การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกของเหลือทิ้งจากการเลี้ยงด้วงสาคูเพื่อผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

ศศิวิมล สะอาดเอี่ยม

GRAD VRU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี
พ.ศ. 2568

Development of a Prototype Machine for Separating Rhynchophorus ferrugineus Rearing By products to Produce Soil Amendments

SASIWIMOL SAADEIAM

GRAD VRU

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR MASTER OF SCIENCES
IN INNOVATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
GRADUATE SCHOOL
VALAYA ALONGKORN RAJABHAT UNIVERSITY
UNDER THE ROYAL PATRONAGE
PATHUM THANI PROVINCE
2025

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกของเหลือทิ้งจากการเลี้ยงด้วงสาคูเพื่อผลิตวัสดุ ปรับปรุงดิน
ชื่อนักศึกษา	ศศิวิมล สะอาดเอี่ยม
รหัสประจำตัว	64U54800101
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	นวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชญา สวัสดี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นิสา พักตร์วิไล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แก้วจำปา)

GRAD VRU

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญวรัตน์ ปิ่นทอง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน.....พ.ศ. .....

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ศศิวิมล สะอาดเอี่ยม. (2568). การพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกของเหลือทิ้งจากการเลี้ยงด้วงสาคูเพื่อผลิตวัสดุ ปรับปรุงดิน. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชญา สวัสดี

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 2) พัฒนาวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู ดาเนินการวิจัยโดยแบ่งเป็น การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู และนาวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มาเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลการวิจัยพบว่า 1) ต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู ประกอบด้วย ตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร แท่งอะลูมิเนียม สำหรับเป็นเสาและโครงของเครื่อง แผ่นอะลูมิเนียมสาหรับเป็นถาดรองมอเตอร์สำหรับหมุน 12 โวลต์ และชุดปรับความเร็วในการหมุน ขนาดโครงของเครื่องยาว 120 เซนติเมตร ความสูงของเครื่อง 85 เซนติเมตร 2) การผลิตวัสดุปรับปรุงดินและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่า วัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 6.04 ± 0.08 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ในส่วนของค่าความชื้น มีค่าร้อยละ 49.80 ± 2.55 และอินทรียวัตถุ มีค่าร้อยละ 47.33 ± 4.04 นอกจากนี้การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู พบว่า ไนโตรเจน มีค่าร้อยละ 1.848 ± 0.04 ฟอสฟอรัส มีค่า 1.170 ± 0.04 และโพแตสเซียม มีค่า 1.743 ± 0.05

องค์ความรู้และนวัตกรรมที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ คือ 1) ต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู และ 1) ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู สามารถนามาผ่านกระบวนการทางกายภาพและทางชีวภาพเพื่อแปรสภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

คำสำคัญ: ของเสียจากด้วงสาคู วัสดุปรับปรุงดิน

GRAD VRU

Sasiwimol Saadeiam. (2025). Development of a Prototype Machine for Separating Rhynchophorus ferrugineus Rearing By products to Produce Soil Amendments. Master of Sciences (Innovation of Environmental Management). Advisors: Assistant Professor Dr. Sasitorn Hasin, Associate Professor Dr. Apichaya Sawasdee

ABSTRACT

The purpose of this experimental study is to: 1) develop a prototype of a waste sorting machine for breeding sago beetles; 2) develop soil improvement materials for sago beetle breeding waste. The research is divided into designing and manufacturing waste sorting machines for sago beetle farming and soil improvement materials for sago beetle farming waste. Soil improvement materials.

The results indicate that: 1) The prototype of the waste sorting machine for breeding sago beetles consists of a 3 mm hard mesh and aluminum rods used for machine columns and frames. The tray is made of aluminum plate, a 12 volt rotating motor, and a speed adjustment device. The frame size is 120 centimeters long. The production and chemical properties analysis of soil improvement materials with a machine height of 85 cm2 indicate that the soil improvement materials obtained in this study have an average pH value. 6.04 ± 0.08 is a weak acid, the humidity is 49.80 ± 2.55, and the organic matter is 47.33 ± 4.04 Nitrogen was found to be 1.848 ± 0.04, phosphorus was 1.170 ± 0.04, and potassium was 1.743 ± 0.05.

The knowledge and innovations obtained from this research are: 1) a prototype of a waste sorting machine from sago worm farming and 1) sago worm farming waste can be processed through physical and biological processes to be transformed into soil amendment materials.

Keywords: Soil Amendment , Sago Beetle Waste

GRAD VRU

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จบรรลุวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษา คอยให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนแนวทางการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชญา สวัสดี ที่ให้คำแนะนำคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ และท่านคณะกรรมการทุกท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.นิสา พักตร์วิไล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์ ที่สละเวลาให้เกียรติทำหน้าที่คณะกรรมการ และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แก้วจำปา

ขอขอบพระคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) ภายใต้แผนงานวิจัยด้านการพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรและการแปรรูปอาหารสารประกอบในอาหารที่ทำหน้าที่พิเศษและผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพมูลค่าสูงจากผลิตผลการเกษตร เพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำงานวิจัยในครั้งนี้ซึ่งทำให้งานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ จนประสบความสำเร็จ

ศศิวิมล สะอาดเอี่ยม

GRAD VRU

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 10

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 10

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 11

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย 12

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 12

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 12

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 13

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

2.1 ความรู้ทั่วไปของด้วงสาคู 14

2.2 การเลี้ยงด้วงสาคูและปัญหาที่พบ 16

2.3 วัสดุปรับรุงดิน 17

2.4 ประเภทของวัสดุปรับปรุงดิน 17

2.6 การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน 22

2.7 การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน 24

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

GRAD VRU

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 27

3.1 การเตรียมของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 27

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 28

3.3 การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 29

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 29

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 31

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 33

4.1 การคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 33

4.2 การสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 34

4.3 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคูและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี 35

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 37

บรรณานุกรม 38

ประวัติผู้วิจัย 43

GRAD VRU

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าการวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง ความชื้น และอินทรีย์วัตถุของวัสดุปรับปรุงดิน 36

GRAD VRU

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 เขตแพร่กระจายของ ด้วงสาคู (Rhynchophorus ferrugineus) 14

ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของ ด้วงสาคู (Rhynchophorus ferrugineus) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ เริ่มจาก 16

ภาพที่ 3 ตัวอย่างของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 27

ภาพที่ 4 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 1 มิลลิเมตร 28

ภาพที่ 5 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 3 มิลลิเมตร 28

ภาพที่ 6 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 5 มิลลิเมตร 28

ภาพที่ 7 แสดงแบบร่างเครื่องร่อนคัดแยกของเสีย 29

ภาพที่ 8 เครื่องมือใช้ทดสอบ One-stop IoT Provider with Soil Integrated Sensor 30

ภาพที่ 9 ขนาดรูตาข่ายแข็ง 3 มิลลิเมตร ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วง 33

ภาพที่ 10 ต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 34

ภาพที่ 11 ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูที่ผ่านเครื่องคัดแยก (เส้นใย และ เศษวัสดุเนื้อละเอียด) .. 35

ภาพที่ 12 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู 35

GRAD VRU

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความมั่นคงทางอาหาร (food security) เป็นประเด็นที่องค์กรในระดับประเทศและระดับนานาชาติให้ความสำคัญและหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นที่ทั่วโลกต้องคำนึง เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนอาหารที่เป็นปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นในหลายประเทศทั้งในประเทศที่ยากจนและประเทศพัฒนาแล้ว โดยวิกฤตจากการขาดแคลนอาหารสามารถเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุ คือจากภัยธรรมชาติ และจากฝีมือมนุษย์ การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ตั้งแต่ปี 2563 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งนำไปสู่ “มาตรการปิดเมือง หรือ Lock down” รวมถึงโรคระบาดที่เกิดขึ้นในฟาร์มปศุสัตว์ที่เป็นแหล่งอาหารโปรตีนหลักของมนุษย์ โดยเฉพาะ วัว หมูและไก่ ส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านอาหารเป็นวงกว้าง และเป็นประเด็นนึงที่มาซ้ำเติมปัญหาภาวะความไม่มั่นคงทางอาหาร (food insecurity) ในปัจจุบันให้ทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นแบบปัจจุบันทันด่วนและอาจใช้เวลานานในการกลับเข้าสู่สภาวะปกติ การหาทางออกจากวิกฤตการขาดแคลนอาหารของโลกจึงมีความจำเป็นต้องใช้ความร่วมมือและการบูรณา

การในการแก้ไขปัญหาในทุกมิติเพื่อการสำรองอาหารไว้รับมือภาวะวิกฤตที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

แมลงกินได้ (edible insect) เป็นสัตว์กลุ่มหนึ่งที่มนุษย์ใช้ในการประกอบอาหาร และที่ได้รับการจัดว่าเป็นอาหารแห่งโลกอนาคตตั่งแต่ปี 2556 จนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติเริ่มส่งเสริมแมลงให้เป็นแหล่งโภชนาการที่สามารถนำมาทดแทนเนื้อสัตว์ใหญ่ในอนาคต และช่วยแก้ปัญหาความไม่มั่นคงด้านอาหารของโลกได้ (Food and Agriculture Organization, 2013) ได้ หลายประเทศในเขตหนาวจึงได้เริ่มในการรณรงค์ให้ใช้แมลงเป็นอาหารใหม่ของมนุษย์ (Novel Food) ซึ่งมีงานวิจัยรองรับว่าเป็นแมลงเป็นแหล่งโปรตีนคุณภาพดี ราคาถูก และผลิตได้จำนวนมากภายในระยะเวลาสั้น รวมถึงประหยัดทรัพยากรธรรมชาติในการทำฟาร์ม

แมลงที่กินได้ส่วนใหญ่นำมาจากป่าไม้และแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสร้างผลกระทบทางด้านลบต่อประชากรแมลงในสภาพธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างสูง อย่างไรก็ตามแมลงที่กินได้จากสภาพธรรมชาตินั้นก็ยังมีปริมาณที่ไม่พอเพียงต่อการบริโภคของมนุษย์ ดังนั้นการทำฟาร์มแมลง หรือ ปศุสัตว์ขนาดเล็ก จึงเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณผลผลิตของแมลงเพื่อให้เพียงพอต่อการจำหน่ายเชิงพานิชย์และรองรับการเติบโตของตลาดการค้าแมลงรวมทั่วโลก (Hanboonsong et al., 2013) จากข้อมูลในปี 2561 มีการรายงานว่าการเติบโตของตลาดการค้าแมลงรวมทั่วโลกมีประมาณ 400 ล้านดอลลาร์ และจากการคาดการณ์ในปี 2566 ตลาดแมลงจะมีแนวโน้มขยายเพิ่มมากขึ้นถึง 1.2 พันล้านดอลลาร์ ซึ่งจะมีแนวโน้มเพิ่มมูลค่าอย่างต่อเนื่องจนถึง 8 พันล้านดอลลาร์ภายในปี 2573 โดยการเพิ่มขึ้นของมูลค่าอย่างต่อเนื่องนี้จะเกิดขึ้น

ในอเมริกาเหนือและยุโรป เนื่องจากมีการทำฟาร์มแมลงในระดับอุตสาหกรรมที่ได้นำเอาความรู้ทาง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม มาขับเคลื่อนระบบการจัดการแมลงฟาร์มเลี้ยงแมลง (Goldstein, 2018) (Guiné. et al., 2021) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่มี

