



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิลิกอน

ในเปลือกโลกซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากกว่าธาตุอื่นๆ ยกเว้นออกซิเจน แต่อาจไม่รู้สึกรู้ว่ามีมากขนาดนั้น ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากซิลิกอนเกิดเป็นสารประกอบที่เสถียรมาก และอีกส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะมีอยู่มากจนรู้สึกรู้ว่าเป็นของธรรมดา หินส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยซิลิกอนและออกซิเจน ไม่ว่าจะเป็นหินทราย หินชั้น และหินอัคนีทุกชนิด รวมถึงอนุภาคของดินต่างๆ ก็ประกอบด้วยซิลิกอนเช่นกัน ซึ่งสารประกอบของซิลิกอนกับออกซิเจนนี้เรียกว่า “ซิลิกา” (ตะวันสูงน้อย, 2542)

2.1.1 ซิลิกอนในดิน

ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีอยู่ในเปลือกโลกในปริมาณที่มากเป็นอันดับสอง (มากกว่า 28 %) รองจากธาตุดูมิเนียม ซิลิกอนจะอยู่ในรูปของผลึก และ amorphous ของซิลิกา ในรูปของซิลิเกต ซิลิกอนที่ถูกดูดซับหรือตกตะกอนกับ Hydrated oxide ของ Al^{+3} Fe^{+3} และ Mn^{+2} การละลายจะไม่ขึ้นอยู่กับการ pH ซึ่งอยู่ระหว่าง pH 2-9 ในดินที่ถูกน้ำขังหรือดินที่ใช้ปลูกข้าว พบว่าความเข้มข้นของซิลิกอนในสารละลายดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากมีการขังน้ำและจะค่อยๆ ลดลง เมื่อมีการขังน้ำเป็นระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งซิลิกอนอาจจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงแรกของการขังน้ำ (Ponnamperuma, 1978) การเพิ่มขึ้นของซิลิกอน มาจากการปลดปล่อยซิลิกอนที่ถูกดูดซับกับ Hydrated oxide ของ Al และ Fe (Mckeagoe and Cline, 1963) และในสภาพรีดักชันของดินจะเกิดการรีดักชันของ Fe (III) oxide hydrates ที่ดูดซับซิลิกอนไว้ (Ponnamperuma, 1965) Tisdale et al. (1985) รายงานว่ารูปของซิลิกอนในสารละลายดินจะอยู่ในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (monosilicic acid; $Si(OH)_4$) ถึงแม้ซิลิกอนจะมีมากที่สุดในชั้นผิวโลก แต่ปริมาณที่ละลายได้และอยู่ในสารละลายดินมีอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความเข้มข้นของกรดโมโนซิลิซิกในสารละลายดินโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 14-20 mg $Si\ L^{-1}$ (พิสัย 3.5-4.0) หากมีค่าเกิน 56 mg $Si\ L^{-1}$ ถือว่าสารละลายอิ่มตัวอย่างยิ่งหรือกรดดังกล่าวเริ่มรวมตัวกันเป็นโพลีเมอร์ (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543) ปัจจัยที่ควบคุมความมากน้อยของความเข้มข้นของกรดโมโนซิลิซิกในสารละลายดินคือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ระดับความชื้นในดิน ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential) ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมในดิน ส่วนปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้และอยู่ในสารละลายดินมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเกิดเศษสควอออกไซด์ในดินมาก ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการดูดซับซิลิเกตสูง (Savant et al., 1997)

2.1.2 ซิลิกอนในพืช

ซิลิกอนจะไม่ใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่พบว่าซิลิกอนจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อไดอะตอม และเป็นประโยชน์โดยอ้อมต่อข้าว พืชจะดูดดึงซิลิกอนในรูปกรดโมโนซิลิซิกไปพร้อมกับน้ำ ซึ่งน้ำจะสูญเสียไปโดยการคายน้ำของพืช และทิ้งซิลิกอนให้อยู่ในพืชต่อไป ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดติดต่อกันไป ทำให้ธาตุนี้ในพืชมีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อยๆ กรดโมโนซิลิซิกรวมตัว (Polymerize) กลายเป็นซิลิกาเจล กระบวนการนี้ไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกและไม่ต้องใช้เอนไซม์แต่อย่างใด (Yoshida, 1975) พืชชั้นสูงดูดซิลิกอนจากดินมาใช้ได้มากน้อยแตกต่างกัน โดยพิจารณาความเข้มข้นของซิลิกอนในส่วนเหนือดิน ($\% \text{SiO}_2$ คิดจากน้ำหนักแห้ง) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (ยงยุทธ โอสดสภา, 2544)

- 1) พืชที่มีซิลิกอนสูงเป็นพืชในวงศ์ Cyperaceae เช่น *Equisetum arvense* และพืชในวงศ์ Gramineae ซึ่งอยู่ในดินน้ำขัง เช่น ข้าว มี 10-15% SiO_2
- 2) พืชที่มีซิลิกอนปานกลางเป็นพืชวงศ์ Gramineae ซึ่งอยู่ในดินไร่ เช่น อ้อยกับธัญพืชส่วนมาก และพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด มี 1-3% SiO_2
- 3) พืชที่มีซิลิกอนต่ำเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ส่วนมาก โดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่วมีน้อยกว่า 0.5% SiO_2

เมื่อพืชดูดดึงซิลิกอนจากดิน ซิลิกอนจะเคลื่อนย้ายจากรากพืชสู่ส่วนเหนือดินทางท่อน้ำ (Xylem) และสะสมไว้ในผนังท่อน้ำ ช่วยให้ท่อน้ำแข็งแรงและไม่ยุบตัวขณะที่พืชมีอัตราการคายน้ำสูง ส่วนปริมาณการสะสมซิลิกอนในแต่ละส่วนขึ้นกับอัตราการคายน้ำของส่วนนั้นๆ และจะมีมากขึ้นตามอายุของพืช ซิลิกอนที่สะสมในพืชอยู่ในรูป Amorphous silica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) จัดเรียงเป็นชั้นในผนังเซลล์ มีประโยชน์ต่อพืชคือลดการคายน้ำผ่านผิวเคลือบคิวทิน และเป็นสิ่งขัดขวางการเข้าทำลายของเชื้อโรคเข้าไปในเซลล์ (Balasta et al., 1989)

ผลการศึกษาเมื่อใส่ซิลิกอนในรูปสารละลายในการปลูกพืชบางชนิด (ยงยุทธ โอสดสภา, 2544) พบว่า

- 1) เมื่อพืชขาดซิลิกอน ปฏิกิริยาสังเคราะห์ ATP ADP และน้ำตาลฟอสเฟตไอออนของใบอ้อยมีอัตราลดลง
- 2) เมื่อขาดซิลิกอนสัดส่วนของลิกนินในผนังเซลล์ของรากข้าวสาลีต่ำลง ส่วนสารฟีนอลิกสูงกว่าปกติ
- 3) ซิลิกอนมีบทบาทในการเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีเสถียรภาพสูงขึ้น และช่วยลดการสังเคราะห์ของลิกนิน (Ravin, 1983) ในแตงกวาซิลิกอนมีบทบาททำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงขึ้น ชีตอายุใบให้ร่วงหล่นช้า (Adatia and Besford, 1986)

2.1.3 ความสำคัญของซิลิกอนต่อข้าว

ความสำคัญของซิลิกอนที่มีต่อพืชส่วนใหญ่คือ ซิลิกอนเป็นธาตุที่เสริมประโยชน์ (Rahman และคณะ, 1998) ทั้งนี้ยังมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว กล่าวคือ มีผลทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ใบ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดีขึ้น รักษาระดับความชื้น เพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง และการล้มของข้าว (Imaizumi and Yoshida, 1958; Takahashi, 1968)

ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อข้าวโดยมีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับสรีระวิทยาของข้าว ประโยชน์ของซิลิกอนต่อข้าว (Yoshida, 1975; Takahashi et al., 1990; Idris et al., 1975; Marchner, 1995; ยงยุทธ โอสดสภา, 2544; IRRI, 2002) มีดังนี้

- 1) ป้องกันการรुक้าของเชื้อโรค โดยป้องกันเชื้อราในรากและใบ เนื่องจากความแข็งแรงของผนังเซลล์ที่มีซิลิกอนสูง และแมลงกัดกินใบได้น้อยลง
- 2) ช่วยให้ใบข้าวตั้งตรง (Erectness) แปลงที่มีต้นข้าวหนาแน่นหรือใช้ปุ๋ยในโตรเจนอัตราสูง ใบข้าวส่วนปลายมีแนวโน้มที่โค้งลงบังแสงกันเอง การใส่ซิลิกอนมีผลทำให้ใบข้าวตั้งตรงสังเคราะห์แสงได้มากขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น
- 3) ช่วยให้ข้าวมีลำต้นที่แข็งแรงไม่ล้มง่าย ข้าวที่ได้รับปุ๋ยในโตรเจนในอัตราสูงมักมีลำต้นอ่อนและหักล้มง่าย ซิลิกอนมีส่วนช่วยทำให้ลำต้นแข็งแรงขึ้นและการล้มของต้นข้าวลดน้อยลง
- 4) ลดความเป็นพิษของแมงกานีส เหล็ก และอลูมิเนียม โดยช่วยให้ข้าวทนต่อความเป็นพิษของแมงกานีส เหล็ก และอลูมิเนียม ได้มากขึ้น รากข้าวมี Oxidizing power เพิ่มขึ้น ช่วยลดการสะสมของเหล็กและแมงกานีสในพืชด้วยการลดการคายน้ำ ทำให้การดูดเหล็กและแมงกานีสในพืชลดลง
- 5) ลดการคายน้ำผ่านผิวเคลือบคิวทินของใบข้าว

2.2 แก๊สลอยลิกไนต์

แก๊สลอยลิกไนต์เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ปริมาณที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการจัดการที่ดี จึงมีการนำแก๊สลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์เนื่องจาก มีลักษณะสมบัติทางเคมีและลักษณะสมบัติทางกายภาพที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางด้านอุตสาหกรรมและทางการเกษตรได้

