สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน

จากการคัดเลือกตัวแทนชุดดินในการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการศึกษาผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงของความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน โดยปัจจัยที่เลือกใช้ คือ ค่า pH ของดิน และลักษณะของเนื้อดินที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติของดินที่แตกต่างกันต่อการลดลงของการปนเปื้อนแคดเมียม ซึ่งได้ชุดดินที่เป็นตัวแทนในการศึกษาคือ 1) ดินทราย (ชุดดินน้ำพอง) 2) ดินเหนียว (ชุดดินพิมาย) ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของดินแต่ละชนิดอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินทั้ง 2 ชนิดซึ่งให้ผลดังต่อไปนี้

1.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพดิน

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ชุดดินที่ใช้การศึกษามีองค์ประกอบของเนื้อดิน Sand (ดินทราย), Silt (ดินร่วน), Clay (ดินเหนียว) ที่แตกต่างกัน โดยชุดดินน้ำพองมีเนื้อดินเป็นดินทราย (Sand) โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณอนุภาคดินทราย 93.24 % อนุภาคดินร่วน (Silt) 5.45% อนุภาคดินเหนียว (Clay) 1.31% และชุดดินพิมายมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) โดยมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณอนุภาคดินทราย 21.57 % อนุภาคดินร่วน (Silt) 19.45% อนุภาคดินเหนียว (Clay) 58.98% ซึ่งจากการคัดเลือกชุดดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นลักษณะชุดดินที่พบโดยทั่วไปตามลักษณะของชุดดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นชุดดินที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 12

1.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีดิน

1.1.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินทราย (ชุดดินน้ำพอง)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินทราย (ชุดดินน้ำพอง) พบว่ามีค่า pH ที่ 4.5 ซึ่งมีสภาพเป็นกรดจัด ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.35 ds m^{-1} ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำมากเท่ากับ 0.201 และ 0.450 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินเท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ส่งผลต่อค่าอัตรา C:N สูงหรือช่วงของ ค่าอัตรา C:N กว้างส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้น้อยด้วย และส่งผลต่อค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ต่อพืชต่ำด้วยประมาณ 5.50 mg/kg และมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (CEC) ในดินเท่ากับ 4.35 $cmol_c/kg$ และปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca), แมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินเท่ากับ 13, 40 และ 16 mg/kg ตามลำดับซึ่งมีอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (CEC) ในดินอยู่ในระดับต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 12

1.1.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียว (ชุดดินพิมาย)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินเหนียว (ชุดดินพิมาย) พบว่ามีค่า pH ที่ 5.8 ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) พบว่ามีค่า 0.45 ds m^{-1} ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 0.432 และ 0.967 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชุดดินน้ำพองถือว่ามีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูงกว่าชุดดินน้ำพอง และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินเท่ากับ 0.101 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลต่อค่าอัตรา C:N ต่ำหรือช่วงของ ค่าอัตรา C:N แคบกว่าชุดดินน้ำพองส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีกว่า และส่งผลต่อค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ต่อพืชสูงด้วยประมาณ 11.48 mg/kg และมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (CEC) ในดินเท่ากับ 28.97 $cmol_c/kg$ และปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca), แมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินเท่ากับ 160, 930 และ 251 mg/kg ตามลำดับซึ่งมีอยู่ในระดับสูง ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน (CEC) ในดินอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน

คุณสมบัติของดิน	ชุดดินน้ำพอง	ชุดดินพิมาย
คุณสมบัติทางกายภาพ		
Sand (%)	93.24	21.57
Silt (%)	5.45	19.45
Clay (%)	1.31	58.98
Textural class	Sand	Clay
คุณสมบัติทางเคมี		
pH	4.5	5.8
EC (ds m^{-1})	0.35	0.45
%OC (organic carbon)	0.201	0.432
%OM (organic matter)	0.450	0.967
Total N (%)	0.021	0.101
Available P (mg/kg)	5.50	11.48
Exch. K (mg/kg)	13	160
Exch. Ca (mg/kg)	40	930
Exch. Mg (mg/kg)	16	251
C:N ratio	20.10	4.27
Toltal Cd (mg/kg)	0.003	0.045
CEC ($cmol_c$/kg)	4.35	28.97

1.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของกากซิตริก (Citric acid waste) และมูลวัว (Cow dung) ก่อนการทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของกากซิตริก (Citric acid waste), มูลวัว (Cow dung) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเพื่อใช้ในการอธิบายความเป็นประโยชน์ต่อดินและความเป็นประโยชน์ต่อการดูดซับโลหะหนักในดิน และผลต่อการเปลี่ยนรูปฟอร์มของแคดเมียมในดิน และมีความสำคัญต่อการควบคุมสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพของโลหะหนักในดินที่มีต่อสิ่งมีชีวิต (ไส้เดือนดิน) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีบางประการในดิน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคดเมียมในดินด้วย

1.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของกากซิตริก (Citric acid waste)

กากซิตริก คือ กากของเสียอุตสาหกรรมจากการผลิตกรดซิตริกที่ใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตกรดซิตริก ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของกากซิตริก (Citric acid waste) ที่ใช้ในการศึกษา พบว่า กากซิตริก (Citric acid waste) นั้นมีค่า pH ที่ 4.9 ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical capacity) พบว่ามีค่า 0.45 ds m^{-1} ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 22.00 และ 49.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูงมาก และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินเท่ากับ 0.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลต่ออัตรา C:N สูง (47.83) และค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ต่อพืชสูงมากเท่ากับ 491 mg/kg และปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch.K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินเท่ากับ 250, 1,250 และ 24 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีอยู่ในระดับสูงมากยกเว้นค่าแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินอยู่ในระดับที่ต่ำ นอกจากนั้นพบว่า กากซิตริก (Citric acid waste) มีโลหะหนักปนเปื้อน ได้แก่ Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Cd, Pb, Hg, Se ซึ่ง Fe เป็นโลหะหนักที่พบในปริมาณมากกว่าโลหะหนักชนิดอื่น และปริมาณโลหะหนักแคดเมียมในกากซิตริก (Citric acid waste) พบประมาณ 0.39 mg/kg ซึ่งถือว่าน้อยมากในกากของเสียที่จะมาใช้ในการผลิตเป็นปุ๋ยหมักที่เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ และได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทนโดยปริมาณแคดเมียมไม่เกิน 5 mg/kg (กรมพัฒนาที่ดิน, 2009) ในดังแสดงในตารางที่ 13

1.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของมูลวัว (Cow dung)

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของมูลวัว (Cow dung) ที่ใช้ในการศึกษา พบว่า มูลวัว (Cow dung) นั้นมีค่า pH ที่ 9.23 ซึ่งมีสภาพเป็นด่างสูง ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical capacity) พบว่ามีค่า 1.58 ds m^{-1} ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และปริมาณอินทรียวัตถุในดินเท่ากับ 24.23 และ 54.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งถือว่ามีปริมาณที่สูงมาก และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดินเท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถือว่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกากซิตริกและ ส่งผลต่อค่าอัตรา C:N แคบกว่ามาก (17.95) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตรา C:N ของกากซิตริก (47.83) และค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ต่อพืชสูงมากเท่ากับ 485 mg/kg และปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินเท่ากับ 131, 2,158 และ 45 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีอยู่ในระดับปริมาณที่สูงมาก ยกเว้นค่าแมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. Mg) ในดินอยู่ในระดับที่ต่ำ และปริมาณโลหะหนักของมูลวัว (Cow dung) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า โลหะหนักที่พบในมูลวัว (Cow dung) ได้แก่ Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Cd, และพบ Fe สูงกว่าโลหะหนักชนิดอื่นซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับกากซิตริก และปริมาณโลหะหนักแคดเมียมในมูลวัว (Cow dung) พบประมาณ 0.03 mg/kg ซึ่งถือว่าน้อยมากในกากของเสียที่จะมาใช้ในการผลิตเป็นปุ๋ยหมักที่เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ และได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทนโดยปริมาณแคดเมียมไม่เกิน 5 mg/kg (กรมพัฒนาที่ดิน, 2009) ในดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของกากซิตริก (Citric acid waste), มูลวัว (Cow dung)

คุณสมบัติทางเคมี	กากซิตริก	มูลวัว
pH	4.9	9.23
EC ($ds\ m^{-1}$)	0.455	1.58
%OC (organic carbon)	22.00	24.23
%OM (organic matter)	49.26	54.25
Total N (%)	0.46	1.35
Available P (mg/kg)	491.04	485.06
Exch. K (mg/kg)	250	131
Exch.Ca (mg/kg)	1,250	2,158
Exch. Mg (mg/kg)	24	45
C:N ratio	47.83	17.95
Fe (mg/kg)	344	289
Mn (mg/kg)	23	43
Zn (mg/kg)	112	34
Cr (mg/kg)	9.28	0.57
Cu (mg/kg)	14.12	20.45
Ni (mg/kg)	0.93	-
Cd (mg/kg)	0.39	0.03
Pb (mg/kg)	9.88	-
Hg (mg/kg)	0.21	-
Se (mg/kg)	0.03	-

1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน, กากซิตริก, มูลวัวและไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ก่อนการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่ใช้ในการศึกษาก่อนการทดลอง พบว่า ปริมาณแคดเมียมในชุดดินน้ำพองมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมด 0.003 mg/kg และชุดดินพิมายมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมด 0.045 mg/kg ในกากซิตริกและมูลวัวมีปริมาณแคดเมียม 0.39 และ 0.33 mg/kg ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณแคดเมียมที่สะสมในดินและกากของเสียอุตสาหกรรม และผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ก่อนการทดลอง พบว่า มีปริมาณแคดเมียมสะสมทั้งหมด 0.182 mg/kg ที่ใช้ในการทดลอง ถือว่ามีปริมาณน้อยมากดังแสดงในตารางที่ 12 และ 13

2. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและไส้เดือนดินในการจัดการดินปนเปื้อนแคดเมียมในดิน

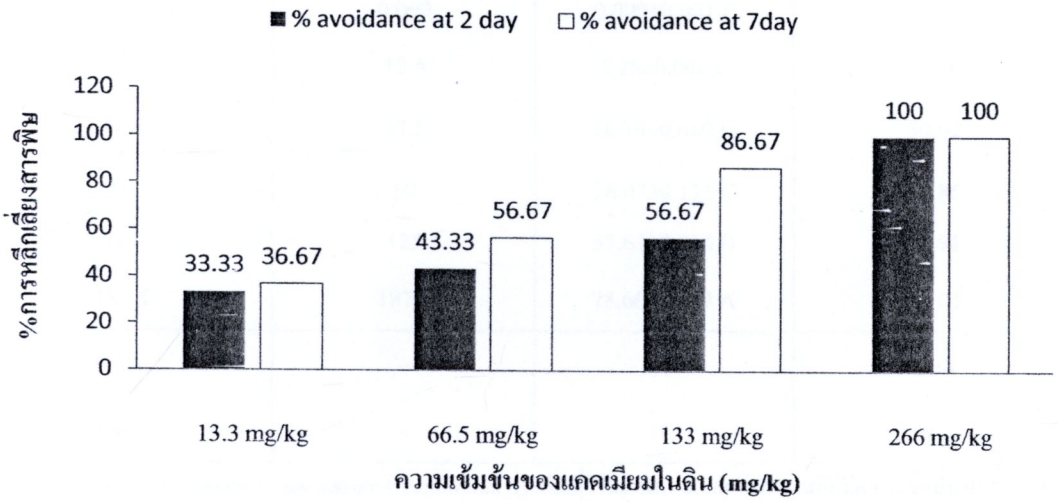
2.1 ผลการศึกษาผลกระทบสารพิษแคดเมียมต่อไส้เดือนดิน

การศึกษาผลกระทบสารพิษแคดเมียมต่อไส้เดือนดิน โดยการศึกษาการหลีกเลี่ยงสารพิษ (Avoidance) ของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่มีต่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

2.1.1 ผลการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดินในชุดดินน้ำพองในระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน ที่ระยะเวลา 2 และ 7 วัน

ผลการศึกษาการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมในดินน้ำพองของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันที่ 2 วัน และ 7 วัน การหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมในชุดดินน้ำพอง (Ng) แสดงในภาพที่ 14 โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมในชุดดินน้ำพองของไส้เดือนดินพันธุ์ *Eudrillus eugeniae* ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน ที่ 2 วัน และ 7 วันพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 13.3 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงอยู่ในช่วง 33 – 37 % , ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 66.5 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงอยู่ในช่วง 43 – 57 % ,ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 133 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงอยู่ในช่วง 57 – 87 % และ ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 266 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยง 100 %

ดังนั้น เมื่อระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมสูงขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ 2 และ 7 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากการศึกษาผลของการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมของไส้เดือนดินในครั้งนี้ สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพเนื่องจากการที่สิ่งมีชีวิตไส้เดือนดินสามารถทนต่อสภาพการสะสมของแคดเมียมได้นั้น จะมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและเป็นการประเมินผลกระทบสารมลพิษแคดเมียมต่อไส้เดือนดิน โดยจากการศึกษาความเข้มข้นของสารมลพิษแคดเมียมที่ไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วงประมาณ 50 mg/kg ดังแสดงแผนภาพที่ 14 แสดงว่าไส้เดือนดินมีการตอบสนองโดยการหลีกเลี่ยงต่อสารแคดเมียมมากขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ



ภาพที่ 14 แสดงการหลีกเลี่ยงสารพิษแคดเมียมในชุดดินน้ำพองที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันที่ 2 และ 7 วัน

2.1.2 ผลการศึกษาปริมาณของการปนเปื้อนแคดเมียมในชุดดินน้ำพองที่ผ่านโดยการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ระยะเวลา 0 และ 15 วัน

ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินผสมของชุดดินน้ำพองที่ 0 และ 15 วัน จากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) พบว่า ที่ 0 และ 15 วันของการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นจะมีการสะสมของแคดเมียมทั้งหมดในดินผสมของชุดดินน้ำพองเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 0 วัน และ 15 วัน มีการลดลงของปริมาณสารพิษแคดเมียมทั้งหมดในดินผสมของชุดดินน้ำพองทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียม กระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินสามารถลดการปนเปื้อนแคดเมียมได้ประมาณ 47.8-58.7% โดยเปอร์เซ็นต์ของการปนเปื้อนแคดเมียมที่ลดลงในดินที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม

ที่ 12.5,37.5,50,125,187.5mg/kg มีค่าเท่ากับ 57.76% ,50.02%, 47.86%, 53.91% และ 58.05% ตามลำดับ แสดงว่ามีผลต่อการลดลงของการสะสมแคดเมียมในดินทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในชุดดินน้ำพอง ที่ 0 และ 15 วัน ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicompost)

ความเข้มข้นของแคดเมียม (mg/kg)	*ดินผสมที่ 0 วัน (mg/kg)	ดินผสมที่ 15 วัน (mg/kg)	% การลดลงของแคดเมียมในดิน
0	0.099	0.099±0.001 F	-
12.5	12.5	5.28±0.062 E	57.76
37.5	37.5	18.74±0.650 D	50.02
50	50	26.07±0.151 C	47.86
125	125	57.61±0.314 B	53.91
187.5	187.5	78.66±0.499 A	58.05
%CV	-	1.17	2.34
F-test	-	*	ns

ดินผสม (Soil + Citric acid waste + Cow manure + Earthworm) ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, $P<0.05$) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

2.1.3 ผลการศึกษาปริมาณของการปนเปื้อนแคดเมียมในชุดดินน้ำพองในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (mg/kg) ในลำตัวของไส้เดือนดิน และ เปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมในดิน ที่ 15 วันหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost)

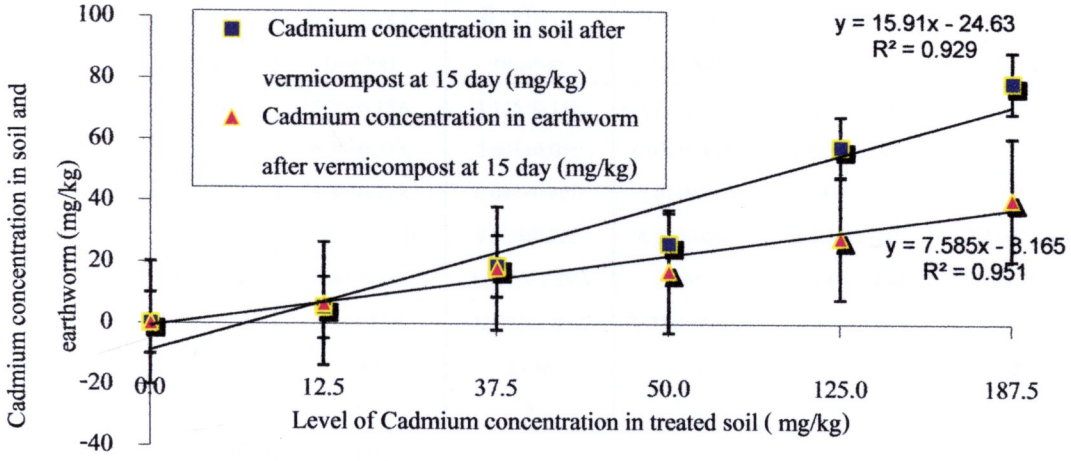
ผลของแคดเมียมที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดินพันธุ์ African Night Crawler *(Eudrillus eugeniae)* หลังการทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ 15 วัน (Vermicompost) ที่ระดับของแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดินจะเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แปรตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นแต่พบว่าเปอร์เซ็นต์การสะสมในลำตัวไส้เดือนหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 15 วัน เปอร์เซ็นต์การสะสมของแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน จะสูงในความเข้มข้นของแคดเมียมที่น้อย คือในระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 0-37.5 mg/kg เปอร์เซ็นต์การสะสมในลำตัวประมาณ 48.05-51.68 % และเมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นการสะสมของแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดินจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดิน ดังนั้นการลดลงของปริมาณ