GRAD VRU

ฟาร์มจดทะเบียนในประเทศไทยมากกว่า 20,000 ฟาร์ม และเป็นประเทศในลำดับที่ 17 ของการผลิตแมลงเข้าสู่ตลาดแมลงโลก (Hanboonsong. et al., 2013) โดยการผลิตแมลงของประเทศไทยในช่วง 5 เดือนของปี 2564 (ม.ค.-พ.ค.) ส่งออกแล้ว ปริมาณ 575 ตัน มูลค่า 85,346 ดอลลาร์ เพิ่มขึ้น 29% โดยแมลงที่ส่งออกหลัก คือจิ้งหรีด ที่ในปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการอัตโนมัติเพื่อให้การผลิตแมลงสามารถแข่งขันทางเศรษฐกิจกับเนื้อสัตว์จากปศุสัตว์แบบดั้งเดิมได้ นอกจากนี้ยังมีแมลงอีกหลายชนิดที่ได้รับการแนะนำว่าสามารถพัฒนาการผลิตจากระบบดั้งเดิมสู่ระดับอุตสาหกรรมได้ โดยเฉพาะหนอนด้วงสาคูที่เพาะพันธุ์เลี้ยงง่ายโตเร็วมีระยะเวลาเพียง 30 ถึง 45 วัน ก็สามารถจับขายส่งจำหน่ายตลาดได้ โดยตัวหนอนด้วงขายได้ราคากิโลกรัมละ 250-300 บาท และดักแด้พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ราคาจะสูงถึงกิโลกรัมละ 1,600-2,000 บาท ในอดีตที่ผ่านมาหนอนด้วงสาคูมีการเพาะเลี้ยงกันมากในแถบจังหวัดภาคใต้เป็นที่นิยมบริโภคทั้งชาวไทยและต่างประเทศในทวีปเอเชีย และในปัจจุบันนี้ ด้วงสาคูได้มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และได้รับการยอมรับว่าเป็นแมลงเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งและอนุญาตจากองค์การอาหารและยาของไทย ให้สามารถเลี้ยงเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศได้แต่อย่างไรก็ตามการเลี้ยงด้วงสาคูในปัจจุบันยังคงใช้ระบบการเลี้ยงแบบดั้งเดิม โดยปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การเลี้ยงด้วงสาคูให้ประสบความสำเร็จ คือเรื่องของความสะอาดของภาชนะเลี้ยง ความสะอาดของอาหารที่ใช้เลี้ยงและการจัดการเลี้ยงอย่างมีระบบ อาทิภาชนะเลี้ยงจะต้องไม่มีน้ำท่วมขัง ไม่วางตากแดดและระมัดระวังเรื่องอาหารเน่าเสีย

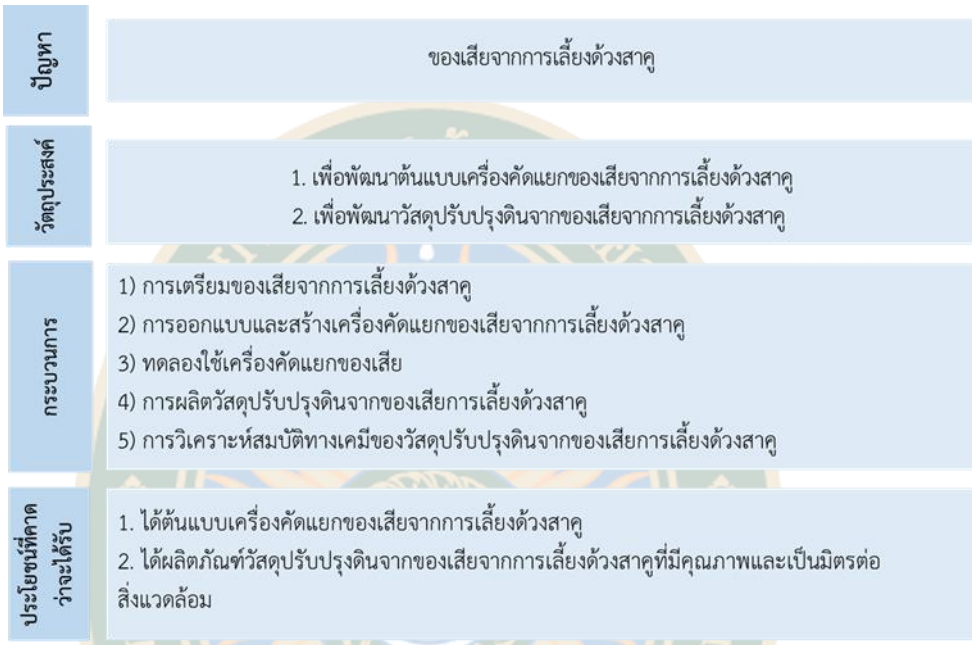
จากการเสวนาระหว่างผู้วิจัย ผู้ประกอบการแปรรูปด้วงสาคูเพื่อการค้าส่งออก และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงด้วงส่งขายภายในประเทศ ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2564 ถึงประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อผลผลิตด้วงสาคูในฟาร์ม สรุปได้ว่า ปัญหาหลักที่พบได้แก่ การจัดการของเสียในระบบการเลี้ยงด้วงสาคู ซึ่งของเสียในระบบเลี้ยงนี้ ส่งผลให้ การเข้ามารบกวนของแมลงชนิดอื่นที่เข้ามาวางไข่และกินอาหารเน่าเสียที่ด้วงสาคูอาศัยอยู่ โดยเฉพาะกลุ่มแมลงหวี่ตาแดงและหนอนแมลงวันลายและส่งผลต่อมลพิษทางอากาศบริเวณโดยรอบ ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงพัฒนา“การจัดการของเลี้ยงจากการเลี้ยงด้วงสาคู” เพื่อสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเกษตรกรผู้เลี้ยงด้วงได้โดยตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

1.2.2 เพื่อพัฒนาวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย



1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดำเนินการวิจัยดังนี้ ดังนี้ 1) การเตรียมของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 2) การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู 3) ทดลองใช้เครื่องคัดแยกของเสีย 4) การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู และ 5) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 วัสดุปรับปรุงดิน หมายถึง วัสดุปรับปรุงดิน หมายถึง วัสดุใด ๆ หรือสารที่ได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ ที่ใส่ ลงดินเพื่อปรับปรุงสมบัติของดิน ให้มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืช แต่ไม่ได้ใช้แทนปุ๋ย หรือเป็นปุ๋ย ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้ของเสียที่ได้จากการเลี้ยงด้วงสาคูกับสารจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์

1.5.2 การจัดการของเสีย หมายถึง การนำของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูมาแปรสภาพให้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูก

1.5.3 ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู หมายถึง ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงด้วงสาคู เช่น มูลด้วงสาคู อาหารเลี้ยงด้วงสาคู รวมถึงของเสียที่อยู่ในรูปแบบของเหลวอีกด้วย

GRAD VRU

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

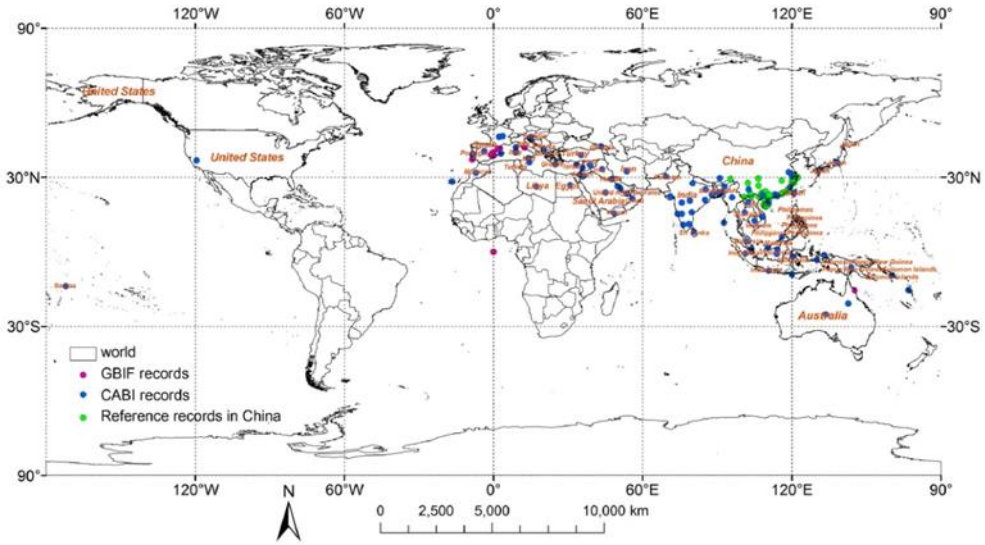
1.6.2 ได้ผลิตภัณฑ์วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูที่มีคุณภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

GRAD VRU

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปของด้วงสาคู

ด้วงสาคู (*Rhynchophorus ferrugineus*) จัดเป็นกลุ่มแมลงในอันดับ Coleoptera และวงศ์ Curculionidae มีชื่อสามัญ คือ Red palm weevil, Red-stripes palm weevil, Asian palm weevil, Sago palm weevil และคือภาษาไทย คือ ด้วงงวงมะพร้าว ด้วงสาคู ด้วงลาน และแมงหวัง เป็นด้วงงวงขนาดกลาง การแพร่กระจายพบได้ในเขตเอเชียครอบคลุมตั่งแต่อินเดียจนถึงอินโดนีเซีย ((CABI., 2021) ; ภาพที่ 1) ชีววิทยาบางประการของด้วงสาคู แบ่งออกเป็น 4 ระยะ เริ่มจาก ระยะไข่ หนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย ตามการศึกษาของ(สุปาณี เลี้ยงพรพรรณ, 2555), (Cabello, 2006) วงจรชีวิตและชีววิทยาบางประการของด้วงสาคู มีรายละเอียดดังนี้



GRAD VRU

ภาพที่ 1 เขตแพร่กระจายของ ด้วงสาคู (Rhynchophorus ferrugineus)

ที่มา: จาก Ge et al., (2015). Potential Distribution Predicted for Rhynchophorus ferrugineus in China under Different Climate Warming Scenarios. *journal.pone.*, *10*(10).

ไข่ของด้วงสาคู เป็นฟองเดี่ยวรูปยาวรี สีขาวขุ่น ผิวเรียบมันวาว ปลายข้างหนึ่งโปร่งแสงเมื่อใกล้ฟักไข่ จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย

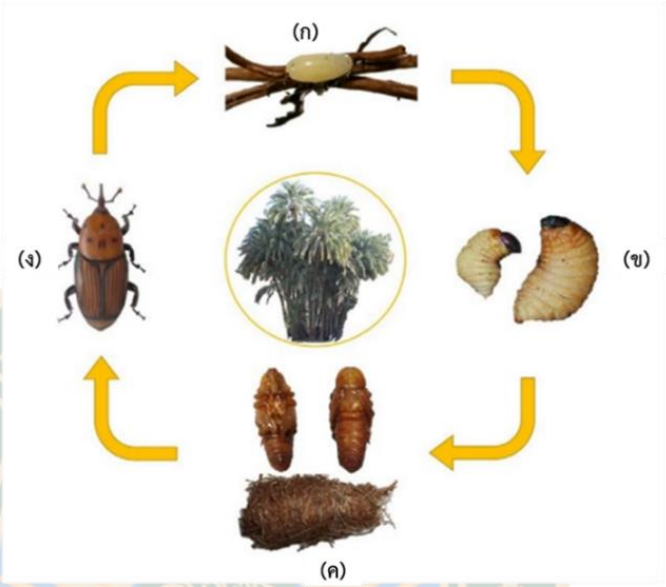
ตัวหนอนในระยะที่เจริญเติบโตอยู่เมื่อแข็งแรงแล้วจะออกจากไข่ โดยการใช้ส่วนหัวที่มีความแข็งดันเยื่อหุ้มไข่ให้ขาดเพื่อออกมาจากไข่ ตัวหนอนด้วงสาคูที่ฟักออกจากไข่ในระยะแรกนี้ มีลักษณะลำตัวและหัวมีสีขาว หลังจากนั้นส่วนหัวและส่วนเขี้ยวจะเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเข้มและแข็ง ตัวหนอนไม่มีขา เคลื่อนที่ด้วยการยืดและหดของปล้องลำตัว ส่วนหัวและส่วนท้ายเรียว มี 12 ปล้อง ปล้องสุดท้ายมีลักษณะเว้า ส่วนปากของตัวหนอนมีเขี้ยว 1 คู่ แข็งแรง ใช้สำหรับกัดกินอาหารที่เป็นเส้นใยพืชได้เป็นอย่างดี ตัวหนอนจะกัดกินพืชอาหารและเข้าไปอาศัยอยู่ภายในชิ้นส่วนของพืชอาหาร ตัวหนอนด้วงสาคูเจริญเติบโตด้วยการลอกคราบ ค่าเคลี่ยในการลอกคราบ ประมาณ 10 ครั้ง ตัวหนอนที่ลอกคราบใหม่ ส่วนหัวและลำตัวจะมีสีขาวสี และล่วนหัวจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป้นสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 2)

