บทที่ 2

ดินและสมบัติของดิน

2.1 ความหมายของดินเปรี้ยว (acid sulphate soil)

L.J. Pons[7] ให้คำจำกัดความของดินเปรี้ยวไว้ 2 ลักษณะดังนี้

ลักษณะที่ 1 ดินเปรี้ยวคือดินที่อาจจะมีหรือกำลังมี หรือเคยมีกรดซัลฟูริกอยู่ในชั้นดิน ซึ่งกรดซัลฟูริกนี้ได้จากขบวนการเกิดดิน และปริมาณกรดที่ได้ต้องมีมากพอที่สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินได้

ลักษณะที่ 2 ดินเปรี้ยวคือดินที่เป็นดินกรดจัดจริง ๆ แสดงลักษณะเป็นจุดประสีเหลืองของจาโรไซต์ (Jarosite) ปรากฏอยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่งของชั้นดิน และดินมีสภาพของความเป็นกรดจัดจนถึงขั้นที่ทำให้ดินเป็นอุปสรรคต่อการปลูกพืช

ในปี ค.ศ. 1975 USDA[5] ได้ให้ความหมายของดินเปรี้ยวแฝง (Potential acid sulphate soil) ไว้ว่า "เป็นดินซึ่งเมื่อปล่อยทิ้งให้อยู่ในสภาพที่สัมผัสกับอากาศโดยตรงเป็นเวลา 2 เดือนติดต่อกันแล้ว ค่า pH ของดินจะต่ำกว่า 3.5"

2.2 องค์ประกอบและสาเหตุของการเกิดดินเปรี้ยว

ดินเปรี้ยวเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง และมีการสะสมตะกอนที่ได้จากน้ำทะเล หรือน้ำกร่อยที่มีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตต่ำ แต่มีปริมาณของไพไรต์ (Pyrite) สูงประมาณร้อยละ 2-10[6,8,9] ดินประเภทนี้จึงมีลักษณะเป็นโคลนตม และได้รับอินทรียวัตถุจากพืชพรรณในป่าชายเลน อีกทั้งได้รับซัลเฟตจากน้ำทะเล เมื่อดินอยู่ในสภาพรีดักชัน ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์โดยแบคทีเรียพวก Sulfate-reducing bacteria แล้วรวมกับเหล็กเกิด FeS และ FeS_2 (Pyrite) ซึ่งมีสมบัติค่อนข้างเป็นกลาง[9] โดยทั่วไปแล้วดินที่อยู่ในสภาพเช่นนี้จะอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 20-40 เซนติเมตร[9] ดังนั้นขบวนการเกิดดินเปรี้ยวจึงเป็นผลที่เกิดโดยตรงจากขบวนการเกิดและสะสมไพไรต์ในดิน[6,8] ดินที่มีลักษณะดังกล่าวมักจะเป็นดินเปรี้ยวแฝงซึ่งจะพบได้ทั่วไปตามบริเวณป่าชายเลนที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าดินเหล่านี้อยู่ในสภาพที่มีระดับน้ำใต้ดินต่ำ หรือมีการระบายน้ำออก ทำให้ดินชั้นบนสัมผัสกับอากาศ

โดยตรง เป็นเหตุให้ไพไรต์ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซัลฟูริก ทำให้ระดับ pH ของดินลดต่ำลงได้ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่สัปดาห์ และ pH ของดินที่ได้มีค่าประมาณ 3 หรือ 4 หรืออาจต่ำกว่า 2[8,10] โดยเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ที่รุนแรง ยบวนการออกซิเดชันจะดำเนินไปอย่างรวดเร็วโดยจุลินทรีย์พวก Thiobacillus ดังสมการ[8]

$$FeS_2 + 7/_2\ O_2 + H_2O \xrightarrow[\text{Thiobacillus}]{} Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$

ส่วนจุลินทรีย์ชนิด T. ferrooxidans จะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก (II) เป็นเหล็ก (III) และเหล็ก (III) ที่ได้ยังสามารถออกซิไดซ์ไพไรต์ดังสมการ[8]

$$FeS_2 + 14\ Fe^{3+} + 8H_2O \longrightarrow 15\ Fe^{2+} + 16\ H^+ + 2SO_4^{2-}$$

ผลของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไม่มียบวนการต่อต้านการเปลี่ยน pH ของดิน ทำให้ค่า pH ของดินลดต่ำลงมาก[8] แต่ในสภาพตามธรรมชาติแล้ว ความเป็นกรดที่เกิดขึ้นบางส่วนสามารถถูกชะล้างออกไป และบางส่วนก็ถูกทำให้เป็นกลางด้วยสารที่มีสมบัติเป็นเบสซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติในดิน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต หรือจากการสลายตัวของแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) และตัวต่อต้านความเป็นกรดอื่น ๆ ดังสมการ[5]

$$\text{Kaolinite} + 4H^+ + 2SO_4^{2-} \longrightarrow 2\ AlOHSO_4 + 2SiO_2 + 3H_2O$$

(เคโอลิไนต์) (อะลูมิเนียมซัลเฟต) (Amorphous Silica)

หรือ

$$\text{Montmorillonite} \longrightarrow \text{Kaolinite} + \text{amorphous Silica}$$

(มอนต์มอริลโลไนต์) (อะมอร์ฟัส ซิลิกา)

$$\text{Jarocite} \longrightarrow \text{limonite} + \text{ferric oxide}$$

(จาโรไซต์) (ไลโมไนต์)

ปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ล้วนสามารถรักษาระดับ pH ของดินให้อยู่ในระหว่าง 3.6-3.8 แต่ในกรณีที่มีปริมาณของตัวต่อต้านความเป็นกรดน้อย ระดับของ pH จะอยู่ในช่วง 3.0-3.5 ยกเว้นการเกิดยบวนการออกซิเดชันอย่างรวดเร็วดังในกรณีที่มีการระบายน้ำออกหรือทำการพลิกหน้าดิน

ขึ้นมา จะทำให้ค่า pH ของดินต่ำกว่า 2 ได้[5,8]

ขบวนการออกซิเดชันของไพไรต์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดินได้ยัดเจน โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของเหล็กทำให้สีของดินเปลี่ยนจากสีเทาแก่หรือสีเทาแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแกมเทาหรือสีน้ำตาล และเป็นจุดประสีเหลืองฟาง ดังนั้นเราสามารถบ่งบอกลักษณะดินเปรี้ยวทางกายภาพได้จากจุดประสีเหลืองฟางของเหล็ก (III) ซัลเฟตที่เกิดขึ้นเมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 4[10,11]

2.3 <u>แร่ดินเหนียว</u>

แร่ดินเหนียวและชนิดของแร่ดินเหนียว[12] ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดขึ้นในดินนา แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.1 <u>แร่ดินเหนียวประเภทซิลิเกต (Silicate clays)</u>

เป็นแร่ดินเหนียวที่ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (เป็นหน่วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยธาตุออกซิเจน 4 อะตอม) และแผ่นอะลูมินา (เป็นหน่วยโครงสร้างที่ประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียม 1 อะตอม ล้อมรอบด้วยธาตุออกซิเจน 6 อะตอม) แบ่งออกเป็น 4 พวกใหญ่ ๆ ดังนี้

2.3.1.1 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 1 : 1</u> เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบกับแผ่นซิลิกา 1 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่น มีช่องว่างระหว่างแผ่นผลึกที่เรียงซ้อนกันกว้าง 0.7 นาโนเมตร เช่น แร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ ดินนาที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวประเภทนี้จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ขยายตัวและหดตัวได้น้อยเมื่อเปียกและแห้ง Kawaguchi และคณะ[13] ได้รายงานว่า ในประเทศไทยพบแร่ดินเหนียวเคโอลิไนต์ทั่วไปในดินชุดโคราช ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.3.1.2 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 2 : 1 ขยายตัวได้</u> เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 1 แผ่นอยู่ตรงกลาง มีช่องว่างระหว่างผลึกที่เรียงซ้อนกันมีความกว้างในช่วง 1.0-1.8 นาโนเมตร เนื่องจากเกิด oxygen linkage ของออกซิเจนในแผ่นซิลิกาทั้งด้านบนและด้านล่างของชั้นผลึก แรงที่เกาะกันจึงไม่แข็งแรง ทำให้ขยายตัวและหดตัวได้ โมเลกุลของน้ำหรือแคตไอออนอื่น ๆ สามารถแทรกเข้าไปอยู่ในระหว่างชั้นเหล่านี้ได้ง่าย เช่น แร่ดินเหนียวมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งจะมีความสามารถในการยึดเกาะแคตไอออนอื่น ๆ ได้สูง พบทั่วไปในดินที่ราบลุ่ม[14]

2.3.1.3 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 2 : 1 ไม่ขยายตัว</u> มีโครงสร้างคล้ายกับมอนต์-มอริลโลไนต์ แต่ขยายตัวไม่ได้ เนื่องจากอะตอมของซิลิคอนบางส่วนในแผ่นซิลิกาถูกแทนที่ด้วยอะตอมของอะลูมิเนียม ทำให้มีประจุลบเหลืออยู่ จึงเกิดการเข้าแทนที่ด้วยอะตอมของโพแทสเซียมอยู่ระหว่างชั้นในแผ่นซิลิกาที่ซ้อนอยู่ จึงขยายตัวและหดตัวได้น้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ เช่น แร่ดินเหนียวอิลไลต์ (Illite) พบทั่วไปที่บริเวณทางภาคเหนือและที่ราบลุ่มภาคกลาง[13]

2.3.1.4 <u>แร่ดินเหนียวแบบ 2 : 2</u> เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นซิลิกา 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา 2 แผ่น มีช่องว่างระหว่างแผ่นผลึกที่เรียงซ้อนกันกว้าง 1.4 นาโนเมตร เช่น แร่ดินเหนียวคลอไรต์ (Chlorite) ในประเทศไทยพบบ้างตามหุบเขาทางภาคเหนือ[13]

2.3.2 <u>ดินเหนียวประเภทที่ไม่ใช่ซิลิเกต (non-Silicate clays)</u> ที่สำคัญและที่พบกันมากในเขตร้อนชุ่มชื้น คือไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมจะไม่มีชั้นผลึก มีพื้นที่ผิวต่ำ พบปนอยู่กับดินเหนียวประเภทซิลิเกตโดยเคลือบหรือเกาะอยู่บนผิวของดินเหนียวประเภทซิลิเกต ถ้ามีไฮดรัสออกไซด์ของเหล็กมากจะมีสีน้ำตาลแดงหรือเหลืองปนน้ำตาล ดูดยึดโมเลกุลของน้ำและแคตไอออนอื่น ๆ ได้น้อย การขยายตัวหรือหดตัวต่ำมาก[13]

2.4 <u>ผลของการขังน้ำกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดิน</u>

ในการปลูกข้าวแต่ละครั้งมีความจำเป็นที่ต้องขังน้ำไว้ก่อนการปักดำเพื่อให้เกิดขบวนการรีดักชันในดินเพื่อเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้[8]

Breemen และ Pons ได้กล่าวอ้างถึง Nhung และ Ponnamperuma[15] ; Tanaka และ Navasero[16] ในการศึกษาผลของการขังน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเปรี้ยวไว้ดังนี้ :-

2.4.1 pH ของดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนอาจถึง pH 6.0 ภายในเวลา 6 เดือน เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันของเหล็ก (III) ไฮดรอกไซด์ในกรดและล่ารอินทรีย์ในดินให้เป็นเหล็ก (II) ไอออนที่ละลายได้ ดังสมการ[17]

$$Fe(OH)_3 + \frac{1}{4} CH_2O + 2H^+ \longrightarrow Fe^{2+} + \frac{1}{4} CO_2 + \frac{11}{4} H_2O$$

2.4.2 ค่า Redox Potential (Eh) ของดินจะลดลงอย่างช้า ๆ

2.4.3 ปริมาณของเหล็ก (II) อิออนที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุด แล้วค่อย ๆ ลดลง เพราะเกิดเป็นตะกอนของ FeS

2.4.4 ปริมาณของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่ละลายได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของดินสูงขึ้น และปริมาณซัลเฟตจะลดลง เมื่อเกิดขบวนการซัลเฟตรีดักชัน

2.4.5 ปริมาณของอะลูมิเนียมที่ละลายได้จะลดลงเมื่อระดับของ pH เพิ่มขึ้น

โดยสรุปจะเห็นได้ว่า การขังน้ำจะให้ทั้งคุณและโทษต่อข้าว คือจะเพิ่มปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส ซิลิคอน เหล็ก และแมงกานีสในสารละลายดินซึ่งเป็นประโยชน์ต่อข้าว อิออนของเหล็กและแมงกานีสจะเข้าแทนที่โพแทสเซียมและแคตอิออนอื่น ๆ ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินออกมาอยู่ในสารละลายดินนั้น ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ส่วนข้อเสียมักจะเกิดจากการลดปริมาณของธาตุสังกะสีที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และการเพิ่มขึ้นของธาตุเหล็กที่มากเกินไปจนอาจเป็นเหตุให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณซัลไฟด์ และกรดอินทรีย์จนอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อข้าวอีกด้วย[5,20]

2.5 <u>ธาตุอาหารที่สำคัญที่ข้าวต้องการ</u>

ธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวมีทั้งหมด 16 ธาตุ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้[21]

- ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย C, H, O, N, P, K, Ca, Mg และ S
- ธาตุอาหารรอง ประกอบด้วย Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B และ Cl

เมื่อดูจากลำดับการใช้ธาตุอาหารเหล่านี้ของข้าวโดยเรียงจากมากไปน้อยดังนี้ $P > N > S > Mg > K > Ca$ ตามลำดับ[22] ดังนั้นถ้าแบ่งธาตุอาหารออกเป็นกลุ่มตามลักษณะการใช้ของข้าวจะจัดได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้[23]

- <u>กลุ่มที่ 1</u> ได้แก่ธาตุ N, P และ S ซึ่งธาตุเหล่านี้จะถูกดูดซับได้ในอัตราที่เร็วตลอดเวลาของการเจริญเติบโต จะใช้ในอัตราสูงสุดในระยะการออกดอก และลดลงในระยะข้าวเริ่มสุก เพราะหลังออกดอกแล้ว ข้าวจะเริ่มดึงธาตุอาหารกลุ่มนี้จากใบและต้นมาใช้ในส่วนที่เป็นรวง ในกรณีของธาตุฟอสฟอรัส จะถูกใช้ไปมากที่สุดในระยะข้าวตั้งท้องและออกดอก

- <u>กลุ่มที่ 2</u> ได้แก่ธาตุโพแทสเซียมและแคลเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ข้าวต้องการใช้ตลอดเวลาของการเจริญเติบโต และใช้ในอัตราสูงสุดในระยะหลังการออกดอก

- กลุ่มที่ 3 ได้แก่ธาตุแมกนีเซียม ซึ่งข้าวต้องการมากในระยะเพาะกล้า จากนั้นจะใช้ในอัตราที่น้อย จะใช้มากอีกครั้งในระยะข้าวตั้งท้อง

นอกจากนี้แล้วยังมีธาตุอาหารที่ได้จากแหล่งธรรมชาติคือ จากน้ำทะเล น้ำในแม่น้ำ และการผังหรือเผาฟางข้าว ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบธาตุอาหารที่ได้จากน้ำทะเล[24]

ธาตุ	ปริมาณ มิลลิกรัมต่อลิตร	รูปของธาตุที่พบโดยทั่วไป
Na	10,500	Na^+
K	380	K^+
Ca	400	Ca^{2+}, $CaSO_4$
Mg	1,350	Mg^{2+}, $MgSO_4$
Cl	19,000	Cl^-
P	0.07	HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$, PO_4^{3-}, H_3PO_4
S	885	SO_4^{2-}
N	0.5	NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+, N_2 (g), Organic Nitrogen Compound

ตารางที่ 4 แสดงส่วนประกอบธาตุอาหารที่ได้จากแม่น้ำในประเทศไทย[25]

ธาตุ	:	Ca	Mg	Na	K	Fe	HCO_3^-
ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	:	19.8	3.7	10.7	2.5	0.04	82.6

SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_2	PO_4^{3-}	NO_3-N	NH_3-N
3.3	12.7	16.0	0.01	0.08	0.06

