

**การศึกษากายวิภาคและการบำบัดกากตะกอนแห้งจากศูนย์ผลิตภัณฑนม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนโดยใช้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae***

**Anatomy and Treatment of Dry Sludge from Kasetsart University
Dairy Center by *Eudrilus eugeniae***

คำนำ

ชาร์ลส์ คาร์วิน กล่าวว่าไส้เดือนดินเปรียบเสมือนลำไส้ของโลก (Edwards, 1977) เนื่องจากไส้เดือนดินสามารถย่อยสลายเศษซากพืชให้รวมเข้าด้วยกันกับดินได้ ตั้งแต่ปี ค.ศ.1881 เป็นต้นมา มีนักวิทยาศาสตร์คนอื่นๆ ศึกษาถึงบทบาทของไส้เดือนดินและได้พิสูจน์ให้เห็นว่าไส้เดือนดินก่อให้เกิดประโยชน์กับดินหลายๆด้าน ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินได้เป็นอย่างดี ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มหนอนซึ่งแพร่กระจายอย่างกว้างขวางทั่วโลกที่พบได้ตามดินบริเวณต่างๆ ไส้เดือนดินอาจมีขนาดความยาวเพียงไม่กี่มิลลิเมตรจนถึงขนาดยาวหลายฟุตแต่โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่ามีความยาวหลายนิ้ว ไส้เดือนดินจัดว่ามีความสำคัญในระบบนิเวศดิน เนื่องจากเป็นมวลชีวภาพส่วนใหญ่ในมวลรวมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในดิน

Eudrilus eugeniae ชื่อสามัญคือ african nightcrawler หรือ giant nightcrawler เป็นไส้เดือนดินพื้นเมืองในทวีปอาฟริกา แต่ได้มีการนำมาเพาะเลี้ยงและผสมพันธุ์กันอย่างกว้างขวางใน อเมริกา แคนาดา ยุโรปและเอเชีย เมื่อเลี้ยง *E. eugeniae* ในสภาวะที่เหมาะสมจะเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ลูกครวบรวมทั้งสามารถเจริญเติบโตในวัสดุที่ใช้เลี้ยงได้ดี จึงพบกระจายได้ทั่วโลก จุดประสงค์ของการเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่เพื่อใช้ในธุรกิจเหี่ยวคอกปลา แต่ปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจใช้ไส้เดือนดินในการบำบัดของเสียต่างๆ เช่น มูลสัตว์ เศษพืช เศษอาหาร ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะและสิ่งปฏิกูล เนื่องจากการศึกษาพบว่าไส้เดือนดินหลายชนิดมีบทบาทต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุให้เป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพสูง (Edwards and Burrows, 1998)

กระบวนการในการผลิตของศูนย์ผลิตภัณฑ์นม มีปริมาณน้ำทิ้งจำนวนมากในแต่ละวัน และ ก่อให้เกิดตะกอนน้ำทิ้งเช่นเดียวกับโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงบำบัดน้ำทิ้งโดยทั่วไป สำหรับน้ำทิ้งเมื่อปล่อยให้แห้งจะเกิดเป็นกากตะกอนแห้งกองทับถมกันปริมาณมาก โดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากเท่าใดนัก วิธีการจัดการเบื้องต้นคือการกองรวมกันบนพื้นดินเพื่อให้ย่อยสลายเองตามธรรมชาติและบางส่วนจะถูกนำไปใช้ปลูกต้นไม้ ส่วนวัตถุประสงคิในด้านอื่นยังไม่มีการทดลองดำเนินการ

กากตะกอนแห้งจัดเป็นของเสีย (waste) ประเภทหนึ่ง (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2538; งบอาจ, 2542) ต้องมีการจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม การจัดการกากตะกอนแห้งนอกจากการฝังกลบหรือการเผาแล้ว แนวทางหรือวิธีการบำบัดที่เกิดขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมโดยทั่วไปอีกวิธีการหนึ่งซึ่งง่ายและสะดวก คือการนำเอาของเสียไปใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) เนื่องจากของเสียมีส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุหลายชนิดที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย ปัจจุบันในต่างประเทศมีโครงการทำปุ๋ยหมักร่วมกับการใช้ไส้เดือนดินช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุซึ่งประสบความสำเร็จและเริ่มเกิดเป็นธุรกิจการค้าอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศแถบยุโรปหลายประเทศ ประเทศคิวบา สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศสและประเทศในแถบภูมิภาคเอเชีย เช่น อินเดียและฟิลิปปินส์ (Gasser, 1985) สำหรับประเทศไทยนั้นการนำเอาของเสียมาทำปุ๋ยหมักร่วมกับการใช้ไส้เดือนดินช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุถือเป็นเรื่องใหม่ แต่จากงานวิจัยของนักวิชาการหลายท่านพบว่า เป็นวิธีการที่เกิดประโยชน์กับเกษตรกรรมมากพอสมควรและคุ้มค่ากับการลงทุน เพราะระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุระหว่างการใช้ไส้เดือนดินกับการไม่มีไส้เดือนดินนั้นใกล้เคียงหรือเร็วกว่าการทำปุ๋ยหมักโดยทั่วไป (บรรจงศักดิ์, 2541) ดังนั้นการบำบัดของเสียโดยใช้ไส้เดือนดินช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในกากตะกอนแห้งเป็นวิธีการที่น่าสนใจและควรศึกษา เพราะผลผลิตจากการใช้ไส้เดือนดินช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ นอกจากเกิดปุ๋ยหมักแล้วยังสามารถเป็นวิธีการในการบำบัดของเสียแนวทางใหม่ที่สอดคล้องกับสภาพสังคมและเศรษฐกิจในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

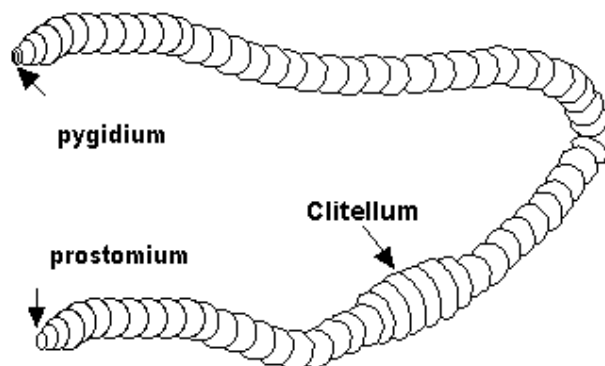
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสัณฐานวิทยาและกายวิภาคบางประการของไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae*
2. ศึกษาวัฏจักรชีวิตของไส้เดือนดิน *E. eugeniae*
3. ศึกษาศักยภาพของไส้เดือนดิน *E. eugeniae* ในการบำบัดกากตะกอนแห้งจากศูนย์ผลิตถ่านไหม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดิน เป็นสัตว์ในไฟลัม แอนเนลิดา (Phylum Annelida) ชั้น โอลิโกคีตา (Class Oligochaeta) ลักษณะเด่นของสัตว์ในไฟลัมนี้คือลำตัวเป็นปล้อง (segment) เรียงต่อกัน ปล้องของไส้เดือนดินแต่ละปล้องมีความกว้างใกล้เคียงกันและสัมพันธ์กับการเป็นปล้องภายใน (Kozloff, 1990; นงนุช, 2541; บพิธ และ นันทพร, 2541) ไส้เดือนดินทั่วโลกพบว่ามีประมาณ 3,500 ชนิด (Pechenic, 2005; Ruppert *et al.*, 2004) ส่วนมากอาศัยอยู่บนบกในดินที่ค่อนข้างชื้นและมีอินทรีย์วัตถุ ไส้เดือนดินในเมืองไทยที่สามารถพบได้นั้นมีหลายชนิดแต่ชนิดที่ใหญ่และหาง่ายตามดินร่วนซุยขึ้นๆ มักเป็นชนิด *Pheretima peguana* (สุรินทร์, 2536) และ *Pheretima posthuma* ซึ่งมีลักษณะต่างๆ คล้ายกันมาก (เชาวน์ และ พรณี, 2528) ไส้เดือนดินในทวีปยุโรปและอเมริกาส่วนใหญ่เป็นไส้เดือนในวงศ์ *Lumbricidae* (Stephenson, 1930; Kozloff, 1990) และไส้เดือนดินในทวีปอาฟริกาคือไส้เดือนดินวงศ์ *Eudrilidae* (Edwards, 1977)



ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของไส้เดือนดิน

ที่มา: Anonymous (2005a)

setal pairing arrangement

closely paired



widely paired



separate



ภาพที่ 2 ลักษณะการจัดเรียงตัวของซีตัสแบบต่างๆ

ที่มา: Anonymous (2005b)

1. ลักษณะภายนอก

ไส้เดือนดินมีรูปร่างทรงกระบอกยาวลำตัวเป็นปล้อง (segment) เรียงต่อกัน ปล้องทุกปล้องมีเดือยหรือซีตัส (setae) เป็นแท่งยื่นออกมาที่ผิวหนังและปล้องแต่ละปล้องมีลักษณะเดียวกัน ด้านท้องแบนเล็กน้อยและสีซีดกว่าด้านหลัง รูปร่างสมมาตรแบบซ้ายขวา (bilateral symmetry) มีคิวทิเคิล (cuticle) หุ้มลำตัวเป็นมันวาวและมีแสงเรืองทำให้เกิดสีคล้ายสีรุ้ง ผิวตัวเปื่อยขึ้นอยู่ตลอดเวลาเกิดจากเมือกที่สร้างมาจากต่อมเมือกที่ผนังตัวชั้นอีพิเดอร์มิส (epidermis) สร้างเมือกปล่อยออกมาเคลือบผิวหนัง

ลำตัวของไส้เดือนดินประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

1.1 โพรสโทเมียม (prostomium) หรือ อะครอน (acron) อยู่หน้าสุดของลำตัว เป็นติ่งเนื้อหน้าปากสามารถยืดหดได้ ทำหน้าที่คล้ายริมฝีปากบนสำหรับจับอาหารและขูดดินเวลาเคลื่อนที่ โพรสโทเมียมไม่จัดว่าเป็นปล้อง เนื่องจากมีโครงสร้างไม่เหมือนปล้องที่แท้จริง

1.2 เพริสโทเมีย (peristomium) เป็นลำตัวปล้องแรกและจัดเป็นปล้องที่แท้จริง กึ่งกลางปล้องมีช่องปาก (mouth) มาเปิดออก ปล้องลำตัวแต่ละปล้องมีเดือยหรือซี่เล็กๆ อยู่รอบทุกปล้อง จำนวนและการจัดเรียงตัวของเดือยหรือซี่นี้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนดิน บริเวณรอยต่อระหว่างปล้องมีลักษณะเป็นร่องเรียกว่า intersegment groove ปล้องที่มีอวัยวะที่สำคัญเกี่ยวกับการกินอาหารและการสืบพันธุ์ตั้งอยู่บริเวณปล้องทางตอนหน้า (บพิธ และ นันทพร, 2541) ปล้องบางปล้องหนาขึ้นเป็นปลอกเนื้อเรียกว่าไคลเทลลัม (clitellum) เห็นได้ชัดเจนในตัวที่เจริญพันธุ์ ตำแหน่งของไคลเทลลัมแตกต่างกันในแต่ละชนิด

นอกจากนี้บนปล้องลำตัวบางปล้องของไส้เดือนดินมีช่องเปิดของอวัยวะต่างๆ คือ

1.2.1 ช่องเพศผู้ (male pore) อยู่สองข้างทางด้านท้องของปล้องส่วนหน้าของลำตัว แต่จะเป็นปล้องใดขึ้นอยู่กับชนิด ช่องเพศผู้เป็นรูสำหรับปล่อยอสุจิและบริเวณใกล้กับช่องเพศผู้ด้านหน้าหรือด้านท้ายมีปุ่มซึ่งใช้สำหรับยึดกับอีกตัวหนึ่งเวลาแลกเปลี่ยนอสุจิแก่กัน ปุ่มนี้เรียกว่าปุ่มสืบพันธุ์ (genital papillae, copulatory papillae) จำนวนของปุ่มสืบพันธุ์มีความแตกต่างกันในไส้เดือนดินแต่ละชนิด สำหรับ *Lumbricus sp.* มี 1 คู่ (Kozloff, 1990)

1.2.2 ช่องเปิดของถุงรับอสุจิ (seminal receptacle, spermatheca) โดยทั่วไปไส้เดือนดินจะมีถุงรับอสุจิ 2 คู่ (Kozloff, 1990) บางชนิดมีมากถึง 7 คู่ (Edwards, 1972) บางชนิดไม่มีเลย ช่องเปิดของถุงรับอสุจิมักอยู่ในร่องระหว่างปล้องทางด้านท้องหรือสองข้างของด้านท้อง ถุงรับอสุจิจัดเป็นอวัยวะเพศเมีย ซึ่งมีหน้าที่เก็บพักอสุจิที่ได้รับจากการผสมพันธุ์เอาไว้

1.2.3 ช่องเพศเมีย (female pore) ส่วนใหญ่มี 1 คู่อยู่ในร่องระหว่างปล้องหรือบนปล้อง (Edwards and Lofty, 1972) แต่ช่องเพศเมียอาจเป็นช่องเดี่ยวซึ่งเกิดจากท่อไข่เชื่อมรวมกันก่อนเปิดออกมาที่ผิวหนัง ช่องเพศเมียเป็นรูสำหรับปล่อยไข่

1.2.4 รูด้านหลัง (dorsal pore) เป็นช่องขนาดเล็กอยู่ในร่องระหว่างปล้องทางด้านหลังในแนวเส้นกลางตัว เป็นรูเปิดซึ่งเป็นทางออกของของเหลวในช่องตัว (coelomic fluid) มีหน้าที่กำจัดของเสียในช่องตัวและทำให้ร่างกายชุ่มชื้นอยู่เสมอ รูด้านหลังในไส้เดือนดินอาจมองเห็นได้ยาก (Kozloff, 1990)

2. ลักษณะภายใน

2.1 ผนังตัว (body wall) ประกอบด้วย

2.1.1 คิวทิเคิล (cuticle) เป็นผนังตัวชั้นนอกสุดที่บางมาก คิวทิเคิลโปร่งใสหรือมันวาว ปกคลุมชั้นเยื่อผิวหนังเอาไว้

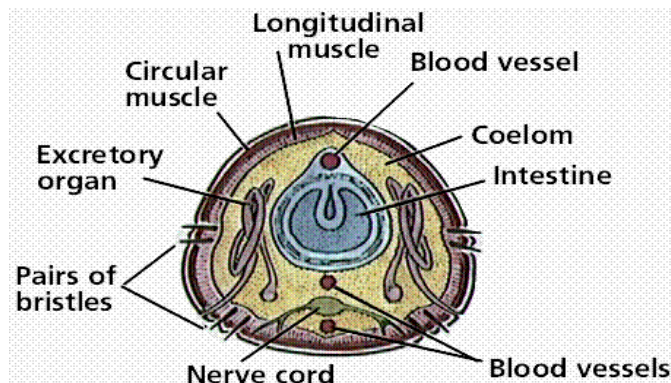
2.1.2 ชั้นเยื่อผิวหนัง (epidermis) อยู่ถัดจากคิวทิเคิล เป็นเนื้อเยื่อชั้นเดียวประกอบด้วย เซลล์หลายชนิดแทรกตัวอยู่ในชั้นเยื่อผิวหนัง ทำหน้าที่สร้างคิวทิเคิลและเมือกฉาบที่ผิวของคิวทิเคิล เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวแห้งและช่วยหล่อลื่นในเวลาเคลื่อนที่ นอกจากนี้บนเยื่อผิวหนังมีเซลล์รับความรู้สึก (sensory cells) กระจายทั่วไปเพื่อรับรู้การกระตุ้นจากการสัมผัสสิ่งต่างๆของเนื้อเยื่อ

2.1.3 ชั้นกล้ามเนื้อ (muscle layers)

ก. กล้ามเนื้อรอบวง (circular muscle) ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อที่เรียงตัวตามแนวเส้นรอบวงของลำตัว

ข. กล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) เป็นเส้นใยตามความยาวของลำตัว มีความหนากว่ากล้ามเนื้อรอบวง และมีเยื่อเพอริโทเนียมบุที่ด้านในของกล้ามเนื้อ

2.2 ซีลอม (coelom) ช่องตัวเป็นโพรงระหว่างผนังตัว (body wall) กับท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) ซีลอมมีความยาวตลอดลำตัวและมีของเหลว (coelomic fluid) บรรจุอยู่ บริเวณรอยต่อระหว่างปล้องนั้นมีเยื่อเกี่ยวพันตามขวางจากผนังลำตัว (body wall) จรดท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) ทำให้แบ่งซีลอมออกเป็นโพรงของปล้องแต่ละปล้อง ตำแหน่งของผนังกันส่วนใหญ่จะตรงกับร่องระหว่างปล้องภายนอก และแต่ละผนังกันมีรูสำหรับให้ของเหลวในซีลอมผ่านไปมาระหว่างปล้องได้อย่างอิสระ



ภาพที่ 5 ผนังตัวและซีลอม

ที่มา: Anonymous (2001)

2.3 ท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) เป็นท่อตรงจากปากไปออกทวารหนัก มีการแปรสภาพท่อนบางส่วนไปเป็นอวัยวะปาก คอหอย หลอดอาหาร กระเพาะพัก กระเพาะบด และลำไส้

2.3.1 อวัยวะปาก (buccal cavity) มีขนาดเล็กและสั้นอยู่ใต้โพสโทเมียม

2.3.2 คอหอย (pharynx) อยู่ถัดจากอวัยวะปาก คอหอยหนาด้วยกล้ามเนื้อทำหน้าที่ในการดูดอาหาร บริเวณคอหอยมีต่อมฟาริงซ์ (pharyngeal glands) สร้างสารละลายที่เป็นเมือกและเอนไซม์

2.3.3 หลอดอาหาร (esophagus) เป็นท่อแคบและเล็ก ตอนท้ายแปรสภาพเป็นกระเพาะพัก (crop) และกระเพาะบด (gizzard) ผนังของหลอดอาหารสองข้างซ้ายขวามีส่วนที่โป่งออกเป็นต่อมแคลซิเฟอร์ (calcareous gland) เปิดเข้าหลอดอาหาร หน้าที่ของต่อมแคลซิเฟอร์ คือกำจัดแคลเซียมที่เข้าสู่ร่างกายมากเกินไปจนจำเป็นแล้วกำจัดออกในรูปของผลึกแคลไซต์ไปกับกากอาหาร ส่วนในไส้เดือนน้ำต่อมแคลซิเฟอร์ทำหน้าที่กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไป (Rupert *et al.*, 2004)

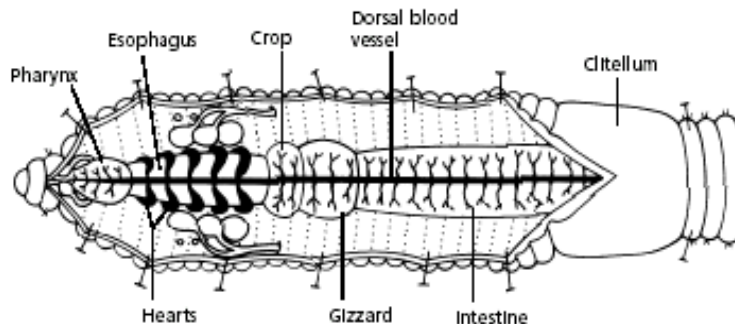
2.3.4 กระเพาะพัก (crop) เป็นถุงผนังบางสำหรับพักเก็บอาหาร

2.3.5 กระเพาะบด (gizzard) มีผนังกล้ามเนื้อและบุด้วยคิวทิเคิลที่หนากว่าในกระเพาะพักสำหรับการบดย่อยอาหาร ไข่เคื่องดินบางชนิดมีกระเพาะบด 2-10 กระเพาะ และบางชนิดไม่มีกระเพาะบด (Rupert *et al.*, 2004)

2.3.6 ลำไส้ (intestine) เป็นท่อยาวตรงไปตลอดลำตัว ลำไส้ตอนหน้าสร้างสารคัดหลั่งและมีการย่อยอาหาร ส่วนลำไส้ตอนท้ายทำหน้าที่ดูดซับ ลำไส้ของไข่เคื่องดินบางชนิดมีผนังลำไส้ด้านหลังที่เว้าเข้าไปภายในลูเมนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของลำไส้เรียกว่าไทโฟลซอล (typhlosol) (Kozloff, 1990)

ผนังลำไส้ประกอบด้วยชั้นเนื้อเยื่อ 4 ชั้นคือ peritoneal layer เป็นชั้นนอกสุด ทำหน้าที่สะสมไขมัน ถัดมาเป็นชั้นกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) และกล้ามเนื้อรอบวง (circular muscle) สุดท้ายเป็นเยื่อบุลำไส้ชั้นในสุด (intestinal epithelium)

2.3.7 ทวารหนัก (anus) ทำหน้าที่ขับถ่ายกากอาหารและมีการห่อหุ้มกากอาหารที่ไม่ถูกย่อยนั้นด้วยเมือกจากเยื่อบุผนังลำไส้ แล้วขับออกมาเป็นมูลของไข่เคื่องดินซึ่งเป็นขุยมูลดินลักษณะร่วนไม่เกาะตัวกันอยู่ตามพื้นดินเรียกว่า แคสต์ (cast) หรือ vermicast แคสต์จัดเป็นปุ๋ยธรรมชาติที่สำคัญชนิดหนึ่งในดินที่ทำให้เกิดประโยชน์กับชั้นดินและต้นพืช



ภาพที่ 6 ท่อทางเดินอาหารของ *Lumbricus sp.*

ที่มา: Massengale (2000)

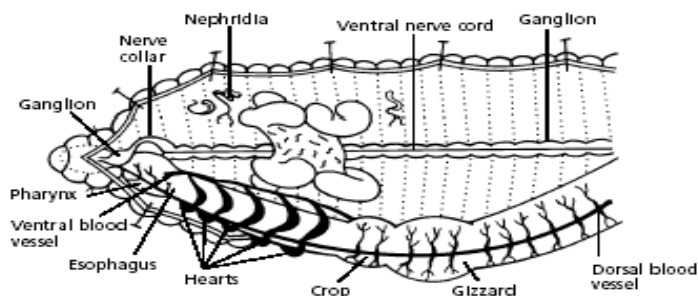
2.4 การแลกเปลี่ยนแก๊ส (gas exchange) ไส้เดือนดินไม่มีอวัยวะจำเพาะสำหรับการหายใจ ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านคิวทิเคิลและเยื่อผิวหนังโดยผ่านความชื้นที่ขี้โลมผิวหนังอยู่ แล้วเข้าสู่กระแสเลือดซึ่งมีรงควัตถุในการหายใจคือฮีโมโกลบิน (haemoglobin)

2.5 ระบบหมุนเวียน (circular system) ไส้เดือนดินมีระบบหมุนเวียนเลือดเป็นแบบ วงจรปิด (closed circulatory system) มีเส้นเลือดยาวเกือบตลอดความยาวของลำตัวเพื่อลำเลียงเลือด ไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย เส้นเลือดหลักที่ทำหน้าที่ในการหมุนเวียน คือ