ระยะดักแด้ ตัวหนอนที่เตรียมตัวเข้าดักแด้ ในระยะแรกระยะ ลำตัวตัวหนอนจะเริ่มหดสั้น สีลำตัวและปากเข้มขึ้น มีการกินอาหารและเคลื่อนที่น้อยลง ตัวหนอนจะสร้างปลอกหุ้มดักแด้ โดยใช้เขี้ยวดึงเส้นใยต้นสาคู หรือเส้นใยพืชที่เป็นอาศัยอยู่ มาพันและสานซ้อนทับกันจนเป็นก้อนหลวมรูล่างเป็นวงรี ๆ หุ้มตัวหนอนไว้ ส่วนภายในตัวหนอนจะมีการสานเส้นใยแน่นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภายนอก หลังจากนั้นตัวหนอนจะหยุดการเคลื่อนไหว เพิ่มเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นดักแด้ ตัวดักแด้จะมองเห็นลักษณะของ ส่วนหัว ลำตัว หนวด ขา และตุ่มปีก ดักแด้อายุมากกว่า 3 วัน จะมีลำตัวมีสีเหลืองอ่อนมันวาว รูปร่างทั่วไปคล้ายกับระยะตัวเต็มวัย มีปล้องลำตัว12 ปล้อง อายะของดักแด้ มีค่าเฉลี่ย ระหว่าง 20-25 วัน ผันแปรไปตาม สภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่

ดักแด้อายุ 15 วัน ลำตัวจะเริ่มเปลี่ยนสีจากสีครีมเป็นสีน้ำตาล ดักแด้อายุ 18 วัน ลำตัวจะเริ่มเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาล เป็นสีน้ำตาลเข้ม และเริ่มแข็ง ในระยะนี้จะสามาถมองเห็นสีของลำตัวและส่วนปีกได้ชัดเตจน เมื่ออายุ 20-25 วัน จะลอกอกคราบ กลายเป็นตัวเต็มวัย (ภาพ 2) และตัวเต็มวัยที่ลอกครบออกมาจะคงอยู่ในรังดักแด้ อีกประมาณ 5-7 วัน เพื่อให้ส่วนของผิวลำตัวมีความแข็ง จึงจะออกจากรัง

ตัวเต็มวัยทั้งตัวผู้และตัวเมียมีขนาดและลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน และต่างกันที่ตัวผู้มีขนที่ด้านบนของงวงใกล้ส่วนปลาย ปีกมีสีน้ำตาลดำ อก และปีกมีสีเข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลอมส้ม ปีกคู่หน้าแข็ง ปีกคู่หลังเป็นปีกแบบบาง ด้วงตัวเต้มวัยมีความยาว ตั่งแต่ส่วนหัวจถึงท้องประมาณ 20-28 มิลลิเมตร ด้วงตัวเต็มวัยชอบอยู่อาศับในที่มืด พบบินได้ในตอนกลางวัน ตัวเมียวางไข่ โดย ปากเจาะพืชอาหารเป็นรูแล้ว สอดอวัยวะวางไข่ ลงไปในช่องที่เจาะไว้เพื่อปล่อยไข่

GRAD-VRU



ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของ ด้วงสาคู (Rhynchophorus ferrugineus) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ เริ่มจาก (ก) ระยะไข่ (ข) หนอน (ค) ดักแด้ และ (ง) ตัวเต็มวัย

ที่มา: จาก *Factors influencing the mobility of Red palm weevil Rhynchophorus ferrugineus (Coleoptera: Dryophthoridae) adults* โดย Ávalos Masó, 2015, [Unpublished Doctoral thesis].

2.2 การเลี้ยงด้วงสาคูและปัญหาที่พบ

พืชอาหารหลักที่ใช้เลี้ยงด้วงสาคูในประเทศไทย จำนวน 4 ชนิด ส่วนมากจัดอยู่กลุ่มพืชตระกูลปาล์ม ได้แก่ คือ ลาน สาคู ตาล และมะพร้าว แต่ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเลี้ยงมากที่สุด คือ ลานและนสาคู เนื่องจาก มีการศึกษาแล้วว่าการเลี้ยงด้วงสาคูด้วยต้นลานและสาคูทำให้งประชากรด้วงสาคู สูงมากกว่าการเลี้ยงด้วยพืชชนิดอื่น โดยวิธีการเลี้ยงและความเข้าใจเกี่ยวกับชีววิทยาของด้วงสาคูในปัจจุบันก็ต่างกันไปตามภูมิปัญญาของคนในแต่ละท้องถิ่นและแต่ละฟาร์ม และปัญหาที่พบจากการเลี้ยงด้วงสาคูมีรายละเอียดดังนี้ (สุปาณี เลี้ยงพรพรรณ และสมชาย เลี้ยงพรพรรณ, 2557) (Hanboonsong. et al., 2013),(FAO, 2021),(เทคโนโลยีชาวบ้าน 2564) จากการเสวนาระหว่างคณะผู้วิจัย ผู้ประกอบการแปรรูปด้วงสาคูเพื่อการค้าส่งออก และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงด้วงส่งขายภายในประเทศ ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2564 ถึงประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อผลผลิตด้วงสาคูในฟาร์ม สรุปได้ว่า ปัญหาหลักที่พบได้แก่ การจัดการของเสียในระบบการเลี้ยงด้วงสาคู ซึ่งของเสียในระบบเลี้ยงนี้ ส่งผลให้ (1) ตัวหนอนด้วงที่เลี้ยงในภาชนะเดียวกันมีขนาดตัวไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พ่อค้ากดราคาด้วงสาคูหน้าฟาร์ม และเลื่อนเวลาจับออกไป ทำให้ค่าอาหารเพิ่มขึ้น (2) ตัวหนอนด้วงที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเก่าจะทำให้ ลำไส้ด้วงมีสีดำและเนื้อด้วงมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พ่อค้ากดราคาและปฏิเสธการรับซื้อ และ (3) การเข้ามารบกวนของแมลง

GRAD VRU

ชนิดอื่นที่เข้ามาวางไข่และกินอาหารเน่าเสียที่ด้วงสาคูอาศัยอยู่ โดยเฉพาะกลุ่มแมลงหวี่ตาแดงและหนอนแมลงวันลาย

2.3 วัสดุปรับรุงดิน

วัสดุปรับปรุงดิน หมายถึง วัสดุใด หรือสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือจากการสังเคราะห์ ที่ใส่ลงดินเพื่อปรับปรุงสมบัติของดิน ให้มีความเหมาะสมในการเพาะปลูกพืช แต่ไม่ได้ใช้แทนปุ๋ย หรือเป็นปุ๋ย (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2537) ส่วน (Traunfeld & Nibali, 2013) กล่าวว่า วัสดุปรับปรุงดินเป็นวัสดุใด ๆ ที่ผสมลงไปในดิน เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้แข็งแรงขึ้น ซึ่งวัสดุปรับปรุงดินสามารถใช้ปรับปรุงทั้งสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน โดยการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพจะช่วยทำให้ดินเนื้อหยาบเก็บกักน้ำได้มากขึ้น ส่วนดินเนื้อละเอียด ระบายน้ำและอากาศดีขึ้น ทำให้ดินมีโครงสร้าง และดินร่วนซุยขึ้น ตัวอย่างของวัสดุปรับปรุงดินทางกายภาพ ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก เศษซากพืช วัสดุสังเคราะห์ หรือสารโพลีเมอร์ต่าง ๆ (กฤษฎา ศรีวิโรจน์ และกิตติศักดิ์ บุญคร, 2016), ส่วนวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน จะช่วยปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เหมาะสม ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดยึดธาตุอาหารพืชได้ดีขึ้น ลดความเป็นพิษของธาตุพิษหรือโลหะหนักในดินตัวอย่างสารปรับปรุงดินทางเคมี ได้แก่ วัสดุปูนทางการเกษตร ชนิดต่าง ๆ ยิปซัม เศษซากวัสดุอินทรีย์ ซีโอไลต์ เบนทอไนต์ พัมมิซ กำมะถันผง เป็นต้น

2.4 ประเภทของวัสดุปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดินที่ใช้ในการเกษตรสามารถจำแนกตามองค์ประกอบของตัวสารได้ 2 ประเภท คือ สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ (Rana, 2018)

2.4.1 สารปรับปรุงดินอนินทรีย์ (Inorganic soil amendment)

สารปรับปรุงดินชนิดสารอนินทรีย์ ได้แก่ สารปรับปรุงดินในรูปของสารอนินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติหรือที่มีการนำมาปรุงแต่ง คือสารในรูปหินและแร่ชนิดต่าง ๆ เช่น หินโดโลไมต์ (dolomite rock), วัสดุปูนไลม์ (lime material), ยิปซัม (gypsum), ซีโอไลต์ (zeolite), พัมพิซ (pumice), เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และทราย (sand) เป็นต้น

1. โดโลไมต์ (Dolomite)

โดโลไมต์ เป็นแร่ประกอบในหินตะกอนหรือหินแปร มีสีขาวหรือสีชมพู และอาจมีสีอื่น ๆ ตามปริมาณของสารเจือปน โดยมีองค์ประกอบที่เป็นแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) สลับกันซึ่งสามารถนำมาใช้ในทางการเกษตรโดยการปรับปรุงสมบัติของดินทั้งด้านสมบัติทางกายภาพเคมีและธาตุอาหารพืชในรูปแคลเซียมและแมกนีเซียม (Warren, 2000) จากการศึกษาของ (Rasnake, 2002) ทำการศึกษาการใช้ปูนโดโลไมต์ในดินกรด ในช่วงปี 2003-2006 ของโคเอเชียกลาง พบว่าการใสโดโลไมต์ลงในดินทำให้ความเป็นกรดด่างของดินและความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่ม

GRAD VRU

2. วัสดุปูนไลม์ (Lime material)

สารปรับปรุงดินในรูปหินและแร่ธรรมชาติประเภทปูนที่ใส่ลงไปในดินเพื่อแก้ไขและปรับปรุงดิน เพื่อทำให้มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก เป็นวัสดุที่มีสารประกอบออกไซด์ ไฮดรอกไซด์ และคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ปูนไลม์ (Lime) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตร ปูนไลม์ช่วยปรับค่าความเป็นกรดด่างในดิน ช่วยปรับโครงสร้างของดินให้ร่วน และไถพรวนได้ง่ายขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ปูนขาว เป็นปูนที่เกิดจากการนำปูนสุกมาทำให้ชุ่มด้วยน้ำ โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง CaO กับน้ำ ทำให้ได้สารประ กอบในรูป C 2 (OH)2 โดยมีความบริสุทธิ์ประมาณ 95-96% หินปูน เป็นหินปูนที่ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต หรือแร่แคลไซต์ โดยมีความบริสุทธ์ประมาณ 75-99% ซึ่งเป็นวัสดุปูนที่นิยมนำมาใช้ในด้านการเกษตรมากที่สุดชนิดหนึ่ง ในรูปหินปูนบด และปูนมาร์ล เป็นปูนแคลเซียมคาร์บอนเนตที่มีดินเหนียวหรือสารอื่น ๆ ปนอยู่ มีลักษณะอ่อนและ ร่วน มีสีขาวปนน้ำตาล ลักษณะร่วนซุยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อแก้ไขดินที่เป็นกรด

3. ยิปซัม (Gypsum)

ยิปซัมเป็นสารประกอบในรูปไดไฮเดรตแคลเซียมซัลเฟต (CaSO2H:0) ซึ่งมีแคลเซียมประมาณร้อยละ 23.3 และกำมะถันร้อยละ 17 โดยยิปซัมเป็นแร่ที่มีสีขาวหรืออาจมีสีอื่น ๆ เจือปนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้สีของแร่เปลี่ยนไป มีค่าความเป็นกรดด่างที่เป็นกลาง ละลายน้ำได้ค่อนข้างดี (Delate & Arora, 2003) ซึ่งยิปซัมแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ยิปซัมธรรมชาติ และยิปซัมสังเคราะห์ยิปซัมธรรมชาติ (natural gypsum) หรือแร่เกลือจืด หรือหินแก้ว เป็นแร่ที่พบเป็นแหล่งใหญ่มีอยู่ทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส เม็กซิโก ไทย เป็นต้น แหล่งยิปซัมธรรมชาติในประเทศไทย พบที่จังหวัด พิจิตร นครสรรค์ สุราษฎรธานี กระบี่ กาญจนบุรี นครศรีธรรมราช ยิปซัมสังเคราะห์ (synthetic sypsum) เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ใน อุตสาหกรรม มีทั้งที่ เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิต และของเสียต่าง ๆ ได้แก่ ฟอสโฟยิปซัม เป็นยิปซัมที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ ผลิตกรดฟอสฟอริก ฟลูออโรยิปซัม เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกรดไฮโดรฟลูออริกหรือกรดกัดแก้ว และไททาโนยิปซัม เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ไททาเนียมไดออกไซด์