แคดเมียมโดยการสะสมในลำตัวของไส้เดือนดินมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคดเมียมในดิน ประสิทธิภาพของการสะสมแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดินที่ลดลง มีอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่เพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 15) และความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมของปริมาณแคดเมียมในดินและในลำตัวของไส้เดือนดินหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 15 วัน พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในดินและในลำตัวของไส้เดือนดินเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (mg/kg) ในลำตัวของไส้เดือนดินที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (vermicompost) ที่ 15 วัน

ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม (mg/kg)	ความเข้มข้นของแคดเมียมในไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* (mg/kg)	% การสะสมแคดเมียมในไส้เดือนดิน
0	0.182 F	-
12.5	6.46±0.02 E	51.68 A
37.5	18.02±0.10 D	48.05 B
50	17.12±0.20 C	34.24 C
125	27.96±0.16 B	22.37 D
187.5	40.56±0.63 A	21.63 E
% CV	1.54	2.56
F-test	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, P<0.05) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมของแคดเมียมในดินและในลำตัวของไส้เดือนดิน ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

2.1.4 ผลการศึกษาปริมาณของการปนเปื้อนแคดเมียมในชุดดินน้ำพองในรูปของปริมาณแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของปริมาณสารพิษแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) มีความแตกต่างกันระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพอง ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) พบว่า การลดลงของปริมาณสารพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) มีความสัมพันธ์กับค่า pH ของดิน โดยกิจกรรมของไส้เดือนดินมีผลต่อการลดลงของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ในดินโดยไส้เดือนดินสามารถช่วยลดแคดเมียมในดินพร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability)ได้ และจากการศึกษาพบว่า เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) ที่ 15 วัน ที่ระดับของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) มีการลดลงในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันในดินน้ำพอง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost:VCP) การทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพองพบว่า ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) พบว่าในชุดดินน้ำพองที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างมีการลดลงของแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ในการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) ที่ 15 วัน จะลดลงได้ดีกว่าในการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ที่ 15 วัน โดยการลดลงของแคดเมียมในแต่ละตัวอย่างมีผลมาจากค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อการสะสมแคดเมียมลดลง ดังแสดงในตารางที่ 16 แสดงกิจกรรมของไส้เดือนดินที่มีการเพิ่มขึ้นของ pH ดินและการลดลงของแคดเมียม DTPA-Extractable อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 16 แสดงผลของการลดลงของแคดเมียมในดินที่ผ่านกระบวนทำปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

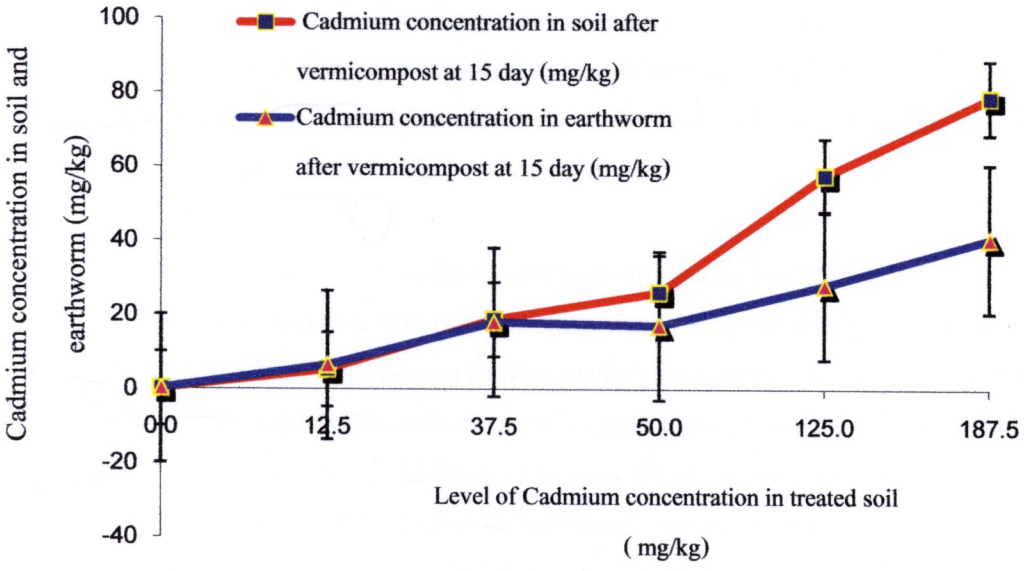
*ตัวอย่าง (mg/kg)	Cd DTPA ที่ 0 วัน VCP (mg/kg)	ค่า pH ที่ 0 วัน VCP (mg/kg)	Cd DTPA ที่ 15วัน CP (mg/kg)	ค่า pH ที่ 15วัน CP (mg/kg)	Cd DTPA ที่ 15วัน VCP (mg/kg)	ค่า pH ที่ 15วัน VCP (mg/kg)
0	0.126±0.02F	6.30±0.15A	1.115±0.11E	7.27±0.12A	0.859±0.05E	7.77±0.06A
12.5	2.398±0.03E	6.50±0.32A	2.601±0.05E	6.93±0.06BC	2.066±0.13E	7.60±1.12B
37.5	8.084±0.30D	6.30±0.28A	6.024±0.10D	7.07±0.06B	5.604±0.33D	7.83±0.12A
50	8.473±0.20C	6.20±0.15AB	9.340±0.28C	6.92±0.03C	8.468±0.15C	7.40±0.10C
125	15.729±0.53B	5.90±0.21B	13.916±1.29B	6.9C	11.697±1.40B	7.13±0.06DC
187.5	22.467±1.77A	5.90±0.1B	22.723±2.83A	6.93±0.06BC	17.223±1.99A	7.37±0.06DC
% CV	7.82	3.49	13.76	0.19	13.16	2.60
F-test	*	*	*	*	*	*

* ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, $P<0.05$)

VCP (Vermicompost), CP (Compost) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

2.1.5 ผลของการเปรียบเทียบปริมาณสารพิษแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) และในรูปปริมาณสารพิษแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในดินน้ำพอง ที่ 15 วันหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost)



ภาพที่ 16 แสดงปริมาณการสะสมของแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) และแคดเมียมทั้งหมดในลำตัวไส้เดือนดินหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 15 วัน

จากความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของปริมาณการสะสมของแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) และแคดเมียมทั้งหมดในลำตัวไส้เดือนดิน หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 15 วัน พบว่าการลดลงของปริมาณแคดเมียมในดินเป็นผลมาจากกิจกรรมของไส้เดือนดิน และการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ ทางด้านเคมีของดิน ทั้ง ค่า pH ในดินที่เปลี่ยนแปลงหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP), การลดลงของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) , การลดลงของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการสะสมของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในลำตัวไส้เดือนดิน เป็นผลให้มีการลดลงของแคดเมียมในดินมีการลดลงได้หลังจากกระบวนการการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) จากความสัมพันธ์ของการลดลงของปริมาณแคดเมียมในดิน แสดงว่าการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) สามารถช่วยลดการสะสมของปริมาณของแคดเมียมทั้งหมดในดินและแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ได้อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประโยชน์ของปริมาณธาตุอาหารในดินได้อีกด้วยดังแสดงในภาพที่ 16

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

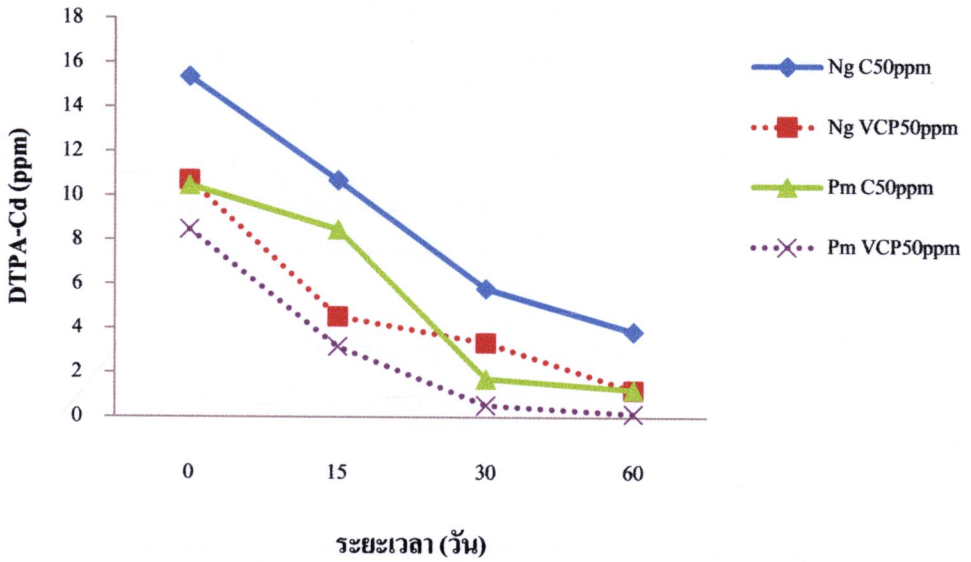
2.2 ผลการศึกษาการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากตะกอนอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

2.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบของสารมลพิษแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ระยะต่างๆ ได้แก่ 0, 15, 30, 60 วัน

2.2.1.1 ผลการศึกษาผลกระทบของสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นที่ 0 วันและสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) มีปริมาณแคดเมียมลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีการลดลงของปริมาณแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ได้ดีกว่ากระบวนการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ดังแสดงในตารางที่ 17

2.2.1.2 ผลการศึกษาผลกระทบสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นที่ 0 วันและสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินพิมาย (Pm) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีการลดลงของปริมาณแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ได้ดีกว่ากระบวนการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน(Compost) ดังแสดงในตารางที่ 18

จากการสะสมของระดับแคดเมียมที่แตกต่างกันระหว่างชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ทั้งกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อวันแรกที่ระดับความเข้มข้น 5 mg/kg การสะสมการสะสมของปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) พบว่าในชุดดินพิมาย มีปริมาณการสะสมอยู่ที่ในช่วง 2.246-2.396 mg/kg ความเข้มข้นสูงกว่าในชุดดินน้ำพองมีปริมาณการสะสมอยู่ที่ในช่วง 1.016-1.316 mg/kg แต่ที่ระดับความเข้มข้นที่ 50 mg/kg พบว่า ปริมาณการสะสมปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ(Bioavailability) ของชุดดินน้ำพองมีปริมาณการสะสมอยู่ที่ในช่วง10.692-15.358 mg/kgจะสูงกว่าในชุดดินพิมาย มีปริมาณการสะสมอยู่ที่ในช่วง 8.475-10.475 mg/kg ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงการสะสมของปริมาณแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (DTPA-Cd) (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

ดังนั้นการมีกิจกรรมของปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) มีส่วนช่วยให้ปริมาณแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) ลดลง เพราะแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) เป็นผลมาจากกิจกรรมของไส้เดือนดิน (earthworm) และจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์สามารถเปลี่ยนสารพิษแคดเมียมให้อยู่ในรูปที่ไม่พร้อมใช้ทางชีวภาพ และช่วยลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่ผ่านกระบวนการนี้ และคุณสมบัติของดินแต่ละชนิดมีผลต่อการสะสมปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) แตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 17 แสดงสารมลพิษแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ดินชุดน้ำพอง (Ng) (mg/kg)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	0.090	0.090	1.316A	1.016A	15.358A	10.692A
15	0.017	0.046	1.016B	1.118A	10.692B	4.535B
30	0.025	0.025	0.794C	0.807B	5.806C	3.356C
60	0.002	0.031	0.369D	0.005C	3.869D	1.214D
% CV	2.15	2.34	5.19	10.15	10.07	10.67
F-test	ns	ns	*	*	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, P<0.05) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน หมายเหตุ: Vermicompost (VCP) Compost (CP)

ตารางที่ 18 แสดงสารมลพิษแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ (Bioavailability) DTPA-Cd ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณแคดเมียมในรูปที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability)ชุดดินพิมาย (Pm) (mg/kg)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	0.04	0.04	2.246AB	2.396A	10.475A	8.475A
15	0.04	0.031	2.396A	0.867B	8.475B	3.175B
30	0.04	0.008	1.783B	0.328C	1.718C	0.535C
60	0.009	0.004	0.082C	0.013C	1.234C	0.157C
% CV	1.45	2.67	17.44	29.47	9.03	19.04
F-test	ns	ns	*	*	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, P<0.05) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน หมายเหตุ: Vermicompost (VCP) Compost (CP)

2.2.2 ผลการศึกษาผลกระทบของสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

2.2.2.1 ผลการศึกษาผลกระทบของสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นที่ 0 วันและสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดในชุดดินน้ำพอง (Ng) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินดีกว่ากระบวนการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน(Compost) ทุกระดับความเข้มข้นของสารมลพิษแคดเมียม ดังแสดงในตารางที่ 19 และภาพที่ 18

2.2.2.2 ผลการศึกษาผลกระทบสารมลพิษแคดเมียมสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด(Total Cd) ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นที่ 0 วันและสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินพิมาย (Pm) มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีประสิทธิภาพการลดลงของปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินดีกว่ากระบวนการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน(Compost) ทุกระดับความเข้มข้นของสารมลพิษแคดเมียมดังแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 18

ตารางที่ 19 แสดงสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) (mg/kg)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	0.090	0.090	4.700A	4.700A	34.833A	34.833A
15	0.030	0.046	1.700B	1.125B	22.013B	14.833B
30	0.033	0.025	0.414C	0.569B	14.052C	13.009B
60	0.013	0.031	0.203C	0.059D	11.845C	6.515C
% CV	1.56	0.24	10.30	8.20	6.81	8.26
F-test	ns	ns	*	*	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, $P<0.05$) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ: Vermicompost (VCP) Compost (CP)

ตารางที่ 20 แสดงสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินพิมาย Pm (mg/kg)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	0.050	0.040	3.011A	3.011A	32.775A	32.775A
15	0.050	0.031	0.602B	0.246B	22.775B	8.172B
30	0.050	0.008	0.385C	0.235B	12.193C	4.344C
60	0.003	0.004	0.136D	0.104C	3.513D	0.202D
% CV	0.52	1.23	3.31	5.82	8.49	16.23
F-test	ns	ns	*	*	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, $P<0.05$) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ: Vermicompost (VCP) Compost (CP)

2.2.3 ประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินในการลดปริมาณสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และในชุดดินพิมาย (Pm)

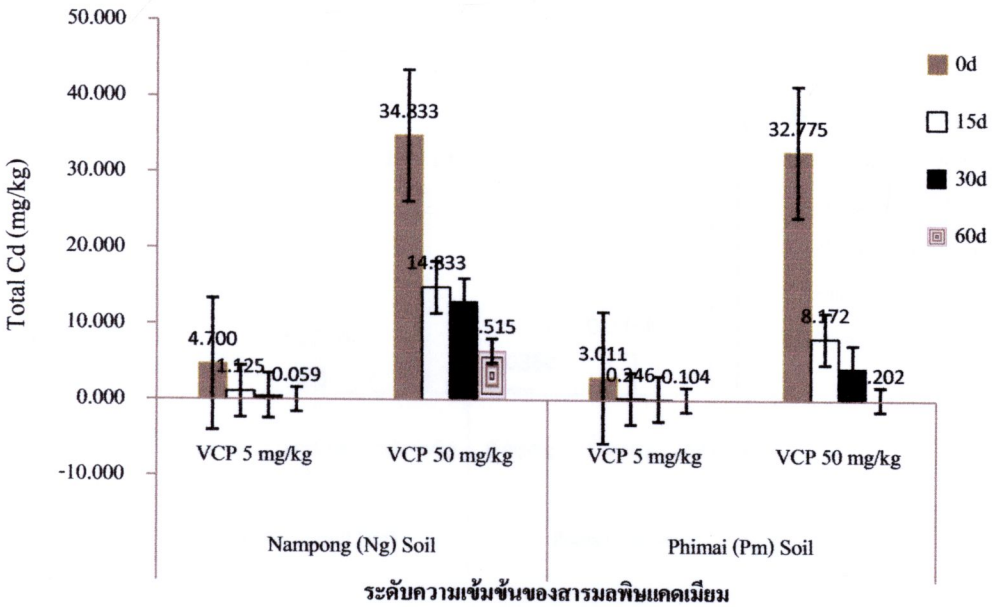
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) เมื่อระยะเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นที่ 0 วันและสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยหมักไส้เดือนดินสามารถช่วยลดปริมาณสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ได้โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดในดินทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในดินในกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) จะลดลงมากในช่วงของการหมักที่ 15 วันโดยช่วงของเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 70-95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในช่วงเวลาเดียวกัน เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในดินประมาณ 55-84 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันพบว่า การเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) มีประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณแคดเมียมทั้งหมด(Total Cd) ในดินดีกว่ากระบวนการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน(Compost) ทุกระดับความเข้มข้นของสารมลพิษแคดเมียม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 ชุดดิน การเปลี่ยนแปลงของการลดลงของปริมาณสารมลพิษแคดเมียมในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) พบว่า ทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (5 และ 50 mg/kg) เมื่อระยะเวลาผ่านไปที่ 15 วัน เปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมในชุดดินพิมายลดลงได้ดีกว่าในชุดดินน้ำพอง โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของแคดเมียมในดินพิมายเท่ากับ 95% และ 84 % และในชุดดินน้ำพองเท่ากับ 78% และ 70% แสดงว่าชุดดินแต่ละชนิดมีผลต่อการลดลงของการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินได้โดยมีการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเข้าร่วมด้วย ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของการลดลงของปริมาณสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

