

การศึกษาสมบัติของเถ้าบอยเลอร์และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊ส  
ชีวภาพจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืช

**STUDY THE PROPERTIES OF BOILER ASH AND BIOGAS-  
SLUDGE FROM OIL PALM INDUSTRY FOR USE AS PLANT  
GROWING MEDIA**



กัณฐิกา ชัยมณี  
KANTIKA YOUNGMANEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเกษตรศาสตร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-065-362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY THE PROPERTIES OF BOILER ASH AND BIOGAS-SLUDGE  
FROM OIL PALM INDUSTRY FOR USE AS PLANT GROWING  
MEDIA**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURE  
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2022**

**KMITL-2022-AG-M-065-362**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2022**

**FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติของเถ้าบอยเลอร์และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืช
นักศึกษา	นางสาวกัญฐิกา ชังมณี
รหัสประจำตัว	61604010
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เกษตรศาสตร์
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ภัทรารัตน์ เทียมเก่า

### บทคัดย่อ

ในประเทศไทยระบบอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีปริมาณของเสียสูงถึง 13.71 ล้านตันต่อปี โดยส่วนใหญ่เป็นเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ตลอดจนอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุทั้งสองประเภทต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดซึ่งเป็นพืชทดสอบ การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 5 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ การทดลองที่ 2 ศึกษาการเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก การทดลองที่ 3 ศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ การทดลองที่ 4 อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม และการทดลองที่ 5 ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด จากการศึกษาได้ผลการทดลองดังนี้ การทดลองที่ 1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพตลอดระยะเวลา 1 ปีที่ทำการเก็บตัวอย่างพบว่า การสุ่มเก็บครั้งที่ 1 ส่งผลให้กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพมีความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซับน้ำสูงที่สุด โดยเท่ากับ 0.85 g/cm<sup>3</sup> 114.22 % 30.57 % 83.66 % และ 138.81 % ตามลำดับ ส่วนการสุ่มเก็บเถ้าบอยเลอร์พบว่า การสุ่มเก็บครั้งที่ 2 ส่งผลให้เถ้าบอยเลอร์มีช่องว่างขนาดเล็กสูงที่สุดคือ 69.69 % การทดลองที่ 2 ศึกษาการเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก พบว่า การเตรียมวัสดุโดยการหมักก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกส่งผลต่อ pH และ EC (P<0.05) โดยพบว่า ชนิดของวัสดุส่งผลให้ค่า pH มีความแตกต่างกันในวันที่ 15-90 ของการทดลอง โดยค่า pH ของเถ้าบอยเลอร์สูงกว่าค่า pH ของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพในวันที่ 30-90 ส่วนรูปแบบของการหมักส่งผลให้ค่า pH แตกต่างกันในวันที่ 90 ของการทดลอง โดยการทิ้งวัสดุไว้ตามธรรมชาติมีค่า pH มากที่สุด (pH = 6.76) และเข้าใกล้กลางมากขึ้นซึ่งเหมาะสมในการเป็นวัสดุปลูก การทดลองที่ 3. ศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า เมื่อบ่มวัสดุที่ระดับความชื้น 60 % ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 60 วัน พบว่า กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์สูงกว่าแฉับอ้อยเลอร์ เมื่อบ่มวัสดุที่ระยะเวลา 60 วัน กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพปลดปล่อยแอมโมเนียม และไนเตรทได้ 420.23 mgN/kg และ 756.94 mgN/kg ตามลำดับ การทดลองที่ 4 อธิพิผลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพวัสดุหลังการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอมโดยใช้เพอร์ไลต์ แกลบ หรือเปลือกถั่วลิสง เป็นวัสดุผสมเพื่อเพิ่มความพรุน พบว่า แฉับอ้อยเลอร์หมัก มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ 88.52 % ส่วนดัชนีการงอกพบว่า กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุดคือ 22.74 เปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเพอไลต์ และแกลบ เนื่องจากทำให้พีชมีเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอก 85.27 % และ 21.38 ตามลำดับ นำข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวมาคัดเลือกวัสดุที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารดีที่สุด โดยวัสดุปลูก 4 สูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 แฉับอ้อยเลอร์หมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 2 แฉับอ้อยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อ พด.1+เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่ว และใช้สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 (ขุยมะพร้าว ปุ๋ยคอก ทราย แกลบดิบ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1:2:1:1:0.25 ส่วน) เป็นสูตรเปรียบเทียบ โดยทดสอบปลูกผักสลัด 5 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีน โอ๊ค เรด คอรัล คอส และเรด โอ๊ค การทดลองที่ 5 ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด พบว่า ในด้านการเจริญเติบโตวัสดุปลูกสูตรที่ 2 แฉับอ้อยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วเหมาะสำหรับใช้ปลูกผักสลัดทั้ง 5 ชนิด (ผักกาดหอม กรีน โอ๊ค เรด โอ๊ค เรดคอรัล และคอส) และส่งผลให้ผักสลัดทั้ง 5 สายพันธุ์มีการเจริญเติบโตที่ดีว่าการปลูกในวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 การดูดดึงธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 2 แฉับอ้อยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว เหมาะสำหรับใช้ปลูกผักกาดหอม และคอส วัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วเหมาะสำหรับใช้ปลูกกรีน โอ๊ค ผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ ยกเว้น แมงกานีส และเหล็กซึ่งจะพบมากในผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกหลังการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพของวัสดุสูตรต่างๆแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คงเดิม ยกเว้นช่องว่างขนาดใหญ่ และความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ต้นทุนการผลิตวัสดุปลูกในสูตรที่ 2 แฉับอ้อยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 8.62 บาทต่อกระถาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Study the properties of boiler ash and biogas-sludge from oil palm industry for use as plant growing media
<b>Student</b>	Miss Kantika Youngmanee
<b>Student ID.</b>	61604010
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Agriculture
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Pattrarat Teamkao

### ABSTRACT

In Thailand, oil palm industry generated high amount of waste that reached 13.71 million ton/year mainly as boiler-ash and biogas-sludge. This study focuses on the basic properties of boiler-ash and biogas-sludge from the palm oil industry after composting and their possible use as growing media for lettuce. This study consisted of five experiments as follows: Experiment 1: The study properties of biogas-sludge and boiler-ash, Experiment 2: The study preparation of the material before using it as growing media, Experiment 3: The study nutrient release of biogas-sludge and boiler ash, Experiment 4: The effect of material after pre-treatment and porosity material for germination of lettuce seedling, Experiment 5: The study the ratio of suitable materials and their effect on the growth of lettuce. Experiment 1, the study properties of biogas-sludge and boiler-ash the first biogas-sludge sampling had the highest bulk density, porosity, macropore, micropore and water absorption values of 0.85 g/cm<sup>3</sup>, 114.22 %, 0.85 g /cm<sup>3</sup>, 30.57 %, 83.66 and 138.81 %, respectively. The micropore of boiler-ash was highest in the second sampling with 69.69 %. Experiment 2, the study preparation of the material before using it as growing media. The pre-treatment method affected the pH and EC (P<0.05). This result showed that type of growing media had significantly affected pH at 15-90 days of experiment. The boiler ash had higher pH than biogas-sludge at 30-90 days. The pre-treatment processes affected pH only by the end of experiment. Undisturbed material for 90 days reduced the pH to close to neutral its pH making it more appropriate as growing media. Experiment 3, the biogas-sludge had higher available nitrogen than boiler-ash and was highest after 60 days of incubation with 420.23 mgN/kg and 756.94 mgN/kg of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectively. The two materials were incubated under 60 % moisture content at 25±2°C for 60 days. Experiment 4, the efficiency of growing media after pre-treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

methods on germination of lettuce seedlings by using perlite, rice husk and peanut shell as material to increase porosity was found the highest germination percentage under boiler-ash compost with 88.52 %. The highest germination index was found under biogas-sludge compost with microbial addition with 22.74. Peanut shell is a better porous material than perlite and rice husk, but peanut had highest germination percentage and germination index with 85.27 % and 1.38, respectively. Based on data from previous experiments, the best nutrient release material was selected using 50 % pre-treatment method combined with 30 % porosity material and 20% manure added to all treatments. Growing media with 4 formulars comprised of formular 1: boiler ash compost+rice husk, Formular 2: boiler-ash compost with microbial addition+peanut shell, Formular 3: biogas-sludge compost+rice husk, Formular 4: biogas-sludge compost with microbial addition+peanut shell and using Thaikasetsart 1 (coconut coir, manure, sand, rice husk, 16-16-16 fertilizer with ratio 1:2:1:1:0.25 parts) as a comparison formular. Five types of *Lactuca sativa* were tested, comprised of lettuce, green oak, red coral cos and red oak. Experiment 5, the study the ratio of suitable materials and their effect on the growth of lettuce. The result of plant growth was found under formular 3: biogas-sludge compost + rice husk, formular 2: boiler-ash compost with microbial addition + peanut shell and formular 4: biogas-sludge compost with microbial addition+peanut shell were suitable for growing five types of salad vegetables (lettuce, greenoak, redoak, redcoral and cos) and the result show that all five types of salad vegetables grow better than Thaikasetsart 1 growing media. The uptake of plant nutrient (N, P and K) was found under formular 2: boiler-ash compost with microbial addition + peanut shell was suitable for growing lettuce and cos. The formular 4: biogas-sludge compost with microbial addition+peanut shell was suitable for growing greenoak. The salad vegetable growing under formular 3: biogas-sludge compost + rice husk and formular 4: biogas-sludge compost with microbial addition+peanut shell had a high concentration of plant nutrients are higher than other growing media, except manganese and iron, which are found under salad vegetables grown under Thaikasetsart 1 growing media. The porosity of growing media after planting was highest on formular 5: Thaikasetsart 1. The physical property after planting result show that the physical property was found that the physical properties of various formulations of materials different according to the type of growing media compared to before the experiment found that most of the physical properties remain the same, except for macropore and water absorption that tends to increase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ภัทรรัตน์ เทียมเก่า ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พรชัย หาระโคตร ศ.ดร.มยุรา สุณย์วีระ ผศ.ดร.สุกัญญา เข้มประชา และ ผศ.ดร.พัชราภรณ์ สุวอ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โครงการพัฒนานักวิจัย และงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) รหัสโครงการ MSD 62I0093 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณดุสิต น่วมนวล กรรมการผู้จัดการ บริษัท กาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์ม จำกัด รวมถึง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์การทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายต้องขอขอบคุณครอบครัว อาจารย์ พี่ๆ เพื่อนๆ และบุคลากร ณ ห้องปฏิบัติการ ปฐพีวิทยาที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กัญจิกา ยงมณี

กรกฎาคม 2565

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	XII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มา และความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 วัสดุปลูก.....	3
2.2 ประเภทของวัสดุปลูก.....	3
2.3 ชนิด และคุณสมบัติของวัสดุสำหรับผสมเป็นวัสดุปลูก.....	3
2.4 สมบัติของวัสดุปลูกที่เหมาะสม.....	8
2.5 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	9
2.6 ถ้ำบอยเลอร์ปาล์มน้ำมัน.....	10
2.7 กากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	13
2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 การทดลองที่ 1: ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	24
3.2 การทดลองที่ 2: ศึกษาการเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก.....	25
3.3 การทดลองที่ 3: ศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	26
3.4 การทดลองที่ 4: อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม.....	26
3.5 การทดลองที่ 5: ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด.....	27
3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	28
บทที่ 4 ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
4.1 สมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	29
4.2 การเตรียมวัสดุโดยการหมักก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก.....	32
4.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	42
4.4 อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการเจริญของต้นกล้าผักกาดหอม.....	44
4.5 อิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด.....	47
4.5.6 ความเข้มข้นธาตุอาหารในพืช.....	59
4.5.7 สมบัติทางเคมีบางประการของวัสดุปลูกหลังการทดลอง.....	64
4.5.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังการทดลอง.....	65
4.5.8 การดูการใช้ธาตุอาหารของพืช.....	66
4.6.1 สมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.2 การเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก .....	77
4.6.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ .....	78
4.6.4 อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม .....	78
4.6.5 อัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และอิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด .....	79
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....</b>	<b>81</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	83
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>84</b>
<b>ภาคผนวก ก .....</b>	<b>94</b>
1.การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี .....	94
2.การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก .....	98
<b>ประวัติผู้เขียน .....</b>	<b>99</b>

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของเจ้าปาล์มน้ำมัน .....	11
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ .....	13
ตารางที่ 2.3 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ผักสลัดต้องการในระยะที่ผักสลัดเจริญเติบโตเต็มที่ .....	16
ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร .....	17
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของถ้ำบอยเลอร์ซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่แตกต่างกัน .....	30
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของถ้ำบอยเลอร์ซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่แตกต่างกัน .....	30
ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่แตกต่างกัน .....	31
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่แตกต่างกัน .....	31
ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนถึงสุดการหมักวัสดุ .....	39
ตารางที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนถึงสุดการหมักวัสดุ .....	40
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกของกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ .....	45
ตารางที่ 4.8 อิทธิพลร่วมของชนิดวัสดุปลูก และชนิดของวัสดุให้ความพรุนต่อเปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกของเมล็ด .....	46
ตารางที่ 4.9 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรก่อนทำการทดลอง .....	48
ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรก่อนทำการทดลอง .....	48
ตารางที่ 4.11 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของผักกาดหอมที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	53
ตารางที่ 4.12 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของกรีน โอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก ของเรดคอรัลที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ.....	54
ตารางที่ 4.14 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก ของคอสที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	54
ตารางที่ 4.15 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก ของเรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	55
ตารางที่ 4.16 ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุ ปลูกสูตรต่างๆ .....	56
ตารางที่ 4.17 ความสูงของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตร ต่างๆ.....	57
ตารางที่ 4.18 จำนวนใบของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตร ต่างๆ.....	58
ตารางที่ 4.19 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในผักกาดหอมที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่าง .....	61
ตารางที่ 4.20 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในกรีนโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่าง .....	61
ตารางที่ 4.21 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในเรดคอรัลที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	62
ตารางที่ 4.22 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในคอสที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	62
ตารางที่ 4.23 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในเรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ .....	63
ตารางที่ 4.24 ค่า pH EC ใน โตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกผักกาดหอมหลัง การทดลอง.....	67
ตารางที่ 4.25 ค่า pH EC ใน โตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูก กรีนโอ๊คหลังการทดลอง .....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.26 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกเรดคอร์ตหลังการ ทดลอง.....	69
ตารางที่ 4.27 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกคอสหลังการ ทดลอง.....	70
ตารางที่ 4.28 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกเรดไอค์หลังการ ทดลอง.....	71
ตารางที่ 4.29 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกผักกาดหอม.....	72
ตารางที่ 4.30 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกกรีนไอค์.....	72
ตารางที่ 4.31 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกเรดคอร์ต.....	73
ตารางที่ 4.32 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกคอส.....	73
ตารางที่ 4.33 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกเรดไอค์.....	74
ตารางที่ 4.34 ต้นทุนการผลิตของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร.....	76

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	สมการการเกิดเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite).....	6
ภาพที่ 2.2	สมการการแปรสภาพของแร่ไมกา เป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์ และสเมกไทต์ .....	6
ภาพที่ 2.3	วัสดุปลูกประเภทอนินทรีย์ ; (A) ไยหิน, (B) พัมมิช, (C) ซีโอไลต์, (D) เม็ดดินเผา, (E) เวอร์มิคิวไลต์, (F) เพอไลต์ .....	9
ภาพที่ 2.4	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม .....	12
ภาพที่ 2.5	สายพันธุ์ผักสลัดทั้ง 5 กลุ่ม ; (A) กลุ่ม Leaf lettuce, (B) กลุ่ม Crisp-head, (C) กลุ่ม Butterhead, (D) กลุ่ม Cos หรือ Romaine, (E) กลุ่ม Stem.....	15
ภาพที่ 3.1	แผนภาพแสดงงานทดลองต่างๆในการศึกษาสมบัติของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืช .....	24
ภาพที่ 3.2	ลักษณะของถ้ำบอยเลอร์ (ซ้าย) และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ (ขวา) ที่ใช้ในการทดลอง .....	25
ภาพที่ 3.3	ลักษณะของวัสดุปลูกสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา; (A) วัสดุปลูกสูตรที่ 1, (B) วัสดุปลูกสูตรที่ 2, (C) วัสดุปลูกสูตรที่ 3, (D) วัสดุปลูกสูตรที่ 4, (E) วัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 .....	28
ภาพที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างกระบวนการหมัก.....	41
ภาพที่ 4.2	ลักษณะของวัสดุหลังจากผ่านการหมัก; (A) ถ้ำบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ, (B) ถ้ำบอยเลอร์หมัก, (C) ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อ พด.1, (D) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ, (E) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก, (F) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อ พด. 1 .....	42
ภาพที่ 4.3	ปริมาณ $NH_4^+$ (A) available $NO_3^-$ (B) available P (C) extractable K (D) extractable Ca (E) และ extractable Mg (F) ของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ปลดปล่อยจากการบ่มวัสดุในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 60 วัน .....	43
ภาพที่ 4.4	การดูใช้ในโตรเจนของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ .....	75
ภาพที่ 4.5	การดูใช้ฟอสฟอรัสของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ .....	75
ภาพที่ 4.6	การดูใช้โพแทสเซียมของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ .....	76
ภาพผนวกที่ 1.1	การงอกของกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ.....	101
ภาพผนวกที่ 1.2	เรดโอ๊คในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร .....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพผนวกที่ 1.3 เรดคอร์ธในวัดสุปถูกทั้ง 5 สุตร .....	102
ภาพผนวกที่ 1.4 ผักกาดหอมในวัดสุปถูกทั้ง 5 สุตร .....	103
ภาพผนวกที่ 1.5 กรีน โอ๊ค และคอสนในวัดสุปถูกสูตรต่างๆ .....	103
ภาพผนวกที่ 1.6 ผักสลัดชนิดต่างๆที่ทำการปลูกในวัดสุปถูกที่พัฒนาขึ้นในโรงเรียนทดลอง.....	104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มา และความสำคัญ

วัสดุปลูกเป็นทางเลือกเพื่อการเพาะปลูกพืชที่น่าสนใจ ซึ่งวัสดุปลูกมีหน้าที่ให้รากเกาะยึด เพื่อให้ลำต้นของพืชตั้งตรง ไม้ออนเอนหรือล้ม อีกทั้งวัสดุปลูกยังทำหน้าที่เก็บความชื้นและธาตุอาหารเพื่อให้รากดูดไปใช้ ขณะเดียวกันวัสดุปลูกก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศรอบๆ ระบายราก คุณสมบัติของวัสดุปลูกที่ดี ต้องสะอาดปราศจากแมลง โรค และเมล็ดวัชพืช มีช่องว่างสำหรับการถ่ายเทหรือหมุนเวียนของอากาศ มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ปานกลาง เนื่องจากการอุ้มน้ำที่เหมาะสมจะทำให้ความชื้นสูงเพียงพอต่อการงอก และไม่เป็นสาเหตุให้เมล็ดพืชเน่า วัสดุปลูกสามารถยึดรากไว้ไม่แตกจากกันในขณะที่ย้ายปลูก วัสดุปลูกที่ดีเมื่อเมล็ดเริ่มงอกสามารถให้ธาตุอาหารได้ทันที เพื่อให้ต้นกล้าเจริญเติบโตสมบูรณ์ มีความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพืช นอกจากนี้วัสดุปลูกยังช่วยให้เกษตรกรปลูกพืชได้แม้พื้นที่จะไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช ลดปัญหาโรคระบาดทางดิน สามารถปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี ให้ผลผลิตที่สูง และมีคุณภาพสม่ำเสมออีกด้วย (เนตรชนก เกียรติ์นนทพัทธ์ และชวนพิศ อรุณรังสิกุล, 2555)

ในปี พ.ศ. 2562 จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์ม 1,340,063 ไร่ ให้ผลผลิตปริมาณ 3,843,277 ตัน คิดเป็นผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว 300 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) ภาครัฐจึงส่งเสริมให้มีการจัดตั้งอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม เพื่อดำเนินการผลิตน้ำมันปาล์มจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ นับเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตย่อมก่อให้เกิดของเสียประเภทอินทรีย์ขึ้น Malithong et al. (2016) รายงานว่า ในปี 2015 โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในภาคใต้มีของเสียประเภททะลายเปล่าปาล์ม น้ำมัน 2.86 ล้านตัน เส้นใย และกะลาปาล์มน้ำมัน 7.12 ล้านตัน ในขั้นตอนของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มพบว่า เส้นใยเปลือกผลปาล์มที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในกระบวนการต้มบอยเลอร์ (boiler) หรือหม้อต้มไอน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้แล้วเส้นใยเปลือกผลปาล์มจะกลายเป็นเถ้า ซึ่งยังคงมีปริมาณมากถึง 500 ตันต่อปี เถ้าบอยเลอร์มีลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ คือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง โครงสร้างเป็นรูพรุนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันจำนวนมาก ทำให้ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง อีกทั้งยังให้ธาตุอาหาร เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมแก่พืชได้ (กมลชนก เจริญศิริ และคณะ, 2560) นอกจากนี้ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์ม ยังมีกากตะกอนดีแคนเตอร์เป็นของเสีย ตะกอนดีแคนเตอร์นี้มีส่วนผสมของน้ำมัน ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพได้ อย่างไรก็ตามหลังจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพแล้วยังมีกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นของเสียซึ่งมีปริมาณถึง 200 ตันต่อปี ซึ่งกากตะกอนนี้มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูง และมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ จากสมบัติที่ติบงประการของของเสียทั้ง 2 ประเภทนี้ จึงน่าจะสามารถนำไปใช้พัฒนาเป็นวัสดุปลูกพืชได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผักสลัดเป็นผักที่นิยมบริโภคสดและประกอบอาหารมากที่สุด ผักสลัดประกอบด้วย น้ำ 95 % คาร์โบไฮเดรต 1-2 % โปรตีน 1-2 % และไขมัน 0.25 % อุดมไปด้วยรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และสารอาหารอื่นๆ ที่มีคุณค่าต่อผู้บริโภค จึงทำให้ความนิยมในการบริโภคผักสลัดมีมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นผักที่ผู้บริโภคในประเทศไทยและต่างประเทศมีความต้องการสูงและมีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี ผักสลัดเป็นพืชที่มีอายุสั้น และมีความต้องการไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประเมินความเหมาะสมของวัสดุปลูกอย่างยิ่ง ในงานวิจัยนี้ สนใจศึกษาสมบัติของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพทั้งสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ตลอดจนอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุทั้งสองประเภทต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดซึ่งเป็นพืชทดสอบ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพก่อนนำไปเป็นวัสดุปลูก

1.2.2 เพื่อประเมินการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

1.2.3 เพื่อทดสอบผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาสมบัติของถ้ำบอยเลอร์ร่วมกับกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นวัสดุปลูก

1.3.2 ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

1.3.3 ศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้นต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

## 1.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ และ โรงเรือนปลูกพืชทดลอง วิชาเอกปฐพีวิทยา ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วัสดุปลูก

วัสดุปลูก หมายถึง วัสดุต่างๆ ที่เลือกสรรมาเพื่อใช้ในการปลูกพืช และทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตเป็นปกติ อาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดผสมรวมกัน อาจจะเป็นวัสดุอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ โดยวัสดุปลูกต้องมีบทบาทต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตกับพืช 4 ประการ

2.1.1 ค้ำจุนส่วนของพืชที่อยู่เหนือวัสดุปลูกให้ตั้งตรงอยู่ได้

2.1.2 เก็บสำรองธาตุอาหารไว้ให้แก่พืช

2.1.3 เก็บน้ำเพื่อเป็นประโยชน์ต่อพืช

2.1.4 แลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากพืชกับบรรยากาศเหนือวัสดุปลูก ทำให้รากพืชไม่

ขาดแก๊สออกซิเจน

#### 2.2 ประเภทของวัสดุปลูก

วัสดุปลูกผสมในปัจจุบัน สามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

2.2.1 Loam-base media เป็นวัสดุปลูกที่มีดินเป็นองค์ประกอบ ซึ่งดินที่นำมาผสมเป็นหน้าดิน หรือดินร่วน การใช้ดินผสมในวัสดุปลูกมักมีธาตุอาหารเพียงพอ มีความชื้น รวมถึงความจุในการอุ้มน้ำที่ดี จึงพบปัญหาของน้ำหนักทำให้การขนส่งยุ่งยาก อีกทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมียังมีความไม่สม่ำเสมอ และเปลี่ยนแปลงได้

2.2.2 Loam-less media เป็นวัสดุปลูกที่ไม่มีดินเป็นองค์ประกอบหรือถ้ามีก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในปัจจุบันวัสดุปลูกประเภทนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และการเกิดจากความยุ่งยากในการใช้ดิน ซึ่งการนำดินมาใช้ในการปลูกแต่ละครั้งนั้น คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินไม่เหมือนกัน ในการใช้วัสดุปลูกซึ่งไม่มีส่วนผสมของดินก็เพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มน้ำหนัก และการอัดตัวแน่นของวัสดุปลูกเมื่อใช้ไปในระยะเวลานาน (ประภาวรณ กระจำงลิจิต. 2557)

#### 2.3 ชนิด และคุณสมบัติของวัสดุสำหรับผสมเป็นวัสดุปลูก

พืชแต่ละชนิดเหมาะสมกับวัสดุปลูกที่แตกต่างกันไป การนำวัสดุปลูกต่าง ๆ มาผสม เป็นวัสดุจึงมีความสำคัญ การเลือกใช้วัสดุปลูกแต่ละชนิดควรพิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาผสมก่อน วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการผสมหรือปรับปรุงเป็นวัสดุปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 อินทรีย์วัตถุ (organic matter) เป็นส่วนที่ได้จากการย่อยสลายหรือทับถมกันของซากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ สำหรับหน้าที่ของอินทรีย์วัตถุนั้น คือ ส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ในดินที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุนั้น แล้วจึงค่อยปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ออกมาอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ อีกทั้งยังทำให้วัสดุปลูกมีความพรุนและร่วนซุย อินทรีย์วัตถุที่นิยมใช้ ได้แก่

2.3.1.1 ปุ๋ยคอก (manure) ได้แก่ มูลสัตว์ต่าง ๆ เช่น มูลโค ควาย ไก่ สุกร และค่างาว เป็นต้น ปุ๋ยคอกจะปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก ปรับค่า pH ของวัสดุปลูกให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2.3.1.2 พีท (peat) เกิดจากอินทรีย์วัตถุในบึงหรือหนองที่มีน้ำท่วมขังสม่ำเสมอจนทำให้เกิดการสลายของอินทรีย์วัตถุหรือเศษพืช การนำมาเป็นวัสดุปลูกควรผสมกับวัสดุปลูกชนิดอื่น หากพีทเป็นวัสดุปลูกเพียงชนิดเดียวมักทำให้พืชปลูกขาดธาตุอาหารพืชได้ (ประภาวรรณ กระจ่างลิขิต. 2557)

2.3.1.3 ปุยหรือขุยมะพร้าว (coir dust หรือ coir waste) มีลักษณะเป็นผง สีน้ำตาลแดง เกิดจากเปลือกมะพร้าวที่ปั่นเอาใยออก หรือปั่นให้ใยละเอียด เป็นขุยๆละเอียด มีคุณสมบัติเบา เก็บความชื้นไว้ได้นาน สามารถดูดซับน้ำได้ดี มีค่าความเป็นกรดเล็กน้อย หาได้ง่ายและราคาถูก และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพีท (ประภาวรรณ กระจ่างลิขิต. 2557)

2.3.1.4 แกลบขาว หรือเปลือกข้าว เป็นอินทรีย์วัตถุอย่างหนึ่งที่นิยมผสมเป็นวัสดุปลูก เพราะมีการสลายตัวค่อนข้างช้า น้ำหนักเบา สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีราคาถูก ควรเลือกแกลบขาวที่ค้ำปี หรือมีการสลายตัวแล้วบางส่วน จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น การใช้แกลบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และ EC ของวัสดุปลูก แต่ไม่ควรใช้แกลบขาวเกิน 25 % ของวัสดุปลูกทั้งหมด (ประภาวรรณ กระจ่างลิขิต. 2557)

2.3.1.5 เปลือกไม้สับ ส่วนใหญ่ได้มาจากเปลือกไม้เนื้อแข็ง ไม้เบญจพรรณ ที่เหลือจากการตัดแต่งต้นไม้ใหญ่จากสวน ไร่ นา นำมาผ่านกระบวนการสับย่อยให้กลายเป็นชิ้นเล็ก อาจพบสารที่สะสมอยู่ในเนื้อไม้ เช่น เเทนิน เรซิน ฟีนอล ต้องนำมาหมักอย่างน้อย 6 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้งาน

2.3.1.6 ขี้เถ้า มีลักษณะคล้ายเปลือกไม้สับ แต่มีขนาดเล็กกว่า ก่อนนำมาใช้ควรหมักก่อน และควรกลบกองขี้เถ้าทุก 7-10 วัน เพื่อลดการสะสมของกรดบริเวณที่อากาศเข้าไม่ถึงการใช้ขี้เถ้าเป็นวัสดุปลูก ควรทราบชนิดของดินไม้เนื่องจากอาจจะมียางหรือสารที่เป็นอันตรายต่อพืช (ประภาวรรณ กระจ่างลิขิต. 2557)

2.3.2. อนินทรีย์วัตถุ (inorganic material) เป็นส่วนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการสลายตัวของหิน และแร่ต้นกำเนิดต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินทั้งที่เป็นประโยชน์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยสัดส่วนของอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมอยู่ที่ 50 % ของปริมาณวัสดุปลูกทั้งหมด มีองค์ประกอบและขนาดที่แตกต่างกัน อาจจำแนกได้ดังนี้

2.3.2.1 พวกที่มีเนื้อละเอียด (inorganic fine aggregate) หมายถึง อินทรีย์วัตถุที่มีลักษณะละเอียด เช่น แร่ดินเหนียว

2.3.2.2 พวกที่มีเนื้อหยาบ (inorganic coarse aggregate) หมายถึง อินทรีย์วัตถุที่มีลักษณะหยาบ เช่น

2.3.2.2.1 ทราย (sand) เป็นอินทรีย์วัตถุที่นิยมมากที่สุด ได้มาจากการผุพังของหินชนิดต่างๆ กลายเป็นหินก้อนเล็ก จึงมีน้ำหนักมาก ไม่มีธาตุอาหารพืช ไม่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจึงทำให้มีความสมบูรณ์ต่ำ เก็บความชื้นได้ไม่ดี แต่มีความอยู่ตัวสูง ระบายน้ำได้ดี ทรายที่ใช้โดยทั่วไปมี 2 แบบ ได้แก่ ทรายหยาบ เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุปลูกทรายละเอียด มีเม็ดละเอียดสีคล้ำมีดินตะกอน การระบายน้ำไม่ดีจึงไม่เหมาะนำมาใช้ในการปลูกพืช

2.3.2.2.2 เพอไลต์ (perlite) เป็นแร่ที่ได้จากหินภูเขาไฟที่มีซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นองค์ประกอบจำนวนมากแหล่งที่มาของแร่เพอไลต์ที่พบมากได้แก่ บริเวณที่มีภูเขาไฟและมีการทับถมของลาวา (lava) ที่ถูกพ่นออกมาในขณะที่เกิดการระเบิดของภูเขาไฟ สีนแร่เพอไลต์ที่ขุดได้จากบริเวณดังกล่าวจะถูกนำมาบด ร่อน เพื่อให้ได้เม็ดหรือฟองที่มีขนาดตามที่ต้องการแล้วนำไปเผาในเตาเผาโดยใช้ความร้อนประมาณ 760 องศาเซลเซียส (1,400 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งความร้อนจากการเผาจะทำให้ความชื้นที่มีในเนื้ออนุภาคแร่ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 2-6 เปลี่ยนสถานะภาพเป็นไอน้ำ แล้วเกิดความดัน ซึ่งดันอนุภาคแร่ให้เกิดการขยายตัวหรือฟองตัวขึ้นประมาณ 4-20 เท่าตัวของปริมาตรเดิม โดยเกิดการฟองตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และมีสีขาวคล้ายเม็ดข้าวโพดคั่ว หรือฟองน้ำที่มีน้ำหนักเบามาก สมบัติทางกายภาพและเคมีโดยทั่วไปของแร่เพอไลต์ที่เผาแล้วมีสีขาว ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักเบามาก คือ ระหว่าง 80-100 กิโลกรัมต่อคิวบิกเมตร มีความจุในการอุ้มน้ำต่ำ (ประมาณร้อยละ 19) เพราะผิวหน้าของเม็ดจะปกคลุมด้วยช่องว่างขนาดเล็กที่มีพื้นที่ผิวสูง ส่วนช่องว่างภายในเม็ดแต่ละเม็ด จะถูกเชื่อมติดกันด้วยความร้อนระหว่างการเผาทำให้สามารถดูดน้ำ และธาตุอาหารที่ละลายในน้ำได้เฉพาะในบริเวณช่องว่างที่ผิวเม็ด และช่องว่างระหว่างเม็ดเท่านั้น แร่เพอไลต์ชนิดเม็ดหยาบโดยทั่วไป มีความพรุนรวม (total porosity) ประมาณร้อยละ 70 และในปริมาณนี้ ประมาณร้อยละ 60 เป็นช่องว่างระบายอากาศ (aeration porosity) ทำให้ดินที่มีสมบัติระบายอากาศ และน้ำไม่ดี เมื่อผสมเพอไลต์แล้วจะมีการระบายอากาศและน้ำดีขึ้น แร่เพอไลต์โดยทั่วไปมีปฏิกิริยา (pH) เป็นกลาง หรือมี pH ระหว่าง 6.5-7.5 มีความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำมาก ไม่มีสมบัติเป็นสารบัฟเฟอร์ (buffering material) และมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบน้อยมาก ในการเตรียมแร่เพอไลต์ที่จะใช้ในทางการเกษตร ต้องเผาสินแร่ด้วยอุณหภูมิสูงประมาณ 760 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เม็ดหินเพอไลต์ที่เผาแล้วมีสภาพสะอาดปราศจากเชื้อโรคและเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ รวมทั้งแมลง และวัชพืชที่ยังมีชีวิตที่อาจมีปะปนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสินแร่ก่อนการเผา (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)

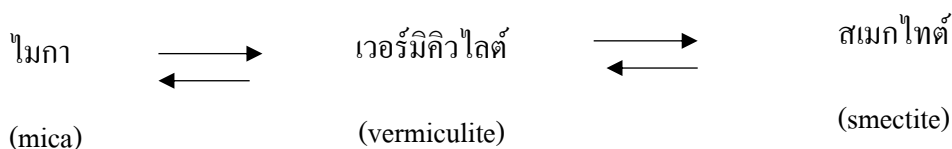
2.3.2.2.3 เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) เป็นแร่ประกอบหินที่มีผลึกขนาดใหญ่ ไม่ได้เกิดจากการแข็งตัวของแมกมา (magma) แต่เกิดจากการแปรสภาพของแร่ไมกา (mica) หรือแร่กัลเลียม หิน ดังนั้น จึงมีสมบัติคล้ายแร่ไมกา แร่เวอร์มิคิวไลต์ประกอบด้วยหินที่มีขนาดใหญ่ เป็นแร่ในรูป แร่บริสุทธิ์ ส่วนแร่เวอร์มิคิวไลต์ในรูปแร่ดินเหนียวที่พบในดินมีผลึกขนาดเล็กที่ไม่บริสุทธิ์ เพราะสิ่งเจือปนต่างๆมากมายหลายชนิด แร่เวอร์มิคิวไลต์ที่พบในธรรมชาติมี 2 ชนิด คือ ชนิด ไตรออกตาฮีดรอล (trioctahedral) และไดออกตาฮีดรอล (dioctahedral) โดยชนิดไตรออกตาฮีดรอลที่มีขนาดผลึกใหญ่กว่าเกิดมาจากการแปรสภาพของแร่ไมกาชนิดไตรออกตาฮีดรอลในรูป แร่ไบโอไทต์ (biotite) ส่วนแร่เวอร์มิคิวไลต์ชนิดไดออกตาฮีดรอล (dioctahedral) เกิดจากการแปรสภาพของแร่ไมกาชนิดไดออกตาฮีดรอลในรูปแร่มัสโคไวต์ (muscovite) สำหรับแร่เวอร์มิคิวไลต์ ในรูปแร่ดินเหนียวในดินจะไม่พบในรูปใดรูปหนึ่งโดยเฉพาะ แต่จะพบเป็นส่วนผสมของแร่เวอร์มิคิวไลต์ทั้ง 2 รูป และจะพบในดินแถบที่ร้อนชื้นมากกว่าในแถบร้อนชื้น รูปแบบการเปลี่ยนแปลงสภาพอย่างง่ายของแร่ไมกาไปเป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์และแร่อื่นๆ ประเภท 2:1 ที่มีสมบัติในการขยายตัวได้ดี เช่น แร่สเมกไทต์ (smectite) อาจเขียนเป็นสมการง่ายๆ ได้ดังนี้ (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)



ภาพที่ 2.1 สมการการเกิดเวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite)

ที่มา : ปิยะ ดวงพัตรา (2553)

ในการแปรสภาพของแร่ไมกาแบบอยู่กับที่จะมีการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมออกมา จากตำแหน่งชั้นภายใน (interlayer) ในแร่ไมกาพร้อมๆ กับการถูกแทนที่โดยไอออนประจุบวกในรูปไฮเดรต (hydrated cation) อื่นๆ มีผลทำให้แร่ไมกาเปลี่ยนแปลงสภาพไปเป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์ หรือแร่สเมกไทต์พร้อมๆ กัน ปะปนกัน หรืออาจเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาจากแร่ไมกาไปเป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์ และแร่สเมกไทต์ดังสมการการแปรสภาพ ต่อไปนี้



ภาพที่ 2.2 สมการการแปรสภาพของแร่ไมกา เป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์ และสเมกไทต์

ที่มา : ปิยะ ดวงพัตรา (2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2.4 พัมมิช (pumice) เกิดขึ้นจากการเย็นตัวของหินหลอมเหลวใต้พื้นโลก หรือที่เราเรียกกันว่า “ลาวา” ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) และอะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของซิลิกาต่ออะลูมินาประมาณ 5:1 ถึง 6:1 ซึ่งใกล้เคียงกับซีโอไลต์ โดยมีสิ่งเจือปนอื่นๆ ในรูปแร่ซีโอไลต์ (zeolites) แคลไซต์ (calcite) หรือแร่ชนิดอื่นๆ รวมทั้งธาตุต่างๆ จำนวนเล็กน้อยในรูปออกไซด์ของเหล็ก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียม สมบัติทางกายภาพและเคมีโดยทั่วไป เป็นหินที่มีสีต่างๆ ได้แก่ สีขาวครีม สีเทาจนถึงสีค่อนข้างเหลืองหรือแดง เนื้อหิน และโครงสร้างเชิงแร่มีลักษณะโปร่งพรุน คล้ายแร่ซีโอไลต์ที่ประกอบไปด้วยช่องว่างจำนวนมากในเนื้อหินของหิน ซึ่งอาจมีปริมาตรของช่องว่างสูงถึงร้อยละ 85 ทำให้มีน้ำหนักเบา และลอยน้ำได้ดี เรียกว่า หินลอยน้ำ เกษตรกรจะเรียกว่า หินส้ม โดยทั่วไป มีปฏิกิริยาเป็นกลาง (pH~7.0) มีความแข็งโมห์สเกล (Mohs scale) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ประมาณ 5-6 ซึ่งแข็งกว่าแร่ซีโอไลต์ และมีความจุในการดูดซับของเหลวใต้ประมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างสารพัมมิชที่จำหน่ายในท้องตลาดในประเทศไทยรวม 3 ตัวอย่าง ปรากฏว่า มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก หรือค่าซีอีซี (CEC) ต่ำคือมีค่าระหว่าง 5.46-7.13 มิลลิสมมูลต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม เท่านั้น และมีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อย กล่าวคือ มีค่าพีเอช (pH) อยู่ในช่วงระหว่าง pH 8.0-8.2 (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)

2.3.2.2.5 ไยหิน (rock wool หรือ stone wool) โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งมีการใช้ไยหิน เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อน ซึ่งนอกจากมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีแล้วยังมีความพรุนมาก มีความคงทน อย่างไรก็ตามเมื่อครบกำหนดใช้งานแล้วจำเป็นต้องเปลี่ยน การกำจัดหลังการเปลี่ยนใหม่หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไปเป็นปัญหาอย่างหนึ่ง แต่ด้วยมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ ระบายอากาศได้ดี สะอาด ไยหินจึงอาจเหมาะที่นำมาทำวัสดุปลูกพืช (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2538) ไยหินเป็นกลุ่มของแร่ซิลิเกตที่เกิดตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นเส้นใยมีช่องว่างประมาณ 97% ช่วยในการปรับปรุงการดูดซับน้ำในวัสดุปลูก ไยหินได้จากการเผาหินให้ละลายที่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส

2.3.2.2.6 เม็ดดินเผา (expanded clay) เป็นวัสดุธรรมชาติผ่านกระบวนการทางเซรามิกส์ ไม่ละลายน้ำและสามารถกักเก็บน้ำได้ดี ตัวเม็ดดินประกอบด้วยธาตุอาหารหลายชนิดเช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส กำมะถัน โบรอน แคลเซียม เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการ (ยกเว้น แมกนีเซียมอลูมินาซิลิเกต และซิลิกาเฟอร์ริก ซึ่งพืชไม่ต้องการ) แต่ไม่มีผลกับพืชที่ปลูก มีน้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.28-0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรความจุน้ำที่ 11-24% ค่า pH ประมาณ 7.0 และมีข้อดีของการนำมาใช้ คือ ปราศจากเชื้อโรค สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการล้างทำความสะอาด ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีความคงทน สามารถใช้งานได้หลายปี (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

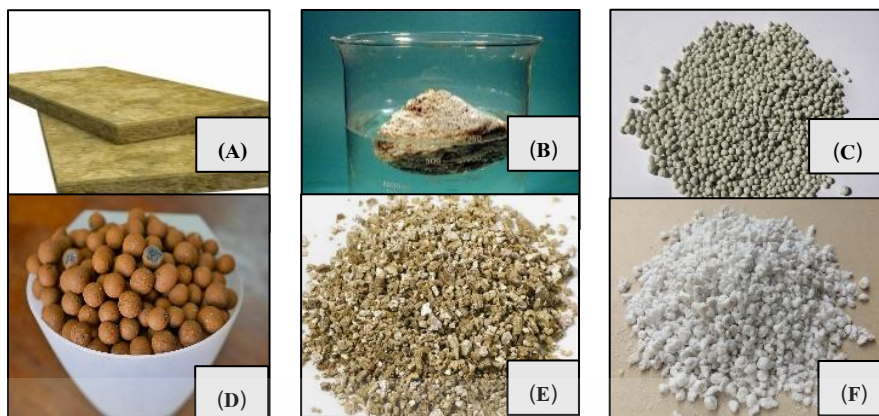
2.3.2.2.7 แคลไซต์ เคลย์ (calcined clay) หรือแร่ดินเหนียวเผา เป็นการนำดินแร่ เช่น อะพาไทต์ (apatite) หรือแร่ดินเหนียว (clay mineral) มาให้ความร้อนหรือเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของของแข็ง เพื่อให้เกิดการสลายตัวลง หรือการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ต่างไปจากเดิม สารในรูปของแข็งที่ได้หรือเหลือหลังจากการเผาโดยกระบวนการที่เรียกว่า แคลซิเนชัน เรียกว่า สารแคลไซต์ (calcined material) เช่น ถ้าเป็นเคลย์ (clays) หรือแร่ดินเหนียวเผา เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแร่ดินเหนียวบางชนิดมาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 1,500–1,800 องศาฟาเรนไฮต์ (816-982 องศาเซลเซียส) แล้วทำให้แห้ง ซึ่งในการเผาแล้วทำให้แห้ง ดินเหนียวจะมีเสถียรภาพ และจะสูญเสียสมบัติการยึดหยุ่น (การพองตัว และหดตัว) แต่จะแข็งและแตกเป็นเม็ด หลังจากนั้นก็นำไปร่อนให้ได้ขนาดที่ต้องการ มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ ทำให้เกิดช่องว่างและโครงสร้างแบบ 3 มิติ (3D-structure) ที่อนุภาคอื่นๆ สามารถจับเกาะได้ เม็ดแข็งและมีเสถียรภาพ มีสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี มีความพรุนรวมสูงสุดถึง 40-50 % ดูน้ําได้ประมาณร้อยละ 20 ของทั้งหมด (ปิยะ ดวงพัตรา, 2553)

2.3.2.2.8 ซีโอไลต์ (zeolite) เกิดจากสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) เกิดจากการวางตัวเป็นโครงข่ายของหน่วยโครงสร้างพื้นฐานในรูปสี่หน้าหรือเตตราฮีดรอน (tetrahedron) ของหมู่  $\text{AlO}_4^-$  และหมู่  $\text{SiO}_4^{4-}$  ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ซึ่งโครงข่ายสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงข่ายที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม นอกจากซิลิคอน หรืออะลูมิเนียม และออกซิเจนแล้วในโครงข่ายโมเลกุลของซีโอไลต์ ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างโครงผลึก

## 2.4 สมบัติของวัสดุปลูกที่เหมาะสม

2.4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุปลูก ค่านี้ไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก แต่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชและควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช ค่าความเป็นกรด-ด่างที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีในวัสดุปลูกอยู่ในช่วง 5.5-6.5 (กาญจนา มาล้อม, 2556)

2.4.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุปลูก ควรอยู่ในช่วง 1.5-3.0 เดซิซีเมนต่อเมตร ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่านี้อาจเป็นอันตรายต่อต้นพืชได้ เนื่องจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ ค่าการนำไฟฟ้าที่สูง แสดงถึงการที่มีเกลือละลายออกมามาก ซึ่งจะมีผลต่อการใช้น้ำและธาตุอาหารของพืชลดลง (กาญจนา มาล้อม, 2556)



ภาพที่ 2.3 วัสดุปลูกประเภทอินทรีย์; (A) ใยหิน, (B) พัมมิช, (C) ซีโอไลต์, (D) เม็ดดินเผา, (E) เวอร์มิคิวไลต์, (F) เพอไลต์

ที่มา: <http://chem.flas.kps.ku.ac.th>

2.4.3 ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของวัสดุปลูก ค่า CEC สูงจะช่วยในการดูดซับธาตุอาหารพืช ทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง เกิดอย่างช้าๆ และช่วยในการลดการชะล้างธาตุอาหารพืชออกจากวัสดุปลูก (พิสมัย จุฑะมงคล. 2543)

2.4.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) วัสดุปลูกที่นำมาใช้ในการปลูกพืช ควรมีความคงสภาพเดิมสูง โดยถ้าเป็นวัสดุอินทรีย์ต้องมีการสลายตัวที่ช้าและมีอัตราส่วนของ C:N ratio สูง เช่น ขี้เลื่อยมี C:N ratio เท่ากับ 1000:1 แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้วัสดุอินทรีย์ที่มีการสลายตัวช้า ต้องนำวัสดุปลูกนั้นมาผ่านการหมักให้มี C:N ratio ต่ำเสียก่อนแล้วจึงนำมาใช้ อย่างไรก็ตาม C:N ratio ควรสูงกว่า 30:1 ขึ้นไป เนื่องจากวัสดุปลูกที่มี C:N ratio ที่อยู่ช่วง 20:1-30:1 มีการย่อยตัวที่เร็ว เพราะค่า C:N ratio ในช่วงนี้มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541)

2.4.5. การระบายอากาศ วัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีช่องว่างอากาศ 10-20 % หากช่องว่างอากาศมากกว่า 35 % จะทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุปลูกลดลงจนพืชขาดน้ำได้ (ปิยะ ดวงพัตรา. 2553)

2.4.6. ความหนาแน่นรวมของวัสดุปลูก วัสดุปลูกที่ยอมรับได้ควรมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 0.64-1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หลังรดน้ำ ถ้ามีความหนาแน่นต่ำกว่านี้เมื่อนำไปปลูกพืชจะทำให้ต้นพืชล้มลงได้ (พิสมัย จุฑะมงคล. 2543)

## 2.5 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

กระบวนการสกัดน้ำมันจากปาล์มน้ำมัน มีหลายรูปแบบขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ เริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การสกัด และทำให้บริสุทธิ์จนบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ในส่วนของกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม สรุปได้ดังนี้ คือ

### 2.5.1 อบไอน้ำทะเลายปาล์มสด ใช้เวลาประมาณ 40 ถึง 70 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 นำทะลายปาล์มที่อบแล้วส่งเข้าเครื่องนวด เพื่อให้ปาล์มหลุดออกจากทะลายปาล์ม โดยทะลายปาล์มเปล่าที่แยกออกไปนี้ โดยทั่วไปมีปริมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

2.5.3 ผลปาล์มที่ถูกปลิดออกจากทะลายแล้ว จะถูกส่งไปยังเครื่องย่อยบดซึ่งทำหน้าที่ย่อยเปลือกออกจากเมล็ด ในส่วนนี้มีเมล็ด เปลือก และน้ำมันดิบเกิดขึ้น เมล็ดในของปาล์มจะถูกแยกออกและผ่านกระบวนการต่างๆ ดังนี้ เมล็ดในถูกส่งเข้าเครื่องกะเทาะเมล็ด (nut crusher) เพื่อแยกชั้นของกะลาออกจากส่วนของเนื้อใน (kernel) เนื้อในปาล์มจะถูกส่งไปยังเครื่องทำให้แห้ง แล้วหลังจากนั้นจะถูกส่งไปเก็บไว้ในที่เก็บกาก สำหรับน้ำมันที่เกิดขึ้นจะไปสู่กระบวนการสกัด ส่วนกะลาเปล่าจะถูกแยกออกจากส่วนของเนื้อในโดยเครื่องแยกและถูกส่งไปที่เตาเผาหรือหม้อต้มน้ำขึ้นตอนกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน (พูนสุข ประเสริฐสุรพร และคณะ, 2533) กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มแสดงในภาพที่ 2.4

## 2.6 ถ้ำบอยเลอร์ปาล์มน้ำมัน

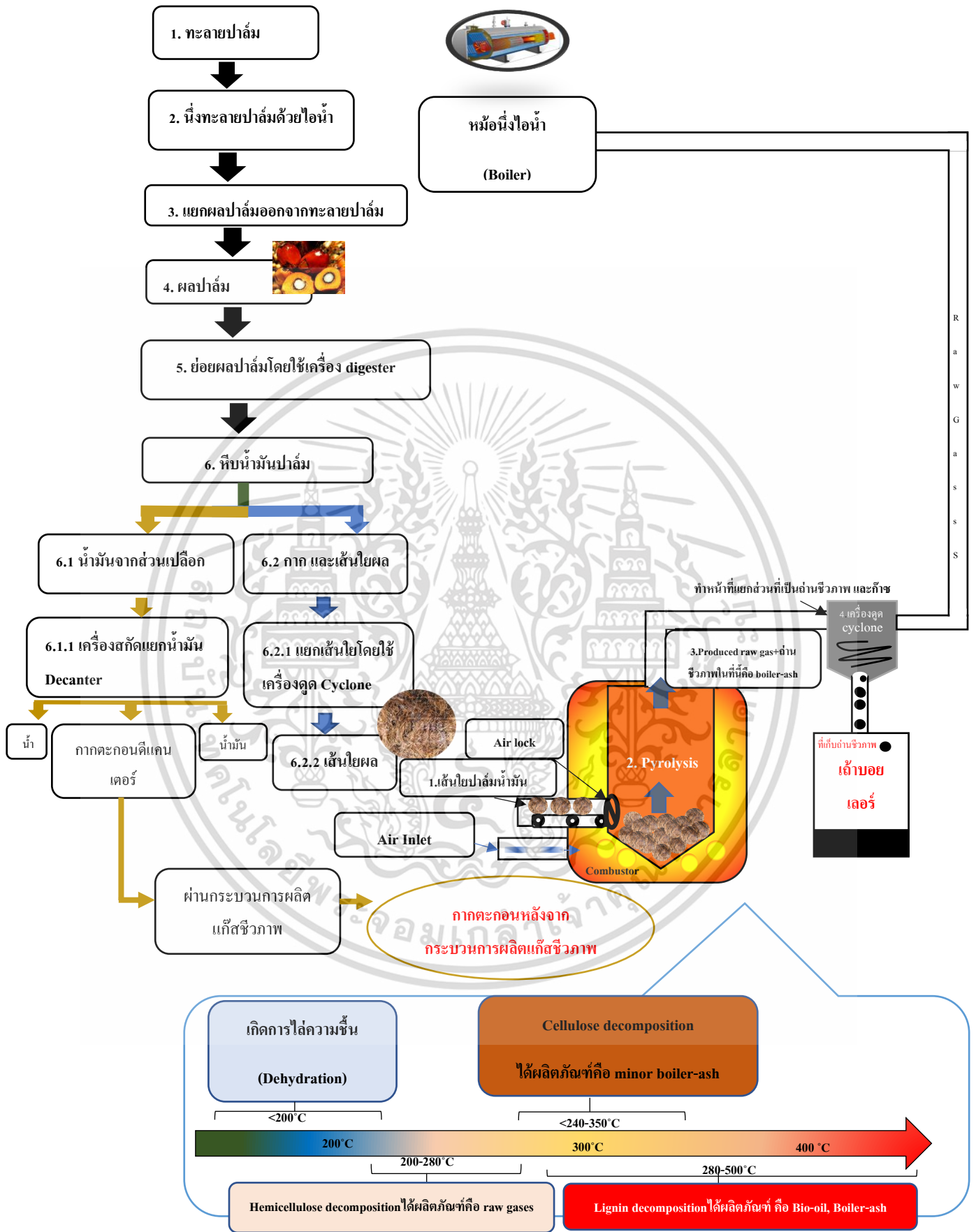
ถ้ำบอยเลอร์ปาล์มน้ำมัน หมายถึง ถ้ำที่ได้จากการเผาจากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทะลายปาล์มเปล่าของผลปาล์ม เพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส ถ้ำปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันจากปาล์ม น้ำมัน ถ้ำปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ถ้ำปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปกำจัดซึ่งทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดทิ้งตามมา เช่น ปัญหาทางด้านสถานะแวดล้อม เป็นต้น

ปี พ.ศ. 2550 โดยสถาบันค้ำคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า โรงไฟฟ้าชีวมวล ระบบ Cogeneration ขนาด 10 เมกกะวัตต์ มีถ้ำจะต้องทิ้งหรือหาวิธีการจัดการประมาณปีละ 41,312-105,567 ตัน ซึ่งถ้ำดังกล่าว พบว่า มีค่าความเป็นด่างสูง (pH ประมาณ 12) ถ้ำปาล์มน้ำมันประกอบไปด้วยองค์ประกอบของแร่ธาตุ และธาตุอาหารพืชหลากหลายชนิด เช่น ซิลิกอน 63.70 % แคลเซียม 5.97 % โพแทสเซียม 9.15 % ฟอสฟอรัส 4.26 % แมกนีเซียม 4.11% คลอรีน 0.50 % เป็นต้น (ตารางที่ 2.1) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ พืชสามารถนำแร่ธาตุดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ ถ้ำนี้มีศักยภาพนำมาพัฒนาร่วมกับซากอินทรีย์วัตถุที่เหลือทิ้งจากภาคการเกษตรหลายชนิดเพื่อนำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือสามารถเพิ่มส่วนผสมของแม่ปุ๋ยเพื่อให้ได้สูตรปุ๋ยที่ต้องการเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ ได้มาตรฐาน และนำกลับไปใช้ในแปลงเกษตร อีกทั้งยังเป็นหนทางการส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปผลิตเพื่อสร้างรายได้อีกทางหนึ่ง (มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันต์ และคณะ, 2556)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน (ดัดแปลงมาจาก Ismail et al., 2014; กัญจวิ  
กา ชัยมณี. 2560)

Properties	Contents
pH (1:2)	10.10
EC (1:10) (dS/m)	1.80
SiO <sub>2</sub> (%)	63.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6.27
CaO (%)	5.97
K <sub>2</sub> O (%)	9.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	4.26
MgO (%)	4.11
CO <sub>2</sub> (%)	0.10
SO <sub>3</sub> (%)	1.59
Cl (%)	0.50
Organic matter (%)	17.30
Organic carbon (%)	10.00
C:N Ratio	14:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 กากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

กากตะกอนน้ำเสียจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ ซึ่งมาจากส่วนที่เป็นน้ำเสียผสมกับกากตะกอนดีแคนเตอร์ของโรงงานสกัดปาล์ม น้ำมัน กากตะกอนที่ได้จากการผลิตแก๊สชีวภาพนั้นยังสามารถนำมาตากแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. 2562) ซึ่งมีปริมาณธาตุไนโตรเจนสูง มีค่า pH เป็นกลาง (ตารางที่ 2.2) มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ กากตะกอนน้ำเสียโรงงานผลิตแก๊สชีวภาพหากไม่มีการจัดการที่ดีจะกลายเป็นภาระของโรงงานที่จะต้องกำจัดต่อไป จากการศึกษาในปี พ.ศ. 2551 พบว่าประเทศไทยมีกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจำนวน 89,116 ตัน โดยผลปาล์มน้ำมัน 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการหีบน้ำมันจะได้เป็นกากตะกอนดีแคนเตอร์ 190 กิโลกรัม (ศุภวันจักรี พลมีศักดิ์ และคณะ. 2555)

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ (กัญจิกา ยงมณี. 2560)

Properties	Contents
pH (1 : 2)	7.6
Total N (% N)	3.1
Total P (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2.3
Total K (% K <sub>2</sub> O)	0.2
Soluble Na (%)	0.0
EC (1:10) (dS/m)	0.7
Organic matter (%)	48.8
Organic carbon (%)	28.3
C:N Ratio	9:1

## 2.8 ผักสลัด

ผักสลัด ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* L. อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) ซึ่งเป็นวงศ์ที่ค่อนข้างใหญ่ประกอบด้วยพืช 800 สกุล 20,000 กว่าชนิด แต่ส่วนใหญ่จะเป็นสายพันธุ์ป่ามีเพียงไม่กี่ชนิดที่นำมาปลูกเพื่อการค้า Compositae คือกลุ่มพืชที่มีก้านดอกเดี่ยว มีช่อดอกบนก้านดอกจำนวนมาก ส่วน Asteraceae หมายถึง กลุ่มพืชที่มีเนื้อเยื่อ ประกอบด้วยสารคล้ายน้ำมัน ในลำต้นและส่วนอื่นๆ ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด อยู่ในวงศ์ Asteraceae (formerly; Compositae) (นิพนธ์ ไชยมงคล. 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Lactuca sativa* เป็นสายพันธุ์กลุ่มเดียวที่นำมาปลูกเพื่อการค้า มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบที่ราบด้านตะวันออกของเขตเมดิเตอร์เรเนียน จากรูปวาดในหลุมฝังศพของชาวอียิปต์พบว่า มีการเพาะปลูกสลัดโบราณมากกว่า 4,500 ปี ก่อนคริสตศักราช โดยใช้เป็นพืชสมุนไพร และสกัดน้ำมันจากเมล็ด ในสงครามโลกครั้งที่ 2 ใช้น้ำที่คั้นจากใบสลัด จากนั้นนำไปอบแห้งให้เป็นผง (lactucarium) ใช้เป็นยานอนหลับ

สายพันธุ์ป่า จะมีใบและลำต้นเรียวยาวเล็ก ไม่เข้าปลี มีรสขม อยู่ในวงศ์ *Lactuca* มีโครโมโซม 8, 9 และ 17 กลุ่ม *L. sativa*, *L. serriola*, *L. virosa* และ *L. saligna* มีโครโมโซม  $n = 9$  ( $2n = 18$ ) สามารถผสมข้ามกลุ่มได้เนื่องจากลักษณะ *L. sativa* ไม่พบในสายพันธุ์ป่า สันนิษฐานว่าสายพันธุ์มาจาก *L. serriola* หรืออาจจะเกิดจากการผสมข้ามระหว่าง *L. serriola*, *L. virosa*, *L. saligna* และ *L. sativa* สามารถผสมข้ามกับ *L. serriola* ได้ง่าย

### 2.8.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

2.5.1.1 ใบ จะมีลักษณะ รูปร่าง และสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ เช่น ใบกลม ใบรี ใบเรียบบ้างหรือมีหยัก หรือบิคงอ บางพันธุ์อาจจะมีใบหนาแข็งและบางพันธุ์อาจจะมีใบอ่อนนุ่ม มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเขียวเข้ม สีน้ำตาลปนแดง สีแดงและสีน้ำตาล เป็นต้น บางพันธุ์จะมีสีเขียวแต่บางพันธุ์อาจจะมีหลายสี ใบสีแดงจะมีวิตามินซีสูงกว่าสีเขียวแต่จะสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว ภายในเวลา 2-3 วัน

2.5.1.2 ระบบราก สลัดจะมีระบบรากแก้วที่เจริญหยั่งลึกลงไปดินอย่างรวดเร็ว ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสามารถเติบโตได้ถึง 1 นิ้วต่อวันและเจริญลึกลงไปถึง 6 ฟุตเมื่อถึงระยะที่แทงช่อดอกในดินที่มีความชื้นสูงและมีหน้าดินตื้น รากจะไม่สามารถเจริญได้ดีถึงแม้จะมีรากแก้วที่ยังเล็ก แต่รากจะมีขนาดเล็ก รากแขนงและรากฝอยจะอยู่อย่างหนาแน่นในระดับความลึก 30 เซนติเมตร

2.5.1.3 ช่อดอก เป็นแบบ panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10-25 ดอกต่อช่อเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลืองหรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า และปิดในระยะเวลาสั้น โดยเฉพาะในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการผสมเกสรจะเสร็จสิ้นภายในเวลา 3-6 ชั่วโมง ดอกหนึ่งดอกประกอบด้วย เมล็ดหลายเมล็ด (involucre) ในสภาพอุณหภูมิสูง ช่วงแสงยาวจะกระตุ้นให้มีการแทงช่อดอกเร็วซึ่งจะเป็นปัญหาของการผลิตในฤดูร้อน (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2543)

### 2.8.2 สายพันธุ์ของผักสลัด

สายพันธุ์แบ่งออกตามลักษณะของต้นและใบได้ 5 กลุ่ม

2.5.2.1 กลุ่ม Leaf lettuce (*L. sativa* var. *crispa* L.) บางครั้งเรียก bunching lettuce หรือ loose-leaf สายพันธุ์นี้จะมีลำต้นสั้นและใบเจริญเป็นกระจุก มีใบจำนวนมาก ลักษณะรูปร่างและสี

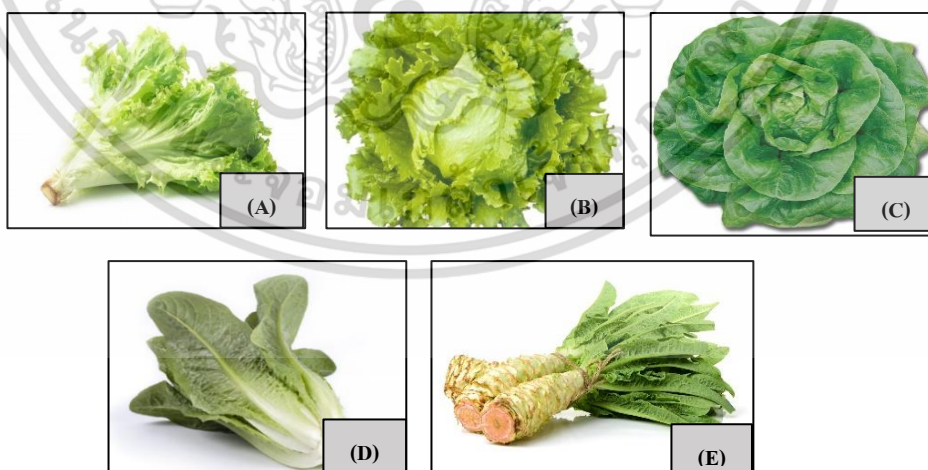
แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีใบสีเขียวอ่อน เช่น พันธุ์ Black seeded Simpson และ Grand Rapid เป็นต้น

2.8.2.2 กลุ่ม Crisp-head (*L. sativa* var. *capitata* L.) บางครั้งเรียก head lettuce หรือ iceberg type (สลัดปลี ผักกาดหอมห่อ ผักกาดแก้ว หรือสลัดแก้ว) มีใบขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ใบในจะม้วนและซ้อนกันคล้ายกะหล่ำปลีหัวแน่น ใบจะแข็ง กรอบกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ใบนอกจะมีสีเขียวเข้ม ใบในจะมีสีเหลืองปนขาวทนทานต่อการขนส่ง

2.8.2.3 กลุ่ม Butterhead (*L. sativa* var. *capitata* L.) บางครั้งเรียก Bibb หรือ Boston lettuce คือ สลัดกึ่งห่อ หรือสลัดบัตเตอร์ไบจะอ่อน และนิ่ม ห่อปลีหลวม ใบในจะมีลักษณะคล้ายมีน้ำมันหรือเนยจับที่ผิวใบ การปลูกในฤดูหนาวจะให้หัวขนาดใหญ่ และหัวแน่นกว่าฤดูร้อน การปลูกในฤดูร้อน ฤดูฝน ควรปลูกในโรงเรือนที่สามารถลดอุณหภูมิความชื้นของแสงและป้องกันฝน บางสายพันธุ์ในกลุ่มนี้จะมี ความต้านทานต่อโรคใบด่างของผักสลัด (Lettuce Mosaic Virus: LMV) รสชาติดีแต่ไม่ทนทานต่อการขนส่ง

2.8.2.4 กลุ่ม Cos หรือ Romaine (*L. sativa* var. *longifolia*) สลัดคอส หรือสลัดโรเมน หรือ ผักกาดหวาน ใบมีลักษณะตั้งตรงยาวและห่อ สีเขียวเข้ม เนื้อใบหนา มีเส้นใบนูนเด่นออกมาด้านหลัง ใบในจะมีปลายโค้งเข้าข้างในทำให้หัวกลมยาว

2.8.2.5 กลุ่ม Stem (*L. sativa* var. *asparagina*) ในบางครั้งเรียก Asparagus หรือ Celtuce (Celery-Lettuce) มีลักษณะลำต้นสูง ใบจะเรียวยาว เจริญเติบโตกันขึ้นไปจนถึงช่อดอก อาจจะทยอยเก็บเกี่ยวโดยเริ่มจากใบล่าง เหมาะสำหรับใช้เป็นพืชผักสวนครัว ลำต้นสามารถนำไปประกอบอาหารและแปรรูปได้ (นิพนธ์ ไชยมงคล. 2543)



ภาพที่ 2.5 สายพันธุ์ผักสลัดทั้ง 5 กลุ่ม ; (A) กลุ่ม Leaf lettuce, (B) กลุ่ม Crisp-head, (C) กลุ่ม Butterhead, (D) กลุ่ม Cos หรือ Romaine, (E) กลุ่ม Stem

ที่มา: <https://pixabay.com/th/images/search>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.3 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

เนื่องจากผักสลัดเป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศอบอุ่น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-24 องศาเซลเซียส ในสภาพอุณหภูมิสูงการเจริญเติบโตทางใบจะลดลง และพืชสร้างสารกลายน้ำตาล หรืออย่างมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัด ควรเป็นดินร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ และมีอินทรีย์วัตถุสูง หน้าดินลึก และอุ้มน้ำได้ดีปานกลาง สภาพความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ระหว่าง 6-6.5 ซึ่งหากปลูกในดินทรายหรือดินเหนียวควรใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก เพื่อปรับสภาพดินให้ดีขึ้นก่อนปลูก (อภิชาติ ศรีสอาด และณัฏฐ์ชญามนต์ ดินรรมรัมย์. 2558)

### 2.8.4 คุณค่าทางโภชนาการของผักสลัด

คุณค่าทางโภชนาการของผักสลัดชนิดใบสีแดง ต่อ 100 กรัม พลังงาน 16 กิโลแคลอรี ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 2.26 กรัม น้ำ 95.64 กรัม น้ำตาล 0.48 กรัม เส้นใย 0.9 กรัม ไขมัน 0.22 กรัม โปรตีน 1.33 กรัม วิตามินบี 1 0.064 มิลลิกรัม วิตามินบี 2 0.077 มิลลิกรัม วิตามินบี 5 0.321 มิลลิกรัม วิตามินบี 6 0.1 มิลลิกรัม วิตามินซี 3.7 มิลลิกรัม วิตามินอี 0.15 มิลลิกรัม วิตามินเค 140.3 ไมโครกรัม ธาตุแคลเซียม 33 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 1.2 มิลลิกรัม ธาตุแมกนีเซียม 12 มิลลิกรัม ธาตุฟอสฟอรัส 28 มิลลิกรัม ธาตุโพแทสเซียม 187 มิลลิกรัม ธาตุโซเดียม 25 มิลลิกรัม และธาตุสังกะสี 0.2 มิลลิกรัม (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2556)

### 2.8.5 ความต้องการธาตุอาหารพืชของผักสลัดและปุ๋ยที่ใช้

ความต้องการปริมาณธาตุอาหารพืชของผักสลัด แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณธาตุอาหารพืชที่ผักสลัดต้องการในระยะที่ผักสลัดเจริญเติบโตเต็มที่ (Benton et al., 1991)

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ
N (%)	4.0-5.0
P (%)	0.4-0.6
K (%)	6.0-7.0
Ca (%)	2.3-3.5
Mg (%)	0.5-0.8
B (ppm)	25-60
Cu (ppm)	8-25
Fe (ppm)	50-100
Mn (ppm)	15-250
Zn (ppm)	25-250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การใส่ปุ๋ย** ช่วงเตรียมดินควรใส่ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยหมักรองพื้นประมาณ 2-3 ตันต่อไร่ เมื่อผักสลัดอายุได้ 15-20 วัน ให้ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 สำหรับพันธุ์ใบ และใช้ปุ๋ยสูตร 13-13-13 สำหรับพันธุ์ห่อหัว ในอัตรา 30-50 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินแต่ละแห่งด้วย ผักสลัดต้องการธาตุโพแทสเซียมมากกว่าไนโตรเจน โพแทสเซียมจะทำให้ใบผักสลัดบาง และไม่มีรอยจุดบนใบ ผักสลัดที่ได้รับธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้ใบมีสีเขียว รสชาติไม่อร่อย การใส่ปุ๋ยผักสลัดพันธุ์ใบควรใส่หมักในครั้งเดียวตอนเตรียมดินปลูก แต่สำหรับผักสลัดห่อหัว ควรแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือครั้งแรกใส่ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน โดยใส่ตอนปลูกแล้วพรวนดินกลบ ส่วนที่เหลือใส่เมื่ออายุได้ 21 วัน โดยโรยข้างต้นต่างๆ แล้วพรวนดินกลบ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2559)

## 2.6 การปลดปล่อยธาตุอาหารของวัสดุเหลือทิ้ง

ในการทำการเกษตรหรือ อุตสาหกรรมต่างๆจะมีผลพลอยได้ที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเช่น ฟางข้าว ชานอ้อย หรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น กากตะกอนน้ำเสีย กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้า กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตกระดาษกราฟท์ ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ทัศนีย์ แก้วมรกต, 2557)

วัสดุ	ปริมาณธาตุอาหาร (%)		
	N	P	K
ตอซังถั่วเหลือง	1.32	0.15	1.14
ฟางข้าว	0.69	0.08	1.56
ซังข้าวโพด	1.41	0.05	0.49
ยอดอ้อย	0.49	0.10	0.25
ต้นมันสำปะหลัง	1.28	0.24	1.20
ขี้เถ้าไม้ยาง	1.13	0.60	13.48
เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	6.22

ดังนั้นหากนำวัสดุเหล่านี้มาใช้ ก็จะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารพืช โดยกมลชนก เจริญศรี และคณะ (2560) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและการละลายของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจัดในสภาพน้ำขังโดยทำการบ่มดินร่วมกับถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันในอัตรา 0 0.5 1.0 และ 2.0 ตันต่อไร่ในสภาพขังน้ำ ผลการบ่มดินระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันสามารถเพิ่มพีเอชดินเล็กน้อย และเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสที่สกัดด้วยน้ำยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bray-II ซิลิโคนที่สกัดด้วย  $\text{CaCl}_2$  และแคตไอออนสภาพเบสที่สกัดได้ด้วยน้ำยา  $\text{NH}_4\text{OAc}$

## 2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.9.1 วัสดุปลูก

อุมมาดี ลิ้มเสถียรกุล (2546) ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ red oak ที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าวผสมทรายเมื่อได้รับธาตุอาหารไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียมในระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ทำการทดลอง 2 การทดลองต่อเนื่องกัน คือ การทดลองที่ 1 ปลูกต้นผักกาดหอมพันธุ์ red oak ในวัสดุปลูก 6 ชนิด คือ ขุยมะพร้าวล้วน ขุยมะพร้าวผสมทราย อัตราส่วน 3:1 2:1 1:2 1:3 และทรายล้วน พบว่า ต้นผักกาดหอมในวัสดุปลูกขุยมะพร้าวผสมทราย อัตราส่วน 3:1 มีจำนวนใบมากที่สุด คือ 19.3 ใบต่อต้น การทดลองที่ 2 ให้สารละลายธาตุไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียมความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้ การทดลองที่ 2.1 ให้สารละลายไนโตรเจนเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับคือ 85 95 105 115 และ 125 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ต้นผักกาดหอมพันธุ์ red oak ในสารละลายความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน 115 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบมากที่สุด (22 ใบต่อต้น) การทดลองที่ 2.2 ให้สารละลายแคลเซียมเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับคือ 80 90 100 110 120 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์ red oak ในสารละลายความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม 90 มิลลิกรัมต่อลิตรมีน้ำหนักสดมากที่สุด (31.7 กรัมต่อต้น)

รณรงค์ อยู่เกตุ และคณะ (2557) ศึกษาเปรียบเทียบผลของวัสดุปลูกชนิดต่าง ๆ ต่อต้นอ่อนทานตะวัน นำเมล็ดพันธุ์ทานตะวันเพาะในวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 13 ชนิด คือ ดิน ขุยมะพร้าว แกลบดำ ทราย ดินผสมขุยมะพร้าว ดินผสมแกลบดำ ดินผสมทราย ขุยมะพร้าวผสมแกลบดำ ขุยมะพร้าวผสมทราย แกลบดำผสมทราย ดินผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำ ดินผสมขุยมะพร้าวและทราย ดินผสมขุยมะพร้าว แกลบดำ และทราย ทำการทดลองเป็นเวลา 7 วัน พบว่า แกลบดำเป็นวัสดุปลูกที่ให้เปอร์เซ็นต์การงอก ความสูงต้นอ่อน และน้ำหนักต้นอ่อนต่อ 100 เมล็ดสูงที่สุด

สุปราณี ออบเทียน และคณะ (2560) ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาวัสดุปลูกจากขานอ้อยของการผลิตน้ำตาล (sugarcane bagasse; SB) กากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตกระดาษkraft (biosludge from kraft paper; BK) และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไฟฟ้า (bio sludge from power plant; BP) ทำการผสมวัสดุทั้ง 3 ชนิดเป็นอัตราส่วน 6 อัตรา ได้แก่ 50:50:00 50:40:10 50:30:20 50:20:30 50:10:40 และ 50:00:50 โดยปริมาตร วิเคราะห์จากคุณสมบัติของวัสดุปลูกและเปรียบเทียบผลของวัสดุผสมต่อการเจริญเติบโตของต้นพริกขี้หนู (*Capsicum frutescens* Linn.) เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า วัสดุปลูกจาก SB:BK:BP ในอัตราส่วนเท่ากับ 50:10:40 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพัฒนาเป็นวัสดุปลูก วัสดุปลูกดังกล่าวมีสีเทา มีความหนาแน่นและความพรุนเท่ากับ  $0.02 \pm 0.01$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ  $30.76 \pm 1.74$  % ตามลำดับ ช่องว่างขนาดใหญ่ใกล้เคียงกับช่องว่างขนาดเล็ก pH เท่ากับ 7.51 หรือเป็นค่าเล็กน้อย มีอินทรีย์วัตถุ 1.6-2.54 % หรืออยู่ในระดับปานกลาง และให้ผลการเจริญเติบโตของต้นพริกขี้หนูสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศุภิตรา สุปิ่นราช และอิสรีย์ สุปิ่นราช (2561) ศึกษาผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในระดับกระถาง จำนวน 5 สูตร ได้แก่ 1. สูตรภูเรือ (แกลบดิบ แกลบดำ ดินร่วน ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 3:2:1:1:0.5 ส่วน) 2. สูตรเชียงใหม่ (ขุยมะพร้าว ทราย อัตราส่วน 6:1 ส่วน และเพิ่มเฟอร์สซัลเฟต 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) 3. สูตรคอกอินทนนท์ (ขุยมะพร้าว มีเดีย ปุ๋ยคอก อัตราส่วน 1:1:0.5 ส่วน) 4. สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 (ขุยมะพร้าว ปุ๋ยมูลวัว ทราย แกลบดิบ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1:2:1:1:0.5 ส่วน) และ 5. สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 2 (ดิน แกลบดิบ ปุ๋ยมูลวัว อัตราส่วน 2:1:1 ส่วน) พบว่า สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 มีผลทำให้ความสูงลำต้น (20.7 ซม.) ความกว้างทรงพุ่ม (23.3 ซม.) จำนวนใบ (14.6 ซม.) ความกว้างใบ (11.1 ซม.) และน้ำหนักสดดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ศิริภาณี วงศ์กระจ่าง และบัญชา รัตนินู (2561) ศึกษาผลของการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คที่ปลูกในดินผสมจากวัสดุเหลือใช้ในห้องถัก จ. นครราชสีมา จำนวน 9 สูตร ได้แก่ 1. ดิน: เปลือกถั่วลิสง อัตราส่วน 1:1 2. ดิน:เปลือกถั่วลิสง อัตราส่วน 1:2 3. ดิน:เส้นใยผลปาล์มน้ำมัน อัตราส่วน 1:1 4. ดิน:เส้นใยผลปาล์มน้ำมัน อัตราส่วน 1:2 5. ดิน:เปลือกถั่วลิสงเมล็ดขาว อัตราส่วน 1:1 6. ดิน:เปลือกถั่วลิสงเมล็ดขาว อัตราส่วน 1:2 7. ดินผสมทางการค้าสูตรที่ 1 8. ดินผสมทางการค้าสูตรที่ 2 และ 9. ดิน (ชุดควบคุม) เก็บข้อมูลเมื่อพืชอายุ 45 วันหลังปลูก โดยเก็บข้อมูลความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และน้ำหนักสด จากผลการศึกษา พบว่า พีชที่เจริญในดิน (ชุดควบคุม) มีจำนวนใบ ความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม และน้ำหนักสดของต้นต่ำที่สุด และพีชที่เจริญในดิน:เส้นใยผลปาล์มน้ำมัน อัตราส่วน 1:2 มีความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ และน้ำหนักสดของต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Agius (2015) ได้ศึกษาวัสดุปลูกพืช 4 ชนิด ได้แก่ 1. ขุยมะพร้าว 2. พีทผสมกับดิน 3. พีทผสมกับเพอร์ไลต์ 4. ดิน ในการปลูกผักกาดหอมเพื่อประเมินความแตกต่างของผลผลิต และประเมินการชะล้างไนเตรต โลหะหนักต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภค จากผลการทดลองพบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในขุยมะพร้าวมีน้ำหนักผลผลิตสูงที่สุด (294.2 กรัมต่อต้น) ผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกพีทผสมกับเพอร์ไลต์ และวัสดุปลูกพีทผสมกับดินมีน้ำหนักผลผลิตต่ำกว่าวัสดุปลูกขุยมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผักกาดหอมที่ปลูกในดินมีน้ำหนักผลผลิตต่ำที่สุด (108.8 กรัมต่อต้น) สำหรับการชะล้างไนเตรต พบว่า วัสดุปลูกดินพรุผสมกับดิน มีปริมาณการชะล้างไนเตรตต่ำที่สุด (2552.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนปริมาณ โลหะหนัก ทองแดง แมงกานีส เหล็ก และสังกะสีของวัสดุปลูกทั้ง 4 ชนิดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่พบว่าระดับของตะกั่วในดินสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

Choi *et al.* (2018) ศึกษาศักยภาพของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับเปลือกสน อัตรา 0 % 20 % 40 % 60 % 80 % และ 100 % (โดยปริมาตร) เพื่อปลูกดอกเบญจมาศ ผักกาดหอม และโหระพา

พบว่า เเปอร์เซ็นต์ของถ่านชีวภาพที่ผสมกับเปลือกสนส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชแตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามชนิดของพืช การปลูกเบญจมาศในวัสดุปลูกเปลือกสนผสมกับถ่านชีวภาพ 80 % และ 100 % มีน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักแห้งสูงกว่าการปลูกในเปลือกสนเพียงอย่างเดียว การปลูกผักกาดหอมในวัสดุปลูกถ่านชีวภาพ 100 % ลดปริมาณน้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้ง ดัชนีการเจริญเติบโตของพืชเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกเปลือกสนที่ผสมกับถ่านชีวภาพ 0 % 20 % 40 % 60 % และ 80 % ส่วนโหระพาถึงแม้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพเพียงอย่างเดียวทำให้อัตราการเจริญของรากต่ำ แต่ไม่ได้ส่งผลต่อผลผลิตโหระพาสด จากการทดลองเปลือกสนผสมกับถ่านชีวภาพสูงถึง 60 % ไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันของถ่านชีวภาพ และเปลือกสนที่มีปริมาณช่องว่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Peng *et al.* (2018) ได้ศึกษาศักยภาพของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับพีทมอส อัตรา 0 % 20 % 40 % 60 % 80 % และ 100 % (โดยปริมาตร) เพื่อปลูกดอกเบญจมาศ มะเขือเทศ ผักกาดหอม และโหระพา พบว่า การปลูกเบญจมาศในวัสดุปลูกพีทมอสผสมกับถ่านชีวภาพ 60 % 80 % และ 100 % ตามลำดับ มีน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าการใช้วัสดุปลูกพีทมอสเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่มะเขือเทศในวัสดุปลูกพีทมอสผสมกับถ่านชีวภาพ 80 % และ 100 % มีน้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้ง และอัตราการเจริญของรากต่ำ สำหรับผักกาดหอมในวัสดุปลูกถ่านชีวภาพ 100 % ที่ทำการปลูกครั้งที่ 2 (หว่านหลังจาก 52 วันของการปลูกครั้งแรก) มีน้ำหนักสดต่ำกว่าผักกาดหอมที่ปลูกโดยใช้พีทมอสเพียงอย่างเดียว ส่วนโหระพาพบว่า อัตราการเจริญของรากลดลงในวัสดุปลูกพีทมอสผสมกับถ่านชีวภาพ 80 % ขณะที่การปลูกโหระพาในพีทมอสผสมกับถ่านชีวภาพ 20 % มีอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งและน้ำหนักสดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุปลูกที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ จากการทดลองพีทมอสผสมกับถ่านชีวภาพสูงถึง 60 % ไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันของถ่านชีวภาพ และพีทมอสที่มีความพรุนสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 2.9.2 การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและเถาต่างๆ

ณัฐวาทันท์ เจ้ยเปี้ยว (2558) ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยจากทะเลา เปล่าปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการหีบและไม่ผ่านการหีบ โดยใช้กากตะกอนดีแคเนเตอร์ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่กองปุ๋ยหมัก กำหนดอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เริ่มต้นที่ 35:1 40:1 และ 45:1 พบว่า มีระยะเวลาที่ไม่แตกต่างกัน คือ สามารถผลิตปุ๋ยหมักได้ในระยะเวลา 60 วัน ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นหรือปริมาณการเติมกากตะกอนดีแคเนเตอร์ที่ต่างกัน ไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการผลิตปุ๋ยหมัก จากการประเมินเบื้องต้น พบว่า ปุ๋ยหมักจากทะเลาเปล่า ปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคเนเตอร์มีความเป็นไปได้ในการใช้สำหรับสวนปาล์มน้ำมันร่วมกับการเสริมปุ๋ยโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภราภรณ์ เหล็กสูงเนิน และคณะ (2560) ศึกษาผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบอัตรา 0.5 0.1 และ 2.0 ตันต่อไร่ ต่อการเปลี่ยนแปลงจุลธาตุอาหารพืชในสารละลายดิน สัดส่วนจุลธาตุอาหารพืชในดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 31 ที่ปลูกในดินนาเนื้อปูน ผลการศึกษาพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพในอัตราสูง ลดค่าพีเอชดินต่ำกว่าค่ารับควบคุม และส่งเสริมการละลายของธาตุเหล็กและแมงกานีสในสารละลายดินระหว่างการเจริญเติบโตของข้าว ผลการศึกษาสภาพการละลายของจุล-ธาตุอาหารพืชในดินด้วยการสกัดเชิงลำดับ 6 ขั้นตอนแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของแมงกานีสเหล็ก ทองแดง และสังกะสีส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ทนทาน จุลธาตุอาหารพืชที่สร้างพันธะกับเหล็กที่มีผลึกไม่สมบูรณ์และมีผลึกสมบูรณ์ จุลธาตุอาหารพืชที่สร้างพันธะกับแมงกานีสออกไซด์ จุลธาตุอาหารพืชที่สร้างพันธะกับอินทรีย์วัตถุ และจุลธาตุอาหารพืชที่ละลายได้และแลกเปลี่ยนได้ตามลำดับ โดยปริมาณจุลธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการขังน้ำ ลดลงเมื่อมีการระบายน้ำ การใช้ถ่านชีวภาพช่วยส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารพืชที่สร้างพันธะกับอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้การใช้ถ่านชีวภาพในทุกอัตรายังช่วยเพิ่มความสูง น้ำหนักแห้งฟาง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) และช่วยส่งเสริมการสะสมเหล็กและทองแดงในเมล็ดข้าวได้

บัญชา รัตนิทุ และศิริภาณี วงศ์กระจ่าง (2561) ศึกษาการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อการปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวหอมกระดังงา (สายพันธุ์พื้นเมือง) การใส่กากตะกอนดีแคแคโนเตอร์ทำให้ข้าวหอมกระดังงามีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีการแตกกอสูงสุด 20.05 ต้นต่อกระถาง น้ำหนักผลผลิตสูงสุด 288.50 กรัมต่อกระถาง และน้ำหนักตอซังสูงสุด 1.42 กิโลกรัมต่อกระถาง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าการใช้กากตะกอนดีแคแคโนเตอร์มีผลทำให้ค่า pH ของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ เพิ่มขึ้นมากกว่าค่ารับการทดลองอื่นๆ

Khan *et al* (2009) ศึกษาการตอบสนองของข้าวสาลีต่อการใช้เถ้าบอยเลอร์โรงงานผลิตน้ำตาลในดินปูนที่มีอาการขาดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และจุลธาตุ ทำการทดลองในกระถางโดยใช้เถ้าบอยเลอร์ร่วมกับดิน ในอัตรา 3 12 25 50 125 และ 250 ตันต่อเฮกแตร์ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการไม่เติมเถ้าบอยเลอร์ และมีการใส่ปุ๋ยเคมีไนโตรเจน (120 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ฟอสฟอรัส (90 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) โพแทสเซียม (60 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์) ร่วมด้วย จากผลการทดลองพบว่า การใช้เถ้าบอยเลอร์อัตรา 50 ตันต่อเฮกแตร์ เป็นปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุปรับปรุงดิน ทำให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวสาลีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Prakongkep *et al.* (2015) ศึกษาการปลูกและการละลายของธาตุอาหารพืชในถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยวิธีไพโรไลซิสแบบช้า และศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ

โครงสร้างของถ่านชีวภาพที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 14 ชนิด (ถั่วเหลือง ช้างข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกมะนาว เปลือกตาล เปลือกทุเรียน มะขาม เปลือกมะพร้าว กะลา ไม้ แกลบ ไม้ยูคาลิปตัส ผลปาล์มน้ำมัน กากกาแฟ และชานอ้อย ธาตุอาหารพืชในถ่านชีวภาพส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโครงสร้างผลึกซึ่งอยู่บนพื้นผิวและภายในโครงสร้างของถ่านชีวภาพ จากการวิเคราะห์ X-ray diffraction พบว่า ถ่านชีวภาพส่วนใหญ่ที่ทำการทดลองประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) แร่ธาตุโพแทสเซียมหลายชนิดเช่น archerite ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) chlorocalcite ( $\text{KCaCl}_3$ ) kalicitrite ( $\text{KHCO}_3$ ) pyrochroite ( $\text{K}_2\text{MgP}_2\text{O}_7$ ) struvite-K ( $\text{KMgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) และ sylvite ( $\text{KCl}$ ) เปลือก ผล และ ไม้ที่นำมาทำถ่านชีวภาพมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัสสูง ขณะที่เปลือกตาล และเปลือกมะพร้าวมีปริมาณโซเดียมในรูปเกลือแอมโมเนียมสูงที่สุด ถ่านชีวภาพมีธาตุอาหารพืชในรูปที่ละลายน้ำได้ตั้งแต่ปริมาณสูงถึงปานกลาง ซึ่งถ่านชีวภาพเหล่านี้สามารถเป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการทำเกษตรอินทรีย์

Gattullo *et al.* (2017) ศึกษาผลของการใช้ขยะมูลฝอยหมักและกากตะกอนน้ำเสียหมักจากชุมชนเป็นวัสดุปลูกพืชต่อการให้ผลผลิต และปริมาณ โลหะหนักในผักสลัด ทำการทดลองในโรงเรือนโดยปลูกผักสลัด 4 พันธุ์ (Maximus, Murai, Patagonia และ Aleppo) ในกระถาง ในวัสดุปลูก 3 ชนิด คือ 1. ขยะมูลฝอยหมักผสมเพอไลต์ 2. กากตะกอนน้ำเสียหมักผสมเพอไลต์ 3. พีทผสมเพอไลต์ (ชุดควบคุม) จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณ โลหะหนักของกากตะกอนน้ำเสียหมักเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด แต่ในขยะมูลฝอยหมัก มีปริมาณทองแดง และตะกั่วเกินค่ามาตรฐานปริมาณแอมโมเนียม และสังกะสีอยู่ในระดับที่ปลอดภัย หลังจากผักสลัดเจริญเติบโต 72 วัน พบว่าผลผลิตของผักสลัดที่ปลูกในกากตะกอนน้ำเสียหมักผสมเพอไลต์ ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมโดยไม่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในขณะที่ขยะมูลฝอยหมักผสมเพอไลต์ส่งผลให้ผักสลัดพันธุ์ Murai และ Patagonia ลดการผลิตชีวมวลลง และส่งผลให้ใบของผักสลัดพันธุ์ Maximus ลดการสะสมแอมโมเนียม และตะกั่วในส่วนที่รับประทานได้ของผักสลัดนั้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดโดยกฎระเบียบของยุโรป

Wisawapipat *et al.* (2017) ได้ศึกษาการระบุนชนิด และความสามารถในการละลายของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจัดโดยใช้ ถ้ำปาล์มน้ำมัน (OPA) และถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมัน (OPB) ปรับปรุงดิน ภายใต้สภาพการเกิดโรคพืช และเกิดออกซิเดชันของดินนาเปรี้ยวจัด จากการทดลองพบว่า การนำถ้ำปาล์มน้ำมัน (OPA) มาใช้ในดินนาเปรี้ยวจัด สามารถช่วยลดฟอสฟอรัสที่สร้างพันธะกับแร่ gibbsite และเพิ่มฟอสฟอรัสในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ให้เพิ่มมากขึ้นในดินนาซึ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการฟอสฟอรัสที่มีประสิทธิภาพในการปลูกข้าว

Hong *et al.* (2018) ได้ศึกษาความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินที่เป็นกรด (Ultisol และ Alfisol) ซึ่งปรับปรุงดินโดยใช้ถ่านชีวภาพ ถ้ำลอย และปุ๋ยขาว จากผลการทดลองพบว่า การใส่ถ่านชีวภาพ และถ้ำลอยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งในดิน Ultisol และ Alfisol ขณะที่การใส่ปุ๋ยขาวลดปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้งในดิน Ultisol และ Alfisol ลง การใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านชีวภาพ และถ่านลอยเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุงดิน และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินกรด

### 2.9.3 การปลดปล่อยธาตุอาหาร

ทัศนีย์ แก้วมรกต (2557) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีโดยทำการบ่มดินร่วมกับเศษหอมแดง มูลแพะ กระจุกโคเผาป่น และหินฟอสเฟต เป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ในโตรเจนได้รับการปลดปล่อยจากเศษหอมแดง และมูลแพะในปริมาณมาก โดยการปลดปล่อยจะลดลงในช่วง 15 วันแรก และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสได้รับการปลดปล่อยจากกระจุกโคเผาป่นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น การปลดปล่อยโพแทสเซียม และแมกนีเซียม ส่วนใหญ่ได้มาจากเศษหอมแดง มูลแพะ ส่วนแคลเซียมส่วนใหญ่ได้รับการปลดปล่อยจากกระจุกโคเผาป่น นอกจากนี้วัสดุทุกชนิดยังส่งผลให้พีเอช และค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ชนวัฒน์ รัชชะไพบี และคณะ (2561) ศึกษาอิทธิพลของการใช้ขี้เถ้าแกลบ (rice husk ash, RHA) และถ่านชีวภาพจากแกลบ (rice husk biochar, RHB) ในอัตรา 0 0.5 0.1 และ 2.0 ตันต่อไร่ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำในช่องของดิน สัดส่วนของฟอสฟอรัสในดิน และการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 41 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด ผลการศึกษาเคมีของน้ำในช่องของดินแสดงให้เห็นว่าการใช้ RHA และ RHB ช่วยเพิ่มฟอสฟอรัสที่ละลายได้และช่วยลดปริมาณเหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายได้ แต่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มพีเอชดิน

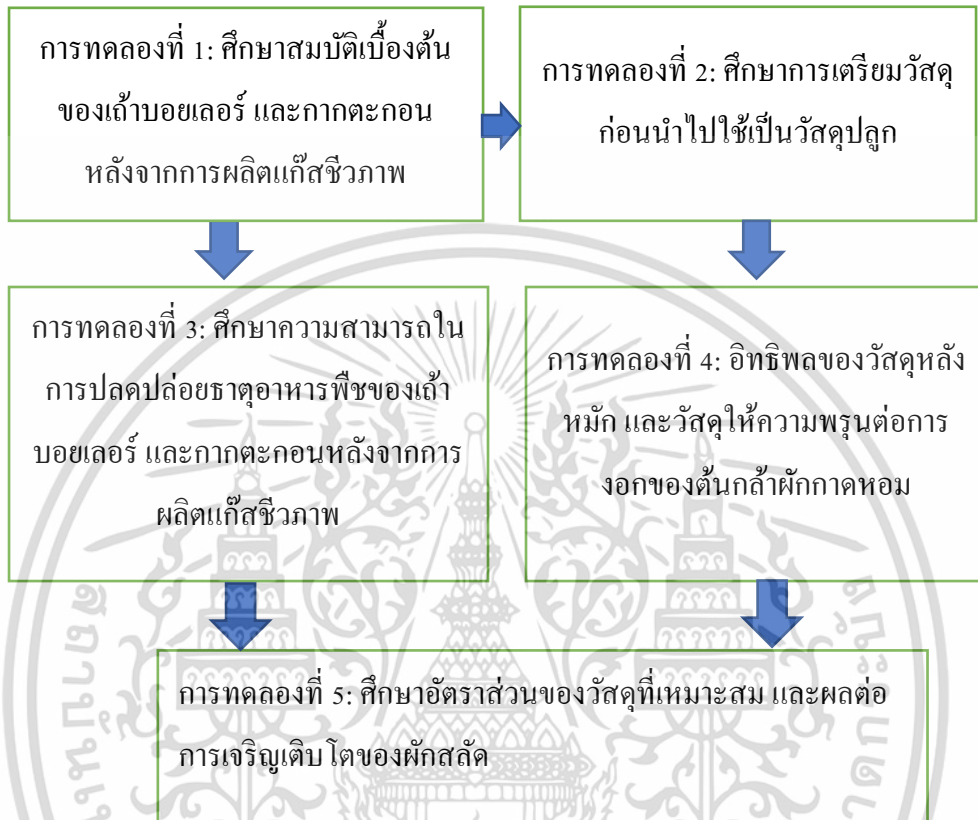
Nelson *et al.* (2011) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับดิน ในอัตรา 0 2 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัม บ่มเป็นเวลา 56 วัน ทำการสกัดดินโดยใช้น้ำยา Mehlich-3 เพื่อหาฟอสฟอรัส และใช้ KCl เพื่อสกัด  $\text{NO}_3\text{-N}$  และ  $\text{NH}_4\text{-N}$  โดยสุ่มเก็บตัวอย่างวันที่ 0 3 10 17 28 และ 56 หลังจากการปรับปรุงดิน พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพที่ 20 กรัมต่อกิโลกรัมส่งผลให้ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4\text{-N}$  เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 4.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในช่วง 10 วันแรก ความเข้มข้น  $\text{NO}_3\text{-N}$  ลดลง 5 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 3.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Doydora *et al.* (2011) ศึกษาผลของถ่านชีวภาพจากเปลือกสน และเปลือกถั่วลิสงที่ถูกทำให้เป็นกรดต่อการสูญเสีย  $\text{NH}_3$  อนินทรีย์ในโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ปล่อยออกมาจากพื้นผิวของดินผสมร่วมกับมูลไก่ บ่มเป็นเวลา 21 วัน การวิเคราะห์แอมโมเนียมที่ระเหยได้ใช้วิธีดักจับโดยกรดอนินทรีย์ในโตรเจน และฟอสฟอรัสสกัดโดย 0.01M CaCl และหลังจากการบ่มดินแล้วสกัดด้วย 1M KCl ถ่านชีวภาพที่เป็นกรดลดการสูญเสีย  $\text{NH}_3$  ได้ 58 ถึง 63 % ในมูลไก่ และในมูลไก่ร่วมกับดินลดการสูญเสีย  $\text{NH}_3$  ได้ 56 ถึง 60 % แต่ไม่ส่งผลต่ออนินทรีย์ในโตรเจน และฟอสฟอรัสในมูลไก่

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษาทดลองที่ต่อเนื่องกันจำนวน 5 การทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงงานทดลองต่างๆในการศึกษาสมบัติของเถาบอยเลอร์ และกากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นวัสดุปลูกพืช

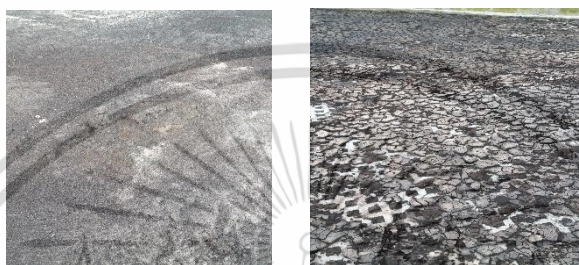
#### 3.1 การทดลองที่ 1: ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเถาบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

##### 3.1.1 การเก็บตัวอย่าง

เถาบอยเลอร์ ทำการเก็บตัวอย่างเถาบอยเลอร์ ทุกๆ 3 เดือน (เก็บตัวอย่างเดือนมกราคม-มีนาคม เดือนเมษายน-มิถุนายน เดือนกรกฎาคม-กันยายน และเดือนตุลาคม-ธันวาคม) ครั้งละประมาณ 5,000 กรัม จากบริษัท กาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์ม จำกัด เก็บเถาบอยเลอร์ที่ผ่านการเผาแล้วไม่เกิน 15 วัน (แล้วแต่สภาพภูมิอากาศ) ให้เป็นตัวแทนของทั้งหมด โดยเก็บให้ทั่วกองประมาณ 10 จุด ความลึกถึงกึ่งกลางของกอง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของเถาบอยเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทำการเก็บตัวอย่างกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทุกๆ 3 เดือน (เก็บตัวอย่างเดือนมกราคม-มีนาคม เดือนเมษายน-มิถุนายน เดือนกรกฎาคม-กันยายน และเดือนตุลาคม-ธันวาคม) ครั้งละประมาณ 5,000 กรัม เก็บกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่นำออกจากบ่อน้ำเสียขึ้นมาตากแห้งแล้วประมาณ 7 วัน (ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์, 2559) ให้เป็นตัวแทนของทั้งหมด โดยเก็บให้ทั่วกองประมาณ 10 จุด ความลึกถึงกึ่งกลางของกอง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของกากตะกอนจากการผลิตแก๊สชีวภาพ



ภาพที่ 3.2 ลักษณะของแฉาบออยเลอร์ (ซ้าย) และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ (ขวา) ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.2 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

นำวัสดุที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์สมบัติ โดยทำการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำ 1: 5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่อัตราส่วนวัสดุต่อน้ำ 1:5 ในไตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ด้วยวิธี Kjeldahl method อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ด้วยวิธี wet oxidation อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คำนวณจาก อินทรีย์คาร์บอน/ไนโตรเจนทั้งหมด ความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ และช่องว่างขนาดเล็ก ตามวิธีของซิดซนิก โซติกปฏิพัทธ์ (2557) รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก ก

### 3.2 การทดลองที่ 2: ศึกษาการเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design : CRD) ประกอบไปด้วย 6 ทริทเมนต์ ได้แก่

ทริทเมนต์ที่ 1 แฉาบออยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ

ทริทเมนต์ที่ 2 แฉาบออยเลอร์หมัก (รักษาความชื้นที่ 60 % และกลับกองทุก 7 วัน)

ทริทเมนต์ที่ 3 แฉาบออยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อ พด.1 (รักษาความชื้นที่ 60 % และกลับกองทุก 7 วัน)

ทริทเมนต์ที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ

ทริทเมนต์ที่ 5 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก (รักษาความชื้นที่ 60 % และกลับกองทุก 7 วัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทริทเมนต์ที่ 6 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อ พด.1 (รักษาความชื้นที่ 60 % และกลับกองทุก 7 วัน )

นำวัสดุผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันใส่ในถังพลาสติกขนาด 40 ลิตร โดยใช้วัสดุถังละ 15 กิโลกรัม สำหรับพด.1 นำมาผสมกับน้ำก่อนใช้ (พด.1 100 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร) โดยใส่สารละลายพด.1 กองละ 0.3 ลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการหมักเป็นระยะเวลา 90 วัน วัดอุณหภูมิในช่วงเวลาเดียวกันทุก 7 วัน โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เสียบลงในกองวัสดุ ให้ลึกถึงกึ่งกลางของกองวัสดุ เก็บตัวอย่างวัสดุที่หมักในวันที่ 0, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 ของการทดลอง โดยสุ่มกองละ 10 จุด นำตัวอย่างทั้ง 10 จุดมาผสมให้คลุกเคล้ากันได้น้ำหนักประมาณ 100 กรัมต่อกอง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ทัศนีย์ แก้วมรกต. 2557)

### 3.3 การทดลองที่ 3: ศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design : CRD) ประกอบไปด้วย 2 ทริทเมนต์ คือ เถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยบรรจุวัสดุปริมาณ 100 กรัม ในกระถางพลาสติกขนาด 7×7 เซนติเมตร จากนั้นให้น้ำที่ระดับความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิห้องและชั่งน้ำหนักทุก 7 วัน เพื่อตรวจสอบความชื้นที่สูญเสียไป หากน้ำหนักของตัวอย่างลดลงเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับน้ำหนักให้คงระดับเดิมเพื่อรักษาความชื้น ทำการทดลองเป็นเวลา 60 วัน เก็บวัสดุวันที่ 0, 15, 30, 45 และ 60 ของการทดลอง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ไนโตรเจนที่สกัดได้ โดยวิธี KCl extraction method ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โปแทสเซียมที่สกัดได้ แคลเซียมที่สกัดได้ แมกนีเซียมที่สกัดได้ โดยวิธี Mehlich 3 extraction method (ภาคผนวก ก)

### 3.4 การทดลองที่ 4: อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความชุ่มชื้นต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม

วางแผนการทดลองแบบ 7×3 factorial in CRD ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดของวัสดุปลูก ประกอบด้วย พีทมอส (ควบคุม) เถ้าบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ เถ้าบอยเลอร์หมัก เถ้าบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 โดยในการหมักจะควบคุมความชื้นที่ 60 % และกลับกองทุก 7 วัน ส่วนในทริทเมนต์ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จะใช้เชื้อพด.1 ผลิตโดยกรมพัฒนาที่ดิน ปัจจัยที่ 2 คือ ชนิดของวัสดุให้ความชุ่มชื้น ประกอบด้วย เพอร์ไลต์ แกลบ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลือกถั่ว โดยใช้วัสดุปลูกผสมกับวัสดุให้ความพรุนในอัตราส่วน 70:30 (v/v) พีชที่ใช้ในการทดสอบคือ ผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) พันธุ์ Royal ทำการทดลองในถาดเพาะ หลุมละ 1 เมล็ด รดน้ำทุกวันด้วยน้ำกลั่น ทำการทดลองเป็นเวลา 14 วันในโรงเรือนทดลองภายใต้สภาพแสงธรรมชาติ

เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด นับหลังจากเพาะเมล็ดในวันที่ 4 และวันที่ 7 ตามวิธีของ ISTA (2013)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด} = (\text{เมล็ดที่มีการงอก/จำนวนเมล็ดทั้งหมด}) \times 100 \quad (1)$$

ดัชนีการงอกของเมล็ด (GI) นับวันที่ 4 (first count) ถึงวันที่ 7 (last count) หลังจากนั้นนำมาคำนวณตามวิธีของ association of official seed analysis (AOSA, 1983) สมการดังนี้

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด} = \frac{\text{No. of germinated seeds}}{\text{days of first count}} + \dots + \frac{\text{No. of germinated seeds}}{\text{days of last count}} \quad (2)$$

### 3.5 การทดลองที่ 5: ศึกษาอัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลองที่ 3.1-3.4 แล้ว นำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชดีที่สุด 4 สูตรเพื่อปลูกผักสลัด 5 ชนิด วางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 5 ทริทเมนต์การทดลอง คือ สูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อพด. 1 + เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด. 1 + เปลือกถั่ว โดยใช้วัสดุในสัดส่วน 50% ผสมกับวัสดุให้ความพรุน (แกลบ หรือเปลือกถั่ว) 30% และมีการเติมปุ๋ยคอกในสัดส่วน 20% ในทุกทริทเมนต์ และใช้วัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 (ขุยมะพร้าว ปุ๋ยคอก ทราย แกลบดิบ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1:2:1:1:0.25 ส่วน) เป็นชุดควบคุม ทำการทดสอบในผักสลัด 5 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส และเรดโอ๊ค

#### 3.5.1 วัดการเจริญเติบโตของผักสลัดในวัสดุปลูก

ทำการปลูกพีชโดยนำวัสดุปลูกแต่ละสูตรบรรจุลงในกระถางพลาสติกสีดำขนาด 8 นิ้ว สูง 14 เซนติเมตร ให้เต็มกระถาง จากนั้นนำต้นกล้าผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส และเรดโอ๊ค ที่ได้จากการเพาะเมล็ด อายุประมาณ 14 วัน ซึ่งเป็นระยะที่มีใบจริง ประมาณ 2-3 ใบ ลงปลูกในกระถางที่เตรียมไว้รดน้ำให้ชุ่ม โดยมีการใส่ปุ๋ย สูตร 25-5-5 ปริมาณที่ใช้ 2.5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นทุก 14 วันทุกทริทเมนต์ที่ทำกรทดลอง กำจัดเพลี้ยแป้งโดยใช้น้ำส้มสายชู 1 ฝาผสมน้ำยาล้างจาน 1-2 ช้อนชาผสมในน้ำเปล่าปริมาตร 2 ลิตร ทำการดูแลรักษาโดยการรดน้ำวันละ 1 ครั้ง กำจัดวัชพืชสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ปลูกผักสลัดเป็นเวลา 5 สัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว และการบันทึกข้อมูล ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ความสูงต้น** เก็บข้อมูลหลังจากย้ายปลูก 14 วัน ทุก 7 วัน จนครบอายุเก็บเกี่ยว ทำการบันทึกความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยรวบใบแล้ววัดจากโคนจนถึงปลายที่ยาวที่สุด (เยาพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552)

**ความกว้างทรงพุ่ม** เก็บข้อมูลหลังจากย้ายปลูก 14 วัน ทุก 7 วัน จนครบอายุเก็บเกี่ยว ทำการบันทึกความกว้างทรงพุ่ม โดยวัดจากปลายใบด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง (เยาพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552)

**จำนวนใบ** เก็บข้อมูลหลังจากย้ายปลูก 14 วัน ทุก 7 วัน นับเฉพาะใบที่กางเต็มที่ (เยาพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552)

**น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและราก** หั่นชิ้นส่วนพืชเป็นชิ้นเล็กๆ อบด้วยตู้อบ (hot air oven) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักแห้งของต้นและราก (เยาพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552)

**การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช** หลังจากชั่งน้ำหนักแห้งของต้นและรากเสร็จแล้ว นำตัวอย่างพืชไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช รายการที่วิเคราะห์ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช โดยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช โดยการย่อยด้วยวิธี Aqua regia จากนั้น develop สี vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสีทั้งหมดในพืช โดยการย่อยด้วยวิธี Aqua regia และวัดด้วยเครื่อง AAS (ภาคผนวก ก)



ภาพที่ 3.3 ลักษณะของวัสดุปลูกสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา; (A) วัสดุปลูกสูตรที่ 1, (B) วัสดุปลูกสูตรที่ 2, (C) วัสดุปลูกสูตรที่ 3, (D) วัสดุปลูกสูตรที่ 4, (E) วัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1

### 3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ Analysis of Variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## บทที่ 4

### ผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติเบื้องต้นของเถาบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

จากการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเถาบอยเลอร์ พบว่า การสุ่มเก็บ ทั้ง 4 ครั้งไม่ส่งผลให้ความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ และการดูดซึมน้ำของเถาบอยเลอร์มีความแตกต่างกัน ยกเว้น ช่องว่างขนาดเล็กที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการสุ่มเก็บครั้งที่ 2 ส่งผลให้ช่องว่างขนาดเล็กสูงกว่าครั้งอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 69.69 % (ตารางที่ 4.1) ในส่วนของสมบัติทางเคมี พบว่า การสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้งส่งผลให้ค่า pH EC ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่สกัดได้ และไนเตรท มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า pH อยู่ในช่วง 7.66-9.07 (เป็นด่างถึงด่างจัด) ค่า EC อยู่ในช่วง 0.67-1.93 mS/cm (ไม่เค็ม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า การสุ่มเก็บครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 0.49 % และ 0.47 % ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการสุ่มเก็บครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 โพแทสเซียมที่สกัดได้ พบว่าการสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ สูงที่สุด คือ 0.91 และ 0.87 % ตามลำดับ ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปไนเตรท พบว่า การสุ่มเก็บครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4 มีไนเตรทสูงที่สุด 689.40 mgN/kg และ 683.62 mgN/kg ตามลำดับ แต่การสุ่มเก็บตัวอย่างเถาบอยเลอร์ทั้ง 4 ครั้งไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ และแอมโมเนียมมีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.2)

ในส่วนของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ พบว่า การสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้งส่งผลให้ความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซึมน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการสุ่มเก็บครั้งที่ 1 มีความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ และการดูดซึมน้ำสูงกว่าการสุ่มเก็บครั้งอื่นๆ โดยพบว่า มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.85 g/cm<sup>3</sup> ความพรุนเท่ากับ 114.22 % ช่องว่างขนาดใหญ่เท่ากับ 30.57 % และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 138.81 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ในส่วนของสมบัติทางเคมีนั้น พบว่า การสุ่มเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้งส่งผลให้ค่า pH ค่า EC ปริมาณอินทรีย์วัตถุ โพแทสเซียม และแคลเซียมที่สกัดได้ ไนเตรท และแอมโมเนียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่า pH อยู่ในช่วง 5.78-8.61 (กรดปานกลางถึงด่างเล็กน้อย) ค่า EC อยู่ในช่วง 1.08-1.95 mS/cm (ไม่เค็ม) อินทรีย์วัตถุ พบว่าการสุ่มเก็บครั้งที่ 4 มีอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดคือ 50 % การสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ แอมโมเนียม และไนเตรทสูงที่สุด โดยมีปริมาณ 1.72 % 2,059.50 mgN/kg และ 1,397.40 mgN/kg ตามลำดับ แต่การสุ่มเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 มีแคลเซียมที่สกัดได้สูงที่สุด คือ 1.08 % อย่างไรก็ตามการสุ่มเก็บตัวอย่างกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชีวภาพทั้ง 4 ครั้งไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และแมกนีเซียมที่สกัดได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของถ้ำบอยเลอร์ซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งในระยะเวลาดังกล่าว

Sampling times	Bulk density	Porosity	Macropore	Micropore	Water absorption
	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0.56	77.81	19.47	58.35 B	147.15
2	0.52	80.13	10.44	69.69 A	163.31
3	0.53	75.64	13.98	61.67 B	149.28
4	0.52	75.5	16.07	59.43 B	147.38
F-test	ns	ns	ns	**	ns
% CV	3.57	3.37	23.08	3.9	4.75

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของถ้ำบอยเลอร์ซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งในระยะเวลาดังกล่าว

Properties	Sampling times				F-test	% CV
	1	2	3	4		
pH	8.04 C	7.66 D	9.07 A	8.57 B	**	1.02
EC (mS/cm)	0.77 C	0.67 C	1.78 B	1.93 A	**	3.91
Total N (%)	0.56	0.59	0.48	0.56	ns	15.00
OM (%)	7.12	9.97	9.52	10.37	ns	14.63
C:N Ratio	7.69	9.95	11.49	11.05	ns	21.83
Available P (%)	0.49 A	0.47 A	0.34 B	0.33 B	**	9.74
Extractable K (%)	0.53 B	0.55 B	0.91 A	0.87 A	**	9.41
Extractable Ca (%)	1.16	1.22	1.01	0.94	ns	12.91
Extractable Mg (%)	0.54	0.49	0.71	0.56	ns	13.25
NH <sub>4</sub> (mgN/kg)	56.08	52.47	57.45	58.24	ns	40.16
NO <sub>3</sub> (mgN/kg)	78.50 C	231.50 B	689.40 A	683.62 A	**	10.06

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Sampling times	Bulk density	Porosity	Macropore	Micropore	Water absorption
	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)
1	0.85A	114.22 A	30.57 A	83.66 A	138.81 A
2	0.82 B	102.92 B	17.56 B	85.37 A	129.75 B
3	0.79 C	77.64 D	11.63 C	66.00 B	102.89 C
4	0.72 D	94.54 C	11.69 C	82.86 A	136.19 AB
F-test	**	**	**	**	**
% CV	1.68	2.33	14.23	4.79	2.87

\*Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งสุ่มเก็บ 4 ครั้งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

Properties	Sampling times				F-test	% CV
	1	2	3	4		
pH	5.78 C	6.46 B	8.61 A	5.81 C	**	0.85
EC (mS/cm)	1.75 B	1.08 C	1.94 A	1.95 A	**	5.05
Total N (%)	3.80	3.08	3.81	4.00	ns	12.53
OM (%)	42.19 C	46.00 B	44.00 CB	50.00 A	**	3.04
C:N Ratio (%)	6.44	9.26	6.69	7.23	ns	21.06
Available P (%)	0.38	0.33	0.32	0.28	ns	11.43
Extractable K (%)	0.14 B	0.23 B	1.72 A	1.67 A	**	11.42
Extractable Ca (%)	1.08 A	0.91 B	0.90 B	0.89 B	*	6.11
Extractable Mg (%)	0.40	0.29	0.33	0.35	ns	14.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mgN/kg)	76.06 D	265.90 B	2,059.50 A	1,696.33 B	**	5.90
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mgN/kg)	400.41 C	1,005.90 B	1,397.40 A	1,335.67 A	**	11.43

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การเตรียมวัสดุโดยการหมักก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก

การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนสิ้นสุดการหมัก พบว่า ชนิดของวัสดุส่งผลให้ค่า pH มีความแตกต่างกันในวันที่ 15-90 ของการทดลอง โดยค่า pH ของถ้ำบอยเลอร์สูงกว่าค่า pH ของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพในวันที่ 30-90 ส่วนรูปแบบของการหมักส่งผลให้ค่า pH แตกต่างกันในวันที่ 90 ของการทดลอง โดยการทิ้งวัสดุไว้ตามธรรมชาติมีค่า pH มากที่สุด (pH = 6.76) และการหมักโดยจุลินทรีย์มีค่า pH ต่ำที่สุด (pH = 5.76) อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัสดุ และรูปแบบการหมักส่งผลให้ค่า pH แตกต่างกันเฉพาะวันที่ 45 ของการทดลอง โดยถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่า pH สูงที่สุด (pH = 7.03) แต่ไม่แตกต่างกับถ้ำบอยเลอร์ที่หมักด้วยวิธีการอื่นๆ ส่วนค่า pH ต่ำที่สุดพบในกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 (pH = 5.61) (ตารางที่ 4.5)

การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนสิ้นสุดการหมัก พบว่า ชนิดของวัสดุส่งผลให้ค่า EC มีความแตกต่างกันในวันที่ 0-90 ของการทดลอง โดยค่า EC ของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพสูงกว่าค่า EC ของถ้ำบอยเลอร์ ส่วนรูปแบบของการหมักส่งผลให้ค่า EC แตกต่างกันในวันที่ 15 30 60 75 และ 90 ของการทดลอง โดยการหมักวัสดุมีค่า EC สูงที่สุด ยกเว้นในวันที่ 15 ของการทดลองซึ่งการทิ้งวัสดุไว้ตามธรรมชาติมีค่า EC สูงที่สุด อิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของวัสดุ และรูปแบบการหมักส่งผลให้ค่า EC แตกต่างกันในวันที่ 30 45 60 75 และ 90 ของการทดลอง โดยกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักมีค่า EC สูงที่สุด โดยมีค่า EC ของวัสดุเท่ากับ 2.67 3.00 2.84 3.04 และ 3.32 mS/cm ตามลำดับ ส่วนค่า EC ต่ำที่สุดพบใน ถ้ำบอยเลอร์หมัก และถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 โดยมีค่า EC อยู่ในช่วง 0.52-0.70 mS/cm (ไม่มีความเค็ม) (ตารางที่ 4.6)

การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก พบว่า เมื่อเริ่มต้นการหมักปุ๋ย อุณหภูมิอยู่ในช่วง 27-28 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 21-35 วันของการหมักปุ๋ย โดยเฉพาะกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีอุณหภูมิสูงกว่าทริทเมนต์อื่นๆ และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 56 ของการหมักปุ๋ย หลังจากนั้นอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักในทุกทริทเมนต์ค่อยๆ ลดลงตั้งแต่วันที่ 70-91 ของการหมักปุ๋ย (ภาพที่ 4.1)

ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนถึงสิ้นสุดการหมักวัสดุ

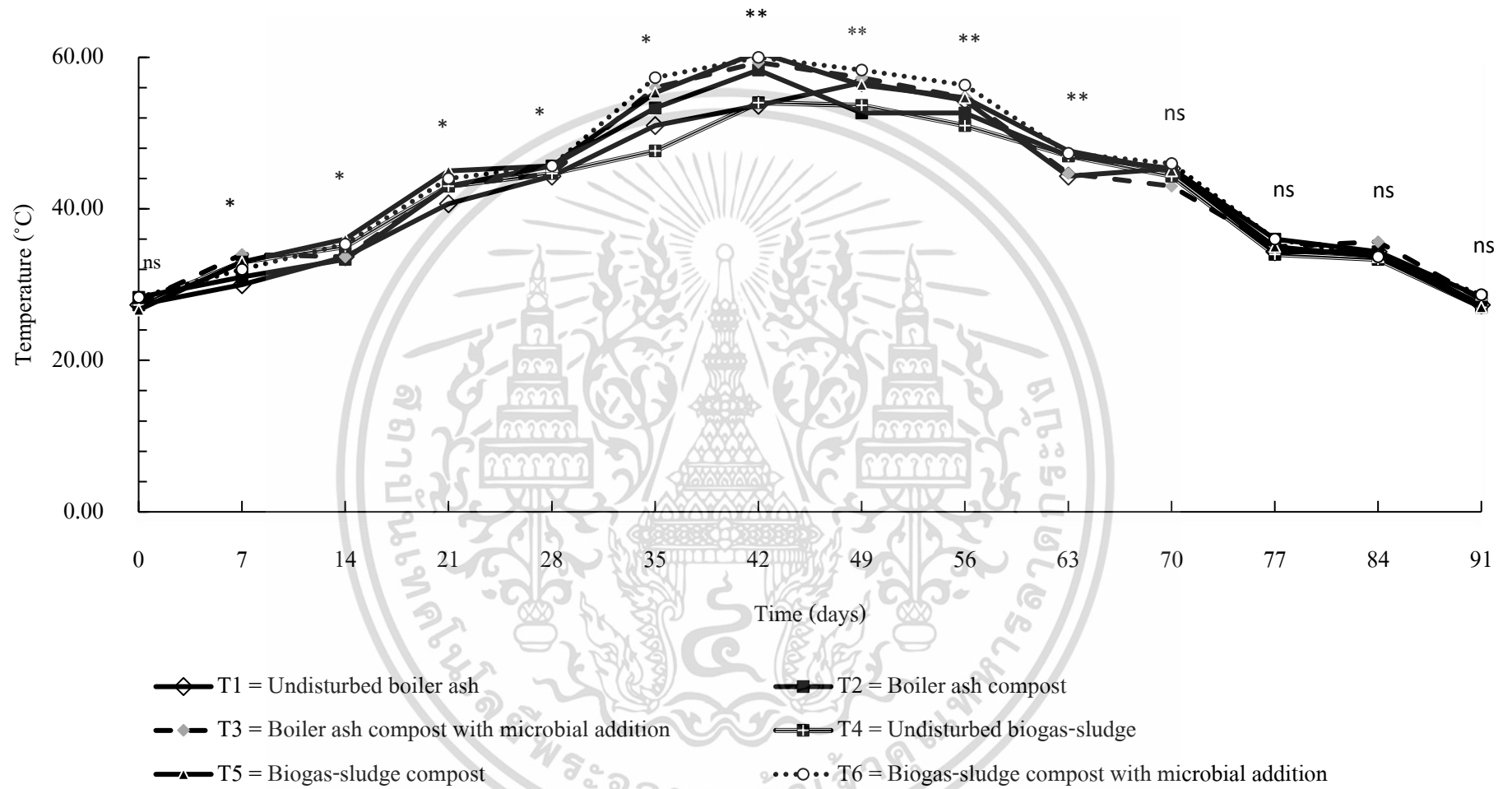
Factors		pH						
		0 days	15 days	30 days	45 days	60 days	75 days	90 days
Type of material	Boiler-ash	8.28	7.52 B	6.90 A	6.93 A	7.11 A	6.90 A	6.94 A
	Biogas-sludge	7.72	8.02 A	6.07 B	5.88 B	6.21 B	5.90 B	5.59 B
Type of management	Undisturbed	8.20	7.93	6.59	6.60	6.82	6.49	6.76 A
	Compost	8.05	7.81	6.48	6.32	6.33	6.37	6.27 AB
	Compost with microbial addition	7.75	7.56	6.38	6.30	6.54	6.33	5.76 B
T1: Undisturbed boiler-ash		8.70	7.91	7.05	6.88 ab	7.29	6.87	7.20
T2: Boiler-ash compost		7.65	7.64	6.81	6.89 ab	6.99	6.74	7.11
T3: Boiler-ash compost with microbial addition		8.49	7.02	6.83	7.03 a	7.07	7.08	6.50
T4: Undisturbed biogas-sludge		7.71	7.96	6.13	6.31 bc	6.34	6.11	6.31
T5: Biogas-sludge compost		7.86	7.99	5.96	5.71 cd	6.28	5.92	5.43
T6: Biogas-sludge compost with microbial addition		7.62	8.12	6.12	5.61 d	6.03	5.66	5.02
Type of material		ns	*	**	**	**	**	**
Type of management		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Type of material × Type of management		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
% CV		8.50	4.47	4.47	3.48	5.34	4.24	8.99

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

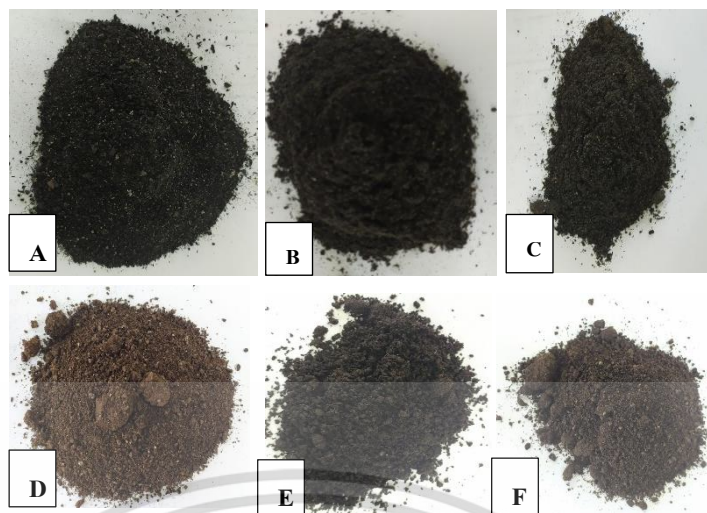
ตารางที่ 4. 6 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนถึงสิ้นสุดการหมักวัสดุ

Factors		EC (mS/cm)						
		0 days	15 days	30 days	45 days	60 days	75 days	90 days
Type of material	Boiler ash	0.51 B	0.50 B	0.69 B	0.64 B	0.64 B	0.66 B	0.66 B
	Biogas-sludge	1.46 A	1.55 A	2.20 A	2.44 A	2.17 A	2.73 A	2.79 A
Type of management	Undisturbed	1.10	1.27 A	1.33 B	1.32	1.23 B	1.36 B	1.24 B
	Compost	0.97	0.89 B	1.67 A	1.76	1.74 A	1.88 A	1.99 A
	Compost with microbial addition	0.89	0.93 B	1.33 B	1.55	1.24 B	1.85 A	1.94 A
T1: Undisturbed boiler-ash		0.62	0.64	0.73 c	0.71 b	0.67 c	0.71 c	0.68 c
T2: Boiler-ash compost		0.46	0.42	0.67 c	0.52 c	0.64 c	0.65 c	0.65 c
T3: Boiler-ash compost with microbial addition		0.47	0.45	0.66 c	0.70 c	0.61 c	0.61 c	0.66 c
T4: Undisturbed biogas-sludge		1.58	1.89	1.94 b	1.92 b	1.78 b	2.02 b	1.80 b
T5: Biogas-sludge compost		1.49	1.35	2.67 a	3.00 a	2.84 a	3.04 a	3.32 a
T6: Biogas-sludge compost with microbial addition		1.33	1.41	2.00 b	2.40 ab	1.88 b	3.14 a	3.23 a
Type of material		**	*	**	**	**	**	**
Type of management		ns	**	*	ns	*	**	**
Type of material × Type of management		ns	ns	**	*	*	**	**
% CV		14.18	14.79	12.94	23.13	21.61	9.74	12.13

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุในระหว่างกระบวนการหมัก

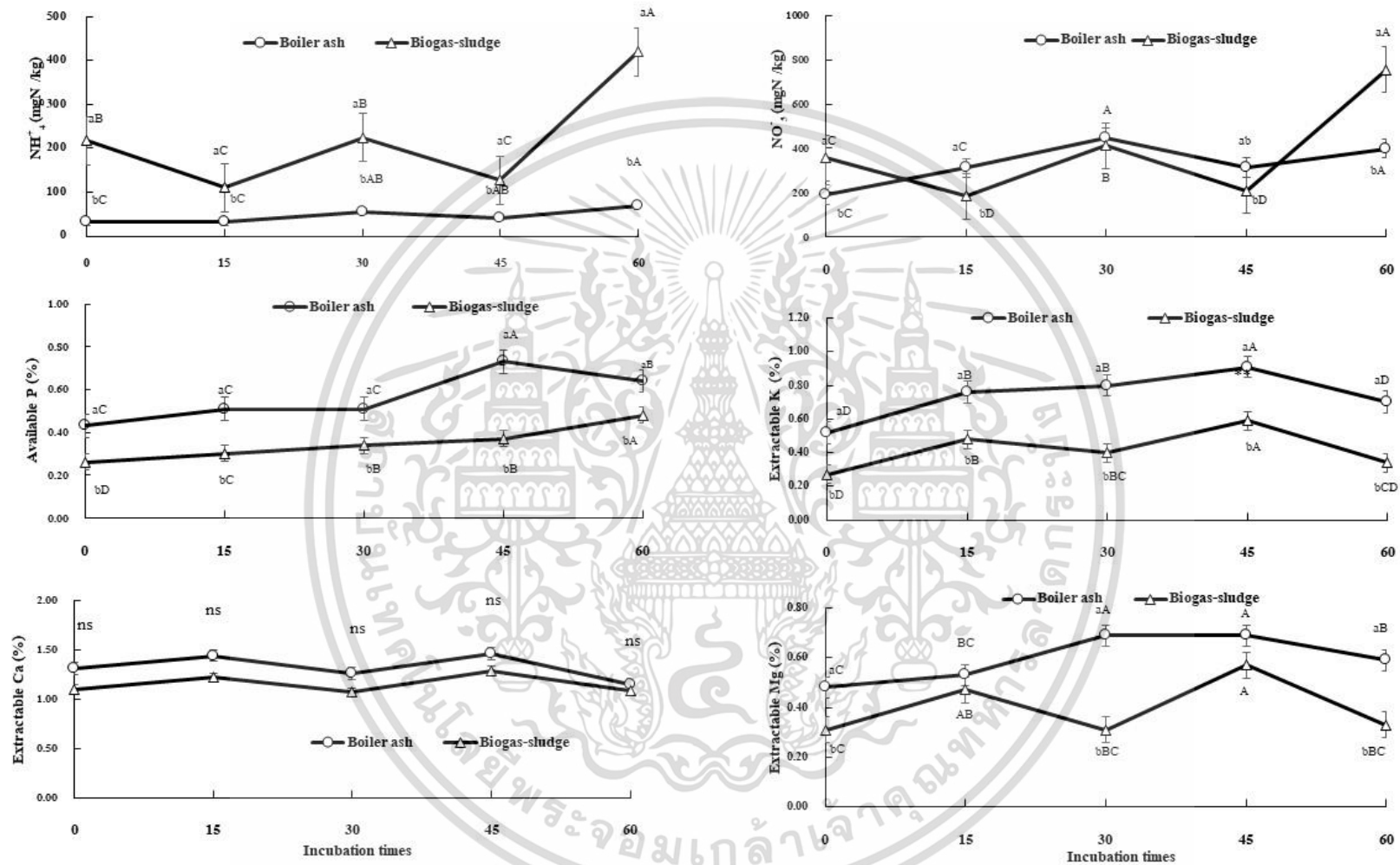


ภาพที่ 4.2 ลักษณะของวัสดุหลังจากผ่านการหมัก; (A) ถ้ำบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ, (B) ถ้ำบอยเลอร์หมัก, (C) ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อ พด.1, (D) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ, (E) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก, (F) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อ พด. 1

#### 4.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

การวิเคราะห์ความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพจากการบ่มวัสดุในห้องปฏิบัติการ พบว่า ระยะเวลาในการบ่มวัสดุ และชนิดของวัสดุส่งผลให้ความสามารถในการปลดปล่อยแอมโมเนียม ไนเตรท ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.3) โดยการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ พบว่า กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์สูงกว่าถ้ำบอยเลอร์ และการปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา เมื่อบ่มวัสดุที่ระยะเวลา 60 วัน กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพปลดปล่อยแอมโมเนีย และไนเตรทได้ 420.23 mgN/kg และ 756.94 mgN/kg ตามลำดับ ส่วนถ้ำบอยเลอร์ปลดปล่อยแอมโมเนีย และไนเตรทได้ 67.56 mgN/kg และ 398.92 mgN/kg ตามลำดับ การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงสุดในวันที่ 45 ของการบ่ม จากนั้นจะลดลงในวันที่ 60 ของการทดลอง และถ้ำบอยเลอร์ปลดปล่อยทั้ง 3 ธาตุนี้ได้สูงกว่ากากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของการปลดปล่อยแคลเซียมจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (A) available NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (B) available P (C) extractable K (D) extractable Ca (E) และ extractable Mg (F) ของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ปลดปล่อยจากการบ่มวัสดุในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 60 วัน

หมายเหตุ อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวัสดุชนิดเดียวกันที่ระยะเวลาการบ่มต่างกัน และอักษรตัวพิมพ์เล็กเป็นการเปรียบเทียบวัสดุต่างชนิดกันที่ระยะเวลาการบ่มเดียวกัน

#### 4.4 อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการเจริญของต้นกล้าผักกาดหอม

การทดสอบประสิทธิภาพวัสดุหลังการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอมโดยใช้เพอร์ไลต์ แกลบ หรือเปลือกถั่วลิสง เป็นวัสดุผสมเพื่อเพิ่มความพรุน พบว่า ถ้ำบอยเลอร์หมัก มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ 88.52 % รองลงมาคือ ถ้ำบอยเลอร์หมัก ร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 พิทมอส กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พด.1 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติ และถ้ำบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ตามลำดับ ส่วนดัชนีการงอกพบว่า กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุดคือ 22.74 รองลงมาคือ พิทมอส ถ้ำบอยเลอร์หมัก ร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7)

ในด้านวัสดุที่ให้ความพรุนพบว่า เปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเพอไลต์ และแกลบ เนื่องจากทำให้พีซีเอ็มเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอกเท่ากับ 85.27 % และ 21.38 ตามลำดับ ซึ่งมีความสูงกว่าการใช้เพอไลต์

อิทธิพลร่วมของชนิดวัสดุปลูกและวัสดุให้ความพรุน ส่งผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอกของเมล็ด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.8) โดยพบว่า ทริทเมนต์ที่ 8 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ คือ 99.17 % ส่วนทริทเมนต์ที่ 14 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ+แกลบดิบ มีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำที่สุดเท่ากับ 52.94 % ดัชนีการงอกแสดงแนวโน้มที่เหมือนกับเปอร์เซ็นต์การงอกพบว่า ทริทเมนต์ที่ 8 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ ทริทเมนต์ที่ 19 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+เปลือกถั่ว ทริทเมนต์ที่ 20 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+แกลบดิบ มีดัชนีการงอกสูงที่สุด คือ 24.67 24.69 และ 24.67 ตามลำดับ ส่วนทริทเมนต์ที่ 13 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ+เพอร์ไลต์ มีดัชนีการงอกต่ำที่สุด (14.56)

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การงอกและดัชนีการงอกของกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ

Factors		Germination (%)	Germination index
Type of growing media	Peatmoss	83.87 B	21.36 B
	Undisturbed boiler-ash	78.07 D	19.74 D
	Boiler-ash compost	88.52 A	21.31 B
	Boiler-ash compost with microbial addition	83.87 B	21.35 B
	Undisturbed Biogas-sludge	80.83 C	19.83 D
	Biogas-sludge compost	83.22 B	20.84 C
	Biogas-sludge compost with microbial addition	82.70 B	22.74 A
Type of porosity material	Perlite	84.21 B	21.36 B
	Rice husk	79.29 C	20.33 B
	Peanut shell	85.27 A	21.38 A
Type of growing media	**	**	
Type of porosity material	**	**	
Type of growing media × Type of porosity material	**	**	
% CV	2.61	2.48	

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อิทธิพลร่วมของชนิดวัสดุปลูก และชนิดของวัสดุให้ความพรุนต่อเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอกของเมล็ด

Treatments	Germination (%)	Germination index
T1 PM+PL <sup>1/</sup>	86.49 E	23.36 C
T2 PM+RH	85.11 E	21.56 D
T3 PM+PS	86.62 E	21.66 D
T4 BA+PL	80.33 F	20.08 F
T5 BA+RH	73.28 H	18.28 H
T6 BA+PS	72.78 H	18.29 H
T7 BAC+PL	77.33 G	19.45 G
T8 BAC+RH	99.17 A	24.67 A
T9 BAC+PS	98.33 AB	24.69 A
T10 BACM+PL	79.67 F	20.93 E
T11 BACM+RH	92.22 D	23.97 B
T12 BACM+PS	96.06 C	24.17 B
T13 BS+PL	63.33 I	14.56 J
T14 BS+RH	52.94 J	15.24 I
T15 BS+PS	79.90 F	20.20 F
T16 BSC+PL	71.78 H	18.22 H
T17 BSC+RH	87.06 E	21.59 D
T18 BSC+PS	92.11 D	23.34 C
T19 BSCM+PL	73.11 H	18.44 H
T20 BSCM+RH	97.00 BC	24.67 A
T21 BSCM+PS	96.79 BC	24.18 B

<sup>1/</sup> พีทมอส (PM) ถ้ำบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ (BA) ถ้ำบอยเลอร์หมัก (BAC) ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 (BACM) ถ้ำบอยเลอร์ที่ทิ้งไว้ตามสภาพธรรมชาติ (BS) ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 (BSCM) ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1 (BSCM) เพอร์ไลต์ (PL) แกลบ (RH) และเปลือกถั่ว (PS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 อิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

นำข้อมูลจากการทดลองที่ 4.1-4.4 มาใช้คัดเลือกวัสดุที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ดีที่สุดเพื่อใช้ทดสอบปลูกผักสลัด โดยวัสดุที่คัดเลือก ได้แก่ ถ้ำบอยเลอร์หมัก ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อ พด.1 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อ พด.1 แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชดีที่สุด โดยใช้วัสดุจากกระบวนการหมัก 50 % ร่วมกับวัสดุให้ความพรุน 30 % และมีการเติมปุ๋ยคอก 20 % ในทุกทริทเมนต์เหมือนกัน ได้วัสดุปลูก 4 สูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อ พด.1+เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่ว และใช้สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 (ขุยมะพร้าว ปุ๋ยคอก ทราข แกลบดิบ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1:2:1:1:0.25 ส่วน) เป็นสูตรเปรียบเทียบ โดยทดสอบปลูกผักสลัด 5 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส และเรดโอ๊ค

##### 4.5.1 สมบัติของวัสดุปลูกก่อนการทดลอง

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกก่อนการทดลอง พบว่า ความหนาแน่นและช่องว่างขนาดใหญ่ของวัสดุปลูกในสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความหนาแน่นและช่องว่างขนาดใหญ่สูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ  $0.89 \text{ g/cm}^3$  และ 22.19 % ในส่วนของความพรุน ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซึมน้ำ พบว่า สูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 มีความพรุน ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซึมน้ำที่สูงมากกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 79.98 % 63.29 % และ 107.13 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุก่อนการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและปริมาณแคลเซียมทั้งหมดสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.92 % และ 4.70 % ตามลำดับ สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว มีค่า pH และโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด คือ 7.74 (ค่าเล็กน้อย) และ 1.07 % สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุดคือ 48.06 % สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และค่า EC สูงกว่าสูตรอื่นๆ คือ 2.65 % และ 3.70 mS/cm ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 มีค่า pH EC อินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดต่ำกว่าสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรก่อนทำการทดลอง

Planting materials	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
1 <sup>1/</sup>	0.71	55.93	11.74	44.19	84.38
2	0.89	44.07	22.19	45.60	53.28
3	0.64	65.35	20.22	45.13	98.23
4	0.81	57.18	14.24	59.89	76.37
5	0.78	79.98	16.69	63.29	107.13

<sup>1/</sup>1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, 2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, 3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, 4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, 5=ไทยเกษตรศาสตร์ 1

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมีของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรก่อนทำการทดลอง

Planting materials	pH (1:5)	EC (1:5) (mS/cm)	OM (%)	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)
1 <sup>1/</sup>	7.64	0.71	21.29	0.72	1.92	1.01	4.70	1.59
2	7.74	0.69	23.30	0.79	1.89	1.07	4.29	1.59
3	5.98	2.00	48.06	2.49	1.36	0.02	2.88	0.45
4	5.44	3.70	46.48	2.65	1.52	0.06	2.77	0.47
5	7.55	3.00	16.95	0.33	0.23	0.60	0.014	0.12

<sup>1/</sup>1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, 2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, 3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, 4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, 5=ไทยเกษตรศาสตร์ 1

#### 4.5.2 ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกาด

ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกาดหอมพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและน้ำหนักสดรากสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 55.42 12.70 และ 20.02 g/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด. 1+เปลือกถั่ว ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่าส่งผลให้ผักกาดหอมมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 26.77 10.57 16.70 และ 1.00 g/plant ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของกรีนโอ๊คพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้กรีนโอ๊คมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสดรากสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 44.20 และ 18.12 g/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1 +เปลือกถั่ว ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่าส่งผลให้กรีนโอ๊คมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดรากต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 27.58 และ 15.57 g/plant ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้น้ำหนักสดส่วนเหนือดิน และน้ำหนักแห้งของรากลกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.12)

ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของเรดคอรัลพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้เรดคอรัลมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสดรากสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 68.81 และ 21.20 g/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว โดยสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1 +เปลือกถั่วส่งผลให้เรดคอรัลมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าสูตรอื่นๆคือ 12.35 g/plant ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่า ส่งผลให้เรดคอรัลมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 36.69 10.59 18.62 และ 1.07 g/plant ตามลำดับ (ตารางที่ 4.13)

ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของคอสพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้คอสมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 48.71 23.61 และ 2.28 g/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่า ส่งผลให้คอสมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน น้ำหนักสดราก และน้ำหนักแห้งรากต่ำที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 25.74 18.00 และ 0.79 g/plant ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของคอสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.14)

ผลของวัสดุปลูกต่อน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของเรดโอ๊คพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้เรดโอ๊คมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดินสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 75.59 g/plant สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว พบว่าส่งผลให้เรดโอ๊คมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 13.05 g/plant (ตารางที่ 4.15)

#### 4.5.3 ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของผักสลัด

ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ส่งผลให้ผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 4-5 ส่งผลให้ผักกาดหอมปลูกในสูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบมีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 27.60 34.66 cm ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 3 ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.16)

ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของกรีนโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 3 และ 5 ไม่ส่งผลให้ความกว้างทรงพุ่มของกรีนโอ๊คในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 4 ส่งผลให้กรีนโอ๊คปลูกในสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว มีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 21.70 cm แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว และสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ (ตารางที่ 4.16)

ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของเรดคอรัลพบว่า ในสัปดาห์ที่ 3 ส่งผลให้เรดคอรัลที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 4-5 ส่งผลให้เรดคอรัลปลูกในสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว มีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 22.60 และ 30.92 cm ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 1 ความกว้างทรงพุ่มของเรดคอรัลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.16)

ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของคอสพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 3 และ 4 ส่งผลให้คอสที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 12.78 20.50 และ 25.80 cm ในสัปดาห์ที่ 5 ส่งผลให้คอสปลูกในสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว มีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 33.10 cm ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่า ส่งผลให้คอสมีความกว้างทรงพุ่มของคอสในสัปดาห์ที่ 2-5 ค่าที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.28 8.50 14.50 และ 27.32 cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

ผลของวัสดุปลูกต่อความกว้างทรงพุ่มของเรดโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2-5 ส่งผลให้เรดโอ๊คที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 14.10 21.40 26.60 และ 34.44 cm ตามลำดับ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว โดยมีค่าเท่ากับ 27.00 และ 34.40 cm ตามลำดับ (ตารางที่ 4.16)

#### 4.5.4 ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของผักสลัด

ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของผักกาดหอมพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ส่งผลให้ผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 ถั่วบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบมีความสูงของผักกาดหอมสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 9.78 cm ในสัปดาห์ที่ 3-4 ส่งผลให้ผักกาดหอมปลูกในสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความสูงของผักกาดหอมสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 15.00 และ 21.00 cm ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 5 ความสูงของผักกาดหอมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.17)

ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของกรีนโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 ส่งผลให้กรีนโอ๊คปลูกในสูตร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 มีความสูงของกรีนโอ๊คสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 8.30 cm ในสัปดาห์ที่ 3 ส่งผลให้กรีนโอ๊คปลูกในสูตรที่ 2 เถ้านอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความสูงของกรีนโอ๊คสูงกว่าสูตรอื่นๆ ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วส่งผลให้กรีนโอ๊คมีความสูงมากกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 21.80 cm อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 5 ความสูงของกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.17)

ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของเรดคอรัลพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ส่งผลให้เรดคอรัลปลูกในสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีความสูงของเรดคอรัลสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 7.28 และ 11.42 cm ในสัปดาห์ที่ 4 ส่งผลให้เรดคอรัลปลูกในสูตรที่ 2 เถ้านอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความสูงของเรดคอรัลสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 20.80 cm ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่า สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วส่งผลให้เรดคอรัลมีความสูงมากกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 29.34 cm (ตารางที่ 4.17)

ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของคอสพบว่า ในสัปดาห์ที่ 3-5 ส่งผลให้คอสปลูกในสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีความสูงของคอสสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 13.52 24.00 และ 30.16 cm แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรที่ 2 เถ้านอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว โดยมีค่าเท่ากับ 12.10 23.00 และ 29.19 cm ตามลำดับ วัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 2 ความสูงของคอสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.17)

ผลของวัสดุปลูกต่อความสูงของเรดโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 2 4 และ 5 ไม่ส่งผลให้ความสูงของเรดโอ๊คที่ปลูกในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรแตกต่างกันทางสถิติ ในสัปดาห์ที่ 3 ส่งผลให้เรดโอ๊คปลูกในสูตรที่ 2 เถ้านอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีความสูงของเรดโอ๊คสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 11.70 cm แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ โดยมีค่าเท่ากับ 11.50 cm (ตารางที่ 4.17)

#### 4.5.5 ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของผักสลัด

ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของผักกาดหอมพบว่า วัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้จำนวนใบของผักกาดหอมตั้งแต่ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง สัปดาห์ที่ 5 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.18)

ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของกรีนโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ส่งผลให้กรีนโอ๊คปลูกในสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วมีจำนวนใบของกรีนโอ๊คสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 20.40 และ 27.00 leaf/plant ส่วนวัสดุปลูกสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่าตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2-5 ส่งผลให้กรีนโอ๊คมีจำนวนใบต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 2-3 จำนวนใบของกรีนโอ๊คแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.18)

ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของเรดคอรัลพบว่า ในสัปดาห์ที่ 4 ส่งผลให้เรดคอรัลปลูกในสูตรที่ 1 เถ้านอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ มีจำนวนใบของเรดคอรัลเท่ากับ 17.80 leaf/plant ในสัปดาห์ที่ 5 ส่งผลให้เรดคอรัล

รัลปลูกในสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วมีจำนวนใบสูงกว่าสูตรอื่นๆโดยมีค่าเท่ากับ 25.80 leaf/plant แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 โดยมีจำนวนใบเท่ากับ 24.20 leaf/plant อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรไม่ส่งผลให้ในสัปดาห์ที่ 2-3 จำนวนใบของเรดคอรัลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 18)

ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของคอสพบว่า ในสัปดาห์ที่ 3-4 ส่งผลให้คอสปลูกในสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ มีจำนวนใบของคอสเท่ากับ 8.20 18.20 และ 25.00 leaf/plant ตามลำดับ ส่วนวัสดุปลูกสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 ส่งผลให้คอสมีจำนวนใบสูงกว่าสูตรอื่นๆ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ โดยมีค่าเท่ากับ 25 leaf/plant (ตารางที่ 4.18)

ผลของวัสดุปลูกต่อจำนวนใบของเรดโอ๊คพบว่า ในสัปดาห์ที่ 4-5 ส่งผลให้เรดโอ๊คปลูกในสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ มีจำนวนใบของเรดโอ๊คสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 21.20 และ 26.60 leaf/plant ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว โดยมีค่าเท่ากับ 20.80 และ 25.00 leaf/plant (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.11 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของผักกาดหอมที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Lettuce				
Treatments	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)
Formular 1 <sup>1/</sup>	32.99 B	11.24 B	15.51 B	1.29 ABC
Formular 2	55.42 A	12.70 A	20.02 A	1.62 AB
Formular 3	55.24 A	12.16 A	19.37 AB	1.71 A
Formular 4	54.35 A	12.30 A	20.10 A	0.92 C
TKSS1	26.77 B	10.57 B	16.70 AB	1.00 BC
F-test	**	**	ns	*
CV (%)	20.37	5.76	16.82	36.04

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของกรีน โอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Greenoak				
Treatments	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)
Formular 1 <sup>1/</sup>	39.18 AB	10.58	16.08 BC	1.23
Formular 2	44.20 A	12.88	18.12 AB	1.36
Formular 3	44.19 A	10.93	18.44 A	1.37
Formular 4	41.03 A	11.29	18.05 AB	1.39
TKSS1	27.58 B	10.18	15.57 C	1.38
F-test	*	ns	*	ns
CV (%)	21.25	19.45	8.87	44.21

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของ  
เรดคอรอลที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Redcoral				
Treatments	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)
Formular 1 <sup>1/</sup>	28.95 B	10.91 B	16.54 B	1.38 B
Formular 2	68.81 A	12.09 A	21.20 A	1.90 A
Formular 3	66.66 A	12.31 A	20.63 A	1.11 B
Formular 4	67.97 A	12.35 A	20.57 A	1.93 A
TKSS1	36.69 B	10.59 B	18.62 AB	1.07 B
F-test	**	**	**	**
CV (%)	21.62	6.70	10.15	25.07

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กาก  
ตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.  
1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

ตารางที่ 4.14 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของ  
คอสที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Cos				
Treatments	Shoot fresh weight	Shoot dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)	(g/plant)
Formular 1 <sup>1/</sup>	24.54 B	12.56	16.16 C	0.64 C
Formular 2	46.24 A	11.79	21.57 AB	1.90 AB
Formular 3	48.71 A	12.88	23.26 A	2.28 A
Formular 4	48.51 A	12.3	21.62 AB	1.32 BC
TKSS1	25.74 B	10.19	18.00 BC	0.79 C
F-test	**	ns	**	**
CV (%)	22.02	20.11	13.1	40.56

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กาก  
ตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.  
1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not  
significantly different at 5% level by DMRT1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของรากของเรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

<b>Redoak</b>				
<b>Treatments</b>	<b>Shoot fresh weight</b>	<b>Shoot dry weight</b>	<b>Root fresh weight</b>	<b>Root dry weight</b>
	<b>(g/plant)</b>	<b>(g/plant)</b>	<b>(g/plant)</b>	<b>(g/plant)</b>
Formular 1 <sup>1/</sup>	37.46 B	10.77 B	15.54	1.63
Formular 2	68.40 A	13.05 A	17.39	1.67
Formular 3	75.59 A	12.91 A	14.25	1.44
Formular 4	64.23 A	12.28 A	17.78	1.46
TKSS1	34.66 B	10.67 B	1805	1.11
F-test	**	**	ns	ns
CV (%)	17.68	5.54	21.91	47.2

<sup>1/</sup>Formular 1=เตี้ยบอยเดอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=เตี้ยบอยเดอร์หมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant, Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ความกว้างทรงพุ่มของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Plant	Treatments	Canopy width (cm)				Plant	Treatments	Canopy width (cm)			
		Week 2	Week 3	Week 4	Week 5			Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Lettuce	Formular 1 <sup>1/</sup>	11.90 AB	18.20	27.60 A	34.66 A	Greenoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	7.32	11.6	18.10 AB	27.82
	Formular 2	14.00 A	22.20	27.00 A	33.48 A		Formular 2	7.42	13.4	21.10 A	30.1
	Formular 3	9.00 B	19.20	24.88 AB	33.48 A		Formular 3	6.68	13.5	19.88 A	28.7
	Formular 4	10.36 AB	18.40	21.00 BC	30.32 AB		Formular 4	9.08	14.8	21.70 A	30.49
	TKSS1	8.12 B	13.50	16.90 C	27.22 B		TKSS1	7.5	12.4	14.00 B	27.46
	F-test	*	ns	**	**		F-test	ns	ns	**	ns
	CV (%)	28.86	24.76	17.17	9.89		CV (%)	18.74	23.54	18.17	8.04
Redcoral	Formular 1 <sup>1/</sup>	6.78	12.80 AB	15.80 BC	26.72 B	Cos	Formular 1 <sup>1/</sup>	7.84 B	15.00 A	17.60 B	27.14 C
	Formular 2	10.02	16.70 A	20.80 A	30.56 A		Formular 2	9.08 B	15.40 A	24.60 A	33.10 A
	Formular 3	8.54	15.20 A	19.20 A	28.36 B		Formular 3	12.78 A	20.50 A	25.80 A	32.72 AB
	Formular 4	8.76	13.70 A	22.60 A	30.92 A		Formular 4	8.62 B	19.10 A	19.88 AB	29.35 BC
	TKSS1	7.88	9.60 B	13.00 C	28.22 B		TKSS1	6.28 B	8.50 B	14.50 B	27.32 C
	F-test	ns	**	**	**		F-test	*	**	**	**
	CV (%)	26.4	20.99	15.66	4.71		CV (%)	31.34	29.68	22.54	8.99
Redoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	9.90 A	17.60 AB	17.16 B	24.94 C						
	Formular 2	7.40 B	17.00 B	27.00 A	34.40 A						
	Formular 3	14.10 A	21.40 A	26.60 A	34.44 A						
	Formular 4	10.18 B	20.90 AB	23.40 A	28.14 B						
	TKSS1	9.00 B	11.40 C	14.60 B	24.48 C						
	F-test	*	**	**	**						
	CV (%)	27.35	16.4	12.4	6.62						

<sup>1/</sup>Formular 1=ถัวยอดเลอรั่มัก + แกลบดิบ, Formular2=ถัวยอดเลอรั่มักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไผ่เกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant, Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ความสูงของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Plant	Treatments	Shoot length (cm)				Plant	Treatments	Shoot length (cm)			
		Week 2	Week 3	Week 4	Week 5			Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Lettuce	Formular 1 <sup>1/</sup>	9.78 A	14.10 A	17.88 AB	21.84	Greenoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	6.76 ABC	9.86 AB	13.40 B	24.42
	Formular 2	8.52 A	15.00 A	21.00 A	21.40		Formular 2	7.60 AB	11.20 A	21.40 A	24.78
	Formular 3	6.10 B	11.20 B	19.60 A	25.28		Formular 3	6.38 BC	9.60 AB	18.30 A	24.7
	Formular 4	6.40 B	15.10 A	19.40 A	25.35		Formular 4	5.44 C	10.10 A	21.80 A	27.44
	TKSS1	6.40 B	9.46 C	15.20 B	25.69		TKSS1	8.30 A	8.02 B	13.20 B	27.18
	F-test	**	**	**	ns		F-test	**	*	**	ns
	CV (%)	16.57	9.68	12.94	11.98		CV (%)	17.6	13.73	18.29	9.21
Redcoral	Formular 1 <sup>1/</sup>	5.08 A	10.20 AB	12.20 C	20.48 B	Cos	Formular 1 <sup>1/</sup>	8.56	12.96 A	13.70 B	22.41 C
	Formular 2	5.36 B	10.12 AB	20.80 A	25.98 A		Formular 2	6.90	12.10 A	23.00 A	29.19 AB
	Formular 3	7.28 A	11.42 A	46.50 B	25.50 A		Formular 3	7.32	13.52 A	24.00 A	30.16 A
	Formular 4	6.74 AB	9.08 B	20.60 A	29.34 A		Formular 4	6.76	11.40 A	22.60 A	25.76 BC
	TKSS1	7.18 A	6.93 C	13.00 BC	27.32 A		TKSS1	6.48	9.30 B	13.80 B	25.32 C
	F-test	*	**	**	**		F-test	ns	*	**	**
	CV (%)	19.02	15.43	16.69	10.88		CV (%)	19.33	19.81	17.37	10.5
Redoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	6.92	10.24 AB	4.20	21.28						
	Formular 2	5.9	11.70 A	15.20	24.84						
	Formular 3	7.02	11.50 A	15.20	25.36						
	Formular 4	7.43	10.84 A	15.60	24.12						
	TKSS1	6.08	8.62 B	11.80	22.86						
	F-test	ns	**	ns	ns						
	CV (%)	20.63	12.94	14.43	9.57						

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 จำนวนใบของผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส เรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Plant	Treatments	Leaf number (leaf/plant)				Plant	Treatments	Leaf number (leaf/plant)			
		Week 2	Week 3	Week 4	Week 5			Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
Lettuce	Formular 1 <sup>1/</sup>	3.20	6.60	7.80	16.20	Greenoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	4.00	7.00	13.40 B	20.6 B
	Formular 2	4.20	6.00	9.80	17.00		Formular 2	4.60	6.80	17.80 A	22.40 B
	Formular 3	3.40	5.60	11.40	18.80		Formular 3	3.00	7.40	18.60 A	24.20 AB
	Formular 4	3.40	5.40	9.80	19.40		Formular 4	3.80	8.00	20.40 A	27.00 A
	TKSS1	3.00	6.20	10.00	17.40		TKSS1	4.20	7.60	12.00 B	20.60 B
	F-test	ns	ns	ns	ns		F-test	ns	ns	**	**
	CV (%)	20.56	16.95	20.7	11.94		CV (%)	26.01	16.97	16.46	11.7
Redcoral	Formular 1 <sup>1/</sup>	3.20	6.60	17.80 A	17.60 B	Cos	Formular 1 <sup>1/</sup>	3.40	6.40 B	9.20 D	14.40 B
	Formular 2	3.60	7.80	16.20 A	23.80 A		Formular 2	3.20	7.40 AB	14.60 BC	24.40 A
	Formular 3	3.60	7.20	17.80 A	23.40 A		Formular 3	4.00	8.20 A	18.20 A	25.00 A
	Formular 4	3.40	6.60	15.40 A	25.80 A		Formular 4	4.00	7.20 AB	15.20 B	24.00 A
	TKSS1	3.40	6.40	11.40 b	24.20 A		TKSS1	3.60	6.00 B	11.80 CD	25.00 A
	F-test	ns	ns	**	**		F-test	ns	*	**	**
	CV (%)	22.14	18.62	14.39	11.72		CV (%)	29.59	14.2	16.24	13.09
Redoak	Formular 1 <sup>1/</sup>	4.00	9.00	16.20 B	20.60 B						
	Formular 2	3.80	8.40	20.80 A	25.00 A						
	Formular 3	4.40	9.40	21.20 A	26.60 A						
	Formular 4	4.00	8.60	17.60 AB	25.80 A						
	TKSS1	4.20	9.00	16.40 B	26.00 A						
	F-test	ns	ns	*	**						
CV (%)	27.29	20.4	15.09	8.52							

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.6 ความเข้มข้นธาตุอาหารในพืช

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในพืชของผักกาดหอมพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้ผักกาดหอมมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.63 % 0.56 % 10.16 mg/kg และ 66.30 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืชพบว่า สูตรที่ 4 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว ส่งผลให้ผักกาดหอมมีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.69 % และ 0.94 % ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้ผักกาดหอมมีปริมาณแมงกานีส และเหล็ก ทั้งหมดสูงกว่าในวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 132.68 และ 2.14 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.19)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในพืชของกรีนโอ๊คพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้กรีนโอ๊คมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.15 % 1.51 % 0.68 % และ 95.97 mg/kg ตามลำดับ ปริมาณไนโตรเจน และทองแดงทั้งหมดในพืชพบว่า สูตรที่ 4 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว ส่งผลให้กรีนโอ๊คมีปริมาณไนโตรเจน และทองแดงทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.59 % และ 0.94 % ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้กรีนโอ๊คมีปริมาณโพแทสเซียม แมงกานีส และเหล็ก ทั้งหมดสูงกว่าในวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 8.32 % 112.45 mg/kg และ 1.48 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.20)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในพืชของเรดคอรัลพบว่า สูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบส่งผลให้เรดคอรัลมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 8.80 % ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืชพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้เรดคอรัลมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.91 % ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว ส่งผลให้เรดคอรัลมีปริมาณไนโตรเจน แมกนีเซียม ทองแดง และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าในวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.17 % 0.86 % 11.53 mg/kg และ 88.52 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.21)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในพืชของคอสพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้คอสมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.03 % 1.57% 0.71 % 160.22 mg/kg และ 80.47 mg/kg ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว ส่งผลให้คอสมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าในวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.04 % (ตารางที่ 4.22)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในพืชของเรดโอ๊คพบว่า สูตรที่ 3 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้เรดโอ๊คมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.49 % 0.93 % 1.39 % และ 85.39 mg/kg ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว ส่งผลให้เรดโอ๊คมีปริมาณแมกนีเซียม และทองแดงทั้งหมดสูงกว่าในวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.59 % และ 11.90 mg/kg ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้เรดโอ๊คมีปริมาณแมงกานีสทั้งหมดสูงกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 165.52 mg/kg (ตารางที่ 4.23)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในผักกาดหอมที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่าง

Lettuce									
Treatments	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Cu	Total Mn	Total Zn	Total Fe
	%	%	%	%	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Formular 1 <sup>1/</sup>	1.77 B	0.72 C	8.05	0.74 C	0.40 B	5.82 B	42.43 D	56.72 C	1.25 BC
Formular 2	1.78 B	0.88 B	7.13	0.89 C	0.50 A	7.56 AB	37.75 E	49.79 D	0.99 D
Formular 3	2.63 A	0.93 A	7.26	1.63 A	0.56 A	10.16 A	111.79 B	66.30 A	1.36 B
Formular 4	2.69 A	0.94 A	6.53	1.23 B	0.55 A	8.02 AB	70.28 C	62.33 B	1.08 CD
TKSS1	1.78 B	0.92 A	6.34	1.16 B	0.32 B	6.24 B	132.68 A	63.81 AB	2.14 A
F-test	**	**	ns	**	**	ns	**	**	**
CV (%)	4.55	2.07	13.48	13.09	10.23	24.55	2.75	3.33	8.87

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ่านบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ่านบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

ตารางที่ 4.20 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในกรีนโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่าง

Green oak									
Treatments	Total N	Total P	Total K	Total Ca	Total Mg	Total Cu	Total Mn	Total Zn	Total Fe
	%	%	%	%	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Formular 1 <sup>1/</sup>	2.45 B	1.11 A	7.75 AB	1.23 BC	0.50 C	11.28 A	85.65 C	88.07 B	1.13 C
Formular 2	2.53 B	1.13 A	7.86 AB	0.56 D	0.57 B	10.42 A	52.56 D	74.83 C	0.98 D
Formular 3	3.32 A	1.15 A	6.42 C	1.51 A	0.68 A	15.36 A	98.15 B	95.97 A	1.30 B
Formular 4	3.59 A	1.12 A	6.97 BC	1.29 B	0.66 A	16.22 A	90.19 BC	94.47 AB	1.89 BC
TKSS1	1.59 C	0.97 B	8.32 A	1.08 C	0.41 D	8.42 B	112.45 A	77.29 C	1.48 A
F-test	**	**	*	**	**	**	**	**	**
CV (%)	11.45	2.72	8.54	8.19	6.97	14.79	6.93	4.72	5.97

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ่านบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ่านบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในเรดคอรัลที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Redcoral									
Treatments	Total N %	Total P %	Total K %	Total Ca %	Total Mg %	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)
Formular 1 <sup>1/</sup>	1.52 E	0.89 A	8.80 A	1.25 A	0.49 D	6.11 B	44.14 D	66.64 C	2.15 B
Formular 2	2.24 C	0.91 A	7.20 B	0.85 C	0.63 C	7.31 B	42.44 D	63.59 D	1.73 C
Formular 3	2.91 B	0.86 BC	6.08 B	1.87 A	0.77 B	9.92 A	93.04 B	78.94 B	1.69 C
Formular 4	3.17 A	0.84 C	6.97 B	1.58 AB	0.86 A	11.53 A	85.90 C	88.52 A	2.04 B
TKSS1	1.74 D	0.88 AB	6.44 B	1.30 B	0.38 E	9.91 A	105.94 A	80.04 B	3.07 A
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3.36	1.93	10.41	12.79	6.24	11.23	3.62	4.69	2.15

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

ตารางที่ 4.22 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในคอสที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Cos									
Treatments	Total N %	Total P %	Total K %	Total Ca %	Total Mg %	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)
Formular 1 <sup>1/</sup>	1.58 E	0.84 C	7.49	1.11 BC	0.47 C	7.37	89.01 B	68.81 B	2.32 A
Formular 2	2.00 D	0.89 BC	6.27	0.72 D	0.50 C	7.57	41.58 D	51.15 D	1.23 B
Formular 3	2.89 B	1.03 A	6.27	1.57 A	0.71 A	10.65	160.22 A	80.47 A	1.38 B
Formular 4	3.04 A	0.91 B	8.38	1.32 AB	0.58 B	8.13	62.34 C	59.28 C	1.18 B
TKSS1	2.28 C	0.87 BC	7.58	0.93 CD	0.40 D	9.08	159.68 A	72.57 B	2.08 A
F-test	**	**	ns	**	**	ns	**	**	**
CV (%)	3.06	2.90	12.89	14.58	5.23	16.90	3.55	4.60	10.12

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในเรดโอ๊คที่เจริญในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

Redoak									
Treatments	Total N %	Total P %	Total K %	Total Ca %	Total Mg %	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)
Formular 1 <sup>1/</sup>	1.65 D	0.69 D	7.48	1.07 B	0.42 CD	6.38 B	50.29 D	65.07 B	1.88
Formular 2	2.61 B	0.82 C	8.6	0.90 B	0.48 BC	10.29 A	45.64 D	59.74 C	2.07
Formular 3	3.49 A	0.93 A	6.75	1.39 A	0.52 AB	11.35 A	134.15 B	85.39 A	2.14
Formular 4	3.35 A	0.89 B	7.45	1.37 A	0.59 A	11.90 A	84.81 C	60.48 C	2.14
TKSS1	2.05 C	0.82 C	8.50	0.86 B	0.36 D	11.00 A	165.52 A	60.79 C	2.05
F-test	**	**	ns	**	**	**	**	**	ns
CV (%)	6.50	1.58	12.06	12.37	6.24	13.37	3.73	1.80	6.99

<sup>1/</sup>Formular 1=เด็บบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=เด็บบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at  $p < 0.05$ , \*\* Significant at  $p < 0.01$ , ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.7 สมบัติทางเคมีบางประการของวัสดุปลูกหลังการทดลอง

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังปลูกผักกาดหอมพบว่า สูตรที่ 1 ใ้บอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่า pH ปริมาณฟอสฟอรัส แมงกานีสสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.92 1.95 % และ 108.50 mg/kg สูตรที่ 2 ใ้บอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุหลังปลูกผักกาดหอมมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และเหล็กทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.80 % 1.73 % 270.52 mg/kg และ 1.39 % ตามลำดับ สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ ส่งผลให้วัสดุปลูกมีค่า EC อินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยค่าเท่ากับ 2.83 mS/cm 45.24 % และ 21.11 % ตามลำดับ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วมีปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.15 % 1.54 % และ 544.70 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.24)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังปลูกกรีนโอ๊คพบว่า สูตรที่ 1 ใ้บอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่า pH ปริมาณฟอสฟอรัส แมงกานีสสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.92 1.95 % และ 100.50 mg/kg สูตรที่ 2 ใ้บอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุหลังปลูกกรีนโอ๊คมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และเหล็กทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.59 % 1.55 % 291.37 mg/kg และ 1.28 % ตามลำดับ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 1.48 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.25)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังปลูกเรดคอรัลพบว่า สูตรที่ 1 ใ้บอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่า pH ปริมาณแมกนีเซียม แมงกานีส และเหล็กสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 8.08 1.53 % 119.60 mg/kg และ 1.31 % สูตรที่ 2 ใ้บอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุหลังปลูกเรดคอรัลมีปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.42 % 1.29 % และ 2.12 % ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วมีค่า EC อินทรีย์วัตถุ ทองแดงและสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.29 mS/cm 42.25 % 366.78 mg/kg และ 645.77 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.26)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังปลูกคอสมอสพบว่า สูตรที่ 1 ใ้บอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่า pH ปริมาณแคลเซียมทั้งหมดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 7.92 4.72 % และ 1.19 % สูตรที่ 2 ใ้บอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุหลังปลูกคอสมอสมีปริมาณฟอสฟอรัส แมงกานีสทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.09 % และ 94.30 mg/kg ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วพบว่า มีค่า EC ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ โพแทสเซียม และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.33 mS/cm 2.32 % 42.49 % 0.95 % และ 595.38 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.27)

ผลของวัสดุปลูกต่อความเข้มข้นธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังปลูกเรดโอ๊คพบว่า สูตรที่ 1 ใ้บอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่า pH ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง และแมงกานีสทั้งหมดสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 7.98 1.14 % 1.56 % 253.90 mg/kg และ 99.92 mg/kg ตามลำดับ สูตรที่ 2 ใ้บอยเลอร์หมัก+การใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุหลังปลูกเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอ้คมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม และเหล็กทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 2.28 % 2.12% และ 1.64 % ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วพบว่าค่า EC อินทรีย์วัตถุ และสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 3.51 mS/cm 44.52 % และ 545.77 mg/kg ตามลำดับ (ตารางที่ 4.28)

#### 4.5.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังการทดลอง

ผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติทางกายภาพในวัสดุปลูกหลังปลูกผักกาดหอมพบว่า สูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกผักกาดหอมมีความพรุนทั้งหมด ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซับน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 79.08 % 58.09 % และ 105.55 % ตามลำดับ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกผักกาดหอมมีช่องว่างขนาดใหญ่สูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 22.45 % ส่วนสูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบมีความหนาแน่น ความพรุนทั้งหมด ช่องว่างขนาดใหญ่ และช่องว่างขนาดเล็กของวัสดุปลูกหลังปลูกผักกาดหอมต่ำกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.70 g/cm<sup>3</sup> 56.61 % 13.70 % และ 42.90 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.29)

ผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติทางกายภาพในวัสดุปลูกหลังปลูกกรีนไอ้คพบว่า สูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกกรีนไอ้คมีความพรุนทั้งหมด ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซับน้ำสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 90.12 % 66.70 % และ 131.44 % ตามลำดับ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกกรีนไอ้คมีความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.87 g/cm<sup>3</sup> อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกหลังปลูกกรีนไอ้คไม่ส่งผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.30)

ผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติทางกายภาพในวัสดุปลูกหลังปลูกเรดคอรัลพบว่า สูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกเรดคอรัลมีความพรุนทั้งหมด ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซับน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 91.99 % 69.63 % และ 139.65 % ตามลำดับ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกเรดคอรัลมีความหนาแน่นสูงกว่าวัสดุสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.86 g/cm<sup>3</sup> (ตารางที่ 4.31)

ผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติทางกายภาพในวัสดุปลูกหลังปลูกคอสพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกคอสมีความหนาแน่นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.88 g/cm<sup>3</sup> สูตรที่ 5 เกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกคอสมีความพรุนทั้งหมด ช่องว่างขนาดเล็ก และความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยมีค่าเท่ากับ 90.16 % 69.15 % และ 135.83 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกหลังปลูกคอสไม่ส่งผลให้ช่องว่างขนาดใหญ่ในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.32)

ผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติทางกายภาพในวัสดุปลูกหลังปลูกเรดไอ้คพบว่า สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกเรดไอ้คมีความหนาแน่น และช่องว่างขนาดใหญ่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.87 g/cm<sup>3</sup> และ 25.12 % ตามลำดับ สูตรที่ 5 เกษตรศาสตร์ 1 ส่งผลให้วัสดุปลูกหลังปลูกเรดไอ้คมีความพรุน

ทั้งหมด ช่องว่างขนาดเล็ก และความสามารถในการดูดซับน้ำสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่ากับ 83.65 % 69.05 % และ 118.90 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.33)

#### 4.5.9 การดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

ผลของวัสดุปลูกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนในพืชของผักทั้ง 5 ชนิดพบว่า ผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0.75 g/plant รองลงมาคือผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว มีค่าเท่ากับ 0.33 g/plant กรีนโอ๊คปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่วพบว่าการดูดใช้ในโตรเจนที่สูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0.41 g/plant เรดโอ๊คและเรดคอรัลปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 แอ็บอเยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0.69 g/plant และ 0.63 g/plant ตามลำดับ ส่วนคอสปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.55 g/plant (ภาพที่ 4.4)

ผลของวัสดุปลูกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสในพืชของผักทั้ง 5 ชนิดพบว่า ผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0.26 g/plant รองลงมาคือผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูก 2 แอ็บอเยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว มีค่าเท่ากับ 0.11 g/plant กรีนโอ๊คพบว่าการดูดใช้ฟอสฟอรัสทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เรดโอ๊คและเรดคอรัลปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 แอ็บอเยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 0.22 g/plant และ 0.26 g/plant ตามลำดับ ส่วนคอสปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีการดูดใช้ในโตรเจนเท่ากับ 0.19 g/plant (ภาพที่ 4.5)

ผลของวัสดุปลูกต่อการดูดใช้ธาตุอาหารโพแทสเซียมในพืชของผักทั้ง 5 ชนิดพบว่า ผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 2.13 g/plant รองลงมาคือผักกาดหอมปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 แอ็บอเยเลอร์หมัก+แกลบดิบ มีค่าเท่ากับ 0.95 g/plant กรีนโอ๊คพบว่าการดูดใช้โพแทสเซียมทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เรดโอ๊ค และเรดคอรัลปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 แอ็บอเยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าสูตรอื่นๆมีค่าเท่ากับ 2.21 g/plant และ 2.04 g/plant ตามลำดับ ส่วนคอสพบว่าการดูดใช้โพแทสเซียมทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 4.6)

#### 4.5.9 ต้นทุนการผลิตของวัสดุปลูก

ต้นทุนของวัสดุปลูกพบว่า สูตรที่ 1 แอ็บอเยเลอร์หมัก+แกลบดิบมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 11.63 บาท สูตรที่ 2 แอ็บอเยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 8.62 บาทซึ่งเป็นต้นทุนที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 11.23 บาท สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+เปลือกถั่ว มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 9.24 บาท ส่วนสูตรที่ 5 ไทยเกษตรศาสตร์ 1 มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 12.08 บาท (ตารางที่ 4.34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกผักกาดหอมหลังการทดลอง

Lettuce													
Treatments	pH	EC (mS/cm)	Total N (%)	OM (%)	C:N Ratio	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	7.92 A	1.12 B	0.84 B	22.75 C	15.73 B	1.95 A	1.05 B	1.63 B	1.40 B	237.43 A	108.50 A	464.71 B	0.95 B
Formular 2	7.56 B	1.51 B	0.76 B	22.34 C	17.07 B	1.91 A	1.10 B	2.80 A	1.73 A	270.52 A	96.49 B	365.14 C	1.39 A
Formular 3	5.88 E	2.83 A	2.10 A	45.24 A	12.47 C	2.11 A	1.13 B	1.18 C	0.51 D	246.14 A	80.39 C	313.52 D	0.55 C
Formular 4	6.47 D	2.63 A	2.15 A	39.60 B	10.67 C	1.14 B	1.54 A	0.33 D	0.68 C	252.77 A	84.60 C	544.70 A	0.72 C
TKSS1	7.75 B	1.33 B	0.26 C	12.28 D	27.70 A	0.13 C	0.29 C	0.21 D	0.09 E	16.31 B	15.67 D	64.75 E	0.04 D
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	0.29	13.72	6.26	7.49	6.79	8.18	4.93	10.19	6.05	14.34	7.79	5.47	13.3

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.25 ค่า pH EC ไนโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกกรีนโอ๊คหลังการทดลอง

Greenoak													
Treatments	pH	EC (mS/cm)	Total N (%)	OM (%)	C:N Ratio	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	7.92 A	0.83 B	0.78 B	21.59 C	16.08 B	1.95 A	1.15 B	2.28 B	1.47 A	238.22 B	100.52 A	391.31 C	1.26 A
Formular 2	7.71 B	1.21 B	0.70 C	18.84 C	15.71 B	1.88 A	1.33 B	3.59 A	1.55 A	291.37 A	93.06 A	402.68 C	1.28 A
Formular 3	6.17 D	1.47 B	2.40 A	38.16 B	9.22 B	1.79 A	0.58 C	1.15 C	0.63 B	263.12 AB	90.98 A	452.29 B	0.68 B
Formular 4	6.49 C	3.24 A	2.43 A	44.45 A	10.61 B	1.48 A	0.46 C	0.66 CD	0.47 B	260.68 AB	93.95 A	506.36 A	0.49 BC
TKSS1	7.72 B	0.69 B	0.19 D	11.78 D	39.89 A	0.08 B	1.48 A	0.20 D	0.11 C	28.46 C	22.33 B	35.78 D	0.16 C
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	0.21	17.28	4.98	6.16	16.95	28.47	13.57	25.92	19.63	8.07	6.59	7.48	33.1

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ่านขี้เถ้าหมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ่านขี้เถ้าหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.26 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็กทั้งหมดของวัสดุปลูกเรดคอรัลหลังการทดลอง

Redcoral													
Treatments	pH	EC (mS/cm)	Total N (%)	OM (%)	C:N Ratio	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	8.08 A	1.08 C	0.81 C	23.35 B	16.82 B	1.86 AB	1.14 B	1.36 AB	1.53 A	277.79 B	119.60 A	426.09 B	1.31 A
Formular 2	7.67 C	1.79 BC	0.78 C	21.67 B	16.01 B	2.42 A	1.29 A	2.12 A	1.51 A	272.15 B	92.08 B	291.99 C	1.18 A
Formular 3	6.68 D	2.34 AB	2.46 A	40.18 A	9.47 C	1.48 B	0.54 C	1.22 B	0.74 B	249.29 B	90.07 B	513.78 B	0.64 B
Formular 4	6.32 E	3.29 A	2.25 B	42.25 A	10.87 C	1.46 B	0.43 D	1.28 AB	0.69 B	366.78 A	91.14 B	645.77 A	0.72 B
TKSS1	7.82 B	0.88 C	0.19 D	14.37 C	43.60 A	0.31 C	1.15 B	0.76 B	0.11 C	83.16 C	23.37 C	67.60 D	0.42 C
F-test	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**
CV (%)	0.28	21.3	4.98	3.33	4.59	24.8	2.2	33.76	11.96	14.54	5.22	14.64	9.45

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.27 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ทั้งหมดของวัสดุปลูกคอกสหลังการทดลอง

Cos													
Treatments	pH	EC (mS/cm)	Total N (%)	OM (%)	C:N Ratio	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	7.92 A	1.30 C	0.84 B	23.32 B	16.19 B	1.38 B	0.25 C	4.72 A	1.67 AB	281.48 A	87.67 AB	428.76 B	1.19 A
Formular 2	7.73 B	0.95 D	0.73 C	21.64 C	17.16 B	2.09 A	0.39 B	3.40 B	1.59 B	286.62 A	94.30 A	348.23 B	1.18 A
Formular 3	6.15 E	2.72 B	2.24 A	42.04 A	10.88 C	1.31 C	0.43 B	1.37 C	1.81 A	294.64 A	88.16 AB	408.96 B	0.78 B
Formular 4	6.47 D	3.33 A	2.32 A	42.49 A	10.64 C	1.25 C	0.95 A	1.11 C	0.71 C	241.75 A	84.23 B	595.38 A	0.69 B
TKSS1	7.61 C	0.96 D	0.21 D	12.72 D	35.41 A	0.16 D	0.28 C	0.23 D	0.05 D	11.06 B	15.11 C	37.66 C	0.04 C
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	0.17	7.67	3.42	2.13	2.59	2.53	7.51	13.6	9.31	13.47	5.68	21.69	9.22

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.28 ค่า pH EC ในโตรเจนทั้งหมด อินทรีย์วัตถุ C:N ratio ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และเหล็ก ทั้งหมดของวัสดุปลูกเรดโอ๊คหลังการทดลอง

Redoak													
Treatments	pH	EC (mS/cm)	Total N (%)	OM (%)	C:N Ratio	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)	Total Cu (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)	Total Fe (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	7.98 A	1.40 B	0.87 B	23.95 B	15.90 B	1.67 AB	1.14 A	1.88 A	1.56A	253.90 A	99.92 A	417.35 B	0.97 B
Formular 2	7.60 C	2.75 A	0.70 C	20.29 C	16.75 B	2.28 A	1.01 B	2.12 A	1.53 A	247.94 A	97.07 A	315.12 C	1.64 A
Formular 3	6.19 E	2.51 B	2.36 A	43.07 A	10.58 C	1.46 B	0.37 C	0.25 BC	0.82 B	265.81 A	77.86 B	475.32 AB	0.62 C
Formular 4	6.51 D	3.51 A	2.29 A	44.52 A	11.27 C	1.33 B	0.45 C	0.72 B	0.73 B	248.54 A	85.92 B	545.77 A	0.58 C
TKSS1	7.70 B	0.72 B	0.20 D	11.58 D	33.56 A	0.09 C	1.08 AB	0.15 C	0.05 C	10.30 B	14.00 C	58.81 D	0.65 C
F-test	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	0.32	25	3.08	2.6	3.07	28.01	8.14	26.37	24.79	10.61	6.87	11	11.63

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

ตารางที่ 4.29 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกผักกาดหอม

Lettuce					
Treatments	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Total porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	0.70 C	56.61 BC	13.70 C	42.90 C	86.38 B
Formular 2	0.85 AB	47.37 D	20.55 A	46.03 BC	59.40 C
Formular 3	0.71 C	63.57 B	17.33 B	47.94 BC	95.55 AB
Formular 4	0.90 A	51.31 CD	22.45 A	49.19 B	61.89 C
TKSS1	0.79 B	79.08 A	20.99 A	58.09 A	105.55 A
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	4.8	7.37	9.29	6.42	10.59

ตารางที่ 4.30 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกกรีนโอ๊ค

Greenoak					
Treatments	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Total porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	0.67 B	60.52 BC	16.89	43.63 C	96.79 B
Formular 2	0.84 A	51.10 D	24.06	46.11 C	65.24 C
Formular 3	0.70 B	66.54 B	22.54	44.00 C	101.08 B
Formular 4	0.87 A	54.29 CD	20.54	54.65 B	67.57 C
TKSS1	0.72 B	90.12 A	23.42	66.70 A	131.44 A
F-test	**	**	ns	**	**
CV (%)	4.36	6.38	13.4	3.41	7.97

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับกรีนโอ๊คใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับกรีนโอ๊คใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกเรดคอรด์

Redcoral					
Treatments	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Total porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	0.69 B	59.24 C	23.78 AB	35.45 D	91.67 B
Formular 2	0.84 A	52.58 C	18.92 AB	52.29 BC	68.30 C
Formular 3	0.68 B	69.38 B	24.75 A	44.63 CD	107.68 B
Formular 4	0.86 A	69.38 B	16.27 B	57.77 B	66.20 C
TKSS1	0.69 B	91.99 A	22.35 AB	69.63 A	139.65 A
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	5.1	5.68	19.92	10.62	10.11

ตารางที่ 4.32 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกคอส

Cos					
Treatments	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Total porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	0.71 B	56.87 CD	18.23	38.64 C	86.03 BC
Formular 2	0.88 A	48.80 D	22.91	45.67 C	59.99 D
Formular 3	0.69 B	67.79 B	26.33	44.28 C	103.68 B
Formular 4	0.83 A	61.21 BC	18.45	59.70 B	78.60 CD
TKSS1	0.70 B	90.16 A	21.02	69.15 A	135.83 A
F-test	**	**	ns	**	**
CV (%)	5.38	7.16	15.25	10	13.71

<sup>1/</sup>Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ขัณฑ์ + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใช้เชื้อจุลินทรีย์ขัณฑ์ + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไพลเกษตรศาสตร์1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

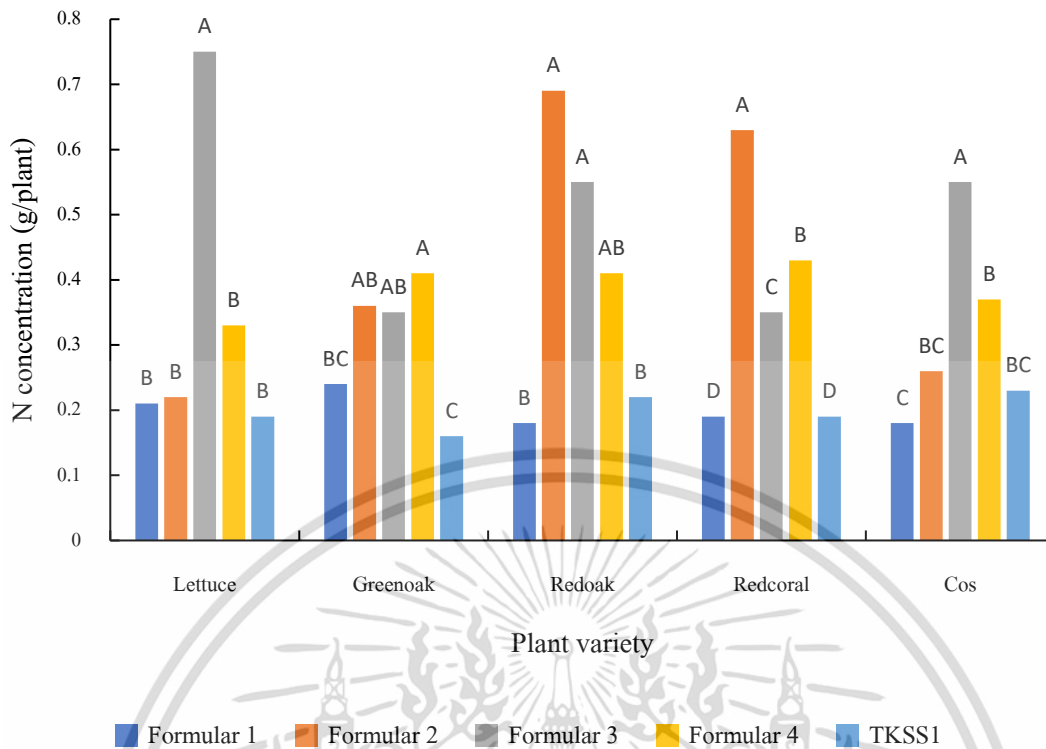
ตารางที่ 4.33 สมบัติทางกายภาพบางประการของวัสดุปลูกหลังจากปลูกเรดโอ๊ค

Redoak					
Treatments	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Total porosity (%)	Macropore (%)	Micropore (%)	Water absorption (%)
Formular 1 <sup>1/</sup>	0.64 C	59.04 C	19.99 BC	39.05 D	98.78 B
Formular 2	0.87 A	50.59 D	25.12 A	44.68 CD	62.16 C
Formular 3	0.65 C	69.82 B	23.40 AB	46.42 C	112.91 A
Formular 4	0.87 A	58.06 C	18.09 CD	56.91 B	72.10 C
TKSS1	0.74 B	83.65 A	14.59 D	69.05 A	118.90 A
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	3.54	4.11	12.43	6.95	6.9

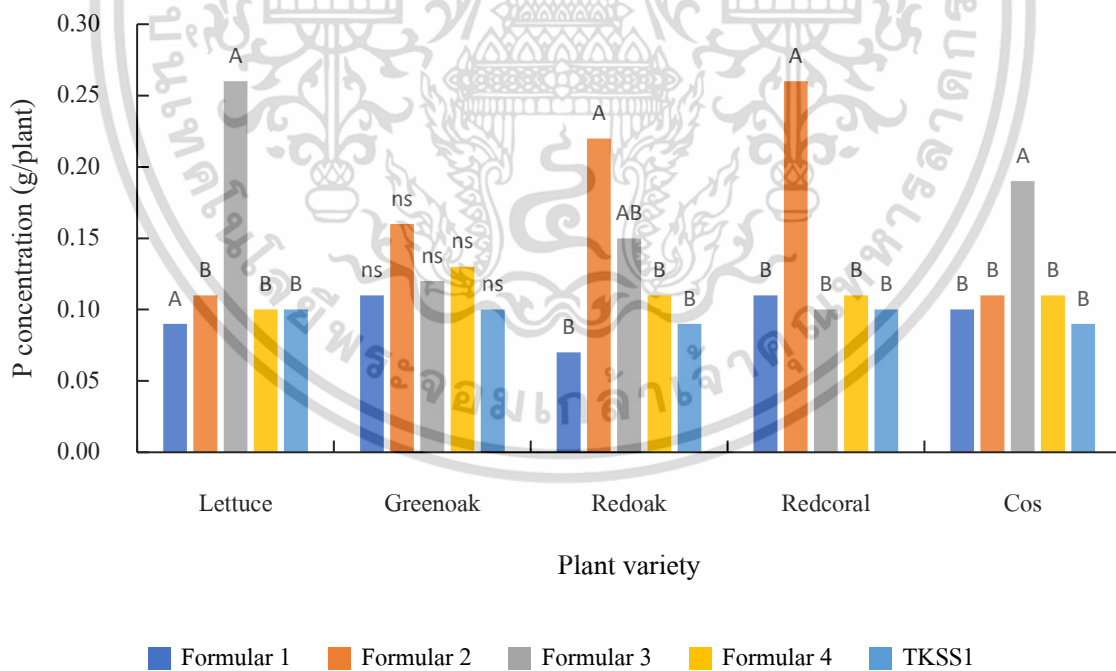
<sup>1/</sup>Formular 1=ถ่านขี้เถ้า + แกลบดิบ, Formular2=ถ่านขี้เถ้า + แกลบดิบ + วัสดุปลูก, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแกลบดิบ + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแกลบดิบ + วัสดุปลูก + แกลบดิบ, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์ 1

\* Significant at p<0.05, \*\* Significant at p<0.01, ns = not significant. Mean in the each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

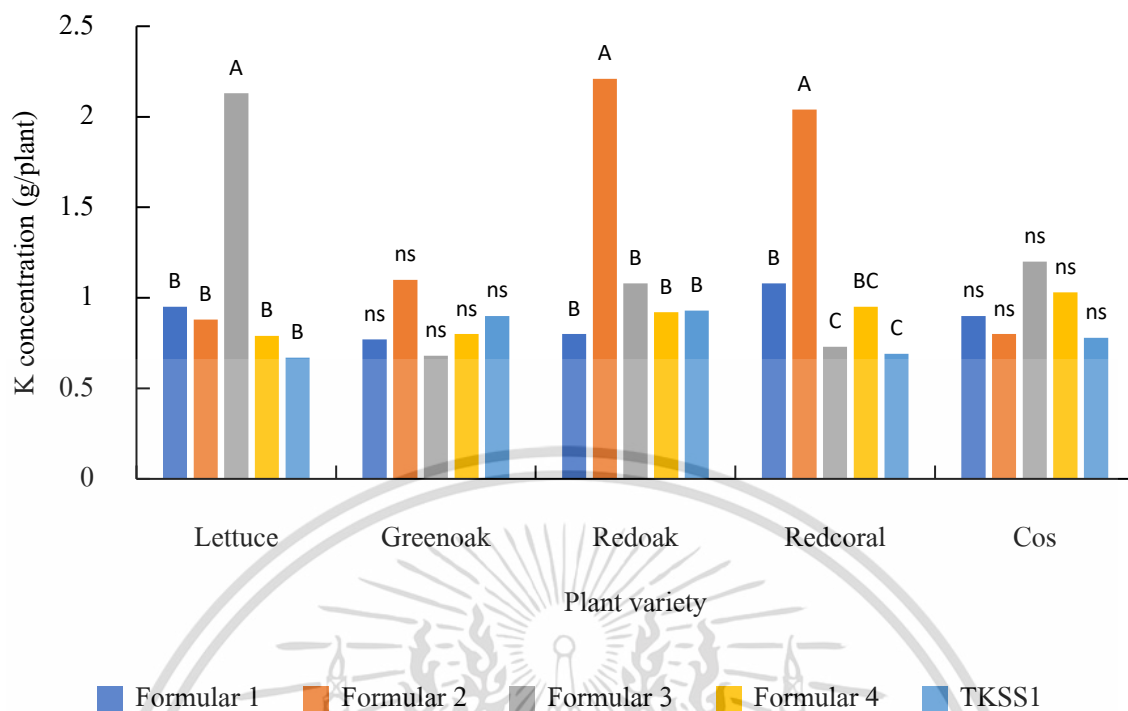


ภาพที่ 4.4 การดูใช้ใน ไตรเจนของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ



ภาพที่ 4.5 การดูใช้ฟอสฟอรัสของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 การดูใช้โพแทสเซียมของผักสลัดที่ปลูกในวัสดุสูตรต่างๆ

Formular 1=ถ้ำบอยเลอร์หมัก + แกลบดิบ, Formular2=ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, Formular3=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก + แกลบดิบ, Formular4=กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1 + เปลือกถั่ว, TKSS1=ไทยเกษตรศาสตร์1

ตารางที่ 4.34 ต้นทุนการผลิตของวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร

สูตรของวัสดุปลูก	ต้นทุนต่อกระถาง (บาท)
Formular 1	11.64
Formular 2	8.62
Formular 3	11.23
Formular 4	9.24
TKSS 1	12.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 วิจารณ์ผลการทดลอง

### 4.6.1 สมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

สมบัติทางกายภาพได้แก่ ความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซึมน้ำของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ในขณะที่สมบัติทางกายภาพของเถ้าบอยเลอร์พบว่า มีเพียงช่องว่างขนาดเล็กเท่านั้นที่แตกต่างตามระยะเวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ซึ่งวัสดุปลูกจะดูดซับน้ำในช่องว่างขนาดเล็กโดยดูดซับภายในอนุภาค หรือระหว่างอนุภาคของวัสดุปลูก (Huang and Mengmeng, 2019) สมบัติทางกายภาพของเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่แตกต่างกันเกิดจากวัสดุในตลอดทั้งปีทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง และกระบวนการบำบัดของเสียที่แตกต่างกัน กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของวัสดุทำให้สมบัติทางกายภาพจากการสุ่มเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งแตกต่างกัน ในขณะที่เถ้าบอยเลอร์เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิจำเพาะสมบัติทางกายภาพจึงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดทั้งปี คุณสมบัติของวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีช่องว่างขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 10-30 % ช่องว่างขนาดเล็ก 45-65 % น้ำที่เป็นประโยชน์ 25-35 % น้ำที่ไม่เป็นประโยชน์ 25-35 % ความพรุนรวม 50-85 % และความหนาแน่นรวม 0.19-0.70 g/cm<sup>3</sup> (Ghehsareh, 2015)

### 4.6.2 การเตรียมวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก

การเตรียมเถ้าบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกโดยกระบวนการหมักพบว่า ในระหว่างกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH, EC และอุณหภูมิ ค่า pH มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำที่สุดในวันที่ 90 ของการหมัก (วันสุดท้ายของการหมัก) การลดลงของ pH อาจเกิดจากกระบวนการเกิดออกซิเดชันของเอโนไซม์ และการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ (Khan et al, 2009) การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกรดอินทรีย์ในระหว่างการสลายตัวของสารอินทรีย์ (Zakarya et al. 2019) นอกจากนี้อาจเกิดจากการระเหยของแอมโมเนียในโตรเจน และไฮโดรเจนไอออน (H<sup>+</sup>) ผ่านกิจกรรมไนตริฟิเคชันของ Nitrifying bacteria (Roca-Pérez et al. 2009) การเตรียมเถ้าบอยเลอร์ก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกโดยการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ทำให้เถ้าบอยเลอร์มี pH ลดลงและมีค่าเข้าใกล้เป็นกลางมากขึ้นซึ่งเหมาะสมในการเป็นวัสดุปลูก ส่วนการปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติยังคงส่งผลให้วัสดุมีค่า pH สูง อย่างไรก็ตาม การหมักกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ทำให้ pH ของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพลดลง และมีค่า pH เป็นกรดมากขึ้น ซึ่งอาจลดการงอก และการเจริญเติบโตของพืช ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกเมื่อเริ่มต้นการหมักวัสดุจนถึงสิ้นสุดการหมักวัสดุมีความแตกต่างกัน โดยมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่า EC บ่งบอกถึงระดับความเค็มในวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ความเค็มเป็นพิษต่อพืช และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Singh et al. 2012) ซึ่งในทริทเมนต์ที่ 2 เถ้าบอยเลอร์หมักและทริทเมนต์ที่ 3 เถ้าบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่า EC ต่ำที่สุด (ไม่มีความเค็ม) สอดคล้องกับผลการทดลองในด้านการเจริญเติบโตของผักสลัดโดยพบว่า พืชที่ปลูกในสูตรที่ 2 เถ้าบอยเลอร์หมักส่งผลให้พืชมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและรากสูงกว่าสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 4.10) นอกจากนี้ ค่า EC ของวัสดุยังเกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุเพิ่มขึ้น โดยค่า EC ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมักปุ๋ยเกิดจากการปลดปล่อยธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร เช่น แอมโมเนียม และฟอสเฟต (Singh et al. 2012) โดยธาตุอาหารเหล่านี้ไม่ถูกจับกับสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน หรือสูญเสียไปจากการชะละลาย (Franco. 2005) ในด้านของอุณหภูมิของวัสดุพบว่า อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 21-35 วันของการหมักปุ๋ย โดยเฉพาะที่ 5 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก และที่ 6 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 เพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Chinakwe et al. 2019) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักแสดงให้เห็นว่าวัสดุอินทรีย์ผ่านขบวนการต่างๆในการทำปุ๋ยหมัก ได้แก่ ขบวนการ mesophilic ขบวนการ thermophilic ขบวนการ cooling และ ขบวนการ maturation (Chinakwe et al. 2019)

#### 4.6.3 การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ

ถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพมีปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีชีวมวลจุลินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูง ถ้ำบอยเลอร์ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งมีธาตุอาหารมากมาย เช่น โปแทสเซียม แคลเซียม เหล็ก และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช (Jha et al. 2010) การปลดปล่อยธาตุอาหารจากวัสดุจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา และมีการปลดปล่อยสูงที่สุดในช่วง 45-60 วัน ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกผักประเภทต่างๆ ถ้ำบอยเลอร์ปลดปล่อยฟอสฟอรัส โปแทสเซียม และแมกนีเซียมได้สูงซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ (ตารางที่ 4.2) กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่ระยะเวลาการบ่มวัสดุ 15 วันแรกปลดปล่อยแอมโมเนียมปริมาณน้อย และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการบ่ม 30 วันขึ้นไป เนื่องจากในระยะเวลาแรกไนโตรเจนที่ปลดปล่อยออกมาถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ (Azeez. 2010) และหลังจากนั้นแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งไนโตรเจนที่ได้จากกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพได้มาจากโปรตีน และเมื่อสิ้นสุดการบ่มไนโตรเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไนเตรต (ภาพที่ 4.2 B) นอกจากกระบวนการไนตริฟิเคชันแล้ว ไนเตรตอาจเกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น โปรตีน กรดโรโบนิวคลีอิก สอดคล้องกับกระบวนการที่เกิดขึ้นกับเส้นใยจากปาล์ม และแกลบ (ทัศนีย์ แก้วมรกต. 2557) ถ้ำบอยเลอร์ และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพนอกจากเป็นวัสดุปลูกพืชแล้วยังสามารถใช้เป็นสารปรับสภาพดินเพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืช และปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้อีกด้วย

#### 4.6.4 อิทธิพลของวัสดุหลังหมัก และวัสดุให้ความพรุนต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอม

วัสดุปลูกที่ได้จากกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีปริมาณธาตุอาหารสูง แต่ส่งผลให้พีชมีเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอกของต้นกล้าต่ำ อาจเป็นผลมาจากปริมาณไนโตรเจนในวัสดุ Nesse et al. (2018) พบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมที่สูงกว่า 0.1 g/100 g DM และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่า 3 % ในวัสดุปลูกเป็นพิษต่อพืช การงอกของเมล็ดพืชอาจได้รับผลกระทบจากสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุ นอกจากนี้ความเค็มจะยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชโดยส่งผลต่อการดูดซึมน้ำที่มีความสำคัญต่อการงอก (Marchiol. 2002) วัสดุปลูกที่มีความชื้น ช่องว่างอากาศที่เหมาะสม รวมถึงมีความพรุนเพียงพอจะส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างวัสดุปลูก และเมล็ดพืช อีกทั้งยังส่งผลให้มีค่าดัชนีการงอกที่ดี แกลบมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (Gawankar. 2019) ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของต้นกล้า เปลือกถั่วมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเผยแพร่เท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพด้านความพรุนที่ดีกว่าเพอไลต์ และแกลบเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอกที่สูงกว่าเพอไลต์ และแกลบ วัสดุปลูกที่ดีต้องมีเปอร์เซ็นต์การงอก 80 % ขึ้นไป เพอไลต์เป็นวัสดุที่ให้ความพรุนได้ดีกว่าแกลบ แต่แกลบเป็นผลพลอยได้จากพืชที่มีต้นทุนต่ำ วัสดุปลูกที่ดีจะต้องให้ธาตุอาหารแก่รากพืชอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการพัฒนาต้นกล้า (Adediran, 2005) สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมคือ ค่า pH 5.60-6.00 (Brechtner et al. 2013) ค่า EC 1.80 mS/cm (Samarakoon et al. 2019) และอุณหภูมิ 19-24 °C (Samarakoon et al. 2020)

#### 4.6.5 อัตราส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และอิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของผักสลัด

##### 4.6.5.1 อิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของพืช

วัสดุปลูกพืชทุกชนิดเมื่อทำการปลูกพืชแล้ว ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันโดยพิจารณาจากตัวชี้วัดในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน และราก ความกว้างทรงพุ่ม ความสูง จำนวนใบ เป็นต้น โดยพบว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถัวย่อยเลอรั่มักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วเหมาะสำหรับใช้ปลูกผักกาดหอม กรีน โอ๊ค เรด โอ๊ค เรดคอรัล และคอส) และส่งผลให้ผักสลัดทั้ง 5 สายพันธุ์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการปลูกในวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 แต่หากพิจารณา ร่วมกับการคัดเลือกธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม) แล้วจะพบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถัวย่อยเลอรั่มักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว เหมาะสำหรับใช้ปลูกผักกาดหอม และคอส วัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วเหมาะสำหรับใช้ปลูกกรีน โอ๊ค วัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถัวย่อยเลอรั่มักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมมากกว่าวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว นอกจากนี้ยังมีค่า pH เป็นด่างอ่อน ส่วนวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วมีปริมาณ ไนโตรเจน อินทรีย์วัตถุ และค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าสูตรที่ 2 ถัวย่อยเลอรั่มักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่ว รวมถึงค่า pH เป็นกรดปานกลาง

##### 4.6.5.2 อิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อปริมาณธาตุอาหารในพืช

ผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ และ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วจะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ ยกเว้น แมงกานีส และเหล็กซึ่งจะพบมากในผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 วัสดุปลูกสูตรที่ 3 และ 4 มีค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า และความพรุนรวมอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับผักสลัด โดยค่า pH อยู่ในช่วงกรดปานกลาง จึงอาจส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารของผักสลัดดีกว่าสูตรที่ 2 ซึ่งมีค่า pH เป็นด่างอ่อน คอส เรดคอรัล ผักกาดหอมยังให้ปริมาณไนโตรเจนในใบต่ำ อาจเป็นผลจากในช่วงสัปดาห์ที่ 4 และ 5 อุณหภูมิสูงส่งผลให้มีการคายน้ำ และทำให้การดูดใช้ในไนโตรเจนจากวัสดุปลูกได้น้อย เนื่องจากไนโตรเจนจะเคลื่อนที่ไปสะสมในพืชได้จากการคายน้ำของพืช Osotsapa (2009) กล่าว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า อัตราการคายน้ำของพืชส่งผลต่อการกระจายตัวของไนเตรทในไซเลม โดยไอออนจะเคลื่อนย้ายไปยังยอดอ่อนของต้นพืช

#### 4.6.5.3 อิทธิพลผลของวัสดุปลูกต่อสมบัติของวัสดุปลูกหลังการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางเคมีบางประการของวัสดุหลังการทดลองมีแนวโน้มไม่ชัดเจน โดยมีแนวโน้มทั้งเพิ่มมากขึ้น ลดลง และไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับวัสดุปลูกก่อนการทดลอง อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงในพืชต่างชนิดกันยังมีทิศทางแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากความต้องการธาตุอาหารของพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน Barickman *et al.* (2016) รายงานว่า เมื่อปลูกผักกาดหอมสีแดงในวัสดุปลูกที่มีโพแทสเซียมสูงส่งผลให้ผักกาดหอมสีแดงมีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ความสูง และปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่ารับควบคุม สอดคล้องกับความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในเรดโอ๊คเมื่อทำการปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 1 ถั่วบอยเลอร์หมัก + แกลบคิบพบว่าส่งผลให้มีความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมทั้งหมดสูงถึง 1.14 % เมื่อเทียบกับวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 4.28) Vahos *et al.* (2019) พบว่า สารสีแดงที่อยู่ในผักสลัดเป็นตัวกำหนดกระบวนการเมตาบอลิซึมของผักสลัดส่งผลให้ผักสลัดสีแดงมีสารแอนโทไซยานิน และสารต้านออกซิเดชันสูงกว่าผักสลัดใบสีเขียว โดยความเข้มข้นของสารสีแอนโทไซยานิน (ฟลาโวนอยด์) ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม แสง และธาตุอาหารที่พืชได้รับ โดยธาตุอาหารพืชที่เกี่ยวข้องกับสารสังเคราะห์แอนโทไซยานินคือไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสอดคล้องกับผลการทดลองซึ่งพบว่าเรดคอรด์ และเรดโอ๊คที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถั่วบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์พด.1+เปลือกถั่วมีการดูดใช้ในโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงกว่าผักสลัดชนิดอื่นๆ Alberici *et al.* (2008) รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่เพิ่มขึ้น และผลผลิตของเคลส (*Lepidium sativum* L.) มีปริมาณต่ำอาจเป็นผลมาจากการได้รับน้ำและการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมเนื่องจากโพแทสเซียมส่งผลให้พืชกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์และเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ในระหว่างการงอกของเมล็ด

ในด้านสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกหลังการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกสูตรต่างๆแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คงเดิม ยกเว้นช่องว่างขนาดใหญ่ และความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่องว่างขนาดใหญ่เป็นช่องว่างที่พืชใช้กักเก็บน้ำ ธาตุอาหาร แลกเปลี่ยนอากาศ ระหว่างรากพืชส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้ดี และเป็นวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกผักสลัด โดยคุณสมบัติของวัสดุปลูกที่เหมาะสมควรมีช่องว่างขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 10-30 % ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำของวัสดุปลูกเกี่ยวข้องกับช่องว่างใหญ่เนื่องจากรากพืชสามารถดูดน้ำจากช่องว่างดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้วัสดุปลูกดูดยึดความชื้นได้ดี และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สมบัติเบื้องต้นของเถ้าบอยเลอร์และกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความพรุน ช่องว่างขนาดใหญ่ ช่องว่างขนาดเล็ก และการดูดซึมน้ำของกากตะกอน หลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง โดยกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่างๆซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของวัสดุทำให้สมบัติทางกายภาพจากการสุ่มเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งแตกต่างกัน ในขณะที่สมบัติทางกายภาพของเถ้าหม้อบอยเลอร์พบว่า มีเพียงช่องว่างขนาดเล็กเท่านั้นที่แตกต่างตามระยะเวลาที่สุ่มเก็บตัวอย่าง เถ้าบอยเลอร์เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิจำเพาะสมบัติทางกายภาพจึงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดทั้งปี

5.1.2 การเตรียมวัสดุโดยการหมักก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุปลูก ในเถ้าบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 โดยการหมักร่วมกับจุลินทรีย์ทำให้เถ้าบอยเลอร์มี pH ลดลงและมีค่าเข้าใกล้เป็นกลางมากขึ้นซึ่งเหมาะสมในการเป็นวัสดุปลูก ส่วนการปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติยังคงส่งผลให้วัสดุมีค่า pH สูง อย่างไรก็ตาม การหมักกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ทำให้ pH ของกากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพลดลง และมีค่า pH เป็นกรดมากขึ้น ซึ่งอาจลดการงอก และการเจริญเติบโตของพืช ส่วนค่า EC ในเถ้าบอยเลอร์หมักและพีทมেন্টที่ 3 เถ้าบอยเลอร์หมักร่วมกับใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่า EC ต่ำที่สุด (0.52-0.70 mS/cm) ซึ่งค่า EC เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม

5.1.3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์สูงกว่าเถ้าบอยเลอร์ และการปลดปล่อยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า เถ้าบอยเลอร์มีการปลดปล่อยเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มสูงสุดในวันที่ 45 ของการบ่ม จากนั้นจะลดลงในวันที่ 60 ของการทดลองซึ่งเหมาะสมกับการปลูกผักประเภทต่างๆ และเถ้าบอยเลอร์ปลดปล่อยทั้ง 3 ธาตุนี้ได้สูงกว่ากากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพ อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของการปลดปล่อยแคลเซียมจากวัสดุทั้ง 2 ชนิดตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา

5.1.4 การทดสอบประสิทธิภาพวัสดุหลังการเตรียมด้วยวิธีการต่างๆต่อการงอกของต้นกล้าผักกาดหอมโดยใช้เพอร์ไลต์ แกลบ หรือเปลือกถั่วลิสง เป็นวัสดุผสมเพื่อเพิ่มความพรุน พบว่าเถ้าบอยเลอร์หมัก มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุดคือ 88.52 % ส่วนดัชนีการงอกพบว่า กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการเติมเชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 มีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุดคือ 22.74 เปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเพอร์ไลต์ และแกลบ เนื่องจากทำให้พืชมีเปอร์เซ็นต์การงอก และดัชนีการงอก 85.27 % และ 21.38 ตามลำดับ นำข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คัดเลือกวัสดุที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารดีที่สุดในชุด โดยใช้วัสดุจากกระบวนการหมัก 50 % ร่วมกับวัสดุให้ความพูน 30 % และมีการเติมปุ๋ยคอก 20 % ในทุกทริทเมนต์เหมือนกันได้วัสดุปลูก 4 สูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 ถ้ำบอยเลอร์หมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อ พด.1+เปลือกถั่ว สูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบ สูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่ว และใช้สูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 (ขุยมะพร้าว ปุ๋ยคอก ทราข แกลบดิบ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 อัตราส่วน 1:2:1:1:0.25 ส่วน) เป็นสูตรเปรียบเทียบ โดยทดสอบปลูกผักสลัด 5 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัล คอส และเรดโอ๊ค

5.1.5 ในด้านการเจริญเติบโตของพืช พบว่า เมื่อปลูกผักกาดหอม กรีนโอ๊ค เรดคอรัลในสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว ส่งผลให้ผักสลัดมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน ความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าสูตรอื่นๆ เมื่อปลูกคอส และเรดโอ๊คในสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบส่งผลให้ผักสลัดมีน้ำหนักสดส่วนเหนือดิน ความกว้างทรงพุ่มสูงกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนจำนวนใบเมื่อถึงสัปดาห์สุดท้ายของการทดลอง เมื่อปลูกคอส กรีนโอ๊ค และเรดคอรัลในวัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่วมีจำนวนใบสูงกว่าปลูกในวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ

ในด้านธาตุอาหารพืช พบว่า การดูดดึงธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) พบว่า วัสดุปลูกสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว เหมาะสำหรับการใช้ปลูกผักกาดหอม และคอส วัสดุปลูกสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วเหมาะสำหรับการใช้ปลูกกรีนโอ๊ค ผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบและสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่ว จะมีความเข้มข้นของธาตุอาหารที่สูงกว่าวัสดุปลูกสูตรอื่นๆ ยกเว้น แมงกานีส และเหล็กซึ่งจะพบมากในผักสลัดที่ปลูกในวัสดุปลูกสูตรไทยเกษตรศาสตร์ 1 วัสดุปลูกสูตรที่ 3 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมัก+แกลบดิบและสูตรที่ 4 กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่ว กากตะกอนหลังจากการผลิตแก๊สชีวภาพหมักร่วมกับการใส่เชื้อพด.1+เปลือกถั่ว มีค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับผักสลัด

ในด้านสมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกหลังการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูกต่างๆแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุปลูก เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการทดลองพบว่า สมบัติทางกายภาพส่วนใหญ่คงเดิม ยกเว้นช่องว่างขนาดใหญ่ และความสามารถในการอุ้มน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

5.1.6 ต้นทุนการผลิตวัสดุปลูกในสูตรที่ 2 ถ้ำบอยเลอร์หมักร่วมกับการใส่เชื้อจุลินทรีย์ พด.1+เปลือกถั่วมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 8.62 บาทต่อกระถาง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์คุณภาพของผักสลัด เช่น รสชาติของผักสลัดที่ทำการปลูกในวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กมลชนก เจริญศรี วรชาติ วิสวพิพัฒน์ ทิมทอง ดรณสนธยา และ ณิชูพร ประคองเก็บ. 2560. อิทธิพลของถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช และการละลายของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจัด. *ว.วิทย์.เกษตร*. 48 (2): 270-283.
- กาญจนา มาล้อม. 2556. การเจริญเติบโตของสร้อยไก่ 'Kimono Yellow' ที่ปลูกในดินผสมโยหิน ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน. 19 หน้า.
- กัญจิกา ยงมณี. 2560. การผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เถ้าบอยเลอร์ และตะกอนสลัดจ์ปาล์มน้ำมันร่วมกับ มูลสัตว์. รายงานปฏิบัติการสหกิจศึกษา. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 92 หน้า.
- ไกรศรี ทองเสมียน. 2551. ความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของดินต่อระบบ การปลูกมันสำปะหลังอินทรีย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 151 หน้า.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น*. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 หน้า.
- ชิดชนก โชติภักดิ์. 2557. การใช้แทนแแดงเป็นวัสดุเพาะเมล็ดและวัสดุปลูกควาเรือง. ปัญหา พิเศษปริญญาตรี คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 24 หน้า.
- ณัฐฐาทศน์ เจียเปี้ยว. 2558. การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิต ปุ๋ยหมักร่วมจากทะเลลายปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีเคนเตอร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 163 หน้า.
- ทัศนีย์ แก้วมรกต. 2557. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดุกโคเผาป่น และมูลแพะ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 85 หน้า.
- ชนวัฒน์ รักรยะ โป๊ะ วรชาติ วิสวพิพัฒน์ สุรเชษฐ์ อร่ามรักษ์ และ ณิชูพล จิตมาตย์. 2561. อิทธิพล ของขี้เถ้าและถ่านชีวภาพจากแกลบต่อสัดส่วนของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจัด และการ เจริญเติบโตของข้าว. *ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์*. 5 :4-10.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. 2543. *สลัด/ผักกาดหอม*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://vegetweb.com/wp-content/download/let.pdf>. (วันที่สืบค้นข้อมูล: 25 พฤษภาคม 2562).
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุกรักษ์. 2550. *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 281 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เนตรชนก เกียรติ์นนทพัทธ์ และ ชวนพิศ อรุณรังสิกุล. 2555. วัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและการเกิดรากของต้นกล้าผักขาว. *แก่นเกษตร*. 43(2) (ฉบับพิเศษ): 305-308.
- บัญชา รัตนีทุ และศิริราณี วงศ์กระจ่าง. 2561. ผลของการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อปรับปรุงดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวหอมกระดังงา (สายพันธุ์พื้นเมือง). *แก่นเกษตร*. 46(ฉบับพิเศษ 1): 464-467.
- ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์. 2559. การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้น และกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 163 หน้า.
- ประภาวรรณ กระจ่างลิขิต. 2557. การศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกและระดับความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน และ โปแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของแพงพวยเลื่อย. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 39 หน้า.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. *สารปรับปรุงดิน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 248 หน้า.
- พรศิลป์ สีเผือก ปุณพิชญ์ ผดุงมาศ พิชชา แก้วมโน และ วุฒิชัย สีเผือก. 2557. การใช้กากสลัดจ์ปาล์มน้ำมันเป็นอาหารเสริมสำหรับเพาะเห็ดนางฟ้าภูฐาน. *แก่นเกษตร*. 42 (ฉบับพิเศษ): 374-379.
- พิสมัย จูทะมงคล. 2543. ผลของเครื่องปลูก ชนิด อัตรา และวิธีการให้ปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. วิทยาสตรมหาบัณฑิต. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 140 หน้า.
- พูนสุข ประเสริฐสรรพ เสาวลักษณ์ จิตบรรเจิดกุล และอริญ หันพงษ์กิตติกุล. 2533. กระบวนการผลิตการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้ง และคุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม. *ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์*. 12(2): 169-176.
- ภราภรณ์ เหล็กสูงเนิน วรชาติ วิศวิพัฒน์ และดาวจรัส เกตุโรจน์. 2560. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบต่อสภาพการละลายของจุลธาตุอาหารพืชและการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินเหนียว. *ว.พืชศาสตร์สงขลานครินทร์*. 4(3): 65-74.
- มะลิวัลย์ หฤทัยชนาสันต์ เทพา ผุดผ่อง ยุทธนา บรรจง และเกษม หฤทัยชนาสันต์. 2556. การพัฒนาปุ๋ยอินทรีย์เคมีจากเศษเหลือใช้ของโรงไฟฟ้าชีวมวลและวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตร. 125 หน้า. ใน *เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51: สาขาพืช* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขาวพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. 2552. การเจริญเติบโตของฝักกาดหอมพันธุ์ Red Oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ด้วยสารละลายสูตรต่าง ๆ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 17(2): 81-88.

รณรงค์ อยู่เกตุ ภัทรพล บุตรจิว และ วิไลลักษณ์ ชินะจิตร. 2557. ผลของวัสดุเพาะกล้าและการแช่เมล็ดพันธุ์ที่มีต่อการผลิตทานตะวันงอก. *แก่นเกษตร*. 42 (ฉบับพิเศษ 3 ): 926-930.

วิทยา สุริยาภณานนท์. 2528. *อาหารและเครื่องปลูกของพืชสวน*. เอกสารคำสอน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 40 หน้า.

ศุภวันจักรี พลมีศักดิ์ เมธิ ырจันทร์ศรี และชิต ยุทธวรวิทย์. 2555. *การพัฒนาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

[http://www.dld.go.th/nutrition/PLAN47/develop\\_thec/techno%20010.html](http://www.dld.go.th/nutrition/PLAN47/develop_thec/techno%20010.html). (วันที่สืบค้นข้อมูล: 31 มีนาคม 2561).

ศิริธานี วงศ์กระจ่าง และ บัญชา รัตนินู. 2561. ผลของการใช้ดินผสมจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น จังหวัดนราธิวาสต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค. *วารสารแก่นเกษตร*. 46 (ฉบับพิเศษ 1) : 1157-1160.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. 2559. *ฝักกาดหอมทั่วไป*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก

<https://hkm.hrdi.or.th/knowledge/detail/9> (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 พฤษภาคม 2562).

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. 2562. *โครงการเด่นฝ่ายบริหารวิชาการ*” หน้า 14-18. ใน *การประชุมรายงานการวิจัยประจำปี 2562*. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุกัญญา เข้มประชา. 2554. *เคมีดิน (soil chemistry)*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 254 หน้า.

สุปราณี ออบเทียน สิริณารี เงินเจริญ และประทีป อุปแก้ว. 2560. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุปลูกจากกากขานอ้อยและกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*. 12 (1):79-92.

สุมิตรา สุป็นราช และอิสรุ์ สุป็นราช. 2561. ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโตของฝักกาดหอมกระถาง. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 49 (ฉบับพิเศษ 1): 47-52.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. *ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร : ปาล์มน้ำมัน*. [ออนไลน์].

เข้าถึงได้จาก: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/oilpalm60.pdf>.

(วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 พฤษภาคม 2562).

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ. 2556. *สรรพคุณและประโยชน์ของ*

*ฝักกาดหอม*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://medthai.com/ฝักกาดหอม/> (วันที่สืบค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อมูล: 19 มิถุนายน 2562).
- อภิชาติ ศรีสอาด และณัฐชญาณนต์ ดินรรมรัมย์. 2558. *ปลูกผักสลัดเชิงการค้า*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟ้าอินเตอร์มีเดีย. 112 หน้า.
- อภิรักษ์ หลักชัยกุล. 2539. *การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในผักกาดหอม*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 50 หน้า.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. *การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics)*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 146 หน้า.
- อุทัยวรรณ กันใจแก้ว. 2554. *ผลของอุณหภูมิในการดูดซับกรดฮิวมิกในน้ำบนขมิ้น: เปรียบเทียบระหว่างขมิ้นจากเครื่องยนต์ดีเซลและขมิ้นจากขีวมวล*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 93 หน้า.
- อุมาวดี ลีเมธียกุล. 2546. *การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์ red oak ที่ปลูกในวัสดุขุยมะพร้าวผสมทรายเมื่อได้รับธาตุอาหาร ไนโตรเจน แคลเซียม และโพแทสเซียมในระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 104 หน้า.
- อริสรา ผาสุษ ประสิทธิ์ ชุตินุเดช และเบญจวรรณ ชุตินุเดช. 2562. *การเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณการสะสมไนเตรทในผักสลัด 5 พันธุ์ ที่ปลูกภายใต้ระบบไฮโดรโปนิกส์*. *วิทยุยมส.* 392-401.
- APHA. 1998. *Standard methods for the examination of water and waste water (20<sup>th</sup> ed.)*. Washington DC. American Public Health Association.
- APHA. 1999 *Standard methods for the examination of water and waste water*. Washington DC. American Public Health Association.
- AOSA. (1983). *Seed vigor testing handbook*. Contribution no. 32. Assoc Officers. Seed Analyst.
- Agius, C. 2015. *The yield and quality of lettuce crop, grown in different growing media*. Division of Rural Sciences and Food Systems. Institute of Earth Systems. University of Malta. 1-188.
- Adediran, J. A. 2005. Growth of Tomato and Lettuce Seedlings in Soilless Media. *Int. J. Veg. Sci.* 11(1): 5-15.
- Azeez, J.O. 2010. *Evaluation of the potassium supplying abilities of three animal manures: an incubation study*. Department of Soil Science and Land Management, University of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Agriculture, Abeokuta, Nigeria. 1-9.
- Alberici, A., E. Quattrini, M. Penati, L. Martinetti, P. Marino Gallina, A. Ferrante, and M. Schiavi. 2008. Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system. *Acta Hortic.* 801 (801):1167–76.
- Arruda, B., Rodrigues, M., Gumiere, M. and Pavinato, M. 2019. The impact of sugarcane filter cake on the availability of P in the rhizosphere and associated microbial community structure. *Soil Use Manag.* 35: 334–345.
- Brechner, M., Both, A.J. and Staff, C.E.A. 2013. *Hydroponic lettuce handbook*. Cornell Controlled Environment Agriculture, Ithaca, NY. 203-620.
- Barickman, T.C. and Horgan, T.E. 2016. Elevated levels of potassium in greenhouse-grown red romaine lettuce impacts mineral nutrient and soluble sugar concentrations *Hort. Sci.* 51(5):504–509
- Belala E.B. and El-Mahrouk, M.E. 2010. Solid-State fermentation of rice straw residues for its use as growing medium in ornamental nurseries. *Acta Astronautica.* 67: 1081–1089.
- Calvo, M.S., Moshfegh, A.J. and Katherine, L. 2014. Assessing the Health Impact of Phosphorus in the Food Supply: Issues and Considerations. *Adv Nutr.* (1):104-13 DOI:10.3945/an.113.004861.
- Chavananand, K. 2013. Palm oil residue waste potential and waste utilization in Thailand. In: *Clean Power Asia Conference & Expo 2013*. April 29-30. p. 1-24.
- Chinakwe, E.C., Ibekwe, V.I., Ofoh, M.C., Nwogwugwu, N.U., Adeleye, S.A., Chinakwe, P.O., Nwachukwu, I.N. and Ihejirika, C.E. 2019. Effect of temperature changes on the bacterial and fungal succession patterns during composting of some organic wastes in greenhouse. *J. adv. microbiol.* 15(1): 1-10.
- Chintala, R., Schumacher, T.E., McDonald, L.M., Clay, D.E., Malo, D.D., Papiernik, S.K., Clay, S.A. and Julson, J.L. 2014. Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. *Clean (Weinh).* 42(2): 626-634.
- Choi, H.S., Zhao, Y., Dou, H.J., Cai, X.Y., Gu, M. and Yu, F. 2018. Effects of biochar mixtures with pine-bark based substrates on growth and development of horticultural crops. *Hortic Environ Biotechnol.* 59(5):345–354.
- Chiloane, T.S. 2012. *Effect of nutrient concentration and growing seasons on growth, yield and quality of leaf lettuce in a hydroponic system*. Inst. Agrar: Plant production in University

of Pretoria.

Doydora, S.A., Cabrera M.L., Das K.C., Gaskin J.W., Sonon L.S. and Mille W.P. 2011.

Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter amended with acidified biochar.

*Int. J. Environ. Res. Public Health.* 8 (5):1491-1502.

Dede, O.H. and Saim, O. 2017. Development of nutrient-rich growing media with hazelnut husk and hazelnut husk and municipal sewage sludge. *Environ. Technol.* 39(17):2223-2230.

Francou, C., Poitrenaud, M. and Houot, S. 2005. Stabilization of organic matter

during composting: Influence of process and feedstocks. *Compost Sci. Util.* 13(2): 1-10.

Falovo, C., Roupheal, Y., Rea, E., Battistelli, A. and Colla, G. 2009. Nutrient solution

concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* var. acephala in floating raft culture. *J. Sci. Food Agric.* 89(3): 1682-1689.

Gomah, H.H., Ahmed, M.M., Abdalla, R.M., Farghy, A.Kh. and Eissa, M.A.

2020. Utilization of some organic wastes as growing media for lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *J. Plant Nutr.* 1(14). 2092-2105.

Gattullo, C.E., Mininni, C., Parente, A., Montesano, F.F., Allegretta, I. and Terzano, R. 2017.

Effects of municipal solid waste and sewage sludge-compost-based growing media on the yield and heavy metal content of four lettuce cultivars. *Environ Sci Pollut Res.* 24: 25406–25415.

Gawankar, M.S., Haldankar, P.M., Haldavanekar, P.C., Salvi, B.R. and

Jamadagni, B.M. 2019. Studies on seed germination and seedling growth in Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) as influenced by media. *Int. J. Chem. Stud.* 7(5):1699-1705.

Ghehsareh, A.M. 2015. Effect of plant growth on some physical properties of potting

culture media. *Int J Recycl Org Waste Agr.* 4(2):205–209.

Hong, C., Su, Y. and Lu, S. 2018. Phosphorus availability changes in acidic soils

amended with biochar, fly ash, and lime determined by diffusive gradients in thin films (DGT) technique. *Environ Sci Pollut Res.* 30(2):30547-30556.

Huang, L. and Mengmeng, G. 2019. Effects of biochar on container substrate properties

and growth of plants a review. *Horticulturae.* 5:(14). 1-25.

ISTA. 2013. *International Rules for Seed Testing, Edition 2013.* ISTA, Switzerland.

Ismail, M.H., Sumadi, S.R., Aamer, M.H., Mostafa, S. and Sajjadi, S.M. 2014. Binary effect of

fly ash and palm oil fuel ash on heat of hydration aerated concrete. *Sci. World J.* 5(6):1-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.

- Jamil, M. and Qasim, M. 2008. Integrated use of boiler ash as organic fertilizer and soil conditioner with NPK in calcareous soil. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 30 (3):282-289.
- Jiang, Y.H., Li, A.U., Deng, H., Ye, C.H., Wu, Y.Q., Linmu, Y.D. and Hang, H.L. 2019. Characteristics of nitrogen and phosphorus adsorption by Mg-loaded biochar from different feedstocks. *Bioresour. Technol.* 276:183–189.
- Jones, B.J.Jr. 1991. *Plant Tissue Analysis in Micronutrients*. Micro-Macro International, Athens, Georgia. p. 478-508.
- Jha, P., Biswas, A.K., Lakaria, B.L. and Subba, R.A. 2010. Biochar in agriculture-prospects and related implications. *Curr. Sci.* 99: 1218-1225.
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, Ottner, R., Liedtke, F., Schwanninger, V., Gerzabek, M. and Soja, G. 2012. Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *J. Environ. Qual.* 41:990–1000.
- Kleiber, T. 2014. Effect of manganese nutrition on content of nutrient and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic. *Ecol. Chem. Eng. S.* 21(3):529-537.
- Khan, M. A. I., Ueno, K., Horimoto, S., Komai, F., Tanaka, K. and Ono, Y. 2009. Physicochemical, including spectroscopic and biological analyses during composting of green tea waste and rice bran. *Biol. Fertil. Soils.* 45: 305-313.
- Malithong, A., Piputsitee, C., Sarobol, E., and Sriroth, K. 2016. Zero waste management to increase efficiency in palm oil production and processing for food security in Thailand. *Walailak. J Sci & Tech.* 14(7): 589-596.
- Marchiol, L., Mondini, C., Leita, L. and Zerbi, G. 2002. Effects of municipal waste leachate on seed germination in soil-compost mixtures. *Restoration Ecology.* 155–161.
- Mehlich, A. 1953. *Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH<sub>4</sub>*. North Carolina Soil Test Division. (Online). Available from: [http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3\\_extraction.pdf](http://www.agroecologylab.com/uploads/2/7/2/8/27281831/mehlich3_extraction.pdf). (2019 September 8)
- Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W. and Gan, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Sci.* 176(5): 218-226.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Nesse, A.S., Sogn, T., Børresen, T. and Foereid, B. 2018. Peat replacement in horticultural growth media: The adequacy of coir, paper sludge and biogas digestate as growth medium constituents for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Acta Agric. Scand.* 69: 287–294.
- Osotsapa, Y. 2009. *Plant Nutrients*. Vol.III. Bangkok: Kasetsart University Academic Press. 130-132.
- Peng, D., Gu, M., Zhao, Y., Yu, F. and Choi, H.S. 2018. Effects of biochar mixes with peat-mossbased substrates on growth and development of horticultural crops. *Hortic Environ Biotechnol.* 36(4): 501-512.
- Prasad, M., Chrysargyris, A., McDaniel, N. Kavanagh, A., Gruda, N.S. and Tzortzakakis, N. 2020. Plant nutrient availability and pH of biochars and their fractions, with the possible use as a component in a growing media. *Agronomy.* 10(1): 1-17.
- Prakongkep, N., Gilkes, R. and Wiriyakitnatekul, W. 2015. Forms and solubility of plant nutrient elements in tropical plant waste biochars. *Plant Nutr. Soil Sci.* 178: 732–740.
- Quy, N. V., Sinsiri, W., Chitchamngong, S., Boontiang, K. and Kaewduangta, W. 2018. Effects of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on growth, yield and quality of lettuce under vertical hydroponic systems. *Khon Kaen Agr. J.* 46:613-322.
- Roca-Pérez, L., Martínez, C., Marcilla, P. and Boluda, R. 2009. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil–plant system. *Chemosphere* 75:781–787.
- Singh, W.R., Das, A. and Kalamdhad, A. 2012. Composting of water hyacinth using a pilot scale rotary drum composter. *Environ. Eng. Res.* 17(2) :69-75.
- Samarakoon, U.C., Fyffe, C., Bale, J., Ling, P., Basnagala, S., Donley, N. and Altland, J. 2019. Effect of electrical conductivity on the productivity and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. grown using nutrient film technique (NFT). *Acta Hort.* 1266:137–144.
- Samarakoon, U.C., Palmer, J., Ling, P. and Altland, J. 2020. Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and Tipburn of *Lactuca sativa* grown using the nutrient–film technique. *Hort. Sci.* 55:(8) 1265–1271.
- Sari, N.A., Che, F.I. and Bakar, R.A. 2014.Characterization of oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars and their potential to adsorb arsenic and cadmium. *Am. J. Agric Bio.l*

- Sci.* 9 (3): 450-456.
- Sarkar, M.D., Rahman, M.J., Uddain, J., Quamruzzaman, M., Azad, M.O.K., Rahman, M.H., Islam, M.J., Rahman, M.S., Choi, K.Y. and Naznin, M.T. 2021. Estimation of yield, photosynthetic rate, biochemical and nutritional content of red leaf (*Lactuca sativa* L.) grown in organic substrates. *Plants*. 10(6):1-13.
- Singh, S. and Nain, L. 2014. Microorganisms in sustainable agriculture. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* 80:357–489.
- Shin, J., Choi, E., Jang E., Seung G.H., Lee, S.R. and Ravindran, B. 2018. Adsorption characteristics of ammonium nitrogen and plant responses to biochar pellet. *Sustainability*. 10:1-11.
- Szczerba, M.W., Britto, D.T., and Kronzucker, H. J. 2009. K<sup>+</sup> transport in plants: physiology and molecular biology. *J. Plant Physiol.* 166, 447–466.
- U.S. EPA. 1975. *Method 352.1: nitrogen, nitrate (colorimetric, brucine) by spectrophotometer.* (Online). Available from: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method\\_352-1\\_1971.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_352-1_1971.pdf). (2019, September, 8).
- U.S. EPA. 1996. *Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils, revision 2.* (Online). Available from: [https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid digestion sediments-sludges-and-soils](https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils). (2019, September, 4). DOI 10.1007/s40093-015-0100-8.
- Voogt, W. 2002. Potassium management of vegetables under intensive growth conditions. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 347-362.
- Wisawapipat, W., Charoensri, K. and Runglertrakoolchai, J. 2017. Solid-phase speciation and solubility of phosphorus in an acid sulfate paddy soil during soil reduction and reoxidation as affected by oil palm ash and biochar. *Agric Food Chem.* 65(4):704-710.
- William, L.S., Barickman, T.C. and Sams, C. E. 2018. Effects of elevated temperature and potassium on biomass and quality of dark red ‘Lollo Rosso’ Lettuce. *Horticulturae*. 4: 1-11.
- Yamada, Y. and Kawase, Y. 2005. Aerobic composting of waste activated sludge: Kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. *Waste Manag.* 26: 49-61.

- Zakarya, I.A., Khalib, S.N.B. and Ramzi, N.M. 2019. Effect of pH, temperature and moisture content during composting of rice straw burning at different temperature with food waste and effective microorganisms. p856-854 In *Proceeding of E3S Web of Conferences*: 34
- Zapata-Vahos, I.C., Rojas-Rodas, F., David, D., Jaime, Gutierrez-Monsalve, A. and Castro-Restrepo, D. 2020. Comparison of antioxidant contents of green and red leaf lettuce cultivated in hydroponic systems in greenhouses and conventional soil cultivation. *Rev. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin*. 73(1): 9077-9088.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### 1. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### 1.1 การวิเคราะห์ pH (อัตราส่วน วัสดุปลูก : น้ำ เท่ากับ 1 : 5)

ชั่งวัสดุปลูก 10 กรัม ใส่ในกระป๋องพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter ในส่วนที่เป็นสารละลายใสด้านบน (ก่อนวัดต้องปรับค่าของเครื่อง pH ด้วย Buffer Solution pH 7 และ 4)

#### 1.2 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า EC (อัตราส่วน วัสดุปลูก : น้ำ เท่ากับ 1 : 5)

ชั่งวัสดุปลูก 10 กรัม ใส่ในกระป๋องพลาสติกขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่า EC ด้วยเครื่อง Conductivity ในส่วนที่เป็นสารละลายใสด้านบน

#### 1.3 การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในวัสดุปลูก โดยวิธี wet oxidation

ชั่งวัสดุปลูก 0.10xx กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดสารละลาย  $K_2Cr_2O_7$  ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมลงไปวัสดุปลูก จากนั้นเติม 98 %  $H_2SO_4$  ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างวัสดุปลูกอย่างช้าๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate 0.5 มิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนสารละลายสีเขียวเปลี่ยนเป็นน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (OC)} = \frac{0.3896 \times N \times \text{ml of } K_2Cr_2O_7 \text{ (C-D)}}{\text{Wt. of sample (g)} \times C \times B}$$

B = ปริมาตรของ  $K_2Cr_2O_7$  ที่เติมลงไป ตัวอย่าง และ Blank (ml)

C = ปริมาตรของ  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  ที่ไทเทรต พอดีกับ  $K_2Cr_2O_7$  ใน Blank (ml)

D = ปริมาตรของ  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  ไทเทรต พอดีกับ  $K_2Cr_2O_7$  ใน ตัวอย่าง (ml)

N = ความเข้มข้นเป็น Normal ของสารละลายมาตรฐาน  $K_2Cr_2O_7$

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ (OM)} = \% \text{ OC} \times 1.7241 \text{ (Equivalent to soil)}$$

1.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คำนวณจาก C:N ratio = OC (%) / total N

#### 1.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Mehlich 3 extraction method (0.2 M $CH_3COOH$ + 0.25 M $NH_4NO_3$ + 0.015 M $NH_4F$ + 0.013 M $HNO_3$ + 0.01M EDTA)

ชั่งวัสดุปลูก  $2.0 \pm 0.05$  กรัม เติมน้ำยาสกัด Mehlich 3 ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำไปทำให้เกิดสี โดยวิธี โมลิบดีนัมบลู และวัดด้วยเครื่อง UV spectrophotometer (Mehlich, A. 1953)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 โฟสเฟตที่สกัดได้ (extraction K) แคลเซียมที่สกัดได้ (extractable Ca) แมกนีเซียมที่สกัดได้ (extractable Mg) โดยวิธี Mehlich 3 extraction method (0.2 M CH<sub>3</sub>COOH + 0.25 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + 0.015 M NH<sub>4</sub>F + 0.013 M HNO<sub>3</sub> + 0.01M EDTA)

ซึ่งวัสดุปลูก 2.0 ± 0.05 กรัม เติมน้ำยาสกัด Mehlich 3 ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 5 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Atomic adsorption spectrophotometer (Mehlich, A. 1953)

### 1.7 การวิเคราะห์ K Ca Mg และ P ทั้งหมดในวัสดุปลูก

ซึ่งตัวอย่างวัสดุมา 0.25xxx กรัม (อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง) ใส่ลงไปใน digestion tube และเติม conc. HNO<sub>3</sub> ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน นำ digestion tube ใส่ลงไปใน block digester และค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 125 องศาเซลเซียสจนกระทั่งควันสีน้ำตาลจางลง (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง) นำ digestion tube ออกจาก block digester และทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม conc. HClO<sub>4</sub> ปริมาณ 2.5 มิลลิลิตร ลงไปใน digestion tube แล้วนำไปใส่ใน block digester แล้วค่อยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส จนสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีใสแล้วจึงนำ digestion tube ออกจาก block digester ทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายล้างสารละลายออกจาก digestion tube ไปใส่ไว้ใน volumetric flask ขนาด 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรแล้วกรองสารละลายไปวิเคราะห์ K, Mg, Ca ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy ซึ่งคำนวณความเข้มข้นได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\%M^* = ((\text{ค่าที่อ่านได้} - \text{Blank}) \times \text{ปริมาตรสุดท้าย (ml)}) / ((\text{น้ำหนักพืช (g)} \times 10,000) \times \text{dilution factor})$$

เมื่อ M\* = K, Ca, Mg

### การทำให้เกิดสีเพื่อวัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัสดุปลูก

เปิดสารละลายตัวอย่างวัสดุปลูกมา 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำ Free acid vanadomolybdate solution ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง standard P และ % Transmittance และคำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัสดุปลูกได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{ฟอสฟอรัสทั้งหมดในวัสดุปลูก (mg P/kg)} = ((\text{ppm in curve} \times \text{Final volume (ml)}) / (\text{น้ำหนักตัวอย่างวัสดุปลูก (g)}))$$

### 1.8 การวิเคราะห์ Fe Mn Cu และ Zn ทั้งหมดในวัสดุปลูก

1. ซึ่งตัวอย่างวัสดุปลูกที่บดและอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยซึ่งตัวอย่างวัสดุปลูกหนัก 0.25xx g ใส่ลงใน digestion tube (ระวังอย่าให้ตัวอย่างติดค้างบริเวณขอบ digestion tube)

2. เติม 5 ml conc.  $\text{HNO}_3$  ลงใน digestion tube ที่งัวข้ามกิน (pre-digest) หรืออาจ pre-digest โดยการอุ่น digestion tube ใน Block digester ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. ใส่ digestion tube ลงใน Block digester ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 125 องศาเซลเซียส จนกระทั่งควันสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจางลง (ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง)

4. นำ digestion tube ออกจาก Block digester ที่งัวให้เย็น

5. เติม 2.5 ml conc.  $\text{HClO}_4$  ลงใน digestion tube และใส่ digestion tube ลงใน Block digester ค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 150 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่องต่อไปเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง (จะทำให้  $\text{HNO}_3$  ระเหยไปจนหมด ถ้า  $\text{HNO}_3$  ยังไม่หมดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น สารละลายใน digestion tube จะกระเด็น) จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียสอย่างต่อเนื่องต่อไปจนตัวอย่างสลายตัวหมด สังเกตได้จากควันสีขาวที่เกิดขึ้น และสีของสารละลายตัวอย่างที่เปลี่ยนเป็น สารละลายใส ยกออกจาก Block digester ที่งัวให้เย็น

6. ถ่ายล้างสารละลายออกจาก digestion tube ลงใน volumetric flask ขนาด 50 ml ปรับปริมาตร แล้วกรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 3 เก็บสารละลายเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป สารละลายที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ Fe Mn Cu และ Zn ได้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectroscopy ซึ่งคำนวณความเข้มข้นได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\%M^* = ((\text{ค่าที่อ่านได้} - \text{Blank}) \times \text{ปริมาตรสุดท้าย (ml)}) / ((\text{น้ำหนักวัสดุปลูก (g)} \times 10,000) \times \text{dilution factor})$$

เมื่อ  $M^* = \text{K, Ca, Mg}$

### 1.9 การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปลูก

ชั่งวัสดุปลูก 0.25xxx กรัม และเติมสารเร่งปฏิกิริยา (Mixed catalyst) ประมาณ 1 กรัม และเติม conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 มิลลิลิตร ย่อยที่อุณหภูมิที่ 378 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส นำไปกลั่นโดยเติมสารละลาย 40 % NaOH 10 มิลลิลิตร และรองรับด้วย boric acid indicator 2 % ปริมาณ 20 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตด้วย standard  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (เข้มข้น 0.05xx N) จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง แล้วคำนวณปริมาณไนโตรเจนได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\% \text{ Total N} = ((A-B) \times C \times 14 \times 100) / (\text{sample weight (g)} \times 1000)$$

โดย A = มิลลิลิตรของ Standard  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของ Standard  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ที่ใช้ไทเทรต Blank

C = ความเข้มข้นของ Standard  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในหน่วย Normality

14 = น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) ของไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.10 ไนโตรเจนที่สกัดได้ (extraction N) โดยวิธี Potassium chloride extraction method

ชั่งวัสดุปลูก  $5.0 \pm 0.05$  กรัม เติมน้ำยาสกัด 2 M KCl ปริมาณ 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่านาน 1 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง จากนั้นนำไปเติมแมกนีเซียมออกไซด์ และกลั่นหาแอมโมเนียม โดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนีย จากนั้นเติมดีอาร์คาอัลลอยเพื่อรีดิวส์ ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียมแล้วกลั่นหาแอมโมเนียม (ทศนิยม แก้วมรกต. 2547)

### 1.11 การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช

ชั่งตัวอย่างพืช 0.25xx กรัม และเติมสารเร่งปฏิกิริยา (Mixed catalyst) ประมาณ 1 กรัม และเติม conc.H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 มิลลิลิตร ย่อยที่อุณหภูมิที่ 378 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส นำไปกลั่นโดยเติมสารละลาย 40 % NaOH 10 มิลลิลิตร และรองรับด้วย boric acid indicator 2 % (mixed indicator + boric acid + ethanol + 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ปริมาณ 20 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตด้วย standard H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (เข้มข้น 0.05xx N) จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง แล้วคำนวณปริมาณไนโตรเจนได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\% \text{ Total N} = ((A-B) \times C \times 14 \times 100) / (\text{sample weight (g)} \times 1000)$$

โดย A = มิลลิลิตรของ Standard H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรของ Standard H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ที่ใช้ไทเทรต Blank

C = ความเข้มข้นของ Standard H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในหน่วย Normality

14 = น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) ของไนโตรเจน

### 1.12 การวิเคราะห์ K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn และ P ทั้งหมดในพืช โดยวิธี Aqua regia

วิธีการย่อยสลายด้วยการเผาให้เป็นเถ้า และละลายเถ้าด้วยกรด (Dry ashing)

1. ชั่งตัวอย่างพืชที่บดและอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยชั่งตัวอย่างพืชหนัก 0.25xx กรัม ใส่ลงใน crucible
2. นำ crucible ไปเผาด้วยเตาเผาความร้อนสูง (Furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาปิดเตาเผา ทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้อุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง นำเอา crucible ออกจากเตาเผาเมื่ออุณหภูมิเตาเผาเท่ากับอุณหภูมิห้อง
3. นำตัวอย่างเดิมกรดผสม aqua regia (HCl : HNO<sub>3</sub> สัดส่วน 3 : 1) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฝา crucible และตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน
4. เติมน้ำกลั่นลงใน crucible 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร
5. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
6. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ฟอสฟอรัส นอกจากนี้สารละลายที่ได้สามารถนำไป

วิเคราะห์ K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu และ Zn ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%M^* = \frac{(\text{ค่าที่อ่านได้}-\text{Blank}) \times \text{ปริมาตรสุดท้าย(ml)}}{\text{น้ำหนักพืช (g)} \times 10,000} \times \text{dilution factor}$$

เมื่อ  $M^* = K, Ca, Mg$

### การทำให้เกิดสีเพื่อวัดฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช

เปิดสารละลายตัวอย่างพืชมา 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติม Free acid vanadomolybdate solution ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที วัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง standard P และ % Transmittance และคำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืชได้โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{ฟอสฟอรัสทั้งหมดในพืช (mg P/kg)} = \frac{\text{ppm in curve} \times \text{final volume (ml)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช (g)}}$$

## 2. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุปลูก

### 2.1 ความหนาแน่น

โดยการใช้อาภาชนะที่ตัดมาจากถาดหลุมเพาะเมล็ด 60 หลุม ปริมาตร 59 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อหลุม โดยมีรูอยู่ทางด้านล่างของภาชนะ ทำการปิดรูด้านล่างด้วยเทปใสและใส่น้ำลงไปให้ปริมาตรขอบแล้วนำไปเทลงในกระบอกตวงจะได้ปริมาตรของภาชนะ (v) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำภาชนะเปล่าไปชั่งน้ำหนักได้เป็นมิลลิลิตรต่อมานำวัสดุปลูกที่ได้ผ่านการอบไล่ความชื้น มาใส่ลงในภาชนะปลูกแล้วนำไปชั่งน้ำหนักได้เป็น m2 แล้วนำไปคำนวณความหนาแน่นของวัสดุปลูกโดยใช้สูตร ดังนี้ (ชิตชนก โชติภักดิ์, 2557)

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = (m2-m1)/v$$

### 2.2 ความพรุนของวัสดุปลูก

นำภาชนะที่ตัดมาจากถาดหลุมเพาะเมล็ด 60 หลุม ปริมาตร 98.17 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อหลุม ทำการปิดรูด้านล่างด้วยเทปใส ใส่วัสดุปลูกให้แน่นพอสมควรแล้วเทน้ำจากกระบอกตวงที่ทราบปริมาตรลงไปจนอิมตัวแล้วไปชั่งน้ำหนักเป็น m3 โดยขณะนี้ช่องว่างทั้งหมดในวัสดุปลูกถูกแทนที่ด้วยน้ำปริมาณน้ำที่ดูดเข้าไปจนอิมตัวมีค่าเท่ากับปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดหรือความพรุนรวมทั้งหมด (Total porosity) และเนื่องจากน้ำ 1 กรัมมีปริมาตรเท่ากับ 1 cm<sup>3</sup> จึงใช้น้ำหนักน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในการคำนวณปริมาตรช่องว่างได้ ดังนี้ (ชิตชนก โชติภักดิ์, 2557)

$$\text{ความพรุนของวัสดุปลูก (\%)} = ((m3-m2)/v) \times 100$$

### 2.3 ช่องว่างขนาดใหญ่

ปล่อยให้ น้ำระบายออกทางด้านล่างโดยการเจาะรูที่เทปใส น้ำส่วนที่ระบายออกไปคือ น้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ นำภาชนะปลูกไปชั่งน้ำหนักเป็น m4 ปริมาณน้ำที่ระบายออกเป็น m5 =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$m_3 - m_4$  ซึ่ง มีค่าเท่ากับช่องว่างขนาดใหญ่ (Air-filled Porosity) โดยคำนวณ ดังนี้ (ชิดชนก โชติกปฏิบัติ. 2557)

$$\text{ช่องว่างขนาดใหญ่ต่อปริมาตร (\%)} = (m_5/v) \times 100$$








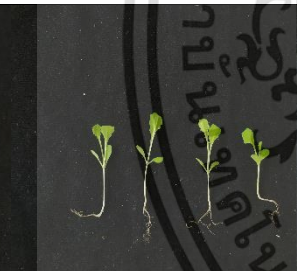




#### 2.4 ช่องว่างขนาดเล็ก

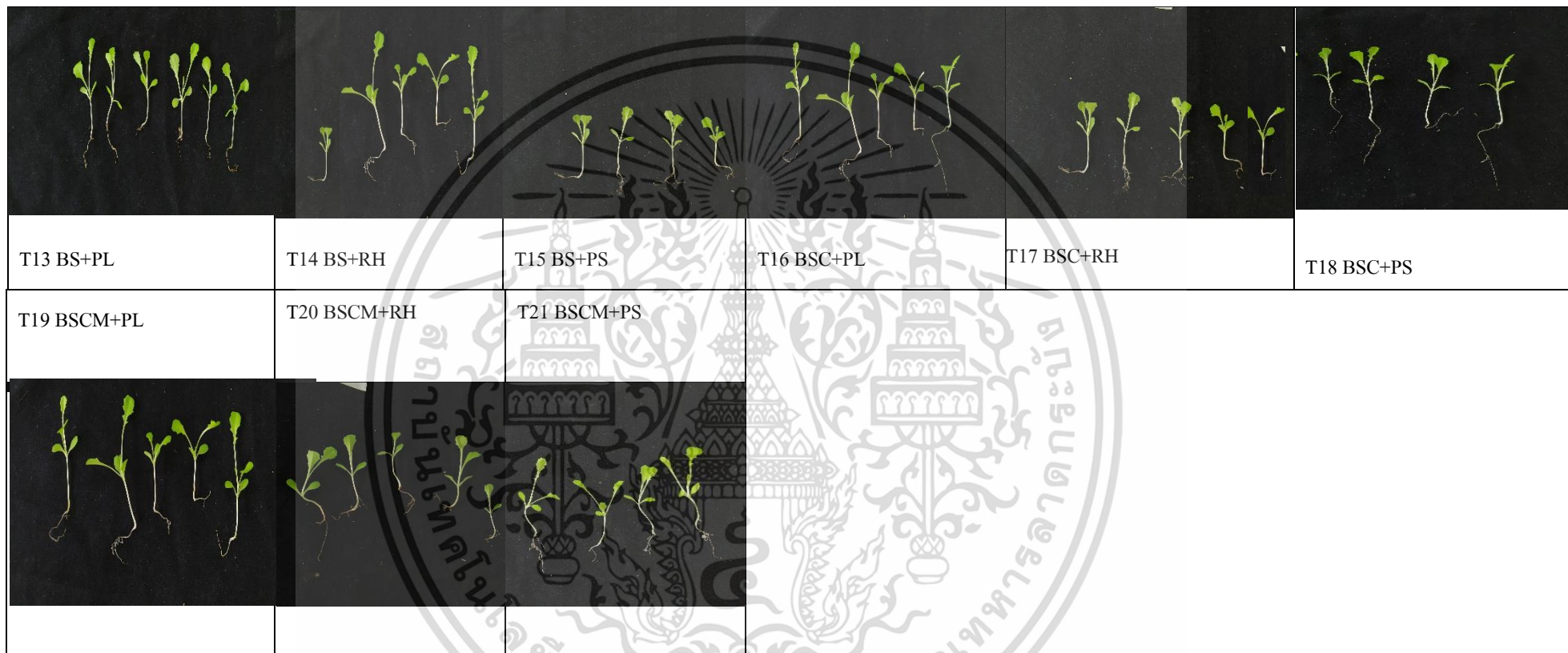
ปริมาณน้ำที่ไม่ได้ระบายออกมาเป็น  $m_6 = m_4 - m_2$  ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรช่องว่างขนาดเล็กที่เก็บน้ำไว้ได้ (Water-filled Porosity) สามารถคำนวณได้ดังนี้ (ชิดชนก โชติกปฏิบัติ. 2557)

$$\text{ช่องว่างขนาดเล็กต่อปริมาตร (\%)} = (m_6/v) \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T1 PM+PL	T2 PM+RH	T3 PM+PS	T4 BA+PL	T5 BA+RH	T6 BA+PS
					
					
T7 BAC+PL	T8 BAC+RH	T9 BAC+PS	T10 BACM+PL	T11 BACM+RH	T12 BACM+PS



ภาพผนวกที่ 1.1 การงอกของกล้าผักกาดหอมที่ปลูกในวัสดุปลูกชนิดต่างๆ



ภาพผนวกที่ 1.2 เรดโอ๊คในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร



ภาพผนวกที่ 1.3 เรดคอรัลในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผักกาดหอมในวัสดุปลูกสูตรที่ 1



ผักกาดหอมในวัสดุปลูกสูตรที่ 2



ผักกาดหอมในวัสดุปลูกสูตรที่ 3



ผักกาดหอมในวัสดุปลูกสูตรที่ 4



ผักกาดหอมในวัสดุปลูกสูตรที่ 5

ภาพผนวกที่ 1.4 ผักกาดหอมในวัสดุปลูกทั้ง 5 สูตร



ภาพผนวกที่ 1.5 กรีนไอซ์ และคอสในวัสดุปลูกสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1.6 ผักสลัดชนิดต่างๆที่ทำการปลูกในวัสดุปลูกที่พัฒนาขึ้นในโรงเรือนทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)

นางสาวกัญฐิกา ชังมณี

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)

Ms. Kantika Youngmanee

ที่อยู่

บ้านเลขที่ 208 หมู่ 7 ตำบลท่าอูแท อำเภอกาญจนดิษฐ์

จังหวัดสุราษฎร์ธานี รหัสไปรษณีย์ 84160

E-mail address

Queenny27549@gmail.com

โทร

087-3812781

ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
มัธยมศึกษาตอนต้น	-	โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา	2553
มัธยมศึกษาตอนปลาย	วิทย์-คณิต	โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา	2556
ปริญญาตรี	เกษตรศาสตร์ (ปฐพีวิทยา)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง	2561

ผลงานวิจัย

กัญฐิกา ชังมณี. 2562. การผลิตปุ๋ยหมักจากขี้เถ้าบอยเลอร์ และตะกอนสลัดจ์ปาล์มน้ำมันร่วมกับ มูลสัตว์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 37(4) : 604-611.

Youngmanee, K. and Teamkao, P. 2022. Composting of boiler-ash and biogas-sludge from the palm oil industry for use as plantlet growing media. *International Journal of Agricultural Technology*. 18(3): 1367-1380.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้