4. แร่ซีโอไลต์ (Zeolites)

แร่ซีโอไลต์เป็นแร่ซิลิเกตในรูปสารประกอบไฮดรัส อะลูมิโนซิลิเกต โดยสมบัติทางกายภาพของแร่ซีโอไลต์จากธรรมชาติโดยทั่วไปมีสีขาว เหลือง ชมพูหรือแดง (Rasnake, 2002) มีพื้นที่ผิวสูงระหว่าง 780-880 ตารางเมตรต่อกรัม โครงสร้างเป็นรูพรุนมีปริมาณช่องว่างทั้งหมดร้อยละ 18-50 ซึ่งมีขนาดช่องว่างในโครงสร้างเล็กมากระหว่าง 0.002-0.01 มิลลิเมตร สมบัติทางเคมีของแร่ซีโอไลล์มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงระหว่าง 100-300 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัมเช่น ธาตุที่มีประจุบวกในรูป โซเดียม (Na') และธาตุอาหารพืชต่าง ๆ ที่เป็นประจุบวก เช่น แคลเซียม (ca"1) แมกนีเซียม (M9"*1) แอมโมเนียม (NH,') โพแทสเซียม (K') และสังกะสี (Zn") รวมทั้งธาตุที่เป็นโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว (Pb'+') แคดเมียม (Cd-+1) สทรอนเซียม (SP+) นอกจากนี้ยังสามารถดูซับโมเลกุลของน้ำและก๊าซต่าง ๆ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH:) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H,5) ก๊าซไนโตรเจนได-

GRAD VRU

ออกไซด์ (NO:) และก๊าซอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี ทำให้มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการปรับปรุงดิน (Kamarudin et al., 2003)

5. พัมมิซ (Pumice)

พัมมิช เป็นหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่เกิดจากหินอัคนีที่เย็นตัวนอกเปลือกโลกจากการระเบิดของภูเขาไฟ ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กในเนื้อหินจำนวนมาก ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ ประกอบด้วยซิลิกา (SiO2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (AL0: ในอัตราส่วนประมาณ 5:1 ถึง 6:1 ส่วนสมบัติทางกายภาพและเคมีทั่วไปเป็นหินที่มีสีต่าง ๆ ได้แก่ สีขาวครีม สีเทาจาง สีค่อนข้างเหลืองหรือแดง เนื้อหินและโครงสร้างมีลักษณะโปร่งพรุน ซึ่งอาจมีปริมาตรของช่องว่างร้อยละ 85 ขนาด 1 มิลลิเมตร ทำให้น้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ดี มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (PH 7.0) มีความจุในการดูดซับของเหลวประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และมีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนระหว่าง 5.46-7.13 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (Geitgey, 1992)

6. เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite)

เป็นแร่ประกอบของหินที่มีผลึกขนาดใหญ่ โดยเกิดจากการแปรสภาพของแร่ไมกา (mica) ซึ่งแร่เวอร์มิคิวไลต์ที่แร่ประกอบของหินจัดเป็นแร่บริสุทธิ์ ส่วนแร่เวอร์มิคิวไลต์ในรูปแร่ดินเหนียวที่มีผลึกขนาดเล็กไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ และแร่เวอร์มิคิวไลตในรูปของแร่ดินเหนียวมีค่าควาจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) สูงในดิน อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งจะมีค่า CEC อยู่ในช่วงระหว่าง 144-207 มิลลิกรัมสมมูลต่อ 100 กรัม เนื่องจากแร่เวอร์มิคิวไลต์มีโครงสร้างเป็นแผ่น ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืชที่เป็นประจุบวกได้มาก เช่น แอมโมเนียม (NH4 ') โพแทสเซียม (K') แคลเซียม (Ca 2t)และแมกนีเซียม (Mg'+) เป็นต้น (ปียะ, 2533) ซึ่ง (McCauley et al., 2009) พบว่า การใส่เวอร์มคิวไลต์ช่วยลดการดูดธาตุโลหะหนักของพืชได้

7. ทราย (Sand)

ทรายเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติประกอบด้วยเม็ดหินและอนุภาคแร่ละเอียดระหว่าง 0.05-2 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดการสลายตังผุพังของหินและแร่ (Whiting et al., 2005) ซึ่งทรายที่ใช้กับการปรับปรุงสมบัติของดินมักใช้ทรายหยาบ จะช่วยเพิ่มช่องว่างในดิน เมื่อเทียบกับทรายปูนปลาสเตอร์และทรายละเอียด (Traunfeld & Nibali., 2013)

2.4.2 สารปรับปรุงดินอินทรีย์ (Organic soil amendment)

สารปรับปรุงดินเป็นสารอยู่ในรูปสารอินทรีย์อาจจะได้จากธรรมชาติ ผลพลอยได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้จากภาคการเกษตรและโรงงานอุตสาหกรรม หรือจากการสังเคราะห์ขึ้นสารปรับปรุงดินอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และ Biochar เป็นต้น มักใช้ในการปรับปรุงสมบัติของดินทั้งสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดิน และยังมีการใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ (Lazarovits, 2001) จากการศึกษาของ(Uchimiya et al., 2010) พบว่าสารอินทรีย์ของไบโอชาร์ที่ผ่านการเผาที่ 350 C ที่มีคาร์บอกซิลสูงสามารถดูดซับทองแดง (Cu) ที่สะสมในดินด่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำสารปรับปรุงดินมาใช้ประโยชน์ได้ดังตัวอย่างของสารปรับปรุงดินดังนี้

GRAD VRU

1. ปุ๋ยคอก (Manure)

ปุ๋ยคอก เป็นปุยที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ ที่สัตว์ขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลวหรือสิ่งที่ปูพื้นคอกสัตว์หรือรองไว้ให้สัตว์อยู่ เช่น ฟางหญ้า แกลบ โดยวัสดุเหล่านี้ต้องผ่านการหมักแลย่อยสลายตัวก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งคุณภาพของมูลสัตว์ในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์กินเข้าไปปุ๋ยคอกต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น มูลไก่ และมูลวัวเป็นต้น ซึ่งการใช้มูลสัตว์ในพื้นที่เพาะปลูกเป็นกลไกที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช และธาตุอาหารในมูลสัตว์สามารถใช้แทนปุยเชิงพาณิชย์ได้ โดยมูลสัตว์ที่ขับออกมามีปริมาณไนโตรเจน 75 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 80 เปอร์เซ็นต์ และโพแทสเซียม 85 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสารอินทรีย์ในมูลสัตว์สามารถเพิ่มความจุในการกักเก็บน้ำ และทำให้โครงสร้างของดินพรุนขึ้น (Rasnake, 2002) ซึ่ง (Santillan et al., 2014) พบว่าในพื้นที่ที่มีการใส่ปุ๋ยมูลสัตว์ มีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (1.24 และ 1.43%) การเพิ่มปุ๋ยมูลสัตว์เป็นเวลาหลายปีทำให้ pH ของดินลดลง และค่าการนำไฟฟ้าลดลง (0.66 และ 0.72 dS m-) มูลไก่ เป็นมูลที่มีปริมาณธาตุอาหาค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นแหล่งของธาตุอาหารหลักและเสริมโดยมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมสูง ทั้งยังอุดมไปด้วยสารอินทรีย์โดยใช้เป็นวัสดุปรับปรุงที่ใส่ลงในดิน ทำให้ดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำ เพิ่มช่องว่างอากาศ ช่วยให้ดินระบายน้ำได้ดี ทำให้ลดการกัดกร่อนของดินและลดการชะล้างปุ๋ย และยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในดิน เร่งกระบวนการย่อสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ได้ (Saliga & Skelly, 2013) (Goldstein D, 2018) กล่าวว่า ปุ๋ยมูลวัวเป็นแหล่งของธาตุอาหาร โดยเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน โดยการใช้มูลวัวร่วมกับไนโตรเจนอนินทรีย์ ทำให้ความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้มูลวัวอย่างต่อเนื่องในอัตรา 60 ตันต่อไร่ ในระยะเวลา 10 ปี ในแปลงปลูกพืชมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ประจำทุกปีเพียงอย่างเดียว

2. ปุ๋ยหมัก (Compost)

ปุ๋ยหมัก เป็นปุยอินทรีย์หรือปุยธรรมชาติที่ได้จากการนำเศษซากพืชต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง หรือเศษเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์ เมื่อหมักโดยสมบูรณ์แล้วเศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยสีน้ำตาลปนดำ โดยการหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำให้ส่วนประกอบของปุยหมักกลายเป็นสารอินทรีย์ที่ค่อนข้างเสถียร ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร และเพื่อการปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช (Torkashvand, 2010) โดยปุ๋ยหมักจะช่วยให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นม็ดดิน มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ ถ่ายเทอากาศดี เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชที่มีทั้งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน (N) 11.6-12.3 กรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส (P) ตั้งแต่ 0.4 ถึงมากกว่า 23 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม (K)ตั้งแต่ 0. 7 ถึงมากกว่า 12 กรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารรอง ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม (Ca) 21-75กรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม (Mg ตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 5 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนธาตุอาหารเสริม ได้แก่ ปริมาณเหล็ก (Fe) 9,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โบรอน (B) 44.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง (Cu) 299 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส (Mn) 483 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โมลิบดีนัม (Mo) 7.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสังกะสี (zn) 838 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณขอวัสดุที่ใช้ทำ

ปุ๋ยหมัก เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน ทั้งยังช่วยลดความเป็นกรดของดินให้ดีขึ้น ที่สำคัญช่วยลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีได้

3. ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (Biochar)

ถ่านชีวภาพ หรือไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนเป็นหลัก ซึ่งได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ขังข้าวโพด เปลือกถั่ว กิ่งไม้ เป็นต้น หรือทั้งมูลสัตว์ที่นำผ่านกระบวนการเผาด้วยความร้อนโดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก ใช้อุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่า 700 องศาเซลเซียส ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (Bio-il) 60% แก๊สสังเคราะห์ 20% และถ่านชีวภาพ 20% (Hunt et al., 2010) โดยถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนทั้งหมด (total C อยู่ในช่วง 172-905 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) 1.8-56.4 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส (P) 2.7- 480 กรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม (K) 1.0-58.0 กรัมต่อกิโลกรัมความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC ประมาณ 40 มิลลิสมมูลต่อกรัม และความเป็นกรดด่าง (pH) 6.2-9.6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการทำถ่านชีวภาพ (Verheijen et al., 2010) ซึ่งสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพอาจมีผลต่อโครงสร้างของดิน ความพรุน การกระจายขนาดอนุภาค ความหนาแน่น ทั้งยังสามารถกักเก็บน้ำ จุลินทรีย์ และธาตุอาหารพืชในดินบริเวณรากพืชได้ โดย (Jindo et al., 2014) กล่าวว่า การใช้ถ่านชีวภาพสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของ โดยการใช้ถ่านชีวภาพที่ได้จากเศษฟางข้าว มีคุณสมบัติทางเคมีสูง ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีที่ไม่เหมือนวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบของซิลิกาในโครงสร้างทางเคมี และจากเศษไม้มีปริมาณคาร์บอนสูงและเป็นตัวดูดซับที่ดี

2.5 ประโยชน์ของวัสดุปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดินชนิดต่าง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงสมบัติของดินให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช ตามลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสมบัติของดิน ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และความอุดมสมบูรณ์ของดินการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินสมบัติทางกายภาพของดิน เป็นสมบัติของดินที่มีความสำคัญต่อการปลูกพืช เช่น เนื้อดินการถ่ายเทอากาศ ความจุในการอุ้มน้ำ การแทรกซึมของน้ำ โครงสร้างดิน และความหนาแน่นของดินเป็นต้น ซึ่งอาจพบว่าสมบัติทางกายภาพเหล่านี้มักจะมีปัญหา เนื่องจากสภาพการกำเนิดของดิน หรือการจัดการทางการเกษตร เช่น การใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ในการไถพรวน ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน จึงเป็นการปรับปรุงดินให้มีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการถ่ายเทอากาศ การแทรกซึมของน้ำ เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ และลดความหนาแน่นของดินซึ่งสารที่ใช้ในการปรับปรุงดินมีทั้งรูปที่เป็นสารอินทรีย์และอนินทรีย์การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ (Eche et al., 2013) ได้ทำการศึกษาการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในภาคเหนือของกีนี ชาวันน่า ของไนจีเรีย โดยทำการประเมินการจัดการและคุณภาพดินทางกายภาพและเคมีภายใต้การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วงฤดูฝนของปี 2006 และ 2007 พบว่าจากการใช้มูลวัวช่วยให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนและความพรุนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง และความชื้นสัมพัทธ์และจุดเหี่ยถาวรเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ความเป็นกรดด่าง อินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและ (McCauley et al., 2009) กล่าวว่า การใช้ถ่านชีวภาพ 1-29 สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทากายภาพ

GRAD VRU

ของดิน เช่น ความหนาแน่น และความสามารถในการกักเก็บน้ำ ส่วน (Bombe , 2019) ทำการศึกษาในปี1988 โดยทำการทดสอบการพังทลายของดินและการใช้ปุ๋ยในระยยาวต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินและการผลิตข้าวโพด พบว่าการใช้ปุ๋ยคอกระยะยาวช่วยฟื้นฟูสมบัติทางกายภาพและผลผลิตของข้าวโพด โดยความหนาแน่นลดลง 10% และความสามารถในการกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น อีกทั้งลดการกัดเซาะของดิน และ (Civeira, 2010) ทำการทดลองโดยใช้ปุยหมักขยะชุมชนกับดิน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยทำการศึกษาในกลุ่มดิน TypicArgiudol จากพื้นที่เสื่อมโทรมในเมืองบัวโนสไอเรส พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักของเสียจากครัวเรือน ช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้นหลังการใส่ปุ๋ยหมักในอัตราปานกลางและสูง ซึ่งช่วยลดความหนาแน่นของดินและเพิ่มการแทรกซึม

การใช้วัสดุปรับปรุงรูปอนินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ(Ramesh et al., 2015) พบว่า ซีโอไลต์ 19 สามารถทำให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการควบคุมถึง20.9% และผลผลิตของหัวมันเพิ่มขึ้น 57% จากการควบคุม (Sahin & Anapali., 2006) ศึกษาความแตกต่างของขนาดและอัตราของพัมมิชร่วมกับดิน ซึ่งขนาดของพัมมิชที่ใช้ คือ <4 มิลลิเมตร, <8 มิลลิเมตร และ 4-8 มิลลิเมตร ในอัตราต่อปริมาตร 10, 20, 30, 40 และ 50% พบว่าความพรุนเพิ่มขึ้นตามขนาดและอัตราของพัมมิช เมื่อใช้อัตรา 500 ทำให้ช่องว่างเพิ่มขึ้นเท่ากับ 98.2% และ 70.3% และความหนาแน่นของดินลดลงเท่ากับ 24.8% และ 21.0% ตามลำดับ ส่วน (McCauley et al., 2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการและในโรงเรือนกระจก ในปี 2009-2010 เพื่อประเมินการดูดซับน้ำของภูเขาไฟและศึกษาผลของการใช้ต่อความชื้นและคุณสมบัติการเจริญเติบโตของข้าวโพด พบว่าการใช้พัมมิชในการกักเก็บน้ำ การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด เพิ่มขึ้นตามระดับของพัมมิช และ (Lazarovits, 2001) พบว่าการวัสดุปรับปรุงที่เป็นทราย ทำให้การขนส่งออกซิเจนและโปรตอนเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลให้ความพรุนของดินเพิ่มขึ้นจาก 44.5% เป็น 51.396 อัตราการย่อยสลายของปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น 268% ใน 135 วัน

2.6 การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดิน เป็นสมบัติที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ความเป็นกรดด่างของดิน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน โดยสมบัติทางเคมีของดินเหล่านี้อาจพบว่ามีปัญหา เช่น ดินที่มีความเป็นกรดหรือด่างไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ดินที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ และปริมาณธาตุอาหารต่ำ ซึ่งในการจัดการปัญหาของดินเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธี โดยการใช้สารปรับปรุงดินก็เป็นอีกวิธีในการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน สามารถใช้สารที่เป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์การใช้วัสดุปรับปรุงดินรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ (Nurhidayati & Mariati., 2014) ได้ประเมินอิทธิพลของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดและถ่านแกลบเมื่อเทียบกับปูนขาวทั่วไป เพื่อปรับปรุงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ความพร้อมของธาตุอาหารในดิน และการผลิตข้าวโพด พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นตามสารปรับปรุงดินแต่ละชนิด โดยการใช้ปูนทำความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น 23% ถ่านแกลบ 20% และถ่านชีวภาพ 23% เมื่อเทียบกับการควบคุม ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่างของดินสามารถเพิ่มความเป็นประโยชน์ของ

N, P และ K ในดินและ (Warren, 2000) ทำการศึกษาผลของปุ๋ยคอกต่อควาเป็นกรดและความพร้อมของธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ดินที่เป็นกรดสองชนิดจากBeaverlodge และ Fort Vermilion ในภูมิภาค Peace River ของ Alberta ประเทศแคนาดาพบว่าการใช้ปุ๋ยคอกต่อความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้นจากการบ่มนาน 8 สัปดาห์ ของดิน Beaverlodge จาก 4.8 เป็น 6.0 และ Fort Vermillionจาก 5.5 เป็น 6.3 ซึ่งเป็นผลมาจากการเป็นบัฟเฟอร์ของคาร์บอเนตและกรดอินทรีย์ในปุ๋ยคอก อีกทั้งไนโตรเจน (NH * -N และ NO; -N) ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นทันทีหลังจากที่ใส่ปุ๋ยคอก ส่วนเหล็กลดลงเล็กน้อย ส่วนการแลกเปลี่ยนแคตไอออนไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากระยะเวลาในการบ่มที่น้อย (Kamarudin et al., 2003) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการใช้ปุยหมักแบบดั้งเดิม (FYM) และปุ๋ยหมักชีวภาพสองประเภท ที่หมักนานระยะเวลา 9 ปี ต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน การทดลองทำในกรุงบอนน์ ประเทศเยอรมนี ของกลุ่มดิน Fluviso พบว่าการใช้ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม และซึวมวลของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ทั้งทำให้ประชากรไส้เดือนดินเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีเมื่อเทียบกับการไม่ใช่ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ ส่วนงานของ (Eche et al., 2013) ทำการศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์และอนินทรียในการลดความเป็นพิษของดินกรดสูง ที่ปนเปื้อนด้วยโลหะหนักพวก As,Cu, P6 และ Zn โดยทำการประเมินนาน 112 วัน ในการทดลอง mesocosm พบว่าปุ๋ยหมักสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและความยาวราก ลดการดูดโลหะหนักของพืช ยกระดับความเป็นกรดของดิน และสถานะของธาตุอาหารในดินได้ ซึ่งปุยหมักมีประสิทธิภาพในการลดความเป็นพิษของแคดเมียม (Cd) โดยลดการดูดแคดเมียมมากกว่า 50% ของเนื้อเยื่อข้าวสาลี และเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวสาลี ซึ่งการลดความเป็นพิษของแคดเมียม เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดด่างของดิน และ (Civeira, 2010) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการผลิตหัวไเท้าและคุณภาพของดิน A(fisols) ที่มีการปลูกพืชเป็นเวลานาน พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่อัตรา 100 ตันต่อเฮกตาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ช่วยให้น้ำหนักแห้งของหัวไชเท้าเพิ่มขึ้น และที่อัตรา 50 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยเพิ่มความเป็นกรดด่างของดิน อินทรีย์คาร์บอน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Delate & Arora, 2003) ศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพต่อการผลิตข้าว และการปล่อยก๊าซ CH4 กับ N,O บนที่ราบทะเลสาบไทของประเทศจีน พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่อัตรา10 และ 40 ตันต่อเฮกตาร์ ช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวเป็น 12 และ 14% ในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 8.8และ 12.1% ในดินที่ใส่ปุ่ยไนโตรเจน การปล่อยก๊าซมีเทนในดินเพิ่มขึ้น 34 และ 41% ที่มีการใส่ถ่านชีวภาพ 40 ตันต่อเฮกตาร์ และช่วยลดการปล่อยก๊าซนตรัสออกไซด์ ส่วนการศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพจากยูคาลิปตัสและฟางข้าวในการผลิตข้าว การปล่อยก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตข้าว และการกักเก็บคาร์บอนในดินพบว่าการไถกลบตอซังร่วมกับการใช้ถ่านชีวภาพช่วยให้การกักเก็บคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น (Goldstein, 2018) และยังสามารถลดคาร์บอนฟุต ริ้นท์ต่อหน่วยผลผลิตข้าว ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และทำเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของดินและการสะสมคาร์บอนในระยะยาว พบว่าการใช้ถ่าชีวภาพสามารถดูดซับแอมโมเนียมได้ถึง 20 - 43% และฟอสฟอรัส19 - 65% ใน 24 ชั่วโมงและชี้ให้เห็นศักยภาพของถ่านชีวภาพในการดูดซับธาตุอาหารที่จำเป็นและปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับของแอมโมเนียมและฟอสเฟต 2.86 และ 0.23 มก.ตามลำดับ

GRAD-VRU

ต่อกรัมของถ่านชีวภาพ และการใช้ประโยชน์จากชีวมวลส่วนเกิน 10-50% ในรัฐแคลิฟอร์เนีย (สหรัฐอเมริกา) เพียงอย่างเดียว สามารถดูดซับแอมโมเนียม 11,440 - 57,200 ตัน และฟอสเฟต 920 - 4,600 ต้น ในแต่ละปีใน ขณะเดียวกันก็สามารถกำจัดชีวมวลส่วนเกินได้ถึง 8 - 40 ล้านตัน

2.7 การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน

สมบัติทางชีวภาพของดิน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ พืชสัตว์และจุลินทรีย์ในดินที่มีความสัมพันธ์ต่อสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชในดิน หรือส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งสารปรับปรุงดินหลายชนิดที่มีสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินการวัสดุปรับปรุงรูปอินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ (Geitgey, 1992) พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินจาก 13.3 เป็น 15.0 กรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณนโตรเจนทั้งหมดจาก 1.55 เป็น 1.65 กรัมต่อกิโลกรัม และช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ได้แก่ dehydrogenase (9.6%), B-glucosidase (13.5%), urease (15.4%), ไนเตรตreductase (21.4%) และ phosphatase (9.7%) แต่ไม่มีผลต่อประชากรของจุลินทรีย์ในดินการใช้วัสดุปรับปรุงรูปอนินทรีย์ในการปรับปรุงดิน จากการศึกษาของ (Civeira, 2010) พบว่า ชีวมวลของจุลินทรีย์ในดินและการรวมตัวของสาร 1'C ในสารชีวมวลของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นหลังจากใส่สารปรับปรุงดินซีโอไลต์ อีกทั้งการตอบสนองของประชากรของจุลินทรีย์แตกต่างกันตามระดับของสารปรับปรุงซีโอไลต์ ส่วน (Nurhidayati & Mariati., 2014) พบว่า เมื่อใส่ฟอสยิปซัมในอัตรา 15% มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ 55.98% และที่อัตรา 10% การสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ 55.28 %

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จัดการของเสียจากฟาร์มและการจัดการของเสียจากการทำปศุสัตว์

กฤษฎา ศรีวิโรจน์ และกิตติศักดิ์ บุญคร, (2016) ศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพน้ำหมักชีวภาพจากมูลจิ้งหรีดทองดำ มูลจิ้งหรีดทองแดง และ มูลไส้เดือน ที่ส่งผลต่อการปลูกดาวเรือง ดำเนินการทดลอง ณ บ้านเลขที่ 153/14 ต. อีสาน. อ. เมือง จ. บุรีรัมย์ ตั้งแต่ วันที่ 1 มิถุนายน 2559 - วันที่ 27 สิงหาคม 2559 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ดังนี้ ไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) ปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ500ml (T2) (ปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ500ml (T3) และปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ500ml (T4) ผลการทดลองพบว่า ด้านความสูงที่อายุ 57วัน แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .01$) และช่วงอายุที่ 50 และ 64 แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) แต่มีแนวโน้มว่าปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ500ml (T3) มีค่าความสูงของต้นดาวเรืองที่มีค่ามากที่สุดคือ คือ70.88 เซนติเมตรรองลงมาปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ 500ml (T2) 68.81 เซนติเมตร ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ500ml (T4) 63.81เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยด้านความสูงที่มีค่าน้อยที่สุด คือไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) 40.50 เซนติเมตร ที่อายุ 50 และ74 วัน แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยส้าคัญ ($p < .05$) แต่มีแนวโน้มว่า ปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ

500ml (T3) มีค่าเฉลี่ยด้านความสูงต้นมากที่สุดคือ 90.81 เซนติเมตร รองลงมา ปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ500ml (T2) 89.38 เซนติเมตร ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ500ml (T4) 83.19 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยด้านความสูงที่มีค่าน้อยที่สุด คือไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) 51.31 เซนติเมตร ด้านความกว้างทรงพุ่มมีแนวโน้มว่าช่วงอายุที่ 50 และ 57 วันแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยส้าคัญ ($p < .05$) แต่มีแนวโน้มว่าปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ500ml (T3) มีค่าความความกว้างทรงพุ่มที่มีค่ามากที่สุดคือ 34.69 เซนติเมตร รองลงมา ปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ500ml (T2) 31.56 เซนติเมตร,ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ 500ml (T4) 29.19 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยด้านความสูงที่มีค่าน้อยที่สุด คือไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) 18.44 เซนติเมตร ที่อายุ 64 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยด้านความกว้างทรงพุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) ด้านน้ำหนักสดแนวโน้มว่าช่วงอายุที่ 64 (รุ่นแรก) แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) แต่มีแนวโน้มว่า ปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ500ml (T2) มีค่าเฉลี่ยด้านน้ำหนักสดของดอกมากที่สุดคือ 112.50 เซนติเมตร รองลงมา ปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง50ml/น้ำ500ml (T3) 95.00 เซนติเมตร ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ 500ml (T4) 90.00 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยด้านน้ำหนักสดที่มีค่าน้อยที่สุด คือไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) 0.00 เซนติเมตร (เนื่องจากยังไม่ออกดอก) ที่อายุ 78 วัน (รุ่นสอง) พบว่าค่าเฉลี่ยด้านน้ำหนักสดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$) ด้านน้ำหนักแห้งโดยการนำดอกสดไปอบในตู้ Hot airoven ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง แนวโน้มว่าช่วงอายุที่ 64 และ78 วัน (รุ่นแรกและรุ่นที่สอง) แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) แต่มีแนวโน้มว่า ปุ๋ยน้ำหมักมูลจิ้งหรีด 50ml/น้ำ500ml (T2) มีค่าเฉลี่ยด้านน้ำหนักแห้งของดอกมากที่สุดคือ 26.65 เซนติเมตร รองลงมาปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ500ml (T3) 25.57 เซนติเมตร ปุ๋ยน้ำหมักมูลไส้เดือน 50ml/น้ำ 500ml (T4) 24.53 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยด้านน้ำหนักแห้งที่มีค่าน้อยที่สุด คือไม่ใส่ปุ๋ยน้ำหมัก Control (T1) 0.00 เซนติเมตร (เนื่องจากยังไม่ออกดอก) จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยน้ำหมักมูลสะดิ้ง 50ml/น้ำ500ml (T3) มีผลต่อด้านความสูงและความกว้างทรงพุ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในการปลูกดอกดาวเรืองพันธุ์ทองเฉลิม 5011

ปรัชวนี พิบำรุง (2564) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยหมักมูลจิ้งหรีดและมูลหนอนนกอัดเม็ดต่อสมบัติดินและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่า การใส่ปุ๋ยอัดเม็ด มูลจิ้งหรีดและมูลหนอนนกทุกกรรมวิธีส่งผลต่อปริมาณ อินทรียวัตถุในดินสูงขึ้นระหว่าง 1.56-1.60% และค่า ความหนาแน่นรวมดินลดต่ำลงระหว่าง 1.52-1.55 กรัม/ลบ.ซม. แตกต่างกับกรรมวิธีเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

ปัทมาวดี คุณวัลลี และเทวี มณีรัตน์ (2564) ศึกษาการใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกหยวก พบว่า ความกว้าง ความยาว ความหนาและน้ำหนักสดของพริกหยวกที่ใส่มูลหนอนมอดรำข้าวสาลีและปุ๋ยเคมีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปรัชวนี พิบำรุง (2558) ศึกษาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลหนอนนกเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว การนำมูลหนอนนกมาผลิตให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อใช้ในการผลิตข้าว พบว่า การใส่มูลหนอนนกอัดเม็ดจะมีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน และการใส่มูลหนอนนกอัดเม็ดจะช่วยเพิ่มค่าองค์ประกอบทางเคมีในดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน ไนโตรเจนรวม ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน

GRAD-VRU

สุภาพร รัตนาพันธ์ (2556) ศึกษาการการเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ใส่ปุ๋ยมูลหนอนด้วงกว่างชน พบว่าปุ๋ยมูลหนอนด้วงกว่างชน มีผลต่อ ความสูงของต้น จำนวนดอกต่อต้น และขนาดของดอก โดย ต้นดาวเรืองที่ใช้ปุ๋ยกว่างชน มีความสูง จำนวนดอกต่อต้น และขนาดของดอก สูงมากกว่าต้นดาวเรืองที่ใส่ปุ๋ยมูลโคและปุ๋ยเคมี อย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > .05$)

รพีพร ชัยชนะ (2564) ศึกษาศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากขยะดอกกล้วยไม้ พบว่า ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง

สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์ (2557) ศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการฉีดน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินร่วมกับการฉีดน้ำหมักมูลไส้เดือนดินมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงมากขึ้น นอกจากนี้ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนยังสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์โดยการ เปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ดินและการปรับปรุงโครงสร้างของดินได้อีกด้วย

VALAYA ALONGKORN RAJABHAT UNIVERSITY
ในพระบรมราชูปถัมภ์
GRAD VRU

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการดำเนินการวิจัย การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การเตรียมของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู
3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู
3.3 การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู
3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การเตรียมของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูที่ผู้วิจัยได้นำมาทดลองในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากเกษตรกรในจังหวัดนครปฐมที่เลี้ยงด้วงสาคู



ภาพที่ 3 ตัวอย่างของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

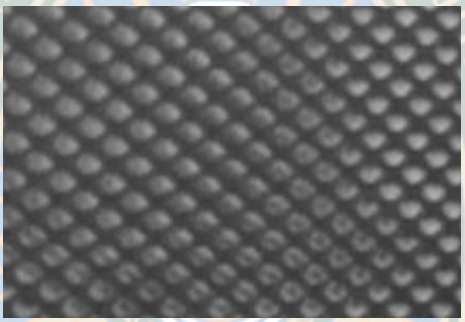
ก่อนการนำวัสดุไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุปรับปรุงดินนั้น ของเสียฯจะถูกนำไปบดหยาบโดยใช้เครื่องบดและคัดแยกชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ที่ปะปนกับของเสียฯ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน โดยใช้เครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

3.2 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

การออกแบบเครื่องคัดแยกของเสียฯ จะคำนึงถึงวัสดุที่สำคัญ คือ ขนาดของรูตาข่ายแข็ง เนื่องจากขนาดของรูตาข่ายจะมีความสามารถในการคัดแยกเส้ยใยและเศษวัสดุเนื้อละเอียดแตกต่างกัน โดยการคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูสำหรับผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

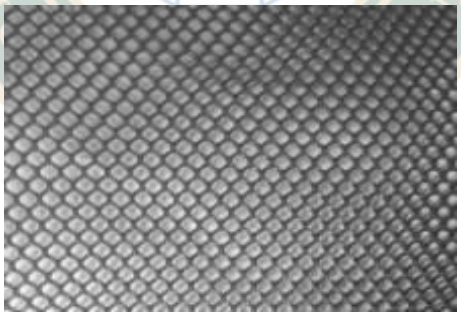
3.2.1 การคัดเลือกขนาดตาข่ายที่เหมาะสม จะคำนึงถึงขนาดของวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสม ดังนั้นจึงแบ่งขนาดของรูตาข่าย เพื่อเปรียบเทียบการคัดแยกของเสียฯ ดังนี้

1) ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 1 มิลลิเมตร



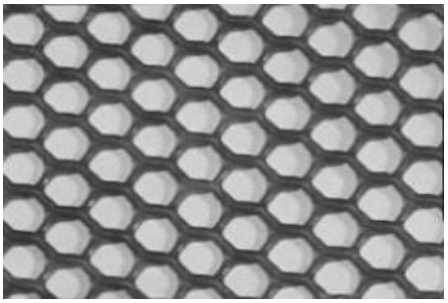
ภาพที่ 4 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 1 มิลลิเมตร

2) ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 3 มิลลิเมตร

3) ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 6 ตาข่ายแข็ง ขนาดรูตาข่าย 5 มิลลิเมตร

GRAD VRU

3.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

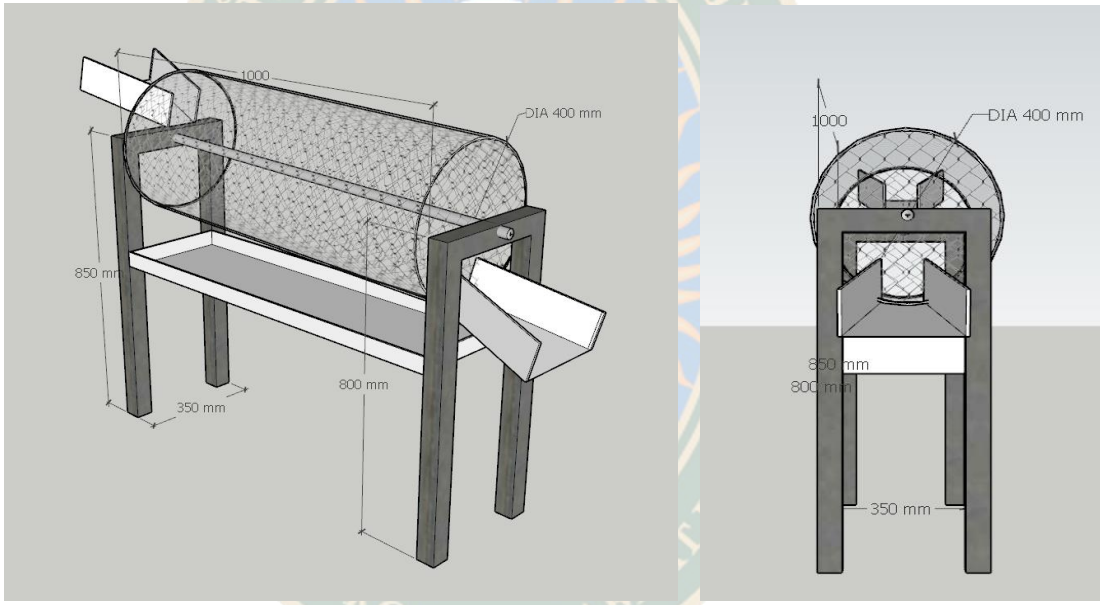
1) ตาข่ายแข็ง

2) แท่งอะลูมิเนียม

3) แผ่นอะลูมิเนียม

4) มอเตอร์

โดยแบบร่างเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงแบบร่างเครื่องร่อนคัดแยกของเสีย

3.3 การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

3.3.1 นำของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูมาบดหยาบ

3.3.2 เมื่อผ่านการบดหยาบแล้ว จึงนำของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูมาคัดแยกขนาด

3.3.3 นำของเสียฯที่ผ่านการคัดแยกขนาด มาผสมกับจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์

3.3.4 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน โดยให้คลุกเคล้าทุกวัน เพื่อเพิ่มออกซิเจน และทำให้จุลินทรีย์เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย

3.3.5 เมื่อครบ 30 วัน นำวัสดุปรับปรับปรุงดินที่ได้ ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

3.4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

3.4.1 ค่าความเป็นกรดด่างในดิน (pH) ความชื้น (Soil moisture) วัดโดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ One-stop IoT Provider with Soil Integrated Sensor ดังภาพที่ 8

GRAD VRU



ภาพที่ 8 เครื่องมือใช้ทดสอบ One-stop IoT Provider with Soil Integrated Sensor

3.4.2 การวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)

วิธีการวิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด มีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งดิน (ที่ผึ่งให้แห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร) 2.00 กรัม ใส่ในหลอดย่อย (Digestion tube)

2) เติม 7 กรัม สารผสมสำหรับเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture)

3) เติม 15 มิลลิลิตร กรดซัลฟูริก เขย่าเบา ๆ (ทำในตู้ดูดควัน) นำเข้าเตาย่อยโดยใช้อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียล จนกระทั่งตัวอย่างใช้ได้ ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ตัวอย่างจะเป็นสีขาวขุ่น ๆ และไม่มีควันของกรดซัลฟูริก

4) ทำ Blank (หลอดย่อยไม่มีตัวอย่าง) โดยเติม 7 กรัม Catalyst mixture เติม 15 มิลลิลิตร กรดซัลฟูริก เขย่าเบา ๆ (ทำในตู้ดูดควัน) แล้วทำการย่อยพร้อมกับตัวอย่าง

5) เมื่อย่อยเสร็จให้ปิดเครื่องย่อยแต่ยังไม่ปิดเครื่องกำจัดไอกรด รอจนกระทั่งเย็นจึงปิดเครื่องกำจัดไอกรดแล้วนำหลอดย่อยออกจากเตาย่อย

6) นำหลอดย่อยในข้อ 5 ไปต่อเข้าเครื่องกลั่น กำหนดให้เติมน้ำ 50 มิลลิลิตร และ 40 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 มิลลิลิตร กลั่นประมาณ 4 นาที ปิเปต 4 เปอร์เซ็นต์ กรดบอริก 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำไปรองรับสารละลายที่ได้จากการกลั่น โดยให้ปลายของแท่งแก้วจุ่มลงใน สารละลายบอริก จากสารละลายสีม่วงแดงของบอริกจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว

7) นำสารละลายในข้อ 6 ไปทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.02 N ซัลฟูริก ที่จุดยุติสารละลายจะมีสีม่วงแดง จดปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน 0.02 N ซัลฟูริกที่ไทเทรตได้ นำไปคำนวณหาค่า Total N ต่อไป

GRAD VRU

3.4.3 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P)

1) ชั่งตัวอย่างดิน 1.00 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำยาสกัด Bray II ลงไป 10 มิลลิลิตร เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 (รองรับสารละลายที่กรองด้วยหลอดทดลอง)

3) ปิเปตน้ำตัวอย่างที่ได้จากการกรอง 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย B 16 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 : 16) ทิ้งไว้ 30 นาที จะเกิดเป็นสีน้ำเงิน

4) ทำ Blank โดยปิเปต Bray II 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย B ลงไป 16 มิลลิลิตร เขย่าสารเบา ๆ ด้วยเครื่องเขย่าสารละลาย (Vortex) ทิ้งไว้ 30 นาที

5) ชุดของสารละลายมาตรฐาน (Standard set) ทำเช่นเดียวกับตัวอย่าง

6) วัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 882 นาโนเมตร ให้วัด ชุดของสารละลายมาตรฐาน (Standard set) ก่อน เพื่อทำกราฟ โดยใช้ Blank ปรับเป็น Auto Zero และวัดตัวอย่างต่อไป

3.4.4 การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available K)

1) ชั่งดิน 2.00 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2) ใช้ปิเปตแบบปริมาตรขนาด 20 มิลลิลิตร ปิเปต 20 มิลลิลิตร 1 N สารละลาย แอมโมเนียมอะซิเตท

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารละลายแบบตั้งโต๊ะ 30 นาที

4) กรองผ่านด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 เซนติเมตร รองรับสารละลายจากการกรองด้วยหลอดทดลอง

5) นำไปวัดด้วยเครื่อง AAS ที่ความยาวคลื่น 383 นาโนเมตร

3.4.5 สารอินทรีย์ในดิน (Organic matter) วิเคราะห์โดยวิธี Wet oxidation ของ Walkley & Black โดยเริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างดิน นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 75 °C ในตู้อบเป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำไปบด และร่อนด้วยตะแกรง (Mesh) ที่มีขนาดช่องรู 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุด้วยวิธี Wet oxidation ซึ่งเป็นวิธีที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นภายใต้การหาความเข้มข้นที่แน่นอน ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น จากนั้นทำการไตเตรต $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาด้วย สารละลายมาตรฐานเฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) โดยปริมาณของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้ไปนั้น มีค่าเท่ากับปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ไป ค่าที่ได้จะถูกนำไปคำนวณหาร้อยละของอินทรียวัตถุในดิน (Organic matter: OM) ต่อไป

GRAD VRU

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 วิเคราะห์ร้อยละของสารอินทรีย์ในตัวอย่าง (Organic matter: OM) ดังสมการที่ 1

$$\text{OM (\%)} = (N_1V_1 - N_2V_2) \times \left(\frac{(0.003 \times 100)}{W_s}\right) \times \left(\left(\frac{100}{77}\right) \times \left(\frac{100}{58}\right)\right) \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่

N_1 = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ หน่วยเป็น Normality: N

V_1 = ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ หน่วยเป็นมิลลิลิตร

N_2 = ความเข้มข้น $FeSO_4.7H_2O$ หน่วยเป็น Normality: N

V_2 = ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ หน่วยเป็นมิลลิลิตร

W_s = น้ำหนักของตัวอย่างหน่วยเป็นกรัม

3.5.2 วิเคราะห์หาไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ดังสมการที่ 2

$$\text{Total N (\%)} = (A-B) \times N \times 0.014 \times \frac{100}{W} \quad \text{..... (2)}$$

โดยที่

A = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ไทเทรตกับ Blank

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริก

W = น้ำาหนักของดิน (กรัม)

โดยระดับการประเมินไนโตรเจนทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1

3.5.3 วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available P) ดังสมการที่ 3

$$\text{Available P (\%)} = \left(\frac{B \times DF\ (Sample) \times A}{W \times DF\ (Standard)}\right) \div 10^3 \quad \text{..... (3)}$$

โดยที่

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

B = น้ำยาสกัด (มิลลิลิตร)

A = ค่าที่อ่านได้เมื่อวัดค่าเทียบกับ Standard set

DF = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor)

3.5.4 การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available K) ดังสมการที่ 4

$$\text{Available K (\%)} = \left(\frac{B \times A \times D}{W}\right) \div 10^3 \quad \text{..... (4)}$$

โดยที่

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

B = ปริมาตรของสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตทที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

A = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับความเข้มข้นมาตรฐาน (พีพีเอ็ม)

D = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution factor) (เท่า)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินการวิจัยเรื่อง “การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู” เป็นการดำเนินการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีผลการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

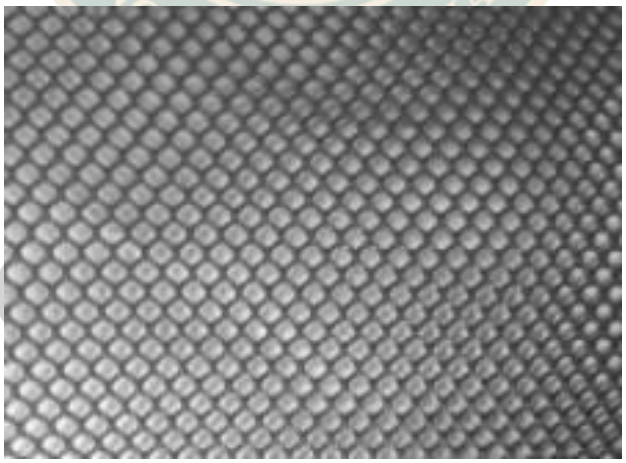
4.1 การคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

4.2 การสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

4.2 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคูและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

4.1 การคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

จากการทดสอบขนาดรูตาข่ายแข็งขนาด 1 มิลลิเมตร 3 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร พบว่า ขนาดของรูตาข่ายแข็งขนาด 1 มิลลิเมตร ไม่สามารถแยกเส้นใยและเศษวัสดุเนื้อละเอียดออกจากกันได้ เนื่องจากขนาดรูตาข่ายมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้วัตถุดิบเกิดการอุดตันรูตาข่าย ในส่วนของรูตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร สามารถแยกเส้นใยที่ปนอยู่และเศษวัสดุเนื้อละเอียดออกจากกันได้ และรูตาข่ายแข็งขนาด 5 มิลลิเมตร นั้น เป็นขนาดรูตาข่ายที่ใหญ่เกินไป เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยและเศษวัสดุเนื้อละเอียดนั้น โดยส่วนใหญ่หลุดลอดผ่านรูตาข่ายได้ จากผลการทดสอบพบว่า รูตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร (ภาพที่ 9) เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู



ภาพที่ 9 ขนาดรูตาข่ายแข็ง 3 มิลลิเมตร ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

เมื่อทดสอบขนาดรูตาข่ายที่เหมาะสมในการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูแล้ว จึงนำตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร ไปเป็นส่วนประกอบในการสร้างเป็นต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

4.2 การสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

การสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู กำหนดขนาดของรูตาข่ายแข็ง 3 มิลลิเมตร ดังที่ได้ผลการทดสอบการคัดแยกของเสียในแต่ละขนาดของรูตาข่ายในข้อ 4.1.1 และในการสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียนั้น ประกอบด้วย ตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร แท่งอะลูมิเนียม สำหรับเป็นเสาและโครงของเครื่อง แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับเป็นถาดรอง มอเตอร์สำหรับหมุน 12 โวลต์ และชุดปรับความเร็วในการหมุน เมื่อได้อุปกรณ์ทั้งหมด จึงนำไปประกอบเป็นเครื่องต้นแบบ โดยที่ขนาดของตาข่ายหมุนยาว 100 เซนติเมตร ขนาดโครงของเครื่องยาว 120 เซนติเมตร ความสูงของเครื่อง 85 เซนติเมตร พร้อมทั้งติดตั้งมอเตอร์และชุดควบคุมการหมุน



GRAD VRU

ภาพที่ 10 ต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

4.2.1 การทดสอบการใช้งานต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

เมื่อได้เครื่องต้นแบบจึงนำไปทดลองใช้จริง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดเครื่องคัดแยกของเสียฯ โดยกำหนดความเร็วรอบในการหมุน 30 rpm

2) ตักของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู ใส่เครื่องขณะกำลังหมุน เครื่องจะทำการร่อนเพื่อคัดแยกเส้นใยและเศษวัสดุเนื้อละเอียดออกจากกัน อย่างช้า ๆ ในส่วนเส้นใยจะติดอยู่ด้านบน และส่วนเศษวัสดุเนื้อละเอียด จะผ่านรูตาข่ายลงภาชนะหรือผ้าใบรองรับด้านล่างของเครื่อง โดยของเสียที่ผ่านการคัดแยกทั้ง 2 ส่วน สามารถแสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูที่ผ่านเครื่องคัดแยก (เส้นใย และ เศษวัสดุเนื้อละเอียด)

4.3 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคูและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

เมื่อได้วัสดุปรับปรุงดินที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ (ภาพที่ 12) จึงนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ดังนี้ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความชื้น ค่าธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม



ภาพที่ 12 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู

วัสดุปรับปรุงดินที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ จะมีองค์ประกอบของธาตุอาหารเพิ่มขึ้น เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ใน

ดิน รวมถึงการเจริญเติบโตของพืช (Khan et al., 2019; Sharma et al., 2022; Rashmi et al., 2022)

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุปรับปรุงดิน

เมื่อนำวัสดุปรับปรุงดินจากงานวิจัยนี้ไปวิเคราะห์ พบว่า วัสดุปรับปรุงดินมีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 6.04 ± 0.08 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ในส่วนของค่าความชื้น มีค่าร้อยละ 49.80 ± 2.55 และอินทรียวัตถุ มีค่าร้อยละ 47.33 ± 4.04

ตารางที่ 1 ค่าการวิเคราะห์ความเป็นกรดด่าง ความชื้น และอินทรีย์วัตถุของวัสดุปรับปรุงดิน