% การลดลงของสารมลพิษแคดเมียมแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd)								
	ชุดดินน้ำพอง (Ng)				ชุดดินพิมาย (Pm)			
	5 mg/kg		50 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
วัน	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	6±4.66C	6±4.66D	30±2.64C	30±2.64C	40±0.22D	40±0.22C	34±5.08D	34±5.08D
15	66±4.66B	78±1.27C	56±4.44B	70±2.64B	88±0.82C	95±1.98B	54±1.13C	84±5.06C
30	92±2.87A	89±2.10B	72±2.18B	74±2.84B	92±1.07B	95±0.37B	76±0.27B	91±1.73B
60	96±0.75A	99±0.53A	76±0.49A	87±3.25A	97±0.05A	98±0.52A	93±3.08A	100±0.25A
% CV	5.57	3.91	4.80	4.37	0.86	1.28	4.70	4.78
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*

ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, $P<0.05$) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามระยะเวลาที่แตกต่างกัน

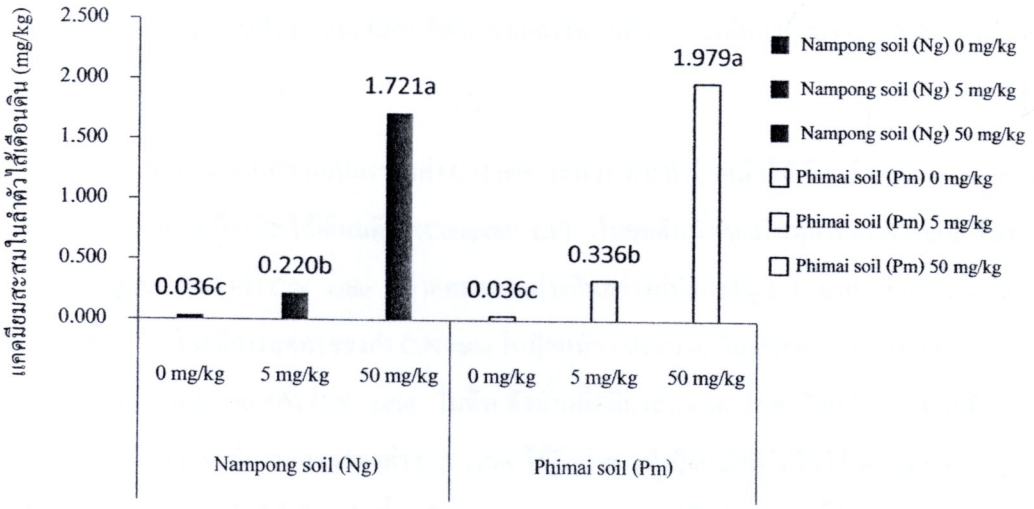
VCP (Vermicompost), CP (Compost)



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน

2.2.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวน การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost : VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost : VCP) เมื่อระยะเวลาผ่านไปเมื่อสิ้นสุดที่ 60 วัน พบว่า ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่ปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) ตามระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินทั้งสองชนิดพบว่าการเปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเมื่อสิ้นสุดที่ 60 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แสดงว่าไส้เดือนดินสามารถสะสมแคดเมียมในลำตัว โดยสรุปว่าไส้เดือนดินสามารถที่จะสะสมแคดเมียมได้ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมต่างๆ ดังแสดงภาพที่ 19



ภาพที่ 19 แสดงการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

3. การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารต่างๆ ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

3.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

3.1.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดิน (ค่า pH, %OC (organic carbon), Total N, ค่า C/N ratio) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) หลัง 15 วัน

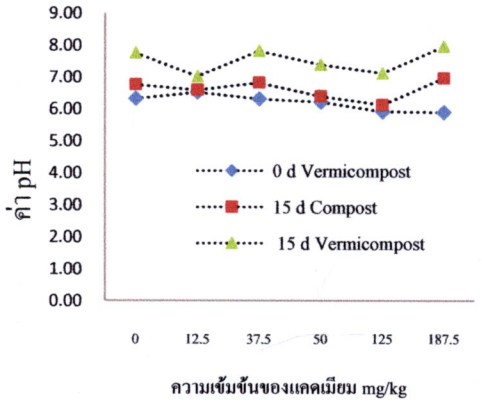
ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพองในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น พบว่าค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการที่ 15 วัน โดยมีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในปุ๋ยหมัก และความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ในดิน ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมของไส้เดือนดิน (Vermicompost) เกิดขึ้น จะมีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) โดยที่ 0 วัน Vermicompost: VCP ค่า pH อยู่ในช่วง 5.9-6.3 และเมื่อผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 15 วัน Vermicompost: VCP ค่า pH จะสูงขึ้นอยู่ในช่วง 7.1-8.83 และ pH ในดินมีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของแคดเมียมในดินดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ดังแสดงในภาพที่ 20 และตารางที่ 24

ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio ระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพองในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น พบว่าค่า C:N ratio มีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการที่ 15 วัน โดยมีการลดลงของค่า C:N ratio ในปุ๋ยหมัก และความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio ในดิน ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมของไส้เดือนดิน (Vermicompost) เกิดขึ้น จะมีการลดลงของค่า C:N ratio ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) โดยการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่15 วัน (Compost: CP) การเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio ในระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่ 37.5 mg/kg จะสูงกว่าในทุกระดับความเข้มข้นต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ 15 วัน การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP มีการลดลงของค่า C:N ratio ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดินที่15 วัน (Compost: CP) โดยความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า C:N ratio สูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของไส้เดือนดิน(Vermicompost) เกิดขึ้น

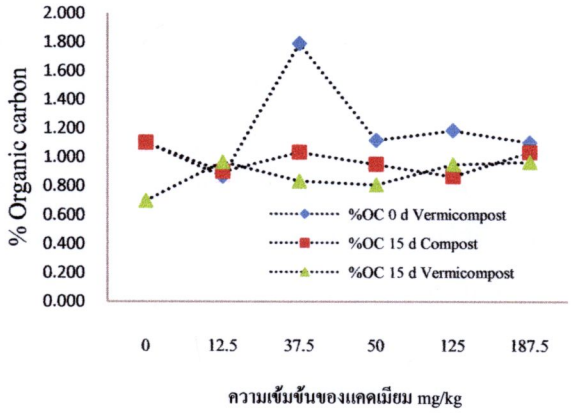
จะมีการลดลงของค่า C:N ratio ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) และเมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า C:N ratio ดังแสดงในภาพที่ 23

ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพอง มีค่าลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อสิ้นสุดกระบวนการที่ 15 วัน โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ในปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน เพราะว่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ในดิน เมื่อเปรียบเทียบที่ 15 วัน Vermicompost: VCP กับระดับของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อมีความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ในดินลดลง ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมของไส้เดือนดิน(Vermicompost) เกิดขึ้น จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ในดิน ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) แต่เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (%OC) ในชุดดินน้ำพองลดลง ดังแสดงในภาพที่ 21

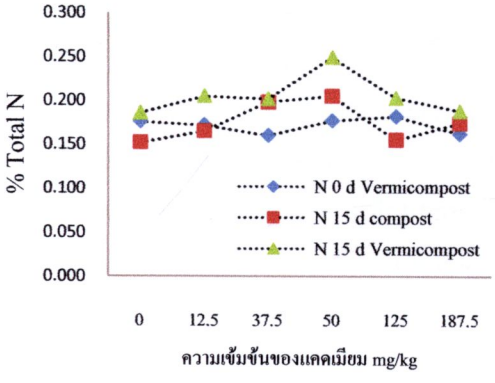
ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ระหว่างการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพอง มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในทุกระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อสิ้นสุดกระบวนการที่ 15 วัน โดยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในปุ๋ยหมัก และความเข้มข้นของแคดเมียมที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในดิน ทั้งใน 15 วัน (Vermicompost) และใน 15 วัน (Compost: CP) ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมไส้เดือนดิน (Vermicompost) เกิดขึ้น จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ดังแสดงในภาพที่ 22



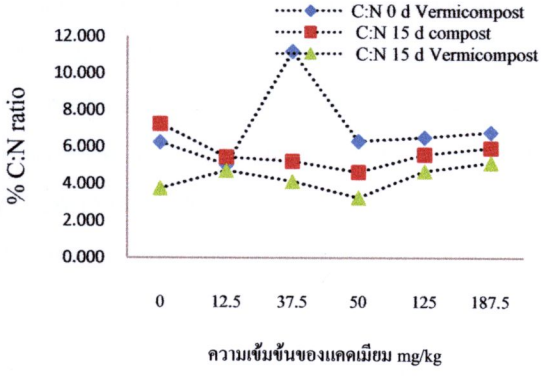
ภาพที่ 20 แสดงค่า pH ที่ 0,15 วัน VCP และ CP



ภาพที่ 21 แสดงค่า Organic carbon ที่ 0,15 วัน



ภาพที่ 22 แสดงค่า Total N ที่ 0,15 วัน VCP และ CP



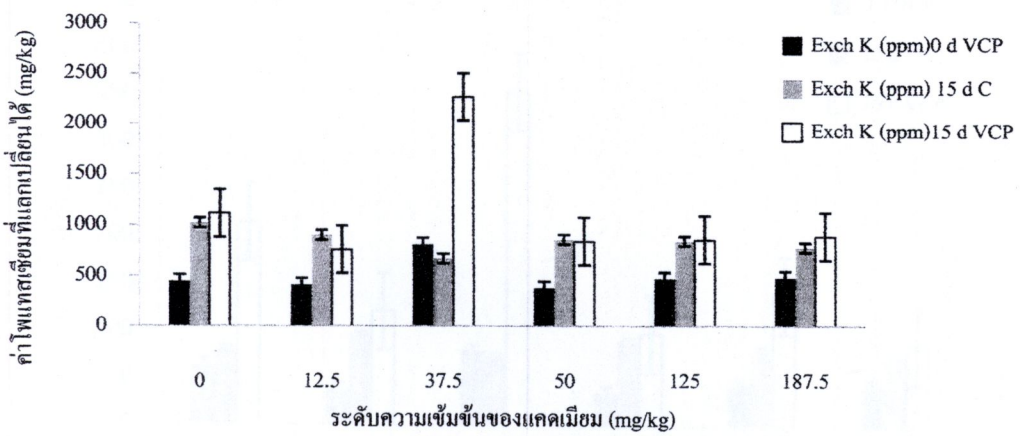
ภาพที่ 23 แสดงค่า C:N ratio ที่ 0,15 วัน

หมายเหตุ: VCP (Vermicompost), CP (Compost)

ภาพที่ 20-23 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดิน (pH, Organic carbon, Total N, C:N ratio)ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในระดับที่แตกต่างกันที่ผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ในชุดดินน้ำพอง

3.1.2 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

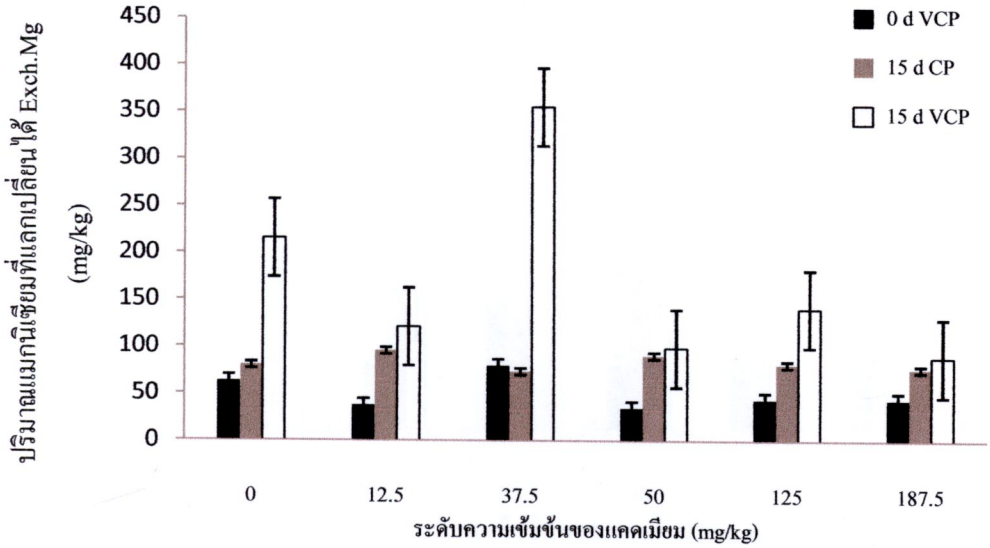
ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ที่ 12.5,37.5,50,125,187.5 mg/kg ที่ 0 วัน Vermicompost มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) อยู่ในช่วง 380-813 mg/kg ที่ 15 วัน Compost มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) อยู่ในช่วง 671-1,022 mg/kg และที่ 15 Vermicompost มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) อยู่ในช่วง 761-2270 mg/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 0 และ 15 วัน Vermicompost: VCP พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกระดับระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ และในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) จะลดลงโดยชัดเจนในตำรับการทดลอง 15 วัน Vermicompost ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0-37.5 mg/kg มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) สูง เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของแคดเมียมที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 15 วัน Compost กับ 15 วัน Vermicompost พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ที่ระดับความเข้มข้นที่ 37.5 mg/kg มีความแตกต่างของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

3.1.3 ผลการศึกษาแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

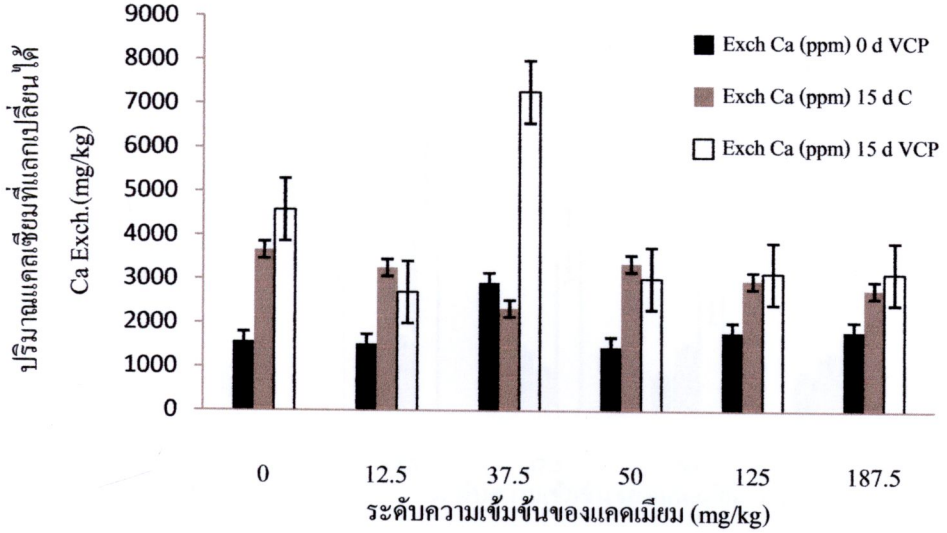
ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ที่ 12.5,37.5,50,125,187.5 mg/kg ที่ 0 วัน Vermicompost มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) อยู่ในช่วง 35-80 mg/kg ที่ 15 วัน Compost มีปริมาณแมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) อยู่ในช่วง 74-96 mg/kg และที่ 15 Vermicompost มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) อยู่ในช่วง 88-355 mg/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 0 และ 15 วัน Vermicompost: VCP พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกระดับระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ และในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) จะลดลงไปด้วย โดยชัดเจนในตำรับการทดลอง 15 Vermicompost ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0-37.5 mg/kg มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) สูง เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของแคดเมียมที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 15 วัน Compost กับ 15 วัน Vermicompost พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) มีความแตกต่างกันในความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่ต่ำในช่วง 0-37.5 mg/kg แต่เมื่อมีความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันเล็กน้อย แต่ที่ระดับความเข้มข้นที่ 37.5 mg/kg มีความแตกต่างของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