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนฟางข้าวที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก เพราะฟางข้าวประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนร้อยละ 0.6 ธาตุฟอสฟอรัสร้อยละ 0.1 ธาตุโพแทสเซียมร้อยละ 3 ธาตุซิลิคอนร้อยละ 8 และธาตุอาหารอื่น ๆ อีก ส่วนลักษณะการใช้ฟางข้าวให้เป็นประโยชน์อาจแตกต่างกัน และจะให้ธาตุอาหารกลับคืนสู่ดินในปริมาณที่แตกต่างกันด้วย เช่น ถ้าใช้วิธีการเผาฟางในนาข้าว จะให้ธาตุไนโตรเจนประมาณ 4.8-8.0 กิโลกรัมต่อไร่ กลับคืนสู่ดินพร้อมธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียม และซิลิคอน หากใช้วิธีฝังกลบในดินนาจะให้ธาตุไนโตรเจนประมาณ 4.8-8.0 กิโลกรัมต่อไร่ ธาตุฟอสฟอรัสประมาณ 0.64-1.12 กิโลกรัมต่อไร่ ธาตุโพแทสเซียมประมาณ 24-40 กิโลกรัมต่อไร่ และธาตุซิลิคอนประมาณ 64-96 กิโลกรัมต่อไร่ ดังนั้นการเติมฟางข้าวลงไปในนาเท่ากับเป็นการประหยัดต้นทุนโดยการใช้ปุ๋ยน้อยลง[26]

จากขบวนการนำธาตุอาหารไปใช้ในช่วงระยะการเจริญที่แตกต่างกันนั้น เป็นเพราะปัจจัยที่มาจากดินฟ้าอากาศ สมบัติของดิน ปริมาณและวิธีการใส่ปุ๋ย และพันธุ์ข้าวที่เลือกใช้[22,23] ดังนั้นถ้าต้องการให้ได้ผลผลิตที่สูง ควรจัดการด้านการใช้ปุ๋ย ดิน น้ำ และพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม[27] นอกจากนี้ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ปริมาณของออกซิเจน และปริมาณของไฮโดรเจนไอออนในดินจะมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตอีกด้วย[28] และยังมีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ทำให้ได้ผลผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย[22] คือ

- การใส่ปุ๋ยผิดเวลา ผิดสถานที่ หรือธาตุอาหารเปลี่ยนรูป เป็นรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

- ถูกรบกวนโดยปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโต เช่น มีน้ำ แสง และธาตุอาหารตัวอื่นที่ไม่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่ดูดขึ้นไปแล้วได้

2.6 <u>การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินเกี่ยวกับ pH แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก อะลูมิเนียม ฟอสเฟต และซัลเฟตในดินนา</u>

นาโดยทั่วไปมักถูกปล่อยให้ดินแห้งในฤดูร้อน ทำให้เกิดขบวนการออกซิเดชันในดิน พอถึงฤดูการทำนาจะมีการขังน้ำไว้ในนา ทำให้สภาพของดินอยู่ในขบวนการเกิดรีดักชัน ทั้งสองขบวนการนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ดังจะได้กล่าวไว้ต่อนต่อไป

2.6.1 pH

ค่า pH ในดินจะเป็นตัวการสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถนำธาตุต่าง ๆ ที่ไปใช้ประโยชน์ในพืชได้มากน้อยเพียงไร และยังสามารถกำหนดการทำงานของจุลินทรีย์ในดินอีกด้วย

ในสภาพทั่ว ๆ ไปของดินเปรี้ยวแฝงพบว่าเหล็ก (II) ซัลเฟตที่ละลายได้จะเกิดการแพร่กระจายขึ้นไปสู่ผิวดิน แล้วถูกออกซิไดซ์เป็นเหล็ก (III) และกรดซัลฟูริก จึงทำให้บริเวณผิวดินมี pH ประมาณ 2.4-3.5 ส่วนระดับดินชั้นล่างยังคงมีค่า pH ที่สูงเนื่องจากอยู่ในสภาพรีดักชัน[5]

pH ของดินที่ต่ำมักนำไปสู่ปัญหาความเป็นพิษของเหล็ก อะลูมิเนียม ไฮโดรเจนซัลไฟด์ กรดอินทรีย์ และอันตรายจากเกลือที่มีปริมาณที่มากเกินไป ตลอดจนการขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสในดิน ปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่น้อยลง แต่ปริมาณของกำมะถันสูงขึ้น พบว่าที่ระดับ pH น้อยกว่า 3.5 เกิดจากผลของไฮโดรเจนอิออนโดยตรง และข้าวจะมีโอกาสได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของอะลูมิเนียม[5,28]

ในระยะแรกเริ่มของฤดูการทำนา pH ของดินเปรี้ยวที่อยู่ในสภาพขังน้ำภายใน 1-2 วันแรกจะลดลง หลังจากนั้นก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ค่าสูงสุด แล้วจะคงที่อยู่ที่ระดับ pH 6.5-7.5 ภายใน 2-3 อาทิตย์ของการขังน้ำเท่านั้น[29] การเพิ่มค่าของ pH หลังการขังน้ำไม่เพียงจะขึ้นอยู่กับการปลดปล่อยไฮดรอกซิลอิออน และการใช้ไฮโดรเจนอออนเท่านั้น ยังขึ้นอยู่กับอัตราการใช้อิเลคตรอนด้วย[30]

ระดับ pH ของดินมีผลต่อความสามารถในการละลายของธาตุฟอสฟอรัส คือถ้า pH เพิ่มขึ้น ปริมาณของเหล็ก (II) ฟอสเฟตและอะลูมิเนียมฟอสเฟตจะละลายได้มากขึ้น แต่จะลดความสามารถในการละลายของแคลเซียมฟอสเฟตลง[18,24] และพบว่าระดับ pH ที่เหมาะสมคือ 6-7[24]

2.6.2 แคลเซียม

ถ้าระดับ pH ของดินต่ำจะทำให้ปริมาณของแคลเซียมที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณที่ต่ำด้วย[20,31] โดยทั่วไปจะพบว่าข้าวต้องการปริมาณของแคลเซียมประมาณ 6.4 กิโลกรัมต่อไร่ต่อผลผลิตข้าว 10 ตัน หรือในระดับความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.4 และปริมาณแคลเซียมที่ต่ำกว่าร้อยละ 0.15 จะเกิดสภาพการขาดแคลนแคลเซียมทันที[32]

008719

ปริมาณของแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่เหมาะสมกับต้นข้าวคือ 5-10 meq ต่อ 100 กรัมของดิน[23] พบว่าในสภาวะยังน้ำมีส่วนผลักดันให้เพิ่มปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินด้วย[23]

ความต้องการแคลเซียมของข้าวจะสูงในระยะการปักดำ เพราะข้าวต้องใช้แคลเซียมเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซล และช่วยในการเจริญของราก[22,23] ในสภาพของธรรมชาติก็มีโอกาสทำให้เกิดการขาดแคลนแคลเซียมได้ เพราะดินมีอัตราการชะล้างที่สูง[27] ผลจากการขาดแคลเซียมทำให้ใบข้าวมีสีขาว สำต้นแคระแกรน[22]

การเพิ่มปริมาณของแคลเซียมโดยการเติมปูนขาวจะช่วยลดระดับอันตรายจากเหล็ก (III) ได้[25] แต่การใส่ปูนขาวที่มากเกินความจำเป็นจะทำให้ดินสูญเสียธาตุโพแทสเซียมสูง โดยแคลเซียมอิออนจะเข้าไปแทนที่โพแทสเซียมอิออนให้อยู่ในสารละลายดิน และง่ายต่อการถูกชะล้าง[33]

2.6.3 <u>แมกนีเซียม</u>

ปริมาณของแมกนีเซียมที่ใช้ประโยชน์ได้จะพบน้อยมากในสภาพที่ดินเป็นกรด โดยทั่วไปต้นข้าวต้องการปริมาณของแมกนีเซียมในอัตราประมาณ 3.2 กิโลกรัมต่อไร่ต่อผลผลิตข้าว 10 ตัน หรือร้อยละ 0.2 ของปริมาณพืชผลทั้งหมด[32] ธาตุแมกนีเซียมจะถูกต้นข้าวดึงไปได้มากในระยะการปักดำถึงระยะกลางของการแตกกอ[22,23] ข้าวจะประสบภาวะขาดแคลนแมกนีเซียมก็ต่อเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมน้อยกว่า 3 มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม[25] ต้นข้าวใช้แมกนีเซียมเป็นประโยชน์ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับแคลเซียม นอกจากนี้แมกนีเซียมยังเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในคลอโรฟิลของพืชอีกด้วย[22] แต่ปริมาณของแมกนีเซียมที่ต้นข้าวต้องการใช้มีน้อยกว่าของแคลเซียม ดังนั้นในสภาพของดินนาโดยทั่วไป จะไม่ค่อยประสบปัญหาการขาดแคลนธาตุแมกนีเซียม[25] เพราะ

- มีโอกาสได้รับธาตุแมกนีเซียมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

- จากการขังน้ำในดินนา ทำให้เหล็ก (II) และแมงกานีส (II) ไปไล่ที่แมกนีเซียมออกจากดินให้ละลายอยู่ในสารละลายดินในสภาวะของดินมีสภาพเป็นรีดักชัน

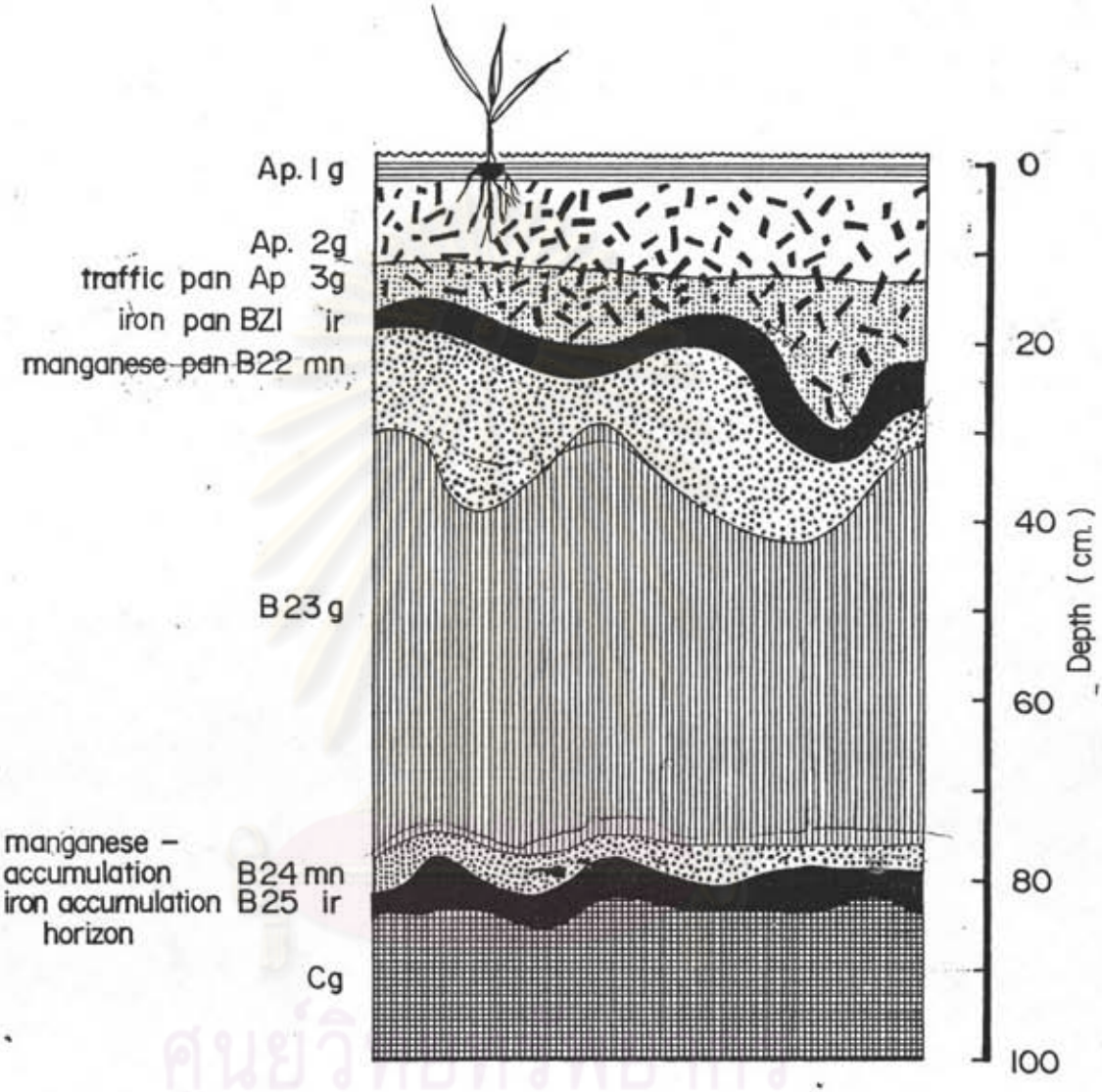
- ต้นข้าวใช้ธาตุแมกนีเซียมน้อยมากเมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลักชนิดอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.4 เหล็ก

ดินเปรี้ยวที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง เมื่ออยู่ในสภาพที่น้ำท่วมขัง จะผลักดันให้เหล็ก (III) ออกไซด์ ถูกรีดิวซ์ได้ง่ายขึ้น โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งให้ได้เป็นเหล็ก (II) ที่ละลายในน้ำได้มากกว่า[9,19,34,35] และถ้าใช้เวลาการขังน้ำ 1-3 สัปดาห์ ก็จะได้ปริมาณของเหล็ก (II) เพิ่มขึ้นจนอาจได้ความเข้มข้นสูงถึง 600 มิลลิกรัมต่อลิตร[27] ปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของ pH ปริมาณฟอสเฟต ปริมาณสารอินทรีย์ ปริมาณของเหล็ก (III) ออกไซด์ อุณหภูมิ ปริมาณเกลือในดิน และปริมาณของตัวยับยั้งการหายใจ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์[9,10,35] ปริมาณของเหล็ก (II) ที่เพิ่มขึ้นมากใน 1-2 สัปดาห์ แต่ไม่เกิน 1-2 เดือนหลังการขังน้ำในนา ทำให้ต้นกล้าได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของเหล็กได้[9,34] โดยเหล็กจะไปยับยั้งการงอกของราก และบางส่วนจะไปห่อหุ้มบริเวณรอบนอกของรากในรูปเหล็กออกไซด์ ทำให้อัตราการดึงเอาธาตุอาหารจากสารละลายดินได้น้อยลง[11,22] ทำให้ใบของต้นข้าวมีจุดสีน้ำตาล นานเข้าจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมม่วงหรือส้ม ซึ่งเกิดจากการสะสมเหล็กในเนื้อเยื่อของคลอโรฟิล[10,22] แต่ความเป็นพิษของเหล็กจะมีผลต่อส่วนของรากมากกว่าใบ[11] ถ้าพบว่าในดินที่บริเวณรากข้าวมีเหล็ก (II) ประมาณ 300-500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ลดน้อยลง[10,11] อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษจากเหล็กนั้นขึ้นอยู่กับความทนทานของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด[19]

เหล็ก (II) เป็นเหล็กที่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ เมื่อมีปริมาณมากจะสามารถเข้าแทนที่แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ เช่น โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแอมโมเนียม ให้ไปอยู่ในรูปสารละลายดิน[36] เมื่อปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้ต่ำลง โดยเฉพาะปริมาณของโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสจะช่วยเสริมความเป็นพิษของเหล็กโดยไปลดความสามารถในการออกซิไดซ์ของรากข้าว[11] ในดินที่มีปริมาณของไนโตรเจนสูง หรือดินที่มีระดับ pH ต่ำ และมีความเค็มของดินสูง (ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมคลอไรด์) จะเพิ่มอัตราการนำเหล็กขึ้นไปใช้ในต้นข้าว[11] แต่การขังน้ำที่ต่อเนื่องกันนานถึง 6 เดือนหรือ 1 ปี มักทำให้ปริมาณของเหล็ก (II) มีแนวโน้มลดลงจนเหลือประมาณ 50 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร[11,35] โดยเหล็ก (II) จะเคลื่อนตัวลงดินชั้นล่าง และตกตะกอนอยู่ใต้รอยไถ เป็นชั้นของเหล็ก (III) ออกไซด์ในดินนา ซึ่งอยู่ในระดับความลึกประมาณ 20-40 เซนติเมตร[35] ดังรูปที่ 2[36]



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของชั้นเหล็กและแมงกานีสที่เกิดในชั้นดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.5 อะลูมิเนียม

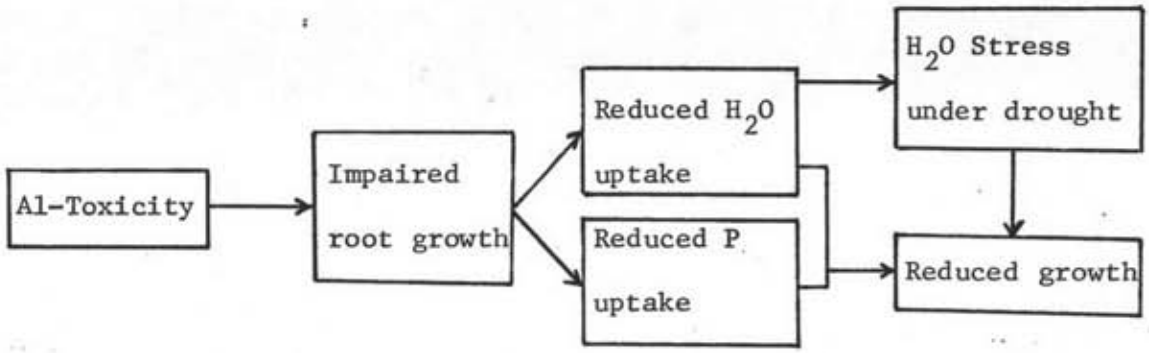
อะลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เป็นแคตไอออนหลักที่ทำให้ดินเกิดกรดหรือเป็นดินเปรี้ยว[37] อะลูมิเนียมที่ปรากฏอยู่ในดินเปรี้ยวมักพบในรูปของ Al^{3+} หรือ $Al(OH)^{2+}$ ส่วนอะลูมิเนียมที่อยู่ในรูปที่ถูกดูดยับ (Adsorbed-Al) จะอยู่ในสภาพที่สมดุล กับอะลูมิเนียมไอออนที่อยู่ในสารละลาย ดังนี้

$$\boxed{\text{Micelle}}\ Al \rightleftharpoons Al^{3+} + H^{+}$$

Adsorbed-Al Soil solution-Al

H^{+} ที่เกิดขึ้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่า pH ของดินลดต่ำลง[38]

อะลูมิเนียมที่ละลายได้จะถูกปลดปล่อยออกจากอะลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งจะมีปริมาณของการละลายขึ้นอยู่กับ pH ของดิน คืออะลูมิเนียมจะละลายได้ดีที่ระดับ pH ต่ำ[39,40] โดยทั่วไปดินเปรี้ยวที่มีระดับ pH 4.8 มักจะพบอะลูมิเนียมประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร[10] ซึ่งเป็นปริมาณที่สามารถหยุดยั้งการงอกของรากได้[24] และมักพบตามดินชั้นบนของดินเปรี้ยวที่มีสภาพน้ำท่วมขัง[40] ดินเปรี้ยวที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 4.4-5.0 ลงไป จะมีปริมาณของอะลูมิเนียมมากพอที่จะให้ความเป็นพิษต่อต้นข้าวได้[37] โดยเฉพาะที่ระดับ pH 3.5-4.2 จะมีพิษต่อต้นกล้าที่มีอายุ 0-2 สัปดาห์มากกว่าเกิดกับต้นกล้าที่มีอายุ 2-5 สัปดาห์ และต้นกล้าที่มีอายุ 3-4 สัปดาห์สามารถทนต่ออะลูมิเนียมที่มีความเข้มข้นสูงถึง 25 มิลลิกรัมต่อลิตรได้[22] และปริมาณอะลูมิเนียมขนาด 40 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นพิษกับต้นข้าวที่มีอายุ 7 สัปดาห์ ยกเว้นกรณีที่มีการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสเป็น 15 มิลลิกรัมต่อลิตร[41] และพบว่าอะลูมิเนียมขนาด 60 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถหยุดยั้งการงอกของต้นอ่อนที่มีอายุ 10 วันได้[42] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพิษของอะลูมิเนียมมีผลต่อข้าวในระยะก่อนและหลังการปักดำใหม่ ๆ[9,40] ดังนั้นการแก้ไขพิษของอะลูมิเนียมจึงไม่ยากนัก เพียงแต่ให้มีการยังน้ำสักระยะหนึ่ง หรือให้ระยะเวลาของการปักดำต้นกล้าช้าลง[9] หรือเติมปูนขาว[39] หรือใส่ฟอสฟอรัสให้ไปจับกับอะลูมิเนียมแล้วตกตะกอนในบริเวณข้างนอกหรือข้างในรากข้าว[8] หากต้นข้าวได้รับความเป็นพิษจากอะลูมิเนียมจะทำให้ใบเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และหยุดยั้งการงอกของรากซึ่งเป็นการลดความสามารถในการดึงอาหารไปใช้ในพืช โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ธาตุแคลเซียม และธาตุโพแทสเซียม และยังลดความทนทานของต้นข้าวต่อสภาพฝนแล้งอีกด้วย[8,22] และสามารถเขียนผังเกี่ยวกับกิจกรรมของอะลูมิเนียมต่อการเจริญของข้าวได้ดังนี้[22]



2.6.6 ซัลเฟต

กำมะถันเป็นธาตุอาหารหลักธาตุหนึ่งที่พืชต้องการ ซึ่งพืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องอยู่ในรูปซัลเฟต (SO_4^{2-}) ดังนั้นกำมะถันที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ แล้วจึงถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซัลเฟตหรือสารประกอบอินทรีย์นั้นอาจถูกเปลี่ยนให้เป็นซัลเฟตได้โดยตรง ดังสมการต่อไปนี้ (38)

$$-[HS] + 2O_2 \xrightarrow{\text{Oxidation}} SO_4^{2-} + H^+ + \text{energy}$$

Organic combination

$$\underbrace{\text{Organic - S} \longrightarrow \text{Decay product}}_{\text{Mineralization}} \xrightarrow{\text{Oxidation}} \underbrace{\text{Sulphite} \longrightarrow \text{Sulphate}}_{\text{Sulphur oxidation by bacteria}}$$

Protein or other Organic combination — H_2S and other Sulphide (S^{2-}) — SO_3^{2-} — SO_4^{2-}

นอกจากนี้ที่บริเวณรากก็ยังสามารถเปลี่ยนแปลงธาตุกำมะถันให้เป็น SO_4-S ได้(32) ซึ่งแหล่งที่ให้กำมะถันในธรรมชาติมักมาจากยิปซั่มและธาตุกำมะถัน ในดินและปุ๋ยที่ใส่ลงไป(32)

สภาพรีดักชันที่เกิดจากการขังน้ำในดินทำให้ซัลเฟตสามารถถูกรีดิวซ์ด้วยแบคทีเรียชนิด Desulfovibrio และ Desulfotomaculum ไปเป็นซัลไฟด์ซึ่งทำงานได้ดีในช่วง pH ประมาณ 5.5-9.0 โดยเฉพาะในช่วงที่ใกล้ความเป็นกลาง(21,38) ดังสมการต่อไปนี้(38)

$$2\ (R\text{-}CH_2OH) + SO_4^{2-} \xrightarrow{\text{Microbial}} 2\ (R\text{-}COOH) + 2H_2O + S^{2-}$$

Organic alcohol Sulphate Organic acid Sulphide

ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินที่มีสภาพน้ำท่วมขัง ปริมาณของซัลเฟตที่มีอยู่นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของกำมะถันและระดับของขบวนการรีดักชันในดิน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อสมดุลของซัลไฟด์และซัลเฟตอีก เช่น สมบัติของดิน[32] และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์[21] ในดินมามักจะพบกำมะถันอยู่ในรูปของธาตุกำมะถัน และซัลไฟด์ เพราะการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตเป็นซัลไฟด์ และการสลายตัวของโปรตีนก็จะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ด้วย ส่วนเหล็ก (III) ถูกรีดิวซ์เป็นเหล็ก (II) ก่อนการเกิดซัลเฟตรีดักชัน[32] เพราะฉนั้นซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับเหล็กทันทีในสภาพรีดักชัน ดังสมการ[38]

$$Fe^{2+} + S^{2-} \longrightarrow FeS \quad (\text{เหล็กซัลไฟด์})$$

จะเห็นว่าดินเปรี้ยวในสภาพที่มีน้ำท่วมขัง ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ได้ในอัตราที่ค่อนข้างช้า[22] และเป็นการลดปริมาณของกำมะถันที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ข้าวก็ยังสามารถรับกำมะถันเข้าไปในรูปของซัลเฟตได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดขบวนการออกซิเดชันขึ้นที่บริเวณรากข้าว[22]

ดินเปรี้ยวที่มีปริมาณซัลเฟตสูง เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมขัง ดินจะอยู่ในสภาพรีดักชัน ทำให้ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ ถ้าปริมาณของซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากพอก็สามารถยับยั้งการหายใจ และความสามารถของการเกิดออกซิเจนที่บริเวณรากพืชได้ และยังทำลายกำลังการรับธาตุอาหารต่าง ๆ ไปใช้ในพืชอีกด้วย[21,22,25] แต่ในธรรมชาติของดินที่อยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง สามารถผลักดันให้พวกโลหะหนักที่เกิดขึ้น เช่น Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+} และ Cu^{2+} รวมตัวกับ S^{2-} ที่เกิดขึ้นได้เป็นสารประกอบโลหะซัลไฟด์ที่ไม่ละลายน้ำ จึงถือเป็นการลดปริมาณของซัลไฟด์และเหล็ก (II) ได้[22] หากปริมาณเหล็ก (II) ในดินมีน้อยเกินไป ดินก็จะแสดงออกถึงความเป็นพิษอันเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้[22] Mitsui และคณะ[43] ได้อธิบายไว้ว่า ถ้าพบปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินเพียง 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็สามารถเป็นพิษต่อต้นข้าวได้ แต่ความเป็นพิษของซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับปริมาณของซัลไฟด์ที่ปรากฏอยู่ในสารละลายดิน และกำลังความสามารถในการออกซิไดซ์ที่บริเวณปลายราก กรณีดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการเติมปูนขาว เพื่อเพิ่มระดับ pH ทำให้ปริมาณซัลเฟตในดินลดลง[1]

ถ้าปริมาณซัลไฟด์มีมากกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับ pH ต่ำกว่า 5.2 จะมีผลโดยตรงกับข้าว และเสริมความเป็นพิษให้กับเหล็กด้วย[32] แต่ถ้าระดับของ pH อยู่ประมาณ 6 และมีปริมาณของเหล็กสูงประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นการเสริมความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์[32] ดังนั้นในสภาพดินที่มีน้ำท่วมยังจะมีซัลเฟตอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณน้อย[21] แต่ Nearpass และ Clark (1960)[44] พบว่าต้นข้าวที่เจริญในดินที่มีน้ำท่วมยังแต่มีปริมาณของซัลเฟตน้อยจะเจริญได้ดีกว่าในดินประเภทเดียวกันที่อยู่ในสภาพไม่ได้ขังน้ำ[21,32] Yoshida และ Chaudhry (1972)[45] แสดงให้เห็นถึงอัตราการนำกำมะถันไปใช้โดยต้นข้าวจะต่ำในช่วง 3 สัปดาห์แรกของการเจริญเติบโต และในขณะข้าวออกดอก แต่จะใช้มากในช่วงแตกกอ[21]

Wang (1976)[46] กล่าวว่าระดับความเข้มข้นวิกฤตของกำมะถันในดินที่มีต่อข้าวประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป SO_4 - S ส่วนปริมาณที่เหมาะสมต่อข้าวคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร[25] ปริมาณของกำมะถันที่ข้าวใช้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสม และการจัดระบบระบายน้ำที่ถูกต้อง[32] ส่วนอาการของข้าวที่แสดงให้เห็นว่าอยู่ในสภาพที่ขาดกำมะถันในดินนาได้เมื่อมีปริมาณของกำมะถันในสารละลายดินประมาณ 1-3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าปริมาณของกำมะถันเพิ่มเป็น 2-50 มิลลิกรัมต่อลิตร ข้าวจะไม่แสดงอาการขาดกำมะถันเลย[32] ดังนั้นกำมะถันจึงเป็นอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช เพราะกำมะถันมีผลต่อขบวนการเปลี่ยนแปลงในพืชได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม คือกำมะถันเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบของกรดอะมิโน ออร์โมน เอนไซม์ของพืช และปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่จะเกิดขึ้นในดิน[22] ดังนั้นการขาดกำมะถันจะทำให้สภาพทางเคมีของพืชเปลี่ยนแปลงไป[32] คือทำให้ข้าวมีอาการใบสีเหลือง ต้นแคระแกรน ลดอัตราการแตกกอและลดจำนวนกอ ใบจะเล็ก ให้ผลผลิตต่ำ คุณภาพทางโปรตีนในข้าวลดลง และยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตของข้าวลดลง[21,22,32] ปริมาณของกำมะถันจะพบในส่วนที่เป็นเมล็ดมากกว่าที่เป็นฟางข้าว[32] และไนเตรตในดินจะเป็นตัวชลอการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ได้[21]

2.6.7 ฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักของพืชที่จะขาดไม่ได้ แหล่งที่ให้ฟอสฟอรัสแก่ดินนั้นมาจากการใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ปุ๋ยมูลสัตว์ ซากพืช และสารประกอบที่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์

และอนินทรีย์ที่ปรากฏอยู่ในดินเองตามธรรมชาติ[27,38,47] สารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนให้อยู่ในรูป HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$ ซึ่งเป็นฟอสฟอรัสในรูปสารประกอบอนินทรีย์โดยขบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุด้วยจุลินทรีย์ในดิน ฟอสฟอรัสที่ได้จะขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดของดิน คือดินกรดจัดมักจะพบฟอสฟอรัสในรูปของ $H_2PO_4^-$ ส่วนดินที่เป็นกรดเล็กน้อยมักจะพบฟอสฟอรัสในรูปของ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-}[38,47,48] นั่นคือ สารอนินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที[47]

ในดินเปรี้ยวที่อยู่ในสภาพขังน้ำนั้น พบว่าเหล็กฟอสเฟตเป็นแหล่งให้กำเนิดฟอสฟอรัสที่ต้นข้าวสามารถดูดซึมขึ้นไปใช้ได้ นั่นคือการขังน้ำในดินนาเพื่อต้องการให้ดินอยู่ในสภาพรีดักชันมากกว่าการเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้[22,47] โดยมีอัตราความสามารถในการละลายของฟอสฟอรัสที่ขึ้นอยู่กับระดับ pH ของดินในขณะนั้น และค่า pH ของดินที่เหมาะสมที่สุดคือ 6-7 แต่ในปรากฏการณ์ตามธรรมชาติแล้ว ฟอสฟอรัสมักถูกตรึงไว้ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ และจะถูกตรึงมากที่สุดเมื่อค่า pH ของดินต่ำกว่า 5.0 โดยพบในรูปของอะลูมิเนียม-และเหล็ก-ฟอสเฟต[8,38,47] Chang (1976)[49] รายงานว่าดินเปรี้ยวจะพบฟอสฟอรัสอยู่ในรูปเหล็กฟอสเฟตเป็นส่วนใหญ่ Perumal และ Velayutham, (1977)[50] กล่าวว่า ในดินจะประกอบด้วยฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของอะลูมิเนียม-และเหล็ก-ฟอสเฟต สูงถึงร้อยละ 55 แต่มีแคลเซียมฟอสเฟตอยู่เพียงร้อยละ 12 เท่านั้น Kar และคณะ (1977)[51] รายงานว่าปริมาณของเหล็กฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 75 หลังจากการขังน้ำ แล้วลดปริมาณลงเรื่อย ๆ ตั้งแต่วันที่ 75 จนถึงวันที่ 105 หลังจากการขังน้ำ พวกอิออนของเหล็กอะลูมิเนียม และแมงกานีสมักจะรวมตัวกับฟอสเฟตทันที เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำซึ่งไม่เกิดประโยชน์แก่พืช ดังสมการ[38]

$$Al^{3+} + H_2PO_4^- + 2H_2O \longrightarrow 2H^+ + Al(OH)_2H_2PO_4$$

ละลายได้ ไม่ละลาย

นอกจากนี้ดินเหนียวพวกซิลิเกต เช่น เคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และอิลไลต์ สามารถตรึงฟอสเฟตไว้ได้ สารประกอบฟอสเฟตสามารถอยู่ได้ทั้งรูปที่แลกเปลี่ยนได้และเป็นแอนอิออน ดังสมการ[38]

$$Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_3 + H_2PO_4^-$$

ทั้งอะลูมิเนียมและเหล็กฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ในช่วง pH 3-4 (38)

จากการศึกษาของนักวิจัยหลาย ๆ ท่านได้ชี้ให้เห็นว่า ฟอสฟอรัสในดินจะเริ่มถูกตรึงโดยอะลูมิเนียมแล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กฟอสเฟตอย่างช้า ๆ ในสภาวะที่ดินถูกน้ำท่วมยังเป็นเวลานานขึ้น นั่นคือ ในขณะที่ปริมาณของเหล็กเพิ่มขึ้น ปริมาณของอะลูมิเนียมฟอสเฟตจะลดลง (47)

ปัจจัยที่ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ

2.5.7.1 ระยะเวลาการขังน้ำในดินซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะตลอดเวลาที่มีการขังน้ำจะทำให้ฟอสฟอรัสในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นและเป็นการลดการสูญเสียไปในแง่การถูกชะล้าง (22) โดยมีขบวนการที่ทำให้เกิดการเพิ่มของฟอสฟอรัสที่พืชใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ (22)

$$Fe_3(PO_4)_2 + 3H_2S \longrightarrow 3\,FeS \downarrow + 3\,H_3PO_4$$

$$H_3PO_4 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_4^-$$

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{2-}$$

2.5.7.2 ค่า pH ของดินคือ ถ้า pH เพิ่มขึ้น HPO_4^{2-} จะลดลง แต่ฟอสเฟตจะเพิ่มขึ้นในกรณีต่อไปนี้ (38)

$$H_2PO_4^- \overset{OH^-}{\rightleftharpoons} H_2O + HPO_4^{2-} \overset{OH^-}{\rightleftharpoons} H_2O + PO_4^{3-}$$

เมื่อมีสภาพเป็นกรด เมื่อมีสภาพเป็นเบส

โดยทั่วไปแล้ว ฟอสเฟตในรูปของ $H_2PO_4^-$ เป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากกว่าฟอสเฟตในรูปของ HPO_4^{2-} ในสภาพที่เป็นกรดที่มีเหล็กและอะลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ โดย $H_2PO_4^-$ จะรวมตัวกับเหล็กและอะลูมิเนียมแล้วตกตะกอนลงมาในรูปของไฮดรอกซีฟอสเฟต (38)

การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสในสภาพดินแห้ง จะเป็นขบวนการเปลี่ยนรูปจากสารประกอบอินทรีย์ไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์ แล้วเคลื่อนตัวขึ้นข้างบนผิวดินในขณะที่ดินมีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง (38) หากดินอยู่ในสภาพรีดักชันจะได้ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้แล้วถูกปล่อยออกมาในอัตราที่สูงขึ้น (32) นั่นคือฟอสเฟตที่เกิดจากสภาพรีดักชันจะเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้

ประโยชน์ได้ดีกว่าในรูปที่เกิดจากสภาพออกซิเดชัน[18,28] ดังนั้นการเกิดรีดักชันของเหล็กฟอสเฟตจึงเป็นแหล่งที่ให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่ข้าวนาสุ่ม[32] นอกจากนี้อัตราการแพร่กระจายของฟอสฟอรัสในสภาพดินที่มีน้ำท่วมขัง เป็นการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้[32] ปริมาณของฟอสเฟตจะลดลงเนื่องจากฟอสเฟตถูกดูดติดในดินเหนียวหรืออะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เมื่อมีค่า pH สูงขึ้น[29]

ในสภาพดินนาทั่วไปจะมีฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ จึงกำหนดให้ฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของข้าว[27] ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสทำหน้าที่เป็นตัวช่วยกระตุ้นการเจริญของราก การออกดอก และการสุกของเมล็ด[32] นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังมีผลต่อการแบ่งเซลของพืช การสร้างความแข็งแรงให้กับต้นเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักข้าวได้ การทำให้ข้าวเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์เร็วขึ้น ช่วยเสริมคุณภาพของข้าว และป้องกันเชื้อโรคบางชนิดได้[22,32,47] เพราะฉนั้นในดินที่มีสภาพขาดฟอสฟอรัสจะเป็นเหตุให้ต้นข้าวแคระแกรน แตกกอน้อย ใบเล็กสั้น มีขนาดสั้น และสีเขียวไม่สด ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือม่วงในเวลาต่อมา เมล็ดข้าวจะสุกช้ากว่าปกติ และยังส่งผลให้ข้าวมีเมล็ดลีบอีกด้วย[22,32] จากการศึกษาของ Kawaguchi และ Kyuma (1968)[52] พบว่าดินนาของประเทศไทย มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ กว่าร้อยละ 60 อยู่ในสภาพขาดธาตุฟอสฟอรัส โดยใช้ปริมาณของฟอสฟอรัสขนาด 1.32 มิลลิกรัมของฟอสฟอรัสที่ละลายได้ใน Bray No.2. ต่อดิน 100 กรัม เป็นเกณฑ์แสดงระดับของธาตุฟอสฟอรัสที่ต่ำ[32] Kawaguchi และ Kyuma (1969)[53] ยังพบว่าดินเปรี้ยวบริเวณฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทยมีสภาพขาดธาตุฟอสฟอรัส ค่า pH ของดินต่ำ ปริมาณของอินทรียวัตถุและ CEC (Cation Exchange Capacity) ต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่ามีประสิทธิภาพของการดูดซึมธาตุฟอสฟอรัสที่ต่ำ ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินอยู่ในสภาพขาดธาตุฟอสฟอรัสก็เพราะธรรมชาติของดินจะใช้ธาตุฟอสฟอรัสในการลดความเป็นพิษของเหล็ก[25] จากการศึกษาของ Komota (1977)[54] พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสของดินที่น้อยกว่า 9-13 มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม โดยวิธีของ Bray's No.2. ทำให้ต้นข้าวแตกกอน้อยลง และปริมาณของฟอสฟอรัสที่น้อยกว่า 2.2 มิลลิกรัมต่อดิน 100 กรัม จะทำให้ผลผลิตลดลง[32] ส่วนระดับวิกฤตของฟอสฟอรัสนั้นขึ้นอยู่กับอายุและส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว[32] นั่นคืออัตราการใช้ฟอสฟอรัสจะสูงในระยะเพาะกล้าและลดปริมาณการใช้ลงในระยะหลังการปักดำ จากนั้นจะเพิ่มอัตราการใช้ขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงระดับสูงสุดในระยะเริ่มแรกของการตั้งท้องจึงค่อย ๆ ลดปริมาณการใช้

ลงจนกว่าเมล็ดจะแก่[22,23,32] และฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในใบแก่สามารถเคลื่อนย้ายตัวเองไปยังใบอ่อนได้ ดังนั้นถ้าได้รับปริมาณของฟอสเฟตอย่างเพียงพอในระยะแรกเริ่มของการงอกของข้าวจะเป็นหลักประกันต่อการเจริญของข้าวเพื่อให้ได้เมล็ดที่ดีได้[32] กล่าวคือ ข้าวได้รับปริมาณของฟอสเฟตในระยะเจริญพันธุ์ที่เพียงพอจะให้ผลผลิตสูงสุด แต่ถ้าการให้ฟอสเฟตแก่ข้าวหลังระยะเจริญพันธุ์แล้ว พบว่าฟอสฟอรัสจะไปละลายอยู่ในบริเวณเมล็ด ฟาง และรากเท่านั้น จะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการเพิ่มผลผลิตของข้าวแต่อย่างใด[32]

ในสภาพของธรรมชาติจะพบปริมาณของฟอสฟอรัสในดินอยู่ถึงร้อยละ 0.09-0.18[32] ซึ่งมีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสเฟตลงไปเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช และปุ๋ยที่ใส่ควรคำนึงถึงประเภทของดินด้วย อย่างเช่นในกรณีของดินเปรี้ยว ปุ๋ยฟอสเฟตที่เลือกใช้ควรเป็นประเภทหินฟอสเฟตที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรดก่อนเพื่อให้อยู่ในรูปของโพลีฟอสเฟต ทั้งนี้เพราะหินฟอสเฟตให้ผลตกค้างในดินสูงและนานกว่าปุ๋ยฟอสเฟตมาตรฐาน คือจะให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกตามหลังอยู่ในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งปุ๋ยชนิดนี้จะให้ผลตกค้างในดินนานถึง 3 ปีหรืออาจจะนานกว่านี้ จึงทำให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกตามหลังอยู่ในระดับสูงขึ้น การใส่หินฟอสเฟตควรบดให้ละเอียดแล้วให้ใส่ปุ๋ยแบบหว่าน และใส่เต็มอัตรา ซึ่งจะให้ผลดีกว่าการใส่ปุ๋ยแบบฝัง และใส่ครึ่งอัตรา หรืออัตราประหยัด[56] นอกจากนี้แล้วควรจะพิจารณาการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีความทนทานต่อการขาดฟอสฟอรัสในดินได้[32]

2.7 การปรับปรุงและแก้ไขดินเปรี้ยว

การใช้น้ำจืดล้างเกลือที่ละลายอยู่ในดินเปรี้ยวแฝงให้ออกไปอย่างมีประสิทธิภาพ ย่อมทำให้ผลผลิตของข้าวที่ได้สูงขึ้นด้วย[8] แต่ในฤดูแล้ง จะทำการเพาะปลูกได้ยาก เพราะจะเกิดแรง capillary ของดินดึงเอาเกลือแร่ต่าง ๆ ขึ้นมาไว้บนผิวดิน และยังมีผลกระทบจากความเป็นกรดที่เนื่องมาจากขบวนการออกซิเดชันในบริเวณดินชั้นบนอีกด้วย

จากรายงานของ Ponnamperuma และคณะ ในปี ค.ศ. 1973[55], Bloomfield และ Coulter ในปี ค.ศ. 1973[56] กล่าวไว้ว่า ปัญหาของดินเปรี้ยวณะที่มีระดับ pH ต่ำ คือความเป็นพิษที่เกิดจากอะลูมิเนียม เหล็ก ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ อันตรายเนื่องจากเกลือในดิน การขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัส และธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย (Micronutrient) ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะรุนแรงมากในระยะแรกเริ่มของการขังน้ำ

เมื่อ pH ของดินเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมจะลดลง ในขณะเดียวกันปริมาณของเหล็กที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้นจนได้ค่าสูงสุด แล้วลดปริมาณลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้นอีก ส่วนดินเปรี้ยวที่มีความเค็มอยู่ มักจะทำให้ต้นข้าวได้รับอันตรายจากความเค็มที่ไปเสริมความเป็นพิษจากความเป็นกรดของดิน ทำให้ต้นข้าวอ่อนแอลงได้

การปรับปรุงดินเปรี้ยวแฝงให้ดีตหลักใหญ่ ๆ 2 ประการคือ[8]

2.7.1 จำกัดการเกิดยบวนการไพไรต์ออกซิเดชัน โดยการรักษาระดับน้ำใต้ดินให้สูงตลอดเวลา หรือ

2.7.2 โดยการเพิ่มอัตราการระบายน้ำออกเพื่อให้เกิดยบวนการไพไรต์ออกซิเดชันให้มากที่สุด แล้วทำการชะล้างดินเพื่อกำจัดกรดออก

นอกจากนี้ยังควรป้องกันการทะลักของน้ำทะเล โดยการสร้างทำนบกั้นน้ำ และมีประตูเปิดปิดน้ำอีกด้วย

จากเอกสารของโครงการพัฒนาดินเค็ม และดินเปรี้ยวภาคใต้ ปี 2526-2529 ตามแผนพัฒนายุทธบทยากจนของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้แนะวิธีการแก้ไขและปรับปรุงดินเปรี้ยวไว้ดังนี้

1. ระบายน้ำเฉพาะในส่วนของเนื้อดินเพื่อป้องกันไม่ให้สารที่เป็นกรดเกิดขึ้น

2. ควบคุมให้มีน้ำขังในดินชั้นล่าง เพื่อป้องกันไม่ให้สารที่เป็นกรดเกิดขึ้น

3. ใส่ปูน เช่น ปูนขาว ปูนมาร์ล หินปูนบด (หินฝุ่น) หรือเปลือกหอยเผา เพื่อให้ทำปฏิกิริยาแก้ความเป็นกรดในดิน

4. ควบคุมและป้องกันไม่ให้น้ำเค็มหรือน้ำกร่อยเข้ามาในบริเวณพื้นที่นี้

5. ใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหาร

6. ปลูกพืชที่สามารถให้ผลผลิตสูงในดินเปรี้ยว เช่น ข้าว มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

พันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพดินเปรี้ยว ซึ่งทางกองการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้แนะนำไว้คือ หอมมะลิ 104 น้ำสะกุย 19 เล็บมือนาง 111 ตะเภาแก้ว 161 กข 7 ฯลฯ[57]

วิธีปรับปรุงดินเปรี้ยวโดยการเติมปูนขาว และธาตุฟอสฟอรัสนั้น มีส่วนช่วยลดความเป็นพิษของดินได้[34] แต่การเติมปูนขาวจะทำให้อัตราการตรึงธาตุโพแทสเซียม และถูกชะล้างออกจากดินมากขึ้น[24] และต้องมีการเติมปูนขาวทุก ๆ 5 ปี ในปริมาณที่พอเหมาะสำหรับดินแต่ละประเภท[41] หากใส่ปูนขาวในปริมาณที่มากเกินไปมักจะทำให้ดินอยู่ในสภาพขาดธาตุที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และฟอสเฟต พืชไม่สามารถดึงธาตุโบรอนขึ้นไปใช้ได้[38] ดังนั้นถ้าไม่ต้องการเติมปูนขาว วิธีที่ปรับปรุงที่เหมาะสมอีกอย่างก็คือ การเติมหินฟอสเฟต[41]

จากการศึกษาของ Xuan และคณะ[58] พบว่าการปลูกข้าวแบบยกร่อง (Intensive shallow drainage system) สามารถเพิ่มผลผลิตให้กับดินเปรี้ยวได้ โดยอธิบายการทำนาแบบยกร่องไว้ดังนี้คือ ทำการขุดร่องน้ำให้อยู่ระหว่างผืนนาที่มีลักษณะยกระดับให้สูงขึ้นเล็กน้อย เพื่อรองรับน้ำที่มีสารประเภทให้ความเป็นกรดและเกลือเจือปนอยู่ออกจากดินนา แล้วระบายลงคลองระบายน้ำ และแม่น้ำตามลำดับ การขุดร่องน้ำมักจะเริ่มกระทำในระยะหลังจากสิ้นสุดฤดูการเก็บเกี่ยว และดินอยู่ในสภาพแห้งพอที่จะทำงานได้ ส่วนขนาดของผืนนาและคูน้ำจะขึ้นอยู่กับประเภทของดินเปรี้ยว ความลึกของชั้นจาโรไซต์ จากการทดลองของ Xuan และคณะ[58] ได้กำหนดขนาดพื้นที่นา เท่ากับ 9 x 36 ตารางเมตร โดยมีร่องน้ำกว้างประมาณ 1 เมตร ลึก 0.3-0.6 เมตร ปลายของร่องน้ำข้างหนึ่งถูกปิดไว้ ส่วนอีกข้างจะเชื่อมติดต่อกับคลองระบายน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าและลึกกว่า จะเริ่มทำการล้างดินในช่วงฝนแรกของเดือนเมษายนเพื่อทำการชะล้างกรดต่าง ๆ ที่เกิดจากขบวนการออกซิเดชัน และสารพิษต่าง ๆ เช่น อะลูมิเนียม และเกลือต่าง ๆ มาสะสมในบริเวณร่องน้ำและคลองระบายน้ำ[58] นอกจากนี้การล้างดินสามารถลดความเป็นกรดและสารพิษออกจากดินได้[59] ในระบบการทำนาแบบยกร่องจะต้องมีประตูน้ำซึ่งจะถูกปิดไว้จนกว่าระดับน้ำที่ได้จากการล้างดินครั้งแรกเท่ากับระดับของพื้นผิวดินของนา จึงเปิดประตูน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากแปลงนาลงสู่คลองระบายน้ำเมื่อมีฝนตกในช่วงเวลาต่อมา และจะระบายออกสู่แม่น้ำในขณะที่น้ำลง ให้ทำการล้างดินในลักษณะดังกล่าวประมาณ 2-3 ครั้ง ก่อนที่จะปล่อยให้ดินนาอยู่ในสภาพน้ำท่วมขัง เพื่อเตรียมการปักดำโดยมีระดับน้ำสูงประมาณ 10-40 เซนติเมตร โดยไม่ต้องระบายน้ำอีกต่อไป ต้นกล้าที่ใช้ควรจะมีอายุราว 40-60 วัน สูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร ผลจากการปรับปรุงดินโดยวิธีนี้พบว่าจะให้ผลผลิตในปีแรกเพิ่มขึ้น 2 เท่า และเพิ่มเป็น 2-4 เท่าของการทำนาแบบปกติในปีถัดไป เมื่อใช้ระบบการทำนาแบบยกร่องติดต่อ

กันเป็นเวลา 2-3 ปี ควรทำการขุดลอกร่องน้ำใหม่ทันทีหลังสิ้นสุดฤดูทำนาในขณะที่ดินในท้องร่องแห้งพอที่จะทำงานได้(58)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย