

ผลงานวิชาการเรื่อง
แนวทางการปรับปรุงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าว จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ

นางสาวนฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล
นางสาวกรรณิการ์ หอมยามเย็น
นางสาวยุพเยาว์ หัสจรรย์
นางสาวพิชามญช์ อินตะโม

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

ปีงบประมาณ 2568

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
บทที่ 1 บทนำ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
บทที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	16
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการ	31
บทที่ 5 ผลการศึกษาและวิจารณ์	34
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	69
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	79

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือตามสมบัติทางเคมี	5
ตารางที่ 2	ปริมาณเกลือและระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	6
ตารางที่ 3	ระดับโซเดียมในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	7
ตารางที่ 4	คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง	13
ตารางที่ 5	เกณฑ์การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	15
ตารางที่ 6	ประเภทการใช้ที่ดินของจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	22
ตารางที่ 7	ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	25
ตารางที่ 8	การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:25,000	29
ตารางที่ 9	ที่ตั้งและตำแหน่งดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	35
ตารางที่ 10	ผลวิเคราะห์สมบัติดิน ตลอดหน้าตัดของดินตัวแทนศึกษา	38
ตารางที่ 11	ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและโซเดียมลักษณะแบบต่าง ๆ ที่พบในดินตัวแทนศึกษา	44
ตารางที่ 12	ปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	48
ตารางที่ 13	การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้สมบัติทางเคมี	49
ตารางที่ 14	ตารางค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105	52
ตารางที่ 15	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของสมบัติดินและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105	58
ตารางที่ 16	ค่าความต้องการยิปซัมของดินตัวแทนศึกษา	63
ตารางที่ 17	ผลวิเคราะห์การใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวนาปี/ข้าวไวแสงด้วยโปรแกรม e-Service ตรวจสอบดินเพื่อการเกษตรของกรมพัฒนาที่ดิน	67

สารบัญญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ที่ตั้งและอาณาเขตจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	17
ภาพที่ 2	กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตร ในจังหวัดนครราชสีมา	21
ภาพที่ 3	กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตร ในจังหวัดชัยภูมิ	21
ภาพที่ 4	แผนที่สภาพการใช้ที่ดินจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	23
ภาพที่ 5	แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	28
ภาพที่ 6	แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ	30
ภาพที่ 7	ขั้นตอนและวิธีการศึกษา	32
ภาพที่ 8	แผนที่ตำแหน่งดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	36
ภาพที่ 9	การสะสมความเค็มในหน้าตัดดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	40
ภาพที่ 10	การสะสมโซเดียมในหน้าตัดดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	42
ภาพที่ 11	ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือและลักษณะความรุนแรงในหน้าตัดดิน	45
ภาพที่ 12	การจัดกลุ่มลักษณะดินของตัวแทนที่ทำการศึกษา	47
ภาพที่ 13	ปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินตัวแทนที่ทำการศึกษา	48
ภาพที่ 14	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินหลายตัวแปรกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105	54
ภาพที่ 15	Boxplot แสดงปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามกลุ่มลักษณะดิน	56
ภาพที่ 16	การปรับรูปแปลงนาลักษณะที่ 1	64
ภาพที่ 17	การปรับรูปแปลงนาลักษณะที่ 2	65

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและโซดิกของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพื่อประเมินและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงดิน และการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ ดำเนินการศึกษาในพื้นที่ตัวแทนจำนวน 11 แห่ง โดยใช้ข้อมูลฐานวิทยาดิน ผลวิเคราะห์สมบัติดิน การจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ดินตัวแทน

ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะดินมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ความแตกต่างของลักษณะดินในหน้าตัดดิน โดยเฉพาะชั้นดินในเขตรากข้าว ส่งผลให้ผลผลิตแตกต่างกัน แม้ดินบนจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันก็ตาม ความเค็มและโซดิกของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตที่สำคัญ ซึ่งค่าอีซีอีและค่าอีเอสพี เป็นตัวแปรหลักที่ทำให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 แตกต่างกัน ทั้งนี้ ความเค็มของดินมีผลกระทบต่อผลผลิตข้าวมากกว่าความเป็นโซดิกเพียงอย่างเดียว ดินที่มีลักษณะเป็นดินเค็มโซดิกในหน้าตัดดิน โดยเฉพาะเมื่อค่าอีซีอีมากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวต่ำมาก การจัดการดินเพื่อการปลูกข้าวจำเป็นต้องพิจารณาดินตลอดเขตรากข้าว (0-50 เซนติเมตร) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ การจัดการดินควรมุ่งเน้นการบรรเทาผลกระทบจากความเค็มและโซดิกของดินควบคู่ไปกับการจัดการธาตุอาหารพืช จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ลดต้นทุนการผลิต พื้นฟูและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางเชิงปฏิบัติในการจัดการดินและปุ๋ยสำหรับเกษตรกร รวมทั้งเป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการใช้ที่ดินและการกำหนดนโยบายฟื้นฟูพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลืออย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ความเค็มในดิน โซดิกในดิน การจัดการดิน ข้าวขาวดอกมะลิ 105

Abstract

This study aimed to analyze the relationships among soil salinity and sodicity, soil fertility, and rice yield in order to evaluate and develop appropriate soil improvement and nutrient management strategies for salt-affected soils in Nakhon Ratchasima and Chaiyaphum provinces. The study was conducted at 11 representative sites using soil morphological characteristics, soil physicochemical properties, classification of salt-affected soils, assessment of soil fertility status, and yield data of KDML 105 (Khao Dawk Mali 105) rice cultivated at each representative site.

The results indicated that soil characteristics were clearly associated with the yield of KDML 105. Differences in soil properties within the soil profile, particularly within the rice root zone, resulted in significant yield variation, even when surface soil characteristics were similar. Soil salinity and sodicity were identified as major yield-limiting factors, with electrical conductivity of the saturation extract (EC_e) and exchangeable sodium percentage (ESP) being the key variables contributing to yield differences. Among these factors, soil salinity exerted a stronger negative effect on rice yield than sodicity alone. Soils characterized as saline sodic within the soil profile, particularly those with EC_e values greater than 8 dS m^{-1} , exhibited very low rice yields. Effective soil management for rice cultivation therefore requires consideration of the entire root zone (0–50 cm). The findings further suggest that improving soil fertility alone is insufficient to overcome yield limitations in salt-affected soils. Integrated management practices that prioritize the mitigation of soil salinity and sodicity in conjunction with appropriate nutrient management can enhance fertilizer use efficiency, reduce production costs, and restore and sustain soil fertility in the long term. This study provides practical guidance for farmers in managing soil and fertilizer inputs, and offers supporting information for land-use planning and policy formulation aimed at the sustainable rehabilitation of salt-affected soils.

Keywords: salt-affected soils, salinity, sodicity, soil management, KDML 105 rice

บทที่ 1

บทนำ

หลักการและเหตุผล

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soils) เป็นดินปัญหาที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีแจกกระจายเป็นบริเวณกว้าง อันเนื่องมาจากลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีชั้นเกลือหิน (rock salt) อยู่ใต้ดิน ส่งผลให้เกิดกระบวนการสะสมของเกลือและโซเดียมบริเวณผิวดิน ปัญหาดังกล่าวเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อศักยภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรของภูมิภาค (กรมพัฒนาที่ดิน, 2561; Land Development Department, 2010) จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบอย่างชัดเจน เนื่องจากมีพื้นที่ปลูกข้าวขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ประสิทธิภาพการผลิตข้าวจึงต่ำอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบต่อรายได้และความมั่นคงทางเศรษฐกิจของเกษตรกรในพื้นที่

การสะสมของเกลือและโซเดียมในดินส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติดิน ความเค็มของดินที่มากเกินไปส่งผลกระทบต่อพืชโดยตรงในระดับสรีรวิทยาและชีวเคมี ใน 3 กลไกสำคัญ ได้แก่ (1) ความเครียดออสโมติก (osmotic stress) (2) ความเป็นพิษของไอออน (ion toxicity) และ (3) ความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (nutrient imbalance) เมื่อความเข้มข้นของเกลือในสารละลายดินสูงขึ้น ศักยภาพน้ำในดินจะลดลง ทำให้พืชดูดน้ำได้ยากแม้ดินจะมีความชื้นเพียงพอ ส่งผลให้พืชเกิดอาการคล้ายการขาดน้ำ การเจริญเติบโตชะงัก และการสังเคราะห์แสงลดลง (Munns and Tester, 2008) ขณะเดียวกัน การสะสมของไอออนโซเดียม (Na^+) และคลอไรด์ (Cl^-) ในเนื้อเยื่อพืชในระดับสูงก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ลดประสิทธิภาพของเอนไซม์ และเร่งการเสื่อมสภาพของใบ ส่งผลให้ใบไหม้ เหลือง และร่วงก่อนกำหนด (Flowers and Yeo, 1995) ส่งผลให้การสะสมชีวมวลและผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนดินที่สะสมโซเดียมในปริมาณมาก โซเดียมทำให้อนุภาคดินเกิดการกระจายตัว โครงสร้างดินเสื่อมโทรม ดินมีความแน่นและที่บ้น้ำ การซึมผ่านของน้ำและอากาศลดลง ส่งผลให้รากพืชเจริญเติบโตได้จำกัดและขาดออกซิเจน (Brady and Weil, 2017; Qadir *et al.*, 2007) นอกจากนี้ ไอออนโซเดียมยังรบกวนการดูดซึมธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงและประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยต่ำ (Munns and Tester, 2008)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สภาพดินที่มีความเค็มและโซเดียมสูงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในหลายระยะ ได้แก่ การงอกและการตั้งต้นของต้นข้าวไม่สม่ำเสมอ การแตกกอลดลง ระบบรากไม่สมบูรณ์ ใบมีอาการไหม้และแคระแกร็น การออกรวงล่าช้า รวงสั้น และมีการติดเมล็ดต่ำ ทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Flowers and Yeo, 1995; กรมการข้าว, 2563) นอกจากนี้ ความเครียดจากความเค็มยังส่งผลต่อการสะสมสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) ซึ่งเป็นสารสำคัญที่กำหนดเอกลักษณ์ของข้าวหอมมะลิ ทำให้คุณภาพข้าวลดลงและไม่เป็นไปตามมาตรฐานการตลาด (Yoshida, 1981; Widjaja *et al.*, 1996)

ในมิติทางเศรษฐกิจและสังคม เกษตรกรในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือต้องมักใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราสูง แต่กลับไม่สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากข้อจำกัดของดินที่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ขณะที่รายได้ลดลงและขาดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ บางพื้นที่ถูกปล่อยทิ้งร้างเนื่องจากขาดแนวทางการฟื้นฟูดินที่เหมาะสม ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารและคุณภาพชีวิตของเกษตรกรในระยะยาว (Qadir *et al.*, 2014; กรมพัฒนาที่ดิน, 2561)

การแก้ไขและฟื้นฟูดินที่มีผลกระทบจากเกลือจำเป็นต้องอาศัยแนวทางการจัดการดินและธาตุอาหารอย่างบูรณาการ ไม่สามารถพึ่งพาการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวได้ แนวทางที่เหมาะสมประกอบด้วย การลดปริมาณโซเดียมในดินด้วยวัสดุปรับปรุงดิน การเพิ่มอินทรีย์วัตถุเพื่อปรับปรุงโครงสร้างดินและความสามารถในการอุ้มน้ำ รวมทั้งการจัดการธาตุอาหารพืชให้เหมาะสมกับสภาพดินและความต้องการของพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย ลดต้นทุนการผลิต และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว (FAO, 2015; Brady and Weil, 2017) ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือของจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อสร้างความเข้าใจเชิงระบบเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสภาพดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 อันจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการจัดการดินที่เหมาะสม สามารถถ่ายทอดและนำไปปฏิบัติได้จริง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าว ลดความเสี่ยงของเกษตรกร และสนับสนุนการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรดินอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค็มและโซเดียมของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ศึกษา
2. เพื่อประเมินและพัฒนาแนวทางการปรับปรุงดินและการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าว

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ความหมายและประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ (salt-affected soils) หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำหรือโซเดียมแลกเปลี่ยนอยู่ในระดับสูงจนส่งผลกระทบต่อสมบัติของดิน การเจริญเติบโตของพืช และผลผลิตทางการเกษตร โดยพิจารณาจากค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินหรืออีซีอี (EC_e) สัดส่วนโซเดียมแลกเปลี่ยนหรืออีเอสพี (ESP) และอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมหรือเอสเออาร์ (SAR) (Richards, 1954; Brady and Weil, 2017) จำแนกดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ออกเป็น 3 ประเภท (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Richards, 1954; Brady and Weil, 2017) (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: Richards (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 อาจเรียกดินนี้ว่า ดินเค็มขาว (white alkali หรือ Solonchak)

2) ดินเค็มโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในระดับที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช 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 ดินมีการสะสมเกลือโซเดียมมากทำให้มีโครงสร้างแบบแท่งห้วมน (columnar soil structure) ที่มีลักษณะเป็นแท่ง ดินมักเกิดการฟุ้งกระจายจากการมีโซเดียมในดินสูง เมื่อเกลือถูกชะออกไป ความเค็มในดินจะลดลง แต่โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อเกลือถูกชะต่อเนื่อง ดินเค็มโซดิกจะพัฒนาไปเป็นดินโซดิก

3) ดินโซดิก เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีค่าอีเอสพี ตั้งแต่ 15 ขึ้นไป หรือมีค่าเอสเออาร์ ตั้งแต่ 13 ขึ้นไป ค่าอีซีอี น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มักมีค่า พีเอช 8.5 หรือมากกว่า เกลือที่ละลายน้ำได้มีเกลือคาร์บอเนตและเกลือไบคาร์บอเนตของโซเดียม มีชั้นดินบนบาง ถัดไปเป็นชั้นดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบแห้งหวม ซึ่ง เป็นลักษณะที่แสดงว่าดินมีโซเดียมสูง อินทรีย์วัตถุในดินเกิดการฟุ้งกระจายและละลายออกมา เคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดินมากับน้ำแคพิลลารี และเมื่อน้ำระเหยไปจึงเกิดคราบสีดำบนผิวดิน อาจเรียกดินนี้ว่าดินเค็มดำ (black alkali หรือ solonetz) มักพบเป็นบริเวณเล็ก ๆ (slick spot) อยู่ท่ามกลางดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ พืชที่เจริญเติบโตบนดินนี้ จะได้รับความเป็นพิษจากไอออนของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ และไบคาร์บอเนต และได้รับผลกระทบจากสภาพที่การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดินถูกจำกัด

การประเมินระดับความเค็มและโซดิกในดิน

สภาพนำไฟฟ้าหรืออีซี (electric conductivity: EC) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารสกัดจากดิน ใช้ประเมินเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำหรือสารสกัดจากดิน จึงสามารถวัดปริมาณเกลือทางอ้อมได้ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2562; Brady and Weil, 2008) US Soil Salinity Laboratory Staff (1954) พบว่าการนำไฟฟ้าของดินที่สกัดได้จากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น ซึ่งวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หรืออีซีอี (EC_e) สะท้อนถึงระดับความเค็มในดิน จึงนำมาใช้ประเมินปริมาณเกลือและอิทธิพลของเกลือในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (ตารางที่ 2) ส่วนระดับโซดิกในดินนิยมใช้เกณฑ์ของ FAO (1988) และ Abrol *et al.* (1988) ซึ่งใช้ค่าอีเอสพีประเมินระดับโซดิกในดิน มีการแบ่งความเข้มข้นของปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้เพื่อบ่งชี้ระดับความเสี่ยงต่อโครงสร้างดินและผลต่อพืช (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ปริมาณเกลือและระดับความเค็มของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

EC_e (dS m ⁻¹)	เกลือในดิน (%)	ระดับความเค็มของ ดิน	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)

ตารางที่ 3 ระดับโซติกในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ESP	ระดับโซติกในดิน	อิทธิพลต่อดินและพืช
<15	ดินไม่มีหรือมีโซติกน้อยมาก (none sodic)	ไม่มีผลกับโครงสร้างดินและพืชทั่วไป
15-30	ดินมีโซติกน้อย (slightly sodic)	ดินเริ่มมีการกระจายตัว และเริ่มแน่นทึบ การงอกของเมล็ดลดลง
30-50	ดินมีโซติกปานกลาง (moderately sodic)	โครงสร้างดินเริ่มพัง ดินกระจายตัว และแน่นทึบ เมล็ดเริ่มงอกยาก
50-70	ดินมีโซติกรุนแรง หรือ มีโซติกมาก (strongly/highly sodic)	โครงสร้างดินพัง ดินกระจายตัว ดินแน่นทึบ เมล็ดงอกยากขึ้น
>70	ดินมีโซติกรุนแรงมาก (extreme)	โครงสร้างดินถูกทำลาย ดินแน่นทึบมาก ปลูกพืชไม่ได้

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

ดินที่มีผลกระทบจากเกลือกับการเจริญเติบโตของข้าว

1) ผลของความเค็มในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ความเค็มของดิน โดยเฉพาะความเค็มที่มีโซเดียมเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเกลือมักอยู่ในรูปของ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเค็มทำให้ศักย์ออสโมติกของสารละลายในดินลดลง ส่งผลให้พืชดูดน้ำได้ยาก และเกิดความเครียดจากออสโมซิส (osmotic stress) ร่วมกับความเป็นพิษของไอออน (ion toxicity) ของ โซเดียมไอออน (Na^+) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ที่สะสมภายในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งรบกวนกระบวนการทาง สรีรวิทยา การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชอย่างมีนัยสำคัญ (Munns and Tester, 2008)

1.1) ผลกระทบทางสรีรวิทยาและสรีรวิทยาจากความเค็มของโซเดียม

ภายใต้สภาวะความเค็มที่เกิดจากโซเดียมคลอไรด์ การยืดตัวและการแบ่งเซลล์ของราก และลำต้นข้าวจะถูกยับยั้ง ส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวลดลงอย่างชัดเจน พร้อมทั้งจำนวนใบและจำนวนราก ลดลง โดยเฉพาะในระยะงอก ระยะต้นกล้า และระยะสืบพันธุ์ ซึ่งเป็นช่วงการเจริญเติบโตที่ข้าวมีความไวต่อ ความเค็มมากที่สุด (Munns, 2002; Khan and Panda, 2008) ลักษณะความผิดปกติทางสรีรวิทยาที่พบ ได้ทั่วไป ได้แก่ การงอกล่าช้า ต้นกล้าแคระแกร็น ใบมีสีเขียวซีดหรือเหลือง ปลายใบแห้งไหม้ การแตกกอ ลดลง และระบบรากมีความยาวสั้นพร้อมการแตกแขนงจำกัด ส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำและธาตุ อาหารของพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Maas and Grieve, 1994; IRRI, 2013)

ในระดับสรีรวิทยา การสะสมของโซเดียมไอออนในรากและใบก่อให้เกิดการรบกวนการ ดูดซึมและการลำเลียงโพแทสเซียมไอออน ส่งผลให้สมดุลของไอออนและแรงดันออสโมติกภายในเซลล์เสียไป ทำให้ปากใบปิด การคายน้ำลดลง และอัตราการสังเคราะห์แสงลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ (Schachtman, 2000; Läuchli and Grattan, 2007)

นอกจากนี้ สภาวะความเค็มยังเหนี่ยวนำให้เกิดการสะสมของอนุมูลออกซิเจนที่มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ คลอโรพลาสต์ และโปรตีนภายในเซลล์ หากพืชไม่สามารถควบคุมหรือกำจัด ROS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเร่งกระบวนการเสื่อมสภาพและการแห้งตายของใบ ส่งผลให้พื้นที่ใบสำหรับการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างต่อเนื่อง (Munns and Tester, 2008)

โดยรวมแล้ว ความเค็มส่งผลให้การเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อชะลอลง การพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์เกิดความผิดปกติ เช่น การแทงดอกและการพัฒนาเอ็มบริโอที่ไม่สมบูรณ์ รวมถึงการลดลงของการสังเคราะห์โปรตีนและกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งท้ายที่สุดนำไปสู่การลดลงทั้งผลผลิตและคุณภาพเมล็ดข้าวอย่างชัดเจน (Flowers and Yeo, 1995; Phuong *et al.*, 2020)

1.2) ผลของความเค็มต่อน้ำหนักและผลผลิตเมล็ดข้าว

ในระยะออกดอกและติดเมล็ด ความเค็มส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าว ได้แก่ การลดลงของจำนวนรวงต่อกอ จำนวนดอกย่อยต่อรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์ ขณะเดียวกันพบการเพิ่มขึ้นของอัตราดอกเป็นหมันและการหลุดร่วงของดอก ส่งผลให้ค่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตต่อพื้นที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Khan and Panda, 2008)

โดยทั่วไป เมื่อดินบริเวณเขตรากมีค่าไอซีอี 3–4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตข้าวจะเริ่มลดลง และอาจลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10–12 ต่อการเพิ่มขึ้นของค่าไอซีอีหนึ่งหน่วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับความทนเค็มของแต่ละพันธุ์ (Maas and Hoffman, 1977; Munns and Tester, 2008) ผลการศึกษาของ Clermont-Dauphin *et al.* (2010) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า ดินที่มีค่าไอซีอีอยู่ในช่วง 3–5 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในระดับความเค็มเล็กน้อย สามารถทำให้ผลผลิตข้าวลดลงประมาณร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ไม่เค็ม สะท้อนให้เห็นว่าความเค็มแม้ในระดับต่ำก็สามารถส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับข้อมูลของกองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) ที่กล่าวว่า ค่าไอซีอีที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ระดับความเค็มในดินมีผลต่อการให้ผลผลิตข้าว ดังนี้

- ไอซีอี น้อยกว่า 2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ไม่ทำให้ผลผลิตลดลง
- ไอซีอี 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ผลผลิตลดลงเล็กน้อย คือลดลงร้อยละ 10–15
- ไอซีอี 6 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ผลผลิตลดลงปานกลาง คือลดลงร้อยละ 20–50
- ไอซีอี 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ผลผลิตในพันธุ์ที่อ่อนแอตกลง มากกว่าร้อยละ 50

ไพรัช (2552) ศึกษาอิทธิพลของระดับความเค็มต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยเก็บข้อมูลสมบัติเคมีของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิในจังหวัดร้อยเอ็ด หลายแปลง ก่อนและหลังการปลูก ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร และผลผลิต พบว่าก่อนและหลังปลูกข้าวค่าไอซีอีมีการเปลี่ยนแปลง โดยดินที่มีค่าไอซีอี 1.00 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวมีค่าไอซีอี 1.01-1.12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 92.4-173 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าไอซีอี 3.11 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร หลังปลูกข้าวลดลงเหลือ 1.16-1.62 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิตข้าว 76.0-185 กิโลกรัมต่อไร่ ดินที่มีค่าไอซีอี 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 โดยเฉพาะค่าอีซีอีมากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตเหลือประมาณ 200 กิโลกรัมต่อไร่

1.3) ผลของความเค็มต่อธาตุอาหารพืชในดินและการใช้ธาตุอาหารของข้าว

ความเค็มของดินส่งผลโดยตรงต่อสถานะน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืช โดยความเข้มข้นของเกลือในสารละลายดินที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ศักย์น้ำของดินลดลง ข้าวจึงดูดน้ำได้ยาก ส่งผลให้ปากใบปิดและการดูดซึ่มคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ลดลง ซึ่งนำไปสู่การลดลงของอัตราการสังเคราะห์แสงและการสร้างคาร์โบไฮเดรตอย่างต่อเนื่อง (Munns and Tester, 2008) การสะสมของโซเดียมไอออนในรากและใบยังรบกวนการดูดซึ่มและการลำเลียงธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองหลายชนิด ส่งผลให้กระบวนการสร้างโปรตีน คลอโรฟิลล์ และการสะสมแป้งในเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Läuchli and Grattan, 2007; Etesami and Glick, 2020)

เพื่อปรับตัวต่อสภาวะเครียดจากความเค็ม ข้าวจะมีการสะสมสารละลายที่เข้ากันได้ (compatible solutes) เช่น โพรลีน รวมถึงการปรับเปลี่ยนระดับฮอร์โมนพืช อย่างไรก็ตาม กลไกดังกล่าวมีบทบาทเพียงช่วยรักษาสมดุลภายในเซลล์เพื่อความอยู่รอด และไม่เพียงพอที่จะฟื้นฟูกระบวนการเจริญเติบโต การดูดใช้ธาตุอาหาร หรือคุณภาพผลผลิตให้กลับสู่ระดับใกล้เคียงกับสภาพดินปกติ (Munns and Tester, 2008; Phuong *et al.*, 2020)

ในระดับของสมดุลธาตุอาหารในดิน มีรายงานจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าการสะสมไนโตรเจนในพืชลดลงอย่างชัดเจนภายใต้สภาวะดินเค็ม โดยความเค็มที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสะสมของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในสารละลายดินควบคู่กับการลดลงของไนเตรตไอออน (NO_3^-) ส่งผลให้ไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ลดลง (Wahid *et al.*, 2004) การจัดการปุ๋ยในดินที่มีผลกระทบจากเกลือจึงมักจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่สูงขึ้น เนื่องจากไนเตรตมีการสูญเสียจากการชะล้างสูง และดินที่มีความเค็มสูงมักอยู่ในสภาวะขาดไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Ying *et al.*, 2007; Abdelgadir *et al.*, 2010) นอกจากนี้ความเค็มยังยับยั้งกระบวนการไนตริฟิเคชันผ่านการลดกิจกรรมของแบคทีเรียกลุ่ม nitrifiers อันเนื่องมาจากพิษของคลอไรด์ไอออน ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในรูปที่พืชดูดใช้ได้มีจำกัดมากยิ่งขึ้น (Stark and Firestone, 1995)

ภายใต้สภาวะดินมีความเค็มสูง ความสามารถในการดูดใช้ฟอสฟอรัส (P) ของพืชมีลดลงจากหลายปัจจัยร่วมกัน โดยความเค็มส่งผลให้ค่าพีเอชและองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายดินเปลี่ยนแปลง ทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงอยู่ในรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำและไม่สามารถถูกดูดซึมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ความเครียดทางออสโมติกยังทำให้การเจริญและการแผ่ขยายของรากลดลง ส่งผลให้พื้นที่ดูดซึมฟอสฟอรัสในดินลดลงตามไปด้วย (Grattan and Grieve, 1999) แม้ดินจะมีฟอสฟอรัสในระดับเพียงพอ จึงมักพบว่าพืชที่ปลูกในสภาวะดินมีความเค็มสูงมีปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อต่ำ ซึ่งนำไปสู่การชะงักของกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเฉพาะในคลอโรพลาสต์

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารสำคัญที่มีบทบาทต่อการรักษาสสมดุลประจุไฟฟ้าในเซลล์ การควบคุมการเปิด-ปิดปากใบ และการตอบสนองต่อความเครียดของพืช เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไอออนในดินเพิ่มสูงขึ้น โซเดียมไอออนจะเกิดการแข่งขันกับโพแทสเซียมไอออนในการเข้าสู่เซลล์รากผ่านระบบขนส่งชนิดเดียวกัน ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมภายในพืชลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Grattan and Grieve, 1999) การสูญเสียสมดุลของโซเดียมและโพแทสเซียมภายในเซลล์ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการสังเคราะห์โปรตีน อัตราการสังเคราะห์แสง การควบคุมแรงดันเต่ง และการรักษามวลชีวภาพของพืช นอกจากนี้ การสะสมโซเดียมไอออนในระดับสูงยังลดประสิทธิภาพของโพแทสเซียมในการควบคุมกระบวนการไกลโคไลซิสและการยึดตัวของเซลล์ ส่งผลให้การคายน้ำผิดปกติและผลผลิตลดลงในที่สุด

กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) อธิบายว่าข้าวที่ได้รับผลกระทบจากดินที่มีความเค็มจะมีปลายใบสีขาว บางใบแห้งเป็นแถบ ๆ จะเกิดกับใบแก่ก่อนแล้วจึงลามมาที่ใบที่กำลังเจริญเติบโต ต้นข้าวชะงักการเจริญเติบโตและการแตกกอลดลง มักเกิดเป็นหย่อม ๆ ในแปลง ข้าวที่กำลังงอกค่อนข้างจะมีความทนทานต่อความเค็ม แต่ค่อนข้างจะอ่อนแอในระยะที่เป็นต้นกล้า ระยะปักดำ และระยะออกดอก ข้าวอาจขาดธาตุฟอสฟอรัส สังกะสี เหล็ก หรือโบรอนได้ด้วย อาการอื่น ๆ ของข้าวที่ได้รับผลกระทบคืออัตราความงอกลดลง ความสูงและการแตกกอลดลง รากมีการเจริญเติบโตไม่ดี ดอกมีความเป็นหมันเพิ่มขึ้น น้ำหนักเมล็ดและโปรตีนในเมล็ดลดลง แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้ม

1.4) กลไกการทนต่อความเค็มของข้าว

จากความก้าวหน้าทางชีววิทยาระดับโมเลกุลและจีโนมิกส์ ทำให้เข้าใจกลไกการตอบสนองของข้าวต่อความเค็มได้ชัดเจนมากขึ้น โดยสามารถจำแนกกลไกหลักออกเป็น 4 ประการ ได้แก่ (1) การควบคุมสมดุลไอออน (2) การปรับแรงดันออสโมติก (3) ระบบป้องกันอนุมูลอิสระ และ (4) การปรับตัวทางสรีรวิทยา

ข้าวรักษาสมดุลของโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ผ่านโปรตีนลำเลียง ซึ่งช่วยดึงโซเดียมไอออนออกจากไซเล็มเพื่อลดการสะสมในส่วนยอด (Shohan *et al.*, 2019; Hussain *et al.*, 2022) ภายใต้ความเครียดออสโมติก ข้าวจะสังเคราะห์และสะสมออสโมไลต์ เช่น โพรลีน โดยพบว่ายีน OsP5CS มีการแสดงออกเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในพันธุ์ข้าวทนเค็ม ส่งผลให้มีการสะสมโพรลีนสูงและเพิ่มความสามารถในการทนต่อความเครียด (Sripinyowanich *et al.*, 2013) นอกจากนี้ ข้าวยังเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbate peroxidase

(APX) และ glutathione reductase (GR) รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ ซึ่งพบในพันธุ์ข้าวที่ทนเค็ม (Kumar *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024)

ในเชิงสรีรวิทยา ข้าวมีการปรับโครงสร้างพืชเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากความเค็ม เช่น การพัฒนาระบบรากที่ลึกและแผ่กว้าง การเพิ่มความหนาแน่นของรากฝอย การลดพื้นที่ใบ การม้วนใบ และการปิดปากใบเร็วขึ้นเพื่อลดการคายน้ำ รวมถึงการพัฒนาคิวติเคิลที่หนาขึ้นและการลดขนาดท่อลำเลียงน้ำเพื่อลดการเคลื่อนย้ายโซเดียมไอออนไปยังส่วนยอด กลไกเหล่านี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการอยู่รอดของข้าวภายใต้สภาพที่ความเค็มในดินสูงมากกว่าการรักษาผลผลิต (Pouzoulet *et al.*, 2020; Raeisi *et al.*, 2024)

2) ผลของดินโซดิกและโซเดียมในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ดินโซดิกจัดเป็นข้อจำกัดสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรในหลายภูมิภาคของโลก รวมถึงพื้นที่ปลูกข้าวในเขตกึ่งแห้งแล้งและเขตรากลุ่มที่มีการชลประทานอย่างต่อเนื่อง (Richards, 1954; Qadir *et al.*, 2007) โซเดียมในดินส่งผลกระทบต่อพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงเกิดจากความเป็นพิษของไอออน (ion toxicity) และการรบกวนสมดุลของธาตุอาหาร ขณะที่ทางอ้อมเกิดจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างดิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของดินโซดิกและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การปลูกข้าวในดินประเภทนี้ประสบความล้มเหลว (Sumner, 1993; Rengasamy, 2006)

2.1) ผลของดินโซดิกต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

โซเดียมมีบทบาทสำคัญในการทำให้อนุภาคดินเหนียวเกิดการกระจายตัว (clay dispersion) ส่งผลให้โครงสร้างดินเสื่อมสภาพ ดินมีความแน่นทึบ อัตราการซึมน้ำและการระบายน้ำลดลง และเกิดชั้นดินดานบริเวณผิวดินหรือชั้นไถพรวน (hard-setting layer) (Sumner and Naidu, 1998; Rengasamy and Olsson, 1991) สภาพดังกล่าวเป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ด การแผ่กระจายของราก และการแลกเปลี่ยนอากาศในดิน

สำหรับการปลูกข้าว ซึ่งมักปลูกในสภาพน้ำขัง ดินโซดิกยิ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะขาดออกซิเจนในเขตราก (root hypoxia) ส่งผลให้การหายใจของรากลดลงและเกิดความเสียหายต่อเนื้อเยื่อรากอย่างรวดเร็ว (Setter and Waters, 2003) งานวิจัยของ Abrol *et al.* (1988) รายงานว่าในดินโซดิกที่มีอีเอสพีสูงกว่า 20 การเจริญของรากข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แม้ในสภาพที่มีน้ำเพียงพอ

2.2) ผลของโซเดียมต่อการดูดน้ำและธาตุอาหารของข้าว

โซเดียมในดินทำให้ศักย์น้ำของสารละลายดินลดลง ส่งผลให้ข้าวดูดน้ำได้ยาก เกิดความเครียดจากออสโมซิส (osmotic stress) แม้ในดินที่ไม่จัดว่าเป็นมีความเค็มรุนแรง (Munns and Tester, 2008) ดินโซดิกที่มีค่าพีเอชสูงยังลดความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลายชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส ทำให้ข้าวแสดงอาการขาดธาตุอาหาร ใบเหลืองซีด แตกกอลดลง และการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ลดลง (Läuchli and Grattan, 2007; IRRI, 2013)

2.3) ผลของดินโซดิกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว

ความเครียดจากโซเดียมส่งผลต่อข้าวในทุกระยะการเจริญเติบโต โดยระยะงอกและระยะต้นกล้าเป็นช่วงที่มีความไวต่อโซเดียมมากที่สุด รองลงมาคือระยะแตกกอและระยะออกดอก (Maas and Hoffman, 1977) ในดินโซดิกพบว่าต้นข้าวมีลักษณะแคระแกร็น จำนวนกอและจำนวนรวงต่อพื้นที่ลดลง รวงสั้น และมีอัตราการเป็นหมันสูง ส่งผลให้ผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน (Grattan *et al.*, 2002)

การศึกษาหลายพื้นที่รายงานว่า การปลูกข้าวในดินที่มีค่าไอเอสพี สูงกว่า 15–20 แม้จะมีค่าไอซีอี ต่ำกว่า 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร มีผลผลิตข้าวต่ำกว่าถึงร้อยละ 20–50 เมื่อเทียบกับดินปกติ เนื่องจากข้อจำกัดด้านโครงสร้างดินและการทำงานของระบบราก (Qadir *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2015)

การจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือเพื่อการปลูกข้าว

ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวเกิดจากสามกลไกหลัก ได้แก่ ความเครียดออสโมติกที่ขัดขวางการดูดน้ำของราก ความเป็นพิษของไอออนโดยเฉพาะโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน ซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร และความเสียหายจากปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์พืชโดยตรง ปัญหาความเค็มที่มีความซับซ้อนทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ จึงทำให้การจัดการดินเพื่อการปลูกข้าวในพื้นที่เค็มจำเป็นต้องใช้แนวทางแบบบูรณาการที่ผสมผสานเทคนิคด้านดิน น้ำ และการปรับปรุงพันธุ์ข้าวร่วมกัน เพื่อรักษาผลผลิตและสร้างความยั่งยืนในระบบการผลิต (Mishra *et al.*, 2023)

การจัดการด้านดินและน้ำเป็นแนวทางพื้นฐานที่ได้รับการนำมาใช้แพร่หลายในพื้นที่เพาะปลูกข้าว เนื่องจากช่วยลดความเข้มข้นของเกลือในโซนรากได้โดยตรง โดยการชะล้างเกลือด้วยน้ำจืด การรักษาระดับน้ำบริเวณผิวดิน และระบบระบายน้ำที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการสะสมของเกลือในช่วงฤดูแล้งได้ (Mishra *et al.*, 2023) การปรับปรุงดินที่มีผลกระทบจากเกลือสามารถจัดการได้ด้วยการเติมสารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ไบโอสชาร์ หรือฟางข้าว เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งอินทรีย์วัตถุช่วยลดความเค็มและค่าปฏิกิริยาดิน รวมทั้งช่วยกระตุ้นกิจกรรมจุลินทรีย์ในดินและลดภาวะเครียดจากเกลือในพืช (Khan *et al.*, 2024) สำหรับดินโซดิก การใช้ยิปซัมเป็นสารปรับปรุงดินช่วยเสริมการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ในการแทนที่โซเดียมไอออน (Na^+) ที่เกาะบนคอลลอยด์ดิน ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น ลดปัญหาการกระจายตัวของดินและช่วยให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีขึ้น

ด้านการจัดการธาตุอาหาร มีความจำเป็นต้องให้ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมอย่างสมดุลเพื่อรักษาอัตราส่วนโซเดียมและโพแทสเซียมไอออน (Na^+/K^+) ให้อยู่ในระดับที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ โดยการแบ่งใส่ปุ๋ยหลายครั้งตามช่วงการเจริญเติบโต พบว่าสามารถช่วยลดความเสียหายจากความเค็มได้ นอกจากนี้วิธีการทางเกษตรกรรม เช่น การปักดำสัปดาห์ก่อนในระยะเวลาที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ไนโตรเจนในอัตราที่เหมาะสม ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวในดินโซดิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sheoran *et al.*, 2021)

กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) จัดทำคำแนะนำโดยทั่วไปสำหรับพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง แนะนำสูตรปุ๋ยเคมีและอัตราการใช้ตามชนิดเนื้อดิน รายละเอียดตามตารางที่ 4

ในด้านชีววิธีมีการนำจุลินทรีย์ส่งเสริมการเจริญของพืช (PGPMs) ที่มีความทนเค็มมาใช้เพื่อลดผลกระทบจากความเค็ม จุลินทรีย์เหล่านี้มีบทบาทในการผลิตเอนไซม์ ACC deaminase เพื่อลดระดับเอทิลีนที่เกิดจากความเครียด รวมถึงเสริมการสร้างฮอร์โมนพืช เช่น IAA เพิ่มประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส พร้อมทั้งกระตุ้นระบบป้องกันอนุมูลอิสระของพืชเพื่อเพิ่มความทนทานต่อเกลือ (Kumar *et al.*, 2020) นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซายังช่วยเพิ่มความสามารถของพืชในการดูดน้ำและธาตุอาหาร พร้อมทั้งปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณราก ทำให้สามารถทนต่อความเค็มได้ดีขึ้น (Numan *et al.*, 2018)

ในบริบทของการผลิตข้าวในประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งผลิตข้าวสำคัญ พบว่าความเค็มของดินเป็นหนึ่งในปัจจัยจำกัดหลักต่อผลผลิต โดยในปีที่มีปริมาณฝนต่ำ เช่น ปี 2018 ความเค็มของดินเพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัด ส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงมากกว่าร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่มีปัญหาความเค็ม (Clermont-Dauphin *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามความแปรผันของผลผลิตไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเค็มเพียงปัจจัยเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับแนวทางการจัดการ เช่น การให้น้ำ การใช้ปุ๋ย และการเลือกพันธุ์ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไม่น้อยไปกว่าปัจจัยด้านดิน (Yang *et al.*, 2022)

ตารางที่ 4 คำแนะนำในการใส่ปุ๋ยสำหรับพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง

ชนิดเนื้อดิน	การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1		ชนิดของปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2		
	สูตรปุ๋ยที่แนะนำ*	อัตราการใส่ปุ๋ย (กก./ไร่)	แอมโมเนียมซัลเฟต (กก./ไร่)	หรือยูเรีย (กก./ไร่)	หรือสูตรอื่น ๆ** (กก./ไร่)
ดินเหนียว	16-20-0 หรือ 18-22-0 หรือ 20-20-0	20-25	10-20	5-10	20-25
ดินร่วน และดินทราย	16-16-8 หรือ 18-12-6 หรือ 15-15-15 13-13-21	20-25 25-30	10-20	5-10	20-25 25-30

* ต้องเป็นสูตรปุ๋ยที่มี N อยู่ในรูปแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

** ในกรณีที่ไม่สามารถหาปุ๋ยไนโตรเจนอื่น เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือยูเรียได้ ก็ให้ใช้ปุ๋ยเชิงประกอบ หรือปุ๋ยเชิงผสมสูตรที่ใส่ครั้งที่ 1 แทนในอัตราเท่ากัน

หมายเหตุ

- (1) การใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งให้เลือกใช้ปุ๋ยเพียงสูตรเดียวเท่านั้น
- (2) อัตราที่ใส่ทั้งครั้งที่ 1 และที่ 2 ตัวเลขตัวหน้าเป็นอัตราปกติ ส่วนตัวเลขตัวหลังเป็นอัตราที่ต้องการผลผลิตเพิ่มมากกว่าอัตราปกติ

- (3) ถ้าจำเป็นต้องปักดำเดือนกันยายนหรือตุลาคม ให้นำปุ๋ยครั้งที่ 2 รวมกับปุ๋ยครั้งที่ 1 ใส่ที่ระยะปักดำ ยกเว้น ภาคใต้ฝั่งตะวันออกใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำปกติ
- (4) ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ที่ระยะปักดำหรือใส่ก่อนปักดำแล้วคราดกลบหรือหลังปักดำ 15–20 วัน และ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ที่ระยะกำเนิดช่อดอก (ประมาณ 25–30 วันก่อนข้าวออกดอก) หรือใส่หลังใส่ปุ๋ยครั้งแรกแล้ว 30 วัน
- (5) สำหรับนาหยอด นาหว่านข้าวแห้ง นาหว่านน้ำตมและนาข้าวขึ้นน้ำใส่ปุ๋ย ครั้งที่ 1 ที่ระยะ 20–30 วัน หลังข้าวงอก ส่วนปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่เหมือนใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ข้อ (4) เฉพาะนาข้าวขึ้นน้ำอาจจะใส่ที่ระยะน้ำในนาลึก ประมาณ 30 เซนติเมตร หรือก่อนที่น้ำจะลึกเกินกว่า 30 เซนติเมตร ก็ได้
- (6) แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) และยูเรีย (46-0-0)

ลักษณะของข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105: KDML105) พันธุ์ข้าวนาสวนไวต่อแสง แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน เป็นพันธุ์ที่ทนต่อสภาพดินเปรี้ยวและดินเค็ม มีผลผลิตเฉลี่ย 363 กิโลกรัมต่อไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) ผลผลิตที่ปลูกในพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เฉลี่ย 450 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงาน กปร. และ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2553)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมสำคัญของประเทศไทยที่ปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวพันธุ์นี้จัดอยู่ในกลุ่มที่ทนเค็มระดับอ่อนถึงปานกลาง โดยความเค็มมีผลโดยตรงต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ด งานวิจัยของ Kongpun *et al.* (2020) พบว่าเมื่อระดับความเค็มของดินเพิ่มขึ้น ดินที่มีค่าอีซีอี 0.62–1.16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 36.3 โดยผลกระทบหลักเกิดจากการลดลงของน้ำหนักเมล็ด (1,000 เมล็ด) แม้ว่าลักษณะทางการเจริญเติบโต เช่น ความสูง จำนวนหน่อ และจำนวนรวงจะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความเครียดจากความเค็มรบกวนการสร้างแป้งในระยะพัฒนาการเมล็ด (grain filling) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wei *et al.* (2017) พบว่าผลของเกลือส่งผลต่อการสร้างแป้งและการสังเคราะห์แสง ข้าว Kongpun *et al.* (2020) พบว่าอุณหภูมิการสุกของแป้งยังคงเดิมในทุกๆระดับความเค็ม ทำให้ข้าวยังคงความนุ่มเป็นเอกลักษณ์ได้

อย่างไรก็ตามข้าวขาวดอกมะลิ มีปฏิกิริยาต่อกลิ่นหอมแตกต่างจากพันธุ์หอมในต่างประเทศ โดยพบว่าเมื่อได้รับความเค็มระดับต่ำที่ระดับ $1.16 \text{ g NaCl kg}^{-1}$ ดิน (อีซีอีประมาณ 0.62 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ปริมาณสำคัญ 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 จากตำรับควบคุม แสดงให้เห็นว่าความเครียดจากความเค็มระดับต่ำ อาจกระตุ้นการสร้างสารทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับกลไกความทนทานของพืช (Tiwari and Rana, 2015) แต่เมื่อความเค็มสูงขึ้น กลิ่นหอมกลับลดลงอย่างชัดเจน และไม่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตหรือน้ำหนักเมล็ด ซึ่งแตกต่างจากพันธุ์หอมในเขตอบอุ่นที่พบการเพิ่มขึ้นของ 2AP ภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่า (Gay *et al.*, 2010)

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินตามเกณฑ์กองสำรวจดิน (2523) กำหนด 5 ค่าวิเคราะห์ดินหลัก (อินทรีย์วัตถุ, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์, ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน, ความอืดตัวเบส) มาให้คะแนน 1-3 โดยระดับต่ำ ได้ 1 คะแนน ระดับปานกลาง ได้ 2 คะแนน ระดับสูง ได้ 3 คะแนน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

รายการ	ระดับ		
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
อินทรีย์วัตถุ (OM) (%)	น้อยกว่า 1.5	1.5 - 3.5	มากกว่า 3.5
ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (cmol/kg)	น้อยกว่า 10	10 - 20	มากกว่า 20
ความอืดตัวเบส (BS) (%)	น้อยกว่า 35	35 - 75	มากกว่า 75
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) (mg/kg)	น้อยกว่า 10	10 - 25	มากกว่า 25
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K) (mg/kg)	น้อยกว่า 60	60 - 90	มากกว่า 90

ที่มา: กองสำรวจดิน (2523)

จากนั้นสรุปผลรวมคะแนน คะแนน 5-7 หมายถึง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ คะแนน 8-12 หมายถึง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง คะแนน 13-15 หมายถึง ความอุดมสมบูรณ์สูง การประเมินนี้ช่วยให้ทราบความสามารถของดินในการให้ธาตุอาหารแก่พืช เพื่อนำไปสู่การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม

บทที่ 3

ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งและอาณาเขต

พื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บนที่ราบสูงโคราช ละติจูด 15 องศาเหนือ ลองจิจูด 102 องศาตะวันออก สูงจากระดับทะเลปานกลาง 187 เมตร จังหวัดนครราชสีมา มีเนื้อที่ 12,960,164 ไร่ จังหวัดชัยภูมิ มีเนื้อที่ 7,936,558 ไร่ รวมเนื้อที่ทั้งสองจังหวัด 20,896,722 ไร่ มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียง (กรมการปกครอง, 2566) (ภาพที่ 1) ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดกับ	จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดเพชรบูรณ์
ทิศใต้	ติดกับ	จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดนครนายก และจังหวัดสระแก้ว
ทิศตะวันออก	ติดกับ	จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดขอนแก่น
ทิศตะวันตก	ติดกับ	จังหวัดสระบุรี จังหวัดลพบุรี และจังหวัดเพชรบูรณ์

สภาพภูมิประเทศ

1) จังหวัดนครราชสีมา

สภาพภูมิประเทศของจังหวัดนครราชสีมา มีทั้งที่เป็นภูเขาสูง ที่ราบลุ่ม พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และพื้นที่ลูกคลื่นลอนลึก แบ่งออกเป็น 4 บริเวณ (สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา, 2567) ดังนี้

1.1) บริเวณเทือกเขาและที่สูงทางตอนใต้ของจังหวัดมีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง มากกว่า 250 เมตร อยู่ในบริเวณอำเภอปากช่อง อำเภอปักธงชัย อำเภอวังน้ำเขียว อำเภอครบุรี และอำเภอเสิงสาง เทือกเขานี้เป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำลำธารหลายสายที่ไหลไปทางตะวันออกของภาค ได้แก่ แม่น้ำมูล ลำชี ละม้าย และลำปลายมาศ พื้นที่ระหว่างเทือกเขาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนตื้นและลูกคลื่นลอนตื้น ตอนล่างของหุบเขามีความลาดชันค่อนข้างมาก ทำให้มีการชะล้างพังทลายของหน้าดินในบริเวณนี้ค่อนข้างสูง

1.2) บริเวณที่สูงทางตอนกลางของจังหวัดมีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 200 – 250 เมตร อยู่ในเขตอำเภอด่านขุนทด อำเภอสีคิ้ว อำเภอเทพารักษ์ อำเภอพระทองคำ ตอนล่างของอำเภอโนนไทย อำเภอขามทะเลสอ อำเภอเมือง อำเภอสูงเนิน ตอนบนของอำเภอปักธงชัยและอำเภอครบุรี อำเภอโชคชัย อำเภอหนองบุญมาก อำเภอจักราช และอำเภอเสิงสาง ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลูกคลื่นลอนตื้น ยกเว้นบริเวณใกล้เชิงเขามีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลึก พื้นที่บางส่วนเป็นที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำไหลผ่านหลายสาย ได้แก่ ลำชี ละม้าย ลำพระเพลิง ลำตะคอง ลำน้ำมูล และลำจักราช

1.3) พื้นที่ลูกคลื่นทางตอนเหนือของจังหวัด มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง ประมาณ 200 เมตร อยู่ในเขตอำเภอขามสะแกแสง ตอนบนของอำเภอโนนไทย อำเภอดงทางทิศตะวันตกของอำเภอบัวใหญ่ อำเภอบ้านเหลื่อม อำเภอห้วยแถลง และอำเภอชุมพวง อำเภอลำทะเมนชัย มีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้นที่สูงสลับที่นา บางตอนเป็นพื้นที่ราบลุ่มบริเวณริมฝั่งแม่น้ำลำเชียงไกร และลำปลายมาศ

1.4) บริเวณที่ราบลุ่มทางตอนเหนือของจังหวัด มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง น้อยกว่า 200 เมตร อยู่ในเขตอำเภอบัวใหญ่ อำเภอดงทาง อำเภอโนนสูง อำเภอประทาย อำเภอพิมาย อำเภอสีดา อำเภอบัวลาย และอำเภอเมืองยาง มีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และมีที่ราบลุ่มบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ

2) จังหวัดชัยภูมิ

สภาพภูมิประเทศของจังหวัดชัยภูมิ 3 ลักษณะ (ระบบงานสารสนเทศ, 2567) ได้แก่

2.1) พื้นที่ราบในฝั่งแม่น้ำ เป็นที่ราบน้ำท่วมถึง มีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 300 เมตร พื้นที่ราบเรียบ ความลาดเอียงของพื้นที่อยู่ระหว่างร้อยละ 0-2 ซึ่งมีพื้นที่ประมาณร้อยละ 13 ของพื้นที่จังหวัด ได้แก่ พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำชีในเขตอำเภอเมืองชัยภูมิ อำเภอคอนสวรรค์ อำเภอบ้านเขว้า อำเภอบำเหน็จณรงค์ และอำเภอเนินสง่า

2.2) พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น อยู่ตอนกลางของพื้นที่จังหวัด เป็นแนวยาวตามทิศเหนือ-ใต้ตามแนวเทือกเขาตงพญาเย็น มีความสูงประมาณ 300-500 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ได้แก่ พื้นที่บางส่วนในเขตอำเภอเมืองชัยภูมิ อำเภอหนองบัวระเหว อำเภอบ้านเขว้า อำเภอแก้งคร้อ อำเภอบำเหน็จณรงค์ อำเภอเทพสถิต อำเภอเกษตรสมบูรณ์ และอำเภอบ้านแท่น

2.3) พื้นที่สูงและภูเขา ในเขตเทือกเขาตงพญาเย็น มีความสูงตั้งแต่ 500 - มากกว่า 1,000 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง ได้แก่ พื้นที่บางส่วนของอำเภอหนองบัวระเหว อำเภอเทพสถิต อำเภอคอนสาร อำเภอเกษตรสมบูรณ์ อำเภอหนองบัวแดง อำเภอภูเขียว อำเภอแก้งคร้อ อำเภอภักดีชุมพล อำเภอซับใหญ่ และพื้นที่ทางตอนเหนือของอำเภอเมืองชัยภูมิ

สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิมีลักษณะภูมิอากาศขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุมที่พัดประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมประเทศไทย ตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณเดือนกุมภาพันธ์จะอยู่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย ทำให้จังหวัดนครราชสีมาภูมิอากาศหนาวเย็นและแห้งทั่วไป ส่วนมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดเอาความชื้นจากทะเลและมหาสมุทรเข้าปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูฝน ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม ทำให้มีฝนตกชุกทั่วไป

ฤดูหนาว ประมาณเดือน ตุลาคม - กุมภาพันธ์

ฤดูร้อน ประมาณเดือน กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม

ฤดูฝน ประมาณเดือน พฤษภาคม- ตุลาคม

ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจอากาศนครราชสีมาและชัยภูมิ ในช่วงปี พ.ศ. 2536-2565 ของกรมอุตุนิยมวิทยา (2566) (ตารางที่ผนวกที่ 1 และ 2) ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน น้ำฝนใช้การได้ จำนวนวันฝนตก อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และศักยภาพการคายระเหยน้ำ ดังนี้

1) อุณหภูมิ

จังหวัดนครราชสีมามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.7 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปี วัดได้ 33.2 องศาเซลเซียส โดยพบอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 36.4 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 23.2 องศาเซลเซียส โดยพบอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคม คือ 19.1 องศาเซลเซียส จังหวัดชัยภูมิมียุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.5 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 33.1 องศาเซลเซียส โดยพบอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 36.4 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีวัดได้ 23 องศาเซลเซียส โดยพบอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนมกราคม คือ 18.9 องศาเซลเซียส

2) ปริมาณน้ำฝน

จังหวัดนครราชสีมาปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปี 1,134.5 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายน คือ 236.1 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม คือ 3.7 มิลลิเมตร จังหวัดชัยภูมิมียุณหภูมิรวมทั้งปี 1,180.6 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากที่สุดในเดือนกันยายน คือ 257 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม คือ 5 มิลลิเมตร

3) ปริมาณน้ำฝนใช้การได้ (Effective Rainfall: ER)

จังหวัดนครราชสีมาปริมาณน้ำฝนที่ใช้การได้ คือพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายหลังจากที่มีการไหลซึมลงไปในดินจนดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วไหลบ่าออกมาเก็บกักในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมาปริมาณน้ำฝนใช้การได้รวมทั้งปี 862 มิลลิเมตรต่อปี ในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้มากที่สุด คือ 146.9 มิลลิเมตร และเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้น้อยที่สุด คือ 3.7 มิลลิเมตร จังหวัดชัยภูมิมียุณหภูมิรวมทั้งปี 874 มิลลิเมตรต่อปี ในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้มากที่สุด คือ 150.7 มิลลิเมตร และเดือนธันวาคมมีปริมาณน้ำฝนใช้การได้น้อยที่สุด คือ 5 มิลลิเมตร

4) ความชื้นสัมพัทธ์และศักยภาพการคายระเหยน้ำ

จังหวัดนครราชสีมาความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปีร้อยละ 71.3 ปริมาณการคายระเหยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 107.5 มิลลิเมตร ปริมาณการคายระเหยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 128.7 มิลลิเมตร และปริมาณการคายระเหยน้ำต่ำสุดในเดือนธันวาคม คือ 84.94 มิลลิเมตร จังหวัดชัยภูมิมียุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีร้อยละ 69.5 ปริมาณการคายระเหยเฉลี่ยตลอดทั้งปี 105.7 มิลลิเมตร ปริมาณการคายระเหยสูงสุดในเดือนเมษายน คือ 127.5 มิลลิเมตร และปริมาณการคายระเหยน้ำต่ำสุดในเดือนธันวาคม คือ 82.15 มิลลิเมตร

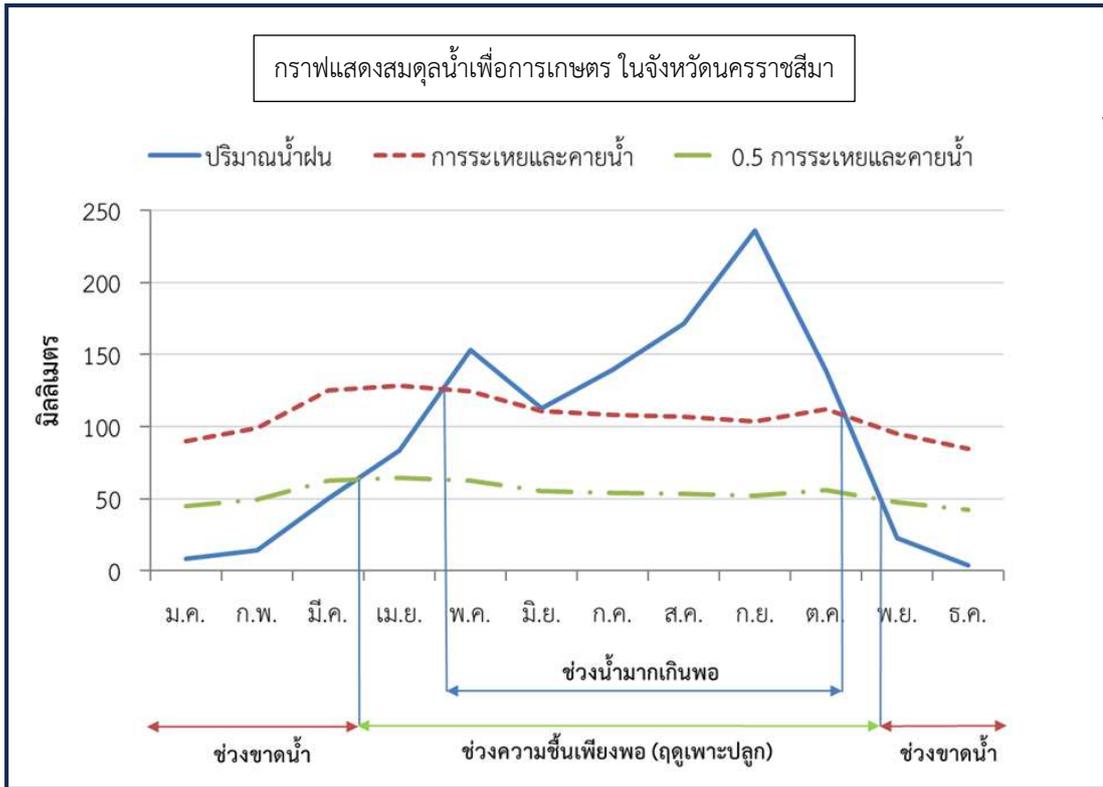
5) การวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช

การวิเคราะห์ช่วงฤดูเพาะปลูกพืชเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยและค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำรายเดือนเฉลี่ย (potential evapotranspiration: PET) ซึ่งคำนวณและพิจารณาจากระยะเวลาช่วงที่เส้นน้ำฝนอยู่เหนือเส้น 0.5 PET ถือเป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการปลูกพืช จากการวิเคราะห์ช่วงฤดูกาลที่เหมาะสมจากการปลูกพืชเศรษฐกิจของจังหวัดนครราชสีมา (ภาพที่ 2) จังหวัดชัยภูมิ (ภาพที่ 3) ดังนี้

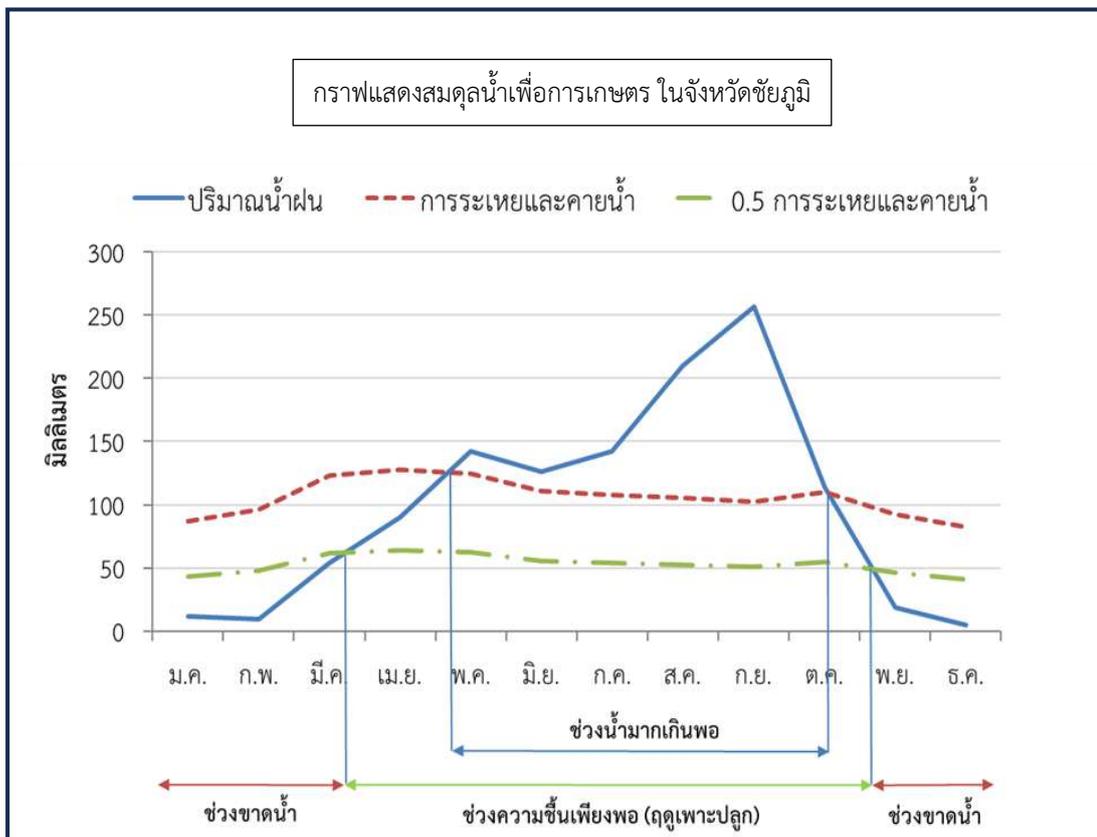
5.1) ช่วงระยะเวลาที่มีน้ำมากเกินพอ เป็นช่วงที่ดินมีความชื้นสูงและมีฝนตกชุก ควรระวังเรื่องการท่วมขังของน้ำ จังหวัดนครราชสีมา อยู่ในช่วงระหว่างต้นเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนตุลาคม จังหวัดชัยภูมิ อยู่ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม

5.2) ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช เป็นช่วงที่ดินมีความชื้นพอเหมาะต่อการปลูกพืช จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ อยู่ในช่วงระหว่างปลายเดือนมีนาคมถึงต้นเดือนพฤศจิกายน

5.3) ช่วงระยะที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยอาศัยน้ำฝนหรือที่เรียกว่าช่วงขาดน้ำเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำฝนและการกระจายของฝนน้อย ทำให้ดินมีความชื้นไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรมีการจัดการน้ำหรือมีแหล่งชลประทานที่เหมาะสม จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ อยู่ในช่วงระหว่างต้นเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมีนาคมของปีถัดไป



ภาพที่ 2 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตร ในจังหวัดนครราชสีมา



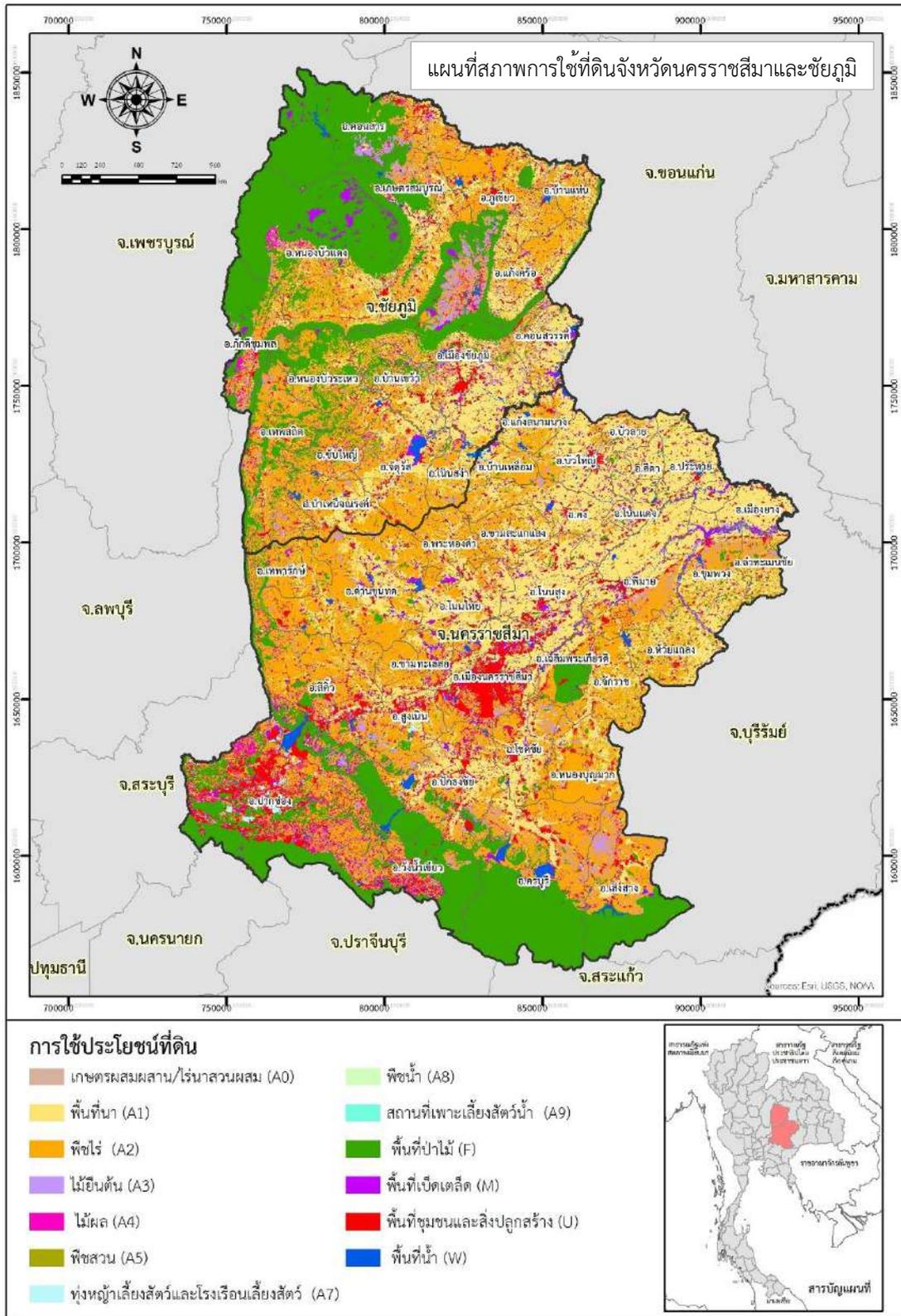
ภาพที่ 3 กราฟแสดงสมดุลน้ำเพื่อการเกษตร ในจังหวัดชัยภูมิ

การใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินของจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม เนื้อที่รวม 13,219,505 ไร่ หรือร้อยละ 63.250 ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่มากที่สุด ถึง 6,652,220 ไร่ หรือร้อยละ 31.834 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาเป็นพื้นที่นา 5,410,213 ไร่ หรือร้อยละ 25.890 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น 675,513 ไร่ หรือร้อยละ 3.233 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 4) (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2566; 2567)

ตารางที่ 6 ประเภทการใช้ที่ดินของจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
A พื้นที่เกษตรกรรม	13,219,505	63.250
A0 เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	26,127	0.125
A1 พื้นที่นา	5,410,213	25.890
A2 พืชไร่	6,652,220	31.834
A3 ไม้ยืนต้น	675,513	3.233
A4 ไม้ผล	261,912	1.253
A5 พืชสวน	37,929	0.182
A7 พุ่มหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	121,779	0.583
A8 พืชน้ำ	195	0.001
A9 สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	33,617	0.161
F พื้นที่ป่าไม้	4,882,064	23.363
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด	802,897	3.842
U พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	1,413,010	6.762
W พื้นที่น้ำ	579,246	2.772
รวมทั้งหมด	20,896,722	100.000



ภาพที่ 4 แผนที่สภาพการใช้ที่ดินจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ

ที่มา: กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (2566; 2567)

ทรัพยากรดิน

1) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมา

จากแผนที่ดินของกลุ่มสำรวจจำแนกดิน (2566ก) พบดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมา ทั้งหมด 24 หน่วยแผนที่ดิน ประกอบด้วย ประเภทชุดดิน 11 หน่วย ประเภทดินคล้าย 10 หน่วย ได้แก่ Tsr-cA, Tsr-sicA, Tsr-sicA/ssub, Pt-clA, Pt-sclA, Pt-slA, Ki-sclA, Ki-slA, Ki-col-slA, Kts-slA, Kts-slA/csub, Kts-slB, Kts-f-clA, Kts-f-clB, Kts-f-siclB, Kts-fl-slA, Kts-fl-slB, Kts-tks-lsA, Kts-tks-lsB, Kts-vtks-lsA และ Kts-vtks-lsB และประเภทหน่วยเชิงซ้อน 3 หน่วย ได้แก่ Ki-Pt-sclA, Ki-slA-Pt-sclA และ Tsr-Pt-clA (ตารางที่ 7 และภาพที่ 5) มีเนื้อที่รวม 2,170,709 ไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 16.749 ของพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัด หน่วยแผนที่ดินที่พบมากในจังหวัดนครราชสีมา คือพบ Ki-slA มากที่สุด รองลงมาเป็น Ki-slA-Pt-sclA, Tsr-sicA, Ki-Pt-sclA, Pt-clA, Tsr-Pt-clA, Tsr-cA และ Kts-slA

2) ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดชัยภูมิ

จากแผนที่ดินของกลุ่มสำรวจจำแนกดิน (2566ข) พบดินที่มีผลกระทบจากแผนที่ดินจังหวัดชัยภูมิ ทั้งหมด 17 หน่วยแผนที่ดิน ประกอบด้วย ประเภทชุดดิน 8 หน่วย และประเภทดินคล้าย 8 หน่วย ได้แก่ Tsr-cA, Tsr-sicA, Pt-clA, Pt-siclA, Pt-pic-clA, Ki-sclA, Ki-slA, Ki-col-slA, Ki-Ki-col-slA, Kts-slA, Kts-f-clA, Kts-f-clB, Kts-f-siclB, Kts-fl-slA, Kts-fl-slB และ Kts-vtks-lsB และประเภทหน่วยเชิงซ้อน 1 หน่วย ได้แก่ Tsr-Pt-clA Pt-clA (ตารางที่ 7 และภาพที่ 5) มีเนื้อที่รวม 587,196 ไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 7.352 ของพื้นที่ทั้งหมดของจังหวัด หน่วยแผนที่ดินที่พบมากในจังหวัดชัยภูมิคือพบ Pt-clA มากที่สุด รองลงมาคือ Ki-slA

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหน่วยแผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ พบว่าพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือมีการแจกกระจายตัวในจังหวัดนครราชสีมามากกว่าจังหวัดชัยภูมิ เกือบ 4 เท่า แสดงว่าจังหวัดนครราชสีมามีความรุนแรงและขอบเขตของปัญหาดินที่มีผลกระทบจากเกลือมากกว่าจังหวัดชัยภูมิอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณารวมทั้งสองจังหวัด หน่วยแผนที่ดินที่พบมาก คือ Ki-slA รองลงมาเป็น Pt-clA, Ki-slA-Pt-sclA, Tsr-sicA, Ki-Pt-sclA, Kts-slA, Tsr-Pt-clA, Tsr-cA, Kts-fl-slB และ Ki-col-slA การพบหน่วยแผนที่ดินที่หลากหลาย มีชุดดินและดินคล้าย ทั้งหน่วยเดี่ยวและหน่วยเชิงซ้อน แสดงว่าดินที่มีผลกระทบจากเกลือในพื้นที่ทั้งสองจังหวัดมีความแปรปรวนของสัณฐานวิทยา สมบัติดิน และสภาพพื้นที่ที่พบดินนั้น ๆ

ตารางที่ 7 ดินที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจกจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ

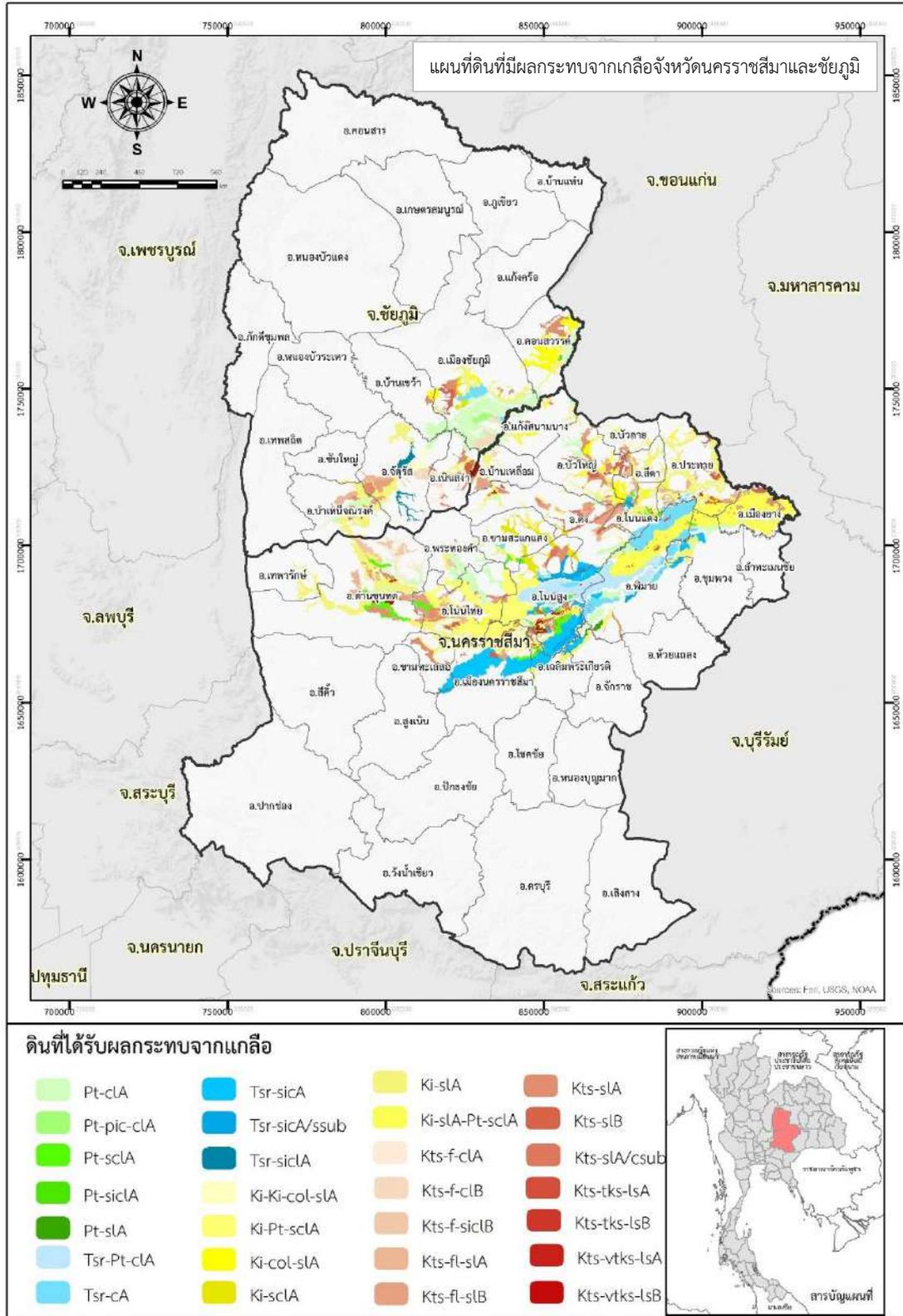
ลำดับ	หน่วย แผนที่ดิน	คำอธิบายหน่วยแผนที่ดิน	เนื้อที่			
			นครราชสีมา		ชัยภูมิ	
			ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
1	Tsr-cA	ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ มีเนื้อดินบนเป็นดินเหนียว ความลาดชันร้อยละ 0-2	119,206	0.920	15,758	0.197
2	Tsr-sicA	ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ มีเนื้อดินบนเป็นดินเหนียว ปนทรายแป้ง ความลาดชันร้อยละ 0-2	189,162	1.460	19,666	0.246
3	Tsr-sicA/ssub	ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ มีเนื้อดินบนเป็นดินเหนียว ปนทรายแป้ง ความลาดชันร้อยละ 0-2 ลึกถึงชั้นดินทราย	35,065	0.271	-	-
4	Tsr-Pt-clA	หน่วยเชิงซ้อนชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์และชุดดิน ประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชันร้อยละ 0-2	138,534	1.069	-	-
5	Pt-clA	ชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปน ดินเหนียว ความลาดชันร้อยละ 0-2	163,648	1.263	169,939	2.128
6	Pt-sclA	ชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียว ปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	72,369	0.558	-	-
7	Pt-slA	ชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปน ทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	4,418	0.034	-	-
8	Pt-siclA	ชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียว ปนทรายแป้ง ความลาดชันร้อยละ 0-2	-	-	941	0.012
9	Pt-pic-clA	ดินประทายที่มีศิลาแลงอ่อน มีเนื้อดินบนเป็น ดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชันร้อยละ 0-2	-	-	6,967	0.087
10	Ki-sclA	ชุดดินกุลาร่องไห มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน เหนียวปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	43,892	0.339	9,388	0.118
11	Ki-slA	ชุดดินกุลาร่องไห มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วน ปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	481,547	3.716	134,007	1.678
12	Ki-col-slA	ดินกุลาร่องไหที่เป็นดินร่วนหยาบ มีเนื้อดินบน เป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	45,032	0.347	59,257	0.742

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ	หน่วยแผนที่ดิน	คำอธิบายหน่วยแผนที่ดิน	เนื้อที่			
			นครราชสีมา		ชัยภูมิ	
			ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
13	Ki-Pt-sclA	หน่วยเชิงซ้อนของชุดดินกุลาร่องไหและชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	184,262	1.422	-	0.000
14	Ki-Ki-col-sIA	หน่วยเชิงซ้อนชุดดินกุลาร่องไหและดินกุลาร่องไหที่เป็นดินร่วนหยาบ มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	-	0.000	12,743	0.160
15	Ki-sIA-Pt-sclA	หน่วยเชิงซ้อนของชุดดินกุลาร่องไห มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายและชุดดินประทาย มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	235,430	1.817	-	-
16	Kts-sIA	ชุดดินขามทะเลสอ มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	102,093	0.788	50,084	0.627
17	Kts-sIA/csub	ชุดดินขามทะเลสอ มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2 ลึกถึงชั้นดินเหนียว	24,209	0.187	-	-
18	Kts-sIB	ชุดดินขามทะเลสอ มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 2-5	74,620	0.576	-	-
19	Kts-f-clA	ดินขามทะเลสอที่เป็นดินละเอียด มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดิน ความลาดชันร้อยละ 0-2	32,492	0.251	10,482	0.131
20	Kts-f-clB	ดินขามทะเลสอที่เป็นดินละเอียด มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชันร้อยละ 2-5	1,904	0.015	37,528	0.470
21	Kts-f-sicIB	ดินขามทะเลสอที่เป็นดินละเอียด มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ความลาดชันร้อยละ 2-5	24,617	0.190	251	0.003

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับ	หน่วยแผนที่ดิน	คำอธิบายหน่วยแผนที่ดิน	เนื้อที่			
			นครราชสีมา		ชัยภูมิ	
			ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
22	Kts-fl-sIA	ดินขามทะเลสอที่เป็นดินร่วนละเอียด มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 0-2	79,228	0.611	19,788	0.248
23	Kts-fl-sIB	ดินขามทะเลสอที่เป็นดินร่วนละเอียด มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชันร้อยละ 2-5	94,016	0.725	21,046	0.264
24	Kts-tks-lsA	ดินขามทะเลสอที่เป็นทรายหนา มีเนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน ความลาดชันร้อยละ 0-2	677	0.005	-	0.000
25	Kts-tks-lsB	ดินขามทะเลสอที่เป็นทรายหนา มีเนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน ความลาดชันร้อยละ 2-5	2,476	0.019	-	0.000
26	Kts-vtks-lsA	ดินขามทะเลสอที่เป็นทรายหนามาก มีเนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน ความลาดชันร้อยละ 0-2	756	0.006	-	0.000
27	Kts-vtks-lsB	ดินขามทะเลสอที่เป็นทรายหนามาก มีเนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน ความลาดชันร้อยละ 2-5	21,057	0.162	1,414	0.018
รวมพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ			2,170,709	16.749	587,196	7.352
พื้นที่อื่น ๆ			10,789,455	83.251	7,399,362	92.648
เนื้อที่จังหวัด			12,960,164	100.000	7,986,558	100.000



ภาพที่ 5 แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ

ที่มา: ดัดแปลงจากกลุ่มสำรวจจำแนกดิน (2566ก; 2566ข)

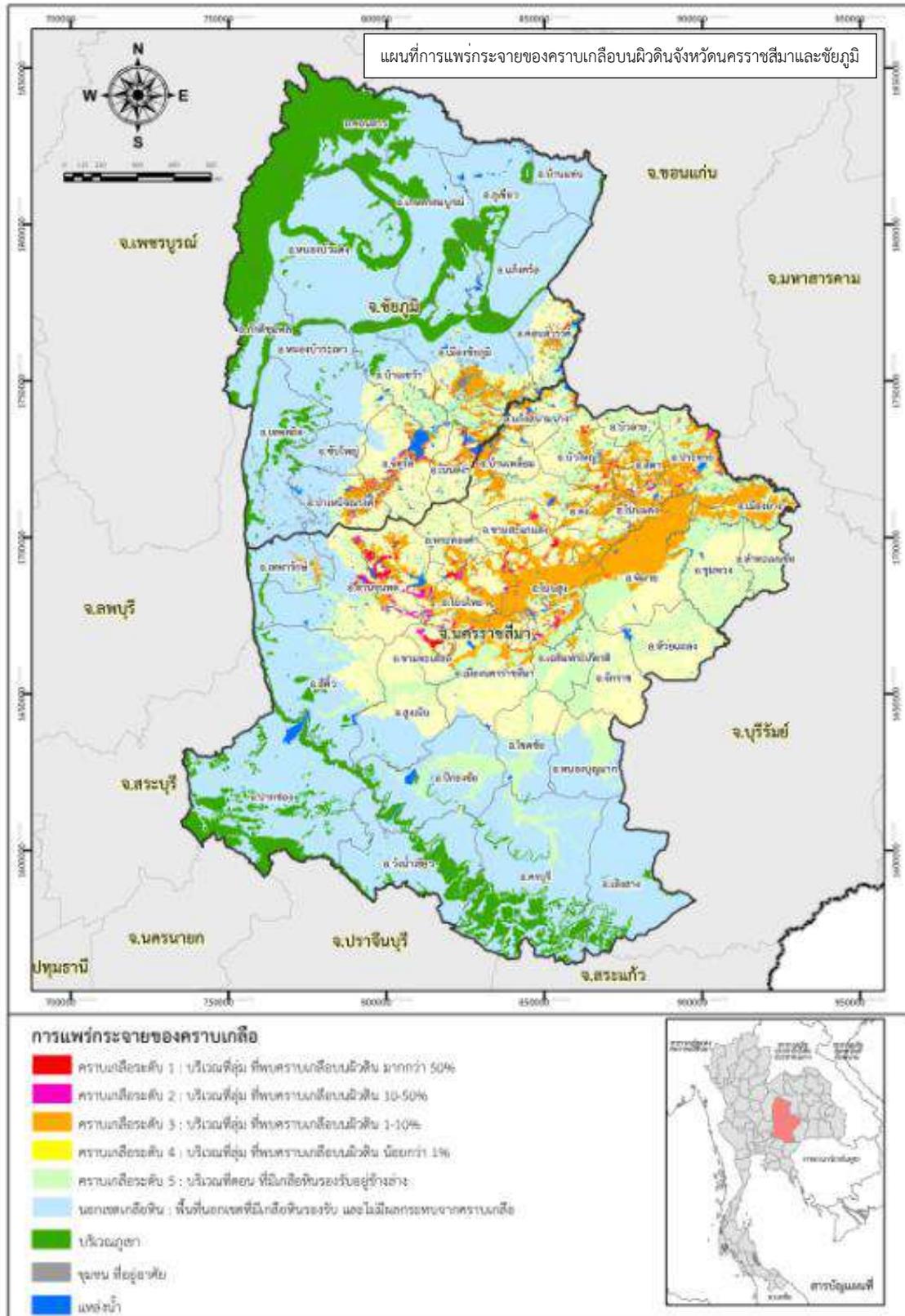
การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน

ข้อมูลการแพร่กระจายของคราบเกลือในจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินของกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560) (ตารางที่ 8 ภาพที่ 6) มีดังนี้

- 1) จังหวัดนครราชสีมา พบพื้นที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 1 (คราบเกลือระดับ 1-3) เนื้อที่ 1,619,375 ไร่ หรือร้อยละ 12.50 ของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา
- 2) จังหวัดชัยภูมิ พบพื้นที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 1 (คราบเกลือระดับ 1-3) เนื้อที่ 259,073 ไร่ หรือร้อยละ 3.27 ของพื้นที่จังหวัดชัยภูมิ

ตารางที่ 8 การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินจังหวัดนครราชสีมา มาตรฐาน 1:25,000

ระดับ คราบเกลือ	คำอธิบาย	เนื้อที่			
		นครราชสีมา		ชัยภูมิ	
		ไร่	ร้อยละ	ไร่	ร้อยละ
1	การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน มากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่	42,149	0.33	10,398	0.13
2	การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 10-50 ของพื้นที่	100,778	0.78	21,877	0.28
3	การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ร้อยละ 1-10 ของพื้นที่	1,476,448	11.39	226,798	2.86
4	พื้นที่ลุ่มที่รองรับด้วยหมวดดินมหาสารคาม มีการแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่	2,154,158	16.62	392,590	4.95
5	พื้นที่ดอนที่รองรับด้วยหมวดดินมหาสารคาม	3,292,659	25.41	710,882	8.96
6	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	4,703,004	36.29	4,602,044	57.99
7	บริเวณภูเขา	916,293	7.07	1,771,102	22.32
8	ชุมชนและที่อยู่อาศัย	144,244	1.11	96,105	1.21
9	แหล่งน้ำ	130,431	1.01	104,763	1.32
	รวมเนื้อที่ทั้งหมด	12,960,164	100.00	7,936,558	100.00



ภาพที่ 6 แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดินจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ
ที่มา: ดัดแปลงจากกองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน (2560)

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

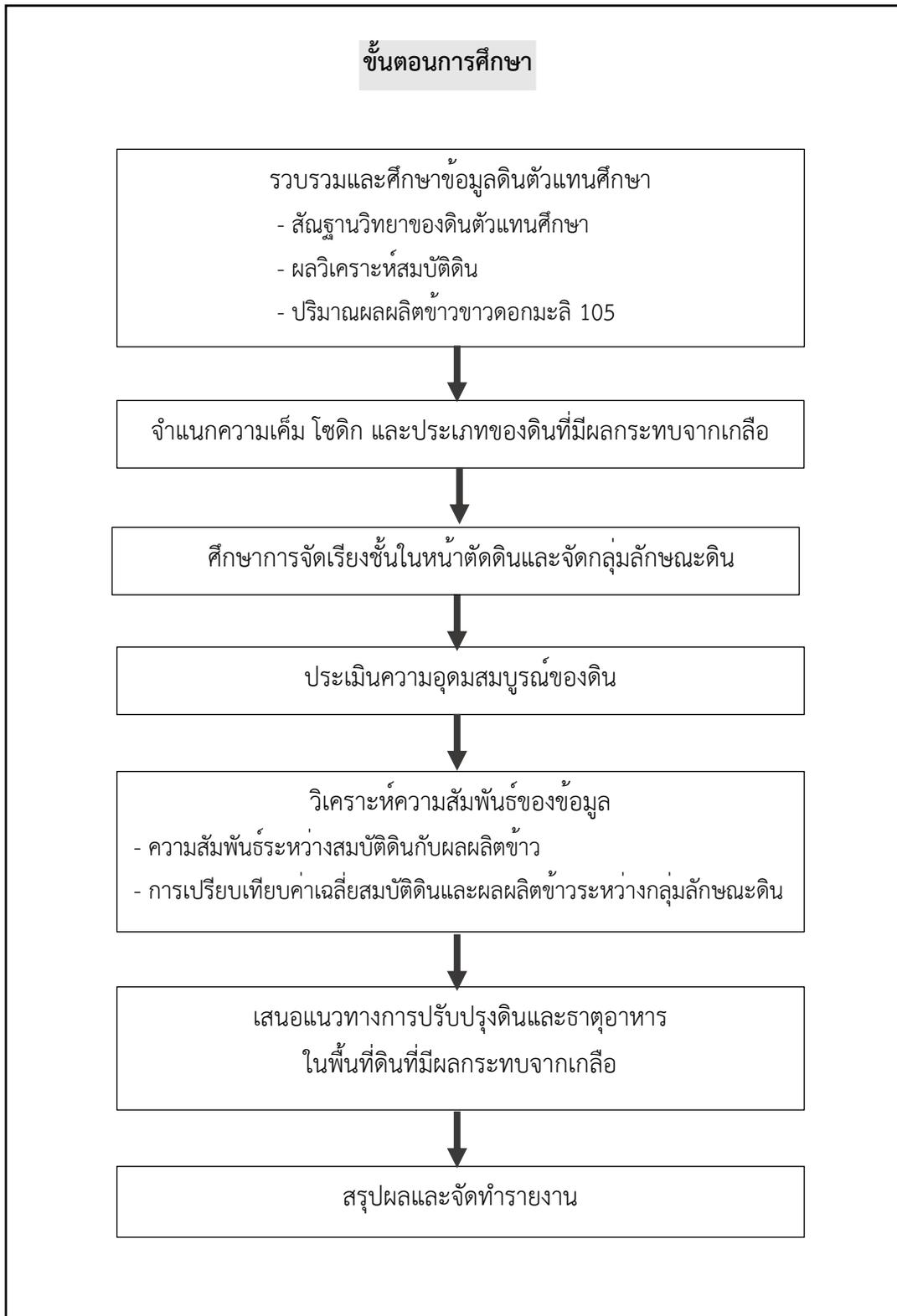
- 1) ข้อมูลดินตัวแทนศึกษา พิกัด คำบรรยายหน้าตัดดิน ผลวิเคราะห์สมบัติดิน จากโครงการวิจัยเรื่อง การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (นฤกมล และคณะ, 2569) และ ข้อมูลผลผลิตจากแต่ละบริเวณ จากโครงการประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย (กรรณิการ์ และยุพเยาว์, 2569)
- 2) สถิติภูมิอากาศ คาบ 30 ปี (ปี พ.ศ 2536-2565) จังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ (กรมอุตุฯมหาวิทยาลัย, 2566)
- 3) แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จังหวัดนครราชสีมา มาตรฐาน 1:25,000 (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2566ก)
- 4) แผนที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ จังหวัดชัยภูมิ มาตรฐาน 1:25,000 (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2566ข)
- 5) แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตรฐาน 1:25,000 (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน, 2560)
- 6) แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน จังหวัดนครราชสีมา ปี 2566 มาตรฐาน 1:25,000 (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2567)
- 7) แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน จังหวัดชัยภูมิ ปี 2565 มาตรฐาน 1:25,000 (กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน, 2566)
- 8) คู่มือการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523)
- 9) คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำนักงาน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม R และจัดทำสารสนเทศภูมิศาสตร์และแผนที่ด้วยโปรแกรม ArcGIS

วิธีการ

มีขั้นตอนและวิธีการศึกษา (ภาพที่ 7) ดังนี้

1) รวบรวมและศึกษาข้อมูลดินตัวแทนศึกษา

- การแจกกระจายของหลุมดิน สันฐานวิทยา การจัดเรียงขั้นการกำเนิดดิน เปรียบเทียบข้อมูลภายในหน้าตัดดินและระหว่างหลุม
- ผลวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคขนาดทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) พีเอชของดิน (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P), โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และความอิ่มตัวเบส (BS) ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Na) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Mg) ค่าอีซีอี (EC_e) และค่าอีเอสพี (ESP)
- ปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Yield)



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการศึกษา

2) จำแนกและจัดระดับความเค็ม โซดิก และประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

จัดระดับความเค็มในดินจากค่าอีซีอี และระดับโซดิกในดินจากค่าไอเอสพี จำแนกชนิดดินที่มีผลกระทบจากเกลือ และจัดระดับความรุนแรงของดินตามเกณฑ์มาตรฐาน Richards (1954); US Soil Salinity Laboratory Staff (1954); Abrol *et al.* (1988)

- ศึกษาลักษณะการสะสมความเค็มในดิน
- ศึกษาลักษณะการสะสมโซดิกในดิน
- ศึกษาประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือและระดับความรุนแรงในหน้าตัดดิน
- การจัดกลุ่มลักษณะดิน

3) ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยพิจารณาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P), โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และความอิ่มตัวเบส (BS) ตามแนวทางของกองสำรวจดิน (2523)

4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

4.1) ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

4.2) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมบัติดินและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างกลุ่มลักษณะ

ดิน

5) เสนอแนวทางการปรับปรุงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

6) สรุปผลและจัดทำรายงาน

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สัณฐานวิทยาของดินตัวแทนศึกษา

ดินตัวแทนที่ทำการศึกษามีด้วยกัน 11 แห่ง ทั้งหมดเป็นพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 อยู่ในจังหวัด นครราชสีมา 6 แห่ง และจังหวัดชัยภูมิ 5 แห่ง (ตารางที่ 9 ภาพที่ 8) หน่วยแผนที่ดินเป็นชุดดินประทาย มี 2 แห่ง ได้แก่ P7 และ P8 ดินคล้ายชุดดินประทาย 1 แห่ง ได้แก่ P6 หน่วยแผนที่ เป็นชุดดิน กุลาร่องไห้ มี 5 แห่ง ได้แก่ P1, P2, P4, P5 และ P10 ดินคล้ายชุดดินกุลาร่องไห้ 1 แห่ง ได้แก่ P3 หน่วยแผนที่ดินที่เป็นชุดดินขามทะเลสอ มี 1 แห่ง ได้แก่ P9 ดินคล้ายชุดดินขามทะเลสอ 1 จุด ได้แก่ P11

ดินตัวแทนที่ทำการศึกษาทั้ง 11 หลุม อยู่บนพื้นที่ราบถึงค่อนข้างเรียบ (ความลาดชัน 1–3%) ในพื้นที่ลุ่มและพื้นที่กึ่งลุ่ม ดินลึก มีพัฒนาการดี ดินมีการระบายน้ำแบบการระบายน้ำเลว (poorly drained) ค่อนข้างเลว (somewhat poorly drained) และดีปานกลาง (moderately well drained) บ่งชี้ว่าทุกหน้าตัดดินมีสภาพน้ำขังในช่วงหนึ่งของปี และพบชั้นดินล่างวินิจฉัยนาทริกแสดงถึงดินมีการ สะสมโซเดียมในปริมาณมาก ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีพัฒนาการ รายละเอียดคำบรรยายหน้าตัดดินอยู่ในภาคผนวก การอธิบายลักษณะภาพรวมของแต่ละหลุมดิน มี ดังนี้

หลุมที่ P1

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
ชุดดินกุลาร่องไห้ เนื้อดินบนเป็นดินร่วน ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-LA)
การระบายน้ำเลว การจัดเรียงชั้น Apg-Btg-Btng

หลุมที่ P2

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
ชุดดินกุลาร่องไห้ เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-sLA)
การระบายน้ำเลว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

หลุมที่ P3

การจำแนกดิน Coarse-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
ดินกุลาร่องไห้ เนื้อร่วนหยาบ เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-col-sLA)
การระบายน้ำเลว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

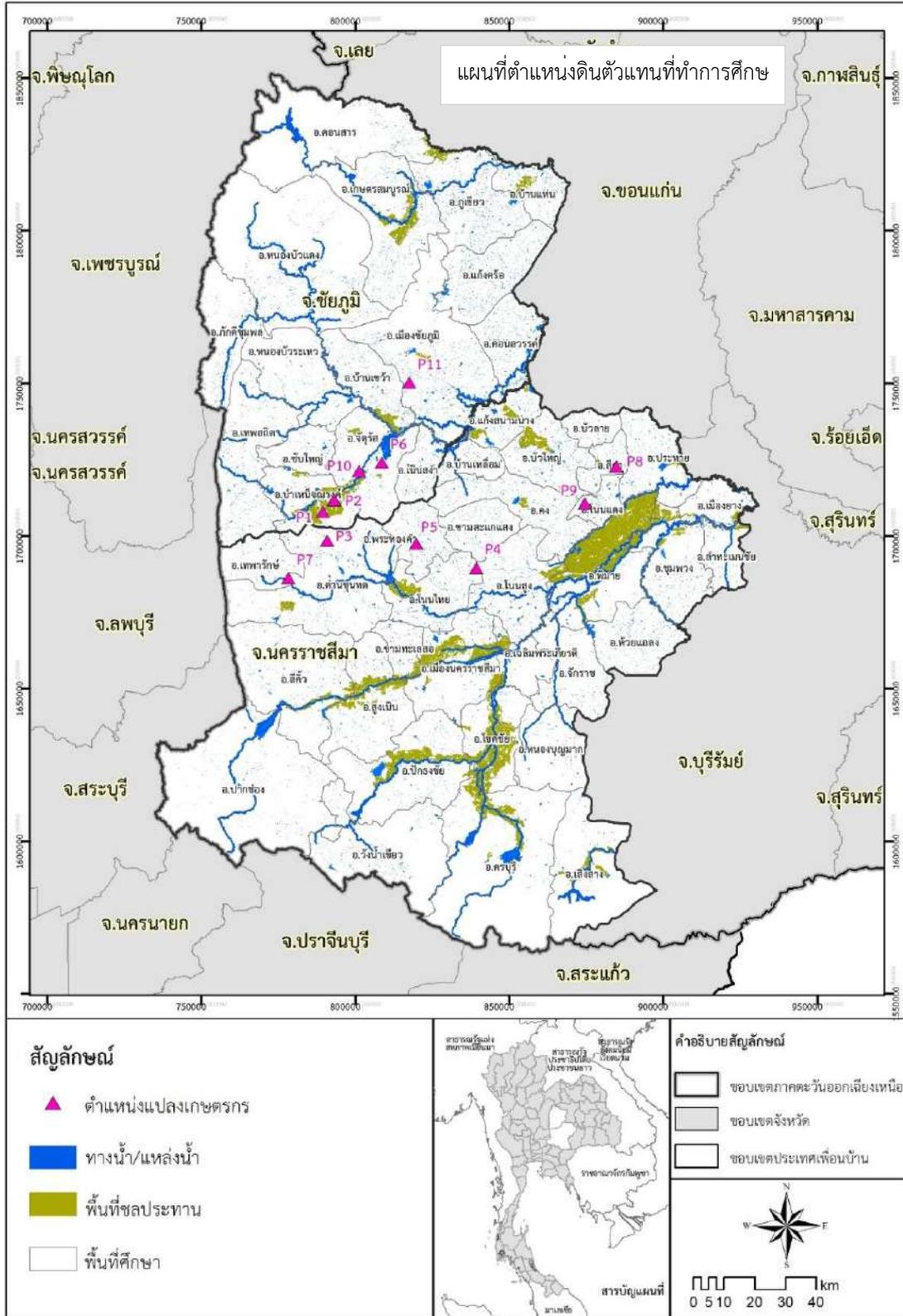
หลุมที่ P4

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
ชุดดินกุลาร่องไห้ เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวดินปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-sLA)

การระบายน้ำเลว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

ตารางที่ 9 ที่ตั้งและตำแหน่งดินตัวแทนที่ทำการศึกษา

	ที่ตั้ง	หน่วยแผน ที่ดิน	ระดับคราบเกลือ บนผิวดิน	เขตชลประทาน
P1	อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ	Ki-lA	1-10%	ใน
P2	อำเภอบำเหน็จณรงค์ จังหวัดชัยภูมิ	Ki-sIA	>50%	ใน
P3	อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา	Ki-col-sIA	>50%	นอก
P4	อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา	Ki-sclA	10-50%	นอก
P5	อำเภอพระทองคำ จังหวัดนครราชสีมา	Ki-sclA	10-50%	นอก
P6	อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ	Pt-pic-clA	10-50%	นอก
P7	อำเภอเทพารักษ์ จังหวัดนครราชสีมา	Pt-clA	1-10%	นอก
P8	อำเภอสีดา จังหวัดนครราชสีมา	Pt-cA	1-10%	นอก
P9	อำเภอโนนแดง จังหวัดนครราชสีมา	Kts-sIA	1-10%	นอก
P10	อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ	Ki-sIA	10-50%	นอก
P11	อำเภอเมืองชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ	Kts-fl-sIB	1-10%	นอก



ภาพที่ 8 แผนที่ตำแหน่งดินตัวแทนที่ทำการศึกษา

หลุมที่ P5

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
 ชุดดินกุลาร่องไห เนื้อดินบนเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-sclA)
 การระบายน้ำเร็ว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

หลุมที่ P6

การจำแนกดิน Fine, mixed, active, isohyperthermic Typic (Plinthic) Natraqualfs
 ดินประทาย ที่มีพลินไท์ เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนเหนียว ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Pt-pic-clA)
 การระบายน้ำเร็ว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng-Btvng

หลุมที่ P7

การจำแนกดิน Fine, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
 ชุดดินประทาย เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Pt-clA)
 การระบายน้ำเร็ว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

หลุมที่ P8

การจำแนกดิน Fine, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
 ชุดดินประทาย เนื้อดินบนเป็นดินเหนียว ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Pt-cA)
 การระบายน้ำเร็ว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

หลุมที่ P9

การจำแนกดิน Coarse-loamy, mixed, active, isohyperthermic Aquic Natrustalfs
 ชุดดินขามทะเลสอ เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Kts-sLA)
 การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงดีปานกลาง การจัดเรียงชั้น Ap-Btn

หลุมที่ P10

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Typic Natraqualfs
 ดินขามทะเลสอ ที่มีเนื้อร่วนละเอียด เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ (Ki-sLA)
 การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว การจัดเรียงชั้น Apg-Btng

หลุมที่ P11

การจำแนกดิน Fine-loamy, mixed, active, isohyperthermic Aquic Natrustalfs
 ดินขามทะเลสอ ที่มีเนื้อร่วนละเอียด เนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ความลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ (Kts-fl-sLB)
 การระบายน้ำค่อนข้างเร็วถึงดีปานกลาง การจัดเรียงชั้น Ap-Btn

ตารางที่ 10 ผลวิเคราะห์สมบัติดิน ตลอดจนค่าตัดของดินตัวแทนศึกษา

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Sand (%)	30.2 ± 7.8	45.9 ± 7.5	60.3 ± 9.5	47.1 ± 6.3	44.2 ± 4.3	15.3 ± 10.6	15.7 ± 4.4	15.9 ± 6.6	76.9 ± 7.3	18.2 ± 10.4	46.3 ± 3.1
Silt (%)	44.4 ± 4.7	34.4 ± 4.4	27.1 ± 2.9	38.3 ± 5.5	34.9 ± 1.4	44.9 ± 5.3	46.3 ± 2.4	40.6 ± 4.3	15.8 ± 5.2	57.0 ± 14.1	37.0 ± 3.4
Clay (%)	25.5 ± 3.9	19.6 ± 6.1	12.6 ± 6.9	14.6 ± 2.1	20.9 ± 4.3	39.8 ± 7.4	38.1 ± 5.0	43.4 ± 10.3	7.3 ± 2.9	24.8 ± 5.3	16.7 ± 6.1
pH	5.78 ± 0.62	8.68 ± 0.83	8.50 ± 0.20	8.37 ± 0.49	7.63 ± 0.63	7.40 ± 0.21	7.97 ± 0.68	4.35 ± 0.25	9.23 ± 1.08	6.89 ± 0.64	4.94 ± 1.05
OM (%)	0.48 ± 0.40	0.23 ± 0.28	0.12 ± 0.04	0.25 ± 0.38	0.55 ± 0.52	0.23 ± 0.18	0.50 ± 0.06	0.93 ± 1.20	0.09 ± 0.09	0.26 ± 0.38	0.24 ± 0.29
P (mg kg ⁻¹)	1.35 ± 1.11	3.27 ± 2.33	1.93 ± 2.70	2.68 ± 4.20	1.40 ± 1.07	1.24 ± 1.87	15.17 ± 9.53	1.82 ± 1.77	0.79 ± 0.56	0.57 ± 0.36	1.54 ± 1.44
K (mg kg ⁻¹)	51.92 ± 14.02	56.05 ± 11.94	24.23 ± 13.90	54.82 ± 9.20	65.15 ± 7.77	76.36 ± 8.82	93.35 ± 3.97	67.20 ± 21.56	21.47 ± 10.41	69.03 ± 14.58	31.24 ± 5.17
BS (%)	105.73 ± 16.61	193.35 ± 41.50	302.72 ± 253.97	179.18 ± 51.98	122.40 ± 5.76	161.94 ± 62.67	131.95 ± 17.16	110.82 ± 11.58	235.46 ± 72.18	249.43 ± 46.95	92.41 ± 53.78
CEC (cmol kg ⁻¹)	12.05 ± 2.48	11.05 ± 3.10	8.50 ± 4.98	12.24 ± 1.63	17.51 ± 2.62	22.30 ± 9.35	28.16 ± 4.44	22.58 ± 6.08	4.96 ± 2.46	6.92 ± 0.95	7.09 ± 2.56
Na (mg kg ⁻¹)	13.28 ± 5.32	26.74 ± 9.30	145.68 ± 224.87	25.96 ± 3.14	27.16 ± 15.45	138.52 ± 82.03	16.28 ± 3.52	32.01 ± 17.21	27.42 ± 15.01	60.33 ± 10.87	19.42 ± 11.74
Ca (mg kg ⁻¹)	10.94 ± 23.62	1.30 ± 2.64	3.58 ± 6.90	1.70 ± 3.00	3.67 ± 3.73	11.85 ± 10.23	1.42 ± 1.70	13.60 ± 5.61	0.24 ± 0.29	3.58 ± 1.72	3.81 ± 2.88
Mg (mg kg ⁻¹)	0.72 ± 0.91	0.36 ± 0.63	2.91 ± 5.57	5.48 ± 9.68	4.21 ± 8.90	114.29 ± 195.84	0.32 ± 0.35	24.11 ± 16.49	0.09 ± 0.07	1.06 ± 0.53	0.94 ± 0.85
ECe (dS m ⁻¹)	1.76 ± 0.79	3.07 ± 1.26	13.46 ± 19.06	3.04 ± 0.58	3.24 ± 1.64	11.19 ± 5.42	2.00 ± 0.29	5.51 ± 2.69	2.92 ± 1.49	1.57 ± 1.77	2.81 ± 1.68
ESP	33.11 ± 18.73	74.64 ± 20.96	98.15 ± 4.52	57.70 ± 19.29	32.90 ± 17.28	77.03 ± 18.90	25.96 ± 11.50	17.68 ± 4.10	94.96 ± 7.96	92.37 ± 12.35	28.67 ± 22.69

ลักษณะสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตัวแทนศึกษา

ผลการศึกษาสมบัติดินตัวแทนในภาพรวมตลอดหน้าตัดดิน (ตารางที่ 10) ได้แก่

- 1) การกระจายตัวของอนุภาคดิน มีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้
 - 1.1) ปริมาณอนุภาคขนาดทราย (sand)
 - น้อยกว่าร้อยละ 20 ได้แก่ P6, P7, P8, P10
 - ร้อยละ 20-50 ได้แก่ P1, P2, P4, P11
 - มากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ P3, P9
 - 1.2) ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt)
 - น้อยกว่าร้อยละ 20 ได้แก่ P9
 - ร้อยละ 20-50 ได้แก่ P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P11
 - มากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ P10
 - 1.3) ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay)
 - น้อยกว่าร้อยละ 20 ได้แก่ P2, P3, P4, P9 และ P11
 - ร้อยละ 20-50 ได้แก่ P1, P5, P6, P7, P8 และ P10
- 2) ค่าพีเอชของดิน มีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้
 - ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกรด ได้แก่ P1, P8 และ P11
 - ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นกลาง ได้แก่ P10
 - ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นด่างเล็กน้อย ได้แก่ P5, P6 และ P7
 - ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นด่างปานกลาง ได้แก่ P4
 - ดินมีปฏิกิริยาดินเป็นด่างรุนแรง ได้แก่ P3, P2 และ P9
- 3) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ทุกดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ โดยต่ำมากใน P3 และ P9
- 4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (avai.P) ต่ำทุกจุด ยกเว้น P7 ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลาง
- 5) ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (avai.K)
 - ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ ได้แก่ P1, P2, P3, P4, P9 และ P11
 - ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ปานกลาง ได้แก่ P5, P6, P8 และ P10
 - ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูง ได้แก่ P7
- 6) ความอึดตัวเบส ทุกดินมีค่าความอึดตัวเบสสูง
- 7) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)
 - ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ได้แก่ P3, P9, P10 และ P11
 - ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนปานกลาง ได้แก่ P1, P2, P4 และ P5

- ดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ได้แก่ P6, P7 และ P8

8) ค่าอีซีอี (EC_e)

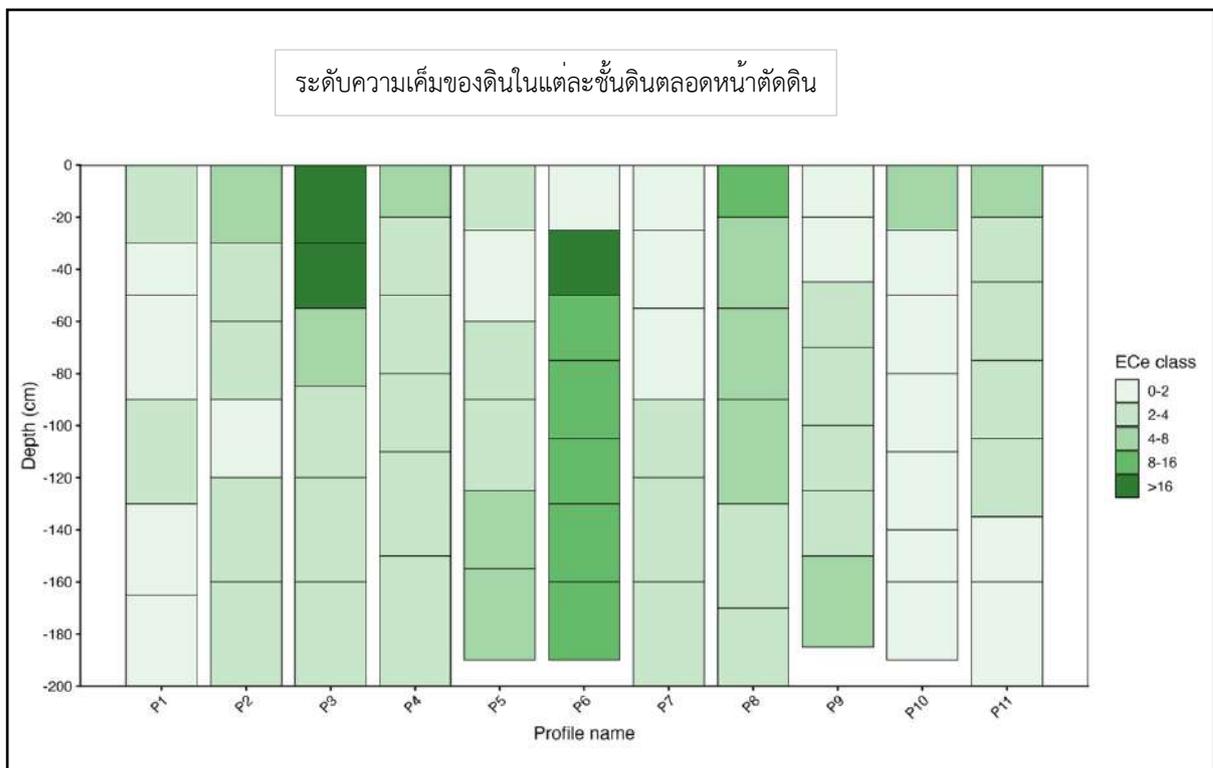
- ดินไม่เค็ม (อีซีอีน้อยกว่า 1 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ได้แก่ P1 และ P10
- ดินเค็มเล็กน้อย (อีซีอี 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ได้แก่ P2, P4, P5, P7, P9 และ P11
- ดินเค็มปานกลาง (อีซีอี 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ได้แก่ P8
- ดินเค็มมาก (อีซีอี 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ได้แก่ P3 และ P6

9) อีเอสพี (ESP) ทุกหลุมมีโซติกในระดับเป็นอันตรายกับพืช

- ดินมีโซติกน้อย (อีเอสพี 15-30) ได้แก่ P7, P8 และ P11
- ดินมีโซติกปานกลาง (อีเอสพี 30-50) ได้แก่ P1 และ P5
- ดินมีโซติกรุนแรง (อีเอสพี 50-70) ได้แก่ P2, P3 และ P4
- ดินมีโซติกรุนแรงมาก (อีเอสพีมากกว่า 70) ได้แก่ P6, P9 และ P10

ลักษณะการสะสมความเค็มในดิน

เมื่อพิจารณาค่าอีซีอีในแต่ละชั้นกำเนิดดินต่อเนื่องตลอดหน้าตัดดิน นำค่ามีจัดชั้นระดับความรุนแรงในลักษณะ column plot และนำมาจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ พบว่าแต่ละหน้าตัดดินมีการจัดเรียงชั้นของระดับความเค็มแตกต่างกัน (ภาพที่ 9) ดังนี้



ภาพที่ 9 การสะสมความเค็มในหน้าตัดดินตัวแทนที่ทำการศึกษา

P1 ดินส่วนใหญ่มีค่าไอซีไออยู่ในช่วง 0-2 และ 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตรตลอดหน้าตัดดิน ไม่มีชั้นที่มีความเค็มสูงเด่นชัด แสดงถึงดินไม่เค็มถึงเค็มเล็กน้อย

P2 ดินมีค่าไอซีไออยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นหลัก บางช่วงมีค่าใกล้เคียง 4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร บ่งชี้ถึงดินเค็มระดับเล็กน้อยอย่างสม่ำเสมอ

P3 ตอนบนของหน้าตัดค่าไอซีไอมากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แสดงถึงการสะสมเกลือในส่วนบนของหน้าตัดดิน แล้วลดลงในดินล่าง อยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นหลัก

P4 ดินบนมีค่าไอซีไออยู่ในช่วง 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ความเค็มอยู่ในระดับปานกลาง แล้วลดลงเป็นเค็มเล็กน้อยในดินล่าง

P5 ดินบนถึงตอนกลางของหน้าตัดดินมีค่าไอซีไออยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เป็นหลัก และเพิ่มขึ้นเป็นความเค็มระดับปานกลาง (4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ในช่วง 120 เซนติเมตรลงไป

P6 เป็นหลุมที่มีปัญหาความเค็มเด่นชัดที่สุด แม้ในดินบนมีความเค็มเล็กน้อย แต่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นมากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในช่วง 50 เซนติเมตร และมีค่าไอซีไอ 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในช่วงถัดไปจนถึงตอนล่างของหน้าตัดดิน แสดงถึงดินมีความเค็มรุนแรงและมีข้อจำกัดสูงต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

P7 ดินบนถึงตอนกลางของหน้าตัดดินไม่เค็ม ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แล้วเปลี่ยนเป็นเค็มเล็กน้อย ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ในตอนล่างของหน้าตัดดิน

P8 ดินบนอยู่ในระดับเค็มมาก ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 8-16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แล้วลดลงอยู่ในระดับเค็มปานกลางในดินล่าง และเค็มเล็กน้อยในตอนล่างของหน้าตัดดิน

P9 ตอนบนของหน้าตัดดินอยู่ในระดับไม่เค็ม ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ตอนกลางอยู่ในระดับเค็มเล็กน้อย ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และเค็มปานกลางในตอนล่างของหน้าตัดดิน ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

P10 ดินบนเค็มปานกลาง ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แล้วลดลงเป็นไม่เค็มในดินล่างอย่างต่อเนื่อง ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

P11 ดินบนเค็มปานกลาง ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 4-8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร แล้วลดลงเป็นเค็มเล็กน้อยในดินล่างอย่างต่อเนื่อง ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 2-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร และไม่เค็มในดินล่างที่ลึกกว่า 140 เซนติเมตร ค่าไอซีไออยู่ในช่วง 0-2 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร

ดินตัวแทนมีความแปรปรวนในแนวตั้ง และมีความแตกต่างกันระหว่างหลุมอย่างชัดเจน มีทั้งดินที่ไม่เค็มถึงเค็มเล็กน้อยสลับกับดินที่มีปัญหาความเค็มปานกลางถึงรุนแรงในบางตำแหน่งและบางชั้นดิน โดยสามารถจำแนกลักษณะการกระจายความเค็มออกเป็นหลายรูปแบบ ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่มีค่าไอซีไออยู่ในช่วงไม่เค็มถึงเค็มเล็กน้อย (0-4 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ขณะที่ P3 และ P6 เป็นหลุมที่มีความเค็มรุนแรงในเขตรากพืช ความแตกต่างดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการจัดการดินแบบจำเพาะพื้นที่และจำเพาะ

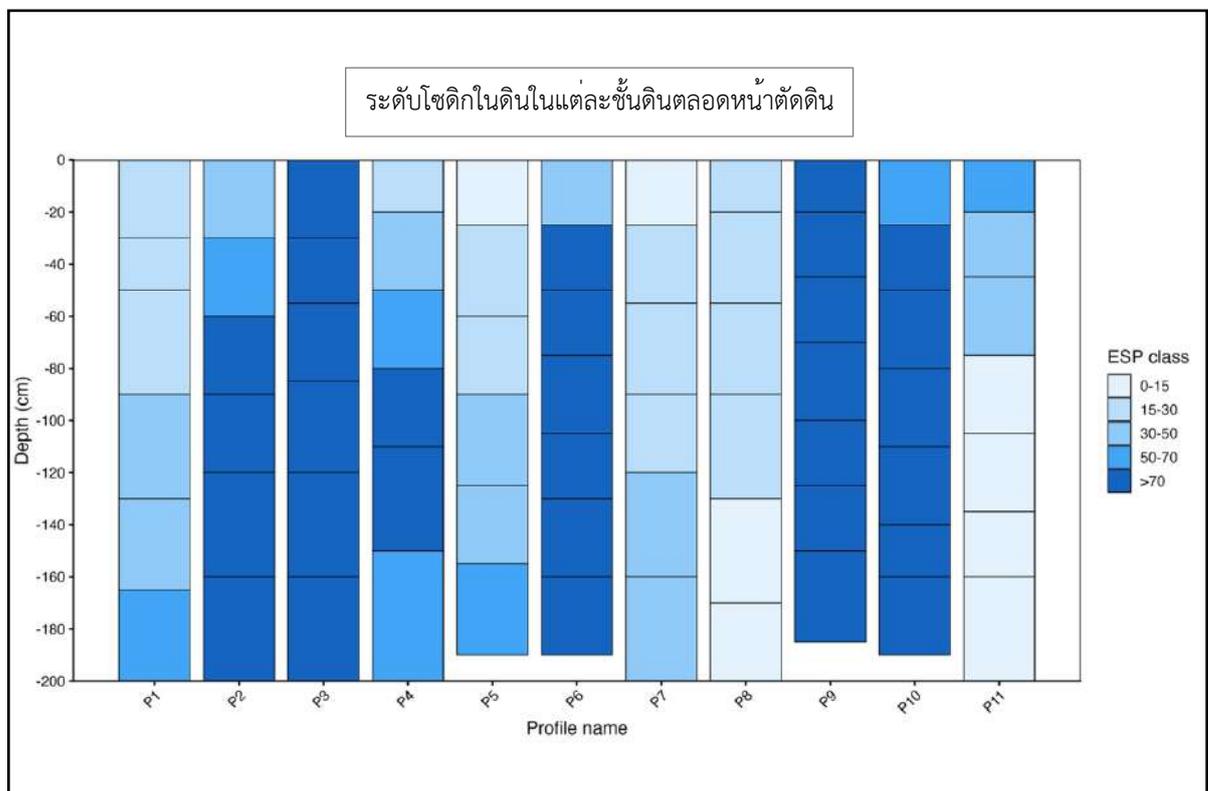
ชั้นดิน (site- and depth-specific management) โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการสะสมเกลือในระดับสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินและลดผลกระทบต่อการผลิตทางการเกษตรในระยะยาว

ลักษณะการสะสมโซดิกในดิน

เมื่อพิจารณาค่าอีเอสพีในแต่ละชั้นกำเนิดดินต่อเนื่องตลอดหน้าตัดดิน นำค่ามาจัดชั้นระดับความรุนแรงในลักษณะ column plot และนำมาจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ พบว่าแต่ละหน้าตัดดินมีการจัดเรียงชั้นของระดับโซดิกในดินแตกต่างกัน (ภาพที่ 10) ดังนี้

P1 ตอนบนถึงตอนกลางของหน้าตัดดินมีค่าอีเอสพีอยู่ในช่วง 15–30 และ 30–50 แสดงถึงดินโซดิกระดับน้อยถึงปานกลาง ขณะที่ตอนล่างเพิ่มเป็น 50–70 บ่งชี้การสะสมโซเดียมมากขึ้นในชั้นลึก

P2 ดินมีค่าอีเอสพีสูงต่อเนื่องเกือบตลอดหน้าตัด โดยตั้งแต่ตอนกลางลงไปพบค่าอีเอสพี 50–70 และบางช่วงมากกว่า 70 แสดงถึงดินมีระดับโซดิกรุนแรง



ภาพที่ 10 การสะสมโซดิกในหน้าตัดดินตัวแทนที่ทำการศึกษา

P3 หลุมดินนี้มีระดับโซดิกรุนแรงมาก (ค่าไอเอสพี มากกว่า 70) ต่อเนื่องตลอดหน้าตัดดิน บ่งชี้ถึงการสะสมโซเดียมรุนแรงตลอดหน้าตัดดิน

P4 ตอนบนของหน้าตัดดินมีระดับโซดิกน้อยถึงปานกลาง ค่าไอเอสพีอยู่ในช่วง 15-50 และเพิ่มเป็นระดับรุนแรงถึงรุนแรงมาก (ค่าไอเอสพีมากกว่า 50) ตั้งแต่ตอนกลางจนถึงตอนล่างของหน้าตัดดิน

P5 ชั้นดินบนมีโซดิกน้อยมาก แล้วเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยช่วงตอนกลางดินมีค่าไอเอสพีอยู่ในช่วง 15-30 และ 30-50 แสดงถึงดินโซดิกระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ขณะที่ตอนล่างเพิ่มเป็น 50-70 บ่งชี้การสะสมโซเดียมมากขึ้น

P6 ชั้นดินบนมีโซดิกระดับปานกลาง ค่าไอเอสพี 15-30 แล้วสูงขึ้นเป็นระดับรุนแรงมากต่อเนื่องตลอดชั้นดินล่าง ค่าไอเอสพีมากกว่า 70

P7 ชั้นดินบนมีโซดิกน้อยมาก แล้วเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยช่วงตอนกลางดินมีค่าไอเอสพีอยู่ในช่วง 15-30 แสดงถึงดินโซดิกระดับน้อย ขณะที่ตอนล่างเพิ่มเป็นปานกลาง ค่าไอเอสพี 30-50 บ่งชี้การสะสมโซเดียมมากขึ้นในตอนล่าง

P8 มีค่าโซดิกลดลงตามความลึก โดยตอนบนจนถึงตอนกลางของหน้าตัดดินมีโซดิกน้อย ค่าไอเอสพีอยู่ในช่วง 15-30 แล้วลดลงจนมีโซดิกน้อยมาก ค่าไอเอสพีน้อยกว่า 15

P9 ดินนี้มีระดับโซดิกรุนแรงมาก (ค่าไอเอสพี มากกว่า 70) ต่อเนื่องตลอดหน้าตัดดิน บ่งชี้ถึงการสะสมโซเดียมรุนแรงตลอดหน้าตัดดิน เช่นเดียวกับ P3

P10 ใกล้เคียงกับ P3 และ P9 ดินบนมีโซดิกอยู่ในระดับรุนแรง (ค่าไอเอสพี 50-70) ส่วนดินล่างมีระดับรุนแรงมากต่อเนื่องตลอด

P11 มีค่าโซดิกลดลงตามความลึก โดยตอนบนมีโซดิกรุนแรง ลดต่ำลงในระดับปานกลางในตอนกลาง และลดต่ำลงอีกในตอนล่าง มีระดับโซดิกน้อยมาก

ภาพรวม การสะสมโซเดียมมีความแตกต่างกัน ทั้งในหน้าตัดดินและระหว่างหลุม ดินส่วนใหญ่มีค่าไอเอสพี มากกว่า 30 อย่างน้อยหนึ่งช่วงความลึก และดินหลายหลุมที่มีโซดิกรุนแรงมาก ได้แก่ P2, P3, P4, P6, P9 และ P10 มีค่าไอเอสพีมากกว่า 70 ต่อเนื่องในหน้าตัดดิน แสดงถึงการสะสมโซเดียมในระดับที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการเจริญเติบโตของพืช ในขณะเดียวกัน ดินหลายหลุมมีโซดิกน้อยถึงน้อยมากในตอนบนของหน้าตัดดิน ได้แก่ P1, P5, P7 และ P8 มีค่าไอเอสพีน้อยกว่า 30

การจัดเรียงประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในหน้าตัดดิน

นำข้อมูลระดับความเค็มและโซดิกมาจำแนกประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ได้แก่ ดินเค็ม ดินเค็มโซดิก และโซดิก และแบ่งลักษณะความรุนแรงตามเกณฑ์ระดับความเค็มและโซดิก ที่แบ่งได้ 20 กลุ่ม ได้แก่ ดินเค็มโซดิก 12 แบบ และดินโซดิก 8 แบบ เพื่อพิจารณาปัญหาและสภาพความรุนแรงต่อการเจริญเติบโตของข้าว ผลการศึกษาพบดินที่มีผลกระทบจากเกลือ 2 ประเภท ได้แก่ ดินเค็มโซดิกและดินโซดิก โดยแยกลักษณะได้ 15 แบบ แบ่งเป็น ดินเค็มโซดิกเพียง 7 แบบ โดยไม่พบดินเค็มโซดิกแบบที่มีค่าไอซีอี 8-16

เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอีเอสพี 30-50 และ 50-70 แบบที่มีค่าอีซีอี มากกว่า 16 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ค่าอีเอสพี 15-30, 30-50 และ 50-70 และดินโซดิก พบทั้ง 8 แบบ (ตารางที่ 11 ภาพที่ 11) ดังนี้

P1 ลักษณะเป็นดินโซดิกเป็นหลักตลอดช่วงความลึก โดยเป็นดินโซดิกระดับรุนแรงสลับกับโซดิกระดับน้อยถึงปานกลาง

P2 ลักษณะเป็นดินเค็มโซดิกในดินบน ดินล่างเป็นดินโซดิกตลอดหน้าตัด ในระดับปานกลางถึงรุนแรงมาก

P3 ลักษณะเป็นดินเค็มโซดิกในตอนบนของหน้าตัดดิน ดินล่างเป็นดินโซดิกในระดับรุนแรงมาก

ตารางที่ 11 ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือที่มีระดับความรุนแรงของความเค็มของดินและโซดิก ลักษณะแบบต่าง ๆ ที่พบในดินตัวแทนศึกษา

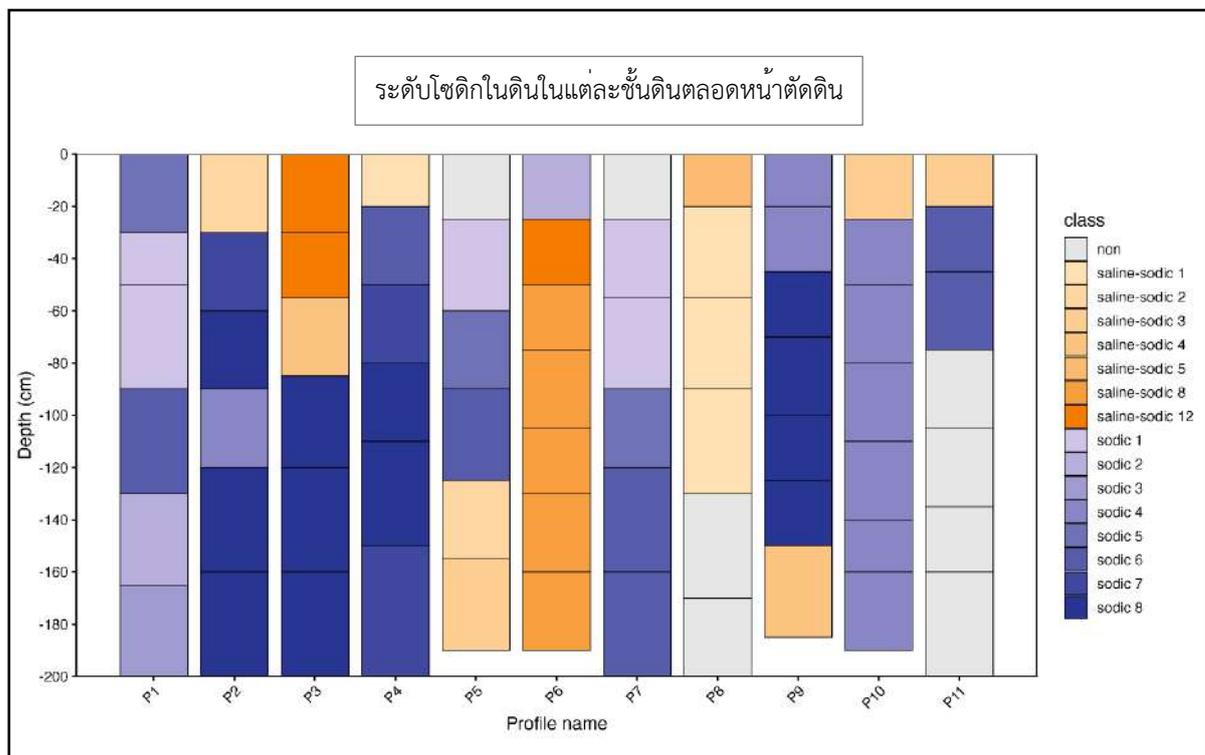
ประเภท	ลักษณะ/แบบ	EC _e (dS m ⁻¹)	ESP	หมายเหตุ
ดินเค็มโซดิก	saline-sodic 1	4-8	15-30	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 2		30-50	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 3		50-70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 4		>70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 5	8-16	15-30	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 6		30-50	ไม่พบ
	saline-sodic 7		50-70	ไม่พบ
	saline-sodic 8		>70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	saline-sodic 9	>16	15-30	ไม่พบ
	saline-sodic 10		30-50	ไม่พบ
	saline-sodic 11		50-70	ไม่พบ
	saline-sodic 12		>70	พบในดินตัวแทนศึกษา
ดินโซดิก	sodic 1	< 2	15-30	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 2		30-50	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 3		50-70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 4		>70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 5	2-4	15-30	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 6		30-50	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 7		50-70	พบในดินตัวแทนศึกษา
	sodic 8		>70	พบในดินตัวแทนศึกษา

P4 ลักษณะคล้าย P2 เป็นดินเค็มโซดิกในดินบน ดินล่างเป็นดินโซดิกตลอดหน้าตัด ในระดับปานกลางถึงรุนแรงมาก

P5 ลักษณะดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ตอนบนของหน้าตัดเป็นดินโซดิก แล้วเปลี่ยนเป็นดินเค็มโซดิกในตอนล่างของหน้าตัด ช่วงที่ลึกกว่า 120 เซนติเมตร

P6 มีลักษณะแตกต่างจากหลุมอื่น ๆ โดยเป็นดินโซดิกในดินบน แล้วเปลี่ยนเป็นดินเค็มโซดิกในดินล่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 30 เซนติเมตร ลงมา

P7 เป็นดินโซดิกตลอดทั้งหน้าตัดดิน โดยมีระดับโซดิกรุนแรงเพิ่มขึ้นตามความลึก



ภาพที่ 11 ประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือและลักษณะความรุนแรงในหน้าตัดดิน

P8 ลักษณะแตกต่างจากหลุมอื่น ๆ คือไม่พบดินโซดิกในหน้าตัดดิน โดยตอนบนของหน้าตัดดินเป็นดินเค็มโซดิก แล้วเปลี่ยนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในตอนล่างของหน้าตัดดิน ช่วงที่ลึกกว่า 120 เซนติเมตร

P9 ตอนบนของหน้าตัดเป็นดินโซดิกที่มีระดับรุนแรงถึงรุนแรงมาก แล้วเปลี่ยนเป็นดินเค็มโซดิกในตอนล่างของหน้าตัด ช่วงที่ลึกกว่า 140 เซนติเมตร

P10 คล้ายกับ P2 และ P4 คือเป็นดินเค็มโซดิกในดินบน ดินล่างเป็นดินโซดิกตลอดหน้าตัด แต่โซดิกมีระดับปานกลาง

P11 ลักษณะแตกต่างจากหลุมอื่น ๆ โดยเป็นดินเค็มโซดิกในดินบน เปลี่ยนเป็นดินโซดิกในดินล่าง ตอนบน แล้วเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือในตอนล่างของหน้าตัดดิน ตั้งแต่ 70 เซนติเมตร ลงไป

ภาพแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นในหน้าตัดดิน และเห็นว่าปัญหา ดินโซดิก (การสะสมโซเดียมเด่น) เป็นปัญหาหลักของพื้นที่ ขณะที่ดินเค็มโซดิก (การสะสมเกลือร่วมกับ โซเดียมชัดเจน) มักเกิดแทรกเป็นบางช่วงในบางหน้าตัดดิน ประเภทและลักษณะความรุนแรงไม่สามารถจัด กลุ่มให้เป็นไปตามชุดดิน ซึ่งจำแนกตามระบบอนุกรมวิธานได้ เนื่องจากการจำแนกพิจารณาการสะสมโซดิก เป็นหลัก ส่วนใหญ่หลุมดินมีลักษณะผสมของดินเค็มโซดิกกับดินโซดิก ข้อมูลแสดงว่ากระบวนการสะสมเกลือ และโซเดียมมีความแตกต่างเชิงพื้นที่และแนวตั้งตามความลึกของดิน ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการจัดการดิน แบบจำเพาะพื้นที่

การจัดกลุ่มลักษณะดิน

จากการวิเคราะห์หน้าตัดดิน พบความแตกต่างของประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือตาม ความลึก การศึกษามีสมมติฐานว่าประเภทของดินและระดับความรุนแรง ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและ ปริมาณผลผลิตของข้าวแตกต่างกัน ดังนั้น หากปลูกข้าวในพื้นที่ดินที่มีสภาพปัญหาค้ำคั่งคล้ายคลึงกัน ควรได้รับ ผลผลิตใกล้เคียงกัน จึงนำมาศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะดินตัวแทน ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับรากข้าว กับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

พบดินที่มีการจัดเรียงชั้นดินแตกต่าง 5 กลุ่มลักษณะ (ภาพที่ 12) ได้แก่

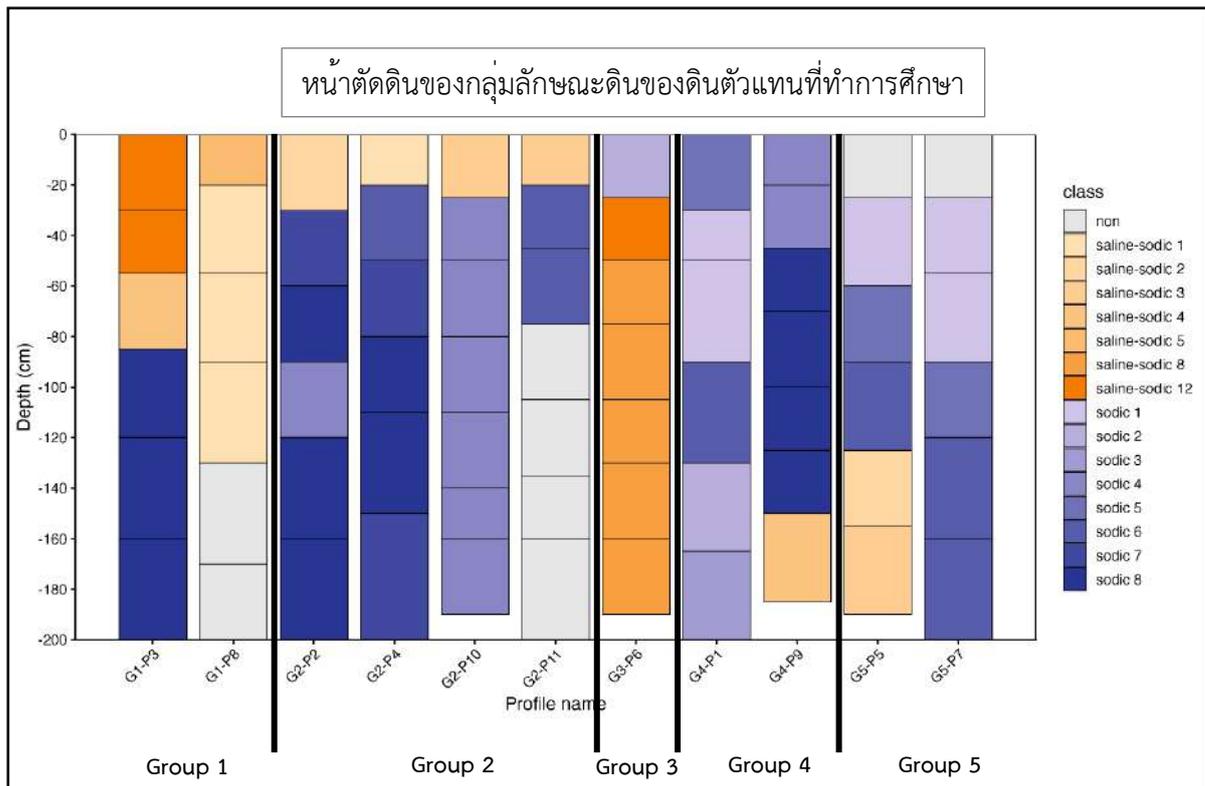
กลุ่มลักษณะดินที่ 1 ดินเค็มโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร (saline-sodic/saline-sodic) ได้แก่ P3 และ P8

กลุ่มลักษณะดินที่ 2 ดินบนเป็นดินเค็มโซดิกและดินล่างเป็นดินโซดิก (saline-sodic/sodic) ได้แก่ P2, P4, P10 และ P11

กลุ่มลักษณะดินที่ 3 ดินบนเป็นดินโซดิกและดินล่างเป็นดินเค็มโซดิก (sodic/saline-sodic) ได้แก่ P6

กลุ่มลักษณะดินที่ 4 ดินโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร (sodic/sodic) ได้แก่ P1 และ P9

กลุ่มลักษณะดินที่ 5 ดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและดินล่างเป็นดิน โซดิก (non/sodic) ได้แก่ P5 และ P7



ภาพที่ 12 การจัดกลุ่มลักษณะดินของดินตัวแทนที่ทำการศึกษา

ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105ในพื้นที่ดินตัวแทนศึกษา

แต่ละหลุมดินตัวแทนเป็นพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 และได้รับผลผลิตแตกต่างกัน ข้อมูลผลผลิตข้าวมาจากการสัมภาษณ์เกษตรกร ตามตารางที่ 12 กลุ่มลักษณะดินที่ 4 มีแนวโน้มมีผลผลิตข้าวสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ กลุ่มลักษณะดินที่ 2 และ 5 มีผลผลิตแปรปรวน กลุ่มลักษณะดินที่ 1 มีผลผลิตต่ำ และกลุ่มลักษณะดินที่ 3 มีผลผลิตต่ำมาก

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีผลผลิตเฉลี่ยตามพันธุ์ที่ 363 กิโลกรัมต่อไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) เมื่อนำผลผลิตข้าวที่ได้จากการปลูกในดินแต่ละแห่งมาเปรียบเทียบกับผลผลิตเฉลี่ย (ภาพที่ 13) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มที่มีผลผลิตมากกว่าผลผลิตเฉลี่ยรายพันธุ์ ได้แก่ P1 มีผลผลิต 530 กิโลกรัมต่อไร่ P7 มีผลผลิต 700 กิโลกรัมต่อไร่ P9 มีผลผลิต 416 กิโลกรัมต่อไร่ และ P11 มีผลผลิต 625 กิโลกรัมต่อไร่

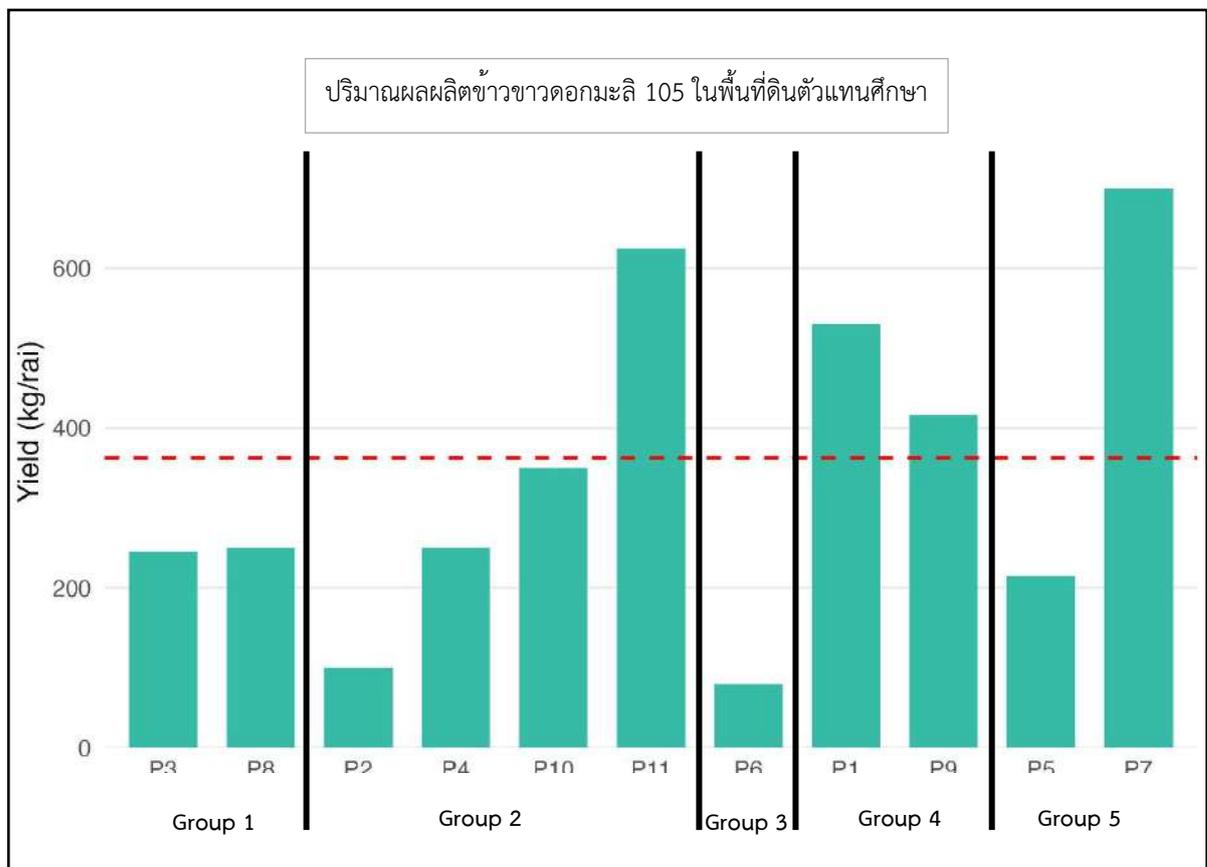
2) กลุ่มที่มีผลผลิตน้อยกว่าผลผลิตเฉลี่ยรายพันธุ์ ได้แก่

- มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อไร่ ได้แก่ P3 มีผลผลิต 245 กิโลกรัมต่อไร่ P4 มีผลผลิต 250 กิโลกรัมต่อไร่ P5 มีผลผลิต 215 กิโลกรัมต่อไร่ P8 มีผลผลิต 250 กิโลกรัมต่อไร่ และ P10 มีผลผลิต 350 กิโลกรัมต่อไร่

- น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อไร่ ได้แก่ P2 มีผลผลิต 100 กิโลกรัมต่อไร่ และ P6 มีผลผลิต 80 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 12 ปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในพื้นที่ดินตัวแทนที่ทำการศึกษ

กลุ่มลักษณะดิน	คำอธิบายลักษณะดิน	Pedon	ผลผลิต (กก./ไร่)
1	ดินเค็มโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร	P3	245
		P8	250
2	ดินบนเป็นดินเค็มโซดิกและดินล่างเป็นดินโซดิก	P2	100
		P4	250
		P10	350
		P11	625
3	ดินบนเป็นดินโซดิกและดินล่างเป็นดินเค็มโซดิก	P6	80
4	ดินโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร	P1	530
		P9	416
5	ดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่ผลกระทบจากเกลือ และดินล่างเป็นดินโซดิก	P5	215
		P7	700



ภาพที่ 13 ปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินตัวแทนศึกษา

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

เกณฑ์ ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินของกรมพัฒนาที่ดินใช้ผลวิเคราะห์ทางเคมี 5 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avaiable P), โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Avaiable K), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และความอึดตัวของดิน (BS) โดยแบ่งระดับเป็น ต่ำ-ปานกลาง-สูง และให้คะแนน ต่ำ 1 คะแนน, ปานกลาง 2 คะแนน, สูง 3 คะแนน ตามลำดับ ผลรวมคะแนน 5-7 (ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ), 8-12 (ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง), 13-15 (ความอุดมสมบูรณ์สูง)

ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินบริเวณเขตรากข้าว คือที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง ทั้งดินบนและดินล่าง ได้แก่ P1, P4, P5, P6, P7, P8 และ P10 ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำทั้งดินบนและดินล่าง ได้แก่ P3, P9 และ P11 ดินบนความอุดมสมบูรณ์ต่ำและดินล่างปานกลาง ได้แก่ P2 (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 การประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยใช้สมบัติทางเคมี

กลุ่ม ลักษณะ ดิน	pedon	depth (cm)	OM %	Avai.P mg/kg	Avai.K mg/kg	CEC (cmol/kg)	BS (%)	Fertility class	
1	P3	0-30	0.22 (1)	7.3 (1)	8.7 (1)	2.4 (1)	814 (3)	Low (7)	
		30-55	0.10 (1)	1.9 (1)	10.7 (1)	4.1 (1)	262 (3)	Low (7)	
	P8	0-20	0.33 (1)	5.1 (1)	99.8 (3)	28.9 (3)	123 (3)	Moderate (11)	
		20-55	0.94 (1)	2.5 (1)	87.1 (2)	25.7 (3)	119 (3)	Moderate (10)	
	2	P2	0-30	0.77 (1)	4.4 (1)	42.4 (1)	6.6 (1)	153 (3)	Low (7)
			30-60	0.23 (1)	6.4 (1)	42.0 (1)	10.7 (2)	242 (3)	Moderate (8)
P4		0-20	1.00 (1)	11.1 (2)	69.7 (2)	12.8 (2)	140 (3)	Moderate (10)	
		20-50	0.33 (1)	2.4 (1)	60.8 (2)	15.2 (2)	115 (3)	Moderate (9)	

ตารางที่ 13 (ต่อ)

กลุ่ม ลักษณะ ดิน	pedon	depth (cm)	OM %	Avai.P mg/kg	Avai.K mg/kg	CEC (cmol/kg)	BS (%)	Fertility class
	P10	0-25	1.06 (1)	0.4 (1)	72.0 (2)	5.5 (1)	195 (3)	Moderate (8)
		25-50	0.28 (1)	0 (1)	65.3 (2)	6.3 (1)	218 (3)	Moderate (8)
	P11	0-20	0.91 (1)	4.7 (1)	30.6 (1)	3.6 (1)	172 (3)	Low (7)
		20-45	0.18 (1)	1.3 (1)	22.9 (1)	3.4 (1)	163 (3)	Low (7)
3	P6	0-25	0.57 (1)	5.2 (1)	57.1 (1)	41.7 (3)	81 (3)	Moderate (9)
		25-50	0.34 (1)	1.9 (1)	79.4 (2)	11.4 (2)	288 (3)	Moderate (9)
4	P1	0-30	1.21 (1)	3.6 (1)	60.4 (2)	9.0 (1)	105 (3)	Moderate (8)
	P9	0-20	0.24 (1)	1.8 (1)	8.6 (1)	1.0 (1)	181 (3)	Low (7)
		20-45	0.06 (1)	0.1 (1)	40.1 (1)	3.5 (1)	201 (3)	Low (7)
5	P5	0-25	1.53 (2)	3.5 (1)	74.5 (2)	14.3 (2)	120 (3)	Moderate (10)
		25-60	0.35 (1)	1.3 (1)	63.1 (2)	19.7 (2)	117 (3)	Moderate (9)
	P7	0-25	0.49 (1)	10.9 (2)	97.4 (3)	19.4 (2)	109 (3)	Moderate (11)
		25-55	0.58 (1)	2.5 (1)	97.1 (3)	29.8 (3)	121 (3)	Moderate (11)

กลุ่มลักษณะดินที่ 1 ประกอบด้วย P3 และ P8

ระดับความอุดมสมบูรณ์โดยรวม ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำมาก มีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าค่อนข้างแปรผัน โดยบางชั้นดินมีค่าสูง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าความอิ่มตัวเบสสูง (>100%)

กลุ่มลักษณะดินที่ 2 ประกอบด้วย P2, P4, P10 และ P11

ระดับความอุดมสมบูรณ์โดยรวม ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับปานกลาง ยกเว้น P11 ที่อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ค่าความอิ่มตัวเบสสูง

กลุ่มลักษณะดินที่ 3 ประกอบด้วย P6

ระดับความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงมาก ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น ความอิ่มตัวเบสสูง

กลุ่มลักษณะดินที่ 4 ประกอบด้วย P1 และ P9

ระดับความอุดมสมบูรณ์โดยรวม ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ความอิ่มตัวเบสสูง

กลุ่มลักษณะดินที่ 5 ประกอบด้วย P5 และ P7

ระดับความอุดมสมบูรณ์โดยรวม ส่วนใหญ่จัดอยู่ในระดับปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ แต่สูงกว่ากลุ่มอื่นเล็กน้อย ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนปานกลางถึงค่อนข้างสูง ความอิ่มตัวเบสสูง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

1) การศึกษาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ตารางค่าสหสัมพันธ์ (correlation matrix)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 14) พบว่าผลผลิตข้าวมีความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวกและเชิงลบกับสมบัติดินหลายตัวแปร โดยมีระดับความสัมพันธ์แตกต่างกันไป ดังนี้

1.1) ผลผลิตข้าวมีความสัมพันธ์เชิงลบค่อนข้างชัดเจนกับสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับความเค็มของดิน ได้แก่ อีซีอี (EC_e) ($r = -0.48$) ค่าโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (Na) ($r = -0.44$) อีเอสพี (ESP) ($r = -0.43$) และค่าความอิ่มตัวของเบส (BS) ($r = -0.35$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับความเค็มและการสะสมโซเดียมในดินเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ผลผลิตข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

1.2) ในทางตรงกันข้าม ผลผลิตข้าวมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) ($r = 0.39$) ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญต่อการพัฒนาระบบราก การแตกกอ และการสร้างเมล็ดของข้าว แสดงถึงการมีฟอสฟอรัสเพียงพอเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว

ตารางที่ 14 ตารางค่าสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวชาวดอกมะลิ 105

	ph	om	P	k	cec	na	ca	mg	ec	esp	bs	sand	silt	clay
ph	1.00													
om	-0.33	1.00												
p	0.21	0.21	1.00											
k	0.14	0.40	0.46	1.00										
cec	0.06	0.28	0.46	0.74	1.00									
na	0.06	0.05	-0.06	0.17	0.44	1.00								
ca	-0.41	0.26	-0.12	0.18	0.16	0.13	1.00							
mg	-0.02	0.01	-0.07	0.12	0.13	0.26	0.32	1.00						
ec	-0.06	0.19	-0.15	0.33	0.22	0.43	0.25	0.55	1.00					
esp	0.59	-0.37	-0.24	-0.18	-0.32	0.24	-0.25	0.11	0.27	1.00				
bs	0.61	-0.12	0.00	0.01	-0.25	0.03	-0.24	0.03	0.15	0.72	1.00			
sand	0.27	-0.22	-0.22	-0.74	-0.61	-0.24	-0.31	-0.16	-0.38	0.19	0.12	1.00		
silt	-0.19	0.07	0.12	0.46	0.16	0.17	0.20	-0.01	0.10	-0.06	0.09	-0.78	1.00	
clay	-0.24	0.27	0.24	0.73	0.78	0.22	0.30	0.25	0.49	-0.24	-0.26	-0.85	0.33	1.00
yield	-0.29	0.01	0.39	-0.10	-0.09	-0.44	-0.07	-0.22	-0.48	-0.43	-0.35	0.01	0.07	-0.08

1.3) สำหรับสมบัติทางเคมีอื่น ๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กับผลผลิตในระดับต่ำ ได้แก่ อินทรีย์วัตถุ (OM) ($r = 0.01$) แคลเซียม (Ca) ($r = -0.07$) แมกนีเซียม (Mg) ($r = -0.22$) และโพแทสเซียม (K) ($r = -0.10$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้อาจไม่ใช่ตัวควบคุมหลักของผลผลิตในพื้นที่ศึกษาเมื่อเทียบกับปัญหาความเค็มและโซดิกของดิน

1.4) สมบัติทางกายภาพของดิน พบว่าเนื้อดินมีอิทธิพลต่อผลผลิตในระดับต่ำ โดยปริมาณอนุภาคขนาดทราย (sand) ($r = 0.01$) ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง (silt) ($r = 0.07$) และปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) ($r = -0.08$) มีความสัมพันธ์ต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเนื้อดินไม่ใช่ปัจจัยจำกัดหลักเมื่อเทียบกับปัญหาทางเคมีของดิน

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ความเค็มและโซดิกของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวชาวดอกมะลิ 105 ที่สำคัญที่สุด ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่เพียงพอเป็นปัจจัยส่งเสริมผลผลิตหลัก ดังนั้น การจัดการดินเพื่อลดความเค็มและโซดิก ควบคู่กับการจัดการธาตุอาหารโดยเฉพาะฟอสฟอรัส จึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าวชาวดอกมะลิ 105 อย่างยั่งยืนของพื้นที่ศึกษา

2) การศึกษาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ในรูปแบบ biplot เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินกับผลผลิตข้าว จากกราฟ (ภาพที่ 14) สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างของตัวแปรหลายตัวพร้อมกัน โดยแกนองค์ประกอบหลักที่หนึ่ง

(PC1) อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ร้อยละ 33.7 และแกนองค์ประกอบหลักที่สอง (PC2) อธิบายได้ ร้อยละ 19.9 รวมอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ร้อยละ 53.6 แสดงว่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถสะท้อนโครงสร้างข้อมูลของดินและผลผลิตได้ในระดับปานกลาง ผลการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ PCA พบว่า ค่า Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) เท่ากับ 0.55 แสดงถึงความเหมาะสมของข้อมูลในระดับพอใช้ และผลการทดสอบ Bartlett’s sphericity test มีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2 = 868.72, p < 0.001$) แสดงว่าตัวแปรต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ทิศทางและความยาวของลูกศรตัวแปรใน PCA biplot แสดงความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรต่อผลผลิตข้าว โดยตัวแปรที่มีทิศทางใกล้เคียงกันแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวก ขณะที่ตัวแปรที่มีทิศทางตรงข้ามกันแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงลบ ความสัมพันธ์และอิทธิพลของตัวแปรต่อผลผลิตข้าว มีดังนี้

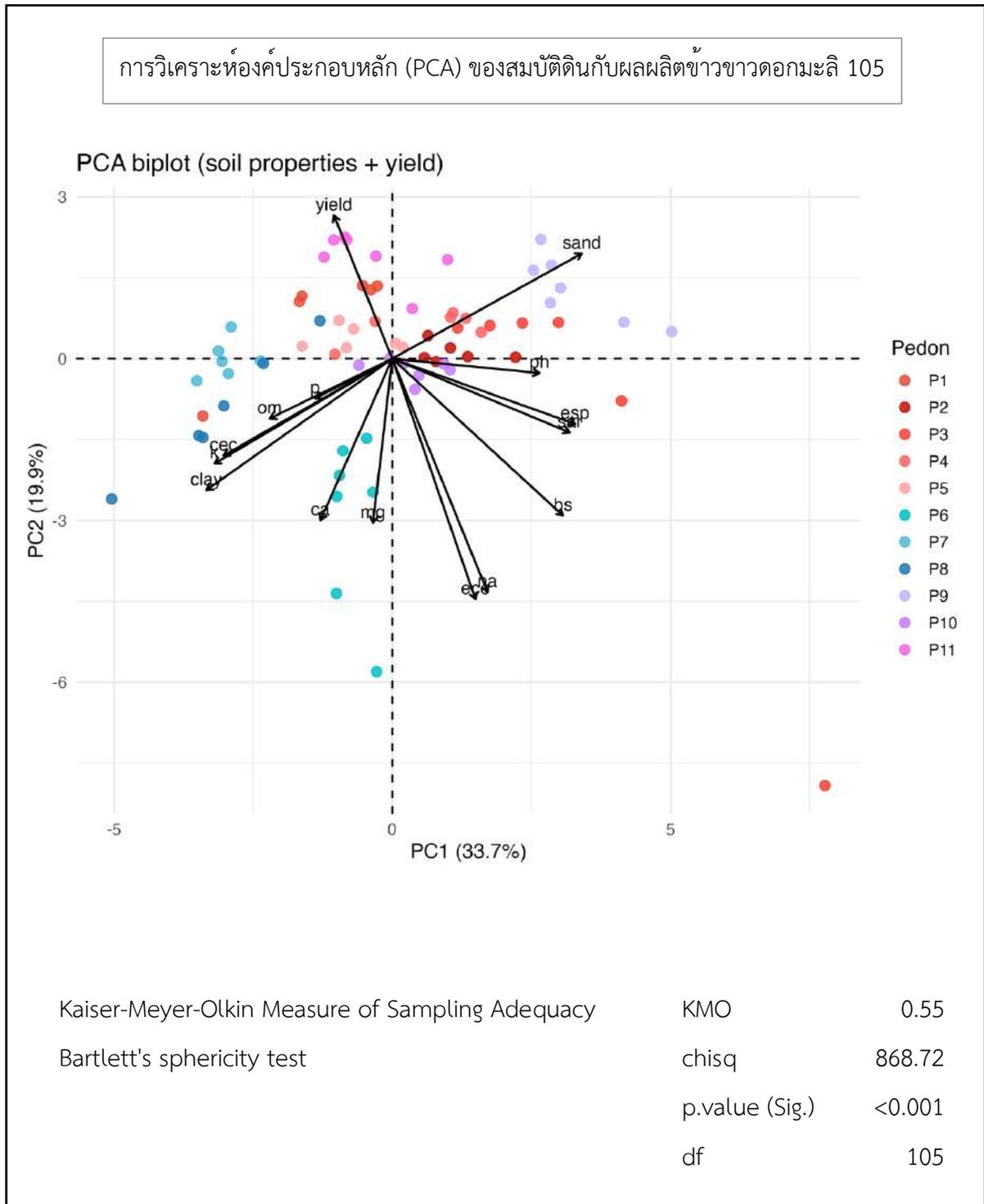
2.1) ความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิต ค่าอีซีอี (EC_e) และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Na) เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวที่สำคัญที่สุด โดยอีเอสพี (ESP), ความอืดตัวเบส (BS) และพีเอชของดิน (pH) เป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวที่สำคัญรองลงมา แสดงให้เห็นว่าหากความเค็มและโซดิกมาก ผลผลิตข้าวจะต่ำ

2.2) ความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P), ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว (Clay), ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC), โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (K), แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Ca), แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Mg) แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิต และเชิงลบกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย ซึ่งมีผลทางอ้อมในการควบคุมเนื้อดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน การระบายน้ำและอากาศของดิน

PCA biplot แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โครงสร้างความแปรปรวนของข้อมูลถูกควบคุมหลักโดยสองกลุ่มปัจจัย ได้แก่ (1) ความเค็มและโซดิกของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิต และ (2) ความอุดมสมบูรณ์ด้านธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นปัจจัยส่งเสริมผลผลิตข้าวในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษารูปร่างความสัมพันธ์ของสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และองค์ประกอบหลักสอดคล้องกัน โดยผลผลิตไม่ได้ถูกควบคุมด้วยตัวแปรเดียว แต่เป็นผลของระบบดินแบบบูรณาการ (integrated soil system) ความแปรปรวนของผลผลิตข้าวในพื้นที่ได้รับอิทธิพลหลักจากความเค็มของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัดปริมาณผลผลิต ขณะที่ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยส่งเสริมปริมาณผลผลิต

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ของสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินหลายตัวแปรกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

การเปรียบเทียบสมบัติดินและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ระหว่างกลุ่มลักษณะดิน

1) การเปรียบเทียบผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามกลุ่มลักษณะดิน

การศึกษาความแตกต่างของปริมาณผลผลิตข้าวระหว่างกลุ่มลักษณะดิน 5 กลุ่ม โดยใช้การทดสอบแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ Kruskal–Wallis และเปรียบเทียบรายคู่ด้วย Dunn’s test ปรับค่าแบบ Bonferroni พบว่าผลผลิตข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p < 0.001$) ตัวอักษรที่กำกับเหนือกราฟแสดงกลุ่มที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จาก boxplot แสดงปริมาณผลผลิตข้าวตามกลุ่มลักษณะดิน (ภาพที่ 15)

ผลการศึกษาอธิบายตามปริมาณผลผลิตจากมากไปน้อย ดังนี้

1.1) กลุ่มที่ให้ผลผลิตสูง

กลุ่มลักษณะดินที่ 5 (ab) มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงที่สุด โดยมีค่ามัธยฐานอยู่ในระดับสูง (ประมาณ 450–500 กิโลกรัมต่อไร่) และมีการกระจายตัวกว้าง แสดงถึงศักยภาพการผลิตสูง แต่มีความแปรปรวนภายในกลุ่มมาก สะท้อนถึงความแตกต่างของสมบัติดินย่อยภายในกลุ่มเดียวกัน

กลุ่มลักษณะดินที่ 4 (b) ให้ผลผลิตสูงรองลงมา มีค่ามัธยฐานประมาณ 450–500 กิโลกรัมต่อไร่ และมีการกระจายตัวค่อนข้างแคบ แสดงถึงความสม่ำเสมอของศักยภาพการผลิต

1.2) กลุ่มผลผลิตปานกลาง

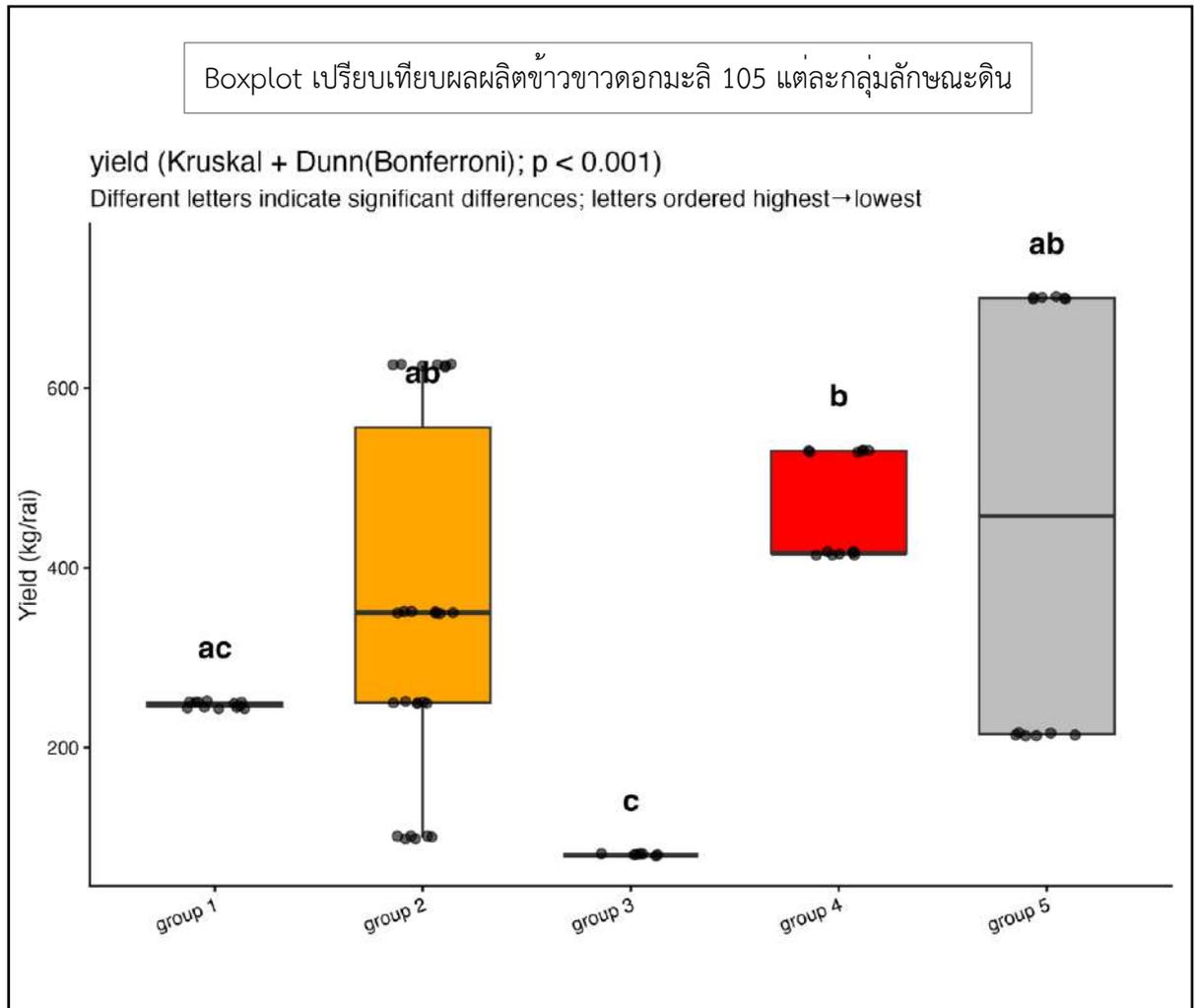
กลุ่มลักษณะดินที่ 2 (ab) มีค่ามัธยฐานระดับปานกลาง (ประมาณ 330–350 กิโลกรัมต่อไร่) แต่มีช่วงการกระจายกว้างมาก ตั้งแต่ค่าต่ำถึงสูงกว่า 600 กิโลกรัมต่อไร่ แสดงถึงความไม่สม่ำเสมอของศักยภาพดินในกลุ่มนี้ บางพื้นที่สามารถให้ผลผลิตสูงใกล้เคียงกลุ่ม 4–5 แต่บางพื้นที่ให้ผลผลิตต่ำ

กลุ่มลักษณะดินที่ 1 (ac) ให้ผลผลิตระดับค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 240–260 กิโลกรัมต่อไร่) และมีความแปรปรวนต่ำ แสดงถึงข้อจำกัดของดินที่ค่อนข้างคงที่

1.3) กลุ่มผลผลิตต่ำที่สุด

กลุ่มลักษณะดินที่ 3 (c) มีผลผลิตต่ำที่สุดอย่างชัดเจน (ประมาณ 70–90 กิโลกรัมต่อไร่) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มลักษณะดินที่ 4 และ 5 แสดงถึงข้อจำกัดรุนแรงของสมบัติดินในกลุ่มนี้

ผลการเปรียบเทียบยืนยันว่ากลุ่มลักษณะดินมีผลต่อศักยภาพการผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มลักษณะดินที่ 4 และ 5 มีศักยภาพการผลิตสูงที่สุด ขณะที่กลุ่มลักษณะดินที่ 2 และ 3 มีผลผลิตต่ำ ควรได้รับการจัดการดินแบบเฉพาะพื้นที่ (site-specific management)



ภาพที่ 15 Boxplot แสดงปริมาณผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามกลุ่มลักษณะดิน

2) การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมบัติดินและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามกลุ่มลักษณะดิน

การเปรียบเทียบสมบัติดินและผลผลิตข้าว พิจารณานัยทางสถิติจากค่า p ผลการศึกษา (ตารางที่ 15) พบว่า

- ปัจจัยที่มีนัยสำคัญสูงมาก ได้แก่ ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ค่าซีอี และปริมาณผลผลิต

- ปัจจัยที่มีนัยสำคัญสูง ได้แก่ ปริมาณอนุภาคขนาดทราย และปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้ง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และค่าไอเอสพี

- ปัจจัยที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ ค่าพีเอชของดิน และความอิ่มตัวเบส

เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มลักษณะดิน พิจารณาเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญสูงมาก พบว่า สมบัติดิน ดันเนื้อดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสถานะความเค็ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม

ลักษณะดิน โดยเฉพาะปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าไอซีอี แต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนี้

2.1) กลุ่มลักษณะดินที่ 1 (หน้าตัดดินแบบเค็มโซดิก ได้แก่ P3 และ P8)

พบว่ามีความปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับปานกลาง แต่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และค่าไอซีอีค่อนข้างสูง ส่งผลให้ผลผลิตข้าวอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าสภาพความเค็มเริ่มมีบทบาทเป็นปัจจัยจำกัด แม่ดินจะยังสามารถสะสมธาตุอาหารได้ในระดับหนึ่ง

2.2) กลุ่มลักษณะดินที่ 2 (หน้าตัดดินแบบเค็มโซดิก/โซดิก ได้แก่ P2 P4 P10 และ P11)

มีลักษณะดินที่แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน โดยพบว่าปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงดินที่มีเนื้อค่อนข้างหยาบและมีความอุดมสมบูรณ์จำกัด อย่างไรก็ตาม กลุ่มนี้มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าไอซีอีอยู่ในระดับต่ำ และแตกต่างจากบางกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่าสภาพดินไม่มีข้อจำกัดด้านความเค็มหรือโซดิก ส่งผลให้ผลผลิตข้าวอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น

2.3) กลุ่มลักษณะดินที่ 3 (หน้าตัดดินแบบโซดิก/เค็มโซดิก) ได้แก่ P6

มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น แสดงถึงศักยภาพของดินในการดูดซับและสะสมธาตุอาหาร อย่างไรก็ตาม กลุ่มดังกล่าวกลับมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าไอซีอีสูงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาพดินเค็มและโซดิกในระดับรุนแรง สภาวะดังกล่าวทำให้โครงสร้างดินเสื่อม ความพรุนของดินลดลง การถ่ายเทอากาศและการซึมน้ำถูกจำกัด ส่งผลกระทบต่อการเจริญของระบบรากและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าว แม่ว่าดินจะมีความอุดมสมบูรณ์สูงก็ตาม ผลที่ตามมาคือกลุ่มนี้ให้ผลผลิตข้าวต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ความเค็มและโซดิกของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวมากกว่าความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.4) กลุ่มลักษณะดินที่ 4 (หน้าตัดดินแบบโซดิก) ได้แก่ P1 และ P9

มีผลผลิตข้าวอยู่ในระดับสูง ดินมีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียว โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำ แต่มีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าไอซีอีต่ำมาก แสดงถึงสภาพดินที่ไม่มีข้อจำกัดด้านความเค็มและโซดิกในดิน ส่งผลให้ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี แม่ดินจะมีความอุดมสมบูรณ์ไม่สูงนัก

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของสมบัติดินและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

variable	group 1	group 2	group 3	group 4	group 5	p_value	signif
	38.100 ±	38.842 ±	15.300 ±	55.338 ±	29.933 ±		
Sand	24.438 ab	14.521 a	10.638 b	25.313 a	15.442 ab	0.00	**
	33.875 ±	42.092 ±	44.857 ±	28.977 ±	40.600 ±		
Silt	7.899 a	12.155 a	5.263 a	15.583 a	6.203 a	0.03	*
	28.025 ±	19.065 ±	39.843 ±	15.685 ±	29.467 ±		
Clay	18.137 ab	6.285 b	7.409 a	9.982 b	10.018 ab	0.00	***
	6.425 ±	7.119 ±	7.400 ±	7.638 ±	7.800 ±		
pH	2.178 a	1.689 a	0.208 a	1.985 a	0.649 a	0.65	ns
	0.527 ±	0.236 ±	0.223 ±	0.272 ±	0.518 ±		
OM	0.929 ab	0.316 b	0.177 ab	0.333 ab	0.367 a	0.03	*
	1.875 ±	1.942 ±	1.243 ±	1.046 ±	8.283 ±		
Avai.P	2.177 a	2.502 a	1.868 a	0.871 a	9.671 a	0.03	*
	45.717 ±	52.581 ±	76.357 ±	35.523 ±	79.250 ±		
Avai.K	28.333 b	17.613 b	8.822 a	19.640 b	15.859 a	0.00	***
	206.770 ±	178.013 ±	161.923 ±	175.600 ±	127.186 ±		
BS	198.550 a	75.136 a	62.650 a	85.150 a	13.190 a	0.26	ns
	15.540 ±	9.148 ±	22.301 ±	8.232 ±	22.835 ±		
CEC	9.060 ab	3.159 b	9.346 a	4.376 b	6.559 a	0.00	***
	88.847 ±	33.634 ±	138.520 ±	20.896 ±	21.722 ±		
Na	163.230 ab	19.037 b	82.027 a	13.351 b	12.100 b	0.00	***
	8.590 ±	2.682 ±	11.854 ±	5.178 ±	2.542 ±		
Ca	7.957 a	2.678 ab	10.229 a	16.228 b	3.005 ab	0.00	**
	13.507 ±	1.885 ±	114.289 ±	0.382 ±	2.264 ±		
Mg	16.133 ab	4.814 abc	195.841 a	0.674 c	6.341 bc	0.00	***
	9.486 ±	2.589 ±	11.191 ±	2.385 ±	2.624 ±		
EC _e	13.627 a	1.491 b	5.422 a	1.317 b	1.295 b	0.00	***
	57.916 ±	63.125 ±	77.029 ±	66.410 ±	29.428 ±		
ESP	42.228 a	30.548 a	18.904 a	34.754 a	14.457 a	0.03	*
	247.500 ±	343.269 ±	80.000 ±	468.615 ±	457.500 ±		
Yield	2.611 ac	196.285 ab	0.000 c	59.152 b	253.283 ab	0.00	***

ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (statistical significance) ของผลการทดสอบสมมติฐาน โดยอ้างอิงจากค่า p-value ซึ่งบอกความน่าจะเป็นที่ผลลัพธ์จะเกิดขึ้นโดยบังเอิญ ภายใต้สมมติฐานศูนย์ (H₀) ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ *** p < 0.001 มีนัยสำคัญสูงมาก, ** p < 0.01 มีนัยสำคัญสูง, * p < 0.05 มีนัยสำคัญ

2.5) กลุ่มลักษณะดินที่ 5 (หน้าตัดดินแบบดินอื่น ๆ /โซดิก) ได้แก่ P5 และ P7

มีผลผลิตข้าวอยู่ในระดับสูง สมบัติดินมีลักษณะเด่นคือโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง ร่วมกับปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้และอีซีอีต่ำ แสดงถึงความสมดุลระหว่างศักยภาพในการให้ธาตุอาหารและการไม่มีข้อจำกัดเรื่องความเค็มและโซดิกในดิน ส่งผลให้ผลผลิตข้าวอยู่ในระดับสูงเช่นกัน

ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าการจัดการดินที่ลดปัญหาความเค็มและโซดิกในดิน มีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตมากกว่าการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ประเด็นสำคัญที่ได้จากวิเคราะห์กลุ่มลักษณะดิน

1) กลุ่มลักษณะดินมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

เมื่อเปรียบลักษณะการจัดเรียงชั้นของหน้าตัดดินตัวแทนศึกษา แม้ว่าดินบนที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่ดินล่างแตกต่างกัน การปลูกข้าวในดินเหล่านี้มีผลผลิตข้าวแตกต่างกัน

1.1) กลุ่มที่มีผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยประจำพันธุ์ ได้แก่

- กลุ่มลักษณะดินที่ 5 ดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่ผลกระทบจากเกลือและดินล่างเป็นดินโซดิก (non/sodic) ได้แก่ P5 และ P7 มีผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด 457 กิโลกรัมต่อไร่

- กลุ่มลักษณะดินที่ 4 เป็นดินโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร (sodic/sodic) ได้แก่ P1 และ P9 ผลผลิตสูงรองลงมา มีผลผลิตเฉลี่ย 468 กิโลกรัมต่อไร่

1.2) กลุ่มที่มีผลผลิตใกล้เคียงค่าเฉลี่ยประจำพันธุ์ คือกลุ่มลักษณะดินที่ 2 ดินบนเป็นดินเค็มโซดิกและดินล่างเป็นดินโซดิก (saline-sodic/sodic) ได้แก่ P2, P4, P10 และ P11 มีผลผลิตเฉลี่ย 343 กิโลกรัมต่อไร่

1.3) กลุ่มที่มีผลผลิตต่ำกว่าค่าเฉลี่ยประจำพันธุ์ ได้แก่

- กลุ่มลักษณะดินที่ 1 เป็นดินเค็มโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร (saline-sodic/saline-sodic) ได้แก่ P3 และ P8 มีผลผลิตเฉลี่ย 247 กิโลกรัมต่อไร่

- กลุ่มลักษณะดินที่ 3 ดินบนเป็นดินโซดิกและดินล่างเป็นดินเค็มโซดิก (sodic/saline-sodic) ได้แก่ P6 มีผลผลิตเฉลี่ย 80 กิโลกรัมต่อไร่

2) ความเค็มและโซดิกเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่ำ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต ได้แก่ ค่าอีซีอี ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ค่าไอเอสพี และความอึมตัวเบส โดยปัจจัยที่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ได้แก่ ค่าอีซีอี ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ค่าไอเอสพี แสดงว่าทั้ง 3 ตัวแปร ทำให้แต่ละกลุ่มลักษณะดินมีผลผลิตข้าวแตกต่างกัน บ่งชี้ว่าความเค็มและโซดิกในดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตที่สำคัญกว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินและเนื้อดิน

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มกับโซดิกในดินแล้ว พบว่า ความเค็มเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวที่สำคัญกว่าความเป็นโซดิกหรือปริมาณโซเดียมในดิน

3) หน้าที่ตัดดินที่มีดินเค็มโซดิก ภายใน 50 เซนติเมตร มีแนวโน้มได้ผลผลิตต่ำ

หน้าที่ตัดดินที่มีดินเค็มโซดิกไม่ว่าจะเป็นดินบนหรือดินล่าง มีแนวโน้มปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ผลผลิตต่ำ โดยเฉพาะดินที่มีค่าอีซีอีสูง ผลการศึกษาพบว่าดินตัวแทนศึกษาที่มีค่าอีซีอี 9 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ผลผลิตต่ำกว่า 250 กิโลกรัมต่อไร่ และอีซีอี 11 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ได้ผลผลิต 80 กิโลกรัมต่อไร่ จึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อดินมีความเค็มอยู่ในระดับเค็มมาก (ค่าอีซีอีมากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร) ผลผลิตข้าวจะต่ำมาก สอดคล้องกับการศึกษาของไพรัช (2551) ที่พบว่าเมื่ออีซีอีมากกว่า 8 ผลผลิตข้าวต่ำกว่า 300 กิโลกรัมต่อไร่ และกองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) ที่กล่าวว่าอีซีอี 10 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ทำให้ผลผลิตในพื้นที่ที่อ่อนแอลดลงมากกว่าร้อยละ 50

4) เนื้อดินอาจมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทางอ้อม

ปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มลักษณะดิน แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 อย่างชัดเจน โดยกลุ่มที่มีปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงไม่ได้ให้ผลผลิตสูงเสมอไป ซึ่งให้เห็นว่า เนื้อดินอาจมีบทบาททางอ้อมต่อผลผลิต โดยส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน ความชื้นในดิน และการสะสมของเกลือมากกว่าส่งผลต่อปริมาณผลผลิตโดยตรง

5) การจัดการดินเพื่อปลูกข้าวต้องพิจารณาดินตลอดเขตรากข้าว

จากการพิจารณาการจัดเรียงชั้นในหน้าที่ตัดดิน ทั้งประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือและระดับความรุนแรงของความเค็มและโซดิกในดิน พบว่าดินบนของกลุ่มลักษณะดินที่ 1 และ 2 เป็นดินเค็มโซดิก กลุ่มลักษณะดินที่ 3 และ 4 เป็นดินโซดิก และกลุ่มลักษณะดินที่ 5 เป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ซึ่งกลุ่มลักษณะดินที่ 5, 4 และ 3 ควรได้รับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในปริมาณสูงเนื่องจากดินบนไม่เค็ม แต่กลุ่มลักษณะดินที่ 3 กลับมีผลผลิตต่ำที่สุด โดยเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าดินล่างตั้งแต่ตอนบนถึงตอนล่างของหน้าที่ตัดเป็นดินเค็มโซดิก ซึ่งครอบคลุมเขตรากพืช ดินมีความเค็มอยู่ในระดับเค็มจัด จึงส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต และเป็นสาเหตุทำให้ผลผลิตข้าวต่ำที่สุด

แนวทางการปรับปรุงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ

การปรับปรุงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยพิจารณาข้อมูลลักษณะสมบัติดิน

1) การจัดการดินในเขตรากพืช

การจัดการดิน ควรตรวจสอบดินตลอดเขตรากข้าวคือ 0-50 เซนติเมตร เป็นอย่างน้อย โดยนำผลวิเคราะห์ค่าอีซีอีและอีเอสพี มาจำแนกประเภทดินที่มีผลกระทบจากเกลือเพื่อทราบลักษณะปัญหา และระดับความรุนแรงเพื่อทราบขนาดของผลกระทบ ร่วมกับผลวิเคราะห์สำหรับประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2) การจัดการความเค็มและโซดิกก่อน

ผลการศึกษาพบว่าความเค็มและโซเดียมเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตที่รุนแรงกว่าความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำแต่ไม่มีข้อจำกัดเรื่องความเค็มยังสามารถให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในระดับที่ยอมรับได้ และดินที่ความเค็มสูงมีแนวโน้มจะมีปริมาณผลผลิตต่ำ ขณะที่ค่าไอเอสพี แม้จะมีแนวโน้มสูงในหลายกลุ่ม แต่ไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตอย่างเด่นชัด แสดงว่าความเค็มของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สำคัญกว่าความเป็นโซดิกเพียงอย่างเดียว

คำแนะนำในการจัดการความเค็มและโซดิกในดินตามสภาพปัญหา มีดังนี้

2.1) หน้าที่ตัดดินที่มีเค็มโซดิก ผลผลิตจะต่ำ ไม่ควรปลูกข้าวในดินที่มีค่าไอเอสพีมากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร เนื่องจากจะได้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่ำมาก เสี่ยงต่อการขาดทุน ควรพิจารณาปรับเปลี่ยนพืชปลูกโดยเลือกปลูกพืชทนเค็ม หรือปรับเปลี่ยนการใช้ที่ดิน

2.2) หากดินมีค่าไอเอสพีน้อยกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อาจยังใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้ แต่ต้องจัดการความเค็มของดินก่อน โดยเฉพาะหน้าที่ตัดดินที่เป็นดินเค็มโซดิก หน้าที่ตัดดินเป็นดินเค็มโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร ดินบนเป็นดินเค็มโซดิกและดินล่างเป็นดินโซดิก ดินบนเป็นดินโซดิกและดินล่างเป็นดินเค็มโซดิก

2.3) หน้าที่ตัดดินที่เป็นดินโซดิกตลอดความลึก 50 เซนติเมตร ต้องพิจารณาระดับความรุนแรงของโซดิกในดิน

สำหรับหน้าที่ตัดดินที่เป็นดินเค็มโซดิกและดินโซดิก ควรมีจัดการพื้นที่ โดยใช้น้ำชะล้างเกลือและโซเดียม และใส่วัสดุปรับปรุงดิน ดังนี้

(1) เพิ่มอินทรีย์วัตถุ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือไบโอชาร์

(2) ดินที่มีโซดิกสูง ต้องใส่วัสดุปรับปรุงดิน เช่น ใสยิปซัม (gypsum) ตามค่าความต้องการยิปซัม (Gypsum Requirement; GR) การคำนวณปริมาณยิปซัมที่ต้องการในดินตัวแทนศึกษาแต่ละบริเวณ ใช้สูตรคำนวณของ U.S. Salinity Laboratory Staff (1954); Richards (1954) ดังนี้

$$GR = \frac{(ESP_i - ESP_f) \times CEC \times \rho_b \times D \times 10}{86.5}$$

ความหมายตัวแปร

GR = ปริมาณยิปซัม (ตัน/เฮกตาร์)

ESP_i = ค่า ESP ปัจจุบัน (%)

ESP_f = ค่า ESP เป้าหมาย (%), มักตั้งที่ ≤ 10–15 ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ ESP = 15

CEC = ความสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmol(+)/kg)

$\rho\beta$ = ความหนาแน่นรวมของดิน (Mg/m^3) ≈ 1.3 (ถ้าไม่มีข้อมูล) ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ผลวิเคราะห์ดิน

D = ความลึกดินที่ต้องการปรับปรุง (เมตร) ปกติ 0.15–0.30 m ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ 0.50 m

86.5 = ค่าคงที่ (น้ำหนักสมมูลของ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

เมื่อคำนวณปริมาณความต้องการยิปซัมพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มลักษณะดิน (ตารางที่16) ดังนี้

(1) ไม่ต้องใส่ยิปซัมเพื่อปรับปรุงดิน ได้แก่ กลุ่มลักษณะดินที่ 5 (P5 และ P7) เนื่องจากความต้องการยิปซัมเป็นค่าลบ (-0.75 ถึง -1.46 ตันต่อไร่) หมายความว่า ไม่แนะนำให้ใส่ยิปซัม เพราะอาจไม่เกิดประโยชน์ และเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น

(2) จำเป็นต้องใส่ยิปซัมเพื่อปรับปรุงดิน ได้แก่ กลุ่มลักษณะดินที่ 1-4

- กลุ่มลักษณะดินที่ 4 (P1, P9) มีความต้องการยิปซัมไม่มาก ใส่ยิปซัมในอัตราน้อยที่สุด คือ P1 แนะนำให้ใส่ 1.15 ตันต่อไร่ P9 แนะนำ 0.01 ตันต่อไร่
- กลุ่มที่ลักษณะดินที่ 2 (P2, P4, P10, P11) ความต้องการยิปซัมอยู่ที่ 1.82–3.61 ตัน/ไร่
- กลุ่มลักษณะดินที่ 3 (P6) มีความต้องการยิปซัมสูงมากถึง 14.27 ตันต่อไร่
- กลุ่มลักษณะดินที่ 1 (P3, P8) ความต้องการยิปซัมแตกต่างกันมาก โดย P3 ต้องการยิปซัมสูงที่สุด ถึง 26.56 ตันต่อไร่ และ P8 ต้องการยิปซัม 3.07 ตันต่อไร่

อัตราการใส่ยิปซัมที่ได้จากการคำนวณนี้ สอดคล้องกับรายงานของไพรัช และคณะ (2564) ที่ศึกษาความต้องการยิปซัมของดินที่มีผลกระทบจากเกลือในจังหวัดนครราชสีมา พบว่าดินที่มีค่าเอสเออาร์สูงกว่า 13 (ค่าเฉลี่ย 46) มีความต้องการยิปซัมแปรปรวนอยู่ในช่วง 0-2.47 ตันต่อไร่

(3) ทำคัสนา/ปรับระดับพื้นที่

การปรับปรุงแปลงนาเป็นมาตรการวิธีกลในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งรูปแบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือคือการปรับปรุงแปลงนาแบบที่ 1 และ 2 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558) ดังนี้

ตารางที่ 16 ค่าความต้องการการยิปซัมของดินตัวแทนศึกษา

กลุ่มที่	รหัสหลุม	ESP	CEC (cmol/kg)	BD (Mg/m ³)	ความต้องการยิปซัม	
					ตัน/เฮกแตร์	ตัน/ไร่
1	P3	694.61	2.41	1.75	166.00	26.56
	P8	23.54	28.89	1.35	19.20	3.07
2	P2	46.14	6.61	1.45	17.25	2.76
	P4	25.86	12.76	1.42	11.40	1.82
	P10	66.85	5.49	1.37	22.54	3.61
	P11	68.25	3.59	1.42	15.69	2.51
3	P6	38.47	41.70	1.58	89.18	14.27
4	P1	96.97	0.99	1.54	7.21	1.15
	P9	15.08	9.02	1.31	0.05	0.01
5	P5	10.81	14.25	1.36	-4.71	-0.75
	P7	9.53	19.42	1.49	-9.16	-1.46

- การปรับปรุงแปลงนาแบบที่ 1

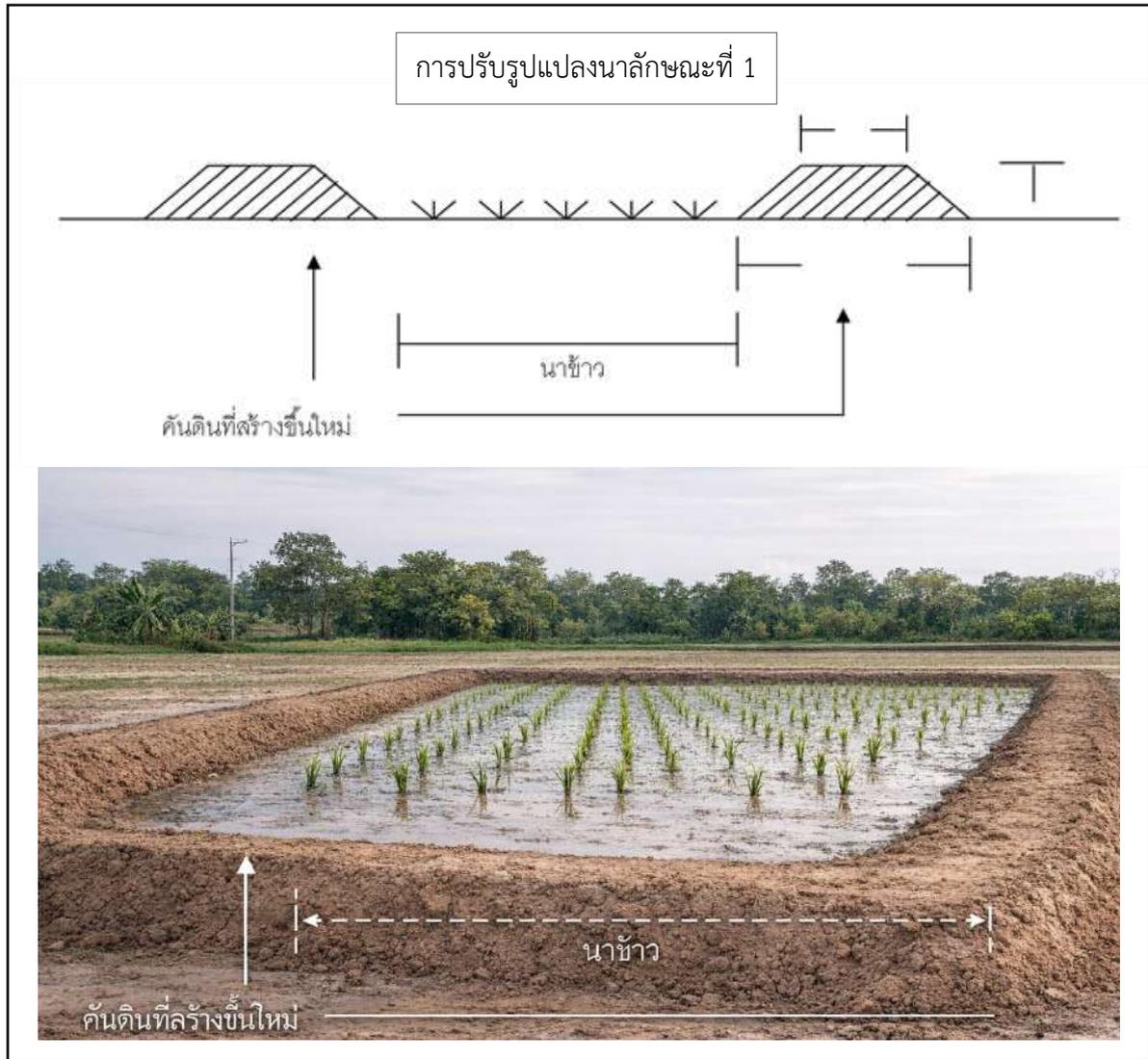
เป็นการลบก้นนาที่มีอยู่เดิมซึ่งมีขนาดเล็ก พื้นนาไม่สม่ำเสมอ โดยปรับระดับพื้นที่แปลงนาให้ราบเรียบสม่ำเสมอ สร้างคั่นนาขึ้นใหม่ โดยให้มีขนาดกว้างสูงกว่าเดิมและมีระดับเดียวกัน ทั้งแปลง วัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักน้ำที่ไหลบ่ามาไว้ในช่วงฤดูฝนได้มากขึ้นและกระจายสม่ำเสมอทั่วแปลงนาค้นนาสามารถปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ได้ ทั้ง ไม้ผล ไม้ยืนต้น พืชไร่ และพืชผัก ความสูงและความกว้างของคั่นนาผันแปรตามลักษณะดิน พื้นที่ดินและลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาหรือปริมาณน้ำที่ จะเก็บกักหรือระบายออก (ภาพที่ 16)

- การปรับปรุงแปลงนาแบบที่ 2

มีลักษณะเป็นคั่นดินที่สร้างขึ้นโดยให้ระดับอยู่ในระดับเดียวกันตลอด เช่นเดียวกับแบบที่ 1 แต่มีการขุดคูน้ำเพื่อเก็บกักน้ำและระบายน้ำ โดยการขุดดินทำเป็นคูแล้วเอาดินนั้น ขึ้นมาถมเป็นคั่นดิน วัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักน้ำและระบายน้ำ บนคั่นดินยังสามารถปลูกพืชเศรษฐกิจ ชนิดต่าง ๆ ได้ เช่นเดียวกับแบบที่ 1 การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ของพื้นที่ยังใช้เพื่อทำนา สำหรับความลึกและความกว้างของคูที่จะขุดดินขึ้นมาถมเป็นคั่น จะผันแปรไปตามลักษณะดิน (ภาพที่ 17)

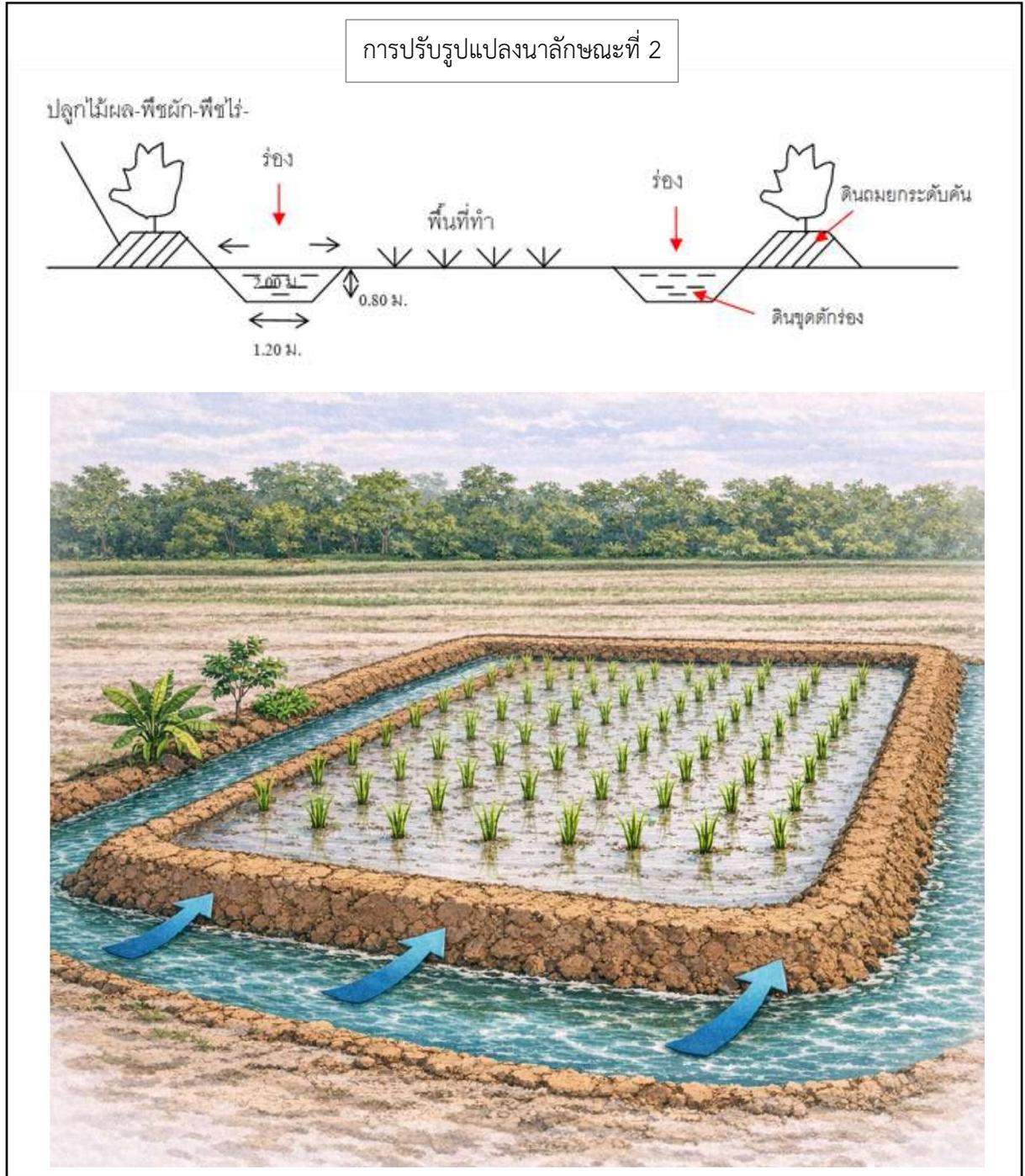
(4) ล้างผิวดินด้วยน้ำฝนและ/หรือชลประทานน้ำดีตามค่า leaching requirement (LR) ซึ่งจะต้องใช้ค่าไอซีของน้ำชลประทาน (EC_w) ในพื้นที่มาคำนวณ

(5) ทำระบบการระบายน้ำที่ชะล้างเกลือและโซเดียม



ภาพที่ 16 การปรับปรุงแปลงนาลักษณะที่ 1

2.4) หน้าตัดดินที่ดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่ผลกระทบจากเกลือและดินล่างเป็นดินโซดิก (non/sodic) อย่างกลุ่มลักษณะดินที่ 5 ไม่จำเป็นต้องล้างเกลือและโซเดียม แต่หากโซดิกอยู่ในระดับสูงควรระวังการฟุ้งกระจายและชั้นดานในระดับต้น



ภาพที่ 17 การปรับปรุงแปลงนาลักษณะที่ 2

3) การจัดการธาตุอาหารพืช

ภาพรวมความอุดมสมบูรณ์ของดินตัวแทนศึกษาในช่วงความลึก 0-50 เซนติเมตร อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสต่ำ โปแทสเซียมที่เป็นประโยชน์และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนแปรปรวน ส่วนความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับสูงทุกดิน ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าควรเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นหลัก โดยใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้นในการตัดสินใจ

การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินปลูกข้าว เช่น ฟางข้าวไถกลบ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และไบโอชาร์ เป็นการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารพืช โดยควรใช้วัสดุอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสม แบ่งใส่ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าว เพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างยั่งยืน

การเพิ่มธาตุอาหารพืช ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน อาจได้จากการใส่อินทรีย์วัตถุส่วนหนึ่งแล้ว และควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มเติม ธาตุฟอสฟอรัส โดยอาจพิจารณาการใส่ปุ๋ยสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ทั้งสูตรและอัตราปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมการข้าวหรือกรมวิชาการเกษตร จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร ลดต้นทุนการผลิต และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างยั่งยืน

การศึกษาครั้งนี้คำนวณปริมาณปุ๋ยโดยใช้ระบบคำนวณปุ๋ย ซึ่งเป็น e-service ตรวจสอบดินเพื่อการเกษตร ของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 17) ผลการคำนวณ พบรายละเอียด ดังนี้

ปริมาณการใส่ปุ๋ยในแต่ละดินตัวแทนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน แม้จะอยู่ภายใต้ระบบการปลูกพืชชนิดเดียวกัน แสดงถึงความแปรปรวนของคุณสมบัติดิน โดยเฉพาะระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโปแทสเซียม (K) จากข้อมูลในตาราง พบลักษณะร่วมที่สำคัญ คือ ทุกกลุ่มดินมีการแบ่งใส่ปุ๋ยออกเป็น 2 ระยะ สอดคล้องกับหลักการจัดการธาตุอาหารพืชในนาข้าว ซึ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยและลดการสูญเสีย ทุกดินยังแสดงให้เห็นว่าใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นหลัก สอดคล้องกับผลวิเคราะห์ดินภาพรวมที่อินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง จึงจำเป็นต้องเสริมธาตุอาหารดังกล่าวในทุกพื้นที่

แม้ว่ารูปแบบการใส่ปุ๋ยจะคล้ายกัน แต่ปริมาณปุ๋ยที่แนะนำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างของสมบัติดิน ดังนี้

(1) ธาตุไนโตรเจน

บางดิน เช่น P3, P2 และ P11 มีการแนะนำใส่ไนโตรเจนในอัตราสูง (ประมาณ 9 kg N/rai) แสดงว่าดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำ และความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจนตามธรรมชาติจำกัด ส่งผลให้ต้องใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราสูง ในทางตรงกันข้าม บางดิน เช่น P8 มีอัตราการเพิ่มไนโตรเจนต่ำกว่า สะท้อนว่าดินอาจมีแหล่งไนโตรเจนสะสมหรือมีศักยภาพการหมุนเวียนธาตุอาหารดีกว่า เช่น มีอินทรีย์วัตถุหรือกิจกรรมจุลินทรีย์สูงกว่า ความแตกต่างของการใส่ปุ๋ยเพิ่มไนโตรเจนสัมพันธ์โดยตรงกับ ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านอินทรีย์วัตถุ

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์การใช้ปุ๋ยสำหรับข้าวนาปี/ข้าวไวแสง ด้วยโปรแกรม e-Service ตรวจสอบดิน
เพื่อการเกษตรของกรมพัฒนาที่ดิน

กลุ่ม	pedon	ปริมาณธาตุอาหารที่พืช ต้องการ (kg/rai)			ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ (kg/rai)			คำแนะนำการใส่ปุ๋ย
		N	P	K	N	P	K	
1	P3	0.22	7.30	8.70	9.00	3.00	6.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 7.23 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 6.52 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 10 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม
	P8	3.33	5.10	99.80	3.00	3.00	0.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 0.71 กิโลกรัม และปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 6.52 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 3.26 กิโลกรัม
2	P2	0.77	4.40	42.40	9.00	6.00	6.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 4.68 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 10 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม
	P4	1.00	11.10	69.70	6.00	0.00	3.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 6.52 กิโลกรัม และปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (0-0-60) 5 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 6.52 กิโลกรัม
	P10	1.06	0.40	72.00	6.00	6.00	3.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.42 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) จำนวน 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียม คลอไรด์ (0-0-60) 5 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 6.52 กิโลกรัม
	P11	0.91	4.70	30.60	9.00	6.00	6.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 4.68 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 10 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม
3	P6	0.57	5.20	57.10	9.00	3.00	6.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 7.23 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 6.52 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 10 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม

ตารางที่ 17 (ต่อ)

กลุ่ม pedon		ปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ (kg/rai)			ปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ (kg/rai)			คำแนะนำการใส่ปุ๋ย
		N	P	K	N	P	K	
4	P1	6.00	6.00	3.00	7.94	13.04	5.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.42 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 50 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 6.52 กิโลกรัม
	P9	0.24	1.80	8.60	9.00	6.00	6.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 4.68 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 10.00 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม
5	P5	1.53	3.50	74.50	6.00	6.00	3.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 1.42 กิโลกรัม, ปุ๋ยไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) 13.04 กิโลกรัม และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) 5.00 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 6.52 กิโลกรัม
	P7	0.49	10.90	97.40	9.00	0.00	0.00	ครั้งที่ 1 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) 9.78 กิโลกรัม

หมายเหตุ

- ชนิดปุ๋ยที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ ยูเรีย (46-0-0), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
- วิเคราะห์และคำนวณข้อมูลผลวิเคราะห์ดินด้วยโปรแกรม e-Service ตรวจสอบดินเพื่อการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน
- ครั้งที่ 1 ใส่ที่ระยะปักดำ ครั้งที่ 2 ใส่ที่ระยะกำเนิดช่อดอก

(2) ธาตุฟอสฟอรัส

อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสมีความแปรผันสูงที่สุดระหว่างดิน โดย P2 และ P10 ต้องการฟอสฟอรัสปริมาณมาก

(3) ธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียมมีรูปแบบการใช้แตกต่างกัน 3 ลักษณะ ได้แก่

- อัตราสูง (6 kg K/rai)
- อัตราปานกลาง (3 kg K/rai)
- ไม่จำเป็นต้องใส่เพิ่มเติมในบางดิน

การใช้ข้อมูลวิเคราะห์ดินร่วมกับระบบคำนวณปุ๋ย จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ย (nutrient use efficiency) ลดต้นทุนการผลิต และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ดินระยะยาว

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความสัมพันธ์ของสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ข้อมูลจากหลุมดินตัวแทนศึกษา 11 หลุม ในจังหวัดนครราชสีมาและชัยภูมิ ซึ่งทั้งหมดเป็นดินที่มีผลกระทบจากเกลือและปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ผลการศึกษา มีดังนี้

ลักษณะวิทยา สมบัติดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ดินในพื้นที่ศึกษาที่มีความแปรปรวนของลักษณะพื้นฐานวิทยาและสมบัติดินทั้งในแนวตั้งของหน้าตัดดินและระหว่างหลุมดิน ค่าไอซีอีและค่าไอเอสพีแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยดินที่ไม่เค็ม ดินโซดิก และดินเค็มโซดิก โดยมีระดับความรุนแรงแตกต่างกันในหน้าตัดดิน แสดงถึงกระบวนการสะสมเกลือและโซเดียมที่ไม่สม่ำเสมอในพื้นที่ การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่า ดินตัวแทนศึกษามีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง โดยอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสต่ำ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน แปรปรวน ส่วนความอิ่มตัวเบสอยู่ในระดับสูงทุกดิน

กลุ่มลักษณะดิน

การศึกษามีแนวคิดว่า การจัดเรียงชั้นดินที่ต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต โดยประเภทของดินที่มีผลกระทบจากเกลือและระดับความรุนแรงส่งผลกระทบแตกต่างกัน จึงนำดินตัวแทนทั้ง 11 หลุม มาจัดกลุ่มดินตามลักษณะที่แตกต่างกันได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มลักษณะดินที่ 1 หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร เป็นดินเค็มโซดิก มีค่าไอซีอีค่อนข้างสูง หมายถึงเค็มมาก และค่าไอเอสพีสูงหมายถึงโซดิกรุนแรง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 247 ± 2 กิโลกรัมต่อไร่

กลุ่มลักษณะดินที่ 2 หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ชั้นดินบนเป็นดินเค็มโซดิก และชั้นดินล่าง เป็นดินโซดิก ค่าไอซีอีค่อนข้างต่ำหมายถึงเค็มเล็กน้อย และค่าไอเอสพีสูงหมายถึงโซดิกรุนแรง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 343 ± 196 กิโลกรัมต่อไร่

กลุ่มลักษณะดินที่ 3 หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ชั้นดินบนเป็นดินโซดิกและชั้นดินล่าง เป็นดินเค็มโซดิก มีค่าไอซีอีค่อนข้างสูงหมายถึงเค็มมาก และค่าไอเอสพีสูงหมายถึงโซดิกรุนแรงมาก ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 80 ± 0 กิโลกรัมต่อไร่

กลุ่มลักษณะดินที่ 4 หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร เป็นดินโซดิก ค่าไอซีอีค่อนข้างต่ำหมายถึงเค็มเล็กน้อย และค่าไอเอสพีสูงหมายถึงโซดิกรุนแรง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ-ปานกลาง ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 468 ± 59 กิโลกรัมต่อไร่

กลุ่มลักษณะดินที่ 5 หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร ชั้นดินบนเป็นดินอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือและชั้นดินล่างเป็นดินโซดิก ค่าไอซีอีค่อนข้างต่ำหมายถึงเค็มเล็กน้อย

และค่าไอเอสพีที่ต่ำหมายถึงโซดิกน้อย ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 457 ± 253 กิโลกรัมต่อไร่

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ความเค็มของดินและระดับโซดิกมีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะค่า ไอซีอีและไอเอสพีที่เพิ่มสูงขึ้นสัมพันธ์กับการลดลงของผลผลิต

ลักษณะดินมีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยแม้พื้นที่ศึกษาจะมีดินบนที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ความแตกต่างของลักษณะดินในชั้นล่างของหน้าตัดดินส่งผลให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กลุ่มดินที่ไม่มีผลกระทบจากเกลือในดินบน และมีดินล่างเป็นดินโซดิก ให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด ขณะที่กลุ่มดินที่มีดินเค็มโซดิกตลอดหน้าตัดดินให้ผลผลิตต่ำที่สุด แสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของลักษณะดินในแนวตั้งต่อการผลิตข้าว

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติดินกับผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ความเค็มและโซดิกของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตที่สำคัญ โดยเฉพาะค่าไอซีอี ปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่าไอเอสพี ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลผลิตข้าวแตกต่างกันระหว่างกลุ่มลักษณะดินอย่างชัดเจน โดยความเค็มของดินเป็นปัจจัยจำกัดผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีความสำคัญมากกว่าความเป็นโซดิกเพียงอย่างเดียว และดินที่มีลักษณะเป็นดินเค็มโซดิกในหน้าตัดดิน ไม่ว่าจะอยู่ในชั้นดินบนหรือดินล่าง มีแนวโน้มให้ผลผลิตข้าวต่ำ

แนวทางการปรับปรุงดินที่มีผลกระทบจากเกลือเพื่อปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

ผลการศึกษาทำให้มีความเข้าใจลักษณะสมบัติดินที่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ชัดเจน ข้อมูลสามารถกำหนดแนวทางการปรับปรุงดินตามสภาพปัญหาและระดับความรุนแรงจริงของแต่ละบริเวณ คำแนะนำการจัดการดินเพื่อยกระดับการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีดังนี้

1) การปรับปรุงดินและการจัดการธาตุอาหารในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือควรดำเนินการบนพื้นฐานของข้อมูลสมบัติดินในเขตรากข้าว (0-50 เซนติเมตร) โดยพิจารณาค่าความเค็มของดิน ค่าความเป็นโซดิก และระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินร่วมกัน เพื่อจำแนกประเภทดินและกำหนดแนวทางจัดการที่เหมาะสมกับระดับความรุนแรงของปัญหา

2) การจัดการความเค็มและโซดิกของดินควรดำเนินการก่อนการจัดการธาตุอาหารพืช สำหรับดินที่มีค่าไอซีอี มากกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวและควรพิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ที่ดินหรือปลูกพืชทนเค็มชนิดอื่น ขณะที่ดินที่มีค่าไอซีอีต่ำกว่า 8 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ยังสามารถปลูกข้าวได้ แต่จำเป็นต้องจัดการความเค็มและโซดิกอย่างเหมาะสมตามลักษณะหน้าตัดดิน

3) การจัดการพื้นที่ควรเน้นการจัดการเชิงพื้นที่และวิศวกรรม ได้แก่ การปรับระดับพื้นที่ การทำคันนาและระบบระบายน้ำเพื่อการชะล้างเกลือ การใช้น้ำชะล้างตามค่า leaching requirement และควบคู่กับการใช้วัสดุปรับปรุงดิน

4) การใส่วัสดุปรับปรุงดินในดินโซติก เช่น ยิปซัมตามค่า Gypsum Requirement ร่วมกับการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ เพื่อปรับปรุงสมบัติดินและลดผลกระทบจากโซเดียม อย่างไรก็ตาม ดินที่มีค่าไอเอสพีสูงมาก ควรพิจารณาปรับเปลี่ยนการใช้ที่ดิน เนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการให้ผลผลิตต่ำและต้นทุนการฟื้นฟูสูง

5) การจัดการธาตุอาหารพืช ดินในพื้นที่ศึกษามีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยเฉพาะอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสที่อยู่ในระดับต่ำ จึงควรมุ่งเน้นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุ ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเป็นหลัก การใช้วัสดุอินทรีย์ เช่น ฟางข้าว ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด หรือไบโอชาร์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามผลวิเคราะห์ดินโดยอ้างอิงคำแนะนำของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหาร ลดต้นทุนการผลิต และฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

1. การจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ควรพิจารณาระดับความเค็มจากค่าไอซีอีควบคู่ไปกับระดับโซติกในดินจากค่าไอเอสพีหรือเอสเออาร์
2. ควรส่งเสริมให้มีการจัดทำข้อมูลดินประจำแปลงและมีผลวิเคราะห์ดิน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกปลูกพืช จัดการความเค็มและโซติกตามสภาพจริง และจัดการธาตุอาหารพืชอย่างเหมาะสม และควรมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะค่าไอซีอี เนื่องจากค่าไอซีอีเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมได้ เพื่อประเมินความเสี่ยงในการปลูกข้าวแต่ละฤดูการผลิต
3. ควรสนับสนุนการถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ให้เกษตรกรเข้าใจการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลืออย่างถูกต้อง แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยเพียงอย่างเดียวไม่สามารถแก้ไขปัญหาดินที่มีผลกระทบจากเกลือได้ แปลผลข้อมูลให้สามารถนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติที่เข้าใจง่าย
4. พัฒนางานวิจัยต่อยอดด้านการจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือร่วมกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ปัจจุบันแวดล้อม เช่น น้ำ การจัดการแปลง และสภาพภูมิอากาศ การสร้างโมเดลคาดการณ์ผลผลิตข้าวขาดดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ เชื่อมโยงข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2563. **ข้าวหอมมะลิไทย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมการปกครอง. 2566. **ข้อมูลขอบเขตการปกครอง ระดับจังหวัด อำเภอ และตำบล**. กระทรวงมหาดไทย, กรุงเทพฯ. ดิจิทัลไฟล์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. **คู่มือการพัฒนาที่ดิน สำหรับหมอดินอาสาและเกษตรกร**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2561. **แผนบริหารจัดการทรัพยากรดินปัญหาของประเทศไทย ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2567. **สถานภาพและการจัดการดินเค็มในประเทศไทย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2566. **สถิติอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดชัยภูมิ**. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, กรุงเทพฯ.
- กรรณิการ์ หอมยามเย็น และยุพเยาว์ หัสจรรย์. 2568. **การประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย [เอกสารอยู่ระหว่างการจัดเตรียม]**. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกว.).
- กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2566. **แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน จังหวัดนครราชสีมา**. กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน. 2567. **แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน จังหวัดชัยภูมิ**. กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มสำรวจจำแนกดิน. 2566ก. **รายงานผลการดำเนินงาน โครงการจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดินเพื่อการบริหารจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ กรณีจังหวัดนครราชสีมา**. กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กลุ่มสำรวจจำแนกดิน. 2566ข. **รายงานผลการดำเนินงาน โครงการจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดินเพื่อการบริหารจัดการดินที่มีผลกระทบจากเกลือ กรณีจังหวัดชัยภูมิ**. กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. 2559. **องค์ความรู้เรื่องข้าว เวอร์ชัน 3.0**. กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

- กองสำรวจดิน. 2523. **คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ**. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2560. **แผนที่การแพร่กระจายของคราบเกลือบนผิวดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตรา ส่วน 1:25,000**. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- นฤมล จันทร์จิราวุฒิกุล, วรภัทร วงษ์วรภาส, พรชัย อุปพันธ์พงศ์ชัย และมณีรัตน์ แจ่มประจักษ์. 2569. **การประเมินระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบจากเกลือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [เอกสารอยู่ระหว่างการจัดเตรียม]**. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).
- ไพรัช พงษ์วิเชียร. 2552. **อิทธิพลของระดับความเค็มต่อผลผลิตและคุณภาพเมล็ดของข้าวขาวดอกมะลิ 105**. ผลงานฉบับเต็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- ระบบงานสารสนเทศ. 2567. **ลักษณะภูมิประเทศ**. กระทรวงมหาดไทย กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดชัยภูมิ, ชัยภูมิ.
- สำนักงาน กปร. และ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2553. **คู่มือการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105**. พิมพ์ครั้งที่ 1. หจก. อรุณการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา. 2537. **ข้อมูลทั่วไปจังหวัด**. กระทรวงมหาดไทย, นครราชสีมา
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. 2562. **พจนานุกรมศัพท์ปฐพีศาสตร์: ฉบับราชบัณฑิตยสภา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, กรุงเทพฯ.
- เอิบ เขียวรัตน์. 2550. **ดินเค็มในประเทศไทย**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Abdelgadir, H.A., A.K. Jäger, S.D. Johnson, and J. Van Staden. 2010. Influence of plant growth regulators on flowering, fruiting, seed oil content, and oil quality of *Jatropha curcas*. **South African Journal of Botany** 76(3): 440-446.
- Abrol, I.P., J.S.P. Yadav, and F.I. Massoud. 1988. **Salt-affected soils and their management**. FAO Soils Bulletin 39. FAO, Rome.
- Clermont-Dauphin, C., N. Suwannang, O. Grünberger, C. Hammecker, and J.L. Maeght. 2010. Salinity effects on rice in Northeast Thailand. **Agricultural Water Management** 97: 1031-1038.

- Etesami, H. and B.R. Glick. 2020. Halotolerant plant growth-promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. **Environmental and Experimental Botany** 178: 104124.
- FAO. 1988. **Salt-Affected Soils and Their Management**. Soils Bulletin 39. FAO, Rome.
- FAO. 2015. **Status of the World's Soil Resources**. FAO, Rome.
- Flowers, T.J. and A.R. Yeo. 1995. Breeding for salinity resistance in crop plants. **Australian Journal of Plant Physiology** 22: 875–884.
- Gay, F., I. Maraval, S. Roques, Z. Gunata, R. Boulanger, A. Audebert, and C. Mestres. 2010. Effect of salinity on yield and 2-acetyl-1-pyrroline content in the grains of three fragrant rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in Camargue (France). **Field Crops Research** 117(1): 154-160.
- Grattan, S.R and C.M. Grieve. 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments, *pp.* 203-229. *In* M. Pessaraki (ed.), **Handbook of Plant and Crop Stress**, 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Grattan, S.R., L. Zeng, M.C. Shannon, and S.R. Roberts. 2002. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. **California Agriculture** 56: 189–195.
- Hussain, S., R. Zhang, S. Liu, R. Li, Y. Zhou, and Y. Chen. 2022. Transcriptome-wide analysis revealed the potential of the high-affinity potassium transporter (HKT) gene family in rice salinity tolerance via ion homeostasis. **Bioengineering** 9: 410.
- Hussain, T., H. Asrar, J. Li, X. Feng, B. Gul, and X. Liu. 2022. The presence of salts in the leaf exudate improves the photosynthetic performance of a recreteo-halophyte, *Tamarix chinensis*. **Environmental and Experimental Botany** 199: 104896.
- IRRI. 2013. **Rice production handbook**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Khan, M.H. and S.K. Panda. 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum** 30: 81–89.
- Khan, T.A., H. Hassan, H. Wang, M. Inzamamulhaq, I. Ashraf, and F. Luo. 2024. How does jasmonic acid improve drought tolerance? Mechanisms and future prospects. **Horti Agrobot Cluj-Napoca** 52: 13604.

- Kongpun A., P. Jaisiri, B. Rerkasem, and C. Prom-u-thai. 2020. Impact of soil salinity on grain yield and aromatic compound in Thai Hom Mali rice cv. Khao Dawk Mali 105. **Agriculture and Natural Resources** 54: 74-78.
- Kumar, V., A.K. Srivastava, D. Sharma, S.P. Pandey, M. Pandey, and A. Dudwadkar. 2024. Antioxidant defense and ionic homeostasis govern stage-specific response of salinity stress in contrasting rice varieties. **Plants** 13(6): 1-22.
- Kumar, V., P. Kumar, and A. Khan. 2020. Optimization of PGPR and silicon fertilization using response surface methodology for enhanced growth, yield and biochemical parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under saline stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** 23: 101463.
- Land Development Department. 2010. **Salt-affected soils in Thailand**. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.
- Läuchli, A., and S.R. Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress, pp. 1–32. In M. A. Jenks, P. M. Hasegawa, and S. M. Jain (eds.), **Advances in Molecular Breeding toward Drought and Salt Tolerant Crops**. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Li, Q., P. Zhu, X. Yu, J. Xu, and G. Liu. 2024. Physiological and molecular mechanisms of rice tolerance to salt and drought stress: advances and future directions. **International Journal of Molecular Sciences** 25: 9404.
- Maas, E.V. and C.M. Grieve. 1994. Tolerance of plants to salinity. **Agricultural Ecosystems and Environment** 7: 17–24.
- Maas, E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division** 103: 115–134.
- Mishra, A.K., R. Das, R. George Kerry, B. Biswal, T. Sinha, and S. Sharma. 2023. Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. **Frontiers in Environmental Science** 10: 1-19.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell & Environment** 25: 239–250.
- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology** 59: 651–681.

- Munns, R., R.A. James, and A. Läuchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany** 57: 1025–1043.
- Numan, M., S. Bashir, Y. Khan, R. Mumtaz, Z.K. Shinwari, A.L. Khan, A. Khan, and A.L. Harrasi. 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. **Microbiology Research** 209: 21–32.
- Phuong, N.T.K., C.M. Khoi, K. Ritz, T.B. Linh, D.D. Minh, T.A. Duc, N.V. Sinh, T.T. Linh, and K. Toyota. 2020. Influence of rice husk biochar and compost amendments on salt contents and hydraulic properties of soil and rice yield in salt-affected fields. **Agronomy** 10(8): 1-19.
- Qadir, M., E. Quillerou, V. Nangia, G. Murtaza, M. Singh, R.J. Thomas, P. Drechsel, and A.D. Noble. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. **Natural Resources Forum** 38: 282–295.
- Qadir, M., J.D. Oster, S. Schubert, A.D. Noble, and K.L. Sahrawat. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy** 96: 197–247.
- Raeisi A.V., F.S. Sheikhi, A. Nouri, and M. Sepehi. 2024. Exploring rice tolerance to salinity and drought stresses through *Piriformospora indica* inoculation: understanding physiological and metabolic adaptations. **Frontiers in Plant Science** 15: 1-17.
- Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany** 57: 1017–1023.
- Rengasamy, P. and K.A. Olsson. 1991. Sodicty and soil structure. **Australian Journal of Soil Research** 29: 935-952.
- Richards, L.A. (ed.). 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**. USDA Agriculture Handbook No. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Schachtman, D.P. 2000. Molecular insights into the structure and function of plant K (+) transport mechanisms. **Biochimica et Biophysica Acta** 1465(1-2): 127-39.
- Setter T.L. and I. Waters. 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. **Plant and Soil** 253: 1–34.
- Sharma, D.K., A. Singh, and J.C. Dagar. 2015. Management of salt-affected soils and water for sustainable agriculture. **Indian Journal of Fertilizers** 11: 40–56.

- Sheoran, P., A. Kumar, R. Sharma, K. Prajapat, A. Kumar, A. Barman, R. Raju, S. Kumar, Y.J. Dar, R.K. Singh, S.K. Sanwal, R.K. Yadav, V.P. Chahal, and P.C. Sharma. 2021. Quantitative dissection of salt tolerance for sustainable wheat production in sodic agro-ecosystems through farmers' participatory approach: An Indian experience. *Sustainability* 13(6): 1-16.
- Shohan, M.U.S., S. Sinha, F.H. Nabila, S.G. Dastidar, and Z.I. Seraj. 2019. HKT1;5 transporter gene expression and association of amino acid substitutions with salt tolerance across rice genotypes. *Frontiers in Plant Science* 10: 1080.
- Sripinyowanich S., P. Klomsakul, B. Boonburapong, T. Bangyeekhun, T. Asami, H. Gu, T. Buaboocha, and S. Chadchwan. 2013. Exogenous ABA induces salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L.): The role of OsP5CS1 and OsP5CR gene expression during salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 86: 94-105.
- Stark, J.M. and M.K. Firestone. 1995. Mechanisms for soil moisture effects on activity of Nitrifying bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 218-221.
- Sumner, M.E. 1993. Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal of Soil Research* 31: 683-750.
- Sumner, M.E. and R. Naidu. 1998. **Sodic Soils: Distribution, Properties, Management, and Environmental Consequences.** Oxford University Press, Oxford, UK.
- Tiwari, R., and C.S. Rana. 2015. Plant secondary metabolites: a review. *International Journal of Engineering Research and General Science* 3(5): 661-670.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.** USDA Agriculture Handbook No. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Wei, D., W. Zhang, C. Wang, Q. Meng, G. Li, T. H. Chen, and X. Yang. 2017. Genetic engineering of the biosynthesis of glycinebetaine leads to alleviate salt-induced potassium efflux and enhances salt tolerance in tomato plants. *Plant Science* 257: 74-83.
- Weil, R.R and N.C. Brady. 2017. **The Nature and Properties of Soils.** 15th ed. Pearson Education Limited, Harlow, UK.

- Widjaja, R., J.D. Craske, and M. Wootton. 1996. Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rices. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 70: 151–161.
- Yang, Y., R. Ye, M. Srisutham, T. Nontasri, S. Sritumboon, M. Maki, K. Yoshida, K. Oki, and K. Homma. 2022. Rice production in farmer fields in soil salinity classified areas in Khon Kaen, Northeast Thailand. **Sustainability** 14(16): 9873.
- Ying, D.H., X.M. Yin, Y.L. Zhang, and Q.R. Shen. 2007. Mechanisms of enhanced rice growth and nitrogen uptake by nitrate. **Pedosphere** 17 (6): 697–705.
- Yoshida, S. 1981. **Fundamentals of Rice Crop Science**. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