2.2.1 การเกิดเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash) เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีการใช้ถ่านหินมากที่สุดในประเทศไทยคือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละ 40,000 ตัน ซึ่งก่อให้เกิดเถ้าลิกไนต์ประมาณวันละ 10,000 ตัน แต่เป็นเถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 8,000 ตัน โดยเถ้าลอยลิกไนต์ จะปะปนไปกับก๊าซร้อนออกสู่ปล่องควัน จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อนก่อนจะปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

ถ่านหินที่นำมาใช้ เป็นทรัพยากรพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นเดียวกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาตินั้น ล้วนมีกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกันคือ การทับถมกันของซากพืชซากสัตว์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อหลายสิบล้านปีมาแล้ว ถ่านหินจัดแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ลิกไนต์ (Lignite) ซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) บิทูมินัส (Bituminous) และแอนทราไซต์ (Anthracite)

เถ้าลอยลิกไนต์คือ ส่วนกากที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในเตาแล้วเหลือเป็นเถ้าจากถ่านหิน เมื่อเกิดการปะทุของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาปอุณหภูมิที่สูงในบริเวณนั้นจะหลอมอนุภาคของเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ให้ปะทะกันเป็นเม็ดหรือเป็นก้อนที่โตขึ้นและตกลงสู่ก้นเตา นอกจากนั้นยังมีบางส่วนของเถ้าซึ่งปะทะกับผนังเตาและหลอมติดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ เรียกว่า ตะกรัน เมื่อมีน้ำหนักรวมกันมากขึ้นก็จะหล่นลงสู่ก้นเตาเช่นกัน เถ้าที่หล่นลงมาในขณะที่เตาจะยังมีอนุภาคขนาดเล็กที่หลงเหลืออยู่ (Residue) ในเตาเผาจะลอยออกมาพร้อมกับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำลง การลดอุณหภูมิอย่างกะทันหันจากร้อนเป็นเย็นทำให้อนุภาคของเถ้าที่ใกล้จุดหลอมเหลวกลับเย็นตัวลงและรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคทรงกลมในขนาดต่างๆซึ่งเรียกว่า “เถ้าลอย” หรือ “Fly ash” และมีอยู่ปริมาณร้อยละ 75-80 ของเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเตาเผา เถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ไม่ให้ลอยปะปนไปสู่บรรยากาศด้วย Electrostatic precipitator ที่จะดักจับและแยกเถ้าลอยซึ่งมีขนาดเล็กและเบา ออกจากก๊าซร้อนแล้วนำไปรวบรวมเก็บไว้ในไซโล (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

2.2.1.1 ลักษณะสมบัติทางเคมี

เถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ มีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าวทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) 600-2,500 ppm โพแทสเซียม (K) 1,534-34,700 ppm แคลเซียม (Ca) 4,900-58,000 ppm แมกนีเซียม (Mg) 0.11-0.25 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวปะปนอยู่มากคือ เหล็ก (Fe) 7,800-289,000 ppm แมงกานีส

(Mn) 31-4,400 ppm ทองแดง (Cu) 30-3,020 ppm สังกะสี (Zn) 14-13,000 ppm และซิลิกอน (Si) 196,000-271,000 ppm แต่ถ้ำล่อยที่เกิดขึ้นอาจมีโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) อลูมิเนียม (Al) และสารหนู (As) ในปริมาณ 1.8-8,000 ppm 0.1-250 ppm 11,500-144,000 ppm และ 2.3-1,700 ppm (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544; U.S.EPA., 1988)

วารสาร คณาวานากิจ (2530) พบว่า สมบัติทางเคมีสำหรับถ้ำล่อยที่ดักเก็บที่ โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จ.ลำปาง มี pH สูงถึง 11 มี CEC สูงมีปริมาณธาตุต่างๆ ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะซิลิกอน (Si) เหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) ในปริมาณ 17.0, 11.0, 9.8, 6.4, 1.4 และ 1.2 % ตามลำดับ

จากลักษณะสมบัติทางเคมีของถ้ำล่อยลิกไนต์ พบว่ามีซิลิกอนเป็น องค์ประกอบสูง ซึ่งมีปริมาณซิลิกอนปนอยู่ประมาณ 196,000-271,000 ppm หรือคิดเป็น 19.6-27.1 % (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA, 1988) และปัจจุบันมีการนำปุ๋ยจากผลิตภัณฑ์ ซิลิกอนมาใช้เพื่อเพิ่มปริมาณซิลิกอนในทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งมีราคาประมาณ 150 บาท/กิโลกรัม ซึ่งการนำถ้ำล่อยลิกไนต์มาใช้ น่าจะเป็นการเพิ่มซิลิกอนในทางการเกษตรได้อีก ทางหนึ่ง

2.2.1.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะของถ้ำล่อยมีได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนเผา และชนิดของถ่านหิน โดยทั่วไปรูปร่างของถ้ำล่อยส่วนใหญ่จะมี ลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม เป็นรูพรุน หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน รูปทรงของถ้ำล่อยเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคของถ้ำล่อยส่วนใหญ่จะไม่ เป็นผลึก ลักษณะทรงกลมที่ภายในกลวงเรียกว่า ถ้ำล่อยกลวง (Cenospheres) บางส่วนจะเป็น ทรงกลมกลวงบรรจุด้วยอนุภาคเล็กๆ อยู่ภายในที่รู้จักในนามของ Plerosheres อนุภาคที่เหลี่ยมมี ลักษณะตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อยถึงพูนมากมีรูปร่างกลมจนรูปร่างยาวแบน ถ้ำล่อยที่มีรูพรุนมากๆ มักเกิดจากการเผาถ่านหินด้วยอุณหภูมิที่สูงไม่พอที่จะทำให้ถ้ำล่อย หลอมเหลวได้และถ้ำล่อยที่ได้มักมีรูปร่างต่างๆ กัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544; Schure et al., 1985)

ขนาดของถ้ำล่อย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.49-870 ไมครอน ขนาดเฉลี่ย 155 ไมครอน (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544) ความถ่วงจำเพาะของถ้ำล่อยมีค่าระหว่าง 1.97 ถึง 3.02 แต่โดยทั่วไปค่านี้จะอยู่ระหว่าง 2.2-2.8 สำหรับถ้ำล่อยจากแม่เมาะจะมีค่า ความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0 ถ้ำล่อยที่มีอนุภาคกลวงอาจลอยน้ำได้ เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะ ของอนุภาคโดยรวมน้อยกว่า 1.0 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544)

2.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เถ้าลอยเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหิน โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นร้อยละ 75-80 สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีเถ้าลอยลิกไนต์เกิดขึ้นประมาณ 3 ล้านตัน/ปี เมื่อใช้ถ่านหิน 14.6 ล้านตัน/ปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544; วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530) ทั้งนี้เถ้าลอยเป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งเข้าข่ายถูกกำหนดให้เป็นสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ภาคผนวกที่ 1 บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้ว หมวด 1 ข้อ 5 ประเภทสารที่ถูกระบายได้ (Leachable substances) ในปัจจุบันเถ้าลอยที่ผลิตได้ต่อวันมีปริมาณค่อนข้างสูง ถ้าไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ จะเป็นภาระในการกำจัดซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและเสียพื้นที่ในการกำจัด นอกจากนี้อนุภาคเถ้าลอยลิกไนต์อาจก่อความเสียหายต่อพืช โดยอนุภาคที่จับบนพืช (ใบ กิ่ง ก้าน ดอก และผล) อาจอยู่ในสภาพแห้งหรือเป็นคราบเหนียวเหมือนน้ำมันดิบ ส่งผลให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, 2540) ในการนำมาใช้ประโยชน์ควรมีการจัดการที่เหมาะสมเนื่องจากคุณสมบัติสามารถก่อให้เกิดทั้งประโยชน์และโทษต่อสิ่งแวดล้อมได้

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์

ปัจจุบันมีการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทั้งในทางด้านอุตสาหกรรมและทางการเกษตร ดังนี้

2.2.3.1 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม

1) การใช้งานเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุคินดม (Fill material) การประยุกต์ใช้ในงานวัสดุคินดมนี้ จะอยู่บนพื้นฐานที่ว่าเถ้าลอยลิกไนต์ เมื่อผสมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมแล้ว บ่มทิ้งไว้จะเริ่มแข็งตัวได้ภายใน 1 วัน เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีคุณสมบัติที่แข็งตัวได้ด้วยตนเอง (Self hardening property) ทั้งนี้เพราะส่วนใหญ่เถ้าลอยลิกไนต์ จะมีปริมาณ CaO อิสระที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำจนกลายเป็น Ca(OH)_2 ปนอยู่บ้างและทำให้เกิดปฏิกิริยา Pozzolanic กับ Reactive silica ซึ่งเป็น Non crystalline glass จนเกิดเป็นสารเชื่อมประสาน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544)

2) การใช้ในงานคอนกรีตบดอัด (Roller compacting concrete, RCC) คอนกรีตบดอัดเป็นคอนกรีตที่มีเนื้อค่อนข้างกระด้างและมีคุณสมบัติการยุบตัวเป็นศูนย์ (No-stump concrete) คอนกรีตชนิดนี้จะผสมน้ำในปริมาณต่ำเพียงเพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตสดที่อยู่ในสภาพซึ่งสามารถจะทำงานบดอัดได้ด้วยรถบดอัดที่ใช้ความสั่นสะเทือน (Vibration roller) ลักษณะที่ปรากฏของคอนกรีตบดอัดจะคล้ายคลึงกับหินคลุกผสมน้ำ ซึ่งมักใช้ในงานบดอัดชั้นพื้นทาง (Base course) ซึ่ง

งานคอนกรีตอัดในประเทศไทยที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นส่วนประกอบ เช่น โครงสร้างเขื่อนปากมูล จังหวัดอุบลราชธานี ได้ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมทดแทนปูนซีเมนต์ 68% คิดเป็นปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 6,450 ตัน และโครงการก่อสร้างเขื่อนคลองท่าด่าน จังหวัดนครนายก ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 700,000 ตัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544)

3) การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในงานคอนกรีตที่ไหลเข้าแบบได้ง่าย (Self-compacting concrete, SCC) คอนกรีตชนิดนี้ต้องการคุณสมบัติด้านความสามารถที่จะปรับเปลี่ยนรูปทรงได้ดี (High deformability) โดยไม่เกิดการแยกตัว (Segregation) ของหินย่อยออกจากปูนทราย หรือการเยิ้มตัว (Bleeding) ดังนั้นจึงต้องการปริมาณ Paste ซึ่งประกอบไปด้วยสารเชื่อมประสาน (Binder) และน้ำค่อนข้างมาก เพราะ Paste จะไปทำหน้าที่เติมช่องว่างระหว่างหินย่อยและทราย

4) การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในคอนกรีตปกติและผลิตภัณฑ์คอนกรีตทั่วไป (Normal concrete and concrete products) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2544) มีการนำเถ้าลอยลิกไนต์แม่มาไปใช้ทดแทนซีเมนต์ในงานคอนกรีตปกติ โดยใช้เถ้าลอยทดแทนซีเมนต์ 30-40 % โดยน้ำหนัก

2.2.3.2 ประโยชน์ทางการเกษตร

1) การใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณ 1.5-1.75 กิโลกรัม/ตัน ร่วมกับโคโลไมท์ ส่งผลให้ผลผลิตและคุณภาพของส้มเขียวหวานดีขึ้น อีกทั้งปริมาณนี้ยังมีผลดีต่อพืชตระกูลถั่วอย่างมากด้วย (เบญจมาศ อินทชัย, 2544)

2) ปิยนุช ปิยะตระกูล และคณะ (2543) ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมซีเมนต์เคลือบทรายหยาบ และขุยมะพร้าว ใช้ทำเป็นวัสดุปลูกชำปรากฏว่า เมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ให้จำนวนรากและความยาวมากที่สุดทั้งของเบญจมาศและคาร์เนชั่น โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากลักษณะทางกายภาพ และเคมีที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญของราก กล่าวคือเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้วัสดุปลูกชำร่วนการระบายน้ำและอากาศดี นอกจากนี้เถ้าลอยลิกไนต์ยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่อาจเพิ่มธาตุอาหารให้แก่กิ่งชำได้

3) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราต่างๆมีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเพิ่มขึ้น คือ 650, 775, 882, 911 และ 922 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541)

2.3 ปุ๋ยหมักฟางข้าว

ปุ๋ยหมักสามารถทำได้จากวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ มากมาย แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน และ วัสดุพืชต่างๆ (ปรัชญา ธัญญาดี, 2523)

ฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่มากมาย จากการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรม พบว่าในพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยประมาณ 321 ล้านไร่ เกษตรกรใช้ในการเพาะปลูกข้าวรวมทั้งหมดประมาณ 61.1 ล้านไร่ เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังประมาณ 3.6 ล้านไร่ และเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีประมาณ 57.9 ล้านไร่ (ศูนย์สถิติการเกษตร, 2545) ซึ่งปริมาณฟางข้าวที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 25.45 ล้านตัน/ปี (เกษม ทังทอง และเมธา วรณพัฒน์, 2528) โดยพบว่าปริมาณฟางข้าวที่ได้จากข้าวนาปีมีประมาณ 12 ล้านตัน/ปี และปริมาณฟางข้าวจากนาปรังมีประมาณ 16 ล้านตัน/ปี (กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้, 2545) บางส่วนของฟางข้าวที่เหลือทิ้งนี้เกษตรกรได้นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น เลี้ยงสัตว์ เพาะเห็ด และทำปุ๋ยหมัก เป็นต้น (สมศักดิ์ วังใน, 2521) แต่การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวยังมีไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฟางข้าวที่มีอยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะในภาคกลาง การนำฟางข้าวเหลือทิ้งเหล่านี้มาทำปุ๋ยหมักน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการบำรุงดิน (Golueke, 1977) และยังเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่แทนการเผาฟางทิ้ง เนื่องจากการเผาฟางนั้น นอกจากจะเป็นการสูญเสียแหล่งธาตุอาหารแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมด้วย

ปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นกรรมวิธีที่ได้จากการนำฟางข้าวที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยหมัก ทั้งนี้การนำฟางข้าวมาทำเป็นปุ๋ยหมักฟางข้าว จะใช้ฟางข้าว 1,000 กิโลกรัม เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ธาตุซิลิกอนประมาณ 50 กิโลกรัม (เจริญ ท้วมขำ, 2544)

2.3.1 องค์ประกอบของฟางข้าว

ฟางข้าวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสประมาณ 36-40 % ลิกนินประมาณ 10-15 % เซลลูโลสจัดเป็นส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย ส่วนลิกนินที่เป็นส่วนประกอบของฟางข้าวนี้ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟางข้าวและย่อยสลายได้ยาก ทั้งนี้ฟางข้าวประกอบไปด้วย โปรตีน ไฟเบอร์ ซีส์ น้ำตาล ซีส์ และซิลิกา เป็นต้น (Clawson et al., 1970) นอกจากนี้ฟางข้าวยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารคือ ไนโตรเจน 0.50% ฟอสฟอรัส 0.10% โพแทสเซียม 1.50% แคลเซียม 0.38% แมกนีเซียม 0.23% และซิลิกอน 0.8% ซึ่งซิลิกาในฟางข้าวมีผลทำให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะซิลิกาในผนังของเซลล์พืชมีหน้าที่เสริมความแข็งแรง เช่นเดียวกับลิกนิน (Soest and Jones, 1968) และฟางข้าวมี C/N ratio = 50:1 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นอีก ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว (Han, 1978)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	34.00
ลิกนิน	4.50
โปรตีน	4.50
ฟอสฟอรัส	0.10
โพแทสเซียม	1.20
แคลเซียม	0.19
แมกนีเซียม	0.11
ซัลเฟอร์	0.10
ซิลิกา (SiO ₂)	14.00
ปริมาณเถ้าทั้งหมด	16.50
อื่นๆ	24.80

2.3.2 การทำปุ๋ยหมักฟางข้าว

2.3.2.1 ความหมายและคำจำกัดความของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (Compost) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ โดยการกระทำของจุลินทรีย์ซึ่งได้จากการนำเศษของอินทรีย์วัสดุหรือส่วนผสมของอินทรีย์วัสดุมา กองสุ่มกัน รดน้ำให้ชื้นและปล่อยให้เกิดการสลายตัวทางชีวภาพ อาจผสมสารเคมีเข้าไปด้วยเพื่อ ช่วยให้ปุ๋ยหมักมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นและยังช่วยให้อินทรีย์วัตถุสลายตัวได้เร็วขึ้นอีกด้วย (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541)

การทำปุ๋ยหมักเป็นกรรมวิธีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพในการย่อยสลายส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในวัสดุเหลือทิ้งบางชนิดเมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม (Golueke, 1977) ปุ๋ยหมักที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว ได้แก่สารประกอบที่คงทนต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งสารประกอบดังกล่าวคือ ฮิวมัส ในขณะที่เดียวกันสารประกอบอินทรีย์จะถูกปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลายซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Updegraff, 1972) นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ช่วยปรับปรุงดิน (Soil conditioner) โดยปุ๋ยหมักจะช่วย

ปรับปรุงโครงสร้างดินให้เหมาะสมต่อการเจริญของพืช เช่นช่วยเพิ่มการระบายอากาศในดิน และช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ เป็นต้น (Poincelot, 1975)

2.3.2.2 การทำปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักแบ่งได้เป็น 2 แบบ (Updegraff, 1972; Minnich and Hunt, 1979) คือแบบอากาศถ่ายเทได้ (Aerobic composting) และแบบไร้ออกซิเจนหรือไม่มีอากาศถ่ายเท (Anaerobic composting)

1) การทำปุ๋ยหมักแบบอากาศถ่ายเทได้

เป็นการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศเป็นตัวย่อยสลาย ดังนั้นในการกองปุ๋ยหมักต้องมีการกลับกองอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ดี การหมักปุ๋ยหมักแบบนี้ อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะค่อยๆ สูงขึ้น จนถึงสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะเย็นลงเท่ากับสภาวะแวดล้อมในช่วงสุดท้ายของการหมักจึงแตกต่างกันไปตามช่วงอุณหภูมิ

2) การทำปุ๋ยหมักแบบไร้ออกซิเจน

กระบวนการนี้เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อนจะน้อยกว่าการหมักแบบอากาศถ่ายเท ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก ระยะเวลาในการหมักแบบนี้จะนานกว่าการหมักแบบอากาศถ่ายเท (Waksman et al., 1939)

3) การทำปุ๋ยหมักฟางข้าว

จากการทำการเกษตรของประเทศไทย โดยเฉพาะในการปลูกข้าว เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวแล้ว ยังคงมีฟางข้าวที่เหลือเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จึงมีเกษตรกรบางส่วนนำฟางข้าว และการถอนเอาส่วนที่เป็นตอซังออกจากพื้นที่เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด ทำให้ดินมีการสูญเสียธาตุอาหาร และอินทรีย์วัตถุออกจากแปลงนา การนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุ รวมทั้งการปรับปรุงดินในรูปของปุ๋ยหมักก็น่าจะมีส่วนช่วยในเรื่องของความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อม และช่วยประหยัดต้นทุนทางการเกษตรได้ (กลุ่มอินทรีย์วัตถุและวัสดุเหลือใช้, 2545) ดังนั้นในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว จึงมีสูตรดังนี้

สูตรในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว

ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ด	1	ตัน
มูลสัตว์	200	กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	2	กิโลกรัม
เชื้อจุลินทรีย์ พด.1	1	ถุง (150กรัม)

วิธีทำ

นำฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดมากองให้มีขนาด $2 \times 3 \times 1.5$ เมตร โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นแรกกองให้สูง 50 เซนติเมตร ทำการย่ำให้แน่น และรดน้ำให้ชุ่ม นำมูลสัตว์ที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนมาโรยทับ และนำปุ๋ยยูเรียที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนมาโรยทับตาม กระจายสารเร่ง พด.1 จำนวน 150 กรัม ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากันนานประมาณ 15 นาที แล้วแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ราดลงไปบน ชั้นที่ 1 ทำเช่นนี้จนครบ 3 ชั้น และปิดชั้นสุดท้ายด้วยมูลสัตว์หนา 1 นิ้ว หรือใช้วัสดุปิดคลุมไว้ (ป้องกันการสูญเสียน้ำ) ทำการกลับกองทุกๆ 7 วัน เมื่อหมักปุ๋ยได้ประมาณ 30-40 วัน สังเกต ลักษณะของปุ๋ยหมัก คือ จะมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ ชุ่ม ไม่มีกลิ่นเหม็น มีลักษณะคล้ายดิน ก็นำไปใช้ได้

2.4 คุณภาพข้าว

ประเทศไทยส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกติดต่อกันมากกว่า 10 ปีเนื่องจากผลิตข้าวได้ปริมาณมาก และคุณภาพดี ในการแบ่งเกรดข้าวจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์ โดยพิจารณาคุณลักษณะทางกายภาพ การส่งออกข้าวของประเทศไทยมีส่วนแบ่งในตลาดโลกประมาณ 30% ผลผลิตรวมของประเทศประมาณ 19-22 ล้านตันข้าวเปลือก และส่งออก 6-8 ล้านตันหรือเป็นข้าวสาร 4.5-5.3 ล้านตันข้าวสาร

2.4.1 คุณภาพข้าวทางกายภาพ

คุณภาพทางกายภาพของข้าวสามารถตรวจสอบได้จาก น้ำหนักเมล็ด สีข้าวเปลือก สีข้าวกล้อง ขนาดและรูปร่างเมล็ด ลักษณะท้องไข่ ความใสขุ่นของข้าวสาร และความขาวของข้าวสาร เป็นต้น

- 1) น้ำหนักเมล็ด (Grain weight) เป็นลักษณะที่ควบคุมโดยพันธุกรรม และอาจแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อม เช่น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย ความชื้น และสภาพภูมิอากาศ
- 2) สีข้าวเปลือก (Hull color) เป็นลักษณะประจำพันธุ์ สีข้าวเปลือกที่พบจะมีสีขาว ฟาง น้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ร่องน้ำตาล กระน้ำตาล น้ำตาลแดง ม่วง และดำ เป็นต้น
- 3) สีข้าวกล้อง (Pericarp color) จะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด สำหรับส่วนที่เป็นแป้งของข้าวทุกชนิดจะเป็นสีขาวเสมอ ข้าวกล้องจะมีสีต่างๆ กัน เช่น ขาว แดง น้ำตาล และม่วงเกือบถึงดำ นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพการสี กล่าวคือข้าวกล้องที่มีสีเข้มจะใช้เวลาในการขักร้านานหรือใช้แรงกดนาน ทำให้เกิดข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย

4) ลักษณะท้องไข่ (Chalkiness) เกิดจากการจับตัวกันอย่างหลวมๆ ของเม็ดแป้งกับโปรตีนในส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ดมีลักษณะขุ่นขาว ลักษณะของท้องไข่เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในตลาดเนื่องจากข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปขัดสีทำให้เกิดข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและคืนข้าวน้อย

5) ความขาวของข้าวสาร (Milled rice whiteness) ข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีจนเป็นข้าวสารจะมีสีขาวเสมอ เพราะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ด ความขาวของข้าวสารจะแตกต่างกัน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว ระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือก เป็นต้น ความขาวของข้าวสารซึ่งจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าว

6) ความใสขุ่นของข้าวสาร (Grain translucency) ความใสขุ่นของข้าวสารเป็นคุณลักษณะกับท้องไข่ หมายถึงความทึบแสงหรือความใสของเนื้อข้าวสารทั้งเมล็ด สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสขุ่นของข้าวสาร แต่คาดว่าสาเหตุอาจเนื่องมาจากพันธุ์ข้าวและสภาพพื้นที่ปลูก

2.4.2 คุณภาพการสีของข้าว

คุณภาพการสี (Milling quality) ของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Whole grain) และคืนข้าว (Head rice) ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี เป็นข้าวที่เมื่อผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและคืนข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (Broken rice) น้อย ดังนั้นการประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึงเกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว (Rice milling) ซึ่งหมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพภะออกจากเมล็ดข้าว (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

2.4.2.1 การประเมินคุณภาพการสีของข้าว

การประเมินคุณภาพการสีประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (Whole grain) และคืนข้าว (Head rice) ซึ่งมีขั้นตอนในการปฏิบัติการดังนี้

1) ทำความสะอาดข้าวเปลือก โดยผ่าน Aspirator เพื่อกำจัดตระแ้ว ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากข้าว

2) วัดความชื้น ถ้ามากกว่า 14 % .ต้องนำไปลดความชื้น

3) ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว 125 กรัม

4) กะเทาะข้าวเปลือกด้วยเครื่อง Satake จนเปลือกออกหมด ชั่งน้ำหนักข้าวกล้อง บันทึกลง

5) ขัดข้าวกล้องด้วย Mc.Gill Miller No. 2 เป็นเวลา 1 นาที ครั้งแรกที่แรกใส่ ตุ่ม ครั้งแรกที่หลังนำตุ้มออก ทิ้งข้าวสารไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก บันทึกลง

6) นำข้าวสารทั้งหมดไปแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ด้วย Sizing divider ใช้ตะแกรงเบอร์ 10 ข้างบน และเบอร์ 135 ข้างล่าง

7) เมื่อข้าวผ่านตะแกรงหมดแล้ว ต้องคัดเลือกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ด้วยมืออีกครั้ง เนื่องจากอาจมีเหลือปนอยู่

8) ชั่งน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว บันทึกลง

9) นำน้ำหนักข้าวเปลือก น้ำหนักข้าวกล้อง น้ำหนักข้าวสาร และน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวไปคำนวณหาปริมาณแกลบ รำ และข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ แกลบ} &= \frac{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \\ \% \text{ รำ} &= \frac{\text{น้ำหนักข้าวกล้อง} - \text{น้ำหนักข้าวสาร} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \\ \% \text{ ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว} &= \frac{\text{น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว} \times 100}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}} \end{aligned}$$

2.4.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพการสีของข้าว

คุณภาพการสีของข้าวจะแปรปรวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545) ดังนี้

1) พันธุ์ข้าว (Rice variety) คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก มีท้องไข่มาก จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกสีอ่อน เปลือกบาง เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง เป็นต้น

2) การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ควรระบายน้ำออกจากแปลงนา ก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะส่งผลให้การเก็บเกี่ยวและการตากสะดวกและได้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

3) ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ กล่าวคือข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียว การสร้างแป้งยังไม่แน่นอนเต็มเมล็ด เมื่อดอกแห้งแล้วนำไปสีข้าวเมล็ดเขียว หรือเมล็ดอ่อนเหล่านี้จะหักปนไปรวมอยู่กับส่วนรำ แกลบ และข้าวหัก ทำให้ได้เนื้อของข้าวสาร และข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว น้อย ในทำนองเดียวกันหลังจากเมล็ดแก่ และแห้งแล้ว หากปล่อยให้ข้าวในนาเมล็ดจะถูกแดดในตอนกลางวันและได้รับสภาพชื้นจากน้ำค้างในตอนกลางคืนสลับกันเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิด

รอยร้าวขึ้นในเมล็ดเมื่อนำไปสีข้าวจะหักมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวข้าวควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 28-30 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22-26 % ลักษณะรวงข้าวจะโน้มลง เมล็ดในรวงมีสีฟางหรือเหลือง โคนรวงอาจมีเมล็ดเขียวบ้างเล็กน้อย ระยะเวลาดังกล่าวนี้ เมล็ดจะสุกแก่พอเหมาะ การเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้น้ำหนักเมล็ดสูง ข้าวปริมาณมาก และมีคุณภาพการสีดี

ส่วนวิธีการเก็บเกี่ยวนั้นทำได้หลายวิธีเช่น เกี่ยวด้วยมือโดยใช้เคียวหรือแฉะ ซึ่งไม่ค่อยมีผลกระทบต่อคุณภาพการสี หรือเกี่ยวด้วยเครื่องจักร เป็นต้น

1) การตากข้าว เป็นการลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน เสื่อมคุณภาพช้า การตากข้าวควรทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตากคือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นในเมล็ด 12-14 % สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

2) การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ขย้ำ นวดโดยรถไถ และนวดด้วยเครื่องจักร เป็นต้น การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักมากขึ้น

3) การเก็บรักษา เป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากเกี่ยวเกี่ยว นวด และตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวเพื่อรอให้ราคาดีจึงขาย หรือเก็บไว้บริโภค การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา การเกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อยลง

4) กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสีคือการกะเทาะเปลือกและการขัดขาว ใน 2 ขั้นตอนนี้ ข้าวจะหักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยางหรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะ และระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยางหรือแท่นเหล็กในเครื่องขัดขาว ถ้าตั้งชิดเกินไปจะทำให้ข้าวหักมากขึ้น

- อัตราการหมุนของลูกยางหรือหินกากเพชร ถ้าหมุนเร็วมากข้าวจะหักมาก

- อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะหรือเครื่องขัด ถ้าสูงข้าวจะหักมาก

- ระยะเวลาในการขัดสี ถ้าขัดนานข้าวจะหักมาก

2.4.2.3 ขั้นตอนการสีข้าว

ขั้นตอนการสีข้าวประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน คือ

1) การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแเง้ ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากข้าว

2) การกะเทาะ (Shelling หรือ Hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แกลบและข้าวกล้อง

3) การขัดขาว (Whitening) เพื่อให้รำหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง ซึ่งสิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ รำและข้าวสาร

4) การคัดแยก (Grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักขนาดต่างๆ ออกจากกัน

จากขั้นตอนการสีข้าวดังกล่าว สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

1) แกลบ (Hull หรือ Husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟาง และข้าวเมล็ด ประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบได้แก่ เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 68% ลิกนิน 19.2-24.5% เถ้า 13.2-29.0% (ประกอบด้วยซิลิกา 86.6-97.3%)

2) รำ (Bran) เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มเมล็ด (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Tegmen) เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (Aleurone layer) คัพภะ (Embryo) และฝวนอกๆ ของข้าวสาร ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูง เพราะมีสารที่เป็นประโยชน์

2.4.3 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

2.4.3.1 ประวัติของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นการคัดเลือกมาจากกลุ่มผสมเดี่ยวระหว่างข้าวหอมสายพันธุ์ BKNA6-18-3-2 และ PTT85061-86-3-2-1 ที่ได้ผสมพันธุ์ในฤดูนาปรัง พ.ศ. 2533 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ทั้งสายพันธุ์แม่และพ่อ มีเชื้อความหอมจากพันธุ์ข้าว กข 15 และข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากจังหวัดร้อยเอ็ด ที่ขณะการประกวดดำเนินการคัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูลจนถึงชั่วที่ 6 ระหว่างปีพ.ศ. 2534-2536 จนได้สายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 ได้นำมาศึกษาพันธุ์และเปรียบเทียบผลผลิตเบื้องต้นในปี พ.ศ. 2536-2538 นำเข้ามาทดสอบในการทดลองการเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างสถานี การเปรียบเทียบผลผลิตในนารายณ์และผ่านการทดสอบความต้านทานต่อโรคแมลงศัตรูข้าว การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดทางกายภาพและทางเคมี การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนและการศึกษาเสถียรภาพของผลผลิตระหว่างปีพ.ศ. 2539-2541 และได้รับการคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในข้าวสายพันธุ์ดีเด่นของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ให้ปลูกขยายพันธุ์เป็นข้าวพันธุ์หลัก เพื่อเตรียมการขยายพันธุ์ต่อไป (ธีรพร บุศยอังกูร, 2543)

2.4.3.2 สมบัติเมล็ดทางกายภาพ

ข้าวเปลือกมีสีฟาง ยาว 10.52 มิลลิเมตร กว้าง 2.47 มิลลิเมตร หนา 1.95 มิลลิเมตร ข้าวกล้องสีขาว มีความยาว 7.6 มิลลิเมตร กว้าง 2.17 มิลลิเมตร หนา 1.72 มิลลิเมตร ลักษณะเมล็ดเรียวยาว (ความยาว : ความกว้าง = 3.5) ท้องไข่น้อย และคุณภาพการสีดี อยู่ระหว่าง 40-50 % เช่นเดียวกับข้าวดอกมะลิ 105

ทั้งนี้พื้นที่ที่แนะนำในการเพาะปลูกคือ พื้นที่นาชลประทานภาคกลาง

2.4.3.3 ลักษณะเด่นประจำพันธุ์

1) เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง ลักษณะเมล็ดทางกายภาพมีเมล็ดเรียวยาว คล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวหุงสุกง่ายเมื่อหุงสุกมีลักษณะนุ่มเหนียว เช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

2) ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง โดยมีความต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลดีกว่าข้าวเจ้าหอมคลองหลวง 1 ข้าวเจ้าหอมสุพรรณบุรี และข้าวชัยนาท 1

3) ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ประมาณ 650-774 กิโลกรัม/ไร่

2.4.3.4 ข้อควรระวัง

1) ค่อนข้างไม่ต้านทานต่อเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม

2) ไม่ควรใช้ปุ๋ยในอัตราสูงโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ยูเรีย (N) ไม่ควรใช้เกิน 10-15 กิโลกรัม (N)/ไร่ เมื่อใช้ปุ๋ยนี้ปริมาณมากเกินไปทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้ม และผลผลิตลดลง

2.5 ดินที่ใช้ในการปลูกข้าว

ในการปลูกข้าวนั้นสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกประเภท ซึ่งข้าวสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ แต่การปลูกข้าวที่เหมาะสมที่จะปลูกในดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีและมีความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 5-7 (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2543) ดินส่วนใหญ่ที่ใช้ในการปลูกข้าวจะมีสภาพน้ำขัง มีน้ำเพียงพอและปลูกข้าวได้อย่างน้อย 1 ครั้ง ใน 1 ปี โดยทั่วไปจะพบในพื้นที่ที่ต่ำ มีน้ำขังโดยธรรมชาติหรือบริเวณที่มีน้ำจากที่อื่นมาท่วมขัง (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2534)

ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 320.7 ล้านไร่ ในปัจจุบันที่ดินถูกใช้เพื่อการเกษตรทุกประเภท รวม 146.9 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 46 ของเนื้อที่ทั้งประเทศ โดยมีพื้นที่ทำนาประมาณ 83.8 ล้านไร่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของดินที่ใช้ในการปลูกข้าว

ดินที่ใช้ในการปลูกข้าวในสภาพที่มีน้ำขัง จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจร กล่าวคือมีลักษณะของดินที่มีสภาพน้ำขังและสภาพที่ดินแห้งสลับกัน ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโดยทั่วไป จะมีลักษณะเป็นดินลึก เนื้อดินละเอียด ความสามารถของน้ำในการซึมผ่านช้า พื้นที่มีลักษณะเรียบ ความสามารถในการระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง มีปริมาณเกลือต่ำ ขังน้ำได้ดี (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2534)

ทั้งนี้ได้มีการจำแนกความเหมาะสมของดินที่ใช้สำหรับปลูกข้าว (Land suitability classification for paddy) เป็น 5 ชั้นตามความเหมาะสมของดินดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ภาควิชาการเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544)

ชั้นที่ 1 (P-I) ชั้นดินนี้มักจะไม่ค่อยมีข้อจำกัดในการปลูกข้าว มีเนื้อดินละเอียด น้ำซึมผ่านได้ช้าจึงดูดซับน้ำได้ดี พื้นที่ราบเรียบ ง่ายต่อการกักเก็บน้ำไว้ทำนา มีความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงสูง มีน้ำเพียงพอสำหรับการปลูกข้าวได้อย่างน้อย 1 ครั้งใน 1 ปี โดยไม่มีความเสี่ยงต่อความแห้งแล้ง ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยจะมากกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่ โดยการเพาะปลูกแบบชาวนาธรรมดา ที่ดินชั้นนี้ยังคงต้องมีการดูแลรักษาหรือมีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินบ้าง เพื่อคงความอุดมสมบูรณ์

ชั้นที่ 2 (P-IIa) ชั้นดินนี้มีข้อจำกัดในการปลูกข้าวบ้างแต่ไม่รุนแรงนัก และสามารถแก้ไขได้ไม่ยากและไม่ต้องลงทุนสูง มีน้ำใช้ในการทำนาได้อย่างน้อย 1 ครั้ง/ปี แต่ก็อาจจะประสบภาวะการขาดแคลนน้ำในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจกระทบต่อผลผลิต หากใช้ในการทำนาจะได้ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยประมาณ 250-500 กิโลกรัม/ไร่ ชั้นดินนี้อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความอุดมสมบูรณ์ของดินในช่วงระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร อยู่ในระดับต่ำ และมีค่า pH 4.7-6.0 จัดเป็นดินที่มีระดับความเป็นกรดปานกลาง ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยน้อย นอกจากจะมีการใส่ปุ๋ยลงไปซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น ตัวอย่างชุดดินประเภทนี้ได้แก่ ชุดดินมหาโพธิ์ (Ma) ชุดดินอยุธยา (Ay) และชุดดินท่าขวาง (Tq)

ชั้นที่ 3 (P-IIIa) ชั้นดินนี้เป็นดินที่เหมาะสมในการทำนาระดับปานกลาง มีอุปสรรคบ้างในการปลูกข้าว ต้องการการจัดการดินที่ดี ซึ่งอาจจะต้องลงทุนสูงขึ้นบ้าง ชั้นดินนี้มีความสามารถในการดูดซับน้ำและเก็บน้ำไว้ได้ในระดับปานกลาง เมื่อฝนทิ้งช่วงนานมักจะประสบภาวะขาดแคลนน้ำจนทำให้ผลผลิตต่ำลง ชั้นดินนี้เป็นดินเปรี้ยวจัดที่มีค่า pH 4.1-4.7 ซึ่งความเปรี้ยวจะเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว ต้นข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยในระดับต่ำ นอกจากจะมีการใส่ปุ๋ยลงไป

ปริมาณที่มากพอ ชั้นดินนี้ให้ผลผลิตของข้าวเฉลี่ยประมาณ 150-250 กิโลกรัม/ไร่ ตัวอย่างชุดดินประเภทนี้ได้แก่ ชุดดินรังสิต (Rs) ชุดดินธัญบุรี (Tan)

ชั้นที่ 4 (P-IVa) ชั้นดินนี้เป็นดินที่ไม่ค่อยเหมาะสมในการทำนา มีข้อจำกัดเนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำมาก มีค่า pH ประมาณ 3.0-3.5 โดยมากจะมีค่า pH โดยมากไม่เกิน 4.1 หากที่จะปรับปรุงแก้ไขถ้าจะทำก็ต้องลงทุนสูงมากจนอาจไม่คุ้ม จะใช้ปลูกข้าวก็ต่อเมื่อมีความจำเป็นมากจริงๆ เท่านั้น เกษตรกรมักจะปล่อยดินเหล่านี้ทิ้งไว้ ไม่ปลูกพืช โดยจะมีหญ้ารกหรือปรีอขึ้นคลุมหนาแน่นทั่วไป ชั้นดินนี้ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยต่ำมาก บางแห่งปลูกไม่ขึ้น ชั้นดินนี้ให้ผลผลิตของข้าวเฉลี่ยประมาณ 50-100 กิโลกรัม/ไร่ ถ้าจะทำการเพาะปลูกให้ได้ผลต้องใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากกว่าที่อื่น และต้องใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารในดินร่วมด้วย ตัวอย่างชุดดินประเภทนี้ได้แก่ ชุดดินองครักษ์ (Ok) และชุดดินรังสิตกรดจัด (Rsa)

ชั้นที่ 5 (P-V) ชั้นดินนี้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ทำนา เนื่องจากมีข้อจำกัดอย่างรุนแรงมาก หากที่จะแก้ไข ไม่คุ้มทุน หรือในบางกรณีก็แก้ไขไม่ได้ ควรเปลี่ยนไปใช้ปลูกพืชชนิดอื่น ที่ชั้นดินนี้มีอุปสรรคก็เนื่องจาก พบชั้นดานแข็งตื้นกว่า 15 เซนติเมตร หรือพบก้อนลูกรัง ก้อนกรวด หรือเศษหินในระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร มากกว่าร้อยละ 80 โดยปริมาตร

2.5.2 การปลูกข้าวในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด

การปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัดเป็นการปลูกพืชในดินที่มีปัญหาประเภทหนึ่ง เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด จึงมีผลกระทบต่อการทำงานของพืช เมื่อทำการขังน้ำเพื่อทำการปลูกข้าวจะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ต่ำ เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาที่เป็นกรดรุนแรงทำให้การละลายได้ของเหล็ก แมงกานีสและอลูมิเนียมสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อข้าว และส่งผลให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง ทั้งนี้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ บางครั้งถึงกับขาดแคลน (Van Breemen and Pons, 1978)

2.5.2.1 การเกิดดินเปรี้ยวจัด

ดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดกำมะถัน (Acid sulfate soil) หมายถึง ดินที่มีสารประกอบไพไรต์ (pyrite) เป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการออกซิเดชันจะทำให้เกิดมีกรดกำมะถันและฤทธิ์ของความเป็นกรดมักจะรุนแรงพอที่จะเกิดอันตรายต่อพืชที่ปลูกได้ ดินชนิดนี้มักพบสารจาโรไซต์ (Jarosite) ลักษณะสีเหลืองฟางข้าวที่ชั้นใดชั้นหนึ่งในหน้าตัดดิน (ปทานุกรม ปรุพีวิทยา, 2541)

ดินเปรี้ยวจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม โดยแยกตามคุณสมบัติ และให้คำจำกัดความของดินเปรี้ยวจัดแต่ละกลุ่มดังนี้

1) ดินเปรี้ยวจัดแฝง (Potential acid sulfate soils) ได้แก่ ดินที่มีศักยภาพที่จะเป็นดินเปรี้ยวจัดมีกำเนิดมาจากตะกอนน้ำทะเล ปริมาณซัลไฟด์โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ แร่ไพไรต์ (FeS_2) สูงประมาณ 1-2.5 % แต่จะมีปริมาณของตะกอนที่เป็นปูน และตะกอนแร่ต่างๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างต่ำ ปัจจุบันดินนี้ยังคงอยู่ในสภาพขังน้ำ หรือยังไม่ได้มีการระบายน้ำออก ชั้นของดินบนยังมี pH เป็นกลางหรือด่างอ่อน (pH 7.0-8.0) ถ้ามีการระบายน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในพื้นที่ดินนี้จะทำให้ดินแห้ง มีการถ่ายเทอากาศดีในชั้นดินนี้ทำให้ดินกลายเป็นดินเปรี้ยวจัดทันที เนื่องจากสารประกอบไพไรต์ถูกออกซิไดซ์ ทำให้เกิดกรดกำมะถันขึ้น

2) ดินเปรี้ยวจัด (Actual acid sulfate soils) ได้แก่ ดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นในดินหนึ่งชั้น หรือมากกว่าหนึ่งชั้น ประกอบด้วยสารซัลเฟตของอลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งมีความเข้มข้นมากพอที่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกในสภาพไร่นาได้ มีอลูมิเนียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exchangable aluminum) ในปริมาณที่สูง มี pH ต่ำกว่า 4.0 นอกจากนี้จะพบสารประกอบสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบจาโรไซด์ และบางครั้งอาจพบจุดประสีขาวของสารประกอบอลูมิเนียมซัลเฟตปะปนอยู่ด้วย

3) ดินเปรี้ยวจัดเทียม (Para/Pseudo acid sulfate soils) ได้แก่ ดินที่เคยมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นแล้ว แต่ต่อมากรดดังกล่าวส่วนใหญ่ถูกชะล้างหายไป หรือถูกทำลายไป (อาจสะเทินโดยสารประกอบคาร์บอเนต) จนมีปริมาณเหลือเพียงเล็กน้อย ไม่ถึงกับอันตรายหรือทำความเสียหายต่อพืชที่ปลูก ผลจากการสะเทินของกรด โดยสารประกอบคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะพบผลึกยิปซัมที่มีลักษณะคล้ายผลึกแก้วรูปเข็มในชั้นดิน ลักษณะของดินชนิดนี้ส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกับดินเปรี้ยวจัดชนิดที่ 2 แต่จะพบผลึกยิปซัมเกิดขึ้นทั่วไปในดินชั้นล่าง ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจน และมักจะพบสารประกอบจาโรไซด์ที่เป็นจุดประสีเหลืองฟางข้าวควบคู่กันไปด้วย (Brinkman and Pons, 1973)

การเกิดดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยประกอบด้วย 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ

1) กระบวนการทางธรณีวิทยา (Geogenetic process)

กระบวนการนี้เป็นการเกิดวัตถุดิบกำเนิดดินเปรี้ยวจัด ซึ่งเริ่มต้นจากการสะสมของตะกอนที่พัฒนามาโดยแม่น้ำ และน้ำทะเลบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นอิทธิพลร่วมกันระหว่างน้ำทะเลกับน้ำจืด ก่อให้เกิดสภาพน้ำกร่อยทำให้มีการตกตะกอนทับถมกัน เกิดเป็นพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ อนุภาคที่มาตกตะกอนทับถมกัน ได้แก่ ตะกอนทราย ทรายแป้ง และตะกอนดินเหนียว รวมทั้งอินทรีย์วัตถุ ตะกอนที่พัฒนามาทับถมกันนี้อาจมีตะกอนของสารประกอบซัลไฟด์ โดยเฉพาะไพไรต์รวมอยู่ด้วย ซึ่งปกติจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปชั้นของตะกอนก็จะเพิ่มความหนามากขึ้น (Pons and Kevie, 1969) ซึ่งการสะสมของไพไรต์จะได้รับอิทธิพลจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- สภาพน้ำขังขาดออกซิเจน (Anaerobic condition) เพื่อให้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบซัลไฟด์
- ต้องมีแหล่งของซัลเฟตที่มีให้อย่างเพียงพอ และต่อเนื่องในช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเกิดไพไรต์ โดยปกติในน้ำทะเลมีสารประกอบซัลเฟตอยู่มากมาย ทำให้ไม่เป็นอุปสรรคที่จำกัดการเกิดไพไรต์
- ต้องมีแร่เหล็กปรากฏอยู่ในตะกอนที่ทับถมอย่างเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับกำมะถันหรือซัลไฟด์เกิดเป็นไพไรต์ ซึ่งตะกอนของแร่ต่างๆ ของประเทศไทยจะมีเหล็กออกไซด์ (Iron oxide) เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาสำหรับการเกิดและสะสมไพไรต์
- ต้องมีปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่ายและเพียงพอ โดยได้มาจากส่วนของพืชจากป่าชายเลน เช่น แสม โกงกาง จาก เป็นต้น
- ต้องมีแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate reducing bacteria) ได้ อย่างเพียงพอซึ่งได้แก่พวก *Desulfotomaculum* sp. ซึ่งปกติมีการดำรงชีพอยู่อย่างอิสระในน้ำทะเลทั่วไป

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่เกิดขึ้นกับการสะสมไพไรต์ได้แก่ ปริมาณของสารคาร์บอเนตที่มีอยู่ในตะกอน กล่าวคือถ้ามีอิทธิพลของน้ำขึ้นและน้ำลงมาก จะทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอเนตออกไปในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) นอกจากนั้นการสูญเสียไบคาร์บอเนตมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดสภาพเป็นกรดอ่อนๆ ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดไพไรต์ ซึ่งไพไรต์ที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการเหล่านี้เรียกว่า “Secondary pyrite” โดยปริมาณของไพไรต์ที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่จะมีผลทำให้ดินเกิดเป็นดินเปรี้ยวจัด

ในกรณีดินเปรี้ยวจัด หรือดินที่มีซัลเฟตเป็นปริมาณมากเกิดมีน้ำขังอยู่เป็นเวลานานอาจเกิดไพไรต์ขึ้นอีก ถ้ามีความเหมาะสมดังได้กล่าวมาแล้ว เรียกไพไรต์ที่เกิดใหม่นี้ว่า “Tertiary pyrite” โดยจะไม่เกี่ยวข้องกับ Geogenetic process (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2520)

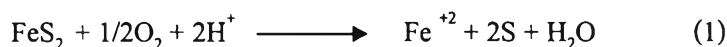
2) กระบวนการเกิดชั้นดินเปรี้ยวจัด หรือกระบวนการสร้างดินทางปฐพีวิทยา (Pedogenetic process) กระบวนการนี้จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของดินเปลี่ยนแปลงไปซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เป็นผลมาจากการที่น้ำไม่แช่ขังอยู่ในดินเป็นระยะเวลานาน ดินมีช่วงแห้งเกิดขึ้นเป็นบางช่วงในรอบปี การเปลี่ยนแปลงทางธรณีสัณฐาน เช่น การถอยร่นของฝั่งทะเล (Regression of shoreline) การมีตะกอนทับถมสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อน้ำดินมีการระบายที่ดีขึ้นประกอบกับการถ่ายเทหรือระบายอากาศในบางฤดูของปี ดินก็จะมีการเปลี่ยนแปลง (Ripening) ซึ่ง Pons and Van der Kevie (1969) ได้ใช้คำว่า “Ripening” สำหรับกระบวนการเกิดดินเปรี้ยวจัดในระยะนี้ประกอบด้วย 3 ประการ คือ

- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical ripening) เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความชื้นในดิน โดยการระเหยกลายเป็นไอ และการไหลของน้ำจากระดับผิวดินลงสู่ใต้ดินตามแรงดึงดูดของโลก กระบวนการนี้เริ่มขึ้นเมื่อน้ำใต้ดินถูกระบายออกไปหรือการแตกกระแหงของดินในฤดูแล้ง และการมีพืชพรรณขึ้นอยู่จะเป็นการเร่งให้ดินสูญเสียน้ำ

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical ripening) จะเริ่มต้นจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไพไรต์กรดกำมะถัน การสะท้อนความเป็นกรดโดยการดูดซับพวกเบส การแยกสลายตัวของแร่ต่างๆ และการเกิดสารประกอบอื่นๆ ที่เป็นตัวชี้บ่งบางชนิด เช่น จาโรไซต์ อลูไนต์ เกอไทต์ เฮมาไทต์ เป็นต้น

- การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (Bio-chemical ripening) จะเกิดขึ้นเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงด้านอื่นๆ กล่าวคือปฏิกิริยาทางเคมีจะทวีความรวดเร็วขึ้นอย่างมาก ถ้ามีพวกจุลินทรีย์เข้ามามีส่วนร่วมทำปฏิกิริยาคด้วย

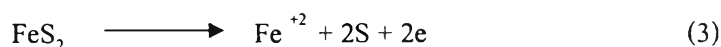
ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ จะเกิดขึ้นภายหลังจากการมีกระบวนการระบายน้ำไปจากบริเวณชั้นหน้าตัดดินของดินเปรี้ยวจัดแฝงเป็นระยะเวลาหลายสัปดาห์ ทำให้มีการถ่ายเทอากาศภายในหน้าตัดดิน โดยที่ไพไรต์จะมีความเสถียรเมื่อมีค่า Eh ต่ำ ซึ่งเป็นสภาพรีดักชันเท่านั้น และจะถูกออกซิไดส์ในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนในสภาพธรรมชาติ โดยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะเข้าทำปฏิกิริยากับไพไรต์ก่อนในตอนแรก ทำให้ได้เฟอร์รัสไอออน และธาตุซัลเฟอร์ ดังสมการ (1)



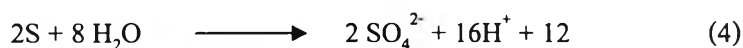
ขั้นต่อไปจะเกิดออกซิเดชันของธาตุซัลเฟอร์ โดยออกซิเจนเกิดเป็นซัลเฟตหรือกรดกำมะถัน ซึ่งยังเป็นปฏิกิริยาที่ช้าอยู่ ดังสมการ (2)



ในสมการที่ (1) และ (2) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีโดยเฉพาะไม่มีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพราะว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ใกล้เคียงกับความเป็นกลาง สภาพเช่นนี้ไม่เหมาะสมกับการดำรงชีพของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการเกิดกรด ต่อมาเมื่อดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง เนื่องจากแต่ละครั้งที่ไพไรต์ถูกออกซิไดส์จะมีกรดเกิดขึ้น จนเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงต่ำกว่า 3.0 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์ ก็สามารถเกิดขึ้นได้อีก ดังสมการ (3)

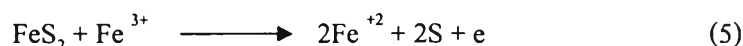


การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง สภาพทั่วไปที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์พวก *Thiobacillus thiooxidans* และ *Thiobacillus ferrooxidans* ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในดิน จะออกซิไดส์ซัลเฟอร์ และไพไรต์ให้กลายเป็นกรดกำมะถัน ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างรวดเร็วยิ่งกว่าปฏิกิริยาเคมีธรรมดา ซึ่งถ้าไม่มีกิจกรรมของจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไพไรต์จะเกิดขึ้นช้าและไม่รุนแรง การเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น ดังสมการ (4)



ที่ pH ต่ำและมี *Thiobacillus thiooxidans*

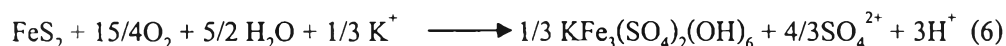
ก๊าซจำนวนมากเกิดขึ้นจากสมการนี้มีผลทำให้ความเป็นกรดของดินมีมากขึ้น และถ้า pH ลดต่ำลง จะทำให้ไพไรต์ถูกออกซิไดส์โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{+3}) ดังสมการ (5)



ที่ pH ต่ำมาก

กำมะถันที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดส์ต่อไป เป็นกรดกำมะถันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และในสภาพที่ดินเป็นกรดจัดนี้ *Thiobacillus ferrooxidans* สามารถที่จะออกซิไดส์เฟอร์รัสที่เกิดขึ้นให้เป็นเฟอร์ริก ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเฟอร์ริกจะทำหน้าที่เป็นตัว Electron acceptor ให้กับสมการที่มีผลทำให้ไพไรต์ถูกออกซิไดส์อยู่เรื่อยๆ

นอกเหนือไปจากปฏิกิริยาออกซิเดชันดังกล่าวข้างต้นแล้ว ไพไรต์ยังสามารถถูกออกซิไดส์ได้อีก ถ้าในสารละลายมีแคทไอออน เช่น K^+ Na^+ หรือ H_3O^+ ทำให้เกิด Basic iron sulfate หรือจาโรไซต์ (Jarosite) ดังกล่าว (6)



(Jarosite)

2.5.2.2 การแพร่กระจายของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดในประเทศไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกประมาณ 160 ล้านไร่ในพื้นที่นี้จัดเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาทางการเกษตรประมาณ 37 ล้านไร่ (Rimwanich and Suebsiri, 1994) จัดเป็นพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด และดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด (Potential acid sulfate soils) มีพื้นที่ทั้งหมด 9.4 ล้านไร่ คิดเป็น 12 % ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของโลก หรือคิดเป็น 22.4 % ของพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของทวีปเอเชีย (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) พื้นที่ดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่การทำนาถึง 95 %

ดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่แพร่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ บริเวณที่เป็นดินตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทย ประมาณ 4.8 ล้านไร่ ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัดที่ครอบคลุมพื้นที่หลายจังหวัด ได้แก่ จังหวัดปทุมธานี นครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา นครปฐม และสุพรรณบุรี เป็นต้น สำหรับพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดที่เหลื้จะพบอยู่ตามชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกและตะวันตกของภาคใต้ เช่น บริเวณจังหวัดสงขลา นครศรีธรรมราช ปัตตานี นราธิวาส เป็นต้น ทั้งนี้บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนใต้ บริเวณที่เป็นดินตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนน้ำทะเลชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของอ่าวไทยมีพื้นที่เป็นดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นประมาณ 4.7 ล้านไร่ และดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินเค็มชายฝั่งที่มีความเปรี้ยวแฝงประมาณ 0.1 ล้านไร่ ภาคตะวันออกมีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดประมาณ 0.94 ล้านไร่ ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นประมาณ 0.47 ล้านไร่ และเป็นดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินเค็มชายทะเลที่มีความเปรี้ยวแฝงประมาณ 0.47 ล้านไร่ สำหรับชายฝั่งทะเลภาคใต้พบว่ามีพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดประมาณ 2.4 ล้านไร่ ซึ่งเป็นดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้นประมาณ 0.12 ล้านไร่ และเป็นดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินเค็มชายทะเลที่มีความเปรี้ยวแฝงประมาณ 2.27 ล้านไร่ (ตารางที่ 2.2) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; Pons and Van der Kevie, 1969; Charoenchamatcheep et al., 1982)

จังหวัดนครนายก มีพื้นที่ในการทำนา 572,969 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 85 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของจังหวัด มีผลผลิตข้าวออกสู่ตลาดในปีพ.ศ. 2543 จำนวน 259,186 ตัน โดยได้ผลผลิตของข้าวเฉลี่ย 450 กิโลกรัม/ไร่ ในพื้นที่การปลูกข้าวของจังหวัดนครนายก มีพื้นที่ที่เป็นดินเปรี้ยว 554,061 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 76.83 ของพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของจังหวัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

2.5.2.3 การจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าว

กรมพัฒนาที่ดินได้แบ่งชั้นตามความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวออกเป็น 5 ชั้นความเหมาะสมคือ P-I ถึง P-V กล่าวคือ P-I เป็นดินที่เหมาะสมมากต่อการปลูกข้าว และความเหมาะสมจะลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึงชั้น P-V ซึ่งเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว การจำแนกพื้นที่ดินเปรี้ยวของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นความเหมาะสมคือ P-IIa ถึงชั้น P-IVa (a ที่ห้อยท้ายอยู่แสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ที่ดินเนื่องมาจากการเป็นกรด) (Kevie and Yemanas, 1972) ซึ่งการจำแนกสมรรถนะความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดในการปลูกข้าวแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1) P-IIa เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนา โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคบ้าง เนื้อดินเป็นดินเหนียว หน้าดินลึก การระบายน้ำเร็ว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ดินมี pH 4.5-5.5 จะ

พบจาโรไซต์ที่ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ผลผลิตข้าวที่ได้ประมาณ 192-352 กิโลกรัม/ไร่ โดยไม่ใส่ปุ๋ย (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2534) ทั้งนี้มีเนื้อที่ประมาณ 3,500,000 ไร่ ชุดดินที่จัดอยู่ในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินมหาโพธิ์ (Ma) ชุดดินอยุธยา (Ay) และชุดดินท่าขวาง (Tq)

2) P-IIIa เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว จะต้องมีการจัดการดินเป็นพิเศษเพื่อปลูกข้าว หน้าดินลึก การระบายน้ำเร็ว มีความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้น pH 4.0-4.5 จะพบจาโรไซต์ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตรจากผิวดิน ข้าวตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยต่ำ ผลผลิตข้าวที่ได้ประมาณ 144-256 กิโลกรัม/ไร่ โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยและปุ๋ย (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2534) ทั้งนี้มีเนื้อที่ประมาณ 1,437,500 ไร่ ชุดดินที่จัดอยู่ในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินเสนา (Se) ชุดดินรังสิต (Rs) ชุดดินธัญบุรี (Tan) และชุดดินคอนเมือง (Dm)

3) P-IVa เป็นดินที่ไม่เหมาะสมกับการทำนา เพราะดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากจนเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำมาก pH ของดินแห่งนี้มีค่าต่ำกว่า 4.0 จะพบจาโรไซต์ที่ระดับความลึกน้อยกว่า 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งยากต่อการปรับปรุงแก้ไข จะต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ บางพื้นที่ถูกปล่อยให้ว่างเปล่าโดยไม่มีการปลูกข้าว พื้นที่ส่วนใหญ่ให้ผลผลิตข้าวประมาณ 144 กิโลกรัม/ไร่ (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2534) ดินประเภทนี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 437,500 ไร่ ชุดดินที่จัดอยู่ในชั้นความเหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดดินองครักษ์ (Ok) ชุดดินชะอำ (Ca) และชุดดินรังสิตกรดจัด (Rsa)

ชุดดินรังสิตกรดจัด จัดอยู่ในกลุ่ม P-V ซึ่งอยู่ในกลุ่มดิน Sulfic Trophaequept; Very fine, Mixed, Acid, Isohyhyperthermic การแพร่กระจายของชุดดินรังสิตกรดจัดในประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 320,250 ไร่ พบในบริเวณภาคกลางตอนใต้เป็นส่วนใหญ่ ลักษณะเป็นดินเหนียว ลึกจัดมาก เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อยบนพื้นที่ราบน้ำทะเลเคยท่วมถึง สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงราบลุ่ม การระบายน้ำเร็ว ความลาดเทน้อยกว่า 1 % ลักษณะเนื้อดินสีเทาเข้มหรือสีดำ มีจุดประสีน้ำตาลและเหลือง ภายในช่วงความลึก 100 เซนติเมตร จากผิวดิน pH ของดินเป็นกรดรุนแรงมาก มีค่า pH ประมาณ 3.5-4.0 ลักษณะดินชั้นล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีเหลือง สีน้ำตาล สีแดง และสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบกำมะถัน ที่ช่วงความลึก 50-100 เซนติเมตร จากผิวดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดินชุดนี้อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

ตารางที่ 2.2 พื้นที่ดินเปรี้ยวจัดที่พบในภาคต่างๆ ของประเทศไทย (โครงการพัฒนาดินเปรี้ยวและดินเค็มภาคใต้ (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.)

ชนิดของดินเปรี้ยวจัด	ภาคกลาง ¹		ภาคตะวันออก ²		ภาคใต้ ³		รวมทั้งประเทศ	
	ไร่	% ของภาค	ไร่	% ของภาค	ไร่	% ของภาค	ไร่	% ของประเทศ
1. ดินเปรี้ยวจัดที่กำลังมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น	4,732,250.00	10.88	471,615.00	2.19	122,921.00	0.28	5.33	1.66
2. ดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดหรือดินเค็มชายฝั่งที่มีความเปรี้ยวแฝง	146,158.00	0.34	468,987.00	2.18	2,269,936.00	5.14	2,885,081.00	0.90
รวม	4,878,408.00	11.22	940,602.00	4.37	2,392,857.00	5.42	8,211,867.00	2.56

- หมายเหตุ 1 หมายถึง พบในจังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร นครนายก ปทุมธานี สระบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์
- 2 หมายถึง พบในจังหวัดปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด
- 3 หมายถึง พบในภาคใต้ทุกจังหวัด ยกเว้นจังหวัดยะลา

2.5.2.4 ปัญหาที่สำคัญบางประการของดินเปรี้ยวจัดในการปลูกข้าว

ปัญหาที่สำคัญบางประการที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ ความเป็นกรดจัดของดิน ความเป็นพิษของอลูมิเนียม เหล็กและแมงกานีสที่ละลายออกมามาก และการขาดธาตุฟอสฟอรัสเนื่องจากฟอสฟอรัสจะถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถดูดไปใช้ได้ ซึ่งจะตรึงฟอสเฟตในรูปของเหล็กฟอสเฟตและอลูมิเนียมฟอสเฟต (Higston et al., 1967) มีรายละเอียดของปัญหาดังนี้

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

สาเหตุที่ทำให้ดินกรดจัดไม่เหมาะสมต่อการปลูกโดยตรงคือ ทำให้รากพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดต่ำมากๆ (วิโรจน์ อัมพิทักษ์, 2531) และความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้บางธาตุมีการสลายตัวเพิ่มขึ้นจนเป็นพิษ

2) ความเป็นพิษของอลูมิเนียม

ดินที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 อลูมิเนียมที่ละลายได้มีปริมาณสูง ทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตในพืชที่ปลูก อาการเริ่มแรกจะเกิดกับระบบรากและใบ โดยรากจะแคระแกร็น มีสีน้ำตาล การเจริญเติบโตของรากแขนงถูกยับยั้ง ใบพืชจะเกิดที่ใบล่างก่อน มีจุดประสีส้มระหว่างเส้นใบต่อมาจุดประจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมีผลทำให้เกิดใบเหี่ยวและแห้งตาย (Bucholz and Foy, 1981) ระดับความรุนแรงของความเป็นพิษเนื่องจากอลูมิเนียมขึ้นกับปัจจัยทั้งจากความเข้มข้นในสารละลายดิน ระดับ pH และยังขึ้นกับปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับ ชนิดพันธุ์ข้าวอายุ และช่วงเวลาในการเจริญเติบโต Fegeria and Carvalho (1982) รายงานว่าความเป็นพิษของอลูมิเนียมมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว โดยจำกัดการดูดกินธาตุอาหารปริมาณอลูมิเนียมในพืชจะเพิ่มขึ้นตามระดับอลูมิเนียมในสารละลายดิน ความเป็นพิษจะมีเนื่องจากอลูมิเนียมขัดขวางการดูดกินธาตุอาหารพืชโดยตรง (Wallance and Anderson, 1984) และมีผลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในต้นพืช

3) ความเป็นพิษของเหล็ก

Anulandoo and Pheng (1981) รายงานว่าจากการศึกษาในสภาพดินนากรดจัดที่ไม่ใส่ปุ๋ย ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากได้รับเหล็กมากเกินไป โดยในดินกรดจัดที่มีการขังน้ำ จะมีเหล็กเฟอร์รัสซัลเฟต ถ้าสูงจนถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อข้าวได้ (Van Breeman and Moormann, 1978)

4) ความเป็นพิษของแมงกานีส

เนื่องจากความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำมีปริมาณสูงขึ้น จะพบในดินเปรี้ยวจัดที่มี pH ต่ำและเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง (Tanado and Yoshida, 1978) ไพบูลย์ ประพุดิธรรม และถัดดาวรรณ เพียรภัทร (2530) ศึกษาในดินกรดจัดพบว่าแมงกานีสที่ความเข้มข้นสูงกว่า 1,500 ppm มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตข้าวลดลง ข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษของแมงกานีสโดยชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระแกร็น แผ่นใบและกาบใบมีสีน้ำตาล

5) การขาดฟอสฟอรัส

ในดินกรดจัดจะมีการตรึงฟอสฟอรัสสูง เมื่อปลูกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส ลำต้นแคระแกร็น การแตกกอถูกจำกัด ให้ผลผลิตต่ำ (Yoshida, 1981) ในดินกรดจัดจะพบเหล็กและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูง ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตอย่างรุนแรงและทันที ทำให้เกิดสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady, 1990)

2.5.2.5 การจัดการดินเปรี้ยวจัดสำหรับปลูกข้าวหรือการทำนา

ข้อจำกัดที่สำคัญของดินเปรี้ยวจัดคือ ความเป็นกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัด ทำให้การปลูกข้าวไม่ได้ผล หรือผลผลิตต่ำ ควรมีการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวที่ปลูกดังนี้

1) การยับยั้งความเป็นกรดของดินเพิ่มขึ้น บริเวณที่มีน้ำชลประทาน ดินควรมีน้ำขังแช่ เพื่อไม่ให้หน้าดินแห้ง จะทำให้ดินเป็นกรดเพิ่มขึ้นควรปลูกข้าวอย่างน้อย 2 ครั้ง ในรอบปี

2) การล้างกรดออกจากดิน ทำให้ทั้งล้างด้วยน้ำฝนและน้ำชลประทาน ปล่อยให้หน้าดินแช่ในแปลงนานไม่น้อยกว่า 2 สัปดาห์ จะช่วยลดความเป็นกรดของดิน เสร็จแล้วจึงเตรียมดินปลูกข้าว แล้วค่อยๆ ระบายออกควรทำหลายๆ ครั้ง

3) การแก้ไขความเป็นกรดที่ได้ผลคือ การใช้ปูนต่างๆ เช่น ปูนขาว ปูนมาร์ล ปูนเปลือกหอยเผา หินปูนบด หรือหินปูนฝุ่น เป็นต้น ใส่ลงไปดินเพื่อไปทำปฏิกิริยาลดความเป็นกรดของดินและลดปริมาณสารพิษต่างๆ ให้น้อยลง อัตราที่ใช้อยู่ระหว่าง 2-4 ตัน/ไร่ ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเป็นกรดของดินและชนิดของปูน ใส่ครั้งหนึ่งจะมีผลอยู่ได้ประมาณ 5 ปี สำหรับวิธีการใส่นั้น ให้หว่านปูนให้ทั่วแปลงนา แล้วทำการไถแปรและปล่อยน้ำให้ขังแช่ประมาณ 10 วัน หลังจากนั้น ระบายน้ำออกเพื่อล้างสารพิษ แล้วค่อยขังน้ำใหม่เพื่อทำเทือกและรอปักดำ การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าว จำเป็นต้องมีการใช้ปุ๋ยช่วยและการปลูกพืชบำรุงดินสลับกับการปลูกข้าว โดยปลูกในช่วงฤดูแล้ง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542)

4) การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในดินกรดจัดบางพื้นที่ เพราะในดินกรดจัดของประเทศไทยจะขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง ในกรณีที่ความเป็นกรดไม่รุนแรงมากนัก การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจะช่วยความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544)