รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์
กรมพัฒนาที่ดิน

การประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
Evaluation of Salt-effected Soil Productivity for Rice in the Northeast of Thailand
รหัสโครงการ 208319

โดย

นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น และคณะ
กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

มีนาคม พ.ศ. 2569

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568
จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัย 67681107010100007106011l

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย โครงการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย

ผู้รับผิดชอบ นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น

หน่วยงาน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ที่ปรึกษาโครงการ.....-.....หน่วยงาน.....-.....

ผู้ร่วมดำเนินการ

1. นางสาวนฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล
2. นางสาวยุพเยาว์ หัสจรรย์
3. นางสาววรัมพร วงษ์วรภาส
4. นายพรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย
5. นางสาวมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์

หน่วยงาน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เริ่มต้น เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566 สิ้นสุดเดือน มีนาคม พ.ศ. 2569

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 30 เดือน

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2567	-	2,011,100	-
2568	-	720,000	-

แหล่งงบประมาณที่ใช้ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....

(นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น)

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....

(นายสถิระ อุดมศรี)

ประธานคณะทำงานด้านวิชาการระดับหน่วยงาน

วันที่ ....24.....เดือน...มีนาคม...พ.ศ. ....2569.....

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 67681107010100007106011
ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย (ภาษาไทย) โครงการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย
(ภาษาอังกฤษ) Evaluation of Salt-effected Soil Productivity for Rice in the Northeast of Thailand
สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ผู้ร่วมดำเนินการ 1. นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น Ms. Kannika Homyamyen
2. นางสาวนฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล Ms. Naruekamon Janjirawuttikul
3. นางสาวยุพเยาว์ หัสจรรย์ Ms. Yooppayow Husajun
4. นางสาววรัมพร วงษ์วรภาส Ms. Warumporn Wongworaphas
5. นายพรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย Mr. Pornchai Upapanpongchai
6. นางสาวมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์ Ms. Maneerat Jaengprachak

บทคัดย่อ

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและการผลิตทางการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและผลกระทบของความเค็มและความเป็นโซดิกของดินต่อศักยภาพการผลิตข้าว โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน

ส่วนแรกเน้นการประเมินระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน รวมถึงการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่เพื่อการเกษตรภายใต้ข้อจำกัดดังกล่าว โดยใช้ข้อมูลความเค็มของดินจากค่าอีซีอี (EC_e) และความเป็นโซดิกจากค่าอีเอสพี (ESP) จากห้องปฏิบัติการ ร่วมกับข้อมูลสำรวจระยะไกลและเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับคาดการณ์ระดับความเค็มและโซดิก จากนั้นจึงนำผลการคาดการณ์มาจัดทำเป็นแผนที่ดินดิจิทัลเพื่อตรวจสอบความรุนแรงและรูปแบบการกระจายตัวของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่เกษตรกรรม ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองเชิงพื้นที่ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความเค็มและค่าความเป็นโซดิกของดินได้ตรงกับข้อมูลจริงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะค่าที่ทำนายในชั้นดินบนมีความแม่นยำสูงสุด ทั้งค่าความเค็มและค่าความเป็นโซดิก การวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าความเค็มระดับปานกลางและค่าความเป็นโซดิกระดับปานกลางถึงสูง นอกจากนี้ ยังสามารถจำแนกพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้เป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ ดินโซดิก และดินเค็มโซดิก โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าความเค็มและค่าความเป็นโซดิกของดินได้อย่างน่าพอใจ

ส่วนที่สองของการศึกษาได้นำผลการวิเคราะห์ลักษณะดินและความเค็มดังกล่าวมาใช้ในการประเมินผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT จำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวทั้งในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มและพื้นที่ปกติ แล้วเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงจากแปลงเกษตรกร ผลการจำลองประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง Ceres-rice มีความแม่นยำสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตจริงจากแปลงเกษตรกรในพื้นที่ดินเค็มโซดิก โดยมีค่าสถิติ R^2=0.78, RMSE=98.4, MAE=70.95 และ d-index=0.93 ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตข้าวได้สอดคล้องกับความเป็นจริง ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างผลผลิตข้าวกับค่าปัจจัยดิน ได้แก่ ค่าอีซีอี อีเอสพี และเอสเออาร์ พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นลบอย่างมีนัยสำคัญ (r=-0.26, -0.24 และ -0.34 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับความ

เค็มและความเป็นโซดิกในดินเพิ่มขึ้น ผลผลิตข้าวจะลดลง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ยังพบว่าเนื้อดินมีผลสำคัญต่อปริมาณความชื้นที่ดินสามารถกักเก็บได้ โดยพบว่า ดินเหนียวมีความสัมพันธ์เป็นบวกสูงกับความจุความชื้นในสนาม และจุดเหี่ยวเฉาอย่างถาวร (r=0.85 และ 0.95 ตามลำดับ) ทำให้สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มากและส่งผลให้ได้ผลผลิตข้าวสูงกว่าดินประเภทอื่น ๆ ในขณะที่ดินทรายแป้งมีความสัมพันธ์เป็นบวกปานกลาง (r=0.66 และ 0.39) และดินทรายมีความสัมพันธ์เป็นลบสูง (r=-0.92 และ -0.80) กับปริมาณน้ำในดิน นอกจากนี้ จากการประเมินศักยภาพการผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 บนพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าสามารถแบ่งระดับศักยภาพการผลิตออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 145-980 กก./ไร่ ดินโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 80-802 กก./ไร่ ดินเค็มโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 17-654 กก./ไร่

ผลการวิจัยนี้ให้ภาพรวมที่สำคัญต่อการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืนในภาคะวันออกเฉียงเหนือ โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกและจัดการปัญหาดินเค็มโซดิกและดินโซดิก การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ตลอดจนกำหนดมาตรการฟื้นฟูจัดการดินอย่างเป็นเป้าหมายและเป็นระบบ เพื่อสนับสนุนการอนุรักษ์และเพิ่มผลผลิตในระยะยาว

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ, ดินโซดิก, ดินเค็มโซดิก, แผนที่ดินดิจิทัล, แบบจำลอง Ceres-rice, โปรแกรม DSSAT

Abstract

Salt-affected soils represent a critical constraint on land utilization and agricultural productivity in Northeast Thailand. This study aimed to characterize the physicochemical properties of these soils and quantify the impacts of salinity and sodicity on the production potential of Khao Dawk Mali 105 (KDML 105) rice. The research was conducted in two integrated phases.

The first phase involved the spatial assessment of soil salinity, measured via electrical conductivity of saturated paste extract (EC_e), and sodicity, measured via exchangeable sodium percentage (ESP). Utilizing laboratory analysis, remote sensing data, and Geographic Information Systems (GIS), spatial prediction models were developed to generate digital soil maps. The results demonstrated that the predictive models achieved the highest accuracy in the topsoil layer for both EC_e and ESP. The study area was characterized by moderate salinity and moderate-to-high sodicity, with the affected areas classified primarily into two categories: sodic and saline-sodic soils.

In the second phase, the Ceres-rice model within the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) was employed to simulate the growth and yield of KDML 105 rice across varying soil conditions. The model exhibited high predictive performance compared to actual field data from saline-sodic areas, with statistical metrics of R^2=0.78, RMSE=98.4, MAE=70.95 and a d-index=0.93. Pearson correlation analysis indicated significant negative relationships between rice yield and soil parameters, specifically EC_e, ESP, and the sodium adsorption ratio (SAR), with r values of -0.26, -0.24, and -0.34, respectively. Furthermore, soil texture significantly influenced moisture retention capacity. Clay content showed strong positive correlations with field capacity (r=0.85) and permanent wilting point (r=0.95), facilitating higher yields compared to silty and sandy textures. The production potential for KDML 105 was categorized into three groups: non-affected areas (145-980 kg/rai), sodic areas (80–802 kg/rai), and saline-sodic areas (17–654 kg/rai).

These findings provide a robust scientific framework for sustainable soil resource management. The integration of digital soil mapping and crop modeling serves as a vital baseline for site-specific land-use planning, crop selection, and the implementation of targeted soil reclamation strategies to enhance long-term food security in the region.

Keywords: Salt-affected soils, Sodic soil, Saline-sodic soil, Digital soil mapping, Ceres-rice model, DSSAT

.

แบบ วจ.3

แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัย 676806070101010071030211

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภายใต้ โครงการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ผู้รับผิดชอบ นางสาวนฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล

หน่วยงาน กลุ่มสำรวจจำแนกดิน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ที่ปรึกษาโครงการ.....-.....หน่วยงาน.....-.....

ผู้ร่วมดำเนินการ

1. นางสาววรัมพร วงษ์วรภาส
2. นายพรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย
3. นางสาวมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์

หน่วยงาน กลุ่มสำรวจจำแนกดิน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เริ่มต้น เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566 สิ้นสุดเดือน มีนาคม พ.ศ. 2568

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 18 เดือน

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2567	-	2,011,100	-
2568	-	-	-

แหล่งงบประมาณที่ใช้ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....

(นางสาวนฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล)

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....

(นายสถิระ อุดมศรี)

ประธานคณะทำงานด้านวิชาการระดับหน่วยงาน

วันที่ 24 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2569

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 67680607010101007103021 1

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย (ภาษาไทย) การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ภาษาอังกฤษ) Assessment of Soil Salinity Levels of Salt-affected Soil in the Northeastern Region, Thailand

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผู้ร่วมดำเนินการ 1. นางสาวนฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล Ms. Naruekamon Janjirawuttikul
2. นางสาววรัมพร วงษ์วรภาส Ms. Warumporn Wongworaphas
3. นายพรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย Mr. Pornchai Upapanpongchai
4. นางสาวมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์ Ms. Maneerat Jaengprachak

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินและการผลิตทางการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน วิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่เกษตรกรรมภายใต้ข้อจำกัดดังกล่าว และจัดทำข้อเสนอแนะเชิงวิชาการเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน การศึกษานี้ใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าอีซีอี (EC_e) และอีเอสพี (ESP) จากห้องปฏิบัติการ ร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลและเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อคาดการณ์ระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน จากนั้นนำผลการคาดการณ์มาจัดทำเป็นแผนที่ดินดิจิทัลเพื่อประเมินความรุนแรงและรูปแบบการแจกกระจายของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่เกษตรกรรม

ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายค่าความเค็มและความเป็นโซดิกของดินเชิงพื้นที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลจริง โดยการทำนายสมบัติของดินในชั้นดินบนให้ความแม่นยำสูงที่สุด ทั้งในด้านระดับความเค็มของดินจากค่าอีซีอีและระดับความเป็นโซดิกจากค่าอีเอสพี ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองชี้ให้เห็นว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่มีความเค็มอยู่ในระดับปานกลาง และมีความเป็นโซดิกในระดับปานกลางถึงสูง โดยสามารถจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ 2 ประเภท ได้แก่ ดินโซดิกและดินเค็มโซดิก ทั้งนี้ แบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของความเค็มและความเป็นโซดิกของดินได้ในระดับที่น่าพอใจ

ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการจำแนกสภาพปัญหาดิน การวางแผนการใช้ที่ดิน การเลือกชนิดพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ตลอดจนการกำหนดมาตรการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือเชิงพื้นที่ เพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ความเค็มของดิน โซดิกในดิน แบบจำลองเชิงพื้นที่ แผนที่ดินดิจิทัล

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)

Salt-affected soils are a major constraint to land utilization and agricultural production in the northeastern region of Thailand. This study aimed to assess the levels of soil salinity and sodicity, evaluate the suitability of agricultural land under these constraints, and provide academic recommendations to support sustainable soil resource management. The study utilized laboratory analysis of electrical conductivity of saturated soil extract (EC_e) and exchangeable sodium percentage (ESP), combined with remote sensing data and geographic information system (GIS) techniques to develop spatial prediction models for soil salinity and sodicity. The predicted results were then used to generate digital soil maps for assessing the severity and spatial distribution of salt-affected soils in agricultural areas.

The results indicated that the spatial models were able to predict soil salinity and sodicity in good agreement with observed data. The prediction accuracy was highest for the topsoil layer, particularly for soil salinity based on EC_e and soil sodicity based on ESP. Model outputs revealed that most soils in the study area exhibited moderate salinity and moderate to high sodicity levels. Two major types of salt-affected soils were identified, namely sodic soils and saline-sodic soils. The spatial distribution of soil salinity and sodicity varied across the region, reflecting differences in environmental and soil-forming factors.

The results of this study provide essential spatial information for identifying soil constraints, supporting land-use planning, selecting suitable crop types, and developing site-specific management strategies for salt-affected soils. These findings contribute to improving soil resource management and promoting sustainable agricultural development in the long term.

Keywords: salt-affected soil, salinity, sodicity, spatial modeling, digital soil map

หลักการและเหตุผล

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization: FAO) ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์และการบริหารจัดการทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน โดยร่วมกับประเทศสมาชิก รวมถึงประเทศไทย จัดกิจกรรมวันดินโลกในวันที่ 5 ธันวาคมของทุกปี เพื่อสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของทรัพยากรดินและการรักษาความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ อันเป็นพื้นฐานสำคัญต่อความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษยชาติ ในปี พ.ศ. 2564 วันดินโลกจัดขึ้นภายใต้หัวข้อ “Halt Soil Salinization, Boost Soil Productivity” ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดคำขวัญภาษาไทยว่า “พิชิตดินเค็ม เติมเต็มผลผลิต สร้างชีวิตเกษตรกร” โดยมีการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soils) และแนวทางการจัดการดินอย่างเหมาะสม เพื่อส่งเสริมการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกและเสริมสร้างความมั่นคงด้านอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านการขจัดความหิวโหย (Zero Hunger) โดยเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในการป้องกันและแก้ไขปัญหาดินเค็ม (FAO, 2021) นอกจากนี้ FAO ยังสนับสนุนให้มีการปรับปรุงและพัฒนาแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ รวมทั้งปรับปรุงฐานข้อมูลสถานะความเค็มของดินให้มีความทันสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการมีฐานข้อมูลดินที่มีคุณภาพจึงถือเป็นพื้นฐานสำคัญในการเพิ่มศักยภาพการผลิตทางการเกษตรและยกระดับมาตรฐานการผลิตสู่ความยั่งยืน

สำหรับประเทศไทย ดินที่มีผลกระทบจากเกลือแจกกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น ความเค็มและโซดิกของดินจึงถือเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการผลิตทางการเกษตรในภูมิภาคนี้ นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการจัดการน้ำที่ไม่เหมาะสมยังเป็นปัจจัยที่เร่งให้ปัญหาความเค็มของดินทวีความรุนแรงมากขึ้นในหลายพื้นที่ ปัจจุบันมีการจัดทำข้อมูลดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยอาศัยการจำแนกลักษณะของดินตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็นหลัก ซึ่งยังไม่ครอบคลุมลักษณะความเค็มและโซดิกของดินทั้งหมด และยังขาดการเชื่อมโยงข้อมูลกับการตอบสนองของพืชอย่างเป็นระบบ ดังนั้น การพัฒนาเกษตรกรรมในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและเพิ่มเติมฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกที่มีผลต่อพืช และกำหนดแนวทางการจัดการดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประเมินศักยภาพการทางการเกษตรในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยบูรณาการข้อมูลดิน ข้อมูลสภาพแวดล้อม และเทคโนโลยีการประเมินเชิงพื้นที่ร่วมกัน ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดินและการจัดการการผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของเกษตรกรในการเลือกใช้พื้นที่และการจัดการดินเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจได้อย่างเหมาะสม ลดความเสี่ยงด้านผลผลิต และส่งเสริมความมั่นคงด้านอาหารและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

เพื่อจัดทำข้อมูลความเค็มและโซดิกของดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การตรวจเอกสาร

ดินและปัจจัยการเกิดดิน

ดิน (soil) หมายถึง วัสดุตามธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลก เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ ผสมกับอินทรียวัตถุ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และปัจจัยการเกิดดิน (soil formation factor) ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดดิน ประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ วัตถุต้นกำเนิด สภาพภูมิอากาศ สิ่งมีชีวิตหรือพืชพรรณ สภาพภูมิประเทศ และเวลา (สำนักงานราชบัณฑิตยสถาน, 2562)

McBratney *et al.* (2003) ได้เสนอสมการใหม่ซึ่งปรับปรุงสมการเดิมร่วมกับการทำแผนที่ดินดิจิทัล เพื่อให้อธิบายเป็นเชิงปริมาณ ครอบคลุมมิติของพื้นที่และเวลา

S = f (s, c, o, r, p, a, n)

เมื่อ S คือ ชุดข้อมูลแทนคุณลักษณะของดิน (soil attributes)

s คือ สมบัติของดิน (soil properties) หมายถึง ลักษณะของดินที่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลจากการสำรวจหรือจากห้องปฏิบัติการ ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล และข้อมูลจากแผนที่ดินดิจิทัล

c คือ สภาพภูมิอากาศ (climate) หมายถึง สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของดินหรือทำให้ดินมีลักษณะแตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณการกระจายตัวของฝนและอุณหภูมิ

ซึ่งปัจจัยสมบัติของดินและสภาพภูมิอากาศ มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของทั้งหินและแร่ของวัตถุต้นกำเนิดดิน (weathering process) ในด้านกายภาพและเคมี (physical and chemical weathering)

o คือ สิ่งมีชีวิต (organisms) หมายถึง สิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยพืชและสัตว์แต่มักจะเน้นที่พืชพรรณต่าง ๆ ที่ขึ้นปกคลุมบนผิวดิน โดยมีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นดินบน ปริมาณอินทรียวัตถุหรือปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในดิน ปริมาณและการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืช ระดับความชื้น องค์ประกอบทางเคมีของดิน และสมบัติของดินทางด้านอื่น ๆ

r คือ ความต่างระดับของพื้นที่หรือสภาพภูมิประเทศ (relief) หมายถึง ความสูงต่ำหรือระดับที่ไม่เท่ากันของสภาพพื้นที่และความลาดชันของพื้นที่ จะมีความเกี่ยวข้องกับระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการเกิดลักษณะชั้นในหน้าตัดดิน ความลึก สีดิน ความชื้นสัมพัทธ์ และความรุนแรงของการชะล้าง

p คือ วัตถุต้นกำเนิดดิน (parent material) หมายถึง วัตถุซึ่งเกิดจากการผุพังสลายตัวของหิน แร่ และเศษซากพืชและสัตว์ ซึ่งอาจเป็นวัสดุที่เกิดจากการแปรสภาพอยู่กับที่ ณ บริเวณนั้น หรือเป็นพวกตะกอนที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งอื่นโดยวัสดุนำพา เช่น น้ำ ลม หรือธารน้ำแข็ง แล้วมาทับถมอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง องค์ประกอบของวัสดุเหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและสมบัติของดินที่เกิดขึ้น วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นปัจจัยควบคุมการเกิดดินที่สำคัญและมองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนที่สุด และมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของดิน เช่น สี เนื้อดิน โครงสร้าง และสมบัติทางเคมีของดิน

a คือ ระยะเวลาการพัฒนาดิน (age) หมายถึง บทบาทของเวลาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิน มีทั้งระยะเวลาที่แท้จริงที่ดินเริ่มพัฒนาจากวัตถุต้นกำเนิดดินซึ่งเป็นอายุจริงของดินและระยะเวลาสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึงระดับการพัฒนาของดิน สำหรับอิทธิพลของเวลาในแง่ของการเกิดดินนั้นหมายถึงช่วงหนึ่งของเวลาที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีเหตุการณ์รุนแรงขัดจังหวะการพัฒนาตัวของดิน

n คือ ตำแหน่งของดิน (spatial location) หมายถึง พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อช่วยระบุตำแหน่งของดินในพื้นที่ ข้อมูลตำแหน่งมีความสำคัญ เพราะจะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนของดิน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดินกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา (2562) อธิบายว่า ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soil) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่มาก จนกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ สอดคล้องกับ FAO (2024) ที่กล่าวว่า ดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ มีลักษณะเด่นคือมีเกลือที่ละลายน้ำได้หรือโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชและเกิดขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่แห้งแล้งและชายทะเล ภาวะดินเค็มเกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติ (เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น) และการกระทำของมนุษย์ (เช่น การชลประทานที่ไม่ดี การใช้น้ำมากเกินไป)

ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ดินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบมากจะมีการนำไฟฟ้าสูงกว่าปกติ จึงสามารถใช้การนำไฟฟ้ามากำหนดความรุนแรงของอิทธิพลของเกลือได้ และหากโซเดียมมีปริมาณมากกว่าแคตไอออนอื่น ๆ ในดิน จะแสดงอิทธิพลด้านความเค็มชัดเจน และทำให้ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนมากผิดปกติ (เอิบ, 2550) จึงสามารถนำลักษณะดังกล่าวมาพิจารณาจัดกลุ่มตามสมบัติทางเคมีของดิน โดยใช้ค่าอีซีอีกับร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้หรืออีเอสพี (exchangeable sodium percentage: ESP) หรือค่าอีซีอีกับอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมหรือเอสเออาร์ (sodium adsorption ratio: SAR) จำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ออกเป็น 3 ประเภท (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Richards, 1954; Brady and Weil, 2008) (ตารางที่ 1) ดังนี้

ตารางที่ 1 ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามสมบัติทางเคมี

ประเภทดิน	EC_e (dS m^{-1})	ESP	SAR
ดินเค็ม	≥ 4	< 15	< 13
ดินเค็มโซดิก	≥ 4	≥ 15	≥ 13
ดินโซดิก	< 4	≥ 15	≥ 13

ที่มา: Richard (1954)

1) ดินเค็ม เป็นดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในระดับที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช มีค่าอีซีอี ตั้งแต่ 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ขึ้นไป มีค่าอีเอสพีน้อยกว่า 15 และพีเอชของดินมักมีค่า 8.5 หรือน้อยกว่า เกลือที่สะสมในดินเค็มส่วนใหญ่เป็นเกลือคลอไรด์ และซัลเฟตของโซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม กระบวนการแลกเปลี่ยนในดินนี้ส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมและแมกนีเซียม คอลลอยด์ในดินจึงไม่เกิดการฟุ้งกระจาย (dispersion) และการจับตัวกันของอนุภาคดิน การแทรกซึม (infiltration) และการเคลื่อนที่ของอากาศ (aeration) ไม่ถูกจำกัด พบคราบเกลือสีขาวบริเวณผิวดินเมื่อเกิดการระเหยของน้ำ อาจเรียกดินนี้ว่าดินเค็มขาว (white alkali หรือ Solonchak)

2) ดินเค็มโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในระดับที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีค่าอีเอสพี ตั้งแต่ 15 ขึ้นไป หรือมีค่าเอสเออาร์ ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป มีค่าอีซีอีมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ขึ้นไป และพีเอชของดินมักมีค่า 8.5 หรือน้อยกว่า เดิมเรียกว่า saline alkali soil เอิบ (2550) พบว่า โดยทั่วไปดินเค็มโซดิกในประเทศไทยมักมีค่าพีเอชต่ำ บางบริเวณมีสภาพเป็นกรด ดินมีการสะสมเกลือโซเดียมมากทำให้มีโครงสร้างแบบแท่งหัวมน (columnar soil structure) ที่มีลักษณะเป็นแท่ง ดินมักเกิดการฟุ้งกระจายจากการมีโซเดียมในดินสูง เมื่อเกลือถูกชะออกไป ความเค็มในดินจะลดลงแต่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อเกลือถูกชะต่อเนื่อง ดินเค็มโซดิกจะพัฒนาไปเป็นดินโซดิก

3) ดินโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีค่าอีเอสพี ตั้งแต่ 15 ขึ้นไป หรือมีค่าเอสเออาร์ ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป ค่าอีซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มักมีค่าพีเอช 8.5 หรือมากกว่า เกลือที่ละลายน้ำได้มีเกลือคาร์บอเนตและเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม มีชั้นดินบนบาง ถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบแท่งหัวมน ซึ่งเป็นลักษณะที่แสดงว่าดินมีโซเดียมสูง อินทรียวัตถุในดินเกิดการฟุ้งกระจายและละลายออกมา เคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดินมากับน้ำแคพิลลารี และเมื่อน้ำระเหยไปจึงเกิดคราบสีดำบนผิวดิน อาจเรียกดินนี้ว่าดินเค็มดำ (black alkali หรือ solonetz) มักพบเป็นบริเวณเล็ก ๆ (slick spot) อยู่ท่ามกลางดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ พืชที่เจริญเติบโตบนดินนี้จะได้รับความเป็นพิษจากไอออนของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ และไบคาร์บอเนต และได้รับผลกระทบจากสภาพที่การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดินถูกจำกัด

การประเมินระดับความเค็ม

สภาพนำไฟฟ้าหรืออีซี (electric conductivity: EC) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารสกัดจากดิน ใช้ประเมินเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำหรือสารสกัดจากดิน จึงสามารถวัดปริมาณเกลือทางอ้อมได้ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Brady and Weil, 2008) US Soil Salinity Laboratory Staff (1954) ใช้การนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น ซึ่งวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรืออีซีอี (EC_e) มาประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณเกลือและระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

EC_e (dS m^{-1})	เกลือในดิน (%)	ระดับความเค็มของดิน	อิทธิพลต่อพืช
<2	<0.1	ไม่เค็ม	ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช
2-4	0.1-0.2	เค็มเล็กน้อย	มีผลต่อพืชที่ไม่ทนเค็ม
4-8	0.2-0.4	เค็มปานกลาง	มีผลต่อพืชหลายชนิด
8-16	0.4-0.8	เค็มมาก	พืชทนเค็มเท่านั้นที่ยังเจริญเติบโตได้ดี
>16	>0.8	เค็มจัด	พืชทนเค็มน้อยชนิดมากที่เจริญเติบโตได้ดี

ที่มา: ดัดแปลงจาก US Soil Salinity Laboratory Staff (1954)

การประเมินระดับโซดิกในดิน

ระดับโซดิกในดินพิจารณาโดยใช้เกณฑ์ของ FAO (1988) และ Abrol *et al*. (1988) ซึ่งใช้ค่าอีเอสพีประเมินระดับโซดิกในดิน มีการแบ่งความเข้มข้นของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้เพื่อบ่งชี้ระดับความเสี่ยงต่อโครงสร้างดินและผลต่อพืช ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับโซดิกในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ESP	ระดับโซดิกในดิน	อิทธิพลต่อดินและพืช
<15	ดินไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก (none sodic)	ไม่มีผลกับโครงสร้างดินและพืชทั่วไป
15-30	ดินมีโซดิกน้อย (slightly sodic)	ดินเริ่มมีการกระจายตัว และเริ่มแน่นทึบ การงอกของเมล็ดลดลง
30-50	ดินมีโซดิกปานกลาง (moderately sodic)	โครงสร้างดินเริ่มพัง ดินกระจายตัว และแน่นทึบ เมล็ดเริ่มงอกยาก
50-70	ดินมีโซดิกรุนแรง หรือ มีโซดิกมาก (strongly/highly sodic)	โครงสร้างดินพัง ดินกระจายตัว ดินแน่นทึบ เมล็ดงอกยากขึ้น
>70	ดินมีโซดิกรุนแรงมาก (extreme)	โครงสร้างดินถูกทำลาย ดินแน่นทึบมาก ปลูกพืชไม่ได้

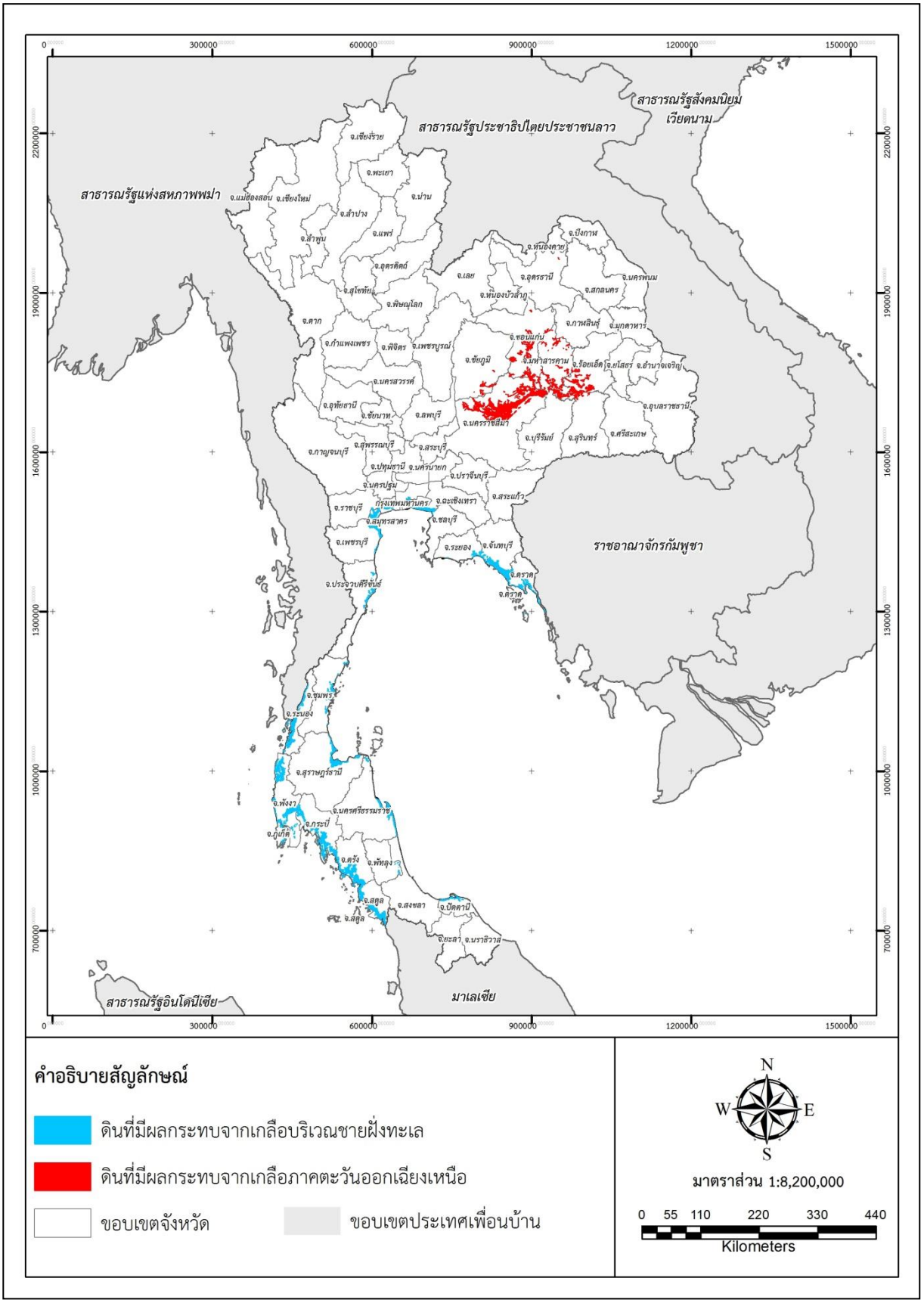
ที่มา: ดัดแปลงจาก Abrol *et al.* (1988)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของประเทศไทย

การจัดทำข้อมูลดินที่มีผลกระทบจากเกลือในประเทศไทยโดยกรมพัฒนาที่ดินใช้การจำแนกดินตามระบบอนุกรมวิธานดิน (Soil Taxonomy) เป็นระบบการจำแนกดินของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกาที่นักวิทยาศาสตร์ทางดินในประเทศไทยนิยมใช้ในปัจจุบัน (เอิบ, 2542) Soil Survey Staff (2022) กำหนดเกณฑ์การจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ โดยใช้ลักษณะเด่นที่แสดงอิทธิพลของการสะสมเกลือในดินที่มีผลกระทบจากเกลือในประเทศไทย นอกจากนี้ ดินที่มีผลกระทบจากเกลือบริเวณชายทะเลส่วนใหญ่มีการสะสมสารประกอบกำมะถันด้วย ดินดังกล่าวนี้จึงเป็นทั้งดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินเปรี้ยวจัด (พิสุทธิ์, 2530; วุฒิชาติ, 2542) ซึ่งตามระบบอนุกรมวิธานดินจะจำแนกเป็นดินเปรี้ยวจัด ทำให้ชื่อที่ได้จากการจำแนกสื่อถึงการเป็นดินเปรี้ยวจัดมากกว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือ กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2562) และกรมพัฒนาที่ดิน (2567) พบว่า ดินที่จำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำนวน 12 ชุดดิน เนื้อที่ 5,039,545 ไร่ แจกกระจายอยู่ใน 33 จังหวัด ในภาคตะวันออก ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้ ดินที่มีผลกระทบจากเกลือชายทะเล แจกกระจายอยู่ในพื้นที่ชายทะเลทั้งอ่าวไทยและอันดามัน ในภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ รวม 24 จังหวัด เนื้อที่ 2,780,586 ไร่ และดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื้อที่ 2,258,959 ไร่ (ภาพที่ 1)

แผนที่ดินแบบดิจิทัล

การทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล (digital soil mapping: DSM) เป็นการพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขหรือเชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสภาพแวดล้อม (environmental variables) กับสมบัติของดิน จากนั้นจึงนำแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูลทางภูมิศาสตร์เพื่อสร้างแผนที่เชิงพยากรณ์ (predictive soil mapping) ขึ้นมา เกิดขึ้นได้ด้วยเทคโนโลยีการคำนวณทางภูมิศาสตร์ (Geocomputational technologies) เช่น วิทยาการสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS), การสร้างแบบจำลองภูมิประเทศดิจิทัล (digital terrain modeling), การสำรวจระยะไกล (remote sensing) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) งานวิจัยด้านแผนที่เชิงพยากรณ์ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีจำนวนมากขึ้นและมีวิธีการที่หลากหลาย ตั้งแต่แนวทางทางสถิติ (รวมถึงภูมิสถิติศาสตร์ - Geostatistics) ไปจนถึงวิธีที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น การวิเคราะห์ด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree analysis) และระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert systems) รากฐานทางทฤษฎีของแผนที่เชิงพยากรณ์ มาจากแบบจำลองปัจจัยการกำเนิดดิน (soil-forming factor model) (Scull *et al*., 2003)



ภาพที่ 1 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2567)

ประโยชน์ของการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล สามารถพยากรณ์สมบัติของดินในพื้นที่ที่ไม่เคยสำรวจได้อย่างรวดเร็วและมีราคาถูกกว่าวิธีเดิม ข้อมูลใช้ในการจัดการทรัพยากรดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ในการวางแผนฟื้นฟูระบบนิเวศ ติดตามความเค็มของดิน และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อตอบโจทย์ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ช่วยในการทำการเกษตรแม่นยำ (precision agriculture) การวางแผนการใช้ปุ๋ย การจัดการน้ำ และการเลือกพืชที่เหมาะสมกับดินในระดับแปลง เทคโนโลยีที่ใช้ในการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัลยุคปัจจุบัน เป็นการทำแบบจำลอง SCORPAN หรือ f (s, c, o, r, p, a, n) ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดหลักที่ใช้พยากรณ์ดินจากปัจจัย 7 ประการ (McBratney *et al*., 2003; Lagacherie and McBratney, 2007) และนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องหรือแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning) มาใช้ประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และใช้ระบบคลาวด์ เช่น Google Earth Engine ในการสร้างแผนที่ที่มีความละเอียดสูงและแม่นยำ

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในงานด้านดิน สิ่งแวดล้อม และการเกษตรสมัยใหม่ เพราะสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ซับซ้อนจากข้อมูลหลายแหล่ง ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำ พร้อมรองรับการประเมินความไม่แน่นอน และสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงนโยบายและการจัดการพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (McBratney *et al*., 2003; Breiman, 2001; Hengl *et al*., 2017)

1. อัลกอริทึม (Algorithm)

ในบริบทของแมชชีนเลิร์นนิ่ง (Machine Learning: ML) อัลกอริทึม (Algorithm) หมายถึง ชุดของกฎ ขั้นตอน หรือวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ที่ออกแบบมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้รูปแบบ (patterns) หรือความสัมพันธ์จากข้อมูล และนำความรู้นั้นไปใช้ในการพยากรณ์ การจำแนก หรือการตัดสินใจ โดยไม่ต้องกำหนดกฎตายตัวล่วงหน้า กล่าวอีกนัยหนึ่ง อัลกอริทึมคือ “กลไกการเรียนรู้” หรือ “เครื่องมือสร้างแบบจำลอง” ที่แปลงข้อมูลดิบให้กลายเป็นแบบจำลอง (model) ซึ่งสามารถอธิบายหรือทำนายข้อมูลใหม่ได้ (Mitchell, 1997; Bishop, 2006) การเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลและวัตถุประสงค์ของงาน เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความสำเร็จของการประยุกต์ใช้แมชชีนเลิร์นนิ่ง

ในเชิงอัลกอริทึมของแมชชีนเลิร์นนิ่ง แรนดอมฟอเรสต์ (Random Forest: RF) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการพยากรณ์เชิงพื้นที่ เนื่องจากแรนดอมฟอเรสต์จัดการกับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี ทนต่อตัวแปรจำนวนมาก และให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่เสถียร (bagging + ensemble of trees) ซึ่งเป็นพื้นฐานทางทฤษฎีที่ Breiman อธิบายในงานต้นฉบับของเขา แสดงให้เห็นถึงเหตุผลว่าทำไมแรนดอมฟอเรสต์จึงถูกนำมาใช้บ่อยในงาน DSM และการประยุกต์ด้านการเกษตรแม่นยำ (Breiman, 2001) แม้ว่าแรนดอมฟอเรสต์จะให้ค่าคาดการณ์จุด (point estimates) ได้ดี แต่ผู้ใช้งานมักต้องการ การประเมินความไม่แน่นอน (uncertainty) ด้วย ควอไทล์รีเกรสชัน (Quantile Regression: QRF) ซึ่ง Meinshausen แสดงวิธีการประมาณ quantiles ของการแจกแจง conditional distribution ของเป้าหมาย ทำให้สามารถสร้าง prediction intervals (เช่น ร้อยละ 5–95) สำหรับแต่ละตำแหน่งเชิงพื้นที่ได้ การมี interval estimates สำคัญในการตัดสินใจเชิงพื้นที่ เช่น การกำหนดพื้นที่ทำการจัดการหรือลำดับความสำคัญของการสุ่มตัวอย่างเพิ่มเติม (Meinshausen, 2006)

2. การประเมินความสำคัญของตัวแปรร่วม

การประเมินความสำคัญของตัวแปร (Variable Importance: VI) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์เพื่อระบุว่า ตัวแปรอิสระ (predictor variables) ใดมีบทบาทหรืออิทธิพลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากผลกระทบของตัวแปรนั้นต่อความแม่นยำหรือโครงสร้างการตัดสินใจของแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิ่ง (Hastie *et al*., 2009) การประเมิน VI มีบทบาทสำคัญในหลายด้าน ได้แก่ ช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสิ่งแวดล้อมกับตัวแปรเป้าหมาย สนับสนุนการคัดเลือกตัวแปร (feature selection) ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและความซับซ้อนของโมเดล และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์สำหรับการตัดสินใจ (Zhu *et al*., 2015; Gregorutti *et al*., 2017)

3. การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองในการทำแผนที่ดิน

ในการทำแผนที่ดินโดยใช้เทคนิคเชิงสถิติหรือแมชชีนเลิร์นนิ่ง การแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (training data) และ ชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความสามารถในการทำนายของแบบจำลองในพื้นที่ที่ไม่เคยใช้ในการสร้างโมเดลมาก่อน (Hastie *et al.*, 2009) โดยทั่วไปนิยมแบ่งข้อมูลในอัตราส่วน 80:20, 70:30 หรือ 60:40 ซึ่งแต่ละสัดส่วนมีความเหมาะสมและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของชุดข้อมูล

อัตราส่วน 80:20 ข้อดีคือแบบจำลองมีข้อมูลฝึกจำนวนมาก ทำให้เรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเชิงซับซ้อนได้ดี เหมาะกับงานแผนที่ดินที่มีตัวแปรอธิบายจำนวนมาก เช่น ปัจจัยภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อจำกัดคือชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดเล็ก อาจทำให้การประเมินความแม่นยำมีความไม่แน่นอนสูง หากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดไม่มาก Hengl *et al.* (2017) และ Minasny *et al.* (2013) ระบุว่า สัดส่วน 80:20 เป็นที่นิยมในงานแผนที่ดินแบบดิจิทัล เมื่อมีข้อมูลภาคสนามเพียงพอ

อัตราส่วน 70:30 ถือเป็นแนวทางที่สมดุลระหว่างการฝึกและการทดสอบแบบจำลอง ข้อดีชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้การประเมินความแม่นยำมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ลดความเสี่ยงของการประเมินผลที่ลำเอียง (over-optimistic accuracy) ข้อจำกัดคือข้อมูลฝึกน้อยลง อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ต้องการข้อมูลจำนวนมาก เช่น Random Forest หรือ Neural Networks อัตราส่วนนี้ถูกใช้บ่อยในงานด้านสิ่งแวดล้อมและภูมิสารสนเทศที่มีจำนวนตัวอย่างปานกลาง (Kuhn and Johnson, 2013)

อัตราส่วน 60:40 มักใช้ในกรณีที่ต้องการเน้นการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอย่างเข้มงวด ข้อดีคือชุดข้อมูลทดสอบมีขนาดใหญ่ ทำให้การประเมินความแม่นยำมีความเสถียรและสะท้อนความสามารถในการทำนายจริงมากขึ้น เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองหลายแบบ ข้อจำกัดคือข้อมูลฝึกมีจำนวนน้อย อาจทำให้แบบจำลองเรียนรู้รูปแบบเชิงพื้นที่ได้ไม่ครบถ้วน ไม่เหมาะกับชุดข้อมูลขนาดเล็ก ซึ่งอาจทำให้โมเดลมีความแม่นยำต่ำ McBratney *et al.* (2003) และ Guo *et al.* (2015) ชี้ว่า ในงานแผนที่ดินที่มีตัวอย่างจำกัด การใช้สัดส่วนฝึกต่ำเกินไปอาจลดคุณภาพของแผนที่ที่ได้

การเลือกอัตราส่วน train:test สำหรับ Random Forest และ Quantile Random Forest ในงานแผนที่ดินควรพิจารณาจากขนาดและการกระจายของข้อมูล และวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ (ความ

แม่นยำกับความไม่แน่นอน) โดยทั่วไป อัตราส่วน 80:20 เหมาะกับข้อมูลน้อย เน้นการเรียนรู้ อัตราส่วน 70:30 เหมาะสมที่สุดในงานแผนที่ดินแบบดิจิทัลส่วนใหญ่ อัตราส่วน 60:40 เหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่และการประเมินผลเชิงสถิติ

การแบ่งข้อมูล train/test ไม่ควรพิจารณาเฉพาะสัดส่วนเชิงปริมาณเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงการกระจายเชิงพื้นที่ของจุดตัวอย่าง และความเป็นอิสระเชิงพื้นที่ (spatial autocorrelation) Hengl *et al*. (2018) แนะนำว่า หากข้อมูลมีการเกาะกลุ่มเชิงพื้นที่ ควรใช้สัดส่วนที่ทำให้ test data ครอบคลุมความหลากหลายของสภาพพื้นที่ เพื่อหลีกเลี่ยงการประเมินความแม่นยำที่สูงเกินจริง

4. การทดสอบความแม่นยำของการประมาณค่าเชิงพื้นที่

สามารถบรรยายได้จากความถูกต้องของการประมาณค่าโดยใช้ลักษณะทางสถิติ เช่น

1) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute error: MAE) คือค่าเฉลี่ยของความแตกต่างกันสัมบูรณ์ระหว่างค่าที่ได้จากการประมาณค่าและค่าจริง หากมีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งมีหน่วยตามค่าจริงนั้นๆ โดย MAE มีสูตรในการคำนวณดังนี้ (Ian and David, 2003)

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|x-y|$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

x คือ ค่าจริง

y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) คือการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าที่ประมาณจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังนี้ (Ian and David, 2003)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x-y)^2}{n}}$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

x คือ ค่าจริง

y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

3) Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) คือดัชนีที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (model accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (model performance) (Nash and Sutcliffe, 1970) ในการคาดคะเนที่ต้องการ ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง -∞ ถึง 1 (ตารางที่ 4)

$$NSE = 1-\frac{\sum(x-y)^2}{\sum(x-\bar{y})^2}$$

เมื่อ x คือ ค่าจริง

y คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่า

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าจริง

ตารางที่ 4 การแปลความหมายของค่า NSE

ค่า NSE	การแปลความหมายของความแม่นยำในการคาดคะเน (model accuracy)
<0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำไม่ต่างจากการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
>0 ถึง 0.36	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย (arithmetic mean)
0.36 ถึง 0.75	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำที่น่าพึงพอใจ (satisfactory prediction)
≥0.75 ถึง ≤1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำสูง (good prediction)
1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยไม่มีความผิดพลาด (perfect fit)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nash and Sutcliffe (1970)

4.4) ค่า R^2 (Coefficient of Determination) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการประเมินสมรรถนะของแบบจำลองเพื่อคาดการณ์สมบัติดิน เพื่อสะท้อนความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติดินจากตัวแปรแวดล้อมเชิงพื้นที่ (ตารางที่ 5) งานวิจัยแบบจำลองแผนที่ดินดิจิทัลส่วนใหญ่มีค่า R^2 อยู่ในช่วงปานกลาง เนื่องจากข้อมูลดินมีความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่สูง (spatial heterogeneity) และได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทางดินที่ซับซ้อน โดยทั่วไปค่า R^2 จากการตรวจสอบแบบ cross-validation ที่ต่ำกว่า 0.3 ถือว่าอยู่ในระดับต่ำ ขณะที่ค่าในช่วง 0.3–0.5 แสดงถึงความสามารถในการอธิบายแนวโน้มเชิงพื้นที่ได้ในระดับปานกลาง และค่า R^2 มากกว่า 0.5 ถือว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการจัดการทรัพยากรดิน ทั้งนี้การทำแผนที่ดินดิจิทัล ควรพิจารณาตัวชี้วัดอื่น เช่น RMSE bias ร่วมกับค่า R^2 และการตรวจสอบเชิงพื้นที่ (spatial cross-validation) เพื่อให้การประเมินความแม่นยำของแผนที่ดินมีความน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับการใช้งานจริง (Minasny *et al.,* 2013; Nussbaum *et al*., 2018; Wadoux *et al*., 2020)

ตารางที่ 5 ช่วงค่าของ R^2 และการตีความสมรรถนะของแบบจำลองในการทำแผนที่ดินแบบดิจิทัล

ช่วงค่า R^2	ความหมายเชิงคุณภาพ	ประเภทแผนที่ / ตัวแปรดินที่พบ
< 0.3	ความสัมพันธ์แบบจำลองกับตัวแปรทำนายอ่อน	แผนที่ตัวแปรยากต่อการทำนายอย่างมีประสิทธิภาพ (เช่น ตัวชี้วัดชีวภาพที่ความแปรปรวนสูง)
0.3 ถึง 0.5	แบบจำลองอธิบายแนวโน้มเชิงพื้นที่ได้ปานกลาง	แผนที่พื้นฐาน เช่น พีเอชของดิน ความลึกดินของดิน ธาตุอาหารรอง
0.5 ถึง 0.7	ความสามารถทำนายดี เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	แผนที่สมบัติทางเคมี เช่น อินทรีย์คาร์บอน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน
≥ 0.7	แบบจำลองอธิบายความแปรปรวนได้สูง	แผนที่ตัวแปรที่โมเดลจับกับช่องว่างข้อมูลได้ดี

ที่มา: Wadoux *et al*. (2020)

การจัดทำแผนที่ดิจิทัลระดับความเค็มและโซดิกในดิน (digital map of soil salinity and sodicity)

แผนที่ระดับความเค็มและโซดิกในดินดิจิทัล เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงการแจกกระจายของความรุนแรงของปัญหาความเค็มและโซดิกในดิน โดยการจัดทำแผนที่พัฒนาจากวิธีการของ FAO (2020) โดยใช้หลักการ ดังนี้

1) การใช้แผนที่ดินและความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

วิเคราะห์หน่วยแผนที่ดินฉบับต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบและระบุพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จำแนกพื้นที่และประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เพื่อวิเคราะห์สมบัติดิน เช่น ค่าอีซีอีและอีเอสพี ยืนยันพื้นที่และประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

2) การประยุกต์ใช้รีโมตเซนซิง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรีโมตเซนซิงหรือการสำรวจระยะไกลในงานเกษตรและสิ่งแวดล้อมมีมานานแล้ว เนื่องจากการสำรวจระยะไกลให้ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาเกี่ยวกับสภาพพื้นผิวดิน พืชพรรณ ภูมิอากาศ และชั้นบรรยากาศ ซึ่งสำคัญต่อการจัดการทรัพยากรดินและเกษตรกรรม โดยอาศัยการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากดินและพืชเพื่อตีความลักษณะต่าง ๆ ของพื้นผิว ทั้งรังสีจากดวงอาทิตย์ (passive) และรังสีจากเซนเซอร์ (active) ดาวเทียมเป็นแหล่งข้อมูลที่ใช้มากที่สุด เพราะครอบคลุมพื้นที่กว้าง มีภาพให้ดาวน์โหลดโดยไม่มีค่าใช้จ่าย เช่น Landsat, Sentinel, MODIS ตัวชี้วัดภาพ (indices) ที่ใช้จำแนกดินเค็ม เช่น NSI, SI, SAVI, VSSI, NDSI, NDVI, SR, CRSI และ BI

ข้อดีของการประยุกต์ใช้รีโมตเซนซิงคือ ความรวดเร็ว เหมาะกับพื้นที่กว้าง และสามารถใช้ข้อมูลรายเวลาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ แต่ข้อจำกัดคือ ตรวจจับปัญหาเกลือได้เฉพาะผิวดิน การประเมินความเค็มในชั้นลึกต้องใช้แบบจำลอง ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อน จึงมีความพยายามแก้ข้อจำกัดโดยรวมรีโมตเซนซิงเข้ากับข้อมูลอื่น เช่น ภูมิอากาศ แผนที่ดิน และพืชพรรณ เพื่อให้ผลแม่นยำขึ้น

3) การสร้างแบบจำลองตัวชี้วัดปริมาณเกลือที่สะสมในดิน

พิจารณาใช้ตัวชี้วัดที่บ่งชี้พื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก เช่น ค่าอีซีอีและอีเอสพี และอาจมีการสอบเทียบจากการใช้อุปกรณ์การตรวจสอบดินอื่น ๆ เพื่อนำข้อมูลมาทำแผนที่ โดยมีแนวทางหลัก ดังนี้

3.1) ทำแผนที่สมบัติดินก่อน แล้วจำแนกออกเป็นประเภทหรือชนิดของดินเค็ม

3.2) ทำแผนที่ประเภทหรือชนิดดินที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติดิน

3.3) จำแนกผลลัพธ์จากแบบจำลองที่สอบเทียบกับเครื่องมือตรวจสอบดิน เช่น EMI หรือรีโมตเซนซิง

4) ความต้องการข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับวิธีการทำแผนที่ โดยวิธีที่อาศัยตัวชี้วัดดินต้องการข้อมูลมากที่สุด และอย่างน้อยต้องมี EC, pH, ESP หรือ SAR ตามข้อแนะนำของ FAO และ USDA สำหรับการจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดังนี้

4.1) ข้อมูลดิน (Soil data)

4.1.1) สมบัติดินที่วัดได้ (Measured soil properties)

4.1.2) สมบัติดินเชิงปริมาตร (Bulk-soil properties) และแผนที่ดิน (Soil maps)

4.2) ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยกำเนิดดิน (Information on soil-forming factors)

ปัจจัยกำเนิดดินประกอบด้วย วัตถุต้นกำเนิด (parent material), การใช้ที่ดิน/ชนิดพืชพรรณ

4.3) ข้อมูลประกอบอื่น ๆ เช่น ขอบเขตการปกครอง และข้อมูลเชิงพื้นที่ของปัจจัยก่อปัญหาเกลือ เช่น ความใกล้ชายฝั่ง

4.4) แบบจำลองการแปลงค่า (Conversion models)

ค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากสารสกัดดินอิ่มตัวหรืออีซีอี (EC_e) เป็นค่ามาตรฐานที่แนะนำสำหรับจำแนกความเค็ม แต่ห้องปฏิบัติการจำนวนมากไม่ได้วิเคราะห์อีซีอี เพราะขั้นตอนยุ่งยากและใช้เวลามาก จึงมักใช้การวิเคราะห์อื่น เช่น อัตราส่วนดิน:น้ำ 1:5 หรือ 1:2.5 (Landon, 1984) จึงต้องสร้างสมการแปลงค่าอีซีที่วัดจากสารละลายอื่นไปเป็นค่าเทียบเท่าอีซีอี (Hogg and Henry, 1984; Ozcan *et al*., 2006; Sonmez *et al*., 2008; Kargas *et al*., 2018)

มีงานวิจัยที่ศึกษาและจัดทำแผนที่ความเค็มและโซดิกในดินหลายฉบับ อาทิ Asfaw *et al*. (2018) ได้พัฒนาแบบจำลองการทำแผนที่ความเค็มของดินโดยใช้ข้อมูลรีโมตเซนซิงร่วมกับตัวแปรภาคสนาม ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.78 ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของค่าความเค็มของดินได้ในระดับสูง สอดคล้องกับการรายงานของ Ma *et al*. (2021) ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง CART, Random Forest และ XGBoost ในพื้นที่แห้งแล้งแถบ Tarim Basin ของจีน พบว่าการทำแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 เมื่อใช้แมชชีนเลิร์นนิ่ง ร่วมกับข้อมูลดาวเทียมและตัวแปรเชิงสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม Taghizadeh-Mehrjardi *et al*. (2014) พบว่าการใช้แมชชีนเลิร์นนิ่ง ทำแผนที่ความเค็มของดิน อธิบายการกระจายตัวของค่าอีซีอีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โมเดล boosting เช่น XGBoost มีศักยภาพในการจับค่าความเค็มในช่วงค่าสุดโต่งได้ดีกว่าโมเดลแบบ bagging ซึ่งมักให้ผลพยากรณ์ที่เรียบเกินไป แม้ว่างานที่ใช้ XGBoost โดยตรงใน salinity mapping จะยังมีจำนวนจำกัดเมื่อเทียบกับ Random Forest แต่แนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลัง โดยเฉพาะในงานที่บูรณาการข้อมูลหลายแหล่งและต้องการความแม่นยำสูง ในงานทำแผนที่ดินและสมบัติดินเชิงพื้นที่ งานระดับโลกอย่าง SoilGrids ใช้แนวคิดแมชชีนเลิร์นนิ่ง ในการเชื่อมโยงข้อมูลดินภาคสนามกับตัวแปรสิ่งแวดล้อม (Hengl *et al*., 2017) แม้ว่างานเหล่านี้จะใช้อัลกอริทึม Random Forest เป็นหลัก แต่เริ่มมีการแนะนำให้ประเมินและพัฒนาแบบจำลองขั้นสูงด้วยอัลกอริทึมอื่น ๆ เช่น XGBoost และ deep learning เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของแผนที่สมบัติดินเฉพาะด้านในระดับพื้นที่และระดับประเทศ

สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาจำนวนหนึ่ง เช่น ธีรพร และยุรติกานต์ (2568) จัดทำแผนที่ดิจิทัลความเค็มของดินในฤดูแล้ง ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ในอำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ พบว่าแผนที่ดิจิทัลสามารถระบุค่าการนำไฟฟ้าได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Demis and Gilles (2023) ที่ใช้แมชชีนเลิร์นนิ่งทำนายค่า soil salinity/sodicity ผลการศึกษาพบว่า R^2 ของอีเอสพีมีค่า 0.71 RMSE 12.6 R^2 ของอีซีอีมีค่า 0.92 RMSE 1.9 ยุรติกานต์ (2564) ทำนายความเค็มของดินโดยใช้วิธีการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและการประมาณค่าช่วงพื้นที่ มีค่า R^2 ระหว่าง 0.3479-0.3543

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งและอาณาเขต

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นที่ราบสูง (Plateau) ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 ถึง 19 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 101 ถึง 106 องศาตะวันออก ประกอบด้วย 20 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเลย อุดรธานี นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี ชัยภูมิ สุรินทร์ มุกดาหาร หนองบัวลำภู หนองคาย สกลนคร ขอนแก่น มหาสารคาม ศรีษะเกษ นครราชสีมา บุรีรัมย์ ยโสธร บึงกาฬ และจังหวัดอำนาจเจริญ (ภาพที่ 2) มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับภาคตะออกและราชอาณาจักรกัมพูชา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับเทือกเขาเพชรบูรณ์

สภาพภูมิประเทศ

สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสลับที่ดอนแบบลูกคลื่นลอนลาด พื้นที่ลาดต่ำไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 3) มีทิวเขาเพชรบูรณ์และทิวเขาดงพญาเย็นเป็นขอบชันด้านตะวันตก และมีทิวเขาสันกำแพงและทิวเขาพนมดงรักเป็นขอบชันทางด้านใต้ ส่วนพื้นที่ตอนกลางของภาคมีทิวเขาภูพานวางตัวทอดยาว แบ่งภาคออกเป็น 2 แอ่ง คือบริเวณตอนเหนือ-แอ่งรับน้ำสกลนคร อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคาย มุกดาหาร และอุดรธานี มีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำโขง ศรีสงคราม ลำน้ำอูน และลำน้ำสาขาต่างๆ และบริเวณตอนใต้ แอ่งรับน้ำโดยมีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำชี มูล น้ำพอง น้ำเชิญ และลำน้ำสาขา ประกอบไปด้วยพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด ยโสธร มหาสารคาม ขอนแก่น และกาฬสินธุ์

สภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบ Köppen (Köppen and Geiger, 1936) บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนและชุ่มชื้น (Aw) กล่าวคือ ในรอบปีหนึ่งๆ มีระยะเวลาฝนตกชุกช่วงหนึ่งสลับกับช่วงแล้งอย่างเห็นได้ชัด มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,230 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 24-27 องศาเซลเซียส แบ่งได้ 3 ฤดูกาล คือ

ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม

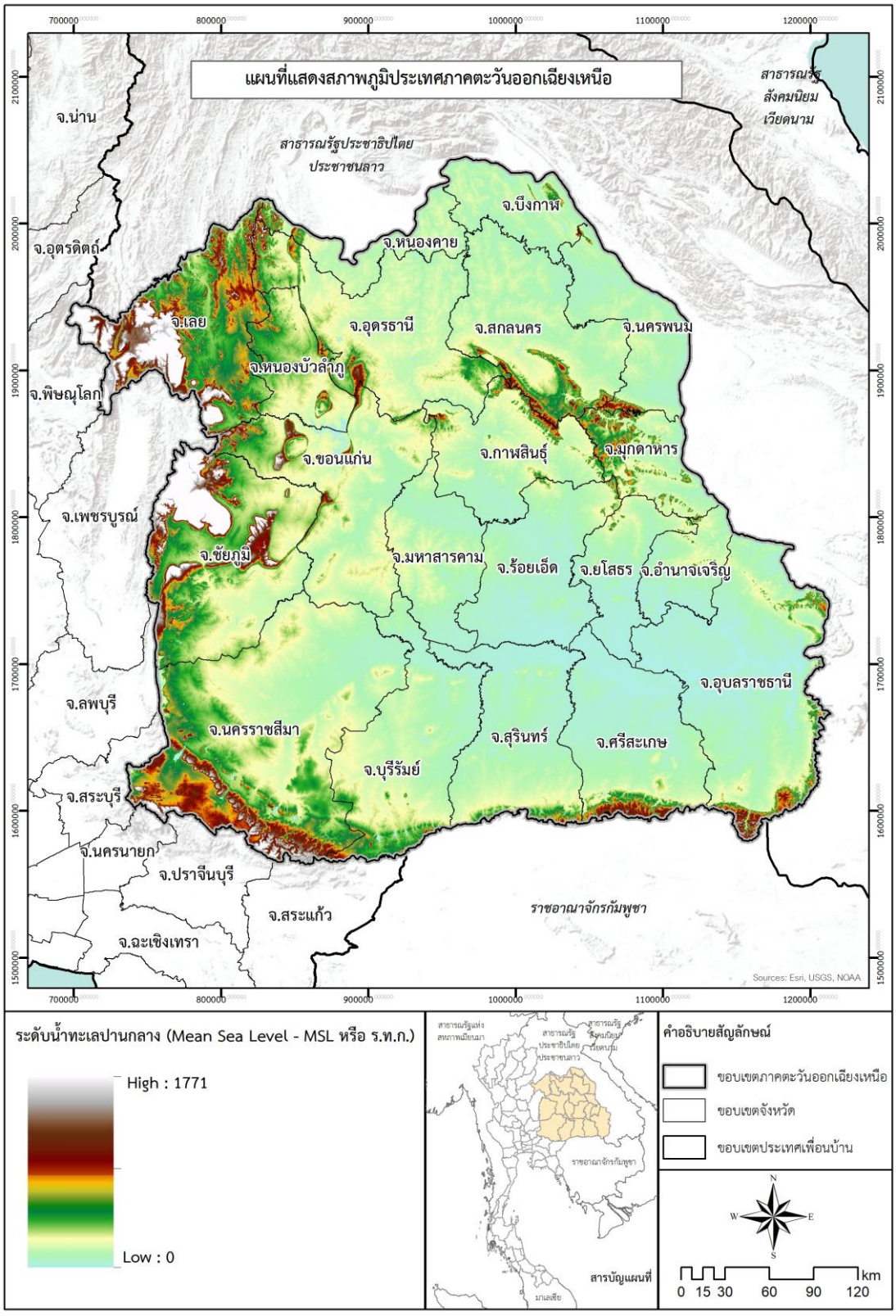
ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม



ภาพที่ 1 แผนที่ตั้งและอาณาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2543)



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Copernicus Global Digital Elevation Models (2024)

ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือน ของ 20 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดหนองคาย เลย อุดรธานี สกลนคร นครพนม หนองบัวลำภู บึงกาฬ ขอนแก่น มุกดาหาร มหาสารคาม กาฬสินธุ์ อำนาจเจริญ ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี ศรีสะเกษ นครราชสีมา สุรินทร์ และบุรีรัมย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2538-2566 (ตารางที่ 6) ดังนี้

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.6 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 36.1 องศาเซลเซียส ในช่วงฤดูร้อนเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุดในรอบปีวัดอุณหภูมิสูงที่สุดได้ 39.8 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงฤดูหนาวจะมีอากาศหนาวเย็นมากที่สุดในเดือนมกราคม วัดอุณหภูมิต่ำที่สุดได้ 12.6 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 19.0 องศาเซลเซียส

2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปี 1,464.5 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายน คือ 269.3 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม คือ 5 มิลลิเมตร

3) ปริมาณน้ำฝนใช้การได้ (Effective Rainfall: ER)

ปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ คือพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายหลังจากมีการไหลซึมลงไปในดินจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วไหลบ่าออกมากักเก็บในพื้นดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้รวมตลอดทั้งปี 984.6 มิลลิเมตรต่อปี ในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้มากที่สุด คือ 151.9 มิลลิเมตร และเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้น้อยที่สุด คือ 5 มิลลิเมตร

4) ความชื้นสัมพัทธ์และศักย์การคายระเหยน้ำ

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปีร้อยละ 74 ปริมาณการคายระเหยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 124.2 มิลลิเมตร ปริมาณการคายระเหยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 150.3 มิลลิเมตร และปริมาณการคายระเหยน้ำต่ำสุดในเดือนธันวาคม คือ 110.1 มิลลิเมตร

5) การวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช

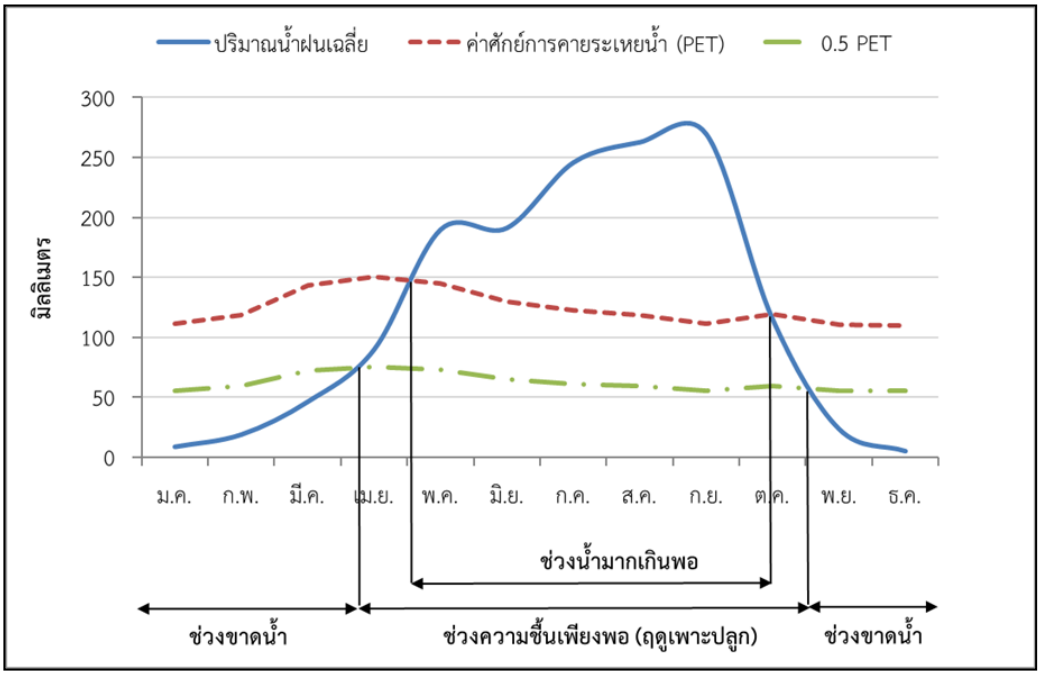
การวิเคราะห์ช่วงฤดูเพาะปลูกพืชเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ย (Potential evapotranspiration: PET) ซึ่งคำนวณและพิจารณาจากระยะเวลาช่วงที่เส้นน้ำฝนอยู่เหนือเส้น 0.5 PET ถือเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช จากการวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมจากการปลูกพืชเศรษฐกิจของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 4) มีดังนี้

- ช่วงน้ำมากเกินพอ อยู่ระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
- ช่วงความชื้นเพียงพอต่อการเพาะปลูก อยู่ระหว่างต้นเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน
- ช่วงขาดน้ำ อยู่ระหว่างต้นเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนเมษายนของปีถัดไป

ตารางที่ 6 ข้อมูลภูมิอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (พ.ศ. 2538-2566)

เดือน	ปริมาณน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ประโยชน์*	อุณหภูมิ (°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์	ค่าศักย์การคายระเหยน้ำ (มม.)*	
	(มม.)	(มม.)	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย*	(เปอร์เซ็น)	PET	0.5 PET
มกราคม	8.6	8.5	12.6	34.5	23.6	67	111.0	55.5
กุมภาพันธ์	18.8	18.2	14.5	37.1	25.8	65	118.2	59.1
มีนาคม	46.2	42.8	17.6	39.1	28.3	64	143.5	71.8
เมษายน	89.7	76.8	20.8	39.8	30.3	68	150.3	75.2
พฤษภาคม	189.6	132.1	22.4	38.3	30.3	76	145.1	72.5
มิถุนายน	191.0	132.6	23.0	36.7	29.9	78	129.9	65.0
กรกฎาคม	245.5	149.1	22.8	36.0	29.4	80	122.5	61.2
สิงหาคม	262.4	151.2	22.7	35.2	28.9	82	118.7	59.4
กันยายน	269.3	151.9	22.3	34.7	28.5	84	111.3	55.7
ตุลาคม	114.9	93.8	19.9	34.2	27.1	79	119.0	59.5
พฤศจิกายน	23.5	22.6	16.4	34.5	25.5	73	110.4	55.2
ธันวาคม	5.0	5.0	12.8	33.7	23.2	69	110.1	55.0
รวม	**1,464.5**	**984.6**	-	-	-	-	**1,489.9**	**745.0**
เฉลี่ย	**122.0**	**82.1**	**19.0**	**36.1**	**27.6**	**74**	**124.2**	**62.1**

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2567 หมายเหตุ : * จากการคำนวณ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงสมดุลของน้ำเพื่อการเกษตร

ธรณีวิทยา

จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 50,000 พบว่าลักษณะทางธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบหน่วยหินต่างๆ (ตารางที่ 7) (กรมทรัพยากรธรณี, 2566) ดังนี้

1) หินอัคนี

1.1) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดีโวเนียน (Carbonpiferous -Devonian : DCsp, Dcb) มีอายุประมาณ 345-395 ล้านปี เป็นกลุ่มหินอัคนีประกอบด้วยหินบะซอลต์ สีเทาถึงเทาแกมเขียว เนื้อละเอียด และพบแร่แคไซต์ สปิลิติก และหินเถ้าภูเขาไฟ (ทัฟฟ์) หินเซอร์เพนทิไนต์ ผุกร่อนมาก รอยแตกมาก

1.2) ยุคไทรแอสซิ-เพอร์เมียน (Triassic Permian : PTrv, PTrh, PTran) มีอายุประมาณ 210-286ล้านปี เป็นกลุ่มหินอัคนีประกอบด้วยหินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินเถ้าภูเขาไฟ (ทัฟฟ์) หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ หินแอนดีซิติกทัฟฟ์ และหินภูเขาไฟคล้ายคลึง เช่น หินไรโอเตไซต์ สีม่วง-ม่วงเทา และสีเทาเขียว เนื้อดอกและเนื้อละเอียดขนาดเดียว เฟลส์สปาร์และควอตซ์เป็นแร่ดอกหยาบ เนื้อธารไหลหินชั้นภูเขาไฟ เนื้อไรโอไลต์ ได้แก่หินทัฟฟ์ พบอยู่ทั่วไป หินแอนดีไซต์ และหินภูเข่ไฟคล้ายคลึง เช่น หินแดไซต์ เนื้อดอกถึงเนื้อขนาดเดียว และหินเถ้าภูเขาไฟ และหินทัฟฟ์ หินแอนดีไซต์กรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และหินกรวดภูเขาไฟ โดยมีหินไรโอไลต์บ้าง

1.3) ยุคไทรแอสซิส (Triassic : Trdi, Trgd, Trgr) มีอายุประมาณ 210-245 ล้านปี เป็นกลุ่มหินอัคนีประกอบด้วยหินไดออไรต์ สีเทาถึงเทาเข้ม เนื้อปานกลาง หินแกรโนไดออไรต์ สีเทา เนื้อปานกลางถึงหยาบ หินไอออไรต์และหินมอนโซไดออไรต์

1.4) ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary : Tbs) มีอายุประมาณ 0.1-0.3 ล้านปี เป็นกลุ่มหินอัคนีประกอบด้วยหินบะซอลต์ สีเทาเข้มถึงสีดำ เป็นแบบรูพรุน และเป็นแบบฟอง ประกอบด้วยผลึกโอลีวีน ไพรอกซีน และสปิเนลบางแห่งแสดงรอยแตกแบบเสา

2) หินตะกอนและหินแปร

2.1) ยุคดิโวเนียน-ไซลูเรียน (Silurian-Devonian : SD) มีอายุประมาณ 443-420 ล้านปี เป็นกลุ่มหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอน และหินฟิลไลต์เนื้อซิลิกา

2.2) ยุคดิโวเนียน (Devonian : D) มีอายุประมาณ 420-360 ล้านปี เป็นกลุ่มหินแปรและหินตะกอนประกอบด้วย หินเชิร์ต หินทัฟฟ์ หินปูนเลนส์ และหินดินดาน สลับบ้าง

2.3) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carbonpiferous : C1,C2) มีอายุประมาณ 360-298 ล้านปี เป็นกลุ่มหินตะกอนเนื้อละเอียด ประกอบด้วย หินทรายเนื้อควอรตซ์ หินดินดาน เนื้อทรายแป้ง หินปูนเลนส์สีเทา และหินกรวดมนแทรกสลับ หินดินดานที่มาจากซากดึกดำบรรพ์และหินโคลน หินทราย สีเทาแกมเหลือง หินทรายแป้ง สีแดง และหินปูน ชั้นบางสลับ

2.4) ยุคเพอร์เมียน (Permian : P1, P2, P3, Pnd, Phn, Ppn, Ps, Pk, Pa, Pn) มีอายุประมาณ 298-250 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินปูนสีเทา แสดงชั้นมวลหนาหรือเป็นปื้นชั้นหนา หินเชิร์ตสีดำ เป็นก้อนหรือชั้นบางแทรกสลับด้วยชั้นบางๆ ของหินดินดานสีเทาบ้าง ส่วนใหญ่เป็นเขาหินปูนที่มีลักษณะเป็นตะปุ่มตะป่ำ มีผาสูงชัน หินดินดาน สีเทาแกมเขียว ถึงสีเทาแกมเขียวเข้ม ชั้นบาง

มีเลนส์หินปูนสีเทาเข้าสลับในส่วนล่าง หินดินดานเนื้อฟิลไลต์ หินทรายแป้ง และหินทราย สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเทา สีเทา และสีดำ ชั้นบาง ชั้นหินส่วนล่างสลับด้วยหินเชิร์ตสีเทาชั้นบาง บางแห่งเป็นหินทรายเนื้อทัฟฟ์ และหินดินดานเนื้อปนกรวด บางบริเวณแปรสภาพเป็นดินดานเนื้อชนวน หินชีสต์ หินฮอร์นเฟลส์ และควอร์ตไซต์

2.5) ยุคไทรแอสซิก(Triassic : Trhl, Trmp) มีอายุประมาณ 250-210 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน สีเทาปนน้ำตาลถึงสีเทา เนื้อปนปูนและหินกรวดมน หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง คัดขนาดดี เม็ดกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งมน สลับชั้นด้วย หินทรายแป้งและหินดิน มีเม็ดปูน สีเทา สีเทาแกมม่วง

2.6) ยุคจูแรสซิก (Jurassic : Jpk, JKpw,) มีอายุประมาณ 210-140 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินทรายเนื้อควอตซ์ สีขาวปนเทา เนื้อควอตซ์ เม็ดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดค่อนข้างดี เม็ดค่อนข้างกลม เม็ดกรวดประกอบด้วย ควอตซ์ เชิร์ต สีเทาและดำ และหินควอร์ตไซต์แสดงชั้นเฉียงระดับหินทรายแป้ง และหินโคลนชั้นบาง แทรกสลับเป็นแห่งๆ หินทราย สีน้ำตาลถึงม่วงแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี หินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) เม็ดปานกลาง สีขาวปนเทา แทรกสลับ หินทรายแป้ง และหินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง เนื้อปนไมกา แสดงชั้นเม็ดปูนซากดึกดำบรรพ์พวกสัตว์มีกระดูกสันหลัง และหอยสองฝา

2.7) ยุคครีเทเซียส (Cretaceous : Ksk, Kpp, Kkk) อายุประมาณ 140-66.4 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อควอตซ์ และหินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) สีน้ำตาลม่วง ขนาดเม็ดปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี การเชื่อมประสานปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก บางบริเวณพบซากดึกดำบรรพ์ หินทราย สีขาวปนเทา เม็ดปนกรวด มีขนาดปานกลางถึงเม็ดหยาบ การคัดขนาดไม่ดี เม็ดค่อนข้างเหลี่ยม ถึงขนาดค่อนข้างกลม เม็ดกรวด ประกอบด้วย ควอตซ์ และเชิร์ต สีแดง เทา ดำ น้ำตาล หินภูเขาไฟ และหินควอร์ตไซต์แสดงชั้นเฉียงระดับหินทรายแป้ง และหินโคลน ชั้นบาง สีเทาถึงเทาดำ และแทรกสลับด้วยหินกรวดมนเป็นแท่งๆ

2.8) ยุคเทอร์เชียรี -ครีเทเชียส (Tertiary-Cretaceous: KTms, KTpt 1, KTpt 2, KTpt, KTky, KTpk) อายุประมาณ 66.4-1.6 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วย หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง เป็นชั้นแบบคลื่นสลับชั้นกัน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ สีแดงอิฐ ขนาดเม็ดละเอียดแสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแถบชั้นบางเฉียงระดับหินโคลนและหินเคลย์ สีน้ำตาลแดง สีแดงส้ม พบร่องรอยซากสัตว์ หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง สีน้ำตาลแกมส้ม สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ ระดับขนาดเล็ก พบซากดึกดำบรรพ์ประเภทรูหนอน หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง หินเคลย์ และหินกรวดมน หินทรายสลับหินทรายแป้ง มีอิฐ สีสนิมเหล็ก หินทราย สีน้ำตาบแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียดเป็นชั้นหนาที่มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงและหินทรายแป้ง แกมน้ำตาลถึงแกมม่วง เนื้อละเอียดมากถึงหินทรายแป้งเนื้อปูนผสม

3) ตะกอน

ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary : Qr, Qc, Qt, Qas, Qa, Qff, Qfc) อายุประมาณ 1.6-0.1 ล้านปี เป็นหินแปรและหินตะกอน ประกอบด้วยตะกอนที่ผุพังอยู่กับที่ : หินผุ ลูกรัง และศิลาแลง ตะกอนตะพักลำน้ำ : กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวและศิลาแลง ตะกอนเนินทราย : ทราย เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดีปานกลาง ความมนปานกลาง ไม่พบโครงสร้างชั้นตะกอนเลย ตะกอนธารน้ำพา : ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว กรวด และศิลาแลง ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง : ดินเหนียว และดินเหนียวปนทราย เนื้อละเอียด ชั้นหนา เนื้อเหนียว พบเม็ดเหล็กบ้างเล็กน้อย ตะกอนร่องทางน้ำพา : ดินเหนียว สีดำ เหนียวนิ่ม ทราย เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดี ความมนปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับชัดเจน สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนสลับกันไปมา ในร่องทางน้ำ สันทราย สันดอนทรายกลางน้ำ บึงน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง พบซากไม้ที่ถูกไฟไหม้สะสมตัวอยู่เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 7 หน่วยแผนที่ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หน่วยทางธรณีวิทยา	**ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)**	**ยุค (PERIOD)**	**อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)**
หินอัคนี (IGNEOUS ROCKS)			
DCsp	หินบะซอลต์ สีเทาถึงเทาแกมเขียว เนื้อละเอียด และพบแร่แคไซต์ สปิลิติก และหินเถ้าภูเขาไฟ (ทัฟฟ์)	ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-ดีโวเนียน (Carbonpiferous - Devonian)	345-395
Dcb	หินเซอร์เพนทิไนต์ ผุกร่อนมาก รอยแตกมาก		
PTrv	หินไรโอไลต์ หินแอนดีไซต์ หินเถ้าภูเขาไฟ (ทัฟฟ์) หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ หินแอนดีซิติกทัฟฟ์	ยุคไทรแอสซิ-เพอร์เมียน (Triassic Permian)	210-286
PTrh	หินไรโอไลต์ และหินภูเขาไฟคล้ายคลึง เช่น หินไรโอเดไซต์ สีม่วง-ม่วงเทา และสีเทาเขียว เนื้อดอกและเนื้อละเอียดขนาดเดียว เฟลส์สปาร์และควอตซ์เป็นแร่ดอกหยาบ เนื้อธารไหล หินชั้นภูเขาไฟเนื้อไรโอไลต์ ได้แก่ หินทัฟฟ์ พบอยู่ทั่วไป		
PTran	หินแอนดีไซต์ และหินภูเขไฟคล้ายคลึง เช่น หินแดไซต์ เนื้อดอกถึงเนื้อขนาดเดียว และหินเถ้าภูเขาไฟ และหินทัฟฟ์ หินแอนดีไซต์กรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ และหินกรวดภูเขาไฟ โดยมีหินไรโอไลต์บ้าง		
Trdi	หินไดออไรต์ สีเทาถึงเทาเข้ม เนื้อปานกลาง	ยุคไทรแอสซิส (Triassic)	210-245
Trgd	หินแกรโนไดออไรต์ สีเทา เนื้อปานกลางถึงหยาบ		
Trgr	หินแกรโนไดโอไรด์ หินไอออไรต์และหินมอนโซไดออไรต์		
Tbs	หินบะซอลต์ สีเทาเข้มถึงสีดำ เป็นแบบรูพรุน และเป็นแบบฟอง ประกอบด้วยผลึกโอลีวีน ไพรอกซีน และสปิเนลบางแห่งแสดงรอยแตกแบบเสา	ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary)	0.1-0.3

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
หินตะกอน และหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
SD	หินฟิลไลต์ หินฟิลไลต์เนื้อคาร์บอน และหินฟิลไลต์เนื้อซิลิกา	ยุคดิโวเนียน-ไซลูเรียน (Silurian-Devonian)	443-420
D	หินเชิร์ต หินทัฟฟ์ หินปูนเลนส์ และหินดินดาน สลับบ้าง	ยุคดิโวเนียน (Devonian)	420-360
C1	หินทรายเนื้อควอรตซ์ หินดินดาน เนื้อทรายแป้ง หินปูนเลนส์สีเทา และหินกรวดมนแทรกสลับ	ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Carbonpiferous)	360-298
C2	หินดินดานที่มาจากซากดึกดำบรรพ์และหินโคลน หินทราย สีเทาแกมเหลือง หินทรายแป้ง สีแดง และหินปูน ชั้นบางสลับ		
Pn	หินปูน สีดำถึงเทาดำ ลักษณะมีลายเป็บแถบหยาบและถี่ มีซากไครนอยด์ ฟิวซูลินิด และปะการัง กินเชิร์ต แสดงชั้นชัดเจน หินดินดานและหินทรายเนื้อทัฟฟ์ สีเทาแกมน้ำตาล น้ำตาลแกมเทา และสีหนังลูกวัวอ่อน และมีหินภูเขาไฟ แทรกด้วยบางแห่งแปรสภาพเป็นหินฮอร์นเฟลส์ หินชนวน และหินควอร์ตไซต์ ส่วนมากมีซากไคนอยต์ ฟิวซูลินิดและปะการัง	ยุคเพอร์เมียน (Permian)	298-250
Pa	หินดินดาน หินดินดานกึ่งหินชนวน และหินชนวนชั้นบาง สีเทา ขี้ม้า น้ำตาล และน้ำตาลแกมแดงเรื่อ มีชั้นหินทรายและหินปูนแทรกเป็นกระเปาะบ้าง บางแห่งเป็นหินฮอร์นเฟลส์		
Pk	หินปูน สีเทาแก่ ถึงเทาอ่อน ชั้นบางๆ ถึงชั้นหนา และหินปูนเนื้อดินตกผลึกใหม่ มักมีหินเชิร์ตที่เป็นกระเปราะ เป็นชั้นดีและเป็นเลนส์แทรก มีหินดินดานเนื้อฟิลไลต์รองรับอยู่ส่วนล่าง บางบริเวณเป็นหินอ่อนและหินแคลท์ซิลิเกต พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกไครนอยด์ สาหร่าย ฟิวซูลินิด ฟอแรมขนาดเล็ก ออสตราคอด ปะการัง หอยเจดีย์ ไบรโอซัว และเพลเลต		
Ps	หินดินดาน สีเทาแกมเขียว ถึงสีเทาแกมเขียวเข้ม ชั้นบาง มีเลนส์หินปูนสีเทาเข้าสลับในส่วนล่าง หินดินดานเนื้อฟิลไลต์ หินทรายแป้งและหินทราย สีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลเทา สีเทา และสีดำ ชั้นบาง ชั้นหินส่วนล่างสลับด้วยหินเชิร์ตสีเทาชั้นบาง บางแห่งเป็นหินทรายเนื้อทัฟฟ์ และหินดินดานเนื้อปนกรวด บางบริเวณแปรสภาพเป็นหินดินดานเนื้อชนวน หินชีสต์ หินฮอร์นเฟลส์ และควอร์ตไซต์		

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
หินตะกอน และหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
Ppn	หินปูน หินปูนเนื้อดิน และหินปูนปูนโดโลไมต์ สีเทาถึงเทาดำ เนื้อละเอียดตกผลึกใหม่บางบริเวณถูกแทนที่ด้วยโดไลไมต์ และซิลิกาแบบเฉพาะที่ ชั้นหินหนา ถึงเป็นมวลหิน พบหินเชิร์ตสีน้ำตาลทั้งแบบก้อน และแถบชั้นซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ และฟองน้ำ	ยุคเพอร์เมียน (Permian)	298-250
Phn	หินดินดาน สีเทา หินทรายสีน้ำตาลแกมเหลือง หินดินดาน สลับชั้นด้วย หินทรายเกร์แวก หินดินดานสลับชั้นด้วยหินปูนเนื้อดิน และมีหินปูนเป็นเลนส์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิด แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ และเศษพืช		
Pnd	หินดินดาน สีเทาดำ น้ำตาลแดง หินทราย สีน้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง มีชั้นเฉียงระดับขนาดกลาง มีการคดโค้งมาก มีซิลิเซียสเชื่อมประสาน หินปูน สีเทาถึงเทาเข้ม แสดงชั้นดีและชั้นบาง หินปูนเป็นเลนส์ พบซากดึกดำบรรพ์ของฟิวซูลินิด แบรคิโอพอด หอยเจดีย์ ไครนอย์ แอมโมไนต์ และเศษพืช		
P1	หินปูน สีเทา สีเทาขาว ชั้นหินชัดเจน ชั้นบางถึงหนา ถึงซากดึกดำบรรพ์พวกคตข้าวสาร ปะการัง ฟองน้ำ สาหร่าย		
P2	หินดินดาน สลับ หินทราย หินปูนเลนส์สีเทา		
P3	หินดินดาน สีน้ำตาล สีน้ำตาลเทา หินทราย และหินกรวดภูเขาไฟ		
Trhl	หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน สีเทาปนน้ำตาลถึงสีเทา เนื้อปนปูนและหินกรวดมน	ยุคไทรแอสซิก (Triassic)	250-210
Trmp	หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง คัดขนาดดี เม็ดกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งมน สลับชั้นด้วย หินทรายแป้งและหินดิน มีเม็ดปูน สีเทา สีเทาแกมม่วง		
Jpk	หินทราย สีน้ำตาลถึงม่วงแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี หินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) เม็ดปานกลาง สีขาวปนเทา แทรกสลับ หินทรายแป้ง และหินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง เนื้อปนไมกา แสดงชั้นเม็ดปูนซากดึกดำบรรพ์พวกสัตว์มีกระดูกสันหลัง และหอยสองฝา	ยุคจูแรสซิก (Jurassic)	210-140
JKpw	หินทรายเนื้อควอตซ์ สีขาวปนเทา เนื้อควอตซ์ เม็ดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดค่อนข้างดี เม็ดค่อนข้างกลม เม็ดกรวดประกอบด้วย ควอตซ์ เชิร์ต สีเทาและดำ และหินควอร์ตไซต์แสดงชั้นเฉียงระดับหินทรายแป้ง และหินโคลนชั้นบาง แทรกสลับเป็นแห่งๆ		

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
หินตะกอน และหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
Ksk	หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อควอตซ์ และหินทรายเนื้อเฟลสปาร์ (หินอาร์โคส) สีน้ำตาลม่วง ขนาดเม็ดปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี การเชื่อมประสานปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก บางบริเวณพบซากดึกดำบรรพ์	ยุคครีเทเชียส (Cretaceous)	140-66.4
Kpp	หินทราย สีขาวปนเทา เม็ดปนกรวด มีขนาดปานกลางถึงเม็ดหยาบ การคัดขนาดไม่ดี เม็ดค่อนข้างเหลี่ยม ถึงขนาดค่อนข้างกลม เม็ดกรวด ประกอบด้วย ควอตซ์ และเชิร์ตสีแดง เทา ดำ น้ำตาล หินภูเขาไฟ และหินควอร์ตไซต์แสดงชั้นเฉียงระดับ หินทรายแป้ง และหินโคลน ชั้นบาง สีเทาถึงเทาดำ และแทรกสลับด้วยหินกรวดมนเป็นแท่งๆ		
Kkk	หินทราย สีน้ำตาลแดงและน้ำตาลแกมแดง เม็ดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี หินทรายแป้ง และหินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง เนื้อปนไมกา แสดงชั้นเม็ดเม็ดปูน		
หินตะกอน และหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
KTms	หินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด สีแดงและน้ำตาลแดง มีแร่เกลือหิน ยิปซั่ม และแอนไฮไดรต์	ยุคเทอร์เชียรี - ครีเทเชียส (Tretiary-Cretaceous)	66.4-1.6
KTpt 1	หินทรายสลับหินทรายแป้ง มีอิฐ สีสนิมเหล็ก หินทราย สีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียด เป็นชั้นหนาที่มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงและหินทรายแป้ง แกมน้ำตาลถึงแกมม่วง เนื้อละเอียดมากถึงหินทรายแป้งเนื้อปูนผสม		
หินตะกอน และหินแปร (SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS)			
KTpt 2	หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง เป็นชั้นแบบคลื่นสลับชั้นกัน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ สีแดงอิฐ ขนาดเม็ดละเอียดแสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแถบชั้นบางเฉียงระดับหินโคลนและหินเคลย์ สีน้ำตาลแดง สีแดงส้ม พบร่องรอยซากสัตว์	ยุคเทอร์เชียรี - ครีเทเชียส (Tretiary-Cretaceous)	66.4-1.6
KTpt	หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง สีน้ำตาลแกมส้ม สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ ระดับขนาดเล็ก พบซากดึกดำบรรพ์ประเภทรูหนอน		
KTky	หินทราย สีแดงอิฐ ถึงสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง และหินเคลย์ เนื้อปนปูนในส่วนกลาง		

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หน่วยทางธรณีวิทยา	ชื่อหมวดกลุ่มหิน (FORMATION/GROUP)	ยุค (PERIOD)	อายุ (ล้านปี) (AGE : my.)
KTpk	หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง หินเคลย์ และหินกรวดมน	ยุคเทอร์เชียรี - ครีเทเชียส (Tretiary-Cretaceous)	66.4-1.6
KTms	หินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด สีแดงและน้ำตาลแดง มีแร่เกลือหิน ยิปซั่ม และแอนไฮไดรต์		
KTpt 1	หินทรายสลับหินทรายแป้ง มีอิฐ สีสนิมเหล็ก หินทราย สีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียด เป็นชั้นหนาที่มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงและหินทรายแป้ง แกมน้ำตาลถึงแกมม่วง เนื้อละเอียดมากถึงหินทรายแป้งเนื้อปูนผสม		
KTpt 2	หินทรายแป้ง หินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง เป็นชั้นแบบคลื่นสลับชั้นกัน หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ สีแดงอิฐ ขนาดเม็ดละเอียดแสดงชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแถบชั้นบางเฉียงระดับหินโคลนและหินเคลย์ สีน้ำตาลแดง สีแดงส้ม พบร่องรอยซากสัตว์		
KTpt	หินโคลน สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง สีน้ำตาลแกมส้ม สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ ระดับขนาดเล็ก พบซากดึกดำบรรพ์ประเภทรูหนอน		
KTky	หินทราย สีแดงอิฐ ถึงสีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง และหินเคลย์ เนื้อปนปูนในส่วนกลาง		
KTpk	หินทราย สีน้ำตาลแกมแดง หินทรายแป้ง หินเคลย์ และหินกรวดมน		
Qr	ตะกอนที่ผุพังอยู่กับที่: หินผุ ลูกรัง และศิลาแลง	ยุคควอเทอร์นารี (Quaternary)	1.6-0.1
Qc	ตะกอนเศษหินเชิงเขา: เศษหิน ทราย ทรายแป้ง และแม่รัง		
Qt	ตะกอนตะพักลำน้ำ: กรวด ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียวและศิลาแลง		
Qas	ตะกอนเนินทราย: ทราย เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดี ปานกลาง ความมนปานกลาง ไม่พบโครงสร้างชั้นตะกอนเลย		
Qa	ตะกอนธารน้ำพา: ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว กรวด และศิลาแลง		
Qff	ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง : ดินเหนียว และดินเหนียวปนทราย เนื้อละเอียด ชั้นหนา เนื้อเหนียว พบเม็ดเหล็กบ้างเล็กน้อย		
Qfc	ตะกอนร่องทางน้ำพา : ดินเหนียว สีดำ เหนียวนิ่ม ทราย เนื้อปานกลาง การคัดขนาดดี ความมนปานกลาง แสดงชั้นเฉียงระดับชัดเจน สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนสลับกันไปมาในร่องทางน้ำ สันทราย สันดอนทรายกลางน้ำ บึงน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง พบซากไม้ที่ถูกไฟไหม้สะสมตัวอยู่เป็นจำนวนมาก		

ธรณีสัณฐาน

ลักษณะทางธรณีวิทยาช่วยในการคาดคะเนของชนิดวัตถุต้นกำเนิดดิน จึงได้แบ่งชนิดของสภาพพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ออกเป็น 4 ส่วน ตามลักษณะภูมิสัณฐานและสภาพพื้นที่ที่พบร่วมกับลักษณะทางธรณีวิทยา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ข; สถิระ, 2558) ดังนี้

1) ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain)

พบบริเวณหน่วยทางธรณีวิทยาแบบ Qa (alluvial deposit Quaternary) เป็นที่ได้รับอิทธิพลของแม่น้ำ/ลำน้ำสาขา วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา (alluvium) สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงราบเรียบ ในหน้าฝนหรือหน้าน้ำหลากมักมีน้ำท่วมและมีการทับถมของตะกอนเพิ่มมากหลังน้ำท่วม ประกอบด้วย พื้นที่ 2 ส่วน คือ

1.1) สันดินริมน้ำ (levee) โดยทั่วไปจะเป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีการระบายน้ำค่อนข้างดีถึงดี

1.2) ที่ลุ่มหลังสันดิน (back swam, basin) เป็นบริเวณพื้นที่ต่ำ มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ดินมีการพัฒนาไม่มากนัก

2) ตะพักลำน้ำ (alluvial terrace)

พบบริเวณหน่วยธรณีวิทยาแบบ Qa และ Qt (terrace deposit Quaternary) เป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลของแม่น้ำ/ลำน้ำสาขา วัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนน้ำ มีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นขั้น ๆ ข้างตลิ่งเกิดทางน้ำที่ตะกอนตกจมทับถมกลายเป็นที่ราบลุ่ม แล้วต่อมาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับฐาน กระแสน้ำไหลแรงและสามารถกัดเซาะที่ราบลุ่มน้ำจนต่ำลง จึงทำให้ที่ราบลุ่มน้ำส่วนที่เหลืออยู่สูงกว่าท้องน้ำใหม่ ๆ เมื่อเวลาผ่านไปท้องน้ำจะยิ่งกว้างออกไป และอาจเกิดที่ราบลุ่มตรงท้องน้ำที่กว้างออกไปขึ้นอีก วนเวียนกันไปเรื่อย ๆ จนเกิดที่ราบเป็นขั้น ๆ ในบริเวณนั้น โดยตลิ่งแต่ละข้างอาจมีตะพักได้หลายระดับ ได้แก่ ตะพักลำน้ำระดับต่ำ (low alluvial terrace) ตะพักลำน้ำระดับกลาง (middle alluvial terrace) และตะพักลำน้ำระดับสูง (high alluvial terrace)

ลักษณะดินบริเวณตะพักลำน้ำมีความแตกต่างกันออกไป บริเวณตะพักลำน้ำระดับต่ำ มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว สีดินเป็นสีน้ำตาลปนเทา น้ำตาล มีจุดประสีต่าง ๆ เนื้อดินอาจเป็นดินร่วน ดินเหนียว หรือร่วนเหนียวปนทราย ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือดินที่ได้รับอิทธิพลจากหินอมเกลือ ส่วนบริเวณตะพักลำน้ำระดับกลางและระดับสูง (middle-high alluvial terrace) มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ดินมีการระบายน้ำดี ดินมีสีน้ำตาล เหลือง จนแดง เนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายหรือทรายแป้ง และมักจะพบก้อนกรวดท้องน้ำลักษณะกลมมนหรือตะกอนทรายหยาบในตอนล่างลึก ๆ ของหน้าตัดดิน ที่บ่งบอกถึงการเป็นตะกอนที่ถูกพัดพามา (ส่วนใหญ่พบอยู่ลึกมากกว่า 2 เมตร)

3) พื้นที่เกือบราบ (peneplain/planation)

พื้นที่เกือบราบหรือที่ราบนี้จะเป็นผืนแผ่นดินที่การผุพังทำลายทำให้เขากร่อนลง ๆ จนเกือบราบหรือเป็นคลื่นน้อย ๆ พื้นราบนี้หากถูกยกตัวขึ้นสูง ดูจากเบื้องล่างเห็นเป็นภูเขาใหญ่ แต่เมื่อมองจากอากาศแล้วเห็นขอบเขตของพื้นราบในอดีตได้ บริเวณพื้นที่นี้จะครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบหน่วยทางธรณีวิทยาในกลุ่มหินโคราช ส่วนใหญ่เป็นหมวดหิน KTpt, KTms และ Kkk วัตถุต้นกำเนิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือถูกเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุหยาบที่มาจากหินตะกอน ที่ส่วนเป็นพวกหินทราย ไม่ค่อยพบชิ้นส่วนหรือเศษหินของหินทรายในหน้าตัดดินหรือบริเวณผิวหน้าดิน

3) พื้นที่เกือบราบ (peneplain/planation)

พื้นที่เกือบราบหรือที่ราบนี้จะเป็นผืนแผ่นดินที่การผุพังทำลายทำให้เขากร่อนลงๆ จนเกือบราบหรือเป็นคลื่นน้อย ๆ แต่ไม่ถึงขนาดเป็นที่ราบลุ่มน้ำ พื้นราบนี้หากถูกยกตัวขึ้นสูง โดยความเคลื่อนไหวของเปลือกโลกจะถูกสายน้ำกัดเซาะเป็นโกรกธารน้อยใหญ่ ดูจากเบื้องล่างเห็นเป็นภูเขาใหญ่ แต่เมื่อมองจากอากาศแล้วเห็นขอบเขตของพื้นราบในอดีตได้ บริเวณพื้นที่นี้จะครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบหน่วยทางธรณีวิทยาในกลุ่มหินโคราช ส่วนใหญ่เป็นหมวดหิน KTpt KTms และ Kkk วัตถุต้นกำเนิดจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่หรือถูกเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุหยาบที่มาจากหินตะกอน ที่ส่วนเป็นพวกหินทราย แต่ไม่ค่อยพบชิ้นส่วนหรือเศษหินของหินทรายในหน้าตัดดินหรือบริเวณผิวหน้าดิน

พื้นที่เกือบราบหรือที่เกือบราบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยอาศัยลักษณะความสูงต่ำ (relief) ระดับความรุนแรงของการกัดเซาะ (degree of dissected) และความลาดชันของสภาพพื้นที่ ดังนี้

3.1) พื้นที่เกือบราบ ความสูงต่ำของพื้นที่เป็นแบบราบเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย

บริเวณนี้มีความรุนแรงของการกัดเซาะอยู่เล็กน้อย มีความลาดชันของพื้นที่ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 0-5 พบเป็นส่วนใหญ่บริเวณส่วนล่างของหน่วยทางธรณีวิทยาแบบ KTpt, KTms และบางส่วนของ Kkk รวมไปถึงช่วงรอยต่อของ Qa และ KTms หรือ Kkk สมบัติของดินมีลักษณะแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ที่พบ โดยดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลวในบริเวณที่ราบลุ่มหรือที่ราบ หรือตามร่องระหว่างที่ดอนหรือเนิน เนื้อดินส่วนใหญ่มีทรายปน ดินมีสีเทาหรือน้ำตาลปนเทา เป็นสีพื้น และพบจุดสีต่าง ๆ ถัดขึ้นมาบริเวณพื้นที่ที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ดินจะมีสีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลือง เหลือง และมีจุดประสีเทาค่อนข้างชัดเจนโดยเฉพาะในช่วงตอนบนอันเนื่องมาจากการขังน้ำ นอกจากนี้จะพบจุดประสีเหลือง น้ำตาล หรือแดงในหน้าตัดดิน ดินมีการระบายน้ำอยู่ระหว่างค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง

ในอดีต พื้นที่บริเวณนี้ใช้ปลูกพืชไร่ ไม้ผลหรือไม้ยืนต้น ปัจจุบันส่วนใหญ่ได้มีการดัดแปลงสภาพพื้นที่โดยการทำคันนา เพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว ซึ่งคันนาจะมีลักษณะค่อนข้างกว้างและสูง เนื่องจากเกษตรกรได้ปาดเอาหน้าดินที่เป็นชั้นดินทรายและหนาออกไปกองไว้เพื่อทำคันนาสำหรับใช้ปลูกข้าว บางบริเวณหากมีชั้นดินเหนียวอยู่ด้านล่างสามารถเก็บกักน้ำได้ มักจะพบชั้นลูกรังทั้งที่มีความหนามาก ๆ หรือเป็นชั้นบาง ๆ ในช่วงดินที่การเปลี่ยนแปลงเนื้อดินจากเนื้อดินหยาบเป็นเนื้อละเอียด ค่าปฏิกิริยาดินในสนามส่วนใหญ่เป็นกรดถึงปานกลาง แต่หากบริเวณใดที่ได้รับอิทธิพลของความเค็ม จะมีค่าปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างปานกลาง และมีคราบเกลือบริเวณผิวหน้าดิน ส่วนบริเวณที่ดอนแบบลูกคลื่นลอนลาด และการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างดีเกินไป ดินจะมีสีน้ำตาลปนเหลือง จนถึงแดง และอาจพบจุดเล็กน้อย ค่าปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย

3.2) พื้นที่เกือบราบ ความสูงต่ำของพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อยถึงเนินเขา

บริเวณนี้มีความรุนแรงของการกัดเซาะปานกลางถึงรุนแรง มีความลาดชันของพื้นที่ตั้งแต่ประมาณร้อยละ 5-20 พบเป็นส่วนใหญ่บริเวณตอนล่างของหน่วยงานธรณีวิทยาแบบ Kkk และตอนบนของหน่วย KTms ดินส่วนใหญ่มีการระบายน้ำค่อนข้างดีถึงดี ดินมีสีน้ำตาล น้ำตาลปนเหลือง เหลือง น้ำตาลปนแดง จนถึงสีแดง เนื้อดินทรายปนอย่างชัดเจน บางบริเวณพบลูกรังในหน้าตัดดิน ค่าปฏิกิริยาเป็นกรดจัดถึงกรดปานกลาง บริเวณนี้ส่วนใหญ่ใช้ปลูกพืชไร่ชนิดต่าง ๆ รวมถึงไม้ผล ไม้ยืนต้น บางส่วนยังคงสภาพเป็นป่า ทั้งชุมชนและป่าเต็งรัง แต่ก็มีบางบริเวณที่มีการดัดแปลงสภาพพื้นที่ที่ทำคันนา เพื่อใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว แต่ไม่ค่อยจะได้ผลผลิตข้าวมาก เนื่องจากสภาพพื้นที่และลักษณะดินไม่เหมาะสม มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ แต่สามารถปลูกข้าวในบริเวณที่ลุ่มระหว่างเนิน ที่ดินมีการระบายน้ำแบบค่อนข้างเลวถึงเลว ดินมีเทาหรือน้ำตาลปนเทาและมีจุดประสีต่างๆ

4) หน่วยที่รองรับด้วยหินชนิดต่าง ๆ และโครงสร้างของหิน (Rocks controlled landform/structural unit)

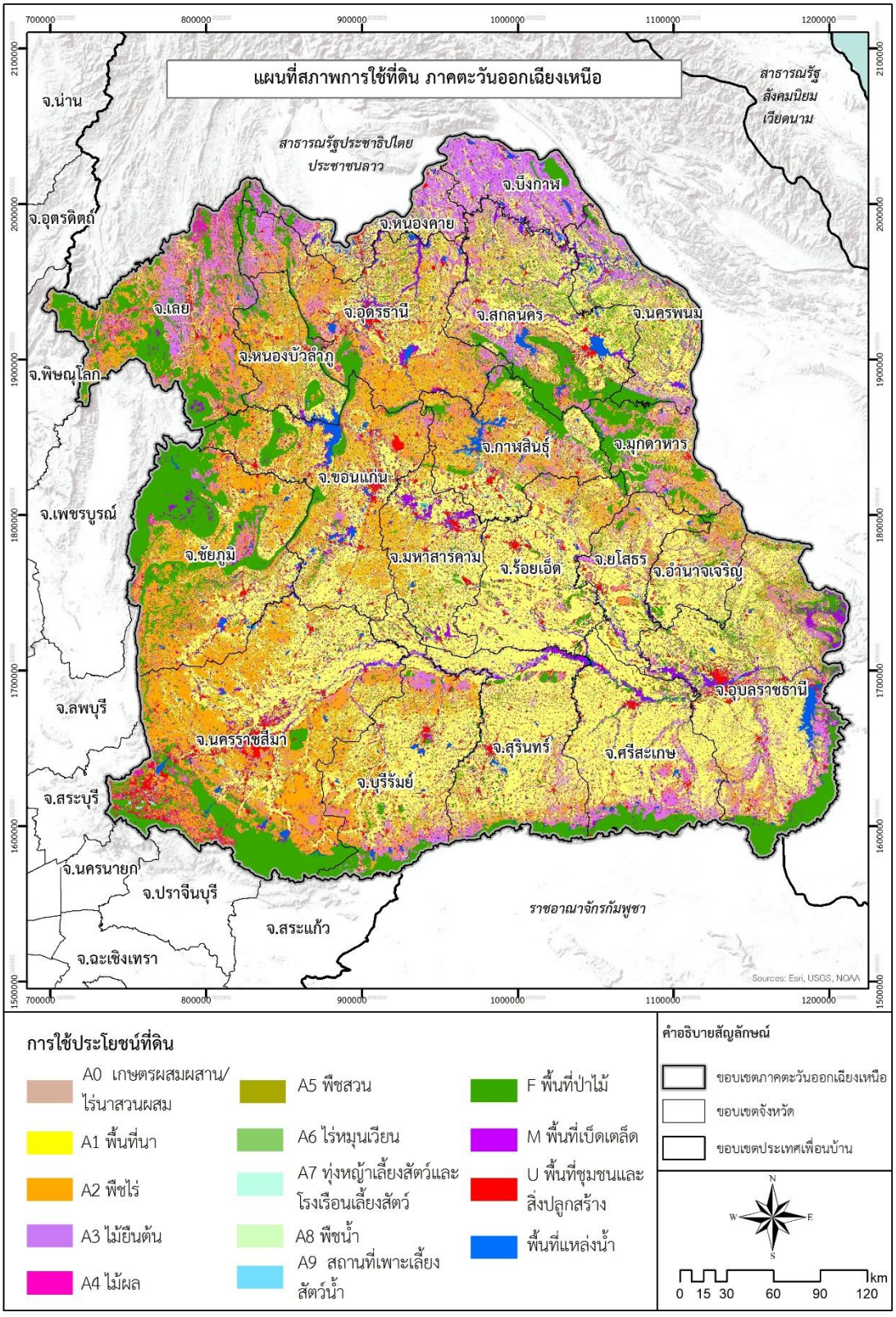
บนบริเวณหน่วยทางธรณีวิทยาแบบที่มีอายุในช่วงเวลาต่าง ๆ มีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขา หุบเขาเนินหรือที่ราบ เกิดจากการที่หินผุพังสลายตัวในลักษณะที่แตกต่างและมีสภาพคงทนต่อการกัดกร่อนของตัวการแบบต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินแต่ละชนิดและถูกควบคุมด้วยลักษณะของโครงสร้างทางธรณีวิทยา ส่วนใหญ่มักมีหินที่เป็นวัตถุต้นกำเนิดดินปะปนให้เห็นทั้งในหน้าตัดหรือลอยบนผิวหน้าดิน อาจแบ่งออกได้ตามลักษณะและชนิดของหิน

สภาพการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ข้อมูลการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวบรวมจากข้อมูลการใช้ที่ดินระดับจังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุดรธานี และอุบลราชธานี (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2565) จังหวัดกาฬสินธุ์ นครราชสีมา ยโสธร หนองคาย มุกดาหาร อำนาจเจริญ หนองบัวลำภู และบึงกาฬ (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2566) พบว่ามีพื้นที่เกษตรกรรม กว่าร้อยละ 70 โดยส่วนใหญ่เป็นนาข้าว รองลงมาเป็นพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน (ตารางที่ 8 และภาพที่ 5)

ตารางที่ 8 ประเภทการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A พื้นที่เกษตรกรรม		**73,938,970**	**70.062**
A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	63,466	0.060
A1	พื้นที่นา	41,566,497	39.387
A2	พืชไร่	19,995,164	18.947
A3	ไม้ยืนต้น	10,469,239	9.920
A4	ไม้ผล	1,084,503	1.028
A5	พืชสวน	163,872	0.155
A6	ไร่หมุนเวียน	597	0.001
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	402,915	0.382
A8	พืชน้ำ	906	0.001
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	191,811	0.182
F	**พื้นที่ป่าไม้**	**17,117,704**	**16.220**
M	**พื้นที่เบ็ดเตล็ด**	**3,813,800**	**3.614**
U	**พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง**	**6,459,971**	**6.121**
W	**พื้นที่น้ำ**	**4,203,515**	**3.983**
รวมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		**105,533,960**	**100.000**



ภาพที่ 5 แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: ดัดแปลงจากกลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (2565; 2566)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากฐานข้อมูลทรัพยากรดินของกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2562) พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แจกกระจายในพื้นที่ 9 จังหวัด มีเนื้อที่รวม 2,258,959 ไร่ พบมากที่สุดในจังหวัดนครราชสีมา รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม ซึ่งเป็นพื้นที่ในแอ่งโคราช มีด้วยกัน 5 ชุดดิน เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินกุลาร้องไห้ (Ki) ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ (Tsr) ชุดดินประทาย (Pt) ชุดดินขามทะเลสอ (Kts) และชุดดินอุดร (Ud) นอกจากนี้ยังพบดินที่มีลักษณะไม่เข้าเกณฑ์การจำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระบบอนุกรมวิธานดิน แต่เกี่ยวข้องกับการสะสมเกลือเนื่องจากพบคราบเกลือบนผิวดิน จึงนำลักษณะดังกล่าวมาจำแนกในระดับประเภทดิน (soil phase) เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินหนองบุญนากที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nbn/sa) ชุดดินร้อยเอ็ดที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Re/sa) ชุดดินอุบลที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ub/sa) ชุดดินหนองกุงที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nkg/sa) ชุดดินโนนแดงที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ndg/sa) ชุดดินโนนไทยที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nt/sa) และชุดดินท่าตูมที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Tt/sa) มีเนื้อที่รวม 210,932 ไร่ รวมดินทั้งสองประเภทมีเนื้อที่ 2,469,891 ไร่ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินที่มีคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	จังหวัด	หน่วยแผนที่	เนื้อที่ (ไร่)
1	กาฬสินธุ์	Ki, Pt, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Re/sa	18,418
2	ขอนแก่น	Ki, Pt, Tsr, Re/sa, Ub/sa	374,509
3	ชัยภูมิ	Ki, Tsr	44,071
4	นครราชสีมา	Ki, Pt, Kts, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Nkg/sa, Nt/sa	1,409,878
5	บุรีรัมย์	Ki, Pt, Ub/sa	21,716
6	มหาสารคาม	Ki, Pt, Tsr, Tt/sa	187,814
7	ร้อยเอ็ด	Ki, Pt	248,789
8	สุรินทร์	Ki, Pt	99,585
9	อุดรธานี	Ud, Nbn/sa, Re/sa	53,551
10	สกลนคร	Re/sa	3,217
11	หนองคาย	Nbn/sa	8,343
รวม			2,469,891

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งเกลือมาจากการละลายของเกลือหิน หรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก มีความสัมพันธ์กับชั้นเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามที่รองรับอยู่ข้างล่าง (Wongsomsak, 1986) เมื่อหินสลายตัวผุพังแล้วปลดปล่อยเกลืออิสระ (free salt portion) ออกมา (Sinanuwong and Takaya, 1974) สมศรี (2542) พบว่าในพื้นที่เดียวกันดินมีความเค็มไม่สม่ำเสมอแตกต่างกันระหว่างชั้นดินและเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เกลือเคลื่อนที่ขึ้นมาสะสมในชั้นดินบนช่วงฤดูแล้ง แต่จะถูกชะกลับไปสะสมที่ชั้นดินล่าง ทำให้ดินมีความเค็มลดลงช่วงฤดูฝน

การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

คราบเกลือบนผิวดิน (salt crust หรือ salt pan หรือ saline crust) คือคราบวัตถุที่เกิดจากการสะสมเกลือบนผิวดิน มักพบในพื้นที่ต่ำและที่ราบที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้น ในพื้นที่ที่มีอัตราปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่อการระเหยของน้ำ (precipitation to evapotranspiration ratio) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 การสะสมคราบเกลือบนผิวดินเป็นผลมาจากน้ำซึมเค็ม (saline seepage) ที่ไหลลงมาจากพื้นที่สูงกว่า และเคลื่อนที่จากบริเวณที่เปียกไปบริเวณที่แห้ง น้ำเค็มใต้ดินเคลื่อนที่มาสะสมใกล้ผิวดินและบนผิวดินด้วยแรงดึงน้ำในช่องว่างของดินหรือการเคลื่อนขึ้นแคพิลลารี (capillary rise) ความเข้มข้นของเกลือจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการระเหยเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำที่ผิวดินระเหยไป เกลือจะตกตะกอน (precipitation) และ/หรือ ตกผลึก (crystallization) ซึ่งหากการสะสมเกลือบนผิวดินเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง คราบเกลือจะหนาขึ้นเรื่อย ๆ มีลักษณะเป็นแผ่นปิดผิวหน้าดิน ซึ่งลักษณะของผิวดินและอัตราการระเหยของน้ำมีผลต่อสัณฐานของคราบเกลือบนผิวดินและขนาดผลึกของเกลือ (Brady and Weil, 2008; Sheng *et al.*, 2016) คราบเกลือบนผิวดินที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีหลายลักษณะ เช่น เป็นผลึกสีขาว ผงสีขาวปนกับขุยสีน้ำตาล ขุยสีน้ำตาลแดง คราบเกลือบนผิวดินเป็นลักษณะที่สามารถสังเกตด้วยสายตาและตรวจสอบได้ในพื้นที่ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 สภาพพื้นที่และลักษณะของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พิชัย (2539) ศึกษาและแบ่งลักษณะการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินและสภาพพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็น 7 ระดับ และกำหนดเกณฑ์การพิจารณาพื้นที่ ดังนี้

ระดับ 1 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินมาก พบคราบเกลืออยู่ทั่วไปบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ ส่วนใหญ่จะเป็นที่ว่างเปล่า พืชที่พบเป็นไม้ทรงพุ่มมีหนาม เช่น หนามแดง หนามพรม หนามปี น้ำใต้ดินในบริเวณนี้เค็มจัดและอยู่ในระดับตื้นมาก (1-1.5 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง)

ระดับ 2 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินปานกลาง พบคราบเกลือบนผิวดินเป็นหย่อม ๆ ร้อยละ 10–50 ของพื้นที่ อาจพบเป็นแนวแคบ ๆ รอบชายเนิน ส่วนใหญ่ปลูกข้าว แต่ให้ผลผลิตต่ำมาก พืชพรรณธรรมชาติ ได้แก่ สะแก ตาล และต้นไม้ทนเค็มบางชนิด น้ำใต้ดินเป็นน้ำเค็มและอยู่ในระดับค่อนข้างตื้น (2 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง)

ระดับ 3 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินน้อย พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 1-10 ของพื้นที่ โดยทั่วไปปลูกข้าว พืชพรรณธรรมชาติเป็นพวกไม้เต็งรัง เหียง สะแบง และสะแก น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำที่ไม่เค็มจัดอยู่ลึก (มากกว่า 2 เมตรจากผิวดิน ในฤดูแล้ง) ดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินค่อนข้างเป็นทราย

ระดับ 4 บริเวณที่ลุ่มที่มีคราบเกลือบนผิวดินน้อยมาก ไม่พบคราบเกลือบนผิวดินหรือพบคราบเกลือบนผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็มที่อยู่ลึกมากกว่า 2 เมตรจากผิวดิน บริเวณนี้ดินไม่เป็นดินเค็ม แต่มีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นดินเค็มได้ถ้าระดับน้ำใต้ดินยกตัวสูงขึ้น โดยทั่วไปใช้ปลูกข้าวและมีต้นไม้หลายชนิดขึ้นปะปนอยู่

ระดับ 5 บริเวณที่ดอนที่รองรับด้วยเกลือหิน ได้แก่ เนินที่สูง ซึ่งปลูกพืชไร่ทั่วไป ไม่พบคราบเกลือบนผิวดิน ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกมาก อาจเป็นน้ำจืด น้ำกร่อยหรือน้ำเค็มก็ได้ แต่ในเขตที่มีหมวดหินมหาสารคามรองรับอยู่ข้างล่างเช่นเดียวกับพื้นที่ในระดับ 1-4 หากหินที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบปลดปล่อยเกลือออกมา และ/หรือสมดุลของน้ำธรรมชาติเสียไปจะเกิดน้ำซึมเค็ม และเกิดดินเค็มในบริเวณส่วนที่ต่ำกว่าได้

ระดับ 6 บริเวณที่ไม่ได้รองรับด้วยเกลือหิน พื้นที่ลุ่มและดอนที่อยู่นอกเขตหมวดหินมหาสารคาม ไม่พบคราบเกลือ และน้ำใต้ดินเป็นน้ำจืด

ระดับ 7 บริเวณพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีความลาดชันมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 35 มีความสูงมากกว่า 200 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง และอยู่นอกเขตหมวดหินมหาสารคาม

จากข้อมูลดังกล่าวนี้ พื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือคือพื้นที่ระดับ 1-3 แนวความคิดนี้ นำมาสู่การจัดทำแผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยข้อมูลล่าสุดจัดทำเป็นแผนที่ มาตราส่วน 1:25,000 เผยแพร่ในปี 2560 ซึ่งพบการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน ระดับ 1-3 เนื้อที่รวม 4,090,669 ไร่ พบมากที่สุดในจังหวัดนครราชสีมา รองมาคือ จังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม (ตารางที่ 10 และภาพที่ 7)

ตารางที่ 10 การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560 รายจังหวัด

	จังหวัด	เนื้อที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน (ไร่)								
		ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	รวมระดับ 1-3	ระดับ 4	ระดับ 5	ระดับ 6	พื้นที่อื่นๆ	รวม
1	กาฬสินธุ์	422	583	152,015	153,020	688,066	339,211	2,666,010	495,409	**4,341,716**
2	ขอนแก่น	5,681	28,294	434,104	468,079	1,360,783	1,240,603	2,872,506	861,773	**6,803,744**
3	ชัยภูมิ	10,463	22,014	228,223	260,700	395,057	715,349	4,630,961	1,984,362	**7,986,429**
4	นครพนม	34	202	15,699	15,935	1,374,574	1,312,878	523,343	218,688	**3,445,418**
5	นครราชสีมา	41,657	99,601	1,459,196	1,600,454	2,128,987	3,254,185	4,648,051	1,177,050	**12,808,727**
6	บึงกาฬ	562	484	648	1,694	1,329,319	1,119,559	20,575	219,944	**2,691,091**
7	บุรีรัมย์	164	1,601	128,312	130,077	1,809,143	2,324,954	2,003,823	183,181	**6,451,178**
8	มหาสารคาม	938	7,205	307,240	315,383	1,563,450	1,198,420	21,635	208,414	**3,307,302**
9	มุกดาหาร	-	-	-	-	-	-	2,210,400	501,994	**2,712,394**
10	ยโสธร	135	135	47,322	47,592	998,682	483,494	901,667	169,605	**2,601,040**
11	ร้อยเอ็ด	176	3,889	342,815	346,880	2,746,813	640,970	1,070,419	382,074	**5,187,156**
12	เลย	-	-	-	-	-	-	3,651,760	3,488,622	**7,140,382**
13	ศรีสะเกษ	106	0	16,372	16,478	2,987,637	418,353	1,664,607	437,909	**5,524,984**
14	สกลนคร	6,833	750	61,064	68,647	2,212,638	1,742,994	1,172,484	806,839	**6,003,602**
15	สุรินทร์	128	410	112,007	112,545	2,110,286	1,060,870	1,689,854	103,980	**5,077,535**
16	หนองคาย	227	508	19,552	20,287	869,679	643,556	143,874	214,188	**1,891,584**
17	หนองบัวลำภู	-	-	-	-	-	-	2,145,854	266,075	**2,411,929**
18	อำนาจเจริญ	22	952	62,885	63,859	137,772	430,936	1,222,067	121,146	**1,975,780**
19	อุดรธานี	6,367	5,003	218,450	229,820	1,525,026	2,138,014	2,670,135	768,444	**7,331,439**
20	อุบลราชธานี	179	4,461	234,579	239,219	1,289,328	1,590,919	5,883,409	837,656	**9,840,531**
รวม		**74,094**	**176,092**	**3,840,483**	**4,090,669**	**25,527,240**	**20,655,265**	**41,813,434**	**13,447,353**	**105,533,961**

เนื้อที่จังหวัดอ้างอิงจากกรมการปกครอง ปี 2556

ระดับ 1 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50

ระดับ 2 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 10-50

ระดับ 3 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 1-10

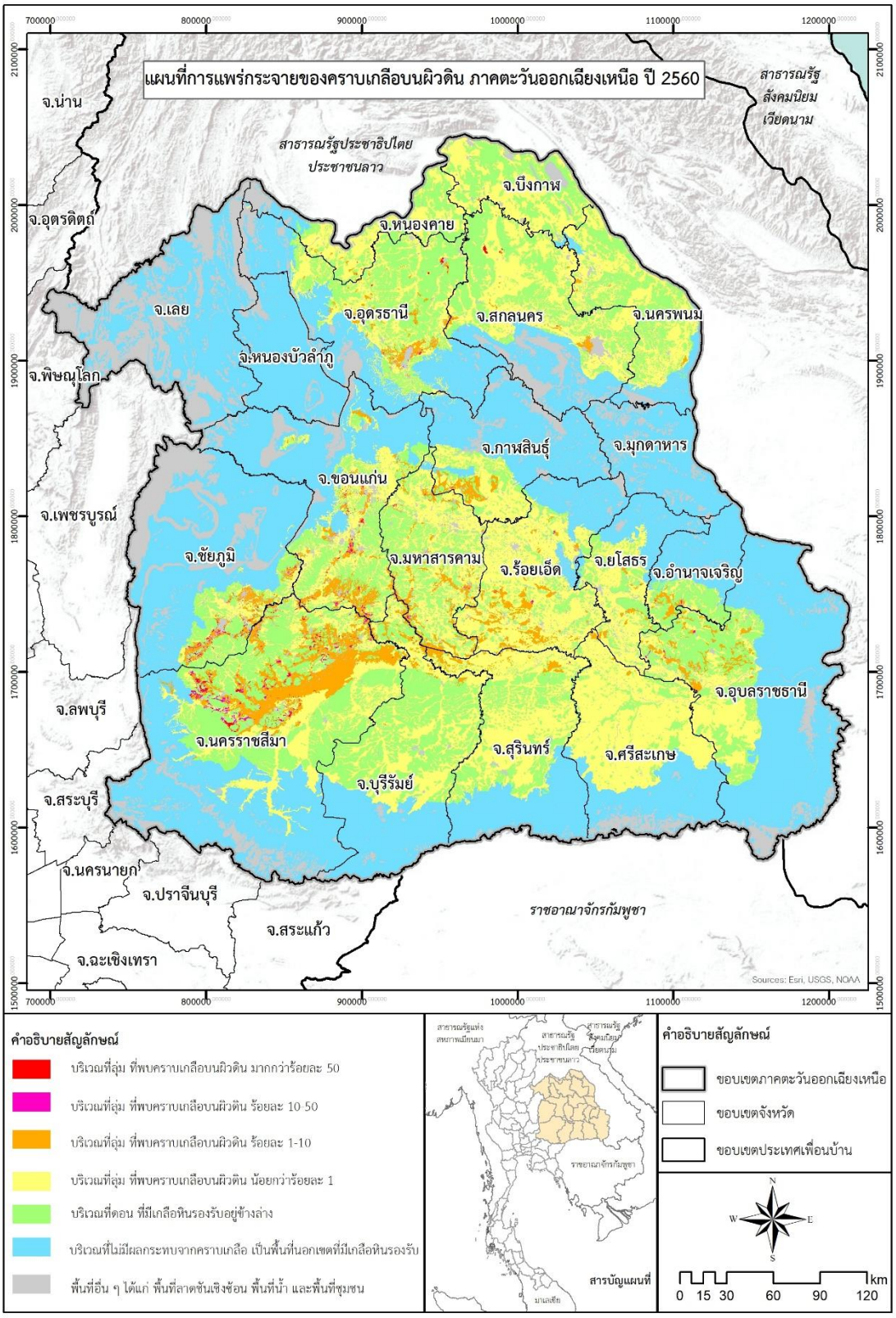
ระดับ 4 หมายถึง บริเวณที่ลุ่ม ที่พบคราบเกลือบนผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1

ระดับ 5 หมายถึง บริเวณที่ดอน ที่มีเกลือหินรองรับอยู่ข้างล่าง

ระดับ 6 หมายถึง บริเวณที่ไม่มีผลกระทบจากคราบเกลือ เป็นพื้นที่นอกเขตที่มีเกลือหินรองรับ

พื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน พื้นที่น้ำ และพื้นที่ชุมชน

ที่มา: กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)



ภาพที่ 7 แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปี 2560

ที่มา: ปรับปรุงข้อมูลจากกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)

การศึกษาความสัมพันธ์ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือกับคราบเกลือบนผิวดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พรชัย และคณะ (2567) พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมาส่วนใหญ่พบคราบเกลือบนผิวดิน แต่บางบริเวณก็ไม่มีคราบเกลือบนผิวดิน วรัมพร (2568) พบว่าในพื้นที่ตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น บริเวณที่พบคราบเกลือบนผิวดินมากกว่าร้อย 10 ของพื้นที่ ดินมีแนวโน้มอยู่ในระดับเค็มปานกลางถึงเค็มจัด สอดคล้องกับการศึกษาของนฤกมล (2562) ที่สรุปได้ว่าการพบคราบเกลือบนผิวดินใช้พิจารณาดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ แต่ไม่สามารถใช้จำแนกชุดดินที่เป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

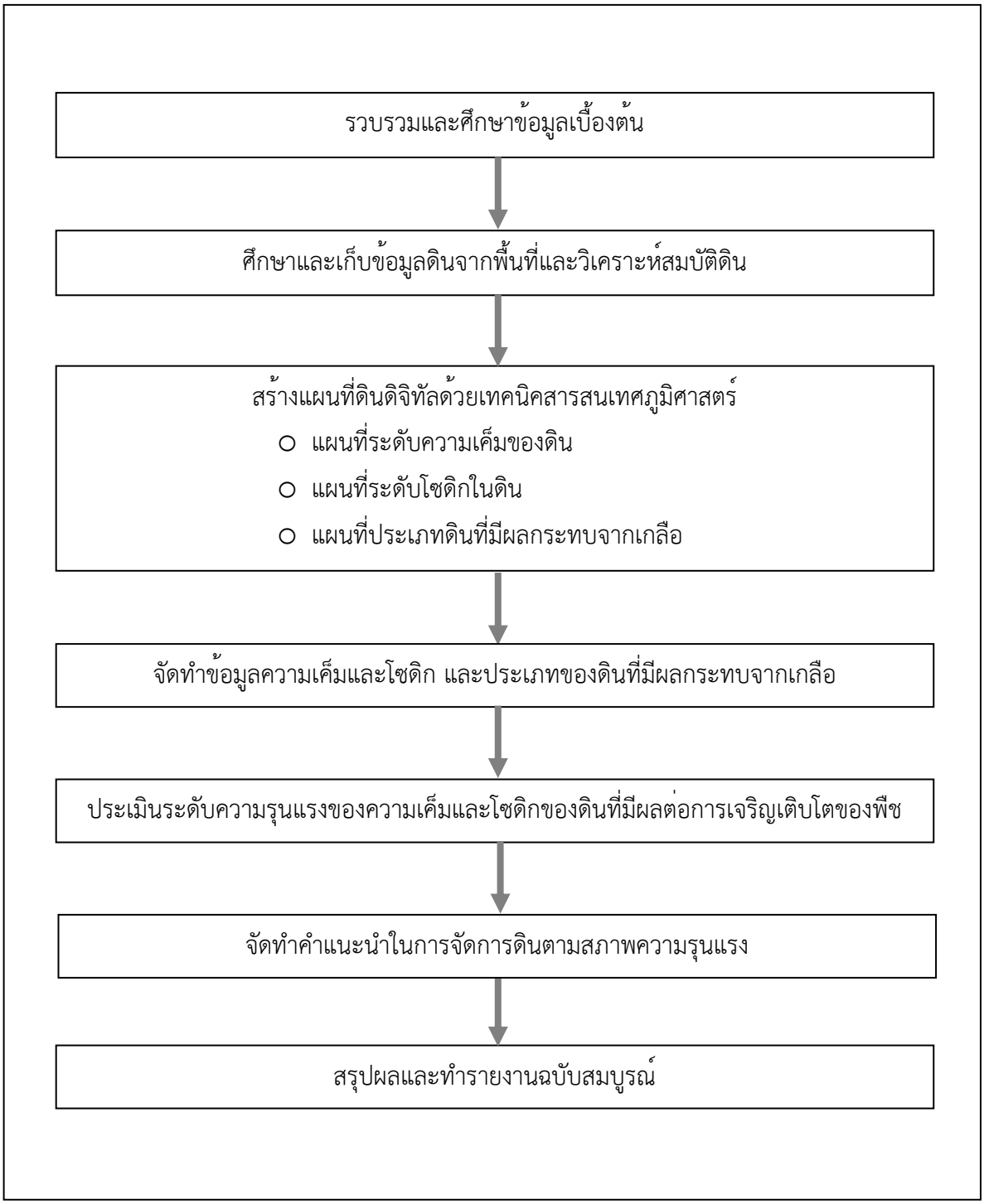
1. ข้อมูลทางสารสนเทศต่างๆ เช่น แผนที่ดิน แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพภูมิประเทศ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาพถ่ายออร์โธสี ภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เอกสารวิชาการ งานวิจัย
2. ข้อมูลดินที่มีผลวิเคราะห์สมบัติดินจากเอกสารวิชาการและงานวิจัย
3. อุปกรณ์สำรวจดิน ได้แก่ เครื่องมือวัดค่าพิกัด เครื่องมือวัดค่าความสูง เครื่องมือวัดความลาดชันของพื้นที่ เครื่องมือวัดความเป็นกรดเป็นด่างของดิน กล้องถ่ายรูป สมุดเทียบสี เข็มทิศ แว่นขยาย เทปวัดระยะ สว่านเจาะดิน พลั่ว มีด ค้อนยาง และปากกา
4. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ โปรแกรม R Studio, SAGA GIS และ ArcGIS

วิธีการ

การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (ภาพที่ 8) ดังนี้

1) รวบรวมและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1.1) การศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น เป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ดำเนินงาน ทั้งข้อมูลปฐมภูมิหรือข้อมูลทุติยภูมิ ที่อยู่ในรูปของรายงานและแผนที่หรืออยู่ในรูปดิจิทัล ได้แก่ ข้อมูลทางสารสนเทศต่างๆ เช่น แผนที่ดิน แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพภูมิประเทศ แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน และข้อมูลการสำรวจระยะไกล ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI และ NASA SRTM Digital Elevation



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการวิจัย

1.2) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การแจกกระจายของชุดดินที่จัดเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินระดับต่าง ๆ การใช้ที่ดิน คัดเลือกพื้นที่ดินตัวแทนเพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม สัณฐานวิทยา และตัวอย่างดิน ให้ครอบคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และวางแผนการดำเนินงานภาคสนาม

2) ศึกษาและเก็บข้อมูลดินจากพื้นที่และวิเคราะห์สมบัติดิน

2.1) ตรวจสอบและบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อม สภาพพื้นที่ และสัณฐานวิทยาของดินตามตำแหน่งที่กำหนด และเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สมบัติดิน โดยวิธีมาตรฐานของ Soil Survey Manual (USDA, 2017)

2.2) วิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ การนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น วัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (EC_e) โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โซเดียมที่ละลายน้ำได้ แคลเซียมที่ละลายน้ำได้ และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ คำนวณหาค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP)

2.3) รวบรวมข้อมูลดินที่มีค่าวิเคราะห์สมบัติดิน

3) สร้างแผนที่ดิจิทัลด้วยเทคนิคสารสนเทศภูมิศาสตร์ สร้างแผนที่ดินดิจิทัล จำนวน 3 แผนที่ ได้แก่ แผนที่ระดับความเค็มของดิน (salinity) จากค่าอีซีอี แผนที่ระดับโซดิกในดิน (sodicity) จากค่าอีเอสพี และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือจากค่าอีซีอีและอีเอสพี ที่ 3 ระดับความลึกของดิน ได้แก่ 0-25 เซนติเมตร 25-50 เซนติเมตร 50-100 เซนติเมตร

3.1) จัดทำชุดข้อมูล (data set) ของค่าอีซีอีและอีเอสพีและนำเข้าข้อมูล จัดเตรียมข้อมูลตัวแปรร่วม (predicted variables) ที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 11) ประกอบด้วยแผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน แผนที่ดิน แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ความละเอียด 30 เมตร นำมาวิเคราะห์พื้นผิวของภูมิประเทศ (terrain analysis) ด้วยโปรแกรม SAGA GIS ได้แก่ slope, aspect, channel network base level (cnbl), channel network distance (cnd), convergence index (conv), analytical hillshading (hillshade), ls-factor, plan curvature, relative slope position (rsp), catchment area (tca), topographic wetness index (twi) และ valley depth ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (remote sensing) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI ความละเอียด 30 เมตร จำนวน 6 band นำมาคำนวณค่าสะท้อนพื้นผิวจากสมการ ทำการแบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุด ประกอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (train data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) ในอัตราส่วน 80:20

ตารางที่ 11 ตัวแปรร่วมจากข้อมูลสภาพแวดล้อมและข้อมูลการสำรวจระยะไกล

	ชนิดข้อมูล	ความละเอียด	ดัชนีข้อมูล	แหล่งข้อมูล
1	แผนที่ดิน	1:25,000	soil	กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2562)
2	แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน	1:25,000	salt	กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)
3	แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน	1:25,000	LU	กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (2565) และ (2566)
4	แผนที่ธรณีวิทยา	1:250,000	geo	กรมทรัพยากรธรณี (2550)
5	Topography	30 เมตร	dem, slope, aspect, cnbl, cnd, conv, hillshade, lsfactor, plancurve, procurve, rsp, tca, twi, valley	SRTM NASA (2022)
6	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2	30 เมตร	B1, B2, B3, B4, B6, B7	Landsat 9 OLI USGS (2022)
7	Salinity index	30 เมตร	SI1-6, VSSI, NDSI, SR, ASTER_SI	Gorji et al. (2019); Gerardo and de Lima (2022)
8	Soil index	30 เมตร	SAVI, BI	
9	vegetation index	30 เมตร	NDVI, NDWI, NDMI	

ตัวแปรร่วมที่ในงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ตัวแปรด้านภูมิประเทศ แถบคลื่นสเปกตรัมจากดาวเทียม และดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

(1) ตัวแปรด้านภูมิประเทศ (terrain attributes)

ตัวแปรเหล่านี้ได้มาจากการประมวลผล และใช้อธิบายลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อการไหลของน้ำและการสะสมของเกลือ

- dem (digital elevation model): ค่าระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลในแต่ละจุด ถือเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดในการควบคุมการสะสมของเกลือในพื้นที่ราบลุ่ม

- slope: ความชันหรือความลาดเอียงของพื้นที่ วัดเป็นองศาหรือเปอร์เซ็นต์ พื้นที่ที่มีความชันสูงน้ำจะไหลผ่านเร็ว ไม่เกิดการสะสมเกลือ

- aspect: ทิศทางความลาดชันหรือทิศที่พื้นที่หันไป มีผลต่อปริมาณแสงแดดที่ได้รับและการระเหยของน้ำ

- hillshade: ภาพจำลองแสงเงา 3 มิติ เพื่อให้เห็นลักษณะภูมิประเทศได้ชัดเจนขึ้น มักใช้ร่วมกับการวิเคราะห์สายตา

- rsp, valley: ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำและลักษณะหุบเขา (อาจเป็น Stream Power Index หรือ Valley depth ขึ้นอยู่กับซอฟต์แวร์ที่ใช้สร้าง)

(2) แถบคลื่นสเปกตรัมและดัชนีจากรีโมตเซนซิง (remote sensing)

ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินคุณสมบัติดินและพืชพรรณ

<u>แถบคลื่น (Bands)</u>

- B1, B2, B3, B4, B6, B7: แถบคลื่นเฉพาะช่วงความยาวคลื่นจากดาวเทียม (เช่น Landsat หรือ ASTER)

- B1-B4: Visible (Blue, Green, Red) และ Near-Infrared (NIR) ใช้สร้างดัชนีพืชพรรณและระบุความเค็ม

- B6, B7: Shortwave Infrared (SWIR) มีประโยชน์ในการตรวจจับความชื้นในดินและการสะสมเกลือ

<u>ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)</u>

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): ดัชนีมาตรฐานที่ใช้วัดความหนาแน่นและความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ค่าต่ำมาก (เข้าใกล้ 0 หรือติดลบ) บ่งบอกถึงผิวดินไม่มีสิ่งปกคลุมหรือน้ำ ซึ่งมักสัมพันธ์กับดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index): ดัชนี NDVI ที่ปรับแก้ผลกระทบจากความสว่างของผิวดินไม่มีสิ่งปกคลุมเหมาะกับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อย

- BI (Brightness Index): ดัชนีความสว่างของดิน ซึ่งดินที่มีผลกระทบจากเกลือมักจะมีความสว่างสูงกว่าดินปกติ

<u>ดัชนีความชื้นและเกลือ (Moisture and Salinity Indices)</u>

- NDWI (Normalized Difference Water Index) และ NDMI (Normalized Difference Moisture Index): ใช้ประเมินปริมาณน้ำหรือความชื้นในพืชและดิน

- SI1-6 (Salinity Index 1-6), VSSI (Vegetation Soil Salinity Index), NDSI (Normalized Difference Salinity Index), SR (Simple Ratio), ASTER_SI (ASTER Salinity Index): สูตรทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แถบคลื่นต่าง ๆ มาคำนวณเพื่อเพิ่มความชัดเจนในการระบุตำแหน่งและระดับความเค็มของดินโดยตรง

- twi (topographic wetness index): ดัชนีความเปียกชื้นภูมิประเทศ คำนวณจากพื้นที่รับน้ำด้านบนและ slope ใช้ทำนายบริเวณที่มีแนวโน้มชื้นแฉะหรือมีการสะสมน้ำ
- tca (total catchment area): พื้นที่รับน้ำสะสมทั้งหมดที่ไหลมารวม ณ จุดนั้น ๆ
- lsfactor (length-slope factor): ปัจจัยความยาวและความชันของพื้นที่ บริเวณที่มีค่านี้สูงบ่งชี้ถึงศักยภาพการชะล้างพังทลายสูง
- plancurve (plan curvature) ความโค้งตามแนวราบ มีผลต่อการไหลลู่เข้า (เว้า) หรือไหลออกจากพื้นที่ (นูน) และ procurve (profile curvature): ดัชนีความโค้งของพื้นผิว ความโค้งตามแนวลาด มีผลต่อความเร็วการไหลของน้ำ
- conv, cnbl, cnd (convergence indices): ดัชนีการบรรจบกันของการไหลของน้ำ

3.2) ประมาณค่าเชิงพื้นที่ของค่าอีซีอีและอีเอสพีด้วยเทคนิคการใช้แบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง (machine learning) โดยใช้อัลกอริทึมแบบ XGBoost โดยใช้โปรแกรม R studio (R Core Team, 2022) แล้วคัดเลือกแผนที่ระดับความเค็มของดินและระดับโซดิกในดินจากแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากค่าสถิติ ได้แก่ MAE RMSE และ NSE

3.3) จัดทำแผนที่ความเค็มและโซดิกของดิน และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

นำข้อมูลจากแผนที่มาแปลความหมายระดับความเค็มของดินและโซดิกของดิน เพื่อประเมินผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช จำแนกระดับความเค็มของดิน จากค่าอีซีอี แบ่งเป็น 6 ระดับ 0-2, 2-4, 4-8, 8-16, มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกในดิน จากค่าอีเอสพี แบ่งเป็น 5 ระดับ น้อยกว่า 15, 15-30, 30-50, 50-70, มากกว่า 70

จัดกลุ่มข้อมูลดิน จากการหาความสัมพันธ์ของระดับความเค็มของดินและระดับโซดิกในดิน

- ดินที่มีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เป็นดินเค็ม
- ดินที่มีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เป็นดินเค็มโซดิก
- ดินที่มีค่าอีซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เป็นดินโซดิก
- ดินที่มีค่าอีซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เป็นดินอื่น ๆ หมายถึง ดินที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

4) ประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

จัดทำขอบเขตพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกในดินของแต่ละบริเวณ เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

5) จัดทำคำแนะนำในการจัดการดินตามสภาพความรุนแรง

พิจารณาแนวทางในการจัดการดินตามความรุนแรงของความเค็มและโซดิกเชิงพื้นที่ เพื่อประกอบการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูก

6) สรุปผลและทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ผลการวิจัยและวิจารณ์

การจัดเตรียมชุดข้อมูล

1. ข้อมูลดิน

ศึกษาลักษณะดินในจังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น นครราชสีมา นครพนม ชัยภูมิ บึงกาฬ บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อำนาจเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี และวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าอีซีอี ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มาคำนวณหาค่าอีเอสพี จำนวน 85 จุด 550 ตัวอย่าง และจากการรวบรวมเอกสารวิชาการที่มีข้อมูลสมบัติดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีกจำนวน 167 จุด รวมทั้งสิ้น 252 จุด 1,528 ตัวอย่าง มาจัดทำเป็นชุดข้อมูลพร้อมข้อมูลโดยการตัดข้อมูลที่ไม่จำเป็น (data cleansing) และแก้ไขข้อมูลที่หายไป (missing data) (ตารางที่ 12) ลักษณะของตัวอย่างดินพบว่า ค่าอีซีอี จากตัวอย่างดิน จำนวน 1,528 มีค่าสูงสุดที่ 75.8 ต่ำสุดที่ 0.1 ค่าเฉลี่ย 3.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.76 ค่าอีเอสพี จากจำนวนตัวอย่างดิน 1,339 มีค่าสูงที่สุดที่ 99.1 ต่ำที่สุดที่ 0.0 ค่าเฉลี่ย 29.8 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 25.67 เมื่อจำแนกประเภทดินโดยพิจารณาค่าอีซีอีและอีเอสพี พบว่า เป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ร้อยละ 91.93 โดยเป็นดินโซดิก ร้อยละ 47.57 และดินเค็มโซดิก ร้อยละ 14.36

ตารางที่ 12 ค่าสถิติเชิงพรรณนาค่าอีซีอีและอีเอสพี

	อีซีอี	อีเอสพี
จำนวนตัวอย่าง (count)	1,528	1,339
ค่าสูงสุด (maximum value)	75.8 dS m^{-1}	99.1
ค่าต่ำสุด (minimum value)	0.1 dS m^{-1}	0.0
ค่าเฉลี่ย (average)	3.1 dS m^{-1}	29.8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)	5.76	25.67

2. ข้อมูลตัวแปรร่วม (predicted variables)

การศึกษาและจัดทำข้อมูลเกี่ยวข้องกับปัจจัยการกำเนิดดิน ตัวแปรร่วมที่ต้องนำเข้าประกอบด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ส่งผลต่อการสะสมเกลือในดิน

- ข้อมูลภูมิประเทศ (topography) เช่น แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ความละเอียด 30 เมตร นำมาวิเคราะห์พื้นผิวของภูมิประเทศ (terrain analysis) ด้วยโปรแกรม SAGA ได้แก่ slope aspect channel network base level (cnbl), channel network distance (cnd), convergence index (conv), analytical hillshading (hillshade), ls-factor plan curvature relative slope position (rsp), catchment area (tca), topographic wetness index (twi) และ valley depth

- ข้อมูลจากดาวเทียม (remote sensing) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 OLI (operational land imager) ความละเอียด 30 เมตร จำนวน 6 band (USGS, 2022) นำมาคำนวณค่าสะท้อนพื้นผิวจากสมการ (Gorji *et al.,* 2019; Gerardo and de Lima, 2022) เช่น ดัชนีพืชพรรณ (NDVI), ดัชนีความเค็ม (Salinity Indices เช่น SI, NDSI) และดัชนีความสว่าง (Brightness Index)

- ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (climate) เช่น ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย และอุณหภูมิ

- ข้อมูลธรณีวิทยาและระยะทาง เช่น ระยะทางจากแหล่งน้ำหรือชายฝั่ง

การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกับตัวแปรร่วม (correlation analysis)

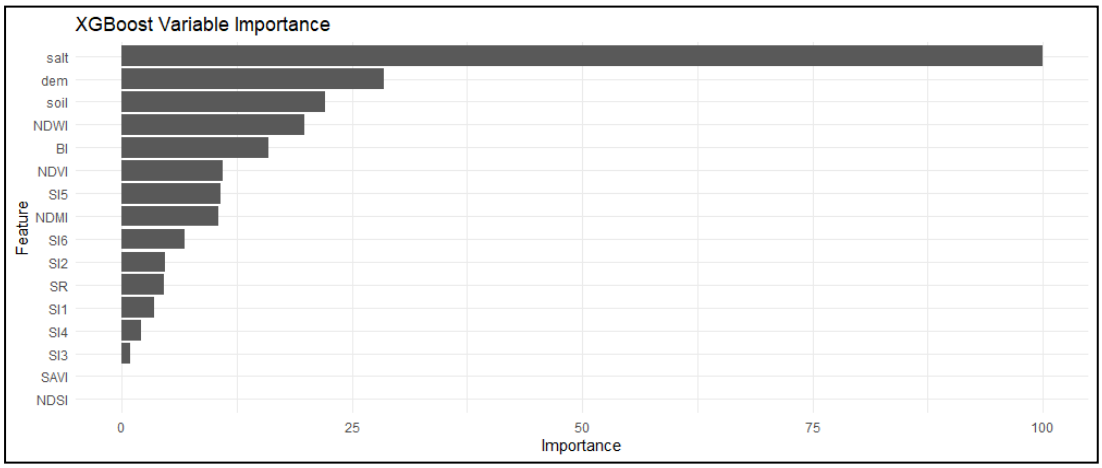
นำเข้าข้อมูลและหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าตัวแปร ได้แก่ ค่าอีซีอีและค่าอีเอสพีกับตัวแปรร่วม ตามแนวทางของคู่มือทางเทคนิคสำหรับการจัดทำแผนที่ดินเค็มโลก (Global Map of Salt-Affected Soils - GSASmap) (Omuto *et al*., 2020) หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีซีอีและค่าอีเอสพีกับตัวแปรร่วมในตำแหน่งเดียวกัน โดยใช้สถิติเพียร์สัน (Pearson Correlation (r)) หาความสัมพันธ์เชิงเส้นที่เป็นข้อมูลต่อเนื่อง

- ระดับความสัมพันธ์: ค่า r ที่เข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่ง (Strong Correlation) ซึ่งตัวแปรนั้นจะถูกเลือกมาเป็นตัวพยากรณ์หลักในการทำแผนที่

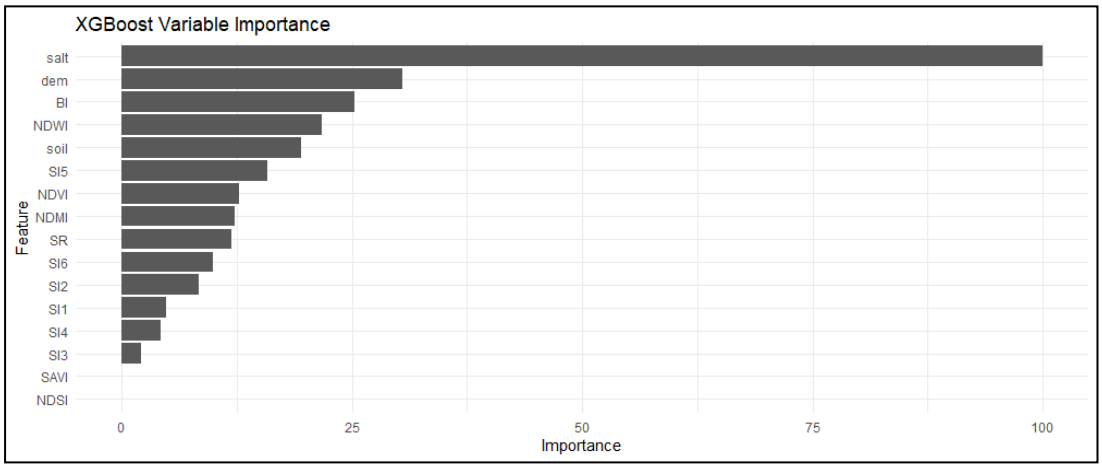
- การเลือกตัวแปร: ตัวแปรร่วมที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิ่งเพื่อทำนายอีซีอีและค่าอีเอสพีในพื้นที่ที่ไม่มีการเก็บตัวอย่าง ใช้ซอฟต์แวร์สถิติหรือภาษาโปรแกรม เช่น R (ใช้ฟังก์ชัน cor()) เพื่อสร้าง Matrix สหสัมพันธ์และคัดเลือกตัวแปรร่วมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อนเริ่มกระบวนการแผนที่ดินแบบดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึม XGBoost

1. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีซีอีกับตัวแปรร่วม

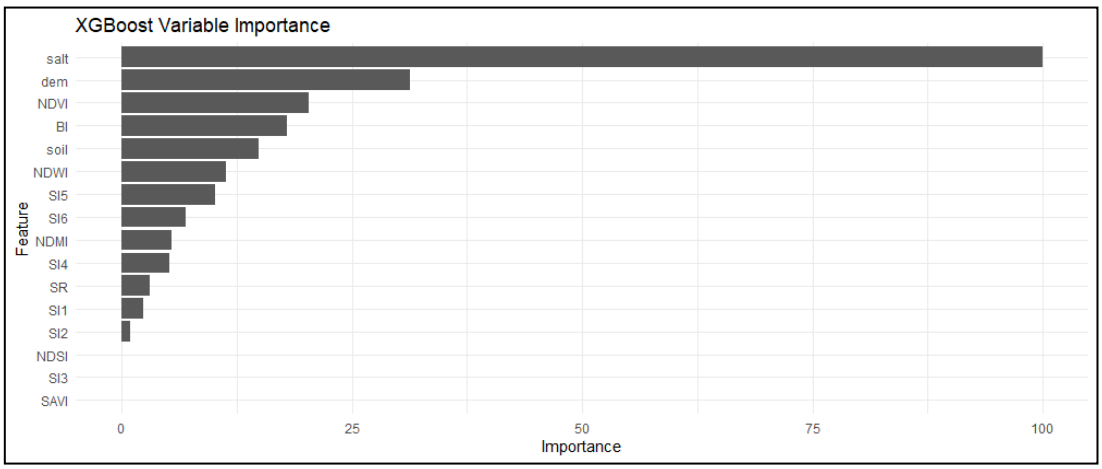
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมใดบ้างที่ส่งอิทธิพลต่อค่าอีซีอี ผลการศึกษาแสดงเป็นกราฟแท่ง แกน Y แสดงถึงชื่อตัวแปรต่างๆ ส่วนแกน X แสดงถึง "ความสำคัญ" หรือ "อิทธิพล" ของตัวแปรนั้นๆ ต่อการทำนายค่าคุณสมบัติดิน ยิ่งแถบยาวไปทางขวามากเท่าไหร่ ตัวแปรนั้นยิ่งสำคัญมากเท่านั้น ตัวแปรที่อยู่ด้านบนสุดของแต่ละกราฟและมีแถบยาวที่สุดคือ ตัวขับเคลื่อนหลักในการกำหนดค่าอีซีอี (ภาพที่ 9)



ดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

ภาพที่ 9 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีซีอีกับตัวแปรร่วม

- ดินทั้ง 3 ระดับความลึก มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีซีอีกับตัวแปรร่วมคล้ายคลึงกัน คือ มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน (salt) สูงที่สุด (ร้อยละ 100) รองลงมาเป็นแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ความสัมพันธ์ประมาณ ร้อยละ 30

- ข้อมูลดิน (soil) Soil index (BI) vegetation index เช่น NDWI NDVI NDMI และ SI5 เป็นกลุ่มที่มีความสัมพันธ์รองลงมา โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 12-25 ยกเว้น NDMI ในดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร สหสัมพันธ์จะต่ำกว่าร้อยละ 12

- ขณะที่ salinity index อื่นๆ อย่าง SI1 SI 2SI3 SI4 SI6 SR มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำกว่าร้อยละ 12

- ส่วน NDSI และ SAVI ไม่มีสหสัมพันธ์กับค่าอีซีอี

ตัวแปรหลักคือคราบเกลือบนผิวดิน (salt) และแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (dem) การสะสมเกลือถูกควบคุมอย่างมีนัยสำคัญโดยระดับความสูงและทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน พื้นที่ต่ำมักมีการสะสมเกลือมากกว่าพื้นที่สูงชัน ในดินล่าง 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร เริ่มมีตัวแปรอื่น ๆ แทรกเข้ามา แสดงว่าในชั้นนี้กระบวนการชะล้างหรือการสะสมเกลือเริ่มซับซ้อนขึ้น

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีเอสพีกับตัวแปรร่วม

ผลการศึกษาแสดงเป็นกราฟแท่ง ตามภาพที่ 10

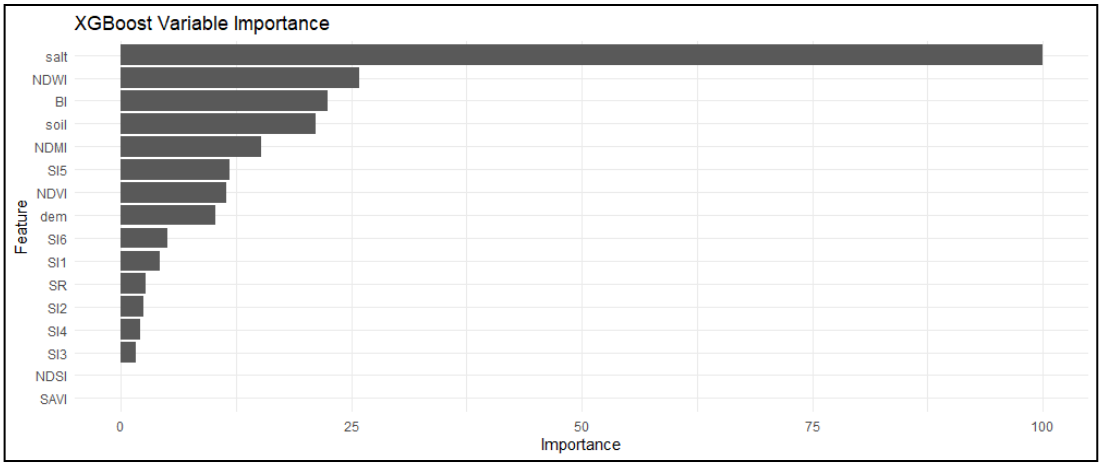
- ดินทั้ง 3 ระดับความลึก มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีเอสพีกับตัวแปรร่วมคล้ายคลึงกันคือ มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายคราบเกลือบนผิวดิน (salt) สูงที่สุด (ร้อยละ 100)

- NDWI เป็นตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รองลงมาในดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร และ 25-50 เซนติเมตร -ขณะที่ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร มี DEM เป็นตัวแปรสำคัญรองลงมา

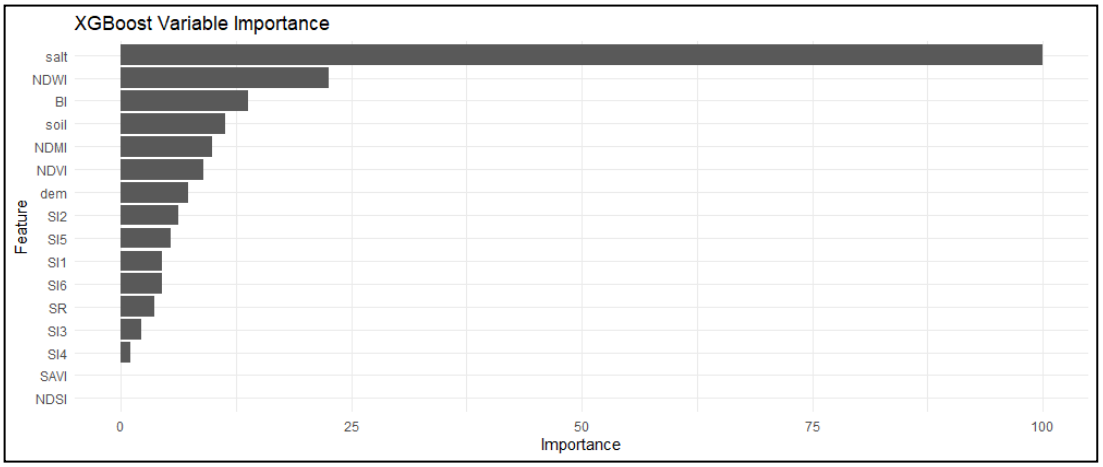
- กลุ่มตัวแปรที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รองลงมาคือ อยู่ในช่วงร้อยละ 12-25 ในดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร เป็น BI soil NDMI ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร เป็น BI และ ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร เป็น NDVI BI soil

- ตัวแปรอื่นๆ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ต่ำกว่าร้อยละ 12 ขณะที่ส่วน NDSI และ SAVI ไม่มีสหสัมพันธ์กับค่าอีเอสพี เช่นเดียวกับค่าอีซีอี

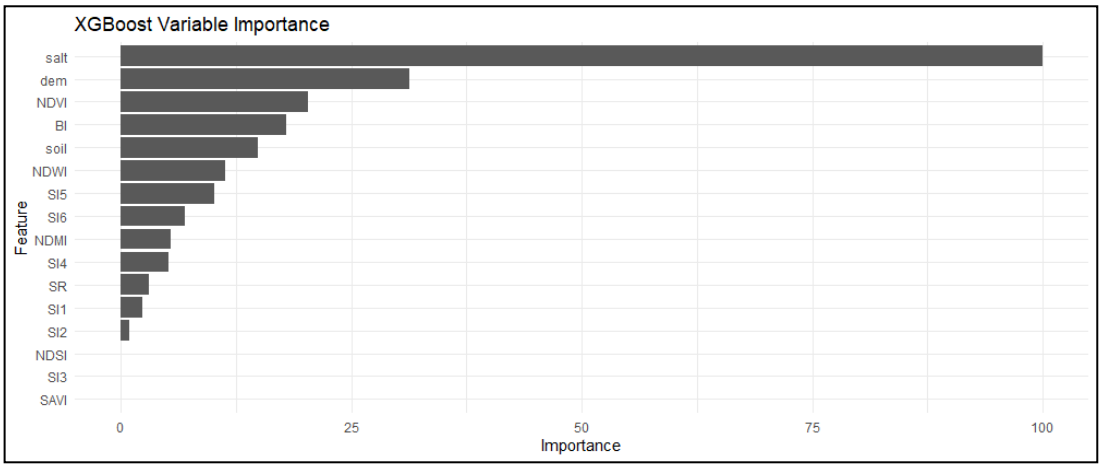
ตัวแปรหลักคือคราบเกลือบนผิวดิน (salt) NDWI BI และ soil การสะสมโซดิกเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ดัชนีน้ำ และดิน ในช่วงบนของหน้าตัดดิน (0-25 และ 25-50 เซนติเมตร) ขณะที่ตอนล่างของหน้าตัดดิน (50-100 เซนติเมตร) แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (dem) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) มีบทบาทสำคัญมากขึ้น ค่าอีซีอีและอีเอสพีมีสหสัมพันธ์สูงมากกับการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มีความสัมพันธ์ชัดเจนกับ DEM soil BI NDWI NDMI NDVI นอกจากนี้ ยังพบว่า SI5 เป็นตัวแปรอีกตัวที่สัมพันธ์กับค่าอีซีอี



ดินที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



ดินที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

ภาพที่ 10 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าอีเอสพีกับตัวแปรร่วม

การสร้างแบบจำลองค่าอีซีอี

ทำการแบ่งข้อมูลสมบัติดินที่ได้จากพื้นที่จริง เป็น 2 ชุดข้อมูล ประกอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการฝึก (train data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (test data) ในอัตราส่วน 80:20 ประมาณค่าเชิงพื้นที่ของค่าอีซีอีและอีเอสพีด้วยเทคนิคการสร้างแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิง โดยใช้อัลกอริทึมแบบ XGBoost ด้วยโปรแกรม R studio (R Core Team, 2022) และคัดเลือกแผนที่ค่าอีซีอีและอีเอสพีจากแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากค่าความถูกต้องตามหลักสถิติ ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)

1. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีซีอี

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model Performance Evaluation) ในการทำนายค่าอีซีอีของดินที่ระดับความลึกต่างๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลหรือชุดข้อมูลสำหรับการฝึก และชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียด (ตารางที่ 13) ดังนี้

ตารางที่ 13 ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีซีอี

ค่าอีซีอี	dataset	Bias	MAE	RMSE	NSE	R^2
ดินที่ระดับความลึก 0-25 cm	Training	-0.6016	0.6979	3.5455	0.5224	0.7615
	Testing	-0.3465	0.8090	3.0802	0.4352	0.4424
ดินที่ระดับความลึก 25-50 cm	Training	-0.2907	0.3477	1.6672	0.5777	0.7816
	Testing	-0.0674	0.3744	1.4897	0.0805	0.3437
ดินที่ระดับความลึก 50-100 cm	Training	-0.3508	0.4557	2.5149	0.2436	0.4228
	Testing	-0.4069	0.5434	2.1842	0.1294	0.1892

1.1 ค่าซีอีซีของดินที่ความลึก 0-25 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลสำหรับการฝึกและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้ม ประเมินค่าอีซีอีต่ำกว่าค่าจริง (underestimation) แต่ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ ค่า Bias มีขนาดลดลง แสดงว่าโมเดลมีความเอนเอียงน้อยลงเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่
- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Mean Absolute Error (MAE) ของชุด training data สูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายในข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น แต่ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ สะท้อนว่าแบบจำลองมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้จากชุดฝึกไปยังชุดทดสอบ (generalization ability) อยู่ในระดับพอใช้ (acceptable) แบบจำลองไม่ได้จดจำข้อมูลฝึกมากเกินไป ยังสามารถรักษาระดับความแม่นยำได้เมื่อทำนายกับข้อมูลใหม่

- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Root Mean Square Error (RMSE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลสำหรับการฝึกเล็กน้อย บ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิด overfitting อย่างรุนแรง และความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) ไม่เพิ่มขึ้นในชุดทดสอบ

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำที่น่าพึงพอใจ แสดงว่าสามารถอธิบายความแปรปรวนของอีซีอีได้

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Coefficient of Determination (R^2) ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดี (76%) ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบลดลงเหลือ 44% แสดงถึงความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อยู่ในระดับปานกลางและอาจได้รับผลจากความไม่สม่ำเสมอเชิงพื้นที่ของค่าความเค็มของดิน

แบบจำลองทำนายค่าอีซีอีในดิน ระดับความลึก 0–25 เซนติเมตร แสดงประสิทธิภาพในระดับปานกลาง โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.52 และ R^2 เท่ากับ 0.76 ในชุดข้อมูลฝึก และลดลงเป็น 0.44 และ 0.44 ตามลำดับในชุดข้อมูลทดสอบ สะท้อนถึงความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลใหม่ได้ในระดับพอใช้ ทั้งนี้ค่า Bias เป็นลบทั้งสองชุดข้อมูล แสดงว่าโมเดลมีแนวโน้มประเมินค่าความเค็มต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย

1.2 ค่าซีอีซีของดินที่ความลึก 25-50 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ แสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้ม ประเมินค่าอีซีอีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย โดยค่า Bias ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก แสดงว่าความเอนเอียงเชิงระบบลดลง เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนเล็กน้อย (เพิ่มขึ้น 0.03) แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนว่าแบบจำลองไม่มี overfitting ด้านขนาดความผิดพลาดโดยรวม

- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลอง บ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) เพิ่มขึ้นในข้อมูลใหม่และมีเสถียรภาพด้านการทำนายในช่วงค่าปกติ

- ค่า NSE ในชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองอยู่ในระดับแม่นยำที่น่าพึงพอใจ แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.08 ตีความได้ว่าแบบจำลองไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพเชิงพยากรณ์ของแบบจำลองในชั้นดิน 25–50 เซนติเมตร อยู่ในระดับต่ำ

- R^2 (Coefficient of Determination) แบบจำลองทำนายค่าได้ดีในชุดข้อมูลสำหรับการฝึก แต่สูญเสียความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับค่า NSE ที่ต่ำ

แบบจำลองสามารถทำนายค่าเฉลี่ยของอีซีอีได้ดี แต่ไม่สามารถจับรูปแบบความแปรปรวนเชิงพื้นที่หรือเชิงค่าของข้อมูลใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองการทำนายค่าอีซีอี ในชั้นดินความลึก 25–50 เซนติเมตร แสดงประสิทธิภาพในระดับค่อนข้างดีในชุดข้อมูลฝึก (NSE = 0.58, R^2 = 0.78) แต่ประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจนในชุดข้อมูลทดสอบ โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.08 และ R^2 เท่ากับ 0.34 สะท้อนถึงข้อจำกัดของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลใหม่ แม้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MAE และ RMSE) จะยังอยู่ในระดับต่ำก็ตาม ข้อมูลชุดนี้อาจไม่สะท้อนผ่านตัวแปรผิวดินหรือรีโมตเซนซิงได้ดีเท่ากับดินบน (0-25 เซนติเมตร)

1.3 ค่าอีซีอีของดินที่ความลึก 50-100 เซนติเมตร

แบบจำลองมีประสิทธิภาพ ค่อนข้างต่ำทั้งในชุดข้อมูลฝึกและชุดข้อมูลทดสอบ โดยเฉพาะด้านความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล (NSE และ R^2) ซึ่งสะท้อนว่าการทำนายความเค็มในชั้นดินลึกมีข้อจำกัดสูง

- ค่า Bias เป็นลบทั้งสองชุดข้อมูล และมีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงว่าแบบจำลองมีแนวโน้มประเมินค่าอีซีอีต่ำกว่าค่าจริงอย่างเป็นระบบ (systematic underestimation)
- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองอย่างชัดเจน (เพิ่มขึ้น 19%) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่สะท้อนว่า generalization ของแบบจำลองในชั้นดินลึกค่อนข้างจำกัด
- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองเล็กน้อย แสดงว่าแบบจำลอง ไม่ได้เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่อย่างรุนแรงในข้อมูลใหม่ แต่ค่า RMSE ที่ค่อนข้างสูงสะท้อนถึง ความไม่แน่นอนของการทำนายโดยรวม
- ค่า NSE ทั้งสองชุดต่ำกว่า 0.3 แบบจำลองมีประสิทธิภาพเพียง เล็กน้อยดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลและในเชิงปฏิบัติถือว่าประสิทธิภาพต่ำ
- ค่า R^2 (Coefficient of Determination) แสดงว่าแบบจำลองไม่สามารถอธิบายโครงสร้างความแปรปรวนของข้อมูลอีซีอีในชั้นดินลึกได้ดี โดยเฉพาะเมื่อประยุกต์ใช้กับข้อมูลใหม่

แบบจำลองสามารถทำนายค่าอีซีอี โดยทำนายค่าในดินบน (0-25 เซนติเมตร) ได้ดีที่สุด การพัฒนาแบบจำลองนี้มีความแม่นยำสูงกว่า การทำนายความเค็มของดินโดยใช้วิธีการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ให้ค่า R^2 ระหว่าง 0.3479-0.3543 และการประมาณค่าช่วงพื้นที่ในจังหวัดนครราชสีมาของยุรติกานต์ (2564) แต่ใกล้เคียงกับการพัฒนาแบบจำลองของ Asfaw *et al.* (2018) ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.78 และ Ma *et al.* (2021) ที่แบบจำลอง มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 เมื่อเปรียบกับผลการศึกษาของวรัมพร (2568) ที่พัฒนาแผนที่ความเค็มในดินโดยใช้อัลกอริทึม QRF ความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของแบบจำลองคาดการณ์ค่าที่ได้จากการประมาณค่าเฉลี่ยแล้วมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริง (bias = 0.03) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE = 6.74) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE = 0.15) ส่วนระดับความแม่นยำของแบบจำลองจากค่า Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)

มีค่าเท่ากับ 0.96 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูง พบว่าแบบจำลองของวรัมพรมีค่าสถิติดีกว่า เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็กกว่า ดินจึงมีความหลากหลายแปรปรวนน้อยกว่า

ค่าสถิติแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการทำนายลดลงในดินล่าง โดยเฉพาะดินที่ระดับความลึก 50–100 เซนติเมตร ลักษณะนี้มักพบในการแผนที่ดินดิจิทัล เนื่องจากตัวแปรในชั้นดินบนสัมพันธ์กับข้อมูลรีโมตเซนซิงมากกว่าดินล่าง

2. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีเอสพี

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในการทำนายค่าอีเอสพีของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ มีรายละเอียด (ตารางที่ 14) ดังนี้

ตารางที่ 14 ค่าสถิติประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองค่าอีเอสพี

ค่าอีเอสพี	dataset	Bias	MAE	RMSE	NSE	R^2
ดินที่ระดับความลึก 0-25 cm	Training	-2.9922	4.2889	13.7652	0.4476	0.5131
	Testing	-3.4632	5.4787	15.7553	0.3638	0.4473
ดินที่ระดับความลึก 25-50 cm	Training	-3.2386	4.5368	13.4338	0.5202	0.6049
	Testing	-2.0893	5.4643	15.2541	0.2907	0.3040
ดินที่ระดับความลึก 50-100 cm	Training	-2.7825	3.6767	10.9538	0.7046	0.7861
	Testing	-3.5988	6.1361	16.4859	0.2710	0.3147

2.1 ค่าอีเอสพีของดินที่ความลึก 0-25 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบแสดงว่าโมเดลมีแนวโน้ม ประเมินค่าอีเอสพีต่ำกว่าค่าจริง (underestimation) ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ ค่า Bias มีขนาดเพิ่มขึ้น แสดงว่าโมเดลมีความเอนเอียงเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กับข้อมูลใหม่
- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Mean Absolute Error (MAE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่า Training เล็กน้อย ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายในข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้น โมเดลมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้จากชุดฝึกไปยังชุดทดสอบ (generalization ability) ไม่ได้จดจำข้อมูลฝึกมากเกินไป ยังสามารถรักษาระดับความแม่นยำได้เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่ แต่ความแม่นยำลดลง
- ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย Root Mean Square Error (RMSE) ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อย บ่งชี้ว่าโมเดลไม่เกิด overfitting อย่างรุนแรง และความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) ไม่เพิ่มขึ้นในชุดทดสอบ

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) โมเดลนี้มีประสิทธิภาพ โดยชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลมีค่า 0.4476 และชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 0.3638 แสดงว่าแบบจำลองสามารถคาดคะเน โดยมีความแม่นยำที่น่าพอใจ อธิบายความแปรปรวนของอีเอสพีได้

- สามารถในการอธิบายความแปรปรวนของข้อมูล Coefficient of Determination (R^2) ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล โมเดลอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ 51% ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบลดลงเหลือ 44% แสดงถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลใหม่อยู่ในระดับปานกลางและอาจได้รับผลจากความไม่สม่ำเสมอของค่าอีเอสพีเชิงพื้นที่

แบบจำลองทำนายค่าอีเอสพีในดินระดับความลึก 0–25 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าอีเอสพีได้ มีแนวโน้มประเมินค่าความเค็มต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย และความแม่นยำลดลงเล็กน้อยในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

2.2 ค่าอีเอสพีของดินที่ความลึก 25-50 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบแสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้มประเมินค่าอีเอสพีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย โดยค่า Bias ในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มาก แสดงว่า ความเอนเอียงเชิงระบบลดลง เมื่อใช้กับข้อมูลใหม่

- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อย แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายลดลงเล็กน้อย และยังอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนว่าโมเดลไม่มี overfitting ด้านขนาดความผิดพลาดโดยรวม

- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลเล็กน้อยบ่งชี้ว่าแบบจำลองไม่เกิดความผิดพลาดขนาดใหญ่ (large errors) เพิ่มขึ้นในข้อมูลใหม่และมีเสถียรภาพด้านการทำนายในช่วงค่าปกติ

- ค่า NSE ในชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลอยู่ในระดับคาดคะเนค่าแม่นยำน่าพึงพอใจ แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.2907 แสดงว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย

- R^2 (Coefficient of Determination) ความแตกต่างของค่า R^2 ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบค่อนข้างมาก โมเดลเรียนรู้รูปแบบจากข้อมูลฝึกได้ค่อนข้างดีในระดับปานกลางถึงดี และลดต่ำลงเมื่อใช้ชุดข้อมูลใหม่ อธิบายข้อมูลใหม่ค่อนข้างจำกัด

แบบจำลองค่าอีเอสพีของชั้นดินความลึก 25–50 เซนติเมตร โมเดลมีประสิทธิภาพในชุดข้อมูลฝึก โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.52 และค่า R^2 เท่ากับ 0.60 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโมเดลในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการทำนายค่าอีเอสพีได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ในชุดข้อมูลทดสอบ ค่า NSE และ R^2 ลดลงอย่างชัดเจน เหลือเพียง 0.29 และ 0.30 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเดลยังไม่สามารถรักษาประสิทธิภาพในการทำนายข้อมูลใหม่ได้อย่างเหมาะสม อาจสะท้อนถึงปัญหาการปรับแบบจำลองให้เหมาะสมกับข้อมูลฝึกมากเกินไป (overfitting)

2.3 ค่าอีเอสพีของดินที่ความลึก 50-100 เซนติเมตร

- ค่าด้านความเอนเอียง (Bias) เป็นลบทั้งชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดลและชุดข้อมูลทดสอบ แสดงว่าโมเดลยังมีแนวโน้มประเมินค่าอีเอสพีต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อย
- MAE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล แสดงว่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทำนายเพิ่มขึ้น
- RMSE ของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสูงกว่าชุดข้อมูลที่ใช้สอนโมเดล
- ค่า NSE ในชุด Training อธิบายความแปรปรวนได้แม่นยำสูง แต่ลดลงอย่างมากในชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเหลือเพียง 0.3147 ที่อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลทดสอบได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ย
- R^2 (Coefficient of Determination)

ในชั้นดินความลึก 50–100 เซนติเมตร โมเดลแสดงประสิทธิภาพสูงที่สุดในชุดข้อมูลฝึก โดยมีค่า NSE และ R^2 เท่ากับ 0.70 และ 0.79 ตามลำดับ อีกทั้งมีค่า MAE และ RMSE ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นดินอื่น แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าอีเอสพีในดินชั้นลึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินผลด้วยชุดข้อมูลทดสอบ พบว่าค่า NSE และ R^2 ลดลงอย่างมาก (0.27 และ 0.31 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าแม้โมเดลจะมีความแม่นยำสูงในการเรียนรู้ข้อมูลฝึก แต่ยังมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลภายนอกพื้นที่ศึกษา

โดยสรุป แบบจำลองทำนายค่าอีเอสพีสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดี แนวโน้มความแม่นยำ เช่นเดียวกับค่าอีซีอี ความแม่นยำในการทำแผนที่ดิจิทัลของอีเอสพีลดลงตามความลึก ค่า Bias ที่มีค่าเป็นลบในทุกระดับความลึกของดิน และแตกต่างกันเล็กน้อยในชุดข้อมูลที่ใช้สอนแบบจำลองและชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบไม่เปลี่ยนทิศทาง บ่งชี้ว่าแบบจำลองมีแนวโน้มทำนายค่าอีเอสพีต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดจริงอย่างสม่ำเสมอ ค่า RMSE ที่สูงกว่า MAE อย่างชัดเจนบ่งชี้ว่ามี outliers หรือ extreme cases แบบจำลองอาจยังทำนายบริเวณที่มีความแปรปรวนสูงได้ไม่ดี

แผนที่ระดับความเค็มของดิน

1. แผนที่ระดับความเค็มของดิน

นำข้อมูลแบบจำลองค่าอีซีอีมาจัดชั้นระดับความเค็มของดิน ที่ความลึก 0-25, 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร รายละเอียดดังนี้

1.1 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 0.571 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มจัด ค่าอีซีอีมากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 8,162 ไร่ หรือร้อยละ 0.008 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 68,373 ไร่ หรือร้อยละ 0.065 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 521,894 ไร่ หรือร้อยละ 0.498 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 15 และภาพที่ 11)

ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 849,686 ไร่ หรือร้อยละ 0.811 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 103,376,285 ไร่ หรือร้อยละ 98.619 ของเนื้อที่ภาค

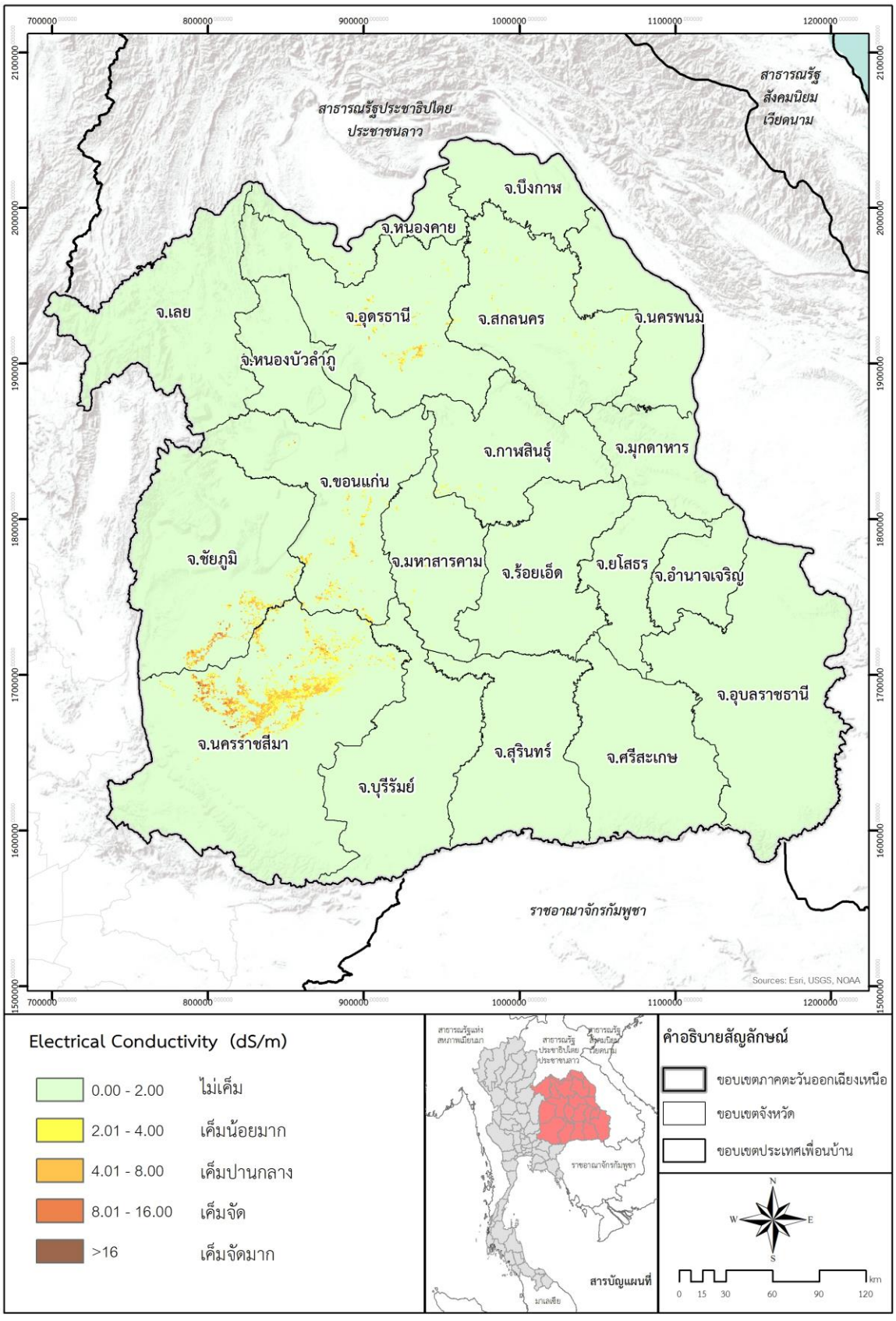
1.2 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 126,931 ไร่ หรือร้อยละ 0.121 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 1,803 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 10,068 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 115,060 ไร่ หรือร้อยละ 0.110 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 15 และภาพที่ 12)

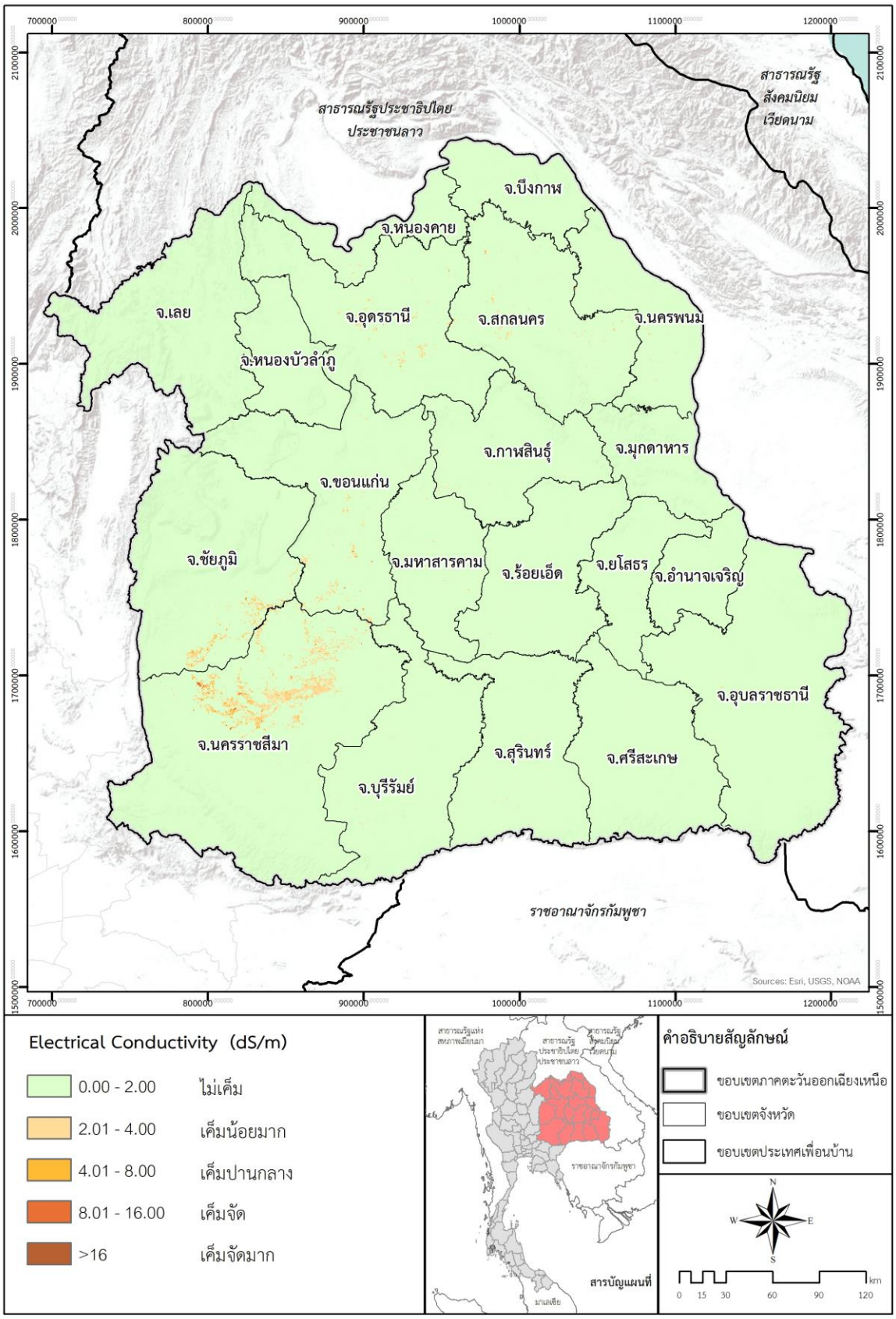
ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย มีค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 12,160,597 ไร่ หรือร้อยละ 11.601 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 92,536,872 ไร่ หรือร้อยละ 88.278 ของเนื้อที่ภาค

ตารางที่ 15 เนื้อที่ดินที่ความเค็มในระดับต่างๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความลึกดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)						
	1	2	3	4	5	รวม 3-5	รวมเนื้อที่ภาค
	EC_e < 2 dS m^{-1}	EC_e 2 - 4 dS m^{-1}	EC_e 4 - 8 dS m^{-1}	EC_e 8 - 16 dS m^{-1}	EC_e >16 dS m^{-1}	EC_e > 4 dS m^{-1}	
0-25	103,376,285 (ร้อยละ 98.619)	849,686 (ร้อยละ 0.811)	521,894 (ร้อยละ 0.498)	68,373 (ร้อยละ 0.065)	8,162 (ร้อยละ 0.008)	598,429 (ร้อยละ 0.571)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
25-50	92,536,872 (ร้อยละ 88.278)	12,160,597 (ร้อยละ 11.601)	115,061 (ร้อยละ 0.110)	10,068 (ร้อยละ 0.010)	1,803 (ร้อยละ 0.002)	126,931 (ร้อยละ 0.121)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
50-100	104,249,472 (ร้อยละ 99.452)	444,802 (ร้อยละ 0.424)	119,745 (ร้อยละ 0.114)	10,381 (ร้อยละ 0.010)	0 (ร้อยละ 0)	130,125 (ร้อยละ 0.114)	104,824,400 (ร้อยละ 100)



ภาพที่ 11 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร



ภาพที่ 12 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร

1.3 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับความเค็มปานกลางถึงเค็มจัดคือมีค่าอีซีอี มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่รวม 130,126 ไร่ หรือร้อยละ 0.114 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับเค็มมาก ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 10,381 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค ระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 119,745 ไร่ หรือร้อยละ 0.114 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 15 และภาพที่ 13)

ดินที่มีระดับความเค็มเล็กน้อย มีค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 444,802 ไร่ หรือร้อยละ 0.424 ของเนื้อที่ภาค และระดับที่ไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื้อที่ 104,249,472 ไร่ หรือร้อยละ 99.452 ของเนื้อที่ภาค

ระดับความเค็มของดินซึ่งจัดทำจากแบบจำลองค่าอีซีอี เมื่อพิจารณาตามระดับความลึก พบว่า ส่วนใหญ่ดินเค็มในดินบนและมีแนวโน้มจะเค็มลดลงในดินล่าง โดยความเค็มของดินตลอดหน้าตัดดินอยู่ในระดับเค็มปานกลาง

2 แผนที่ระดับโซดิกในดิน

นำข้อมูลแบบจำลองค่าอีเอสพีมาจัดชั้นระดับโซดิกในดิน ที่ความลึก 0-25, 25-50 และ 50-100 เซนติเมตร รายละเอียดดังนี้

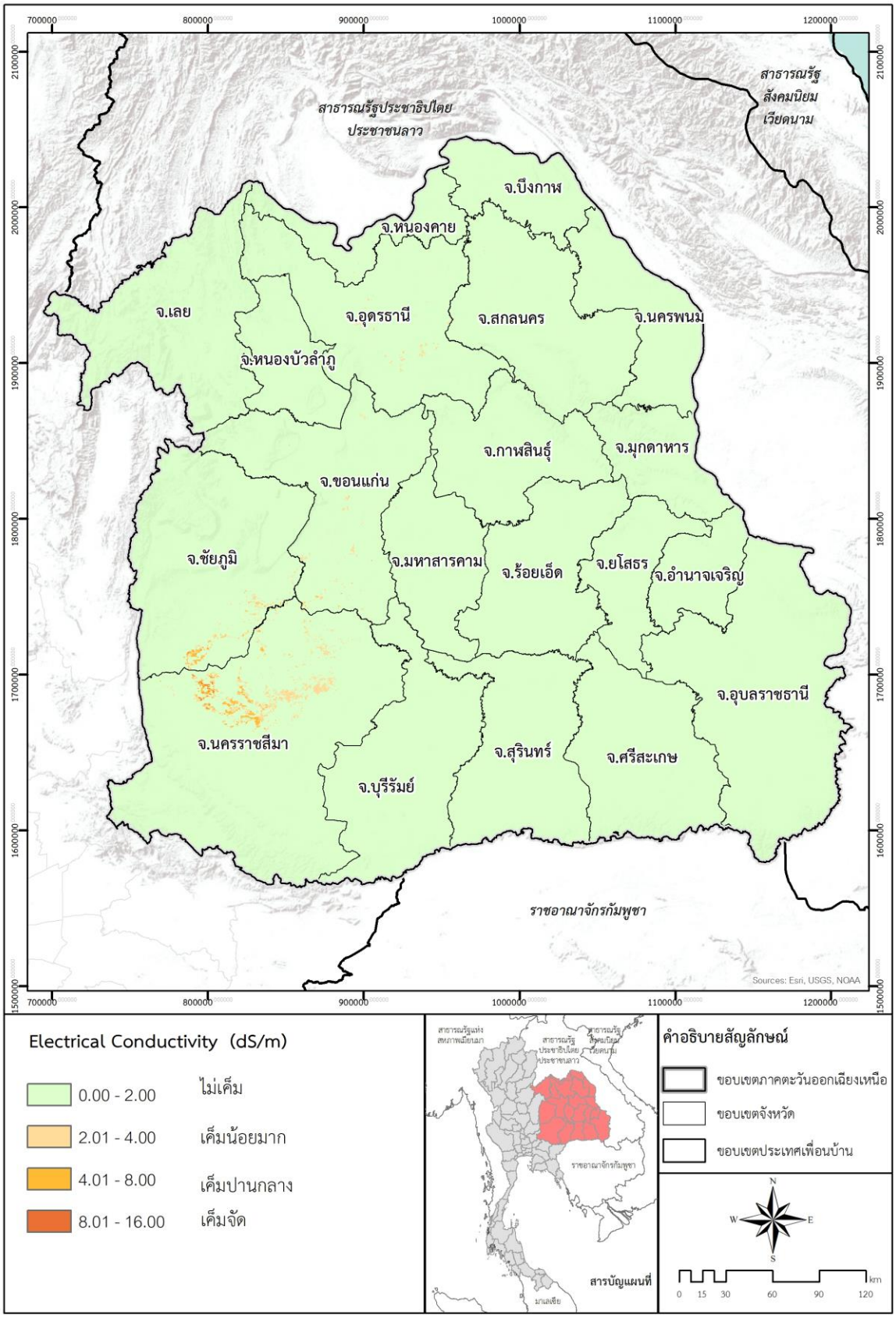
2.1 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าอีเอสพีมากกว่า 15 เนื้อที่รวม 1,915,649 ไร่ หรือร้อยละ 1.827 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,294,376 ไร่ หรือร้อยละ 1.235 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 460,105 ไร่ หรือร้อยละ 0.439 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 109,847 ไร่ หรือร้อยละ 0.105 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 51,321 ไร่ หรือร้อยละ 0.049 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 16 และภาพที่ 14)

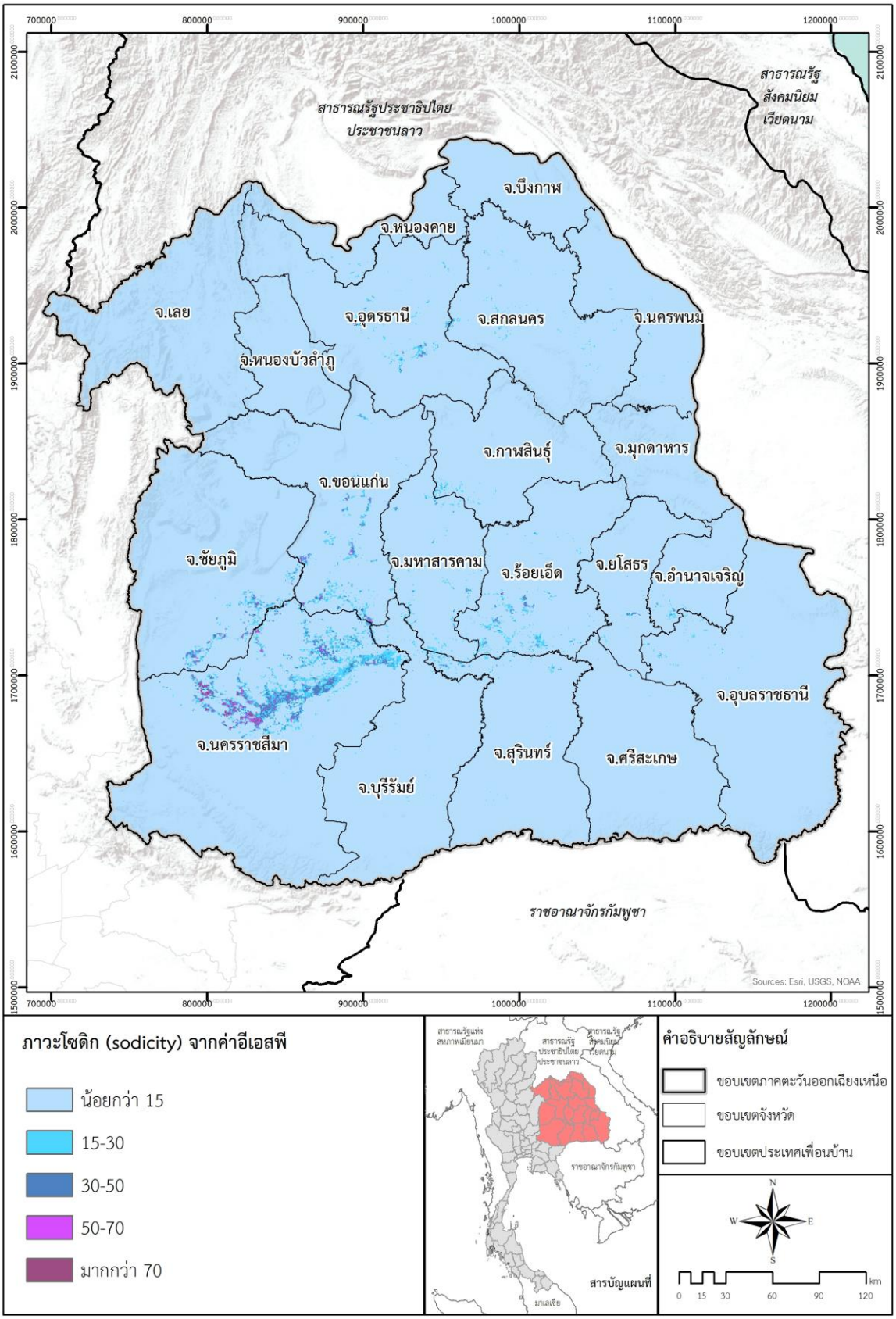
ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,908,751 ไร่ หรือร้อยละ 98.173 ของเนื้อที่ภาค

ตารางที่ 16 เนื้อที่ดินที่มีโซดิกระดับต่างๆ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความลึกดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)						
	1	2	3	4	5	รวม 2-5	รวมเนื้อที่ภาค
	ESP <15	ESP 15-30	ESP 30-50	ESP 50-70	ESP >70	ESP $\geq$ 15	
0-25	102,908,751 (ร้อยละ 98.173)	1,294,376 (ร้อยละ 1.235)	460,105 (ร้อยละ 0.439)	109,847 (ร้อยละ 0.105)	51,321 (ร้อยละ 0.049)	1,915,649 (ร้อยละ 1.827)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
25-50	102,193,796 (ร้อยละ 97.490)	1,813,810 (ร้อยละ 1.730)	638,061 (ร้อยละ 0.609)	120,673 (ร้อยละ 0.115)	58,059 (ร้อยละ 0.055)	2,630,603 (ร้อยละ 2.509)	104,824,400 (ร้อยละ 100)
50-100	102,343,829 (ร้อยละ 97.634)	1,477,062 (ร้อยละ 1.409)	761,364 (ร้อยละ 0.726)	191,713 (ร้อยละ 0.184)	49,432 (ร้อยละ 0.047)	2,479,571 (ร้อยละ 2.366)	104,824,400 (ร้อยละ 100)



ภาพที่ 13 แผนที่ระดับความเค็มของดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร



ภาพที่ 14 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 0-25 เซนติเมตร

2.2 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เนื้อที่รวม 2,630,603 ไร่ หรือร้อยละ 2.509 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,813,810 ไร่ หรือร้อยละ 1.730 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 638,061 ไร่ หรือร้อยละ 0.609 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 120,673 ไร่ หรือร้อยละ 0.115 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 58,059 ไร่ หรือร้อยละ 0.055 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 16 และภาพที่ 15)

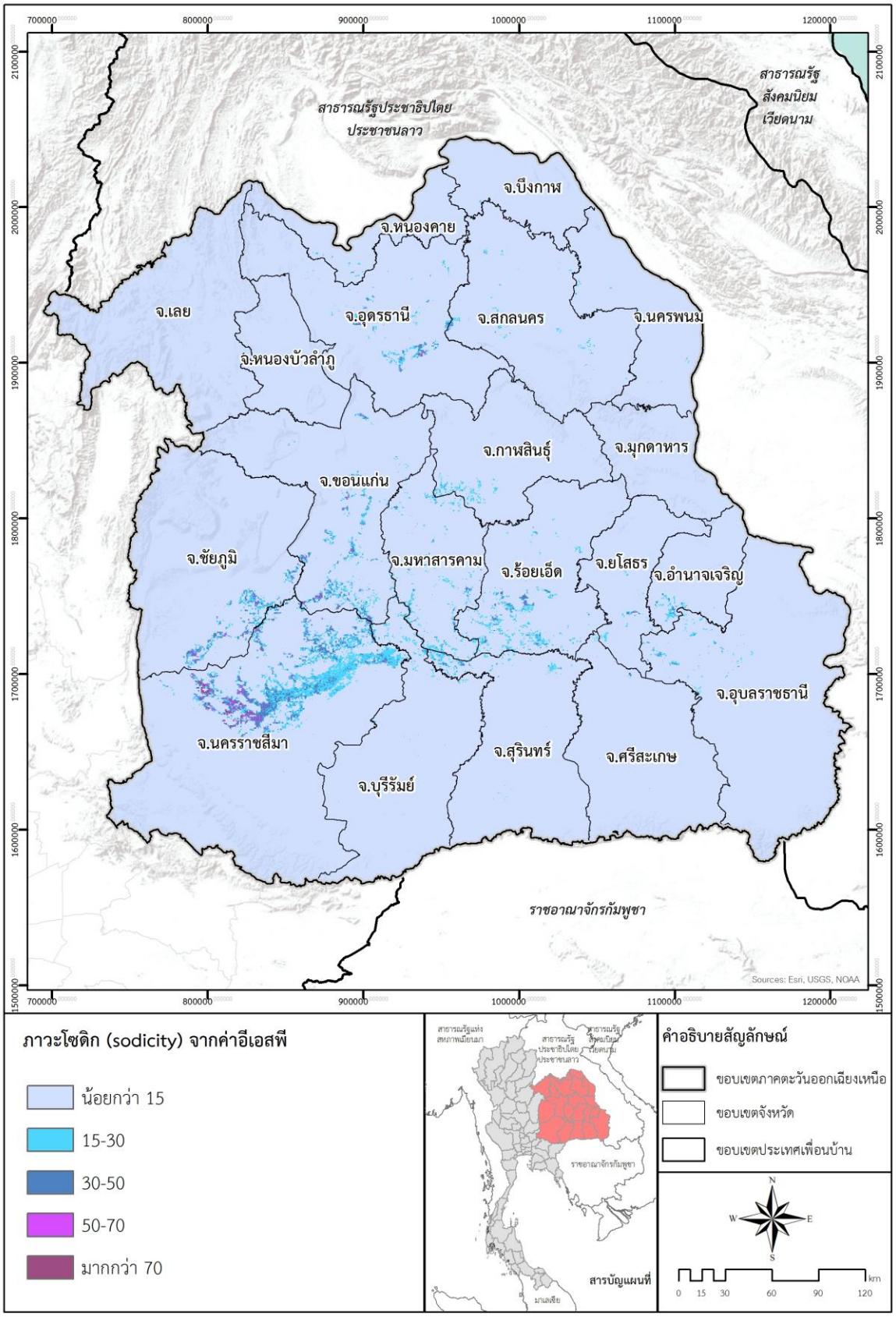
ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,193,797 ไร่ หรือร้อยละ 97.490 ของเนื้อที่ภาค

2.3 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

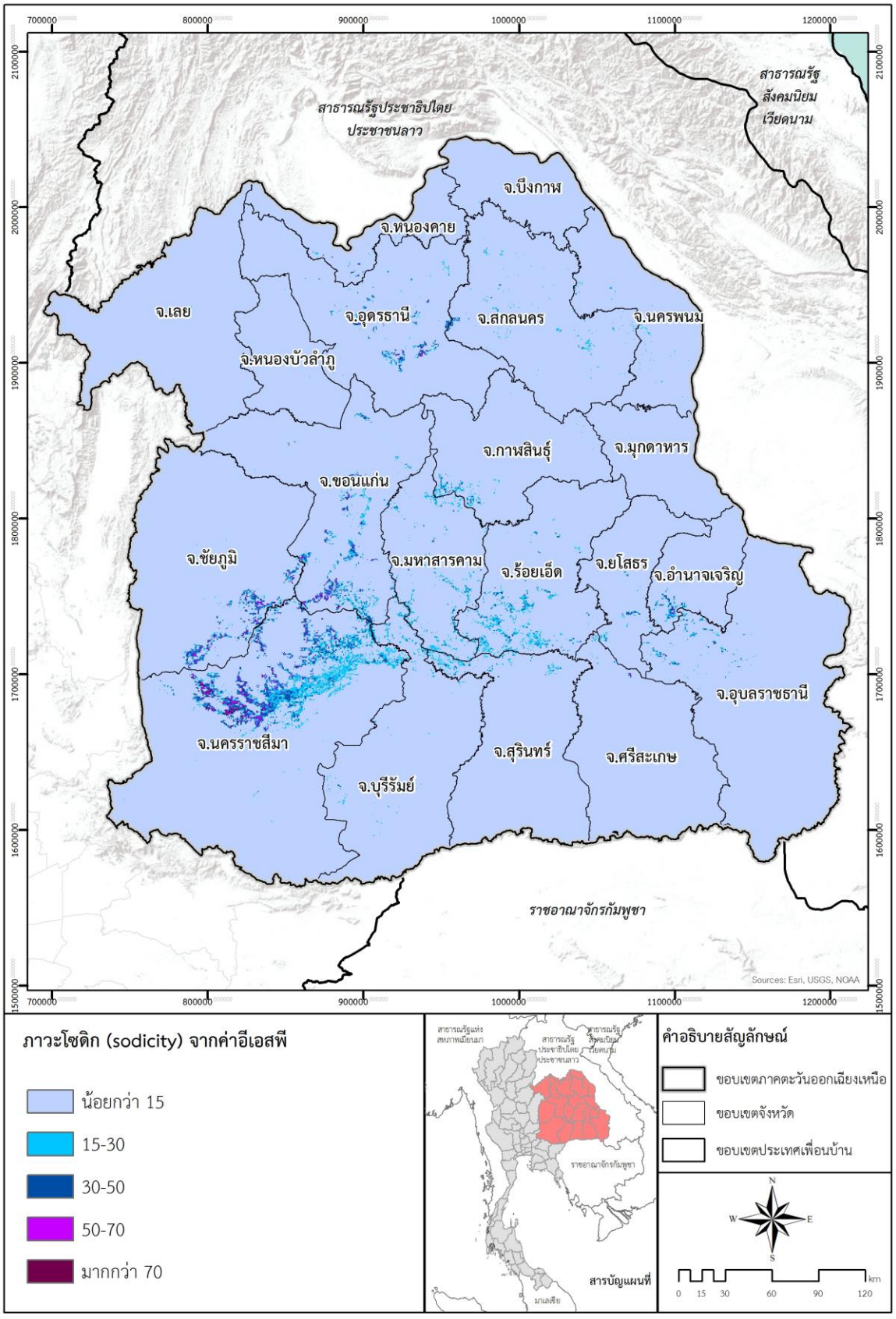
ผลการศึกษาพบว่า มีดินที่มีระดับมีโซดิกน้อยถึงโซดิกรุนแรงมาก คือมีค่าอีเอสพี มากกว่า 15 เนื้อที่รวม 2,479,571 ไร่ หรือร้อยละ 2.366 ของเนื้อที่ภาค ประกอบด้วย ระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,477,062 ไร่ หรือร้อยละ 1.409 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 761,364 ไร่ หรือร้อยละ 0.727 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 192,713 ไร่ หรือร้อยละ 0.183 ของเนื้อที่ภาค ระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 49,432 ไร่ หรือร้อยละ 0.047 ของเนื้อที่ภาค (ตารางที่ 16 และภาพที่ 16)

ดินที่ไม่มีหรือมีโซดิกน้อยมาก มีค่าอีเอสพี น้อยกว่า 15 เนื้อที่ 102,343,829 ไร่ หรือร้อยละ 97.634 ของเนื้อที่ภาค

ระดับโซดิกในดินซึ่งจัดทำจากแบบจำลองค่าอีเอสพี เมื่อพิจารณาตามระดับความลึก พบว่า ดินมีแนวโน้มมีโซดิกเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยอยู่ในระดับมีโซดิกน้อยถึงปานกลาง



ภาพที่ 15 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 25-50 เซนติเมตร



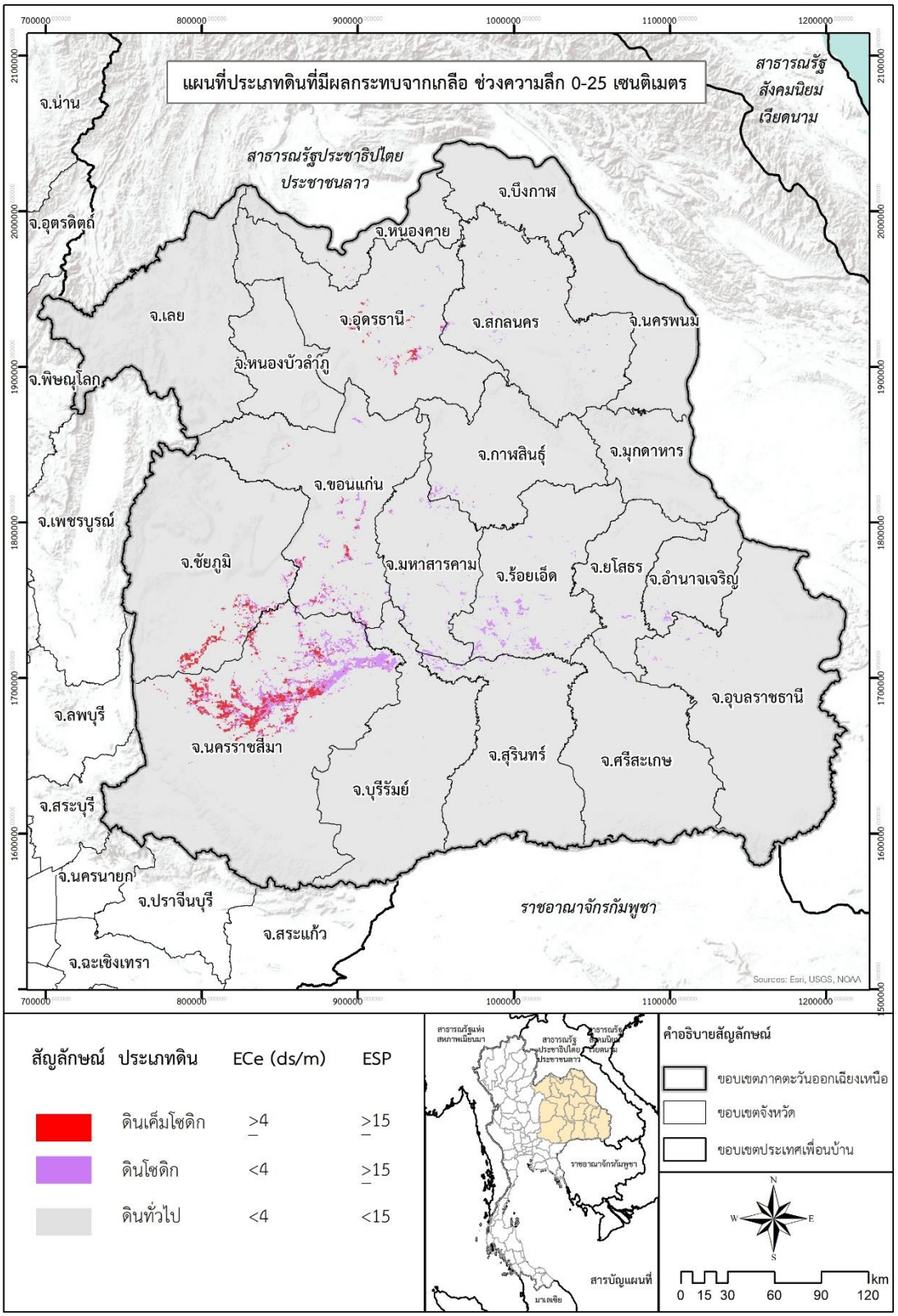
ภาพที่ 16 แผนที่ระดับโซดิกในดิน ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตร

แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

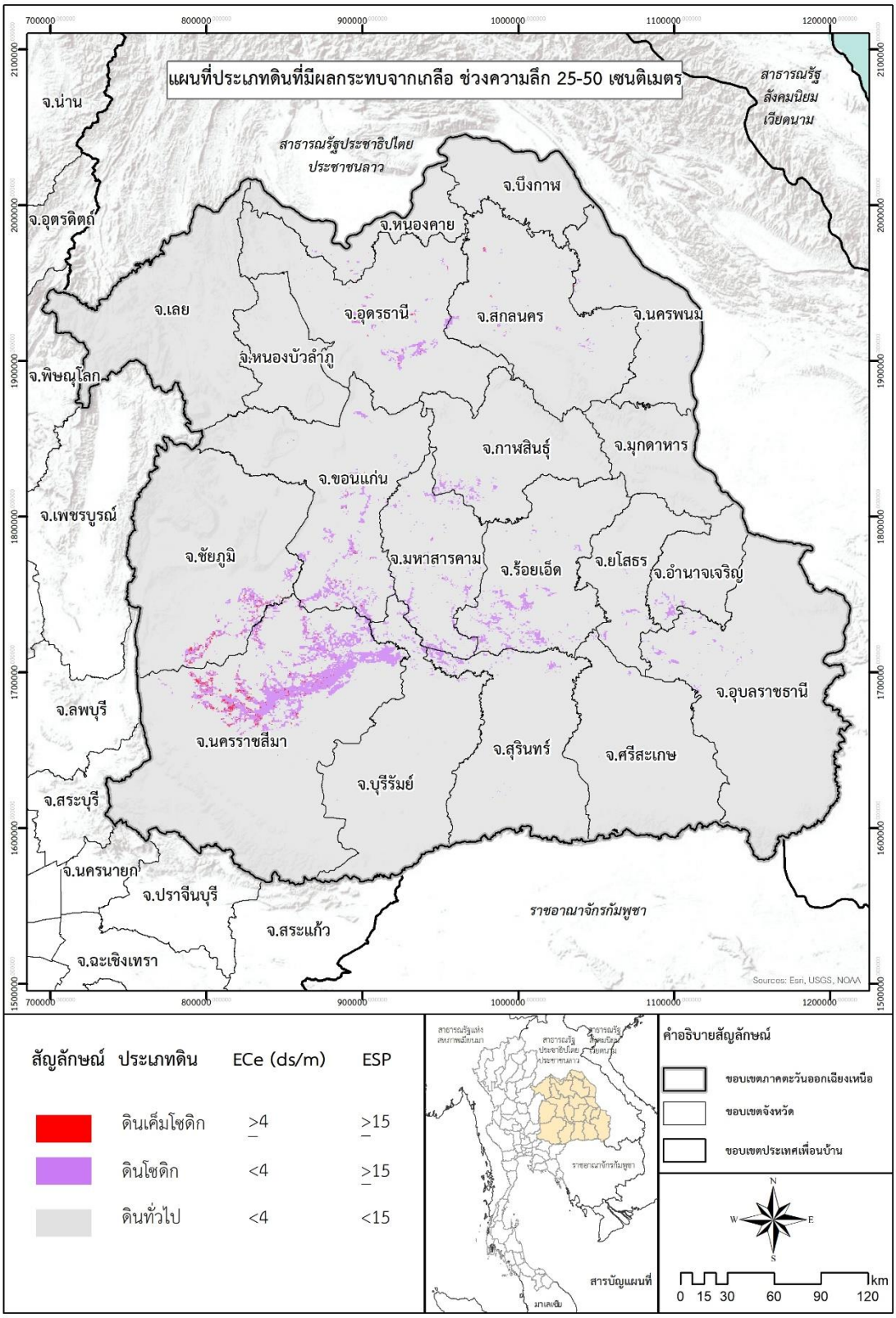
ผลการวิจัยพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มี 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก และมีเนื้อที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นความลึกของดิน และมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกแตกต่างกัน (ตารางที่ 17 และภาพที่ 17-19) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ดินล่างเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือมากกว่าดินบน และดินบนมีแนวโน้มเป็นดินเค็มโซดิกมากกว่าดินล่าง มีรายละเอียดแต่ละช่วงความลึกของดิน ดังนี้

ตารางที่ 17 เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

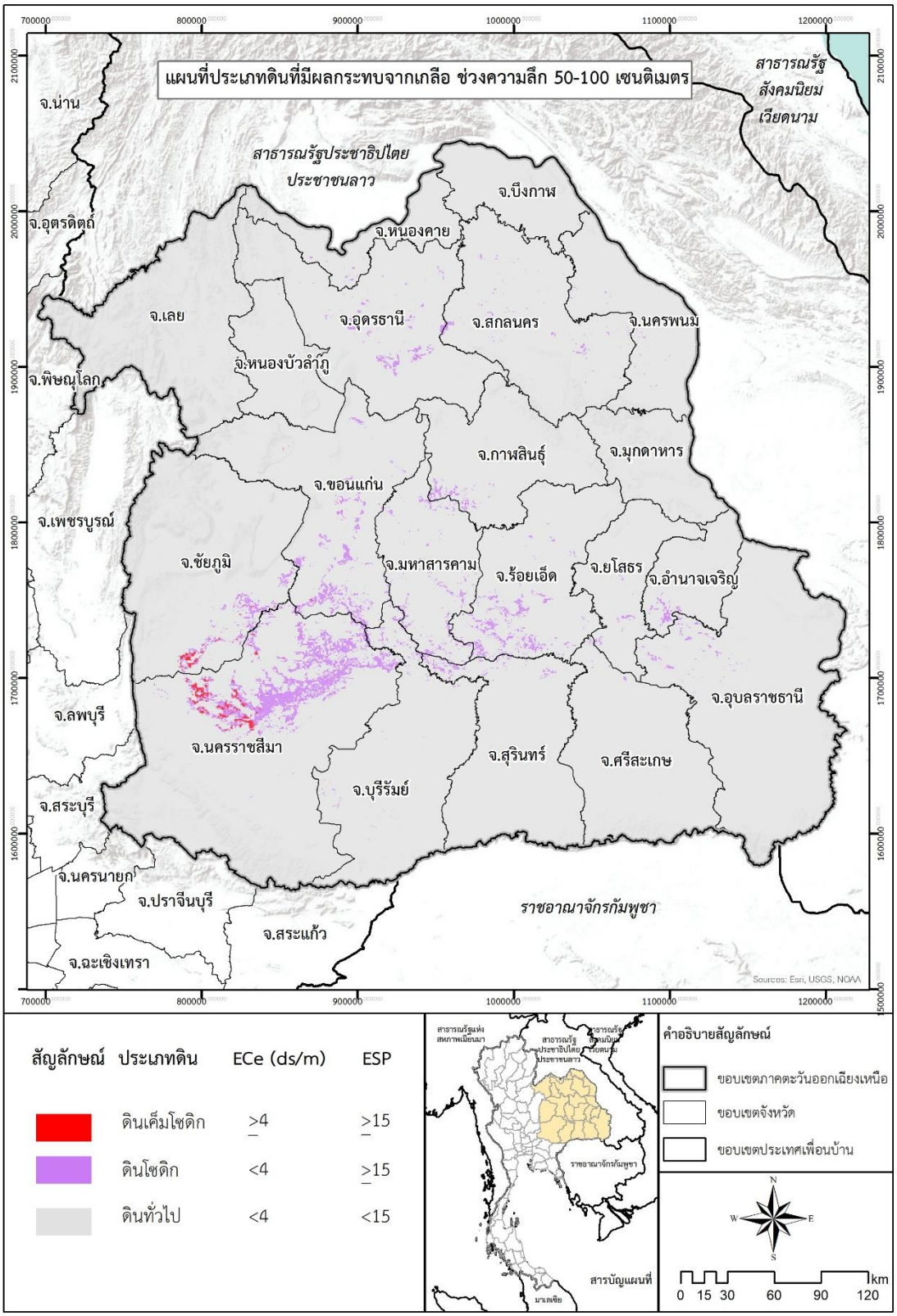
ความลึกของดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)				
	ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ			ดินอื่น ๆ	รวมทั้งภาค
	ดินเค็มโซดิก	ดินโซดิก	รวม		
0-25	598,429	1,317,220	1,915,649	102,908,751	104,824,400
	ร้อยละ 0.571 ของภาค	ร้อยละ 1.257 ของภาค	ร้อยละ 1.828 ของภาค	ร้อยละ 98.173 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 31.239 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 68.761 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
25-50	126,931	2,503,673	2,630,604	102,193,796	104,824,400
	ร้อยละ 0.121 ของภาค	ร้อยละ 2.388 ของภาค	ร้อยละ 2.509 ของภาค	ร้อยละ 97.490 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 4.825 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 95.175 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
50-100	130,125	2,350,445	2,480,570	102,343,830	104,824,400
	ร้อยละ 0.124 ของภาค	ร้อยละ 2.242 ของภาค	ร้อยละ 2.366 ของภาค	ร้อยละ 97.634 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 5.246 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 94.754 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		



ภาพที่ 17 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร



ภาพที่ 18 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร



ภาพที่ 19 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

1. ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 1,915,649 ไร่ แบ่งเป็น
   ดินโซดิก เนื้อที่ 1,317,220 ไร่ หรือร้อยละ 68.76 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
   ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 31.24 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
2. ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,630,604 ไร่ แบ่งเป็น
   ดินโซดิก เนื้อที่ 2,503,673 ไร่ หรือร้อยละ 95.17 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
   ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 126,931 ไร่ หรือร้อยละ 4.83 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
3. ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,480,570 ไร่ แบ่งเป็น
   ดินโซดิก เนื้อที่ 2,480,570 ไร่ หรือร้อยละ 94.75 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
   ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 130,125 ไร่ หรือร้อยละ 5.25 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ดินมีสมบัติเป็นที่มีผลกระทบจากเกลือเพิ่มขึ้นในดินล่าง ดินเป็นดินโซดิกมากกว่าดินเค็มโซดิกและมีเนื้อที่ดินเค็มโซดิกลดลงและเป็นดินโซดิกเพิ่มขึ้น

การประเมินระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและโซดิกของดิน

เมื่อพิจารณาแต่ละชั้นความลึกของดินมีรายละเอียด ดังนี้

1) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 1,915,649 ไร่ หรือร้อยละ 1.827 ของเนื้อที่ภาค พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก แตกต่างกัน 20 แบบ (ตารางที่ 20) ดังนี้

1.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าอีเอสพี 15-50 พบดินเค็มโซดิก 12 แบบ เรียงลำดับพื้นที่มากไปน้อย ดังนี้

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 256,131 ไร่ หรือร้อยละ 0.244 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 180,020 ไร่ หรือร้อยละ 0.172 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,289 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 27,454 ไร่ หรือร้อยละ 0.026 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 23,874 ไร่ หรือร้อยละ 0.023 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 19,310 ไร่ หรือร้อยละ 0.018 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 11,211 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 13,979 ไร่ หรือร้อยละ 0.013 ของเนื้อที่ภาค

(9) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,990 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(10) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 2,187 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(11) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 919 ไร่ หรือร้อยละ 0.001 ของเนื้อที่ภาค

(12) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 3,065 ไร่ หรือร้อยละ 0.003 ของเนื้อที่ภาค

ตารางที่ 20 เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและโซดิกลักษณะแบบต่าง ๆ

ความลึก (cm)	ประเภท	EC_e (dS m^{-1})	ESP	เนื้อที่		ลักษณะ	แบบที่
				ไร่	ร้อยละของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
0-25	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	256,131	13.370	saline-sodic 1	1
			30-50	180,020	9.397	saline-sodic 2	2
			50-70	58,289	3.043	saline-sodic 3	3
			>70	27,454	1.433	Saline-sodic 4	4
		8-16	15-30	23,874	1.246	saline-sodic 5	5
			30-50	19,310	1.008	saline-sodic 6	6
			50-70	11,211	0.585	saline-sodic 7	7
			>70	13,979	0.730	saline-sodic 8	8
		>16	15-30	1,990	0.104	saline-sodic 9	9
			30-50	2,187	0.114	saline-sodic 10	10
			50-70	919	0.048	saline-sodic 11	11
			>70	3,065	0.160	saline-sodic 12	12
	รวม			598,429	31.239		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	658,558	34.378	sodic 1	13
			30-50	114,555	5.980	sodic 2	14
			50-70	12,607	0.658	sodic 3	15
			>70	2,079	0.109	sodic 4	16
		2-4	15-30	353,823	18.470	sodic 5	17
			30-50	144,034	7.519	sodic 6	18
			50-70	26,821	1.400	sodic 7	19
			>70	4,743	0.248	sodic 8	20
	รวม			1,317,220	68.761		

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC_e (dS m^{-1})	ESP	เนื้อที่		ลักษณะ	แบบที่
				ไร่	ร้อยละของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	41,684	1.585	saline-sodic 1	1
			30-50	43,827	1.666	saline-sodic 2	2
			50-70	17,837	0.678	saline-sodic 3	3
			>70	11,712	0.445	saline-sodic 4	5
		8-16	15-30	1,937	0.074	saline-sodic 5	6
			30-50	4,210	0.160	saline-sodic 6	6
			50-70	1,813	0.069	saline-sodic 7	7
			>70	2,108	0.080	saline-sodic 8	8
		>16	>70	1,803	0.069	saline-sodic 12	12
	รวม			126,931	4.825		
	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,449,188	55.090	sodic 1	13
			30-50	348,415	13.245	sodic 2	14
			50-70	37,953	1.443	sodic 3	15
			>70	9,989	0.380	sodic 4	16
		2-4	15-30	320,993	12.202	sodic 5	17
			30-50	241,609	9.185	sodic 6	18
			50-70	62,980	2.394	sodic 7	19
			>70	32,547	1.237	sodic 8	20
	รวม			2,503,674	95.175		

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ความลึก (cm)	ประเภท	EC_e (dS m^{-1})	ESP	เนื้อที่		ลักษณะ	แบบที่
				ไร่	ร้อยละของพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
25-50	ดินเค็มโซดิก	4-8	15-30	19,580	0.789	saline-sodic 1	1
			30-50	41,902	1.689	saline-sodic 2	2
			50-70	39,598	1.596	saline-sodic 3	3
			>70	18,664	0.752	saline-sodic 4	5
		8-16	15-30	929	0.037	saline-sodic 5	6
			30-50	3,403	0.137	saline-sodic 6	6
			50-70	3,994	0.161	saline-sodic 7	7
			>70	2,055	0.083	saline-sodic 8	8
	รวม			130,125	5.246		
50-100	ดินโซดิก	< 2	15-30	1,318,473	53.152	sodic 1	13
			30-50	528,174	21.292	sodic 2	14
			50-70	90,506	3.649	sodic 3	15
			>70	11,073	0.446	sodic 4	16
		2-4	15-30	138,080	5.566	sodic 5	17
			30-50	187,885	7.574	sodic 6	18
			50-70	58,614	2.363	sodic 7	19
			>70	17,640	0.711	sodic 8	20
	รวม			2,350,445	94.754		

1.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าอีเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 658,558 ไร่ หรือร้อยละ 0.628 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 114,555 ไร่ หรือร้อยละ 0.109 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 12,607 ไร่ หรือร้อยละ 0.012 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,079 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 353,823 ไร่ หรือร้อยละ 0.338 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 144,034 ไร่ หรือร้อยละ 0.137 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 26,821 ไร่ หรือร้อยละ 0.026 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 4,743 ไร่ หรือร้อยละ 0.005 ของเนื้อที่ภาค

2) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 2,630,605 ไร่ หรือร้อยละ 2.510 ของเนื้อที่ภาค

2.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี 15-70 พบดินเค็มโซดิก 9 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 41,684 ไร่ หรือร้อยละ 0.040 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 43,827 ไร่ หรือร้อยละ 0.042 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 17,837 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 11,712 ไร่ หรือร้อยละ 0.011 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,937 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 4,210 ไร่ หรือร้อยละ 0.004 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 1,813 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,108 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

(9) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัดมาก ค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 1,803 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

2.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าอีเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,449,188 ไร่ หรือร้อยละ 1.382 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 348,415 ไร่ หรือร้อยละ 0.332 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 37,953 ไร่ หรือร้อยละ 0.036 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 9,989 ไร่ หรือร้อยละ 0.010 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 320,993 ไร่ หรือร้อยละ 0.306 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 241,609 ไร่ หรือร้อยละ 0.230 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 62,980 ไร่ หรือร้อยละ 0.060 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 32,547 ไร่ หรือร้อยละ 0.031 ของเนื้อที่ภาค

3) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

เนื้อที่รวม 2,480,570 ไร่ หรือร้อยละ 2.366 ของเนื้อที่ภาค

3.1) ดินเค็มโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโซดิก ที่มีระดับความเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อยถึงรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี 15-70 พบดินเค็มโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 19,580 ไร่ หรือร้อยละ 0.019 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 41,902 ไร่ หรือร้อยละ 0.040 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 39,598 ไร่ หรือร้อยละ 0.038 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มปานกลาง ค่าอีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 18,664 ไร่ หรือร้อยละ 0.018 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 929 ไร่ หรือร้อยละ 0.001 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 3,403 ไร่ หรือร้อยละ 0.003 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 3,994 ไร่ หรือร้อยละ 0.004 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มจัด ค่าอีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 2,055 ไร่ หรือร้อยละ 0.002 ของเนื้อที่ภาค

3.2) ดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิกที่ไม่เค็มค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าอีเอสพี 15-50 พบดินโซดิก 8 แบบ ประกอบด้วย

(1) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 1,318,473 ไร่ หรือร้อยละ 1.258 ของเนื้อที่ภาค

(2) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 528,174 ไร่ หรือร้อยละ 0.504 ของเนื้อที่ภาค

(3) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

(4) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับไม่เค็ม ค่าอีซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

(5) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกน้อย ค่าอีเอสพี 15-30 เนื้อที่ 138,080 ไร่ หรือร้อยละ 0.132 ของเนื้อที่ภาค

(6) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกปานกลาง ค่าอีเอสพี 30-50 เนื้อที่ 187,885 ไร่ หรือร้อยละ 0.179 ของเนื้อที่ภาค

(7) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงหรือโซดิกมาก ค่าอีเอสพี 50-70 เนื้อที่ 58,614 ไร่ หรือร้อยละ 0.056 ของเนื้อที่ภาค

(8) ดินเค็มโซดิกที่มีระดับเค็มน้อยมาก ค่าอีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และระดับโซดิกรุนแรงมาก ค่าอีเอสพี มากกว่า 70 เนื้อที่ 17,640 ไร่ หรือร้อยละ 0.017 ของเนื้อที่ภาค

แนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

การคัดเลือกพืชในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความเค็มแตกต่างกัน พิจารณาจากชนิดพืชที่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในดินที่มีสภาพความเค็มระดับต่าง ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558ก; และกรมพัฒนาที่ดิน, 2567) ดังตารางที่ 18 และพืชที่สามารถปลูกในดินที่มีโซดิกระดับต่าง ๆ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาชนิดพืชที่เหมาะสมในประเทศไทย จึงใช้ข้อมูลจากต่างประเทศมาแนะนำในเบื้องต้น (Pearson, 1960) (ตารางที่ 19) นำข้อมูลมาประมวลและจัดทำแนวทางการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิก

1. การจัดการดินเค็ม-โซดิก (saline-sodic)

1.1 การเลือกพืช

- ระดับเค็มปานกลาง–จัด: ปลูกพืชทนเค็ม (ข้าวพันธุ์ทนเค็ม, พืชไร่ทนเค็ม, พืชสวนบางชนิด, ไม้ผลทนเค็ม)
- ระดับรุนแรง/โซดิกรุนแรง: ปลูกหญ้าหรือพืชคลุม/พักที่ดิน (ห้ามปลูกพืชเศรษฐกิจที่อ่อนไหว)

1.2 การปรับสภาพเคมี

- ใส่ยิปซัมตาม Gypsum Requirement (คำนวณจาก CEC และ ESP) เพื่อแทนที่ Na^+ ด้วย Ca^{2+}
- เติมอินทรียวัตถุ (ปุ๋ยคอก/หมัก, ปุ๋ยพืชสด, biochar) เพื่อปรับโครงสร้างและเพิ่มการยึดจับธาตุ

1.3 การจัดการน้ำและการล้างเกลือ

- จัดระบบระบายน้ำ (คู/ท่อ/ระบายน้ำใต้ดิน) เพื่อชะล้างเกลือและ Na^+
- ล้างเกลือตาม Leaching Requirement (LR) โดยใช้ค่า EC_w ของน้ำชลประทาน
- ใช้น้ำคุณภาพดี (ฝน/น้ำ EC ต่ำ) ในการล้าง

1.4 การจัดการกายภาพ

- ไถพรวนลึก (deep ploughing/subsoiling) เมื่อดินอัดตัว
- ปรับระดับพื้นที่ ทำคันนา/แปลงยกร่องหรือพูนโคนเพื่อลดการสะสมเกลือผิวดิน
- ปลูกพืชคลุมดินหรือลงวัสดุคลุมผิวเพื่อลดการระเหยและการสะสมเกลือ

1.5 มาตรการเชิงวิศวกรรม/การบริหาร

- ในกรณีรุนแรงมาก ต้องฟื้นฟูด้วยวิศวกรรม: ระบายน้ำถาวรและล้างหลายรอบ หรือพิจารณาเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- ผสมมาตรการ (ยิปซัม+อินทรียวัตถุ+การล้าง+พืชทนเค็ม) เพื่อผลยั่งยืน

1.6 ติดตามผล

- ตรวจวัด EC และ ESP เป็นระยะ ปรับปริมาณยิปซัมและการล้างดินอย่างต่อเนื่อง

2. การจัดการดินโซดิก (sodic)

2.1 การเลือกพืช

- โซดิกเล็กน้อย–ปานกลาง: ปลูกข้าว/ถั่ว/พืชทนโซเดียมที่แนะนำ (โคลเวอร์, พืชตระกูลถั่ว, พืชไร่ทนโซเดียม)

- โซดิกรุนแรง/มาก: เลือกปลูกพืชหญ้าทนโซเดียม พื้นที่รุนแรงมากควรพักหรือเปลี่ยนการใช้ประโยชน์

2.2 การปรับสภาพเคมี

- ใส่ยิปซัมตาม Gypsum Requirement เพื่อลด Na^+

- เติมอินทรียวัตถุ (ปุ๋ยคอก/หมัก, ปุ๋ยพืชสด, biochar) เพื่อปรับโครงสร้างดินและเพิ่มความสามารถการซึมน้ำ

2.3 การจัดการน้ำและระบายน้ำ

- ทำระบบระบายน้ำชะล้าง Na^+ (คู/ท่อ/ระบายน้ำใต้ดิน) สำคัญแม้ EC ต่ำ

- ล้างด้วยน้ำดีและทำซ้ำหลายรอบเมื่อ ESP สูงมาก

2.4 การจัดการกายภาพ

- ไถพรวนลึก (deep ploughing/subsoiling) เมื่อชั้นแน่นหรือการซึมน้ำต่ำ

- ปลูกพืชคลุมดิน/ใช้วัสดุคลุมเพื่อลดการกัดเซาะและช่วยฟื้นฟูโครงสร้าง

2.5 มาตรการเชิงวิศวกรรม/การบริหาร

- พื้นที่โซดิกรุนแรงต้องใช้วิธีทางวิศวกรรม (ระบายน้ำถาวร, ล้างซ้ำ) และอาจพิจารณาเปลี่ยนการใช้ประโยชน์

- ผสมผสานยิปซัม+อินทรียวัตถุ+การระบายน้ำ+พืชคลุม

2.6 ติดตามผล

- วัด ESP/EC/CEC เป็นระยะ ประเมินการลด Na^+ และปรับมาตรการ

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

ผลการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อทำนายระดับความเค็มและ/หรือความเป็นโซดิกของดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าความเค็มของดินได้ ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจากชุดข้อมูลฝึก (training dataset) และชุดข้อมูลทดสอบ (testing dataset) สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการทำนายค่าความเค็มของดินในเชิงพื้นที่ได้อย่างมีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลจริง ค่าดัชนีทางสถิติที่ใช้ประเมินแบบจำลอง เช่น ค่า Bias, Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำระดับปานกลาง โดยมีแนวโน้มการทำนายต่ำกว่าค่าจริงเล็กน้อยในบางช่วงของค่าความเค็ม โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีค่าความเค็มสูง ซึ่งสะท้อนถึงความซับซ้อนของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในสภาพธรรมชาติ

การจัดทำแผนที่ดินดิจิทัล ด้านความเค็มของดิน เมื่อพิจารณาจากค่าอีซีอี พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าตั้งแต่ระดับไม่เค็มถึงเค็มเล็กน้อย (อีซีอี 0-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) พื้นที่ที่เค็มปานกลางถึงเค็มจัด (อีซีอีมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) มีเนื้อที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของเนื้อที่ภาค ด้านความเป็นโซดิกของดิน พบว่าส่วนใหญ่โซดิกในดินอยู่ในระดับน้อย (อีเอสพีน้อยกว่า 15 พื้นที่ที่ดินมีโซดิกอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง มีเนื้อที่น้อยกว่าร้อยละ 3 ของเนื้อที่ภาค

เมื่อนำข้อมูลความเค็มและโซดิกในดินมาพิจารณาร่วมกันเพื่อจำแนกประเภท พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นดินเค็มโซดิกและดินโซดิก ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ดินในพื้นที่เหล่านี้จะเกิดการฟุ้งกระจาย ดินแน่นทึบ โครงสร้างดินเสื่อมสภาพ การซึมผ่านของน้ำและอากาศลดลง และเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของรากพืช และพื้นที่บางส่วนจัดอยู่ในประเภทดินเค็มโซดิก ซึ่งเป็นดินที่มีทั้งค่าความเค็มและค่าโซดิกสูง ส่งผลกระทบเชิงซ้อนต่อสมบัติกายภาพและเคมีของดิน ทำให้ศักยภาพการผลิตลดลงอย่างมาก ความเค็มในระดับดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการงอก การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในระยะต้นกล้าและระยะสืบพันธุ์

เมื่อพิจารณาระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกในดิน พบลักษณะที่แตกต่างกัน 20 แบบ ซึ่งต้องมีรูปแบบการเลือกพืช ใส่วัสดุปรับปรุงดิน และการจัดการพื้นที่แตกต่างกัน

การทำนายค่าจากแบบจำลองแสดงระดับความเค็มและโซดิกของดิน และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ สามารถประเมินสภาพปัญหาของดินที่มีผลกระทบจากเกลือเชิงพื้นที่ได้อย่างมีศักยภาพ ใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงดินเพื่อเพาะปลูก จำแนกพื้นที่เสี่ยงดินที่มีผลกระทบจากเกลือ คัดเลือกพื้นที่การทำวิจัยการจัดการดินตามสภาพปัญหาแบบมุ่งเป้า เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวางแผนการใช้ที่ดิน การกำหนดเขตความเหมาะสมของการปลูกพืช และการกำหนดมาตรการจัดการความเค็มและโซดิกในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติการได้อย่างเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเฝ้าระวังและติดตามระดับความเค็มของดินอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ควบคู่กับการตรวจวัดภาคสนาม เพื่อสนับสนุนการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดการทรัพยากรดินและน้ำ และการกำหนดแนวทางการผลิตทางการเกษตรให้เหมาะสมกับศักยภาพของพื้นที่ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีระดับความเค็มและโซดิกสูง

2. ควรมีการศึกษาและเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละพื้นที่ มาวิเคราะห์ค่าอีซีของน้ำชลประทาน (EC_w) ซึ่งจะใช้ในการคำนวณค่า leaching requirement (LR) สำหรับการล้างเกลือ เพื่อการปรับปรุงความเค็มในดิน และควรเก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ในพื้นที่ ซึ่งใช้ในการคำนวณค่า Gypsum Requirement (GR) สำหรับพิจารณาใส่ยิปซัมเพื่อการปรับปรุงโซดิกในดิน ให้เป็นข้อมูลเฉพาะพื้นที่

3. ควรทำการศึกษาพืชเศรษฐกิจ พืชท้องถิ่น และพืชปรับปรุงดินที่เจริญเติบโตได้ในดินโซดิกที่มีระดับโซดิกต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่

4. ควรบูรณาการงานวิจัยด้านดิน น้ำ และพืช เข้ากับการส่งเสริมการเกษตรเชิงพื้นที่ เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการดินเค็มที่เหมาะสมกับบริบทของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลวิชาการเป็นฐานในการตัดสินใจและถ่ายทอดสู่การปฏิบัติจริง พร้อมทั้งเสริมสร้างกลไกความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา และชุมชน เพื่อขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหาดินเค็มเชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบและยั่งยืน

5. ระดับนโยบาย ควรนำผลการประเมินระดับความเค็มของดินไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการดำเนินงานตามยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน และด้านการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในมิติการใช้ทรัพยากรดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน รวมทั้งบูรณาการข้อมูลดินเค็มเข้ากับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และแผนด้านการเกษตร เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดเขตความเหมาะสมของการใช้ที่ดิน (land suitability zoning) และการส่งเสริมการผลิตพืชให้สอดคล้องกับศักยภาพของพื้นที่

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. นำไปใช้เป็นฐานข้อมูลกลางเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการทำงานวิจัย และวางแผนพัฒนาพื้นที่เกษตรเชิงยุทธศาสตร์ทั้งในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค

2. นำไปประเมินสถานการณ์ได้อย่างต่อเนื่อง วางแผนป้องกันหรือฟื้นฟูและวางโครงการเพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ประสบปัญหา

3. ทำให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และมีการนำองค์ความรู้ไปขยายผลในพื้นที่ที่ประสบปัญหาใกล้เคียงกันได้

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1. เอกสารวิชาการเ เรื่อง การจัดทำฐานข้อมูลความเค็มและโซดิกเพื่อการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เผยแพร่ในเว็บไซต์กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดินและกองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน

2. การนำเสนอผลงานวิจัย เรื่อง การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในการประชุมนำเสนอผลการสกัดองค์ความรู้จากผลงานวิจัย/ผลสำเร็จงานวิชาการ ปี 2563-2567 วันที่ 15 มกราคม 2569 ณ ห้องประชุม 1214 กรมพัฒนาที่ดิน และผ่านระบบออนไลน์ Zoom meeting

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2550. **ธรณีวิทยาประเทศไทย.** กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. 2566. **แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร. 2543. **แผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1: 50,000.** กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558ก. **คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558ข. **สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย.** ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. **สถานภาพและการจัดการดินเค็มในประเทศไทย.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2567. **ข้อมูลภูมิอากาศคาบ 30 ปี (2538-2566).** กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2565. **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2566. **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2560. **แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มาตราส่วน 1:25,000 จังหวัดนครราชสีมา.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2562. **แผนที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ธีรพร ชื่นพี และ ยุรติกานต์ จันทรวิภรณ์. 2568. จัดทำแผนที่ดิจิทัลความเค็มของดินในฤดูแล้ง ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ในอำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ** 35 (2): 1-17.

นฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล. 2562. **แนวทางการวิเคราะห์ความสัมพันธ์การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินกับดินเค็ม ลุ่มน้ำลำเชิงไกร (รหัส 0506)**. เอกสารวิชาการกองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน เลขที่ กสด. 62/003. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย, มณีรัตน์ แจ้งประจักษ์, พัลลภ หงษ์เจริญไทย, ดนัย แสนจันทอง และ นฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล. 2567. การทำแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ: กรณีศึกษาในจังหวัดนครราชสีมา. *ใน* **บทความเรื่องเต็ม การประชุมวิชาการกรมพัฒนาที่ดิน ประจำปี 2567 สาขาวิชาการที่ 5 สาขาจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดิน/ที่ดินและการประยุกต์ใช้ ระหว่างวันที่ 21-23 สิงหาคม 2567 ณ โรงแรมเดอะรีเจ้นท์ ชะอำ บีช รีสอร์ท จังหวัดเพชรบุรี.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พิชัย วิชัยดิษฐ์. 2539. การอ่านและการใช้แผนที่ดินเค็ม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 174-176. *ใน* **เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พิสุทธิ์ วิจารสรณ์. 2530. **การจำแนกดินเปรี้ยวและดินเค็มตามแนวชายฝั่งทะเลของประเทศไทย.** เอกสารทางวิชาการ ฉบับที่ 74. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ยุรติกานต์ จันทรวิกรณ์. 2564. **การทำนาย และจัดทำแผนที่ความเค็มของดิน โดยใช้การสำรวจแม่เหล็กไฟฟ้าและสถิติภูมิศาสตร์ อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

วรัมพร วงษ์วรภาส. 2568. **การศึกษาการจัดทำแผนที่ดิจิทัลเพื่อคาดการณีค่าความเค็มในดินเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองแมชชีนเลิร์นนิ่ง กรณีศึกษาตำบลเมืองเพีย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น.** เอกสารวิชาการกองสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน เลขที่ กสด. 68/001. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วุฒิชาติ สิริช่วยชู. 2542. **ลักษณะดิน การจำแนกดินและการจัดการดินเปรี้ยวจัด ดินเค็มและดินอินทรีย์ในภาคใต้.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 460. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถิระ อุดมศรี. 2558. **ศักยภาพทรัพยากรดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมศรี อรุณินท์. 2542. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก, 19–29. *ใน* **เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม.** พิมพ์ครั้งที่ 7. กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์: ฉบับราชบัณฑิตยสภา.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2542. **การสำรวจดิน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2550. **ดินเค็มในประเทศไทย.** ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Abrol, I. P., J.S.P. Yadav, and F.I. Massoud. 1988. **Salt-affected soils and their management.** FAO Soil Bulletin 39. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Asfaw, E., Suryabhagavan, K.V. and Argaw, M. (2018). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. **Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences**. 17: 250-258.

Bishop, C.M. 2006. **Pattern recognition and machine learning.** Springer, Berlin. แหล่งที่มา: https://link.springer.com/book/9780387310732, 30 ธันวาคม 2567.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. **The Nature and Properties of Soil.** 14th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Breiman, L. 2001. Random Forests. **Machine Learning.** 45, 5-32. แหล่งที่มา: http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324, 30 ธันวาคม 2567.

Chen, T. and C. Guestrin. 2016. XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, 785-794. *In* **Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining.** San Francisco, California, USA.

Chen, T., T. He, M. Benesty, V. Khotilovich, Y. Tang, H. Cho, and T. Zhou. 2015. XGboost: EXtreme gradient boosting. *In* **R Package Version.** แหล่งที่มา: https://cran.r-project.org/web/packages/xgboost/index.html, 1 ตุลาคม 2568.

Copernicus Data Space Ecosystem. 2024. **Copernicus DEM – Global Digital Surface Model.** แหล่งที่มา: https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM, 30 ธันวาคม 2567.

Demis, A.F. and C. Gilles. 2023. Prediction of soil salinity/sodicity and salt-affected soil classes from soluble salt ions using machine learning algorithms. **Soil Systems** 7(2): 47. https://doi.org/10.3390/soilsystems7020047.

FAO. 1988. **Salt-affected soils and their management.** Soils Bulletin 39. FAO, Rome.

FAO. 2021. **World Soil Day 2021 - Halt soil salinization, Boost soil productivity.** แหล่งที่มา:https://www.fao.org/land-water/resources/events-detail/en/c/1417187/?utm_source=chatgpt.com, 30 ธันวาคม 2567.

FAO. 2024. **Global status of salt-affected soils - Main report.** Rome. แหล่งที่มา: https://doi.org/10.4060/cd3044en, 30 ธันวาคม 2567.

Gerardo, R. and P. de Lima Isabel. 2022. Sentinel-2 Satellite Imagery-Based Assessment of Soil Salinity in Irrigated Rice Fields in Portugal. **Agriculture** 12 (9).

Gorji, T., A. Yildirim, N. Hamzehpour, A. Tanik, and E. Sertel. 2019. Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements. **Ecological Indicators** 112: 106173.

Gregorutti, B., B. Michel, and P. Saint-Pierre. 2017. Correlation and variable importance in random forests. **Statistics and Computing** 27: 659–678.

Hastie, T., T. Robert, and F. Jerome. 2009. **The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction.** Vol. 2. Springer, New York.

Hengl, T., J. Mendes de Jesus, G.B. Heuvelink, M. Ruiperez Gonzalez, M. Kilibarda, A. Blagotić, W. Shangguan, M.N. Wright, X. Geng, and B. Bauer-Marschallinger. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLoS one** 12 (2): e0169748.

Hengl, T., M. Nussbaum, M.N. Wright, G.B.M. Heuvelink, and B. Gräler. 2018. Random Forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables. **Peer J** 6: e5518.

Hogg, T. J. and J.L. Henry. 1984. Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. **Canadian Journal of Soil Science** 64: 699–704.

Ian, T.J. and B.S. David. 2003. **Forecast Verification**. John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom.

Kargas, G., I. Chatzigiakoumis, A. Kollias, D. Spiliotis, I. Massas, and P. Kerkides. 2018. Soil salinity assessment using saturated paste and mass soil: water 1: 1 and 1: 5 ratios extracts. **Water** 10 (11): 1589.

Köppen, W. and R. Geiger. 1936. **Handbuch der Klimatologie.** Vol. 1. Part C: Gebruder Borntraeger, Berlin.

Kuhn, M., and K. Johnson. 2013. **Applied Predictive Modeling.** New York, Springer.

Lagacherie, P. and A.B. McBratney. 2007. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems. **Geoderma** 142; 1–4.

Landon, J.R. 1984. **Booker Tropical Manual.** Longman Inc., New York.

Ma, Y., R. Han, and W. Wang. 2021. Portfolio optimization with return prediction using deep learning and machine learning. **Expert Systems with Applications** 165: 113973.

McBratney, A.B., M.L. Mendonça Santos, and B. Minasny. 2003. On digital soil mapping. **Geoderma** 117(1–2): 3–52.

Meinshausen, N. 2006. Quantile Regression Forests. **Journal of Machine Learning Research** 7: 983–999.

Minasny, B., A.B. McBratney, B.P. Malone, and I. Wheeler. 2013. Digital mapping of soil carbon, *pp.* 1–47. *In* D. L. Sparks, ed. **Advances in Agronomy**. Academic Press, London.

Mitchell, T. 1997. **Machine Learning.** McGraw-Hill Higher Education, New York.

NASA 2022. **The Shuttle Radar Topography Mission**. Earth Science Data Systems. NASA Earthdata. แหล่งที่มา: www.earthdata.nasa.gov, 30 ธันวาคม 2567.

Nash, J.E., and J.V. Sutcliffe. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part 1: A Discussion of Principles. **Journal of Hydrology** 10(3): 282-290.

Nussbaum, M., K. Spiess, A. Baltensweiler, U. Grob, A. Keller, and L. Greiner. 2018. Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates. **SOIL** 4; 1–22.

Omuto, C.T., R.R. Vargas, A.M. El Mobarak, N. Mohamed, K. Viatkin, and Y. Yigini. 2020. **Mapping of salt-affected soils: Technical manual.** FAO, Rome.

Ozcan, H., H. Ekinci, Y. Yigini, and O. Yuksel. 2006. Comparison of four soil salinity extraction methods, *pp.* 697–703. *In* Proceedings of the 18th International Soil Meeting on "Soil Sustaining Life on Earth, Managing Soil and Technology", Şanlıurfa, Turkey.

Pearson, G.A. 1960. Tolerance of crops to exchangeable sodium. **Agriculture Information Bulletin No. 216**. Washington, D.C.: Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture.

R Core Team. 2022. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** R Foundation for Statistical Computing. แหล่งที่มา: https://www.R-project.org.

Richards, L.A. 1954. **Diagnosis and improvements of saline and alkali soils (No. 60).** Agriculture Handbook USDA, Washington.

Scull, P., J. Franklin, O. Chadwick, and D. McArthur. 2003. Predictive soil mapping: A review. **Progress in Physical Geography** 27: 171-197.

Sheng, D., H. Shin, and J.C. Santamarina. 2016. Formation and development of salt crusts on soil surfaces. **Acta Geotechnica** 11(5): 1103-1109.

Sinanuwong, S. and Y. Takaya. 1974. Distribution of saline soils in the Khorat Basin of Thailand. **In South East Asian Studies** 12(3): 363-382.

Soil Survey Staff. 2022. **Key to Soil Taxonomy.** 13th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington, DC.

Sonmez, S., D. Buyuktas, F. Okturen, and S. Citak. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. **Geoderma** 144 (1-2): 361-369.

Taghizadeh-Mehrjardi R., B. Minasny, F. Sarmadian, and B.P. Malone. 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. **Geoderma** 213: 15–28.

USGS. 2022. **Landsat 9**. แหล่งที่มา: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9, มีนาคม 2568.

Wadoux, A.M.J.C., B. Minasny, and A.B. McBratney. 2020. Machine Learning for Digital Soil Mapping: Applications, Challenges and Suggested Solutions. **Earth-Science Reviews** 210: 103359.

Zhu Ruoqing, Zeng Donglin, and R.K. Michael. 2015. Reinforcement learning trees. **Journal of the American Statistical Association** 110(512): 1770–1784.

แบบรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ทะเบียนวิจัย 676811070101020071060111

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย การประเมินผลผลิตข้าวในพื้นที่ที่ดินมีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภายใต้ โครงการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ผู้รับผิดชอบ นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น

หน่วยงาน กลุ่มศึกษาและวิเคราะห์สถานการณ์ทรัพยากรดิน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

ที่ปรึกษาโครงการ.....-.....หน่วยงาน.....-.....

ผู้ร่วมดำเนินการ

1. นางสาวยุพเยาว์ หัสจรรย์

หน่วยงาน กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังผลิตของดิน กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน

เริ่มต้น เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2567 สิ้นสุดเดือน มีนาคม พ.ศ. 2569

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 18 เดือน

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งสิ้น

ปีงบประมาณ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน	รวม
2567	-	-	-
2568	-	720,000	-

แหล่งงบประมาณที่ใช้ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

พร้อมนี้ได้แนบรายละเอียดประกอบตามแบบฟอร์มที่กำหนดมาด้วยแล้ว

ลงชื่อ.....

(นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น)

ผู้รับผิดชอบโครงการ

ลงชื่อ.....

(นายสถิระ อุดมศรี)

ประธานคณะทำงานด้านวิชาการระดับหน่วยงาน

วันที่ ....24.....เดือน...สิงหาคม..พ.ศ. ...2569.....

ทะเบียนวิจัยเลขที่ 67681107010102007106011

ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย (ภาษาไทย) การประเมินผลผลิตข้าวในพื้นที่ที่ดินมีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(ภาษาอังกฤษ) Rice Yield Assessment in Salt-Affected Soils of Northeast Region, Thailand

สถานที่ดำเนินการ พื้นที่เกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผู้ร่วมดำเนินการ 1. นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น Ms. Kannika Homyamyen

2. นางสาวยุพเยาว์ หัสจรรย์ Ms. Yooppayow Husajun

บทคัดย่อ

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ เป็นดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่มาก จนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ การศึกษาครั้งนี้จึงนำข้อมูลด้านความเค็มมาเป็นปัจจัยศึกษาผลกระทบในการประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพืชหลักในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองข้าว Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT

ผลประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลอง Ceres-rice โปรแกรม DSSAT เปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตจากแปลงเกษตรกร ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ผลทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองได้ค่าสถิติ R^2 0.78, RMSE 98.4, MAE 70.95 และ d-Index 0.93 สรุปได้ว่าแบบจำลองข้าว Ceres-rice สามารถประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้แม่นยำระดับสูง มีความสอดคล้องสูงมากกับผลผลิตจริงแปลงเกษตรกร และจากการหาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับสมบัติดินด้วย Pearson Correlation Coefficient พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับปัจจัยความเค็ม มีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า ECe ESP และ SAR โดยมีค่า r เป็น -0.26 -0.24 และ -0.34 ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าเมื่อดินมีปัจจัยความเค็มยิ่งมากทำให้ผลผลิตข้าวลดลง และมีความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับความชื้นในดิน ได้แก่ เนื้อดินเหนียวมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกสูงกับความจุความชื้นสนาม (1/3 bar) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (15 bar) โดยมีค่า r เป็น 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ เนื้อดินทรายแป้งมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกกับความจุความชื้นสนาม และจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยมีค่า r เป็น 0.66 และ 0.39 ตามลำดับ เนื้อดินทรายมีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบสูงกับความจุความชื้นสนาม และจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยมีค่า r เป็น 0.92 และ 0.80 ตามลำดับ สรุปได้ว่าดินแหนียวจะมีความชื้นที่เก็บกักในดินสูง มีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงกว่าดินทรายแป้งและดินทราย

สรุปจากการประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ 3 ประเภท คือ ดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 145-980 กก./ไร่ ดินโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 80-802 กก./ไร่ ดินเค็มโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าวได้ช่วง 17-654 กก./ไร่

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก ดินโซดิก แบบจำลองข้าว Ceres-rice โปรแกรม DSSAT

Abstract

Salt-affected soils contain excessive soluble salts that significantly hinder the growth of most crops. This study investigated salinity as a primary factor influencing the yield evaluation of Khao Dawk Mali 105 (KDML 105) rice, the predominant crop in Northeast Thailand, by employing the Ceres-Rice model within the DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) framework.

The model's performance in predicting rice yield potential was validated against actual field data from farmers in salt-affected areas. Statistical evaluation yielded an R^2 of 0.78, RMSE of 98.4, MAE of 70.95, and a d-Index of 0.93. These results demonstrate that the Ceres-Rice model provides high accuracy and strong consistency with observed yields from farmer fields.

Pearson Correlation Coefficient analysis revealed that rice yield is negatively correlated with salinity factors, including ECe (r = -0.26), ESP (r = -0.24), and SAR (r = -0.34), indicating that increased soil salinity directly leads to yield reduction. Furthermore, soil texture showed a significant relationship with soil moisture properties. Clay content exhibited a strong positive correlation with Field Capacity (1/3 bar, r = 0.85) and Permanent Wilting Point (15 bar, r = 0.95). Silt content was also positively correlated with Field Capacity (r = 0.66) and Permanent Wilting Point (r = 0.39). Conversely, sand content showed a strong negative correlation with both moisture parameters (r = -0.92 and -0.80, respectively). These findings conclude that clayey soils possess higher water retention capacity, providing sufficient moisture for rice growth and resulting in higher yields compared to silty and sandy soils.

The evaluation of KDML 105 rice yield potential in Northeast Thailand categorized the soils into three types The evaluation of KDML 105 rice yield potential in Northeast Thailand categorized the soils into three types: non-salt-affected soils with potential yields ranging from 145–980 kg/rai, sodic soils with potential yields ranging from 80–802 kg/rai, and saline-sodic soils with potential yields ranging from 17–654 kg/rai.

Keywords: salt-affected soil, saline-sodic soils, sodic soils, Ceres-Rice model, DSSAT

หลักการและเหตุผล

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (Salt-effected soil) เป็นดินที่มีปริมาณเกลือละลายอยู่มาก จนมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ ความเค็มทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช มีความเป็นพิษของโซเดียมและคลอไรด์ พืชที่ปลูกจึงแคระแกร็น ใบไหม้ ตายเป็นหย่อมๆ ผลผลิตต่ำ และมีคุณภาพไม่ดี ดินเหล่านี้แจกกระจายอยู่อย่างกว้างขวางในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ผ่านมากองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดินจัดทำข้อมูลดินที่มีผลกระทบจากเกลือโดยจำแนกลักษณะเด่นของดินตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็นหลัก ซึ่งยังไม่ครอบคลุมลักษณะที่มีผลกระทบจากเกลือทั้งหมด และไม่เชื่อมโยงกับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น การพัฒนาเกษตรกรรมในพื้นที่ดินนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องปรับปรุงและเพิ่มเติมข้อมูลให้สามารถประเมินความรุนแรงของความเค็มในดินที่มีต่อพืช และพิจารณาการจัดการดินได้ตามสภาพความรุนแรง และนำข้อมูลด้านความเค็มมาเป็นปัจจัยศึกษาผลกระทบในการประเมินผลผลิตข้าวซึ่งเป็นพืชหลักในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช เพื่อทราบผลผลิตข้าวคาดการณ์ที่ปลูกในพื้นที่ที่ความเค็มระดับต่างกัน เป็นข้อมูลสำหรับวางแผนการใช้ที่ดินการผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีปัญหาเฉพาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินกำลังผลิตข้าวของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การตรวจเอกสาร

1. ข้าว (Rice)

1.1 ลักษณะทั่วไป

ข้าว มีชื่อสามัญว่า Rice และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. จัดอยู่ในวงศ์ Poaceae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกธัญพืชที่สามารถกินเมล็ดได้ แบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ชนิดย่อย คือ จาปอนิคา (Japonica) อินดิคา (indica) และ จาวานิคา (Javanica)

จาปอนิคา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดสั้นป้อม มีเปอร์เซ็นต์อะไมโลส (amylose) ต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น เช่น ประเทศจีนตอนเหนือและตะวันออก ญี่ปุ่น เกาหลี ยุโรปตอนใต้ รัสเซีย อเมริกาใต้ เป็นต้น สันนิษฐานว่า แหล่งกำเนิดของจาปอนิคานี้น่าจะอยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำเหลืองของจีนและตอนล่างลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียง ทั้งนี้โดยการนำพันธุ์ข้าวจากบริเวณเนปาล-อัสสัม พม่า-ยูนนาน และอินโดจีนเข้ามาปลูกบริเวณดังกล่าวจนพันธุ์ข้าวได้มีการปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น

อินดิคา (indica) เป็นข้าวเมล็ดยาวเรียว เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน (tropical zone) เช่น ศรีลังกา จีนตอนใต้และตอนกลาง อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ ไทย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น จากการสันนิษฐาน เชื่อกันว่า ข้าวอินดิคาได้มีการปลูกครั้งแรกในบริเวณตอนกลางของลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียง เมื่อก่อน ค.ศ.200 ก่อนที่จะแพร่กระจายสู่ตอนใต้ของอินเดีย ศรีลังกา หมู่เกาะมลายู ภาคกลางและภาคใต้ของจีน และหลังจากนั้น ก็ได้มีผู้นำข้าวไปปลูกในตะวันออกกลาง ยุโรป และแอฟริกา

จาวานิคา (Javanica) เป็นข้าวต้นสูง เมล็ดใหญ่ป้อม สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากการคัดเลือกพันธุ์มาจากข้าวอินดิคาและได้นำเข้ามาปลูกในประเทศอินโดนีเซียครั้งแรกในเวลามากกว่า 1,800 ปีก่อนคริสตกาล และต่อมาก็ได้มีการนำไปปลูกบ้างในประเทศฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และญี่ปุ่น (บุญหงษ์, 2549) โดยลักษณะที่แตกต่างกันของข้าวทั้ง 3 ชนิด แสดงไว้ในตาราง ที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าวในกลุ่มอินดิคา จาปอนิคา และจาวานิคา

ลักษณะ	อินดิคา	จาปอนิคา	จาวานิคา
รูปร่างเมล็ด	เรียวยาว ค่อนข้างแบน	สั้นและค่อนข้างกลม	ใหญ่ กว้างหนา
การมีหางของเมล็ด	สั้น	สั้นมาก-ยาว	สั้นมาก-ยาว
การมีขนของเปลือกเมล็ด	สั้นมาก	ขนมากและยาว	ขนยาว
การร่วงของเมล็ด	ร่วงง่าย	ร่วงยาก	ร่วงยาก
ใบ	ใบสีเขียวอ่อน	ใบสีเขียวเข้ม	ใบสีเขียวอ่อน
	กว้าง-แคบ และตก	แคบ และตั้ง	กว้าง และตั้ง
การแตกกอ	มาก	ค่อนข้างมาก	น้อย
ทรงกอ	กอค่อนข้างแผ่	กอตั้ง	กอตั้ง
ความสูง	สูง	เตี้ย	สูง
การทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ	ไม่ทนทาน	ทนทาน	ทนทาน
การทนทานต่อความแห้งแล้ง	ทนทาน	ไม่ทนทาน	ไม่ทนทาน

ที่มา : รำพึง (2534)

สำหรับประเทศไทยพันธุ์ข้าวที่ปลูกจะเป็นชนิด indica โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ยกเว้นข้าวไร่บางพันธุ์ทางภาคเหนือ ซึ่งมีลักษณะบางอย่างของข้าวจาปอนิคารวมอยู่ด้วย (รำพึง, 2534) โดยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวทั้งประเทศประมาณ 64 ล้านไร่ คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 19.9 ของพื้นที่ทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) พื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยเป็นพื้นที่หลักในการปลูกข้าวเพื่อการส่งออก มีพื้นที่ประมาณ 8.2 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกรวมประมาณ 6.3 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 21.5 ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ ผลผลิตข้าวเฉลี่ยในพื้นที่ภาคกลางเท่ากับ 638 กิโลกรัมต่อไร่ ผลผลิตดังกล่าวต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยของโลก (712 กิโลกรัมต่อไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3,722- 5,842 บาทต่อไร่ (นิตยา และคณะ, 2554)

ในปี 2563/64 มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปี 62.44 ล้านไร่ ผลผลิต 26.42 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิต 423 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2562/63 ที่มีเนื้อที่เพาะปลูก 61.20 ล้านไร่ ผลผลิต 24.06 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 393 กิโลกรัม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.03 ร้อยละ 9.81 และร้อยละ 7.63 ตามลำดับ โดยเนื้อที่เพาะปลูกข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาข้าวเปลือกที่เกษตรกรขาย

ได้อยู่ในเกณฑ์ดี จึงจูงใจให้เกษตรกรขยายเนื้อที่เพาะปลูกจากนาที่ปล่อยว่างเมื่อปีที่ผ่านมา และบางส่วนปลูกทดแทนอ้อยโรงงานที่ครบอายุ สำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้ำฝนที่มีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่งผลให้ในภาพรวมผลผลิตทั้งประเทศเพิ่มขึ้น และในปี 2564 มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปรัง 8.63 ล้านไร่ ผลผลิต 5.44 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 630 กิโลกรัม เพิ่มขึ้นจากปี 2563 ที่มีเนื้อที่เพาะปลูก 7.34 ล้านไร่ ผลผลิต 4.55 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่เท่ากับ 620 กิโลกรัม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.57 ร้อยละ 19.56 และร้อยละ 1.61 ตามลำดับ เนื้อที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นเนื่องจากในปี 2564 ปริมาณน้ำมีเพียงพอสำหรับการเพาะปลูก เกษตรกรจึงกลับมาเพาะปลูกในพื้นที่เดิมที่เคยปล่อยว่าง และปลูกแทนพืชชนิดอื่น เช่น อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วเขียว พืชผักอื่นๆ และในบางพื้นที่สามารถเพาะปลูกข้าวนาปรังได้ 2 รอบ สำหรับผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว สภาพอากาศเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต ไม่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง รวมทั้งการระบาดของโรคและแมลงศัตรูพืชลดน้อยลงกว่า ปีที่ผ่านมา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

การแบ่งพันธุ์ข้าวตามลักษณะการตอบสนองต่อช่วงแสง สามารถแบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ข้าวไวต่อช่วงแสง (Photoperiod sensitivity Rice)

จัดอยู่ในประเภทพืชวันสั้น (short day plant) ต้องการช่วงแสงหรือช่วงเวลาวันสั้น เพื่อที่จะเปลี่ยนการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เป็นการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ คือ สร้างช่อดอก พันธุ์ข้าวเหล่านี้จะให้กำเนิดช่อดอกต่อเมื่อมีช่วงแสงสั้นน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (เวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน) ความต้องการช่วงแสงสั้นของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกัน ทำให้พันธุ์ข้าวออกดอกไม่พร้อมกัน ซึ่งพันธุ์ข้าวเหล่านี้ส่วนมากใช้ปลูกในฤดูนาปี จะมีวันออกรวงหรือวันออกดอกที่ค่อนข้างแน่นอนทุกปี มักมีต้นสูง แตกกอน้อย การตอบสนองต่อปุ๋ยโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนต่ำ ให้ผลผลิตสูงสุดได้ต่ำ และมีการต้านทานต่อโรคและแมลงน้อย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามวันและเดือนที่ออกดอกก่อนหรือหลัง ดังนี้

1.1 พันธุ์ข้าวอายุเบา (early maturing rice) เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้นกว่า 12 ชั่วโมง ไม่มากนักก็จะเริ่มสร้างช่อดอก สำหรับประเทศไทย พันธุ์ข้าวอายุเบาจะออกดอกในช่วงตั้งแต่ปลายเดือนกันยายน-กลางเดือนตุลาคม เช่น กข15 และขาวดอกมะลิ 105 เป็นต้น

1.2 พันธุ์ข้าวอายุกลาง (medium maturing rice) เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้นมากขึ้นในการสร้างช่อดอก เป็นกลุ่มที่ออกดอกหลังจากข้าวเบา สำหรับประเทศไทย พันธุ์ข้าวอายุกลางจะออกดอกในช่วงปลายเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน เช่น พันธุ์เหลืองใหญ่ 34 นางมล เอส-4 ข้าวเหนียวสันป่าตอง กข6 และ กข8 เป็นต้น

1.3 พันธุ์ข้าวอายุหนัก (late maturing rice) เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้นมากในการสร้างช่อดอก เป็นกลุ่มที่ออกดอกล่าสุดในรอบปี พันธุ์ข้าวอายุหนักจะออกดอกในช่วงเดือนธันวาคม - มกราคม ข้าวที่ปลูกในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง ส่วนมากเป็นพันธุ์ข้าวอายุหนัก เช่น พันธุ์ขาวตาแห้ง 17 ขาวปากหม้อ 148 และเหลืองประทิว 123 เป็นต้น

2. ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (Non-photoperiod sensitivity Rice)

เป็นพันธุ์ข้าวลูกผสมต้นเตี้ยที่ช่วงแสงไม่มีอิทธิพลต่อการสร้างช่อดอก มีอายุการเก็บเกี่ยวที่ค่อนข้างแน่นอน (นับจากวันตกกล้า หรือวันข้าวงอก จนถึงวันเก็บเกี่ยว) ไม่ว่าจะปลูกในช่วงวันยาว

หรือวันสั้นก็ตาม จึงสามารถปลูกได้ตลอดปีในเขตที่มีน้ำเพียงพอ แต่การปลูกในฤดูนาปรังจะให้ผลผลิตดีกว่า เนื่องจากมีแสงแดดจัด ทำให้ใบข้าวสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตได้เต็มที่ มีอายุตั้งแต่ 100-140 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยเฉลี่ยประมาณ 120-130 วัน เมื่อมีอายุครบถึงเวลาออกดอก ก็สามารถที่จะออกดอกได้โดยอาศัยช่วงแสงเป็นตัวกำหนด ทำให้พันธุ์ข้าวชนิดนี้สามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปี (ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง) ต้านทานต่อโรคและแมลง มีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยในอัตราที่สูง โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น พันธุ์ กข 47 กข 49 พิษณุโลก 2 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 เป็นต้น (กรมการข้าว, 2560) อย่างไรก็ตาม อายุของพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยตามวิธีการจัดการในการปลูก เช่น วิธีปลูกแบบนาหว่านน้ำตม จะทำให้ข้าวมีอายุสั้นลงอีกประมาณ 10-12 วัน การปลูกในดินที่มีความสมบูรณ์สูง อายุของข้าวยาวมากกว่าในดินที่มีความ อุดมสมบูรณ์ต่ำ ถ้ามีการให้ปุ๋ยอัตราสูงอาจทำให้อายุข้าวยาวขึ้นได้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าบางพันธุ์ เมื่อปลูกในช่วงต่างๆ ของฤดูนาปีและฤดูนาปรัง หรือปลูกในภาคต่างๆ อายุของข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สั้นลงหรือยาวขึ้น ข้าวพันธุ์ไม่ไวต่อช่วงแสงส่วนใหญ่ได้มาจากการผสมพันธุ์และวิธีการอื่นๆ เช่น การชักนำให้เปลี่ยนแปลงกรรมพันธุ์โดยการอาบรังสี เป็นต้น (กรมการข้าว, 2559)

1.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและความต้องการของข้าว (Crop Requirement)

1 สภาพพื้นที่

เป็นที่ราบลุ่ม

2 ลักษณะดิน ที่เหมาะสมสำหรับปลูกข้าว ควรมีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

2.1 เป็นดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เช่น ดินเหนียว และดินร่วนปนเหนียว แต่ดินชนิดอื่น ๆ ก็สามารถปลูกข้าวได้ แต่ผลผลิตกับการเจริญเติบโตจะต่ำกว่า สาเหตุที่ดินเหนียวมีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตสูงกว่าดินทราย เนื่องจากดินเหนียวมีการกักเก็บน้ำได้ดี และมีระดับปริมาณธาตุอาหารในดินสูงกว่าดินทราย แต่อย่างไรก็ตามชนิดของเนื้อดินไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว (บุญโฮม และคณะ, 2534)

2.2 ความหนาแน่นของดิน เป็นลักษณะที่สำคัญของดินนาที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการผลิตของดิน ดินนาในประเทศไทยมีค่าความหนาแน่นรวมของชั้นดินบน อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยมีพิสัย 1.5-1.9 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kazemi et al., 2010)

2.3 สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ดินนาที่มีความสามารถในการให้ผลผลิตสูงควรมีการซาบซึมน้ำลงของน้ำในดิน (percolation) ไม่เกินวันละ 10-20 มิลลิเมตร (Brady and Weil, 1999)

2.4 ค่าพีเอชของดิน ข้าวเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโต และให้ผลผลิตในดินตั้งแต่กรดจัดมากถึงด่างเล็กน้อย (pH 4.5-7.5) ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดข้าวและพันธุ์ข้าว และระดับพีเอชของดินนามีการเปลี่ยนแปลงอีกหลังจากมีการขังน้ำแล้ว สมดุลของพีเอชในดินนามักจะอยู่ในพิสัย 6.5-7.5 (Brady and Weil, 1999) แต่โดยทั่วไปแล้วข้าวจะเจริญได้ดีในดินที่มีพีเอช ประมาณ 5.5-6.5 (ทัศนีย์, 2550)

2.5 ธาตุอาหารพืชที่มีความจำเป็นสำหรับข้าวมี 17 ธาตุ โดยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ได้จากน้ำและอากาศ เป็นส่วนประกอบของข้าวร้อยละ 94.0-99.5 ส่วนที่เหลือเป็นธาตุอื่นๆ (วรวิทย์, 2529) สำหรับธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว (macro nutrient) ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ซึ่งธาตุไนโตรเจนโดยเฉลี่ยในดินมีประมาณร้อยละ 0.14 ปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอต่อข้าวที่อยู่ในช่วงระยะแตกกอสูงสุด หรือในระยะที่ใบเพิ่งจะพัฒนาเต็มที่ คือ ร้อยละ 2.80-3.60 ส่วนฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยในดินมีเพียงร้อยละ 0.05 ดินบนของดินนาในประเทศไทยมีฟอสฟอรัสเฉลี่ยร้อยละ 0.02 เท่านั้น ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในระดับที่เพียงพอสำหรับข้าวที่อยู่ในช่วงระยะ

แตกกอสูงสุด คือ ร้อยละ 0.10-0.18 และปริมาณโพแทสเซียมในระดับที่เพียงพอสำหรับข้าวที่อยู่ในช่วงระยะแตกกอสูงสุด หรือในระยะที่ใบเพิ่งจะพัฒนาเต็มที่ คือ ร้อยละ 7.00-9.50 (ศรีสม, 2547)

1.3 สภาพภูมิอากาศ:

3.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าวจะอยู่ระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส (Reyes et al., 2003) อุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไปมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อนและการผสมเกสร ถ้าอุณหภูมิต่ำลงถึง 16 องศาเซลเซียส หรือสูงถึง 40 องศาเซลเซียส เกสรตัวผู้จะถูกทำลายหมด เนื่องจากมีกระบวนการที่ต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ ถ้าอุณหภูมิไม่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพในการพัฒนาดังกล่าวต่ำลง (Farrell et al., 2006) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมตามระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะเมล็ดงอก 20-35 องศาเซลเซียส ระยะการเติบโตของต้นอ่อน 25-30 องศาเซลเซียส ระยะการแตกราก 25-28 องศาเซลเซียส ระยะการยืดตัวของใบ 31 องศาเซลเซียส ระยะการแตกแขนง 25-31 องศาเซลเซียส ระยะการเกิดดอกอ่อน 25-28 องศาเซลเซียส ระยะการเติบโตของช่อดอก 25-28 องศาเซลเซียส ระยะดอกบาน 30-33 องศาเซลเซียส และระยะเมล็ดสุกแก่ 20-25 องศาเซลเซียส (Yoshida, 1981)

3.2 แสงแดด ข้าวจัดเป็นพืชที่มีการตอบสนองต่อช่วงแสง (Katsura et al., 2007) โดยพบว่าข้าวที่ไวต่อช่วงแสงในประเทศไทยมักจะออกดอกในเดือนที่มีความยาวกลางวัน ประมาณ 11 ชั่วโมง 40 นาที หรือสั้นกว่า โดยข้าวที่มีความไวต่อช่วงแสงน้อยจะออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 40-50 นาที และพันธุ์ที่มีความยาวต่อช่วงแสงมาก คือข้าวที่ออกดอกได้ในเดือนที่มีความยาวของกลางวันประมาณ 11 ชั่วโมง 10-20 นาที พันธุ์ข้าวประเภทนี้จึงปลูกและให้ผลผลิตปีละ 1 ครั้ง หรือปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี บางครั้งจึงเรียกว่า ข้าวนาปี ดังนั้น การปลูกข้าวต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการปลูกให้พอดี เพื่อให้มีช่วงความยาวของการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบที่พอเหมาะจึงให้ผลผลิตดี (กรมการข้าว, 2559)

1.4 ความต้องการน้ำ

น้ำฝนและน้ำชลประทานมีความสำคัญต่อการผลิตข้าว และข้าวจะให้ผลผลิตสูงเมื่อได้รับน้ำอย่างเพียงพอตลอดวัฏจักรชีวิต โดยความต้องการน้ำของข้าวนาน้ำขังในเอเชีย มีดังนี้ การคายน้ำ (transpiration) 1.5-9.8 มิลลิเมตรต่อวัน การระเหยน้ำ (evaporation) 1.0-6.2 มิลลิเมตรต่อวัน และการซึมลึก (percolation) 0.2-15.6 มิลลิเมตรต่อวัน รวมปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียในการปลูกข้าว 5.6-20.4 มิลลิเมตรต่อวัน ถ้าต้องการ ผลผลิตสูง ควรมีน้ำ 180-300 มิลลิเมตรต่อเดือน และตลอดฤดูปลูก 4 เดือน ควรได้รับน้ำ 720-1,200 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำชลประทานเฉลี่ยสำหรับนาข้าวในแถบเอเชีย คือ ฤดูปลูกละ 1,240 มิลลิเมตร (กรมการข้าว, 2560) และในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 900 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนไม่ดี ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว

ตารางที่ 2 ความเหมาะสมของพื้นที่และคุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าว

คุณสมบัติของพื้นที่	**เหมาะสมสูง**	**เหมาะสมปานกลาง**	**เหมาะสมเล็กน้อย**	**ไม่เหมาะสม**
ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูปลูก (°C)	22-30	31-33	34-35	>35
		20-21	18-19	<18
ความต้องการน้ำในฤดูปลูก (mm)	700-800	550-700	400-550	<400
สภาพการระบายน้ำของดิน	- ระบายน้ำเลวมาก	ระบายน้ำดีปานกลาง	ระบายน้ำดี	ระบายน้ำมากเกินไป
	- ระบายน้ำเลว			
	- ระบายน้ำค่อนข้างเลว			
ความจุในการดูดยึดธาตุอาหาร				
- CEC ดินล่าง (cmol kg^{-1})	>15	3-15	<3	-
- BS ดินล่าง (%)	>35	<35	-	-
ความลึกของดิน (cm)	>50	25-50	15-25	<15
ปริมาณกรวดหรือเศษหินที่พบ (%)	<5	5-15	15-40	>40
ค่าการนำไฟฟ้าขณะดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือความเค็มของดิน (dS m^{-1})	<2	2-5	5-10	>10
ระดับความลึกของชั้นจาโรไซต์ (cm)	> 150	100 -150	50-100	<50
ค่าพีเอชดินในสภาวะน้ำแช่ขัง (pH)	5.6-7.3	7.4-7.8	7.8-8.4	>8.4
		5.1-5.5	4.0-5.0	<4.0

ที่มา : ดัดแปลงจากบัณฑิตและคำรณ (2542)

2. ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีถิ่นกำเนิดที่อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยข้าวหอมมะลิถูกบันทึกเป็นครั้งแรกว่านำมาจากนาของเกษตรกรชื่อ นายจรูญ ตันทวุฒิ ที่บ้านแหลมประดู่ อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี เพื่อนำไปปลูกที่บางคล้าเมื่อปี พ.ศ. 2488 จนกระทั่งช่วงระหว่างปี 2493-2510 กรมการข้าวมีโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยเมื่อปี พ.ศ. 2497 นายสุทร สีหเนิน พนักงานข้าวจังหวัดฉะเชิงเทรา ได้รวบรวมพันธุ์ข้าวหอมในเขตอำเภอบางคล้า ได้จำนวน 199 รวง แล้ว ดร. ครุย บุญยสิงห์ (ผู้อำนวยการกองบำรุงพันธุ์ข้าวในขณะนั้น) ได้ส่งไปปลูกคัดพันธุ์บริสุทธิ์และเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวที่โคกสำโรง (ขณะนี้เป็นสถานีข้าวลพบุรี) ดำเนินการคัดพันธุ์โดยนักวิชาการเกษตรชื่อนายมังกร จูมทอง ภายใต้การดูแลของนายโอภาส พลศิลป์ หัวหน้าสถานีทดลองข้าวโคกสำโรง จนกระทั่งปี พ.ศ. 2502 ได้พันธุ์บริสุทธิ์ข้าวขาวดอกมะลิ 4-2-105 เลข 4 หมายถึง อำเภอที่ 4 ได้แก่อำเภอบางคล้า เลข 2 หมายถึงพันธุ์ที่ 2 เลข 105 หมายถึง รวงที่ 105 ซึ่งเป็นร่วงที่คัดพันธุ์ออกมาได้ และคณะกรรมการที่พิจารณาพันธุ์ข้าวได้อนุมัติให้เป็นพันธุ์ส่งเสริมแก่เกษตรกรเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2502 โดยเกษตรกรทั่วไปเรียกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อมาได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 จนได้ข้าวพันธุ์ กข.15 ซึ่งกระทรวงพาณิชย์ประกาศให้ข้าวทั้ง 2 พันธุ์เป็นข้าวหอมมะลิไทย

2.1 ลักษณะของพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ต้นข้าวมีความสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร มีต้นและใบค่อนข้างเล็ก ใบยาวสีเขียวอ่อน ทางพฤกษศาสตร์ของระยะพักตัวของเมล็ด 56 วัน (8 สัปดาห์) ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัม/ไร่ (เฉลี่ยทั่วประเทศ) และมีอายุเก็บเกี่ยวในช่วง 25 พฤศจิกายน ช่วงออกดอกประมาณ 20 ตุลาคม (เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง) ทนความแห้งแล้งและทนเค็มได้ดีในระดับหนึ่ง มีรวงขนาดปานกลาง เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เรียวยาวก้นงอน ผลผลิตประมาณ 300-500 กิโลกรัม/ไร่ และเนื่องจากเป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสงดังนั้นจึงปลูกได้เฉพาะนาปีอาศัยน้ำฝนเป็นหลักซึ่งจะเริ่มเตรียมดินปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมและเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤศจิกายน สามารถปลูกทั้งวิธีการดำหรือหว่าน ปัจจุบันเกษตรกรนิยมหว่านกันมากขึ้นเนื่องจากมีการเตรียมดินน้อยลงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปลูก

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่ต้านทานต่อโรคใบจุดสีน้ำตาล โรคใบไหม้ และโรคใบหยิก รวมทั้งไม่ต้านทานต่อแมลงต่างๆ ซึ่งมักจะถูกรบกวนจากแมลงพวกเพลี้ย และบั่ว ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการป้องกันกำจัดโรคแมลงศัตรูต่างๆ ให้ได้ผล มีการใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมและถูกวิธี การใส่ปุ๋ยมากเกินไปจะทำให้ต้นข้าวล้มง่าย ถ้ามีการปลูกและดูแลรักษาดี เก็บเกี่ยวในเวลาที่พอเหมาะ ตาก นวดดี จะสามารถสีข้าวได้ถึงร้อยละ 56 และข้าวสารที่ได้จะมีลักษณะขาวใส เลื่อมมัน แข็งแกร่ง เมล็ดเรียวยาว บิดเล็กน้อย ความยาวเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 7.00 มิลลิเมตร และมีส่วนประกอบของอะมิโลส ร้อยละ 12-19 ของน้ำหนักข้าวขาว เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้ว เมล็ดข้าวสุกจึงเริ่มอ่อนนุ่ม ร่วนน้อยกว่าข้าวจ้าวทั่วไป มีกลิ่นหอม โดยเฉพาะถ้าเป็นข้าวใหม่จะมีกลิ่นหอมมาก



ภาพที่ 1 เมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105
(ที่มา: กรมการข้าว, 2553)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีแหล่งเพาะปลูกสำคัญ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (เขตทุ่งกุลาร้องไห้) และมีพื้นที่เพาะปลูกครอบคลุมกว่า 19 ล้านไร่ทั่วประเทศ โดยมีแหล่งผลิตสำคัญ คือ จังหวัดสุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ นครราชสีมา อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด รองลงมาคือภาคเหนือ เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศและพื้นที่เพาะปลูกของทั้งสองภาคคล้ายคลึงกัน เหมาะแก่การเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ

2.2 การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1 คัดเลือกเมล็ดพันธุ์ให้บริสุทธิ์ ไม่ให้มีเมล็ดพันธุ์อื่น หรือสิ่งเจือปน เช่น เมล็ดวัชพืช และมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูง 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

2 เลือกวิธีการปลูกและช่วงเวลาที่เหมาะสม

ในเขตชลประทานที่ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำ ควรทำนาดำหรือนาหว่านน้ำตมแผนใหม่ โดยนาดำให้เริ่มตกกล้ากลางเดือนกรกฎาคม ปักดำต้นสิงหาคม แล้วข้าวจะออกดอกประมาณ 20 ตุลาคม และเก็บเกี่ยวได้ 20 พฤศจิกายนของทุกปี ส่วนนาหว่านน้ำตมแผนใหม่ให้หว่านประมาณปลายเดือนกรกฎาคมถึง ต้นเดือนสิงหาคม แล้วเก็บเกี่ยวในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน ในพื้นที่ฝนตกน้อยหรือฝนล่า ควรทำนาหว่าน หรือนาหยอด โดยช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมอยู่ระหว่างปลายเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม และข้าวจะเก็บเกี่ยวได้ในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน

3 การเตรียมดินเพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

นาหว่านข้าวแห้ง ในสภาพดินร่วนปนทรายหรือดินทรายปนร่วน จะเตรียมดินโดยการไถพรวน แล้วหว่านเมล็ดข้าวในอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นคราดกลบและโปรยฟางคลุม 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตเฉลี่ยได้สูงถึง 500 กิโลกรัมต่อไร่

นาดำจะต้องไถดะทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน จึงไถแปรอีกครั้ง เพื่อกำจัดต้นอ่อนของวัชพืชที่งอกขึ้นมาใหม่แล้วคราดเพื่อดันวัชพืชให้จมอยู่ใต้โคลน ในขณะเดียวกันก็เกลี่ยโคลนปรับระดับหน้าดินไปด้วยจะทำให้ระดับน้ำในแปลงนาท่วมคลุมวัชพืชได้อย่างทั่วถึง

นาหว่านน้ำตมแผนใหม่ มีวิธีการเตรียมดินที่ยุ่งยากกว่า 2 วิธีที่ผ่านมา โดยเริ่มจากการไถดะทิ้งไว้ประมาณ 15 วัน แล้วไถแปรทิ้งไว้อีก 7 วัน จากนั้นไถแปรอีกครั้งแล้วคราดเก็บเศษวัชพืชออกให้หมดหรือเหยียบขี้คราดดันเศษวัชพืชต่างๆ ให้ลงไปอยู่ใต้โคลนแล้วจึงลูบเทือกให้เรียบสม่ำเสมอแบ่งแปลงย่อยขนาดกว้าง 3-5 เมตร ทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงหว่านเมล็ดหลังจากนั้น 4-5 วันให้ทยอยปล่อยน้ำเข้าท่วมหน้าดินเพื่อคลุมวัชพืชที่งอกตามระดับความสูงของน้ำจนถึงระดับประมาณ 10-15 เซนติเมตร ต้นข้าวจะเจริญเติบโตพอที่จะคลุมวัชพืชได้

นาหยอด เป็นวิธีที่ไม่นิยมปลูกมากนักแต่ถ้าจำเป็นที่จะต้องปลูกด้วยวิธีนี้ในช่วงเตรียมดินจะต้องกำจัดวัชพืชออกให้หมดและหลังจากหยอดเมล็ดข้าวแล้วควรคลุมฟางทับในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และเมื่อมีโอกาสได้รับน้ำฝนจะต้องเก็บกักน้ำให้ท่วมวัชพืช เพื่อกำจัดพืชที่งอกขึ้นมาใหม่

4 ใช้เมล็ดพันธุ์ในอัตราที่เหมาะสม

กล่าวคือ ถ้าเป็นนาหว่านข้าวแห้ง ควรใช้ในอัตรา 10-15 กิโลกรัมต่อไร่ นาหว่านน้ำตมแผนใหม่ใช้ 12-45 กิโลกรัมต่อไร่ วิธีหยอดใช้ 6-8 กิโลกรัมต่อไร่ และวิธีปักดำใช้ 4-7 กิโลกรัมต่อไร่

5. ควรใส่ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสมและถูกวิธีดังนี้

การใส่ปุ๋ยนาดำ ควรใส่ 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 ใส่ก่อนปักดำไม่เกิน 1 วัน หรือหลังปักดำประมาณ 10-20 วัน โดยใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 20-20-0, 28-22-0 หรือ 18-46-0 ในดินเหนียว และสูตร 16-16-8 ในดินทราย อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่

ครั้งที่ 2 ใส่ก่อนข้าวออกดอกประมาณ 30 วัน (ประมาณวันที่ 20 กันยายนของทุกปี) โดยใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ในอัตรา 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ในอัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ปุ๋ยนาหว่านน้ำตมแผนใหม่ควรใส่ 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 ใส่หลังหว่านข้าวแล้ว 20-30 วัน โดยใช้ ปุ๋ยสูตร 16-20-0, 20-20-0, 18-22-0 หรือ 18-46-0 ในดินเหนียว และสูตร 16-16-8 ในนาดินทราย อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่

ครั้งที่ 2 ใส่ในช่วงก่อนข้าวออกดอกประมาณ 30 วัน (ประมาณวันที่ 20 กันยายนของทุกปี) โดยใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ในอัตรา 10-20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยยูเรีย 46-0-0 ในอัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่

ส่วนการทำนาหว่านข้าวแห้งและนาหยอดไม่ควรใช้ปุ๋ยเคมีเพราะให้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า ถ้าจะใช้ให้ใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักเท่านั้น

2.3 ผลกระทบความเค็มของดินต่อข้าวขาวดอกมะลิ105

การปลูกข้าวหอมมะลิ ซึ่งจากสภาวะดินเค็มทำให้ได้ผลผลิตเฉลี่ยเพียง 100-150 กิโลกรัมต่อไร่ เท่านั้น (สมศรี อรุณินท์, 2539; Jedrum และคณะ, 2014) ในขณะที่การปลูกในพื้นที่ดินปกติจะให้ผลผลิตประมาณ 360 กิโลกรัมต่อไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2559)

พิชญสิณี อริยธนะกตวงศ์, 2553 ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของดินเค็มต่อการผลิตและสร้างสารความหอมในข้าวข้าวหอมมะลิ และคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในชุดดินบางประกง ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ที่มีความเค็มแตกต่างกัน 4 ระดับ พบว่า ผลกระทบของความเค็มที่มีต่อผลผลิตข้าวที่มีค่าการนำไฟฟ้า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ให้ผลผลิตต่ำสุด คือ 30.516 กรัม/กอ ในขณะดินที่มีค่าการนำไฟฟ้า 6 และ 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิต 35.674 กรัม/กอ และ 38.367 กรัม/กอ ตามลำดับ ส่วนดินที่มีค่าการนำไฟฟ้า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (ไม่เค็ม) ได้ผลผลิตอยู่ที่ 44.939 กรัม/กอ การที่ดินมีค่าการนำไฟฟ้า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีให้แนวโน้มจะให้ผลผลิตต่ำสุด เนื่องจากความเค็มทำให้เกิดความเครียดออสโมติค ความเป็นพิษของธาตุบางชนิด และความไม่สมดุลของธาตุอาหาร ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของพืชลดลง

ไพรัช (2552) ศึกษาอิทธิพลของระดับความเค็มต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยเก็บข้อมูลสมบัติเคมีของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิในจังหวัดร้อยเอ็ด หลายแปลง ก่อนและหลังการปลูก ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร และผลผลิต พบว่าก่อนและหลังปลูกข้าวค่าอีซีอีมีการเปลี่ยนแปลง โดยดินที่มีค่าอีซีอี 1.00 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าอีซีอี 1.01-1.12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 92.4-173 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 3.11 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวลดลงเหลือ 1.16-1.62 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 76.0-185 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 7.44 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวลดลงเหลือ 2.41-4.23 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 59.9-194 กิโลกรัมต่อไร่ ค่าอีซีอี 8.42 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวลดลงเหลือ 3.10-4.02 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 39.2-207 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 0.81 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าอีซีอี 2.81-3.32 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 385-419 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 3.68 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าอีซีอี 1.89-3.95 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 379-425 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 6.50 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าอีซีอี 7.80-18.71 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 270-298 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าอีซีอี 9.37 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าอีซีอี 9.68-21.04 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 170-289 กิโลกรัมต่อไร่ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ค่าอีซีอีของดินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตข้าวในภาพรวม ค่าอีซีอีน้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตข้าวประมาณ 400 กิโลกรัมต่อไร่ แต่เมื่อดินค่าอีซีอีมากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อค่าอีซีอีมากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตเหลือประมาณ 200 กิโลกรัมต่อไร่

3. ผลิตภาพดิน (Soil productivity)

หมายถึง ความสามารถของดินในการทำให้พืชที่ปลูกมีผลผลิตได้ระดับหนึ่งภายใต้ระบบการจัดการที่เหมาะสม (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์, 2562) ซึ่งสามารถวัดได้จากผลผลิตพืชต่อหน่วยพื้นที่ปลูก ผลผลิตพืชไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวดินเองเพียงประการเดียว แต่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พันธุ์พืช คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพของดิน รวมถึงทำเลที่ตั้งของดิน สภาพภูมิอากาศ และการจัดการ (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973

4. การแปลความหมายดิน (Soil interpretation)

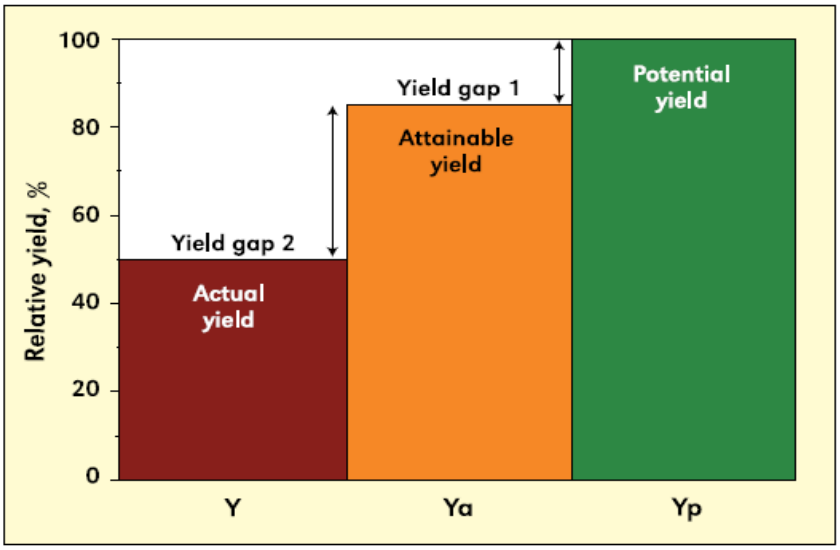
หมายถึง การคาดคะเนความสามารถของดินต่อการใช้และการจัดการเฉพาะอย่างจากลักษณะและคุณภาพของดิน (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์, 2562) เพื่อการใช้ประโยชน์ในกิจการต่างๆ เช่น การเกษตร วิศวกรรม การจัดการป่าไม้ การชลประทาน และการพัฒนาพื้นที่อุตสาหกรรม การแปลความหมาย อาจเป็นการประมาณเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ หรือการวัดระดับผลิตภาพ ศักยภาพและข้อจำกัดของดิน ข้อมูลที่นำมาใช้ในการแปลความหมายได้มาจากการสำรวจดินเป็นส่วนใหญ่ คำนี้เดิมใช้ว่า การวินิจฉัยคุณภาพดิน

5. หน่วยแผนที่การจำลอง (Simulation Mapping Unit, SMU)

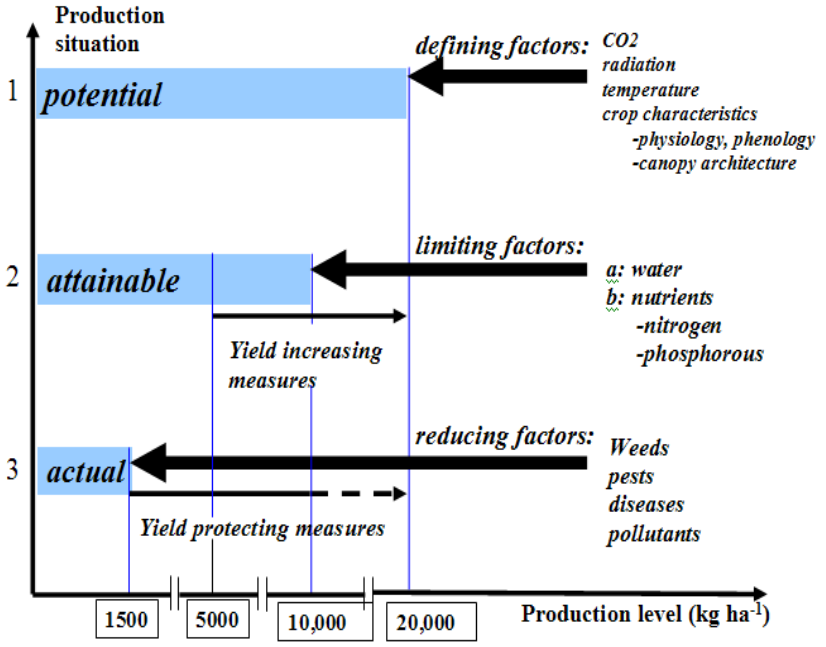
เป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการวิเคราะห์เชิงซ้อนทับในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) ระหว่างชั้นข้อมูลเขตภูมิอากาศ ชุดดิน และพื้นที่ปลูกพืช แต่ละ SMU สามารถเชื่อมโยงกับตารางสัมพันธ์เพื่อระบุรายละเอียดเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศและแฟ้มข้อมูลดิน ตลอดจนนิเวศวิทยาของพื้นที่ปลูกพืช (สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2554)

6. ระดับผลผลิตพืช (Crop Yield)

การจำลองการเจริญเติบโตของพืชเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตของพืชนั้น นิยาม และระดับของผลผลิตพืช (Crop Yield) ได้แบ่งออกเป็นระดับต่างๆ ตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องอันส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืช (Rabbinge, 1993) ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างผลผลิตพืชที่ระดับต่างๆ (Anneke, F. and B. Todd., 2011)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงระดับการผลิตพืชตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องอันส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตพืชแต่ละระดับ (Vincent and Ring, 2009)

โดยทั่วไปการแบ่งระดับของผลผลิตพืชเพื่อให้นักพัฒนาแบบจำลองและผู้ดำเนินงานทดลองในระดับกระบวนการต่างๆ เป็นที่เข้าใจกัน มักแบ่งออกเป็น 3 ระดับ หลักๆ ได้แก่ ระดับผลผลิตตามศักยภาพ (Potential Yield) ระดับผลผลิตคาดการณ์ (Attainable Yield) และระดับผลผลิตจริง (Actual Yield) โดยนิยามในแต่ละระดับของผลผลิตพืชจะมีความแตกต่างกันออกไปดังนี้

6.1 ผลผลิตตามศักยภาพ (Potential Yield) เป็นผลผลิตสูงสดทางทฤษฎีในช่วงฤดูกาลใดก็ตาม ซึ่งผลผลิตถูกกำหนดโดยสภาพภูมิอากาศ และพันธุกรรมพืช โดยอยู่ภาเ เสมมุติฐานของสถานการณ์ที่ไม่มีข้อจำกัดใดๆ กำหนดให้มีการให้น้ำ ธาตุอาหาร และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตอื่นๆ อย่างสมบูรณ์และปราศจากโรคและแมลง

6.2 ผลผลิตคาดการณ์ (Attainable Yield) เป็นผลผลิตสูงสุดที่เกษตรกรควรจะได้รับ หากเกษตรกรมีการจัดการที่เหมาะสม โดยปราศจากข้อจำกัดในเรื่องโรค แมลงศัตรูพืช และข้อจำกัดอื่นๆ ที่ได้มีการจัดการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการเติบโตของพืชเรียบร้อยแล้ว แต่ยังมีปัจจัยผันแปรที่มีผลต่อการเจริญเติบโตในเรื่องของน้ำ และธาตุอาหารพืช ซึ่งถ้าเกษตรกรมีการจัดการพื้นที่และควบคุมปัจจัยการผลิตได้เหมาะสม เกษตรกรจะมีโอกาสได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้นจากระดับผลผลิตจริง

6.3 ผลผลิตจริง (Actual Yield) เป็นผลผลิตระดับเกษตรกรทั่วไป ซึ่งมักต่ำกว่าระดับผลผลิตคาดการณ์ เนื่องมาจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โรคพืช แมลง และมีการจัดการธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (Christian. et al., 2009)

7. โปรแกรม DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)

โปรแกรม DSSAT เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางการเกษตร ซึ่งมีการเผยแพร่ในปี พ.ศ. 2531 ภายใต้โครงการ IBSNAT (International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer) ทั้งนี้ การศึกษาวิจัยโดยใช้โปรแกรม DSSAT ในประเทศไทย มีดังนี้

สหัสชัย และคณะ (2550) นำแบบจำลองการปลูกพืช (CERES-RICE & CERES-MAIZE) ของโปรแกรม DSSAT มาใช้เป็นเครื่องมือจัดทำคำแนะนำและติดตามผลการจัดการดินและธาตุอาหารพืช ได้แก่ ข้าวและข้าวโพด ในพื้นที่ศึกษา ตำบลน้ำสวย อำเภอเมือง จังหวัดเลย ในชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินวังไห (Wi) และชุดดินวังสะพุง (Ws) ผลการทดสอบความใกล้เคียงระหว่างการคาดคะเนผลของแบบจำลองฯ กับผลการวิจัยจากแปลงทดสอบพบว่า มีค่าทางสถิติ (Agreement Index) ที่ยอมรับได้ สามารถขยายผลเพื่อระบุอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมพร้อมทั้งวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

เกริก และคณะ (2552) ศึกษาผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิต ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคตสถาบัน The Southeast Asia START Regional Center (SEA- START) มาใช้เป็นตัวแปรขับเคลื่อนแบบจำลองการปลูกพืชโปรแกรม DSSAT ภายใต้ข้อกำหนดที่ไม่มีการระบาดของโรคแมลงและมีการจัดการพืชตามคำแนะนำของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบในระยะยาวจากภาวะโลกร้อน ไม่มีผลกระทบที่รุนแรงต่อผลผลิตพืชยกเว้นมันสำปะหลัง แต่ผลกระทบทางอ้อมต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนรายปีสูงและความแปรปรวนระหว่างพื้นที่ยิ่งสูงมากขึ้น

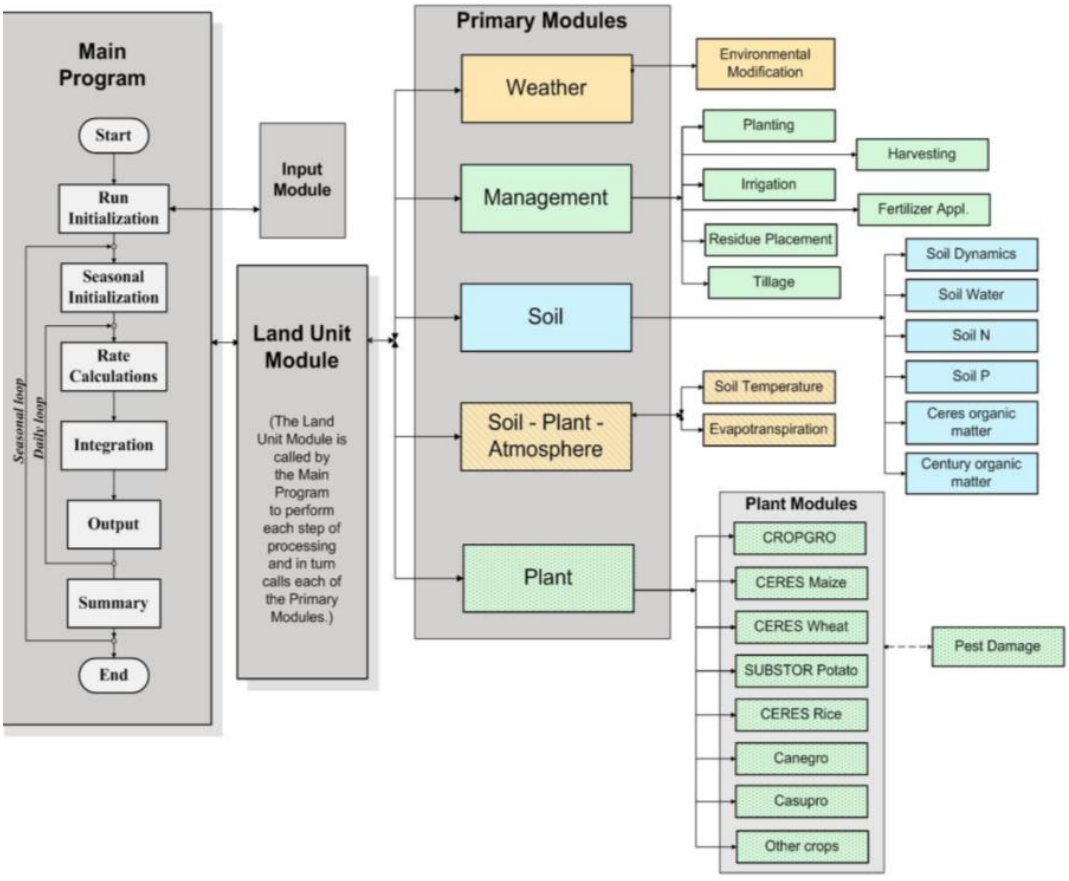
กรรณิการ์ (2553) ได้จัดทำคำแนะนำอัตราปุ๋ยข้าวตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-RICE ประเมินผลผลิตข้าวตามอัตราปุ๋ยที่แนะนำในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลางตอนบน โดยการสุ่มเก็บข้อมูลดินในแปลงนาเกษตรกรและวิเคราะห์ดินด้วยเครื่องมือตรวจสอบดินอย่างง่าย แล้วนำผลวิเคราะห์ดินมาสร้างคำแนะนำอัตราปุ๋ยข้าวที่เหมาะสม โดยสรุปตามค่าการวิเคราะห์ดินของกรมวิชาการเกษตร

พร้อมกับประเมินศักยภาพผลผลิตในแต่ละดินด้วยโปรแกรม DSSAT พบว่า คำแนะนำปุ๋ยที่เหมาะสมโดยสรุปตามค่าการวิเคราะห์ดินในภาคเหนือและภาคกลางตอนบนได้คือ สำหรับการปลูกข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงแนะนำปุ๋ยอัตรา 12-6-6 กิโลกรัมต่อไร่ และสรุปผลผลิตคาดการณ์ได้คือ กลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินเหนียวละเอียดหรือดินเหนียวละเอียดมาก จะได้ผลผลิตคาดการณ์สูงสุด 1,087 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวไวต่อช่วงแสง แนะนำปุ๋ยอัตรา 6-6-6 กิโลกรัมต่อไร่ และสรุปผลผลิตคาดการณ์ได้คือ กลุ่มชุดดินที่มีเนื้อดินเป็นพวกดินทรายแป้งบริเวณริมแม่น้ำ จะได้ผลผลิตคาดการณ์สูงสุด 976 กิโลกรัมต่อไร่

7.1 หลักการทำงานและองค์ประกอบทั่วไปของโปรแกรม DSSAT

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในคู่มือการใช้โปรแกรม DSSAT 4.5 Volume 1- 4 โดย Hoogenboom (2010), Jones et al. (2010) และเอกสารวิชาการ ของ Tsuji et. al. (1994), เมธี (2543) และสหัสชัย (2553) สามารถสรุปรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม DSSAT ดังต่อไปนี้

โปรแกรม DSSAT มีส่วนประกอบและโครงสร้างของโมดูล (Module) การทำงานดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังส่วนประกอบและโครงสร้างของโมดูลการทำงานในโปรแกรม DSSAT

ที่มา: Hoogenboom (2010)

ดวงใจ (2556) อธิบายเกี่ยวกับโปรแกรม DSSAT มีองค์ประกอบของระบบการทำงานที่ประกอบด้วย ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System: DBMS) ระบบแบบจำลองการปลูกพืช (Model Base Management System: MBMS) โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1.1 ระบบจัดการฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป (background) ข้อมูลงานทดลองพืช (experiment) ข้อมูลพืช (genetic coefficient) ข้อมูลภูมิอากาศ (weather) ข้อมูลดิน (soil) ข้อมูลโรคและแมลง (disease and pest) และข้อมูลเศรษฐกิจ (economic)

7.1.2 ระบบแบบจำลองการปลูกพืช

ปัจจุบันโปรแกรม DSSAT เวอร์ชั่น 4.7 มีแบบจำลองการปลูกพืช ทั้งสิ้น 10 กลุ่มหลัก จำนวน 29 พืช โดยรายชื่อพืชในแบบจำลองการปลูกพืชทั้ง 10 กลุ่ม มีดังต่อไปนี้

(1) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลธัญพืช** ได้แก่ ข้าวบาเลย์ ข้าวโพด ข้าวฟ่างไข่มุก ข้าวฟ่าง ข้าว และข้าวสาลี

(2) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลถั่ว** ได้แก่ ถั่วลูกไก่ ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา ถั่วลิสง ถั่วปากอ้า ถั่วเหลือง และถั่วเวลเวท

(3) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลหัว** ได้แก่ มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ และเผือก

(4) **แบบจำลองการปลูกพืชน้ำมัน** ได้แก่ ทานตะวัน

(5) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลผัก** ได้แก่ พริกไทย กะหล่ำปลี มะเขือเทศ ถั่วแขก และข้าวโพดหวาน

(6) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลเส้นใย** ได้แก่ ฝ้าย

(7) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลพืชอาหารสัตว์** ได้แก่ หญ้าบาเฮีย และหญ้าในสกุล Brachiaria

(8) **แบบจำลองการปลูกพืชน้ำตาล/พลังงาน** ได้แก่ อ้อย

(9) **แบบจำลองการปลูกพืชตระกูลไม้ผล** ได้แก่ สับปะรด

(10) **แบบจำลองการปลูกอื่นๆ** ได้แก่ การไถคราดทิ้งไว้โดยไม่ได้ปลูกพืชหรือการทำนาฟางลอย

โดยแบ่งระบบการจำลองการปลูกพืช ตามลักษณะการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การจำลองการผลิตเป็นฤดู (seasonal analysis) ซึ่งเป็นการจำลองระบบการผลิตพืชเป็นรายฤดูปลูกทั้งที่เป็นพืชชนิดเดียวหรือหลายชนิดในปีเดียว เช่น กำหนดให้จำลองการปลูก 5, 10, 15, 20, 25, และ 30 ปี เพื่อให้พืชพบกับสภาพภูมิอากาศทั้งที่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสม เกิดค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตและผลผลิต หรือจำลองการผลิตเป็นรายฤดู และแบบการจำลองการผลิตอย่างต่อเนื่อง (sequence analysis) ซึ่งสามารถทำการศึกษาระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงภาวะของธาตุอาหารตลอดจนการสะสมของธาตุอาหารบางชนิดที่สนใจ

7.2 ชุดข้อมูลมาตรฐานของโปรแกรม DSSAT (Minimum Dataset)

ชุดข้อมูลมาตรฐานนำเข้าในแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT ประกอบด้วยข้อมูลดิน (Soil data) ภูมิอากาศ (Weather data) ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic Coefficient; GC) และข้อมูลแฟ้มงานทดลองพืช (Experimental detail file; FILEX) โดยมีรายละเอียดของข้อมูลเพื่อการนำเข้าในโปรแกรม ดังต่อไปนี้

7.2.1 ข้อมูลดิน (Soil data)

ในแบบจำลองการปลูกพืช DSSAT จะมีโปรแกรมที่ช่วยในการนำเข้าและสร้างข้อมูลดินเพิ่มเติมตามที่แบบจำลองต้องการ เรียกว่า Sbuild ซึ่งมีวัตถุประสงค์ช่วยสร้างข้อมูลดินเพื่อใช้ในงานทดลอง โดยการกำหนดให้มีการป้อนข้อมูล เช่น จำนวนชั้นดิน สีดิน เนื้อดิน ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวและทรายแป้ง ปริมาณก้อนกรวด และความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากสมบัติทางกายภาพของดินจากการสำรวจและวิเคราะห์ดิน รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับน้ำในดินและอื่นๆ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล โปรแกรมจะทำการคำนวณให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมเข้าไปก่อนที่จะมีการบันทึกลงแฟ้ม SOIL.SOL และสามารถสร้างข้อมูลดินระดับชุดดินเก็บไว้ในไฟล์ TH.SOL เพื่อให้แบบจำลองเรียกใช้ด้วยรหัสประจำชุดดินที่ระบุไว้ในแฟ้มงานทดลองพืช (FILEX) มาทำการจำลอง (simulate) ข้อมูลดินแต่ละชุดดินทั้งหมดจะถูกบรรจุลงในแฟ้มข้อมูล SOIL.SOL ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและวิเคราะห์ดิน ดังภาพที่ 5

```
*TH01150001  LDD         SL       200  Kula Ronghai(Ki)LL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 RATCHASIMA  THAILAND          -99        0 fl,mixed,active,iso Typic Natraqualfs
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    BN   .14  21.5   .05    84     1     1 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
     7   Apg  .096  .214  .342     1  1.54  1.58   .86  14.1  28.4     5   .06   6.3     6  11.4   -99
    27  Apg1  .096  .214  .342  .422  1.54  1.58   .86  14.1  28.4     5   .06   6.3     6  11.4   -99
    40  Btg1  .128   .25  .364  .036   .67  1.52   .16  21.6  34.7     5   .03   7.7   6.6  11.3   -99
    45  Btg1  .128   .25  .364  .001   .67  1.52   .16  21.6  34.7     5   .03   7.7   6.6  11.3   -99
    60  Btg2  .122  .239  .363     0   .74  1.52   .11    21  34.5    10   .02   8.4     7  10.8   -99
    83  Btg3  .122   .24  .363     0   .75  1.52   .12    21  34.9    10   .04   8.6   7.1   9.8   -99
   112  Btg4   .12  .237  .362     0   .74  1.52   .12  20.5  34.3    10   .01   8.6     7  10.5   -99
   166   Cg1  .134  .257  .368     0   .63   1.5   .08    23  36.4     5   .02   8.6     7  12.4   -99
   200   Cg2   .12  .237  .366     0   .76  1.51   .09    21  36.2    12   .02   8.8   6.8  11.7   -99

*TH03730001  LDD         C        160  Tung Samrit(Tsr)LL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 NON SUNG    THAILAND          -99        0 vf,smectitic,isohyperthermic Typic Natraquerts
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    G   .13  16.6   .05    87     1     1 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    18   Apg  .327  .449  .464     1   .29  1.42  1.45  65.5    28     0   .12   4.9   4.1  37.1   -99
    40  Bssg  .365   .48  .495  .384   .52  1.44   .69  76.5    20     5   .06   5.5   4.4  43.8   -99
    48  Bssg  .365   .48  .495  .001   .52  1.44   .69  76.5    20     5   .06   5.5   4.4  43.8   -99
    94  Bssg  .385  .502  .517     0    .6  1.44   .44  78.5    19     0   .04   5.5   4.9  50.3   -99
   120  Bssg  .303  .429  .444     0   .28  1.44    .6    60  36.5     0   .05   5.2   4.4  29.2   -99
   160    Bg  .349  .465   .48     0   .29  1.39   .52  70.5    16     0   .04   5.2   4.5  34.3   -99

*TH03920001  LDD         SL       150  Udon(Ud)LL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 N-RACHASIMA THAILAND          -99        0 col,mixed,active,nonacid,iso Typic Halaqults
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    BN   .13    20    .2    81     1   .95 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    12    Ap  .065  .191  .242     1  2.59  1.58   .37   6.5  36.5     0   .05   5.4   4.9   3.1   -99
    30   ABg  .065  .194  .254  .357  2.59  1.55   .05   6.5  41.5     0   .01   6.7   5.5   2.9   -99
    40   Bg1  .123   .25  .267  .001  1.32  1.51   .18  19.5    38     0   .02   7.3   6.1  11.6   -99
    60   Bg1  .123   .25  .257     0  1.32  1.51   .18  19.5    38     0   .02   7.3   6.1  11.6   -99
    90   Bg2   .1  .217   .24     0  2.59  1.59   .41    15  26.5     5   .04   7.5   6.4   9.8   -99
   105   Bg3  .151  .259   .26     0   .43  1.59   .27    27     6     5   .02   7.7   6.6   7.7   -99
   120   Bg4  .116  .237  .242     0  2.59  1.58   .21    18    25     0   .02   7.6   6.7  11.6   -99
   150   BgS   .1  .214  .215     0  2.59  1.62   .03    15    21     5   .01   7.7   6.7   8.9   -99

*TH01430001  LDD         SIL      140  Kham Thale So(Kts)LL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 N-RACHASIMA THAILAND          -99        0 fl,mixed,semiact,iso Aeric(Plinthic)Paleaquults
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    G   .13   8.2    .2    84     1     1 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    11    Ap  .047  .181  .371     1   .68  1.49   .38   2.5  52.2     0   .03   7.8   5.8   2.4   -99
    24     A  .075  .207  .376  .322  1.32  1.48   .14   8.7  49.4     0   .01   7.7   5.8   2.8   -99
    36   Bt1  .107  .238  .381  .115  1.32  1.46   .19  15.9  47.2     0   .01   7.5   5.7   6.4   -99
    40  Btg1  .147   .26  .337  .001   .43   1.6   .03    25   9.6     0   .01   7.5   5.6   2.9   -99
    50  Btg1  .147   .26  .337     0   .43   1.6   .03    25   9.6     0   .01   7.5   5.4   2.9   -99
   110   Bt3   .15  .251  .372     0   .23  1.49   .09  33.9  32.6    30   .01   7.6   5.5  11.4   -99
   140   Bt4  .144  .272  .378     0  1.32  1.47   .07  24.3  40.8     0   .01   7.5   5.5   8.6   -99

*TH02640001  LDD         L        200  Phra Thai(Pt)LL
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 RATCHASIMA  THAILAND          -99        0 f,mixed,active,iso Typic Natraqualfs
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
    BN   .14  21.5   .05    84     1     1 IB001 IB001 IB001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    17   Apg  .096  .224  .342     1   .54  1.58   .86  24.1  28.4     0   .06   6.3     6  11.4   -99
    27   Apg  .096  .224  .342  .355   .54  1.58   .86  24.1  28.4     0   .06   6.3     6  11.4   -99
    40  Btg1  .118   .26  .374  .035   .47  1.52   .16  22.6  34.7     0   .03   7.7   6.6  11.3   -99
    45  Btg1  .118   .26  .374  .001   .47  1.52   .16  22.6  34.7     0   .03   7.7   6.6  11.3   -99
    60  Btg2  .112  .259  .373     0   .54  1.52   .11    22  34.5     0   .02   8.4     7  10.8   -99
    83  Btg3  .112   .25  .373     0   .55  1.52   .12    22  34.9     0   .04   8.6   7.1   9.8   -99
   112  Btg4  .11  .257  .372     0   .54  1.52   .12  20.5  34.3     0   .01   8.6     7  10.5   -99
   166   Cg1  .124  .267  .378     0   .43   1.5   .08    23  36.4     0   .02   8.6     7  12.4   -99
   200   Cg2  .11  .267  .376     0   .36  1.51   .09    21  36.2     0   .02   8.8   6.8  11.7   -99
```

ภาพที่ 5 แสดงไฟล์ TH.SOL ของข้อมูลชุดดินต่างๆ

7.2.2 ข้อมูลภูมิอากาศ (Weather data)

ในระบบการทำงานของ DSSAT จะมีโปรแกรมที่ช่วยในการสร้างข้อมูลภูมิอากาศ เรียกว่า Weatherman โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่ก่อนวันปลูกถึงสิ้นสุดวันสุกแก่ เพื่อให้โปรแกรมสามารถใช้ข้อมูลสำหรับการคำนวณในกระบวนการจำลองการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจะเริ่มต้นตั้งแต่การประเมินสภาวะของดินและน้ำในดิน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้ในการงอกของเมล็ดเป็นต้นไป

ในแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศจะประกอบไปด้วย ข้อมูลที่แสดงสถานที่ เส้นรุ้ง เส้นแวง อุณหภูมิเฉลี่ย ความสูงจากระดับทะเลและปริมาณน้ำฝน ในแบบจำลอง DSSAT ชุดข้อมูลมาตรฐานภูมิอากาศ (minimum data set) จะต้องประกอบด้วยข้อมูล Solar Radiation (MJ/m^2/day) อุณหภูมิต่ำสุด (minimum temperature: °C) อุณหภูมิสูงสุด (maximum temperature: °C) และปริมาณน้ำฝน (rainfall: mm) โดยจะใช้ข้อมูลภูมิอากาศย้อนหลัง 1 ปี พ.ศ. 2567 บริเวณ 9 จังหวัด ได้แก่ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด สุรินทร์ และอุดรธานี ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ซึ่งมีนามสกุล *.WTH ดังภาพที่ 6

```
*WEATHER  DATA :LCPM1901
@ INSI      LAT     LONG  ELEV   TAV   AMP REFHT WNDHT
  LCPM   15.800  102.033 135.0  28.1  10.4   2.0   2.0
@DATE  SRAD  TMAX  TMIN  RAIN
19001  17.5  28.5  14.7   0.0
19002  18.3  28.7  13.6   0.0
19003  13.7  25.5  16.2   0.0
19004   9.0  25.9  17.7   0.0
19005   8.0  28.2  19.4   0.0
19006  16.7  33.4  20.6   0.0
19007  16.3  33.1  20.8   0.0
19008  17.9  34.1  21.0   0.0
19009  16.0  33.2  22.0   0.0
19010  17.6  33.7  21.2   0.0
19011  16.6  33.7  22.9   0.0
19012  18.3  35.1  22.8   0.0
19013  18.4  34.8  21.5   0.0
19014  18.2  33.4  20.6   0.0
19015  18.1  32.2  21.3   0.0
19016  18.3  31.5  21.2   0.0
19017  19.2  31.8  17.7   0.0
19018  14.1  27.9  17.3   0.0
19019  18.7  31.5  19.5   0.0
19020  18.6  34.2  20.4   0.0
```

ภาพที่ 6 แสดงไฟล์ *.WTH ของข้อมูลสถานีภูมิอากาศจังหวัดชัยภูมิ (LCPM)

7.2.3 ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic Coefficient; GC)

สัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชเปรียบเสมือนลักษณะของพืชเฉพาะพันธุ์ เป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงความเฉพาะเจาะจงในการที่พืชพันธุ์นั้นๆ จะตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความยาวนานของแสงแดด ปริมาณไนโตรเจนและน้ำในดิน เป็นต้น สัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชเป็นค่าที่ทำให้แบบจำลองสามารถคำนวณพัฒนาการของพืชพันธุ์นั้นๆ ไม่ว่าจะถูกนำไปปลูกที่ใด เมื่อใด และมีการจัดการอย่างไร ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชจะมีจำนวนชุดข้อมูลแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและระดับความแม่นยำที่ต้องการ โดยจะใช้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ กข.6 เป็นตัวแทนในการศึกษาครั้งนี้ ตัวอย่างไฟล์ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic Coefficient; GC) ของข้าวไวต่อแสง พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ดังภาพที่ 7

```
*RICE CULTIVAR COEFFICIENTS: RICER048 MODEL
!
! COEFF    DEFINITIONS
! ======== ===========
! VAR#     Identification code or number for a specific cultivar.
! VAR-NAME Name of cultivar.
! EXPNO    Number of experiments used to estimate cultivar parameters
! ECO#     Ecotype code for this cultivar points to the Ecotype in the ECO
!          file (currently not used).

! P1       Time period (expressed as growing degree days [GDD] in oC-d above a
!          base temperature of 9oC) from seedling emergence during which the
!          rice plant is not responsive to changes in photoperiod. This period
!          is also referred to as the basic vegetative phase of the plant.
!          Range: 150-800 oC-d.
!          Calibration: flexible, compare with observed panicle initiation
!          and flowering dates.

! P2O      Critical photoperiod or the longest day length (in hours) at
!          which the development occurs at a maximum rate. At values higher
!          than P2O developmental rate is slowed, hence there is delay due
!          to longer day lengths.
!          Range 11-13 h. Default 12 h.
!          Calibration: Do not go below 11 unless data are available.

! P2R      Extent to which phasic development leading to panicle initiation
!          is delayed (expressed as GDD in oC-d) for each hour increase in
!          photoperiod above P2O.
!          Range 5-300 oC-d.
!          Calibration: Modern rice varieties will have values in
!          the lower range.

! P5       Time period in GDD oC-d) from beginning of grain filling (3 to
!          4 days after flowering) to physiological maturity with a base
!          temperature of 9oC.
!          Range 150-850 oC-d.

!
! The cultivar coefficient G5 was added to DSSAT Version 4.7.5
! The cultivar coefficients G4 and G5 were removed - DSSAT Version 4.8
! The cultivar coefficients THOT, TCLDP, and TCLDF were added to DSSAT Version 4.8
!
!          P/G/N:Phenology/Growth/Not used for calbration
!
@VAR#  VAR-NAME........ EXPNO   ECO#     P1    P2R    P5    P2O    G1    G2    G3 PHINT  THOT TCLDP TCLDF
!Coefficient #                          1      2     3     4     5     6     7     8     9    10    11
!Calibration                            P      P     P     P     G     G     G     N     G     N     N

999991 MINIMA               . DFAULT 150.0   5.0 150.0  11.0  50.0 .0150  0.70  55.0  25.0  12.0  10.0
999992 MAXIMA               . DFAULT 800.0 300.0 850.0  13.0  70.0 .0300  1.30  90.0  34.0  18.0  20.0

990001 IRRI ORIGINALS       . IB0001 880.0  52.0 550.0  12.0  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
990002 IRRI RECENT          . IB0001 450.0 149.0 350.0  11.7  68.0 .0230  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
990003 JAPANESE             . IB0001 220.0  35.0 510.0  12.0  55.0 .0250  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
990004 N.AMERICAN           . IB0001 318.0 189.0 550.0  12.8  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0

IB0003 IR 36                . IB0001 556.8 53.88 373.4 12.87 68.00 0.023  1.00 83.00  31.3  15.0  15.0
IB0012 IR 58                . IB0001 254.8 96.44 378.4 10.63 77.03 0.020  1.00 83.00  33.9  15.0  15.0
IB0020 RD 23                . IB0001 528.6 156.5 387.4 12.64 52.65 0.022  1.00 83.00  29.0  15.0  15.0
IB0050 PR114                . IB0001 662.5 184.4 503.0 12.38 62.86 0.023  1.00 83.00  25.7  15.0  15.0
IB0055 Basmati 385          . IB0001 498.3 130.1 420.0 12.90 74.76 0.022  0.53 83.00  30.9  15.0  15.0

IB0118 IR 72                . IB0001 437.1 61.02 371.8 11.58 77.80 0.026  1.00 83.00  30.4  15.0  15.0

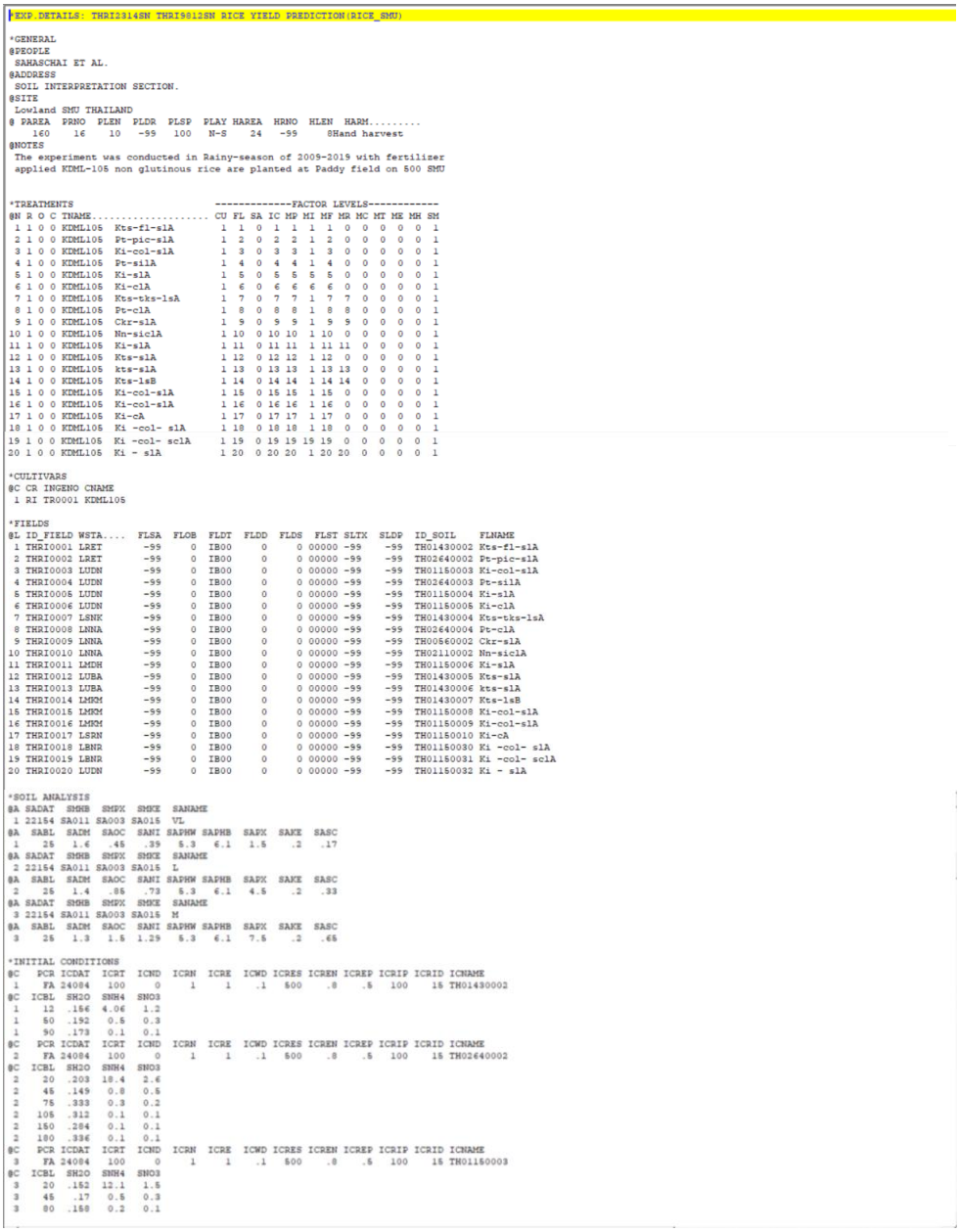
IB0001 IR 8                 . IB0001 880.0  52.0 550.0  12.1  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
IB0002 IR 20                . IB0001 500.0 166.0 500.0  11.2  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
IB0004 IR 43                . IB0001 720.0 120.0 580.0  10.5  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
IB0005 LABELLE              . IB0001 318.0 189.0 550.0  12.8  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
IB0006 MARS                 . IB0001 698.0 134.0 550.0  13.0  65.0 .0280  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0

MC0020 RD 23                . IB0001 310.3 140.0 370.0  11.2  53.0 .0230  0.30  83.0  28.0  15.0  15.0
TR0001 KDML105              . IB0001 502.31433.3 386.5  12.7  45.7 .0270  1.00  83.0  29.5  15.0  15.0
TR0002 NIEW SANPATONG       . IB0001 495.81283.0 364.2  12.7  40.7 .0277  0.70  83.0  32.9  15.0  15.0
TR0003 SUPANBURI 60         . IB0001 540.0 154.7 497.0  11.9  77.7 .0280  1.00  83.0  27.2  15.0  15.0
TR0004 CHAINAT 1            . IB0001 570.0 122.8 334.8  11.9  63.1 .0278  1.00  83.0  28.0  15.0  15.0
TR0005 DOA 1                . IB0001 388.5  20.0 381.8  12.0  73.8 .0275  1.10  83.0  24.3  15.0  15.0
```

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างไฟล์ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic Coefficient; GC) ของข้าวไวต่อแสง พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105)

7.2.4 ข้อมูลแฟ้มงานทดลองพืช (Experimental detail file; FILEX)

ในโปรแกรม DSSAT จะมีโปรแกรมย่อยที่ช่วยในการนำเข้าและสร้างข้อมูลแฟ้มงานทดลองพืช เรียกว่า Xbuild (Crop Management Data) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างงานทดลอง โดยทำการป้อนข้อมูลรายละเอียดของงานทดลอง เช่น กำหนดตำรับการทดลอง (Treatment) ค่าเริ่มต้นของดินที่ใช้ในงานทดลอง การชลประทาน การใส่ปุ๋ยเคมี ชนิดปุ๋ยและอัตราปุ๋ยหรือไถกลบเศษซากพืช พันธุ์พืช การเตรียมดิน ความลึกในการไถและข้อมูลอื่นๆ เป็นต้น ดังภาพที่ 8



```
*EXP.DETAILS: THRI2S14SN THRI5S12SN RICE YIELD PREDICTION(RICE_SMU)

*GENERAL
@PEOPLE
 SAHASCHAI ET AL.
@ADDRESS
 SOIL INTERPRETATION SECTION.
@SITE
 Lowland SMU THAILAND
@ PAREA  PRNO  PLEN  PLDR  PLSP  PLAY HAREA  HRNO  HLEN  HARM.....
    160    16    10   -99   100   N-S    24   -99     0Hand harvest
@NOTES
 The experiment was conducted in Rainy-season of 2009-2019 with fertilizer
 applied KDML-105 non glutinous rice are planted at Paddy field on 500 SMU


*TREATMENTS                        -------------FACTOR LEVELS------------
@N R O C TNAME.................... CU FL SA IC MP MI MF MR MC MT ME MH SM
 1 1 0 0 KDML105  Kts-fl-slA        1  1  0  1  1  1  1  0  0  0  0  0  1
 2 1 0 0 KDML105  Pt-pic-slA        1  2  0  2  2  1  2  0  0  0  0  0  1
 3 1 0 0 KDML105  Ki-col-slA        1  3  0  3  3  1  3  0  0  0  0  0  1
 4 1 0 0 KDML105  Pt-silA           1  4  0  4  4  1  4  0  0  0  0  0  1
 5 1 0 0 KDML105  Ki-slA            1  5  0  5  5  5  5  0  0  0  0  0  1
 6 1 0 0 KDML105  Ki-clA            1  6  0  6  6  6  6  0  0  0  0  0  1
 7 1 0 0 KDML105  Kts-tks-lsA       1  7  0  7  7  1  7  7  0  0  0  0  1
 8 1 0 0 KDML105  Pt-clA            1  8  0  8  8  1  8  8  0  0  0  0  1
 9 1 0 0 KDML105  Ckr-slA           1  9  0  9  9  1  9  9  0  0  0  0  1
10 1 0 0 KDML105  Nn-siclA         1 10  0 10 10  1 10  0  0  0  0  0  1
11 1 0 0 KDML105  Ki-slA           1 11  0 11 11  1 11 11  0  0  0  0  1
12 1 0 0 KDML105  Kts-slA          1 12  0 12 12  1 12  0  0  0  0  0  1
13 1 0 0 KDML105  kts-slA          1 13  0 13 13  1 13 13  0  0  0  0  1
14 1 0 0 KDML105  Kts-lsB          1 14  0 14 14  1 14 14  0  0  0  0  1
15 1 0 0 KDML105  Ki-col-slA       1 15  0 15 15  1 15  0  0  0  0  0  1
16 1 0 0 KDML105  Ki-col-slA       1 16  0 16 16  1 16  0  0  0  0  0  1
17 1 0 0 KDML105  Ki-cA            1 17  0 17 17  1 17  0  0  0  0  0  1
18 1 0 0 KDML105  Ki -col- slA     1 18  0 18 18  1 18  0  0  0  0  0  1
19 1 0 0 KDML105  Ki -col- sclA    1 19  0 19 19 19 19  0  0  0  0  0  1
20 1 0 0 KDML105  Ki - slA         1 20  0 20 20  1 20 20  0  0  0  0  1

*CULTIVARS
@C CR INGENO CNAME
 1 RI TR0001 KDML105

*FIELDS
@L ID_FIELD WSTA....  FLSA  FLOB  FLDT  FLDD  FLDS  FLST SLTX  SLDP  ID_SOIL    FLNAME
 1 THRI0001 LRET       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01430002 Kts-fl-slA
 2 THRI0002 LRET       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH02640002 Pt-pic-slA
 3 THRI0003 LUDN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150003 Ki-col-slA
 4 THRI0004 LUDN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH02640003 Pt-silA
 5 THRI0005 LUDN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150004 Ki-slA
 6 THRI0006 LUDN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150005 Ki-clA
 7 THRI0007 LSNK       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01430004 Kts-tks-lsA
 8 THRI0008 LNNA       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH02640004 Pt-clA
 9 THRI0009 LNNA       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH00560002 Ckr-slA
10 THRI0010 LNNA       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH02110002 Nn-siclA
11 THRI0011 LMDH       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150006 Ki-slA
12 THRI0012 LUBA       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01430005 Kts-slA
13 THRI0013 LUBA       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01430006 kts-slA
14 THRI0014 LMXM       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01430007 Kts-lsB
15 THRI0015 LMXM       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150008 Ki-col-slA
16 THRI0016 LMXM       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150009 Ki-col-slA
17 THRI0017 LSRN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150010 Ki-cA
18 THRI0018 LBNR       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150030 Ki -col- slA
19 THRI0019 LBNR       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150031 Ki -col- sclA
20 THRI0020 LUDN       -99     0  IB00     0     0 00000 -99   -99  TH01150032 Ki - slA

*SOIL ANALYSIS
@A SADAT  SMHB  SMPX  SMKE  SANAME
 1 22154 SA011 SA003 SA015  VL
@A  SABL  SADM  SAOC  SANI SAPHW SAPHB  SAPX  SAKE  SASC
 1    25   1.6   .45   .39   5.3   6.1   1.5    .2   .17
@A SADAT  SMHB  SMPX  SMKE  SANAME
 2 22154 SA011 SA003 SA015  L
@A  SABL  SADM  SAOC  SANI SAPHW SAPHB  SAPX  SAKE  SASC
 2    25   1.4   .86   .73   5.3   6.1   4.5    .2   .33
@A SADAT  SMHB  SMPX  SMKE  SANAME
 3 22154 SA011 SA003 SA015  M
@A  SABL  SADM  SAOC  SANI SAPHW SAPHB  SAPX  SAKE  SASC
 3    25   1.3   1.5  1.29   5.3   6.1   7.5    .2   .65

*INITIAL CONDITIONS
@C   PCR ICDAT  ICRT  ICND  ICRN  ICRE  ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
 1    FA 24084   100     0     1     1    .1   500    .8    .5   100    1% TH01430002
@C  ICBL  SH2O  SNH4  SNO3
 1    12  .156  4.06   1.2
 1    50  .192   0.5   0.3
 1    90  .173   0.1   0.1
@C   PCR ICDAT  ICRT  ICND  ICRN  ICRE  ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
 2    FA 24084   100     0     1     1    .1   500    .8    .5   100    1% TH02640002
@C  ICBL  SH2O  SNH4  SNO3
 2    20  .203  10.4   2.6
 2    45  .149   0.8   0.5
 2    75  .333   0.3   0.2
 2   105  .312   0.1   0.1
 2   150  .284   0.1   0.1
 2   180  .336   0.1   0.1
@C   PCR ICDAT  ICRT  ICND  ICRN  ICRE  ICWD ICRES ICREN ICREP ICRIP ICRID ICNAME
 3    FA 24084   100     0     1     1    .1   500    .8    .5   100    1% TH01150003
@C  ICBL  SH2O  SNH4  SNO3
 3    20  .152  12.1   1.5
 3    45   .17   0.5   0.3
 3    80  .168   0.2   0.1
```

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างไฟล์ข้อมูลแฟ้มงานทดลองพืชของข้าวไวต่อแสงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105)

8. การประเมินศักยภาพของแบบจำลอง

สำหรับการประเมินศักยภาพของแบบจำลอง จะพิจารณาจากค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากแปลงทดลองจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองด้วยค่าสถิติหลายค่า ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ข้อมูล โดยทั่วไปค่าสถิติที่ใช้ได้แก่ Mean Absolute Error (MAE), Root mean squares error (RMSE) และ Agreement index (D) โดยค่าแสดงความสอดคล้องที่ดีคือ มีค่า MAE, RMSE ต่ำ และ มีค่า D เข้าใกล้ 1 ซึ่งคำนวณได้ดังสูตร (Willmott and Matsuura,2005 และ Willmott, 1982)

1. ค่า MAE (Mean Absolute Error) ซึ่งเหมาะต่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเวลาและแบบจำลองมีความแม่นยำสูงเมื่อค่า MAE เข้าใกล้ 0.0

$$MAE = N^{-1}\left[\sum_{i=1}^{N}|S_i - O_i|\right] \quad [1]$$

กำหนดให้

N = จำนวนค่าทั้งหมด

S_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

O_i = ค่าที่ได้จากสภาพจริง

2. ค่ารากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squares error : RMSE) แบบจำลองมีความแม่นยำสูงเมื่อค่า RMSE เข้าใกล้ 0.0

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \quad [2]$$

กำหนดให้

n = จำนวนค่าทั้งหมด

S_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

O_i = ค่าที่ได้จากสภาพจริง

3. ค่า Agreement index (d-index) แบบจำลองมีความแม่นยำสูงเมื่อค่า D เข้าใกล้ 1.0

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}[|S_i'| + |O_i'|]^2}\right] \quad [3]$$

กำหนดให้

N = จำนวนค่าทั้งหมด

S_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

O_i = ค่าที่ได้จากสภาพจริง

S'_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง – ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากสภาพจริง

O'_i = ค่าที่ได้จากสภาพจริง - ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากสภาพจริง

8.1 งานวิจัยการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม DSSAT ในการประเมินผลผลิตข้าว

วิเชียร (2545) ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองการปลูกพืชและสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการจัดเขตนิเวศข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมา ใช้แบบจำลองข้าว CERES-Rice ประเมินหาวันปลูกที่เหมาะสมในการปลูกข้าวนาหว่านและนาดำ ในสภาพน้ำฝนและชลประทาน ซึ่งดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในแปลงทดลองพื้นที่เกษตรกรจำนวน 38 แห่ง ผลการศึกษาพบว่า วันปลูกข้าวขาวดอกมะลิ105 ในสภาพน้ำฝนและชลประทานอยู่ระหว่างวันที่ 1 ถึง 15 มิถุนายน ทั้งวิธีการปลูกแบบหว่านและปักดำ และผลการประเมินผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลองสูงกว่าแปลงทดสอบเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดด้านโรคแมลง ซึ่งทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลผลิตจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลผลิตแปลงเกษตรกร 103 จุด มีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และ 0.98 RMSE เท่ากับ 0.49 และ 0.42 ตันต่อเฮกตาร์ และ ค่า Index of Agreement 0.95 และ 0.97 ในการปลูกข้าวนาหว่านและนาดำ ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 แสดงว่าการประเมินผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลองข้าว CERES-Rice มีค่าความเชื่อมั่นค่อนข้างสูง

ตารางที่ 3 ค่าการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากแบบจำลอง CERES-Rice กับแปลงเกษตรกร

	Different average	RMSE	r^2	Index of Agreement
Direct seeding				
phenology (day)	1.25	1.65	0.99	0.99
Grain yield (t ha^{-1})	0.45	0.49	0.97	0.95
Transplanted				
phenology (day)	1.30	1.63	0.99	0.99
Grain yield (t ha^{-1})	0.39	0.42	0.98	0.97

Remark : summarized from Appendix C9 to C12.

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

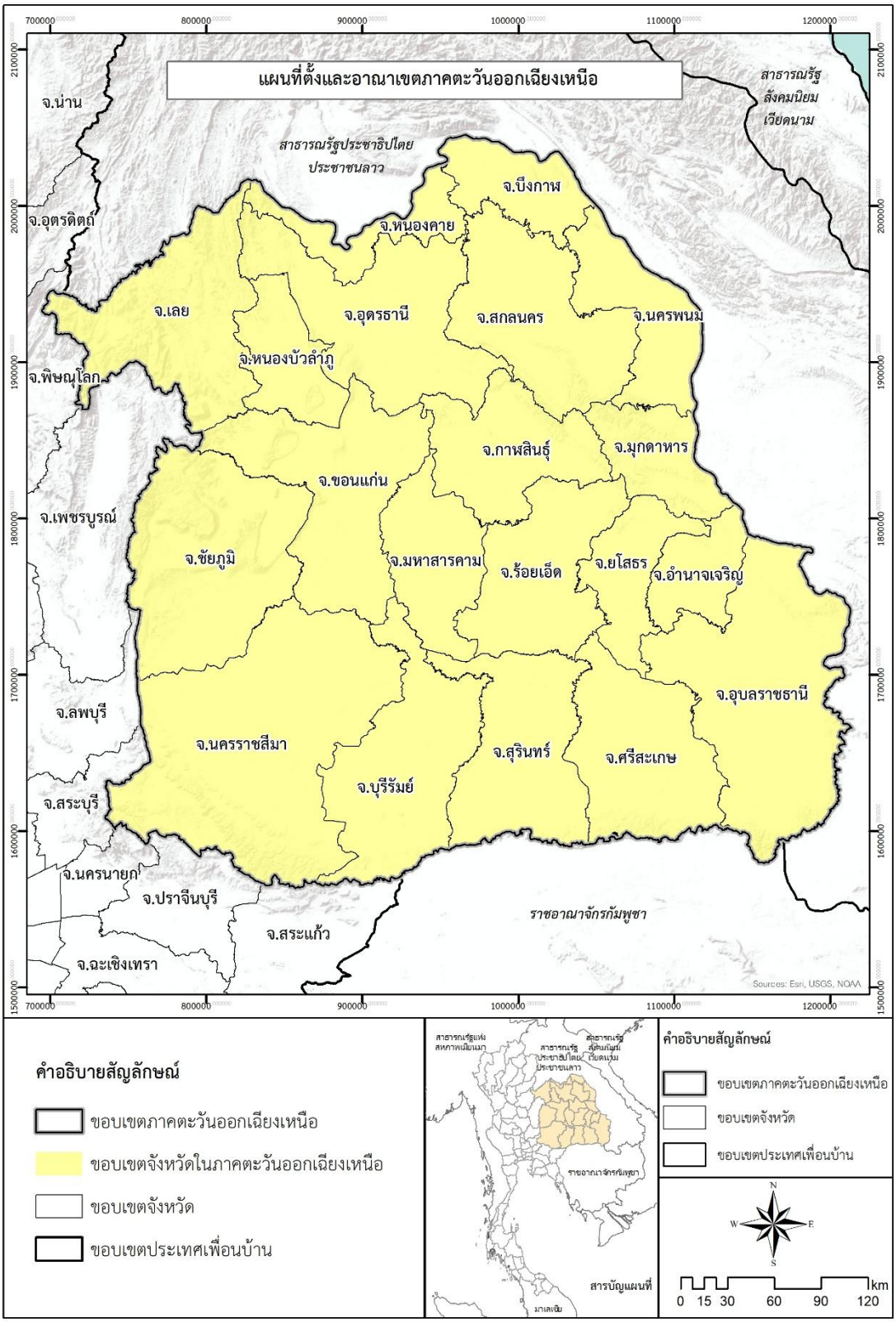
ที่ตั้งและอาณาเขต

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นที่ราบสูง (Plateau) ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 ถึง 19 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 101 ถึง 106 องศาตะวันออก ประกอบด้วย 20 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเลย อุดรธานี นครพนม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี ชัยภูมิ สุรินทร์ มุกดาหาร หนองบัวลำภู หนองคาย สกลนคร ขอนแก่น มหาสารคาม ศรีษะเกษ นครราชสีมา บุรีรัมย์ ยโสธร บึงกาฬ และจังหวัดอำนาจเจริญ (ภาพที่ 9) มีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับภาคตะออกและราชอาณาจักรกัมพูชา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับเทือกเขาเพชรบูรณ์

สภาพภูมิประเทศ

สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสลับที่ดอนแบบลูกคลื่นลอนลาด พื้นที่ลาดต่ำไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 3) มีทิวเขาเพชรบูรณ์และทิวเขาดงพญาเย็นเป็นขอบชันด้านตะวันตก และมีทิวเขาสันกำแพงและทิวเขาพนมดงรักเป็นขอบชันทางด้านใต้ ส่วนพื้นที่ตอนกลางของภาคมีทิวเขาภูพานวางตัวทอดยาว แบ่งภาคออกเป็น 2 แอ่ง คือบริเวณตอนเหนือ-แอ่งรับน้ำสกลนคร อยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสกลนคร นครพนม หนองคาย มุกดาหาร และอุดรธานี มีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำโขง ศรีสงคราม ลำน้ำอูน และลำน้ำสาขาต่างๆ และบริเวณตอนใต้ แอ่งรับน้ำโดยมีแม่น้ำสายหลักได้แก่ แม่น้ำชี มูล น้ำพอง น้ำเชิญ และลำน้ำสาขา ประกอบไปด้วยพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ร้อยเอ็ด ยโสธร มหาสารคาม ขอนแก่น และกาฬสินธุ์



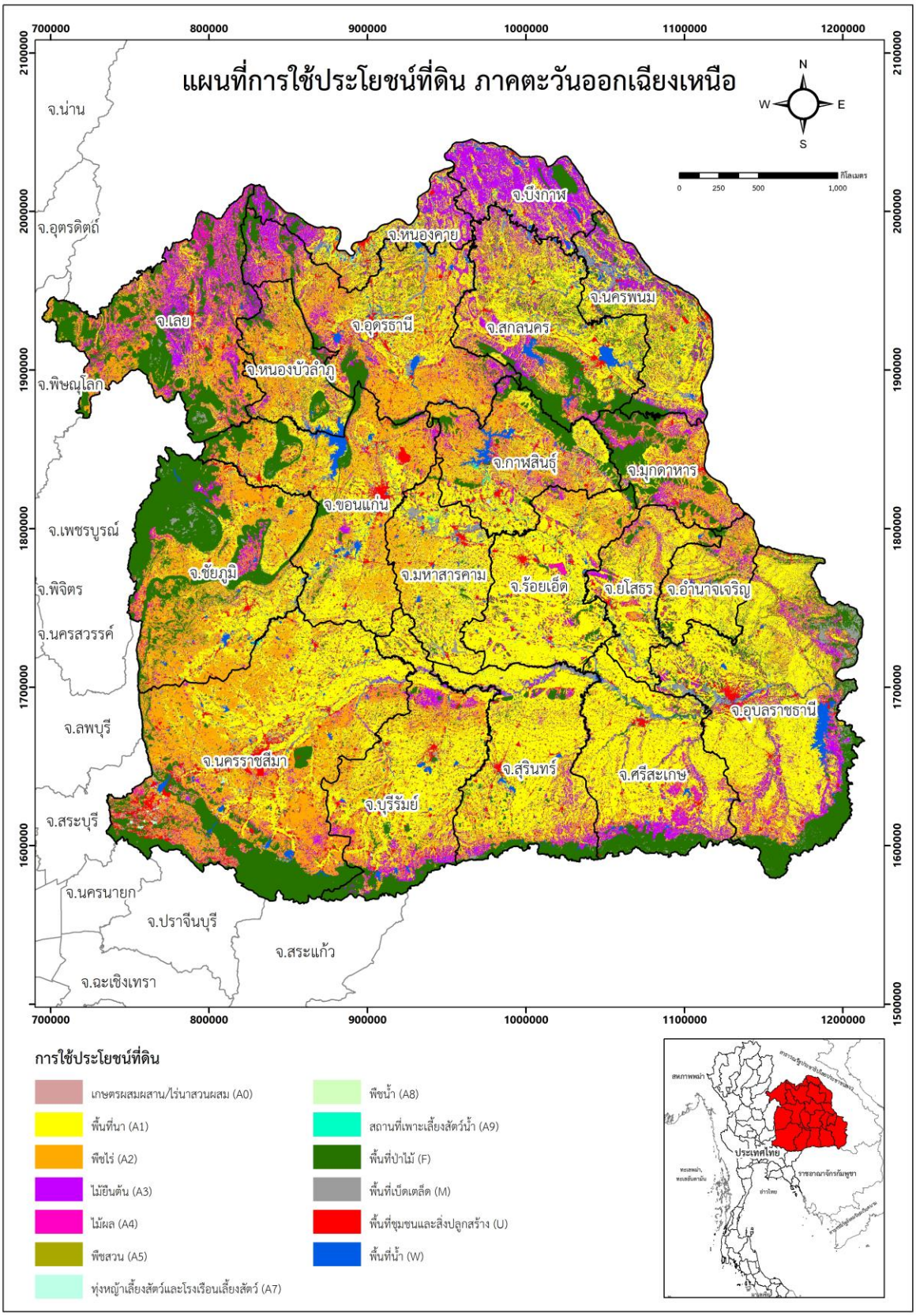
ภาพที่ 9 แผนที่ตั้งและอาณาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2543)

สภาพการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ข้อมูลการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวบรวมจากข้อมูลการใช้ที่ดินระดับจังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น ชัยภูมิ นครพนม บุรีรัมย์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ อุดรธานี และอุบลราชธานี (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2565) จังหวัดกาฬสินธุ์ นครราชสีมา ยโสธร หนองคาย มุกดาหาร อำนาจเจริญ หนองบัวลำภู และบึงกาฬ (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2566) พบว่ามีพื้นที่เกษตรกรรม 73,938,970 ไร่ (ร้อยละ 70.07) โดยส่วนใหญ่เป็นนาข้าว พื้นที่ 41,566,497 ไร่ (ร้อยละ 39.39) รองลงมาเป็นพืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และภาพที่ 10)

ตารางที่ 4 ประเภทการใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
A พื้นที่เกษตรกรรม	**73,938,970**	**70.07**
A0 เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	63,466	0.06
A1 พื้นที่นา	41,566,497	39.39
A2 พืชไร่	19,995,164	18.95
A3 ไม้ยืนต้น	10,469,239	9.92
A4 ไม้ผล	1,084,503	1.03
A5 พืชสวน	163,872	0.16
A6 ไร่หมุนเวียน	597	0.00
A7 ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	402,915	0.38
A8 พืชน้ำ	906	0.00
A9 สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	191,811	0.18
F พื้นที่ป่าไม้	**17,117,704**	**16.22**
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด	**3,813,800**	**3.61**
U พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	**6,459,971**	**6.12**
W พื้นที่น้ำ	**4,203,515**	**3.98**
ผลรวมทั้งหมด	**105,533,960**	**100.00**



ภาพที่ 10 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ที่มา: ดัดแปลงจากกลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (2565; 2566)

ลักษณะภูมิอากาศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งอยู่ในเขตละติจูดต่ำ และได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตามฤดูกาล ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพายุดีเปรสชั่น จึงทำให้มีภูมิอากาศแบบเขตร้อนที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย (Tropical low rainfall) และมรสุมที่มีความเปียกชื้นสลับกัน (Wet-dry monsoonal climate) หรือแบบฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดู (Tropical savannah climate: Aw) ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ และจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีอากาศหนาว แห้งแล้ง ซึ่งพัดมาจากบริเวณไหล่ทวีปเอเชีย เกิดปกคลุมไปทั่วภาค ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายนจะพัดเอาอากาศชื้นอบอุ่นจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามา ดังนั้น จึงสามารถแบ่งฤดูกาลได้เป็น 3 ฤดูกาล ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2527)

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนปลายเดือนพฤษภาคม หรือต้นเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนตุลาคม เกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของภูเขาของที่สูงตอนกลางของประเทศซึ่งอยู่ทางตะวันตกของที่ราบสูงนี้ และเทือกเขาพนมดงรักทางใต้ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จึงปะทะกับเทือกเขาซึ่งเป็นสิ่งกีดขวางนี้ จึงทำให้ฝนมีปริมาณน้อย แต่ปริมาณน้ำฝนที่ตกมากเป็นฝนที่เกิดจากพายุดีเปรสชั่นซึ่งเคลื่อนเข้ามาจากทะเลจีนใต้ทางอ่าวตังเกี๋ยผ่านเวียดนามเข้ามา

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับกระแสลมจากประเทศจีนซึ่งพัดเข้ามาทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ นำเอามวลอากาศเย็นและแห้งปราศจากไอน้ำเข้ามา ทำให้ตอนเหนือมีอากาศหนาวเย็นมาก ส่วนทางตอนใต้ อุณหภูมิอากาศไม่ค่อยหนาวมากเท่าตอนเหนือ เนื่องจากมวลอากาศเย็นที่พัดพามาได้ลดความเย็นลงมามากแล้ว

ฤดูร้อน เริ่มจากกลางเดือนกุมภาพันธ์จนถึงปลายเดือนพฤษภาคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดจากทะเลจีนใต้และอ่าวไทย และเนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือตั้งอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินห่างจากอ่าวไทยมาก ประกอบกับระยะนี้ประเทศไทยได้รับแสงแดดมากที่สุด จึงมีอากาศร้อนและแห้งมาก

จากข้อมูลสถิติลักษณะภูมิอากาศโดยเฉลี่ยในปี 2567 ของสถานีตรวจอากาศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 20 สถานี (ข้อมูลอากาศจาก NASA) มีลักษณะข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 สถิติลักษณะภูมิอากาศปี พ.ศ. 2567 ของสถานีตรวจอากาศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ							
เดือน	อุณหภูมิ (° C)			ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (มม.)	1/2 ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (มม.)	ปริมาณน้ำฝน (mm)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย				
มกราคม	30.2	17.7	23.4	63.0	60.7	31.8	3.6
กุมภาพันธ์	35.5	21.2	27.9	54.0	70.8	35.4	43.8
มีนาคม	35.9	23.6	29.4	56.9	82.4	41.2	55.8
เมษายน	40.9	27.8	34.1	45.8	100.5	50.3	10.0
พฤษภาคม	34.6	26.3	30.2	70.6	90.1	45.1	233.4
มิถุนายน	31.6	24.7	27.8	82.5	79.5	39.8	174.8
กรกฎาคม	29.9	24.2	26.7	87.6	75.8	37.9	269.0
สิงหาคม	30.4	24.3	27.1	87.3	74.7	37.3	214.9
กันยายน	30.1	24.1	26.8	88.2	69.2	34.6	356.8
ตุลาคม	29.6	23.0	25.4	85.6	65.6	32.8	69.4
พฤศจิกายน	29.3	21.9	24.1	81.0	59.9	29.9	8.0
ธันวาคม	28.8	19.9	22.0	70.3	63.0	31.5	1.4
รวม/เฉลี่ย	32.2	23.2	27.1	72.7	892.2	447.5	1,441.2

อุณภูมิเฉลี่ยรายปี บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีประมาณ 27.1 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีต่ำสุดในเดือนมกราคม ประมาณ 17.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีสูงสุดในเดือนเมษายน ประมาณ 40.9 องศาเซลเซียส พบว่า บริเวณจังหวัดสุรินทร์ มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีสูงสุดประมาณ 28.3 องศาเซลเซียส และจังหวัดบึงกาฬมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด ประมาณ 24.8 องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิสูงสุด มีค่าเฉลี่ย 32.2 องศาเซลเซียส โดยเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่ร้อนจัดที่สุดในรอบปี พบว่าบริเวณจังหวัดสุรินทร์เป็นจังหวัดที่ร้อนมากที่สุด มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 33.5 องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิต่ำสุด มีค่าเฉลี่ย 23.2 องศาเซลเซียส โดยเดือนธันวาคมและมกราคมจะเป็นเดือนที่หนาวที่สุดในรอบปี พบว่าบริเวณจังหวัดบึงกาฬเป็นจังหวัดที่หนาวมากที่สุด มีอุณภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 20.8 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี มีค่าประมาณ 72.7 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นของอากาศจะลดต่ำลงอย่างชัดเจน ตั้งแต่ย่างเข้าฤดูหนาวกระทั้งถึงปลายฤดูร้อน ในช่วงนี้อากาศจะแห้งมาก ความชื้นสัมพัทธ์ส่วน

ใหญ่ของภาคมีค่าอยู่ระหว่าง 60-80 เปอร์เซ็นต์ เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในฤดูฝนอากาศมีความชื้นอยู่ในเกณฑ์สูง โดยเดือนกันยายนจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ จังหวัดอุบลราชธานีมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดในเดือนกันยายนประมาณ 89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนจังหวัดสุรินทร์ มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนเป็นอย่างมาก

ปริมาณการคายระเหยน้ำตลอดปีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าประมาณ 892 มิลลิเมตร โดยจังหวัดศรีสะเกษ มีค่าเฉลี่ยตลอดปีสูงสุดประมาณ 955 มิลลิเมตร และมีค่าต่ำสุดบริเวณจังหวัดนครพนมประมาณ 754 มิลลิเมตร เดือนเมษายนมีค่าปริมาณการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ยสูงสุด มีค่าประมาณ 100.5 มิลลิเมตรและเดือนพฤศจิกายนมีค่าต่ำสุดประมาณ 59.9 มิลลิเมตร

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีทั้งภาคมีค่าประมาณ 1,442 มิลลิเมตร เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดได้แก่ เดือนกันยายน วัดปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยได้ 356.8 มิลลิเมตร เดือนธันวาคมมีฝนตกน้อยที่สุด โดยมีฝนตกเล็กน้อยเพียงบางวันและมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1.4 มิลลิเมตร

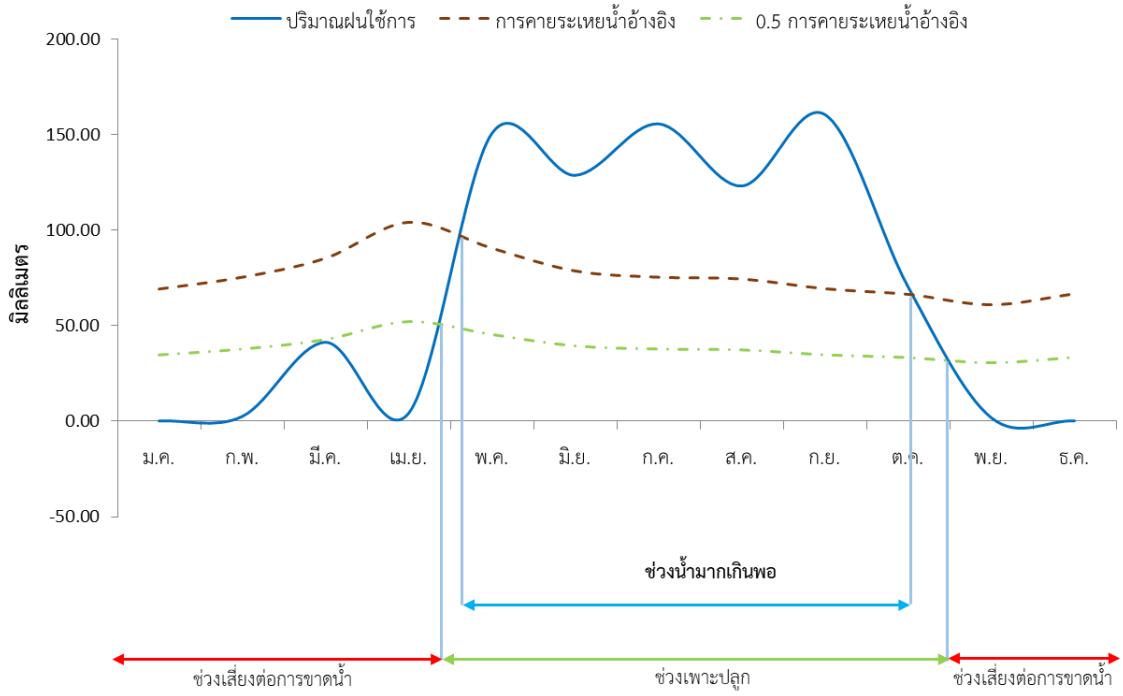
สมดุลน้ำเพื่อการเกษตร จากลักษณะข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง (Evapotranspiration: Eto) และ 1/2 ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง นำมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนกับค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง เพื่อหาสมดุลน้ำทางการเกษตร โดยกำหนดว่าช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าค่าครึ่งหนึ่งของค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง ถือว่าดินมีความชื้นเพียงพอที่จะปลูกพืชได้ และช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำฝนมากกว่าค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง ถือว่าเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนมากเกินความต้องการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการปลูกพืช (บุญมา, 2546) ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากความเสียหายอันเกิดจากขึ้นจากปัญหาน้ำท่วม และการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง

การวิเคราะห์ช่วงฤดูเพาะปลูกโดยใช้กราฟสมดุลของน้ำเพื่อการเกษตร เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช โดยแสดงช่วงขาดน้ำ และน้ำมากเกินพอในรอบปีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย และ ค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิงรายเดือนเฉลี่ย ซึ่งคำนวนโดยใช้โปรแกรม CROPWAT for Windows Version 4.3 (Smith, 1992) และพิจารณาระยะเวลาช่วงที่เส้นน้ำฝนอยู่เหนือเส้น 1/2 Eto เป็นหลัก เพื่อหาช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช (ภาพที่ 11-30) สรุปได้ดังนี้

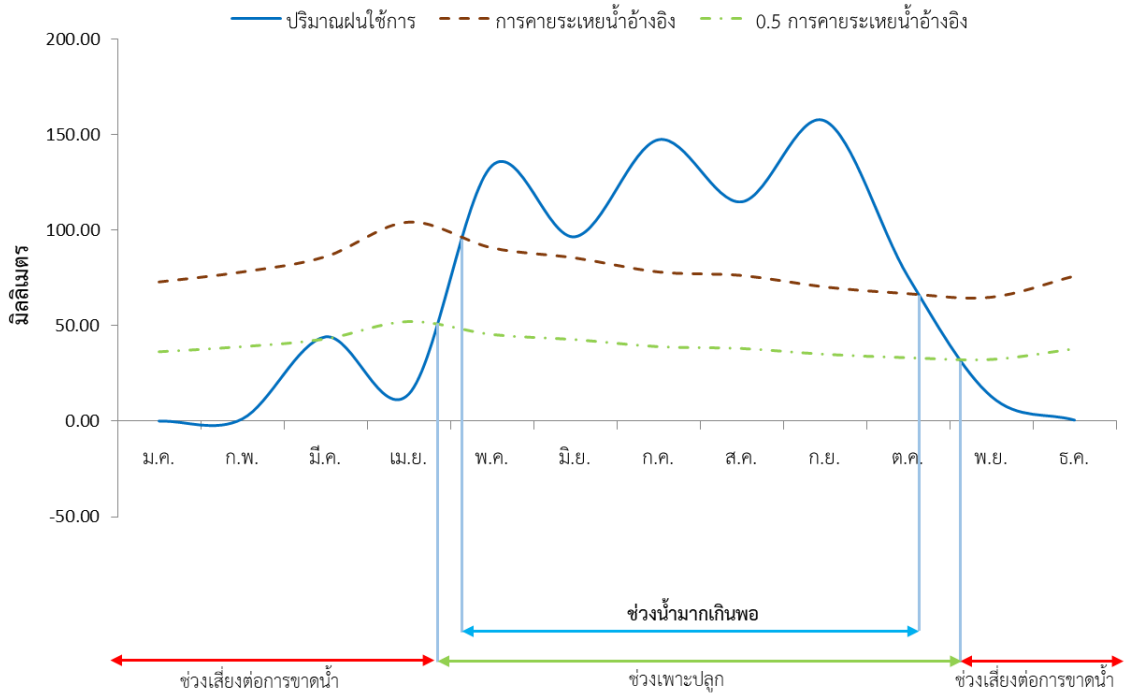
1. ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเพาะปลูกจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ปลายเดือนเมษายนถึงกลางเดือนตุลาคม ส่วนในช่วงเดือนพฤศจิกายน เป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนเพียงเล็กน้อยแต่เนื่องจากมีปริมาณน้ำสำรองไว้ในดินจึงมีความชื้นในดินเพียงพอสำหรับปลูกพืชอายุสั้นได้แต่ควรมีการวางแผนจัดการระบบการเพาะปลูกให้เหมาะสมสำหรับพื้นที่เพาะปลูกแต่ละแหล่ง เนื่องจากอาจต้องอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำในไร่นาหรือน้ำชลประทานช่วยในการเพาะปลูก

2. ช่วงเวลาที่ความชื้นในดินมีมากเกินพออยู่ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนตุลาคม ในช่วงนี้อาจมีน้ำท่วมขังได้ เสี่ยงต่อพืชที่ไม่ชอบน้ำขัง

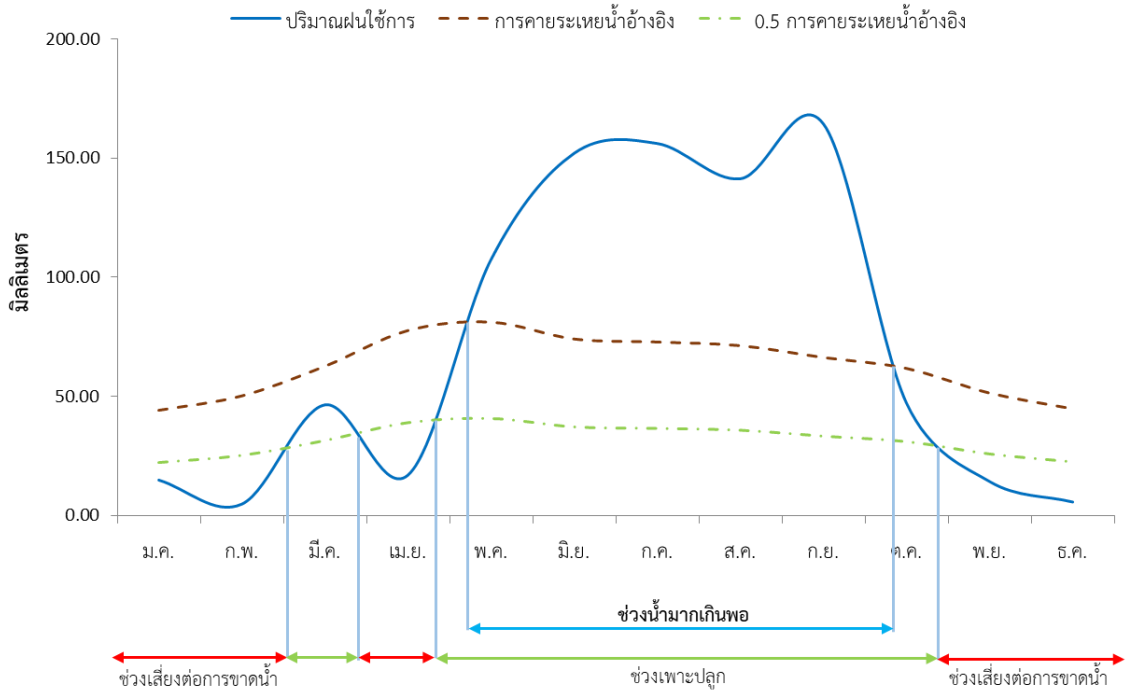
3. ช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก อยู่ในช่วงต้นเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนเมษายน เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนและการกระจายของฝนน้อย ดินมีความชื้นไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มีบางพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำมากพอที่จะปลูกพืชที่อายุสั้นๆ ได้ ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวถ้าพื้นที่เพาะปลูกแห่งใดมีการจัดการระบบชลประทานที่ดีก็สามารถปลูกพืชทนแล้งได้



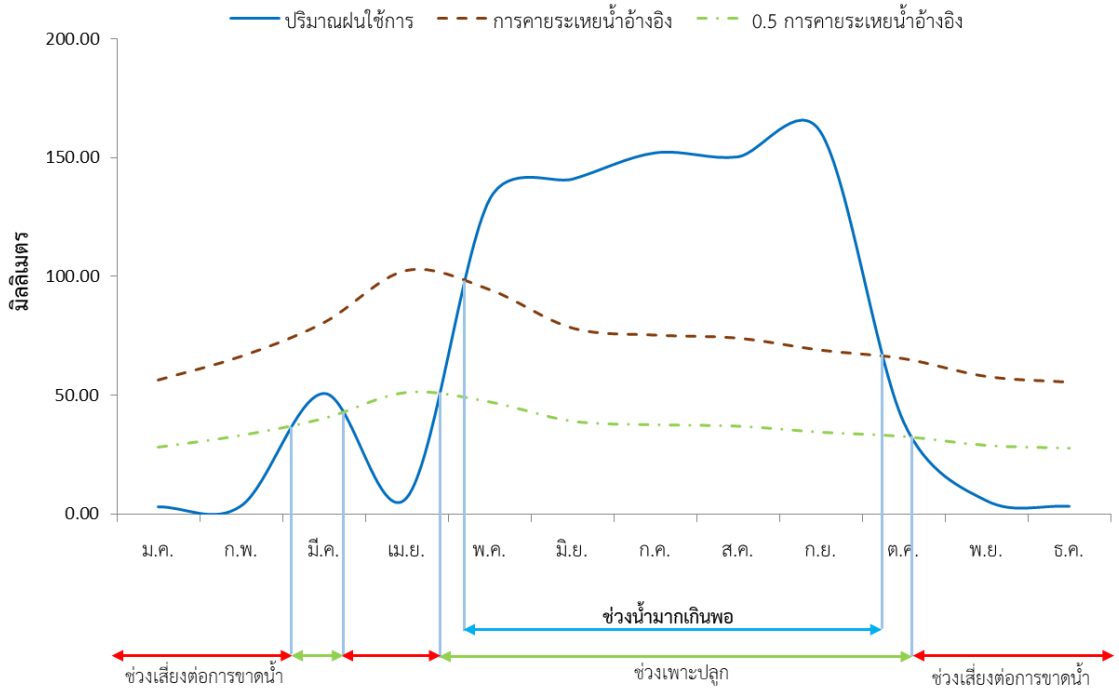
ภาพที่ 11 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดอำนาจเจริญ



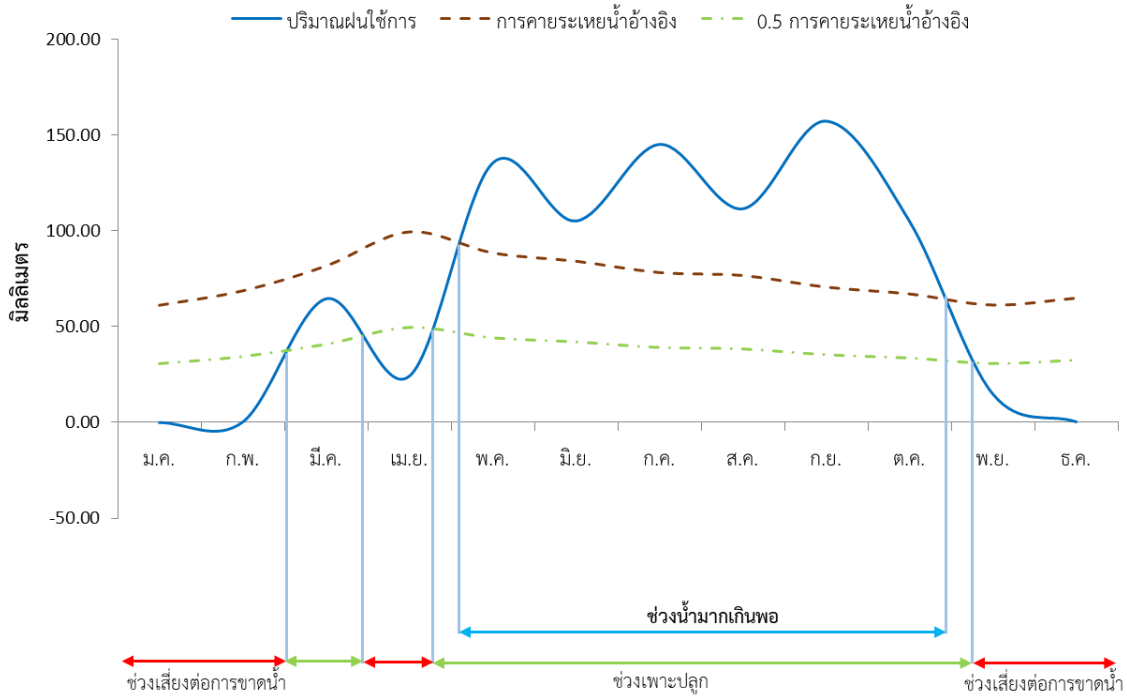
ภาพที่ 12 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดบุรีรัมย์



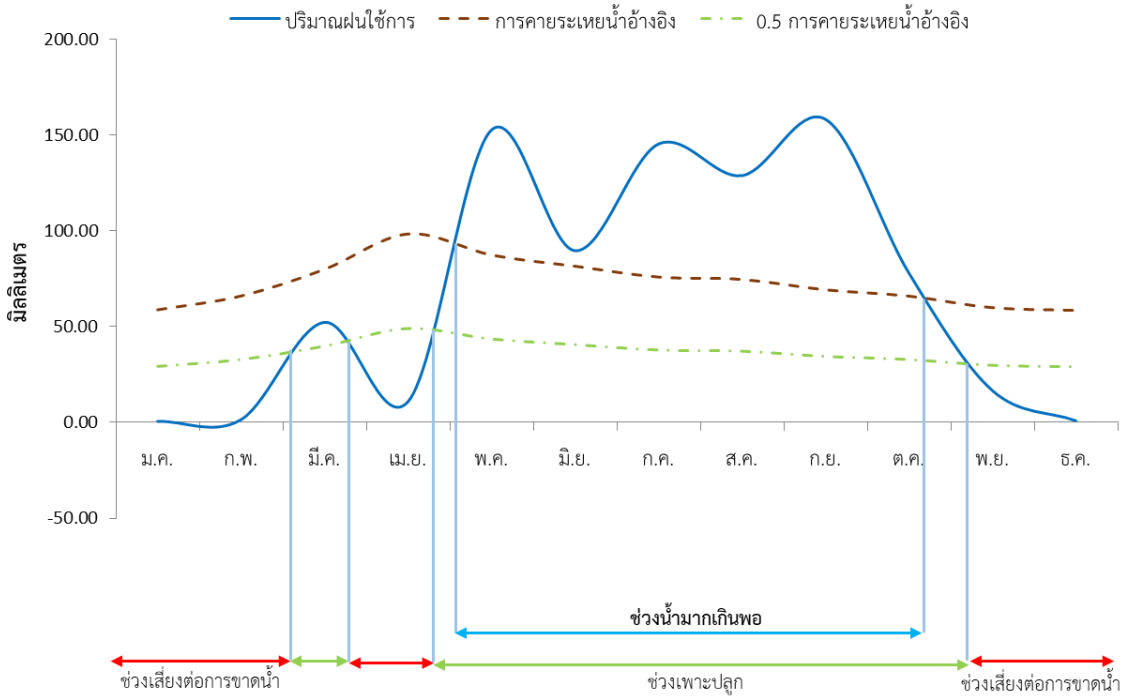
ภาพที่ 13 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดบึงกาฬ



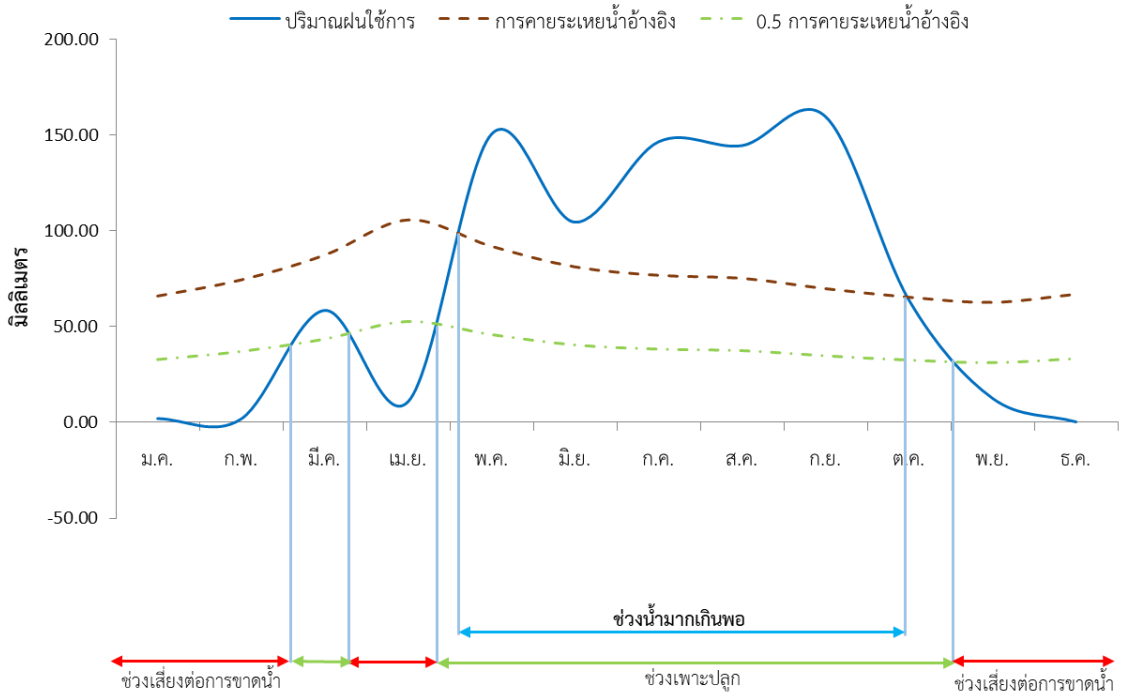
ภาพที่ 14 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดสกลนคร



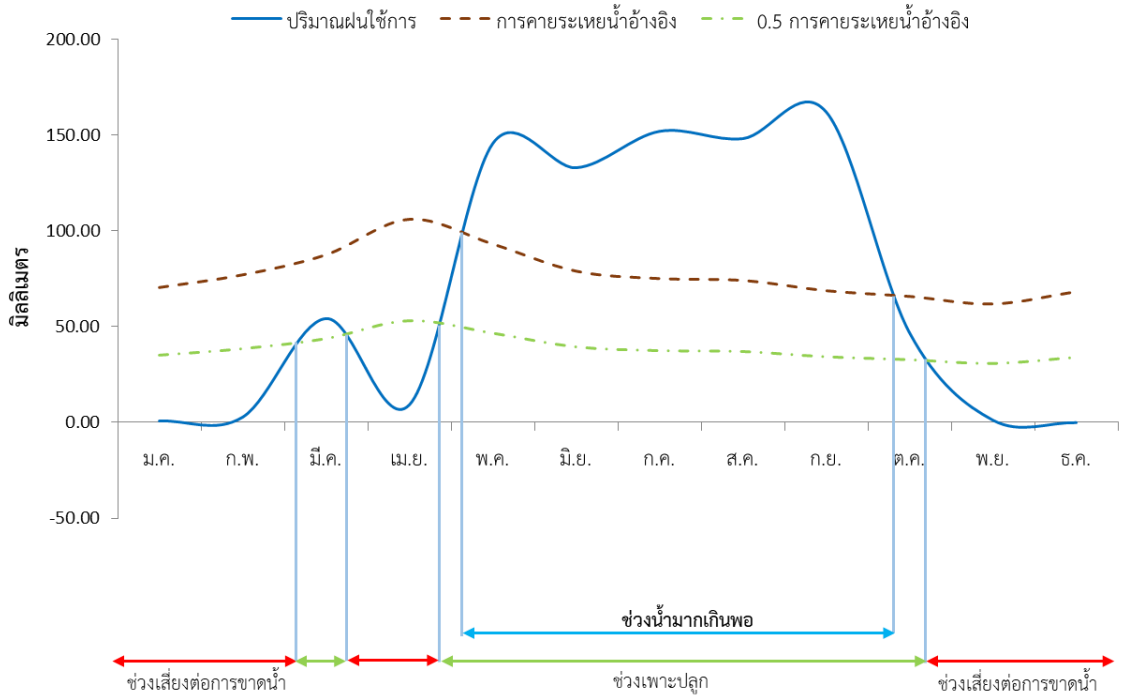
ภาพที่15 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา



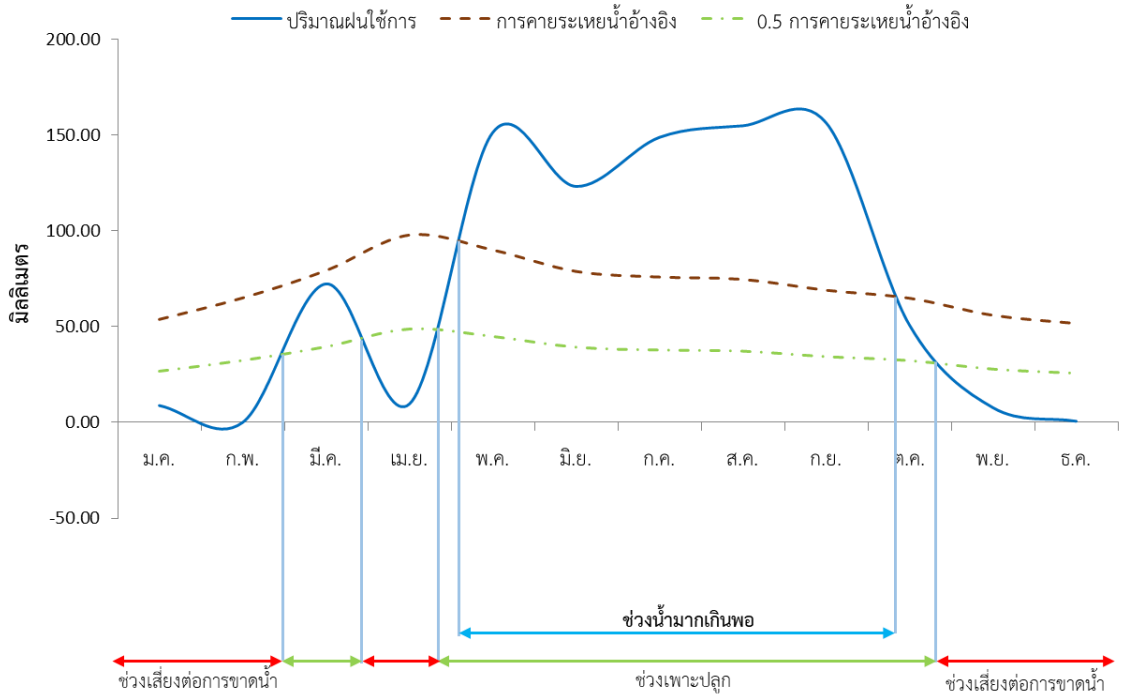
ภาพที่ 16 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดชัยภูมิ



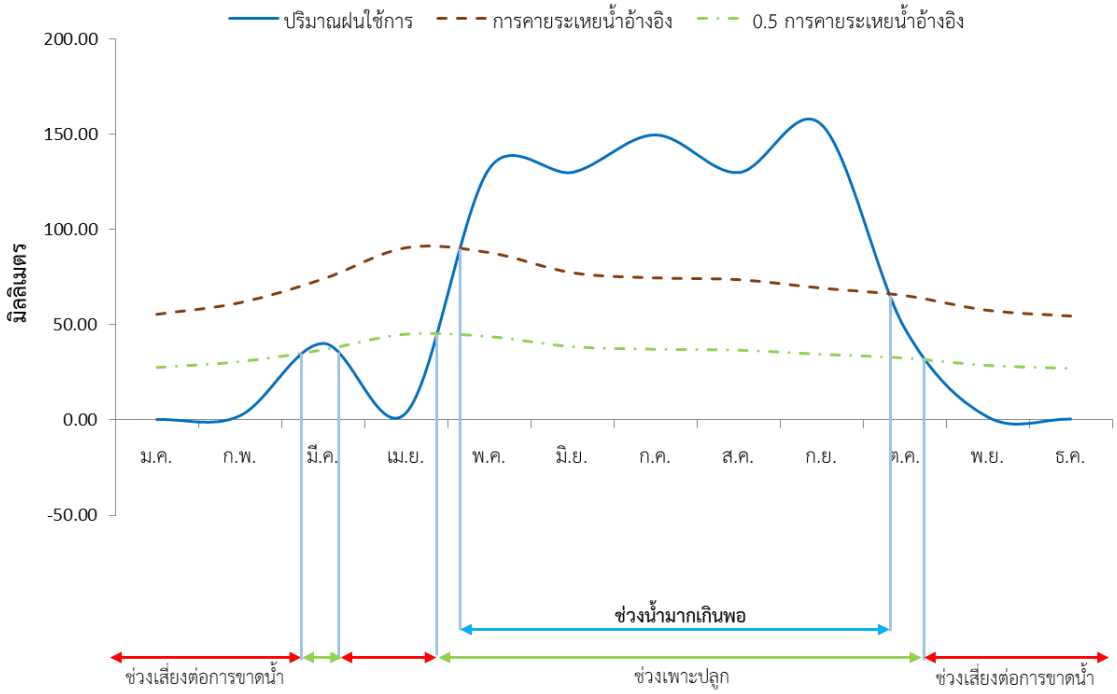
ภาพที่ 17 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดขอนแก่น



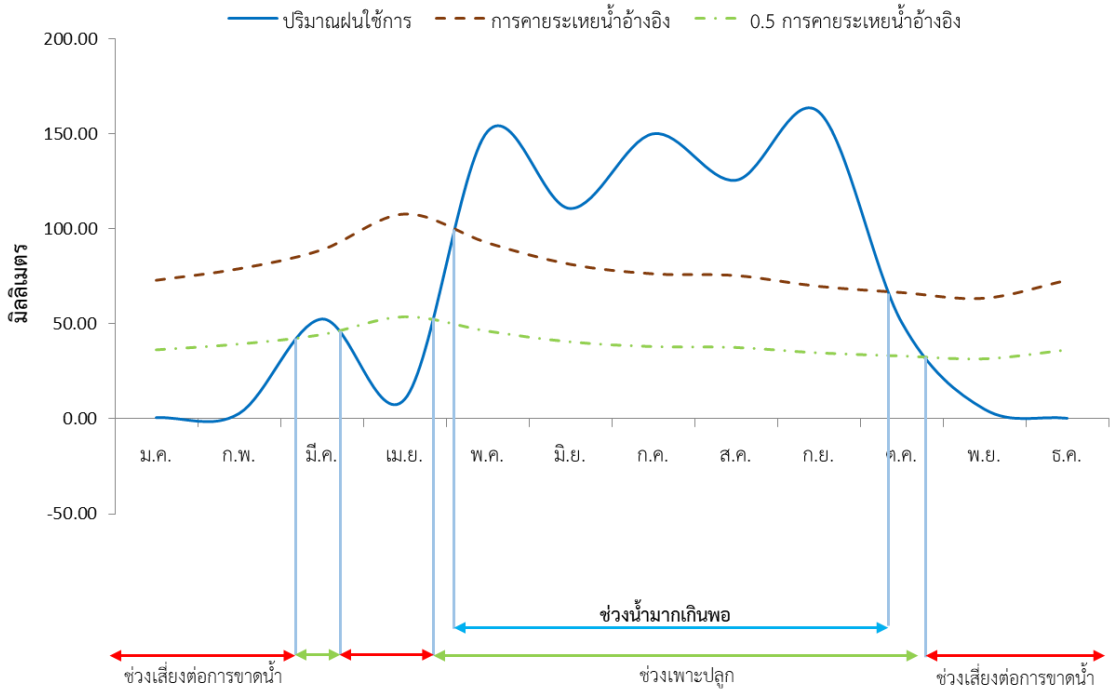
ภาพที่ 18 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดกาฬสินธุ์



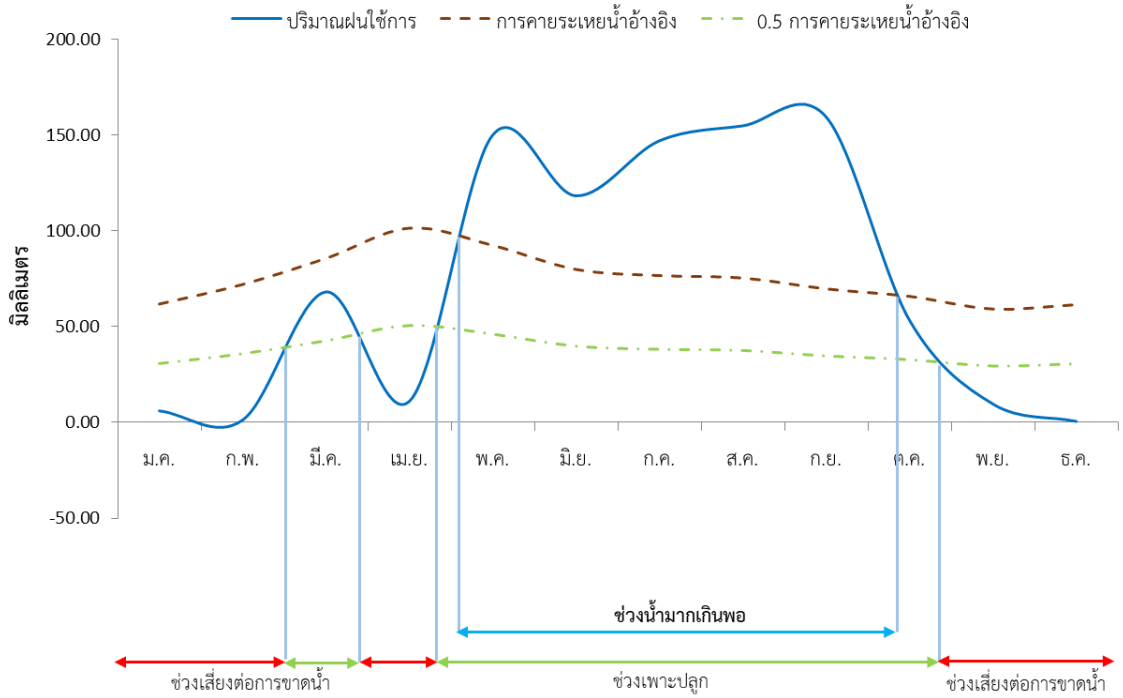
ภาพที่ 19 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดเลย



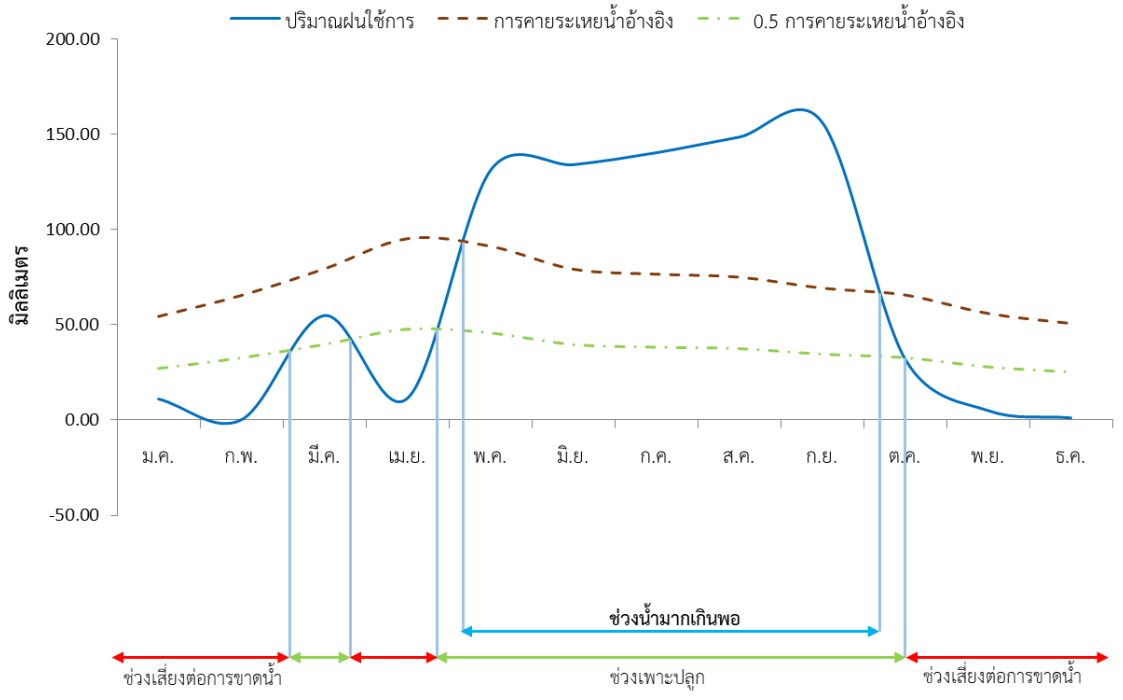
ภาพที่ 20 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดมุกดาหาร



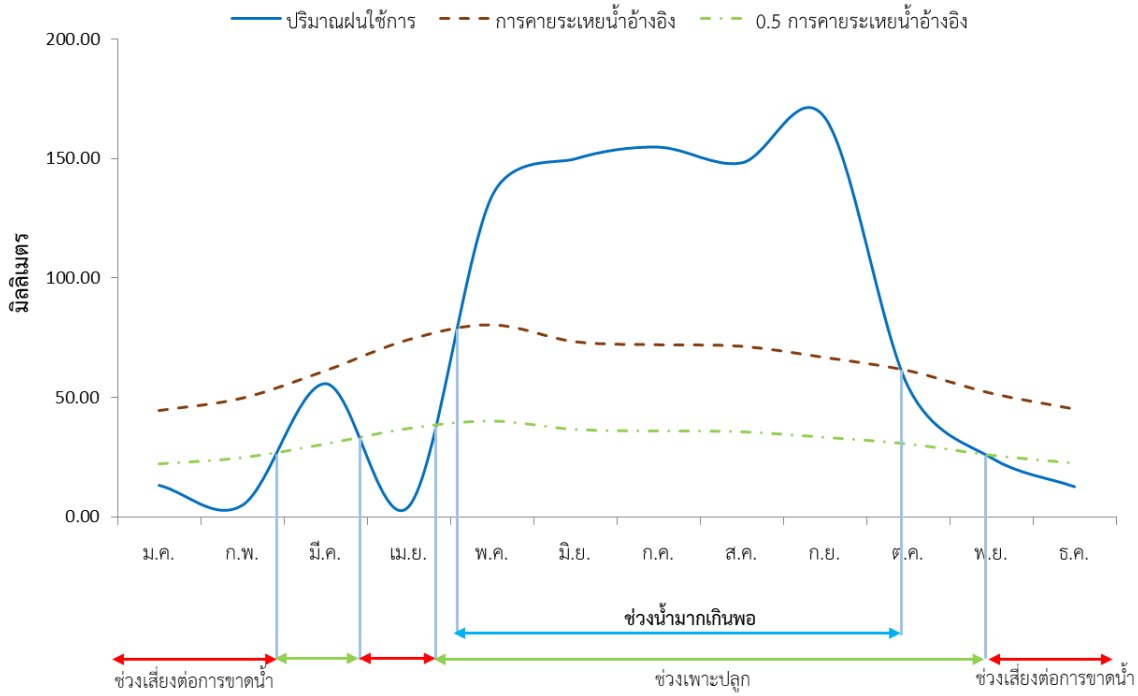
ภาพที่ 21 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดมหาสารคาม



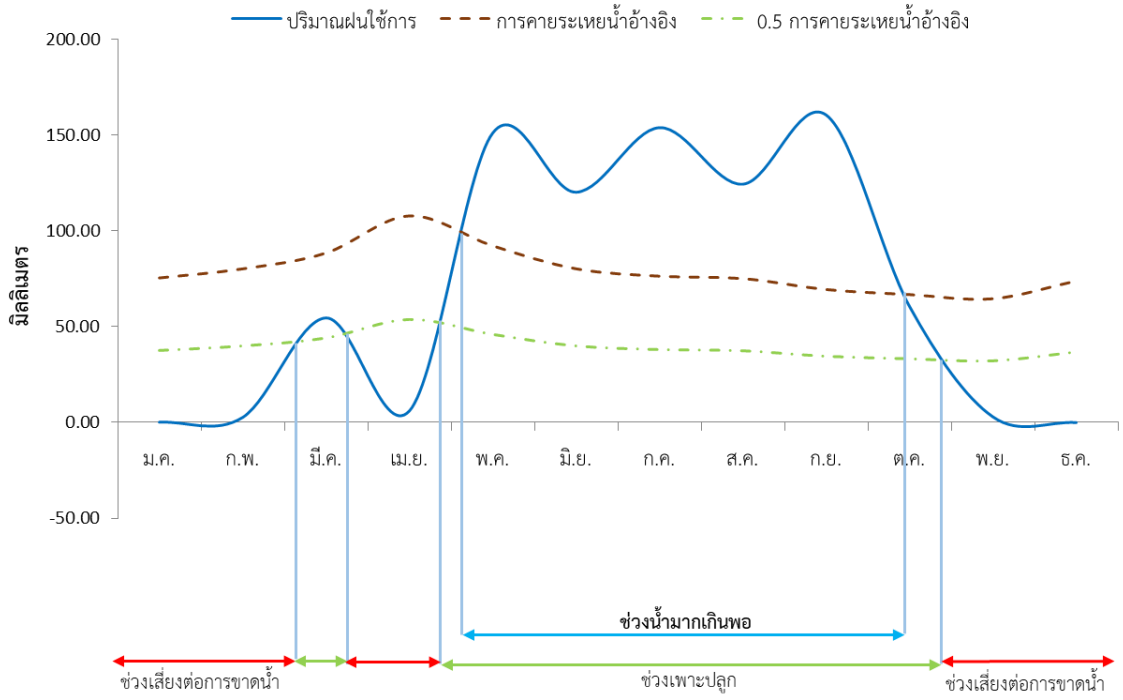
ภาพที่ 22 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดหนองบัวลำภู



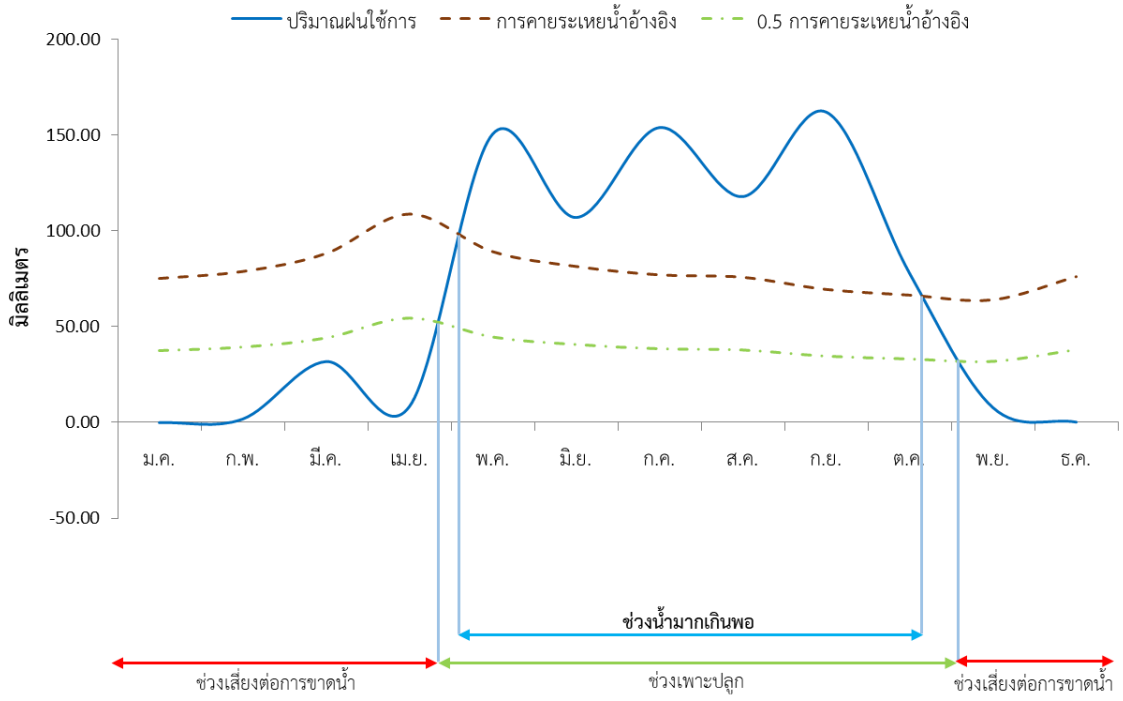
ภาพที่ 23 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดหนองคาย



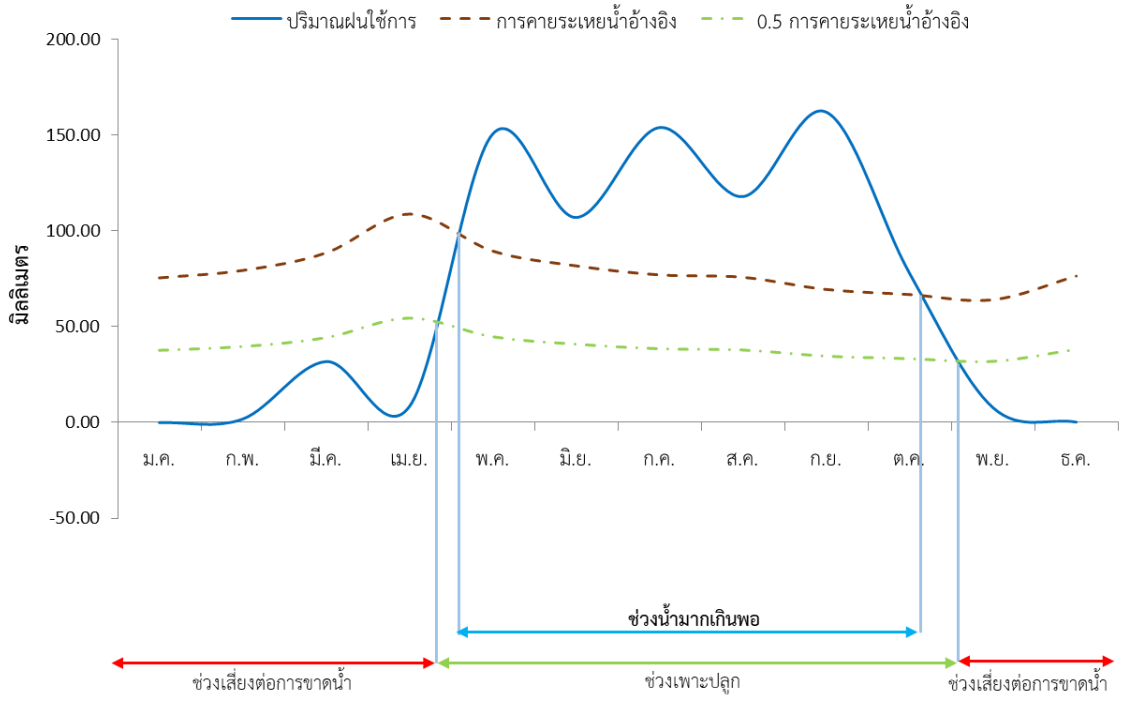
ภาพที่ 24 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดนครพนม



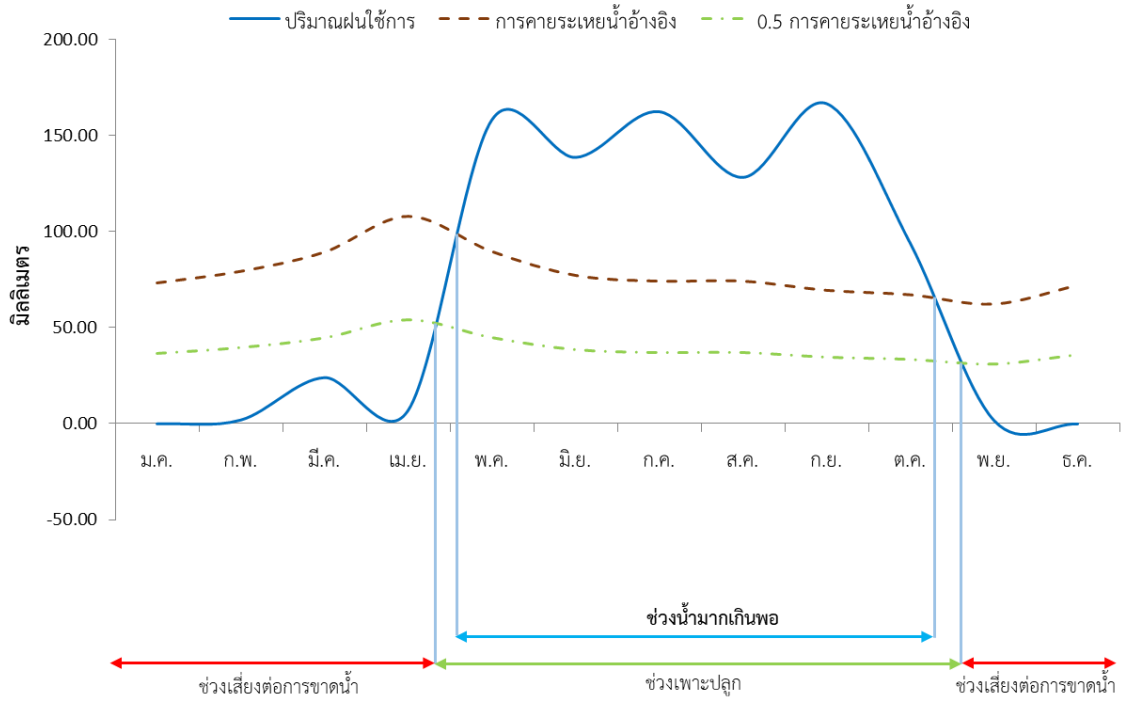
ภาพที่ 25 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดร้อยเอ็ด



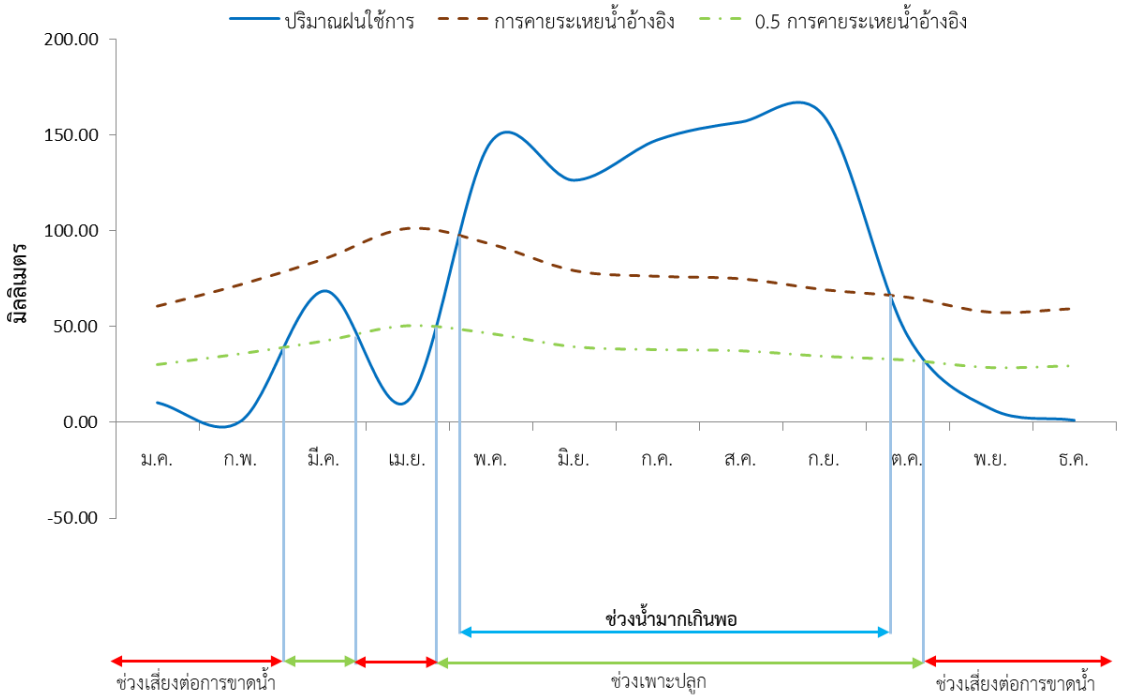
ภาพที่ 26 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดสุรินทร์



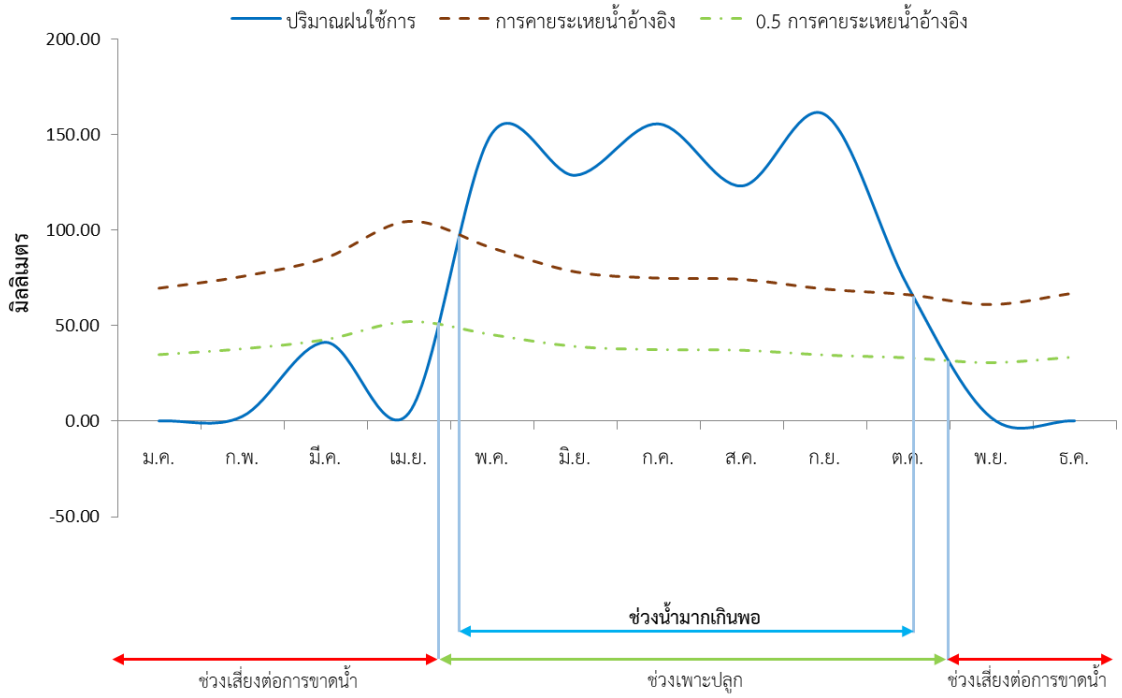
ภาพที่ 27 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรสถานีเกษตรศรีสะเกษ



ภาพที่ 28 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ 29 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดอุดรธานี



ภาพที่ 30 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตรจังหวัดยโสธร

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากฐานข้อมูลทรัพยากรดินของกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (256 2) พบว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แจกกระจายในพื้นที่ 9 จังหวัด มีเนื้อที่รวม 2,258,959 ไร่ พบมากที่สุดในจังหวัดนครราชสีมา รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น ร้อยเอ็ด และมหาสารคาม ซึ่งเป็นพื้นที่ในแอ่งโคราช มีด้วยกัน 5 ชุดดิน เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินกุลาร้องไห้ (Ki) ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ (Tsr) ชุดดินประทาย (Pt) ชุดดินขามทะเลสอ (Kts) และชุดดินอุดร (Ud) นอกจากนี้ยังพบดินที่มีลักษณะไม่เข้าเกณฑ์การจำแนกเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามระบบอนุกรมวิธานดิน แต่เกี่ยวข้องกับการสะสมเกลือเนื่องจากพบคราบเกลือบนผิวดิน จึงนำลักษณะดังกล่าวมาจำแนกในระดับประเภทดิน (soil phase) เรียงตามลำดับเนื้อที่มากไปหาน้อย ดังนี้ ชุดดินหนองบุญนากที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nbn/sa) ชุดดินร้อยเอ็ดที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Re/sa) ชุดดินอุบลที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ub/sa) ชุดดินหนองกุงที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nkg/sa) ชุดดินโนนแดงที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Ndg/sa) ชุดดินโนนไทยที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Nt/sa) และชุดดินท่าตูมที่มีคราบเกลือบนผิวดิน (Tt/sa) มีเนื้อที่รวม 210,932 ไร่ รวมดินทั้งสองประเภทมีเนื้อที่ 2,469,891 ไร่ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 เนื้อที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินที่มีคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	จังหวัด	หน่วยแผนที่	เนื้อที่ (ไร่)
1	กาฬสินธุ์	Ki, Pt, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Re/sa	18,418
2	ขอนแก่น	Ki, Pt, Tsr, Re/sa, Ub/sa	374,509
3	ชัยภูมิ	Ki, Tsr	44,071
4	นครราชสีมา	Ki, Pt, Kts, Tsr, Nbn/sa, Ndg/sa, Nkg/sa, Nt/sa	1,409,878
5	บุรีรัมย์	Ki, Pt, Ub/sa	21,716
6	มหาสารคาม	Ki, Pt, Tsr, Tt/sa	187,814
7	ร้อยเอ็ด	Ki, Pt	248,789
8	สุรินทร์	Ki, Pt	99,585
9	อุดรธานี	Ud, Nbn/sa, Re/sa	53,551
10	สกลนคร	Re/sa	3,217
11	หนองคาย	Nbn/sa	8,343
รวม			2,469,891

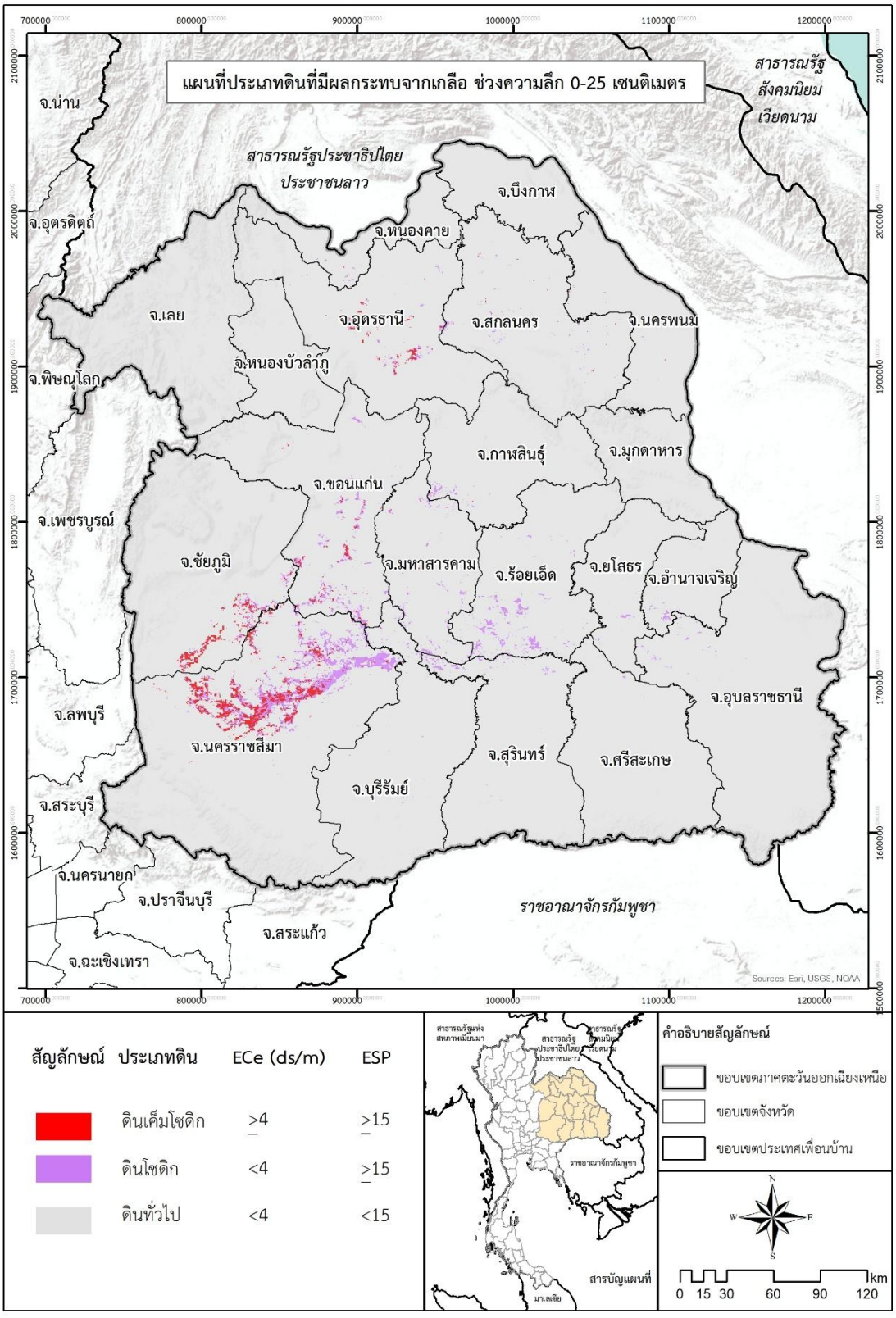
ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งเกลือมาจากการละลายของเกลือหิน หรือจากน้ำใต้ดินที่มีเกลือละลายน้ำอยู่มาก มีความสัมพันธ์กับชั้นเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามที่รองรับอยู่ข้างล่าง (Wongsomsak, 1986) เมื่อหินสลายตัวผุพังแล้วปลดปล่อยเกลืออิสระ (free salt portion) ออกมา (Sinanuwong and Takaya, 1974) สมศรี (2542) พบว่าในพื้นที่เดียวกันดินมีความเค็มไม่สม่ำเสมอแตกต่างกันระหว่างชั้นดินและเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เกลือเคลื่อนที่ขึ้นมาสะสมในชั้นดินบนช่วงฤดูแล้ง แต่จะถูกชะกลับไปสะสมที่ชั้นดินล่าง ทำให้ดินมีความเค็มลดลงช่วงฤดูฝน

ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

นฤกมลและคณะ (2567) ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อคาดการณ์ระดับความเค็มและความเป็นโซดิกของดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่ามีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มี 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก และมีเนื้อที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นความลึกของดิน และมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกแตกต่างกัน (ตารางที่ 7 และภาพที่ 31-33) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นดินโซดิก ดินล่างเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือมากกว่าดินบน และดินบนมีแนวโน้มเป็นดินเค็มโซดิกมากกว่าดินล่าง มีรายละเอียดแต่ละช่วงความลึกของดิน ดังนี้

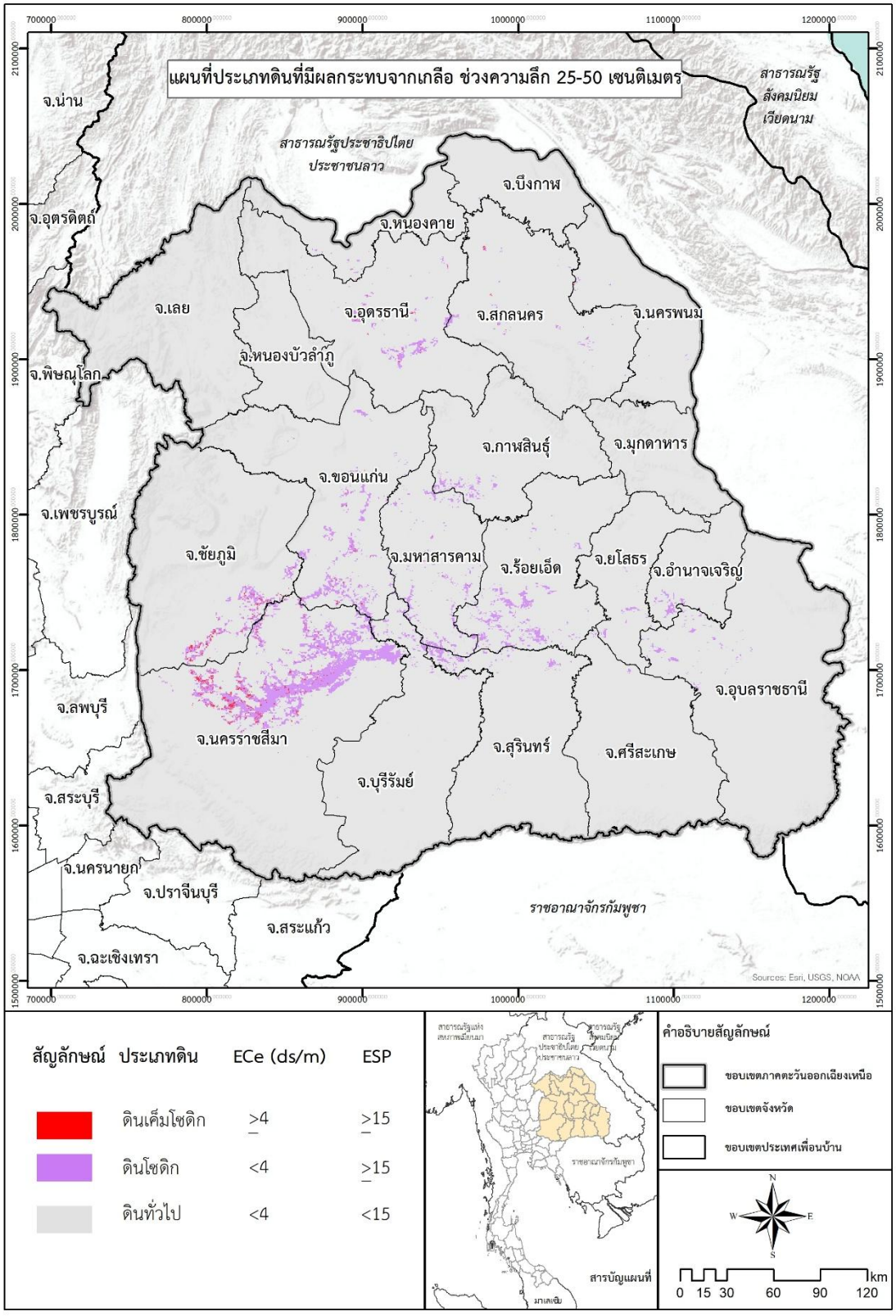
ตารางที่ 7 เนื้อที่ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความลึกของดิน (cm)	เนื้อที่ (ไร่)				
	ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ			ดินอื่น ๆ	รวมทั้งภาค
	ดินเค็มโซดิก	ดินโซดิก	รวม		
0-25	598,429	1,317,220	1,915,649	102,908,751	104,824,400
	ร้อยละ 0.571 ของภาค	ร้อยละ 1.257 ของภาค	ร้อยละ 1.828 ของภาค	ร้อยละ 98.173 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 31.239 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 68.761 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
25-50	126,931	2,503,673	2,630,604	102,193,796	104,824,400
	ร้อยละ 0.121 ของภาค	ร้อยละ 2.388 ของภาค	ร้อยละ 2.509 ของภาค	ร้อยละ 97.490 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 4.825 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 95.175 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		
50-100	130,125	2,350,445	2,480,570	102,343,830	104,824,400
	ร้อยละ 0.124 ของภาค	ร้อยละ 2.242 ของภาค	ร้อยละ 2.366 ของภาค	ร้อยละ 97.634 ของภาค	ร้อยละ 100
	ร้อยละ 5.246 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 94.754 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ร้อยละ 100 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ		



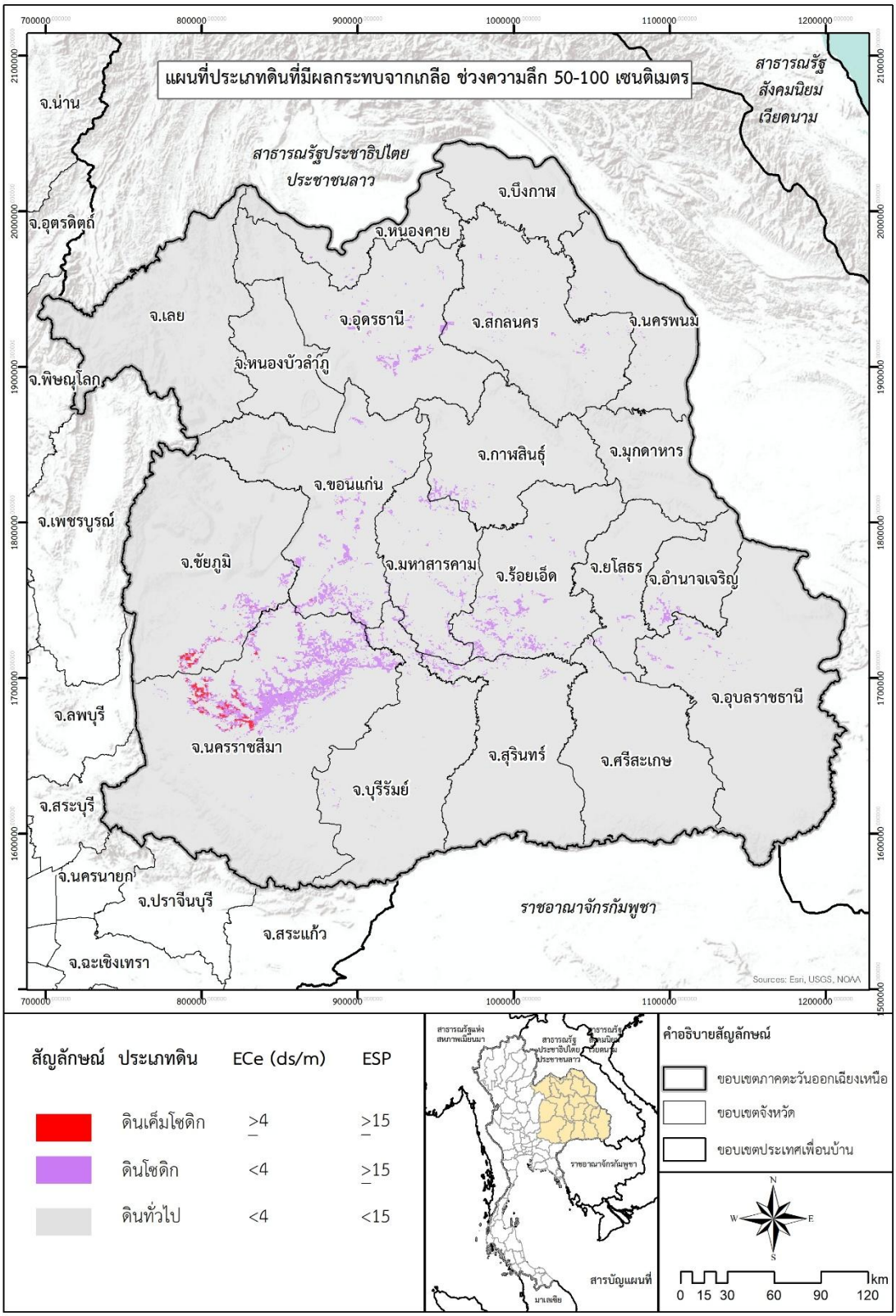
ภาพที่ 31 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร

ที่มา: นฤกมลและคณะ (2569)



ภาพที่ 32 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร

ที่มา: นฤกมลและคณะ (2569)



ภาพที่ 33 แผนที่ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร

ที่มา: นฤกมลและคณะ (2569)

ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินการ

1. ระยะเวลาดำเนินการ

เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2566 - มีนาคม พ.ศ. 2569

2. สถานที่ดำเนินการ

บริเวณที่มีผลกระทบและไม่มีผลกระทบจากเกลือ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่

1.1 แผนที่ขอบเขตการปกครอง (กรมการปกครอง, 2556)

1.2 แผนที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000 (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2562) และข้อมูลคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพของดิน

1.3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000 (กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน, 2563)

1.4 ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ใช้ข้อมูลจาก NASA ย้อนหลัง 1 ปี (https://power.larc.nasa.gov) ปี พ.ศ. 2567

1.5 ข้อมูลพืช ได้แก่ ข้อมูลค่าความต้องการพืช ค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช และการจัดการสำหรับการปลูกพืช

1.6 ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดิน ได้แก่ อินทรียวัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม CEC %BS EC

2. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 สร้างแฟ้มข้อมูลนำเข้าโปรแกรม DSSAT เพื่อใช้ในการประเมินกำลังผลิตของดินสำหรับการปลูกพืช ประกอบด้วย 4 แฟ้มข้อมูล ได้แก่

2.1.1 แฟ้มข้อมูลดิน (TH.SOL) ทำการสร้างไฟล์ดินตัวแทนที่มีค่าความเค็มระดับต่างๆ จำนวน 63 หน่วยแผนที่ดิน เป็นประเภทดินหรือดินคล้ายของชุดดินหลัก ได้แก่ ชุดดินกุลาร้องไห้ ประทาย ขามทะเลสอ จักรราช นครพนม โพนพิสัย ร้อยเอ็ด ละหานทราย โนนแดง และชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์

2.1.2 แฟ้มข้อมูลภูมิอากาศรายวัน (*.WTH) สถานีจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 20 สถานี

2.1.3 แฟ้มข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic Coefficient; GC) ของข้าวไวต่อแสง ใช้พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นตัวแทน

2.1.4 แฟ้มงานทดลองพืช (FILEX) สำหรับการปลูกข้าว โดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จากการซ้อนทับข้อมูลแผนที่ดิน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแผนที่ภูมิอากาศ (Thiessen) ซึ่งสร้างจากจุดตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อใช้ข้อมูลภูมิอากาศเป็นตัวแทนสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่มาสร้างหน่วยแผนที่การจำลอง (Simulation Mapping Unit, SMU) ซึ่งแต่ละหน่วยแผนที่การจำลองประกอบด้วยข้อมูลตารางสัมพันธ์ (attribute table) ของรายชื่อชุดดินและรายชื่อเขตภูมิอากาศในพื้นที่ปลูกพืชที่ถูกกำกับด้วยชื่อรหัส (code

name) นำมาสร้างเป็นแฟ้มงานทดลองพืช (FILEX) โดยมีหน่วยแผนที่การจำลองแต่ละหน่วย เป็นตัวแทนเชิงพื้นที่ของชุดข้อมูลดินและภูมิอากาศ

เงื่อนไขการจำลองในการสร้าง FILEX สำหรับข้าว : ในการจำลองได้กำหนดการจัดการแปลงปลูก เช่น นาข้าว มีการไถกลบเศษเหลือวัชพืช ตลอดจนการใช้อินทรียวัตถุ เช่น พืชปุ๋ยสด ปุ๋ยหมัก และการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราและเวลาตามเกษตรกรจากการสัมภาษณ์

2.3. ประมวลผลการจำลองผลผลิตข้าวด้วยโปรแกรม DSSAT เพื่อใช้เป็นข้อมูลแสดงกำลังผลิตของดินที่ใช้ปลูกข้าวในดินเค็ม และทำการสัมภาษณ์ข้อมูลผลผลิตข้าว การจัดการระดับเกษตรกรและข้อมูลเศรษฐกิจ เพื่อนำข้อมูลมาหาค่าความเชื่อมั่นกับผลผลิตที่ประเมินจากโปรแกรมแบบจำลองการปลูกพืช

2.4. จัดทำสรุปรายงานและแผนที่ผลผลิตคาดการณ์ในพื้นที่ที่ดินมีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. การประเมินศักยภาพกำลังผลิตข้าวของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.1 ผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

จากผลการศึกษาจำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ นฤกมล และคณะ (2569) ในจังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น นครราชสีมา นครพนม ชัยภูมิ บึงกาฬ บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย อำนาจเจริญ อุดรธานี และอุบลราชธานี และวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าอีซีอี ค่าโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน มาคำนวณหาค่าอีเอสพี พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มี 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก มีเนื้อที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงชั้นความลึกของดิน และมีระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกแตกต่างกัน กล่าวคือ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 1,915,649 ไร่ แบ่งเป็นดินโซดิก เนื้อที่ 1,317,220 ไร่ หรือร้อยละ 68.76 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 31.24 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ในช่วงความลึก 25-50 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,630,604 ไร่ แบ่งเป็นดินโซดิก เนื้อที่ 2,503,673 ไร่ หรือร้อยละ 95.17 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 126,931 ไร่ หรือร้อยละ 4.83 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และในช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2,480,570 ไร่ แบ่งเป็น ดินโซดิก เนื้อที่ 2,480,570 ไร่ หรือร้อยละ 94.75 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 130,125 ไร่ หรือร้อยละ 5.25 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ สรุปได้ว่าดินมีสมบัติเป็นที่มีผลกระทบจากเกลือเพิ่มขึ้นในดินล่าง ดินเป็นดินโซดิกมากกว่าดินเค็มโซดิกและมีเนื้อที่ดินเค็มโซดิกลดลงและเป็นดินโซดิกเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาวิเคราะห์สมบัติดินในพื้นที่ที่มีผลกระทบจากเกลือร่วมกับข้อมูลการสำรวจแบบสอบถามการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 การจัดการดินและใส่ปุ๋ย ผลผลิตต่อไร่ จำนวน 63 จุดตัวอย่างแปลงเกษตรกร (ภาพที่ 34) ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและพื้นที่ทำนาทั่วไป ทำการประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ด้วยแบบจำลอง Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT เวอร์ชั่น 4.8.5 โดยประเมินคาดการณ์ผลผลิตจากข้อมูลดินทั้งทางเคมีและกายภาพ ภายใต้สภาพข้อมูลภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2567 (ตารางที่ 8-9) พบว่า

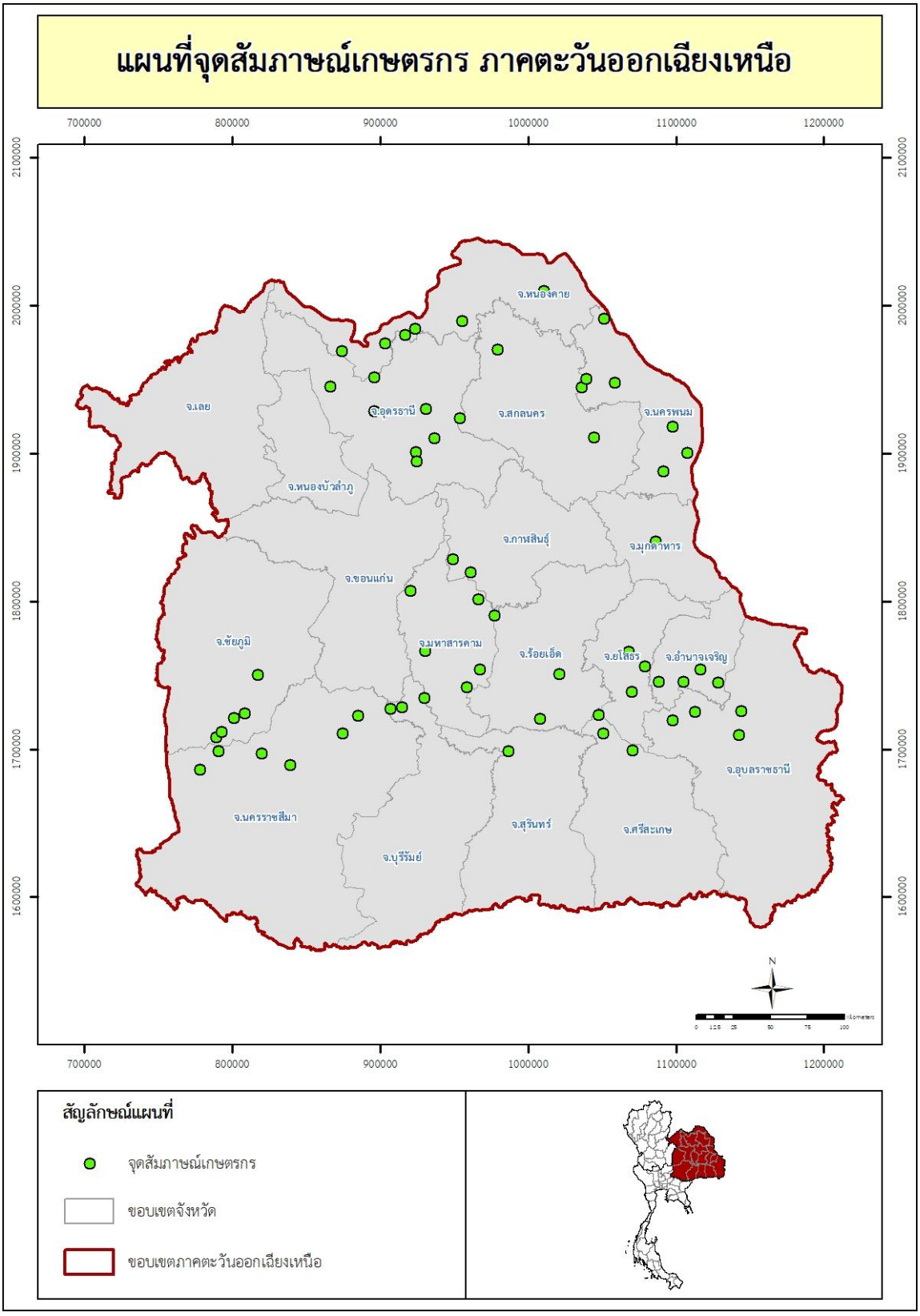
1.1) ดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือ (non saline sodic soil) คือดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC_e) น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยน (ESP) น้อยกว่า 15 และมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) น้อยกว่า 13 เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 70-840 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง Ceres-rice ได้ผลผลิตจำนวน 145-980 กิโลกรัมต่อไร่ ถ้าแบ่งตามสภาพพื้นที่ลุ่ม-ดอน ได้ผลผลิตคือ

(1) ดินไม่มีผลกระทบจากเกลือในที่ลุ่ม เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 70-840 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 145-980 กิโลกรัมต่อไร่

(2) ดินไม่มีผลกระทบจากเกลือในที่ดอน เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 400-600 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 290-639 กิโลกรัมต่อไร่

จากข้อมูลดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือในที่ลุ่ม ชุดดิน Re-pic-clA เกษตรกรปลูกได้ผลผลิตข้าวเพียง 70 กก./ไร่ ไม่ตรงกับศักยภาพของดินในที่ลุ่ม เนื่องจากเป็นข้อมูลแปลงเกษตรกรในจังหวัด

หนองคาย ที่มีช่วงเสี่ยงต่อการขาดน้ำตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม (ดังกราฟสมดุลน้ำภาพที่ 23) ซึ่งเป็นระยะข้าวตั้งท้อง-ออกรวง และไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงในช่วงนั้น ส่งผลให้ข้าวเมล็ดลีบได้ผลผลิตลดลง



ภาพที่ 34 แผนที่จุดสัมภาษณ์เกษตรกร

1.2) ดินเค็มโซดิก (saline sodic soil) คือดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC_e) มากกว่าหรือเท่ากับ 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยน (ESP) มากกว่าหรือเท่ากับ 15 และมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) มากกว่าหรือเท่ากับ 13 เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 42-630 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง Ceres-rice ได้ผลผลิตจำนวน 16-654 กิโลกรัมต่อไร่

(1) ดินเค็มโซดิกในที่ลุ่ม เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 100-630 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 16-654 กิโลกรัมต่อไร่

(2) ดินเค็มโซดิกในที่ดอน เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 42-625 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 17-600 กิโลกรัมต่อไร่

จากข้อมูลดินเค็มโซดิกในที่ลุ่ม (ตารางที่ 8) เกษตรกรสามารถปลูกข้าวได้ผลผลิตอย่างน้อย 100 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งได้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกข้าวในดินเค็มโซดิกที่ดอน เนื่องจากที่ลุ่มมีปริมาณการขังน้ำในแปลงนาได้มากกว่าและนานกว่าที่ดอน จึงช่วยลดความเค็มลงได้หลังจากขังน้ำ (ไพรัช,2552) ส่วนผลผลิตจากแบบจำลองประเมินได้เพียง 16 กิโลกรัมต่อไร่ เนื่องจากมีการใส่ปุ๋ยน้อยมาก สูตร 46-0-0 อัตรา 7 กิโลกรัมต่อไร่ แบบจำลองจึงประเมินว่าธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าว

1.3) ดินโซดิก (sodic soil) คือดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC_e) น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีค่าปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยน (ESP) มากกว่าหรือเท่ากับ 15 และมีค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) มากกว่าหรือเท่ากับ 13 เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 80-800 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง Ceres-rice ได้ผลผลิตจำนวน 42-802 กิโลกรัมต่อไร่

(1) ดินโซดิกในที่ลุ่ม เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 80-800 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 42-802 กิโลกรัมต่อไร่

(2) ดินโซดิกในที่ดอน เกษตรกรสามารถปลูกและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 231-420 กิโลกรัมต่อไร่ และจากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลอง ได้ผลผลิตจำนวน 234-445 กิโลกรัมต่อไร่

จากข้อมูลดินโซดิกในที่ลุ่ม (ตารางที่ 8) ชุดดิน Pt-pic-clA เกษตรกรปลูกได้ผลผลิตข้าวเพียง 80 กิโลกรัมต่อไร่ แบบจำลองประมินได้ 42 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่ตรงกับศักยภาพของดินเหนียวในที่ลุ่ม เนื่องจากเกษตรกรใส่ปุ๋ยเพียงหนึ่งครั้งช่วงข้าวอายุ 60 วัน สูตร 15-15-15 ปริมาณ 25 กิโลกรัมต่อไร่ และดินบริเวณนั้นมีปริมาณโซเดียมสูง (SAR = 107) ทำให้เกิดความเป็นพิษจากโซเดียม และธาตุอาหารไม่เพียงพอในการเจริญเติบโตในช่วงข้าวตั้งท้อง จึงได้ผลผลิตต่ำ

ตารางที่ 8 ผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือบริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หลุมที่	สภาพพื้นที่	จังหวัด	หน่วยดิน	ดินบน 0-30 ซม.			ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ผลผลิตเกษตรกร (กก./ไร่)	ผลผลิตแบบจำลอง (กก./ไร่)
				EC_e (dS/m)	ESP	SAR			
1	ดอน	นครพนม	Ckr-slA	0.15	8	0	Non	560	400
2	ดอน	มหาสารคาม	Kts-lsB	0.34	13	3	Non	580	507
3	ดอน	นครพนม	Pp-lsk,hb-slA/d3	0.59	4	0	Non	425	458
4	ดอน	ยโสธร	Kts-lsA	0.2	5	2	Non	417	354
5	ดอน	อำนาจเจริญ	Kts-fl-lB	1.17	6	3	Non	462	443
6	ดอน	อำนาจเจริญ	Lah-slB	0.33	1	1	Non	500	444
7	ดอน	กาฬสินธุ์	Ndg-slA	0.29	7	1	Non	400	290
8	ดอน	มหาสารคาม	Kts-slA	0.75	7	3	Non	600	639
9	ดอน	หนองคาย	Pp-gm-slA/b	0.18	8	1	Non	500	418
10	ลุ่ม	ร้อยเอ็ด	Pt-pic-slA	0.36	9	3	Non	356	319
11	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-col-slA	0.74	8	6	Non	428	384
12	ลุ่ม	อุดรธานี	Pt-silA	0.33	7	2	Non	350	387
13	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-clA	0.23	8	1	Non	450	166
14	ลุ่ม	นครพนม	Pt-clA	0.35	4	2	Non	840	845
15	ลุ่ม	นครพนม	Nn-siclA	0.13	1	0	Non	500	541
16	ลุ่ม	มุกดาหาร	Ki-slA	0.27	9	2	Non	750	661
17	ลุ่ม	มหาสารคาม	Ki-col-slA	0.87	14	3	Non	652	593
18	ลุ่ม	บุรีรัมย์	Ki-col- slA	3.38	14	0	Non	408	356
19	ลุ่ม	บุรีรัมย์	Ki -col- sclA	1.07	13	0	Non	300	211
20	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-col, pic-slA	0.34	4	0	Non	188	159
21	ลุ่ม	อุบลราชธานี	Ki-clA/d3/lat	0.42	11	2	Non	232	222
22	ลุ่ม	มหาสารคาม	Ki-col-slA	2.3	13	7	Non	750	818
23	ลุ่ม	ศรีสะเกษ	Ki-slA	0.25	8	2	Non	400	708
24	ลุ่ม	ศรีสะเกษ	Ki-slA	0.27	5	2	Non	500	586
25	ลุ่ม	ศรีสะเกษ	Ki-slA	0.29	6	3	Non	600	652
26	ลุ่ม	หนองคาย	Pt-sicA	0.59	6	4	Non	333	318
27	ลุ่ม	หนองคาย	Re-pic-clA	0.48	3	1	Non	70	189
28	ลุ่ม	สกลนคร	Re-pic-clA	0.39	5	3	Non	300	317

ตารางที่ 8 (ต่อ)

หลุมที่	สภาพพื้นที่	จังหวัด	หน่วยดิน	ดินบน 0-30 ซม.			ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ผลผลิตเกษตรกร (กก./ไร่)	ผลผลิตแบบจำลอง (กก./ไร่)
				EC_e (dS/m)	ESP	SAR			
29	ลุ่ม	มหาสารคาม	Tsr-cA	0.53	7	5	Non	600	730
30	ลุ่ม	นครพนม	Re-pic-slA	0.16	1	0	Non	125	145
31	ลุ่ม	มหาสารคาม	Ki-col-slA	0.27	6	3	Non	666	629
32	ลุ่ม	นครราชสีมา	Pt-clA	1.92	10	5	Non	700	980
33	ลุ่ม	นครราชสีมา	Ki-sclA	2.59	11	3	Non	215	344
34	ดอน	อุบลราชธานี	Kts-slA	5	52	37	Saline Sodic	180	293
35	ดอน	อุบลราชธานี	Kts-slA/d4c	11.48	115	17	Saline Sodic	429	381
36	ดอน	กาฬสินธุ์	Kts-fl-slA	5.09	49	12	Saline Sodic	416	501
37	ดอน	หนองคาย	Kts-pic-fl-slA	42.1	351	98	Saline Sodic	42	17
38	ดอน	บึงกาฬ	Kts-fl-slA	21.7	228	43	Saline Sodic	350	218
39	ดอน	ชัยภูมิ	Kts-fl-slA	5.49	67	15	Saline Sodic	350	309
40	ดอน	ชัยภูมิ	Kts-fl,lb-slB	6.27	68	12	Saline Sodic	625	600
41	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-slA	7.34	94	13	Saline Sodic	228	275
42	ลุ่ม	หนองคาย	Ki-slA	5.54	42	12	Saline Sodic	630	654
43	ลุ่ม	นครพนม	Pt-cA/d4 siltstone	4.53	23	12	Saline Sodic	500	570
44	ลุ่ม	ยโสธร	Ki-col-slA	9.22	111	23	Saline Sodic	625	535
45	ลุ่ม	ชัยภูมิ	Ki-slA	5.42	46	16	Saline Sodic	100	16
46	ลุ่ม	นครราชสีมา	Pt-cA	9.38	24	15	Saline Sodic	250	259
47	ลุ่ม	นครราชสีมา	Ki-sclA	4.09	26	7	Saline Sodic	250	98
48	ลุ่ม	นครราชสีมา	Ki-col-slA	50.9	695	120	Saline Sodic	245	161
49	ดอน	ร้อยเอ็ด	Kts-fl-slA	0.67	55	8	Sodic	400	291
50	ดอน	สกลนคร	Kts-tks-lsA	0.83	16	5	Sodic	300	313
51	ดอน	อุบลราชธานี	kts-slA	0.55	29	4	Sodic	420	445
52	ดอน	อำนาจเจริญ	Kts-slB	0.55	33	13	Sodic	231	234
53	ดอน	นครราชสีมา	Kts-slA	1.82	97	16	Sodic	416	338
54	ลุ่ม	มหาสารคาม	Ki-col-slA	2.09	49	12	Sodic	300	357
55	ลุ่ม	สุรินทร์	Ki-cA	0.26	29	0	Sodic	562	432
56	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-slA	2.29	39	0	Sodic	510	318

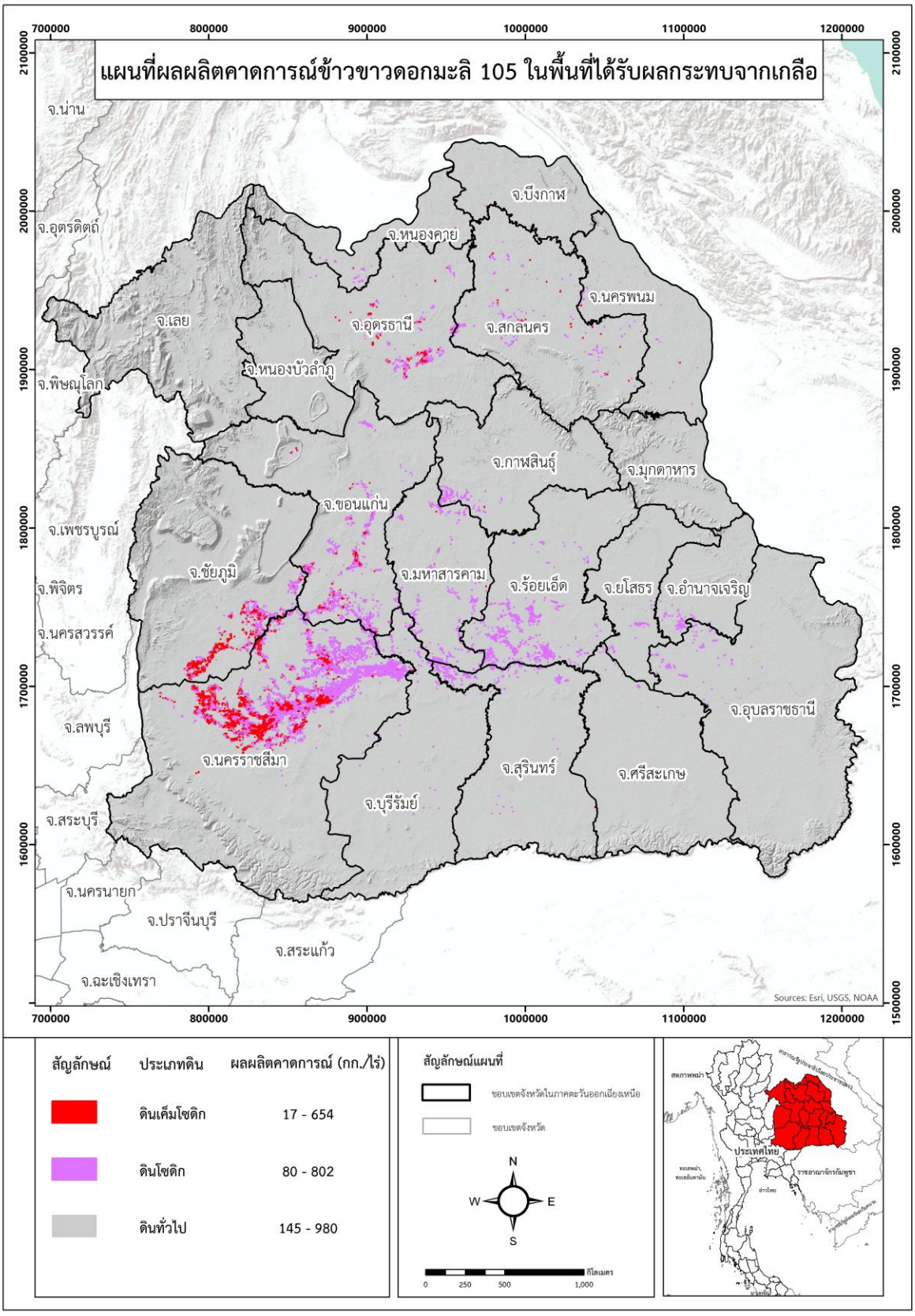
ตารางที่ 8 (ต่อ)

หลุมที่	สภาพพื้นที่	จังหวัด	หน่วยดิน	ดินบน 0-30 ซม.			ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	ผลผลิตเกษตรกร (กก./ไร่)	ผลผลิตแบบจำลอง (กก./ไร่)
				EC_e (dS/m)	ESP	SAR			
57	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-slA	0.68	22	0	Sodic	343	339
58	ลุ่ม	นครพนม	Pt-silA	1.28	31	0	Sodic	350	320
59	ลุ่ม	อุดรธานี	Ki-pic-slA	1.91	37	9	Sodic	135	137
60	ลุ่ม	ยโสธร	Ki-sclA	2.7	64	20	Sodic	800	802
61	ลุ่ม	อำนาจเจริญ	Ki-sclA	1.52	20	17	Sodic	450	350
62	ลุ่ม	ชัยภูมิ	Ki-lA	2.8	15	7	Sodic	530	582
63	ลุ่ม	ชัยภูมิ	Pt-pic-clA	1.42	38	107	Sodic	80	42

จากการประเมินผลผลิตด้วยแบบจำลองและแบบสอบถามเกษตรกร สามารถคาดการณ์ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือของดินเค็มโซดิกและดินโซดิกตามระดับความเค็ม ในสภาพพื้นที่นาลุ่ม-ดอน (ตารางที่ 9) และแสดงแผนที่ผลผลิตคาดการณ์ดังภาพที่ 35

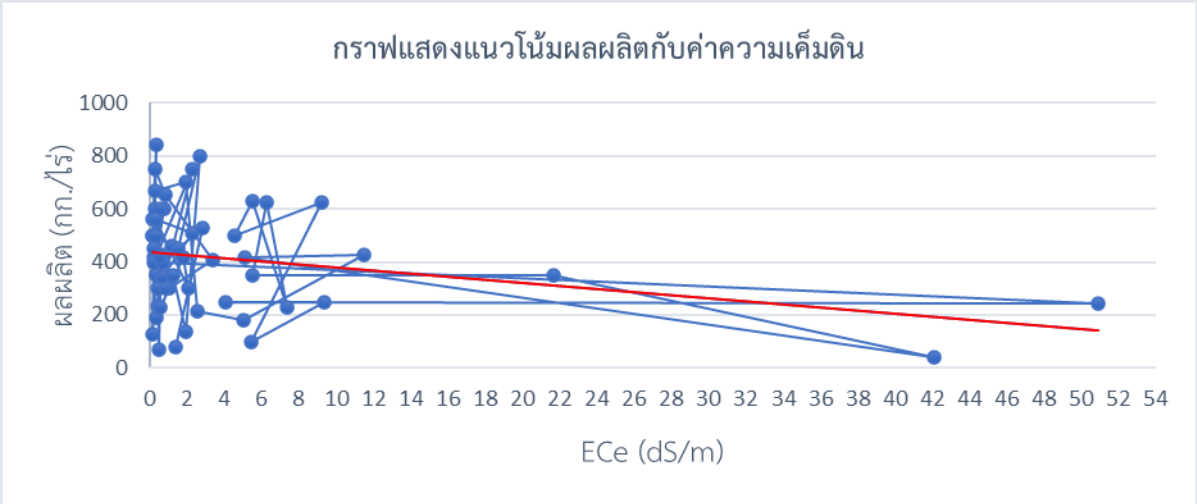
ตารางที่ 9 ผลผลิตคาดการณ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	สภาพพื้นที่	EC_e (dS/m)	ผลผลิตคาดการณ์ (กก./ไร่)	
ดินไม่มีผลกระทบจากเกลือ	ลุ่ม	0-2	145-980	145-980
		2-4	215-818	
	ดอน	0-2	290-639	
ดินโซดิก	ลุ่ม	0-2	80-562	80-802
		2-4	300-802	
	ดอน	0-2	231-445	
ดินเค็มโซดิก	ลุ่ม	4-8	100-654	17-654
		8-16	250-625	
		>16	100-245	
	ดอน	4-8	42-600	
		8-16	42-429	
		>16	17-350	

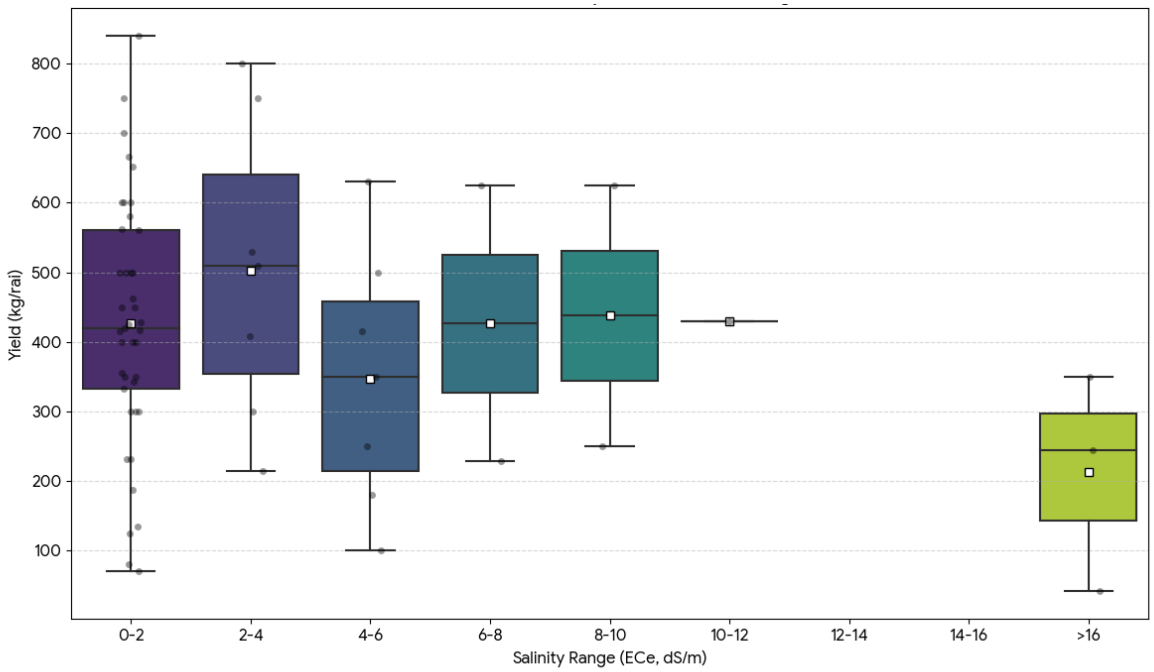


ภาพที่ 35 แผนที่ผลผลิตคาดการณ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ได้รับผลกระทบจากเกลือ

ผลการประเมินผลผลิตคาดการณ์ตามระดับความเค็มของดิน แนวโน้มที่ผลผลิตเริ่มลดลงจากผลผลิตสูงสุดในดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือเป็นช่วงระดับความเค็มที่มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และช่วงระดับความเค็มที่มากกว่า 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงจากผลผลิตสูงสุดอย่างชัดเจน (ภาพที่ 36-37)



ภาพที่ 36 กราฟแสดงแนวโน้มผลผลิตกับค่าความเค็ม



ภาพที่ 37 กราฟแสดงการกระจายตัวของผลผลิตตามช่วงค่าความเค็มดิน

1.2 การประเมินศักยภาพของแบบจำลองผลผลิตพืช

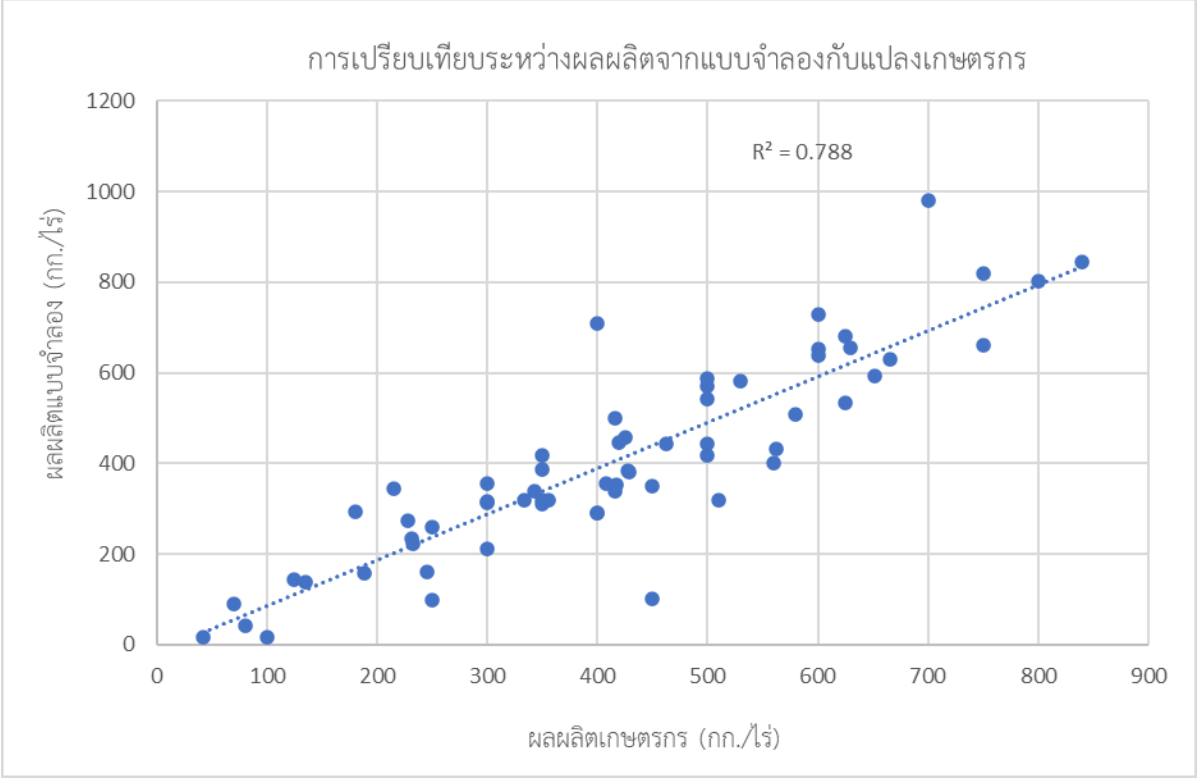
การประเมินศักยภาพของแบบจำลองผลผลิตข้าวโดยใช้แบบจำลอง Ceres-rice ซึ่งเป็นโมดูลในโปรแกรม DSSAT จะพิจารณาจากค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลจากแปลงจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง (ตาราง 8) ด้วยค่าสถิติ R^2 (Coefficient of Determination) Root mean squares error (RMSE) Mean Absolute Error (MAE) และ Agreement index (d-index) ผลการทดสอบความแม่นยำระหว่างข้อมูลผลผลิตในแปลงเกษตรกรจำนวน 63 แปลง กับค่าประเมินผลผลิตจากแบบจำลองข้าว Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT ได้ค่าสถิติ R^2 0.78 (ดังภาพที่ 38) RMSE 98.4 MAE 70.95 และ d-Index 0.93 ดังตารางที่ 10 สรุปได้ว่าแบบจำลองข้าว Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT สามารถประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้แม่นยำระดับค่อนข้างสูง

ตารางที่ 10 ค่าสถิติการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากแปลงเกษตรกรกับแบบจำลอง CERES-Rice

	n	r^2	RMSE	MAE	d-Index
ผลผลิต (กก./ไร่)	63	0.78	98.4	70.95	0.93

อธิบายค่าสถิติการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากแบบจำลองกับแปลงเกษตรกรได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) เท่ากับ 0.78 แสดงว่าแบบจำลองข้าว Ceres-rice สามารถอธิบายความผันแปรของผลผลิตในแปลงจริงของเกษตรกรได้ประมาณ 78% ซึ่งถือว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับที่ดี



ภาพที่ 38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจากแบบจำลองกับแปลงเกษตรกร

ค่ารากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root mean squares error : RMSE) เท่ากับ 98.4 แสดงว่าโดยเฉลี่ยแล้วค่าที่แบบจำลองทำนายจะคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงแปลงเกษตรกรประมาณ 98 กิโลกรัมต่อไร่

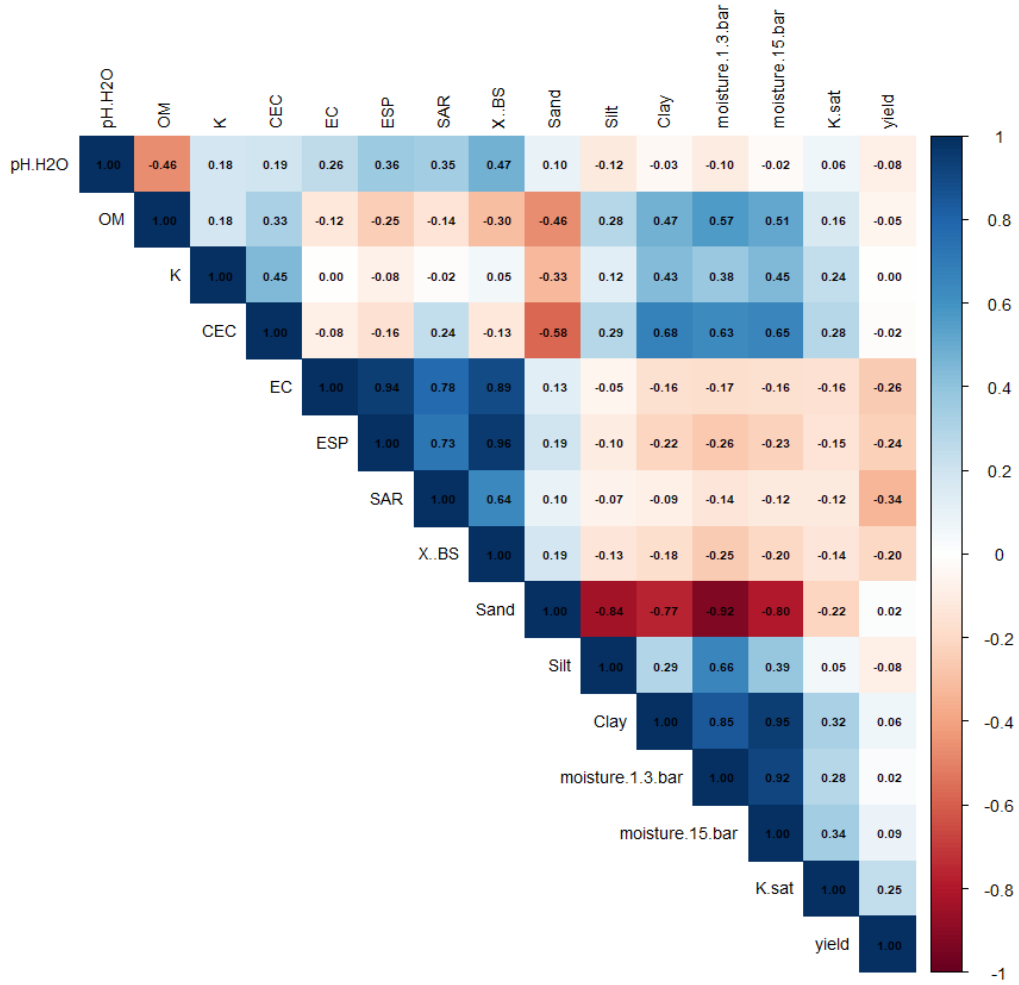
ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error : MAE) เท่ากับ 70.95 โดยเฉลี่ยแล้วแบบจำลอง DSSAT ประเมินผลผลิตผิดพลาดไปจากแปลงเกษตรกรประมาณ 71 กิโลกรัมต่อไร่

ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Agreement : d-index) เท่ากับ 0.93 แสดงว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องสูงมากกับผลผลิตจริงจากแปลงเกษตรกร สรุปได้ว่าแบบจำลองมีความแม่นยำสูงในการนำไปใช้งานในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

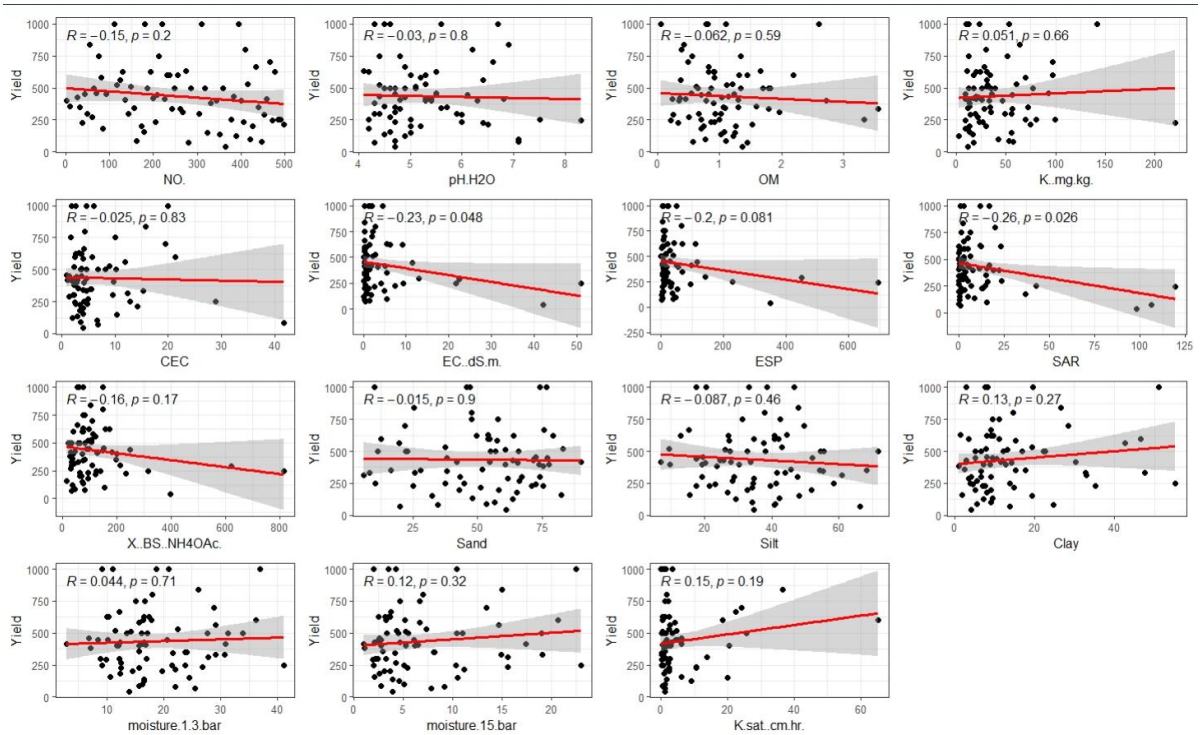
สรุปได้ว่าการใช้แบบจำลองข้าว Ceres-rice ในโปรแกรม DSSAT ประเมินผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (R^2) ในระดับที่ดี และค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องสูงมากกับผลผลิตจริงแปลงเกษตรกร แต่มีค่าความผิดพลาดในการประเมินผลผลิตคลาดเคลื่อนจากแปลงจริงอยู่ประมาณ 98 กิโลกรัมต่อไร่ อาจเนื่องจากบางพื้นที่มีค่า EC_e SAR สูงมาก ซึ่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic coefficient) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 ในโปรแกรม DSSAT เวอร์ชั่น 4.8.5 ยังไม่ได้รองรับการทนเค็ม แต่ในสภาพการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแปลงนาจริงสามารถทนความเค็มได้สูงถึง 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (พิชญสิณี, 2553) และเติบโตได้ถ้ามีน้ำขังเพียงพอเพื่อช่วยลดความเค็มของเกลือลง ทำให้การประเมินผลผลิตจากแบบจำลองบางค่าประเมินได้ต่ำกว่าแปลงนาจริง ทำให้ค่าสถิติ RMSE อยู่ในระดับสูง

2. การหาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับสมบัติดิน

จากการศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวม ความชื้นในดิน ค่าการนำน้ำของดิน สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ พีเอชดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ความอิ่มตัวเบส ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ การนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น วัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (EC_e) โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ โซเดียมที่ละลายน้ำได้ แคลเซียมที่ละลายน้ำได้ และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ คำนวณหาค่าร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (ESP) และค่าอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) ทั้งหมด 13 ปัจจัย มาวิเคราะห์ทางสถิติหาสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient: r) กับผลผลิตแปลงเกษตรกร ได้ผลวิเคราะห์ Correlation Matrix ดังภาพที่ 39 และภาพที่ 40



ภาพที่ 39 ตารางเมทริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับสมบัติดิน



ภาพที่ 40 กราฟแสดงค่า p-value ความสัมพันธ์ของผลผลิตและสมบัติดิน

ผลการหาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 กับสมบัติดินในพื้นที่ที่มีผลกระทบจากเกลือ พบว่า

กลุ่มปัจจัยความเค็มและโซดิก มีความสัมพันธ์แบบกันเองสูงมาก (Multicollinearity) โดยค่า EC_e มีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกแก่กันกับค่า ESP, SAR และ %BS โดยมีค่า r เป็น 0.94 0.78 และ 0.89 ตามลำดับ

กลุ่มสมบัติทางกายภาพ มีความสัมพันธ์กันระหว่างเนื้อดินกับความชื้นในดิน ได้แก่ เนื้อดินเหนียวมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกสูงกับความจุความชื้นสนาม (1/3 bar) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (15 bar) โดยมีค่า r เป็น 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ เนื้อดินทรายแป้งมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกกับความจุความชื้นสนาม และจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยมีค่า r เป็น 0.66 และ 0.39 ตามลำดับ เนื้อดินทรายมีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบสูงกับความจุความชื้นสนาม และจุดเหี่ยวเฉาถาวร โดยมีค่า r เป็น 0.92 และ 0.80 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับปัจจัยความเค็ม มีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบอย่างมีนัยสำคัญกับค่า EC_e ESP และ SAR โดยมีค่า r เป็น -0.26 -0.24 และ -0.34 ตามลำดับ โดยที่ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านความเค็มดินที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวเรียงลำดับได้คือ $SAR > EC_e > ESP$

สรุปผลจาการหาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับสมบัติดิน ปัจจัยด้านความเค็มดินมีผลต่อผลิตข้าวในระดับน้อยในเชิงสหสัมพันธ์เป็นลบกล่าวคือ เมื่อค่า EC_e SAR และ ESP ที่สูงเกินระดับทนเค็มของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ปัจจัยเนื้อดินมีสหสัมพันธ์สูงกับความชื้นในดินกล่าวคือ ดินเหนียวจะมีความความชื้นที่เก็บกักในดินสูง มีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงกว่าดินทรายแป้ง

3. คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยสำหรับปลูกข้าวหอมมะลิ 105 ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

3.1 การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับปลูกข้าวหอมมะลิ 105 แปลงเกษตรกร

จากการสัมภาษณ์แบบสอบถามเกษตรกร จำนวน 126 ราย โดยทำการสัมภาษณ์ข้อมูลการจัดการดิน การใส่ปุ๋ย ข้อมูลทางเศรษฐกิจ และผลผลิตในแปลงเกษตรกรที่เก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์สมบัติดินจำนวน 63 ราย และสุ่มเก็บข้อมูลสัมภาษณ์จากแปลงข้างเคียง จำนวน 63 ราย ผลการสรุปข้อมูลสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ย ต้นทุน ผลตอบแทน และผลผลิต ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลการจัดการดินและปุ๋ย ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	เนื้อดินบน (0-30 ซ.ม.)	ข้อมูลการใส่ปุ๋ย (สูตร อัตรา ช่วงที่ใส่)	ผลผลิต (กก./ไร่)	ต้นทุน (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (กำไร : บาท/ไร่)
ดินโซดิก (Sodic Soil)	ดินทรายปนดินร่วน	สูตร 46-0-0 และ 15-15-15 ในอัตรา 5 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 90 วัน	300	1,700	850
	ดินร่วนปนทราย	สูตร 15-15-15 และ 16-8-8 ในอัตรา 10-30 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 60 วัน	135 – 510	2,000 – 4,000	1,400 – 8,700
	ดินร่วนเหนียวปนทราย	สูตร 46-0-0 ในอัตรา 30 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวช่วงพืชอายุ 60 วัน	450 - 800	1,900 – 3,000	ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินร่วน	สูตร 15-15-15 ในอัตรา 20 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวช่วงพืชอายุ 30 วัน	530	2,675	ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินร่วนปนดินเหนียว	สูตร 15-15-15 ในอัตรา 8 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวช่วงพืชอายุ 60 วัน	80	2,700 -3,795	ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินร่วนปนทรายแป้ง	สูตร 30-20-0 และ 15-15-15 แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 60 วัน	350	1,370	ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินเหนียว	สูตร 20-8-8 ในอัตรา 25 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวช่วงพืชอายุ 60 วัน	562	1,700	ปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ	เนื้อดินบน (0-30 ซ.ม.)	ข้อมูลการใส่ปุ๋ย (สูตร อัตรา ช่วงที่ใส่)	ผลผลิต (กก./ไร่)	ต้นทุน (บาท/ไร่)	ผลตอบแทน (กำไร : บาท/ไร่)
ดินเค็มโซดิก (Saline Sodic Soil)	ดินร่วนปนทราย	สูตร 15-15-15 และ 46-0-0 ในอัตรา 7-40 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 20-30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 60 วัน	42 – 630	100 - 625	600 – 3,393 และปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินทรายปนดินร่วน	สูตร 16-16-8 ในอัตรา 16 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยครั้งเดียวช่วงพืชอายุ 60 วัน	300	1,883	38,600
	ดินร่วนเหนียวปนทราย	สูตร 16-20-0 และ 15-15-15 ในอัตรา 20-30 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 60 วัน	250	1,100 – 2,376	25,800 และปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือน
	ดินร่วนปนทรายแป้ง	ไม่ใส่ปุ๋ย	350	3,135	5,000
	ดินเหนียว	สูตร 46-0-0 และ 16-16-8 ในอัตรา 25-50 กก./ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกพืชอายุ 30 วัน ครั้งที่ 2 พืชอายุ 60 วัน	250 – 500	2,630 – 2,376	236,405 และปลูกเพื่อบริโภคในครอบครัว

จากข้อมูลสัมภาษณ์การใส่ปุ๋ยในพื้นที่ดินโซดิกที่มีเนื้อดินเป็น ดินทรายปนดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วน เกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง สูตร 46-0-0, 15-15-15, 16-8-8 อัตราประมาณ 5-30 กิโลกรัมต่อไร่ และในดินโซดิกที่มีเนื้อดินเป็น ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินเหนียว เกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง สูตร 15-15-15, 30-20-0, 20-8-8 อัตราประมาณ 10-25 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ปุ๋ยในพื้นที่ดินเค็มโซดิก ที่มีเนื้อดินเป็น ดินร่วนปนทราย ดินทรายปนดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย เกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง สูตร 46-0-0, 15-15-15, 16-16-8, 16-20-0 อัตราประมาณ 10-40 กิโลกรัมต่อไร่ ในดินเค็มโซดิกที่มีเนื้อดินเป็น ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินเหนียว เกษตรกรส่วนใหญ่ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง สูตร 46-0-0, 16-16-8 อัตราประมาณ 25-50 กิโลกรัมต่อไร่

3.2 คำแนะนำการจัดการดินและปุ๋ยสำหรับปลูกข้าวหอมมะลิ 105 ในดินที่มีผลกระทบจากเกลือประเภทดินเค็ม ดินเค็มโซดิก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2554, 2567)

3.2.1) การปรับรูปแปลงนา

ปรับรูปแปลงนาด้วยระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแบบที่ 1 หรือแบบที่ 2 ทำทางระบายน้ำเพื่อชะล้างเกลือจากแปลงข้าว และปรับระดับดินให้สม่ำเสมอกัน

3.2.2) การปรับปรุงบำรุงดิน

บำรุงดินด้วยพืชปุ๋ยสด ก่อนการปลูกข้าว 2 เดือน ปลูกโสนอัฟริกัน ในอัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่ ก่อนหว่านให้แช่เมล็ดในน้ำเดือด 1 นาที และแช่ในน้ำเย็น เพื่อให้อัตราการงอกสม่ำเสมอ ไถกลบโสนอัฟริกันเมื่ออายุประมาณ 60 วัน และปล่อยให้ย่อยสลายประมาณ 2 สัปดาห์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2567)

ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักปุ๋ยคอก อัตรา 500-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับใส่แกลบเพื่อช่วยเพิ่มช่องว่างในดินและเร่งกระบวนการชะล้าง พร้อมทั้งฉีดปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ได้จากการหมัก อัตรา 5 ลิตรต่อไร่ เจือจาง 1:500-1,000 ไถกลบและคราด

ไกกลบตอซัง ทำการฉีดพ่นน้ำหมักชีวภาพลงในตอซังข้าว (สารเร่งซุปเปอร์ พด. 2 อัตราส่วน 1:500) อัตรา 5 ลิตรต่อไร่ ช่วงต้นเดือนพฤษภาคมหรือภายหลังที่มีฝนตก ทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน จากนั้นทำการไถกลตอซังข้าวทิ้งไว้ 14 วัน ช่วยลดความเป็นพิษของดินเค็ม โดยตอซังช่วยให้การอุ้มน้ำในดินทำให้ดินมีความชุ่มชื้นส่งผลให้เกลือใต้ดินไม่สามารถขึ้นมาได้

ควรใส่ยิปซั่มก่อนปลูกข้าวประมาณ 1-2 เดือน หรือในช่วงเตรียมดินครั้งแรก ปริมาณ 200-600 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากใส่ยิปซั่มแล้ว ต้องมีการขังน้ำและระบายน้ำทิ้ง เพื่อชะล้างโซเดียมที่หลุดออกมาจากเขตรากพืช หากไม่ระบายน้ำทิ้งโซเดียมจะยังคงอยู่ในดินและทำให้ดินกลับมาแน่นเหมือนเดิม

3.2.3) วันปลูก

การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่นอกเขตชลประทานควรปลูกช่วงเดือนที่ดินมีความชื้นเพียงพอสำหรับปลูกพืชได้ พิจารณาจากกราฟสมดุลน้ำที่มีปริมาณฝนใช้การมากกว่าค่าการคายระเหยน้ำอ้างอิง คือ ตั้งแต่ช่วงกลางเดือนพฤกษาคม และวันปลูกที่เหมาะสมตามคำแนะนำจากกรมวิชาการข้าว (2553) คือช่วงกลางเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม

3.2.4) การใส่ปุ๋ย

ใส่ปุ๋ยเคมี 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง คือ ครั้งแรกใส่หลังปักดำ 7-10 วัน ครั้งที่สองใส่ระยะข้าวแตกกอสูงสุด และครั้งที่สามใส่ระยะข้าวกำลังตั้งท้อง ไม่ควรใส่ปุ๋ยรองพื้นเพราะปุ๋ยเคมีจะเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของดิน

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

ผลจากการประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ มี 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร มีดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 1,915,649 ไร่ แบ่งเป็นดินโซดิก เนื้อที่ 1,317,220 ไร่ หรือร้อยละ 68.76 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ดินเค็มโซดิก เนื้อที่ 598,429 ไร่ หรือร้อยละ 31.24 ของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (นฤกมล, 2569) และนำข้อมูลสมบัติดินด้านเคมี ปัจจัยด้านความเค็มดิน และสมบัติกายภาพของดินในพื้นที่ตัวแทนศึกษา มาประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือด้วยแบบจำลอง Ceres-rice โปรแกรม DSSAT เปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตจากการสัมภาษณ์แบบสอบถามเกษตรกร โดยใช้สถิติประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ผลทดสอบได้ค่าสถิติ R^2 0.78, RMSE 98.4, MAE 70.95 และ d-Index 0.93 สรุปได้ว่าแบบจำลองข้าว Ceres-rice สามารถประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้แม่นยำระดับสูง มีความสอดคล้องสูงมากกับผลผลิตจริงแปลงเกษตรกร แต่มีค่าความผิดพลาดในการประเมินผลผลิตคลาดเคลื่อนจากแปลงจริงอยู่ประมาณ 98 กิโลกรัมต่อไร่ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืช (Genetic coefficient) ของข้าวขาวดอกมะลิ105 ในโปรแกรม DSSAT เวอร์ชั่น 4.8.5 ยังไม่ได้รองรับการทนเค็ม

และจากการหาสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับสมบัติดินด้วย Pearson Correlation Coefficient พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าวกับปัจจัยความเค็ม มีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบกับค่า ECe ESP และ SAR โดยมีค่า r เป็น -0.26 -0.24 และ -0.34 ตามลำดับ และมีความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับความชื้นในดิน ได้แก่ เนื้อดินเหนียวมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกสูงกับความจุความชื้นสนาม (1/3 bar) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (15 bar) โดยมีค่า r เป็น 0.85 และ 0.95 ตามลำดับ เนื้อดินทรายแป้งมีค่าสหสัมพันธ์เป็นบวกกับความจุความชื้นสนาม (1/3 bar) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (15 bar) โดยมีค่า r เป็น 0.66 และ 0.39 ตามลำดับ เนื้อดินทรายมีค่าสหสัมพันธ์เป็นลบสูงกับความจุความชื้นสนาม (1/3 bar) และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (15 bar) โดยมีค่า r เป็น 0.92 และ 0.80 ตามลำดับ สรุปได้ว่าดินเหนียวจะมีความความชื้นที่เก็บกักในดินสูง มีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวส่งผลให้ได้ผลผลิตสูงกว่าดินทรายแป้ง และดินทราย

สรุปจากการประเมินผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ 3 ประเภท คือ ดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือมีศักยภาพการผลิตข้าว ช่วง 145-980 กิโลกรัมต่อไร่ ดินโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าว 80-802 กิโลกรัมต่อไร่ ดินเค็มโซดิกมีศักยภาพการผลิตข้าว 17-654 กก./ไร่ ซึ่งแนวโน้มที่ผลผลิตเริ่มลดลงจากผลผลิตสูงสุดในดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือเป็นช่วงระดับความเค็มที่มากกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และช่วงระดับความเค็มที่มากกว่า 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวมีแนวโน้มลดลงจากผลผลิตสูงสุดอย่างชัดเจน แสดงว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทนเค็มได้สูงถึง 8-10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แล้วผลผลิตจะค่อยๆลดลงถ้าดินยิ่งมีความเค็มและปริมาณโซเดียมสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ และช่วงเวลาใส่ปุ๋ย ถ้าปริมาณเพียงพอและใส่ปุ๋ยในช่วงเวลาที่เหมาะสมก็สามารถปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ในปริมาณเพียงพอที่สำหรับไว้บริโภค

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. หนวยงานรัฐสามารถวางแผนการใชพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้เกิดประโยชนสูงสุด
2. กรมพัฒนาที่ดินสามารถวางแผนนำระบบอนุรักษ์ดินและน้ำเข้าปรับปรุงในพื้นที่มีผลกระทบจากเกลือได้อย่างเหมาะสม
3. เกษตรกรในพื้นที่สามารถใชประโยชนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ตามศักยภาพ ชวยในการตัดสินใจเลือกชนิดพืชที่จะปลูก โดยไม่ตองยายถิ่นฐาน
4. เกษตรกรสามารถจัดการปรับปรุงใชที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือปลูกพืชได้ผลผลิตสูงขึ้น ชวยใหมีรายได้เพิ่มขึ้น

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1. เอกสารวิชาการ เรื่อง การประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เผยแพรในเว็บไซต์กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. (2553). **ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ฉบับภาษาไทย).** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.

กรมการข้าว. (2559). **พันธุ์ข้าวรับรองที่นิยมปลูกในปัจจุบัน.** กรุงเทพฯ: กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2554). **คู่มือการฟื้นฟูดินเค็ม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการพัฒนาและการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2567). **สถานภาพและการจัดการดินเค็มในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมแผนที่ทหาร. (2543). **แผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000.** กรุงเทพฯ: กองทัพไทย กระทรวงกลาโหม.

กรรณิการ์ หอมยามเย็น. (2553). **การจัดทำคำแนะนำอัตราปุ๋ยข้าวตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CERES-Rice ประเมินผลผลิตข้าวตามอัตราปุ๋ยที่แนะนำ ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลางตอนบน.** เอกสารวิชาการเลขที่ 192/04/53. กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. (2565). **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กรุงเทพฯ: กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. (2566). **การใช้ที่ดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** กรุงเทพฯ: กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. (2562). **แผนที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ดวงใจ วัยเจริญ. (2556). **การประยุกต์ใช้แบบจำลองการปลูกพืชเพื่อประเมินกำลังผลิตของดินในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตามกลุ่มชุดดินบนพื้นที่ดอนของประเทศไทย.** เอกสารวิชาการเลขที่ 04/04/56. กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. (2550). **ดินที่ใช้ในการปลูกข้าว.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤกมล จันทร์จิราวุฒิกุล, วรัมพร วงษ์วรภาส, พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย และมณีรัตน์ แจ้งประจักษ์. (2569). **การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

นิตยา รื่นสุข, ประนอม มงคลบรรจง, สมโรจน์ ประกอบบุญ, นริศรา จำรูญวงศ์, เฉลิมชาติ ฤไชยคาม, ดวงพร วิฑูรย์จิตร, สำราญ อินแถลง, วาสนา อินแถลง, กฤษณ์กมล เปาทอง และสุกัญญา บินอะหมัด. (2554). **รายงานการวิจัยแผนงานวิจัยการจัดการเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิตข้าวในเขตชลประทาน.** กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.

บัณฑิต ตันศิริ และคำรณ ไทรฟัก. (2542). **คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 2/2535 พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กองวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

บุญหงษ์ จงคิด. (2549). **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บุญโฮม ชำนาญกุล, ยสิศร์ อินทรสถิตย์ และเล็ก จันทร์เกษม. (2534). **นิเวศวิทยาการปลูกข้าวในเขตศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก.** กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พชิญสิณี อริยธนะกตวงศ์. (2553). **การศึกษาอิทธิพลของดินเค็มต่อการผลิตสารสร้างความหอมในข้าวหอมมะลิและคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105.** ฉะเชิงเทรา: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

ไพรัช พงษ์วิเชียร, ชัยนาม ดิสถาพร, ปราโมทย์ แย้มคลี, ละเอียด สินธุเสน, กัญญา เชื้อพันธุ์ และสุนันทา วงศ์ปิยชน. (2552). **อิทธิพลของระดับความเค็มต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เมธี เอกะสิงห์. (2543). **ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงพื้นที่: มิติใหม่ของการวิเคราะห์และวางแผนระบบเกษตร.** ใน รายงานการสัมมนาระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยระบบทรัพยากรเกษตร.

รำพึง พูลสุข. (2534). *พืชเศรษฐกิจ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วรวิทย์ พาณิชพัฒน์. (2529). **ข้าวหอมโครงการตำราชาวบ้าน.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. (2547). **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศรี อรุณินท์. (2539). **ดินเค็มในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศรี อรุณินท์. (2542). **การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก.** ใน เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม. พิมพ์ครั้งที่ 7. หน้า 19–29. กรุงเทพฯ: กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2559.** กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2560). **สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ ปี 2560.** กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2564.** กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อนุเทพ ภาสุระ. (2559). **การใช้ชีวภัณฑ์จุลินทรีย์ Bacillus subtilis ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในสภาวะดินเค็มจากน้ำทะเล.** ชลบุรี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ. (2567). **ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน**. สืบค้นได้จาก https://power.larc.nasa.gov.

Anneke, F. and B. Todd. (2011). **Estimating Yield of Food Crops Grown by Smallholder Farmers: A Review in the Uganda Context.** IFPRI Discussion Paper 01097. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Brady, N.C. and R.R. Weil. (1999). **The Nature and Properties of Soils. (12th ed.).** New Jersey: Prentice-Hall.

Christian, V., J.W. Ring and L. Vincent. (2009). **Crop Yield Levels: Potential, Attainable and Actual Yields.** Gainesville, FL: University of Florida.

Farrell, T.C., K.M. Fox, R.L. Williams, S. Fukai and L.G. Lewin. (2006**). Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes. II. Genotypic variation and flowering traits related to cold tolerance screening.** Australian Journal of Agricultural Research, 57(1), 89-100.

Hoogenboom, G. (2010). **DSSAT V4.5 Decision Support System for Agrotechnology Transfer Volume 1 Overview.** Hawaii: International Consortium for Agricultural Systems Applications, University of Hawaii.

Jones, J.W., G. Hoogenboom, P.W. Wilkens, C.H. Porter and G. Tsuji. (2010). **Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.5. Volume 3. DSSAT v4.5: ICASA Tools.** Honolulu, HI: University of Hawaii.

Katsura, K., S. Maeda, T. Horie and T. Shiraiwa. (2007). **Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China.** Field Crops Research, 103, 170-177.

Kazemi, Z., A. Jalalian, N. Honarjo, A. Rezainejad and S. Ayoubi. (2010). **The effect of rice (Oryza sativa L.) cultivation on the soil physical properties.** In International Conference on Chemistry and Chemical Engineering. (pp. 318-321). Kyoto.

Reyes, B.G.D.L., S.J. Myers and J.M. McGrath. (2003). **Differential induction of glyoxylate cycle enzymes by stress as a marker for seedling vigor in sugar beet (Beta vulgaris).** Molecular Genetics and Genomics, 269(5), 692-698.

Sinanuwong, S. and Y. Takaya. (1974). **Distribution of saline soils in the Khorat Basin of Thailand.** South East Asian Studies, 12(3), 363-382.

Smith, M. (1992). CROPWAT: **A Computer Program for Irrigation Planning and Management.** FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tsuji, G., G. Uhera and S. Balas. (1994**). Overview of Input and Output Files Used by Crops Models DSSAT V3.** Hawaii: International Benchmark Sites Network for Agrotechnology, University of Hawaii.

Vincent, H.R. and T.C. Ring. (2009**). Encyclopedia of Insects. (2nd ed.).** Oxford: Elsevier's Science & Technology.

Willmott, C.J. (1982). **Some comments on the evaluation of model performance.** Bulletin of the American Meteorological Society, 63, 1309-1313.

Willmott, C. and K. Matsuura. (2005). **Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance.** Climate Research, 30, 79–82.

Yoshida, S. (1981). **Fundamentals of Rice Crop Science. Los Banos:** International Rice Research Institute (IRRI).