3.1.4 ผลการศึกษาแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

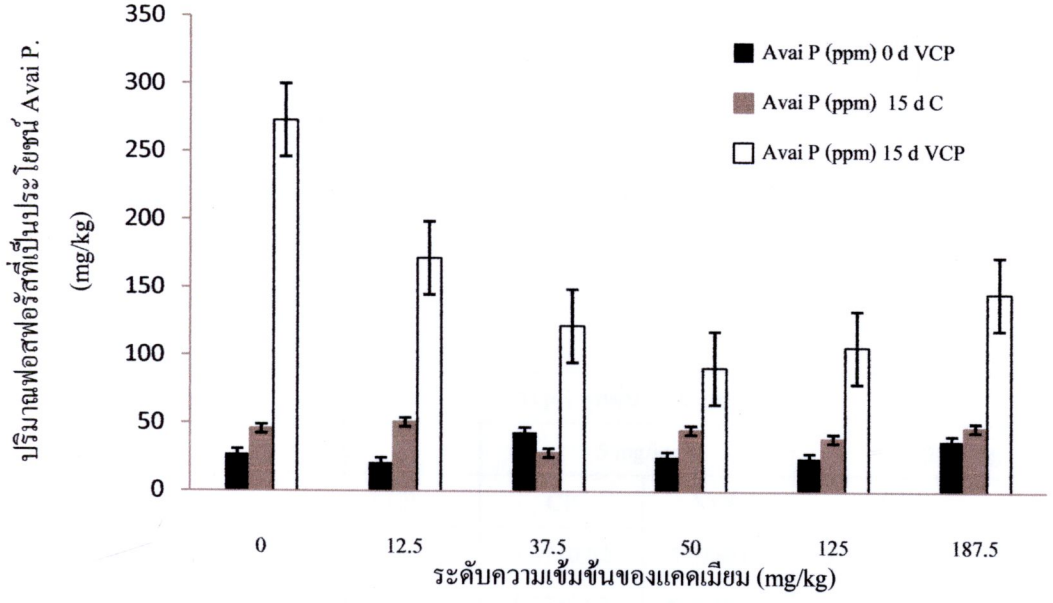
ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ ที่ 12.5,37.5,50,125,187.5 mg/kg ที่ 0 วัน Vermicompost มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) อยู่ในช่วง 1,450-2,920 mg/kg ที่ 15 วัน Compost มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) อยู่ในช่วง 2,330-3,667 mg/kg และที่ 15 Vermicompost มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) อยู่ในช่วง 2,703-7,277 mg/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 0 และ 15 วัน Vermicompost: VCP พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกระดับระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ และในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) จะลดลงไปด้วย โดยชัดเจนในตำรับการทดลอง 15 วัน Vermicompost ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0-37.5 mg/kg มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) สูง เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของแคดเมียมที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 15 วัน Compost กับ 15 วัน Vermicompost พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ที่ระดับความเข้มข้นที่ 37.5 mg/kg มีความแตกต่างของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) สูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และหลังจากที่มีระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ระหว่างที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

3.1.5 ผลการศึกษาฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียมต่างๆ ที่ 12.5,37.5,50,125,187.5 mg/kg ที่ 0 วัน Vermicompost มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 21-37 mg/kg ที่ 15 วัน Compost มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 28-50 mg/kg และที่ 15 Vermicompost มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 91-273 mg/kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 0 และ 15 วัน Vermicompost: VCP พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกระดับระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ และในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) จะลดลงไปด้วย โดยชัดเจนในตำรับการทดลอง 15 Vermicompost ที่ระดับความเข้มข้นในช่วง 0-37.5 mg/kg มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) สูง เมื่อเปรียบเทียบกับระดับของแคดเมียมที่สูง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 15 วัน Compost กับ 15 วัน Vermicompost พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้นที่ 0 mg/kg มีความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ที่ 0 และ 15 วัน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 15 วัน

3.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ภายใต้อิทธิพลของชุดดินแตกต่างกัน

การทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไส้เดือนดินในการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรและอิทธิพลต่อการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินโดยการใช้กากอุตสาหกรรมการเกษตรภายใต้อิทธิพลของชุดดิน (ชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)) ที่ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 22 แสดงค่า pH ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

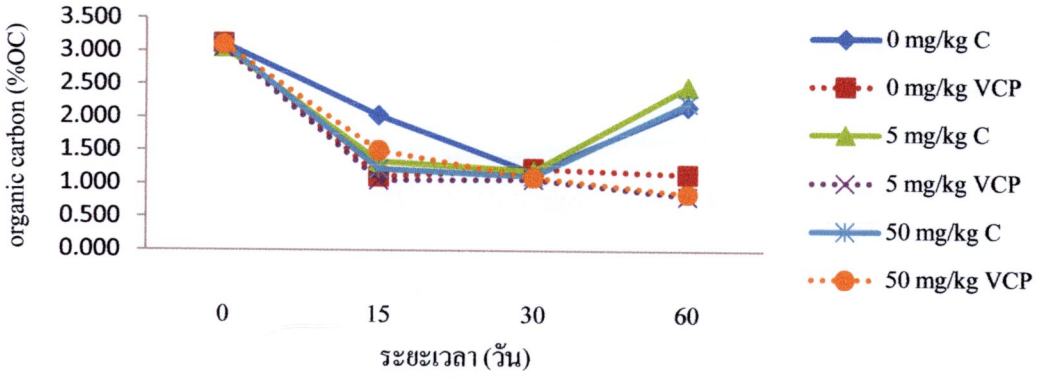
ระยะเวลา (วัน)	ค่า pH ในชุดดินน้ำพอง (Ng)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	6.77±0.06	6.77±0.06	6.06±0.01	6.06±0.01	6.13±0.01	6.13±0.01
15	6.77±0.06	7.22±0.01	7.06±0.01	7.26±0.01	7.13±0.01	7.03±0.01
30	6.87±0.06	7.54±0.04	7.22±0.03	7.42±0.03	7.3±0.05	7.16±0.05
60	7.04±0.02	7.34±0.05	7.16±0.02	7.55±0.05	7.25±0.02	7.42±0.03

หมายเหตุ: VCP (Vermicompost), CP (Compost)

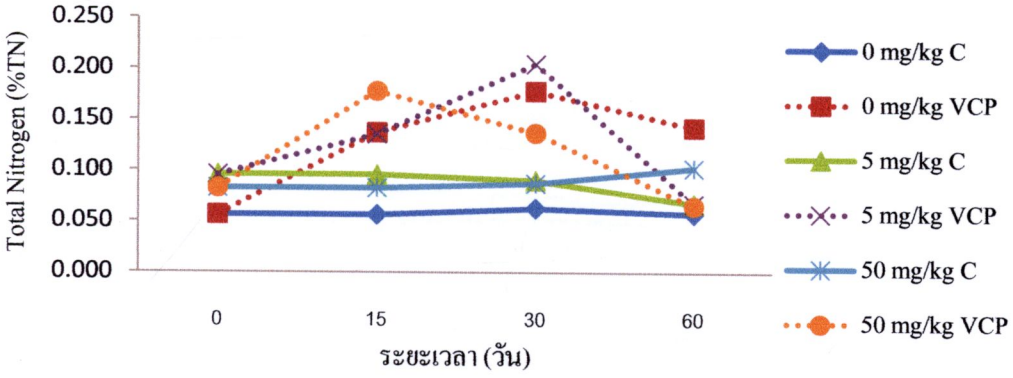
ตารางที่ 23 แสดงค่า pH ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ระดับความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมที่แตกต่างกัน (0, 5, 50 mg/kg) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่า pH ชุดดินพิมาย (Pm)					
	0 mg/kg		5 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
0	5.40	5.40	5.57±0.02	5.57±0.02	5.75±0.05	5.75±0.05
15	6.40	6.74±0.01	6.57±0.02	6.76±0.01	6.75±0.05	6.53±0.06
30	6.70	7.33±0.03	7.36±0.01	7.31±0.02	7.18±0.03	7.22±0.03
60	6.42±0.03	7.82±0.03	7.26±0.01	7.87±0.06	7.15±0.02	7.88±0.04

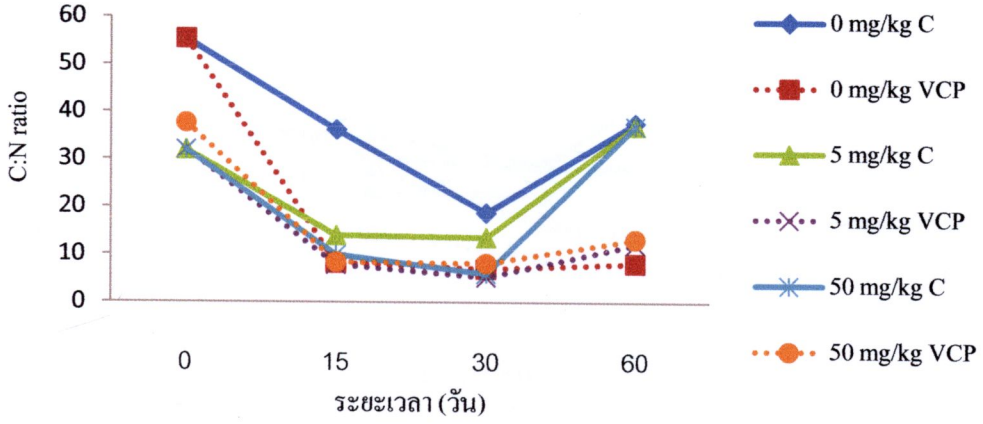
หมายเหตุ: VCP (Vermicompost), CP (Compost)



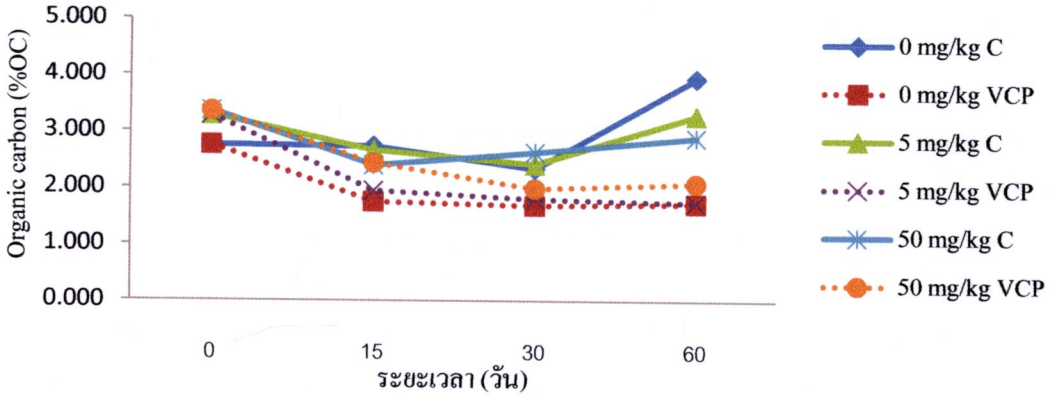
ภาพที่ 28 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



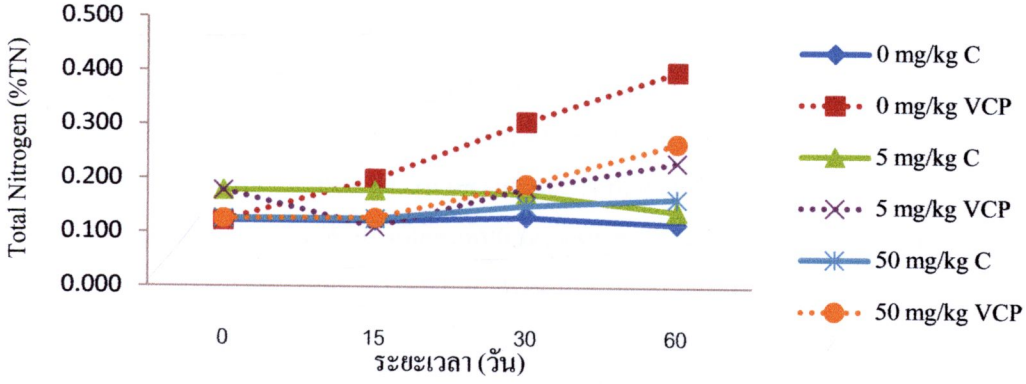
ภาพที่ 29 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



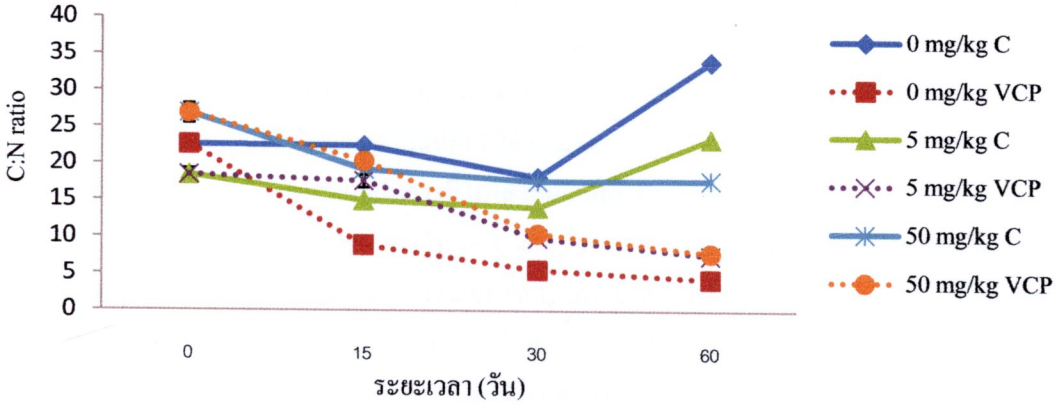
ภาพที่ 30 แสดงปริมาณ C:N ratio ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



ภาพที่ 31 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



ภาพที่ 32 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ใน ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)



ภาพที่ 33 แสดงปริมาณ C:N ratio ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost)

3.2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดที่มีผลต่อค่า pH, %OC (organic carbon), Total N, ค่า C/N ratio

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดที่มีผลต่อค่า pH, %OC (organic carbon), Total N, ค่า C/N ratio ในชุดดินน้ำพอง (Ng) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในชุดดินน้ำพองหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 60 วัน โดยที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ที่การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost :VCP) เพิ่มขึ้นแต่เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost : CP) ไม่มีความแตกต่างกันทั้งที่ไม่มีสารแคดเมียมและที่ใส่แคดเมียมที่ความเข้มข้น 50 mg/kg โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และค่า C:N ratio ประมาณ 60-65% และ 66-87% เป็นผลให้การย่อยสลายกากของเสียอุตสาหกรรมได้ดีเนื่องจากไส้เดือนดินใช้กากของเสียเป็นอาหารและปลดปล่อยปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของพืชเพิ่มสูงขึ้น ดังนี้ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน(Total nitrogen), ปริมาณโพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca, Mg) และ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) โดยเปอร์เซ็นต์ CP0 เท่ากับ 11.1, -26.2, 12.6, 23.1, 27% และ CP50 เท่ากับ 4.6, 27.9, 53.3, 6.3,-2.7% ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การการเปลี่ยนแปลงหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 60 วันใน VCP0 เท่ากับ 68.5, 58.7, 66.9, 55.9, 93.4 % และ VCP50 เท่ากับ 39.4, 78.3, 62.5, 69.0, 45.1, 93.2 % ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์หลังผ่านการหมักและบ่มที่ 60 วัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ระหว่างการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost) ดังแสดงในตารงที่ 22 และ ภาพที่ 28, 29 และ 30

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดที่มีผลต่อค่า pH, %OC (organic carbon), Total N, ค่า C/N ratio ในชุดดินพิมาย การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost : VCP) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost : CP) พบว่าหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน โดยที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ที่การทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) มีการเพิ่มเมื่อเปรียบเทียบกับการที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($P<0.05$) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วัน โดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และค่า C:N ratio ใน CP0 เท่ากับ 15.2% และ19.6%, CP50 เท่ากับ 21.7% และ 34.4% และเมื่อเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ใน VCP0 เท่ากับ 38.8% และ 75.4%, 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) โดยเปอร์เซ็นต์การ CP0 เท่ากับ 5.4, 2.3, 12.1, 29.1, -135.8% และ CP50 เท่ากับ 16.7, 40.8, 51.6, 43.3, 15.9 % ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงหลังผ่านการหมักและบ่มที่ 30 วันใน VCP0 เท่ากับ 60.1, 54.7, 68.9, 14.0, 86.3% และ VCP50 เท่ากับ 34.6, 24.6, 43.1, 9.6, 82.8 % ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ระหว่างการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และที่ไม่มีไส้เดือนดิน(Compost) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อมีกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเกิดขึ้น ดังแสดงในตารงที่ 23 และ ภาพที่ 31, 32 และ 33

3.2.2 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) อยู่ในช่วง 640-860 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 60 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-15 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เท่ากับ 68.33 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) อยู่ในช่วง 850-942 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 60 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-30 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เท่ากับ 52.11 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดดินน้ำพอง และชุดดินพิมาย พบว่า เมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) จะลดลงไปด้วย

3.2.3 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30 วัน พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)อยู่ในช่วง 1,431-1,640 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 30 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของ 0-15 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เท่ากับ 74.67 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30 วัน พบว่า ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)อยู่ในช่วง 2,166-2,702 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 30 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-30 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เท่ากับ 68.94 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดดินน้ำพอง และชุดดินพิมาย พบว่า เมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละตำรับการทดลอง ผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) จะลดลงไปด้วยแสดงว่าปริมาณของสารแคดเมียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)ได้ และช่วงเวลาของการทำปุ๋ยหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)

3.2.4 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) อยู่ในช่วง 50-84 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 30 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-30 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เท่ากับ 83.00 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่มีสารมลพิษแคดเมียมในดิน 5 mg/kg.

ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) อยู่ในช่วง 850-942 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 30 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-30 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เท่ากับ 14 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 2 ชนิด คือ ดินน้ำพอง และชุดดินพิมาย พบว่า เมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) มีแนวโน้มลดลง ในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) จะลดลงไปด้วย แสดงว่าปริมาณของสารแคดเมียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ได้ และช่วงเวลาของการทำปุ๋ยหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)

3.2.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 72-77 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 60 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-15 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เท่ากับ 93.68 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม ต่างๆ (0, 5 และ50 mg/kg) ที่ 0 วัน Vermicompost: VCP และ Compost: CP มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) อยู่ในช่วง 143-190 mg/kg หลังจากผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน Compost: CP ที่ 60 วัน พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงของวัน 0-60 วัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เท่ากับ 88.69 % หลังจากการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน Vermicompost: VCP ที่ไม่ใส่สารมลพิษแคดเมียม

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดดินน้ำพอง และชุดดินพิมาย พบว่า เมื่อมีความเข้มข้นของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในชุดดินน้ำพอง และในชุดดินพิมายลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นในแต่ละตำรับการทดลองผลของระดับความเข้มข้นของแคดเมียมที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดย เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมสูงขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) จะลดลงไปด้วย แสดงว่าปริมาณของสารแคดเมียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ได้ และช่วงเวลาของการทำปุ๋ยหมักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)

ตารางที่ 24 แสดงการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารต่างๆ ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) และการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (Compost: CP) ที่ก่อนและหลัง 0วันและ30 วัน

Parameter	ชุดดินน้ำพอง Ng				ชุดดินพิมาย Pm			
	0 mg/kg		50 mg/kg		0 mg/kg		50 mg/kg	
	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP	CP	VCP
pH 0d	6.77	6.77	6.13	6.13	5.40	5.40	5.75	5.75
30 d	6.87	7.54	7.30	7.16	6.70	7.33	7.18	7.22
% การเปลี่ยนแปลง	**1.46***	**10.21***	**16.03***	**14.39***	**19.40***	**26.33***	**19.92***	**20.36***
%OC 0d	3.12	1.23	1.12	1.10	2.34	1.69	2.63	1.99
30 d	1.17	3.12	3.10	3.10	2.76	2.76	3.36	3.36
% การเปลี่ยนแปลง	**62.50***	**60.58***	**63.87***	**64.52***	**15.22***	**38.77***	**21.73***	**40.77***
Total N 0d	0.06	0.06	0.08	0.08	0.12	0.12	0.13	0.13
30 d	0.06	0.18	0.09	0.14	0.13	0.31	0.15	0.19
% การเปลี่ยนแปลง	**11.11***	**68.54ns**	**4.60***	**39.42***	**5.43***	**60.13ns**	**16.67***	**34.55***
C:Nratio 0d	55.36	55.36	31.98	37.64	22.60	22.60	26.90	26.90
30 d	18.74	6.97	5.99	8.15	18.18	5.56	17.64	10.48
% การเปลี่ยนแปลง	**66.15***	**87.41***	**81.27***	**78.35***	**19.56***	**75.40***	**34.42***	**61.04***
Exch. K 0d	640.00	640.00	665.00	665.00	850.00	850.00	942.00	942.00
30 d	507.00	1550.00	922.00	1775.00	870.00	1875.00	1592.00	1250.00
% การเปลี่ยนแปลง	**-26.23***	**58.71***	**27.87***	**62.54***	**2.30***	**54.67***	**40.83***	**24.64***
Exch.Ca 0d	1640.00	1640.00	1476.00	1476.00	2166.00	2166.00	2702.00	2702.00
30 d	1877.00	4950.00	3158.00	4760.00	2463.00	6975.00	5578.00	4750.00
% การเปลี่ยนแปลง	**12.63***	**66.87ns**	**53.26ns**	**68.99***	**12.06***	**68.95ns**	**51.56ns**	**43.12***
Exch.Mg 0d	50.00	60.00	74.00	84.00	244.00	344.00	267.00	367.00
30 d	65.00	136.00	79.00	153.00	344.00	400.00	472.00	406.00
% การเปลี่ยนแปลง	**23.08***	**55.88***	**6.33***	**45.10***	**29.07***	**14.00***	**43.43***	**9.61***
Avail. P 0d	72.00	72.00	77.00	77.00	158.00	158.00	190.00	190.00
30 d	27.00	1085.00	75.00	1135.00	67.00	1154.00	226.00	1104.00
% การเปลี่ยนแปลง	**-166.67***	**93.36***	**-2.67***	**93.22***	**-135.82***	**86.31***	**15.93***	**82.79***

*VCP = ปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน, CP = ปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่ไส้เดือนดิน (*ค่าทางสถิติแตกต่างกันทางสถิติ $P<0.05$ ทางแนวนอนเปรียบเทียบระหว่างสองชุดดินในระดับความเข้มข้นเดียวกัน)

4. ผลการศึกษาการหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ของกากของเสียอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อนำเทคโนโลยีการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) มาใช้ในการจัดการดินปนเปื้อนแคดเมียมในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

4.1 ผลการศึกษาธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลของการวิเคราะห์ค่า pH ในชุดดินน้ำพอง (Ng) ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน การเพิ่มขึ้นของค่า pH ในปุ๋ยหมักที่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมร่วมด้วย ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมของไส้เดือนดิน(Vermicompost)และกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเกิดขึ้น จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรร่วมด้วย (Ng0) โดยที่ Ng0 ค่า pH หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) อยู่ในช่วง 5.2-6.5 และเมื่อการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมร่วมด้วย พบว่า ค่า pH จะสูงขึ้นได้ดีกว่าไม่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรม โดยในการใส่อัตราส่วนของกากของเสียต่อดิน (400g/400 g) โดยการเพิ่มขึ้นของค่า pH ประมาณ 6.74-7.84 และการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง pH ในดินนั้นมีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของแคดเมียมในดินดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ผลของการวิเคราะห์ค่า pH ในชุดดินพิมาย (Pm) ผลของการเปลี่ยนแปลงของค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน การเพิ่มขึ้นของค่า pH ในปุ๋ยหมักที่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมร่วมด้วย ดังนั้นเมื่อมีกระบวนการของกิจกรรมของไส้เดือนดิน(Vermicompost)และกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเกิดขึ้น จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ได้ดีกว่าการทำปุ๋ยหมักที่ไม่ใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรร่วมด้วย ในชุดดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 ค่า pH หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน(Vermicompost) อยู่ในช่วง 6.27-7.10 และเมื่อมีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมร่วมด้วย พบว่า ค่า pH จะสูงขึ้นได้ดีกว่าไม่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรม โดยในการใส่อัตราส่วนของกากของเสียต่อดิน (600g/400 g) โดยการเพิ่มขึ้นของค่า pH ประมาณ 6.67-7.75 โดยในแต่ละช่วงของเวลาที่ 0, 15, 30, 60 วัน ในแต่ละอัตราส่วนมีการเพิ่มขึ้นของค่า pH ทุกตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่าง pH ในดินนั้นมีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของแคดเมียมในดินดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

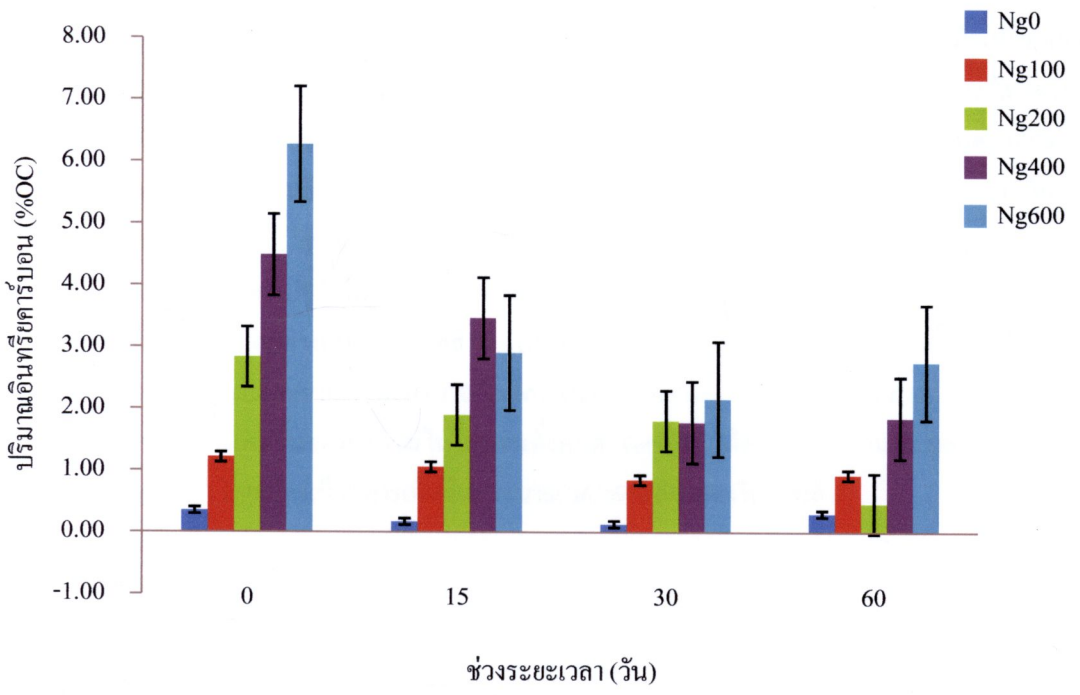
4.1.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon)มีการลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลาไม่มีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการลดลงประมาณ 14.28 % ในอัตราส่วนทำให้การลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng200 กากของเสียต่อดิน (200g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 83.80 % ดังแสดงในภาพที่ 34

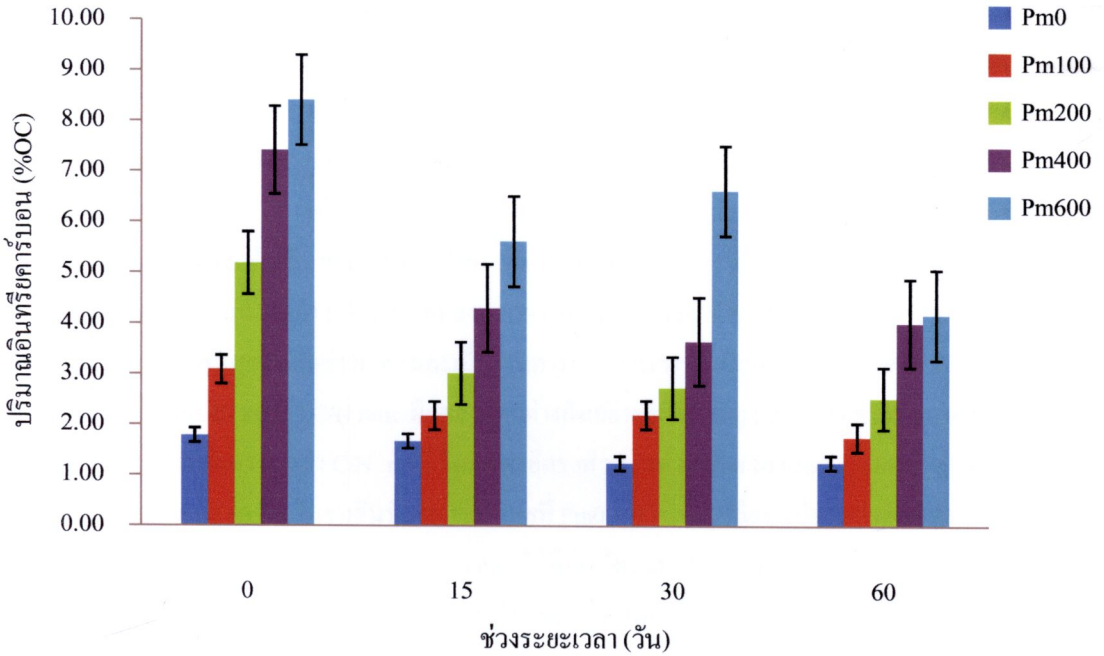
ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อผ่านการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) มีการลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลาไม่มีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ในดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงการลดลงประมาณ 30.16 % ในอัตราส่วนทำให้การลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm200, Pm400, Pm600 % (กากของเสียต่อดิน) (200g, 400g, 600g /400g) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 45.95-50.29 % โดยการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพกิจกรรมของไส้เดือนดินในการย่อยสลายกากของเสียเพื่อการปลดปล่อยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังแสดงในภาพที่ 35

4.1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลาไม่มีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นประมาณ 35.71 % และในอัตราส่วนทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng200 (กากของเสียต่อดิน) (200g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 62.54 %ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 34 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน



ภาพที่ 35 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

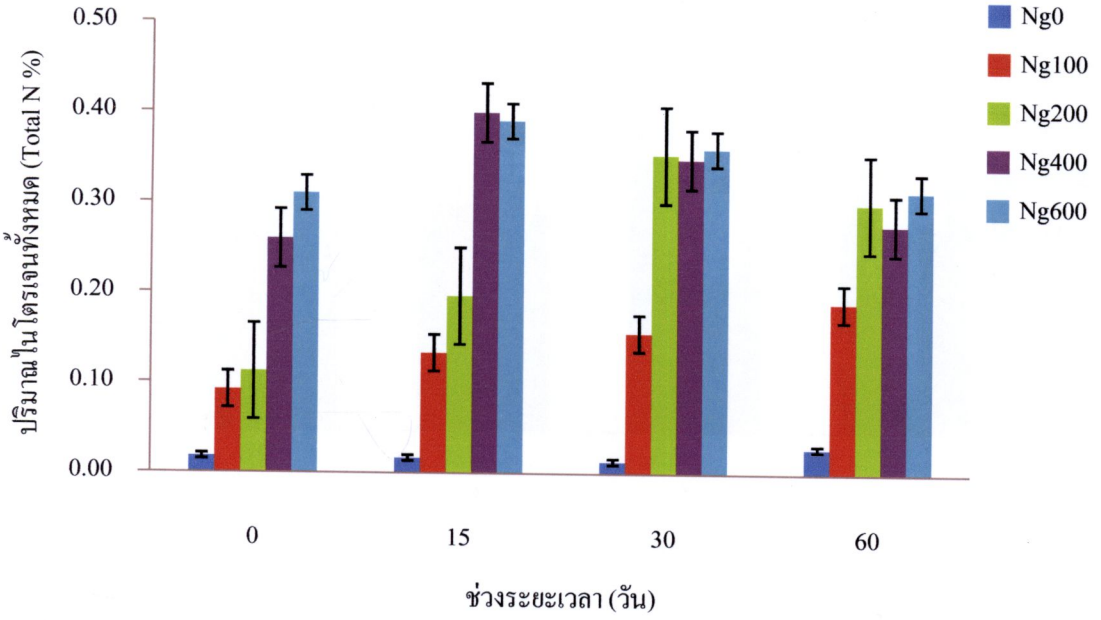
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วน พบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ในชุดดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) เพิ่มขึ้นประมาณ 35.93 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm200 (กากของเสียต่อดิน) (200g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 36.26 % ดังแสดงในภาพที่ 37

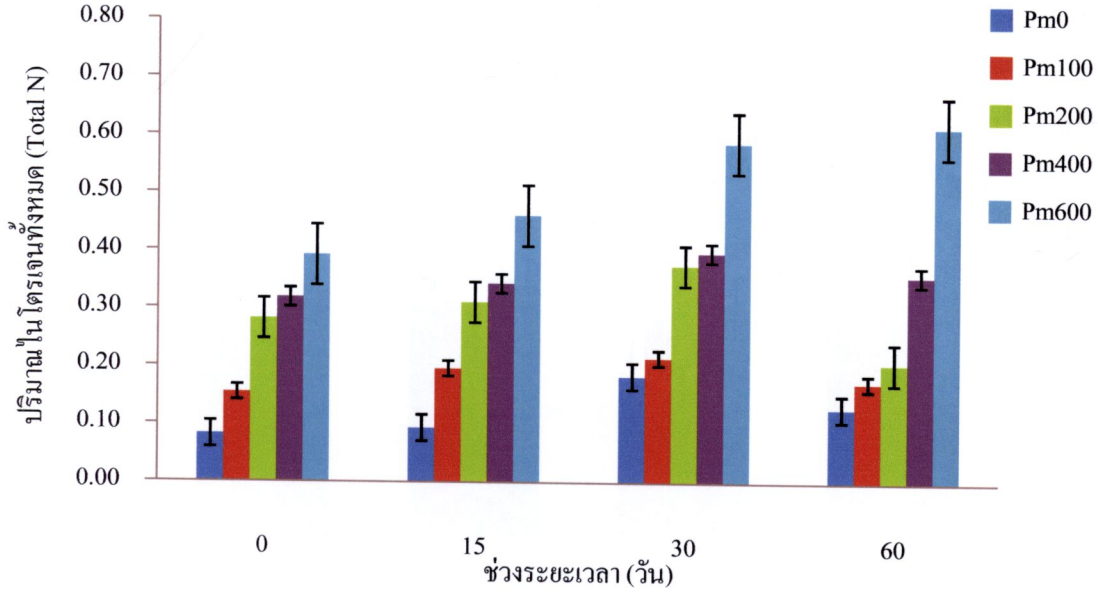
4.1.4 ค่า C/N ratio

ผลการวิเคราะห์ค่า C/N ratio โดยใช้อัตราส่วนของ ปริมาณอินทรียวัตถุต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ค่า C/N ratio ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของค่า C/N ratio มีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า C/N ratio ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลาไม่มีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการลดลงประมาณ 6.91 % และในอัตราส่วนทำให้มีการลดลงของค่า C/N ratio ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng200 (กากของเสียต่อดิน) (200g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 84.43 % ดังแสดงในภาพที่ 38

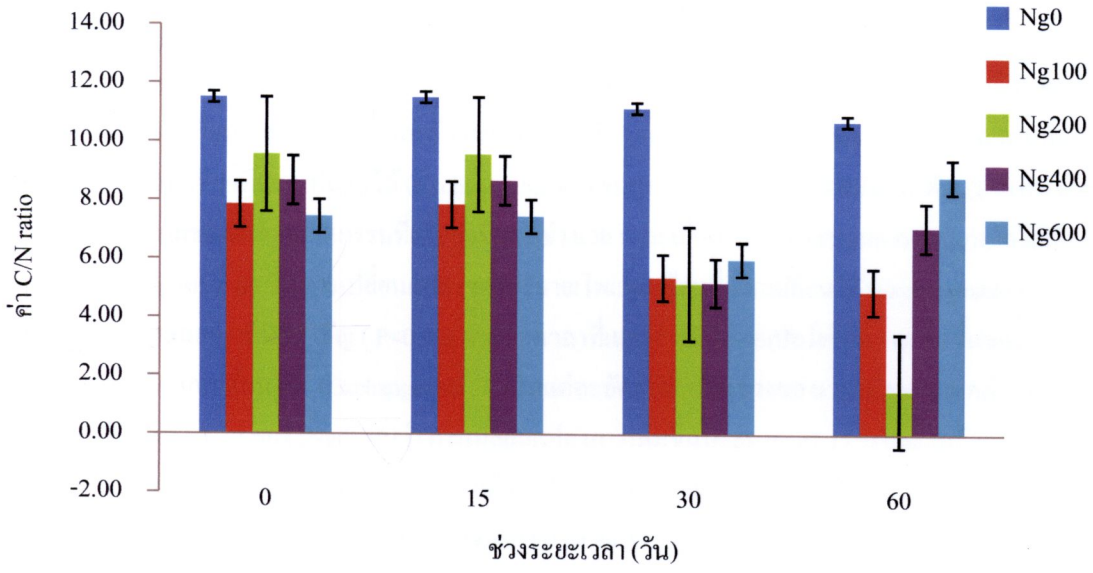
ผลการวิเคราะห์ค่า C/N ratio โดยใช้อัตราส่วนของ ปริมาณอินทรียวัตถุต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในชุดดินพิมาย(Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ค่า C/N ratio ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของค่า C/N ratio มีลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า C/N ratio ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ในชุดดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงการลดลงประมาณ 44.24 % และในอัตราส่วนทำให้มีการลดลงของค่า C/N ratio ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm200 (กากของเสียต่อดิน)(200g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 44.29 % ซึ่งไม่แตกต่างกันกับอัตราส่วนที่ไม่ใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร ดังแสดงในภาพที่ 39



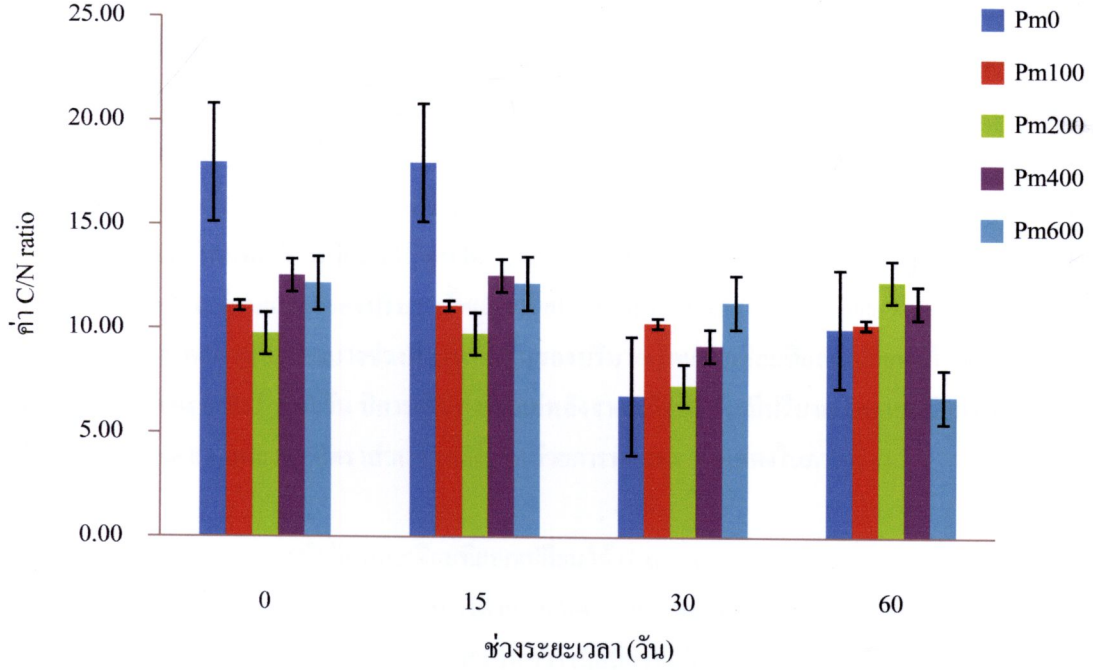
ภาพที่ 36 แสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน



ภาพที่ 37 แสดงแสดงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน



ภาพที่ 38 แสดงปริมาณ C/N ratio ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน



ภาพที่ 39 แสดงปริมาณ C/N ratioที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

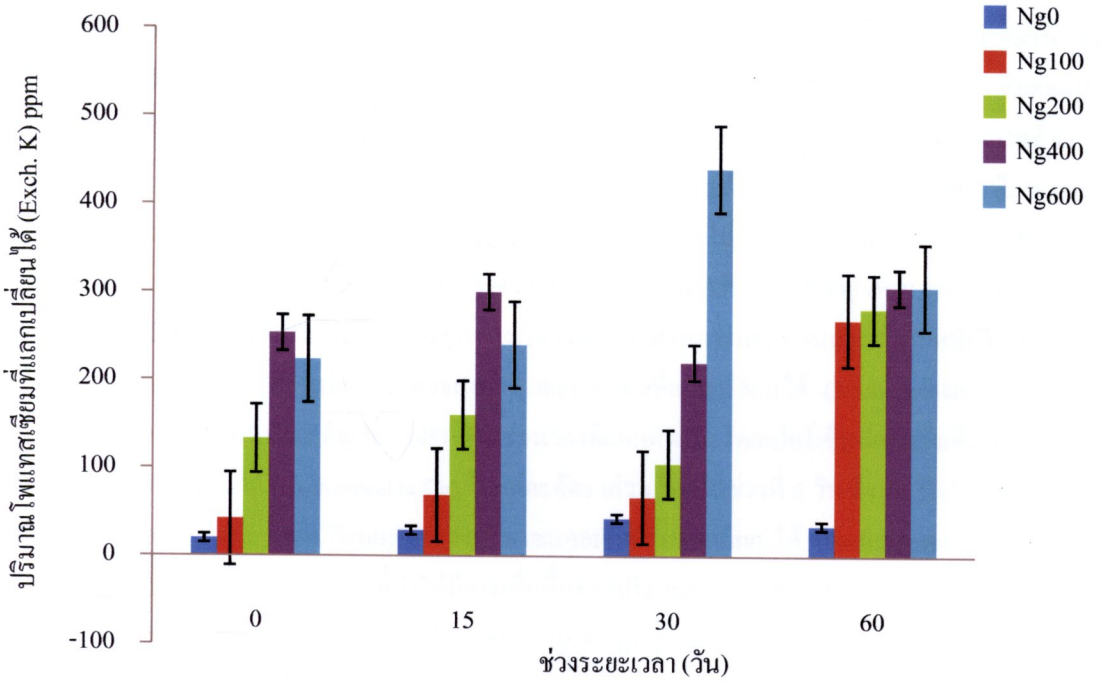
4.1.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลามีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 60 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นประมาณ 42.17 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng100 (กากของเสียต่อดิน)(100g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 84.37 % ดังแสดงในภาพที่ 40

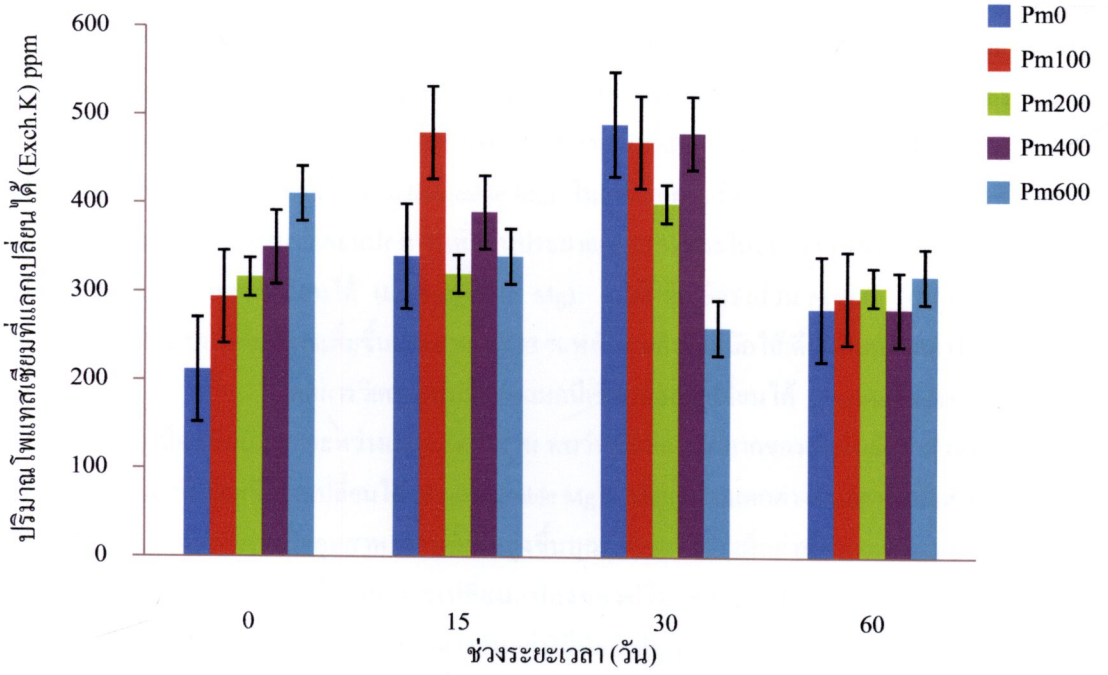
ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วน พบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K)ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ในดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพิ่มขึ้นประมาณ 56.80 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm0 (กากของเสียต่อดิน)(0g/400g) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของชุดดินพิมายมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันโดยบางช่วงมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โดยในช่วงของ 0 วัน ถึง 30 วัน มีการเพิ่มสูงขึ้นแต่หลังจากหลัง 30 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ลดลงทุกอัตราส่วนของแต่ละหน่วยการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 41

4.1.6 ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลา ในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน



ภาพที่ 40 แสดงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน



ภาพที่ 41 แสดงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

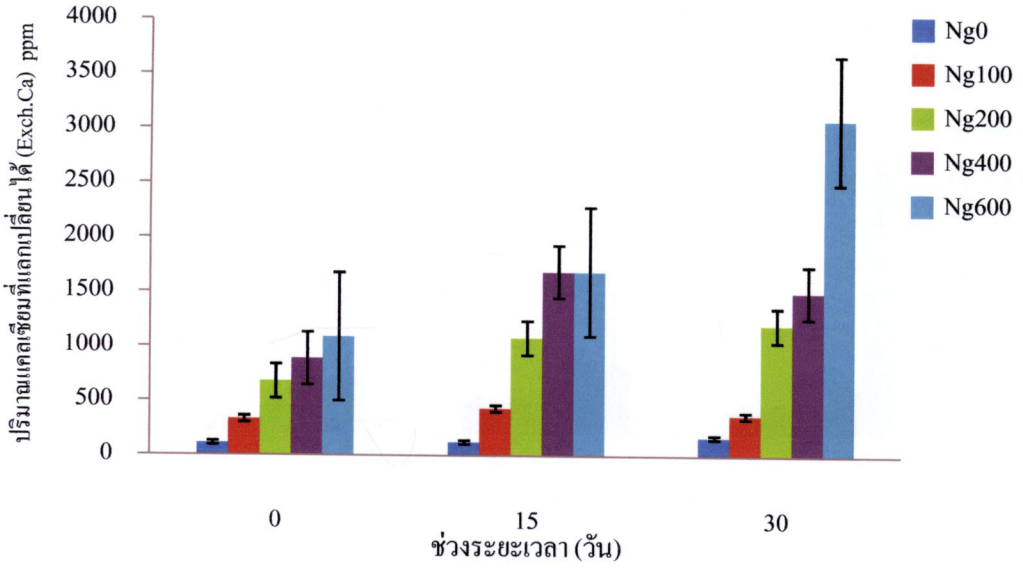
ของ(Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นประมาณ 34.11 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng600 (กากของเสียต่อดิน) (600g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 64.61 % หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินดังแสดงในภาพที่ 42

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วน พบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ในแต่ละอัตราส่วน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ในชุดดินพิมาย (Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) เพิ่มขึ้นประมาณ 75.70 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm0 (กากของเสียต่อดิน)(0g/400g) ส่วนในอัตราส่วนต่างๆมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 45-49 % ดังแสดงในภาพที่ 43

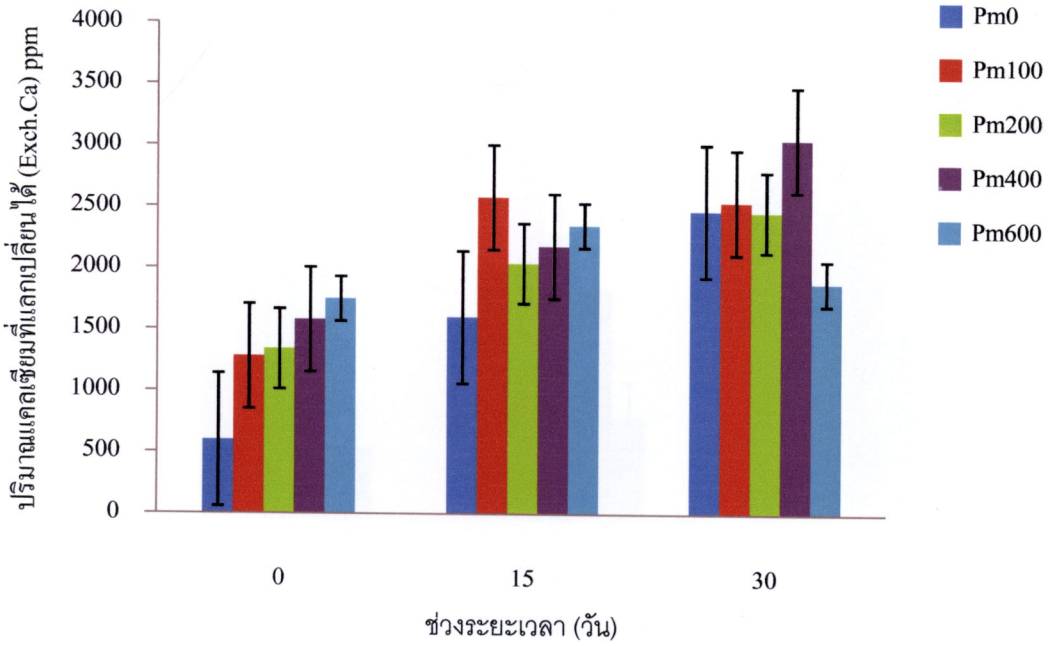
4.1.7 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลา ในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นประมาณ 8.33 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng600 (กากของเสียต่อดิน) (600g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 79.33 % หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินดังแสดงในภาพที่ 44

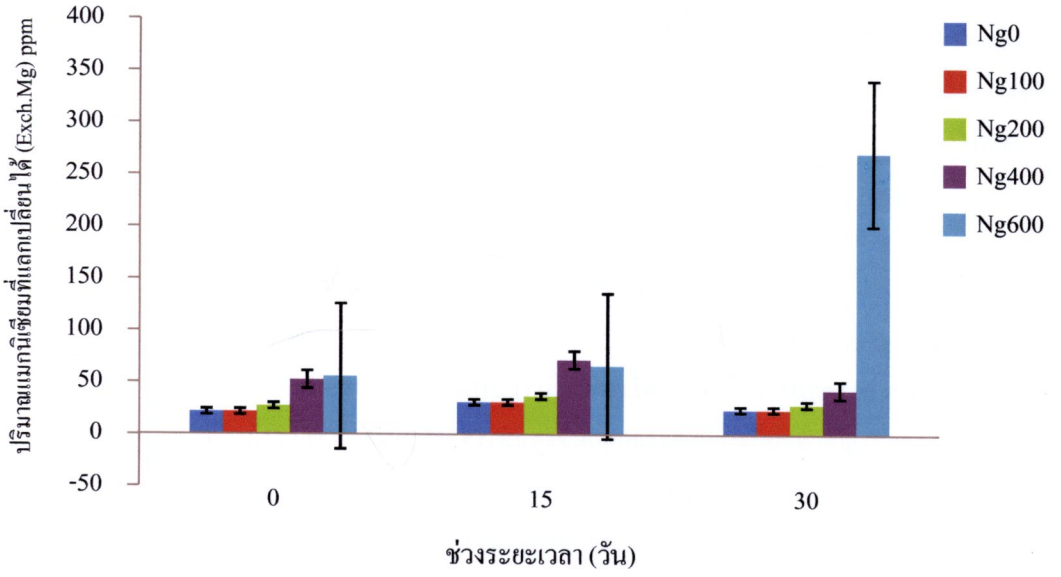
ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วน พบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่30วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ในแต่ละอัตราส่วน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ในดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่



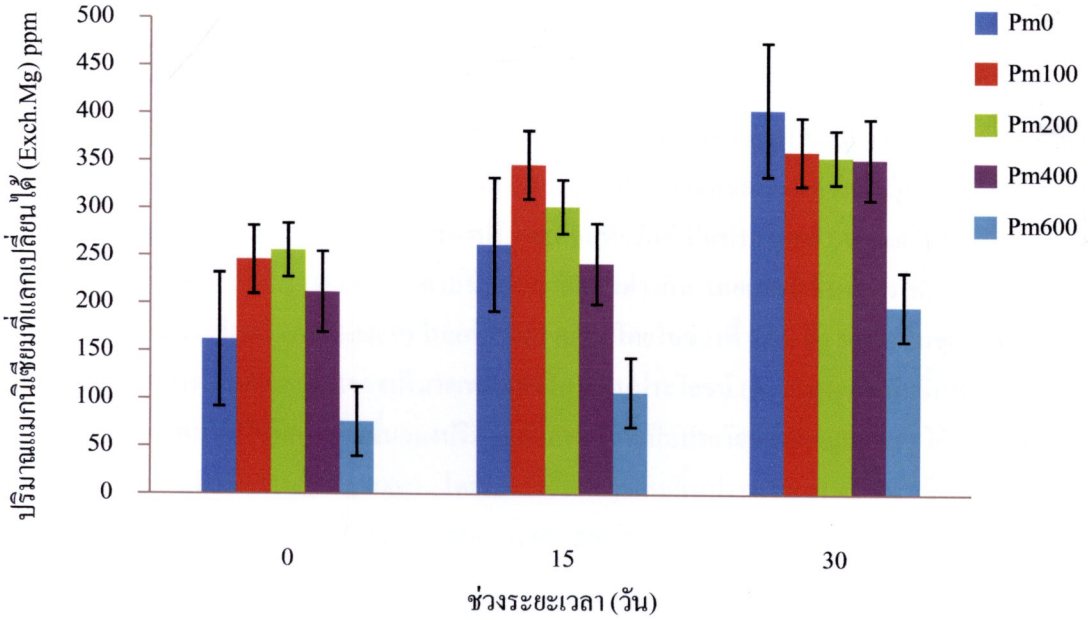
ภาพที่ 42 แสดงปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30 วัน



ภาพที่ 43 แสดงปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30วัน



ภาพที่ 44 แสดงปริมาณแมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30 วัน



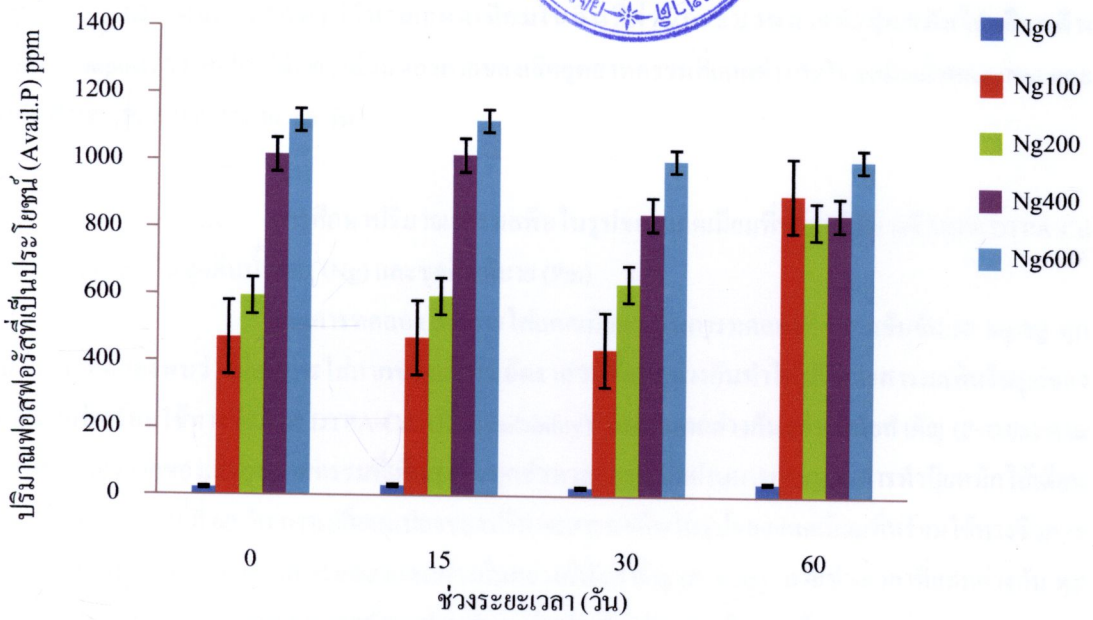
ภาพที่ 45 แสดงปริมาณแมกนิเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30วัน

แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) เพิ่มขึ้นประมาณ 59.90 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm600 (กากของเสียต่อดิน)(600g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 61.42 % ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันในอัตราที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 45

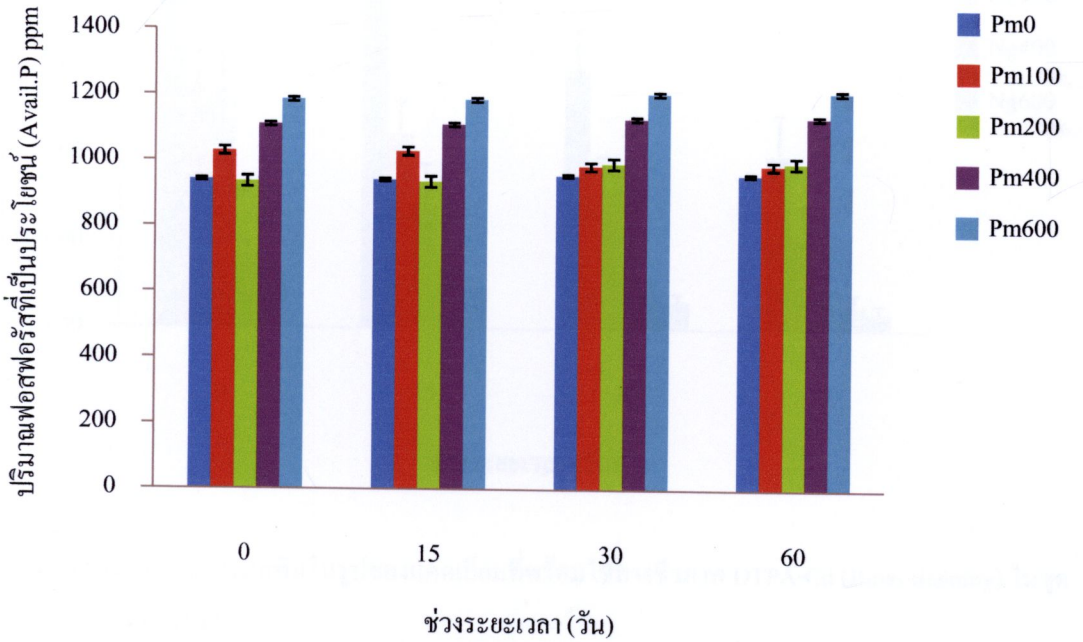
4.1.8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วนพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในแต่ละอัตราส่วนในช่วงของเวลา ในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ของ (Ng0) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการเพิ่มขึ้นประมาณ 8.33 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ได้ดีคือ อัตราส่วน Ng600 (กากของเสียต่อดิน) (600g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 79.33 % หลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินดังแสดงในภาพที่ 46

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในชุดดินพิมาย (Pm) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแต่ละอัตราส่วน พบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เพิ่มสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 30วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) มีการเพิ่มขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ในแต่ละอัตราส่วน โดยในช่วงที่ 0 วัน ถึง 30 วัน ในชุดดินพิมาย(Pm) โดยที่ Pm0 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) เพิ่มขึ้นประมาณ 59.90 % และในอัตราส่วนที่ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) ได้ดีคือ อัตราส่วน Pm600 (กากของเสียต่อดิน)(600g/400g) โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นประมาณ 61.42 % ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันระหว่าง Pm0 และ Pm600 ดังแสดงในภาพที่ 47



ภาพที่ 46 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) ที่ 0, 15, 30วัน

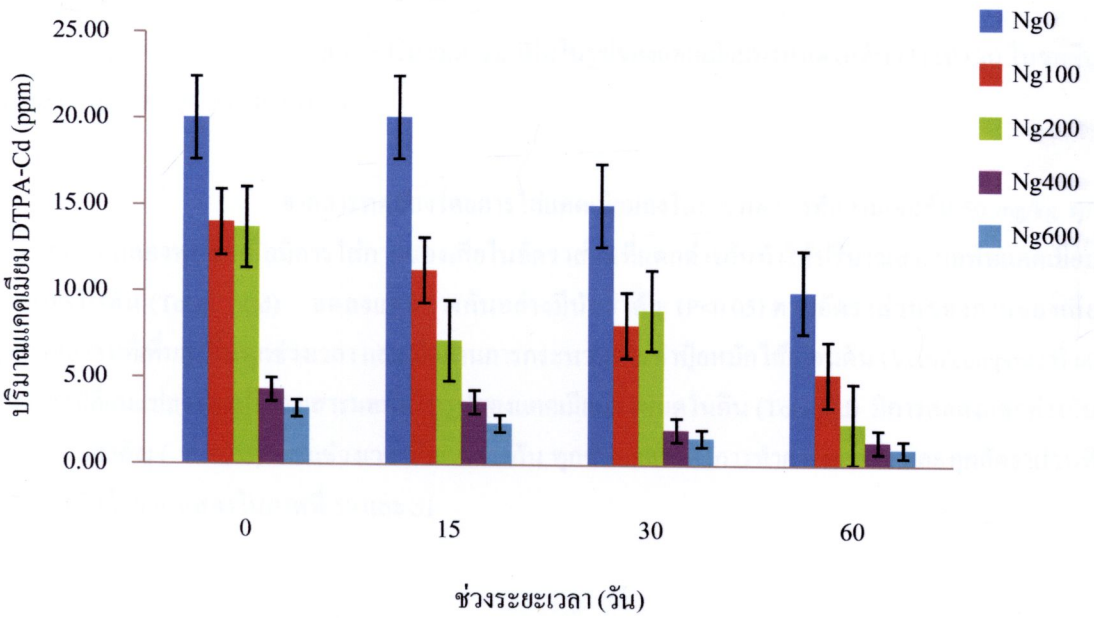


ภาพที่ 47 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30 วัน

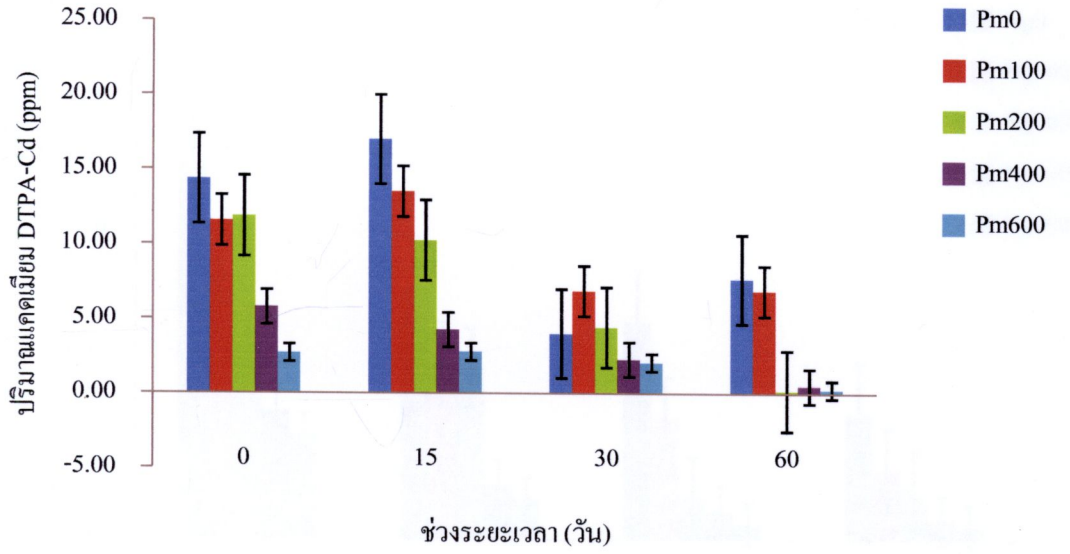
4.2 ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในดินที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

4.2.1 การศึกษาปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)

จากการทดลองโดยการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg ทุกหน่วยการทดลองพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) มีการลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทุกช่วงเวลาของการทำการทดลอง และทุกอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 48 และ 49



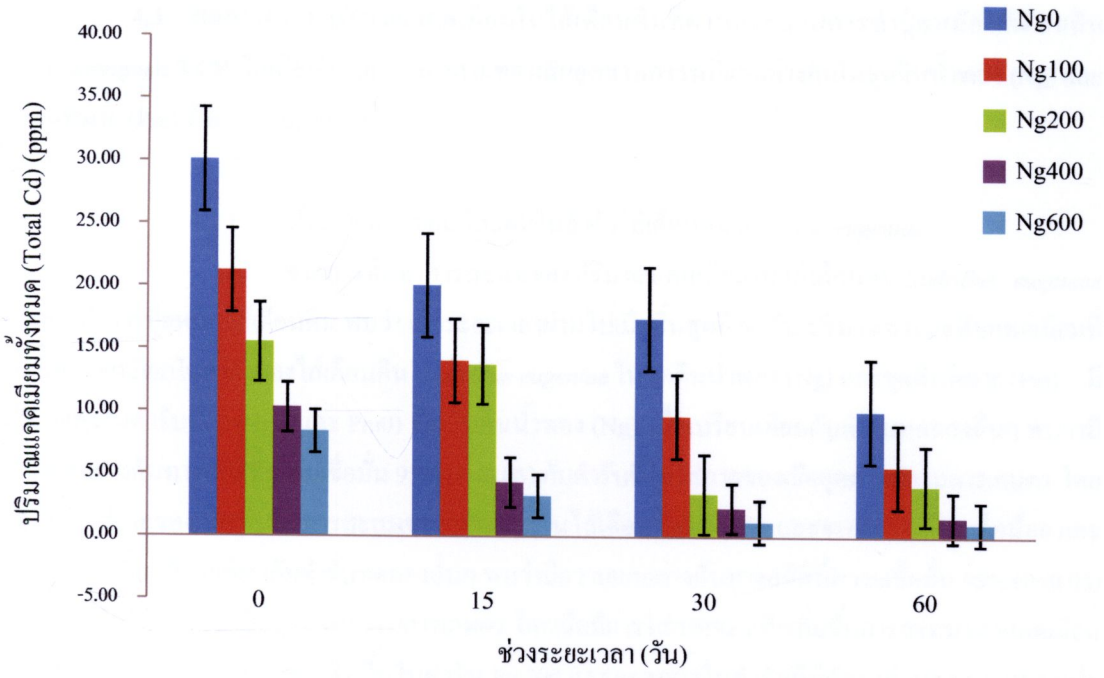
ภาพที่ 48 แสดงปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินน้ำพอง (Ng)



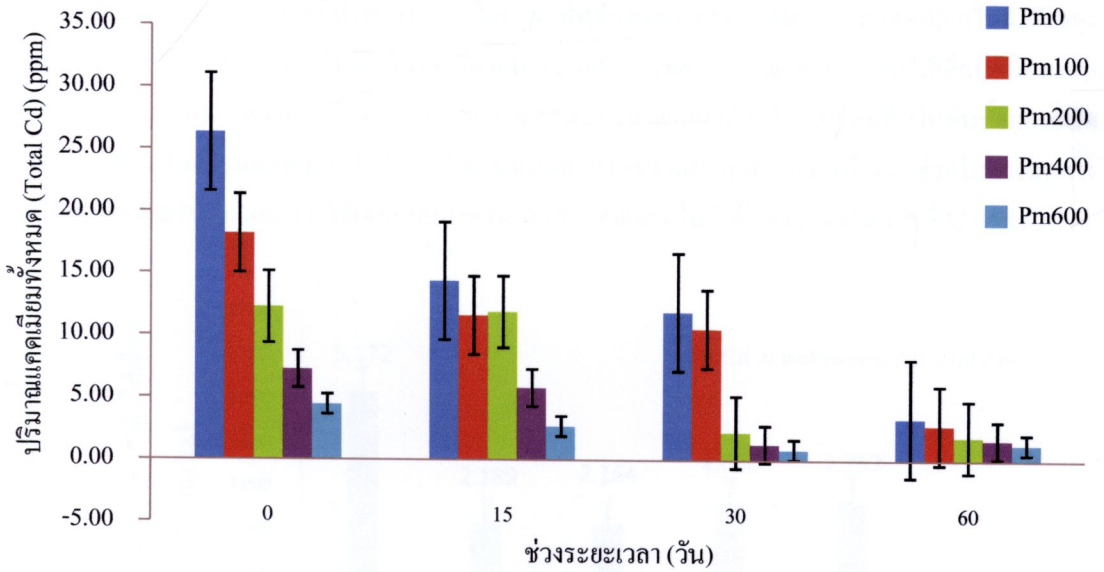
ภาพที่ 49 แสดงปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมที่พร้อมใช้ทางชีวภาพ DTPA-Cd (Bioavailability) ในชุดดินพิมาย (Pm)

4.2.2 การศึกษาปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และ ชุดดินพิมาย (Pm)

จากการทดลองโดยการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg ทุกหน่วยการทดลองพบว่า เมื่อมีการใส่กากของเสียในอัตราส่วนที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) ลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่เพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงเวลา และเมื่อผ่านการกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ที่ 60 วัน การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมทั้งหมดในดิน (Total Cd) มีการลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทุกช่วงเวลาของการทำการทดลอง และทุกอัตราส่วนที่แตกต่างกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 50 และ 51



ภาพที่ 50 แสดงปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) จากการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg

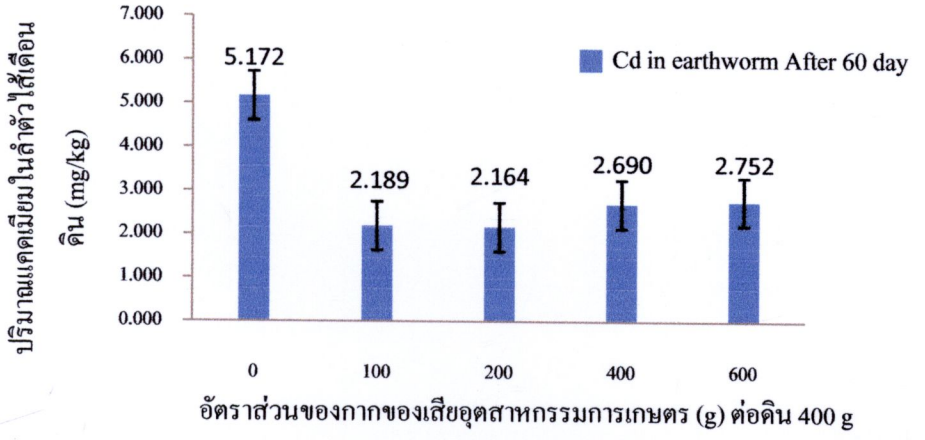


ภาพที่ 51 แสดงปริมาณสารมลพิษในรูปของแคดเมียมทั้งหมด (Total Cd) ในชุดดินพิมาย (Pm) จากการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg

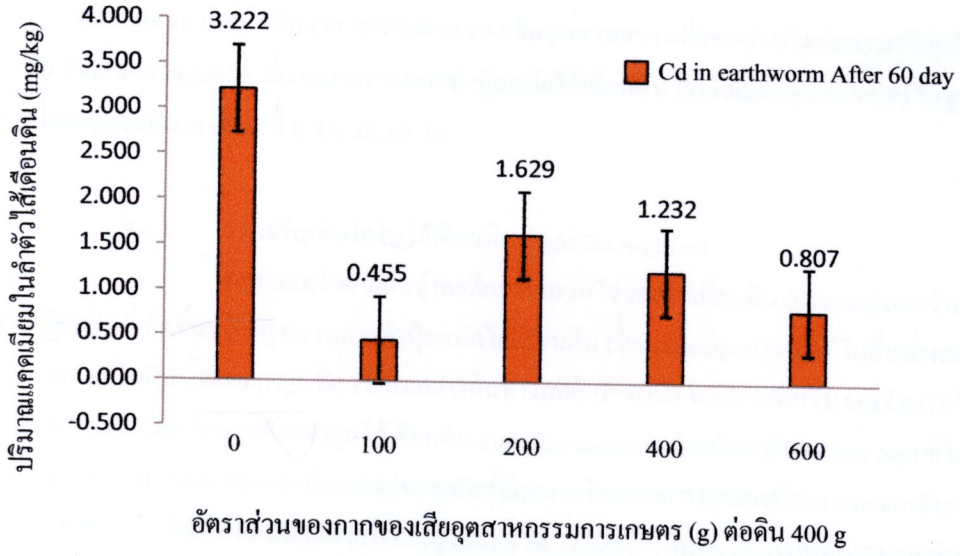
4.3 ผลการศึกษาปริมาณแคดเมียมในไส้เดือนดินที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) โดยใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

4.3.1 ปริมาณแคดเมียมที่สะสมในลำตัวไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

จากการศึกษาการสะสมของปริมาณแคดเมียมในไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* หลังการทำการปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปเมื่อสิ้นสุดที่ 60 วัน ปริมาณสารมลพิษแคดเมียมที่ปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) มีปริมาณสูงในตำรับที่ 1 (Ng0 และ Pm0) คือ ในดินน้ำพอง (Ng) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) กับตำรับที่ไม่ใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร โดยเมื่อมีการใส่กากของเสียเพิ่มขึ้นการสะสมของแคดเมียมในไส้เดือนดินจะลดลง และจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และในดินพิมายเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($P<0.05$) กับตำรับที่ไม่ใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร โดยเมื่อมีการใส่กากของเสียเพิ่มขึ้นการสะสมของแคดเมียมในไส้เดือนดินจะลดลง และจะเพิ่มขึ้นในตำรับ Pm200 และจะลดลงในตำรับที่มีอัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินทั้งสองชนิดพบว่า การเปลี่ยนแปลงของการปนเปื้อนแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินเมื่อสิ้นสุดที่ 60 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยประสิทธิภาพของการสะสมปริมาณแคดเมียมในลำตัวของไส้เดือนดินในดินน้ำพองจะดีกว่าในดินพิมาย เนื่องจากความเข้มข้นของปริมาณแคดเมียมในไส้เดือนดินของดินน้ำพองมีปริมาณการสะสมสูงกว่าในดินพิมาย และการสะสมปริมาณแคดเมียมในไส้เดือนดินในดินทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน ไส้เดือนดินและกากของเสียอุตสาหกรรมมีส่วนช่วยในการลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดิน แสดงว่าไส้เดือนดินสามารถสะสมแคดเมียมในลำตัว ดังแสดงในภาพที่ 52 และ 53



ภาพที่ 52 แสดงการสะสมของปริมาณแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ในชุดดินน้ำพอง (Ng) หลังกระบวนการการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) จากการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg



ภาพที่ 53 แสดงการสะสมของปริมาณแคดเมียมในลำตัวไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ในชุดดินพิมาย (Pm) หลังกระบวนการการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) จากการใส่แคดเมียมลงในการทดลองที่ความเข้มข้น 50 mg/kg

4.4 ผลของการใช้อัตราส่วนของกากของเสียอุตสาหกรรมที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตในไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost: VCP) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ 0, 15, 30, 60 วัน

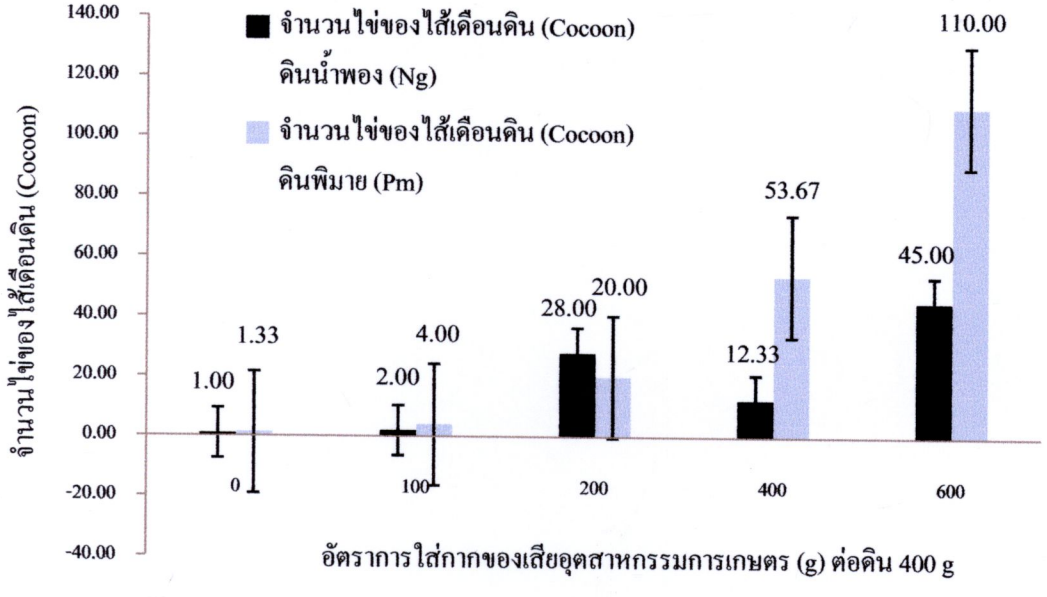
4.4.1 การเจริญเติบโตในไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae*

ผลการแพร่ขยายพันธุ์โดยศึกษาจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) พบว่า ในดินน้ำพองอัตราการแพร่ขยายพันธุ์ในดินน้ำพอง (Ng) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* โดยในตำรับทดลอง Ng0 ที่ไม่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรมีการแพร่ขยายพันธุ์น้อยมากโดยจากการทดลองอัตราการตายหลังจากผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินมีอัตราการตายสูงประมาณ 73.33% เป็นผลให้การเพิ่มการขยายพันธุ์ของไส้เดือนดินในตำรับทดลองนี้ต่ำไปด้วย และเมื่อมีการเพิ่มอัตราของปริมาณกากของเสียเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการอยู่รอดของไส้เดือนและอัตราการตายของไส้เดือนต่ำด้วย โดยที่ตำรับการทดลองที่มีอัตราการใส่กากของเสียในตำรับทดลอง Ng400 และ Ng600 พบว่า อัตราการตายของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ไม่มีการตายของไส้เดือนดินเกิดขึ้น เป็นผลให้มีการแพร่ขยายพันธุ์ของไส้เดือนดินโดยมีจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

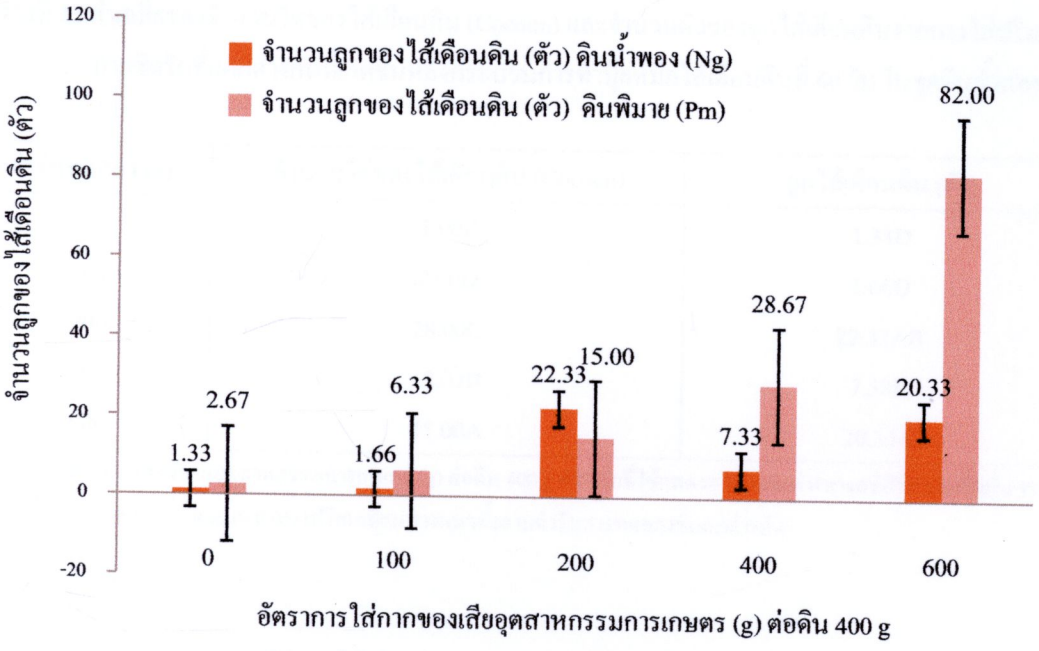
อัตราการแพร่ขยายพันธุ์ในดินพิมาย (Pm) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) ของการเพิ่มขึ้นของจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* โดยในตำรับทดลอง Pm0 ที่ไม่มีการใส่กากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตรมีการแพร่ขยายพันธุ์น้อย โดยจากการผลทดลองอัตราการตายหลังจากผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินอัตราการตายไม่มีผลต่อการแพร่ขยายของไส้เดือนดิน โดยเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของไส้เดือนดินสูง แต่อัตราการขยายพันธุ์ต่ำ เนื่องจากจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* มีจำนวนต่ำ แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราของปริมาณกากของเสียเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการอยู่รอดของไส้เดือนดินสูงและอัตราการตายของไส้เดือนดินต่ำด้วย โดยที่ตำรับการทดลองที่มีอัตราการใส่กากของเสียในตำรับทดลอง Pm400 และ Pm 600 พบว่า อัตราการตายของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* มีการตายของไส้เดือนดินประมาณ 13.33% และไม่มีอัตราการตายของไส้เดือนดินในตำรับ Pm600 เป็นผลให้มีการแพร่ขยายพันธุ์ของไส้เดือนดินโดยมีจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนกากของเสียอุตสาหกรรมการเกษตร

4.4.2 การเปรียบเทียบจำนวนของไข่ (Cocoon) ของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ระหว่างชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน พบว่า การแพร่ขยายพันธุ์ของจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในดินน้ำพองจะมีการแพร่ขยายพันธุ์ในอัตราที่ต่ำกว่าในดินพิมาย ทุกตำรับการทดลองยกเว้นที่อัตราของปริมาณกากของเสียต่อดิน (200g/400g) ที่มีการแพร่ขยายพันธุ์ต่ำในดินพิมาย แต่ส่วนมากแล้วจำนวนไข่ของไส้เดือนดินหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินในดินพิมายการแพร่ขยายจะสูงกว่าในดินน้ำพอง โดยอัตราการอยู่รอดของไส้เดือนดินในชุดดินพิมายจะสูงกว่าในชุดดินน้ำพองดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังแสดงในภาพที่ 54 และตาราง 25

4.4.3 การเปรียบเทียบจำนวนลูกของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* ระหว่างชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm) ที่ผ่านกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน พบว่า การแพร่ขยายพันธุ์ของจำนวนลูกของไส้เดือนดิน *Eudrillus eugeniae* มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในดินน้ำพองจะมีการแพร่ขยายพันธุ์ขอลูกไส้เดือนดินในอัตราที่ต่ำกว่าในชุดดินพิมาย ทุกตำรับการทดลองยกเว้นที่อัตราของปริมาณกากของเสียต่อดิน (200g/400g) ที่มีการแพร่ขยายพันธุ์ต่ำในชุดดินพิมาย แต่ส่วนมากแล้วจำนวนลูกของไส้เดือนดินหลังการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินในชุดดินพิมายการแพร่ขยายจะสูงกว่าในดินน้ำพอง โดยการที่การเปรียบเทียบระหว่างสองชุดดิน เพื่อทำให้ทราบความเป็นไปได้ในการขยายพันธุ์ การอยู่รอดในดินที่แตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติของดินทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นการแพร่ขยายพันธุ์ของไส้เดือนดินก็แตกต่างกัน จึงหาแนวทางในการใช้กากของเสียในการจัดการดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมที่แตกต่างกันโดยอัตราการอยู่รอดของไส้เดือนดินในชุดดินพิมายจะสูงกว่าในดินน้ำพองดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นดังแสดงในภาพที่ 55 และตารางที่ 26



ภาพที่ 54 แสดงจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินพิมาย (Pm)



ภาพที่ 55 แสดงจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดิน (Vermicompost) ในชุดดินน้ำพอง (Ng) และ ชุดดินพิมาย (Pm)

ตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยของจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินจากการใส่ปริมาณกากชิตริกที่แตกต่างกันที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 60 วัน ในชุดดินน้ำพอง

ตำรับทดลอง (g)	จำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon)	ลูกไส้เดือนดิน (ตัว)
0	1.00E	1.33D
100	2.00D	1.66D
200	28.00C	22.33AB
400	12.33B	7.33B
600	45.00A	20.33A

หมายเหตุ: อัตราส่วนของกากอุตสาหกรรมการเกษตร (g) ต่อดิน 400 g ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, P<0.05) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามตำรับการทดลองที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยของจำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon) และจำนวนตัวของลูกไส้เดือนดินจากการใส่ปริมาณกากชิตริกที่แตกต่างกันที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการทำปุ๋ยหมักไส้เดือนดินที่ 60 ในชุดดินพิมาย

ตำรับทดลอง (g)	จำนวนไข่ของไส้เดือนดิน (Cocoon)	ลูกไส้เดือนดิน (ตัว)
0	1.33E	2.67E
100	4.00D	6.33D
200	20.00C	15.00C
400	53.67B	28.67B
600	110.00A	82.00A

หมายเหตุ: อัตราส่วนของกากอุตสาหกรรมการเกษตร (g) ต่อดิน 400 g ค่าเฉลี่ยที่ใช้แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95 % โดย (ANOVA; Tukey's F-test, P<0.05) เปรียบเทียบทางแนวตั้งตามตำรับการทดลองที่แตกต่างกัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย