

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพการผลิตสารปรับปรุงดิน  
ของ บริษัท มณีจันทร์ อินดัสทรี จำกัด



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

พฤษภาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพการผลิตสารปรับปรุงดิน  
ของ บริษัท มณีจันทร์ อินดัสทรี จำกัด



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

พฤษภาคม 2561

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพการผลิตสารปรับปรุงดิน  
ของ บริษัท มณีจันทร์ อินคัสทรี จำกัด

ของ จิราพร บุตรศรี

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร  
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภิตา อ่ำทอง)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิพย์วรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ลินด่างาม)

.....กรรมการ

(ดร.บุญรุ่ม คิตคำ)

.....กรรมการ

(ดร.วิพรพรรณ เนื่องเม็ก)

อนุมัติ

.....

(รองศาสตราจารย์รัตนา อัดตปัญญา)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

พฤษภาคม 2561

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. อุตสาหกรรม ประจำปี 2558 (MSD5810126) ที่ให้งบประมาณในการสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.บุญร่วม ดิดคำ ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่ง ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนจนทำการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิตยวรรณ และ ดร.วิพรพรรณ เนื่องเม็ก กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณะกรรมการทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ ผู้จัดการโรงงานบริษัทมณีจันทร์ อินดัสทรี จำกัด นายพิทักษ์ ตริรัตน์ ที่สนับสนุนวัตถุดิบ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยภายในโรงงานผลิตสีโณนาร์ไต้บด เครื่องจักรกล และพนักงาน ในการผลิตสารปรับปรุงดิน และมหาวิทยาลัยพะเยา ในการอำนวยความสะดวกทางด้านห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่คอยดูแล สนับสนุน และให้กำลังใจที่ดี มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง ในสาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร และสาขา เกษตรศาสตร์ ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จิราพร บุตรศรี

**เรื่อง:** การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพการผลิตสารปรับปรุงดิน ของ บริษัท มณีจันทร์ อินดัสทรี จำกัด

**ผู้วิจัย:** จิราพร บุตรศรี, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์การเกษตร), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2561

**ประธานที่ปรึกษา:** ดร. บุญร่วม คิดคำ, **กรรมการที่ปรึกษา:** รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส ทิพย์วรรณ,

ดร.วิพรพรรณ เนื่องเม็ก

**คำสำคัญ:** สารปรับปรุงดิน, สารชีวมีค, ปรับปรุงผลิตภัณฑ์

### บทคัดย่อ

ทำการทดลอง 5 การทดลอง เพื่อศึกษาการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพการผลิตสารปรับปรุงดิน ของ บริษัท มณีจันทร์ อินดัสทรี จำกัด ในการทดลองที่ 1 วิเคราะห์คุณสมบัติของสารประกอบชีวมีคจากลีโอนาร์โดไตด์ พบว่า มีโพแทสเซียมชีวมีน โพแทสเซียมชีวเมต โพแทสเซียมฟูลเวต โซเดียมชีวมีน โซเดียมชีวเมต และโซเดียมฟูลเวต พบว่า มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สูงสุดที่สกัดได้จากโซเดียมชีวเมตและโพแทสเซียมชีวเมต และโซเดียมชีวเมต ตามลำดับ ในการทดลองที่ 2 ได้ทำการศึกษาผลของสารประกอบชีวมีคต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ข้าวที่ทำการฉีดพ่นด้วยโพแทสเซียมชีวเมตและโซเดียมชีวเมต ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในความสูงของต้น จำนวนต้นข้าว ความยาวรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง เมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุมการทดลองที่ 3 การวิเคราะห์วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน พบว่า วัสดุที่ใช้มีปริมาณธาตุอาหารที่ค่อนข้างต่ำ ผลการทดลองที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านคุณภาพของสูตรการผลิตของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสารปรับปรุงดิน ทั้ง 3 ซ้ำ ผลการทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดิน และสารประกอบชีวมีค ที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดไตด์ ต่อคุณสมบัติของดินพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตาม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของข้าว ที่ได้รับผลกระทบจากการใช้สารปรับปรุงดิน และสารประกอบชีวมีค ที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดไตด์

**Title:** PRODUCT IMPROVEMENT AND QUALITY CONTROL OF SOIL CONDITIONERS TRADEMARK MANEEJAN INDUSTRY CO.LTD.

**Author:** Jirapron Bootsri, Thesis: M.S. (Agricultural Science), University of Phayao, 2018

**Advisor:** Dr.Bunraum Khitka, **Co–advisor:** Associate Professor Dr.Manus Titayavan,  
Dr.Wipornpan Nuangmek

**Keyword:** soil conditioner, humic substance, product improvement

### ABSTRACT

Five experiments were aimed at the product improvement and quality control of soil conditioners trade mark Maneejan Industry Co. Ltd. In Experiment 1, the analysis of the qualification of humic compounds extracted from ground leonardite showed to contain potassium humin, potassium humate, potassium fulvet, sodium humin, sodium humate and sodium fulvet. The highest total N–P–K contents were obtained from sodium humate; sodium humate and potassium fulvet; and sodium humate respectively. Experiment 2, a plot experiment was conducted to study the effect of humic compounds on growth and yield of rice KDML 105. The data revealed that plants sprayed with potassium humate and sodium humate caused significant increase in plant height, number of tillers, panicle length, and grains per panicle as compound with a standard treatment. The Experiment 3, analysis of raw materials used in soil improvement indicated that the materials used were relatively low in fertilizer nutrient contents. The results of Experiment 4, showed that there were no statistically significant differences in the quality of formulation specification of raw materials used to manufacture of soil conditioners of the 3 repeatable manufacturing. The results of Experiment 5, the impacts of soil conditioners and humic compound from leonardite on soil properties were compound with no significantly different found. However, the differences were statistically significant for growth and yield parameters of rice as affected by the application of soil conditioners and humic compound from leonardite.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
<b>1 บทนำ</b> .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	2
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย .....	2
<b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	3
วัตถุประสงค์ที่ใช้ทำสารปรับปรุงดิน .....	3
สารปรับปรุงดิน .....	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	19
การทดลองที่ 1 คุณสมบัตินี้ของสารประกอบฮิวมิกที่สกัดจากแร่ลีโอโนนาร์ไดต์....	19
การทดลองที่ 2 ผลของสารประกอบฮิวมิกจากลีโอโนนาร์ไดต์ต่อผลผลิต ของข้าวขาวดอกมะลิ105 .....	20
การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตสาร ปรับปรุงดิน .....	22
การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์คุณภาพสารปรับปรุงดินของโรงงาน.....	22
การทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดินและสารประกอบฮิวมิก จากลีโอโนนาร์ไดต์ต่อคุณสมบัติของดิน และผลผลิตของข้าว.....	22
<b>4 ผลการทดลอง</b> .....	25
การทดลองที่ 1 คุณสมบัตินี้ของสารประกอบฮิวมิกที่สกัดจากแร่ลีโอโนนาร์ไดต์....	25
การทดลองที่ 2 ผลของสารประกอบฮิวมิกจากลีโอโนนาร์ไดต์ต่อผลผลิตข้าวขาว ดอกมะลิ 105 (KDML105) .....	30

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<b>4 ผลการทดลอง (ต่อ)</b> .....	
การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต สารปรับปรุงดิน.....	34
การทดลองที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพของสารปรับปรุงดินของโรงงาน.....	35
การทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดินและสารประกอบฮิวมิก จากลีโอนาร์โดต์ต่อคุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบของข้าว.....	40
<b>5 บทสรุป</b> .....	52
สรุปผลการวิจัย .....	52
อภิปรายผลการวิจัย.....	54
ข้อเสนอแนะ .....	61
<b>บรรณานุกรม</b> .....	62
<b>ภาคผนวก</b> .....	66
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์.....	67
ภาคผนวก ข เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ .....	74
ภาคผนวก ค แปลงข้าวที่ทดสอบสารปรับปรุงดินและสารประกอบฮิวมิก จากลีโอนาร์โดต์ต่อคุณสมบัติของดินและผลผลิตของข้าว.....	76
<b>ประวัติผู้วิจัย</b> .....	83

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงการจัดรูปแบบของกรรมวิธีการทดลองได้ทั้งหมด 9 กรรมวิธี .....	23
2 แสดงชนิดของสารประกอบชีวโมเลกุลที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์และคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้น .....	27
3 แสดงชนิดของสารประกอบชีวโมเลกุลที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์และคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้น .....	29
4 แสดงผลจากการใช้สารชีวโมเลกุลต่อ ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง ของผลผลิตข้าว (KDML 105).....	31
5 5 แสดงผลจากการใช้สารชีวโมเลกุลต่อ เมล็ดดีต่อรวง เมล็ดลีบต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ของผลผลิตข้าว (KDML 105).....	32
6 แสดงผลจากการใช้สารชีวโมเลกุลต่อ น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ ผลผลิตต่อไร่และมวลชีวภาพของผลผลิตข้าว (KDML 105).....	33
7 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน ..	35
8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชของลีโอนาร์โดต์และมูลค่างคาว ที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน .....	35
9 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพสารปรับปรุงดิน ภายหลังกระบวนการการผลิตวัตถุดิบ.....	37
10 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพสารปรับปรุงดิน ภายหลังกระบวนการการผลิตวัตถุดิบ.....	39
11 แสดงผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบชีวโมเลกุลจากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว.....	42
12 แสดงผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบชีวโมเลกุลจากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว.....	44
13 ผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบชีวโมเลกุลจากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว.....	47

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
14	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดิน หลังการทดลองปลูกพืช.....	49
15	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดิน หลังการทดลองปลูกพืช.....	51
16	แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว .....	74
17	แสดงแปลงข้าวที่ทดสอบสารปรับปรุงดินและสารประกอบฮิวมิกจากลีโอนาร์ไดต์ ต่อคุณสมบัติของดินและผลผลิตของข้าว .....	76



## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงขั้นตอนในการแยกโซเดียมฮิวเมต โซเดียมฮิวมิน โซเดียมฟูลเวตจากตัวอย่าง ลีโอনারโดต์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	19
2 แสดงขั้นตอนในการแยกโพแทสเซียมฮิวเมต โพแทสเซียมฮิวมิน โพแทสเซียมฟูลเวต จากตัวอย่างลีโอনারโดต์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	20
3 ลักษณะของสารฮิวมิกที่สกัดจากลีโอনারโดต์.....	25



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ลีโอนาร์โดต์มีศักยภาพสูงในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช เป็นองค์ประกอบอยู่หลายธาตุ และมีอยู่ในปริมาณที่สูง จึงสามารถใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารบางชนิดได้ โดยเฉพาะธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน นอกจากนี้ ลีโอนาร์โดต์มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง จึงเหมาะสมในการนำมาเพิ่มค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินให้มีเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยยึดจับธาตุอาหารในดินได้ดีขึ้น ลดการสูญเสียประจุบวกไปกับน้ำ เนื่องจากการไหลบ่าของน้ำป่า หรือถูกชะละลายของธาตุอาหาร ที่สำคัญองค์ประกอบของปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่สูง (Kohanowski, 1970; Ayuso, et al., 1996) จึงเหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน (สุชาติ โกชาตม และคณะ, 2556) จังหวัดลำปางมีเหมืองถ่านหินที่ทำการขุดถ่านหินลิกไนท์ ใช้เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในขั้นตอนการขุดจะพบว่า มีมูลดินสีดำ ซึ่งเป็นถ่านหินคุณภาพต่ำ ที่ชื่อลีโอนาร์โดต์ อยู่เป็นจำนวนมาก และมีราคาถูกลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kohanowski (1970); Ayuso, et al. (1996) ที่พบว่า ลีโอนาร์โดต์มีสารประกอบฮิวมิก เป็นองค์ประกอบอยู่สูง มีบทบาทในการเพิ่มค่าอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนให้กับดินที่ใส่ (Ece, et al., 2007) การนำลีโอนาร์โดต์มาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรนั้น เป็นที่น่าสนใจมาก จึงเหมาะแก่การนำมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ให้แก่พืช นักวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำลีโอนาร์โดต์มาผสมกับสารปรับปรุงดินชนิดต่าง ๆ ให้เป็นผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน (soil conditioner) ซึ่งจะช่วยให้ดินที่มีปัญหาทางกายภาพ โดยเฉพาะปัญหาทางด้านโครงสร้างของดินที่ไม่เหมาะสม ให้มีโครงสร้างของดินที่ดีขึ้น (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556) ที่สำคัญ ผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดินที่ผลิตขายควรมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ย คือ ให้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชได้อีกทางหนึ่ง โดยเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติในด้านการเป็นปุ๋ยแล้ว ต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามที่กฎหมายกำหนด (ราชกิจจานุเบกษา, 2551) และการนำลีโอนาร์โดต์มาพัฒนาเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการต่อยอดจากวัตถุดิบที่มีอยู่เดิมให้มีมูลค่าเพิ่ม โดยการนำมาสกัดเป็นสารประกอบฮิวมิกที่สามารถนำมาใช้ในทางการเกษตรเพื่อเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกร

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน
2. ควบคุมคุณภาพของสารปรับปรุงดิน ของ บริษัท มณีจันทร์ อินด์สทรีรี่ จำกัด

### ขอบเขตของการวิจัย

เนื้อหาการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และควบคุมคุณภาพ การผลิตสารปรับปรุงดิน โดยการทำการศึกษาการสกัดสารชีวมีกจากลีโอนาร์โดต์ และวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในอนุพันธ์ของสารสกัดชีวมีก เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารชีวมีก โดยวิธีการฉีดพ่นทางใบในแปลงทดสอบระดับโรงเรือน และทำการปรับปรุงคุณภาพสารปรับปรุงดิน ด้วยวิธีการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ เพื่อนำมาผสมในสายพานการผลิต ควบคุมขั้นตอนการผสม ควบคุมขั้นตอนการบรรจุกระสอบ และทำการทดสอบผลของสารปรับปรุงดิน ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ร่วมกับการฉีดพ่นสารชีวมีกในแปลงทดสอบระดับแปลงปลูก

### ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายขึ้นจากการพัฒนาต่อยอดจากผลิตภัณฑ์เดิม ผู้ใช้สามารถเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย และตรงความต้องการมากขึ้น
2. สามารถควบคุมคุณภาพในการผลิต ทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจ และนำสินค้าไปใช้ได้อย่างต่อเนื่อง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### วัตถุดิบที่ใช้ทำสารปรับปรุงดิน

##### 1. ลีโอนาร์ไดต์

ลีโอนาร์ไดต์ (leonardite) เกิดจากการผุพังตามธรรมชาติของถ่านหินลิกไนต์ (lignite) ลีโอนาร์ไดต์เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายแร่แต่ไม่มีผลึก (mineriod) มีสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลดำ คำว่า ลีโอนาร์ไดต์ เป็นชื่อที่ตั้งเพื่อเป็นเกียรติแก่ Dr. Arthur Gray Leonard นักธรณีวิทยาคนแรก ที่ค้นพบและทำการศึกษาลีโอนาร์ไดต์ จากแหล่งถ่านหินในรัฐดาโกตาเหนือ ประเทศสหรัฐอเมริกา จากรายงานของนักวิจัยหลายท่าน พบว่า ลีโอนาร์ไดต์มีสารฮิวมิก (humic substances) เป็นองค์ประกอบปริมาณมาก สารฮิวมิกนี้ประกอบด้วย กรดฮิวมิก (humic acid) กรดฟุลวิก (fulvic acid) และฮิวมิน (humins) สารฮิวมิกมีบทบาทที่สำคัญต่อการปรับปรุงสมบัติของดิน ทั้งคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ ของดินหลายประการ เช่น เป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน ทำให้ดินจับตัวกันเป็นโครงสร้างเม็ดดิน (soil aggregate) ทำให้การระบายน้ำระบายอากาศในดิน ดีขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ในดิน ช่วยให้ดินดูดซับธาตุอาหารพืชได้มากขึ้น และช่วยรักษาระดับ pH ของดิน อีกทั้ง ยังเป็นแหล่งของธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

##### บทบาทของลีโอนาร์ไดต์ต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช

ลีโอนาร์ไดต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพโครงสร้างดินทางการเกษตร ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน พบว่า ลีโอนาร์ไดต์ช่วยลดความหนาแน่น และช่วยเพิ่มช่องว่างที่เป็นประโยชน์ในดินได้ดี เนื่องจากมีสารฮิวมิกเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นแหล่งของธาตุอาหารและฮอร์โมนพืชบางชนิด เช่น ฮอร์โมนออกซิน (auxin) มีในส่วนกรดฟุลวิกและไซเตียมฮิวเมต ที่สกัดจากลีโอนาร์ไดต์ ซึ่งส่งเสริมการงอก และการเจริญของราก (วิวัฒน์ ไตธิรกุล, พลุฑธ คุขสมิติ และจินดารัตน์ ไตกลมลธรรม, 2552)

##### 2. โดโลไมต์

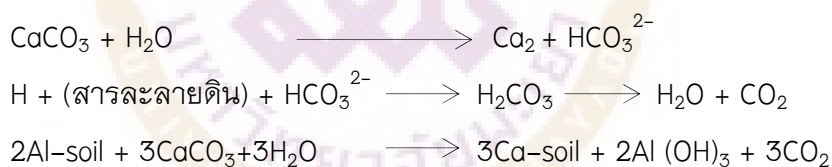
ในรูปแร่บริสุทธิ์โดโลไมต์เป็นแร่ประกอบในหินตะกอน หรือหินแปรในรูปหินอ่อน ตั้งชื่อขึ้นในปี ค.ศ. 1798 โดยใช้ชื่อของนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส Deodat de Dolomieu แร่ชนิดนี้

ในทางเคมี มีสูตรว่า  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  สมบัติทางกายภาพโดยทั่วไป เป็นแร่ที่มีสีขาวหรือสีชมพู หรืออาจมีสีอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่เจือปน (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556)

### ผลของการใส่ปูนต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช

การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินเนื้อหยาบ และดินเนื้อละเอียด ที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมได้ เช่น ดินเนื้อหยาบอนุภาคของเม็ดดินจะไม่จับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ดินมีความโปร่งมากเกินไปและอุ้มน้ำได้น้อย การใส่ปูนลงไปจะทำให้ดินเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน และเกิดโครงสร้างก้อนกลมพูน ทำให้ดินเนื้อหยาบมีสมบัติอุ้มน้ำได้ดีขึ้นกว่าเดิม ขณะที่ดินเนื้อละเอียด มีโครงสร้างแน่นทึบ จะมีสมบัติระบายน้ำและอากาศเลว การใส่ปูนกับดินประเภทนี้ จะมีผลทำให้ดินเหนียวอนุภาคเดี่ยว เกิดการจับกลุ่มกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น หรือเกาะกลุ่มตกตะกอน ดินเหนียวที่แน่นทึบก็จะมี ความโปร่งพูนมากขึ้น มีผลทำให้การระบายอากาศและน้ำได้ดีขึ้น (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556)

การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินทั่วไป คือ การใส่ปูนโดยใช้สำหรับปรับปรุงดินกรด เพื่อยกกระดืบ pH ของดินให้สูงขึ้น เมื่อใส่วัสดุปูนลงในดินในสภาพที่มีความชื้น จะแตกตัวให้  $\text{OH}^-$  หรือ  $\text{CO}_3^{2-}$  แล้วแต่วัสดุปูนที่ใส่ทำปฏิกิริยา  $\text{H}^+$  ในสารละลายดินกรด เพื่อให้เกิดเป็นกลาง ส่วน  $\text{Ca}^{2+}$  จะเข้าไปแทนที่พวกกรดที่ถูกดูดซับที่คอลลอยด์ดิน (potential acidity) ทั้ง  $\text{Al}_3^+$  และ  $\text{H}^+$  เพื่อให้ออกมาทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  จนกระทั่งปริมาณของ  $\text{H}^+$  และ  $\text{Al}_3^+$  ลดลงตามปริมาณปูนที่ใช้ ทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ดังสมการ (สร้อยญา คำอำภย์, 2548)



การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินที่เป็นกรดหรือต่างมากเกินไป อาจมีผลกระทบในทางลบ ของกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ของจุลินทรีย์บางประเภท โดยทั่วไปจุลินทรีย์สามารถประกอบกิจกรรมในกระบวนการต่าง ๆ ในสภาพดินเป็นกรดอย่างอ่อน หรือเป็นกลาง (pH 6-7) เช่น แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีตส์ จะเจริญเติบโต และประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดี ในดินที่มีกรดเล็กน้อยถึงเป็นเบสเล็กน้อย (pH 6-8) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการย่อยสลาย และการแปรรูปสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นสารอนินทรีย์ และปลดปล่อยสารอาหารออกมาให้พืชได้ใช้ นอกจากนั้นยังเหมาะสมต่อกิจกรรมการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียอีกด้วย ดังนั้น การใส่ปูนเพื่อยกกระดืบ pH ให้สูงขึ้น หรืออยู่ในระดับ (6-8) จะมีส่วนช่วยปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินได้ดียิ่งขึ้นด้วย (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556)

โดโลไมต์มีผลต่อการเจริญเติบโตต่อพืช มีอิทธิพลโดยตรงในการเพิ่มปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ติดมากับปุ๋ยให้แก่พืช โดยเฉพาะในกรณีดินที่มีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่ำอยู่แล้ว ซึ่งจะส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น ปุ๋ยขาวมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วลิสง โดยสามารถเพิ่มผลผลิตของน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อต้น จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักแห้งต่อต้นของถั่วลิสง เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยขาว เนื่องจากปุ๋ยขาวไปลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม มากกว่าลดความเป็นกรดของดินโดยตรง และทำให้ถั่วลิสงติดปม และตรึงไนโตรเจนได้มากขึ้น จากผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดินเปรี้ยว โดยประเมินผลตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ย และการใช้ปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยของข้าวสรุปได้ว่า สามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวได้อย่างเด่นชัด ยกตัวอย่างเช่น จากผลงานวิจัยของ จุมพล ยุวณิคม (2531) พบว่า การใช้ปุ๋ยมาร์ลในอัตรา 1,426 กิโลกรัมต่อไร่ กับข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยว ที่มีค่า pH 4.4 สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้นกว่าข้าวที่ไม่มีการใส่ถึงร้อยละ 2.11 เท่าตัว กล่าวคือ มีผลทำให้ข้าวเพิ่มขึ้นจาก 149 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 462 กิโลกรัมต่อไร่ (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556)

### 3. ยิปซัม

ยิปซัมที่ใช้ในการเกษตรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดิน มีทั้งที่เป็นแร่ยิปซัม (mimed gypsum) และผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมีฟอสเฟต ซึ่งเรียกว่า ฟอสไฟยิปซัม ที่ผลิตในประเทศ เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกรดฟอสฟอรัสเพื่อนำมาใช้เป็นแม่ปุ๋ย โดยใช้หินฟอสเฟต ทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันได้กรดฟอสฟอรัส และทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียจะได้ปุ๋ยฟอสเฟต เช่น ไดแอมโมเนียฟอสเฟต (DAP) และโมโนแอมโมเนียฟอสเฟต (MAP) ส่วนผลพลอยได้ คือ ฟอสไฟยิปซัม ซึ่งมีองค์ประกอบของยิปซัม ประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไฟฟ้าของโรงงานแม่เมาะลำปาง จากกระบวนการลดมลพิษของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (สร้อยญา คำอำภัย, 2548)

#### ผลของยิปซัมต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช

ประโยชน์ของยิปซัมทางการเกษตรที่สำคัญ คือ เพิ่มธาตุอาหารรองที่สำคัญกับพืช คือ แคลเซียม และกำมะถัน ให้กับดิน ซึ่งดินกรดในที่ดินทั่วไป มักขาดธาตุอาหารนี้ นอกจากนี้ยังลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียม และลดความเป็นกรดของดินชั้นล่าง โดยใช้ปรับปรุงสภาพดินเค็ม และลดความฟุ้งกระจายของดิน เป็นสารปรับปรุงดินที่ใช้ลดการเกิดแผ่นดินไหวหรือชั้นดิน ช่วยดูดซับจุลธาตุ ลดการใช้ปุ๋ยเคมี สามารถใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยกำมะถันจากปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตได้ นอกจากนี้ ยิปซัวยังช่วยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของประจุบวกกับแคลเซียมในดิน และลดการสูญเสียไนโตรเจนในรูป  $\text{NH}_3$  จากการใช้ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยคอก (สร้อยญา คำอำภัย, 2548)

ความเป็นกรดของดินชั้นล่าง เป็นข้อจำกัดที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด เนื่องจากดินล่างส่วนใหญ่ขาดแคลนซีเอ็ม มีความเป็นพิษของอะลูมิเนียม รากพืชเจริญและขยายได้น้อย เป็นสาเหตุให้พืชขาดน้ำ การใช้ยิปซัมเพื่อปรับปรุงดินกรดชั้นล่างจึงเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน ยิปซัมหรือฟอสฟอรัสยิปซัมสามารถละลายน้ำได้ง่าย และเคลื่อนที่ลงสู่ดินล่างได้ง่าย แล้วทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมอิสระในสารละลายดิน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะลูมิเนียมซัลเฟต ( $AlSO_4^+$ ) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อพืช และลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินชั้นล่าง การใส่ยิปซัมลงไปดินอย่างเดียวยังไม่ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น แต่แคลเซียมจากการใส่ยิปซัมจะส่งผลต่อคุณภาพผลผลิต เช่น ลดการเกิดเมล็ดดลีบของถั่วลิสง การใส่ยิปซัมอย่างเดียวยังสามารถลดการเกิดเมล็ดดลีบในถั่วลิสงมากกว่าไม่ใส่ และการใส่ยิปซัมร่วมกับปุ๋ยหมักทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และลดการเกิดเมล็ดดลีบของถั่วลิสงได้มากกว่าใส่ยิปซัมอย่างเดียว แต่ในดินกรดจัดธาตุอาหารพืชอาจอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช จึงต้องใช้ยิปซัมควบคู่กับการใช้ปุ๋ย การใช้ปุ๋ยร่วมกับยิปซัม หรือการใช้ยิปซัมร่วมกับอินทรีย์วัตถุหรือปุ๋ยหมัก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแคลเซียมลงในดินล่างได้ดี และลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินล่าง ส่งเสริมให้รากพืชเจริญและแพร่ขยายได้ดีขึ้น ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น เป็นต้น (สรัญญา คำอำภย์, 2548)

#### 4. ซีโอไลท์

ซีโอไลท์ (zeolite) เป็นกลุ่มแร่อลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนใต้ท้องทะเล หรือการที่ลาวาหรือหินภูเขาไฟไหลลงไปทับถมในท้องทะเลสาบหรือลงสู่ระบบน้ำใต้ดินที่มีความเป็นด่างสูง และมีความอบอุ่น แล้วลาวานั้นจะเปลี่ยนเป็นแร่ซีโอไลท์ ซึ่งต้องใช้เวลานานหลายปี โครงสร้างของแร่ซีโอไลท์ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ เค้าโครงของกลุ่มแร่อลูมิโนซิลิเกต เค้าโครงของโมเลกุลของน้ำ และเค้าโครงของช่องว่างภายในที่มีประจุโลหะ ซึ่งอาจเป็น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม หรือเหล็ก เป็นต้น ซีโอไลท์เป็นแร่ที่ผ่านการตกผลึกจากหินภูเขาไฟที่เย็นตัวแล้ว ที่เรียกว่า หินไรโอไลท์ (riolite) ลักษณะเป็นหินธรรมชาติที่เป็นเนื้อละเอียด และมีสีขาว ประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ มากมาย กลุ่มแร่นี้จัดอยู่ในสารประกอบซิลิเกต มีอลูมิโนซิลิเกตเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำกลุ่มแร่ชนิดนี้มาผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง จะเกิดการพองตัวของโมเลกุลเป็นช่องว่างในโครงสร้าง ซีโอไลท์มีทั้งชนิดที่เกิดตามธรรมชาติและสังเคราะห์ ซีโอไลท์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ลักษณะเป็นอลูมิโนซิลิกาที่มีพื้นที่ผิวสูง และมีแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้สูง (สุรัชย์ ธนุศร, 2546)

##### การใช้ประโยชน์จากซีโอไลท์

การใช้ซีโอไลท์ธรรมชาติได้เพิ่มขึ้นกันอย่างแพร่หลาย และมีการศึกษาอย่างมากมาย ซึ่งมีรายงานจากการทดลองใช้ซีโอไลท์ วัสดุที่เป็นประโยชน์ได้ เช่น เพิ่มผลผลิตพืช คุณสมบัติ

ในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน การดูดซึม และคุณสมบัติไฮเดรชัน สามารถนำมาปรับปรุงดิน เพื่อชะลอการปลดปล่อย (release) ปุ๋ยได้ช้าลง ส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ของซีโอไลท์คลินอพิโลไลท์ (zeoliteclinopyilolite) เช่น มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุระหว่าง 100–300 เซนติโมล/กิโลกรัม และเพิ่มหรือเลือกจับกับ  $K^+$  และ  $NH_4^+$  การดูดซับ  $NH_4^+$  ในโครงสร้างของแร่อาจป้องกันการออกซิเดชัน  $NH_4^+$  เพื่อเป็น  $NO_3^-$  ได้ โดยกระบวนการ nitrifying ของแบคทีเรียจะลดการสูญเสีย และ การสูญหายของปุ๋ยแอมโมเนียได้ จากรายงานเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดลองในประเทศญี่ปุ่น พบว่า การเพิ่มซีโอไลท์ในดินทรายหยาบ ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น ในส่วนคุณสมบัติของแร่ซีโอไลท์ที่มีความพรุนสูง และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง จึงมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง สำหรับเป็นตัวดูดซับ ตัวกรอง ตัวเติม หรือเร่งปฏิกิริยาในหลายอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซีโอไลท์มีการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงมาก จึงทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารพืช โลหะหนัก ตลอดจนแก๊สมันตรังสี สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์หลายชนิด สามารถดูดซับความชื้น และปลดปล่อยออกมาให้พืชนำไปใช้ยามแห้งแล้ง และคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของซีโอไลท์ ก็คือ มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุสูง ค่านี้ยิ่งสูงการดูดซับธาตุอาหารพืชยิ่งดีขึ้น ทำให้การถูกชะล้างลดน้อยลง พืชได้มากขึ้น ในแร่ซีโอไลท์ที่พบในธรรมชาติมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก สูงถึง 100–300 เซนติโมล/กิโลกรัม ถ้าเป็นซีโอไลท์สังเคราะห์จะยิ่งมีค่าสูงขึ้นไปอีกคือ อาจสูงถึง 600 เซนติโมล/กิโลกรัม คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของซีโอไลท์ที่มีคุณภาพ จะวัดได้มากถึง 150–185 เซนติโมล/กิโลกรัม (สุรชัย อนุสร, 2546)

### 5. ซิลิคอน

ซิลิคอน ก็คือ สารอาหารที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 2 คือ ร้อยละ 27.7 รองจากออกซิเจน สามารถพบได้ในปริมาณร้อยละ 60 ของสารอาหารที่พบในชั้นหน้าดิน ด้วยสารอาหารธรรมชาติ ที่มีสารซิลิคอนผสมอยู่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกที่อยู่ในรูปของผลึกคริสตัล (ของแข็ง) ที่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ คือ ซิลิกา (ทราย  $SiO_2$ ) และซิลิเกต (ดินเหนียว  $SiO_4$ ) ในขณะที่ประเภทที่สองจะอยู่ในรูปแบบ (ของเหลว) พืชสามารถดูดซึมได้ทันทีคือ กรดซิลิซิก ( $H_4SiO_4$ ) การย่อยสลายซิลิเกตที่อยู่ในรูปของผลึกไปสู่การเป็นของเหลว ที่เรียกว่า กรดออร์โทซิลิซิก นั้น จะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายถึง 3 ขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการทางกลศาสตร์ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางชีววิทยา (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

#### ซิลิคอนกับการเจริญเติบโตของพืช

แม้ว่าซิลิคอนไม่ถูกจัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต และการพัฒนาของพืช แต่ซิลิคอนมีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และเพิ่มผลผลิตอย่างเด่นชัดในพืชหลายชนิด เช่น ข้าว อ้อย แดงกวา พืชผัก ผลไม้ เป็นต้น ซิลิคอนสามารถให้ประโยชน์อย่างมาก

โดยเฉพาะกรณีพืชที่ปลูกได้รับความเค็ม (strees) จากทั้งสิ่งที่มีชีวิต เช่น โรคแมลง หรือสิ่งไม่มีชีวิต เช่น สภาพแล้ง หรือน้ำค้างแข็ง ซิลิคอนสามารถช่วยบรรเทาความเสียหายจากสภาพเค็มเหล่านั้นได้ ซิลิคอนจะช่วยส่งเสริมให้ดินอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช เพิ่มการสังเคราะห์แสง ปรับปรุงโครงสร้างพุ่มต้น ควบคุมการคายระเหยน้ำ ตลอดจนช่วยเพิ่มความทนทานของพืชต่อพิษของธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น ซิลิคอนจึงเป็นธาตุเสริมประโยชน์ หรือ beneficial element สำหรับพืช ซิลิคอนมีบทบาทสำคัญในการสร้างความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และสามารถทำให้พืชทนทานต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง อุณหภูมิสูง หรือสภาวะอากาศที่มีความแปรปรวน แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ซิลิคอนในการเพาะปลูกพืช ได้ถูกละเลยมาเป็นระยะเวลาช้านาน เนื่องจากในดินมีปริมาณซิลิคอนค่อนข้างสูง ทำให้พืชสามารถดูดซิลิคอนไปใช้ได้มากกว่าธาตุอาหารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในดินตามธรรมชาติ และจากผลการศึกษาวิจัยและพัฒนา โดยสรุปพบว่า ซิลิคอนมีผลต่อการเจริญเติบโตและความแข็งแรงของพืช ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง เพิ่มความทนทานต่อการถูกทำลายเสียหาย เพิ่มความต้านทานโรคแมลงศัตรูพืช มีการเติบโตที่แข็งแรง ทำให้ลำต้นตั้งตรง ทำให้ลมพัดผ่านได้ดี มีผลช่วยลดการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืช เพิ่มอัตราการงอกของยอดอ่อน เพิ่มความหนาแน่นของระบบราก เพิ่มผลผลิต เพิ่มความต้านทานต่อสภาวะแห้งแล้ง ลดการระเหยของน้ำให้ช้าลง แม้อุณหภูมิตอนกลางวันสูงถึง 38 องศาเซลเซียส ก็ไม่พบสภาพสูญเสียน้ำ หรือเหี่ยวเฉา แสดงว่า ปุ๋ยซิลิคอนช่วยลดการระเหยน้ำ สามารถทนร้อนได้ดี เพิ่มประสิทธิภาพการเข้าแทนที่ของไอออนบวกในดิน เพิ่มประสิทธิภาพของธาตุบำรุงพืช (ยงยุทธ ไอสถสภา, 2552)

## 6. โบรอน

เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช โดยพืชต้องการในปริมาณที่น้อยมาก และมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดพืช เช่น 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในใบข้าว 20-50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในใบของพืชใบเลี้ยงคู่ และ 15-25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในใบของทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน หน้าที่ของโบรอนในพืช คือ สามารถดูดซึมขึ้นไปใช้ประโยชน์ในรูปของกรดบอริก ( $H_3BO_3$ ) เป็นหลัก โดยทำหน้าที่สำคัญ ดังนี้ การพัฒนาของเซลล์ใหม่ โบรอนช่วยให้การพัฒนาและสร้างเซลล์ใหม่ดำเนินไปอย่างปกติ เช่น ยอดอ่อน ใบอ่อน และรากอ่อน มีการเจริญเติบโตเป็นปกติ ส่วนพืชที่ขาดโบรอน จะทำให้ใบอ่อนไม่พัฒนา ใบมีอาการหงิกงอผิดปกติ รากไม่งอกหรือยืดยาวน้อย จะเห็นใบยอดไม่ค่อยเจริญเติบโต คลือออกน้อย หรือคลือออกโดยปลายใบจะโค้งหักเป็นรูปตะขอ ในบางครั้งถ้าขาดโบรอนมาก ๆ ใบจะมีลักษณะผิดปกติรูปทรงย่นหยิก ใบมีขนาดเล็ก กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลง อีกทั้ง การทำงานของเนื้อเยื่อบริเวณผิวรากลดลง

ไบรอนเกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เมมเบรนบริเวณผิวราก ทำให้มีการดูดซึม (absorb) ของไอออน ธาตุอาหารต่าง ๆ ให้เป็นปกติ มีรายงานว่าการให้ไบรอนที่เพียงพอสามารถทำให้ การดูดซึมฟอสฟอรัสของรากถั่ว เพิ่มขึ้นจาก 112 นาโนโมล/โกรทฮอร์โมน เป็น 152 นาโนโมล/โกรทฮอร์โมน และจากรากข้าวโพด เพิ่มขึ้นจาก 116 นาโนโมล/โกรทฮอร์โมน เป็น 190 นาโนโมล/โกรทฮอร์โมน และการผสมเกสร และการเจริญของท่อละอองเกสร เนื่องจากไบรอนมีหน้าที่ เกี่ยวกับการพัฒนาและสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้น จึงมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาหลังจาก มีการผสมเกสร และการยึดตัวของท่อละอองเกสร โดยเฉพาะในจุดที่กำลังมีการแบ่งเซลล์ หรือกำลังเจริญเติบโต ในกรณีของท่อละอองเกสรถ้ามีการขาดไบรอน จะทำให้ท่อละอองเกสร เจริญเติบโตผิดปกติ มีอาการพองปริแตก ไม่มีการยึดตัว และยังมีผลทำให้เนื้อเยื่อบริเวณ ท่อละอองเกสรผิดปกติ ส่งผลให้สูญเสียน้ำตาลได้ (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2547)

## 7. ภูโมท์

กลุ่มของหินแร่ภูเขาไฟ จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีความพรุนโปร่ง คล้ายกับโครงสร้าง ของฟองน้ำ ทำให้มีความสามารถในการกรอง ดัก จับ ตรึง แร่ธาตุ และก๊าซต่าง ๆ ได้ค่อนข้างดี ภูโมท์ คือ สารปรับปรุงสภาพดินที่มีการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพขึ้นมา เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่ เกษตรกร เพราะการใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้กับพืชเกือบทุกชนิด และยังสามารถใช้ได้กับ ดินทุกพื้นที่ ไม่ว่าจะสภาพดินนั้นจะเป็นกรดหรือด่าง ภูโมท์ช่วยปรับปรุงสภาพดินให้โปร่ง ร่วนซุย มีการระบายถ่ายเทน้ำได้ดีขึ้น ทำให้น้ำไม่ท่วมขังหรือแฉะ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้รากเน่าตายได้ อีกทั้ง ยังมีความสามารถในการช่วยปลดปล่อยแร่ธาตุซิลิกา และธาตุอาหารเสริมอื่น ๆ ออกมา เป็นประโยชน์ให้แก่พืชอย่างช้า ๆ ทำให้พืชได้รับสารอาหารอย่างครบถ้วน มีแร่ธาตุฟอสฟอรัส ที่ช่วยทำให้รากพืชมีการเจริญเติบโตที่ดี ทำให้หาอาหารได้มากขึ้น ช่วยเพิ่มขนาดใบให้ใหญ่ขึ้น ปริมาณใบก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้พืชสะสมอาหารได้ในปริมาณที่มาก และยังมีแคลเซียมที่ช่วยทำให้ ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรง ช่วยส่งเสริมการยึดเซลล์ได้อย่างดีเยี่ยม ทำให้ในสภาวะที่ฝนตกชุก พืชได้รับไนโตรเจนมากเกินไป และปริมาณของคาร์โบไฮเดรตลดน้อยลง ผลหรือผิวของพืช ก็จะไม่แตกหักง่าย ซึ่งมีแมกนีเซียมช่วยสังเคราะห์โปรตีนให้แก่พืช ช่วยสร้างแป้งให้แก่หัวมัน ลำปะหลัง ช่วยสังเคราะห์แสง เพิ่มพลังงานในการเคลื่อนย้ายปัจจัยการสังเคราะห์แสง จากแหล่งจ่ายไปยังแหล่งที่รับ เช่น ราก ผล และหัวของพืชต่าง ๆ ทำให้ได้รับผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น มีซิลิเฟออร์ ช่วยในการสร้างโปรตีนให้แก่พืช ช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ ช่วยสังเคราะห์สีเทอื่น และเมไทโอนีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อินทรีย์สารหลาย ๆ ชนิด ให้แก่เนื้อเยื่อพืช เหมาะแก่การเตรียมแปลงเพาะปลูก อ้อย ปาล์ม และมันลำปะหลัง เพื่อเป็น การเตรียมแปลง หรือสภาพดินให้พร้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชเหล่านี้ ควรใช้ภูโมท์

หว่านรองพื้นลงไปแปลงเสียก่อน เพื่อเป็นการปรับปรุงสภาพดิน และเตรียมดินให้พร้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชเสียก่อน ซึ่งจะเป็นการช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ แข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อม รวมทั้งโรค แมลง รา และไร ได้เป็นอย่างดี เพราะในฤดูไม้มีซิลิกาที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดกินหรือนำไปใช้ได้ง่าย ทำให้เซลล์ของพืชแข็งแรงขึ้นมากกว่าพืชที่ไม่ได้รับซิลิกา หรือจะใช้หว่านรอบพื้นที่ทรงพุ่ม หลังจากที่ได้ปลูกพืชลงไปแล้วก็ได้ยิ่งหว่านในช่วงต้นฝน หรือในช่วงหน้าฝนได้ก็จะยิ่งดี เพราะฝนจะเป็นตัวทำละลายแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ให้พืชสามารถนำไปใช้ได้รวดเร็วขึ้น เมื่อพืชดูดกินเข้าไปก็จะช่วยเร่งการเจริญเติบโต ช่วยให้เกสรของพืชอุดมสมบูรณ์ ไม่เป็นหมัน ลดการเป็นกะเทย และสุดท้าย คือ ช่วยเพิ่มผลผลิตได้เป็นอย่างดี (มนตรี บุญจรัส, 2551)

### 8. มูลค่างคาว

ในแต่ละปีประเทศไทยนำเข้ามูลค่างคาวจากลาว กัมพูชา และพม่า ซึ่งมีมูลค่าหลายร้อยล้านบาท เป็นเพราะผู้บริโภคมีความต้องการผลิตผลทางอินทรีย์มากขึ้น ดังนั้นการใช้มูลค่างคาวจึงเป็นอีกหนึ่งตัวช่วยในการทดแทนการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ แต่ก็มีข้อจำกัดของมูลค่างคาวในแต่ละแหล่งที่มีปริมาณธาตุอาหารไม่เท่ากัน เพราะอาหารและสภาพแวดล้อมโดยค่างคาวที่กินแมลง จะให้ธาตุอาหารสูงกว่าค่างคาวที่กินผลไม้ จึงทำให้ลักษณะมูลค่างคาวในถ้ำแต่ละแหล่งที่ได้มีสมบัติที่ต่างกัน (นิภาพร บุญชอบ และสุวัฒน์ ชีระพงษ์ธนากร, 2558)

ปริมาณธาตุอาหารที่มีประโยชน์ในมูลค่างคาวอยู่ในรูปอินทรีย์ แต่ก็มีสัดส่วนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับในปุ๋ยเคมี จึงต้องใช้ในปริมาณมาก ซึ่งอาจไม่พอกับความต้องการของพืชก็ได้ นอกจากนี้ จุลินทรีย์ในอินทรีย์วัตถุยังช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์และปุ๋ยเคมีที่ตกค้างในดินกลับมาเป็นธาตุอาหารของพืช เสริมสร้างผนังเซลล์ของพืชทำให้พืชแข็งแรง ช่วยให้ข้าวเหนียวบำรุงต้นให้เจริญเติบโต และยังช่วยป้องกันโรครากเน่า โคนเน่า ที่เกิดจากเชื้อรา และแบคทีเรีย ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต มีน้ำหนัก และรสชาติดีขึ้น เนื่องจากมูลค่างคาวมีความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัส 2.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่โพแทสเซียม 1.8 เปอร์เซ็นต์ ไม่ได้สูงมากนัก ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน 1.0 เปอร์เซ็นต์ ในมูลค่างคาวที่ช่วยบำรุงต้นและใบ มักอยู่ในระดับต่ำ อย่างไรก็ตามมูลค่างคาวก็อาจสร้างผลเสียต่อพืชได้เช่นกัน อาจเนื่องจากการใช้ปุ๋ยมูลค่างคาวโดยตรงที่อาจไม่เหมาะสม เพราะมูลค่างคาวมีความเค็มสูง จึงควรต้องใส่น้อยกว่าปุ๋ยคอกโดยทั่วไป ควรผสมมูลค่างคาวกับปุ๋ยอินทรีย์อื่น หรือซากพืช เพื่อให้ประโยชน์ในเรื่องการปรับปรุงดินไปด้วยในตัว นอกจากประโยชน์จากธาตุอาหารแล้ว มูลค่างคาวยังมีประโยชน์ในแง่อื่น ๆ เช่น ทำเป็นปุ๋ยหมักได้ง่าย เพราะมีการย่อยสลายได้เร็ว (นิภาพร บุญชอบ และสุวัฒน์ ชีระพงษ์ธนากร, 2558)

การใช้มูลค่างควาในการผลิตพืช ช่วยให้ได้ผลดี เนื่องจากมูลค่างควาให้ธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ค่อนข้างมาก เป็นผลจากการที่ค่างควากินแมลง ปุ๋ยประเภทนี้จึงเหมาะสำหรับ ใช้กับไม้ผลที่ผลมีกลิ่นหอม เช่น ขนุน ทุเรียน ลำไย กัลยหอม มะม่วง ลิ้นจี่ เพราะโพแทสเซียม ในมูลค่างควา เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นมากสำหรับไม้ผลและพืชผักที่กินใบ เช่น ผักกาดขาวปลี และผักสลัดกรีนโอ๊ค อย่างไรก็ตามการที่มูลค่างความีธาตุไนโตรเจน ที่ช่วยบำรุงต้นและใบ ที่นอกจากทำให้เกิดผลดีแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดผลเสียได้เช่นกัน หากใส่ในปริมาณมากเกินไป จนนำมาซึ่งโรคพืชและแมลงศัตรูพืช ที่เข้ามาทำลายผลผลิตในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืช (นิภาพร บุญชอบ และสุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร, 2558)

### สารปรับปรุงดิน

สารปรับปรุงดิน หรือ soil conditioners ตามคำจำกัดความในหนังสือปทานุกรมปุ๋ย หมายถึง สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีสมบัติทำให้สารคอลลอยด์ดิน (soil colloid) จับตัวกันเป็นเม็ดดิน หรือก้อนดิน (soil aggregate) มีโครงสร้างคล้ายทรงกลมและมีรูพรongสม่ำเสมอ และโปร่ง (crumb structure) ช่วยทำให้ดินที่มีปัญหาทางกายภาพ โดยเฉพาะปัญหาทางด้านโครงสร้างของดิน ที่ไม่เหมาะสม มีโครงสร้างของดินที่ดีขึ้น และทำให้ดินมีสภาพที่ซึมผ่านได้ของน้ำ และอากาศ ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาบทบาทต่อการปรับปรุงดินในทางปฏิบัติ สารปรับปรุงดิน ไม่ใช่จะมีแต่สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น แต่ยังมีสารชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด ที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมของดิน และอาจได้ถือว่ เป็นสารปรับปรุงดินได้เช่นกัน เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อินทรีย์สารที่ได้จากธรรมชาติ ผลพลอยได้ หรือเศษเหลือทิ้งจากพืชผลผลิตพืช สารอินทรีย์สังเคราะห์ สารอนินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ โดยไม่มีการแปรรูป หรือที่แปรรูปแล้ว วัสดุปูนไลม์ สารฟอสโฟอิมปซัม และสารอินทรีย์เคมี ชนิดต่าง ๆ ที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นต้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สารปรับปรุงดิน คือ สารธรรมชาติ หรือสารสังเคราะห์ ที่ใช้ใส่ลงในดินเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน หรือสารปรับปรุงดิน หมายถึง สารที่ได้จากธรรมชาติ หรือสารสังเคราะห์ที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุง คุณสมบัติของดินทางกายภาพหรือทางเคมีอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้เหมาะสม ต่อการเจริญเติบโตของพืช น่าจะเป็นคำจำกัดความที่กะทัดรัดและมีถูกต้อง และเหมาะสมมากกว่า (ปิยะ ดวงพัตรา, 2556)

#### 1. สารฮิวมิก (Humic substances)

สารฮิวมิก ประกอบด้วย กลุ่มของสารอินทรีย์ประเภทที่มีมวลโมเลกุลสูง หรือค่อนข้างสูง ทั้งนี้ เกิดจากการแปรสภาพ และสังเคราะห์รวมตัวกันขึ้นมาใหม่ของสารที่ไม่ใช่

ฮิวมิก (non-humic substances) โครงสร้างโมเลกุลของสารฮิวมิก เป็นแบบอสัณฐานไม่มีรูปร่างที่แน่นอน มีหลายสี เช่น สีเหลือง สีน้ำตาล จนถึงน้ำตาลดำ แสดงสมบัติเป็นสารคอลลอยด์ โดยมีอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-10 นาโนเมตร และเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอินทรีย์วัตถุที่สะสมตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งมีอิทธิพลสำคัญต่อสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวเคมีของดิน สารฮิวมิกละลายน้ำได้น้อยมาก แต่บางส่วนละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง ถ้าอาศัยความสามารถในการละลายได้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ กรดฮิวมิก (humic acid) กรดฟุลวิก (fulvic acid) และฮิวมิน (humic) สารประกอบทั้ง 3 ชนิดนี้ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันในการควบคุมสมบัติของดิน เช่น สามารถดูดซับและแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดี (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546)

1.1 กรดฮิวมิก (humic acid) เป็นสารอินทรีย์สีดำ มีสภาพเป็นกรดได้จากการใช้ต่างสัปดาห์ดินถ่านหินชั้นคุณภาพต่ำ (leonardite) และซากพืชต่าง ๆ โดยที่กรดฮิวมิกนี้ไม่ละลายในกรดอินทรีย์ และกรดอื่น ๆ ซึ่งกรดฮิวมิกเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็น polyphenol ที่เสถียร แต่สลับซับซ้อน ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ในดิน พบได้ในพีทลิกไนท์ และแร่ลีโอนาไดต์ เป็นต้น กรดฮิวมิกมีส่วนประกอบของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) หมู่ฟีนอล (phenolic group) หมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) หมู่แอลกอฮอล์ (alcoholic hydroxyl group) และหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ต่ำกว่า 1,000 จนถึง 100,000 กรดฮิวมิกสามารถละลายได้ในสารละลายต่าง แต่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ กรดฮิวมิกมีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไฮโดรเจน (H) กำมะถัน (S) ไนโตรเจน (N) และธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อย (มณฑนีย์ เศรษฐภูภักดี, 2546)

1.2 กรดฟุลวิก (fulvic acid) สามารถละลายได้ทั้งในกรดและด่าง มีโครงสร้างทางโมเลกุลเล็กที่สุด มีขนาดโมเลกุล อยู่ในช่วงประมาณ 1,000-30,000 โครงสร้างโมเลกุลค่อนข้างยืดหยุ่น มีช่องเปิดภายในขนาดต่าง ๆ อยู่มาก เปิดโอกาสให้สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์อื่น ๆ เข้าไปเกาะยึดภายในโมเลกุลได้ง่าย กรดฟุลวิกมีผลต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช มีลักษณะเป็นสารสีเหลืองทอง ละลายน้ำได้ดีในทุกสภาวะ เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็วที่สุด มีอยู่ในสัดส่วนที่น้อย มีการสกัดออกมาใช้ในรูปแบบของสารประกอบโพแทสเซียม เรียกว่า โพแทสเซียมฟุลเวท ซึ่งละลายน้ำได้ดี (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546)

1.3 ฮิวมิน (humic) คือ เป็นส่วนของกรดฟุลวิก กรดฮิวมิก เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ หรือสารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น เซลลูโลสหรือลิกนิน ที่เข้าไปเกาะยึดอยู่กับสารประกอบอนินทรีย์ในดิน เช่น อนุภาคของดินเหนียว แล้วทำให้ไม่สามารถละลายใน

NaOH หรือ  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  ได้ สารชีวมิคนไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายต่างเจือจางและกรด มีสีคล้ำดำหรือน้ำตาลเข้ม ไม่ละลายน้ำ (ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546)

**2. สมบัติทางกายภาพ** กรดฮิวมิกจะรักษาโครงสร้างของดินให้ชุ่มน้ำ และระบายอากาศได้ดี ในอนุภาคของดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง จะมีประจุบวกและประจุลบอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวสูง จึงส่งผลให้ดินมีความละเอียดและความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบรากของพืช ที่จะดูดซึมแร่ธาตุอาหารและน้ำ กรดฮิวมิกสามารถปรับปรุงดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง เนื่องจากในโครงสร้างโมเลกุลของกรดฮิวมิกมีหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งจะไปสร้างพันธะกับอนุภาคประจุบวกในดินที่มีความเป็นดินเหนียวสูง และทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุบวกและประจุลบออกจากกัน ซึ่งก็จะทำให้ชั้นดินมีความโปร่งขึ้น ส่งผลให้น้ำและอากาศหมุนเวียนถ่ายเทได้ดีขึ้น นอกจากนี้ กรดฮิวมิกสามารถป้องกันไม่ให้น้ำระเหยไปจากดิน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญยิ่งสำหรับดินที่มีความเป็นดินเหนียวต่ำ ดินทราย และดินในพื้นที่แห้งแล้ง ที่ไม่สามารถจะดูดซับน้ำไว้ได้ เมื่อดินที่มีลักษณะดังกล่าว มีน้ำผ่านเข้ามา ประจุบวกที่กรดฮิวมิกได้ดูดซับไว้ จะสร้างพันธะกับประจุลบของน้ำ คือ ออกซิเจน ส่วนประจุบวกที่เหลืออยู่ในน้ำ คือ ไฮโดรเจนนั้น ก็จะสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับอะตอมของออกซิเจนในน้ำโมเลกุลอื่นต่อไป ทำให้น้ำระเหยออกจากดินน้อยลง หรือสามารถอุ้มน้ำได้มากขึ้นนั่นเอง (วิวัฒน์ ไตรธิกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ ไตกมลธรรม, 2552)

**3. สมบัติทางเคมี** กรดฮิวมิกมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร เพื่อที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นให้แก่พืช เพื่อที่จะได้นำสารเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโต การออกดอกออกผล กล่าวคือ กรดฮิวมิกสามารถยึดประจุบวกของธาตุอาหารเสริมภายใต้สภาวะหนึ่ง และจะปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นเมื่อสภาวะเปลี่ยนไปด้วยคุณสมบัตินี้ เมื่อกรดฮิวมิกเข้าไปใกล้บริเวณรากของพืช ซึ่งระบบรากพืชจะมีประจุลบ พืชธาตุอาหารเสริมเหล่านั้น ก็จะถูกปล่อยจากโมเลกุลของกรดฮิวมิกเข้าไปสู่ระบบรากพืช ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า กรดฮิวมิกมีความสำคัญอย่างมาก ในการเป็นสื่อกลางการลำเลียงธาตุอาหารจากดินไปสู่รากพืช (วิวัฒน์ ไตรธิกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ ไตกมลธรรม, 2552)

#### 4. การสกัดกรดฮิวมิก

การสกัดกรดฮิวมิกในทางเคมี สามารถทำได้โดยละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฮิวมิกจะถูกสกัดเข้ามาละลายอยู่ในชั้นของสารละลายต่าง เป็นโซเดียมฮิวเมตหรือโพแทสเซียมฮิวเมต จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนด้วยกรด โดยปรับให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 1 แล้วนำไป

เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เพื่อแยกตะกอนเกลือฮิวเมตออกมา (วิวัฒน์ โติศิริกุล, พลยุทธ สุขสมิติ และจินดารัตน์ โตกมลธรรม, 2552)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมวิชาการเกษตร (2551) รายงานว่า ค่าวิเคราะห์ธาตุโลหะอันตรายที่พบในลีโอนาร์โดต์ คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และปรอท มีผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีปริมาณต่ำมาก และต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด ยกเว้น ธาตุอาร์ซีนิก ซึ่งพบว่า ค่าวิเคราะห์สูงกว่าธาตุอื่น ๆ แต่ก็ยังถือว่า มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด คือ น้อยกว่า 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ชัยมงคล ไชยล้ำ และบุญธรรม คิตคำ (2558) รายงานว่า ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด ตรากรวีานพะเยา ใช้วัตถุดิบที่ประกอบด้วย มูลไก่ มูลสุกร ปุ๋ยหมักที่ทำจากผักตบชวา และลีโอนาร์โดต์ จากจำนวนทั้งหมดนี้ พบว่า ลีโอนาร์โดต์ มีอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมด สูงเท่ากับ 55.41 เปอร์เซ็นต์ และ 13.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกรรมวิธีการผสมปุ๋ย ที่ประกอบด้วย ลีโอนาร์โดต์ ซีโอไลต์ ปุ๋ยหมักผักตบชวา มูลสุกร และมูลไก่ ในอัตราส่วน 3:1:1:3:2 มีอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 28.36 เปอร์เซ็นต์ และ 2.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นปุ๋ยที่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามที่พระราชบัญญัติปุ๋ยกำหนดไว้

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และวิเชียร จาญพจน์ (2539) รายงานว่า การใส่ปุ๋ยในอัตรา 325 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นถั่วเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเพิ่มเล็กน้อยที่อัตรา 650–975 กิโลกรัม/เฮกตาร์ และเมื่อใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นที่ 1,625–1,950 กิโลกรัม/เฮกตาร์ ทำให้การเจริญเติบโตของถั่วลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในสภาพเกินปุ๋ยดินมักมี pH เป็นด่าง ทำให้ขาดจุลธาตุในดิน และการใส่ปุ๋ยในปริมาณเกินพอทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น โดยไม่จำเป็น

ณรรต สมจันทร์ และอรุวรรณ ฉัตรสิริรุ่ง (2557) ทำการปรับปรุงคุณภาพลีโอนาร์โดต์ เพื่อให้สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ถึงแม้ว่าลีโอนาร์โดต์มีสารฮิวมิกสูง แต่มีค่า pH ต่ำ จึงยกระดับ pH ของลีโอนาร์โดต์จากเหมืองแม่เมาะโดยการใช้โดโลไมต์ ทำการผสมกับโดโลไมต์ ในอัตรา 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ บ่มให้มีความชื้นที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถ ในการอุ้มน้ำสูงสุด เป็นเวลา 28 วัน โดยใช้ค่า pH และค่ากรดฮิวมิกเป็นตัวชี้วัดผลการทดลอง พบว่า การใช้ลีโอนาร์โดต์ผสมโดโลไมต์ ในอัตราส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า กรดฮิวมิก 51.69 เปอร์เซ็นต์สูงที่สุด และมีค่า pH ที่เหมาะสม pH 6.14 ส่วนอีกการทดลองหนึ่ง ได้ทำการศึกษาลีโอนาร์โดต์ที่ผสมโดโลไมต์ อัตรา 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ กับหินฟอสเฟต ที่อัตรา

0, 5, 7.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ป๋มไว้ที่ 28 วัน ที่ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการยกระดับค่า pH และ เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด  $P_2O_5$  ของลีโอเนาร์โดต์ โดยใช้โดโลไมต์ร่วมกับหินฟอสเฟต โดยใช้ค่า pH เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด  $P_2O_5$  และค่ากรดฮิวมิก เป็นตัวชี้วัดหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดิน ผลการศึกษา พบว่า ลีโอเนาร์โดต์ผสมโดโลไมต์ 5 เปอร์เซ็นต์ และหินฟอสเฟต 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า pH 6.39 เปอร์เซ็นต์ทั้งหมด  $P_2O_5$  เท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์สูงที่สุด และให้ค่ากรดฮิวมิก 42.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ลีโอเนาร์โดต์ที่ได้ปรับปรุงแล้วนี้ จึงมีสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมที่จะไปใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินทางการเกษตร

พิชญา ธีราช และนันทิธีรา สรรมณี (2556) ศึกษาอิทธิพลของคอปเปอร์และกรดฮิวมิกต่อการแบ่งเซลล์ปลายรากของหอมแดง ในเชิงเปรียบเทียบในสภาวะที่มี และไม่มีกรดฮิวมิก ต่อความผิดปกติทางพันธุกรรมของการแบ่งเซลล์ ที่บริเวณปลายรากของหอมแดง จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ไอออนทองแดงที่ความเข้มข้นต่ำ  $10^{-7}$  และ  $10^{-6}$  โมล ชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์ในระยะปกติ (mitotic index: MI) ในขณะที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปที่  $10^{-5}$  และ  $10^{-4}$  โมล มีค่า MI ลดลงต่ำกว่าชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) การเติมกรดฮิวมิกความเข้มข้นเท่ากับ ไอออนทองแดงในแต่ละชุดทดสอบ สามารถลดอิทธิพลของไอออนทองแดงลง แต่ถึงอย่างนั้น แนวโน้มการชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์ในระยะที่ปกติที่ปรากฏยังเป็นเช่นเดิม อย่างไรก็ตาม ชุดทดสอบด้วยกรดฮิวมิกอย่างเดียว เพิ่ม MI อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) นี้ อาจแยกเพราะกรดฮิวมิก มีพฤติกรรมเหมือนฮอร์โมนที่เร่งการเจริญเติบโตหรือธาตุอาหารที่เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตที่ปลายราก การชักนำให้เกิดการแบ่งเซลล์ (mitotic aberration: MA) แปรผันกับระดับความเข้มข้นของทองแดง ถ้าไอออนทองแดงมีความเข้มข้น มีค่า MA เพิ่มขึ้น หากเติมกรดฮิวมิกก็จะสามารถลดความเป็นพิษ ทำให้ค่า MA 3.7–5.25 เปอร์เซ็นต์

วิวัฒน์ โตธิรกุล, พลยูทธ ศุขสมิติ และจินดารัน โตกมลธรรม (2552) งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไซเตียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต โดยการสกัดดินปนถ่านหิน (ลีโอเนาร์โดต์) จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ด้วยสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างดินปนถ่านหินต่อสารละลายต่าง 1:10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) และตกตะกอนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไซเตียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด-ต่างระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัด ความเร็วและระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงแยกเม็ดดิน ผลจากการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไซเตียมฮิวเมต คือ สกัดที่ความเป็นกรด-ต่าง สูงกว่า 12 ใช้ระยะเวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เหวี่ยงแยกเม็ดดินออกจาก

สารละลายที่ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปตกตะกอนด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ในขณะที่โพแทสเซียมฮิวเมตใช้ความเป็นกรด-ด่าง ในการสกัด ที่ 13 และใช้ระยะเวลาในการสกัด 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า โซเดียมฮิวเมตและโพแทสเซียมฮิวเมต ประกอบด้วย สารอินทรีย์ 91.6 และ 92.9 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ และมีปริมาณเถ้า 8.4 และ 7.1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ โลหะที่วิเคราะห์ในโซเดียมฮิวเมต ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี เหล็ก ทองแดง ตะกั่ว และแมงกานีส มีปริมาณ 7,326.3, 409.4, < 0.05, 438.9, 29.4, 6,191.0, < 0.005, < 0.005 และ < 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่โพแทสเซียมฮิวเมต มีปริมาณ 248.4, 6,646.0, 85.9, 133.1, 17.5, 9,824.4, < 0.005, < 0.005 และ < 0.005 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ

สุชาดา โภชาตม และคณะ (2556) ศึกษาลักษณะทางเคมีของลีโอนาร์ไดต์จากเหมืองแร่ลิกไนต์ประเทศไทย ผลการศึกษา พบว่า ลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงถึงร้อยละ 24.4 มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน สูงมากถึง 56.6 เซนติโมล/กิโลกรัม มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืชเป็นองค์ประกอบอยู่หลายธาตุ และบางธาตุมีในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ลีโอนาร์ไดต์มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ 4.3 เดซิซีเมนต์/เมตร มีธาตุโลหะหนักอันตราย คือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และปรอท ในปริมาณต่ำมาก ยกเว้น ธาตุอาร์ซีนิก ซึ่งพบว่า ค่าวิเคราะห์สูงกว่าธาตุอื่น ๆ และสูงกว่าค่าอาร์ซีนิก เฉลี่ยในดินโดยทั่วไปถึง 10 เท่า สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของลีโอนาร์ไดต์ พบว่า มีค่าต่ำกว่า 4 ซึ่งเป็นกรดรุนแรง ดังนั้น จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แม้ลีโอนาร์ไดต์จะมีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่จำเป็นต้องมีวิธีการลดปริมาณอาร์ซีนิก และหาทางปรับลดค่าความเป็นกรด ก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

อรุณญา พรมโย (2553) งานวิจัยนี้ได้สกัดแยกกรดฮิวมิกจากหินแกรนิตดำ (ลีโอนาร์ไดต์) ที่นำมาจากจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยใช้สารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ KOH และโซเดียมไพโรฟอสเฟต  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการสกัดกรดฮิวมิกจากลีโอนาร์ไดต์ ใช้สารละลายต่าง (0.1 M NaOH, 0.1 M KOH, 0.25 M NaOH หรือ 0.25 M KOH) หรือสารละลายที่มี  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (0.1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  หรือ 0.25 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) หลังจากนั้นนำไปตกตะกอนด้วยกรด HCl พบว่า เมื่อใช้ 0.25 M NaOH จะได้ปริมาณกรดฮิวมิก เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 19.67 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้ 0.1 M KOH ได้ปริมาณกรดฮิวมิก เฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 11.46 เปอร์เซ็นต์ และได้วิเคราะห์กรดฮิวมิก เพื่อยืนยันองค์ประกอบ

โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) และเอกซเรย์-ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรี (XRF)

Dicle and Burba (1999) ได้ทำการทดลองสกัดฮิวมิกจากลีโออินาร์ไคต์จากดิน Oxisol และ Mollisol จากตอนใต้ของประเทศบราซิล (South Brazil) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ 0.1 M NaOH สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ 0.5 M NaOH และสารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟต 0.15 โมลาร์ 0.15 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที จากนั้น ตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยกรดเกลือเจือจาง พบว่า สามารถสกัดฮิวมิกได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

Eyheraguibel, et al. (2008) ทำการศึกษาเพื่อศึกษาผลของ humic-like substances (HLS) ในทางสรีรวิทยาของพืช เพื่อนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ผลกระทบของ HLS ได้รับการประเมินในการงอกของเมล็ดข้าวโพด และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของการพัฒนาและธาตุอาหารที่ได้รับ การศึกษาในพืชข้าวโพดที่ปลูกภายใต้ไฮโดรโปนิกส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า HLS ไม่ได้เพิ่มอัตราการงอกแต่ช่วยเพิ่มความยาวของราก

Fong and Seng (2007) ได้นำลีโออินาร์ไคต์จากเมือง Mukah รัฐ Sarawak ประเทศมาเลเซีย มาทดลองสกัดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเอาสารละลายมาตกตะกอนด้วยกรดเกลือ ที่ pH 1–2 โดยมีการเติมสารละลายออกซิไดซ์ ได้แก่ สารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) 5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) 5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( $\text{KMnO}_4$ ) 10 เปอร์เซ็นต์ ลงไปด้วยในขณะที่สกัด พบว่า สามารถสกัดกรดฮิวมิกได้ 35–67 เปอร์เซ็นต์

Garcia, et al. (1996) ได้สกัดกรดฮิวมิกจากแร่ลีโออินาร์ไคต์และลิกไนต์จากเมือง Teruel ประเทศสเปน โดยใช้สารละลายชนิดต่าง ๆ มาเป็นตัวสกัด อาทิเช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1 M NaOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1 M KOH) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์/สารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟต 0.1 โมลาร์ (0.25 M KOH/0.1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์/สารละลายโซเดียมไพโรฟอสเฟต (0.1 M NaOH/  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) โดยใช้เวลาในการกวนสารละลาย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 23,500 เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายมาตกตะกอนกรดฮิวมิกด้วยกรดเกลือ ที่ pH 2.0 พบว่า สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์ สกัดกรดฮิวมิกออกมาได้มากที่สุด

Gernier-Sillam and Harigenth (1999) ได้นำพืชจากเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย มาสกัดกรดฮิวมิกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH) และสารละลาย โซเดียมไพโรฟอสเฟต 0.1 นอร์มัล (0.1 N  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) จากนั้นนำสารละลายมาตกตะกอน ด้วยกรดกำมะถันเจือจางที่ pH 1.0

Maneepong, et al. (1998) ใช้ปุ๋ยขี้ปศุสัตว์และปุ๋ยขี้วัวร่วมกับขี้ปศุสัตว์ ปรับปรุงดินกรด ที่ระดับความลึกต่างกัน ปรากฏว่า การใส่ปุ๋ยขี้วัวสามารถปรับ pH ของดินให้สูงขึ้น และลดอะลูมิเนียม ที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) เพียงเล็กน้อยในดินบน และไม่แตกต่างในดินล่าง ส่วนการใส่ขี้ปศุสัตว์ สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียม และกำมะถัน ไปถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร จากผิวดินและลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินล่างดีกว่าเมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ย แต่ส่งผลให้ปริมาณ แมกนีเซียมลดลงในดิน ที่ระดับ 0-20 เซนติเมตร เนื่องจากแมกนีเซียมถูกแทนที่โดยแคลเซียม และถูกชะล้างออกจากหน้าตัดดินได้ง่าย

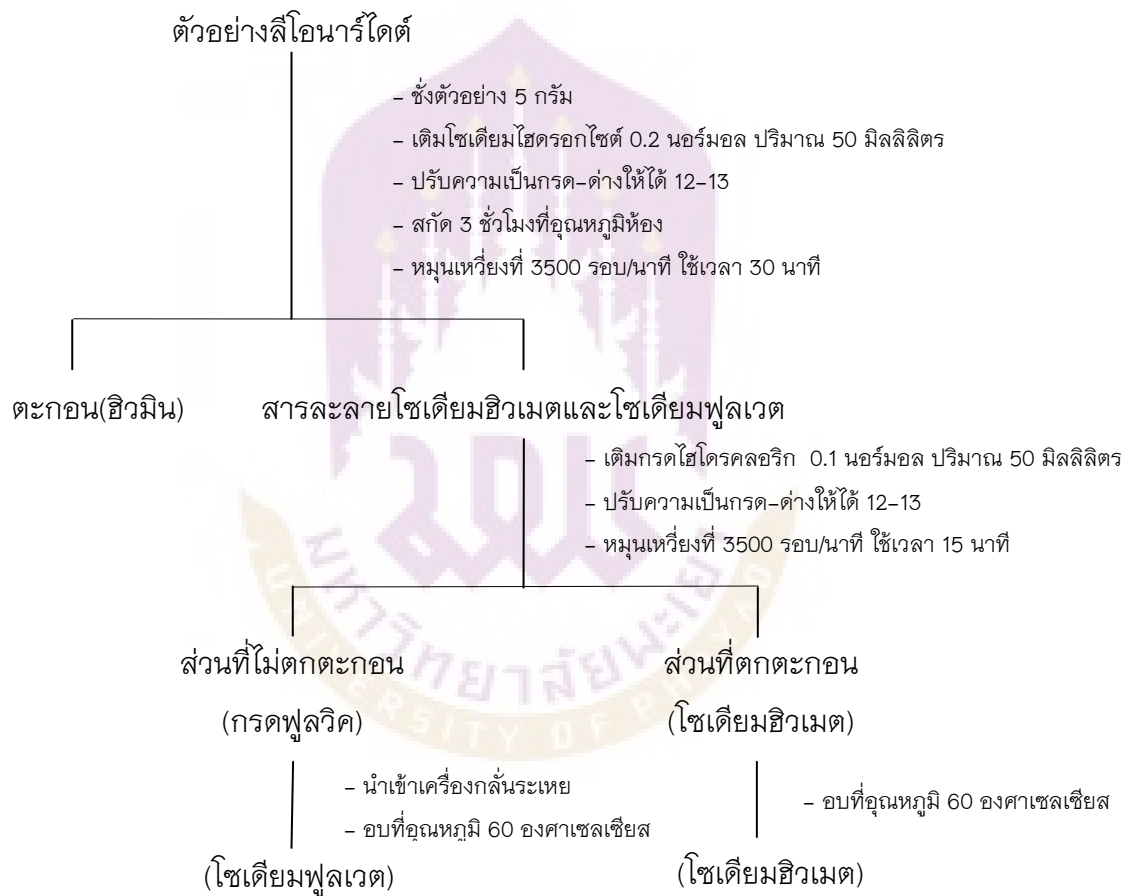
Sumner (1993) ถั่วเขียวและข้าวโพดเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยร่วมกับขี้ปศุสัตว์ แต่จะลดลงเมื่อใส่ขี้ปศุสัตว์อย่างเดียว ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากปริมาณอะลูมิเนียมที่ลดลงนั้นยังอยู่ในระดับที่เป็นพิษกับพืช และปริมาณแมกนีเซียมลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง การใส่ปุ๋ย เพื่อลดความเป็นกรดหรือลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินล่าง ในระยะยาวทำได้โดยการใส่ปุ๋ย ควบคุมการไถพรวนระดับลึก ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยากและสิ้นเปลือง แต่การใส่ปุ๋ยร่วมกับขี้ปศุสัตว์ สามารถปรับความเป็นกรดในดินล่างได้ต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### การทดลองที่ 1 คุณสมบัติของสารประกอบชีวโมเลกุลที่สกัดจากแร่ลีโอนาร์ไดต์

ทำการการแยกสารประกอบชีวโมเลกุลจากลีโอนาร์ไดต์บด ตามวิธีการของ วิวัฒน์ ไตธิกรกุล, พลยุทธ สุขสมิติ และจินดารัตน์ โดกมลธรรม (2552) แสดงให้เห็นวิธีการสกัด ดังนี้



ภาพ 1 แสดงขั้นตอนในการแยกโซเดียมชีวเมต โซเดียมชีวมีน โซเดียมฟุลเวต จากตัวอย่างลีโอนาร์ไดต์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



**ภาพ 2 แสดงขั้นตอนในการแยกโพแทสเซียมชีวเมต โพแทสเซียมชีวมีน โพแทสเซียมฟูลเวต จากตัวอย่างลีโอนาร์โดต์โดยใช้สารละลายไฮดรอกไซด์**

นำสารประกอบชีวมีนแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร (2551) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวก แล้วนำผลการวิเคราะห์ของแต่ละกรรมวิธี มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล แล้วนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟและตาราง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 6 ชนิด ไปทดสอบในการทดลองที่ 2

### **การทดลองที่ 2 ผลของสารประกอบชีวมีนจากลีโอนาร์โดต์ต่อผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ105**

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) 7 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ทำการปลูกในแปลงขนาด 1 x 7 เมตร ทำการฉีดพ่นทั้งหมด 2 ครั้ง อัตราส่วนสารที่ใช้ฉีดพ่นในแต่ละกรรมวิธี ที่ความเข้มข้นครั้งละ 1,600 mg./L ครั้งแรกฉีดพ่น

เมื่อข้าวอายุได้ประมาณ 15-20 วัน โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี สูตร 16-20-0 ในอัตรา 35 กิโลกรัม/ไร่ และครั้งที่สอง ฉีดพ่นเมื่ออายุ 80-90 วัน หรือช่วงก่อนออกใบธงหรือตั้งท้อง โดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี สูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ ทำการทดลองทั้งหมด 7 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 คือ น้ำกลั่น

กรรมวิธีที่ 2 คือ โซเดียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 3 คือ โซเดียมฮิวมิน

กรรมวิธีที่ 4 คือ โซเดียมฟูลเวต

กรรมวิธีที่ 5 คือ โฟแทลเซียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 6 คือ โฟแทลเซียมฮิวมิน

กรรมวิธีที่ 7 คือ โฟแทลเซียมฟูลเวต

### **บันทึกข้อมูล**

เก็บข้อมูลโดยเก็บเกี่ยวข้าวที่อายุ 140 วัน โดยบันทึกข้อมูล ดังนี้

1. ความสูงของต้น (plant height: PH)
2. จำนวนต้นต่อกอ (tiller number per plant: TN)
3. จำนวนรวงต่อกอ (panicle number per plant: PN)
4. วัดความยาวรวงต่อกอ (panicle length: PL)
5. จำนวนเมล็ดดีต่อรวง (filled grain number per panicle: FGN)
6. จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (unfilled grain number per panicle: UFGN)
7. เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง (seed-setting rate: SSR)
8. น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ (filled grain weight: FGW)
9. น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ (unfilled grain weight: UFGW)
10. น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ (total grain weight: TGW)
11. ผลผลิตต่อไร่ (grain yield: GY)
12. ชีวมวล (biomass: BM)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA)

แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี ด้วย Duncan' New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ 0.01

### การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุุดิบที่ใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) 8 กรรมวิธี ๆ ละ 3 ซ้ำ ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุุดิบ (กรรมวิธี) ที่ใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดินของโรงงาน ได้แก่ ลีโอนาร์โดต์ ซีโอไลต์ โดโลไมต์ กรดซิลิคอน โบรอน ภูไมท์ ยิปซัม มูลค่างคาว โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากห้องเก็บวัตถุุดิบ แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติและเก็บบันทึกข้อมูล ดังนี้ คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ วัดค่าพีเอช (pH) วัดโดยการใช้น้ำในสัดส่วนตัวอย่างต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ใช้น้ำในสัดส่วนตัวอย่างต่อน้ำ เท่ากับ 1:5 (National Soil Survey Center, 1996) และตรวจวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ในลีโอนาร์โดต์ และมูลค่างคาว เพื่อให้ทราบถึงปริมาณธาตุอาหารพืชในวัตถุุดิบแต่ละชนิด ก่อนนำไปทำการผลิตในการทดลองที่ 4

### การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์คุณภาพสารปรับปรุงดินของโรงงาน

สารปรับปรุงดินที่ผลิตโดยโรงงานใช้วัตถุุดิบและอัตราส่วนที่ผสม ดังนี้ ลีโอนาร์โดต์บด: โดโลไมต์: ซีโอไลต์: กรดซิลิคอน: โบรอน: ภูไมท์: ยิปซัม: มูลค่างคาว อัตราส่วน 3:1:1:1:0.5:1:0.5:2 ทำการผลิตจำนวน 3 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) เพื่อทำการผลิตสารปรับปรุงดิน จำนวน 3 รุ่น รุ่นละ 3 ซ้ำ แต่ละรุ่นห่างกัน 3 เดือน รุ่นที่ 1 คือ รุ่นที่ผลิตในเดือนพฤศจิกายน 2559 รุ่นที่ 2 คือ รุ่นที่ผลิตในเดือนมกราคม 2560 และรุ่นที่ 3 คือ รุ่นที่ผลิตในเดือน เมษายน 2560 ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพสารปรับปรุงดินในครั้งที่ผลิต วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธีด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ 0.01

### การทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดินและสารประกอบฮิวมิคจากลีโอนาร์โดต์ต่อคุณสมบัติของดิน และผลผลิตของข้าว

ทำแปลงปลูกข้าวขนาด 4 x 4 เมตร ทำการปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in randomized complete block design: (Factorial in RCBD) 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี ด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการจัดรูปแบบของกรรมวิธีการทดลองได้ทั้งหมด 9 กรรมวิธี

ปัจจัยที่ 1 <sup>1</sup>	ปัจจัยที่ 2 <sup>5</sup>	กรรมวิธี (สัญลักษณ์)
กลุ่มควบคุม <sup>2</sup>	น้ำกลั่น	T1
	โพแทสเซียมฮิวเมต	T2
	โซเดียมฮิวเมต	T3
ใส่สารปรับปรุงดิน <sup>3</sup>	น้ำกลั่น	T4
	โพแทสเซียมฮิวเมต	T5
	โซเดียมฮิวเมต	T6
ปุ๋ยเคมี <sup>4</sup>	น้ำกลั่น	T7
	โพแทสเซียมฮิวเมต	T8
	โซเดียมฮิวเมต	T9

หมายเหตุ: /1 = มีการใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยมูลไก่ อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ในทุกกรรมวิธี ก่อนปักดำ 7 วัน

/2 = หมายถึง ไม่มีการใส่ปุ๋ยทางดิน แต่มีการใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยมูลไก่ อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนปักดำ 7 วัน

/3 = ใส่ทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยมูลไก่ อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนปักดำ 7 วัน ครั้งที่สองใส่เมื่ออายุ 50 วัน หรือระยะแตกกอ และครั้งที่สามใส่เมื่ออายุ 70 วัน หรือระยะสร้างรวง โดยทำการใส่สารปรับปรุงดิน อัตรา 150 กิโลกรัม/ไร่

/4 = ใส่ทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ยรองพื้นด้วยมูลไก่ อัตรา 300 กิโลกรัม/ไร่ ก่อนปักดำ 7 วัน ครั้งที่สองใส่สูตร 16-20-0 ในอัตรา 35 กิโลกรัม/ไร่ เมื่ออายุ 50 วัน หรือระยะแตกกอ และครั้งที่สามใส่สูตร 46-0-0 ในอัตรา 20 กิโลกรัม/ไร่ เมื่ออายุ 70-80 วัน หรือระยะสร้างรวง

/5 = ทำการฉีดพ่นทั้งหมด 2 ครั้ง ครั้งแรกฉีดพ่นเมื่ออายุ 50 วัน หรือระยะแตกกอ และครั้งที่สองฉีดพ่นเมื่ออายุ 80-90 วัน หรือช่วงก่อนออกใบธงหรือตั้งท้อง อัตราส่วนสารที่ใช้ฉีดพ่นในแต่ละกรรมวิธี ที่ความเข้มข้น 3,810 ppm.

### การบันทึกข้อมูล

เก็บข้อมูลโดยเก็บเกี่ยวข้าวที่อายุ 130 วัน โดยบันทึกข้อมูล ดังนี้

1. ความสูงของต้น (plant height: PH)
2. จำนวนต้นตอกอ (tiller number per plant: TN)
3. จำนวนรวงตอกอ (panicle number per plant: PN)
4. วัดความยาวรวงตอกอ (panicle length: PL)
5. จำนวนเมล็ดดีต่อรวง (filled grain number per panicle: FGN)
6. จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (unfilled grain number per panicle: UFGN)
7. คำนวณเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง (seed-setting rate: SSR)
8. น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ (filled grain weight: FGW)
9. น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ (unfilled grain weight: UFGW)
10. น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ (total grain weight: TGW)
11. ผลผลิตต่อไร่ (grain yield: GY)
12. ชีวมวล (biomass: BM)

หลังการเก็บเกี่ยวทำการเก็บตัวอย่างดินหลังปลูก โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละแปลงที่ปลูกทั้งหมด 27 แปลง แปลงละ 5 จุด เก็บดินแต่ละจุดลึกประมาณ 15 เซนติเมตร ให้ได้ดินเป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากนั้นเก็บดินที่ได้เก็บรวบรวมใส่ถุงหรือถังพลาสติก วิเคราะห์คุณสมบัติ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design: RCBD) 9 กรรมวิธี 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกรรมวิธี ด้วย Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### การทดลองที่ 1 คุณสมบัติของสารประกอบชีวมีกที่สกัดจากแร่ลิโอนาร์ไดต์

ทำการสกัดสารประกอบชีวมีกจากลิโอนาร์ไดต์บด ตามวิธีการของ วิวัฒน์ ไตธิกรกุล, พลยุทธ์ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ ไตกมลธรรม (2552) ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้สารประกอบชีวมีกจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ โซเดียมซิวิเมต โซเดียมซิวิมิน โซเดียมฟูลเวต โพแทสเซียมซิวิเมต โพแทสเซียมซิวิมิน และโพแทสเซียมฟูลเวต (ภาพ 3) โดยลักษณะทางกายภาพของโซเดียมซิวิมินและโพแทสเซียมซิวิมิน เป็นสารชีวมีกซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายต่างเจือจางและกรดมีสีคล้ำหรือน้ำตาลเข้ม ขณะที่กรดซิวิกละลายได้ในสารละลายต่างเจือจาง และนำสารละลายต่างที่ได้มาตกตะกอนด้วยกรด จะได้ตะกอนของโซเดียมซิวิเมต และโพแทสเซียมซิวิเมต จะมีสีเทาหรือดำ ส่วนที่ไม่ตกตะกอน คือ ฟูลวิก จะมีสีน้ำตาลถึงเหลือง ซึ่งได้แก่ โซเดียมฟูลเวต และโพแทสเซียมฟูลเวต โดยที่ผลการวิเคราะห์ พบว่า



ภาพ 3 ลักษณะของสารชีวมีกที่สกัดจากลิโอนาร์ไดต์

หมายเหตุ: ก = โซเดียมซิวิมิน, ข = โซเดียมฟูลเวต, ค = โซเดียมซิวิเมต, ง = โพแทสเซียมซิวิมิน,  
จ = โพแทสเซียมฟูลเวต, ฉ = โพแทสเซียมซิวิเมต

### 1. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอนาร์ไดต์ ซึ่งเป็นวัตถุคิบนที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โพลแทสเซียมฮิวมิน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สูงที่สุด เท่ากับ 35.60% และโซเดียมพุลเวต มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สูงที่สุด เท่ากับ 19.48% (ตาราง 2)

### 2. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอนาร์ไดต์ ซึ่งเป็นวัตถุคิบนที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โพลแทสเซียมฮิวมิน มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ สูงที่สุด เท่ากับ 61.38% และโซเดียมพุลเวต มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ต่ำที่สุด เท่ากับ 33.58% (ตาราง 2)

### 3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอนาร์ไดต์ ซึ่งเป็นวัตถุคิบนที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โซเดียมฮิวมิน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงที่สุด เท่ากับ 7.73 และโซเดียมพุลเวต มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.14 (ตาราง 2)

### 4. ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอนาร์ไดต์ ซึ่งเป็นวัตถุคิบนที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โพลแทสเซียมพุลเวต มีค่าการนำไฟฟ้า สูงที่สุด เท่ากับ 64.30 เดซิซีเมนต์/เมตร ขณะที่ ลีโอนาร์ไดต์ และโพลแทสเซียมฮิวมิน มีค่าการนำไฟฟ้า ต่ำที่สุด 2.44, 2.45 เดซิซีเมนต์/เมตร ตามลำดับ (ตาราง 2)

ตาราง 2 แสดงชนิดของสารประกอบชีวโมเลกุลที่สกัดได้จากลิโอนาร์ไตต์และคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้น

กรรมวิธี	อินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	<sup>1*</sup> กรด-ต่าง	<sup>1*</sup> ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)
ลิโอนาร์ไตต์	32.96 <sup>b</sup>	56.83 <sup>b</sup>	3.09 <sup>c</sup>	2.44 <sup>c</sup>
โซเดียมฮิวมิน	34.39 <sup>ab</sup>	59.29 <sup>ab</sup>	7.73 <sup>a</sup>	2.91 <sup>c</sup>
โซเดียมฮิวเมต	25.97 <sup>c</sup>	44.78 <sup>c</sup>	1.39 <sup>d</sup>	24.63 <sup>b</sup>
โซเดียมฟุลเวต	19.48 <sup>e</sup>	33.58 <sup>e</sup>	1.14 <sup>e</sup>	62.30 <sup>a</sup>
โพแทสเซียมฮิวมิน	35.60 <sup>a</sup>	61.38 <sup>a</sup>	6.20 <sup>b</sup>	2.45 <sup>c</sup>
โพแทสเซียมฮิวเมต	25.05 <sup>c</sup>	43.18 <sup>c</sup>	1.41 <sup>d</sup>	27.17 <sup>b</sup>
โพแทสเซียมฟุลเวต	21.91 <sup>d</sup>	37.77 <sup>d</sup>	1.23 <sup>de</sup>	64.30 <sup>a</sup>
F-test	**	**	**	**
CV (%)	3.15	3.15	2.84	21.89

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

<sup>1\*</sup> หมายถึงอัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร

\*\* = ความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.01

### 5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอনারด์ไคต์ ซึ่งเป็นวัตถุบิที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โซเดียมฮิวเมต มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด สูงที่สุด เท่ากับ 0.49% และโพแทสเซียมฟูลเวต มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ต่ำที่สุด 0.12% (ตาราง 3)

### 6. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอনারด์ไคต์ ซึ่งเป็นวัตถุบิที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ลีโอনারด์ไคต์ โซเดียมฮิวมิน โซเดียมฮิวเมต และโพแทสเซียมฟูลเวต มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด สูงที่สุดเท่ากัน เท่ากับ 1.360% และโพแทสเซียมฮิวเมต มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำที่สุด 1.350% (ตาราง 3)

### 7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอনারด์ไคต์ ซึ่งเป็นวัตถุบิที่นำมาสกัดสารประกอบฮิวมิก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า โซเดียมฮิวเมต มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด สูงที่สุดเท่ากัน เท่ากับ 3.86% และโซเดียมฟูลเวต มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ต่ำที่สุด 3.52% (ตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงชนิดของสารประกอบฮิวมิกที่สกัดได้จากลีโอโนนาร์ไดต์และคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้น

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ลีโอโนนาร์ไดต์	0.35 <sup>ab</sup>	1.36 <sup>a</sup>	3.54 <sup>b</sup>
โซเดียมฮิวมิน	0.35 <sup>ab</sup>	1.36 <sup>a</sup>	3.72 <sup>a</sup>
โซเดียมฮิวเมต	0.49 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	3.86 <sup>a</sup>
โซเดียมฟูลเวต	0.26 <sup>ab</sup>	1.35 <sup>ab</sup>	3.52 <sup>b</sup>
โพแทสเซียมฮิวมิน	0.14 <sup>b</sup>	1.35 <sup>ab</sup>	3.74 <sup>a</sup>
โพแทสเซียมฮิวเมต	0.42 <sup>a</sup>	1.35 <sup>b</sup>	3.81 <sup>a</sup>
โพแทสเซียมฟูลเวต	0.12 <sup>b</sup>	1.36 <sup>a</sup>	3.57 <sup>ab</sup>
F-test	**	**	**
CV (%)	6.62	3.15	0.49

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple

Range Test

\*\* = ความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

## การทดลองที่ 2 ผลของสารประกอบชีวมีกจากลีโอนาร์โดต์ต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105)

ผลจากการทดสอบสารประกอบชีวมีกในแต่ละกรรมวิธีต่อองค์ประกอบผลผลิตข้าว พบว่า องค์ประกอบผลผลิตของข้าว ได้แก่ ความสูง จำนวนต้นตอกอ จำนวนรวงตอกอ ความยาวรวงตอกอ ที่ปลูกในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ จำนวนเมล็ดตอกรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจำนวนเมล็ดตอกรวม มีมากสุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมชีวเมต และโพแทสเซียมพุลเวต เท่ากับ 173.79 และ 178.76 เมล็ดตอกรวม นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมชีวเมต ยังส่งผลให้มีจำนวนเมล็ดลีบตอกรวม น้อยที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยโพแทสเซียม-พุลเวต และโพแทสเซียมชีวมีน ซึ่งมีจำนวนเมล็ดลีบมากที่สุด เท่ากับ 38.55 และ 30.91 เมล็ดตอกรวม ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดตอกรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดตอกรวมสูงสุด ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมชีวเมต เท่ากับ 91.08% นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมชีวเมต ยังส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดตอกอเพิ่มสูงขึ้น 62.81 กรัม/กอ และน้ำหนักเมล็ดลีบตอกอต่ำที่สุด 0.97 กรัม/กอ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมชีวเมต ซึ่งมีน้ำหนักเมล็ดตอกอสูงที่สุด 65.76 กรัม/กอ แต่กลับพบว่า เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด มีค่าเท่ากับ 84.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ทำการฉีดพ่นโพแทสเซียมชีวเมต และโซเดียมชีวเมต สามารถให้ผลผลิตต่อไร่มากที่สุด คือ 1,224 และ 1,294 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนน้ำหนักเมล็ดลีบตอกอ มีมากที่สุด ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมพุลเวต มีค่าเท่ากับ 2.98 กรัม/กอ นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมพุลเวต ยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดตอกรวมต่ำที่สุด น้ำหนักเมล็ดตอกอต่ำที่สุด จึงส่งผลทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำที่สุด 940 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนปริมาณมวลชีวภาพมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีมากที่สุด คือ กรรมวิธีของโซเดียมชีวมีน และโซเดียมชีวเมต เท่ากับ 83.75 และ 83.27 กรัม (ตาราง 4-6)

ตาราง 4 แสดงผลจากการใช้สารชีวมีกต่อ ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง ของผลผลิตข้าว (KDML 105)

กรรมวิธี	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนต้นต่อกอ (ต้น)	จำนวนรวงต่อกอ (รวง)	ความยาวรวง (เซนติเมตร)
ชุดควบคุม	152.22	12.89	12.22	27.08
โซเดียมชีวมีน	146.11	13.33	13.22	27.99
โซเดียมชีวเมต	146.67	15.44	15.33	26.35
โซเดียมฟูลเวต	152.00	15.44	15.00	26.23
โพแทสเซียมชีวมีน	147.33	14.00	13.33	26.07
โพแทสเซียมชีวเมต	159.44	15.00	13.78	25.17
โพแทสเซียมฟูลเวต	153.78	14.56	14.22	27.12
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	5.65	10.70	11.57	9.03

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตาราง 5 แสดงผลจากการใช้สารชีวमित่อ เมล็ดดีต่อรวง เมล็ดลีบต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ของผลผลิตข้าว (KDML 105)

กรรมวิธี	จำนวนเมล็ด		การติดเมล็ดต่อรวง (เปอร์เซ็นต์)
	เมล็ดดีต่อรวง (เมล็ด)	เมล็ดลีบต่อรวง (เมล็ด)	
ชุดควบคุม	126.10 <sup>c</sup>	27.02 <sup>ab</sup>	84.74 <sup>ab</sup>
โซเดียมฮิวมิน	134.71 <sup>c</sup>	16.88 <sup>b</sup>	89.63 <sup>a</sup>
โซเดียมฮิวเมต	143.79 <sup>bc</sup>	22.82 <sup>ab</sup>	84.14 <sup>ab</sup>
โซเดียมฟูลเวต	145.00 <sup>bc</sup>	25.56 <sup>ab</sup>	82.78 <sup>ab</sup>
โพแทสเซียมฮิวมิน	162.98 <sup>ab</sup>	30.91 <sup>ab</sup>	81.43 <sup>ab</sup>
โพแทสเซียมฮิวเมต	173.79 <sup>a</sup>	13.17 <sup>b</sup>	91.08 <sup>a</sup>
โพแทสเซียมฟูลเวต	178.76 <sup>a</sup>	38.55 <sup>a</sup>	75.43 <sup>b</sup>
F-test	**	**	**
CV (%)	8.49	1.59	6.41

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

\*\* = มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.01

ตาราง 6 แสดงผลจากการใช้สารชีวภัณฑ์ น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ ผลผลิตต่อไร่และมวลชีวภาพของผลผลิตข้าว (KDML 105)

กรรมวิธี	น้ำหนักเมล็ด (กรัม/กอ)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	ชีวมวล (กรัม/กอ)
	เมล็ดดีต่อกอ	เมล็ดลีบต่อกอ	เมล็ดรวมต่อกอ		
ชุดควบคุม	55.29 <sup>ab</sup>	1.79 <sup>bcd</sup>	57.07 <sup>ab</sup>	1095 <sup>ab</sup>	55.39 <sup>c</sup>
โซเดียมชีวามิน	49.39 <sup>b</sup>	1.03 <sup>cd</sup>	50.42 <sup>b</sup>	968 <sup>b</sup>	83.75 <sup>a</sup>
โซเดียมชีวเมต	65.76 <sup>a</sup>	1.68 <sup>bcd</sup>	67.44 <sup>a</sup>	1294 <sup>a</sup>	83.27 <sup>a</sup>
โซเดียมฟูลเวต	54.62 <sup>ab</sup>	1.75 <sup>bcd</sup>	56.37 <sup>ab</sup>	1082 <sup>ab</sup>	59.79 <sup>bc</sup>
โพแทสเซียมชีวามิน	49.79 <sup>b</sup>	1.92 <sup>bc</sup>	51.71 <sup>b</sup>	992 <sup>b</sup>	79.01 <sup>ab</sup>
โพแทสเซียมชีวเมต	62.81 <sup>a</sup>	0.97 <sup>d</sup>	63.78 <sup>a</sup>	1224 <sup>a</sup>	76.95 <sup>abc</sup>
โพแทสเซียมฟูลเวต	46.00 <sup>b</sup>	2.98 <sup>a</sup>	48.97 <sup>b</sup>	940 <sup>b</sup>	67.16 <sup>abc</sup>
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	12.11	20.03	11.02	11.20	15.87

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

\*\* = มีความแตกต่างที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.01

### การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน

ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่โรงงานใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน และนำมาเปรียบเทียบกับสารปรับปรุงที่ผลิต พบว่า คุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดินนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกรายการ ดังนี้

#### 1. ค่าการนำไฟฟ้า

พบว่า โบรอนมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 85.20 รองลงมา คือ ลิโอนาร์ไต์ เท่ากับ 30.10 กรดซิลิโคน เท่ากับ 18.10 ยิปซัม เท่ากับ 17.30 ซีโอไลต์ เท่ากับ 1.00 ภูไมท์ เท่ากับ 0.73 ขณะที่ โดโลไมต์ และมูลค่างคาว มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.70 (ตาราง 7)

#### 2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

พบว่า โบรอนมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 9.23 รองลงมา คือ มูลค่างคาว เท่ากับ 8.13 ภูไมท์ เท่ากับ 8.10 ยิปซัม เท่ากับ 7.96 กรดซิลิโคน เท่ากับ 7.90 โดโลไมต์ เท่ากับ 7.73 และซีโอไลต์ เท่ากับ 7.43 ขณะที่ แร่ลิโอนาร์ไต์ มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 2.76 (ตาราง 7)

#### 3. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

พบว่า ลิโอนาร์ไต์ มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 10.37 เปอร์เซ็นต์ และมูลค่างคาว มีปริมาณเท่ากับ 7.17 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 8)

#### 4. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

พบว่า มูลค่างคาว มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 19.75 เปอร์เซ็นต์ และลิโอนาร์ไต์ มีปริมาณเท่ากับ 10.89 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 8)

#### 5. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

พบว่า มูลค่างคาว และลิโอนาร์ไต์ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.23 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 8)

ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน

กรรมวิธี	1* ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	1* กรด-ต่าง
ซีโอไลต์	1.00 <sup>e</sup>	7.43 <sup>b</sup>
โดโลไมต์	0.70 <sup>e</sup>	7.73 <sup>b</sup>
กรดซิลิคอน	18.00 <sup>c</sup>	7.90 <sup>b</sup>
โบรอน	85.20 <sup>a</sup>	9.23 <sup>a</sup>
ภูไมท์	0.73 <sup>e</sup>	8.10 <sup>b</sup>
ยิปซัม	17.30 <sup>c</sup>	7.96 <sup>b</sup>
ลีโอนาร์ไดต์	30.10 <sup>b</sup>	2.76 <sup>c</sup>
มูลค่างคว	0.70 <sup>e</sup>	8.13 <sup>b</sup>
F-test	**	**
C.V.%	1.92	4.89

หมายเหตุ: 1\* = หมายถึงอัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตร

ตาราง 8 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชของลีโอนาร์ไดต์และมูลค่างควที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจน	ปริมาณ	ปริมาณ
	ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ฟอสฟอรัส ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	โพแทสเซียม ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ลีโอนาร์ไดต์	10.37	10.898	0.22
มูลค่างคว	7.17	19.757	0.23

#### การทดลองที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพของสารปรับปรุงดินของโรงงาน

##### 1. ค่าการนำไฟฟ้า

พบว่า คุณสมบัติค่าการนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 2.35-2.54 เดซิ-

ซีเมนต์/เมตร คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.24 เดซิซีเมนต์/เมตร เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่า มีคุณสมบัติเค็มน้อย (ตาราง 9)

## 2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

พบว่า คุณสมบัติความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 8.60-8.66 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 8.6 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่า มีคุณสมบัติต่ำกว่า (ต่างอ่อน) (ตาราง 9)

## 3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 3.83-4.40 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่า มีคุณสมบัติต่ำกว่า (ตาราง 9)

## 4. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 2.21-2.55 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 2.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่า มีคุณสมบัติต่ำกว่า (ตาราง 9)

ตาราง 9 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพสารปรับปรุงดิน ภายหลังจากกระบวนการ  
การผสมวัตถุดิบ

กรรมวิธี	<sup>1*</sup> ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	<sup>1*</sup> กรด-ด่าง	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)
รุ่นที่ 1	2.54 ± 0.02	8.60 ± 0.06	4.40 ± 0.31	2.55 ± 0.20
รุ่นที่ 2	2.35 ± 0.02	8.56 ± 0.05	3.83 ± 0.20	2.21 ± 0.11
รุ่นที่ 3	2.39 ± 0.01	8.66 ± 0.05	3.83 ± 0.32	2.21 ± 0.30
mean	2.42	8.60	4.02	2.33
F- test	ns	ns	ns	ns
C.V.%	0.24	0.03	5.30	3.80

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ <sup>1\*</sup> หมายถึง อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ เท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก/ปริมาตรค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ± SD ของค่าเฉลี่ย

- รุ่นที่ 1 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 1
- รุ่นที่ 2 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 2
- รุ่นที่ 3 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 3

### 5. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 0.18–0.19 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.18 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่ามีคุณสมบัติต่ำกว่า (ตาราง 10)

### 6. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 12.55–13.03 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 12.76 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่ามีคุณสมบัติสูงกว่า (ตาราง 10)

### 7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 0.20–0.21 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 0.21 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่ามีคุณสมบัติปานกลาง (ตาราง 10)

### 8. อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน

พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สารปรับปรุงดิน มีความแตกต่างทางสถิติของการผลิตในแต่ละรุ่น (กรรมวิธี) โดยพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า 11.63–14.03 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 12.72 เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการแล้ว พบว่ามีคุณสมบัติปานกลาง (ตาราง 10)

ตาราง 10 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพสารปรับปรุงดิน ภายหลังกระบวนการ  
การผสมวัตถุดิบ

กรรมวิธี	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจน
รุ่นที่ 1	0.18±0.01	12.70±0.10	0.21±0.01	14.03±0.02 <sup>a</sup>
รุ่นที่ 2	0.19±0.00	12.55±0.00	0.20±0.01	11.63±1.12 <sup>b</sup>
รุ่นที่ 3	0.18±0.01	13.03±0.03	0.21±0.02	12.49±0.76 <sup>cb</sup>
mean	0.18	12.76	0.21	12.72
F- test	ns	ns	ns	**
C.V.%	0.13	0.02	0.11	7.09

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple

Range Test

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ \*\* = ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ ±SD ของค่าเฉลี่ย

รุ่นที่ 1 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 1

รุ่นที่ 2 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 2

รุ่นที่ 3 ผลของกระบวนการผลิตในครั้งที่ 3

## การทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดินและสารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์โดต์ ต่อคุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบของข้าว

ผลการทดสอบสารปรับปรุงดิน และสารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์โดต์ ต่อองค์ประกอบของข้าว ได้ผลการทดลอง ดังนี้

### 1. ความสูงต้น

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อความสูงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มให้ค่าความสูงของต้นข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 120.13 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 116.66 เซนติเมตร และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้ค่าความสูงของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 108.57 เซนติเมตร ขณะที่ปัจจัยด้านสารประกอบชีวมิค (F) มีผลต่อความสูงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโพแทสเซียมชีวเมต มีแนวโน้มให้ค่าความสูงของต้นข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 112.13 เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมชีวเมต มีค่าเท่ากับ 109.24 เซนติเมตร และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้ค่าความสูงของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 103.85 เซนติเมตร (ตาราง 11)

### 2. จำนวนต้นตอก

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อจำนวนต้นตอกของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และสารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้จำนวนต้นตอกของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 12.18 และ 6.82 ต้น ตามลำดับ และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้จำนวนต้นตอกของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 6.82 ต้น ขณะที่สารประกอบชีวมิค (F) มีผลต่อจำนวนต้นตอกของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมชีวเมต มีแนวโน้มให้จำนวนต้นตอกของต้นข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 7.68 ต้น รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมชีวเมต มีค่าเท่ากับ 7.07 ต้น และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้จำนวนต้นตอกของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 5.73 ต้น (ตาราง 11)

### 3. จำนวนรวงตอก

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อจำนวนรวงตอกของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และสารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้จำนวนรวงตอกของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 11.92 และ 11.04 รวง ตามลำดับ และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้จำนวนรวงตอกของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 6.77 รวง ขณะที่สารประกอบชีวมิค (F) มีผลต่อจำนวนรวงตอกของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้จำนวนรวงต่อกอของต้นข้าว สูงที่สุด เท่ากับ 7.68 ต้น ร่องลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นไซเดียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 7.07 ต้น และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้จำนวนรวงต่อกอของต้นข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 5.73 ต้น (ตาราง 11)

#### 4. ความยาวรวงต่อกอ

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อความยาวรวงต่อกอของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดินมีความยาวรวงต่อกอของต้นข้าว สูงที่สุด เท่ากับ 27.41 เซนติเมตร และมีแนวโน้มให้ความยาวรวงต่อกอของต้นข้าวน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 27.32 เซนติเมตร ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อ ความยาวรวงต่อกอของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่น น้ำกลั่น มีความยาวรวงต่อกอของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 27.58 เซนติเมตร และมีแนวโน้ม ให้ความยาวรวงต่อกอของต้นข้าวน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 27.12 เซนติเมตร (ตาราง 11)



ตาราง 11 แสดงผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบชีวมีกจากลีโอนาร์ไดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว

ปัจจัย	ชนิดของปุ๋ย/ชนิดสารชีวมีก	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนต้นต่อกอ	จำนวนรวงต่อกอ	ความยาวรวงต่อกอ (เซนติเมตร)
ชนิดของปุ๋ย (P)	ไม่ใส่	108.57 <sup>c</sup>	6.82 <sup>b</sup>	6.77 <sup>b</sup>	27.32
	สารปรับปรุงดิน	116.66 <sup>b</sup>	11.33 <sup>a</sup>	11.04 <sup>a</sup>	27.41
	ปุ๋ยเคมี	120.13 <sup>a</sup>	12.18 <sup>a</sup>	11.92 <sup>a</sup>	27.35
สารชีวมีก (F)	น้ำกลั่น	103.85 <sup>c</sup>	5.73 <sup>b</sup>	5.71 <sup>b</sup>	27.58
	โพแทสเซียมชีวเมต	112.13 <sup>a</sup>	7.68 <sup>a</sup>	7.68 <sup>a</sup>	27.12
	โซเดียมชีวเมต	109.24 <sup>b</sup>	7.07 <sup>ob</sup>	7.00 <sup>ob</sup>	27.33
สูตรปุ๋ย		**	**	**	ns
สารชีวมีก		**	**	**	ns
สูตรปุ๋ย×สารชีวมีก		**	**	**	ns
C.V.%		0.39	5.00	5.07	1.59

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's New Multiple

Range Test

\*\* = ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

## 5. จำนวนเมล็ดดีต่อรวง

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อจำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 158.66 เมล็ด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าเท่ากับ 140.91 เมล็ด และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 138.24 เมล็ด ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อจำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโพแทสเซียมฮิวเมต และโซเดียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 143.58-144.38 เมล็ด และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของต้นข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 126.14 เมล็ด (ตาราง 12)

## 6. จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 40.30 เมล็ด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 35.73 เมล็ด และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 30.02 เมล็ด ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 37.32 เมล็ด รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต และ น้ำกลั่น มีค่าเท่ากับ 26.61 และ 26.19 เมล็ด ตามลำดับ (ตาราง 12)

## 7. เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของต้นข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน และไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 82.19 และ 81.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของต้นข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 78 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่โพแทสเซียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของต้นข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 83.98 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีค่าเท่ากับ 80.84 เปอร์เซ็นต์ และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดของต้นข้าวต่ำที่สุด เท่ากับ 79.77 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 12)

ตาราง 12 แสดงผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบฮิวมิกจากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว

ปัจจัย	ชนิดของปุ๋ย/ชนิดสารฮิวมิก	จำนวนเมล็ด		เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด
		จำนวนเมล็ดดีต่อรวง	จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง	
ชนิดของปุ๋ย (P)	ไม่ใส่	138.24 <sup>c</sup>	30.02 <sup>c</sup>	81.55 <sup>a</sup>
	สารปรับปรุงดิน	158.66 <sup>a</sup>	35.73 <sup>b</sup>	82.19 <sup>a</sup>
	ปุ๋ยเคมี	140.91 <sup>b</sup>	40.30 <sup>a</sup>	78.00 <sup>b</sup>
สารฮิวมิก (F)	น้ำกลั่น	126.14 <sup>b</sup>	26.19 <sup>b</sup>	80.84 <sup>b</sup>
	โพแทสเซียมฮิวเมต	143.58 <sup>a</sup>	26.61 <sup>b</sup>	83.98 <sup>a</sup>
	โซเดียมฮิวเมต	144.38 <sup>a</sup>	37.32 <sup>a</sup>	79.77 <sup>b</sup>
สูตรปุ๋ย		**	**	**
สารฮิวมิก		**	**	**
สูตรปุ๋ย×สารฮิวมิก		**	**	**
	C.V.%	0.30	1.33	0.54

หมายเหตุ: ตัวภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

\*\* = ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

### 8. น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และสารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 43.72 และ 44.46 กรัม ตามลำดับ และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 28.14 กรัม ขณะที่สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 31.22 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 29.17 กรัม และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 23.02 กรัม (ตาราง 13)

### 9. น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 3.95 กรัม และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย และใส่สารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้ค่าของน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอน้อยที่สุด เท่ากับ 2.38 และ 3.21 กรัม ตามลำดับ แต่ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต และโซเดียมฮิวเมต มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 2.50-2.51 และมีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอของข้าวน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีค่าเท่ากับ 2.09 กรัม (ตาราง 13)

### 10. น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และสารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 47.67 กรัม และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 30.52 กรัมตามลำดับ ขณะที่สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 33.73 กรัม รองลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 31.69 กรัม และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 25.12 กรัม (ตาราง 13)

### 11. ผลผลิตต่อไร่

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อผลผลิตต่อไร่ของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีผลผลิตต่อไร่ของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 2,243 กิโลกรัม/ไร่ และมีแนวโน้มให้ผลผลิตต่อไร่ของข้าวน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีค่าเท่ากับ 1,839 กิโลกรัม/ไร่ ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อผลผลิตต่อไร่ของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า โดยในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีผลผลิตต่อไร่ของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 2,094 กิโลกรัม/ไร่ และมีแนวโน้มให้ผลผลิตต่อไร่ของข้าวน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 1,641 กิโลกรัม/ไร่ (ตาราง 13)

### 12. ชีวมวล

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) มีผลต่อชีวมวลของข้าวอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ชีวมวลของข้าวสูงที่สุด เท่ากับ 174.80 กรัม รongลงมา คือ กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 152.46 กรัม และในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีแนวโน้มให้ชีวมวลของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 92.23 กรัม ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) มีผลต่อ ชีวมวลของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต มีแนวโน้มให้ค่าสูงที่สุด เท่ากับ 117.54 กรัม รongลงมา คือ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 83.61 กรัม และในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นน้ำกลั่น มีแนวโน้มให้ชีวมวลของข้าวน้อยที่สุด เท่ากับ 76.18 กรัม (ตาราง 13)

ตาราง 13 ผลการทดสอบสารปรับปรุงดินร่วมกับสารประกอบชีวมีกจากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว

ปัจจัย	ชนิดของปุ๋ย/ ชนิดสารชีวมีก	น้ำหนักเมล็ด (กรัม/กอ)			ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	ชีวมวล (กรัม)
		น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ	น้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ	น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ		
ชนิดของปุ๋ย	ไม่ใส่	28.14 <sup>b</sup>	2.38 <sup>ab</sup>	30.52 <sup>b</sup>	1,839	92.23 <sup>c</sup>
(p)	สารปรับปรุงดิน	44.46 <sup>a</sup>	3.21 <sup>ab</sup>	47.67 <sup>a</sup>	2,243	152.46 <sup>b</sup>
	ปุ๋ยเคมี	43.72 <sup>a</sup>	3.95 <sup>a</sup>	47.67 <sup>a</sup>	2,230	174.80 <sup>a</sup>
สารชีวมีก	น้ำกลั่น	23.02 <sup>c</sup>	2.09	25.12 <sup>c</sup>	1,752	76.18 <sup>c</sup>
(F)	โพแทสเซียมชีวเมต	31.22 <sup>a</sup>	2.50	33.73 <sup>a</sup>	2,094	83.61 <sup>b</sup>
	โซเดียมชีวเมต	29.17 <sup>b</sup>	2.51	31.69 <sup>b</sup>	1,641	117.54 <sup>a</sup>
สูตรปุ๋ย		**	**	**	ns	**
สารชีวมีก		**	ns	**	ns	**
สูตรปุ๋ย×สารชีวมีก		**	*	**	ns	**
cv%		1.31	15.14	1.21	0.02	0.37

หมายเหตุ: ตัวภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

\*\* = ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

## ส่วนผลที่มีต่อคุณสมบัติของดินนั้น พบว่า

### 1. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน สูงที่สุด เท่ากับ 7.235 และมีแนวโน้มของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินน้อยที่สุด ในกรรมวิธี ที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าเท่ากับ 7.322 ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า โดยในทุกกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 7.323 (ตาราง 14)

### 2. ค่าการนำไฟฟ้า

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ มีค่าการนำไฟฟ้าของดินสูงที่สุด เท่ากับ 0.164 เดซิซีเมนต์/เมตร และมีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าของดินน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ใส่ สารปรับปรุงดิน และปุ๋ยเคมี มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน เท่ากับ 0.160 เดซิซีเมนต์/เมตร ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในทุกกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก มีค่าการนำไฟฟ้าของดินเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 0.161 เดซิซีเมนต์/เมตร (ตาราง 14)

### 3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุด เท่ากับ 2.155 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยที่สุด ในกรรมวิธีที่ใส่ สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 0.160 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยพบว่า ในทุกกรรมวิธีที่ฉีดพ่น สารประกอบฮิวมิก มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 2.514 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 14)

ตาราง 14 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดินหลังการทดลองปลูกพืช

ปัจจัย	ชนิดของปุ๋ย/ ชนิดสารชีวมีก	1*ค่ากรด-ด่าง	1*ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์/เมตร)	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
ชนิดของปุ๋ย (P)	ไม่ใส่	7.323	0.164	2.515
	สารปรับปรุงดิน	7.325	0.160	2.513
	ปุ๋ยเคมี	7.322	0.160	2.514
สารชีวมีก (F)	น้ำกลั่น	7.323	0.161	2.514
	โพแทสเซียมชีวเมต	7.323	0.161	2.514
	โซเดียมชีวเมต	7.323	0.161	2.514
สูตรปุ๋ย		ns	ns	ns
สารชีวมีก		ns	ns	ns
สูตรปุ๋ย×สารชีวมีก	ns	ns	ns	
cv%		5.759	8.918	15.486

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

#### 4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในทุกกรรมวิธีที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน เท่ากับ 0.068 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในทุกกรรมวิธีที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน เท่ากับ 0.068 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

#### 5. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน สูงที่สุด เท่ากับ 2.682 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีค่าเท่ากับ 2.680 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ สารประกอบฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยในกรรมวิธีที่ฉีดพ่น โซเดียมฮิวเมต มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงที่สุด เท่ากับ 2.677 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียม-ฮิวเมต และไม่ใส่ มีค่าเท่ากับ 2.674 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

#### 6. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

พบว่า ปัจจัยด้านชนิดของปุ๋ยทางดิน (P) ไม่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน สูงที่สุด เท่ากับ 3.562 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน น้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 3.355 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ สารประกอบ ฮิวมิก (F) ไม่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ และฉีดพ่นสารโพแทสเซียมฮิวเมต มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินสูงที่สุด เท่ากับ 3.559 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินน้อยที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโซเดียมฮิวเมต มีค่าเท่ากับ 3.558 เปอร์เซ็นต์ (ตาราง 15)

ตาราง 15 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดินหลังการทดลองปลูกพืช

ปัจจัย	ชนิดของปุ๋ย/ ชนิดสารชีวมีก	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เซนติเมตร)	ปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
ชนิดของปุ๋ย (P)	ไม่ใส่	0.068	2.663	3.562
	สารปรับปรุงดิน	0.068	2.682	3.555
สารชีวมีก (F)	ปุ๋ยเคมี	0.068	2.680	3.559
	น้ำกลั่น	0.068	2.674	3.559
	โพแทสเซียมชีวเมต	0.068	2.674	3.559
	โซเดียมชีวเมต	0.068	2.677	3.558
สูตรปุ๋ย		ns	ns	ns
สารชีวมีก		ns	ns	ns
สูตรปุ๋ย×สารชีวมีก	ns	ns	ns	
cv%		10.989	14.657	11.330

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

1. จากผลการศึกษาการสกัดสารชีวโมเลกุลจากลีโอนาร์โดต์ พบว่า สารชีวโมเลกุลที่สกัดได้แบ่งออกเป็น 6 ได้แก่ โซเดียมซิวเมต โซเดียมซิวมิน โซเดียมฟูลเวต โพลีแซ็กคาไรด์ โซเดียมซิวเมต และโพลีแซ็กคาไรด์ซิวมิน เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพแล้ว พบว่า สารโพลีแซ็กคาไรด์ซิวมิน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน กับปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด เท่ากับ 35.60 และ 61.38 ตามลำดับ ขณะที่ สารโซเดียมฟูลเวต มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน กับปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยที่สุด เท่ากับ 19.48 และ 33.58 ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า สารโซเดียมซิวมินมีค่าสูงสุด เท่ากับ 7.73 ขณะที่ โซเดียมฟูลเวต มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.14 ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า สารโพลีแซ็กคาไรด์ซิวมิน มีค่าสูงสุด เท่ากับ 64.30 เดซิซีเมนต์/เมตร ขณะที่ โพลีแซ็กคาไรด์ซิวมิน มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 2.40 เดซิซีเมนต์/เมตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพลีแซ็กคาไรด์ทั้งหมด มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 0.12-0.49, 1.350-1.360 และ 3.52-3.86 ตามลำดับ

2. จากการศึกษาการใช้สารชีวโมเลกุลแต่ละชนิด ที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าว พบว่า กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพลีแซ็กคาไรด์ซิวเมต ทำให้จำนวนเมล็ดสีต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด และน้ำหนักเมล็ดสีต่อกอ ได้ผลออกมาดีที่สุดในช่วง 13.17, 91.08 และ 0.97 ตามลำดับ ขณะที่ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพลีแซ็กคาไรด์ฟูลเวต ทำให้จำนวนเมล็ดสีต่อรวง ได้ผลออกมาดีที่สุดในช่วง 178.76 เมล็ด แต่ทำให้จำนวนเมล็ดสีต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดสีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดสีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ และผลผลิตต่อไร่ ได้ผลออกมาไม่ดีที่สุดในช่วง 38.55, 75.43, 46.00, 2.98, 48.97 และ 940.31 ตามลำดับ ขณะที่ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมซิวมิน ทำให้ชีวมวล ได้ผลออกมาดีที่สุดในช่วง 83.75 กรัม แต่ทำให้จำนวนเมล็ดสีต่อรวง ได้ผลออกมาไม่ดีที่สุดในช่วง 134.71 เมล็ด ขณะที่ กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมซิวเมต ทำให้น้ำหนักเมล็ดสีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ และผลผลิตต่อไร่ ได้ผลออกมาดีที่สุดในช่วง 65.76, 67.44 และ 1,294.93 ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฟูลเวต ทำให้ชีวมวลได้ผลออกมาไม่ดี เท่ากับ 59.79 กรัม ส่วนค่าความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และความยาวรวงต่อกอ ไม่มีความแตกต่างกัน คือ มีค่าอยู่ในช่วง 146.11-159.44, 13.33-15.44, 13.22-15.33 และ 25.17-27.99 ตามลำดับ

3. จากผลการศึกษาคุณสมบัติของลีโอนาร์โดต์และมูลค่างคาว ซึ่งในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช พบว่า ลีโอนาร์โดต์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มากที่สุด เท่ากับ 10.37 และมูลค่างคาว มีปริมาณฟอสฟอรัส มากที่สุด เท่ากับ 19.75 ขณะที่ มูลค่างคาว และลีโอนาร์โดต์ มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.23 และ 0.22 ตามลำดับ แต่ในค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ซีโอไลต์ ไดโลไมต์ ภูไมท์ และมูลค่างคาว มีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ เท่ากับ 1.00, 0.70, 0.73 และ 0.70 ตามลำดับ ขณะที่ กรดซิลิโคน โบรอน ยิปซัม และลีโอนาร์โดต์ มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง เท่ากับ 18.00, 85.20, 17.30 และ 30.10 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ลีโอนาร์โดต์ มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ (มีความเป็นกรดแก่) เท่ากับ 2.76 ขณะที่ ซีโอไลต์ ไดโลไมต์ ภูไมท์ มูลค่างคาว กรดซิลิโคน โบรอน และยิปซัม มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูง (ด่างอ่อน-ปานกลาง) เท่ากับ 7.43, 7.73, 7.90, 9.23, 8.10, 7.96 และ 8.13 ตามลำดับ

4. หลังจากนำสัดส่วนของวัตถุดิบดังกล่าวมาผลิตในอัตราส่วน 3:1:1:1:0.5:1:0.5:2 และทำการศึกษาความคงที่ของคุณภาพสารปรับปรุงดินในแต่ละรุ่นที่ผลิต พบว่า สารปรับปรุงดินที่ได้จากการผลิตทั้ง 3 รุ่น เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี พบว่า ในแต่ละรุ่นไม่มีความแตกต่างกัน มีคุณภาพคงที่ โดย ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีค่าอยู่ระหว่าง 2.35-2.54, 8.56-8.66, 3.83-4.40, 2.21-2.55, 0.18-0.91, 12.05-13.03 และ 0.20-0.21 ตามลำดับ

5. หลังจากวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังปลูกข้าว พบว่า ทุกกรรมวิธีที่ได้ทำการทดลองมา ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในดิน เนื่องจาก ค่าการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อนปลูก เปรียบเทียบกับดินหลังปลูก แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี และจากการเก็บบันทึกข้อมูลผลของสารปรับปรุงดินต่อองค์ประกอบของข้าว แสดงให้เห็นว่า กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน ส่งผลต่อองค์ประกอบของข้าวได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และจากข้อมูลการวิเคราะห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีกับกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน ส่งผลต่อองค์ประกอบของข้าว ไม่ค่อยแตกต่างกัน และสารประกอบฮิวมิคจากลีโอนาร์โดต์ ต่อองค์ประกอบของข้าว แสดงให้เห็นว่า กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต ส่งผลต่อองค์ประกอบของข้าวได้ดีที่สุด

## อภิปรายผลการวิจัย

### การทดลองที่ 1 คุณสมบัติของสารประกอบฮิวมิกที่สกัดจากลีโอเนอไรต์

ศึกษาคุณสมบัติของสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด และในลีโอเนอไรต์ จากค่าการวิเคราะห์ของลีโอเนอไรต์ พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 1.360 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 3.54 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.09 และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 56.83 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุอาหารหลัก สอดคล้องกับ ธรรมชาติ สมจันทร์ และอรุวรรณ นัตรสีรุ่ง (2557) ที่รายงานว่ามีคุณสมบัติทางเคมีของแร่ลีโอเนอไรต์จากเหมืองแร่ถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.82 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 30.80 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.54 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.66 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ในรายงานของ ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ (2551) ที่รายงานว่ามีคุณสมบัติทางเคมีของแร่ลีโอเนอไรต์ มีความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่ามีค่า 4.5, 55.41, 13.85 และ 3.56 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สุชาติดา โกชาตม (2556) ที่รายงานว่าการศึกษาลักษณะทางเคมีของลีโอเนอไรต์ จากเหมืองแร่ลิกไนต์ ประเทศไทย พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ สูงถึงร้อยละ 24.4 มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของลีโอเนอไรต์ พบว่ามีค่าต่ำกว่า 4 ซึ่งเป็นกรดรุนแรง ดังนั้น จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แม้ลีโอเนอไรต์จะมีศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ แต่จำเป็นต้องมีการลดค่าความเป็นกรดก่อนนำไปใช้ทางการเกษตร

และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด พบว่า ในโพแทสเซียมฮิวมิน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ มากที่สุด เท่ากับ 35.60 และ 61.38 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ในโพแทสเซียมฮิวมินนั้น มีค่าสูงที่สุด ดังนั้น อาจเป็นเพราะ จากการสกัดลีโอเนอไรต์ สารฮิวมิน เป็นสารฮิวมิก ซึ่งไม่สามารถสกัดได้ด้วยสารละลายต่างเจือจาง และกรด ลักษณะมีสีคล้ำดำหรือน้ำตาลเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา (2546) ที่ได้รายงานไว้ว่า ในสารฮิวมิก ประกอบด้วยกลุ่มของสารประเภทที่มีมวลโมเลกุลสูง หรือค่อนข้างสูง ทั้งนี้เกิดจากการแปรสภาพ และสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ของสารที่ไม่ใช่ฮิวมิก และเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของอินทรีย์วัตถุที่สะสมตกค้างอยู่ในดิน ซึ่งจากการสกัดลีโอเนอไรต์ ทำให้ส่วนของฮิวมินยังมีคุณสมบัติดังเดิมอยู่ ดังนี้ จึงอาจเป็นเหตุผลที่กล่าวได้ว่า เหตุใดโพแทสเซียมฮิวมิน จึงมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และอินทรีย์วัตถุ มากที่สุด ขณะที่ใน โซเดียมฮิวมิน และโพแทสเซียมฮิวมิน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงที่สุด

เท่ากับ 7.73 และ 6.20 จากผลการทดลองจึงสันนิษฐานได้ว่า โซเดียมฮิวมิน และโพแทสเซียมฮิวมิน ได้ผ่านขั้นตอนการละลายด้วยต่าง จึงทำให้ค่าของลีโอนาร์โดต์ที่เคยเป็นกรดเปลี่ยนไป ภายหลังจากการสกัด เปลี่ยนค่ามาเป็นต่างอ่อน สอดคล้องกับรายงานของ Burdick (1965 อ้างอิงใน วิวัฒน์ โติธิรกุล, พลยุทธ ศุขสมิติ และจินดารัตน์ โดกมลธรรม, 2552) รายงานว่า การสกัด กรดฮิวมิกในทางเคมี สามารถทำได้โดยละลายตัวอย่างด้วยต่าง เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดฮิวมิกจะถูกสกัดเข้ามาละลายอยู่ในชั้นของสารละลายต่าง เป็นโซเดียมฮิวเมต หรือโพแทสเซียมฮิวเมต ซึ่งฮิวมินได้ผ่านขั้นตอนในการสกัดนี้ จึงอาจเป็นเหตุผล ที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ต่างของ ฮิวมิน มีค่าเป็นกรดอ่อน-ต่างอ่อน ขณะที่ โพแทสเซียมฟูลเวต และโซเดียมฟูลเวต มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงที่สุด เท่ากับ 64.30 และ 62.30 ตามลำดับ จากผลการทดลองจึงสันนิษฐานได้ว่า สาเหตุอาจมาจากขั้นตอนการสกัดลีโอนาร์โดต์ เพื่อให้ได้ เกลือฮิวเมต ออกมา ต้องนำสารละลายเกลือฮิวเมต และเกลือฟูลเวต มาทำให้ตกตะกอน โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล ซึ่งภายหลังจากขั้นตอนนี้ จะได้กรดฟูลวิก หรือฟูลเวต (ไม่ตกตะกอน) และจากการนำเอา โพแทสเซียมฟูลเวต และโซเดียมฟูลเวต มาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า สารที่สกัดออกมาได้ 6 ชนิด มีเพียง โพแทสเซียมฟูลเวต และโซเดียมฟูลเวต ที่มีค่า การนำไฟฟ้าสูงที่สุด ส่วนโพแทสเซียมฮิวเมต และโซเดียมฮิวเมต ก็มีค่าการนำไฟฟ้ารองลงมา จึงอาจเป็นไปได้ว่า ขั้นตอนนี้อาจทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของโพแทสเซียมฟูลเวต และโซเดียมฟูลเวต เพิ่มขึ้นได้ และในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมด มีมากที่สุดโซเดียมฮิวเมต เท่ากับ 0.49 1.360 และ 3.86 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรรถญา พรหมโย (2553) รายงานว่า ได้สกัดแยกกรดฮิวมิกจากหินแกรนิตดำ (ลีโอนาร์โดต์) ที่นำมาจากเหมืองลิกไนต์ จังหวัดลำปาง โดยใช้สารละลายต่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไพโรฟอสเฟต สกัดกรดฮิวมิกจากลีโอนาร์โดต์ หลังจากนั้นไปตกตะกอน ด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า เมื่อใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ จะได้ปริมาณกรดฮิวมิกเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 19.67 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ สุชาติา โภชาตม และคณะ (2556) ที่ได้ศึกษาลักษณะ ทางเคมีของลีโอนาร์โดต์ จากเหมืองลิกไนต์ประเทศไทย ผลการศึกษา พบว่า มีปริมาณธาตุอาหาร ที่จำเป็นต่อพืช เป็นองค์ประกอบอยู่หลายธาตุ และบางธาตุมีองค์ประกอบอยู่สูง

## **การทดลองที่ 2 ผลของสารประกอบฮิวมิกจากลีโอนาร์โดต์ต่อผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105**

จากการศึกษาการใช้สารฮิวมิกแต่ละชนิด ที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์ต่อองค์ประกอบของ ผลผลิตข้าว พบว่า องค์ประกอบผลผลิตของข้าว ได้แก่ ความสูง มีค่าอยู่ระหว่าง 146.11-159.44 เซนติเมตร จำนวนต้นต่อกอ มีค่าอยู่ระหว่าง 12.89-15.44 ต้น จำนวนรวงต่อกอ

มีค่าอยู่ระหว่าง 12.22–15.33 รวง และความยาวรวงต่อกอ มีค่าอยู่ระหว่าง 25.17–27.99 เซนติเมตร จากองค์ประกอบของข้าวที่กล่าวมาในข้างต้น จะเห็นได้ว่า ข้าวที่ปลูกในแต่ละกรรมวิธีทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่จำนวนเมล็ดดีต่อรวง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจำนวนเมล็ดดีต่อรวง มีมากที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต และโพแทสเซียมพุลเวต เท่ากับ 173.79 และ 178.76 เมล็ดต่อรวง นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมฮิวเมต ยังส่งผลให้มีจำนวนเมล็ดลีบต่อรวงน้อยที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรรมวิธีที่ฉีดพ่นด้วยโพแทสเซียมพุลเวต และโพแทสเซียมฮิวมิน ซึ่งมีจำนวนเมล็ดลีบมากที่สุด เท่ากับ 38.55 และ 30.91 เมล็ด ตามลำดับ ส่วนเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวงสูงสุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต เท่ากับ 91.08 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมฮิวเมต ยังส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอเพิ่มสูงขึ้น 62.81 กรัม และน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอน้อยที่สุด 0.97 กรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต ซึ่งมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อกอสูงที่สุด 65.76 กรัม แต่กลับพบว่า เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด มีค่าเท่ากับ 84.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ทำการฉีดพ่นโพแทสเซียมฮิวเมต และโซเดียมฮิวเมต สามารถให้ผลผลิตต่อไร่มากที่สุด คือ 1,224.53 และ 1,294.93 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนน้ำหนักเมล็ดลีบต่อกอ มีมากที่สุดในกรรมวิธีที่ฉีดพ่นโพแทสเซียมพุลเวต มีค่าเท่ากับ 2.98 กรัม นอกจากนี้ การใช้โพแทสเซียมพุลเวต ยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อรวงน้อยที่สุด น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอน้อยที่สุด จึงส่งผลทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำที่สุด 940.31 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนปริมาณมวลชีวภาพ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีมากที่สุด คือ กรรมวิธีของโซเดียมฮิวมิน และโซเดียมฮิวเมต เท่ากับ 83.75 และ 83.27 กรัม จากงานวิจัยของ Osman, et al. (2013) ที่พบว่า การฉีดพ่นของกรดฮิวเมต และกรดพุลเวต นำไปสู่การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของน้ำหนักเมล็ด อัตราผลผลิตข้าวเปลือก และฟางข้าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาติดา โภชาตม และคณะ (2556) ทำการศึกษาลักษณะทางเคมีของลีโอนาร์ไดต์ จากเหมืองแร่ลิกไนต์ ประเทศไทย ผลการศึกษา พบว่า ลีโอนาร์ไดต์ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงถึงร้อยละ 24.4 เหมาะสำหรับใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน เนื่องจากลีโอนาร์ไดต์มีสารประกอบฮิวมิก เป็นองค์ประกอบอยู่สูง จะช่วยในการดูดซับและแลกเปลี่ยนธาตุอาหาร สามารถช่วยในการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยกับพืช และมีบทบาทในการเพิ่มค่าอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนให้กับดิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยงยุทธ โอสถสภา (2552) รายงานว่า สารฮิวมิกที่นำมาฉีดพ่นทางใบ จะถูกดูดเข้าไปในเซลล์ และทำหน้าที่ช่วยให้กระบวนการต่าง ๆ เช่น ช่วยให้รากยึดตัว

ส่งเสริมการดูแลรักษาอาหาร และการนำธาตุอาหารที่ดูดได้ไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ในพืชดีขึ้น แต่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชต้องการยังต้องมาจากดินเหมือนเดิม แสดงให้เห็นว่า การใช้สารชีวมีก แต่ละชนิดที่สกัดได้จากลีโอนาร์โดต์ มีผลต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าวค่อนข้างดี ดังนั้น หากจะเป็นเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ควรมีการใช้ร่วมกับทางดิน

### การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน

จากการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบ ที่โรงงานใช้ในการผลิตสารปรับปรุงดิน การบดละเอียดของวัตถุดิบก่อนนำมาผสมในสายพานการผลิต สุ่มเก็บตัวอย่าง 1 กิโลกรัม นำมาตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ พบว่า คุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ทุกรายการ โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของวัตถุดิบแต่ละชนิดนั้น พบว่า โบรอนมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 9.23 ขณะที่แร่ลีโอนาร์โดต์ มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 2.76 ส่วนค่าการนำไฟฟ้า พบว่า โบรอนมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 83.20 เดซิซีเมนต์/เมตร ขณะที่ โดโลไมต์ และมูลค่างคาว มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.70 เดซิซีเมนต์/เมตร ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า ลีโอนาร์โดต์ มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 10.37 เปอร์เซ็นต์ และมูลค่างคาว มีปริมาณเท่ากับ 7.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า มูลค่างคาว มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 19.75 เปอร์เซ็นต์ และลีโอนาร์โดต์ มีปริมาณเท่ากับ 10.89 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่า มูลค่างคาว และลีโอนาร์โดต์ มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.23 และ 0.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ต้องเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารพืชให้มีค่าที่สูงกว่านี้ ซึ่งจะต้องศึกษาถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นสารปรับปรุงดิน ที่สามารถผลิตได้จริงในโรงงาน และมีคุณภาพเป็นไปตามกฎหมายที่กำหนดไว้

### การทดลองที่ 4 วิเคราะห์คุณภาพของสารปรับปรุงดินของโรงงาน

เปรียบเทียบคุณภาพของสารปรับปรุงดิน ภายหลังจากการผสมในแต่ละครั้งที่ผลิต ควบคุมความถูกต้องของชนิดวัตถุดิบ และน้ำหนักของส่วนผสม ลีโอนาร์โดต์บด: โดโลไมต์: ซีโอไลท์: กรดซิลิโคน: โบรอน: ภูเขาไมท์: ยิปซัม: มูลค่างคาว อัตราส่วน 3:1:1:1:0.5:1:0.5:2 โดยผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่กำหนด ทำการเก็บตัวอย่างที่ผ่านการผสม แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี เพื่อติดตามความสม่ำเสมอของคุณภาพของสารปรับปรุงดิน ในแต่ละครั้งที่ผลิต พบว่า ผลของกระบวนการผลิตในแต่ละครั้งที่ผลิต ไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่ากรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ยกเว้นอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีความแตกต่างกัน

ทางสถิติ ในกระบวนการผลิต แสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนในการผสมในแต่ละครั้งที่ผลิตสารปรับปรุงนั้น มีความคงที่ของส่วนผสมที่ออกจากสายพานการผลิตในทุก ๆ รอบการผลิตที่ทำการศึกษา ในแต่ละครั้งที่ทำการผสมสารปรับปรุงดิน ค่าการวิเคราะห์ในทุกกรรมวิธีนั้น ยังมีความคงที่สม่ำเสมอ และผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดไว้

#### **การทดลองที่ 5 ผลของสารปรับปรุงดิน และสารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์ไดต์ ต่อคุณสมบัติของดิน และผลผลิตของข้าว**

จากการทดสอบประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดิน และการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์ไดต์ต่อองค์ประกอบของข้าว จากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของความสูงต้น จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดตีสืบต่อกอ น้ำหนักเมล็ดตีสืบต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ และชีวมวล มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน และไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) มีค่าเท่ากับ 120.13, 12.18, 11.92, 40.30, 3.95, 47.67 และ 174.80 ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของความยาวรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อกอ น้ำหนักเมล็ดรวมต่อกอ และผลผลิตต่อไร่ มีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และไม่ใส่ปุ๋ย (ชุดควบคุม) มีค่าเท่ากับ 27.41, 158.66, 82.19, 44.46, 47.67 และ 2,243 ตามลำดับ และจากการเก็บบันทึกข้อมูล ผลของสารปรับปรุงดิน ต่อองค์ประกอบของข้าว แสดงให้เห็นว่า กรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดินส่งผลต่อองค์ประกอบของข้าว ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี และจากข้อมูลการวิเคราะห์ พบว่า กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี กับกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน ส่งผลต่อองค์ประกอบของข้าวไม่ค่อยแตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑารัตน์ คำนึ่งกิจ (2546) ที่รายงานไว้ว่า จากผลการทดลองปลูกข้าว และข้าวโพด ในดินเปรี้ยวชุดดินของศรีสะเกษ โดยใช้แคลเซียมซิลิเกต 4 อัตรา และแกลบดิบ 2 อัตรา พบว่าการใช้แคลเซียมซิลิเกต และแกลบดิบ ในอัตรา 300 มิลลิกรัมของซิลิกา ต่อดิน 1 กิโลกรัม หรือเทียบเท่าการใช้ใช้แคลเซียมซิลิเกต 93.60 กิโลกรัม และแกลบดิบ 662.13 กิโลกรัม ต่อดิน 1 ไร่ มีผลทำให้ข้าวให้น้ำหนักเมล็ดมากกว่าที่ไม่ใส่ซิลิคอน ประมาณร้อยละ 49 และ 34 ตามลำดับ และทำให้น้ำหนักต่อชั่งแห้งมากขึ้นถึงประมาณร้อยละ 75 และ 74 ตามลำดับ และจากงานวิจัยของ Maneepong, et al. (1998) ใช้ปูนขาวยิปซัม และปูนขาวร่วมกับยิปซัม ปรับปรุงดินกรด ที่ระดับความลึกต่างกัน ปรากฏว่า การใส่ปูนขาวสามารถปรับ pH ของดินให้สูงขึ้น และลดอะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Al) เพียงเล็กน้อยในดินบน และไม่แตกต่างในดินล่าง ส่วนการใส่ยิปซัม สามารถเพิ่มปริมาณแคลเซียม และกำมะถัน ไปถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร จากผิวดิน และลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินล่างดีกว่าเมื่อใส่ร่วมกับปูน แต่ส่งผลให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลง

ในดิน ที่ระดับ 0-20 เซนติเมตร เนื่องจากแมกนีเซียมถูกแทนที่โดยแคลเซียม และถูกชะล้าง ออกจากหน้าตัดดินได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sumner (1993) ถั่วเขียวและข้าวโพด เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยร่วมกับยิปซัม แต่จะลดลงเมื่อใส่ยิปซัมอย่างเดียว ที่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากปริมาณอะลูมิเนียมที่ลดลงนั้น ยังอยู่ในระดับที่เป็นพิษกับพืช และปริมาณแมกนีเซียมลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง การใส่ปุ๋ยเพื่อลดความเป็นกรดหรือลดปริมาณอะลูมิเนียม ในดินล่างในระยะยาว ทำได้โดยการใส่ปุ๋ยควบคุมการไถพรวนระดับลึก ซึ่งในทางปฏิบัติทำได้ยาก และสิ้นเปลือง แต่การใส่ปุ๋ยร่วมกับยิปซัม สามารถปรับความเป็นกรดในดินล่างได้ต่อเนื่อง เป็นเวลาหลายปี และจากผลการทดสอบสารประกอบฮิวมิกต่อองค์ประกอบของข้าว พบว่า กรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโพแทสเซียมฮิวเมต ส่งผลทำให้ ความสูงต้น จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวง ต่อกอ จำนวนเมล็ดดี เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดี น้ำหนักเมล็ดรวม ผลผลิตต่อไร่ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ฉีดพ่น (ชุดควบคุม) มีค่าเท่ากับ 112.13, 7.68, 7.68, 143.58, 83.18, 31.22, 33.73 และ 2,094 ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ฉีดพ่นโซเดียมฮิวเมต ส่งผลทำให้ จำนวนเมล็ดลีบ น้ำหนักเมล็ด และชีวมวล ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 37.32, 2.51 และ 117.54 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Osman, et al. (2013) ที่รายงานว่า ผลกระทบของกรดอินทรีย์ต่อการใส่ปุ๋ยทางใบต่อผลผลิต และองค์ประกอบของข้าว ผลการศึกษา พบว่า การฉีดพ่นทางใบของฮิวมิก และฟูลวิกร่วมกัน พารามิเตอร์ดังกล่าวเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เดียวกัน การพ่นทางใบของกรดฮิวมิกเพียงอย่างเดียว ให้ค่าที่สำคัญที่สุด ของพารามิเตอร์ทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างการพ่นในทางตรงกันข้าม น้อยที่สุด ในกรรมวิธีชุดควบคุม (โดยไม่มีกรดอินทรีย์) การเจริญเติบโตของพืชจะได้รับผลกระทบ ทางอ้อม และโดยตรงจากสารฮิวมิกและฟูลวิก โดยปัจจัยเหล่านี้จะให้พลังงานสำหรับสิ่งมีชีวิต ที่มีประโยชน์ภายในดิน มีอิทธิพลต่อความชุ่มชื้นของดิน มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของดิน ปล่อยสารอาหารจากแร่ธาตุที่อ่อนนุ่ม ความพร้อมใช้งานที่เพิ่มขึ้นของแร่ธาตุ และโดยทั่วไป ความอุดมสมบูรณ์ของดินดีขึ้น ผลกระทบโดยตรงในการเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญอาหารของพืช ที่เกิดขึ้นหลังจากการดูดซึมของโมเลกุลของสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิกและกรดฟูลวิก เมื่อสารเหล่านี้เข้าสู่เซลล์พืช เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหลายอย่างเกิดขึ้นในเยื่อหุ้มเซลล์ และส่วนประกอบ cytoplasmic ต่าง ๆ ของเซลล์พืช การค้นพบที่คล้ายกัน โดย Zhang and Ervin (2004) ที่รายงานว่า กรดฮิวมิก มี cytokinins และการนำไปใช้ของพวกเขาส่งผลให้ระดับ cytokinin และ auxin ภายในเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ซึ่งอาจอธิบายถึงการเพิ่มขึ้น ของน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง และผลผลิตของข้าว ที่สังเกตได้จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า พารามิเตอร์การเจริญเติบโตลักษณะทางสัณฐานวิทยา และลักษณะทางเคมีของต้นถั่วลิ้นเตา

มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มฮิวมิกเอซิด ที่ 2,000 ppm และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eyheraguibel, et al. (2008) ทำการศึกษาเพื่อศึกษาผลของ humic-like substances (HLS) ในทางสรีรวิทยาของพืช เพื่อนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ผลกระทบของ HLS ได้รับการประเมินในการงอกของเมล็ดข้าวโพด และผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของการพัฒนาและธาตุอาหารที่ได้รับ การศึกษาในพืชข้าวโพดที่ปลูกภายใต้ไฮโดรโปนิกส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า HLS ไม่ได้เพิ่มอัตราการงอก แต่ช่วยเพิ่มความยาวของราก

การทดลองนี้ เป็นการทดสอบผลของสารปรับปรุงดิน และสารประกอบฮิวมิกที่สกัดจากลีโอนาร์โดต์ ต่อคุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบของข้าวทางผลผลิต โดยพบว่า คุณสมบัติของดินหลังปลูกข้าว ไม่มีความแตกต่างกันของค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด โดยพบว่า คุณสมบัติของดินหลังปลูกข้าว มีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีค่าเท่ากับ 7.325 และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยที่สุด เท่ากับ 7.322 และจากการฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากัน มีค่าเท่ากับ 7.323 ส่วนค่าการนำไฟฟ้า มีค่าสูงสุดในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย โดยพบว่า มีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เท่ากับ 0.164 เดซิซีเมนต์/เมตร และกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดินและปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ค่าการนำไฟฟ้าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.160 เดซิซีเมนต์/เมตร และจากการฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 1.161 เดซิซีเมนต์/เมตร ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุ มีปริมาณสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด เท่ากับ 2.515 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยที่สุด เท่ากับ 2.513 เปอร์เซ็นต์ และจากการฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 2.514 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จากการใส่ปุ๋ยทางดิน พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 0.068 เปอร์เซ็นต์ และจากการฉีดพ่นสารประกอบฮิวมิก พบว่า ทุกกรรมวิธีมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากัน มีค่าเท่ากับ 0.068 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีปริมาณสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 2.682 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 2.680 เปอร์เซ็นต์ และจากการฉีดพ่นสารไซเตียมฮิวเมต พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 2.677 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโพแทสเซียมฮิวเมต และน้ำกลั่น มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 2.674 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีปริมาณสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ เท่ากับ 3.562 เปอร์เซ็นต์

และกรรมวิธีที่ใส่สารปรับปรุงดิน มีแนวโน้มของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 3.355 เปอร์เซ็นต์ และจากการฉีดพ่นสารโพแทสเซียมฮิวเมต และน้ำกลั่น พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด เท่ากับ 3.559 เปอร์เซ็นต์ และกรรมวิธีที่ฉีดพ่นสารโซเดียมฮิวเมต มีแนวโน้มของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยที่สุด เท่ากับ 3.558 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ผลผลิตของสารปรับปรุงดิน และสารประกอบฮิวมิกที่สกัดจากสีโอนาร์โดต์ ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติของดิน เพราะเมื่อใช้แล้วคุณสมบัติของดินไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงสันนิษฐานได้ว่า อาจเกิดจาก 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 อัตราการใช้สารปรับปรุงดิน ปุ๋ยเคมี ร่วมกับโซเดียมฮิวเมต และโพแทสเซียมฮิวเมต ยังไม่เหมาะสม จึงทำให้คุณสมบัติของดิน ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และกรณีที่ 2 คือ แปลงปลูกที่ใช้ทำการทดลองเป็นพื้นที่ดินเหนียว และเนื่องด้วยดินเหนียวมีความสามารถในการดูดซับ และแลกเปลี่ยนไอออนมาก และเป็นดินที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่สุด ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะมีประจุลบ ซึ่งสามารถดูดซับประจุบวกไว้ได้มาก ดังนั้น ดินที่มี (CEC) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนบวกสูง จึงมีบัฟเฟอร์ (buffer) สูงขึ้นไปด้วย ซึ่งบัฟเฟอร์จะมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยทั่วไป หมายถึง 1) ความสามารถของดินที่สามารถต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยความคุม pH ในดินได้สม่ำเสมอ และ 2) ความสามารถของดินที่จะรักษาสมดุลของธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ดินมีความสามารถต้านทานสูงต่อการเปลี่ยนแปลงธาตุโพแทสเซียม สามารถรักษาระดับโพแทสเซียมในสารละลายได้ดี

### ข้อเสนอแนะ

#### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

สกัดสารฮิวมิกจากสีโอนาร์โดต์ ได้สารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำมาก ๆ ซึ่งหมายความว่า มีความเป็นกรดสูง เมื่อนำไปทดสอบกับข้าว พบว่า ใบข้าวมีอาการใบไหม้เล็กน้อย ส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณใบแก่ ทำให้ใบข้าวเกิดอาการซีดขาว หรือเหลือง จะแสดงอาการหลังจากฉีดพ่นได้ 2 วัน หลังจาก 2 อาทิตย์ ใบไหม้ก็จะเหี่ยวและแห้งไป แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต ดังนั้น ควรมีการปรับค่าความเป็นกรดให้อยู่ในระดับปานกลาง ก่อนนำไปฉีดพ่น

#### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับฮอร์โมนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในสารประกอบฮิวมิก ทั้ง 6 ชนิด เพื่อให้รู้แนวทางการนำไปใช้ได้ดีขึ้น ในครั้งต่อไป



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. (2551). **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2544). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จุฑารัตน์ คำนึ่งกิจ. (2546). **ผลของซิลิกอนที่มีผลต่อผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวและข้าวโพดที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด ชุดดินองค์กรักษ์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จุมพล ยุวะนิยม. (2531). **การศึกษาอิทธิพลของการใช้ปุ๋ยร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อปรับปรุงการผลิตข้าวในดินเปรี้ยวจัด**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชัยมงคล ใจหกล้า และบุญร่วม คิตคำ. (2558). **การปรับปรุงกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ตราแก้วพะเยา ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีรพงษ์ จันทรมนิยม, ประกิจ ทองคำ และธีระ เอกสมทราเมตต์. (2547). **ไบรอนกับปาล์มน้ำมัน. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน, 5(3), 11-13.**
- ณรรต สมจันทร์ และอรุวรรณ ฉัตรสิริรุ่ง. (2557). **การปรับปรุงคุณภาพลิโอนาร์ไต์ดีสำหรับเป็นวัสดุปรับปรุงดิน. วารสารวิจัยและพัฒนา, 37(1), 33-43.**
- นิภาพร บุญชอบ และสุวัฒน์ ชีระพงษ์ธนากร. (2558). **การใช้ปุ๋ยหมักมูลค้างคาวเพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิตของการผลิตพืชแบบอินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง หลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขการขอรับรองการผลิตปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐาน พ.ศ. 2548. (30 กันยายน 2548). **ราชกิจจานุเบกษา, 122(109 ง) หน้า 9-10.**
- ปิยะ ดวงพัตรา. (2556). **สารปรับปรุงดิน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิชญา ธีราช และ นัทธีรา สรรมณี. (2556). **ศึกษาอิทธิพลของคอปเปอร์และกรดฮิวมิกต่อการแบ่งเซลล์ปลายรากของหอมแดง**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง วท.ม., มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. (2546). **เคมีดิน (Soil chemistry)**. เชียงใหม่: เชียงใหม่พิมพ์สวย.

- มนตรี บุญจรัส. (2551). **ข้อเสียของการใช้ปุ๋ยหมักหรือหินภูเขาไฟมากเกินไป**. สืบค้นเมื่อ 23 มกราคม 2561, จาก <http://www.thaigreenagro.com>.
- มณฑิณี เศรษฐภักดี. (2546). **คำอธิบายศัพท์ดินและปุ๋ย**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยงยุทธ โอสดสภา. (2552). **ธาตุอาหารพืช** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. (2551). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิวัฒน์ ไตริกรกุล, พลยุทธ สุขสมิติ และจินดารัตน์ ไตกลมธรรม. (2552). **การเตรียมสารประกอบเกลืออิวเมตจากดินปนถ่านหินจากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง**. กาญจนบุรี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี.
- สร้อยญา คำอำภย์. (2548). **ผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ตอนภาคใต้ของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา
- สุชาติ โกชาดม, แสงดาว เขาแก้ว, พลยุทธ สุขสมิติ, คณพล จุฑามณี และ Gautier Landrot (ผู้บรรยาย). (5-7 กุมภาพันธ์ 2556). การศึกษาลักษณะทางเคมีของลีโอเนาร์ไต์จากเหมืองแร่ลิกไนต์ เพื่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51** (หน้า 243-249). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุรัชย์ ธนุศร. (2546). **การศึกษาการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ร่วมกับสารซีโอไลท์ต่อผลผลิตข้าวโพดหวาน การเปลี่ยนแปลงสภาวะธาตุอาหารหลัก และสมบัติทางฟิสิกส์**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- อรัญญา พรมโย. (2553). **การสกัดสารฮิวมิคจากลีโอเนาร์ไต์**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Ayuso, M., Hernfindez, T., Garcia, C. and Pascual, J. A. (1996). Biochemical and chemical structural characterization of different organic material used as manures. **Biores, Technol**, 57, 201-207.
- Burdick, E. M. (1965). Commercial humates for agriculture and the fertilizer industry. **The Society for Economic Botany**, 19(2), 152-156.

- Dicle, D. P. and Burba, P. (1999). Extraction kinetics and molecular size fractionation of humic substances from two brazilian soils. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 10(2), 146–152.
- Ece, A. K., Eryigit, N. and Uysal, F. (2007). The effect of leonardite applications on climbing bean yield and the some soil properties. **Agronomy**, 6, 480–483.
- Eyheraguibel, B., Silvestre, J. and Morard, P. (2008). Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. **Bioresource Technology**, 99, 4206–4212.
- Fong, S. S. and Seng, L. (2007). A comparative evaluation on the oxidative approaches for extraction of humic acids from low rank coal of Mukah, Sarawak. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 18(1), 34–40.
- Garcia, D., Cegarra, J. and Abad, M. (1996). A comparison between alkaline and decomplexing reagents to extract humic acids from low rank coals. **Fuel Processing Technology**, 48, 51–60.
- Gernier–Sillarn, E. and Harigenth, S. (2004). Humic substances in peats (Sumatra Indonesia). **Analisis**, 27(5), 405–408.
- Maneepong, S., Nilhond, C., Onthong, J., Roland, P. and Didier, B. (20–26 August 1998). Effect of lime on alleviation of upland acid soil infertility in southern Thailand. **Proceeding of 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science**. Montpellier: France.
- Nation Soil Survey Center. (1996). Soil Survey Laboratory Methods Manual Version 3.0. **Soil Survey investigations Report**, 42.
- Osman, E. A. M., EL– Masry, A. A. and Khatab, K. A. (2013). Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. **Pelagia Research Library**, 4(4), 174–183.
- Sumner, M. E. (1993). Gypsum and acid soil. **Advance in Agronomy**, 51, 1–32.
- Zhang, X. and Ervin, E. H. (2004). Cytokinin–containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. **Crop science**, 44, 1737–1745.



## ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

### วิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์

#### 1. วิธีตรวจสอบพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ

นำตัวอย่างปุ๋ยประมาณ 1 กิโลกรัม มาทำการตรวจพินิจ พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น บันทึกผล โดยรายงาน “พบ” หรือ “ไม่พบ”

#### 2. วิธีวิเคราะห์ความชื้น

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่ได้บดมา จำนวน 5.xxxx กรัม ใส่ลงใน Weighing bottle หรือ Beaker ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนัก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์หลังอบ

วิธีคำนวณ

$$\text{ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ} - \text{น้ำหนักปุ๋ยหลังอบ}}{\text{น้ำหนักปุ๋ยก่อนอบ}} \times 100$$

#### 3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณหิน และกรวดในปุ๋ยอินทรีย์

ชั่งน้ำหนักปุ๋ยมา 200.xx กรัม จากนั้นใส่ลงใน Beaker ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำจนได้ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนแล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน เพื่อให้เนื้อปุ๋ยละลาย แยกตัวออกจากกัน หากมีหิน และกรวดก็จะตกลงสู่ก้น Beaker จากนั้นค่อย ๆ เทสารละลายปุ๋ยผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 5 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำชะล้างผ่านตะแกรงหลาย ๆ ครั้ง จนได้สิ่งที่เหลือบนตะแกรง คือ หิน และกรวด นำหิน และกรวดที่ได้ใส่ Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร ซึ่งผ่านการอบจนมีน้ำหนักคงที่ และทราบน้ำหนักแล้ว นำ Beaker ที่บรรจุหินและกรวด ไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำออกจากตู้อบ จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณหิน และกรวด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักหิน และกรวดหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างปุ๋ย}} \times 100$$

#### 4. วิธีวิเคราะห์ขนาดของปุ๋ยอินทรีย์

ชั่งน้ำหนักปุ๋ย 100.xx กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 500 มิลลิลิตร เทปุ๋ยลงในตะแกรงมาตรฐาน ขนาดรูเปิด 12.5 มิลลิเมตร ซึ่งรองรับด้วยจานรองรับตัวอย่างอยู่ด้านล่าง ปิดฝา

เขย่าจนตัวอย่างปฏิกิริยาที่ค้างบนตะแกรงไม่ผ่านไปยังจานรองรับ ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างปฏิกิริยาที่ค้างบนตะแกรง บันทึกผล

วิธีคำนวณ

$$\text{ขนาดของปุ๋ย (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{\text{น้ำหนักปุ๋ยทั้งหมด} - \text{น้ำหนักปุ๋ยบนตะแกรง}}{\text{น้ำหนักปุ๋ยทั้งหมด}} \times 100$$

## 5. วิธีวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน

### 5.1 วิธีการเตรียม Reagent

สารละลาย Potassium dichromate (Oxidizing agent) ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ซึ่ง Potassium dichromate ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 49.0247 กรัม ใส่ในปิកเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร คนให้ละลายหมด ถ่าย และล้างใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย Ferrous sulfate (Reducing agent) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ซึ่ง Ferrous sulfate จำนวน 139.0085 กรัม (หรือใช้ Ferrous Ammonium Sulfate) จำนวน 196.07 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ถ่ายและล้างใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

สารละลาย O-phenanthroline ferrous sulfate indicator ซึ่ง O-phenanthroline จำนวน 0.74 กรัม และ Ferrous sulfate จำนวน 0.35 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด

สารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ซึ่ง Silver sulfate จำนวน 15 กรัม ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

### 5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างปุ๋ยจำนวน 0.1xxx กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิเปิดสารละลาย Potassium dichromate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในตัวอย่างปุ๋ย เติมน้ำกลั่น 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid หรือสารละลาย Silver sulfate ใน 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอย่างปุ๋ยอย่างช้า ๆ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดควัน 16 ชั่วโมง เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นสารละลาย O-phenanthroline ferrous sulphate ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร

### 5.3 วิธีวิเคราะห์

นำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรต ด้วยสารละลาย Ferrous sulfate จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติ บันทึกผล

หมายเหตุ ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ย เตรียม และวิเคราะห์ เช่นเดียวกับตัวอย่างปุ๋ย

### 5.4 วิธีคำนวณ

$$\text{อินทรีย์คาร์บอน (\%)} = \frac{0.3896 \times N \times \text{มิลลิลิตร ของ Potassium dichromate (C-D)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times C}$$

B = ปริมาณของ Potassium dichromate ที่เติมลงไปในตัวอย่าง และ Blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ใน Blank

D = ปริมาตรของ Ferrous sulfate ที่ไทเทรตพอดีกับ Potassium dichromate ในตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของสารละลายมาตรฐาน

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน  $\times$  1.7241

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน/ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

### 6. วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดต่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของปุ๋ยต่อน้ำ 1:2) แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งครึ่งชั่วโมง ทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter โดยนำ Glass electrode จุ่มลงในสารละลายตัวอย่าง เขย่าเบา ๆ เมื่อตัวเลขที่แสดงนิ่ง อ่านค่า pH และบันทึกผล

หมายเหตุ ในกรณีทีวิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนปุ๋ย: น้ำ=1:2 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากตัวอย่างดูตื้นน้ำมาก ให้ใช้อัตราส่วน ปุ๋ย: น้ำ=1:10 และระบุไว้ในรายงานผลวิเคราะห์

### 7. วิธีวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 5 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 30 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 1 ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดสภาพนำไฟฟ้าด้วย Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูล

## 8. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx กรัม ใส่ในหลอดย่อยขนาด 800 มิลลิลิตร เติม Salicylic Acid จำนวน 2 กรัม เติม 98 เปอร์เซ็นต์ Sulfuric acid ปริมาณ 40 มิลลิลิตร และ Sodium Thiosulfate Pentahydrate จำนวน 5 กรัม นำไปตั้งบนเตาย่อยตัวอย่าง ทำการย่อยตัวอย่าง โดยใช้ไฟปานกลาง จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำตาล ปิดไฟ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติม Mixed catalyst จำนวน 10 กรัม แล้วทำการย่อยอีกครั้งจนได้สารละลายสีเขียวใส ปิดไฟ ทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Sodium hydroxide ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และ Zinc granular จำนวน 5 กรัม นำหลอดย่อยต่อกับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่น จุ่มอยู่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ปริมาณ 100 มิลลิลิตร และสารละลาย Mixed indicator ปริมาณ 4-5 หยด ทำการกลั่นจนได้ปริมาตรของสารละลาย ในขวดปรับปริมาตร ปริมาณ 350 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทกับสารละลาย Hydrochloric acid มาตรฐาน 0.2 นอร์มัล บันทึกผล ทำ Blank โดยไม่ใส่ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับตัวอย่าง

วิธีคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{N \text{ of Hydrochloric acid} \times [\text{มิลลิลิตร (Hydrochloric acid)} - \text{มิลลิลิตร (Blank)}] \times 1.40067}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

## 9. วิธีวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

### 9.1 การเตรียม Reagent

กรดผสม Nitric acid: Perchloric acid อัตรา 1:1 ผสม 69-70 เปอร์เซ็นต์ Nitric acid กับ 69-70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid อัตราส่วน 1:1

### 9.2 Molybdovanadate reagent

ชั่ง Ammonium molybdate tetrahydrate จำนวน 40 กรัม ใส่ในปิកเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งไว้ให้เย็น ชั่ง Ammonium metavanadate ปริมาณ 2 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69-70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น ค่อย ๆ รินผสมสารละลาย Ammonium molybdate tetrahydrate ลงในสารละลาย Ammonium metavanadate ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดสีชา

### 9.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1,000 ppm ซึ่ง Potassium dihydrogen Phosphate ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ในขวด ปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐาน ฟอสฟอรัส 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm ปิเปต สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาณ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

### 9.4 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 0.3xxx-1.0xxx กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ Digestion tube เต็มกรดผสม Nitric acid: Perchloric acid ปริมาณ 20 มิลลิลิตร นำไปย่อย บน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้น เหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที จากนั้นยกลง จาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอน ด้วยน้ำกลั่นใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็นสารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

### 9.5 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ปริมาณ 5 มิลลิลิตร หรือตามความเหมาะสม ปริมาณ ความเข้มข้นของตัวอย่าง ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เต็ม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10 ของปริมาตรขวดปรับปริมาตร) ปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายมาตรฐาน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm เต็ม Molybdovanadate reagent ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายตัวอย่าง และสารละลายมาตรฐานไปวัดความเข้ม ของสี ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) หรือค่าร้อยละของลำแสงที่ส่องส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด (Transmittance) หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่าง กับกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส และค่าการดูดกลืนแสง

หรือค่าร้อยละของสัดส่วนที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างที่วัด ของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (กราฟมาตรฐาน)

### 9.6 วิธีคำนวณ

ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\text{ppm P ของกราฟมาตรฐาน} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)

$$= \frac{\%P \times [(2 \times \text{Atomic wt. of P}) + (5 \times \text{Atomic wt. of O})]}{2 \times \text{Atomic wt. of P}}$$

## 10. วิธีวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

### 10.1 การเตรียม Reagent

ชั่ง Calcium carbonate จำนวน 12.5 กรัม ใส่ในปิเกเจอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เติม 36–38 เปอร์เซ็นต์ Hydrochloric acid ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปที่ละน้อย นำไปต้มจนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน กรดผสม Nitric acid: Perchloric acid อัตรา 1:1 ผสม 69–70 เปอร์เซ็นต์ Nitric acid กับ 69–70 เปอร์เซ็นต์ Perchloric acid ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

### 10.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียม 1,000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

### 10.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างปุ๋ย จำนวน 1.xxxx กรัม ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดผสม Nitric acid: Perchloric acid จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220 องศาเซลเซียส ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารละลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30–40 นาที จากนั้นยกออกจาก Hot plate หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ถ่ายสารละลายตัวอย่าง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น

ใส่ขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่เป็น สารละลายมีตะกอนขุ่น นำไปผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

#### 10.4 วิธีวิเคราะห์

ปิเปตสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0-15 ppm ใส่ลงในขวดปรับปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย Suppressor 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายไปวัดค่า Intensive of emission ด้วย Flame photometer หาค่าความเข้มข้น ของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่างกับกราฟ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียม กับค่า Intensive of emission ของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (กราฟมาตรฐาน)

#### 10.5 วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด} = \frac{1.2046 \times \text{ppm K} \times \text{ปริมาตรสุดท้าย} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

## ภาคผนวก ข เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

### คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551

ด้วยปัจจุบันมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืช ทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อเป็นการรักษาผลประโยชน์ของเกษตรกร กรมวิชาการเกษตร จึงกำหนดมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียน และแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 และส่งตัวอย่างปุ๋ยไปตรวจเพื่อขอรับรองมาตรฐาน ตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร ดังตาราง 16 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

### ตาราง 16 แสดงรายละเอียดกำหนดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว


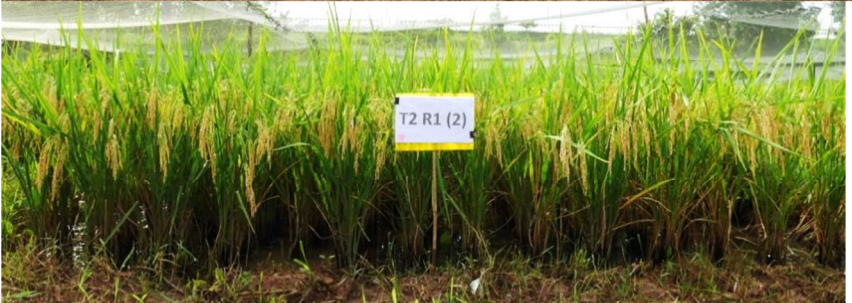

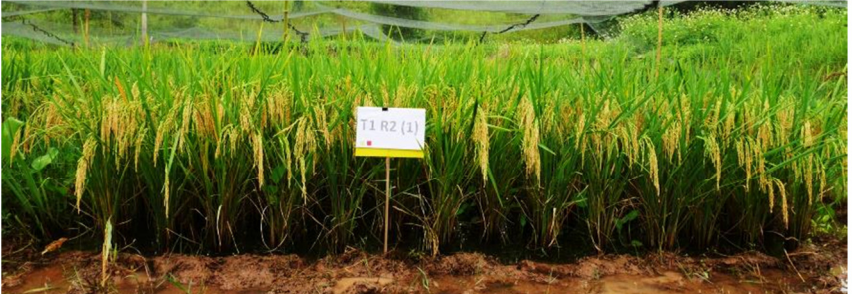
ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้น และสิ่งที่ย่อยได้	ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุเคมี และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอน ต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต่อเมตร

ตาราง 16 (ต่อ)






ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก (โดยน้ำหนัก)	1. ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ 2. ฟอสฟอรัส (Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ 3. โพแทสเซียม (Total K <sub>2</sub> O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	ไม่น้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
	ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ภาคผนวก ค แปลงข้าวที่ทดสอบสารปรับปรุงดินและสารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์ไคต์  
ต่อคุณสมบัติของดินและผลผลิตของข้าว






ตาราง 17 แสดงแปลงข้าวที่ทดสอบสารปรับปรุงดินและสารประกอบชีวมิคจากลีโอนาร์ไคต์  
ต่อคุณสมบัติของดินและผลผลิตของข้าว

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 1	






## ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 3	


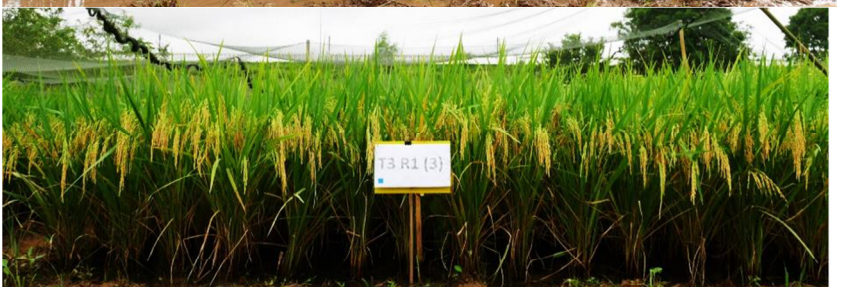

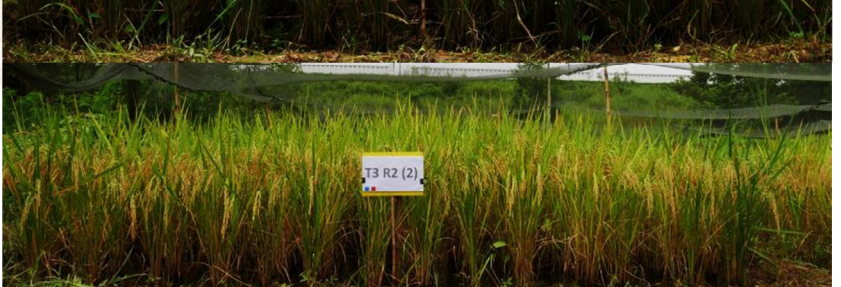

## ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 5 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 5 ซ้ำ 2	

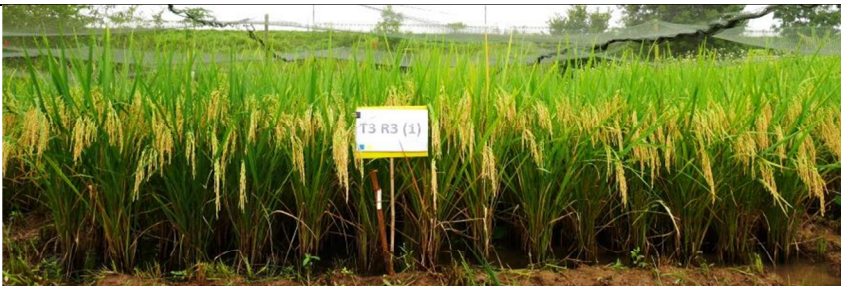


## ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 5 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 6 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 6 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 6 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 7 ซ้ำ 1	

## ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 7 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 7 ซ้ำ 3	
กรรมวิธีที่ 8 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 8 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 8 ซ้ำ 3	

## ตาราง 17 (ต่อ)

กรรมวิธี	แปลงข้าวที่ทดสอบ
กรรมวิธีที่ 9 ซ้ำ 1	
กรรมวิธีที่ 9 ซ้ำ 2	
กรรมวิธีที่ 9 ซ้ำ 3	

หมายเหตุ: กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 1 คือ ชุดควบคุม

กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 2 คือ ชุดควบคุม

กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำ 3 คือ ชุดควบคุม

กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 1 คือ ไม่ใส่ปุ๋ยร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 2 คือ ไม่ใส่ปุ๋ยร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำ 3 คือ ไม่ใส่ปุ๋ยร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 1 คือ ไม่ใส่ปุ๋ยร่วมกับโซเดียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 2 คือ ไม่ใส่ปุ๋ยร่วมกับโซเดียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 3 ซ้ำ 3 คือ ใส่ปุ๋ยร่วมกับโซเดียมฮิวเมต

กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 1 คือ ปรับปรุงดินร่วมกับน้ำ

กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 2 คือ ปรับปรุงดินร่วมกับน้ำ

กรรมวิธีที่ 4 ซ้ำ 3 คือ ปรับปรุงดินร่วมกับน้ำ

กรรมวิธีที่ 5 ซ้ำ 1 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต

- กรรมวิธีที่ 5 ชั้น 2 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 5 ชั้น 3 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 6 ชั้น 1 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโซเดียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 6 ชั้น 2 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโซเดียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 6 ชั้น 3 คือ สารปรับปรุงดินร่วมกับโซเดียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 7 ชั้น 1 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำ
- กรรมวิธีที่ 7 ชั้น 2 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำ
- กรรมวิธีที่ 7 ชั้น 3 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับน้ำ
- กรรมวิธีที่ 8 ชั้น 1 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 8 ชั้น 2 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 8 ชั้น 3 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโพแทสเซียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 9 ชั้น 1 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโซเดียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 9 ชั้น 2 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโซเดียมฮิวเมต
- กรรมวิธีที่ 9 ชั้น 3 คือ ปุ๋ยเคมีร่วมกับโซเดียมฮิวเมต





ประวัติผู้วิจัย

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	จिरาพร บุตรศรี
วัน เดือน ปี เกิด	10 ธันวาคม 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	32 หมู่ 4 ตำบลบ้านขาม อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู
ที่ทำงานปัจจุบัน	-
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	-
ประสบการณ์การทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2557	วท.บ. (เกษตรศาสตร์), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา

### ผลงานตีพิมพ์

ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

จिरาพร บุตรศรี (ผู้บรรยาย). (1-2 สิงหาคม 2560). ผลของการใช้สารชีวภัณฑ์ต่างชนิดกัน ต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ105. ใน การประชุมวิชาการ ดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 5 (หน้า 196-205). สงขลา: ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ผลงานตีพิมพ์อื่น ๆ -