สมบัติทางเคมี	Average	S.D.
ค่าความเป็นกรดด่าง	6.043	0.08
ค่าความชื้น (%)	49.80	2.55
อินทรียวัตถุ (%)	47.33	4.04
ไนโตรเจน	1.848	0.04
ฟอสฟอรัส	1.170	0.04
โพแทสเซียม	1.743	0.05

เมื่อนำค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความชื้น และอินทรียวัตถุที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เกรด 1 และ เกรด 2) ที่ได้มาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผ่านวิธีการสับ หมัก บด ร่อน และถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วงที่ปุ๋ยหมัก (เกรด 1) กำหนด ทั้งยังเป็นค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์สำหรับการปลูกพืช เนื่องจากค่าความเป็นกรดด่างมีผลต่อการละลายของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นของวัสดุปรับปรุงดินกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เกรด 1 และ เกรด 2) พบว่า วัสดุปรับปรุงดินมีค่าความชื้นสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (เกรด 2) ที่กำหนดไว้ว่าปริมาณความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 30 และอินทรียวัตถุมีปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก (เกรด 2) ที่กำหนดไว้ว่าอินทรียวัตถุต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20

นอกจากนี้การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู พบว่า ไนโตรเจน มีค่าร้อยละ 1.848 ± 0.04 ฟอสฟอรัส มีค่า 1.170 ± 0.04 และ โพแตสเซียม มีค่า 1.743 ± 0.05 ดังตาราง 1 เมื่อนำค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแตสเซียม ที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เกรด 1 และ เกรด 2) พบว่า ธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ชนิด มีค่าสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมักกำหนด

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยเรื่อง “การผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู” เป็นการดำเนินการวิจัยเชิงทดลอง โดยสามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 การคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคูและการสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู

จากการทดสอบพบว่า รูตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู และในการสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียนั้นประกอบด้วย ตาข่ายแข็งขนาด 3 มิลลิเมตร แท่งอะลูมิเนียม สำหรับเป็นเสาและโครงของเครื่อง แผ่นอะลูมิเนียมสำหรับเป็นถาดรอง มอเตอร์สำหรับหมุน 12 โวลต์ และชุดปรับความเร็วในการหมุน เมื่อได้อุปกรณ์ทั้งหมด จึงนำไปประกอบเป็นเครื่องต้นแบบ โดยที่ขนาดของตาข่ายหมุนยาว 100 เซนติเมตร ขนาดโครงของเครื่องยาว 120 เซนติเมตร ความสูงของเครื่อง 85 เซนติเมตร พร้อมทั้งติดตั้งมอเตอร์และชุดควบคุมการหมุน

5.1.2 วัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคูและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

วัสดุปรับปรุงดินเป็นสารปรับปรุงดินทำหน้าที่เป็นตัวปรับสภาพดิน ปรับปรุงคุณสมบัติของดินและความอุดมสมบูรณ์ โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งวัสดุปรับปรุงดินที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรดด่างเฉลี่ย 6.04 ± 0.08 ซึ่งเป็นกรดอ่อน ในส่วนของค่าความชื้นมีค่าร้อยละ 49.80 ± 2.55 และอินทรียวัตถุ มีค่าร้อยละ 47.33 ± 4.04 นอกจากนี้การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักของวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคู พบว่า ไนโตรเจน มีค่าร้อยละ 1.848 ± 0.04 ฟอสฟอรัส มีค่าร้อยละ 1.170 ± 0.04 และ โพแตสเซียม มีค่าร้อยละ 1.743 ± 0.05 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ของปุ๋ยอินทรีย์จากมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ เช่น มูลวัว มีค่าไนโตรเจน ร้อยละ 1.9 มีค่าฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.7 และ มีค่าโพแทสเซียม ร้อยละ 2.0 และมูลสุกร มีค่าไนโตรเจน ร้อยละ 2.1 มีค่าฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.8 มีค่าโพแตสเซียม ร้อยละ 1.2 มีค่าใกล้เคียงกัน

GRAD VRU

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การคัดเลือกขนาดรูตาข่ายแข็งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู การสร้างต้นแบบเครื่องคัดแยกของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู และวัสดุปรับปรุงดินจากของเสียการเลี้ยงด้วงสาคูและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ซึ่งในผลการวิจัยแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ของเสียจากการเลี้ยงด้วงสาคู สามารถนำมาแปรสภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ดังนั้นในการทำงานวิจัยต่อไปจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าความชื้นให้ลดลง เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานกำหนดไว้ว่า ความชื้นของปุ๋ยหมักเรด 1 และ เกรด 2 ต้องไม่เกินร้อยละ 30



บรรณานุกรม

GRAD VRU

บรรณานุกรม

กฤษฎา ศรีวิโรจน์ และกิตติศักดิ์ บุญคร. (2016). *การทดสอบประสิทธิภาพน้ำหมักชีวภาพจากมูลจิ้งหรีด มูลแมงสะดิ้ง และมูลไส้เดือนที่ส่งผลต่อการปลูกดาวเรือง*. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. (2537). บทบาทของสารปรับปรุงบำรุงดิน (Vol. 10). สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย

เทคโนโลยีชาวบ้าน (2564). เทคนิคเลี้ยง “ด้วงสาคู” ในกะละมัง https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_119953

ปรัชวนี พิบำรุง. (2558). การใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมูลหนอนนกเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว การนำมูลหนอนนกมาผลิตให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อใช้ในการผลิตข้าว.*วรสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *23*(2).

ปรัชวนี พิบำรุง (2564). การใช้ปุ๋ยหมักมูลจิ้งหรีดและมูลหนอนนกอัดเม็ดต่อสมบัติดินและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*, *39*(1), 52-64.

รพีพร ชัยชนะ (2564). ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินที่ผลิตจากขยะดอกกล้วยไม้. สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, *13*(3), 692-703

สุปาณี เลี้ยงพรพรรณ. (2555). ชีววิทยาและคุณค่าทางโภชนาการบางประการของด้วงงวงมะพร้าว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.*

สุปาณี เลี้ยงพรพรรณ และสมชาย เลี้ยงพรพรรณ (2557). การเลี้ยงด้วงงวงมะพร้าวในจังหวัดสงขลาและ จังหวัดพัทลุง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, *13*(1), 39-45.

สุภาพร รัตนาพันธ์ (2556). การเจริญเติบโตของดาวเรืองที่ใส่ปุ๋ยมูลหนอนด้วงกว่างชน.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. *วารสารแก่นเกษตร* . *41*(3), 269-274.

สุลีลัก อารักษณ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์ (2557). ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับการฉีดน้ำหมักมูลไส้เดือนดิน. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Ávalos Masó J. (2015). Factors influencing the mobility of Red palm weevil Rhynchophorus ferrugineus (Coleoptera: Dryophthoridae) adults. *Doctoral thesis.*

GRAD VRU

Bombe K. (2019). dible Insects Market Worth $7.96 Billion by 2030. *UK: Meticulous Market Research.*

Cabello, T. (2006). Population Biology and Dynamics of the Red Palm Weevil, Rhynchophorus ferrugineus (Olivier, 1790) (Coleptera: Dryophthoridae) in Spain. . *Jornada Internacional sobre el Picudo Rojo de las Palmeras*, 19-34.

CABI. (2021). *Rhynchophorus ferrugineus (red palm weevil).* https://www.cabi.org/isc/datasheet/47472

Civeira, G. (2010). Influence of municipal solid waste compost on soll properties and plant reestablishment in peri-urban environments. *Chilean journal of agricultural research.* , *70*(3), 446-453.

Delate, K., & R. Arora. (2003). Effect of Gypsum Applications on Organic Crop Production and Postharvest Quality. *Research Report Soil Solutions, LLC.*, 1-14.

Eche, N. M., EN.O. Iwuafor, I. Yo'ila Amapui, & M.V. Bruns. (2013). Effect of application of organic and mineral soil amendments in a continuous cropping system for 10 years on chemical and physical properties of an Alfisol in Northern Guinea Savanna zone. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, *1*(4), 116-123.

FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. *Challenges and opportunities for the sector.* https://doi.org/10.4060/cb4094en

Ge X, He S, Wang T, Yan W, & Zong S. (2015). Potential Distribution Predicted for Rhynchophorus ferrugineus in China under Different Climate Warming Scenarios. *journal.pone.*, *10*(10).

Geitgey, R. P. (1992). State of oregon department of geology and mineral industries. *Pumice in oregon*, *28*.

Goldstein D. (2018). E dible Insect Market Growth. Waltham, MA, United States: Insight Software Company. *Google Scholar.*

Guiné R. P. F., Correia P., Coelho C, & A., C. C. (2021). The role of edible insects to mitigate challenges for sustainability. *Agriculture*, *6*(1), 24-36.

Hanboonsong Y., Jamjanya, T., & Durst P. B. (2013). Six-legged livestock: edible insect

GRAD VRU

farming, collecting and marketing in Thailand. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bangkok, Thailand*, *57*.

Hunt, J., M., DuPonte, D.Sato, & Kawabata., A. (2010). The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. . *Soil and Crop Management*, *30*(7), 1-6.

Jindo, K., H. Mizumoto, Y. Sawada, M.A. Sanchez-Monedero, & T. Sonoki. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, *11*, 6613-6621.

Kamarudin, K., Hamdan H., & Mat H. (2003). Methane adsorption characteristic dependency on zeolite structures and properties. . *Proceedings of the Symposium of Malaysian Chemical Engineers*, *6*.

Lazarovits, G. (2001). Management of soil-borne plant pathogens with organic soil amendments: a disease control strategy salvaged from the past. . *The Canadian Journal of Plant Pathology*, *23*(1), 1-7.

McCauley, A., C. Jones, & J. Jacobsen. (2009). Commercial Fertilizers and Soil Amendments. *In Nutrient Management - A self-study course from MSU extension continuing education series*, 449-510.

Nurhidayati, & Mariati. (2014). Utilization of maize cob biochar and rice husk charcoal as soil amendments for improving acid soil fertility and productity. . *degraded and mining lands management*, *2*(1), 223-230.

Ramesh, V., J. George, J.S. Jyothi, & S.M.A, S. (2015). Effect of Zeolites on Soil Quality, Plant Growth and Nutrient Uptake Efficiency in Sweet Potato (lpomoea
batatos L. *Journal of Root Crops*, *41*(1), 25-31.

Rana, S. S. (2018). Soil improvement and amendments - soil amendments and drainage. *ResearchGat*, 1-13.

Rasnake, M. (2002). The Agronomics of Manure Use for Crop Production. . *University of Kentucky Cooperative Extension Service*, *4*.

Sahin, U., & Anapali., O. (2006). Addition of Pumice Affects Physical Properties of Soll Used for Container Grown Plants. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, *71*(2), 59-64.

GRAD VRU

Saliga, R., & Skelly, J. (2013). Using Chicken Manure Safely in Home Gardens and Landscapes. *University of Nevada Cooperative Extension*, 13-23.

Santillan Y.M, Moreno F.P., F.Garcia, & Sandoval., O. A. A. (2014). Effect of the Application of Manure of Cattle on the Properties Chemistry of Soil in Tizayuca, Hidalgo, Mexico. . *International Journal of Applied Science and Technology*, *4*(3), 67-72.

Torkashvand, A. M. (2010). Improvement of compost quality by addition of some amendments. .*Australian journal of crop science (AJCS)*, *4*(4), 252-257.

Traunfeld, J., & Nibali, E. (2013). Soil Amendments and Fertilizers Fertilizing Guidelines Included by Plant Group. *Home and Garden Information Center*, *8*.

Uchimiya, M., I.M. Lima, KT. Klasson, & L.H. Wartelle. (2010). Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment. *Roles of natural organic matter*, *80*(8), 935-940.

Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, Velde, M. v. d., & I., D. (2010). BiocharApplication to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. *European Commission*, *162*.

Warren, J. (2000). Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, *52*, 1-81.

GRAD VRU

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวศศิวิมล สะอาดเอี่ยม
วัน เดือน ปี เกิด	8 มกราคม 2541
สถานที่เกิด	จังหวัดปทุมธานี
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา เคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ที่อยู่ปัจจุบัน	5/2 หมู่ 4 ตำบลโคกช้าง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

GRAD VRU