2.5.1 เส้นเลือดหลัง (dorsal blood vessel) อยู่เหนือทางเดินอาหารและเป็นเส้นเลือดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ผนังของเส้นเลือดหนาด้วยกล้ามเนื้อและยาวตลอดความยาวลำตัว

2.5.2 เส้นเลือดท้อง (ventral blood vessel) อยู่ใต้ทางเดินอาหาร มีหัวใจเทียม (pseudoheart) เป็นเส้นเลือดที่เชื่อมระหว่างเส้นเลือดหลังและเส้นเลือดท้องลักษณะเป็นวงแหวน ล้อมรอบท่อทางเดินอาหารทำหน้าที่สูบฉีดเลือดได้ จำนวนของหัวใจเทียมแตกต่างกันไปใน ไส้เดือนแต่ละชนิด ใน *Lumbricus sp.* มีหัวใจเทียม 5 คู่รอบหลอดอาหาร (Rupert *et al.*, 2004)

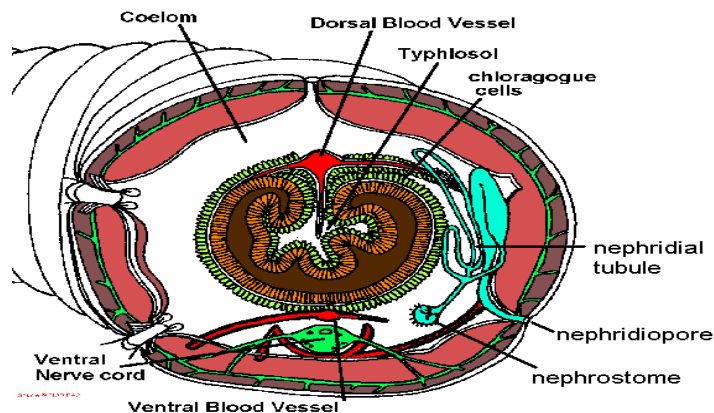
2.5.3 เส้นเลือดใต้เส้นประสาท (subneural blood vessel) เป็นเส้นเลือดที่อยู่ใต้ เส้นประสาทท้อง (ventral nerve cord) เส้นเลือดใต้เส้นประสาทรับเลือดจากแขนงตาข่ายเส้นเลือด ที่มาจากอวัยวะทางด้านหน้า แล้วเลือดจึงไหลไปทางท้ายตัว



ภาพที่ 7 ระบบหมุนเวียนและระบบประสาทของ *Lumbricus sp.*

ที่มา: Massengale (2000)

2.6 การขับถ่ายและการรักษาสมดุลน้ำ (excretion and homeostasis) ของเสียของไส้เดือนดินที่ต้องมีการกำจัดออกเป็นจำนวนมากมียูรีน (urine) เป็นองค์ประกอบหลัก ไส้เดือนดินมีอวัยวะขับถ่ายคือเนฟริเดียม (nephridium) ปล้องละ 1 คู่ (Rupert *et al.*, 2004) เนฟริเดียม (nephridium) ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นกรวยรับของเสีย เรียกว่า เนโฟรสโตม (nephrostome) ถัดมาเป็นท่อ (nephridial tubule) และท้ายสุดเป็นปลายเปิดของท่อ (nephridiopore) เปิดออกนอกลำตัวทางด้านท้องของปล้องตัวทุกปล้อง



ภาพที่ 8 อวัยวะขับถ่ายหรือเนฟริเดียม (nephridium)

ที่มา Anonymous (2005d)

2.7 ระบบประสาท (nervous system) ประกอบด้วย

2.7.1 ปมประสาทสมอง (cerebral ganglion) เป็น 2 พูอยู่ด้านหลังของคอหอยบริเวณปล้องที่ 3 มีเส้นประสาทส่งไปยังด้านหลังเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกเป็นส่วนใหญ่และมีเส้นประสาทลงไปยังด้านท้องไปรวมกันที่ปล้องที่ 4 เป็นปมประสาทใต้คอหอย (subpharyngeal ganglion)

2.7.2 เส้นประสาทท้อง (ventral nerve cord) เป็นเส้นประสาทยาวตลอดทางด้านท้อง เส้นประสาทท้องตอนที่ผ่านมาปล้องแต่ละปล้องจะพองออกเป็นปมประสาทปล้อง (segmented ganglion) ปมประสาทปล้องมีตั้งแต่ปล้องที่ 5 ลงไปทุกปล้องตลอดความยาวของลำตัวและแต่ละปมประสาทปล้อง มีเส้นประสาทปล้อง (segmented nerve) แยกแขนงออกไป

2.8 ระบบสืบพันธุ์ ใส้เดือนดินมีเพศรวม (hermaphroditic animal) ซึ่งมีความซับซ้อนกว่าสัตว์ที่มีเพศแยก อวัยวะสืบพันธุ์ชัดเจน มีปล้องสืบพันธุ์ในตำแหน่งที่แน่นอน จำกัอยู่ในปล้องส่วนหน้าของลำตัวเพียงไม่กี่ปล้อง ประกอบด้วยอวัยวะเพศผู้และเพศเมียรวมทั้งอวัยวะเสริมของทั้งสองเพศ

2.8.1 อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (male organs)

ก. อัณฑะ (testes) เป็นพู (lobe) ติดอยู่ที่ผิวด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้อง มีแขนงยื่นออกจากผนังกันมาเป็นถุงหุ้มอัณฑะ (testes sac) ซึ่งในถุงมีอาหารเหลวสำหรับการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ ถุงอัณฑะเชื่อมต่อกับถุงเก็บอสุจิ (seminal vesicle) ซึ่งเป็นถุงเก็บอสุจิที่เจริญเต็มที่แล้ว ใส้เดือนดินส่วนใหญ่ในวงศ์ Lumbricidae, Megasclecididae และ Glossoscolecididae พบอัณฑะ (testes) 2 คู่ (holoandric) บริเวณผนังกันระหว่างปล้องที่ 9 กับปล้องที่ 10 และปล้องที่ 10 กับปล้องที่ 11 มีเพียงส่วนน้อยที่พบอัณฑะ เพียงคู่เดียว (Edwards and Lofty, 1972)

ข. ถุงเก็บอสุจิ (seminal vesicle) เป็นก้อนสีขาวขนาดใหญ่อยู่สองข้างของท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) มองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยทั่วไปมี 3 คู่ที่ปล้องที่ 9-11 เมื่อผ่าตัดจะมองเห็นเป็นก้อนสีขาวขนาดใหญ่อยู่สองข้างของท่อทางเดินอาหาร (บพิธ และ นันทพร, 2541)

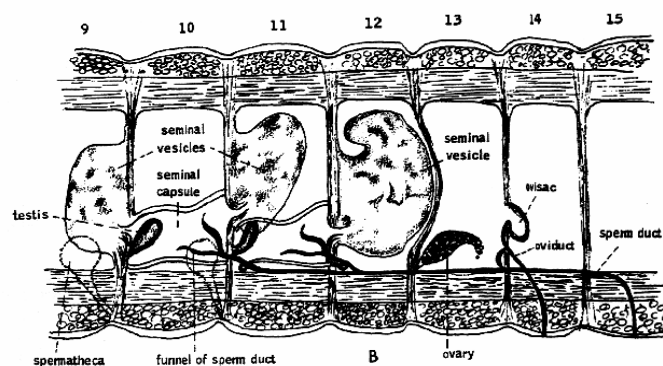
ค. ท่อนำอสุจิ (vas deferens) ใต้เคียนดินส่วนใหญ่มีท่อนำอสุจิข้างละ 1 คู่ ตอนต้นเป็นกรวยอสุจิอยู่ที่ผนังกันแผ่นท้ายของปล้องที่มีอวัยวะอยู่กรวยหักและมีซี่เลี้ยวที่ผิวด้านใน ท่อนำอสุจิเป็นทางผ่านของอสุจิและตัวท่อยาวไปตามปล้องหลายปล้องก่อนจะเปิดออกที่ช่องเพศผู้ (male pore)

ง. ต่อมพรอสเตท (prostate gland) เป็นต่อมอยู่ตอนปลายของท่อนำอสุจิ ท่อจากต่อมพรอสเตท (prostatic duct) จะแนบไปกับท่อนำอสุจิและไปเปิดออกที่ช่องเพศผู้ (male pore) ต่อมพรอสเตททำหน้าที่ผลิตของเหลวเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้

2.8.2 อวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย (female organs)

ก. รังไข่ (ovary) ทำหน้าที่สร้างไข่มี 1 คู่อยู่ทางด้านท้องสองข้างของเส้นประสาทท้อง รังไข่อยู่ที่ผนังกันระหว่างปล้องและห้อยเป็นอิสระที่ด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 และ 13 รังไข่แต่ละข้างมีท่อนำไข่ (oviduct) ไปเปิดที่ช่องเพศเมีย

ข. ถุงรับอสุจิ (seminal receptacle , spermatheca) โดยมากมี 2 คู่อยู่ด้านท้องของปล้องที่ 9 และปล้องที่ 10 ถุงเก็บอสุจิมีลักษณะเป็นถุงกลมหรือแอมพูลลา (ampulla) ซึ่งมีท่อไปเปิดออกภายนอกที่ร่องระหว่างปล้อง โคนของท่อมีแขนงยื่นออกไปคือ ไคเวอดิคูลัม (diverticulum) อสุจิที่รับมาจะเก็บอยู่ในแอมพูลลาและไคเวอดิคูลัม จนกว่าจะมีการจับคู่และถ่าย อสุจิให้แก่นัก



ภาพที่ 9 ระบบสืบพันธุ์ของ *Lumbricus sp.*

ที่มา: Stephenson (1930)

2.9 ปลอกเนื้อ (clitellum) ไส้เดือนดินที่สมบูรณ์พันธุ์ (maturity) มีปลอกเนื้อซึ่งเป็นปล้องบางปล้องในบริเวณครึ่งลำตัวด้านหน้าที่พองออกเนื่องจากต่อมสร้างเมือกขยายตัวพองออกทำให้ร่องระหว่างปล้องหายไปเป็นปลอกเนื้อเข้ม ภายในปลอกเนื้อมีเซลล์ชนิดต่างๆ ที่สร้างสารเพื่อการสืบพันธุ์ ได้แก่

2.9.1 เซลล์ต่อมสร้างเมือก (mucous cell)

2.9.2 ต่อมสร้างโคคอน (cocoon forming cell)

2.9.3 เซลล์ต่อมสร้างไข่ขาว (albuminous secreting cell) เป็นต่อมขนาดใหญ่ที่สร้างไข่ขาวให้กับไข่ที่จะวางในโคคอน

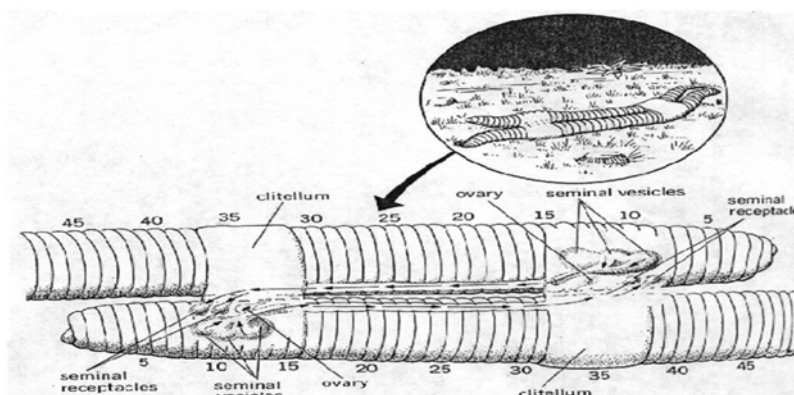
ตำแหน่งของปลอกเนื้อและจำนวนปล้องที่เกิดปลอกเนื้อแตกต่างกันตามชนิด นอกจากนี้ไส้เดือนดินส่วนใหญ่ยังมีโครงสร้างที่แสดงถึงความสมบูรณ์พันธุ์ ในรูปของปุ่มสืบพันธุ์ (genital papillae, copulatory papillae) อยู่ที่ด้านท้องของลำตัวตอนหน้าซึ่งจำนวนและรูปร่างแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของไส้เดือนดิน แต่หน้าที่ส่วนใหญ่คือช่วยยึดจับกับคู่ผสมพันธุ์

3. การจับคู่ (mating)

ไส้เดือนดินมีเพศรวมแบบมีทั้งสองเพศพร้อมกัน (hermaphroditic animal) และปฏิสนธิข้ามตัว (cross fertilization) ส่วนใหญ่จับคู่ผสมพันธุ์บนผิวดิน โดยประกบตัวทางด้านท้องในลักษณะกลับหัวกัน และเกาะกันด้วยเมือกที่สร้างจากปลอกเนื้อ (clitellum) มาหุ้มตัวไว้หรืออาจเกาะกันด้วยเดือยหรือซี่ต (setae) หรือปุ่มสืบพันธุ์ (genital papillae) บริเวณช่องเปิดของอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้งสองเพศและไส้เดือนดินเกาะกันแน่นมากโดยจัดตัวให้ช่องสืบพันธุ์เพศผู้ (male pore) อยู่ตรงกับช่องเปิดของถุงรับสุจิ (seminal receptacle) ของอีกตัวเพื่อถ่ายอสุจิให้แก่กัน (Stephenson and Harley, 2005)

4. โคลน (cocoon) และการปฏิสนธิ (fertilization)

หลังจับคู่กันเซลล์ชนิดต่างๆ บริเวณปลอกเนื้อ หลังสารคล้ายกับไคตินผิวขรุขระหุ้มปลอกเนื้อไว้ สารนี้จะค่อยๆ แข็งตัวขึ้นเป็นปลอกหุ้มรอบปลอกเนื้อ จากนั้นเซลล์ต่อมชั้นสร้างไข่ขาว (albuminous secreting cell) สร้างไข่ขาว (albumin) ปล่อยออกไปอยู่ระหว่างผนังของโคลนกับปลอกเนื้อ จากนั้นไส้เดือนดินจะเคลื่อนตัวถอยหลังทำให้ปลอกหุ้มเลื่อนไปทางด้านหน้ารับไข่จากช่องเพศเมียและเมื่อผ่านไปบริเวณช่องเปิดของถุงรับอสุจิจะได้รับอสุจิ การปฏิสนธิจึงเกิดนอกตัว (external fertilization) เมื่อปลอกหุ้มหลุดออกไปทางด้านหน้า จากนั้นปลายปลอกหุ้มทั้งสองด้านปิดเข้าหากันเกิดเป็นโคลนที่คล้ายผลมะนาวผิวขรุขระสีของโคลนเป็นสีน้ำตาลหรือสีเหลืองเข้ม



ภาพที่ 10 การจับคู่ของ *Lumbricus sp.*

ที่มา: Anonymous (1995)

5. การเคลื่อนที่ (locomotion)

ไส้เดือนดินเคลื่อนที่โดยการหดตัวแบบคลื่น(peristaltic movement) ซึ่งเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยมีแรงดันของของเหลว (hydrostatic skeleton) ในช่องตัวช่วยในการเคลื่อนที่ การหดตัวของกล้ามเนื้อรอบวง (circular muscle) ทำให้ลำตัวไส้เดือนดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงและปล้องยาวออกเพื่อใช้ในการคลาน ส่วนการหดตัวของกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) ทำให้ลำตัวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นและปล้องหดสั้นใช้ในการขุดและขยายรู (Stephenson and Harley, 2005)

มีการจำแนกไส้เดือนดิน ตามลักษณะทางนิเวศวิทยาและหน้าที่ในดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ (Curry, 1994; บรรจงศักดิ์, 2541) ดังนี้

5.1 anecic

ไส้เดือนดินขนาดใหญ่ขุดโพรงได้ลึก อาหารเป็นใบไม้และอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถขุดโพรงได้ลึกและกินอาหารที่อยู่ในระดับล่างแล้วถ่ายมูลออกมาบนผิวน้ำดิน การขุดโพรงของไส้เดือนดินจำพวกนี้จะทำให้สิ่งแวดล้อมของจุลินทรีย์ในดินและของรากพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดจนเกิดการปรับปรุงและรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินด้วย (Craswell, 1994)

5.2 endogeic

ไส้เดือนดินชนิดขุดโพรงตื้น ไส้เดือนกลุ่มนี้จะมีกิจกรรมต่างๆบริเวณรากพืช ช่วยปรับปรุงและรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหมือนจำพวกแรก แต่สามารถขุดโพรงได้หลายทิศทางในดินชั้นบน โดยทั่วไปแล้วมีความว่องไวกว่าและมีอัตราการขยายพันธุ์สูงกว่า

5.3 epigeic

ไส้เดือนดินชนิดอาศัยอยู่บนดินไม่ขุดโพรงหรือไส้เดือนชนิดที่อาศัยบริเวณผิวน้ำดิน (soil surface dwelling) ไส้เดือนกลุ่มนี้จะมีกิจกรรมต่างๆ ที่ชั้นของผิวน้ำดิน กินเศษซากพืชเป็นอาหาร มีความต้องการความชื้นที่พอเหมาะและแหล่งอาหารที่แน่นอน พบได้ในพื้นที่เขตอบอุ่น

มากกว่าเขตร้อน มีประโยชน์ต่อดินและการเจริญเติบโตของพืชมาก เนื่องจากมีบทบาทในการนำอินทรีย์วัตถุกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก และทำให้เกิดสารอาหารที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้

(Edwards and Burrow, 1988)

ลักษณะทั่วไปของไส้เดือนดิน *E. eugeniae*

ลักษณะภายนอกที่เด่นชัด คือ ลำตัวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ลำตัวจะมีลักษณะแบน สีม่วงอมเทา และปล้องทางตอนท้ายจะเรียวเล็กลง จำนวนปล้องโดยทั่วไปประมาณ 140 – 211 ปล้อง เดียวหรือสี่ตัว 8 แท่งต่อปล้องหนึ่งปล้อง และไม่มีรูหลัง (dorsal pore) (Edwards and Lofty, 1972)

ลำดับชั้นทางอนุกรมวิธานของไส้เดือนดิน *E. eugeniae* (Parker, 1982) คือ

Kingdom Animalia

Subkingdom Eumetazoa

Phylum Annelida

Class Oligochaeta

Order Haplotaxida

Suborder Lumbricina

Superfamily Megascolecidae

Family Eudrilidae

Genus *Eudrilus*

1. แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ

E. eugeniae เป็นไส้เดือนดินชนิดอาศัยอยู่บนดินไม่ขุดโพรง (epigeic) หรือไส้เดือนชนิดที่อาศัยบริเวณหน้าดิน (soil surface dwelling) ดำรงชีวิตและมีกิจกรรมต่างๆ ที่ชั้นของผิวน้ำดิน ทั้งหน้าดินตามธรรมชาติและอยู่ในมูลของสัตว์ตามบริเวณคอกสัตว์ต่างๆ เพราะสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบคอกสัตว์จะมีปริมาณอินทรียสารเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโต และการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดินชนิดที่อาศัยบริเวณหน้าดิน (Jorge *et al.*, 2001)

2. การแพร่กระจาย

รายงานการศึกษาของ Umesh *et al.* (2003) กล่าวว่าไส้เดือนดินส่วนใหญ่ในวงศ์ *Eudrilidae* มีถิ่นกำเนิดจากทางตอนกลางของทวีปอาฟริกา แต่ *E. eugeniae* เป็นชนิดเดียวที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการนำเข้าเพื่อเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา และหลายประเทศในยุโรปและเอเชีย

3. วัฏจักรชีวิต

Jorge *et al.* (2001) สรุปเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตของ *E. eugeniae* ที่เลี้ยงในมูลวัว อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ระบุว่า *E. eugeniae* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในมูลวัว เริ่มเข้าสู่ระยะหนุ่มสาวเมื่ออายุ 5 สัปดาห์ และผลิตโคกุนได้สูงสุด 3.6 โคกุนต่อสัปดาห์ จำนวนลูกไส้เดือนที่ฟักจากโคกุนคิดเป็นร้อยละ 81 จำนวนของลูกไส้เดือนที่ฟักออกมาเฉลี่ย 2.3 ตัวต่อโคกุน จำนวนวันตั้งแต่ฟักจากโคกุนจนเข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์ใช้เวลา 47 ± 3 วัน และจำนวนวันจากลูกไส้เดือนเข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์ใช้เวลา 35 ± 3 วัน *E. eugeniae* มีชีวิตรอดในวัสดุที่ใช้เลี้ยงได้ดีเยี่ยมและเป็นไส้เดือนดินที่มีช่วงชีวิตยาวนานชนิดหนึ่ง

4. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นที่มีผลต่อไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินแต่ละชนิดที่นำมาเพาะเลี้ยง มีคุณสมบัติทนทานต่อสารเคมีและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลักที่ส่งผลต่อไส้เดือนดินได้แก่

4.1 อาหาร (food)

E. eugeniae สามารถกินสารอินทรีย์หลากหลายแบบ ทั้งมูลสัตว์ เศษพืช เศษอาหาร และ *E. eugeniae* จะเคลื่อนที่เข้าหาอาหารภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง ผักและผลไม้ที่มีเปลือกค่อนข้างแข็ง เปลือกไข่ และกระดูก สามารถย่อยสลายโดยไส้เดือนได้ แต่อาจต้องใช้เวลาที่นานขึ้น (Sinha *et al.*, 2003; Clemente, 1981) ทั้งนี้ทั้งนั้นปริมาณอาหารที่มากเกินไปหรืออาหารที่ไส้เดือนไม่สามารถกินได้ ถ้าหลงเหลืออยู่ในแปลงเพาะเลี้ยงปริมาณ จะทำให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อ

การดำรงชีวิต เช่น เกิดสภาพขาดออกซิเจนหรือทำให้อุณหภูมิในแปลงวัสดุที่เลี้ยงสูงขึ้นได้ และไม่เกิดผลดีต่อไส้เดือนดิน (William *et al.*, 2000)

4.2 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อเมแทบอลิซึม การเจริญเติบโตรวมถึงการสืบพันธุ์ *E. eugeniae* มีถิ่นกำเนิดจากเขตร้อนจึงค่อนข้างมีความทนทานต่ออุณหภูมิอบอุ่นหรือร้อน (Steve, 1998) จากการศึกษาของ Umesh *et al.* (2003) พบว่า *E. eugeniae* เข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์เต็มทีเมื่อน้ำหนักเฉลี่ย 1,000 มิลลิกรัม อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้ชีวิตและกิจกรรมต่างๆของไส้เดือนดินคือ 22.7-27.3 องศาเซลเซียส และ William *et al.*, (2000) รายงานว่า *E. eugeniae* ที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานทำให้อัตราการตายสูง และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7 องศาเซลเซียสและสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้ไส้เดือนตายทันที

4.3 ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)

ไส้เดือนดินสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดและด่างได้ตั้งแต่ 4.5 - 8.5 แต่พบว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับไส้เดือนดินส่วนใหญ่รวมทั้ง *E. eugeniae* คือประมาณ 6 - 6.5

4.4 ความชื้น (moisture)

E. eugeniae ชอบความชื้นแต่ต้องไม่มากเกินไป เพราะน้ำเป็นสาเหตุให้อาหารของไส้เดือนดินเน่าเปื่อยอย่างรวดเร็ว เป็นปัจจัยที่ชักนำให้เกิดการเจริญของเชื้อรา นอกจากนี้ความชื้นที่มากเกินไปยังทำให้วัสดุที่ใช้เลี้ยงเกาะติดกับผิวตัวของไส้เดือนดินอย่างหนาแน่นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อหายใจของไส้เดือน William *et al.*, (2000) ส่วน Henares (2003) แนะนำว่าความชื้นสัมพัทธ์ของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับ *E. eugeniae* คือประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์

4.5 สารอินทรีย์ (organic matter)

สารอินทรีย์มีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการแพร่กระจายของไส้เดือนดินเกือบทุกชนิด สำหรับ *E. eugeniae* ในสภาพธรรมชาติเจริญเติบโตได้ดีในมูลสัตว์ทุกชนิด รายงานในประเทศเปรูโดริโก

พบ *E. eugeniae* ได้ทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณฟาร์มเลี้ยงโคนม เนื่องจากเป็นบริเวณซึ่งอุดมไปด้วยอินทรีย์วัตถุมากมาย (Borges *et al.*, 2003) นอกจากนี้มูลสัตว์อื่นๆ เช่น มูลม้าหรือมูลควายที่แห้งก็เป็นวัสดุเลี้ยงที่ไส้เดือนดินเจริญเติบโตได้ดีเช่นกัน (Edwards, 1977)

4.6 แอมโมเนียและเกลืออนินทรีย์

สภาพที่มีแอมโมเนียสูงกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อวัสดุเลี้ยงหนึ่งกรัม และเกลืออนินทรีย์มากกว่า 0.5% อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาพเป็นพิษต่อไส้เดือนดินได้ (Edwards, 1977)

5. *E. eugeniae* กับอินทรีย์วัตถุ

ไส้เดือนดินมีบทบาทสำคัญต่ออินทรีย์วัตถุในดินเนื่องจากไส้เดือนดินกินซากอินทรีย์ที่เน่าเปื่อย (scavenger) จุลินทรีย์และแบคทีเรียที่เจริญเติบโตในของเสียรวมทั้งเศษดินและกรวดทราย อาหารส่วนที่ถูกย่อยซึมผ่านลำไส้เข้าสู่เส้นเลือด ส่วนที่ไม่ถูกย่อยขับออกมาเป็นมูลของไส้เดือนดินซึ่งมีลักษณะร่วนไม่เกาะตัวกันแน่นและมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้มีสมบัติเป็นปุ๋ยหมักคุณภาพเรียกว่า vermicompost (Edwards, 1995; Werner, 2000) นอกจากนี้การเคลื่อนที่ยังทำให้เกิดการกระจายตัวของอินทรีย์วัตถุไปตามดินชั้นต่างๆ และรากพืช

ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก ต่อดินและพืช คือ มีคุณสมบัติด้านการปรับปรุงและรักษาคุณสมบัติต่างๆทั้งทางกายภาพและเคมีของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้นว่าส่งเสริมให้เกิดเม็ดดิน (soil aggregation) และเกิดความพรุนของผิวหน้าดินทำให้น้ำซึมผ่านได้ดีขึ้น นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยหมัก ยังเป็นการเพิ่มอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในดินจึงทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้นกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์กับดินและพืชจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ธงชัย, 2535; ธงชัย, 2546)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่างๆ ต่อพืช

ชนิดของปุ๋ยหมัก	ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่มีต่อพืช (เปอร์เซ็นต์)					
	N	P	K	Ca	Mg	C/N ratio
ปุ๋ยหมักมูลไก่	2.59	2.93	3.39	7.79	1.07	8.3
ปุ๋ยหมักมูลไก่ผสมขุยมะพร้าว	2.01	1.32	1.79	4.70	0.52	14.9
ปุ๋ยหมักจากไส้เดือนดิน	0.92	1.95	0.38	9.76	0.64	21.6
ปุ๋ยหมักมูลไก่ผสมขุยมะพร้าวและฟางข้าว	0.59	0.23	0.29	0.85	0.09	59.0

ที่มา: Zakaria and Vimala (2004)

ในประเทศฟิลิปปินส์ มีการนำไส้เดือนมาใช้บำบัดของเสียกันอย่างแพร่หลาย และประสบความสำเร็จค่อนข้างสูง ไส้เดือนดินชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และพบว่าเป็นชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ *E. eugeniae* (Edwards and Burrows, 1988)

Jambhekar (1995) ไส้เดือนที่นำมาใช้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุและทำปุ๋ยหมักในประเทศอินเดีย ได้แก่ *E. eugeniae* (African night crawler), *Perionyx excavatus* (Indian blue) และ *Eisenia fetida* (Tiger worm)

Sherman (1998) ประเทศออสเตรเลีย นิยมใช้ *E. fetida* และเริ่มมีการใช้ *E. eugeniae* มากขึ้น เนื่องจากพบว่า *E. eugeniae* สามารถกินอาหารได้มาก และเจริญเติบโตได้เร็วกว่า *E. fetida*

ในประเทศไทย การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับไส้เดือนดิน ไม่ว่าจะเป็นด้านการเพาะเลี้ยงหรือการนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการอินทรีย์วัตถุของเสีย การแพร่กระจาย หรือด้านอนุกรมวิธานนั้นยังมีอยู่น้อยและค่อนข้างจำกัด

การบำบัดและการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนแห้งภายในศูนย์ผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบบำบัดน้ำเสียภายในศูนย์ผลิตก๊าซชีวภาพเป็นสถานที่รวบรวมเอาน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการการผลิตของศูนย์ผลิตก๊าซชีวภาพ น้ำเสียที่ได้เป็นน้ำที่รวบรวมจากทุกแผนกและทุกขั้นตอน เริ่มตั้งแต่กระบวนการในห้องจ่ายนมไปจนกระทั่งถึงห้องล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ น้ำเสียในกระบวนการการผลิตได้แก่ น้ำล้างเศษนม น้ำล้างภาชนะบรรจุนมและสารเคมีละลายน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดเพื่อล้างคราบนมคราบไขมัน รวมทั้งน้ำล้างสีและกลิ่นสังเคราะห์ที่ใช้เติมแต่งในนมผง รวบรวมผ่านท่อลำเลียงขนาดใหญ่ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge treatment) แบบเติมอากาศของศูนย์ผลิตก๊าซชีวภาพ

การบำบัดประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ คือนำไปผ่านการทำชั้นเพื่อให้กากตะกอนหรือสลัดจ์คงตัว จากนั้นผ่านเข้าสู่กระบวนการปรับสภาพสลัดจ์และการรีดน้ำออก จากนั้นจะนำสลัดจ์ไปทิ้งโดยวิธีที่เหมาะสมด้วยการฝังกลบ การนำไปใช้แทนปุ๋ย หรือเก็บรวบรวมเพื่อเผากับขยะ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับการเพาะเลี้ยงเพื่อใช้ในการทดลอง

- 1.1. สัตว์ทดลองได้แก่ไส้เดือนดินแอฟริกัน *Eudrilus eugeniae*
- 1.2. ถังสำหรับเลี้ยงไส้เดือน
- 1.3. วัสดุที่ใช้เลี้ยง ได้แก่ เศษกระดาษ กากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าว
- 1.4. กระบอกลี้น้ำ

2. อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

- 2.1. ถังมือ
- 2.2. มีดผ่าตัดและกรรไกร
- 2.3. เข็มหมุดสำหรับปักตัวอย่างไส้เดือน
- 2.4. ถาดเทียน
- 2.5. ปากคีบ
- 2.6. เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 2.7. กล้องถ่ายรูป
- 2.8. เครื่องมือวัดความชื้นและเทอร์มอมิเตอร์
- 2.9. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ และกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา
- 2.10. กระดาษฟิเชซ
- 2.11. เข็มเย็บและหลอดหยด
- 2.12. กระดาษสไลด์
- 2.13. จานแก้ว (petri dish)
- 2.14. ขวดและถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
- 2.15. ถ้วยพลาสติกสีขาวขนาดเล็กสำหรับการฟักโคกูโน
- 2.16. กระดาษทิชชู

3. สารละลาย

3.1 แอลกอฮอล์ 70%

3.2 น้ำกลั่น

3.3 น้ำยาฟอร์มาลิน

4. อุปกรณ์สำหรับศึกษาด้านมิถวิทยา (histology)

4.1 เครื่องไมโครโทมและใบมีด

4.2 เครื่องเตรียมเนื้อเยื่อ

4.3 เครื่องหยอดพาราฟิน

4.4 ตู้ดูดสารเคมี (hood) เครื่องซังสาร ตู้อบ ตู้เย็น เครื่องอุ่นสไลด์

4.5 แผ่นร้อน ฟุ้งกันเล็ก คลับเนื้อเยื่อ กระทั่งโลหะ กรอบพลาสติก

4.6 เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ภาชนะใส่สีย้อม ภาชนะใส่สไลด์สำหรับย้อมสี บีกเกอร์

พลาสติก หลอดหยด แท่งแก้ว กระบอกสไลด์ และกระบอกปิดสไลด์

4.7 กล้องจุลทรรศน์

5. สารละลายสำหรับศึกษาด้านมิถวิทยา

5.1 แอลกอฮอล์ 70%, 80%, 95% และ 100%

5.2 น้ำยาฟอร์มาลิน สารละลายลิเทียมคาร์บอเนต น้ำยาบูแองส์ สีย้อมฮีมาทอกซูลิน และอีโอซิน พาราฟิน ไซลีน กรดพิคริก กรดแอซิดิก เปอร์เม้าท์

วิธีการ

1. สัณฐานวิทยา

นำ *E. eugeniae* ระยะเวลาสมบูรณ์พันธุ์มาศึกษาทางด้านสัณฐานวิทยาทั้งลักษณะภายนอกและภายในของไส้เดือนดิน ตำแหน่งของปล้องที่อวัยวะสำคัญจัดเรียงตัวทำการผ่าตัด (dissection) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 ทำให้ *E. eugeniae* สลบในงานแก้วที่เติมน้ำกลั่นพอประมาณ โดยนำ *E. eugeniae* วางในงานแก้ว หลังจากนั้นค่อยๆ ใช้หลอดหยดหยดน้ำยาฟอร์มาลินลงไปทีละหยด จนสังเกตเห็นว่า *E. eugeniae* ไม่เคลื่อนไหว

1.2 แยก *E. eugeniae* ที่สลบแล้วใส่ในงานแก้วอีกใบที่เตรียมไว้ นำไปตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ นับจำนวนปล้องและศึกษาลักษณะภายนอกทั้งด้านหลังและด้านท้องก่อนนำไปผ่าตัด หากตัวอย่างเริ่มแห้งให้หยดน้ำกลั่นเล็กน้อยเพื่อไม่ให้ตัวอย่างแห้งและช่วยคลกลื่นน้ำยาฟอร์มาลิน

1.3 ใช้ปากคีบคีบ *E. eugeniae* มาวางบนกระดาษแข็ง ตรึงด้วยเข็มหมุดที่ด้านหน้าและท้ายลำตัว ผ่าตัดทางด้านหลังตั้งแต่ด้านหน้าเรื่อยมาถึงด้านหลังหรือผ่าตัดทางด้านข้างหากไม่ต้องการให้เห็นเลือดหลังเสียหยา โดยใช้มีดผ่าตัดหรือใช้กรรไกรค่อยๆ ตัดหรือฉีกอย่างระมัดระวังและตัดถึงประมาณปล้องที่ 25 หรือ 30 เนื่องจากอวัยวะสำคัญที่ต้องการศึกษาจำกัคอยู่เฉพาะปล้องตอนหน้า

1.4 ศึกษาลักษณะท่อทางเดินอาหารเพิ่มเติมด้วยวิธีการทางจุลกายวิภาคศาสตร์ (histochemistry) ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1.4.1 นำตัวอย่างไส้เดือนเลี้ยงในถ้วยพลาสติกมีฝาปิดและเจาะรูเล็กน้อย มีกระดาษทิชชูรองบริเวณถ้วย งดให้อาหารประมาณ 2-3 วัน เป็นการทำให้ไส้เดือนขับกากอาหารจากท่อทางเดินอาหารให้หมด

1.4.2 ตัดลำตัวตามขวางผ่านลำไส้บริเวณส่วนที่ต้องการ ให้มีขนาดชิ้นตัวอย่างไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร ใส่ขวดที่บรรจุน้ำยาคงสภาพ

1.4.3 ขจัดน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ โดยผ่านแอลกอฮอล์จากระดับต่ำไปสูง เริ่มจาก 70% 80% 95% และ 100% แอลกอฮอล์ ตามด้วยการขจัดแอลกอฮอล์และทำให้เนื้อเยื่อตัวอย่างใส ด้วยการแช่ตัวอย่างในไซลีน

1.4.4 ผึ่งเนื้อเยื่อด้วยพาราฟิน โดยนำพาราฟินที่หลอมเหลวฝังในเนื้อเยื่อที่บรรจุในกระถางโลหะ จากนั้นนำทำให้บล็อกพาราฟินเย็นลงโดยการทิ้งให้เย็นสักครู่เมื่อบล็อกพาราฟินแข็งจึงแกะออก

1.4.5 นำบล็อกพาราฟินที่ได้ ไปตัดแต่งโดยใช้ใบมีดปาดพาราฟินที่ผิวหน้าของบล็อกพาราฟินจนเริ่มถึงเนื้อเยื่อ จากนั้นตัดด้านข้างทั้งสี่ของบล็อกพาราฟิน ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู จากนั้นนำบล็อกพาราฟินที่ได้ช่องแข็งตู้เย็น

1.4.6 ตัดเนื้อเยื่อให้เป็นแผ่นบางขนาด ประมาณ 5 ไมครอน ด้วยเครื่องมือโครโตม

1.4.7 นำเนื้อเยื่อแผ่นบางติดบนแผ่นสไลด์โดยใช้ฟู่กันเล็กและเนื้อเยื่อแผ่นบางวางบนแผ่นสไลด์ที่หยด 50% ไข่ จากนั้นนำเนื้อเยื่อแผ่นบางลอยในภาชนะหรือกระถางน้ำอุ่นเพื่อให้เนื้อเยื่อแผ่นบางเรียบขึ้น นำแผ่นสไลด์แผ่นใหม่ที่ทาสารเปอร์เม้าท์ซ็อนเนื้อเยื่อขึ้น ทำให้แห้งด้วยการวางในเครื่องอุ่นสไลด์ (hot plate) ไข่ข้ามคืน

1.4.8 นำเนื้อเยื่อแผ่นบางไปย้อมสีฮีมาท็อกไซลีนและอีโอซิน ดังนี้ ผ่านไซลีน 2 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที ผ่านแอลกอฮอล์ 100%, 95%, 70% จากนั้นนำไปผ่านน้ำ แล้วนำไปย้อมฮีมาท็อกไซลีนประมาณ 5 นาที ผ่านน้ำอีกประมาณ 1 นาที แล้วใส่ลงในสารละลายลิเทียมคาร์บอเนต และนำผ่านน้ำอีกประมาณ 1 นาที ตามด้วย 70% แอลกอฮอล์ และย้อมอีโอซินประมาณ 30 วินาที จากนั้นจุ่มในแอลกอฮอล์ 70%, 95%, 100% ทำให้ใสด้วยการผ่านไซลีนอีก 2 ครั้ง

1.4.9 ผนึกด้วยกระจกปิดสไลด์ และศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

2. วัฏจักรชีวิต

ทดลองเบื้องต้นด้วยการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินในวัสดุเลี้ยงซึ่งเป็นขุยมะพร้าวผสมกับเศษกระดาษ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

2.1 ผสมขุยมะพร้าวและเศษกระดาษที่ขยี้เป็นชิ้นเล็กๆ ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ใช้กระบอกลูกน้ำฉีดให้มีความชื้นพอเหมาะ โดยสังเกตว่าเมื่อนำวัสดุเลี้ยงมากำและใช้มือบีบจะมีน้ำหยดออกมาพอประมาณ

2.2 จัดเตรียมกล่องพลาสติกที่ขนาดความกว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตรและสูง 6 เซนติเมตร เจาะรูด้านล่างใส่วัสดุเลี้ยงที่ผสมไว้

2.3 นำ *E. eugeniae* จำนวน 10 ตัว นำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.34 กรัม/ตัว ปล่อยในวัสดุเลี้ยงที่เตรียมไว้ให้ไส้เดือนดินค่อยๆ เคลื่อนที่ลงไป ให้อาหารสม่ำเสมอเป็นเศษผักและผลไม้ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ สัปดาห์ละครั้งครั้งละประมาณ 10 กรัม ระยะเวลาในการทดลอง 24 สัปดาห์ สังเกตวัฏจักรชีวิตของ *E. eugeniae*

2.4 เมื่อ *E. eugeniae* ให้โคกูน สังเกตบันทึกลักษณะของโคกูนและนับจำนวนวันที่ *E. eugeniae* ให้โคกูน หลังจากนั้นนำโคกูนที่ได้แยกฟักในถ้วยพลาสติกที่ใช้กระดาษทิชชูฉีบน้ำให้ชื้นวางในถ้วย ฟักในอุณหภูมิห้องประมาณ 25 – 35 องศาเซลเซียส เมื่อลูกไส้เดือนดินฟักออกจากโคกูนจึงนำออกจากถ้วยพลาสติก นับจำนวนปล้องและนำลูกไส้เดือนดินไปเลี้ยงต่อในถ้วยพลาสติกใบใหม่ที่มีขุยมะพร้าวผสมกับเศษกระดาษ สังเกตบันทึกลักษณะของลูกไส้เดือนสีขาว นับจำนวนปล้องทุกสัปดาห์ จนกระทั่งลูกไส้เดือนมีสีแดงและเริ่มมีขนาดใหญ่ จึงย้ายลูกไส้เดือนดินไปเลี้ยงในกล่องพลาสติกที่ใบใหญ่ที่มีขุยมะพร้าวผสมกับเศษกระดาษอีกครั้งหนึ่ง

3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพกากตะกอนแห้ง

ศึกษาสภาพของไส้เดือนดิน *E. eugeniae* ในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกากตะกอนแห้งจากศูนย์ผลิตกัณฑ์นม ตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 จัดเตรียมกล่องพลาสติกที่ขนาดความกว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตรและสูง 6 เซนติเมตร จำนวน 20 กล่อง และเจาะรูด้านล่างเพื่อการระบายน้ำ

3.2 ผสมกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าว ตามอัตราส่วนดังนี้

3.2.1 หน่วยทดลองที่ 1 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1

3.2.2 หน่วยทดลองที่ 2 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1

3.2.3 หน่วยทดลองที่ 3 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 35:1

3.2.4 หน่วยทดลองที่ 4 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1

3.2.5 หน่วยทดลองที่ 5 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 45:1

จากนั้นให้ความชื้นโดยความชื้นเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียง 80 % ในทุกหน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองมี 4 ซ้ำ จัดแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) และก่อนทำการทดลองนำวัสดุเลี้ยงทั้ง 5 หน่วยทดลองไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหา ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter), ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) , อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) , ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) เริ่มต้น

3.3 ชั่งวัสดุเลี้ยงที่เตรียมไว้ใส่ในกล่องพลาสติกที่บีก กล่องละ 110 กรัม ทั้ง 5 หน่วยทดลอง นำ *E. eugeniae* ที่เจริญเติบโตเต็มที่ (มีโคลเทิลล์) น้ำหนักเฉลี่ยตัวละ 1 กรัม ปล่อยในวัสดุเลี้ยงที่เตรียมไว้กล่องละ 5 ตัว และให้ไส้เดือนดินค่อยๆเคลื่อนที่ลงไป

3.4 ให้อาหารสม่เสมอเป็นเศษผักและผลไม้ที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ สัปดาห์ละครั้ง ครั้งละ 5 กรัม ระยะเวลาในการทดลอง 8 สัปดาห์ ให้ความชื้นสม่เสมอและเท่ากันทุกหน่วยทดลอง

3.5 สังเกตวัฏจักรชีวิตของไส้เดือนดิน บันทึกจำนวนวันที่เริ่มให้โคขุน จำนวนวันที่ลูกไส้เดือนดินฟักจากโคขุนเป็นลูกไส้เดือนสีขาว และลูกไส้เดือนสีแดง

3.6 หลังการทดลองนำวัสดุเลี้ยงทั้ง 20 กล้อง (5 หน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 4 ซ้ำ) ไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter), ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) , อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) ,ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) หลังการทดลอง พร้อมทั้งคำนวณหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเลี้ยงเป็น น้ำหนักตัวและอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก

3.7 วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แล้วเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลองทั้งประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักตัว, อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก, ค่าอินทรีย์วัตถุ (organic matter), อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon), อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio), ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P), โพแทสเซียม (K) และค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)

5. สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มการทดลอง เดือน พฤศจิกายน 2548

สิ้นสุดการทดลอง เดือน ตุลาคม 2549

ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาทางด้านสัตววิทยา

1. ลักษณะภายนอก

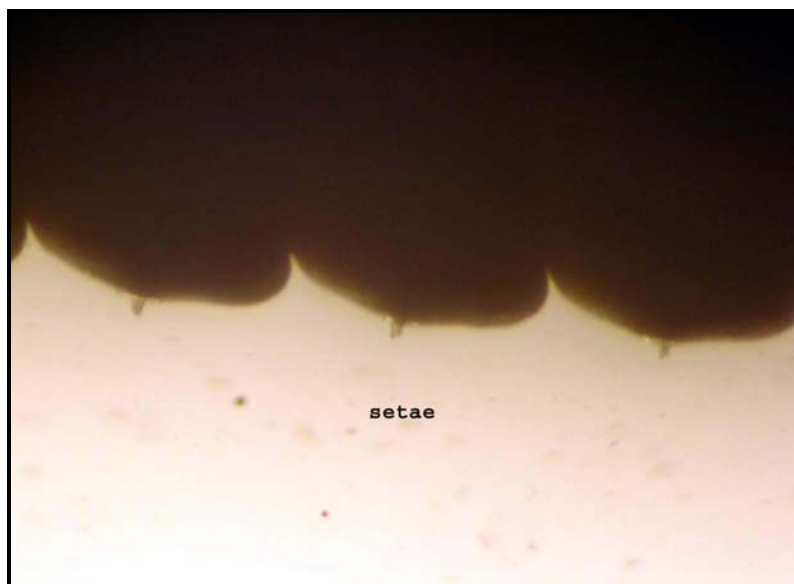
การศึกษาพบว่า *Eudrilus eugeniae* ที่เริ่มเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ ลำตัวมีขนาดความยาวระหว่าง 8.5 - 15 เซนติเมตร จำนวนปล้องที่เกิดขึ้น 188-297 ปล้อง ผิวตัวด้านหลังสีดำอมม่วง ส่วนด้านท้องแบนเล็กน้อยและมีสีซีดกว่าด้านหลัง ลำตัวจากด้านหน้าไปสู่ด้านหลังค่อยๆ เรียว เล็กลง (ภาพที่ 11) เดือยหรือซีตี้ที่พบ 8 แท่งต่อปล้องหนึ่งปล้องจัดเรียงเป็น 4 คู่อยู่สองข้างของด้านท้อง (ventrolateral) ปล้องลำตัวที่แท้จริงทุกปล้องมีเดือยหรือซีตี้ (ภาพที่ 12 และภาพที่ 13) บริเวณที่ไม่พบเดือยหรือซีตี้คือ โพรสโทเมียมและไพจิเดียม โพรสโทเมียมเป็นต่งเนื้อรูปวงกลมขนาดเล็กอยู่เหนือช่องปาก (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 11 ขนาดและความยาวของลำตัว *Eudrilus eugeniae* ลักษณะภายนอกที่สังเกตได้บริเวณ ลำตัวด้านหลังเรียวเล็กกว่าตอนหน้า ผิวตัวมีสีเข้ม ตำแหน่งโคลเทลล์อยู่บริเวณปล้อง ลำตัวตอนหน้า



ภาพที่ 12 บริเวณปล้องลำตัวตอนท้ายที่แสดงให้เห็นทวารหนักและซีตัส รอบๆปล้องลำตัว
ทุกปล้อง ด้านท้ายลำตัวเป็นปล้องที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปล้องทางตอน
หน้า ทำให้ลำตัวตอนท้ายเรียวเล็กกว่าตอนหน้า



ภาพที่ 13 เดือยหรือซีตัส (setae) รอบๆปล้องลำตัว หน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และช่วยในการ
จับคู่ของไส้เดือนดิน และ *Eudrilus eugeniae* พบเดือยหรือซีตัสบนปล้องลำตัวทุกปล้อง



ภาพที่ 14 บริเวณปล้องลำตัวทางตอนหน้าของ *Eudrilus eugeniae* ด้านหน้าเป็นโพรสโทเมียม
หลังโพรสโทเมียมเป็นปล้องลำตัวที่แท้จริงปล้องแรก

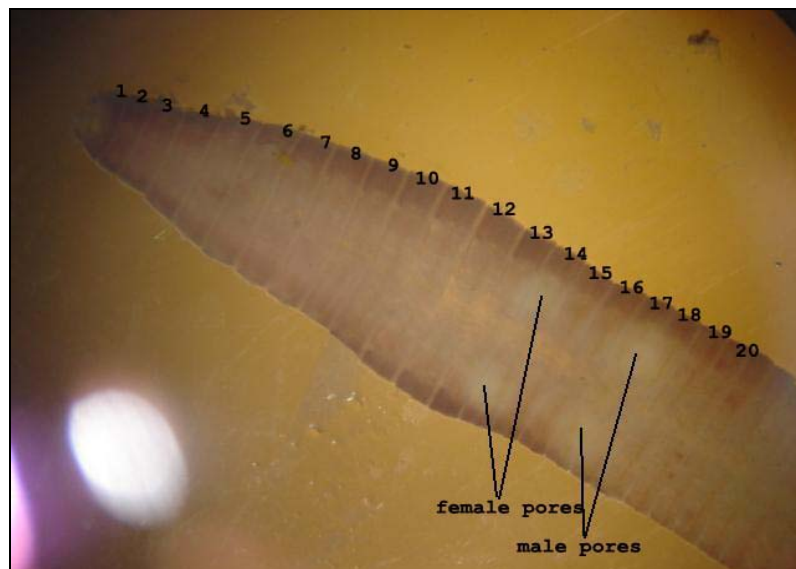
บริเวณปลอกเนื้อหรือไคลเทลลัม ในระยะแรกของการเจริญพันธุ์อาจสังเกตได้ไม่ชัดเจน แต่ในตัวที่เข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์อย่างเต็มที่ สามารถมองเห็นไคลเทลลัมได้ชัดเจน ลักษณะของไคลเทลลัมเป็นปลอกเนื้อสีขาวขุ่นอยู่ปล้องที่ 14–18 (ภาพที่15)



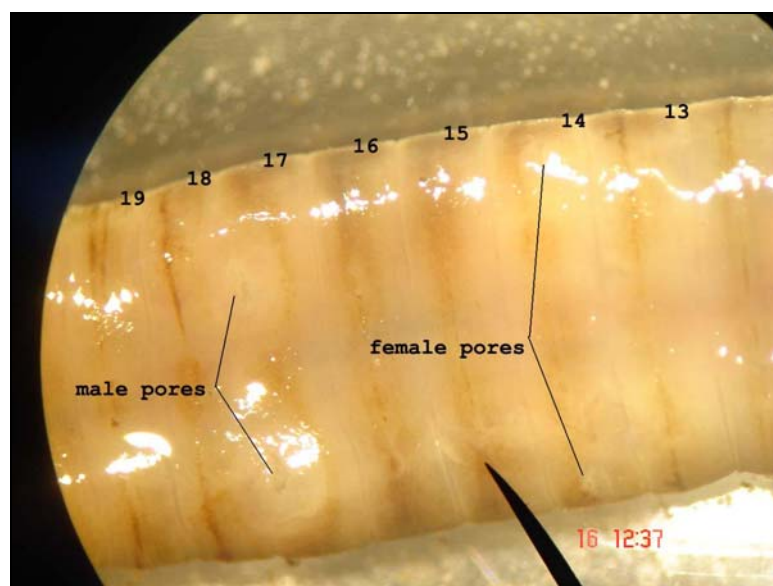
ภาพที่ 15 ไคลเทลลัมเป็นปลอกเนื้อสีขุ่น บริเวณไคลเทลลัมในตัวที่เข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์เต็มที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

ช่องเปิดต่างๆ ที่สามารถตรวจพบได้จากภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ คือ ช่องเพศเมีย (female pore) และช่องเพศผู้ (male pore) ช่องเพศเมียมีลักษณะเป็นรูเปิดวงกลมที่มีขนาดเล็กอยู่ปล้องที่ 14 จำนวน 1 คู่ ช่องเพศผู้อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างปล้องที่ 17 และ 18 จำนวน 1 คู่ (ภาพที่16 และภาพที่17)

ไส้เดือนดินในวงศ์ *Eudrilidae* ไม่มีรูหลัง (Edwards, 1972) และการศึกษาครั้งนี้ก็ไม่พบรูหลัง (dorsal pore) เช่นกัน ส่วนช่องเปิดของถุงรับอสุจิ (seminal receptacle) ไม่สามารถตรวจพบได้ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ



ภาพที่ 16 ลักษณะภายนอกบริเวณปล้องลำตัวที่พบช่องเพศผู้ (male pores) และช่องเพศเมีย (female pores) ช่องเพศผู้ที่อยู่รอยต่อระหว่างปล้องที่ 17 และ 18 ส่วนช่องเพศเมียอยู่ปล้องที่ 14

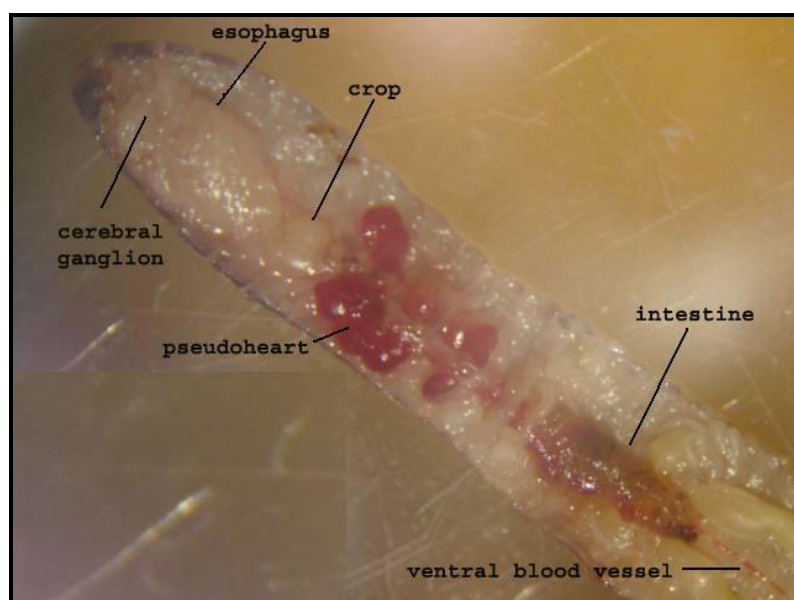


ภาพที่ 17 ช่องเพศผู้ (male pores) และช่องเพศเมีย (female pores) ศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

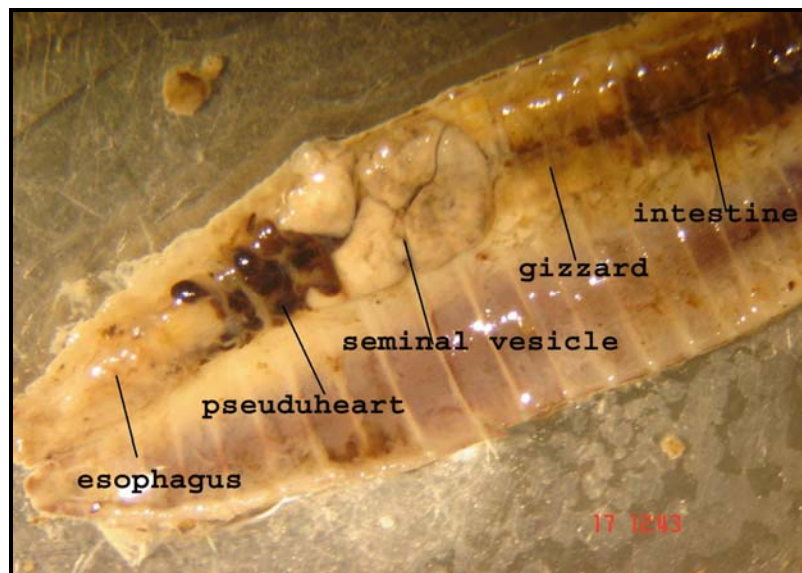
2. ลักษณะภายใน

2.1 ท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal)

การผ่าตัด (dissection) จากด้านหลัง (ภาพที่ 18) พบว่าจากท่อทางเดินอาหารที่ต่อจากช่องปากคือคอหอย (pharynx) ต่อด้วยหลอดอาหาร (esophagus) ลักษณะเป็นท่อขนาดใหญ่และยาวไม่เกินบริเวณปล้องที่ 7 หรือ 8 มีต่อมแคลซิเฟอร์ (calcififerous gland) เป็นผลึกแข็งสีดำรวมตัวกันเป็นกระจุกทั้งสองข้างของหลอดอาหาร ถัดมาเป็นของกระเพาะพักอาหาร (crop) เป็นถุงหรือกระเปาะ รูปวงกลมขนาดเล็ก ซึ่งแตกต่างจากหลอดอาหาร (esophagus) อย่างชัดเจน กระเพาะบด (gizzard) เป็นกระเปาะสีเหลืองเข้มหรือสีน้ำตาลส่วนลำไส้ (intestine) มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำลักษณะเป็นท่อยาวตลอดลำตัวจรดบริเวณทวารหนัก (anus) (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 18 ท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) ที่ศึกษาจากการผ่าตัด พบหลอดอาหาร กระเพาะพักอาหารและลำไส้ ส่วนระบบหมุนเวียนพบหัวใจเทียม (pseudoheart) เป็นกระเปาะสีแดงจำนวน 4 คู่



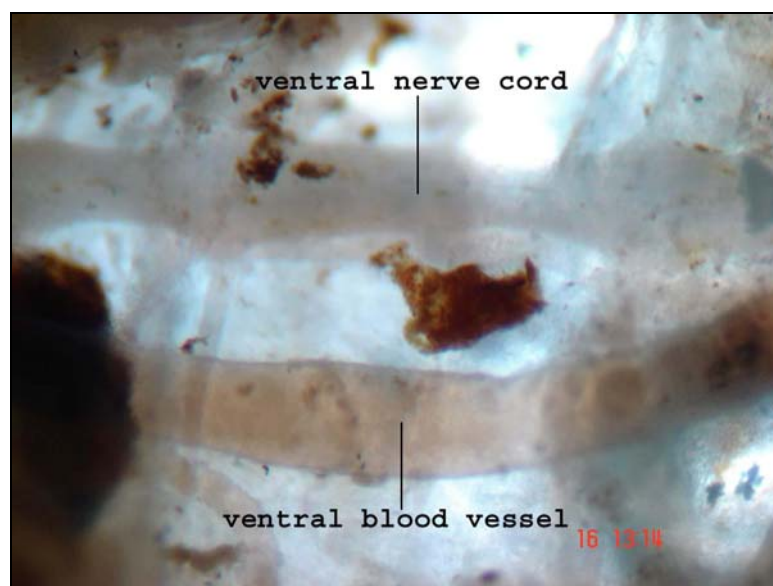
ภาพที่ 19 ท่อทางเดินอาหาร (alimentary canal) แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างสีของ
กระเพาะบดและลำไส้

2.2 ระบบประสาท (nervous system)

พบบมประสาทสมอง (cerebral ganglion) วางตัวอยู่ถัดจากช่องปาก บริเวณปล้องลำตัว
ที่ 2 - 4 หรืออยู่เหนือหลอดอาหาร ส่วนเส้นประสาทท้อง (ventral nerve cord) จะวางตัวขนานไป
กับเส้นเลือดท้อง (ventral blood vessel) ตลอดความยาวลำตัว (ภาพที่ 20 และภาพที่ 21)



ภาพที่ 20 เส้นประสาทท้อง (ventral nerve cord) วางตัวขนานไปกับเส้นเลือดท้อง (ventral blood vessel)



ภาพที่ 21 เส้นประสาทท้อง (ventral nerve cord) และเส้นเลือดท้อง (ventral blood vessel) จากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 40X)

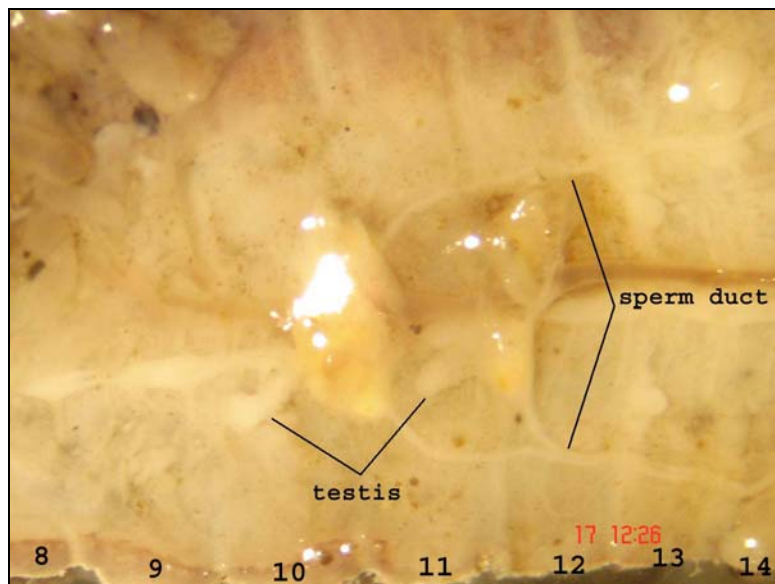
2.3 ระบบหมุนเวียน (circulatory system)

การศึกษาพบว่า *E. eugeniae* มีหัวใจเทียม (pseudoheart) เป็นกระเปาะสีแดงจำนวน 4 คู่ (ภาพที่ 18) ปล้องที่ 9-12 เส้นเลือดท้องขนานไปกับเส้นประสาทท้อง ส่วนเส้นเลือดหลัง (dorsal blood vessel) อยู่เหนือท่อทางเดินอาหารยาวตลอดลำตัวด้านหลัง อวัยวะขับถ่ายหรือเนฟริเดียม (nephridium) พบว่าติดอยู่กับผนังปล้องด้านท้องของปล้องลำตัวทุกปล้อง

2.4 ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system)

2.4.1 อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (male organs)

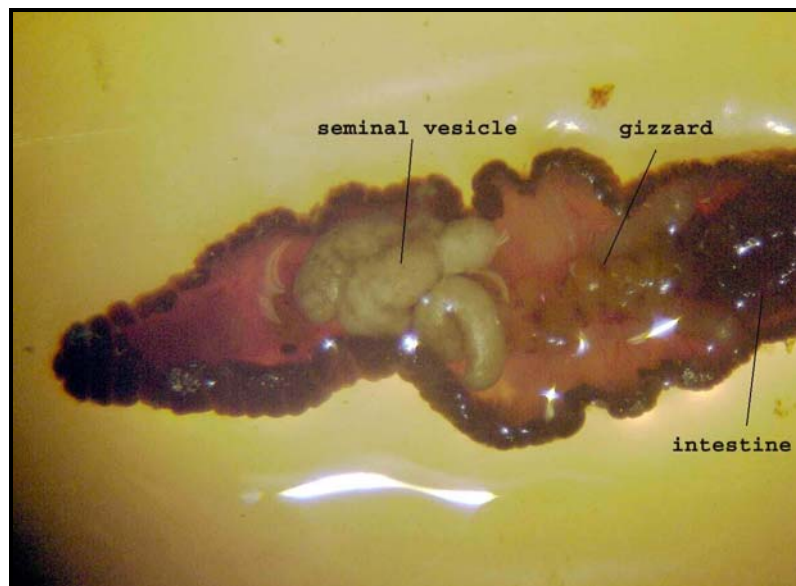
E. eugeniae มีอวัยวะ (testis) เป็นพู (lobe) ขนาดเล็กสีขาวจำนวน 2 คู่ อยู่ที่ผนังกันระหว่างปล้องที่ 10 กับ 11 และ 11 กับ 12 (ภาพที่ 22) แต่ Edwards (1977) รายงานว่าโดยทั่วไปไส้เดือนดินในวงศ์ *Lumbricidae*, *Megascolecidae* และ *Glossoscolecidae* พบอวัยวะอยู่ที่ผนังกันด้านท้ายระหว่างปล้องที่ 9 กับ 10 และ 10 กับ 11 และบริเวณผนังกันมีแขนงยื่นออกมาเป็นถุงหุ้มอวัยวะ (testis sac) ห่อหุ้มทั้งอวัยวะ กรวยท่ออสุจิและช่องเปิดของถุงเก็บอสุจิเอาไว้ ถุงเก็บอสุจิเป็นแขนงของถุงหุ้มอวัยวะ ลักษณะก้อน (mass) สีขาวขุ่นขนาดใหญ่จำนวน 3 คู่ มองเห็นชัดเจนกว่าอวัยวะสืบพันธุ์ส่วนอื่นๆ จากการศึกษาด้วยการผ่าตัด (dissection) มองเห็นถุงเก็บอสุจิชัดเจนเพียง 2 คู่ (ภาพที่ 23 และภาพที่ 24) ต่อมพรอสเตท (prostate gland) มีลักษณะคล้ายนิ้วมือ (ภาพที่ 25) ไส้เดือนดินในวงศ์ *Eudrilidae* นั้นต่อมพรอสเตท มีชื่อเฉพาะเรียกว่า ยูพรอสเตท (euprostates) (Edwards and Lofty, 1972) ยูพรอสเตทเป็นต่อมขนาดใหญ่ อยู่ตอนท้ายของท่อนำอสุจิ (sperm duct) ก่อนเปิดออกที่ตำแหน่งของช่องเพศผู้บริเวณรอยต่อระหว่างปล้องที่ 17 กับ 18



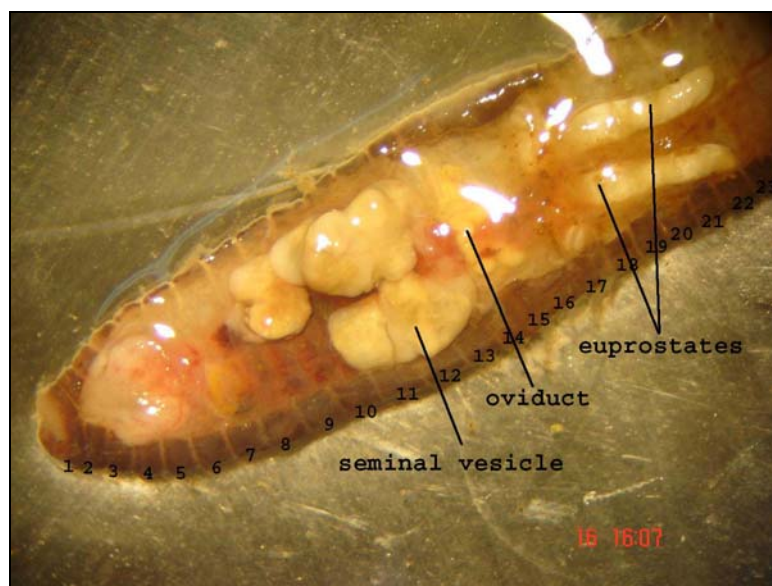
ภาพที่ 22 อัณฑะ (testis) และท่ออสุจิ (sperm duct) ของ *Eudrilus eugeniae* ซึ่งท่ออสุจิยาวไปตามปล้องหลายปล้องก่อนเปิดออกที่ช่องเพศผู้



ภาพที่ 23 ถุงเก็บอสุจิ (seminal vesicle) ขนาดใหญ่ เป็นก้อนสีขาวอยู่สองข้างของท่อทางเดินอาหาร



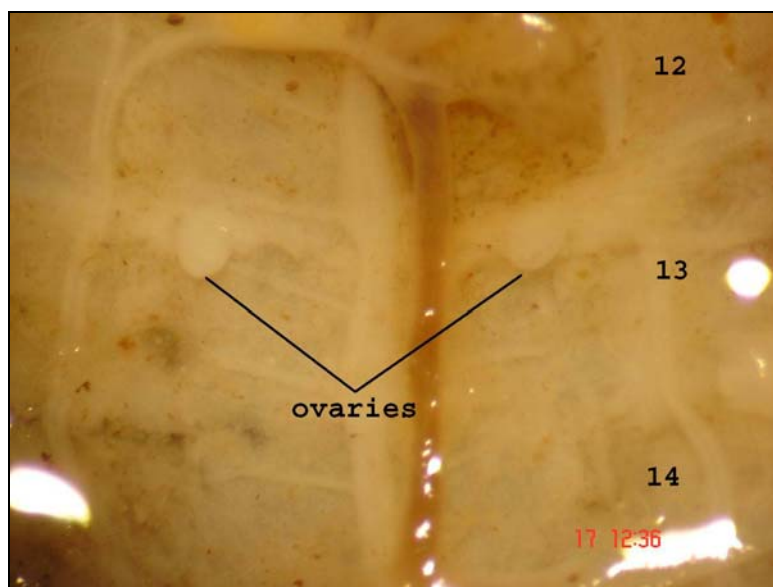
ภาพที่ 24 ถุงเก็บ (seminal vesicle) อสุจิของ *Eudrilus eugeniae* ที่ได้จากการผ่าตัดตัวอย่างสด



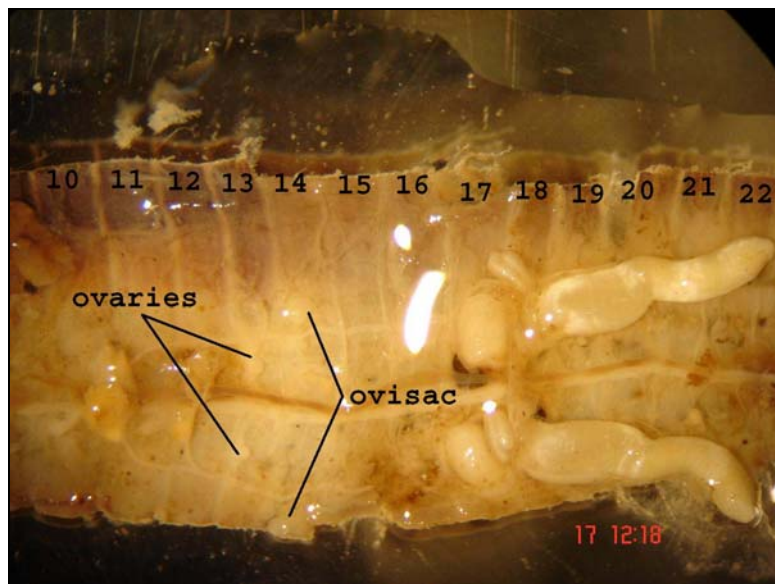
ภาพที่ 25 อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ (male organs) มีถุงเก็บอสุจิ (seminal vesicle) ก้อนสีขาวขนาดใหญ่และต่อมพรอสเตทลักษณะคล้ายนิ้วมือเรียกว่ายูพรอสเตท (euprostates)

2.4.2 อวัยวะสืบพันธุ์เพศเมีย (female organs)

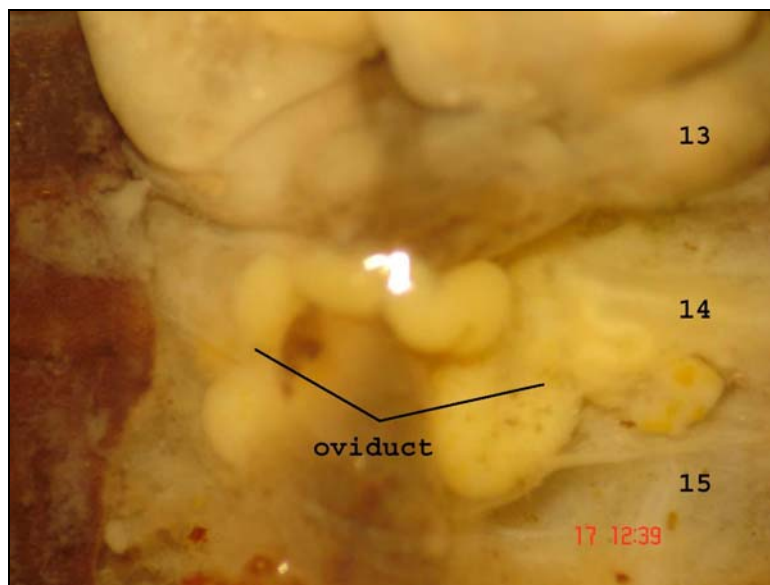
E. eugeniae มีรังไข่ (ovary) 1 คู่ พบด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 และ 13 (ภาพที่ 26) สอดคล้องกับรายงานของ Edwards and Lofty (1972) ว่าโดยทั่วไปไส้เดือนดินส่วนใหญ่พบรังไข่ที่ด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 กับ 13 รังไข่สร้างไข่และไข่ที่เจริญถูกเก็บไว้ในถุงไข่ (ovisac) ซึ่งเว้าลงเป็นถุงกลมโป่งด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 13 กับ 14 ถุงไข่จะเชื่อมต่อกับผนังด้านหลังของกรวยรังไข่ (ovarian funnels) ซึ่งติดอยู่ที่ผนังกันของปล้องและตอนท้ายของกรวยรังไข่ขยายยาวออกเป็นท่อนำไข่ (oviduct) ซึ่งพบที่ปล้อง 14 (ภาพที่ 28 และ 29) ไข่ผ่านไปตามท่อและเปิดออกทางด้านท้องที่ตำแหน่งของช่องเพศเมีย ซึ่งตำแหน่งของช่องเพศเมียขึ้นอยู่กับชนิดของไส้เดือนดิน ส่วนถุงรับอสุจิ (seminal receptacle) มีรายงานว่าไส้เดือนดินวงศ์ *Megascolecidae* มี 2 คู่ ปล้องที่ 9 และ 10 Edwards (1977) การศึกษาครั้งนี้พบถุงไข่ที่ผนังกันระหว่างปล้องที่ 13 และ 14 (ภาพที่ 27) ในส่วนของถุงรับอสุจิ (seminal receptacle) พบว่าถุงรับอสุจิเป็นถุงกลมอยู่ปล้องที่ 10 และ 11 (ภาพที่ 30)



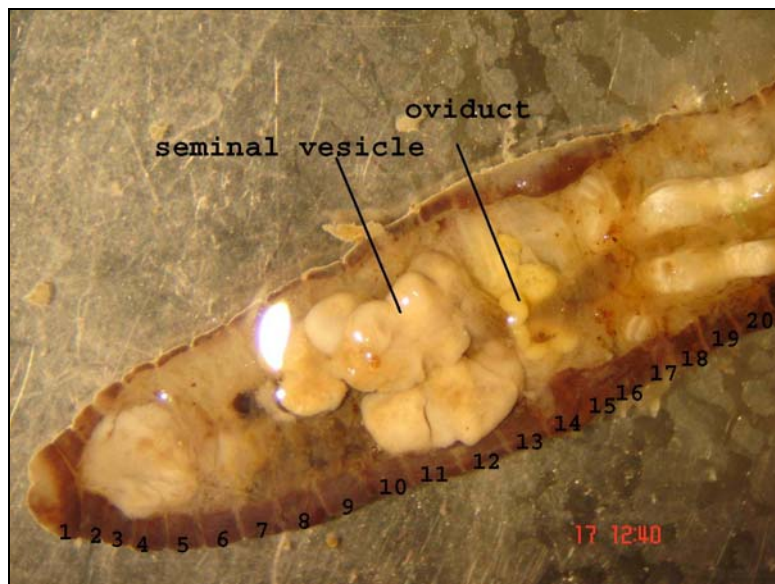
ภาพที่ 26 ตำแหน่งของรังไข่ด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 และ 13



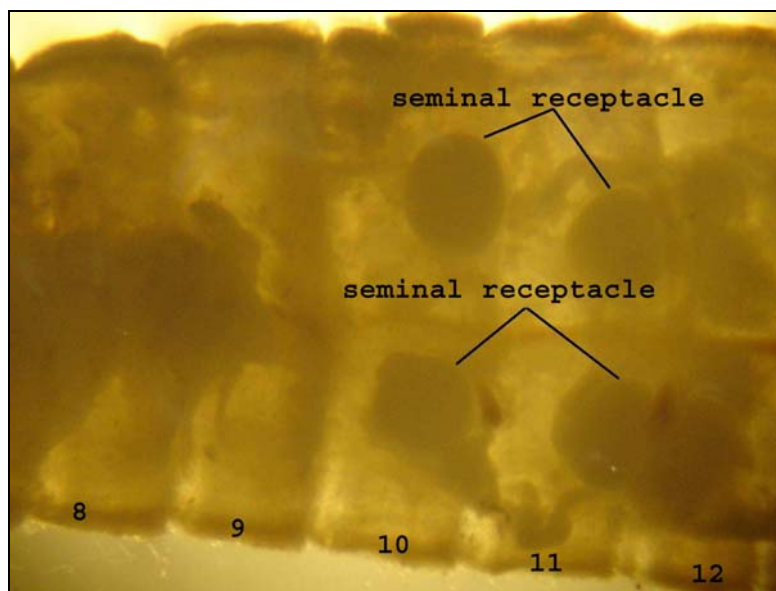
ภาพที่ 27 ตำแหน่งของรังไข่อยู่ด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 และ 13 และถุงไข่
อยู่ผนังกันปล้องที่ 13 และ 14



ภาพที่ 28 ท่อนำไข่ (oviduct) ที่พบอยู่ปล้องที่ 14



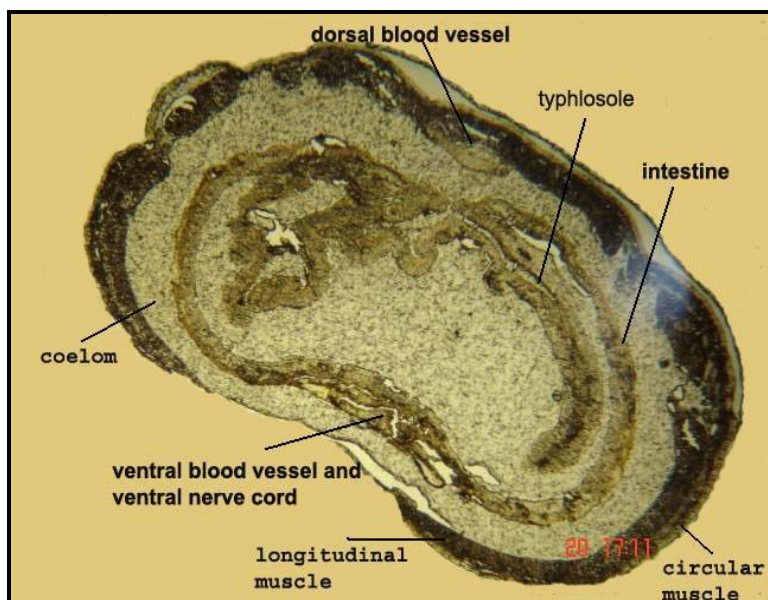
ภาพที่ 29 ท่อนำไข่ (oviduct) ซึ่งมีปลายเปิดออกที่ตำแหน่งของช่องเพศเมีย



ภาพที่ 30 ถุงรับอสุจิ (seminal receptacle) เป็นถุงกลมโป่งจำนวน 2 คู่

3. การศึกษาเพิ่มเติมทางด้านมิถุวิทยา (histology)

ทำการตัดลำตัวตามขวางบริเวณปล้องลำตัวตอนกลางซึ่งเป็นที่อยู่ของลำไส้ พบว่า *E. eugeniae* มีโครงสร้างของผนังตัวเช่นเดียวกับไส้เดือนดินโดยทั่วไป คือ ผนังตัวประกอบด้วย คิวทิเคิล (cuticle) อีพิเดอมิส (epidermis) กล้ามเนื้อรอบวง (circular muscle) กล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) และซีลอม (coelom) ซึ่งเป็นโพรงขนาดใหญ่ระหว่างผนังลำตัวกับท่อทางเดินอาหาร ถัดจากช่องตัวหรือซีลอมเป็นลำไส้ (intestine) (ภาพที่ 31)



ภาพที่ 31 โครงสร้างของผนังตัวชั้นต่างๆ แสดงให้เห็นคิวทิเคิล อีพิเดอมิส กล้ามเนื้อรอบวง กล้ามเนื้อตามยาว ซีลอมและลำไส้

4. วัฏจักรชีวิต

จากการทดลองเพาะเลี้ยง *E. eugeniae* จำนวน 10 ตัว น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.34 ± 0.08 กรัม เลี้ยงในวัสดุผสมระหว่างขุยมะพร้าวและเศษกระดาษอัตราส่วน 1 : 1 ระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าไส้เดือนดินมีน้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย 2.9 ± 0.35 กรัม เริ่มสังเกตเห็นโคลเทลดัมชัดเจนในสัปดาห์ที่ 6 โดยมีน้ำหนักเฉลี่ย 0.73 ± 0.13 กรัม เริ่มผลิตโคกุนในสัปดาห์ที่ 8 จำนวน โคกุนที่ผลิต

ได้ในครั้งแรกจำนวน 4 ± 1 ถุง ภายในระยะเวลาที่ไส้เดือนดินเริ่มผลิตโคกุนจากสัปดาห์ที่ 8 จนถึงระยะเวลาดสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 24 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ *E. eugeniae* ผลิตโคกุนได้ทั้งสิ้น 95 ± 28 ถุง คิดเป็น 0.59 ± 0.17 ถุงต่อตัวต่อสัปดาห์

โคกุนมีลักษณะเป็นถุงรูปวงรี สีเหลืองออกน้ำตาล ขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร การผลิตโคกุนของ *E. eugeniae* ระยะแรกที่ปล่อยโคกุนออกมา โคกุนเป็นถุงวงรีสีขาวซีดยืดหยุ่นและยังไม่แข็งตัว เวลาผ่านไปจึงเริ่มแข็งและสีค่อยๆเข้มขึ้น (ภาพที่ 32)



ภาพที่ 32 โคกุนเป็นถุงรูปวงรีขนาดเล็ก สีเหลืองหรือสีน้ำตาลผิวขรุขระ ปลายทั้งสองด้านปิดเข้าหากัน

วัฏจักรชีวิตในวัสดุผสมระหว่างขุยมะพร้าวและเศษกระดาษอัตราส่วน 1 : 1 พบว่าระยะเวลาจากการเริ่มผลิตโคกุนจนฟักออกมาเป็นลูกไส้เดือนที่มีสีขาวใช้เวลา 7-13 วัน และระยะเวลาที่ลูกไส้เดือนสีขาวเริ่มมีสีแดงใช้เวลา 3-5 วัน ส่วนระยะเวลาที่ลูกไส้เดือนมีสีแดงเป็นไส้เดือนที่มีโคลเทลล์ใช้เวลาประมาณ 40-65 วัน รวมระยะเวลาจากการเริ่มผลิตโคกุน จนถึงระยะที่ไส้เดือนมีโคลเทลล์ทั้งหมดประมาณ 50-83 วัน จากผลการทดลองที่ได้พบว่า *E. eugeniae* มีการเจริญเติบโตอย่างช้า สาเหตุมาจากในวัสดุผสมระหว่างขุยมะพร้าวและเศษกระดาษนั้น

สารอาหารในปริมาณน้อย เนื่องจากทั้งกระดาษและขุยมะพร้าวเป็นแหล่งของคาร์บอนเพียงอย่างเดียว (พิทยากร, ม.ป.ป.) ส่วนแหล่งของโปรตีนได้มาจากอาหารที่ให้ โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นเศษผักและผลไม้ซึ่งจัดว่าเป็นแหล่งโปรตีนปริมาณต่ำมาก *E. eugeniae* จึงเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปล้องที่เกิดขึ้น พบว่าจำนวนปล้องของไส้เดือนดินโดยทั่วไปมีจำนวนคงที่ตั้งแต่ฟักออกจากโคกจนกระทั่งเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์และเจริญเติบโตเต็มที่ (Edwards and Lofty, 1977) แต่ในการศึกษาพบว่าจำนวนปล้องของ *E. eugeniae* สามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ตลอดวัฏจักรชีวิตจนกระทั่งเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ และการเจริญเติบโตนั้นมีการเพิ่มจำนวนปล้องลำตัวมากขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขนาดของปล้องลำตัว (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ช่วงการเจริญเติบโตของลูก *Eudrilus eugeniae* ที่วัดจากน้ำหนักและจำนวนปล้องที่เกิดขึ้น

อายุ (วัน)	น้ำหนัก (กรัม)	จำนวนปล้อง (ปล้อง)
1	0.006 – 0.010	80 – 86
7	0.009 – 0.013	91 – 99
14	0.01 – 0.05	99 – 105
21	0.07 – 0.11	115 – 123
28	0.11 – 0.15	125 – 137
35	0.11 – 0.19	147 – 149
42	0.14 – 0.24	155 – 165
49	0.27 – 0.29	165 – 171
56	0.33 – 0.38	170 – 190
63	0.40 – 0.44	185 – 191
70	0.45 – 0.53	190 – 200
77	0.60 – 0.62	200 – 203
84	0.60 – 0.74	205 – 213
91	0.77 – 0.90	210 – 230
98	0.92 – 0.99	220 – 234

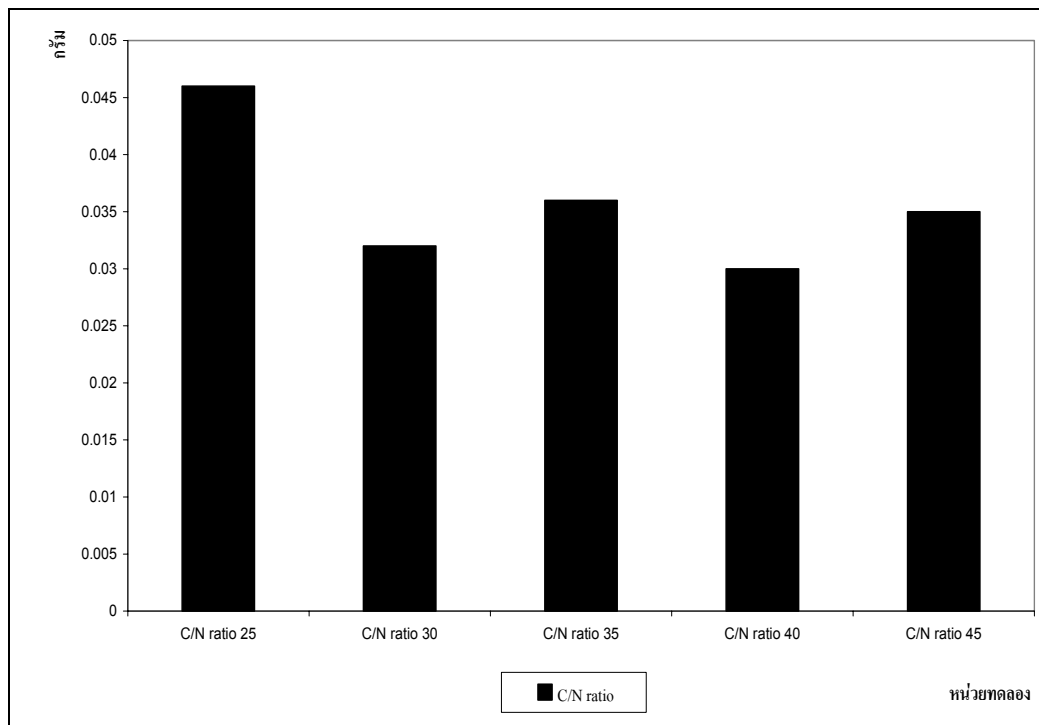
5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพกากตะกอนแห้ง

5.1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเป็นน้ำหมักตัว

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุผสมที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว (ตารางที่ 3) อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) *E. eugeniae* มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวมากที่สุดที่อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 คือ 0.046 ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวของอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 คือ 0.032, 0.036, 0.030 และ 0.035 ตามลำดับ (ภาพที่ 33)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Edwards (1972) ซึ่งรายงานว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุมีผลต่อน้ำหนักของไส้เดือนดิน สาเหตุที่อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 ทำให้ *E. eugeniae* มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวดีที่สุด อธิบายได้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนต่ำนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนสูง ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโนและโปรตีน ซึ่งจะเป็นแหล่งโปรตีนที่ *E. eugeniae* นำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์และเนื้อเยื่อได้ นอกจากนี้ *E. eugeniae* ยังได้แหล่งโปรตีนปริมาณเล็กน้อยจากเศษผักและผลไม้ซึ่งให้เป็นอาหารประจำ

ชิตินันต์ (2546) รายงานว่า *Lumbricus rubellus* ที่เลี้ยงในวัสดุผสมระหว่างมูลไก่กับขุยมะพร้าวเมื่อใช้สัดส่วนของมูลไก่ต่ำทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวได้ดี แต่ *E. eugeniae* พบว่าในวัสดุผสมระหว่างมูลไก่กับขุยมะพร้าวเมื่อใช้สัดส่วนของมูลไก่ต่ำทำให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวได้น้อย



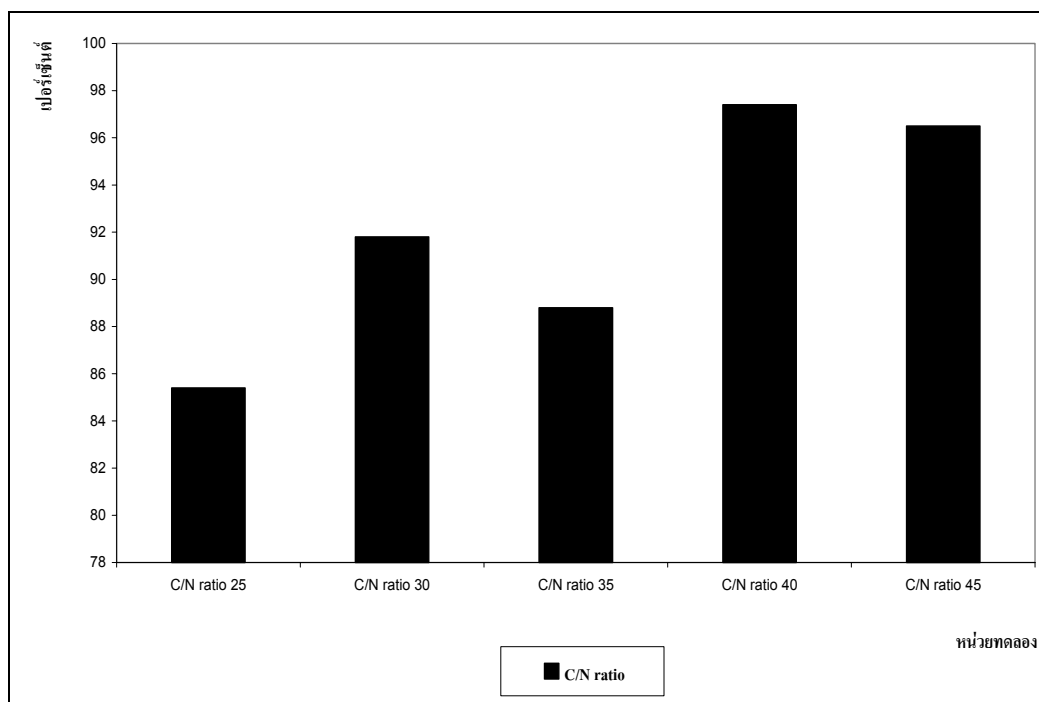
ภาพที่ 33 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัวของอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนแบบต่างๆ

5.2 อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก

อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 2) โดยอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 40:1 และ 45:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 30:1 และ 35:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 40:1 และ 45:1 ส่งผลทำให้ *E. eugeniae* มีอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักดีมากพอสมควร คือ 97.4 และ 96.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 30:1 และ 35:1 35:1 คือ 91.8, 88.8 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1 มีอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก 85.4 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 34)

พิทยากร (ม.ป.ป.) รายงานว่าอัตราการย่อยสลายหรืออัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน โดยเฉพาะในโตรเจนซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควบคุมและเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลาย ค่าอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการย่อย

สลายโดยจุลินทรีย์มีค่าที่ดีที่สุดที่ประมาณ 25:1 - 30:1 จะทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนสูงเกินไป อัตราการย่อยสลายจะเกิดได้ช้า แต่ถ้าต่ำเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในระหว่างการย่อยสลาย จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนก่อนบำบัดทุกหน่วยการทดลอง มีอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักใกล้เคียงกันคือ 97.4 , 96.5, 91.8, 88.8, 85.4 แต่อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 40:1 และ 45:1 ส่งผลทำให้ *E. eugeniae* มีอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักได้ดี อาจอธิบายได้ว่ามีปัจจัยอื่นที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับอัตราการย่อยสลาย ที่ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 40:1 และ 45:1 ย่อยสลายได้เร็ว เช่น ขนาดของวัสดุที่ใช้เลี้ยง หรืออาจเป็นเพราะการศึกษ้อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักในห้องปฏิบัติการนั้น ใช้การทดลองกับกองปุ๋ยหมักขนาดเล็กเพียงประมาณ 150 กรัมเท่านั้น



ภาพที่ 34 เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักของอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนแบบต่างๆ

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักตัว และอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก
ที่อัตราส่วนของวัสดุผสมแบบต่างๆ

ผลการศึกษา	อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio)				
	25:1	30:1	35:1	40:1	45:1
การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักตัว (กรัม)	0.046 ^a	0.032 ^b	0.036 ^b	0.030 ^b	0.035 ^b
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (เปอร์เซ็นต์)	85.4 ^b	91.8 ^{ab}	88.8 ^{ab}	97.4 ^a	96.5 ^a

^{a, b} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแต่ละแถวบน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
ระดับ $P < 0.05$

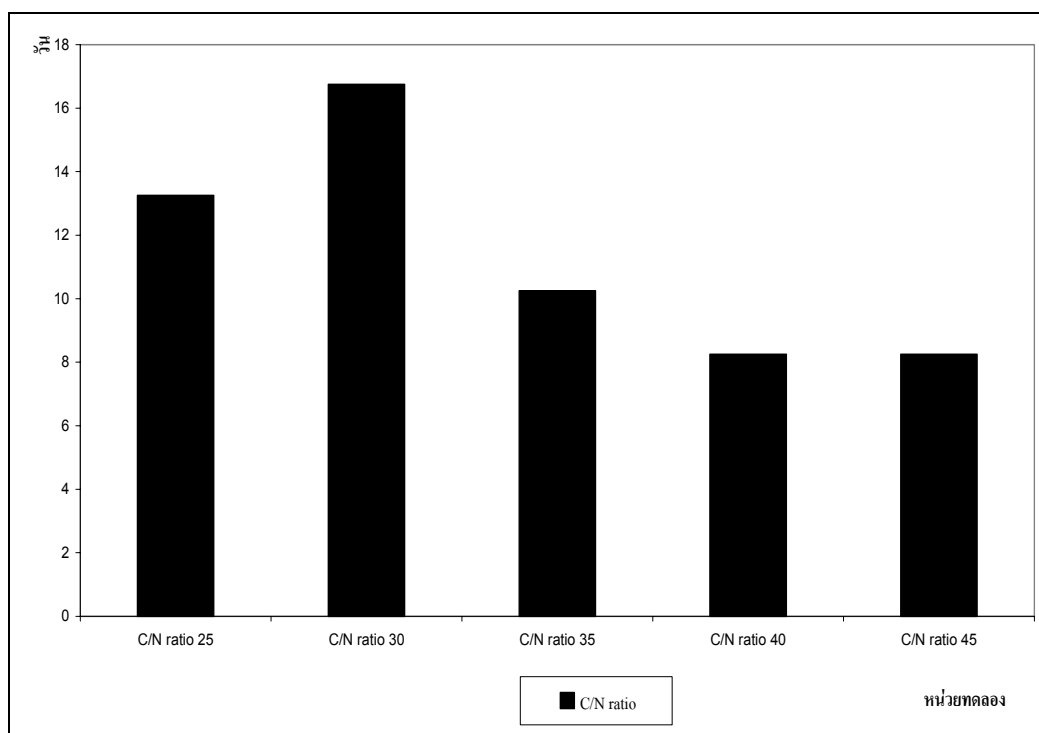
5.3 วัฏจักรชีวิต

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนวัน นับจากเริ่มทำการ
ทดลองจนถึงระยะเวลาให้โคขุน ($P < 0.05$) อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 และ 30:1
แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 35:1, 40:1 และ 45:1 อย่างมีนัยสำคัญ อัตราส่วน
คาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 เริ่มทำการทดลองจนถึงให้โคขุนใช้เวลา
13.25, 16.75, 10.25, 8.25 และ 8.25 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 35)

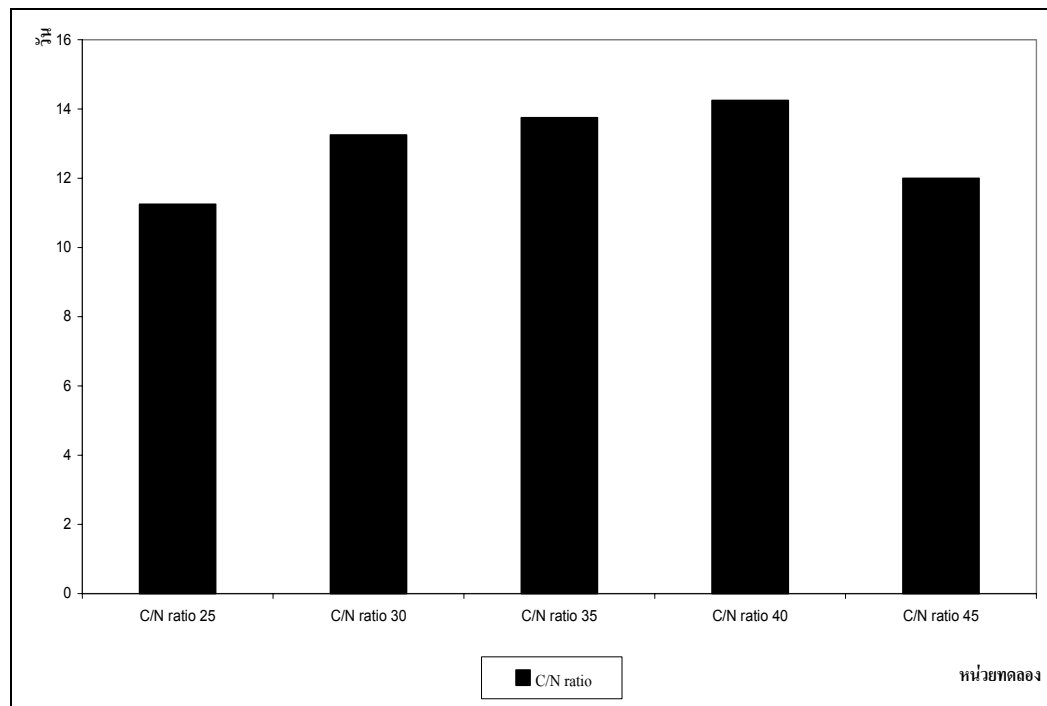
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อจำนวนวันจากโคขุนจนฟัก
ออกมาเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง ($P > 0.05$)
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 พบว่าจำนวนวันจากโคขุนฟักเป็น
ลูกไล่เดือนสีขาวใช้เวลา 11.25, 13.25, 13.75, 14.25 และ 12.00 วัน ตามลำดับ (ภาพที่ 36) ส่วน
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดงใช้เวลา 8.50, 8.00, 9.75, 7.50 และ 8.25 วัน
(ภาพที่ 37) ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

Jorge *et al.* (2001) รายงานว่า *E. eugeniae* มีชีวิตรอดในวัสดุที่ใช้เลี้ยงได้ดีเยี่ยม แม้
ในสภาพที่ไม่เหมาะสม และ Edwards (1998) รายงานวัฏจักรชีวิตของ *E. eugeniae* ในของเสียจาก
สัตว์และพืชผักพบว่าจำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกสีขาวใช้เวลา 13 - 27 วัน ซึ่งการทดลองครั้งนี้
จำนวนวันจากโคขุนฟักออกมาเป็นลูกสีขาวใช้เวลา 11.25 - 14.25 วัน และวัฏจักรชีวิตของ

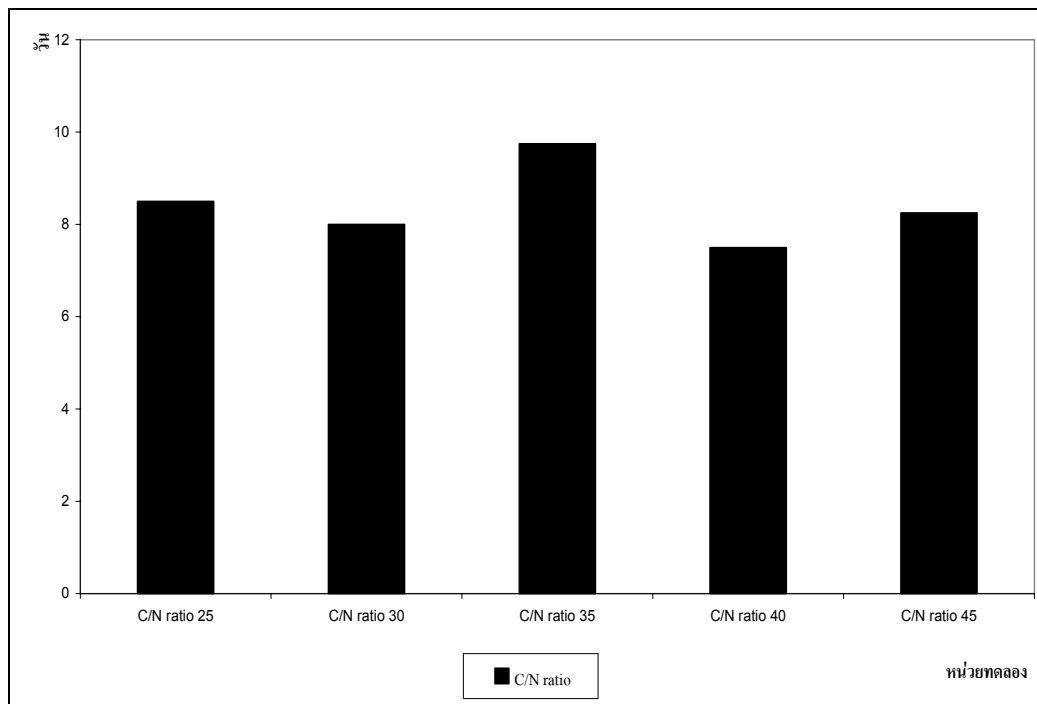
E. eugeniae ในมูลไก่และขุยมะพร้าวพบว่าจำนวนวันจากโคขุนฟักออกมาเป็นลูกสีขาว 26 – 32 วัน จำนวนวันจากลูกสีขาวเป็นสีแดง 7 – 16 วัน (ชิตินันท์, 2546) การทดลองครั้งนี้ใช้เวลาจากโคขุนฟักออกมาเป็นลูกสีขาว 11.25 - 14.25 วัน จำนวนวันจากลูกสีขาวเป็นสีแดง 8.50 - 9.75 วัน



ภาพที่ 35 เปรียบเทียบจำนวนวันจากเริ่มทดลองจนถึงระยะเวลาให้โคขุน (วัน) ของอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนแบบต่างๆ



ภาพที่ 36 เปรียบเทียบจำนวนวันจากให้โคขุนฟักเป็นลูกสีขาว (วัน) ของอัตราส่วนคาร์บอน
ไนโตรเจนแบบต่างๆ



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบจำนวนวันจากลูกสีขาวเป็นลูกสีแดง (วัน) ของอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนแบบต่างๆ

ตารางที่ 4 จำนวนวันจากเริ่มทดลองจนถึงระยะเวลาให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไส้เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไส้เดือนสีขาวเป็นลูกไส้เดือนสีแดง

ผลการศึกษา	อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio)				
	25:1	30:1	35:1	40:1	45:1
เริ่มทดลองจนถึงระยะเวลาให้โคขุน (วัน)	13.25 ^a	16.75 ^a	10.25 ^{ab}	8.25 ^b	8.25 ^b
จากถุงไข่ (cocoon) ฟักเป็นลูกสีขาว (วัน)	11.25	13.25	13.75	14.25	12.00
ลูกสีขาวเป็นลูกสีแดง (วัน)	8.50	8.00	9.75	7.50	8.25

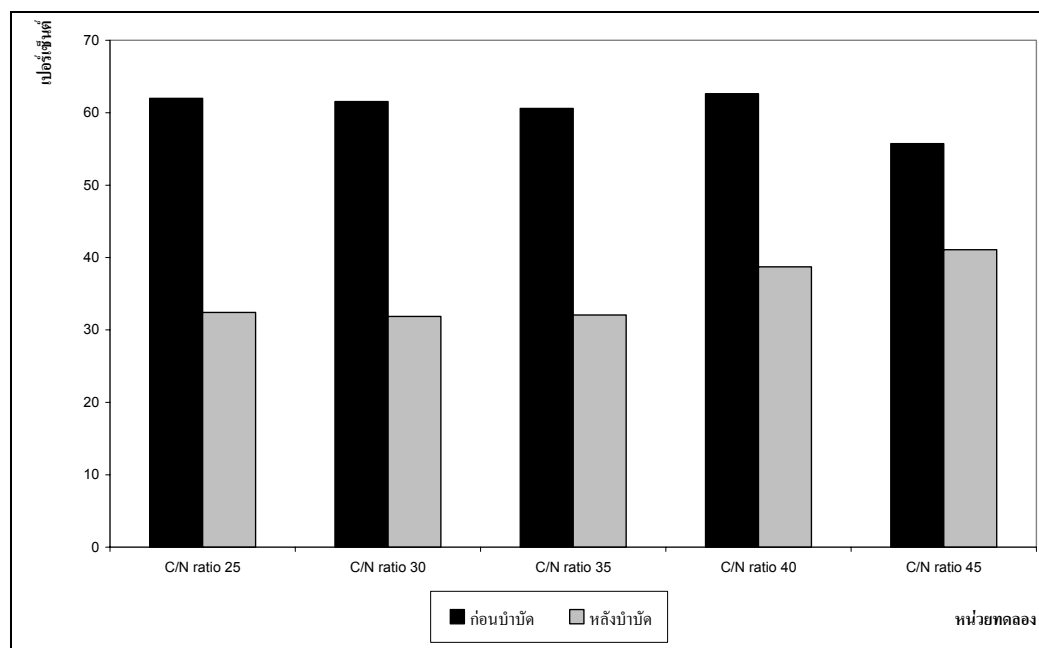
^{a, b} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแต่ละแถวบน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

6. การวิเคราะห์ส่วนผสมของกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวหลังจากนำไปเลี้ยงไส้เดือน

6.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนการบำบัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* (ตารางที่ 5) โดยอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 และ 45:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1 และ 35:1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนการบำบัด 61.98, 61.53, 61.63, 60.59 และ 55.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 38) และเมื่อทำการบำบัดด้วย *E. eugeniae* ปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังการบำบัดลดลงเหลือ 32.43, 31.86, 32.06, 38.71 และ 41.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ใกล้เคียงกับรายงานของเมธี (2541) ว่ากองปุ๋ยหมักที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มต้นสูงกว่าหรือใกล้เคียง 60 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุนั้นจะมีการย่อยสลายไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเหลืออยู่ในช่วง 35- 50 เปอร์เซ็นต์จึงจะจัดว่าเกิดการหมักที่สมบูรณ์และปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพดีพอสมควร



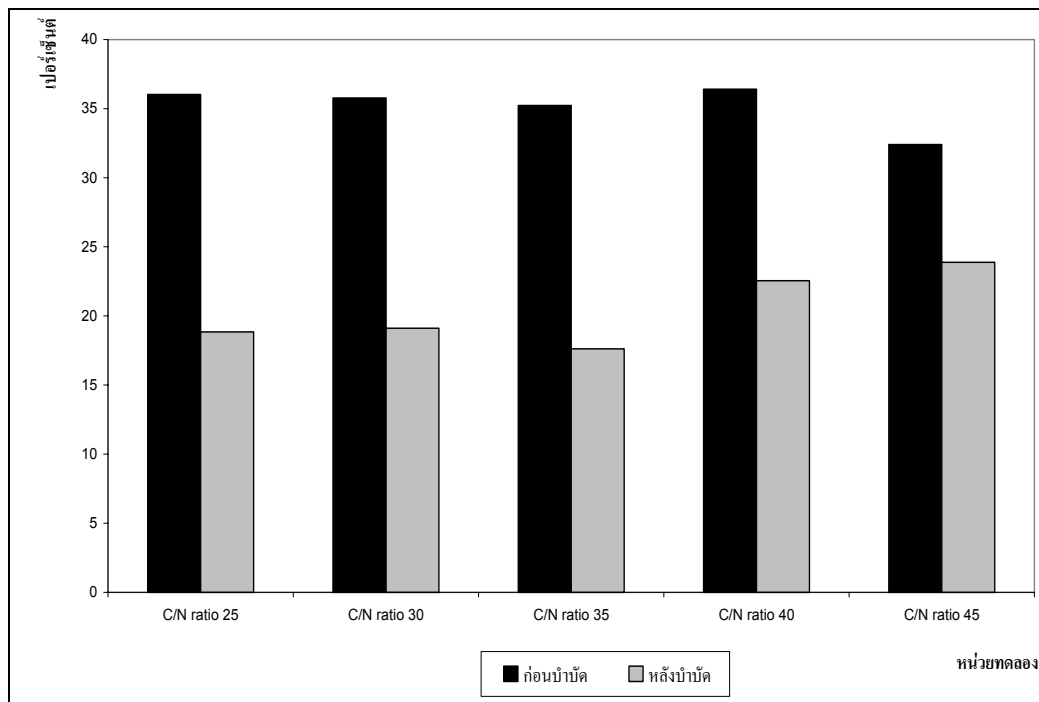
ภาพที่ 38 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนและหลังจากบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

6.2 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนแตกต่างกันมีผลต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอน หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* โดยอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 และ 45:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1 และ 35:1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณอินทรีย์อินทรีย์คาร์บอนก่อนการบำบัด 36.03, 35.77, 35.23, 36.41 และ 32.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (ภาพที่ 39) และเมื่อทำการบำบัดด้วย *E. eugeniae* ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลังการบำบัดลดลงเหลือ 18.85, 19.11, 17.62, 22.55 และ 23.88 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

เห็นได้ว่าหลังจากการบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลังการบำบัดลดลงในทุกหน่วยทดลอง พิทยากร (ม.ป.ป.) อธิบายว่าเนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายจุลินทรีย์จะใช้อินทรีย์คาร์บอนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ใหม่ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ใช้สารประกอบไนโตรเจน เพื่อนำไปสังเคราะห์สารโปรตีนและกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องคืออัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน ซึ่งโดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนประมาณ 15 : 1 หมายความว่าเวลาที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 15 หน่วยจำเป็นจะต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วยจึงจะทำให้เกิดความสมดุล ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนหลังการบำบัดลดลงในทุกหน่วยทดลอง



ภาพที่ 39 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนก่อนและหลังจากบ่มด้วย *Eudrilus eugeniae*

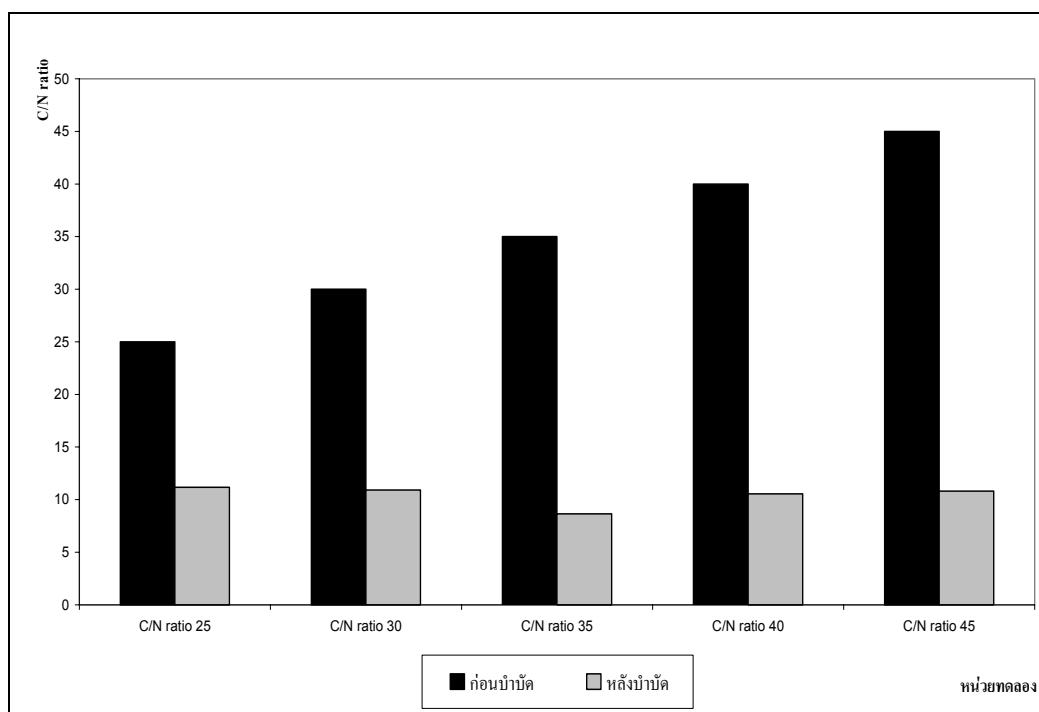
6.3 อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนหลังจากการบ่ม

อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนที่แตกต่างกันก่อนบ่มไม่มีผลต่ออัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนหลังการบ่มด้วย *E. eugeniae* โดยทั้งอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) (ภาพที่ 40)

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนก่อนการบ่มด้วย *E. eugeniae* เมื่อ ผสมวัสดุที่ใช้เลี้ยงระหว่างตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวให้อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนเริ่มต้นมีค่าประมาณ 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 หลังจากบ่มด้วย *E. eugeniae* พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนลดลงเหลือ 11.17:1, 10.92:1, 8.66:1, 10.55:1 และ 10.82:1 ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

มุกดา (2547) รายงานว่าปุ๋ยหมักแต่ละชนิดจะมีลักษณะและคุณสมบัติที่ต่างกัน ขึ้นกับชนิดและแหล่งที่มาของวัตถุดิบ รวมทั้งปัจจัยหลายอย่างที่ควบคุมคุณภาพของปุ๋ยหมักไม่ว่า

จะเป็นอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนและปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีมากจะมีอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ส่วนปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพปานกลางจะมีอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนระหว่าง 21:1 -25:1 ในส่วนของการทดลองครั้งนี้อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน ลดลงทุกหน่วยทดลองเหลือ 8.66 -11.17 แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมัก (vermicompost) จากส่วนผสมของกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวในการทดลองครั้งนี้จัดว่าเป็นปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีชนิดหนึ่ง



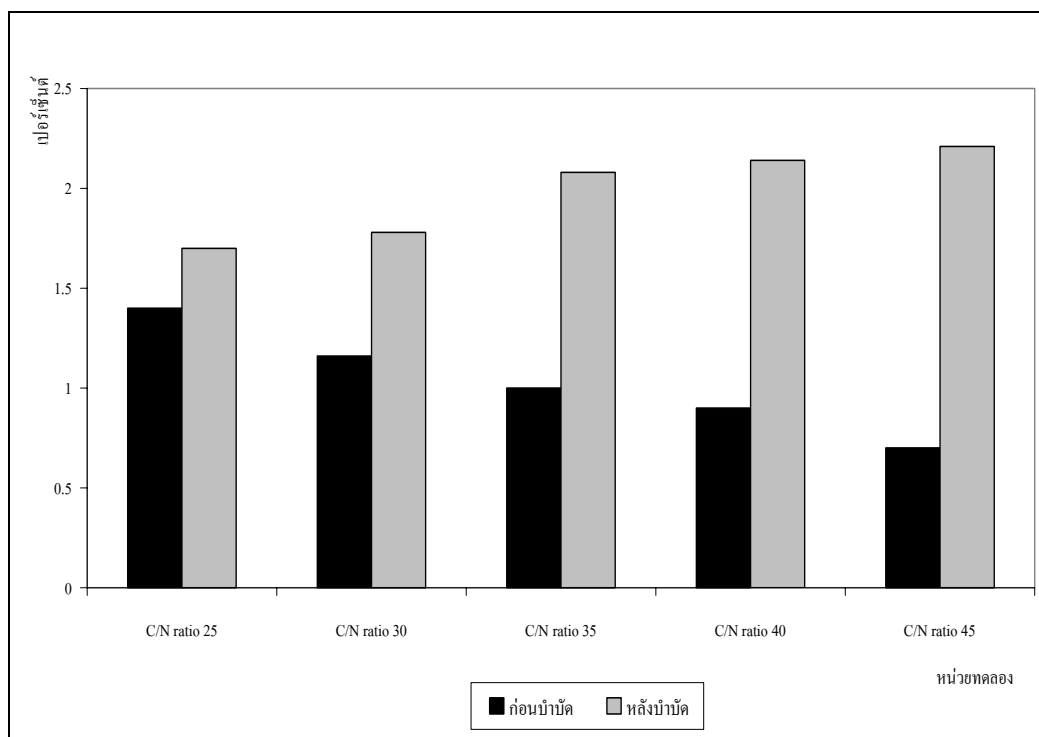
ภาพที่ 40 เปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนและหลังจากบำบัด

6.4 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

6.4.1 ไนโตรเจน

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน (N) หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 45:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) และอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 35:1 และ 40:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$)

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนการบำบัดด้วย *E. eugeniae* 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้น 1.40, 1.16, 1.04, 0.90 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณไนโตรเจนหลังการบำบัดมีค่า 1.70, 1.78, 2.08, 2.14 และ 2.21 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 41) ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

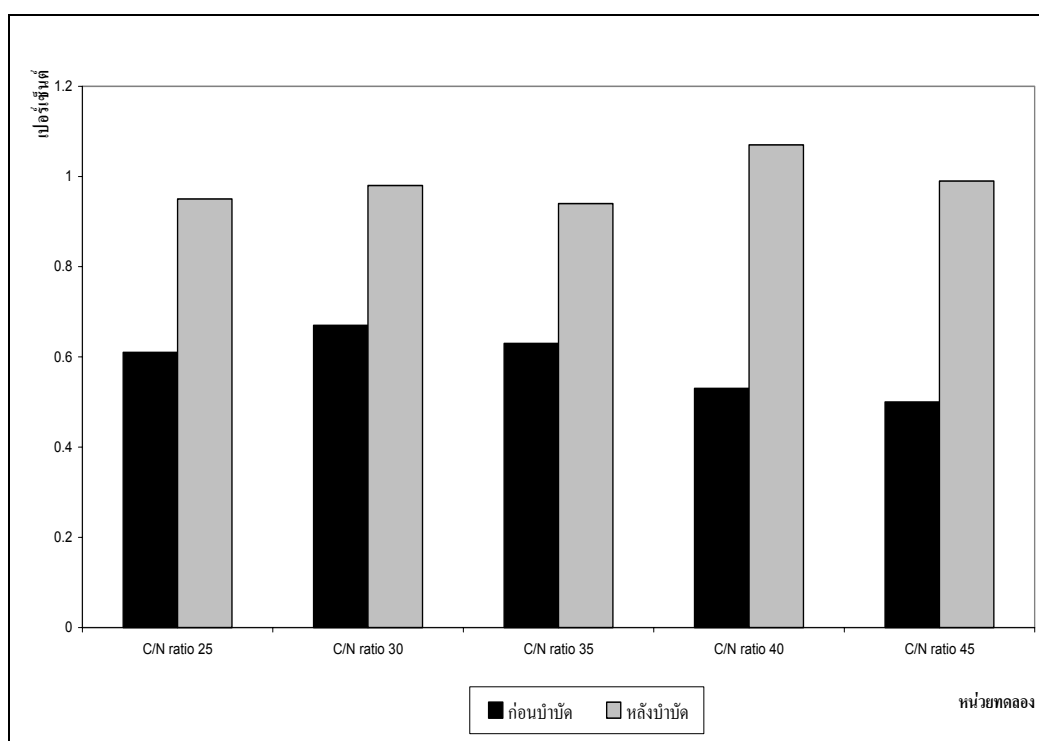


ภาพที่ 41 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนก่อนและหลังจากบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

6.4.2 ฟอสฟอรัส

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัส (P) หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1 และ 45:1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนการบำบัดด้วย *E. eugeniae* 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้น 0.61, 0.67, 0.63, 0.53 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสหลังการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 0.95, 0.98, 0.94, 1.07 และ 0.99 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 42) ตามลำดับ ดังตารางที่ 5



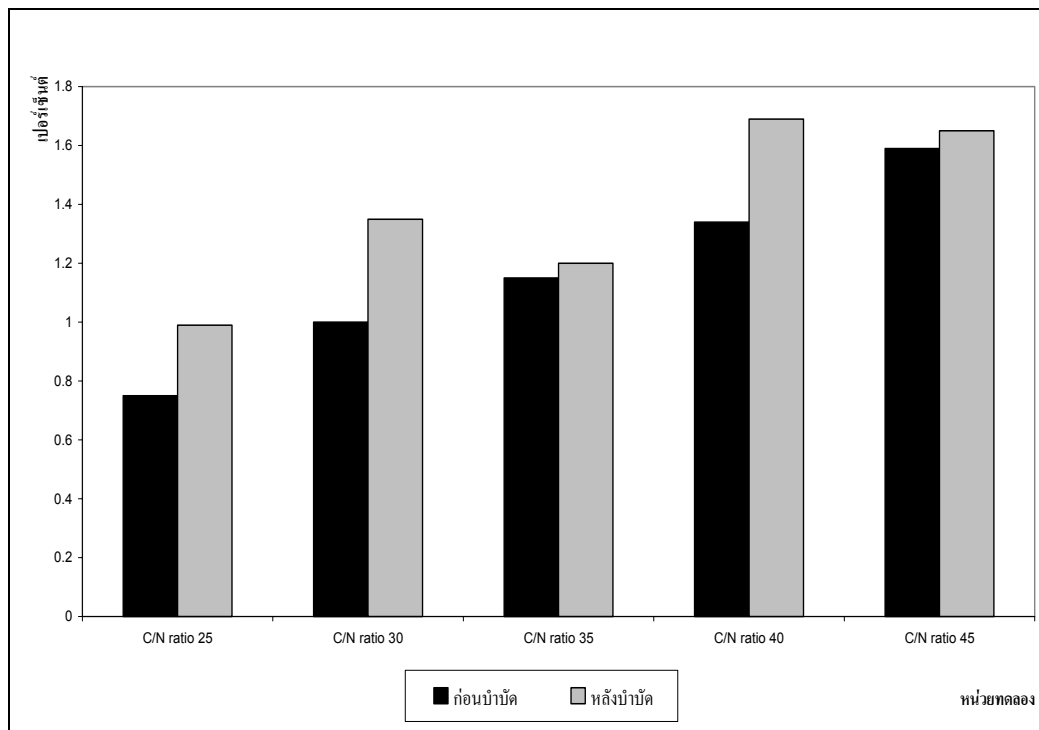
ภาพที่ 42 เปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสก่อนและหลังการบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

6.4.3 โปแทสเซียม

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่แตกต่างกัน มีผลต่อปริมาณโปแทสเซียม (K) หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 และ 45:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) และอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 และ 35:1 ไม่มีความแตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 และ 45:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 5

จากผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนการบำบัดด้วย *E. eugeniae* 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณโปแทสเซียมเริ่มต้น 0.75, 1.00, 1.15, 1.34 และ 1.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณโปแทสเซียมหลังการบำบัดเพิ่มเป็น 0.99, 1.35, 1.20, 1.69 และ 1.65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 43)

ชิตินันท์ (2546) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมจากการทดลองในวัสดุผสมระหว่างมูลไก่กับขุยมะพร้าวหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลงในทุกหน่วยทดลอง สาเหตุอาจเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้ปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมีโอกาสที่ปริมาณธาตุอาหารจะลดลงได้ แต่การทดลองครั้งนี้พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* มีปริมาณเพิ่มขึ้นในทุกหน่วยทดลอง และปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นนี้ยังจัดว่ามีปริมาณของธาตุอาหารหลักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีมาก จะเห็นว่าในทุกหน่วยทดลอง ปริมาณไนโตรเจน มีค่า 1.70 -2.21 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัส มีค่า 0.94 - 1.07 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโปแทสเซียมมีค่า 0.99 - 1.69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ มุกดา (2545) ว่าปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมในปุ๋ยหมักไม่ควรน้อยกว่า 1.0 , 1.0 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



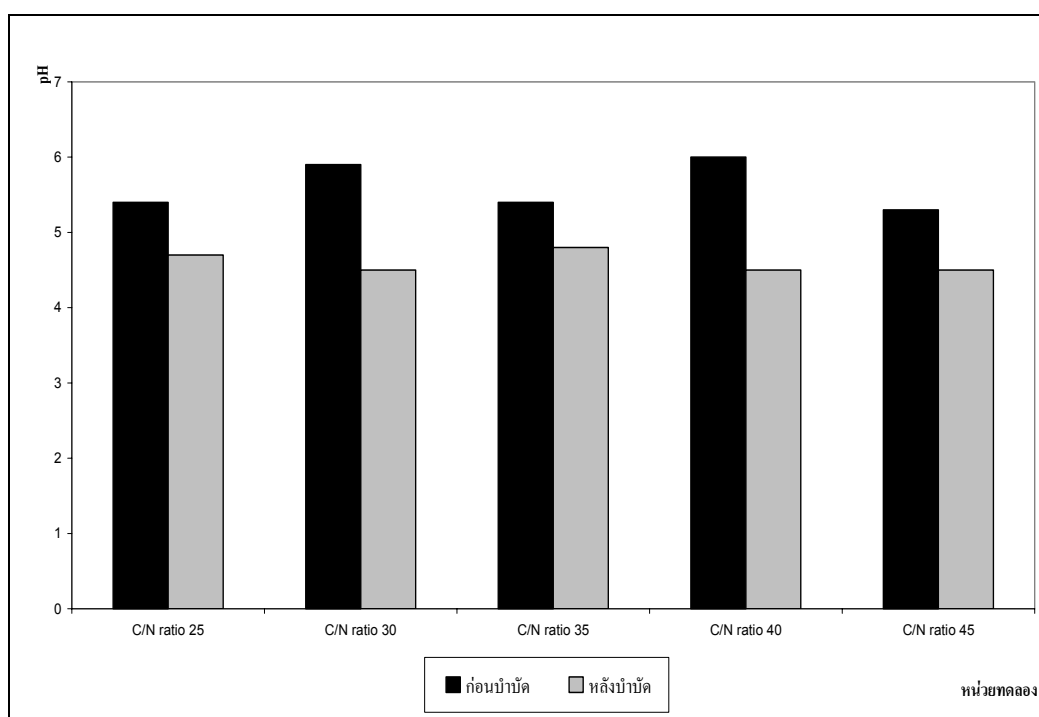
ภาพที่ 43 เปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมก่อนและหลังจากบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

6.4 ความเป็นกรดและด่าง (pH)

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความเป็นกรดและด่าง หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* โดยพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 35:1 แตกต่างจากอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1, 40:1 และ 45:1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ผลการทดลองอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนก่อนการบำบัดด้วย *E. eugeniae* 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีค่าความเป็นกรดและด่างเริ่มต้น 5.4, 5.9, 5.4, 6.0 และ 5.3 ตามลำดับ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าค่าความเป็นกรดและด่างลดลงเหลือ 4.7, 4.5, 4.8, 4.5 และ 4.5 ตามลำดับ ภาพที่ 44 และตารางที่ 5

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความเป็นกรดและด่างของทุกหน่วยทดลอง หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลง สอดคล้องกับ (Guar, 1980) ว่าระดับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดและด่างในกองปุ๋ยหมักโดยทั่วๆ ไปคือในระยะเวลาประมาณ 3 วันแรกของการทำปุ๋ยหมักความเป็นกรดและด่างจะลดลง เนื่องจากช่วงแรกจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วแต่หลังจากนั้นค่าความเป็นกรดและด่าง จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนอยู่ในระดับเกือบจะเป็นกลาง ส่วนสาเหตุที่ค่าความเป็น

กรดและด่างหลังการบำบัดมีค่าลดลงอย่างมาก สาเหตุเกิดจากก่อนการทดลองค่าความเป็นกรดและด่าง ของทุกหน่วยทดลองมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ อยู่ก่อนหน้าแล้ว และขณะเดียวกันการย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วเพราะกองปุ๋ยหมักมีปริมาณน้อยเพียง 150 กรัม อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กรดอินทรีย์ส่วนเกินบางชนิดเกิดขึ้นจนทำให้เมื่อระยะเวลาผ่านไปในช่วงการทดลองเกิดการเปลี่ยนแปลงจนค่าความเป็นกรดและด่าง หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลงไปตามพอสมควร



ภาพที่ 44 เปรียบเทียบค่าความเป็นกรดและด่าง ก่อนและหลังการบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์-คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่าความเป็นกรดและด่าง ในวัสดุผสมแบบต่างๆ ก่อนและหลังจากบำบัดด้วย *Eudrilus eugeniae*

ผลการศึกษา	วัสดุผสมระหว่างขุยมะพร้าวและกากตะกอนแห้ง(C/N ratio)				
	25:1	30:1	35:1	40:1	45:1
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio)					
ก่อนบำบัด (โดยประมาณ)	25:1	30:1	35:1	40:1	46:1
หลังบำบัด	11.17:1	10.92:1	8.66:1	10.55:1	10.82:1
อินทรีย์วัตถุ (organic matter %)					
ก่อนบำบัด	61.98	61.53	61.63	60.59	55.72
หลังบำบัด	32.43 ^b	31.86 ^b	32.06 ^b	38.71 ^a	41.08 ^a
อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon %)					
ก่อนบำบัด	36.03	35.77	35.23	36.41	32.40
หลังบำบัด	18.85 ^b	19.11 ^b	17.62 ^b	22.55 ^a	23.88 ^a
ไนโตรเจน (nitrogen %)					
ก่อนบำบัด	1.40	1.16	1.09	0.98	0.70
หลังบำบัด	1.70 ^c	1.78 ^{bc}	2.08 ^{ab}	2.14 ^{ab}	2.21 ^a
ฟอสฟอรัส (phosphorus %)					
ก่อนบำบัด	0.61	0.67	0.63	0.53	0.50
หลังบำบัด	0.95 ^b	0.98 ^b	0.94 ^b	1.07 ^a	0.99 ^b
โพแทสเซียม (potassium %)					
ก่อนบำบัด	0.75	1.00	1.15	1.34	1.59
หลังบำบัด	0.99 ^b	1.35 ^{ab}	1.20 ^b	1.69 ^a	1.65 ^a
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)					
ก่อนบำบัด	5.4	5.9	5.4	6.0	5.3
หลังบำบัด	4.7 ^{ab}	4.5 ^b	4.8 ^a	4.5 ^b	4.5 ^b

^{a, b, c} ตัวอักษรกำกับที่ต่างกันในแต่ละแถวบน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

สรุป

1. ลักษณะภายนอกและลักษณะภายใน

Eudrilus eugeniae วัยเจริญพันธุ์ ลำตัวมีขนาดความยาวระหว่าง 8.5 - 15 เซนติเมตร จำนวนปล้องที่เกิดขึ้น 188-297 ปล้อง เคี้ยวหรือซี้ดที่พบ 8 แท่งต่อปล้องหนึ่งปล้องจัดเรียงเป็น 4 คู่ อยู่สองข้างของด้านท้อง (ventrolateral) ปลอกเนื้อหรือไคเลเทลล์ในตัวที่เข้าสู่ระยะสมบูรณ์พันธุ์ เป็นปลอกเนื้อสีขาวนูนอยู่ปล้องที่ 14-18 ช่องเปิดที่สามารถตรวจพบได้จากภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ คือ ช่องเพศเมีย (female pore) และช่องเพศผู้ (male pore) ช่องเพศเมียอยู่ปล้องที่ 14 จำนวน 1 คู่ ช่องเพศผู้อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างปล้องที่ 17 และ 18 จำนวน 1 คู่เช่นกัน

ท่อทางเดินอาหารเป็นท่อตรงจากปากถึงทวารหนัก ระบบประสาทพบปมประสาทสมองอยู่บนฟาริงซ์ปล้องลำตัวที่ 2 -4 เส้นประสาทท้องวางตัวขนานไปกับเส้นเลือดท้อง ตลอดความยาวลำตัว ระบบหมุนเวียนพบหัวใจเทียมเป็นกระเปาะสีแดงจำนวน 4 คู่ ปล้องที่ 9-12 อวัยวะขับถ่ายหรือเนฟริเดียม ติดอยู่กับผนังปล้องด้านท้องของปล้องลำตัวทุกปล้อง

อวัยวะสืบพันธุ์ พบอัณฑะ (testis) เป็นพวงขนาดเล็กสีขาว จำนวน 2 คู่ ติดอยู่ที่ผิวด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 10 กับ 11 และ 11 กับ 12 ถุงเก็บอสุจิเป็นก้อนสีขาวขนาดใหญ่ จำนวน 2 คู่ ค่อมพรอสเตท (prostate gland) ลักษณะคล้ายนิ้วมือเรียกว่า ยูพรอสเตท (euprostates) รังไข่ที่พบจำนวน 1 คู่ ด้านท้ายของผนังกันระหว่างปล้องที่ 12 และ 13 ถุงไข่อูอยู่ที่ผนังกันระหว่างปล้องที่ 13 และ 14 ส่วนท่อนำไข่ (oviduct) พบที่ปล้อง 14 และถุงรับอสุจิ (seminal receptacle) เป็นถุงกลมอยู่ปล้องที่ 10 และ 11

2. วัฏจักรชีวิตในขุยมะพร้าวและเศษกระดาษ

จำนวนวันจากเริ่มผลิตโคกูณจนฟักออกมาเป็นลูกไส้เดือนที่มีสีขาวใช้เวลา 7-13 วัน จำนวนวันที่ลูกไส้เดือนสีขาวเริ่มมีสีแดงใช้เวลา 3-5 วัน จำนวนวันที่ลูกไส้เดือนมีสีแดงเป็นไส้เดือนที่มีไคเลเทลล์ใช้เวลาประมาณ 40-65 วัน รวมจำนวนวันจากการเริ่มผลิตโคกูณ จนถึงระยะที่ไส้เดือนมีไคเลเทลล์ทั้งหมดประมาณ 50-83 วัน ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปล้องที่เกิดขึ้นพบว่า *E. eugeniae* สามารถเพิ่มจำนวนขึ้นได้ตลอดวัฏจักรชีวิตจนกระทั่งเข้าสู่ระยะเจริญ

พันธุ์ และการเจริญเติบโตนั้นมีการเพิ่มจำนวนปล้องลำตัวมากขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขนาดของลำตัว

3. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพกากตะกอนแห้ง

อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุผสมที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักรักตัว *E. eugeniae* มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักรักตัวมากที่สุดที่อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1 คือ 0.046 ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักรักตัว 0.032, 0.036, 0.030 และ 0.035 ตามลำดับ

อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก โดยอัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 40:1 และ 45:1 ส่งผลให้ *E. eugeniae* มีอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักดีมากพอสมควร คือ 97.4 และ 96.5 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1, 30:1 และ 35:1 คือ 85.4, 91.8, 88.8 เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจนที่แตกต่างกันมีผลต่อจำนวนวัน นับจากเริ่มทำการทดลองจนถึงระยะเวลาให้โคขุน แต่ไม่มีผลต่อจำนวนวันจากโคขุนจนฟักออกมาเป็นลูกไส้เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไส้เดือนสีขาวเป็นลูกไส้เดือนสีแดง

ปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลงทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนการบำบัด 61.98, 61.53, 61.63, 60.59 และ 55.72 เปอร์เซ็นต์ หลังการบำบัดลดลงเหลือ 32.43, 31.86, 32.06, 38.71 และ 41.08 เปอร์เซ็นต์

อินทรีย์คาร์บอนหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลงทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนในโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณอินทรีย์อินทรีย์คาร์บอนก่อนการบำบัด 36.03, 35.77, 35.23, 36.41 และ 32.40 เปอร์เซ็นต์ หลังการบำบัดลดลงเหลือ 18.85, 19.11, 17.62, 22.55 และ 23.88 เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* ลดลงทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าประมาณ 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 หลังการบำบัด ลดลงเหลือ 11.17 :1 , 10.92 :1 , 8.66 :1 , 10.55 :1 และ 10.82 :1

ปริมาณไนโตรเจนหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* เพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้น 1.40, 1.16, 1.04, 0.90 และ 0.70 เปอร์เซ็นต์ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณไนโตรเจนหลังการบำบัด มีค่า 1.70, 1.78 , 2.08, 2.14 และ 2.21 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณฟอสฟอรัสหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* เพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้น 0.61, 0.67, 0.63, 0.53 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณฟอสฟอรัส หลังการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็น 0.95, 0.98 , 0.94, 1.07 และ 0.99 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณโพแทสเซียมหลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* เพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1, 30:1, 35:1, 40:1 และ 45:1 มีปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้น 0.75, 1.00, 1.15, 1.34 และ 1.59 เปอร์เซ็นต์ หลังจากบำบัดด้วย *E. eugeniae* พบว่าปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 0.99, 1.35 , 1.20, 1.69 และ 1.65 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวัดค่าความเป็นกรดและด่างมูลของไส้เดือนดิน เพื่อตรวจสอบว่าสภาพกรดที่เกิดขึ้นในกล่องเลี้ยงไส้เดือนนั้น มีสาเหตุจากการกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์หรือเกิดจากมูลของไส้เดือนที่ออกมาเป็นกรด
2. ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในด้านการใช้ประโยชน์จากของเสียชีวภาพที่เป็นกากตะกอนแห้งเท่านั้น ในอนาคตควรมีการทดลองและศึกษาประยุกต์ใช้กับของเสียชีวภาพอื่นๆ อีก
3. จากการทดลองพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักทั้ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมหลังบำบัดมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกหน่วยทดลอง และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี ดังนั้นการประยุกต์ใช้ไส้เดือนเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในพืช จึงจัดเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะก่อให้เกิดประโยชน์ในอนาคตเป็นอย่างมาก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์และการปรับปรุงดิน.
กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2547. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เชาวน์ ชีโนรักษ์ และ พรณี ชีโนรักษ์. 2528. ชีววิทยา เล่ม 2. สำนักพิมพ์บูรพาสาส์น,
กรุงเทพฯ.

ธิดินันท์ ขวัญสด. 2546. การบำบัดและการทำปุ๋ยหมักมูลไก่โดยใช้ไส้เดือน *Lumbricus rubellus*
และ *Eudrilus eugeniae*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2535. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ : เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นงนุช ตั้งกรีกโอพาร์. 2541. สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำ. ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

บรรจงศักดิ์ ภักดี. 2541. ศักยภาพของการใช้ไส้เดือนดินเพื่อย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในฟาร์ม
ขนาดเล็ก. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 เชียงใหม่.

บพิธ จารุพันธุ์ และ นันทพร จารุพันธุ์. 2541. สัตววิทยา. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บพิธ จารุพันธุ์ และ นันทพร จารุพันธุ์. 2541. **สัตววิทยาภาคปฏิบัติการ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิทยากร ลิ้มทอง. ม.ป.ป. **ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลาย**. ม.ป.ท.

_____. วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพจน์ และ จวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์. 2547. **การวิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำระบบการจัดเก็บข้อมูล ด้านวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทย**. ม.ป.ท.

เมธี มณีวรรณ. 2541. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก)**. วารสารพัฒนาที่ดิน 36(374): 12 – 22.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. **ปุ๋ยอินทรีย์**. สำนักพิมพ์บ้านและสวน, กรุงเทพฯ.

ศุกลักษณ์ โรมรัตน์พันธ์. 2545. **เทคนิคทางเนื้อเยื่อสัตว์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรินทร์ มัจฉาชีพ. 2536. **สัตวศาสตร์ ตอนที่ 1 สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง**. สำนักพิมพ์โอเคียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2538. **รายงานการศึกษาเรื่องโครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน**. กองนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. น. 3-35.

องอาจ เอี่ยมสำอางค์. 2542. **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Anonymous. 1995. **Composting with Worms**. Available <http://www.Enchantedlearning.com>, June 12, 2003.

- Anonymous. 2001. **Internal Anatomy of An Earthworm (cross section)**. Available http://www.infovisual.in/002/007_en.htm, June 23, 2006.
- _____. 2005a. **Dissection Guide For The Earthworm**. Available <http://www.miramar.com>, March 14, 2004.
- _____. 2005b. **Earthworms**. Available <http://www.Enchantedlearning.com>, August 25, 2005.
- _____. 2005c. **Phylum Annelida**. Available <http://io.uwinnipeg.ca/~simmons/images>, August 31, 2005.
- _____. 2005d. **Earthworm Anatomy – External Features**. Available http://www.frogwatch.ca/.../images/anatomy_fig9.gif, November 23, 2005.
- _____. 2006. **About Earthworms**. Available http://www.naturewatch.ca/images/mating_worms, August 25, 2005.
- Borges, S., H. Hubers and R. Bayron. 2003. Insech for an appropriate species for vermicomposting in Puerto Rico. **Caribbean Journal of Sci.** 14(39): 248-250.
- Clemente, J. 1981. The Vermi-farms Venture. **Farming Today** 4(7): 50-58.
- Craswell, E.A. 1994. Relation of Worms to soils Fertility. **Discovery** 9(3): 83-86.
- Curry, J. 1994. **Grassland Invertabrates; Ecology, Influence on Soil Fertility and Effects on Plant Growth**. Chapman and Hall, London.

Edwards, C.A. 1977. **Biology of Earthworms**. Chapman and Hall, London.

_____. 1995. **The Commercial and Environmental Potential of Vermicomposting. Systemics**. Association publication. Newyork.

_____. 1998. **Earthworms in Organic Waste Management**. Australian Worm Growers Association. Australia.

_____. and I. Burrows. 1988. **Breakdown of Animal, Vegetable and Industrial Wastes by Earthworms**. SPB Academic Publishing, Netherlands.

_____. and J. R. Lofty. 1972. **Biology of Earthworms**. John Wiley & Sons, Newyork.

Gasser, J. K. R. 1985. **Composting of Agricultural and Other Wastes**. Elsevier Applied Science Publishers. London.

Guar, B. 1980. **Feeding Methods – Fertilization and Supplementary Diet Feeding**. Available <http://www.foa.org/docrep/field/003.htm>, January 12, 2005.

Henares, A.D. 2003. **Worms Turn Trash to Cash**. Available <http://www.IslamOnline.net>, January 10, 2005.

Jambhekar, H. 1995. Vermiculycure Thrives in India. **International AgSieve** 7(1): 3.

Jorge, D., C.A. Edwards and A. John. 2001. **The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids**. *Pedobiologia*. 45: 341-353.

Kozloff, E.N. 1990. **Invertebrates**. Saunders college publksing. United States of America.

Laxmikant, K. 1988. **Media Conversion - Data Compression Multimedia**. Available
<http://www.cs.sunysb.edu/files/graduate.cs.pdf>, April 5, 2003.

Massengale, C. 2000. **Biology : Animal dissection**. Fifth Edition. Campell . London.

Robert, R. 1992. **On – Farm Composting Handbook**. Northeast Regional Agricultural
 Engineering Service (NRAES), New York .

Parker, S.P. 1982. **Synopsis and classification of living organisms**. McGraw – Hill,
 New York.

Pechenik, J.A. 2005. **Biology of the Invertebrates**. Fifth edition. McGraw Hill Companies,
 Unitate State of America.

Ruppert, E.E., R.S. Fox and R.D. Barnes. 2004. seventh edition. **Invertebrate Zoology :
 A Functional Evolutionary Approach**. Thomson Learning , Unitate State of America.

Sherman, R. 1998. **Snapshots of Selected Large scale Vermicomposting Operations**.
 Available <http://www.bae.ncsu.edu/people/faculty/sherman>, March 13, 2004.

Sinha, B.,T.bhadauria., P.S. Ramakrishman.,K.G. Saxena and R.K. Maikhuri. 2003.
Impact of landscape modification of Earthwirm diversity. Pedobiologia. 47(4):
 357-370.

Stephenson, A.M. and J.P.Harley. 2005. **Zoology**. Sixth edition.Mc Graw Hill, New york.

Stephenson, J. 1930. **The Oligochaeta**. Charendon Press, England.

Steve, S.P. 1998. **Toxicity of nickel to the earthworm and the applicability of the neutral red retention assay**. Available <http://www.stevehopkin.co.uk/publication>, July 1, 2006.

Umesh, M.S., D.A. Sharabanna., A.B. Vijaykumar and M.B. Pulikeshi. 2003. **Effect of temperature on growth and reproduction of the epigeic earthworm, *Eudrilus eugeniae* (Kinberg)**. Available <http://www.islam.net> , May 3, 2004.

Werner, M.R. 2000. **Earthworm ecology and sustaining agriculture**. Center for Agroecology and Sustainable Food System. University of California. Santa Cruz.

William, T. M., R. W. Rottman and J. F. Dequine. 2000. **Culture of Earthworms for Bait or Fish Food**. n.p.

Zakaria, A.,P. Vimala. 2004. **Technical Guidelines on Organic Cultivation of Tropical and Subtropical Fruit**. Strategic Resources Research Center. Kuala Lumpur.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

1. การคำนวณ

1.1 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเป็นน้ำหนักตัว

ชั่งน้ำหนักไส้เดือนดินรวมและชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้ไปทั้งหมดในแต่ละกล่อง ทั้งหมด 20 กล่อง โดยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้เท่ากับน้ำหนักของวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวรวมกับน้ำหนักของอาหารที่ให้ตลอดระยะเวลาในการทดลอง คำนวณประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเป็นน้ำหนักตัวตามสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุเป็นน้ำหนักตัว} = \frac{\text{น้ำหนักไส้เดือนรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักวัสดุที่ใช้ไปทั้งหมด (กรัม)}}$$

1.2 อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (Media Conversion Ratio) (Laxmikant, 1988; จิตินันท์, 2546)

ชั่งน้ำหนักวัสดุที่ใช้ไปทั้งหมดโดยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้เท่ากับน้ำหนักของวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวรวมกับน้ำหนักของอาหารที่ให้ตลอดระยะเวลาในการทดลอง หลังจากทำการทดลองชั่งน้ำหนักวัสดุที่เหลืออยู่ในแต่ละกล่องทั้งหมด 20 กล่อง คำนวณอัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักตามสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก} = \left[\frac{\text{น้ำหนักวัสดุที่เหลือเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักวัสดุที่ใช้ไปทั้งหมด (กรัม)}} \right] \times 100$$

2. การวิเคราะห์ทางเคมี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2547)

ตัวอย่างต้องแห้งโดยทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องนําร้อนด้วยตะแกรงขนาด 5 มิลลิเมตร นำตัวอย่างที่ได้ไปบดให้ละเอียดต่อไป

2.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจน (Total nitrogen) โดยวิธี micro – kjedahl

สารเคมี

1. Digest mixture

1.1 Sodium sulfate (Na_2SO_4) A.R. grade 250 กรัม

1.2 Selenium (power black) 2.50 กรัม

1.3 Sulfuric acid (conc.) A.R. 2.5 ลิตร

2. Boric acid - indicator solution

3. Sodium hydroxide (NaOH) 10 N

4. Stand sulfuric (H_2SO_4) หรือ Hydrochloric acid (HCL) 0.005 N

วิธีการเตรียม digestion mixture เพื่อหา N, P และ K

1. ร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร

2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.2 กรัม ใส่หลอดทดลองขนาด 50 มิลลิลิตร โดยใส่ให้ลึกที่สุดและไม่ให้ตัวอย่างฟุ้งกระจาย

3. ใส่สารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) Se 1 : NaSO_4 100 ปริมาณ 0.5 กรัม

4. เติม conc. H_2SO_4 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

5. นำหลอดทดลองเข้าเครื่อง Block digester 3 ชั่วโมง (อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส) หรือจนกระทั่งตัวอย่างใส แล้งจึงนำออกจากเครื่อง ทิ้งให้เย็น

6. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรองจะได้น้ำสารละลายเพื่อนำไปหา N, P และ K ต่อไป

วิธีการ

1. ใส่สารละลายในเครื่อง N - Distillation 10 มิลลิลิตร
2. เติม NaOH 5 มิลลิลิตร
3. ใส่ Boric acid 5 มิลลิลิตรใน Elenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร วาง flash ไว้ได้ก้าน condensor และเปิดน้ำหล่อเย็นไว้ตลอด
4. กลั่นจนได้สารละลายสีเขียวใน flask ประมาณ 35 มิลลิลิตร
5. นำ flash ออกมาไตเตรทด้วย H_2SO_4 0.01 N
6. จดปริมาณ H_2SO_4 ที่ใช้ไตเตรท นำไปคำนวณหาค่าไนโตรเจน

การคำนวณ

$$\% \text{ไนโตรเจน} = \frac{(A - B) \times 1.4 \times 5}{D}$$

เมื่อ A = มิลลิลิตร ของกรดที่ใช้กับตัวอย่าง

B = มิลลิลิตร ของกรดที่ใช้กับ blank

C = ความเข้มข้นของกรด (normal)

$$D = \text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}$$

2.2 การวิเคราะห์หา Total phosphorus โดย Spectrophotometer

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง Spectrophotometer
2. เครื่องแก้ว

สารเคมี

1. Ammonium molybdate 5 % ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
2. Ammonium metavanadate 0.25 % (NH_4VO_3)
3. Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4)

วิธีการ

1. นำสารละลาย 3 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร
2. ใส่ Ammonium molybdate 5 % 1 มิลลิลิตร และ Ammonium metavanadate 0.25 % มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 20 นาที
3. นำเข้าเครื่อง Spectrophotometer (Hitachi model 200 - 20) ใช้ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร พร้อม standard solution ที่เตรียมไว้

หมายเหตุ

standard solution เตรียมจาก KH_2PO_4 0.176 g (อบที่ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง) ปรับปริมาตร 1 ลิตร โดยใช้ 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ครบ 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย

ที่เป็น blank 3 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Ammonium molybdate 5 % 1 มิลลิลิตร (รวม 8 มิลลิลิตร) ที่ทิ้งไว้ 20 นาที นำเข้าเครื่องก่อนที่จะนำสารละลายเข้าวัดจริง

2.3 การวิเคราะห์หา potassium โดยเครื่อง atomic emission spectrophotometer

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง atomic emission spectrophotometer
2. เครื่องแก้ว

การเตรียม working standard solution

ใช้สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

เมื่อ N_1 = ppm. ของ stock standard solution

V_1 = ปริมาตรที่ต้องการจะตวงจาก stock standard solution

N_2 = ppm. ของ working standard solution

V_2 = ปริมาตรที่ต้องการเตรียม working standard solution (100 มิลลิลิตร)

วิธีการ

1. ใช้เครื่อง atomic emission spectrophotometer วัด working standard solution ที่เตรียมไว้ในความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พีพีเอ็ม (ppm)
2. วัดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ ถ้ามีความเข้มข้นสูงกว่า working standard solution ต้องเจือจางสารละลายตัวอย่างให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงของ working standard solution

การคำนวณ

$$\% K = \frac{\text{ppm. From AES} \times \text{dilution factor} \times 50 \times 10^{-4}}{\text{wt. of sample}}$$

2.4 การวิเคราะห์หา Organic carbon

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องแก้วต่างๆ

วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.02 กรัม ใส่ Elenmeryer flask ขนาด 350 มิลลิลิตร
2. ใส่ $K_2Cr_2O_7$ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม conc. H_2SO_4 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที
3. เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร
4. หยด indicator 3 หยด
5. ไตเตรตด้วย $FeSO_4$ จนได้สารละลายสีน้ำตาลแดง จดปริมาณ $FeSO_4$ ที่ใช้ไตเตรตนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\% C = \frac{(V_1 N_1 - V_2 N_2) F \times 0.003}{m} \times 100$$

V_1 = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไป

N_1 = ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไป

V_2 = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลาย FeSO_4 ที่ใช้ไทเทรต

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลาย FeSO_4 ที่ใช้ไทเทรต

m = มวลของตัวอย่างเป็นกรัมเมื่อแห้งสนิท

f = correction factor (ขึ้นกับประสิทธิภาพของ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ในการเปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปมีค่า 1.33)

หมายเหตุ

1. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เตรียมจาก ชั่ง $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 49.04 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. FeSO_4 เตรียมจากการชั่ง $\text{FeSO}_4 (7\text{H}_2\text{O})$ 69.518 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติม conc. H_2SO_4 7.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร
3. indicator เตรียมจาก ละลาย o - phenanthroline (1,10 phenanthroline hydrate) 1.48 กรัม ชั่ง FeSO_4 0.7 กรัม ลงใน o - phenanthroline ปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสีย้อมในการศึกษาทางมิววิทยา (ศุภลักษณ์, 2545)

3.1 แฮริสฮีมาทอกไซลิน (Harris' hematoxylin) ประกอบด้วย

hematoxylin crystal	5	กรัม
alcohol 100%	50	มิลลิลิตร
ammonium or potassium alum	100	กรัม
distilled water	1,000	มิลลิลิตร
mercuric oxide, red	2.5	กรัม

วิธีเตรียม

ละลาย hematoxylin ในแอลกอฮอล์ 100% และละลาย ammonium หรือ potassium alum ใน น้ำกลั่นที่ร้อน เมื่อละลายดีแล้วยกออกจากความร้อน จากนั้นผสมสารละลายทั้งสองอย่างเข้าด้วยกันและนำไปต้มใหม่ ใช้แท่งแก้วคนอยู่ตลอดเวลาใช้เวลาต้มประมาณ 1 นาที ยกออกมาจาก ความร้อนแล้วค่อยๆเติม mercuric oxide และนำกลับไปให้ความร้อนใหม่ คนให้เดือดกระทั่งสี กลายเป็นสีม่วงเข้ม ยกออกจากความร้อน รีบทำให้เย็นโดยแช่ในภาชนะใส่น้ำ เดิมกรดแอซิดิก 2-4 มิลลิลิตร ต่อ 100 มิลลิลิตรของสารละลาย

3.2 อีโอซิน (eosin) ประกอบด้วย

3.2.1 1% stock alcoholic eosin

eosin Y water soluble	1	กรัม
distilled water	20	มิลลิลิตร
alcohol 95%	80	มิลลิลิตร

วิธีเตรียม

นำ eosin Y water soluble ละลายในน้ำกลั่นให้เข้ากันแล้วจึงเติม alcohol 95% และ คนให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง

3.2.2 working eosin

eosin stock solution	1	ส่วน
alcohol 80%	3	ส่วน

นำสารละลาย 1% stock alcoholic eosin และ working eosin มาผสมให้เข้ากัน ก่อนใช้ให้ เดิมกรดแอซิดิก 0.5 มิลลิลิตรต่อสี eosin 100 มิลลิลิตร

3.3 สารละลายยูเรียมีส่วนประกอบ

3.3.1 สารละลายอิมัลชันของกรดฟอสฟอริก	750	มิลลิลิตร
3.3.2 40% ฟอรัมาลดีไฮด์	250	มิลลิลิตร
3.3.3 กรดแอสซิติคเข้มข้น	50	มิลลิลิตร

4. อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุเลี้ยงก่อนการทดลอง

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของกากตะกอนแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2547)

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	24.66		
organic carbon	14.34		
nitrogen	2.35		
phosphorus	0.43		
potassium	1.13		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		6.3	
C/N ratio			6:1

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของขุยมะพร้าว (พิทยากร และคณะ, 2547)

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	-		
organic carbon	60.13		
nitrogen	0.36		
phosphorus	0.05		
potassium	2.94		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		6.1	
C/N ratio			167:1

นำกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวมาผสมกันเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน (C/N ratio) เบื้องต้นที่ต้องการตามสูตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมีทางห้องปฏิบัติการซ้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนที่ถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งการคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนของวัสดุผสมโดยน้ำหนัก หาได้ตามสูตร (Robert, 1992)

$$a = \frac{\% N_b}{\% N_a} \times \frac{R - R_b}{R_a - R}$$

a = น้ำหนักของวัสดุ a ต่อ 1 หน่วยของวัสดุ b

R = C/N ratio ที่ต้องการ

R_a = C/N ratio ของวัสดุ a

R_b = C/N ratio ของวัสดุ b

N_a = ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุ a

N_b = ปริมาณไนโตรเจนของวัสดุ b

หลังจากนั้นนำวัสดุผสมที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนและค่าทางเคมีอื่นๆ

4.1 ค่าวิเคราะห์ทางเคมีของวัสดุผสมระหว่างกากตะกอนแห้งและขุยมะพร้าวก่อนการทดลอง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2547)

ตารางผนวกที่ ก3 หน่วยทดลองที่ 1

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	61.98		
organic carbon	36.03		
nitrogen	1.40		
phosphorus	0.61		
potassium	0.75		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		5.4	
C/N ratio			25.74:1

ตารางผนวกที่ ก4 หน่วยทดลองที่ 2

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	61.53		
organic carbon	35.77		
nitrogen	1.16		
phosphorus	0.67		
potassium	1.00		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		5.9	
C/N ratio			30.84:1

ตารางผนวกที่ ก5 หน่วยทดลองที่ 3

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	60.59		
organic carbon	35.23		
nitrogen	1.00		
phosphorus	0.63		
potassium	1.15		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		5.4	
C/N ratio			35.23:1

ตารางผนวกที่ ก6 หน่วยทดลองที่ 4

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	62.63		
organic carbon	36.41		
nitrogen	0.90		
phosphorus	0.53		
potassium	1.34		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		6.0	
C/N ratio			40.5:1

ตารางผนวกที่ ก7 หน่วยทดลองที่ 5

ค่าทางเคมี	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (%)	ค่าความเป็นกรดและด่าง	C/N ratio
organic matter	55.72		
organic carbon	32.40		
nitrogen	0.70		
phosphorus	0.50		
potassium	1.59		
ค่าความเป็นกรดและด่าง		5.3	
C/N ratio			46.28:1

ตารางผนวกที่ ก8 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดและด่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักราก อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง หลังการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 25:1 (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักราก (กรัม)	0.046±0.003
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (%)	85.4±5.24
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน	11.17±1.57
อินทรีย์วัตถุ (%)	32.43±2.59
อินทรีย์คาร์บอน (%)	18.85±1.50
ไนโตรเจน (%)	1.7±0.14
ฟอสฟอรัส (%)	0.95±0.05
โพแทสเซียม (%)	0.98±0.21
ค่าความเป็นกรดและด่าง	4.7±0.14
จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน (วัน)	13.25±5.56
จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว (วัน)	11.50±6.45
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง (วัน)	8.50±1.00

ตารางผนวกที่ ๙ อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดและด่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักราก อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง หลังการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 30:1 (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหนักราก (กรัม)	0.032±0.004
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (%)	91.80±4.50
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน	10.92±2.30
อินทรีย์วัตถุ (%)	31.86±4.50
อินทรีย์คาร์บอน (%)	19.11±2.98
ไนโตรเจน (%)	1.78±2.38
ฟอสฟอรัส (%)	0.98±0.08
โพแทสเซียม (%)	1.35±0.26
ค่าความเป็นกรดและด่าง	4.5±0.16
จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน (วัน)	16.75±6.40
จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว (วัน)	13.25±11.24
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง (วัน)	8.00±1.63

ตารางผนวกที่ ก10 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดและด่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง หลังการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 35:1 (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว (กรัม)	0.036±0.003
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (%)	88.80±7.57
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน	8.66±1.44
อินทรีย์วัตถุ (%)	32.06±3.35
อินทรีย์คาร์บอน (%)	17.62±2.27
ไนโตรเจน (%)	0.90±0.44
ฟอสฟอรัส (%)	0.53±0.27
โพแทสเซียม (%)	1.34±0.13
ค่าความเป็นกรดและด่าง	6.0±0.15
จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน (วัน)	10.25±6.08
จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว (วัน)	13.75±3.77
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง (วัน)	9.75±0.50

ตารางผนวกที่ ก11 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดและด่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง หลังการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 40:1 (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว (กรัม)	0.030±0.002
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (%)	97.40±2.08
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน	10.55±1.02
อินทรีย์วัตถุ (%)	38.71±4.14
อินทรีย์คาร์บอน (%)	22.55±2.40
ไนโตรเจน (%)	2.14±0.51
ฟอสฟอรัส (%)	1.07±0.30
โพแทสเซียม (%)	1.69±0.24
ค่าความเป็นกรดและด่าง	4.5±0.08
จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน (วัน)	8.25±4.79
จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว (วัน)	14.25±4.43
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง (วัน)	7.5±1.00

ตารางผนวกที่ ก12 อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าความเป็นกรดและด่าง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว และจำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง หลังการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน 45:1 (ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปัจจัยที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เลี้ยงเป็นน้ำหมักตัว (กรัม)	0.035±0.001
อัตราการเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมัก (%)	96.50±3.34
อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจน	10.82±0.37
อินทรีย์วัตถุ (%)	41.08±1.90
อินทรีย์คาร์บอน (%)	23.88±0.85
ไนโตรเจน (%)	2.21±0.28
ฟอสฟอรัส (%)	0.99±0.12
โพแทสเซียม (%)	1.65±0.81
ค่าความเป็นกรดและด่าง	4.5±0.59
จำนวนวันจากเริ่มทดลองถึงให้โคขุน (วัน)	9.2±2.59
จำนวนวันจากโคขุนฟักเป็นลูกไล่เดือนสีขาว (วัน)	11.60±2.07
จำนวนวันจากลูกไล่เดือนสีขาวเป็นลูกไล่เดือนสีแดง (วัน)	8.20±0.84

ภาคผนวก ข



ภาพผนวกที่ ข1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาทางกายวิภาค



ภาพผนวกที่ ข2 พีเอช มีเตอร์ (pH meter) และกระบอกฉีดน้ำ



ภาพผนวกที่ ข3 กล่องพลาสติกสำหรับการบำบัดกากตะกอนแห้งโดย *Eudrilus eugeniae*



ภาพผนวกที่ ข4 การศึกษาวัฏจักรชีวิตของ *Eudrilus eugeniae*