

การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว  
โดยใช้ธรณีสถิติ

**USING GEOSTATISTIC ON SPATIAL VARIABILITY OF POTASSIUM (K)  
IN SANDY-PADDY SOIL**

นางสาวณัฐวิภา อ่อนละมัย

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2564

การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว  
โดยใช้กรณีศึกษา

นางสาวณัฐวิภา อ่อนละมัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2564

**USING GEOSTATISTIC ON SPATIAL VARIABILITY OF POTASSIUM (K)  
IN SANDY-PADDY SOIL**

**MISS NATTHAWIPA ONRAMAI**

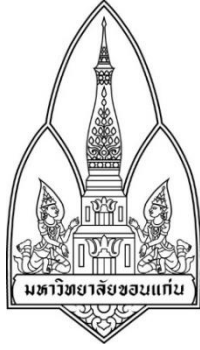
**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS**

**FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**IN SOIL SCIENCE AND ENVIRONMENT**

**GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

**2021**



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
หลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาปรัชญาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ชื่อวิทยานิพนธ์: การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว  
โดยใช้ธรณีสถิติ

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นางสาวณัฐวิภา อ่อนละม้าย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์: รศ.ดร. เรืองศักดิ์ กตเวทิน ประธานกรรมการ  
อ.ดร.พรทิพย์ โพนตุแสง กรรมการ  
อ.ดร.อนงนาฏ ศรีประโชติ กรรมการ  
รศ.ดร. ชูลีมาศ บุญไทย อววย กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อ.ดร.พรทิพย์ โพนตุแสง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(อ.ดร.อนงนาฏ ศรีประโชติ)

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุรศักดิ์ วงศ์รัตนชีวิน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณี โชติษฐายากร)

คณบดีคณะเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ณัฐวิภา อ่อนละมัย. 2564. การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียม (K) ในดินทรายใช้ปลูกข้าว โดยใช้ธรณีสถิติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: อ.ดร.พรทิพย์ โพนตุงแสง และ อ.ดร.อนงนาฏ ศรีประโชติ

### บทคัดย่อ

ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีความสำคัญสำหรับการจัดการพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการปลูกข้าวในดินทรายภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทรายใช้ปลูกข้าวในช่วงระยะเวลาการปลูกข้าวที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและธรณีสถิติ และคำแนะนำการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ตามค่าวิเคราะห์ดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น โดยมีพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 5 แห่ง ประกอบไปด้วยพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย (พื้นที่ N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี (พื้นที่ L1, L2 และ L3) ในแต่ละพื้นที่ศึกษาเก็บตัวอย่างดินจำนวน 100 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการสุ่มในกริด (Stratified systematic unaligned sampling) ขนาด 5x5 m ในพื้นที่ขนาด 2,500 m<sup>2</sup> (50x50 m) จากนั้นนำดินไปวิเคราะห์หาโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable K) ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Ammonium acetate method แต่ละพื้นที่ศึกษาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) และใช้ธรณีสถิติ (Geostatistics) เพื่ออธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่โดยใช้เซมิแวกเรียแกรม (Semivariogram) จากเซมิแวกเรียแกรมที่เหมาะสมที่สุดสามารถบ่งบอกถึงความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด ความแปรปรวนสูงสุด ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ และระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง และนำมาประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีครีจิง (Kriging) เพื่อจำแนกระดับของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

ความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่าไม่สอดคล้องกันแม้กระทั่งพื้นที่ที่มีระยะการใช้ที่ดินเท่ากัน ความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบตั้งแต่ปานกลางถึงสูง (CV> 15-35%) การวิเคราะห์ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่าในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยมีตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูงมาก (K = 76.57 - 430.0 mg/kg) ค่าเฉลี่ยพบว่าอยู่ในระดับสูงทั้งในพื้นที่ N1 และ N2 (K = 167.6 และ 201.2 mg/kg) สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปีมีโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูงมาก (K=31.00- 227.8 mg/kg)

ค่าเฉลี่ยในพื้นที่ L1 มีระดับสูงมาก ( $K=134.4$  mg/kg) ในขณะที่พื้นที่ L2 และ L3 มีระดับสูง ( $K=107.0$  และ  $103.5$  mg/kg ตามลำดับ)

การใช้ธรณีสถิติเพื่อศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่า เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลไม่สอดคล้องกันแม้กระทั่งพื้นที่ที่มีระยะเวลาการใช้พื้นที่เท่ากัน เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลเหล่านี้สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและความแปรปรวนได้มากกว่า 60% ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์การประมาณค่าในช่วงแบบคริกิ่งได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดิน ได้แก่ ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดไม่สอดคล้องกันแม้กระทั่งพื้นที่ที่มีระยะเวลาใช้ที่ดินเท่ากัน มีสาเหตุมาจากปัจจัยธรรมชาติและ/หรือมนุษย์ ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่มีระดับสูงในพื้นที่ N1, L1, L2 และ L3 ในขณะที่พื้นที่ N2 มีระดับปานกลาง นอกจากนี้ระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างในการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปี มีระยะสั้นกว่าพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ซึ่งระยะห่างที่เหมาะสมในพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปีและพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย คือ 3 m – 44 m และ 8 m – 90 m ตามลำดับ รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแต่ละพื้นที่มีลักษณะเป็นหย่อมๆ (Patchy) ซึ่งขนาดของการกระจายตัวของโพแทสเซียมถูกควบคุมโดยระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และระยะ Effective range ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

สำหรับแผนที่ที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีคริกิ่ง แสดงปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ( $K = 76.00 - 430.0$  mg/kg) มากกว่าพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปี ( $K = 30.00 - 227.8$  mg/kg) สำหรับระดับของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินแสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยมีระดับสูงมาก ( $K > 120$  mg/kg) และพื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปี มีตั้งแต่ระดับสูงถึงสูงมาก ( $K = 103.0 - 134.0$  mg/kg)

จากปริมาณโพแทสเซียมในดินนำมาสร้างเป็นแผนที่คำแนะนำสำหรับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในนาข้าวตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ N1 และ N2 ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเนื่องจากดินมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่า 80 mg/kg ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวมากกว่า 30 ปี มีความแปรปรวนของปริมาณโพแทสเซียมตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูง โดยจากพื้นที่ทั้งหมด 2,500 m<sup>2</sup> ในแต่ละพื้นที่ พบว่าพื้นที่ L1 มีพื้นที่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับปานกลาง 11 m<sup>2</sup> และควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตรา 0.03 kg KCl เช่นเดียวกับพื้นที่ L2 ที่มีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในระดับปานกลาง 746 m<sup>2</sup> ควรใส่ปุ๋ยในอัตรา 2.33 kg KCl ในขณะที่พื้นที่ L3 พบพื้นที่ที่มีโพแทสเซียมในระดับปานกลาง 1,026 m<sup>2</sup> และโพแทสเซียมต่ำ 216 m<sup>2</sup> ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตราอัตรา 3.21 และ 1.35 kg KCl ตามลำดับ

Natthawipa Onramai. 2021. **Using Geostatistics on Spatial Variability of Potassium (K) in Sandy-Paddy Soils.** Master of Sciences Thesis in Soil Science and Environment, Graduate School, Khon Kaen University.

**Thesis Advisors:** Dr. Porntip Phontusang and Dr. Anongnat Sriprachote

### **ABSTRACT**

Information on spatial variability of extractable potassium (K) in soil is an essential for effective management of rice cultivation in sandy soil Northeast of Thailand. The objective of this study was to investigate the characteristics in spatial variability and spatial distribution patterns of extractable K in sandy-paddy soils in a different periods of rice planting areas using descriptive statistics and geostatistics and recommendations for potassium chloride fertilizer (KCl) application based on soil analysis of each study area. The study was conducted in Phra Yuen District, Khon Kaen Province. There were 5 study sites including the undisturbed soil areas (sites N1 and N2) and the planting area > 30 years (sites L1, L2 and L3). Each site, 100 of soil samples were collected according to the stratified systematic unaligned sampling method in 5x5 m grid size in the area of 2,500 m<sup>2</sup> (50x50m). The extractable K was then analyzed in the laboratory by Ammonium acetate method. Each site, the variability of soil potassium was performed by using descriptive statistics and geostatistics were applied to elucidate the characteristics in spatial variability by using semivariogram. From the best-fitted semivariogram, small-scale variation, highest variation, spatial dependent level, spatial distribution pattern, optimal distance between the sampling points and the spatial distribution pattern of the extractable K was generated by Kriging interpolation and classified the degree of extractable K in soil.

The variability of the extracted K was inconsistent even in the same period of planting areas, the variation of extractable K is ranging from moderate to high (CVs > 15-35%). Judging from the min, max and mean of extractable K revealed the K content in undisturbed soil areas ranging from moderate to very high (K = 76.57 - 430.0 mg/kg). The mean indicated high K content in both N1 and N2 areas (K = 167.6 and 201.2 mg/kg). For planting areas > 30 years, the K content is ranging from low to very high (K = 31.00 - 227.8 mg/kg). The mean indicated very high content in site L1 (K = 134.4 mg/kg) and high in sites L2 and L3 (K = 107.0 and 103.5 mg/kg, respectively).

The spatial variability of soil potassium by using Geostatistics revealed the semivariogram model was inconsistent even with the same period of planting areas. The semivariogram models of every sites could be used to explain the relationship between distance and variability > 60%. These models were, thus, adequate for Kriging interpolation. However, spatial variability characteristics of soil potassium, i.e. small-scale variation, highest variation, spatial dependence, optimal distance between sampling points and the spatial distribution patterns of all study areas were inconsistent, even with the same period cause of the effects of natural factors and/or human factors. The spatial dependence was high in sites N1, L1, L2 and L3. While, site N2 had a moderately spatial dependence. The optimal distance between sampling points in areas of planting > 30 years was shorter than the undisturbed soil area. The optimal distance to describe spatial variability of potassium in areas of planting area > 30 years and undisturbed soil areas are 3 m - 44 m, and 8 m - 90 m, respectively. Each site, the distribution pattern was patchy, size of patch was controlled by the spatial dependence and the effective range. The Kriged maps showing the K content in undisturbed soil areas ( $K = 76.00 - 430.0 \text{ mg/kg}$ ) is more than those found in areas of planting > 30 years ( $K = 30.00 - 227.8 \text{ mg/kg}$ ). The degree of extractable K in soil indicated that the soils in areas of undisturbed soil areas were very high ( $K > 120 \text{ mg/kg}$ ) and areas of planting > 30 years were ranging from high to very high ( $K = 103.0 - 134.0 \text{ mg/kg}$ ).

Based on the potassium content in soils, it was used to create a map for recommendations on the application of potassium chloride (KCl) fertilizer in rice fields according to the criteria of the Department of Agriculture. The results showed that N1 and N2 do not need fertilizing according to the soil content was higher than 80 mg/kg. While rice cultivated areas for more than 30 years have variations in potassium levels from low to high. From the total study area of 2,500 m<sup>2</sup> each, it was found that the L1 area had a moderate level of potassium content 11 m<sup>2</sup> and potassium chloride should be applied at the rate of 0.03 kg KCl. As for the L2 area with a moderate potassium content of 746 m<sup>2</sup>, potassium chloride should be applied at the rate of 2.33 kg KCl. While L3 was found to have a moderate level of potassium at 1,026 m<sup>2</sup> and low potassium of 216 m<sup>2</sup>, potassium chloride should be applied at the rate of 3.21 and 1.35 kg KCl, respectively.

งานวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบส่วนดีให้บุพการีและคณาจารย์

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากหลายฝ่ายจึงทำให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อ.ดร.พรทิพย์ โพนตุงแสง อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ อ.ดร.อนงนาฏ ศรีประโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้คำแนะนำถ่ายทอดความรู้ แนวคิด ประสบการณ์และสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาพร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือทั้งด้านวิชาการเพื่อนำความรู้ไปพัฒนาประเทศ จริยธรรมในการเป็นนักวิจัยที่ดี รวมไปถึงหลักการดำเนินในชีวิต

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนาบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านและบุคลากรสาขาวิชาปรัชญา ศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำการวิจัย ขอขอบคุณนางสาวศศิธร ไชยาจันทร์ นางสาวรัชฎ์ลักษณ์ นนทะศรี นายตุลยากร กองกุหล่าย และพี่ๆเพื่อนๆน้องๆจากสาขาวิชาปรัชญา ศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ และขอบคุณผู้สนับสนุนทุกท่านที่ไม่สามารถกล่าวมาได้ทั้งหมดนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อสมจิตรและคุณแม่อุษา อ่อนละมัย อันเป็นที่รักยิ่ง และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สุรัชย์ และ รศ.ดร.นงนิตย์ จันทร์จรัส รวมถึงญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน ผู้ซึ่งอยู่เบื้องหลังที่คอยให้การสนับสนุน คอยให้กำลังใจในความสำเร็จของการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์นี้เสมอมา

ณัฐวิภา อ่อนละมัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
คำอุทิศ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ดินทรายและดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4
2.2 โปแตสเซียมในดิน	8
2.3 บทบาทของโปแตสเซียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว	10
2.4 การศึกษาความแปรปรวนของธาตุอาหารในดิน	14
2.5 ธรณีสถิติ (Geostatistics)	19
2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	29
3.2 พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน	33
3.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของดิน	36
3.4 การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโปแตสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิง พรรณนาและธรณีสถิติ	37
3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่	38
3.6 แผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโปแตสเซียมที่สกัดได้ในดิน	39

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	40
4.1 การศึกษาความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา	40
4.2 การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน โดยใช้ธรณีสถิติ	44
4.3 ความถูกต้องของแผนที่ (Mapping accuracy)	50
4.4 แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของ โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน	52
4.5 อัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาตามค่าวิเคราะห์ดิน	54
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการศึกษา	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลลักษณะและสมบัติของชุดดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	72
ภาคผนวก ข ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา	87
ภาคผนวก ค ข้อมูลสัมภาษณ์เกษตรกร	118
ประวัติผู้เขียน	120

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การจำแนกกลุ่มขนาดของดินทรายตามระบบสหรัฐอเมริกา (USDA)	5
ตารางที่ 2.2	การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวไวต่อช่วงแสง	12
ตารางที่ 2.3	การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	12
ตารางที่ 2.4	ระดับแปรปรวนของดินที่จำแนกจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน	17
ตารางที่ 2.5	ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่	26
ตารางที่ 3.1	การใช้ที่ดินในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น	33
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลพื้นที่ศึกษาและสภาพพื้นที่จริง	35
ตารางที่ 3.3	เกณฑ์มาตรฐานของค่าวิเคราะห์ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน	36
ตารางที่ 3.4	เกณฑ์การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน	39
ตารางที่ 4.1	สถิติเชิงพรรณนาของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ศึกษา	43
ตารางที่ 4.2	เคมีแวนิ โอแกรม โมเดลและค่าพารามิเตอร์ของเคมีแวนิ โอแกรมของค่าความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ศึกษา	48
ตารางที่ 4.3	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ด้วยวิธีการ cross-validation แบบ Leave-one-out	51
ตารางที่ 4.4	ปริมาณการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษา	57
ตารางภาคผนวกที่ ก1	ลักษณะและสมบัติของชุดดินกุลาร้องไห้	73
ตารางภาคผนวกที่ ก2	ลักษณะและสมบัติของชุดดินเขมราฐ	73
ตารางภาคผนวกที่ ก3	ลักษณะและสมบัติของชุดดินคำบง	74
ตารางภาคผนวกที่ ก4	ลักษณะและสมบัติของชุดดินโคราช	74
ตารางภาคผนวกที่ ก5	ลักษณะและสมบัติของชุดดินจักราช	74
ตารางภาคผนวกที่ ก6	ลักษณะและสมบัติของชุดดินจัตุรัส	75
ตารางภาคผนวกที่ ก7	ลักษณะและสมบัติของชุดดินจันทึก	75
ตารางภาคผนวกที่ ก8	ลักษณะและสมบัติของชุดดินชุมพลบุรี	75

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางภาคผนวกที่ ก9	ลักษณะและสมบัติของชุดดินชุมพวง	76
ตารางภาคผนวกที่ ก10	ลักษณะและสมบัติของชุดดิน ไชคชัย	76
ตารางภาคผนวกที่ ก11	ลักษณะและสมบัติของชุดดินดงยางเอน	76
ตารางภาคผนวกที่ ก12	ลักษณะและสมบัติของชุดดินด่านขุนทด	77
ตารางภาคผนวกที่ ก13	ลักษณะและสมบัติของชุดดินท่าตูม	77
ตารางภาคผนวกที่ ก14	ลักษณะและสมบัติของชุดดินท่าอุเทน	77
ตารางภาคผนวกที่ ก15	ลักษณะและสมบัติของชุดดินธาตุนม	78
ตารางภาคผนวกที่ ก16	ลักษณะและสมบัติของชุดดินนครพนม	78
ตารางภาคผนวกที่ ก17	ลักษณะและสมบัติของชุดดินน้ำพอง	78
ตารางภาคผนวกที่ ก18	ลักษณะและสมบัติของชุดดินบรบือ	79
ตารางภาคผนวกที่ ก19	ลักษณะและสมบัติของชุดดินบ้านไผ่	79
ตารางภาคผนวกที่ ก20	ลักษณะและสมบัติของชุดดินบุญศรี	79
ตารางภาคผนวกที่ ก21	ลักษณะและสมบัติของชุดดินเพ็ญ	80
ตารางภาคผนวกที่ ก22	ลักษณะและสมบัติของชุดดินโพธิ์ชัย	80
ตารางภาคผนวกที่ ก23	ลักษณะและสมบัติของชุดดินมหาสารคาม	80
ตารางภาคผนวกที่ ก24	ลักษณะและสมบัติของชุดดินยโสธร	81
ตารางภาคผนวกที่ ก25	ลักษณะและสมบัติของชุดดินยางตลาด	81
ตารางภาคผนวกที่ ก26	ลักษณะและสมบัติของชุดดินร้อยเอ็ด	81
ตารางภาคผนวกที่ ก27	ลักษณะและสมบัติของชุดดินเรณู	82
ตารางภาคผนวกที่ ก28	ลักษณะและสมบัติของชุดดินเลย	82
ตารางภาคผนวกที่ ก29	ลักษณะและสมบัติของชุดดินวาริน	82
ตารางภาคผนวกที่ ก30	ลักษณะและสมบัติของชุดดินศรีสงคราม	83
ตารางภาคผนวกที่ ก31	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสกล	83
ตารางภาคผนวกที่ ก32	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสตี๊ก	83

## สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางภาคผนวกที่ ก33	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสระแก้ว	84
ตารางภาคผนวกที่ ก34	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสีคิ้ว	84
ตารางภาคผนวกที่ ก35	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสีทน	84
ตารางภาคผนวกที่ ก36	ลักษณะและสมบัติของชุดดินสูงเนิน	85
ตารางภาคผนวกที่ ก37	ลักษณะและสมบัติของชุดดินห้วยแถลง	85
ตารางภาคผนวกที่ ก38	ลักษณะและสมบัติของชุดดินอื่น	85
ตารางภาคผนวกที่ ก39	ลักษณะและสมบัติของชุดดินอุดร	86
ตารางภาคผนวกที่ ก40	ลักษณะและสมบัติของชุดดินอุบล	86
ตารางภาคผนวกที่ ข1	ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย แปลง N1	88
ตารางภาคผนวกที่ ข2	ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย แปลง N2	94
ตารางภาคผนวกที่ ข3	ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว ในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1	100
ตารางภาคผนวกที่ ข4	ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว ในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2	106
ตารางภาคผนวกที่ ข5	ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าว ในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3	112

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	สภาพสมมูลของโพแทสเซียมในดิน	10
ภาพที่ 2.2	แสดงระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง	13
ภาพที่ 2.3	แสดงระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไวต่อช่วงแสง	13
ภาพที่ 2.4	semivariogram แสดงตำแหน่ง nugget, sill และ range	20
ภาพที่ 2.5	กราฟสเฟียริคัลโมเดล (spherical model)	22
ภาพที่ 2.6	กราฟเอ็กซ์โพเนนเชียลโมเดล (exponential model)	23
ภาพที่ 2.7	กราฟเกาส์เซียนโมเดล (gaussian model)	24
ภาพที่ 2.8	โมเดลแบบเส้นตรง (linear model)	25
ภาพที่ 3.1	พื้นที่ศึกษา อำเภอพระยีน จังหวัดขอนแก่น	30
ภาพที่ 3.2	แผนที่จุดดินบ้านไผ่และจุดดินดงยางเอน ในอำเภอพระยีน จังหวัดขอนแก่น	34
ภาพที่ 3.3	วิธีการเก็บแบบสุ่มในกรณี (Stratified systematic unaligned sampling)	34
ภาพที่ 3.4	ขั้นตอนการศึกษาความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและทฤษฎีสถิติ	37
ภาพที่ 4.1	เซมิแวกเรียแกรมโมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในพื้นที่ศึกษาต่างๆ	47
ภาพที่ 4.2	แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน จากวิธีการครีกริ่ง	49
ภาพที่ 4.3	แผนที่แสดงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตามเกณฑ์การจำแนกของ เอิบ (2547)	53
ภาพที่ 4.4	แผนที่การแบ่งระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดิน ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย	54
ภาพที่ 4.5	แผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน และอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2547)	56

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนั้นมีเนื้อดินที่เป็นดินทราย ซึ่งส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นพื้นที่สำหรับการทำนาข้าว ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและเป็นอาหารหลักของคนไทย นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่ปริมาณการผลิตข้าวคุณภาพดียังคงมีอยู่อย่างจำกัด ผลผลิตที่ได้ไม่มีความแน่นอนและค่อนข้างต่ำ (จุฑามาศ, 2557) ส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกรและเป็นปัญหาทางเศรษฐกิจ เนื่องจากปริมาณผลผลิตของข้าวไม่สอดคล้องกับความต้องการการส่งออก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) อีกทั้งพื้นที่ทำนาข้าวเป็นดินทราย หากมีการใช้พื้นที่เป็นระยะเวลายาวนานหลายปีติดต่อกัน จะทำให้ดินเสื่อมโทรม ปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ และอิทธิพลของความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของดินจะชัดเจนยิ่งขึ้น (จำรัส, 2534; กรมวิชาการเกษตร, 2545; จักรกฤษณ์, 2556; Heege, 2013; Bogunovic et al., 2017)

ความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของดินก่อให้เกิดความยากลำบากในการจัดการดินระดับไร่นา โดยเฉพาะเมื่อทำการเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) เนื่องจากต้องมีการนำข้อมูลด้านการแพร่กระจายเชิงพื้นที่และความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีของดินที่มีปัญหาในพื้นที่นั้นมาประกอบการพิจารณาวางแผนการจัดการด้วย (Bogunovic et al., 2017)

โดยทั่วไปการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติทางเคมีดินนั้นมีการใช้สถิติเชิงพรรณนาในการศึกษามี 2 วิธี ซึ่งได้แก่ (1) การวัดแนวโน้มสู่ค่ากลาง (Central tendency) และ (2) การกระจายของข้อมูล (Spread or variability) (Sumner, 1999) อย่างไรก็ตามการใช้สถิติเชิงพรรณนายังไม่สามารถอธิบายได้ครอบคลุมสำหรับการใช้ประโยชน์ของข้อมูลอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากยังขาดข้อมูลความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งค่าของข้อมูลสมบัติทางเคมีดินนั้นเกิดขึ้นตามธรรมชาติและมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องเกี่ยวเนื่องกันตามทิศทางและระยะทาง โดยค่าของข้อมูลที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันจะมีค่าคล้ายคลึงกันมากกว่าค่าของข้อมูลที่อยู่ห่างกันออกไป ลักษณะเช่นนี้การใช้สถิติเชิงพรรณนาเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้ ทั้งนี้เพราะสถิติเชิงพรรณนาจะกำหนดให้ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่เก็บตัวอย่างแบบสุ่ม

(Random sampling) จะมีความเป็นอิสระต่อกัน ยังไม่เพียงพอสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้ (วุฒิปันธุ์, 2546; Phontusang et al., 2018) ดังนั้นในการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่จำเป็นต้องใช้เทคนิคทางธรณีสถิติ (Geostatistics) ซึ่งเป็นสถิติที่นำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และทำนายค่าของตัวแปรที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยวิธีการนี้สามารถวัดระดับความต่อเนื่องและการกระจายของตัวแปรที่มีค่าเกี่ยวข้องกับตำแหน่ง และอธิบายลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติดินดังกล่าว (Oliver and Webster, 2014)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ด้วยธรณีสถิตินั้นสามารถบ่งบอกคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และสามารถแสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ได้โดยการสร้างเซมิแวกแกรม (Semivariogram) และทำการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) โดยใช้วิธีการครีกริง (Kriging) วิธีนี้เป็นการประเมินค่าเชิงเส้นที่มีอคติน้อยที่สุด (Linear unbiased estimator) สามารถทำการวัดระยะทางระหว่างจุดทุกคู่เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ เป็นวิธีที่นิยมมากสำหรับการศึกษาทางด้านปฐพีศาสตร์ในกรณีที่ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและทิศทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล และสามารถทำให้ทราบถึงความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีในดินรวมถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในพื้นที่นั้นๆ ทั้งสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งที่เป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ (Clark, 1982; Webster and Oliver, 2001; Yang et al., 2011) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ที่ได้จากเทคนิคทางธรณีสถิติเป็นประโยชน์สำหรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ทำการเกษตรได้เป็นอย่างดี

มีนักวิจัยต่างประเทศหลายท่านได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารพืชในดินโดยใช้ธรณีสถิติ ได้แก่ ธาตุอาหารหลักในดิน ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) จุลธาตุในดิน ได้แก่ สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), แมงกานีส (Mn), กำมะถัน (S) และเหล็ก (Fe) รวมทั้งอินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) และอินทรีย์วัตถุในดิน (SOM) (Lopez-Granados et al., 2005; Behera and Shukla, 2015; Blanchet et al., 2017; Göl et al., 2017; Guan et al., 2017; Bhunia et al., 2018; Gao et al., 2019) ในขณะที่เดียวกันประเทศไทยได้มีการจัดทำข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ของสมบัติดินบางประการ เช่น อินทรีย์วัตถุในดิน (SOM), แคลเซียมที่สกัดได้ (Extractable Ca), แมกนีเซียมที่สกัดได้ (Extractable Mg), โซเดียมที่สกัดได้ (Extractable Na), ค่าการนำไฟฟ้า (ECe) และสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) (พรทิพย์ และคณะ, 2556; คมสัน และคณะ, 2561; Phontusang et al., 2016; 2018) แต่ยังคงขาดข้อมูลสมบัติทางเคมีของดินที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารหลักของพืชโดยเฉพาะโพแทสเซียม โดยโพแทสเซียมนั้นเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อข้าวและต้องการในปริมาณสูง เนื่องจากมีความสำคัญในกระบวนการ

เมทาบอลิซึม เช่น ช่วยทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง ช่วยเพิ่มจำนวนและน้ำหนักรวมของเมล็ดข้าว (Oosterhuis et al., 2014) ดังนั้น โปแทสเซียมจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นอย่างมาก จากเหตุผลข้างต้นนี้ข้อมูลความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโปแทสเซียมจึงประโยชน์สำหรับนักวิชาการและนักส่งเสริมการเกษตร เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดการพื้นที่เกษตรกรรมที่ต้องการการจัดการพื้นที่ที่มีความเฉพาะเจาะจง (Site-Specific Management) อีกทั้งหากมีการจัดการการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ในนาข้าวอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้ข้าวมีผลผลิตที่ดี มีคุณภาพ และยังสามารถลดต้นทุนการผลิตให้กับเกษตรกรอีกด้วย (Yang et al., 2011; Phontusang et al., 2018)

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (Characteristics in spatial variability) ของโปแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทรายใช้ปลูกข้าวในระยะเวลาการไถงานที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ
2. เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial distribution pattern) ของโปแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทรายใช้ปลูกข้าวในระยะเวลาการไถงานที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติ
3. เพื่อจัดทำแผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโปแทสเซียมที่สกัดได้ในดินรวมทั้งจัดทำแผนที่และตารางแสดงคำแนะนำการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ตามค่าวิเคราะห์ดินในแต่ละพื้นที่ศึกษาให้เกษตรกรนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ (K) ในดินทรายใช้ปลูกข้าวโดยใช้ธรรณิสถิติ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการ แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะประกอบด้วยโพแทสเซียมในดินที่มีผลต่อการปลูกพืช โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกในดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย และวิธีการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่โดยใช้เทคนิคทางด้านสถิติเชิงพรรณนาและธรรณิสถิติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 ดินทรายและดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ดินทราย (Sand) หมายถึง ดินที่มีเนื้อดินบนเป็นทราย (Sand) หรือทรายปนร่วน (Loamy sand) เกิดเป็นชั้นหนามากกว่า 100 cm จากผิวดิน รวมถึงพื้นที่ที่มีชั้นทรายหนามากกว่า 50 cm จากผิวดินที่รองรับด้วยชั้นดานดินเหนียว ดินร่วน หรือพบชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 cm (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

##### (1) ลักษณะของดินทราย

อนุภาคทราย (Sand particle) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.05 – 2.00 mm จำแนกกลุ่มขนาดของดินทรายได้ดังตารางที่ 2.1 ดินทรายมีองค์ประกอบของอนุภาคทรายอยู่มากกว่า 85% ของดินทราย และน้อยกว่า 15% ของดินเหนียว เกาะติดกันหลวมๆและมองเห็นเป็นเม็ดเดี่ยวๆหรือมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ายกเว้นกลุ่มทรายที่ละเอียดมาก มีการเกาะตัวหรือยึดตัวของเม็ดดินต่ำ ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย บางพื้นที่ดินแน่นทึบทำให้เป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ดพืช เนื่องจากขาดปัจจัยทางด้านแสงและอุณหภูมิ อีกทั้งดินทรายยังเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เพราะมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของพืชต่ำและความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ รวมถึงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำมาก พืชที่ปลูกบนดินทรายจึงมักขาดทั้งธาตุอาหารและน้ำ (เอิบ, 2533; กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกกลุ่มขนาดของอนุภาคทรายตามระบบสหรัฐอเมริกา (USDA)

กลุ่มขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)
ทรายหยาบมาก (Very coarse sand)	2.00 – 1.00
ทรายหยาบ (Coarse sand)	1.00 – 0.50
ทรายขนาดปานกลาง (Medium sand)	0.50 – 0.25
ทรายละเอียด (Fine sand)	0.25 – 0.10
ทรายละเอียดมาก (Very fine sand)	0.10 – 0.05

ที่มา: USDA, Natural Resources Conservation (2006)

## (2) ประเภทของดินทราย

ดินทรายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ดินทรายจัด และดินทรายชั้นดาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ดินทรายจัด หมายถึง ดินที่มีเนื้อดินบนเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วนและหนากว่า 50 cm สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ดังนี้

1.1 ดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วนหนากว่า 50 cm แต่ไม่เกิน 1 m จากผิวดินบน ส่วนดินชั้นล่างจะเหนียวขึ้น ดินทรายกลุ่มนี้จะพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.2 ดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วนหนากว่า 1 m แต่ไม่เกิน 2 m จะพบชั้นดินที่ร่วนบนดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายเกิดขึ้น ดินทรายกลุ่มนี้พบมากเช่นเดียวกันกับกลุ่มแรก

1.3 ดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วนหนากว่า 2 m ซึ่งพบเป็นพื้นที่ไม่มากนัก

ลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนั้นพบว่าเนื้อดินจะเป็นทรายปะปนอยู่ตั้งแต่ผิวดินลงไปจนถึงความลึกมากกว่า 1 m มีวัตถุต้นกำเนิดมาจากหินทราย (Sandstone) ซึ่งมีแร่ควอตซ์ (Quartz) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เนื้อดินค่อนข้างหยาบ มีสภาพเป็นกรด มีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารต่ำ มีอินทรีย์วัตถุต่ำมากโดยเฉลี่ยจะน้อยกว่า 1% คุณสมบัติทางกายภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

2. ดินทรายมีชั้นดาน พบมากบริเวณจังหวัดที่อยู่ติดฝั่งทะเลทางภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 700,000 ไร่ เกิดในสภาพแวดล้อมที่จำกัด สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเกิดดินชนิดนี้จะต้องมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นหินทราย ภูมิอากาศชุ่มชื้น และเป็นที่ราบสภาพของดินทั่วไปจะเป็นกรด มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ มีเปอร์เซ็นต์ของความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นค่าต่ำ มีแร่ดินเหนียวน้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

### (3) อาณาบริเวณพื้นที่ของดินทรายจัด

ดินทรายจัดมีพื้นที่รวมทั้งประเทศ 11,863,617 ไร่ สามารถพบได้ทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคใต้ และภาคเหนือตามลำดับ โดยดินทรายจัดนี้สามารถกระจายอยู่ทั่วทุกพื้นที่บริเวณ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561ก) ได้แก่

1. ดินทรายจัดในพื้นที่ลุ่ม เป็นดินที่พบตามบริเวณที่ลุ่มระหว่างสันเขาหรือเนินทรายชายฝั่งทะเลหรือในพื้นที่ราบเรียบที่อยู่ใกล้ภูเขาหินทรายเนื้อหยาบ เป็นกลุ่มดินทรายลึกมาก การระบายน้ำเร็วหรือค่อนข้างเร็ว มีเนื้อที่ 1,043,979 ไร่

2. ดินทรายจัดในพื้นที่ดอน พบตามบริเวณหาดทราย สันทรายชายทะเลหรือบริเวณพื้นที่ลอนลาดจนถึงที่ลาดเชิงเขา เป็นกลุ่มดินทรายลึกมาก การระบายน้ำดีถึงค่อนข้างดีมาก มีเนื้อที่ 10,443,153 ไร่ พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกตามลำดับ

3. ดินทรายจัดในพื้นที่ดินที่มีชั้นดานอินทรีย์ พบตามบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายชายทะเลของภาคใต้และภาคตะวันออก มีลักษณะเฉพาะคือ ดินชั้นบนจะเป็นทรายสีขาวถล่มไปที่ระดับความลึกประมาณ 60-80 cm จะพบชั้นทรายสีน้ำตาลปนแดงอัดตัวแน่นเป็นชั้นดานซึ่งเกิดมาจากการจับตัวกันของสารประกอบจำพวกเหล็กและอินทรีย์วัตถุ ในช่วงฤดูแล้งชั้นดานจะแห้งและแข็งมาก มีเนื้อที่ 376,485 ไร่ พบมากทางภาคใต้และพบทั่วไปในภาคตะวันออก

### (4) ดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่รวม 105,533,963 ไร่ โดยเป็นดินทราย 8,534,794 ไร่ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นที่สำหรับการเกษตร พื้นที่เหล่านี้มีลักษณะชุดดินที่เป็นดินทรายทั้งหมด 40 ชุดดิน (แสดงดังภาคผนวก ก) (สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2557; กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ในแต่ละชุดดินมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่รวมถึงวัตถุต้นกำเนิดดิน

และอื่นๆ จึงส่งผลให้เกิดปัญหาดินทรายสำหรับการเกษตร ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้สภาวะแห้งแล้งรุนแรงขึ้นสำหรับการปลูกพืชในภูมิภาคนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2545; กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) สภาพปัญหาของดินทรายเหล่านี้จะก่อให้เกิดความเสียหายต่างๆ ดังนี้

1. ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ โดยจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุโพแทสเซียม และธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่ในเกณฑ์ต่ำถึงต่ำมาก เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารและแลกเปลี่ยนธาตุอาหารต่ำ เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปจะทำให้เกิดการสูญเสียไปจากดินได้ง่าย หากมีการปลูกพืชติดต่อกันเป็นระยะเวลาานานจะส่งผลให้เกิดปัญหาความแปรปรวนของระดับปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชในดินทรายได้ อย่างไรก็ตามปัญหาความแปรปรวนของระดับธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น วัตถุต้นกำเนิดดิน ลักษณะภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ การใส่ปุ๋ย และการไถพรวน เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548; Jin and Jiang, 2002; Yanai et al., 2007; Yawson et al., 2011; Heege, 2013; Gorai et al., 2015; Sahrawat, 2016; Guan et al., 2017; Gao et al., 2019)

2. การชะล้างพังทลายของดิน โดยนับว่าเป็นปัญหารุนแรงสำหรับพื้นที่ทำการเกษตรในลักษณะที่เป็นลุ่มสลับดอนอย่างทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การชะล้างพังทลายของดินนี้จะเริ่มเกิดขึ้นรุนแรงในพื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 5% ขึ้นไป เนื่องจากดินทรายไม่มีการเกาะยึดกันแน่นเหมือนดินเหนียว จึงทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้ง่าย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

3. สมบัติทางกายภาพของดินไม่ดี เนื่องจากดินทรายเป็นดินที่มีทรายหยาบเป็นส่วนประกอบอยู่มากและมีช่องว่างในดินขนาดใหญ่ เมื่อฝนตกน้ำจะไหลผ่านดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ดินนั้นดูดซับน้ำไว้ได้เพียงเล็กน้อย ทำให้พืชที่ปลูกนั้นขาดแคลนน้ำ ส่วนดินทรายที่มีทรายละเอียดเป็นส่วนประกอบอยู่มากและอยู่ในพื้นที่ลุ่มโดยเฉพาะดินนามักจะพบปัญหาดินแน่นที่บจากการเขตรกรรมไม่เหมาะสมทำให้เป็นอุปสรรคต่อการชอนไชของรากพืช (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

จากการรายงานของ Fraser et al. (2016) กล่าวว่า ดินทรายเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการดินหรือการปรับปรุงดินอย่างต่อเนื่อง และถูกวิธี เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร วิธีการที่ช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์และช่วยเพิ่มความชื้นของธาตุอาหารพืชมีดังต่อไปนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; กรมพัฒนาที่ดิน, 2550; ศิราณี และ ปัญญา, 2556)

1. ปรับปรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยอินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือปลูกพืชตระกูลถั่วแล้ว ไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชและความสามารถในการอุ้มน้ำแก่ดิน และทำให้ช่องว่างในดินมีการหมุนเวียนอากาศได้ดีขึ้น โดยจะทำให้ระบบรากของพืชสามารถแผ่กระจายได้อย่างกว้างขวาง รวมถึงปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทำให้ดินมีการเกาะยึดตัวดีขึ้น เป็นผลทำให้การระเหยของน้ำจากดินช้าและลดน้อยลง

2. การอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสม โดยปลูกพืชคลุมดินหรือใช้วัสดุคลุมดิน เช่น ฟางข้าว แกลบ เศษวัสดุต่างๆ หรือคลุมด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและรักษาความชื้นไว้ในดิน สามารถป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน

3. เลือกชนิดพืชปลูกที่เหมาะสม การปลูกพืชทนแล้งหรือพืชที่ใช้ใช้น้ำน้อย มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น เช่น ถั่วเขียว ข้าวโพดหวาน หรือการปลูกพืชแบบหมุนเวียนไรรักษาสวนผสม

4. การจัดการน้ำที่เหมาะสมเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ เช่น การให้น้ำแบบหยด แบบพ่นฝอย หรือชุดสระเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้ในเวลาที่พืชขาดน้ำ

5. การใช้ปุ๋ยเคมีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมากและมีปริมาณธาตุอาหารพืชไม่เพียงพอควรใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยตามความเหมาะสมกับชนิดพืชที่ปลูก โดยใช้ปุ๋ยเคมีที่ละลายช้าแบ่งใส่ครั้งละน้อยๆเป็นระยะ ใส่ในขณะที่ดินมีความชื้นเหมาะสม และควรใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์หรือใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน

## 2.2 โปแทสเซียมในดิน

โปแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารพืชที่สำคัญ (Marschner, 2012) โดยทั่วไปมักจะพบธาตุโปแทสเซียมในดินคิดเป็นประมาณ 2% ของเปลือกโลก (Schroeder, 1978) ได้มาจากหินและแร่ของเปลือกโลกเป็นหลัก (ปัทมา, 2547; Schroeder, 1978) ธาตุโปแทสเซียมมีความสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) เช่น ช่วยทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง เพิ่มพื้นที่ใบและปริมาณ

คลอโรฟิลล์ ะลอกการร่วงของใบ ช่วยเพิ่มจำนวนเมล็ด เพิ่มน้ำหนักเมล็ด ความสามารถในการเปิดและปิดปากใบ เคลื่อนย้ายสารอาหารในการสังเคราะห์แสง ช่วยให้ทุกส่วนของต้นพืชและระบบรากแข็งแรง ทนทานต่อโรคและแมลง และปรับปรุงคุณภาพของผลิตผล (กรมการข้าว, 2559; Oosterhuis et al., 2014) โปแทสเซียมที่ดินได้รับนั้นมาจากการสลายตัวของแร่ปฐมภูมิ โดยจะมีอยู่หลายรูปที่อยู่ในดิน ได้แก่ รูปที่ละลายน้ำได้ รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ และรูปไอออนที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (ยงยุทธ, 2543; ปัทมา, 2547; ปัญญาภา, 2559; Sparks, 1978) โดยแต่ละรูปสามารถสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 1. รูปที่ละลายน้ำได้ (Water soluble form)

โปแทสเซียมที่ละลายน้ำได้นั้นจะอยู่ในรูปของไอออนประจุบวก ( $K^+$ ) ซึ่งอยู่ในสารละลายดินในระบบคอลลอยด์ดิน รูปโปแทสเซียมไอออนประจุบวกนี้จะเป็นรูปที่ประโยชน์ต่อพืช พืชสามารถดูดใช้ธาตุโปแทสเซียมโดยทางรากได้ทันที แต่เป็นรูปที่มีอยู่ในดินเป็นปริมาณน้อยที่สุด (ยงยุทธ, 2543; ปัทมา, 2547; ปัญญาภา, 2559; Sparks, 1987)

### 2. รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable form)

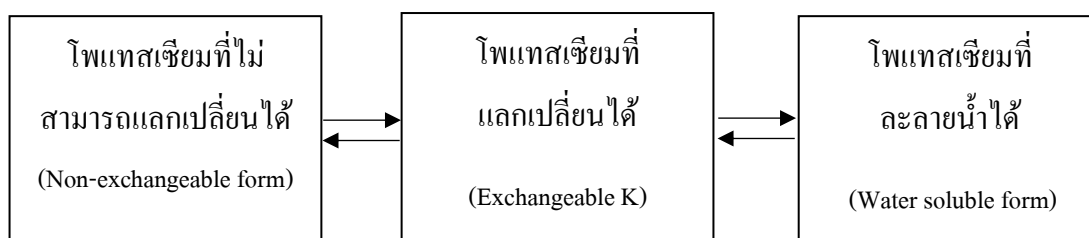
รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ได้แก่ โปแทสเซียมที่อยู่ในสภาพของไอออนประจุบวก ที่ดูดยึดไว้บนผิวของคอลลอยด์ดิน ปริมาณของโปแทสเซียมรูปนี้ในดินเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่แลกเปลี่ยนไม่ได้แล้วจะมีอยู่เป็นปริมาณที่น้อยกว่ามาก แต่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่ายกว่าเพราะบางส่วนจะถูกปลดปล่อยให้ออกมาอยู่ในสภาพของไอออนละลายอยู่ในสารละลายดินได้ไม่ยากนัก (ยงยุทธ, 2543; ปัทมา, 2547; ปัญญาภา, 2559; Sparks, 1987)

### 3. รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (Non-exchangeable form)

รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ เป็นรูปของโปแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่อยู่ในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก แบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อย คือ (1) โปแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่างๆในดิน (2) โปแทสเซียมที่ถูกตรึงไว้โดยอนุภาคดินเหนียว (ยงยุทธ, 2543; ปัทมา, 2547; ปัญญาภา, 2559; Sparks, 1987)

โปแทสเซียมทั้ง 3 รูปนี้จะอยู่ในสภาพสมดุล (Equilibrium) ในดิน ซึ่งสภาพสมดุลนี้จะสามารถเปลี่ยนกลับได้แสดงดังภาพที่ 2.1 กล่าวโดยสรุปได้คือ โปแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายดินมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายจากปัจจัยต่างๆที่เข้ามากระทำ หากมีปริมาณ (ความเข้มข้น/กิจกรรม) ลดลง เช่น พืชนำไปใช้หรือถูกชะล้างไป จะส่งผลให้โปแทสเซียมรูปที่

แลกเปลี่ยนได้ออกมาทดแทน แต่ในทางตรงข้ามกันหากปริมาณ โปแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายดินเพิ่มมากขึ้น เช่น การได้รับจากปุ๋ยเคมี โปแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในสารละลายดินบางส่วนจะถูกดูดซับโดยคอลลอยด์ดินกลายเป็นรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ หรืออาจจะถูกตรึงเป็นรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (ปัทมา, 2547) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปแทสเซียมในสารละลายดิน ก็จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปแทสเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ติดตามกันไปเป็นลูกโซ่ (ขงยุทธ และคณะ, 2551)



ภาพที่ 2.1 สภาพสมดุลของโปแทสเซียมในดิน

ที่มา: ปัทมา (2547)

ในการศึกษานี้ทำการศึกษาโปแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (Extractable K) ด้วยวิธี Ammonium acetate method (Doll and Lucas, 1973) วิธีการนี้จะสามารถทราบได้ถึงปริมาณของโปแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งในรูปดังกล่าวนี้เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

### 2.3 บทบาทของโปแทสเซียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

โปแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อพืชเช่นเดียวกับไนโตรเจนและฟอสฟอรัส แต่โปแทสเซียมนั้นเมื่อเข้าไปอยู่ในพืชแล้วไม่ได้เปลี่ยนเป็นสารประกอบอินทรีย์เหมือนกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม แต่จะอยู่ในรูปเกลืออินทรีย์หรืออนินทรีย์ซึ่งละลายได้ ดังนั้นโปแทสเซียมจึงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืช ได้แก่ การสังเคราะห์แสง การหายใจ และการลำเลียงสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์แสง หากพืชนั้นขาดธาตุโปแทสเซียมจะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง นอกจากนี้โปแทสเซียมยังมีอิทธิพลต่อโครงสร้างระดับอวัยวะพืชและเซลล์พืช เช่น เพิ่มการสร้าง

ผนังเซลล์ทำให้พืชต้านทานโรคดีขึ้นและช่วยเพิ่มเซลล์ที่เก็บสำรองอาหารที่สังเคราะห์ (แป้งและน้ำตาล) ในเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว เพราะมีบทบาทในการลำเลียงอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง (ปัทมา, 2547; ปัญญาภา, 2559)

ข้าวเป็นพืชที่ต้องการธาตุโพแทสเซียมในปริมาณสูง แต่ดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นดินทรายและดินร่วนปนทราย มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548; Dobermann and Fairhurst, 2000) ส่งผลให้ข้าวได้รับธาตุโพแทสเซียมไม่เพียงพอ ข้าวที่ขาดธาตุโพแทสเซียมจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ในขณะที่อัตราการหายใจกลับเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การสะสมแป้ง น้ำตาล การสร้างโปรตีน และการเพิ่มจำนวนเซลล์ในการเจริญเติบโตของข้าวอยู่ในสภาวะผิดปกติ จะมีการเจริญเติบโตน้อยลง น้ำหนักแห้งลดลง และจะแสดงลักษณะอาการ คือ ลำต้นแคระแกรน การแตกกอลดลง ใบสั้น เหี่ยวแห้ง ใบโน้มลงและมีสีเขียวเข้ม ใบล่างจะมีปลายใบสีน้ำตาลเหลืองและมีสีเหลืองระหว่างเส้นใบ โดยเริ่มจากปลายใบและขอบใบแล้วค่อยๆลุกลามสู่โคนใบ ต่อมาใบจะแห้งและกลายเป็นสีน้ำตาล ถ้ามีการขาดโพแทสเซียมในระดับรุนแรงมากขึ้นอาจจะมีจุดประสีน้ำตาลเกิดขึ้นบนใบที่เป็นสีเขียวเข้ม โดยเริ่มที่ปลายใบและจะขยายสู่ส่วนอื่นๆของใบ รวงข้าวจะพอมยาว ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดลดลง มีการหักล้มสูง มักจะเกิดในระยะหลังของการเจริญเติบโต (อำนาจ, 2525; สุรเดช, 2530; ยงยุทธ และคณะ, 2551; กรมการข้าว, 2559) อาการขาดโพแทสเซียมนี้ อาจสังเกตเห็นได้ยากในข้าวทั่วไป จึงจำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารให้เหมาะสมแก่ความต้องการของข้าวเพื่อให้เกิดผลผลิตที่ดีมีคุณภาพ (กรมวิชาการเกษตร, 2545) โดยช่วงระยะการใส่ปุ๋ยเคมีของข้าวไวด່ช่วงแสงและข้าวไม่ไวด່ช่วงแสง และปริมาณความต้องการธาตุอาหารหลักของข้าวต่อการสร้างผลผลิตของข้าวไวด່ช่วงแสงและข้าวไม่ไวด່ช่วงแสงตามคำแนะนำของ กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้แสดงดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 และภาพที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวไวต่อช่วงแสง

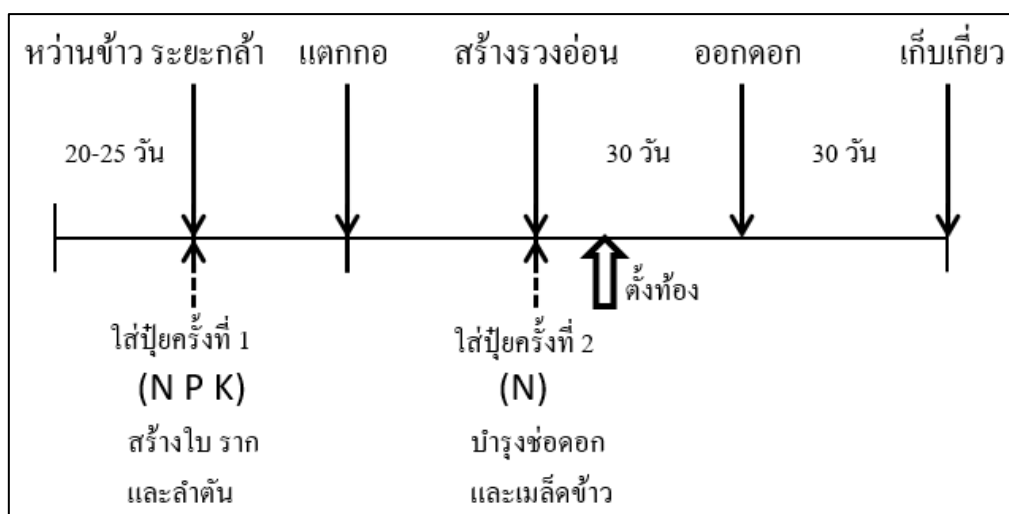
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	
ชนิดปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)	ชนิดปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)	ชนิดปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)
ดินเหนียว;					
16-20-0	20-25	46-0-0	7-10	46-0-0	7-10
ดินร่วน,ดินทราย;					
16-16-8	20-25	46-0-0	7-10	46-0-0	7-10
16-12-8	20-25	46-0-0	7-10	46-0-0	7-10
18-12-6	20-25	46-0-0	7-10	46-0-0	7-10

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

ตารางที่ 2.3 การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

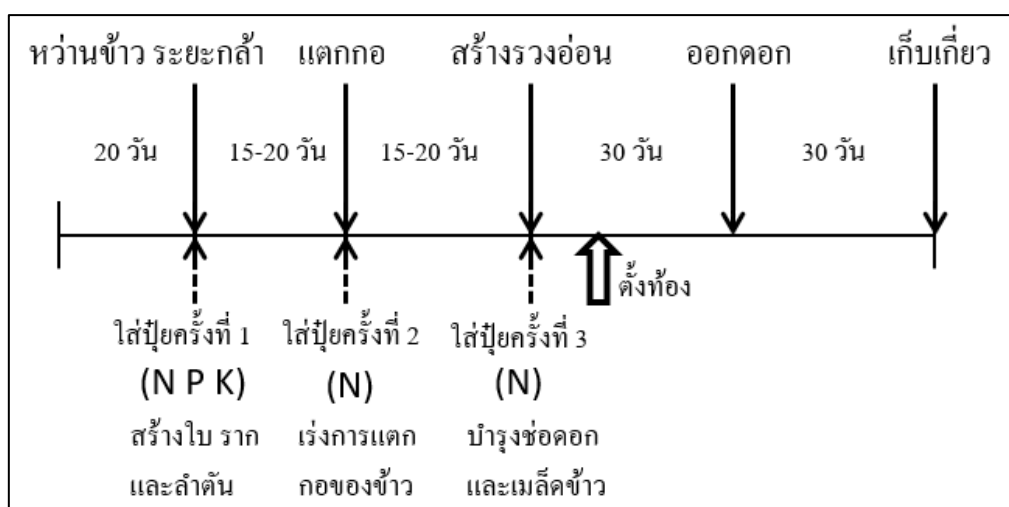
ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2		ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	
ชนิดปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)	ชนิด ปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)	ชนิดปุ๋ย	อัตรา (kg/rai)
ดินเหนียว;					
16-20-0	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15
ดินร่วน,ดินทราย;					
16-16-8	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15
16-12-8	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15
18-12-6	30-35	46-0-0	10-15	46-0-0	10-15

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)



ภาพที่ 2.2 แสดงระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไวต์ต่อช่วงแสง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)



ภาพที่ 2.3 แสดงระยะการใส่ปุ๋ยเคมีที่แนะนำสำหรับข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Zörb et al. (2014) ได้ทำการศึกษาด้านและภาพรวมของ โปแตสเซียมในพื้นที่การเกษตร พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วในดินมีการสำรองธาตุโปแตสเซียมในปริมาณสูง แต่ส่วนใหญ่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และมีการศึกษาพบว่า 75% ของดินที่ใช้ปลูกข้าวในภาคใต้ของจีนและ 66% ของดินที่ใช้ปลูกข้าวสาลีของออสเตรเลีย ขาดความสมดุลของโปแตสเซียม จึงทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย (Römheld and Kirkby, 2010; Zhang et al., 2010; Wu et al., 2013) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาบทบาทของโปแตสเซียมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ การศึกษาของ Ye et al. (2019) พบว่าการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียมในนาข้าวมีผลต่อการเจริญเติบโตและระยะเวลาออกดอกของข้าว สามารถส่งเสริมให้ข้าวขึ้นออกดอกเร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 1-3 วัน และยังมีการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียมในอัตราที่สูงขึ้นเท่าไรการออกดอกก็จะเร็วขึ้น และยังพบว่า ความสูงของต้นข้าว ความยาวของช่อดอก ความกว้างของใบธง จำนวนเมล็ดต่อช่อ และจำนวนช่อดอกก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และ Houa et al. (2019) กล่าวว่า การใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน ให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมหรือปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว และพบว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตธัญพืชภายใต้ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในทวีปเอเชีย ซึ่งการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมนั้นจะเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงทางด้านโครงสร้างของดินทราย (Van Olphen, 1977; Holthusen et al., 2010)

## 2.4 การศึกษาความแปรปรวนของธาตุอาหารในดิน

ในการศึกษาความแปรปรวนของธาตุอาหารในดินนั้นสามารถศึกษาได้จากการใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยจะใช้ค่าสถิติในการบรรยายหรืออธิบายลักษณะข้อมูลธาตุอาหารในดิน จะแบ่งเป็น 2 วิธี ซึ่งได้แก่ (1) การวัดแนวโน้มสู่ค่ากลาง (Central tendency) และ (2) การกระจายของข้อมูล (Spread or variability) (สายชล, 2555; สุรศักดิ์, 2556; สุทิน, 2560; Sumner, 1999) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.4.1 การวัดแนวโน้มสู่ค่ากลาง

เป็นการบรรยายด้วยค่ากลางที่เป็นตัวแทนของข้อมูลธาตุอาหารในดิน เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูล มีวิธีวัดแนวโน้มสู่ค่ากลาง 3 วิธี (สายชล, 2555; สุรศักดิ์, 2556; สุทิน, 2560; Sumner, 1999) ได้แก่

1. ค่าเฉลี่ย (Mean หรือ Average หรือ  $\bar{X}$ ) หมายถึง ค่ากลางที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้จากการนำค่าทั้งหมดของชุดข้อมูลนั้นมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ (2.1) โดยค่าเฉลี่ยนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ ไม่มีความเบ้หรือข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อย

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยที่  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum_{i=1}^n X_i$  คือ ผลรวมทั้งหมดของชุดข้อมูล

$n$  คือ จำนวนทั้งหมดของข้อมูล

2. ค่ามัธยฐาน (Median) หมายถึง ค่าที่อยู่ตรงกลางของชุดข้อมูล โดยเรียงจากค่ามากไปหาค่าน้อยหรือจากค่าน้อยไปหาค่ามาก ค่ามัธยฐานนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมาก หรือการแจกแจงข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

3. ค่าฐานนิยม (Mode) หมายถึง ค่าของข้อมูลที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด มีความถี่ในการเกิดสูงสุดหรือซ้ำกันมากที่สุด ข้อมูลแต่ละชุดอาจมีฐานนิยมได้หลายค่า ค่านี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีความถี่แต่ละชั้นมากหรือต้องการหาค่าของแนวโน้มสู่ส่วนกลางอย่างรวดเร็ว

## 2.4.2 การวัดการกระจายของข้อมูล

เป็นการหาค่าที่แสดงถึงการกระจายตัวของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ย ค่าทางสถิติที่ใช้ในการวัดการกระจายของข้อมูล มี 4 วิธี (สาขชล, 2555; สุรศักดิ์, 2556; สุทิน, 2560; Sumner, 1999) ได้แก่

1. พิสัย (Range, R) เป็นการวัดการกระจายตัวของข้อมูลที่ง่ายที่สุด โดยคำนวณจากผลต่างของค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของข้อมูล ดังสมการที่ (2.2) ถ้าพิสัยมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย แต่พิสัยเป็นการวัดการกระจายของข้อมูลอย่างหยาบๆเท่านั้น เพราะคำนวณจากค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด หากข้อมูลมีค่าที่มากหรือน้อยผิดปกติ จะทำให้ค่าพิสัยมีค่ามาก

$$R = X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}} \dots\dots\dots (2.2)$$

โดยที่ R คือ ค่าพิสัย

$X_{\text{Max}}$  คือ ข้อมูลที่มีค่าสูงสุด

$X_{\text{Min}}$  คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำสุด

2. ความแปรปรวน (Variance) เป็นการแสดงการกระจายตัวของข้อมูลหรือแสดงความไม่แน่นอนของข้อมูล โดยค่าความแปรปรวนนั้นเป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างกำลังสองระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด หากข้อมูลมีการกระจายมากแสดงว่ามีความแปรปรวนมาก หรือข้อมูลมีการกระจายน้อยแสดงว่ามีความแปรปรวนน้อย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

โดยที่  $S^2$  คือ ค่าความแปรปรวน

$X_i$  คือ ค่าข้อมูล

$\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

n คือ จำนวนข้อมูล

ใช้ n เมื่อคำนวณหาความแปรปรวนของประชากร

ใช้ n-1 เมื่อคำนวณหาความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง

3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S หรือ SD) เป็นค่าที่ใช้แสดงการกระจายของข้อมูลที่วัดได้แต่ละครั้งเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลนั้นๆ หากมีค่าสูงบ่งบอกว่าข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ในชุดข้อมูลนี้มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของกลุ่ม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)

$$SD = \sqrt{S^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

โดยที่ SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$S^2$  คือ ค่าความแปรปรวน

4. ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation, CV) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณเป็นร้อยละ โดยค่านี้จะบ่งบอกถึงขนาดของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความเที่ยงตรงสูง ซึ่งในการเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์หัตถวิธีเปรียบเทียบเป็นร้อยละ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$CV \% = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \dots\dots\dots (2.5)$$

โดยที่ CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน  
SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  
 $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

โดยทั่วไปแล้วความแปรปรวนของธาตุอาหารในดินนั้นนิยมศึกษาจากค่าเฉลี่ย, ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน เป็นต้น (สุรศักดิ์ และคณะ, 2555; อุษา และคณะ, 2560) และจำแนกความแปรปรวนของสมบัติของดินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Sumner, 2000) การแบ่งระดับความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ระดับแปรปรวนของดินที่จำแนกจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

ระดับความแปรปรวน	% CV
ต่ำ	0-15
ปานกลาง	>15-35
สูง	>35

ที่มา: Sumner (2000)

มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของสมบัติดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น สุรศักดิ์ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีที่สำคัญบางประการของดินภายใต้อิทธิพลของเกลือในจังหวัดขอนแก่น เก็บตัวอย่างดินในช่วงฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์ ปีพ.ศ. 2554) ในพื้นที่ class 1 ถึง class 4 แต่ละ class เก็บ 2 พื้นที่ แต่ละพื้นที่สุ่มเก็บ 10 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 0-15 cm

กระจายทั่วพื้นที่ รวมตัวอย่างดินทั้งหมด 80 ตัวอย่าง นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีดิน เช่น ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity at saturation extract, ECe) และสัดส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium adsorption ratio, SAR) เพื่อจำแนกระดับความเค็มและความเป็นโซดิกในพื้นที่ที่มีระดับความเค็มที่แตกต่างกัน โดยใช้แผนที่แสดงคราบเกลือของกรมพัฒนาที่ดิน โดยเน้นความรุนแรงของความเค็มในระดับรุนแรงมาก (คราบเกลือมากกว่า 50%, class 1), ความรุนแรงของความเค็มในระดับรุนแรง (คราบเกลือมากกว่า 10 - 50 %, class 2), ความรุนแรงของความเค็มในระดับปานกลาง (คราบเกลือมากกว่า 1 - 10 %, class 3), ความรุนแรงของความเค็มในระดับเล็กน้อย (คราบเกลือมากกว่า 0 - 1 %, class 4) โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย, ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด และสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน ซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (CV) เป็นเกณฑ์ในการจำแนกความแปรปรวนในแต่ละระดับความเค็มและความเป็นโซดิก จากการศึกษาพบว่าสมบัติทางเคมีทั้งสองของดินทุกระดับมีความแปรปรวนสูงมาก ( $CV > 35\%$ ) ดินในพื้นที่ class 1 ถึง class 4 มีค่า ECe อยู่ในช่วง 22.70-194.10 dS/m, 0.56-64.50 dS/m, 0.40-23.10 dS/m และ 0.40-14.48 dS/m ตามลำดับ เมื่อจัดระดับความรุนแรงของความเค็มตาม Plaster (2009) จัดว่าดินมีความเค็มในระดับเค็มจัด ส่วนค่า SAR อยู่ในช่วง 38.69-159.66 , 0.87-220.18 , 0.08-15.80 และ 0.09-1.97 ตามลำดับ เมื่อจัดระดับความรุนแรงของความเป็นโซดิกตาม Qureshi and Barrett-Lennard (1998) พบว่าดินในพื้นที่ class 1 จัดเป็นดินเค็มโซดิก ส่วนพื้นที่ class 2, class 3 และ class 4 จัดเป็นดินปกติถึงดินเค็มโซดิก

นอกจากนี้ อุษา และคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาความแปรปรวนและศักยภาพของดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำการเก็บตัวอย่างดินให้ครอบคลุมทุกชุดดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือรวม 10 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินพิมาย (Pm), ชุดดินร้อยเอ็ด (Re), ชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Re-sa), ชุดดินท่าตูม (Tt), ชุดดินกุลาไร่ (Ki), ชุดดินอุบล (Ub), ชุดดินโคราช (Kt), ชุดดินอัน (On), ชุดดินเรณู (Rn), ชุดดินน้ำพอง (Ng) และชุดดินศรีสงคราม (Ss) เก็บตัวอย่างดินทุกชุดดินละ 7-15 บริเวณ รวมจำนวน 100 บริเวณ ที่ 3 ระดับความลึก ได้แก่ ดินบนอยู่ในช่วง 8-28 cm ดินบนถึงระดับความลึกที่ 28-60 cm และดินที่ระดับความลึก 60-100 cm และวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ดินและทางเคมีดิน เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Soil organic matter, SOM), ฟอสฟอรัสในดิน (Phosphorus, P), โพแทสเซียมในดิน (Potassium, K) และความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity, CEC) และใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล โดยใช้ค่าพิสัยและวิเคราะห์ความเหมาะสมของที่ดินต่อการปลูกข้าวเจ้า ตามวิธีของ FAO Framework ผลการศึกษาพบว่าสมบัติดินในแต่ละชุดดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินอยู่ในช่วง 4.6 – 7.9 จัดเป็นดินกรดรุนแรงถึงด่างปาน

กลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 0.4 - 22.0 g/kg จัดเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมากถึงปานกลาง ฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.01 - 16.35 mg/kg จัดเป็นดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำมากถึงปานกลาง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 2.9 - 132 mg/kg จัดเป็นดินที่มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำมากถึงสูง และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในช่วง 0.5 - 34.4 cmol/kg จัดเป็นดินที่มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นธาตุอาหารจะถูกชะละลายได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะโพแทสเซียม โดยสรุปแล้วพบว่าดินที่ทำการศึกษามีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวเจ้าทั่วไปอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง (S2) จนถึงไม่ค่อยเหมาะสม (N1)

อย่างไรก็ตามการใช้สถิติเชิงพรรณนาเพียงอย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอในการอธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของธาตุอาหารในดินได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากตัวอย่างดินที่ถูกเก็บมานั้นเป็นการเก็บมาแบบจุด (Point sample) ซึ่งมีความอิสระต่อกัน แต่ความเป็นจริงแล้วนั้นดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันทั้งในทิศทางและระยะทาง (Oliver and Webster, 2014) จึงมีการนำเทคนิคทางธรณีสถิติ (Geostatistics) มาช่วยเสริมเพื่ออธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของสมบัติทางเคมีของดินและคุณลักษณะเชิงพื้นที่ได้ (Wang et al., 2015; Phontusang et al., 2018) ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

## 2.5 ธรณีสถิติ (Geostatistics)

คือ สถิติที่นำมาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และทำนายค่าของตัวแปรที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ หิน แร่ เป็นต้น (พันธุ์ลพ, 2540; สัมพันธ์, 2559; Guan et al., 2017) โดยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวนของสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งวิธีการนี้สามารถวัดระดับความต่อเนื่องและการกระจายของตัวแปรที่มีค่าเกี่ยวข้องกับตำแหน่ง และสามารถอธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (Characteristics in spatial variability) พร้อมทั้งแสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial distribution pattern) ได้อีกด้วย (พันธุ์ลพ, 2540; Oliver and Webster, 2014; De Paz et al., 2015; Phontusang et al., 2018)

ในการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของธาตุอาหารในดินโดยวิธีธรณีสถิติสามารถแสดงถึงลักษณะของความแปรปรวนเชิงพื้นที่ได้ด้วยการสร้างเซมิแวกริโอแกรม (Semivariogram) ตามวิธีของ Clark (2001) ดังแสดงในสมการที่ (2.6) ซึ่งส่วนประกอบของสมการที่ได้จากเซมิแวกริโอแกรมประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ Nugget, Sill และ Range แสดงให้เห็นถึงระยะทางและทิศทาง

ของข้อมูลมีความสัมพันธ์ต่อกันดังภาพที่ 2.4 ซึ่งแต่ละพารามิเตอร์ของเซมิแวกเรียโอแกรม มีรายละเอียดดังนี้

1. ค่า Nugget หรือ ค่าความแปรปรวนนั้กเกิด คือความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด บ่งบอกถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างมากเกินไป หรือความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูล

2. ค่า Sill หรือ ค่าความแปรปรวนคงที่ อธิบายถึงความแปรปรวนสูงสุดที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์

3. ค่า Range/Range of influence หรือ ค่าระยะอิทธิพล อธิบายถึงระยะทางที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกัน

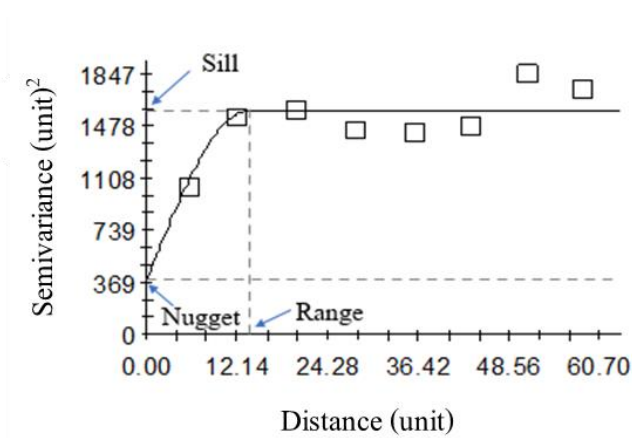
$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Z(X_i) - Z(X_i + h))^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

โดยที่  $\gamma(h)$  คือ ฟังก์ชันเซมิแวกเรียโอแกรม

$z(X_i)$  คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่ง  $x$

$z(X_i + h)$  คือ ค่าของตัวแปรที่ตำแหน่งของข้อมูลตัวที่สองซึ่งอยู่ห่างจากข้อมูล  $x$  เป็นระยะและทิศทางที่กำหนดด้วยเวกเตอร์  $h$

$n$  คือ จำนวนคู่ของตัวอย่างทั้งหมด



ภาพที่ 2.4 เซมิแวกเรียโอแกรม (Semivariogram) แสดงตำแหน่ง Nugget, Sill และ Range

### 2.5.1 เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดล (Semivariogram model)

การใช้ธรณีสถิติเพื่อศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของธาตุอาหารในดินจำเป็นต้องเลือกเซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลเพื่อนำไปพิจารณาการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) โดยเซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้นจะพิจารณาจากค่า Coefficient of determination ( $R^2 \geq 0.5$ ) และค่า Residual sum of squares (RSS) จะต้องมีย่าน้อยที่สุด (Duffera et al., 2007) โดยทั่วไปส่วนใหญ่เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลที่นิยมใช้มีหลายแบบ เช่น Spherical model, Exponential model, Gaussian model และ Linear model เป็นต้น (Phontusang et al., 2018) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1. สเฟียร์คัลโมเดล (Spherical model)

เป็นโมเดลชนิดที่ค่าความแปรปรวนมีอัตราเพิ่มแบบเส้นตรง เมื่อระยะของข้อมูลที่ทราบค่าอยู่ใกล้จุดกำเนิดและค่อยๆเพิ่มด้วยอัตราที่น้อยลง จนกระทั่งไม่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะของข้อมูลที่ทราบค่าเข้าใกล้ระยะอิทธิพล (ภาพที่ 2.5) โดยค่าระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กัน (Effective range) ของโมเดลนี้ทำการคำนวณโดยการคูณค่า Range ด้วย 1 (วุฒิปันธุ์, 2546; Phontusang, 2016; Phontusang et al., 2018) สมการของโมเดลนี้แสดงดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left[ \frac{h}{a} \right]^3 \right) \quad \text{ที่ } 0 < h \leq a \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

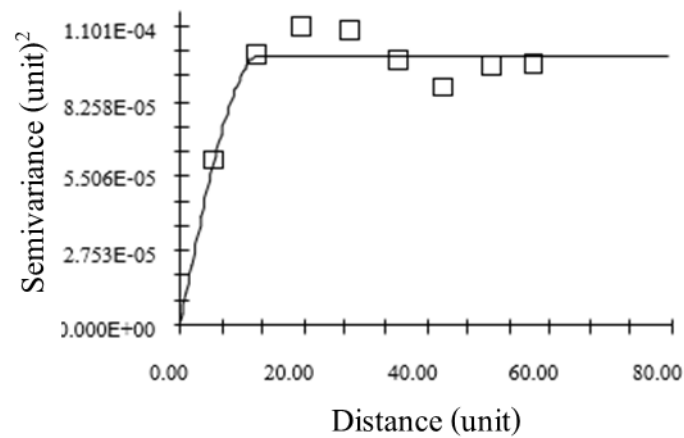
$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad \text{ที่ } h \geq a \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

โดยที่  $\gamma(h)$  คือ เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดล

$C_0$  คือ ค่า Nugget

$C_0 + C_1$  คือ ค่า Sill

$a$  คือ ค่าที่แสดงระยะอิทธิพล (Range of influence)



ภาพที่ 2.5 กราฟสเฟียร์คัลโมเดล (Spherical model)

## 2. เอ็กซ์โพเนนเชียลโมเดล (Exponential model)

โมเดลนี้มีลักษณะคล้ายกับสเฟียร์คัลโมเดล เป็นโมเดลชนิดที่ค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเกือบเป็นเส้นตรงในช่วงใกล้จุดกำเนิดและมีอัตราการเพิ่มขึ้นช้าๆจนเข้าใกล้ค่าความแปรปรวนคงที่ แต่ค่าความแปรปรวนนั้นจะไม่เพิ่มขึ้นจนเท่ากับค่าความแปรปรวนคงที่ (ภาพที่ 2.6) โดยค่าระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กันของโมเดลนี้จะใช้ค่า Range of influence ทำการคำนวณโดยการคูณด้วย 3 (วุฒิพันธุ์, 2546; Phontusang, 2016; Phontusang et al., 2018) สมการของโมเดลนี้แสดงดังสมการที่ (2.9)

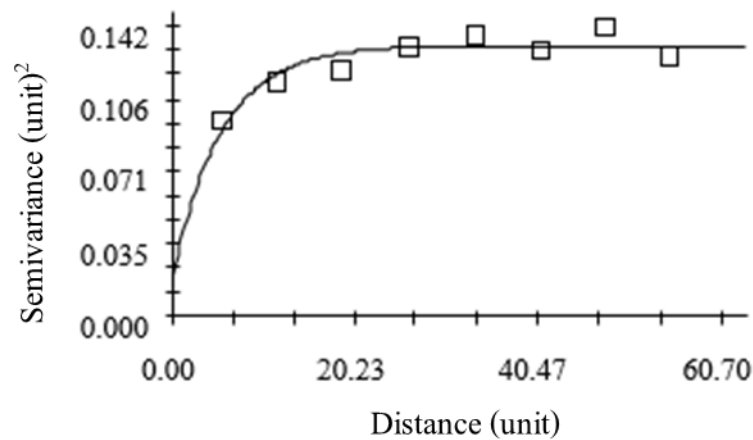
$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{-h/a}) \dots\dots\dots (2.9)$$

โดยที่  $\gamma(h)$  คือ เซมิเวริโอแกรมโมเดล

$C_0$  คือ ค่า Nugget

$C_0 + C_1$  คือ ค่า Sill

$a$  คือ ค่าที่แสดงระยะอิทธิพล (Range of influence)



ภาพที่ 2.6 กราฟเอ็กซ์โพเนนเชียล โมเดล (Exponential model)

### 3. เกาส์เซียน โมเดล (Gaussian model)

เป็น โมเดลที่แสดงความแปรปรวนเล็กน้อยในระยะทางที่สั้นๆของจุดกำเนิดข้อมูลและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างความแปรปรวนกับระยะทางก่อนถึงค่าความแปรปรวนคงที่ (ภาพที่ 2.7) โดยค่าระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กันของ โมเดลนี้จะใช้ค่า Range of influence ทำการคำนวณโดยการคูณด้วย 1.732 (วุฒิพันธุ์, 2546; Phontusang, 2016; Phontusang et al., 2018) สมการของโมเดลนี้แสดงดังสมการที่ (2.10)

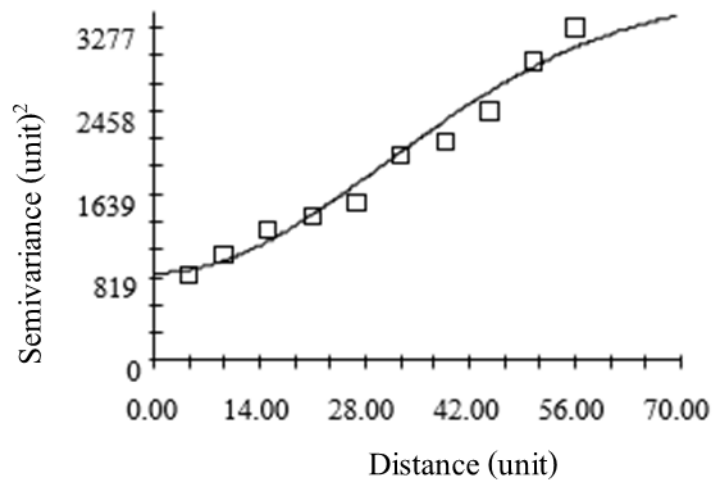
$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{-[\frac{h}{a}]^2}) \dots\dots\dots (2.10)$$

โดยที่  $\gamma(h)$  คือ เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดล

$C_0$  คือ ค่า Nugget

$C_0 + C_1$  คือ ค่า Sill

$a$  คือ ค่าที่แสดงระยะอิทธิพล (Range of influence)



ภาพที่ 2.7 กราฟแกสเซียน โมเดล (Gaussian model)

#### 4. โมเดลแบบเส้นตรง (Linear model)

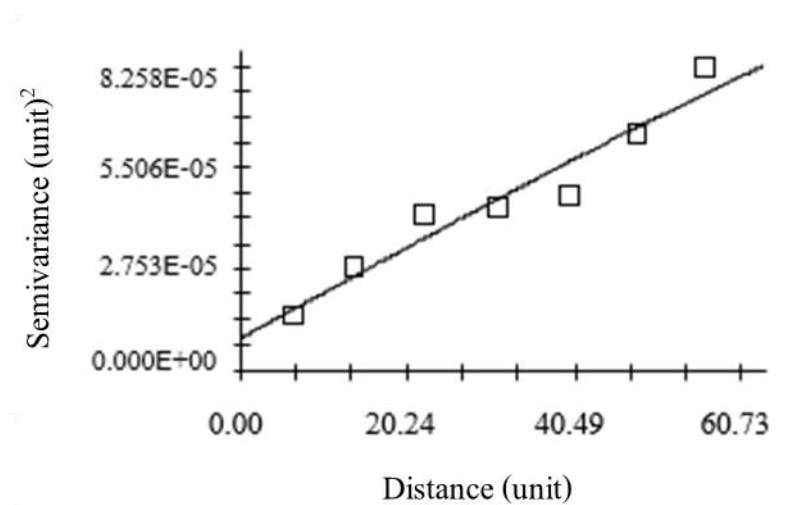
เป็นโมเดลที่มีค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นตลอดและไม่ปรากฏค่าความแปรปรวนคงที่หรือค่าระยะอิทธิพล ด้วยเหตุนี้ความแปรปรวนจึงไม่มีที่สิ้นสุด (ภาพที่ 2.8) (วุฒิพันธุ์, 2546; Phontusang, 2016; Phontusang et al., 2018) สมการของโมเดลนี้แสดงดังสมการที่ (2.11)

$$\gamma(h) = C_0 + bh \dots\dots\dots (2.11)$$

โดยที่  $\gamma(h)$  คือ เซมิแวกเรียโอแกรมโมเดล

$C_0$  คือ ค่าNugget

$b$  คือ ความชันของเส้น



ภาพที่ 2.8 โมเดลแบบเส้นตรง (Linear model)

### 2.5.2 คุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ (Characteristics in spatial variability)

จากสมการเซมิแวกเรียโอแกรมข้างต้นในสมการที่ (2.6) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระยะทางและทิศทางของข้อมูล โดยส่วนประกอบของสมการที่ได้จากเซมิแวกเรียโอแกรมที่ประกอบไปด้วย Nugget, Sill และ Range นำมาใช้ในการอธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ และสามารถนำอัตราส่วนของค่า Nugget/Sill มาใช้ในการศึกษาระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial dependence) ได้อีกด้วย ซึ่งจะจำแนกได้ตามตารางที่ 2.5 โดยปัจจัยที่มีผลต่อระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในแต่ละพื้นที่นั้นๆจะขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งปัจจัยภายใน (Internal factors) ได้แก่ วัตถุประสงค์กำเนิดดิน ชนิดของดิน ชุดดิน และภูมิประเทศ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก (External factors) ได้แก่ ชนิดการใช้ที่ดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดิน และการทำการเกษตร เป็นต้น (Behera et al., 2018) นอกจากนี้สามารถนำค่า Range/Range of influence มาใช้ในการกำหนดระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งตามคำแนะนำของ Sumner (1999) เสนอว่าระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ควรมีระยะ  $\frac{1}{4}$  ถึง  $\frac{1}{2}$  และ IT Department (2001) เสนอว่าควรมีระยะ  $\frac{1}{4}$  ของระยะ ณ จุดที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกัน (Effective range)

ตารางที่ 2.5 ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่

Nugget/Sill	ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่
0 – 0.25	สูง
> 0.25 – 0.75	ปานกลาง
> 0.75	ต่ำ
1	ไม่พบ

ที่มา: Oliver and Webster (2014)

### 2.5.3 รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ (Spatial distribution pattern)

สำหรับการแสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของธาตุอาหารในดินที่สนใจนั้นสามารถทำได้จากการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) โดยการประมาณค่าในช่วงที่นิยมใช้มีหลายวิธีสามารถแบ่งเป็น 2 วิธีการหลักๆ (Phontusang, 2016) ได้แก่ (1) แบบไม่ใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Non-geostatistics) ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ใช้ค่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial dependency) ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมาใช้ในการพิจารณา วิธีการนี้มีหลายรูปแบบ เช่น การคำนวณค่าระยะทางกลับโดยน้ำหนัก (Inverse Distance Weight, IDW), ฟังก์ชันเส้นโค้ง (Spline), วิธีเทียบเคียงธรรมชาติ (Natural Neighbors) และวิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเสน (Thiessen Polygon) เป็นต้น (เพ็ญประไพ และคณะ, 2558; ฐาปนีย์ และคณะ, 2561; GöI et al., 2017; Bhunia et al., 2018) และ (2) แบบใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Geostatistics) วิธีการนี้จะใช้ค่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมาใช้ในการพิจารณา เช่น วิธีคริกิง (Kriging) เป็นการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง โดยทำการวัดระยะทางระหว่างจุดทุกคู่เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ซึ่งวิธีการนี้เป็นที่นิยมมากสำหรับการศึกษาทางด้านธาตุอาหารในดินในกรณีที่ต้องการหาความสัมพันธ์ของระยะทางหรือทิศทางที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล เพราะวิธีนี้เป็นการประเมินค่าเชิงเส้นที่มีอคติน้อยที่สุด (Linear unbiased estimator) และทำให้สามารถประมาณค่าตัวอย่างในพื้นที่ที่ไม่ได้เก็บข้อมูลได้อย่างแม่นยำ จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (วุฒิพันธุ์, 2546; Phontusang et al., 2018; Panday et al., 2019) อีกทั้งยังสามารถแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ที่ได้จากส่วนประกอบของเซมิแวกริโอแกรม (Nugget, Sill และ Range) (Yang et al., 2011) ซึ่งวิธี Kriging มีหลายวิธีการ ได้แก่ Ordinary kriging, Co-kriging, Block kriging, Universal kriging, Indicator kriging, Anisotropic kriging เป็นต้น (Gorai et al., 2015;

Göl et al., 2017; Bhunia et al., 2018; Gao et al., 2019) โดยแต่ละวิธีการนั้นสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา

## 2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่คือการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของแผนที่ที่ได้จากการประมาณค่าในช่วง สามารถทำได้โดยการประเมินวิธีการทางสถิติโดยทั่วไปจะใช้วิธี Leave-one-out ในการประเมินความสามารถในการใช้งานของวิธี Kriging (Guan et al., 2017; Bhunia et al., 2019; Wu et al., 2019) ซึ่งแต่ละค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบนั้นจะนำค่าจริง (Observed values) และค่าพยากรณ์ (Estimated values) มาใช้ในการตรวจสอบ โดยมีค่าทางสถิติต่างๆที่นำมาพิจารณา เช่น

1. Mean Prediction Error (MPE) คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ ผลจากการคำนวณจะบ่งบอกถึงระดับความเอนเอียง (Biased) ของข้อมูล หากค่าที่ได้เป็นบวกจะบ่งชี้ถึงค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (Under-estimated) หรือเป็นลบจะบ่งชี้ถึงค่าพยากรณ์สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (Over-estimated) แต่เมื่อค่านี้มีค่าน้อยจนเข้าใกล้ศูนย์จะบ่งชี้ถึงความไม่เอนเอียง (Unbiased) จากการวิเคราะห์ (Gorai et al., 2015; Guan et al., 2017; Bhunia et al., 2019) แสดงวิธีคำนวณดังสมการที่ (2.12)

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z(X)_i - \hat{Z}(X)_i] \dots\dots\dots (2.12)$$

โดยที่  $Z(X)_i$  คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed values)

$\hat{Z}(X)_i$  คือ ค่าพยากรณ์ (Estimated values)

n คือ จำนวนตัวอย่าง

2. Root Mean Square Prediction Error (RMSPE) คือรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่เป็นค่าจริงและค่าพยากรณ์ เป็นวิธีมาตรฐานในการวัดความผิดพลาดของวิธี Kriging หาก RMSPE มีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง (Gorai et al., 2015; Wang et al., 2015; Guan et al., 2017; Bhunia et al., 2019) แสดงวิธีคำนวณดังสมการที่ (2.13)

$$\text{RMSPE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z(X)_i - \hat{Z}(X)_i]^2}{n}} \dots\dots\dots (2.13)$$

โดยที่  $Z(X)_i$  คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์ (Observed values)  
 $\hat{Z}(X)_i$  คือ ค่าพยากรณ์ (Estimated values)  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

นอกจากนี้ยังมีค่าสถิติต่างๆที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ที่ได้จากการประมาณค่าแบบ Kriging ได้อีกหลายวิธี เช่น Absolute Mean Error (AME), Average Standard Error (ASE), Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) เป็นต้น (Garai et al., 2015; Göl et al., 2017; Guan et al., 2017; Duan et al., 2020)

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

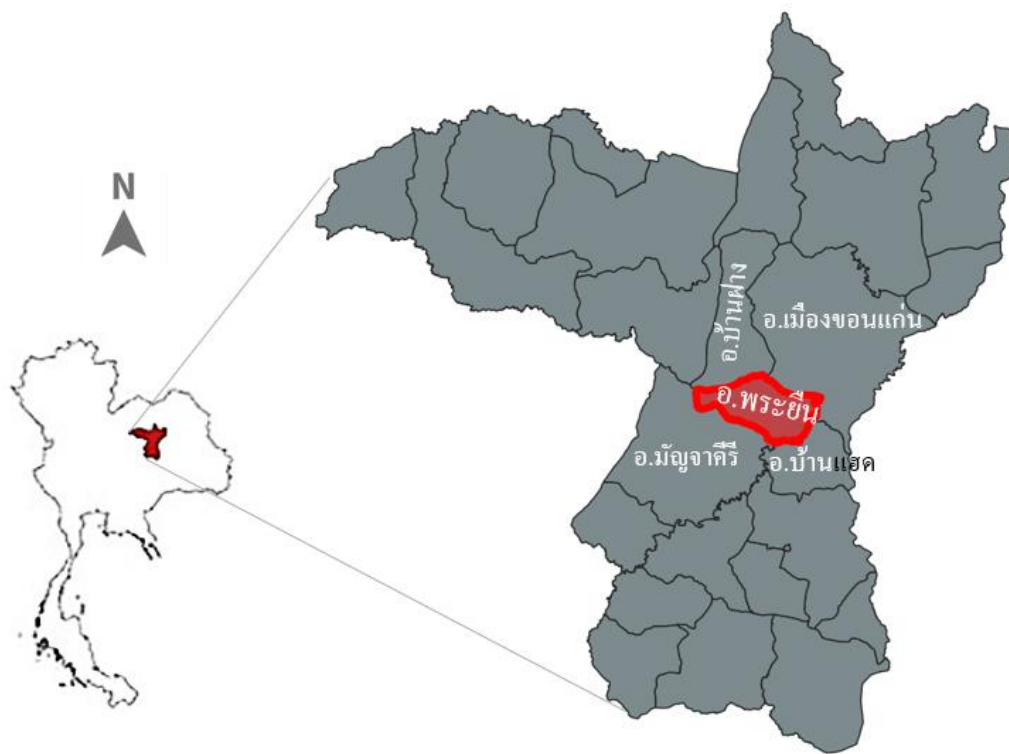
ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยโดยแบ่งเป็นทั้งหมด 2 ส่วน ได้แก่ การใช้สถิติเชิงพรรณนาในการศึกษาสถานะและภาพรวมของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน และส่วนที่ 2 คือการใช้สถิติในการศึกษาคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

#### 3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

##### 3.1.1 ขนาดและที่ตั้ง

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น พิกัด  $16^{\circ} 18' 23''$  N  $102^{\circ} 39' 05''$  E มีพื้นที่ทั้งหมด  $172 \text{ km}^2$  อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง  $165 \text{ m}$  มีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอต่างๆ ในจังหวัดขอนแก่น ดังนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภอบ้านฝางและอำเภอเมืองขอนแก่น
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอเมืองขอนแก่นและอำเภอบ้านแฮด
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภอมัญจาคีรี
- ทิศใต้ ติดต่อกับอำเภอบ้านแฮดและอำเภอมัญจาคีรี



ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษา อำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น

### 3.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และฤดูกาล

ลักษณะภูมิประเทศของอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ (Alluvial plains) และที่ราบสูง (High plain) เป็นท้องทุ่งกว้าง มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด (Undulating terrace) เล็กน้อย และมีภูเขาเล็กๆ มีแหล่งน้ำธรรมชาติน้อยจึงทำให้ขาดแคลนน้ำสำหรับการอุปโภค บริโภค และสำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูแล้งหรือฝนทิ้งช่วง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561ก)

สภาพภูมิอากาศจะเป็นแบบทุ่งหญ้าในเขตร้อน มีฝนตกสลับแห้งแล้งเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยจะพัฒนามวลอากาศชื้นจากทะเลและมหาสมุทรเข้าปกคลุมในช่วงฤดูฝน ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะพัฒนามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมตั้งแต่ประมาณ

กลางเดือนตุลาคมถึงประมาณเดือนกุมภาพันธ์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 27.2 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนที่ตกโดยเฉลี่ย 1,381.3 มิลลิเมตรต่อปี (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561)

ฤดูกาล จะพิจารณาตามลักษณะของลมฟ้าอากาศของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561) ดังนี้

(1) ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยและบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนจะแผ่ลงปกคลุมประเทศไทยตอนบนในช่วงดังกล่าว ทำให้อากาศโดยทั่วไปบริเวณจังหวัดขอนแก่นจะหนาวเย็นและแห้ง โดยมีอากาศหนาวจัดในบางวัน สำหรับเดือนที่มีอากาศหนาวมากที่สุดจะอยู่ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561)

(2) ฤดูร้อน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม จะมีลมใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้อากาศร้อนอบอ้าว โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวที่สุดของปี (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561)

(3) ฤดูฝน เริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเอาความชื้นจากทะเลและมหาสมุทรมาปกคลุมประเทศไทย โดยมีร่องความกดอากาศต่ำที่พาดอยู่บริเวณภาคใต้ของประเทศไทยจะเลื่อนขึ้นมาพาดผ่านบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ทำให้อากาศเริ่มชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกตั้งแต่ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป โดยเฉพาะเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกหนาแน่นมากที่สุดในรอบปี แต่อย่างไรก็ตามนอกจากปัจจัยดังกล่าวที่ทำให้มีฝนตกชุกแล้วยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนตัวเข้าใกล้หรือเข้าสู่ประเทศไทยในช่วงดังกล่าวด้วย (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2561)

### 3.1.3 ทรัพยากรดิน

ทรัพยากรดินในอำเภอพระยืนพบว่าส่วนใหญ่เป็นดินที่มีศักยภาพทางการเกษตรต่ำ ดินไม่มีความสามารถเก็บความชื้นได้เนื่องจากเนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย โดยทรัพยากรดินที่พบมีอยู่ด้วยกันหลักๆ 4 ประเภท (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561) ได้แก่

(1) ดินในพื้นที่ดอนในเขตดินแห้ง มีเนื้อที่ 1,347,275 ไร่ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบ ที่ลาดเชิงเขาหรือเป็นลูกคลื่น ส่วนใหญ่ใช้พื้นที่บริเวณเหล่านี้ปลูกพืชไร่ ไม้ผล หรือไม้ยืนต้นอื่นๆ

(2) ดินในพื้นที่ราบลุ่ม มีเนื้อที่ 468,142 ไร่ สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบ ส่วนใหญ่พบเป็นบริเวณกว้างและตามที่ราบลุ่มแม่น้ำต่างๆ มีการใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำนา

(3) ดินในพื้นที่ลาดชันสูง มีเนื้อที่ 128,273 ไร่ สำหรับดินในพื้นที่นี้จะไม่มีความเหมาะสมทางการเกษตร ปล่อยให้ให้เป็นป่าตามธรรมชาติ เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า แหล่งต้นน้ำลำธาร

(4) พื้นที่เบ็ดเตล็ด มีเนื้อที่ 81,137 ไร่ เป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัยหรือมีสิ่งปลูกสร้างต่างๆในพื้นที่

### 3.1.4 ลักษณะเนื้อดินและชุดดิน

ดินส่วนใหญ่ที่พบในอำเภอพระยืนมีทั้งลักษณะเป็นดินทราย ดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียวปนทราย สืบเนื่องมาจากการสลายตัวของหินต้นกำเนิดซึ่งเป็นหินทราย ลักษณะชุดดินที่พบมีหลากหลายและกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณของพื้นที่ ชุดดินส่วนใหญ่ที่พบเป็นพื้นที่จำนวนมากได้แก่ ชุดดินบ้านไผ่ (Ban Phai Series: Bpi) มีลักษณะดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย เหมาะสมกับการปลูกพืชไร่และไม่ผล รองลงมาคือชุดดินพล (Pho Series: Pho) มีลักษณะดินบนเป็นดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย เหมาะสมกับการปลูกพืชไร่ ไม่ผลและไม่ขึ้นต้น และชุดดินกุลาร้องไห้ (Kula Ronghai series: Ki) มีลักษณะดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย เหมาะสมกับการทำนา นอกจากนี้ยังมีอีกหลากหลายชุดดินแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก (กองสำรวจดิน, 2553; สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2557; กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

### 3.1.5 ลักษณะการใช้ที่ดิน

อำเภอพระยืนมีการใช้ที่ดินรวม 2,040,185.33 ไร่ ลักษณะการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม รองลงมาคือ พื้นที่ป่า พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การใช้ที่ดินในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น

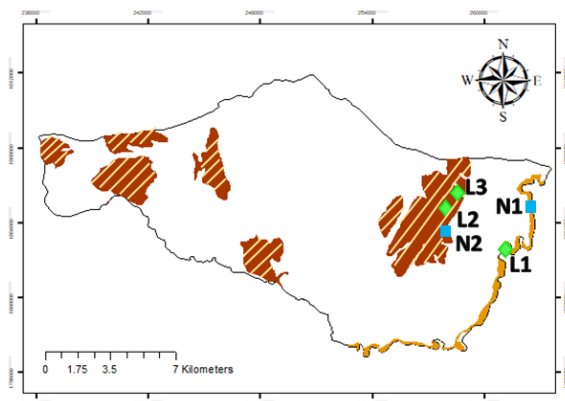
ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
พื้นที่นา	707,431	34.67
ไม้ยืนต้น	546,194	26.77
พื้นที่ป่า	180,648	8.85
พืชไร่	149,928	7.34
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	142,458	6.98
พื้นที่น้ำ	134,377	6.58
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	80,959	3.96
พื้นที่ลุ่ม	37,125	1.81
สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	28,035	1.37
ไม้ผล	24,702	1.21
ทุ่งหญ้าและโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	7,058	0.34
พืชสวน	1,230	0.06
พืชน้ำ	42	0

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2561ข)

### 3.2 พื้นที่ศึกษาและการเก็บตัวอย่างดิน

การศึกษาครั้งนี้ทำการคัดเลือกพื้นที่ที่เป็นดินทราย ได้แก่ ชุดดินบ้านไผ่ (Bpi) และชุดดินดงยางเอน (Don) ทั้งหมด 5 แห่ง จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่พบว่าเป็นพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลาต่างกัน โดยจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย (Barely disturbed soils, N) จำนวน 2 แห่ง (ชั้นจำแนก N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี (Long-time rice cultivated soils, L) จำนวน 3 แห่ง (ชั้นจำแนก L1, L2 และ L3) แสดงในภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในช่วงเดือนเมษายน 2562 โดยแต่ละแห่งเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีการสุ่มในกริด (Stratified systematic unaligned sampling) ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างสำหรับการกระจายตัวตามขอบเขตภูมิศาสตร์ (Campbell, 1996; พรทิพย์ และคณะ, 2556) ทำการ

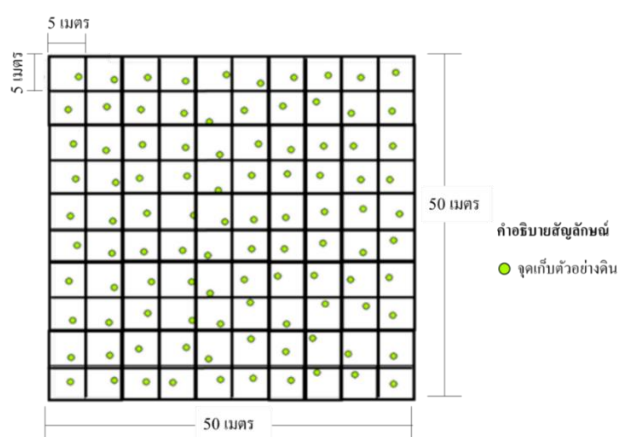
สุ่มเก็บดินในกริดขนาด 5×5 m ในพื้นที่ขนาด 50×50 m<sup>2</sup> ที่ระดับความลึก 0 - 15 cm จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3.3) รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 500 ตัวอย่าง แสดงดังภาคผนวก ข และทำการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมต่างๆที่ผ่านมาในพื้นที่ศึกษา รายละเอียดการสัมภาษณ์แสดงดังภาคผนวก ค



คำอธิบายสัญลักษณ์






- ชุดินบ้านไผ่ (Bpi)
- พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย
- ชุดินดงยางเอน (Don)
- พื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี

ภาพที่ 3.2 แผนที่ชุดดินบ้านไผ่และชุดดินดงยางเอน ในอำเภอพระยืน จังหวัดขอนแก่น



ภาพที่ 3.3 วิธีการเก็บแบบสุ่มในกริด (Stratified systematic unaligned sampling)

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลพื้นที่ศึกษาและสภาพพื้นที่จริง

จำแนกพื้นที่	ชั้นจำแนก	ชุดดิน	สภาพพื้นที่จริง
พื้นที่ที่ถูกระบายน้ำน้อย	N1	Don <sup>1/</sup>	
	N2	Bpi <sup>2/</sup>	
พื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี	L1	Don	
	L2	Don	
	L3	Bpi	

หมายเหตุ: <sup>1/</sup>Don = ชุดดินดงยางเอน (Dong Yang En series) <sup>2/</sup>Bpi = ชุดดินบ้านไผ่ (Ban Phai series)

### 3.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของดิน

หลังจากทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ศึกษาจะนำตัวอย่างดินทั้งหมดมาผึ่งลมให้แห้งและนำไปบดโดยใช้โกร่งบดดินและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable K) ในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นรูปของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และรูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ โดยสกัดด้วยวิธี Ammonium acetate method (Doll and Lucas, 1973) ทำการชั่งตัวอย่างดินจำนวน 5 g ใส่ลงในขวดลูกชมพู่ขนาด 125 ml จากนั้นเติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรดที่มีค่า pH เท่ากับ 7.0 ปริมาณ 50 ml ลงไปและนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดลูกชมพู่ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 30 นาที เมื่อเสร็จสิ้นจึงนำตัวอย่างดินมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer จากนั้นนำค่าที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ไปคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินดังสมการที่ (3.1) จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตามเกณฑ์ของ เอิบ (2547) ดังตารางที่ 3.3

$$\text{โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (mg/kg)} = 10 K \times df \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{โดยที่ } K = \text{ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ (mg/kg)}$$

$$df = \text{dilution factor}$$

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ค่าวิเคราะห์ความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

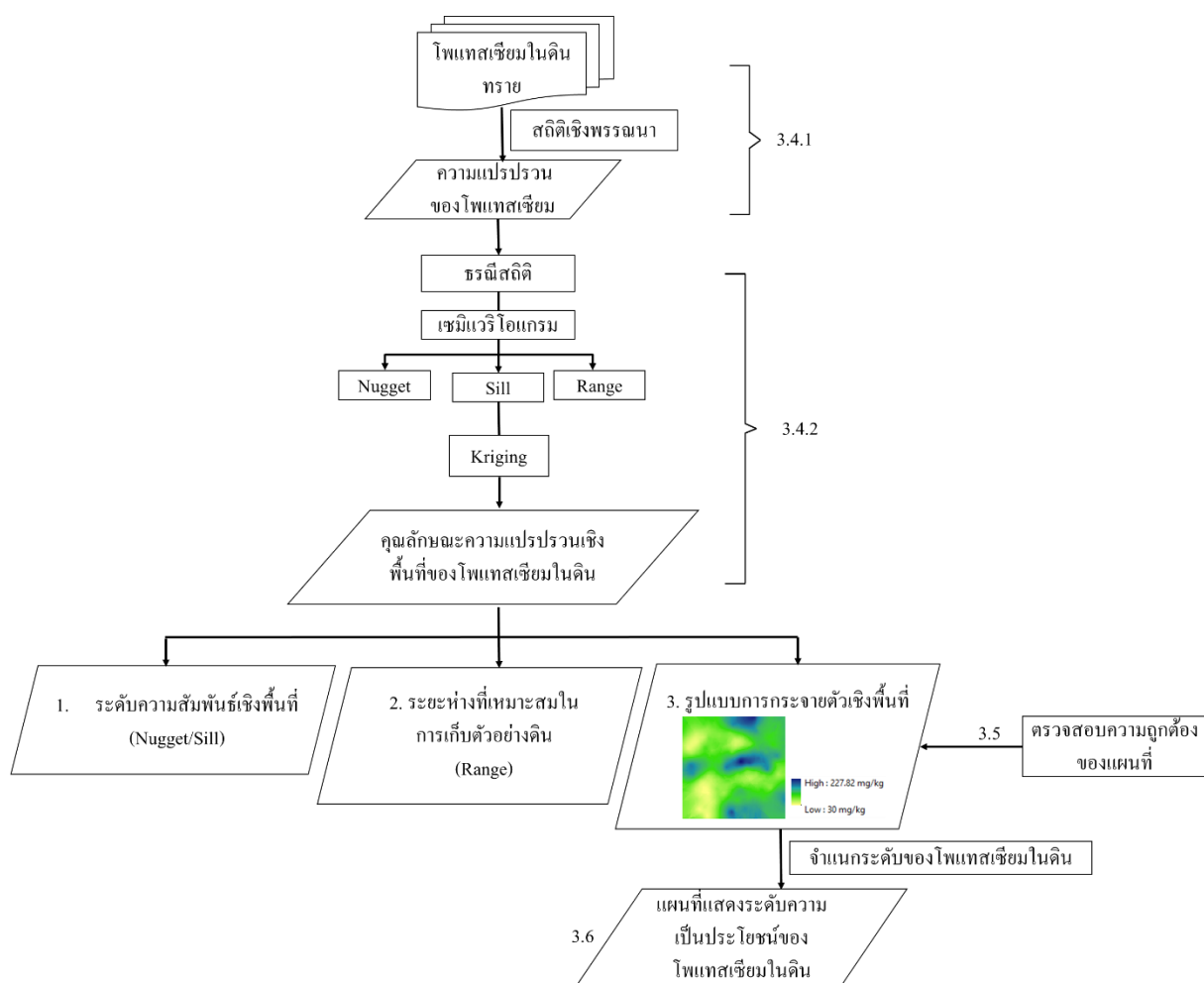
ระดับ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน (mg/kg)	≤ 30	31 - 60	61 - 90	91 - 120	> 120

ที่มา: เอิบ (2547)

### 3.4 การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและธรณีสถิติ

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เทคนิคทางสถิติเชิงพรรณนาและธรณีสถิติในการอธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน ซึ่งขั้นตอนกระบวนการวิจัยแสดงในภาพที่

3.4



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาและธรณีสถิติ

### 3.4.1 การวิเคราะห์โดยสถิติเชิงพรรณนา

นำข้อมูลค่าโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการไปวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย, ค่าต่ำสุดและสูงสุด, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (อธิบายวิธีการไว้ในบทที่ 2) และพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลจากค่าความเบ้ (skewness) หากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติค่าความเบ้จะต้องมีค่าอยู่ที่ -1 ถึง 1 หากพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบผิดปกติต้องปรับปรุงค่าข้อมูลโดยวิธีการแปลงค่าด้วย log ฐาน 10 ซึ่งการศึกษานี้พบว่าพื้นที่ N1 ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติจึงต้องปรับปรุงข้อมูลและยังพบว่าพื้นที่ N2 มีค่าใกล้ 1 ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงข้อมูลให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติมากยิ่งขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางธรณีสถิติต่อไปในขั้นต่อไป

### 3.4.2 การวิเคราะห์ทางธรณีสถิติ

นำข้อมูลปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิเคราะห์ทางธรณีสถิติโดยสร้างเซมิแวกเรียโอแกรม และเลือกเซมิแวกเรียโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูล โดยพิจารณาจากค่า Coefficient of determination ( $R^2$ )  $\geq 0.5$  และค่า Residual sum of squares (RSS) จะต้องมีค่าน้อยที่สุด (Duffera et al., 2007) และอธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินจากส่วนประกอบของเซมิแวกเรียโอแกรมโมเดล (Nugget, Sill และ Range) ได้แก่ (1) ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่สามารถจำแนกได้จากอัตราส่วน Nugget/Sill (2) ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง โดยนำค่า Effective range มาใช้ในการระบุระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งควรมีระยะ 1 ใน 4 ของระยะ Effective range (Sumner, 1999; IT Department, 2001) และศึกษารูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยทำการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging จากโปรแกรม GS<sup>+</sup> Version 9.1 (Gamma Designed Software, 2008)

## 3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ได้จากวิธีการ Kriging โดยใช้วิธีการ Cross-validation แบบ Leave-one-out โดยพิจารณาจากค่าทางสถิติ ได้แก่ Mean Prediction Error (MPE) และ Root Mean Square Prediction Error (RMSPE) เพื่อบ่งบอกความเอนเอียงจากการวิเคราะห์และความถูกต้องแม่นยำในการทำนายข้อมูล (Guan et al., 2017; Bhunia et al., 2019; Wu et al., 2019)

### 3.6 แผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

หลังจากได้แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ศึกษาแล้วนั้น นำไปจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพื่อให้ได้แผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละพื้นที่ศึกษา และทำการคำนวณปริมาณอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับความต้องการของข้าวตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2547) ดังตารางที่ 3.4 เพื่อเป็นข้อมูลให้กับเกษตรกรนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน

ปริมาณโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ (mg/kg)	อัตราปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (สูตร 0-0-60) (kg K <sub>2</sub> O/rai)
< 60	6
60 – 80	3
> 80	0

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

การศึกษาคความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวโดยใช้วิธีสถิติ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลาการปลูกข้าวที่ต่างกันจำนวน 5 แห่ง โดยจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย (Barely disturbed soils, N) จำนวน 2 แห่ง (ชั้นจำแนก N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี (Long-time rice cultivated soils, L) จำนวน 3 แห่ง (ชั้นจำแนก L1, L2 และ L3) ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) สถานะและระดับของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (2) การใช้วิธีสถิติเพื่อศึกษาคคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน และ (3) จัดทำแผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินและคำแนะนำการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในนาข้าวของแต่ละพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลการศึกษาแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 การศึกษาคความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา

การศึกษาคความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินด้วยสถิติเชิงพรรณนา ซึ่งได้แก่ ค่าต่ำสุดและสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (CV) โดยค่าสถิติที่สำคัญเหล่านี้สามารถอธิบายถึงระดับความเป็นประโยชน์และความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาคพบว่าเมื่อจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตามเกณฑ์ของ เอิบ (2547) (ตารางที่ 3.3) ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 76.57 - 430.0 mg/kg โดยพื้นที่ N1 และ N2 มีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 167.6 และ 201.2 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์สูงมาก สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี มีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่ในช่วง 31 - 227.82 mg/kg โดยพื้นที่ L1 มีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 134.48 mg/kg จัดว่าอยู่ในเกณฑ์สูงมาก ในขณะที่พื้นที่ L2 และ L3 มีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่

สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ที่ 107.0 และ 103.5 mg/kg ตามลำดับ จัดว่าอยู่ในเกณฑ์สูง สำหรับการศึกษาระดับความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (CV) ตามเกณฑ์ของ Sumner (2000) (ตารางที่ 2.4) พบว่ามีความแตกต่างกันแม้แต่พื้นที่ที่มีระยะเวลาใช้ปลูกข้าวที่เท่ากัน โดยมีความแปรปรวนตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูงในพื้นที่ทั้งสองระยะเวลาใช้ปลูกข้าว มีความแปรปรวนระดับปานกลาง ( $CV > 15-35\%$ ) ในพื้นที่ N1 และ L1 และมีความแปรปรวนระดับสูง ( $CV > 35\%$ ) ในพื้นที่ N2, L2 และ L3

จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่ใช้มากกว่า 30 ปีมีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำและมีความแปรปรวนในระดับสูงมากกว่าในพื้นที่ที่ถูกบกรวนน้อย สาเหตุมาจากพื้นที่นี้มีการปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องมากกว่า 30 ปีทำให้ดินมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมน้อยลงหรือหมดไป โดยข้าวจะดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมไปในปริมาณที่มากเกินความต้องการและสูญเสียธาตุโพแทสเซียมบริเวณหน้าดินโดยการกร่อนผิวดินจากน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดิน โดยจะชะเอาอนุภาคของดินออกไปทำให้โพแทสเซียมที่อยู่ในดินสูญหายไปด้วย (คณาจารย์ภาควิชา ปฐพีวิทยา, 2541; Antwi et al., 2016) อีกทั้งพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นดินทรายและร่วนเหนียวปนทรายมีความสามารถในการดูดซับธาตุโพแทสเซียมได้ต่ำ และดินทรายมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ควอตซ์ (Quartz) จึงไม่มีการจับตัวกันเป็นเม็ดดิน ทำให้ดินไม่มีโครงสร้าง มีการระบายน้ำดี ทำให้เกิดการชะละลายของธาตุอาหาร จึงมีผลทำให้ดินที่เคยอุดมสมบูรณ์นั้นเสื่อมคุณภาพไป อย่างเช่นพื้นที่ L1 เคยถูกน้ำท่วมจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ธาตุอาหารเกิดการชะละลายออกไป (ศิริณี และ บัญชา, 2556; วิจารณ์ และคณะ, 2558) ในขณะที่พื้นที่ที่ถูกบกรวนน้อย ในพื้นที่ N1 มีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับสูงมาก เนื่องจากพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่ยังไม่ได้ใช้ในการทำการเกษตร จึงมีธาตุโพแทสเซียมสมบูรณ์คงที่อยู่ในดิน และพื้นที่ N2 ในอดีตเป็นป่ารก้างมาก่อน แต่เมื่อระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาเจ้าของพื้นที่ได้ทำการถางป่าเพื่อทำนาข้าว ซึ่งทำได้เพียง 1-2 ปีเท่านั้น ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในดินจึงมิได้สูญเสียไปมากจากกิจกรรมทางการเกษตรส่งผลให้ดินยังคงความอุดมสมบูรณ์ อีกทั้งเคยมีการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยจากการปลูกข้าวจึงทำให้พื้นที่ N2 มีปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าพื้นที่ N1 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของโพแทสเซียมในที่สกัดได้ในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษานั้นมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบที่ต่างกัน ซึ่งจะผันแปรไปตามตำแหน่งของดินตามลักษณะภูมิประเทศ วัตถุต้นกำเนิดดิน ชนิดของดิน และขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ การจัดการดิน อัตราการใส่ปุ๋ย และช่วงระยะเวลาในการขังน้ำในนาข้าว จึงส่งผลให้ดินในแต่ละพื้นที่ที่มีปริมาณโพแทสเซียมและความแปรปรวนของดินที่แตกต่างกัน (สุภัทรา และคณะ, 2558; Yoothong et al., 1997; Rezapour et al.,

2010; Foroughifar et al., 2013; Bogunovic et al., 2014; Ozpinar, 2015; Gałka et al., 2016; Bogunovic et al., 2017; Denton et al., 2017; Guan et al., 2017; Behera et al., 2018)

ตารางที่ 4.1 สถิติเชิงพรรณนาของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	ชั้น จำแนก <sup>1/</sup>	ชุดดิน <sup>2/</sup>	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD <sup>3/</sup>	CV <sup>4/</sup>	ระดับความ แปรปรวน	ค่าความเบ้	ค่าความเบ้ (แปลงข้อมูลเป็นค่า log <sub>10</sub> )
			(— mg/kg —)				(%)			
พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย	N1	Don	100.07	427.4	167.6	57.53	34.31	ปานกลาง	2.43	1.27
	N2	Bpi	76.57	430.0	201.2	71.53	35.55	สูง	0.93	- 0.21
ใช้พื้นที่ มากกว่า 30 ปี	L1	Don	41.22	221.7	134.4	27.87	20.73	ปานกลาง	0.35	-
	L2	Don	50.03	227.8	107.0	38.42	35.91	สูง	0.89	-
	L3	Bpi	31.00	216.9	103.5	40.68	39.28	สูง	0.65	-

หมายเหตุ: <sup>1/</sup> N1 และ N2 คือ พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย และ L1, L2 และ L3 คือ พื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี, <sup>2/</sup> Don คือ ชุดดินดงยางเอน (Dong Yang En series) และ Bpi คือ ชุดดินบ้านไผ่ (Ban Phai Series), <sup>3/</sup> SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, <sup>4/</sup> CV คือ สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

## 4.2 การศึกษาความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยใช้ธรณีสถิติ

### 4.2.1 เซมิแวกเรียแกรมโมเดล

เซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละพื้นที่ศึกษาและพารามิเตอร์ที่ได้จากโมเดล (Nugget, Sill และ Range) แสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 จากเซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่นิยมใช้มีทั้งหมดด้วยกัน 4 โมเดล ซึ่งเซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้นจะพิจารณาจากค่า  $R^2$  ที่มีค่าสูงสุด และ RSS ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่าโมเดล Gaussian เหมาะสมกับพื้นที่ N1, L1 และ L3 มีค่า  $R^2 > 0.9$  หมายถึง เซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่เหมาะสมที่สุดนี้สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวนในพื้นที่ดังกล่าวมากกว่า 90% ในขณะที่พื้นที่ N2 และ L2 โมเดลที่เหมาะสมที่สุด คือ Spherical ซึ่งมีค่า  $R^2 > 0.6$  หมายถึง เซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่เหมาะสมดังกล่าวสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวนในพื้นที่ได้มากกว่า 60% ซึ่งผลจากเซมิแวกเรียแกรมโมเดลของทุกพื้นที่นี้สามารถนำไปทำการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging ได้ในลำดับถัดไป (Duffera et al., 2007)

### 4.2.2 คุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

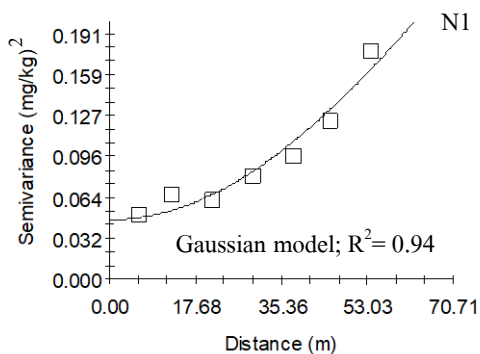
การอธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินสามารถใช้พารามิเตอร์ Nugget, Sill และ Range ที่ได้จากเซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่เหมาะสม โดยค่า Nugget คือความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด บ่งบอกถึงความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่างที่มีระยะห่างมากเกินไปหรือความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูล ค่า Sill คือค่าความแปรปรวนที่สูงที่สุด บ่งบอกถึงความแปรปรวนสูงสุดที่ข้อมูลเริ่มหมดความสัมพันธ์ และค่า Range/Range of influence คือระยะอิทธิพล บ่งบอกถึงระยะทางที่ข้อมูลเริ่มมีความเป็นอิสระต่อกันและสามารถใช้ค่านี้สำหรับกำหนดระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างได้ ซึ่ง Sumner (1999) และ IT Department (2001) ได้ระบุว่าระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างควรมีระยะ 1 ใน 4 ของ Effective range

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ Nugget, Sill และ Range ที่ได้จากเซมิแวกเรียแกรมโมเดลที่เหมาะสมที่สุด บ่งชี้คุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา เช่น ความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด ความแปรปรวนสูงสุด ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ มีความไม่สอดคล้องกันแม้แต่พื้นที่ที่มีระยะเวลาปลูกข้าวที่เท่ากัน

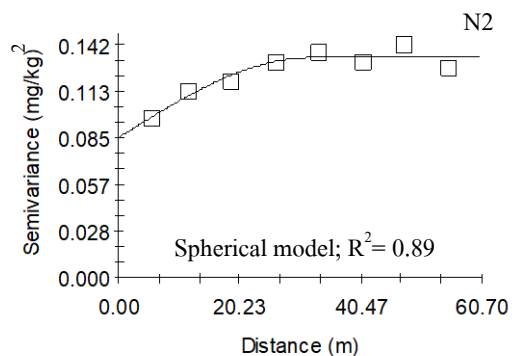
พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยในพื้นที่ N1 และ N2 มีความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด (Nugget) ใกล้เคียงกัน (Nugget = 0.04 และ 0.08 (mg/kg)<sup>2</sup> ตามลำดับ) แต่มีความแปรปรวนสูงสุด (Sill) แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ N1 มีความแปรปรวนสูงสุดมากกว่าพื้นที่ N2 (sill = 0.7 และ 0.13 (mg/kg)<sup>2</sup> ตามลำดับ) สำหรับระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่บ่งชี้จากค่า Nugget/Sill พบว่าในพื้นที่ N1 มีระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในระดับสูง (Nugget/Sill = 0.06) ในขณะที่พื้นที่ N2 มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในระดับปานกลาง (Nugget/Sill = 0.63) ค่า Effective range ซึ่งบ่งชี้ถึงระยะทางที่ข้อมูลหมดความสัมพันธ์กัน ในแต่ละพื้นที่มีระยะทางที่ไม่สอดคล้องกัน พบระยะ Effective range เท่ากับ 363 m และ 32 m ในพื้นที่ N1 และ N2 ตามลำดับ รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ในพื้นที่ N1 และ N2 มีลักษณะเป็นหย่อมๆ (Patchy) แตกต่างกันตามระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ และระยะ Effective range ที่ปรากฏบนแผนที่ไอโซแกรมที่เหมาะสมที่สุด โดยพื้นที่ N1 มีระยะ Effective range ยาวกว่าพื้นที่ N2 ดังนั้นลักษณะของการกระจายตัวของโพแทสเซียมในพื้นที่ N1 จึงมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ N2 ซึ่งมีปริมาณ โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ 76 - 430.05 mg/kg ดังแสดงในภาพ 4.2(ก) และ 4.2(ข) สำหรับระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ตามคำแนะนำของ Sumner (1999) และ IT Department (2001) มีระยะตั้งแต่ 8 m จนถึง 90 m

สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี ในพื้นที่ L1, L2 และ L3 มีความแปรปรวนในระยะทางที่สั้นที่สุด (Nugget) แตกต่างกัน (Nugget = 354, 379 และ 853 (mg/kg)<sup>2</sup> ตามลำดับ) และมีความแปรปรวนสูงสุด (Sill) สูงมาก (sill = 2,818 1,582 และ 3,605 (mg/kg)<sup>2</sup> ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของทั้งสามพื้นที่นั้นมีระดับสูง (Nugget/Sill > 0.12) เนื่องจากมีการใช้พื้นที่ทำการเกษตรเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดความแปรปรวนของโพแทสเซียมในดินที่สกัดได้ในดิน สำหรับค่า Effective range ในแต่ละพื้นที่มีระยะทางที่ไม่สอดคล้องกันเป็นอย่างมาก พบระยะ Effective range เท่ากับ 177 m 13 m และ 130 m ในพื้นที่ L1, L2 และ L3 ตามลำดับ รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ในพื้นที่ทั้งสามมีลักษณะการกระจายตัวเป็นหย่อมๆ โดยพื้นที่ L1 มีระยะ Effective range ยาวกว่าพื้นที่ L3 และ L2 ตามลำดับ ดังนั้นขนาดของการกระจายตัวของโพแทสเซียมจึงมีขนาดใหญ่ในพื้นที่ L1 รองลงมาคือ L3 และ L2 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ 30 - 227.82 mg/kg แสดงดังภาพที่ 4.2 (ค) - (จ) สำหรับระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี มีระยะตั้งแต่ 3 m จนถึง 44 m

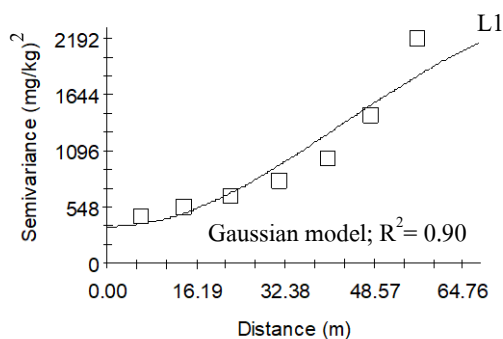
ความไม่สอดคล้องกันของคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่นี้เป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นของแต่ละพื้นที่ศึกษาที่ถูกควบคุมโดยปัจจัยที่เกิดจาก (1) ธรรมชาติ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และวัตถุต้นกำเนิดดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยควบคุมการเกิดดินที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของดิน เช่น สมบัติทางเคมีของดิน และเป็นตัวควบคุมการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งกายภาพ เคมี และชีวภาพในดิน รวมทั้งยังมีอิทธิพลต่อกระบวนการเพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง เคลื่อนย้าย และสูญเสีย วัสดุต่างๆ หรือธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดิน (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Bogunovic et al., 2017; Guan et al., 2017; Behera et al., 2018; Gao et al., 2019; Chena et al., 2020) และ/หรืออีกปัจจัยหนึ่งเกิดจาก (2) การกระทำของมนุษย์ เช่น วิธีการจัดการดินจากกิจกรรมทางการเกษตรของคนในพื้นที่ เช่น ชนิดหรือพันธุ์ของพืชที่ปลูก การไถพรวน อัตราการใส่ปุ๋ย และการชลประทาน เป็นต้น การกระทำของมนุษย์นี้เป็นผลทำให้เกิดการกร่อนดิน จึงทำให้ธาตุอาหารที่อยู่บริเวณหน้าดินถูกเคลื่อนย้ายไปเป็นผลให้ดินบริเวณนั้นขาดความอุดมสมบูรณ์รวมทั้งเกิดความแปรปรวนของธาตุอาหารในดินด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Bogunovic et al., 2017; Guan et al., 2017; Behera et al., 2018; Gao et al., 2019; Chena et al., 2020)



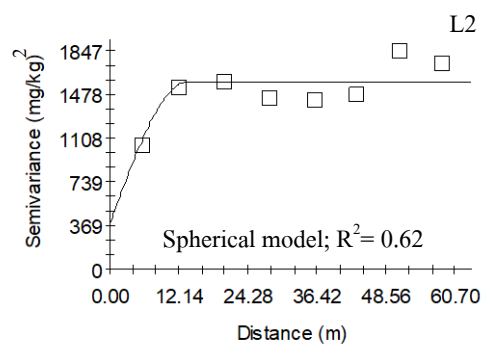
(ก)



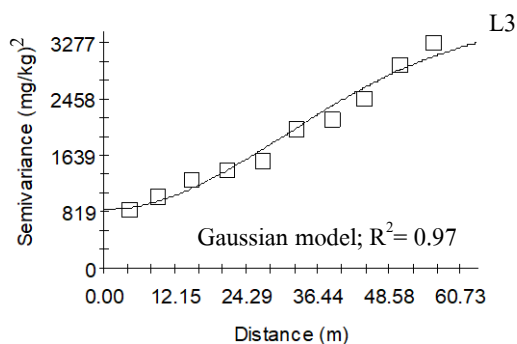
(ข)



(ค)



(ง)



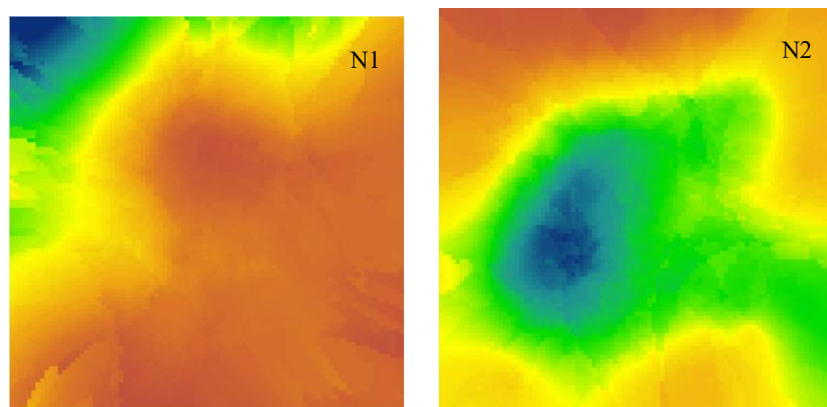
(จ)

ภาพที่ 4.1 เซมิแวนริโอแกรม โมเดลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในพื้นที่ศึกษาต่างๆ ตัวอักษร (ก) - (จ) แสดงถึงพื้นที่ N1, N2, L1, L2 และ L3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 เซมิแวนี ไอแกรม โมเดลและค่าพารามิเตอร์ของเซมิแวนี ไอแกรมของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ศึกษา

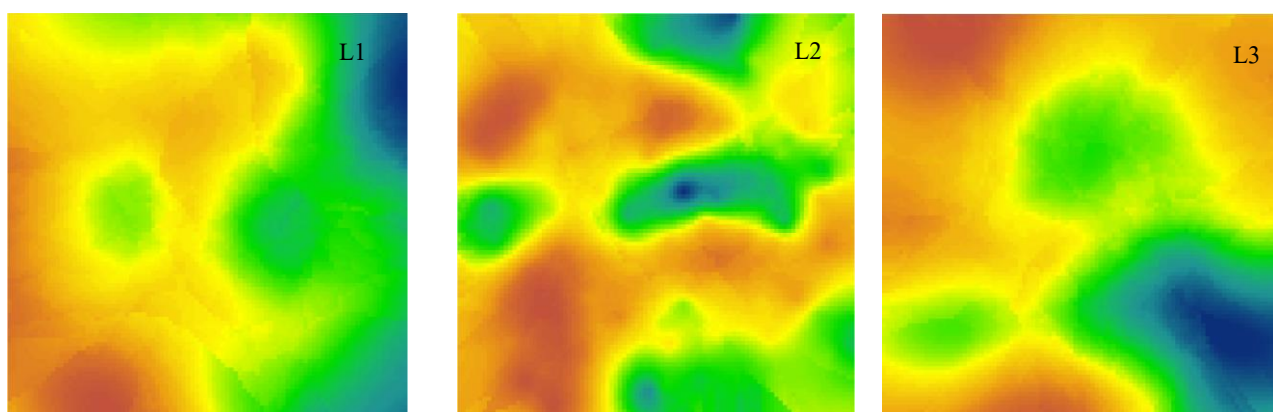
พื้นที่	ชั้น จำแนก	ชุดดิน	model	Nugget (mg/kg) <sup>2</sup>	Sill (mg/kg) <sup>2</sup>	Range/Range	Effective	ระยะห่างที่	Nugget/ Sill	ระดับ	(R <sup>2</sup> ) <sup>4/</sup>	RSS <sup>5/</sup>
						of influence <sup>1/</sup>	range <sup>2/</sup>	เหมาะสมในการ เก็บตัวอย่าง <sup>3/</sup>		ความสัมพัทธ์ เชิงพื้นที่		
						(————— m. —————)						
พื้นที่ที่ถูก รบกวนน้อย	N1	Don	Gaussian	0.04	0.70	209	363	90	0.06	สูง	0.94	6.27E-04
	N2	Bpi	Spherical	0.08	0.13	32	32	8	0.63	ปานกลาง	0.89	1.556E-04
ใช้พื้นที่ มากกว่า 30 ปี	L1	Don	Gaussian	354	2,818	102	177	44	0.12	สูง	0.90	229,612
	L2	Don	Spherical	379	1,582	13	13	3	0.23	สูง	0.62	149,801
	L3	Bpi	Gaussian	853	3,605	75	130	32	0.23	สูง	0.97	166,210

หมายเหตุ: <sup>1/</sup> “range” ใช้สำหรับโมเดล Spherical และ “range of influence” ใช้สำหรับ โมเดล Gaussian <sup>2/</sup> สำหรับโมเดล Spherical และ Gaussian ค่า effective range คูณด้วย 1 และ 1.732 ตามลำดับ <sup>3/</sup> ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง คือ effective range คูณด้วย ¼ <sup>4/</sup> R<sup>2</sup> คือ Coefficient of Determination <sup>5/</sup> RSS คือ Residual sum of square



(ก)

(ข)



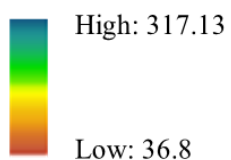
(ค)

(ง)

(จ)

คำอธิบายสัญลักษณ์

K (mg/kg)



ภาพที่ 4.2 แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินจากวิธีการ Kriging ตัวอักษร (ก) – (จ) แทนพื้นที่ N1, N2, L1, L2 และ L3 ตามลำดับ

### 4.3 ความถูกต้องของแผนที่ (Mapping accuracy)

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ได้จากวิธีการ Kriging ซึ่งใช้วิธีการ Cross-validation แบบ Leave-one-out โดยใช้ค่า Mean Prediction Error (MPE) และ Root Mean Square Prediction Error (RMSPE) ที่สามารถบ่งบอกถึงความเอนเอียงของข้อมูลและความผิดพลาดของแผนที่ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ได้จากวิธีการ Kriging ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าแผนที่ที่ได้จากวิธีการ Kriging ของทุกพื้นที่มีความเอนเอียงของข้อมูลและมีความผิดพลาดที่ได้จากการวิเคราะห์ผันแปรไปตามความแปรปรวนของข้อมูลระดับโพแทสเซียมที่พบในพื้นที่แต่ละแห่ง

แผนที่ของพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมน้อยในพื้นที่ N1 และ N2 มีค่า MPE ที่บ่งชี้ระดับความเอนเอียงของข้อมูลเท่ากับ 3.44 mg/kg และ 7.90 mg/kg ตามลำดับ และมีร้อยละ MPE (MPE%) เท่ากับ 2.05% และ 3.93% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแผนที่ที่ได้จาก Kriging ในพื้นที่ทั้งสองนี้มีค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (Under-estimated) น้อยกว่า 4% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมในพื้นที่ ในขณะที่ค่า RMSPE บ่งชี้ถึงความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีการ Kriging พบว่าในพื้นที่ N1 และ N2 มีค่าเท่ากับ 52.11 mg/kg และ 64.03 mg/kg ตามลำดับ และมีร้อยละ RMSPE (RMSPE%) ที่บ่งชี้ถึงความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากวิธี Kriging เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลเท่ากับ 31.07% และ 31.82% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่าโพแทสเซียมในพื้นที่ N1 และ N2 มีความเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมในพื้นที่ประมาณ 31.07% และ 31.52% ตามลำดับ

สำหรับแผนที่ของพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี ในพื้นที่ L1, L2 และ L3 มีค่า MPE เท่ากับ -3.07 mg/kg, 0.49 mg/kg และ 0.4 mg/kg ตามลำดับ และมีค่า MPE% เท่ากับ -2.28%, 0.46% และ 0.39% ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าแผนที่ที่ได้จากวิธีการ Kriging ในพื้นที่ L1 มีค่าพยากรณ์สูงกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (Over-estimated) ในขณะที่พื้นที่ L2 และ L3 มีค่าพยากรณ์ต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จริง (Under-estimated) สำหรับค่า RMSPE มีค่าเท่ากับ 28.95 mg/kg, 35.01 mg/kg และ 29.28 mg/kg ตามลำดับ และมีค่า RMSPE% เท่ากับ 21.53%, 32.73% และ 28.27% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่าโพแทสเซียมในพื้นที่ L1, L2 และ L3 มีความเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมในพื้นที่น้อยในพื้นที่ L1 รองลงมาคือ L3 และ L2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ด้วยวิธีการ Cross-validation แบบ Leave-one-out

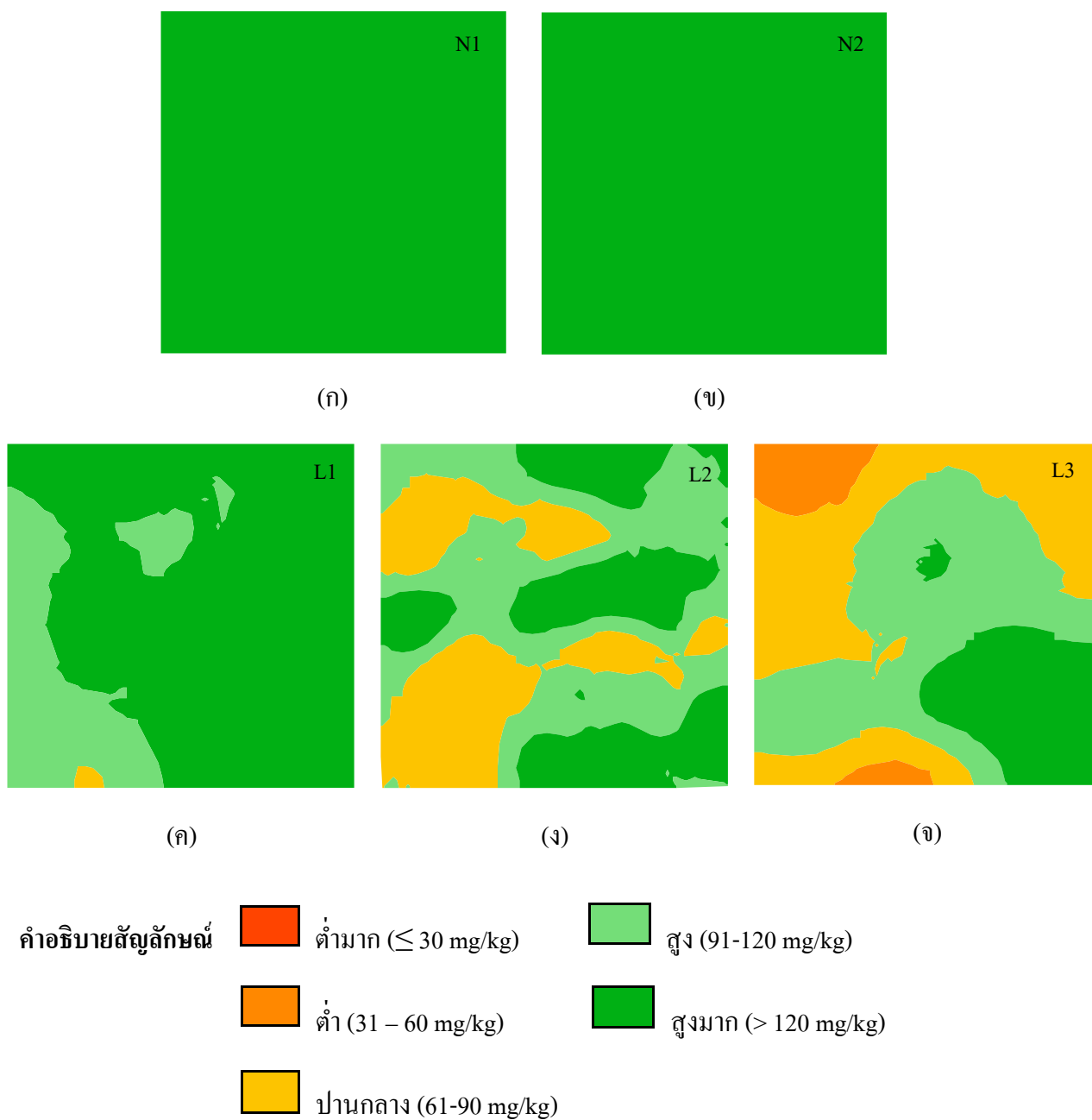
พื้นที่	ชั้นจำแนก	MPE <sup>1/</sup>		RMSPE <sup>2/</sup>	
		(mg/kg)	%	(mg/kg)	%
พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย	N1	3.44	2.05	52.11	31.07
	N2	7.90	3.93	64.03	31.82
ใช้พื้นที่มากกว่า 30 ปี	L1	-3.07	-2.28	28.95	21.53
	L2	0.49	0.46	35.01	32.72
	L3	0.40	0.39	29.28	28.27

หมายเหตุ: <sup>1/</sup>Mean Prediction Error. <sup>2/</sup>Root Mean Square Prediction Error.

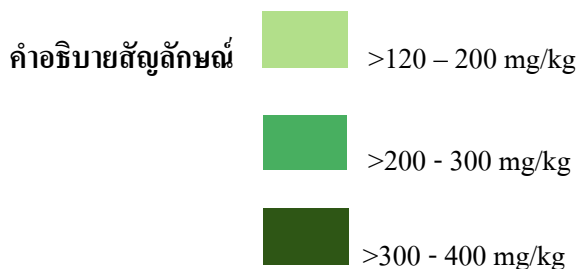
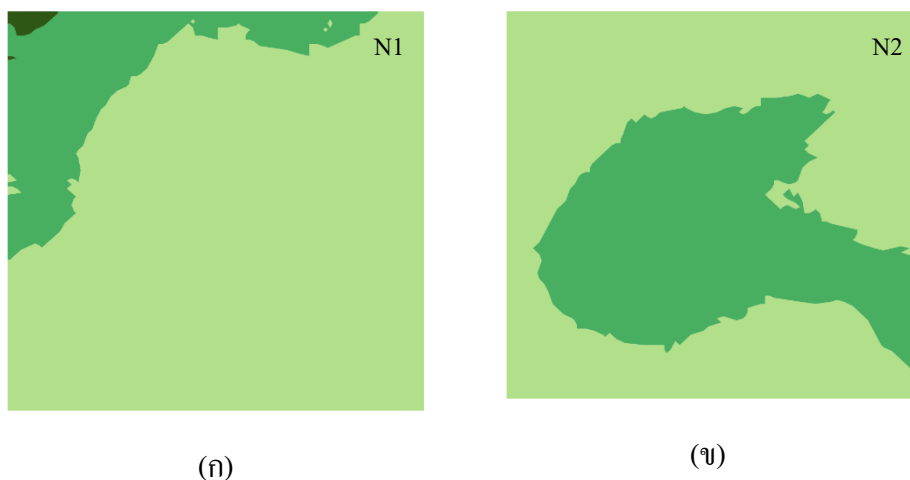
#### 4.4 แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

จากภาพที่ 4.3 แสดงแผนที่รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทรายใช้ปลูกข้าว ตามเกณฑ์การจำแนกของ เอิบ (2547) พบว่าพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ในพื้นที่ N1 และ N2 มีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในระดับสูงมาก ( $K > 120$  mg/kg) ทั่วทั้งพื้นที่ แสดงดังภาพที่ 4.3ก และ 4.3ข อนึ่งผู้วิจัยจึงได้ทำการจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มเติม โดยจำแนกออกเป็น 3 ระดับ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในพื้นที่ N1 และ N2 ได้แก่ มากกว่า 120 – 200 mg/kg, มากกว่า 200 – 300 mg/kg และมากกว่า 300 – 400 mg/kg ดังแสดงในภาพที่ 4.4ก และ 4.4ข

สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี พบว่าพื้นที่ L1 มีความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเล็กน้อย โดยแสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในระดับปานกลางพื้นที่ 11 m<sup>2</sup> ระดับสูงพื้นที่ 563 m<sup>2</sup> และระดับสูงมากพื้นที่ 1,926 m<sup>2</sup> (ภาพที่ 4.3ค) พื้นที่ L2 พบว่ามีความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเป็นอย่างมากกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ศึกษา แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในระดับปานกลางพื้นที่ 746 m<sup>2</sup> ระดับสูงพื้นที่ 1,101 m<sup>2</sup> และระดับสูงมากพื้นที่ 653 m<sup>2</sup> (ภาพที่ 4.3ง) พื้นที่ L3 พบว่ามีความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอย่างมากเช่นเดียวกัน โดยแสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ระดับต่ำพื้นที่ 216 m<sup>2</sup> ระดับปานกลางพื้นที่ 1,026 m<sup>2</sup> ระดับสูงพื้นที่ 1,153 m<sup>2</sup> และระดับสูงมากพื้นที่ 105 m<sup>2</sup> (ภาพที่ 4.3จ)



ภาพที่ 4.3 แผนที่แสดงความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นพิษของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตามเกณฑ์การจำแนกของ เอิบ (2547) ตัวอักษร (ก) – (จ) แทนพื้นที่ N1, N2, L1, L2 และ L3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 แผนที่การแบ่งระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมในดินในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ตัวอักษร (ก) แสดงถึงพื้นที่ N1 และ (ข) แสดงถึงพื้นที่ N2

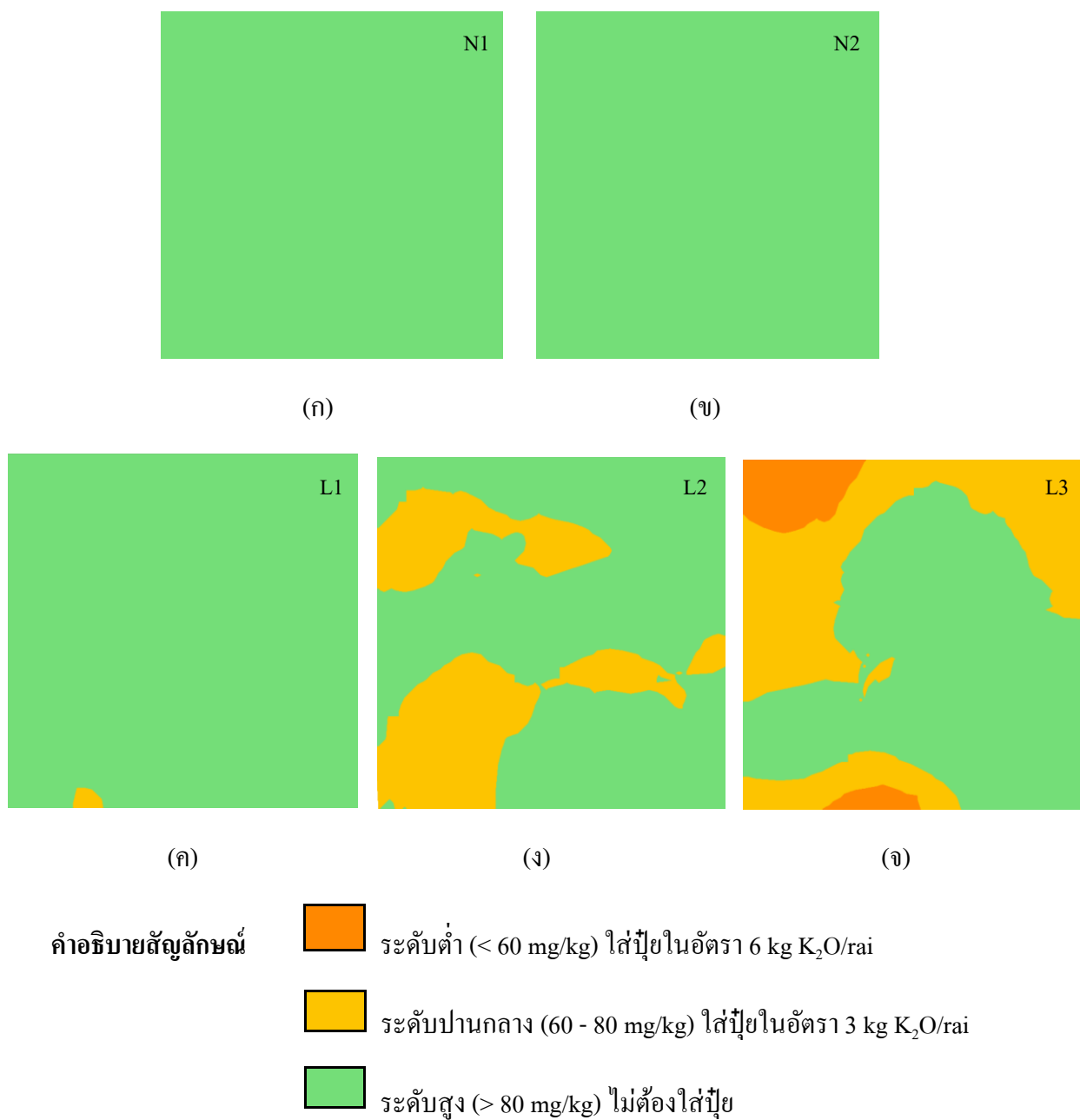
#### 4.5 อัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาตามค่าวิเคราะห์ดิน

จากผลการศึกษาข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการคำนวณปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในนาข้าวตามคำแนะนำของ กรมวิชาการเกษตร (2547) (ตารางที่ 3.4) ซึ่งกรมวิชาการเกษตร นั้นได้ทำการจำแนกระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (< 60 mg/kg) ระดับปานกลาง (60-80 mg/kg) และระดับสูง (> 80 mg/kg) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการจำแนกเป็นอัตราการใส่ปุ๋ยตามระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่วัดได้ของกรมวิชาการเกษตรในรูปแบบแผนที่ดังแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าพื้นที่ที่จำแนกเป็นพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย ทั้งพื้นที่ N1 และ N2 มีปริมาณ โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินปริมาณสูง ( $K > 80$  mg/kg) ทว่าทั้งพื้นที่ ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของข้าวดังนั้นในพื้นที่ทั้งสองนี้จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์เพิ่มเติม

ส่วนในพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี ในพื้นที่ L1 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับสูงพื้นที่ 2,489 m<sup>2</sup> และระดับปานกลางพื้นที่

11 m<sup>2</sup> ดังนั้นเกษตรกรควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์อัตรา 0.03 kg KCl ในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 4.5ค) พื้นที่ L2 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับสูงและระดับปานกลางพื้นที่ 1,754 m<sup>2</sup> และ 746 m<sup>2</sup> ตามลำดับ เกษตรกรควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ปริมาณ 2.33 kg KCl ในพื้นที่ดังกล่าว (ภาพที่ 4.5ง) และในพื้นที่ L3 พบว่ามีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินแปรปรวนสูงมาก มีค่าตั้งแต่ระดับสูงจนถึงต่ำ มีพื้นที่ 1,258 m<sup>2</sup> 1,026 m<sup>2</sup> และ 216 m<sup>2</sup> ตามลำดับ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ปริมาณ 3.21 kg KCl และปริมาณ 1.35 kg KCl ในพื้นที่ดังกล่าวตามลำดับ (ภาพที่ 4.5จ) รายละเอียดการคำนวณอัตราปุ๋ยดังแสดงในตารางที่ 4.4

ในทางปฏิบัติของเกษตรกรสำหรับพื้นที่ L1 เกษตรกรอาจไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยในพื้นที่ระดับปานกลาง เนื่องจากระดับนี้มีพื้นที่เพียง 11 m<sup>2</sup> เท่านั้น แต่ถ้าหากการเจริญเติบโตของข้าวในพื้นที่ดังกล่าวผิดปกติ ควรใส่ปุ๋ยในอัตราที่แนะนำข้างต้น สำหรับพื้นที่ L3 เกษตรกรอาจใส่ปุ๋ยในพื้นที่ระดับต่ำตามอัตราของระดับปานกลางได้ เนื่องจากบริเวณทั้งสองระดับอยู่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าหากปริมาณโพแทสเซียมในดินไม่เพียงพอที่พืชนำไปใช้และทำให้ผลผลิตข้าวลดลงควรใส่ปุ๋ยตามอัตราที่ได้แนะนำไปในข้างต้น



ภาพที่ 4.5 แผนที่แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินและอัตราการปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2547) ตัวอักษร (ก) – (จ) แทนพื้นที่ N1, N2, L1, L2 และ L3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

อัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม คลอไรด์ตามค่าวิเคราะห์ดิน <sup>1/</sup>	พื้นที่ศึกษา <sup>2/</sup>									
	N1		N2		L1		L2		L3	
	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	อัตราปุ๋ย (kg KCl)	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	อัตราปุ๋ย (kg KCl)	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	อัตราปุ๋ย (kg KCl)	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	อัตราปุ๋ย (kg KCl)	พื้นที่ (m <sup>2</sup> )	อัตราปุ๋ย (kg KCl)
น้อยกว่า 60 mg/kg อัตรา 6 kg K <sub>2</sub> O/rai	-	-	-	-	-	-	-	-	216	1.35
60-80 mg/kg อัตรา 3 kg K <sub>2</sub> O/rai	-	-	-	-	11	0.03	746	2.33	1,026	3.21
มากกว่า 80 mg/kg ไม่ต้องใส่	2,500	-	2,500	-	2,489	-	1,754	-	1,258	-
พื้นที่รวม (ตร.ม.)	2,500		2,500		2,500		2,500		2,500	

หมายเหตุ: <sup>1/</sup>อัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ตามค่าวิเคราะห์ดินจากเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2547) <sup>2/</sup>พื้นที่ศึกษา N1 และ N2 คือ พื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย และ L1, L2 และ L3 คือ พื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินทรายใช้ปลูกข้าวโดยใช้วิธีสถิติในพื้นที่ที่มีระยะเวลาการใช้ที่ดินแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย จำนวน 2 แห่ง (ชั้นจำแนก N1 และ N2) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี จำนวน 3 แห่ง (ชั้นจำแนก L1, L2 และ L3) สามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

##### 5.1.1 ระดับความเป็นประโยชน์และความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้

##### ในดิน

จากการศึกษาระดับความเป็นประโยชน์และความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินโดยสถิติเชิงพรรณนา พบว่ามีระดับความเป็นประโยชน์และความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินแตกต่างกันทุกแห่ง ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยมีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ระดับปานกลางถึงสูงมาก (76.57 – 430.0 mg/kg) โดยพื้นที่ N1 และ N2 มีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สูงมาก (167.69 และ 201.20 mg/kg ตามลำดับ) และพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี มีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ระดับต่ำถึงสูงมาก (31.00 – 227.8 mg/kg) โดยพื้นที่ L1 แตกต่างจากพื้นที่ L2 และ L3 เนื่องจากมีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สูงมาก (134.4 mg/kg) ในขณะที่พื้นที่ L2 และ L3 อยู่ในเกณฑ์สูง (107.0 และ 103.5 mg/kg ตามลำดับ) ส่วนความแปรปรวนของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่าพื้นที่ทั้งสองระยะเวลาการปลูกข้าวมีความแปรปรวนอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (CV>15%)

### 5.1.2 คุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดิน

การใช้สถิติเพื่ออธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินแสดงให้เห็นว่าเซมิเวรีโอแกรมโมเดลที่สอดคล้องกับข้อมูลโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินของแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าโมเดล Gaussian เหมาะสมกับพื้นที่ N1, L1 และ L3 และโมเดล Spherical เหมาะสมกับพื้นที่ N2 และ L2 โดยเซมิเวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมดังกล่าวสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับความแปรปรวนในทุกพื้นที่มากกว่า 60% ( $R^2 > 0.6$ )

สำหรับพารามิเตอร์ที่ได้จากเซมิเวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมที่สุด (Nugget, Sill และ Range) นำมาใช้อธิบายคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ ซึ่งได้แก่ ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน และรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ พบว่าคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษามีความไม่สอดคล้องกันแม้แต่พื้นที่ที่มีระยะเวลาปลูกข้าวที่เท่ากัน

ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในพื้นที่ศึกษาทุกแห่งมีความแตกต่างกัน พื้นที่ N1, L1, L2 และ L3 มีระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูงซึ่งเป็นผลจากปัจจัยภายใน ในขณะที่พื้นที่ N2 มีระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ปานกลางเป็นผลจากปัจจัยภายในและภายนอกพร้อมกัน

สำหรับระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดินพบว่าทุกพื้นที่มีระยะห่างที่เหมาะสมแตกต่างกันแม้กระทั่งในพื้นที่ที่มีระยะเวลาการปลูกข้าวที่เท่ากัน โดยพื้นที่ปลูกข้าวที่ใช้พื้นที่มากกว่า 30 ปี มีระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดิน (3 m จนถึง 44 m) ในระยะสั้นที่กว่าพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อย (8 m จนถึง 90 m) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ระยะห่างที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่างดินแตกต่างกันในการศึกษานี้เนื่องจาก (1) เซมิเวรีโอแกรมโมเดลที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ และ (2) ระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะเนื้อดิน ชุดดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดิน และกิจกรรมทางการเกษตร

สำหรับแผนที่รูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินที่ได้จากวิธีการประมาณค่าในช่วงแบบ Kriging มีความถูกต้องในระดับที่น่าเชื่อถือ ซึ่งในแต่ละพื้นที่ศึกษามีรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินลักษณะเป็นหย่อมๆขึ้นอยู่กับระดับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และค่า Effective range ที่ไม่สอดคล้องกันเป็นผลทำให้ขนาดของ Patch ในแต่ละพื้นที่ศึกษาแตกต่างกัน ซึ่งการกระจายตัวของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของพื้นที่นั้นๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและ/หรือการกระทำของมนุษย์

### 5.1.3 แผนที่แสดงรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินและคำแนะนำอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่ศึกษาตามค่าวิเคราะห์ดิน

ในพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยทั้ง 2 พื้นที่ (N1 และ N2) แสดงระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับสูง ( $K > 80$  mg/kg) ทั่วทั้งพื้นที่ เมื่อคำนวณปริมาณปุ๋ยที่จะใส่เข้าไปในนาข้าวตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร ในพื้นที่นี้จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ย เนื่องจากระดับโพแทสเซียมมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของข้าว ในขณะที่พื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี ทั้ง 3 พื้นที่ (L1, L2 และ L3) แสดงการกระจายตัวของระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินลักษณะเป็นหย่อมๆ ซึ่งปรากฏระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงสูงในบริเวณพื้นที่ศึกษาเมื่อจำแนกและคำนวณปริมาณปุ๋ย พบว่ามีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเนื่องจากมีระดับความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินระดับต่ำและระดับปานกลาง ( $K < 80$  mg/kg) จึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร (2547) ในอัตราที่ได้คำนวณไว้เพื่อให้ข้าวเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์

จากคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรระบุว่าควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นปุ๋ยรองพืชมก่อนปักดำหรือก่อนปลูกข้าว หรือใส่แบบคลุกเคล้าให้เข้ากับดินก่อนปลูก เนื่องจากช่วงระยะดังกล่าวยังไม่มีการขังน้ำในนาข้าว ปุ๋ยที่ใส่จะไม่ละลายน้ำและไหลไปยังบริเวณอื่น ทั้งนี้ได้มีการแนะนำมาตรการในการเพิ่มธาตุโพแทสเซียมในดินโดยการที่ไม่เผาตอซังและฟางข้าว แต่นำฟางข้าวที่เหลืออยู่จากการเกี่ยวเกี่ยวข้าวมาคลุมพื้นดินไว้ ซึ่งมาตรการนี้จะสามารถเพิ่มระดับโพแทสเซียมในดินได้ รวมทั้งเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินอีกด้วย นอกจากนี้เกษตรกรยังสามารถปรับปรุงดินด้วยวิธีอื่นๆ ได้โดยปุ๋ยพืชสด เป็นการปลูกพืชหมุนเวียน เช่น ปลูกถั่วเขียว ถั่วเหลือง ถั่วโสน และปอเทือง เป็นต้น เพื่อให้ดินที่มีลักษณะเนื้อหยาบได้มีการดูดซับโพแทสเซียมได้ดีขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ควรมีการศึกษาระดับความลึกของดินที่ต่างกัน เช่น ดินชั้นไทรพรวนหรือดินชั้นบนลึกไม่เกิน 30 cm (topsoil) และชั้นดินล่างใต้ชั้นไทรพรวนจนถึงระดับความลึก 60 cm (subsoil) เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันให้ผลการวิจัยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และควรมีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณธาตุโพแทสเซียมในดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะเนื้อดิน ชุกดิน ระยะเวลาการใช้ที่ดิน และกิจกรรมทางการเกษตร

(2) สำหรับการศึกษานอนาคตควรมีการศึกษาเคมีแวนิโอแกรมทั้งในแบบรวมทิสและแบบแยกทิส ซึ่งได้แก่ ทิสเหนือ-ใต้, ทิสตะวันออก-ตะวันตก, ทิสตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และทิสตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ เพื่อให้ได้ข้อมูลคุณลักษณะความแปรปรวนเชิงพื้นที่ที่มีผลในทิสทางต่างๆ และมีการประยุกต์ใช้เทคนิคทางธรณีสัณติร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

(3) ในอนาคตหากนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นซึ่งต้องเก็บตัวอย่างจำนวนมากและพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้น อาจต้องมีการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์มาใช้ เช่น เซนเซอร์วัดระดับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในดิน และค่าการนำไฟฟ้า เพื่อประหยัดงบประมาณในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ

(4) ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการและนักส่งเสริมการเกษตรเพื่อแนะนำเกษตรกรเจ้าของพื้นที่นำไปใช้อย่างถูกต้อง อีกทั้งข้อมูลนี้ยังสามารถส่งต่อให้กับหน่วยงานที่ใช้เทคโนโลยีทางการจัดการพื้นที่เกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) โดยประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีที่มีจีพีเอส (GPS) เช่น อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) หรือ โดรน (Drone) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำเกษตรให้แม่นยำมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2559. องค์ความรู้เรื่องข้าว เวอร์ชัน 3. (สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2563) แหล่งที่มา:  
<http://www.ricethailand.go.th/rkb3/>

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. ความรู้พื้นฐานด้านทรัพยากรดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

\_\_\_\_\_. 2547. การจัดการดินทราย. คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานการและจัดทำเอกสาร  
อนุรักษ์ดินและน้ำ และการจัดการดิน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

\_\_\_\_\_. 2550. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนา  
ที่ดิน เรื่องการปรับปรุงดินทราย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

\_\_\_\_\_. 2558. สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กระทรวงเกษตรและ  
สหกรณ์.

\_\_\_\_\_. 2561ก. แผนบริหารจัดการทรัพยากรดินปัญหาของประเทศไทย ระยะ20ปี (2561-  
2580). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

\_\_\_\_\_. 2561ข. ข้อมูลการใช้ที่ดิน. (สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2563) แหล่งที่มา: [http://agri-  
map-online.moac.go.th/](http://agri-map-online.moac.go.th/)

กรมวิชาการเกษตร. 2545. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวนาชลประทาน. กระทรวงเกษตรและ  
สหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1.  
สถาบันวิจัยข้าว, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. ลักษณะและสมบัติของกลุ่มชุดดิน. กระทรวงเกษตรและ  
สหกรณ์.

คมสัน ศิริวงศ์วัฒนา เสาวนุช ถาวรพฤษย์ เอิบ เขียวรีนรมณ์ และ สุมิตรา วัฒนา. 2561. การประเมิน  
สมบัติดินบางประการด้วยสถิติเชิงพื้นที่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำปางชู ภาค  
ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. เกษตรพระจอมเกล้า. 60-69.

- จักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2556. สถานะโพแทสเซียมในดินที่ดอนและดินที่ลุ่มที่ใช้ปลูกยางพาราใน  
จังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- จุฑามาศ ไกรเพิ่ม พงศพันธุ์ เรียรศิริธู และ บำเพ็ญ เขียวหวาน. 2557. การจัดการดินและปุ๋ยตาม  
ค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อการผลิตข้าวของเกษตรกร ตำบลกระเบื้องใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัด  
นครราชสีมา. การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4  
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- จรัส ไปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- ฐาปนีย์ มีชำนาญ ธเนศร์ สมบูรณ์ และ วิษุวัตต์ แต่สมบัติ. 2561. การประเมินเทคนิคการประมาณ  
ค่าฝนร่วมกับข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศเชิงตัวเลขในกลุ่มน้ำตาปี. วารสารวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 13(2): 141-152.
- ปัญญา ส่งเสริม. 2559. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมระหว่างกระบวนการหมัก:  
การเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยหมักมูลหมูและปุ๋ยหมักมูลไก่. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร  
มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- ปัทมา วิทยากร. 2547. ความอุดมสมบูรณ์ของดินชั้นสูง. ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- เพ็ญประไพ ภูทอง ปุณยนุช รุธิรโก พชรินทร์ เสริมการดีก จิตนพา วุฒบัว นัฐพงษ์ พวงแก้ว และ  
เสาวนีย์ อนุชาญ. 2558. การคาดการณ์พื้นที่เกิดอุทกภัยในเขตเทศบาลเมืองสะเดา ตำบล  
สะเดา อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา. การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6. 26  
มิถุนายน 2558. มหาวิทยาลัยหาดใหญ่. สงขลา.
- พันธุ์ลพ หัตถโกศล. 2540. ธรณีสถิติ. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- พรทิพย์ โปนตุแสง เริงศักดิ์ กตเวทิน เกริก ปั้นหน่งเพชร และ สุนันทา กิ่งไพบูลย์. 2556. การศึกษา  
ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของค่าการนำไฟฟ้าในพื้นที่ดินภายใต้อิทธิพลของเกลือในภาค  
ตะวันออกเฉียงเหนือ: ระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างดิน. แก่นเกษตรฉบับ  
พิเศษ 41(2): 129-136.
- ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- ขงยุทธ โอสดสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต สงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วุฒิพันธุ์ วงษ์มงคล. 2546. การประยุกต์ใช้วิธีธรณีสถิติในการศึกษาค่านำไฟฟ้าของชั้นดินในสนาม บริเวณอำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- วิภาวรรณ อินทร์สมบูรณ์ อรรถนพ พุทโส ชนชกฤต กลิ่นหวล และ ธัญชรัตน์ จิตอรวรรณ. 2558. ลักษณะและสมบัติของดินทรายชุดดินบ้านไผ่ภายใต้การใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 2(3): 56-63
- ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิคมวิทยา. 2561. สภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2561. (สืบค้นเมื่อ 5 พฤษภาคม 2563) แหล่งที่มา: <http://www.climate.tmd.go.th/site/index>
- ศิราณี วงศ์กระจ่าง และ บัญชา รัตนีทุ. 2556. การจัดการดินทรายจัด เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์. ฉบับพิเศษ: 184 -194.
- สุทิน ชนะบุญ. 2560. สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านสุขภาพเบื้องต้น. (สืบค้นเมื่อ: 8 มิถุนายน 2563) แหล่งที่มา: <http://www.kkpho.go.th/i/index.php/component/attachments/download/1927>
- สุภัทรา หลวงทะ ฉัฐพล จิตมาตย์ และ เสาวนุช ฉาวรพฤษ. 2558. การประเมินศักยภาพทางการเกษตรของดินเวอร์ทิซอลส์ที่ใช้ปลูกข้าวของประเทศไทย. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 2(4): 40-51.
- สัมพันธ์ ฤทธิเดช. 2559. การประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่. เอกสารประกอบการสอนวิชาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- สุรเดช จินตกานนท์. 2530. คำบรรยายวิชาธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุรศักดิ์ จันทร์โสม เริงศักดิ์ กตเวทิน และ เกริก ปั่นหน่งเพชร. 2555. คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญบางประการ ของดินภายใต้อิทธิพลของเกลือในจังหวัดขอนแก่น. เก่นเกษตร 40: 259-263
- สุรศักดิ์ จันทร์โสม. 2556. ความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าและสัดส่วนการดูดซับโซเดียมของดินภายใต้อิทธิพลของเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

- สายชล สันสมบูรณ์ทอง. 2555. สถิติเบื้องต้น. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ.
- สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2557. ชุดดินภาคอีสาน ความรู้พื้นฐานเพื่อการเกษตร. (สืบค้นเมื่อ: 8 เมษายน 2563) แหล่งที่มา: <https://www.ldd.go.th/www/files/79828.pdf>
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2533. ดินของประเทศไทย ลักษณะการกระจายตัวและการใช้. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรีนรมย์. 2547. คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุษา นรสิงห์ สุภิมา ธนะจิตต์ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ เอิบ เขียวรีนรมย์. 2560. ความแปรปรวน และศักยภาพของดินที่ใช้ปลูกข้าวหอมมะลินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เก่นเกษตร 45: 121-132
- อำนาจ สุวรรณฤทธิ. 2525. ความสัมพันธ์ระหว่างดินกับพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Behera, S. K. , and AK. Shukla. 2015. Spatial distribution of surface soil acidity electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. *Land Degrad. Dev.* 26: 71–79.
- Behera, S.K., R.K. Mathura, A.K. Shuklab, K. Suresha, and C. Prakash. 2018. Spatial variability of soil properties and delineation of soil management zones of oil palm plantations grown in a hot and humid tropical region of southern India. *Catena.* 165: 251-259.
- Bhunja, G.S., P.K. Shit, and R. Maiti. 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *J. Saudi Soc.* 17: 114-126.
- Bhunja, G.S., P.K. Shitb, and R. Chattopadhyay. 2019. Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). *Ann. Agrar. Sci.* 16:436-443.

- Blanchet, G., Z. Libohova, S. Joost, N. Rossier, A. Schneider, B. Jeangros, and S. Sinaj. 2017. Spatial variability of potassium in agricultural soils of the canton of Fribourg, Switzerland. *Geoderma*. 290: 107–121.
- Bogunovic, I., P. Pereira, and E. Brevik. 2017. Spatial distribution of soil chemical properties in an organic farm in Croatia. *Sci. Total Environ.* 584–585: 535–545.
- Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press, New York
- Clark I. 1982. *Practical Geostatistics*. London: Applied Science Publishers.
- Clark I. 2001. *Practical Geostatistics*. Geostokos Limited, Alloa Business Centre, Alloa.
- De Paz, J.M., C. Albert, F. Visconti, M.G. Jiménez, F. Ingelmo, and M.J. Molina. 2015. A new methodology to assess the maximum irrigation rates at catchment scale using geostatistics and GIS. *Precis. Agric.* 16(5): 505–531.
- Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient disorders & nutrient management*. Handbook series. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute.
- Doll, E.C., and R.E. Lucas. 1973. Testing Soil for Potassium, Calcium, and Magnesium. In L.M. Walsh & J.D. Beaton (eds.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Revised Edition. American Society of Agronomy Inc., Wisconsin, Madison, 133-151.
- Duan, L., L. Zhenwei, X. Hongxia, L. Zhiming, Z. Liang, and Z. Qing. 2020. Large-scale spatial variability of eight soil chemical properties within paddy fields. *Catena*. 188: 104350.
- Duffera, M., J.G. White, and R. Weise. 2007. Spatial variability of southeastern US coastal plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma*. 137: 327-339.
- Foroughifar, H., A.A. Jafarzadeh, H. Torabi, A. Pakpour, and M. Miransari. 2013. Using geostatistics and geographical information system techniques to characterize spatial variability of soil properties including micronutrients. *Commun Soil Sci Plant Anal.* 44 (8): 1273–1281.

- Fraser, M., D. Davenport, B. Bartel, and N. Wilhelm. 2016. Overcoming constraints on sandy soils - amelioration strategies to boost crop production GRDC Update paper.
- Gałka, B., C. Kabała, A. Karczewska, and J. Sowiński. 2016. Variability of soil properties in an intensively cultivated experimental field. *Soil Sci. Annu.* 67, 10–16.
- Gamma Designed Software. 2008. *Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell: Michigan.
- Gao, X., Y. Xiao, L. Deng, L. Qi-quan, W. Chang-quan, L. Bing, D. Ou-ping, and Z. Min. 2019. Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *J. Integr. Agric.* 18(2): 279–289.
- Göl, C., S. Bulut, and F. Bolat. 2017. Comparison of different interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon and some soil properties in the Black Sea backward region of Turkey. *J. Afr. Earth Sci.* 134: 85–91.
- Gorai, T., N. Ahmed, A.K. Patra, R.N. Sahoo, A. Sarangi, M.C. Meena, and R.K. Sharma. 2015. Site Specific Nutrient Management of an Intensively Cultivated Farm Using Geostatistical Approach. p. 87:2477-488 in *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: biological sciences 2017*.
- Guan, F., M. Xia, X. Tang, and S. Fan. 2017. Spatial variability of soil nitrogen, phosphorous and potassium contents in Moso bamboo forests in Yong'an City, China. *Catena.* 150:161–172.
- Heege, H.J. 2013. *Precision in Crop Farming*. Springer Dordrecht, The Netherlands.
- Holthusen, D., S. Peth, and R. Horn. 2010. Impact of potassium concentration and matric potential on soil stability derived from rheological parameters. *Soil Tillage Res.* 111: 75–85.
- Houa, W., X. Xinxin, L. Xiaokun, R.K. Muhammad, Y. Jinyao, R. Tao, C. Rihuan, and L. Jianwei. 2019. Interactive effects of nitrogen and potassium on: Grain yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of rice in low potassium fertility soil in China. *Field Crops Res.* 236: 14-23.

- IT Department. 2001. ILWIS 3.0 Academic User's Guide. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC): Enschede.
- Jin, J., and C. Jiang. 2002. Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the P.R. China. *Comput Electron Agric.* 36 (2-3): 165-172.
- Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito, J.M. Pena- Barragan, and L. Garcia-Torres. 2005. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *Eur J.Agron.* 23: 279–289.
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, third ed. Academic Press, San Diego.
- Oliver, M.A., and R. Webster. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena.* 113: 56-69.
- Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami, and W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.* 126: 203–234.
- Ozpinar, S., and A. Ozpinar. 2015. Tillage effects on soil properties and maize productivity in western Turkey. *Arch. Agron. Soil Sci.* 61: 1029–1040.
- Panday, D., R.B. Ojha, D. Chalise, S. Das, and B. Twanabasu. 2019. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food Agric.* 5: 1600460.
- Phontusang, P. 2016. *Improving Salt-affected Soils Mapping in Northeast Thailand*. Ph D. Thesis. Khon Kaen University, Khon Kaen.
- Phontusang, P., R. Katawatin, K. Pannangpetch, R. Lerdsuwansri, S. Kingpaiboon, and K. Wangpichet. 2018. Field-scale spatial variability of electrical conductivity of the inland, salt-affected soil of Northeast Thailand. *Walailak.* 15: 341 –355.
- Plaster, E.J. 2009. *Soil Science and Management*. 5th Edition. Delmar Pub, New York.
- Rezapour, S., A. Samadi, A.A. Jafarzadeh, and S.H. Oustan. 2010. Impact of clay mineralogy and landscape on potassium forms in calcareous soils, Urmia region. *J. Agric. Sci. Technol.* 12: 495-507.

- Römheld, V., and E.A. Kirkby. 2010. Research on potassium in agriculture: needs and prospects  
Plant Soil. 335: 155-180.
- Sahrawat, K.L. 2016. How fertile are semi-arid tropical soils. *Curr. Sci.* 100(9): 1671–1674.
- Schroeder, D. 1978. Structure and weathering of potassium containing minerals. Potassium in the  
Soil/ Plant Root System. Presented at the Proceedings of the 11th Congress of the  
International Potash Institute. International Potash Institute, Basel, Switzerland. 43–63.
- Sparks, D.L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Adv Soil Sci.* 6: 1–63.
- Sumner, M.E. 1999. Handbook of Soil Science. CRC press: New York.
- Sumner, M.E. 2000. Handbook of Soil Science. CRC Press, Washington D.C.
- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2006.  
National soil survey handbook, soil properties, and qualities. Source:  
<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home>. 20 January 2020
- Van Olphen, H. 1997. An introduction to clay colloid chemistry. Wiley, New York.
- Wang, J., R. Yang, and Z. Bai. 2015. Spatial variability and sampling optimization of soil organic  
carbon and total nitrogen for Minesoils of the Loess Plateau using geostatistics. *Ecol. Eng.*  
82: 159-164.
- Webster, R., and M.A. Oliver. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Son  
Ltd., West Sussex.
- Wu, L., W. Ma, C. Zhang, L. Wu, W. Zhang, R. Jiang, F. Zhang, Z. Cui, and X. Chen. 2013. Current  
potassium-management status and grain-yield response of Chinese maize to potassium  
application. *Plant Nutr. Soil Sci.* 176: 441-449.
- Wu, C., J. Huangc, H. Zhud, L. Zhange, B. Minasnyb, B.P. Marchantf, and A.B. McBratney. 2019.  
Spatial changes in soil chemical properties in an agricultural zone in southeastern China  
due to land consolidation. *Soil Tillage Res.* 187: 152-160.
- Yanai, J., S. Nakata, S. Funakawa, E. Nawata, R. Katawatin, T. Tulaphitak, and T. Kosaki. 2007.  
Evaluation of nutrient Availability of sandy soil in Northeast Thailand with references to  
growth, yield and nutrient uptake by maize. *Jpn. J. Trop. Agr.* 51(4): 169-176.

- Yang, F., G. Zhang, X. Yin, and L. Zhijun. 2011. Field-scale spatial variation of saline-sodic soil and its relation with environmental factors in Western Songnen Plain of China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8: 374-387.
- Yawson, D.O., P.K. Kwakye, F.A. Armah, and K.A. Frimpong. 2011. The dynamics of potassium (K) in representative soil series of Ghana. *Res. J. Agric. & Biol. Sci.* 6: 48-55.
- Ye, T., Y. Li, J. Zhang, W. Hou, W. Zhou, J. Lu, and X. Li. 2019. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.). *Glob Ecol Conserv.* 20: e007532
- Yoothong K., L. Moncharoen, P. Vijarnson, and H. Eswaran. 1997. Clay Mineralogy of Thai Soils. *Appl. Clay Sci.* 11: 357-371.
- Yuan, L., Z. Zhang, X. Cao, S. Zhu, X. Zhang, and L. Wu. 2014. Responses of rice production, milled rice quality and soil properties to various nitrogen inputs and rice straw incorporation under continuous plastic film mulching cultivation. *Field Crops Res.* 155: 164–171.
- Zhang, H., M. Xu, X. Shi, Z. Li, Q. Huang, and X. Wang. 2010. Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 88: 341-349.
- Zörb, C., M. Senbayram, and E. Peiter. 2014. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *J. Plant Physiol.* 171: 656–669.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

ข้อมูลลักษณะและสมบัติของชุดดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลักษณะและสมบัติของชุดดินทรายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีด้วยกันทั้งหมด 40 ชุดดิน แต่ละชุดดินมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ วัตถุประสงค์กำเนิดดิน (สำนักสำรวจดิน และวิจัยทรัพยากรดิน, 2557) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ตารางภาคผนวกที่ ก1 ลักษณะและสมบัติของชุดดินกุลาร่องไห้

ชุดดินกุลาร่องไห้ (Kula Ronghai series: Ki)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีเทาหรือสีเทาปนชมพู ซึ่งเป็นชั้นสะสมประจุ โขเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ มักพบจุดประสีน้ำตาล สีเหลืองปนน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ในฤดูแล้งจะมีคราบเกลือลอยน้ำที่ผิวดิน ในดินล่างลึกกว่า 1 m ลงไป เป็นดินร่วน สีเทาหรือสีเทาปนเขียวหรืออาจพบดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีเทาปนชมพูหรือสีน้ำตาลอ่อน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.0-7.0) ในดินบนและเป็นด่างเล็กน้อยถึงเป็นด่างจัด (pH 7.5-8.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

#### ตารางภาคผนวกที่ ก2 ลักษณะและสมบัติของชุดดินเขมราฐ

ชุดดินเขมราฐ (Khemarat series: Kmr)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลอ่อน และเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแข็ง สีเทาปนชมพูหรือสีเทาในดินล่างลึกลงไป ช่วงเปลี่ยนระหว่างดินร่วนเหนียวปนทรายเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแข็งจะเปลี่ยนโดยทันที ภายในความลึก 100 cm จากผิวดิน มักพบจุดประสีแดงและสีลาแดงอ่อนภายใน 150 cm จากผิวดิน จะพบชั้นหินผุและหินพื้น (Weathering siltstone และ siltstone) ที่ระหว่างความลึก 100-150 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก3 ลักษณะและสมบัติของชุดดินคำบง**

ชุดดินคำบง (Khambong series: Kg)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลี้กมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วนและเปลี่ยนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างลี้กลงไป มีสีน้ำตาล ซึ่งเป็นชั้นสะสมอนุภาคดินเหนียวและอาจพบจุดประสีในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 5.5-8.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก4 ลักษณะและสมบัติของชุดดินโคราช**

ชุดดินโคราช (Korat series: Kt)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลี้ก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มีอนุภาคดินเหนียวไม่เกิน 35 % สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบสีเทาปนน้ำตาล สีเทาหรือสีเทาปนชมพูในดินล่างลี้กลงไป พบจุดประสี น้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดง ภายใต้วงลึกมากกว่า 100 cm จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก5 ลักษณะและสมบัติของชุดดินจักราช**

ชุดดินจักราช (Chakkarat Series: Ckr)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลี้กมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน มีสีน้ำตาล ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายในตอนบนและอาจพบดินร่วนเหนียวปนทรายในตอนล่าง มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง จะพบจุดประสีน้ำตาลแก่หรือแดงปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง การระบายน้ำดีปานกลาง การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินและการซึมผ่านได้ของน้ำปานกลาง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก6 ลักษณะและสมบัติของชุดดินจตุรัส

ชุดดินจตุรัส (Chatturat series: Ct)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกปานกลางถึงชั้นหินพื้น ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแข็ง สี น้ำตาลปนแดง ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแข็ง สีน้ำตาลปนแดงหรือสีแดง ในช่วงความลึก 50-100 cm จะพบชั้นหินผุ ถัดจากชั้นหินผุเป็นชั้นหินแข็งซึ่งเป็นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.5-8.0) ในดินบนและเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 6.0-8.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก7 ลักษณะและสมบัติของชุดดินจันทึก

ชุดดินจันทึก (Chan Tuk series: Cu)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนตลอด อาจพบก้อนกรวดปะปน ในดินล่าง ดินบนเป็นสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นสีเทาปนชมพูหรือสีน้ำตาลอ่อน กรวดที่พบเป็นแร่ควอตซ์และเฟลด์สปาร์ อาจพบจุดประสีในชั้นหินต้นกำเนิดที่กำลังสลายตัว ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก8 ลักษณะและสมบัติของชุดดินชุมพลบุรี

ชุดดินชุมพลบุรี (Chumphon Buri series: Chp)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนถึงดินทรายปนดินร่วน แล้วแต่ตะกอนที่น้ำพามาทับถมในแต่ละปี โดยแต่ละชั้นเนื้อดินและสีจะแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจน มีสีน้ำตาล น้ำตาลเข้มหรือน้ำตาลซีด จะพบจุดประสีน้ำตาลแก่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก9 ลักษณะและสมบัติของชุดดินชุมพวง

ชุดดินชุมพวง (Chum Phuang series: Cpg)
ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนแดง ดินล่างตอนบนเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างตอนล่าง สีแดงหรือสีแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก10 ลักษณะและสมบัติของชุดดินโชคชัย

ชุดดินโชคชัย (Chok Chai series: Ci)
ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีน้ำตาลปนแดงเข้มมาก ดินล่างเป็นดินเหนียว สีแดงหม่นหรือสีแดงหม่นเข้มมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก11 ลักษณะและสมบัติของชุดดินดงยางเอน

ชุดดินดงยางเอน (Dong Yang En series: Don)
ลักษณะและสมบัติดิน เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนเทาเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง (pH 6.0-7.0) ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนแดง มีจุดประสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0)

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก12 ลักษณะและสมบัติของชุดดินด้านขุนทด**

ชุดดินด้านขุนทด (Dan Khun Thot series: Dk)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทรายตลอด สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างมีสีน้ำตาล น้ำตาลซีดหรือน้ำตาลปนเทา พบจุดประสีเหลืองปนน้ำตาลหรือสีเหลืองลึกกว่า 100 cm มีก้อนเหล็กแมงกานีสสะสมในดินชั้นล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ตลอด

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก13 ลักษณะและสมบัติของชุดดินท่าตูม**

ชุดดินท่าตูม (Tha Tum: Tt)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย สีเทาปนชมพูหรือสีเทา มีจุดประสีแดงและสีแดงปนเหลืองของศิลาแลงอ่อน ปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร พบชั้นดินที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายระหว่างความลึก 100-150 cm จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก14 ลักษณะและสมบัติของชุดดินท่าอุเทน**

ชุดดินท่าอุเทน (Tha Uthen series: Tu)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกปานกลางถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน สีเทาหรือสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล ถัดลงไปเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีเหลืองปนน้ำตาล ซึ่งเป็นชั้นสะสมอินทรีย์วัตถุ อะลูมิเนียมและ/หรือเหล็ก ถัดลงไปเป็นดินเหนียวสีเทาอ่อน สีน้ำตาลซีดมากหรือสีขาว พบจุดประพวกสีแดงและพวกสีเหลืองในดินล่างระหว่างชั้นสะสมอินทรีย์วัตถุ อะลูมิเนียมและ/หรือเหล็กกับชั้นดินเหนียว จะพบชั้นลูกรังจับตัวกันค่อนข้างแน่นที่บในช่วงความลึกระหว่าง 50-80 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก15 ลักษณะและสมบัติของชุดดินธาตุนม**

ชุดดินธาตุนม (That Phanom series: Tp)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแข็งหรือดินร่วน สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายแข็งหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแข็ง สีน้ำตาลปนแดงหรือสีน้ำตาลและเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแข็งหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีแดงปนเหลืองหรือสีแดงในดินล่างลึกลงไป จะพบจุดประสีเทาปนชมพู สีน้ำตาลแก่หรือสีน้ำตาลปนเหลืองในดินชั้นล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ตลอด</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก16 ลักษณะและสมบัติของชุดดินนครพนม**

ชุดดินนครพนม (Nakhon Phanom series: Nn)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแข็งหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาล มีจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีน้ำตาลปนเหลือง ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายแข็งหรือดินเหนียว สีเทาอ่อน สีน้ำตาลปนเทาจางหรือสีเทา มีจุดประสีแดงของศิลาแลงอ่อนในดินล่างปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร ภายในความลึก 150 cm จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก17 ลักษณะและสมบัติของชุดดินน้ำพอง**

ชุดดินน้ำพอง (Nam Phong series: Ng)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน สีชมพู สีน้ำตาลซีดมาก พบชั้นสะสมดินเหนียวที่ความลึกต่ำกว่า 100 cm จากผิวดิน มีสีเทาปนชมพู น้ำตาลซีด มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก่ เหลืองปนแดง หรือแดงปนเหลืองในดินชั้นล่างนี้ด้วย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก18 ลักษณะและสมบัติของชุดดินบรปือ**

ชุดดินบรปือ (Borabu series: Bb)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกปานกลางก่อนกรวด ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินเหนียวปนก่อนกรวด สีน้ำตาลอ่อนหรือสีเทาปนน้ำตาลอ่อน มีจุดประสีน้ำตาลแก่และพบศิลาแลงอ่อน (Plinthite) ภายในความลึก 75 cm พบพวงลูกฝรั่งและเศษหินทรายที่กำลังสลายตัวในระดับความลึก 50-100 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก19 ลักษณะและสมบัติของชุดดินบ้านไผ่**

ชุดดินบ้านไผ่ (Ban Phai Series: Bpi)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย สีน้ำตาลอ่อน ถัดลงไปเป็นดินทรายปนดินร่วน สีเทาปนชมพู ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลปนเหลือง มีจุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ตลอด</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก20 ลักษณะและสมบัติของชุดดินบุญทริก**

ชุดดินบุญทริก (Bunthrik series: Bt)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ถัดลงไปมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลชืด ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินเหนียวปนทราย สีน้ำตาลถึงสีเทาปนน้ำตาล พบจุดประสีแดงของศิลาแลงอ่อนและพบชั้นดินที่แสดงถึงความไม่ต่อเนื่องทางธรณี ในระดับความลึก 100-150 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก21 ลักษณะและสมบัติของชุดดินเพ็ญ**

ชุดดินเพ็ญ (Phen series: Pn)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินต้นถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลแก่ สีน้ำตาลปนเหลือง และ/หรือ สีแดงปนเหลือง ส่วนดินล่างภายใน 50 cm มักเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดมากในดินล่างตอนบนและเป็นดินเหนียวในดินล่าง ปริมาณลูกรังจะลดลงตามความลึก สีของดินล่างตอนบนจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ดินล่างเป็นสีเทาและพบจุดประสีน้ำตาลแดงปนเหลืองและแดงตลอดหน้าตัดดิน สีลาแสงอ่อนมีปริมาณ 5-50% โดยปริมาตร ภายใน 150 cm จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก22 ลักษณะและสมบัติของชุดดินโพนพิสัย**

ชุดดิน โพนพิสัย (Phon Phisai series: Pp)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินต้นถึงชั้นกรวดลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาเข้ม ดินล่างตอนบน เป็นดินร่วนเหนียวปนทรายถัดไปเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนกรวดหรือดินเหนียวปนกรวดมาก มีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่ ส่วนดินล่างภายใน 50-100 cm เป็นดินร่วนเหนียวปนกรวดมากหรือดินเหนียวปนกรวดมากถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวตลอด มีสีเทาปนน้ำตาลอ่อนหรือสีเทาอ่อน มีจุดประสีแดงของสีลาแสงอ่อนและน้ำตาลแก่หรือน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก23 ลักษณะและสมบัติของชุดดินมหาสารคาม**

ชุดดินมหาสารคาม (Maha Sarakham series: Msk)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินทราย สีน้ำตาลปนเทาดินล่างเป็นดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล สีน้ำตาลปนเหลืองหรือน้ำตาลปนแดงและมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทรายในระหว่างความลึก 50-100 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก24 ลักษณะและสมบัติของชุดดินยโสธร**

ชุดดินยโสธร (Yasothon series: Yt)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดง เข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีแดงปนเหลืองหรือสีแดง ลึกลงไปเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินเหนียวปนทราย สีแดงหรือสีแดงเข้ม ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก25 ลักษณะและสมบัติของชุดดินยางตลาด**

ชุดดินยางตลาด (Yang Talat series: Yl)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงและเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนแดงในดินล่างลึกลงไป พบจุดประสีน้ำตาลแก่ในชั้นดินนี้ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ตลอด

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก26 ลักษณะและสมบัติของชุดดินร้อยเอ็ด**

ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi-et series: Re)
<b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล ปนเทาหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนปนทรายอาจพบชั้นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว สีเทาปนน้ำตาลอ่อนหรือเทาปนชมพู พบจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีน้ำตาลปนแดงตลอด ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิทยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก27 ลักษณะและสมบัติของชุดดินเรณู

ชุดดินเรณู (Renu series: Rn)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีนํ้าตาลหรือสีนํ้าตาลปนเทา มีจุดประสีนํ้าตาลแก่หรือสีนํ้าตาลปนเหลือง ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายและเป็นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียวในดินล่างลึกลงไป สีนํ้าตาลอ่อนหรือสีเทาปนชมพู และมีสีเทาอ่อนในดินล่างลึกลงไป มีจุดประสีนํ้าตาลแก่หรือสีนํ้าตาลปนเหลืองและมีสีแดงปนเหลืองหรือสีแดงในดินชั้นล่าง จุดประสีแดงปนเหลืองหรือสีแดงเป็นสีลาแสงอ่อน มีปริมาณ 5-50 % โดยปริมาตร ภายในความลึก 150 cm จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก28 ลักษณะและสมบัติของชุดดินเลย

ชุดดินเลย (Loei series: Lo)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีนํ้าตาลเข้มหรือสีนํ้าตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินเหนียว สีนํ้าตาลปนแดง สีนํ้าตาลปนแดงเข้มและสีแดงในดินล่างลึกลงไป อาจพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมในดินล่างนี้ จะพบอนุภาคพวกควอตซ์ที่เป็นก้อนเหลี่ยมตลอดทุกชั้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงปานกลาง (pH 6.0-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก29 ลักษณะและสมบัติของชุดดินวาริน

ชุดดินวาริน (Warin series: Wn)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีนํ้าตาลเข้มหรือนํ้าตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายสีแดงปนเหลืองหรือสีเหลืองปนแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก30 ลักษณะและสมบัติของชุดดินศรีสงคราม

ชุดดินศรีสงคราม (Si Song Khram series: Ss)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งหรือดินร่วนปนดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาเข้ม มีจุดประสีน้ำตาลแก่หรือสีน้ำตาลปนเหลือง ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายแป้งหรือดินเหนียว สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาล มีจุดประสีแดงปนเหลืองและสีแดง ฤดูแล้งหน้าดินมีรอยแตกกระแหงกว้างและลึก จะพบรอยไถลในหน้าตัดของดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 4.5-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก31 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสกล

ชุดดินสกล (Sakon series: Sk)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินตื้นถึงชั้นดานแข็งของศิลาแลง ดินบนเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย (ปนกรวดลูกรัง) สีเทาเข้มหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนปนก้อนกรวดหรือดินร่วนเหนียวปนก้อนกรวดลูกรัง สีน้ำตาลหรือน้ำตาลแก่ จะพบแผ่นศิลาแลงภายใน 50 cm จากผิวดิน ซึ่งจะจับตัวเป็นชั้นดานมีขนาดใหญ่และแข็งจนไม่สามารถที่จะเจาะผ่านได้ ในบางแห่งหน้าดินจะถูกชะล้างไปจนถึงชั้นแผ่นศิลาแลง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก32 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสตึก

ชุดดินสตึก (Satuk series: Suk)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล ปนเทาเข้มหรือสีน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลแก่ สีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีเหลืองปนแดง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก33 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสระแก้ว

ชุดดินสระแก้ว (Sa kao series: Ska)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินต้นถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย (ปนก้อนกรวด) สีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนก้อนกรวด สีน้ำตาลแก่ สีเหลืองปนแดงหรือแดงปนเหลือง ถัดลงไปเป็นดินเหนียว (ปนกรวด) สีเทาหรือเทาปนน้ำตาล จะพบจุดประสีเหลืองปนแดง แดงปนเหลืองหรือแดงของศิลาแลงอ่อนภายใน 150 cm จากผิวดิน ชั้นลูกรังซึ่งจับตัวกันหลวมๆ พบหนา 20 ถึงมากกว่า 100 cm ภายใน 50 cm จากผิวดิน และชั้นลูกรังในดินล่างจะพบชั้นส่วนของหินควอตซ์ปะปนอยู่ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก34 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสีแก้ว

ชุดดินสีแก้ว (Si Kheu series: Si)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินบนเป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาลปนแดงหรือสีแดงเข้ม จะพบก้อนเหล็กและแมงกานีสสะสมและก้อนหินปูนสะสม ในระดับความลึกที่ต่ำกว่า 120 cm จากผิวดิน จะพบชั้นหินทรายที่มีปูนปน ในระดับความลึก 1.5-2.5 เมตร ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นด่างปานกลาง (pH 5.5-8.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก35 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสีทน

ชุดดินสีทน (Si Thon series: St)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วน สีดินเป็นสีน้ำตาล ดินล่างมีลักษณะไม่แน่นอน เป็นพวกดินเหนียวหรือพวกดินทรายและจะแสดงลักษณะการเรียงชั้นสลับกันแล้วแต่ชนิดของวัตถุต้นกำเนิดที่น้ำพามาทับถมในแต่ละปี มีสีเทา สีเทาปนชมพูหรือสีน้ำตาลปนเทา จะพบจุดประสีแดงปนเหลือง สีพวกสีน้ำตาลหรือสีพวกสีเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ตลอด</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก36 ลักษณะและสมบัติของชุดดินสูงเนิน**

ชุดดินสูงเนิน (Sung Noen series: Sn)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายแข็งหรือดินร่วน สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแข็งหรือดินร่วนปนดินเหนียวและเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแข็งในดินล่างลึกลงไป สีน้ำตาลปนแดงหรือสีแดงปนเหลือง จะเห็นคราบดินเหนียวบนผิวเม็ดดินอย่างชัดเจน จะพบจุดประสีเทาในดินล่างลึกลงไป ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก37 ลักษณะและสมบัติของชุดดินห้วยแกลง**

ชุดดินห้วยแกลง (Huai Thalaeng series: Ht)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก เนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างลึกลงไป มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง พบจุดประสีที่ความลึกมากกว่า 100 cm ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

**ตารางภาคผนวกที่ ก38 ลักษณะและสมบัติของชุดดินอื่น**

ชุดดินอื่น (On series: On)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินตื้นถึงชั้นลูกรัง ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลปนเทาหรือสีน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายปนก้อนกรวดมาก สีเทาอ่อน สีเทาปนชมพู จะพบชั้นลูกรังที่ยึดเกาะกันค่อนข้างแน่นหรืออาจเป็นแผ่นแข็งภายในความลึก 50 cm จาก ผิวดิน ใต้ชั้นนี้ลงไปจะพบดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย สีขาวหรือสีเทาอ่อน พบจุดประพวกสีแดง สีเหลืองหรือสีน้ำตาลตลอดหน้าตัดดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.5-6.0) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก39 ลักษณะและสมบัติของชุดดินอุดร

ชุดดินอุดร (Udon series: Ud)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึก ดินมีการเรียงตัวสลับชั้นกัน ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างมีเนื้อดินและสีของดินล่างผันแปรไปได้มาก โดยเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทรายหรือดินเหนียวสลับไปกับดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนดินร่วน สีดินส่วนใหญ่เป็นสีเทาปนชมพู สีเทาปนน้ำตาลหรือสีเทา จะพบจุดประสีน้ำตาลหรือสีเหลืองตลอดชั้นดิน มีสารละลายของเกลืออยู่เป็นจำนวนมาก ในหน้าแล้งจะพบคราบเกลืออยู่หน้าดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 5.0-5.5) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ตารางภาคผนวกที่ ก40 ลักษณะและสมบัติของชุดดินอุบล

ชุดดินอุบล (Ubon series: Ub)
<p><b>ลักษณะและสมบัติดิน</b> เป็นดินลึกมาก ดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองเข้ม ดินล่างตอนบนเป็นดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลืองเข้มหรือน้ำตาลแก่และน้ำตาลปนเทา ดินล่างตอนล่างลึก 100-200 cm เป็นดินร่วนปนทราย สีน้ำตาล สีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาลแก่ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดถึงเป็นกลาง (pH 5.5-7.0) ในดินล่าง</p>

ที่มา: สำนักสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2557)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพเทนเชียลเชื่อมโยงที่สกัดได้ในดินในแต่ละพื้นที่ศึกษา

ตารางภาคผนวกที่ ข1 ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่ถูก  
รบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
1	262416.6496	1805566.772	369.379
2	262419.7176	1805565.909	179.970
3	262424.7768	1805563.24	146.486
4	262429.2966	1805560.937	182.357
5	262435.0033	1805558.252	203.119
6	262439.4665	1805556.278	291.281
7	262442.0867	1805555.053	149.301
8	262448.09	1805551.87	156.755
9	262452.68	1805549.84	100.076
10	262455.49	1805548.97	141.568
11	262414.4003	1805562.23	208.826
12	262417.86	1805560.887	304.225
13	262424.5982	1805559.351	210.615
14	262429.6087	1805556.777	140.580
15	262429.81	1805555.88	128.187
16	262435.6178	1805552.441	164.239
17	262440.2565	1805551.657	144.239

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข1(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
18	262444.9843	1805547.221	150.289
19	262450.8514	1805545.575	106.887
20	262453.5968	1805544.891	200.941
21	262412.48	1805558.366	180.761
22	262418.6331	1805557.706	221.315
23	262422.7273	1805555.347	147.540
24	262424.5136	1805555.515	157.298
25	262430.9167	1805549.534	121.994
26	262434.7909	1805549.626	133.603
27	262438.6647	1805545.98	145.020
28	262441.7637	1805545.343	142.847
29	262448.7827	1805542.945	176.871
30	262451.6688	1805539.988	169.891
31	262411.4681	1805554.464	193.160
32	262414.27	1805555.348	405.570
33	262417.001	1805550.201	190.798
34	262422.2114	1805550.733	127.357

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข1(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
35	262429.205	1805548.562	124.572
36	262434.2161	1805543.521	114.721
37	262437.1603	1805542.326	115.478
38	262440.2236	1805541.624	123.100
39	262444.9227	1805540.804	122.960
40	262449.148	1805535.804	125.886
41	262408.8216	1805549.364	193.267
42	262414.283	1805549.097	171.208
43	262419.5327	1805547.154	122.052
44	262422.324	1805542.856	129.970
45	262427.7669	1805541.906	125.730
46	262429.0423	1805538.423	176.153
47	262436.3498	1805538.069	173.857
48	262439.6122	1805534.18	194.304
49	262444.5736	1805533.944	165.986
50	262447.8441	1805532.575	129.392
51	262409.4067	1805542.018	192.060

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข1(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
52	262414.5515	1805541.999	233.478
53	262419.4942	1805541.315	161.448
54	262422.5094	1805538.125	183.590
55	262430.1227	1805536.216	143.720
56	262430.9713	1805532.063	133.837
57	262437.9407	1805529.597	164.348
58	262443.7405	1805529.195	142.385
59	262445.6362	1805528.949	117.377
60	262407.6698	1805541.163	228.986
61	262413.6369	1805534.016	427.485
62	262418.1442	1805536.521	170.599
63	262423.266	1805531.959	167.305
64	262424.4311	1805530.634	139.851
65	262428.421	1805529.318	175.347
66	262437.4519	1805527.336	151.114
67	262437.5968	1805522.76	117.609
68	262443.4669	1805524.429	164.348

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข1(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
69	262405.1286	1805536.658	197.430
70	262408.5942	1805534.595	176.739
71	262415.5667	1805528.821	136.238
72	262419.9994	1805530.365	174.419
73	262422.1929	1805525.176	129.612
74	262430.8143	1805524.957	116.766
75	262432.8809	1805521.944	150.729
76	262439.9817	1805520.192	141.900
77	262439.7621	1805517.051	199.457
78	262405.3587	1805530.285	173.857
79	262406.9334	1805530.289	159.170
80	262411.2641	1805524.463	115.269
81	262418.0745	1805523.35	227.122
82	262422.6423	1805520.961	164.562
83	262428.1037	1805519.661	157.609
84	262432.4607	1805515.629	131.347
85	262434.6986	1805517.351	137.770

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข1(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
86	262439.6348	1805512.681	150.399
87	262402.7664	1805526.182	200.86
88	262403.7984	1805524.391	282.27
89	262413.2352	1805522.868	117.48
90	262416.1727	1805519.952	127.46
91	262420.2175	1805517.041	117.25
92	262425.8377	1805514.714	146.08
93	262426.0424	1805512.139	126.22
94	262432.4254	1805513.788	138.71
95	262436.754	1805509.765	116.70

ตารางภาคผนวกที่ ข2 ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่ถูก  
รบกวนน้อย N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
1	258809.74	1805651.08	120.827
2	258815.64	1805650.45	144.950
3	258819.75	1805655.58	100.061
4	258821.47	1805653.64	149.741
5	258827.37	1805655.14	99.781
6	258832.37	1805655.23	76.574
7	258836.48	1805654.65	144.980
8	258844.95	1805659.07	83.683
9	258846.86	1805658.26	106.388
10	258851.70	1805659.18	188.618
11	258809.21	1805647.03	167.640
12	258815.98	1805646.25	140.409
13	258816.73	1805648.96	133.665
14	258822.65	1805648.34	220.000
15	258827.81	1805650.56	194.970
16	258832.91	1805651.38	181.544
17	258839.03	1805654.56	155.851

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข2(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
18	258846.02	1805652.49	176.417
19	258847.27	1805653.43	193.648
20	258852.59	1805653.79	177.380
21	258811.75	1805643.46	192.717
22	258813.48	1805640.82	95.260
23	258820.22	1805643.66	181.413
24	258823.69	1805642.49	144.646
25	258830.72	1805647.46	214.642
26	258835.62	1805644.63	193.907
27	258838.23	1805648.51	188.946
28	258847.30	1805648.06	314.375
29	258851.32	1805648.48	305.234
30	258853.39	1805648.90	129.354
31	258813.26	1805635.36	174.802
32	258816.94	1805640.20	221.419
33	258819.83	1805636.63	197.782
34	258828.25	1805640.44	341.540

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข2(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
35	258832.24	1805641.77	333.425
36	258833.97	1805641.41	220.327
37	258840.83	1805640.82	235.589
38	258842.91	1805645.51	201.412
39	258852.01	1805643.37	321.865
40	258854.29	1805645.07	118.638
41	258814.26	1805630.45	159.610
42	258815.93	1805631.39	191.404
43	258820.81	1805634.53	260.970
44	258827.87	1805636.72	346.829
45	258831.07	1805633.91	198.241
46	258838.31	1805636.93	212.530
47	258842.65	1805636.19	170.217
48	258847.02	1805638.59	182.859
49	258851.14	1805641.65	171.208
50	258856.45	1805639.78	95.981
51	258814.69	1805626.24	174.528

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข2(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
52	258818.14	1805627.10	352.741
53	258822.25	1805629.87	430.054
54	258827.21	1805628.72	360.568
55	258833.27	1805632.80	216.637
56	258836.40	1805630.78	168.594
57	258841.32	1805633.27	191.098
58	258846.16	1805631.50	230.719
59	258851.53	1805633.08	172.685
60	258856.06	1805636.13	172.763
61	258815.61	1805622.88	202.318
62	258822.01	1805621.41	316.918
63	258826.27	1805623.56	191.627
64	258829.14	1805624.83	206.743
65	258832.22	1805625.64	240.338
66	258839.28	1805624.60	239.425
67	258846.18	1805627.04	201.378
68	258850.03	1805630.58	228.690

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข2(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
69	258855.33	1805628.10	193.799
70	258857.03	1805630.48	166.753
71	258816.12	1805618.04	203.327
72	258825.22	1805617.40	359.575
73	258827.29	1805619.67	227.687
74	258830.15	1805621.02	210.139
75	258835.46	1805620.42	339.652
76	258838.50	1805622.80	221.866
77	258847.24	1805621.85	401.739
78	258848.57	1805623.05	233.064
79	258853.27	1805623.61	229.185
80	258858.59	1805626.76	229.802
81	258817.55	1805612.97	88.693
82	258820.16	1805614.06	155.525
83	258825.85	1805616.25	179.239
84	258832.32	1805615.53	156.522
85	258836.50	1805617.68	191.404

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข2(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ที่  
ถูกรบกวนน้อย แปลง N2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
86	258843.22	1805618.40	137.391
87	258843.93	1805617.80	179.324
88	258849.50	1805618.74	79.983
89	258855.81	1805621.53	297.527
90	258859.39	1805622.53	200.427
91	258818.51	1805608.58	212.376
92	258821.28	1805609.56	174.712
93	258828.18	1805610.68	226.148
94	258830.82	1805611.73	169.920
95	258835.75	1805612.31	134.761
96	258840.51	1805613.40	137.226
97	258846.70	1805614.67	157.220
98	258851.71	1805615.52	183.261
99	258857.37	1805616.41	235.589
100	258860.35	1805617.56	234.022

ตารางภาคผนวกที่ ข3 ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ปลูกข้าว  
ที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
1	262443.47	1805034.69	179.183
2	262439.97	1805035.63	179.405
3	262432.81	1805030.60	111.624
4	262431.01	1805032.38	127.675
5	262422.61	1805029.42	140.835
6	262420.69	1805032.47	140.070
7	262411.60	1805032.07	132.153
8	262407.62	1805029.03	139.523
9	262406.07	1805028.90	142.366
10	262397.37	1805028.79	110.656
11	262446.28	1805028.88	188.054
12	262437.37	1805030.12	152.299
13	262435.11	1805025.85	123.723
14	262427.50	1805026.02	118.250
15	262422.83	1805026.77	115.565
16	262416.60	1805026.79	115.577
17	262414.70	1805023.76	124.451

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข3(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
18	262410.81	1805026.99	109.127
19	262406.02	1805022.99	116.998
20	262398.96	1805024.09	115.709
21	262442.10	1805023.77	168.478
22	262439.17	1805023.00	221.760
23	262435.19	1805023.30	134.651
24	262431.09	1805023.47	111.756
25	262422.75	1805019.96	103.087
26	262418.56	1805019.36	111.317
27	262414.38	1805021.85	108.378
28	262411.40	1805021.62	135.090
29	262405.68	1805021.02	109.783
30	262400.41	1805021.80	116.148
31	262443.49	1805019.05	190.602
32	262442.06	1805017.03	162.391
33	262434.69	1805018.15	138.200
34	262427.78	1805016.62	182.859

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข3(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
35	262422.66	1805015.78	98.846
36	262421.39	1805018.59	115.807
37	262416.64	1805018.47	124.080
38	262408.37	1805013.90	158.396
39	262403.42	1805017.16	101.679
40	262397.93	1805014.24	107.785
41	262444.43	1805014.64	175.414
42	262442.03	1805013.52	133.837
43	262436.77	1805013.65	143.703
44	262431.62	1805012.25	149.270
45	262426.36	1805010.25	145.860
46	262419.98	1805012.23	135.960
47	262413.41	1805008.17	128.917
48	262409.77	1805008.57	172.669
49	262403.86	1805010.89	100.639
50	262401.64	1805011.79	127.600
51	262443.70	1805010.44	163.696

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข3(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
52	262442.32	1805005.89	135.368
53	262433.84	1805007.22	191.733
54	262429.40	1805006.49	173.984
55	262424.08	1805006.22	114.811
56	262422.23	1805006.68	138.370
57	262415.03	1805003.53	109.310
58	262412.13	1805003.12	123.613
59	262404.67	1805006.50	126.260
60	262401.37	1805006.74	95.904
61	262446.14	1805001.49	161.963
62	262441.11	1805004.48	134.961
63	262436.51	1805000.31	138.591
64	262429.59	1805000.62	142.847
65	262424.58	1805002.28	165.768
66	262422.10	1805002.21	119.570
67	262414.49	1805002.00	136.730
68	262409.31	1805001.96	141.663

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข3(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
69	262405.95	1805001.62	121.747
70	262399.24	1804999.61	112.187
71	262444.33	1804998.78	180.933
72	262441.41	1804996.99	133.790
73	262436.44	1804998.42	124.950
74	262430.56	1804996.17	130.069
75	262427.48	1804996.47	121.762
76	262423.72	1804998.84	109.244
77	262416.07	1804994.51	120.169
78	262409.61	1804994.72	103.087
79	262408.86	1804996.70	121.653
80	262400.78	1804996.00	103.283
81	262446.41	1804992.88	160.118
82	262442.48	1804992.06	154.911
83	262438.59	1804991.17	157.935
84	262430.85	1804991.15	155.359
85	262427.96	1804991.71	126.325

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข3(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L1

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
86	262419.99	1804991.79	136.461
87	262419.44	1804988.72	151.250
88	262414.27	1804989.66	109.308
89	262409.58	1804990.96	101.559
90	262400.60	1804991.54	87.512
91	262446.75	1804990.60	165.110
92	262443.88	1804989.31	197.411
93	262435.78	1804989.84	144.266
94	262430.75	1804989.29	140.690
95	262428.96	1804986.85	144.771
96	262421.77	1804984.44	140.604
97	262419.66	1804985.23	118.913
98	262413.93	1804986.06	41.223
99	262405.40	1804986.01	104.874
100	262401.65	1804985.25	113.190

ตารางภาคผนวกที่ ข4 ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ปลูกข้าว  
ที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
1	258713.69	1805678.20	101.903
2	258719.59	1805677.57	64.087
3	258723.70	1805682.70	106.784
4	258725.42	1805680.77	78.980
5	258736.32	1805682.26	127.788
6	258738.32	1805682.35	168.827
7	258740.43	1805681.78	133.790
8	258748.90	1805686.20	208.802
9	258750.81	1805685.38	133.509
10	258755.65	1805686.31	120.758
11	258713.16	1805674.15	84.669
12	258719.93	1805673.37	60.544
13	258723.68	1805676.08	64.540
14	258726.60	1805675.46	100.713
15	258731.76	1805677.68	83.744
16	258736.86	1805678.50	75.812
17	258742.98	1805681.68	152.839

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข4(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
18	258749.97	1805679.61	165.768
19	258751.22	1805680.56	96.644
20	258756.54	1805680.91	115.812
21	258715.70	1805670.59	57.613
22	258717.43	1805667.95	68.474
23	258724.17	1805670.79	114.646
24	258727.64	1805669.61	75.704
25	258734.67	1805674.59	96.651
26	258739.57	1805671.75	64.633
27	258742.18	1805675.63	68.484
28	258751.25	1805675.18	119.783
29	258755.27	1805675.61	103.884
30	258757.34	1805676.03	104.379
31	258717.21	1805662.48	169.054
32	258720.89	1805667.32	94.658
33	258723.78	1805663.75	120.429
34	258732.20	1805667.56	110.000

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข4(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
35	258736.19	1805668.89	111.525
36	258737.92	1805668.53	69.342
37	258744.78	1805667.94	123.886
38	258746.86	1805672.64	76.517
39	258755.96	1805670.49	143.416
40	258758.24	1805672.20	84.720
41	258718.21	1805657.58	155.998
42	258719.88	1805658.51	129.861
43	258724.76	1805661.66	129.059
44	258731.82	1805663.85	92.819
45	258735.02	1805661.04	178.231
46	258742.26	1805664.06	227.826
47	258746.60	1805663.31	190.208
48	258750.97	1805665.72	165.650
49	258755.09	1805668.77	108.438
50	258760.40	1805666.90	164.782
51	258718.64	1805653.36	87.692

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข4(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
52	258722.09	1805654.22	63.212
53	258726.20	1805657.00	71.956
54	258731.16	1805655.84	80.427
55	258737.22	1805659.92	136.786
56	258740.35	1805657.90	82.707
57	258745.27	1805660.39	77.208
58	258750.11	1805658.63	77.033
59	258755.48	1805660.21	189.130
60	258760.01	1805663.25	73.319
61	258719.56	1805650.01	66.603
62	258725.96	1805648.54	50.823
63	258730.22	1805650.69	94.404
64	258733.09	1805651.96	84.542
65	258736.17	1805652.76	79.972
66	258743.23	1805651.73	77.878
67	258750.13	1805654.17	83.766
68	258753.98	1805657.70	77.439

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข4(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
69	258759.28	1805655.22	87.967
70	258760.98	1805657.60	63.380
71	258720.08	1805645.16	86.963
72	258726.14	1805644.52	61.344
73	258731.24	1805646.80	95.548
74	258734.10	1805648.14	66.469
75	258739.41	1805647.54	130.229
76	258742.45	1805649.93	145.498
77	258751.19	1805648.97	97.090
78	258752.52	1805650.18	115.139
79	258757.22	1805650.74	72.178
80	258762.54	1805653.88	107.486
81	258721.50	1805640.09	50.034
82	258724.11	1805641.19	77.504
83	258729.80	1805643.38	75.319
84	258736.27	1805642.66	131.103
85	258740.45	1805644.80	86.762

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข4(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L2

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
86	258747.17	1805645.52	99.011
87	258747.88	1805644.93	135.528
88	258753.45	1805645.86	101.261
89	258759.76	1805648.66	135.689
90	258763.34	1805649.65	124.508
91	258722.46	1805635.70	90.816
92	258725.23	1805636.68	51.183
93	258730.13	1805637.80	82.489
94	258737.86	1805638.85	203.675
95	258739.70	1805639.44	112.165
96	258744.46	1805640.53	151.683
97	258750.65	1805641.79	135.754
98	258755.66	1805642.65	123.669
99	258761.32	1805643.54	120.230
100	258764.30	1805644.68	160.543

ตารางภาคผนวกที่ ข5 ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่ปลูกข้าว  
ที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
1	258684.77	1805838.55	66.521
2	258690.70	1805838.55	36.972
3	258694.24	1805844.08	55.394
4	258696.16	1805842.33	31.001
5	258701.87	1805844.44	49.489
6	258706.83	1805845.05	64.685
7	258710.98	1805844.91	156.564
8	258718.93	1805850.19	56.994
9	258720.92	1805849.58	107.638
10	258725.63	1805851.01	68.356
11	258684.66	1805834.47	98.546
12	258691.48	1805834.40	131.912
13	258691.94	1805837.18	64.185
14	258697.90	1805837.18	95.575
15	258702.79	1805839.93	116.739
16	258707.77	1805841.28	87.275
17	258713.52	1805845.08	66.942

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข5(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
18	258720.69	1805843.76	85.535
19	258721.84	1805844.83	80.997
20	258727.09	1805845.74	97.185
21	258687.57	1805831.19	37.393
22	258689.57	1805828.75	74.080
23	258695.97	1805832.28	46.263
24	258699.55	1805831.48	82.850
25	258706.01	1805837.16	104.204
26	258711.18	1805834.85	110.437
27	258713.36	1805838.98	109.131
28	258722.43	1805839.49	104.587
29	258726.38	1805840.33	84.801
30	258728.40	1805840.96	61.344
31	258689.93	1805823.29	59.210
32	258693.08	1805828.49	90.936
33	258696.33	1805825.24	76.140
34	258704.30	1805829.91	107.462

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข5(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
35	258708.12	1805831.65	123.396
36	258709.88	1805831.47	151.769
37	258716.77	1805831.61	98.945
38	258718.34	1805836.49	150.920
39	258727.63	1805835.31	109.239
40	258729.70	1805837.25	71.720
41	258691.45	1805818.52	64.247
42	258693.00	1805819.62	51.207
43	258697.52	1805823.26	121.175
44	258704.32	1805826.18	98.978
45	258707.79	1805823.72	124.077
46	258714.67	1805827.48	120.333
47	258719.07	1805827.19	110.219
48	258723.16	1805830.04	66.033
49	258726.94	1805833.51	149.162
50	258732.41	1805832.21	75.614
51	258692.32	1805814.37	118.201

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข5(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
52	258695.66	1805815.59	69.444
53	258699.45	1805818.78	69.809
54	258704.51	1805818.15	68.988
55	258710.10	1805822.84	80.901
56	258713.42	1805821.16	81.166
57	258718.06	1805824.15	109.890
58	258723.05	1805822.00	110.219
59	258728.23	1805825.04	97.688
60	258730.41	1805828.54	98.172
61	258693.59	1805811.13	148.926
62	258700.11	1805810.34	136.243
63	258704.11	1805812.93	106.507
64	258706.84	1805814.49	94.067
65	258709.81	1805815.61	92.647
66	258716.94	1805815.32	98.651
67	258723.55	1805818.47	146.522
68	258727.00	1805822.39	139.073

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข5(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
69	258732.53	1805820.48	93.673
70	258733.98	1805823.02	104.380
71	258694.62	1805806.37	108.138
72	258698.76	1805806.16	85.419
73	258705.54	1805809.16	97.368
74	258708.25	1805810.83	104.793
75	258713.59	1805810.76	182.032
76	258716.36	1805813.45	193.376
77	258725.15	1805813.42	216.938
78	258726.34	1805814.75	188.008
79	258730.96	1805815.80	176.349
80	258735.92	1805819.49	101.452
81	258696.57	1805801.48	73.779
82	258699.05	1805802.84	113.146
83	258704.48	1805805.61	75.280
84	258712.98	1805805.57	118.679
85	258714.92	1805808.14	130.488

(มีต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ ข5(ต่อ) ข้อมูลจุดสำรวจและค่าโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในพื้นที่  
ปลูกข้าวที่มีระยะเวลายาวนานมากกว่า 30 ปี แปลง L3

ลำดับ	X	Y	K (mg/kg)
86	258721.53	1805809.56	113.936
87	258722.29	1805809.04	176.198
88	258727.73	1805810.56	163.250
89	258733.71	1805814.00	134.755
90	258737.17	1805815.36	163.683
91	258697.99	1805797.21	48.111
92	258700.64	1805798.48	50.214
93	258705.39	1805800.10	44.915
94	258711.98	1805801.85	71.695
95	258714.74	1805802.73	75.772
96	258719.36	1805804.31	94.331
97	258725.38	1805806.22	196.413
98	258730.27	1805807.59	174.419
99	258735.80	1805809.07	179.623
100	258738.64	1805810.52	185.693

ภาคผนวก ค

ข้อมูลสัมภาษณ์เกษตรกร

### ข้อมูลสัมภาษณ์เกษตรกร

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรเจ้าของพื้นที่พบว่าพื้นที่ N1 นั้นอยู่ติดกับแม่น้ำชี เป็นพื้นที่ที่เป็นป่ากร้างมาก่อนในอดีต ยังไม่เคยได้ทำกิจกรรมใดๆกับพื้นที่ และพื้นที่ N2 เป็นพื้นที่ที่เคยเป็นป่ากร้างมาก่อนเช่นเดียวกัน แต่เมื่อระยะเวลา 2-3 ปีที่ผ่านมาเกษตรกรเจ้าของพื้นที่ได้ทำการถางป่าเพื่อใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำนาข้าว ซึ่งทำนาได้เพียง 1-2 ปีเท่านั้น เนื่องจากพื้นที่บริเวณนี้เป็นดินทรายจัดทำให้ผลผลิตข้าวไม่ดีเท่าที่ควร เกษตรกรจึงไม่ได้ทำนาต่อไปและปล่อยพื้นที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า

สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวที่มีระยะเวลามากกว่า 30 ปี ในพื้นที่ L1 นั้นเคยถูกน้ำท่วมมาก่อนในอดีตเนื่องจากอยู่ใกล้กับแม่น้ำชี และในพื้นที่ทั้งสาม (L1, L2 และ L3) เป็นพื้นที่ที่ทำนาซึ่งมีการขุดกรรมและมีกิจกรรมอื่นๆในพื้นที่อย่างต่อเนื่องมานานมากกว่า 30 ปี โดยพื้นที่ทั้งสามเริ่มฤดูการปลูกข้าวในช่วงเดือนมิถุนายนและเก็บเกี่ยวในเดือนพฤศจิกายน เกษตรกรปลูกข้าวพันธุ์ กข.6 เป็นพันธุ์ข้าวเหนียวโดยจะให้ผลผลิตดีและทนแล้ง เกษตรกรทำการปลูกข้าวโดยการหว่านเมล็ดอัตรา 15 kg/rai ในพื้นที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี แบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะก่อนแตกกอ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 15 kg/rai และระยะก่อนออกดอก ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 ร่วมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 1:2 ในระยะเวลาระหว่างปลูกข้าวมีวัชพืชเกิดขึ้นร่วมกับข้าวในพื้นที่ เกษตรกรได้ทำการกำจัดวัชพืชโดยการพ่นยาฆ่าหญ้า โดยเลือกใช้ยาชนิดที่เลือกทำลายเพียงแต่วัชพืชจึงไม่ส่งผลต่อผลผลิตของข้าว เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวข้าวและจะไม่เผาทำลายตอซัง และปล่อยพื้นที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่าไม่ได้มีการปลูกพืชใดๆในพื้นที่ เมื่อถึงฤดูปลูกในรอบใหม่เกษตรกรจะทำการไถกลบตอซังร่วมกับใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยชีวภาพก่อนการหว่านเมล็ดข้าวประมาณ 1 เดือน สำหรับผลผลิตข้าวต่อไร่ในแต่ละพื้นที่นั้นให้อัตราการผลิตไม่เท่ากัน โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 300-400 kg/rai

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล: นางสาวณัฐวิภา อ่อนละม้าย

วัน/เดือน/ปี เกิด: 29 กันยายน พ.ศ. 2539

ภูมิลำเนา: อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี

ประวัติการศึกษา:

ระดับประถมศึกษา: โรงเรียนสุเทพวิทยาลัย จังหวัดลพบุรี

ระดับมัธยมศึกษา: โรงเรียนบ้านหมี่วิทยา จังหวัดลพบุรี

ระดับอุดมศึกษา: สาขาวิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาพืชศาสตร์และ  
ทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ระดับบัณฑิตศึกษา: สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์:

ณัฐวิภา อ่อนละม้าย พรทิพย์ โพนตุแสง และอนงนาฎ ศรีประโชติ. 2563. ความแปรปรวนเชิงพื้นที่  
ของโพแทสเซียมในดินทรายใช้ปลูกข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: ศึกษาระยะห่างที่  
เหมาะสมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างดิน. เกษตร 48(6): 1086-1095.

ณัฐวิภา อ่อนละม้าย พรทิพย์ โพนตุแสง และอนงนาฎ ศรีประโชติ. 2563. การประยุกต์ใช้ธรณีสถิติ  
เพื่อประเมินอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในนาข้าว. น. 2872-2882. ใน: งานประชุมวิชาการ  
ระดับชาติ ครั้งที่ 16 วันที่ 2 - 3 ธันวาคม 2563. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต  
กำแพงแสน.