บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งธาตุอาหารในการปลูกข้าว

2.1.1 ธาตุอาหารที่ข้าวต้องการ

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักและเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้กับประเทศสูงถึง 114,895 ล้านบาท จากมูลค่าผลผลิตข้าวที่ขายได้ในปี พ.ศ. 2546 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) จึงควรให้ความสำคัญในการปลูกข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตสูงสุดได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุอาหารที่จะต้องมีความเพียงพอแก่พืช ดังนั้นการศึกษาถึงธาตุอาหารที่ข้าวต้องการจึงมีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าว

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชมี 16 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) กำมะถัน (S) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) และคลอรีน (Cl) นอกจากนี้ยังมีธาตุซิลิกอน (Si) เป็นธาตุที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตเฉพาะข้าว ข้าวฟ่าง ทานตะวัน ทำให้มีลำต้นแข็งแรง ทนทานต่อการหักล้ม งอ และการต้านทานโรคและแมลง ทำให้ข้าวให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

การจำแนกกลุ่มธาตุอาหารข้าวตามปริมาณความต้องการ มี 3 กลุ่มใหญ่ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) คือ

1) มหธาตุ (macronutrient elements) เป็นกลุ่มที่ต้องการในปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับจุลธาตุ ได้แก่ ธาตุไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน รวม 9 ธาตุ แต่ธาตุไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ข้าวไม่ได้รับธาตุอาหารนี้จากดิน แต่สามารถรับธาตุคาร์บอนและออกซิเจนได้จากอากาศโดยตรง โดยได้รับคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางปากใบ (stomata) ส่วนออกซิเจนได้รับในรูปก๊าซออกซิเจนทั้งทางปากใบและทางผิวของราก ไฮโดรเจนนั้นพืชได้จากไฮโดรเจนอะตอมที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำ เมื่อน้ำเข้าร่วมในการสังเคราะห์แสง ส่วนมหธาตุที่เหลืออีก 6 ธาตุ ได้มาจากดิน โดยสามารถแบ่งได้อีกเป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. กลุ่มธาตุอาหารหลัก เป็นกลุ่มธาตุอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก แต่ในสารละลายดินมักมีไม่เพียงพอ พืชจึงแสดงอาการขาดแคลนได้เสมอ ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น ในดินมีธาตุอาหารหลักในปริมาณน้อย หรืออาจมีมากแต่อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้

ไม่ได้หรืออยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลกัน จึงจำเป็นต้องใส่ชดเชยให้ในรูปของปุ๋ย ดังนั้นจึงเรียกธาตุอาหารหลักนี้ว่า ธาตุปุ๋ย เช่น ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินจะมีปริมาณน้อยมากและบางส่วนอยู่ในรูปของสารประกอบที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ทันที ต้องมีการสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปเสียก่อน ส่วนธาตุโพแทสเซียมในดินนาที่เป็นดินเหนียวจัดว่ามีปริมาณที่เพียงพอแก่ข้าว (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, ไม่ระบุปีที่พิมพ์)

ข. กลุ่มธาตุอาหารรอง ได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน กลุ่มธาตุอาหารรองนี้พืชต้องการในปริมาณที่รองลงมา ปกติในดินมักมีเพียงพอแล้วไม่ค่อยพบการขาดแคลนมากนัก เนื่องจากในวัตถุต้นกำเนิดดินมีในปริมาณที่มากพอ

แคลเซียมและแมกนีเซียม ในดินมีอยู่ในปริมาณมาก มักอยู่ในรูปหินและแร่ที่ง่ายต่อการสลายตัวซึ่งมีปริมาณมากพอต่อความต้องการของพืช ทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมพบได้ในพวกหินปูน หินอ่อน หรือแร่บางชนิด เช่น โดโลไมต์ ฮอร์นเบลน และเฟลด์สปาร์ เป็นต้น

กำมะถัน พบในรูปที่พืชใช้ได้ง่ายในปริมาณมากพอ เพราะกำมะถันในรูปอนินทรีย์คือ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) ไม่เปลี่ยนรูปไปเป็นรูปที่ละลายได้ยาก (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

2) จุลธาตุ (micronutrient elements) จุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม เป็นกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของพืชเท่ากับธาตุอื่นๆ จุลธาตุในดินมีอยู่ด้วยกัน 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน มักจะพบว่าความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล่านี้จะมีมากน้อยขึ้นกับสมบัติของดิน เช่น ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง เนื้อดิน การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศ หรือดินที่ปลูกพืชติดต่อเป็นเวลานาน แม้ว่าพืชจะใช้ธาตุเหล่านี้ในปริมาณที่น้อยก็ตาม แต่เมื่อปลูกพืชต่อเนื่องกันเป็นเวลานานพืชก็อาจขาดแคลน

3) ธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial mineral elements) หมายถึง ธาตุที่ช่วยกระตุ้น (stimulate) การเจริญเติบโตของพืช มิใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช แต่เป็นเพียงธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชบางชนิด ซึ่งธาตุเสริมประโยชน์เฉพาะข้าว ได้แก่ ซิลิกอน (Silicon) ที่มีผลด้านเสริมประโยชน์ต่อข้าวหลายประการ เช่น ช่วยให้ใบตั้งชัน (erectness) ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ป้องกันการล่วงล้ำของเชื้อโรคเข้าไปในรากและใบ และป้องกันความเป็นพิษของแมงกานีสหรือเหล็กหรือทั้งสองธาตุ

2.1.2 แหล่งธาตุอาหาร

ธาตุอาหารที่ข้าวต้องการในดินมีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุอาหาร และธาตุเสริมประโยชน์เฉพาะข้าว ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำของเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจน มาใช้ร่วมกับปุ๋ยยูเรียซึ่งเป็นแหล่งธาตุ

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไนโตรเจน และของเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์เป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน ในการปลูกข้าว ในที่นี้จึงเน้นอธิบายเฉพาะธาตุอาหารหลักที่ได้จากปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยยูเรีย และเถ้าลอยลิกไนต์ ที่เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแหล่งธาตุเสริมประโยชน์เฉพาะข้าว คือ ซิลิกอน

2.1.2.1 แหล่งธาตุไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก และมักจะพบการขาดธาตุไนโตรเจนในดินที่ปลูกพืชโดยทั่วไป เนื่องจากพืชมีความต้องการธาตุไนโตรเจนในปริมาณมาก และในดินมีในปริมาณที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นธาตุไนโตรเจนจึงจัดเป็นธาตุหนึ่งที่จำเป็นต้องใส่ลงไปในดิน

ต้นข้าวสามารถดึงดูดธาตุไนโตรเจนจากดินในรูปที่เป็นประโยชน์ คือ ในรูปของเกลือไนเตรท (NO_3^-) เกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) และในรูปของยูเรียหรือเอมีน ($R\text{-}NH_2$) แต่ในดินมักจะสูญเสียธาตุไนโตรเจนได้ง่ายเนื่องจากชะล้างบริเวณหน้าดิน และการระเหยสู่บรรยากาศในรูปของแก๊สต่างๆ เมื่อดินมีสภาพการถ่ายเทอากาศไม่ดีหรือมีความเป็นกรดเป็นด่างมากเกินไป ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินจึงมีความสัมพันธ์กับอินทรียวัตถุ จุลินทรีย์ดิน และสภาวะสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในดิน ทั้งนี้ต้นข้าวจะได้รับธาตุไนโตรเจนอย่างเพียงพอถ้ามีการจัดการดินที่ดี เช่น การเพิ่มธาตุไนโตรเจนโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยยูเรีย

1) ปุ๋ยหมักฟางข้าว เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของฟางข้าวมาหมักโดยการกองซ้อนกันบนพื้นดิน เศษฟางข้าวที่นำมาหมักนั้นจะผ่านกระบวนการย่อยสลายจนแปรสภาพไปจากรูปเดิมโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทนไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20:1 โดยเกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักฟางข้าวไว้ใช้เองจากฟางข้าวที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ ซึ่งในปี พ.ศ. 2547 ประเทศไทยปลูกข้าวได้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยปีละประมาณ 27 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) ทำให้ได้ส่วนของฟางข้าวสูงถึงปีละประมาณ 40.5 ล้านตัน (อัตราส่วนฟางข้าว: เมล็ด=1.5:1) ฟางข้าวมีองค์ประกอบเป็นธาตุไนโตรเจนอยู่ 0.59 เปอร์เซ็นต์ หากทำการกำจัดด้วยวิธีการเผาทิ้งจะเป็นการสูญเสียธาตุอาหารไนโตรเจนที่ต้นข้าวดูดจากดินไปโดยเปล่าประโยชน์ แต่วิธีการใส่ฟางสดจำนวนมากลงในดินต้นข้าวอาจได้รับอันตรายอย่างรุนแรงจาก N-immobilization และดินเกิดขาดออกซิเจน การหลีกเลี่ยงจากความเสียหายดังกล่าวสามารถทำได้โดยทำเป็นปุ๋ยหมักฟางข้าวเสียก่อนจะเป็นการใช้วัสดุอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Inoko, 1984)

ปุ๋ยหมักมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางตรงและทางอ้อมด้วยกันหลายประการ แต่ปัจจัยหลักคือ การเป็นแหล่งของสารประกอบฮิวมัสในดินซึ่งเป็นแหล่ง

ปลดปล่อยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของพืช ทำให้ดินสามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารพืชเป็นไปแบบครบวงจรแทนการเผาวัสดุเหลือทิ้งในไร่นา ซึ่งเป็นการทำลายอินทรียวัตถุและแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญของดิน เนื่องจากเมื่อพืชเจริญเติบโตจะมีการดูดธาตุอาหารไปใช้สร้างส่วนต่างๆ ของพืชทั้งใบ ลำต้น กิ่งก้าน ดอก และผล ในส่วนของผลผลิตจะเป็นการสูญเสียธาตุอาหารโดยการนำผลผลิตออกไปจากพื้นที่เพาะปลูก แต่ในส่วนของใบ ดอก กิ่ง เปลือก และลำต้น เราสามารถทดแทนหรือชดเชยคืนให้แก่ดิน โดยนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ในการทำปุ๋ยหมักแล้วใส่กลับคืนแก่ดินได้ (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2540) นอกจากนี้การศึกษาของ Araragi and Tangchum (1979) กล่าวว่า การใส่ฟางข้าวลงไปในนาทำให้จุลินทรีย์ในดินเพิ่มจำนวนขึ้น เป็นผลให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนให้ไปอยู่ในรูปแก๊สไนโตรเจนมากขึ้นและมีความต่อเนื่อง

ปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำจากฟางข้าว ดังนั้นจึงมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ข้าวจะใช้ในการเจริญเติบโตค่อนข้างครบถ้วน โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน เนื่องจากค่าวิเคราะห์ทางเคมีของฟางข้าวมีปริมาณไนโตรเจน 0.55 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยหมักที่ทำจากฟางข้าว 7 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 1.08 เปอร์เซ็นต์ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) นอกจากนี้การวิเคราะห์ปุ๋ยหมักฟางข้าว 3 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย 1.26 เปอร์เซ็นต์ (สมศักดิ์ วังใน, 2519)

Stevenson (1982) รายงานว่า ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนในดินจะอยู่ในส่วนประกอบของอินทรียสาร (organic form) ที่เหลือจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมซึ่งถูกดูดยึดไว้ในอนุภาคดินโดยผ่านการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ ลักษณะเช่นนี้ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับอินทรียวัตถุในดิน ประกอบกับอินทรียวัตถุในดินมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ จึงจัดเป็นแหล่งของไนโตรเจนที่สำคัญที่สุด เพราะไนโตรเจนไม่พบในวัตถุต้นกำเนิดดิน (วิศิษฐ์ โชลิตกุล และประพิศ แสงทอง, 2535) ดังนั้นปริมาณอินทรียวัตถุในดินจะบ่งชี้ถึงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนั้นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ponnamperuma (1984) ที่พบว่า การไถกลบฟางข้าวหรือใส่ปุ๋ยหมักติดต่อกันระยะยาวมีผลทำให้อินทรียวัตถุ ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้นจากที่มีการเผาฟางหรือเกี่ยวฟางออก โดยการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันระยะยาว (16 ฤดูกาลเพาะปลูก) ทำให้อินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น 2.19 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการไถกลบฟางข้าว เกี่ยวเอาฟางออก และการเผาฟาง ที่มีค่าอินทรียวัตถุ 2.17 1.81 และ 1.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นผลให้การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวเพิ่มไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงถึง 0.203 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการไถกลบฟางข้าว การเกี่ยวเอาฟางออก และการเผาฟางที่มีค่าไนโตรเจนทั้งหมด 0.192 0.167 และ 0.173 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้ง Inoko (1984) รายงานว่า

การใช้ปุ๋ยหมักติดต่อกันทำให้ปริมาณธาตุอาหารสะสมในดินและสลายตัวของธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น นอกจากการนี้ใช้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมี และการตรึงไนโตรเจนส่งเสริมให้ต้นข้าวดูดดึงไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีไปใช้ประโยชน์มากขึ้น ลดการสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจน และทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Vacharotayan and Takai, 1983; ประเสริฐ สองเมือง และคณะ, 2529)

2) ปุ๋ยยูเรีย (urea) หรือคาร์บาไมด์ (carbamide) สูตรทางเคมี คือ $CO(NH_2)_2$ เป็นปุ๋ยไนโตรเจนที่ไม่มีไอออนเป็นองค์ประกอบ (non-ionic nitrogen fertilizer) ยูเรียเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำง่ายและให้ผลตกค้างเป็นกรด มีไนโตรเจนประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูง ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบราคาของไนโตรเจนต่อหน่วยแล้ว ยูเรียเป็นปุ๋ยที่มีราคาถูกกว่าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยไนโตรเจนชนิดอื่นๆ ที่เป็นของแข็ง ยูเรียดูดความชื้นจากอากาศได้ดี แต่เมื่อได้เอาผลึกเคลือบผิวด้วยวัสดุเฉื่อยแล้วจะทำให้ยูเรียไม่จับเป็นก้อน ไม่ชื้นง่าย และมีคุณภาพเหมาะสำหรับการเก็บรักษาและการใช้ประโยชน์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เมื่อใส่ยูเรียลงในดิน ยูเรียจะไฮโดรไลส์เปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนตโดยเร็ว ปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วขึ้นถ้ามีเอนไซม์ยูริเอส (urease) ดังสมการ

$$NH_2.CO.NH_2 + 2H_2O \text{ ----------} \rightarrow (NH_4)_2CO_3$$

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและมีการถ่ายเทอากาศดี แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4-N) ในแอมโมเนียมคาร์บอเนต จะเปลี่ยนเป็นไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) ดังสมการ

$$(NH_4)_2CO_3 + 3O_2 \text{ ----------} \rightarrow 2HNO_2 + 3H_2O + CO_2$$

$$2HNO_2 + O_2 \text{ ----------} \rightarrow 2HNO_3$$

อิทธิพลของยูเรียเมื่อใส่ลงในดินระยะแรกจะมีผลทำให้ดินเป็นด่าง ต่อมาเมื่อแอมโมเนียมไอออนถูกออกซิไดส์ก็จะก่อให้เกิดผลตกค้างเป็นกรด อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนของยูเรียไปเป็นรูปแอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนจะใช้เวลาประมาณ 7-14 วัน และยูเรียอาจจะสูญหายโดยการชะละลายภายใน 3-4 วันหลังจากใส่ลงไปในดิน ปุ๋ยยูเรียมีการสูญเสียได้ง่ายโดยกระบวนการระเหยของแอมโมเนีย (NH_3 volatilization) ซึ่งการสูญเสียปุ๋ยยูเรียในรูปแอมโมเนียมในดินนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น ส่วนวิธีการใส่และระยะเวลาพบว่า การสูญเสียแอมโมเนียมจากปุ๋ยยูเรียสามารถลดลงโดยการใส่แบบคลุกเคล้าจมฝังลึกประมาณ 5 เซนติเมตร (Mikkelsen, De Datta and Obcemea, 1978) และการใส่ปุ๋ยตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าวส่งผลให้ปริมาณการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมแตกต่างกันไป โดยทั่วไปในการใส่ระยะรองพื้นจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนในระยะที่ข้าวกำลังเจริญเติบโต ตั้งแต่ระยะแตกกอสูงสุดไปจนถึงระยะสร้างรวงอ่อนจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นน้อยกว่าใน

ระยะแรกของการเจริญเติบโต ทั้งนี้เพราะระบบรากข้าวเจริญเต็มที่สามารถดูดไนโตรเจนได้อย่างรวดเร็วก่อนที่จะเกิดการสูญเสีย (สาคร ผ่องพันธ์, 2531)

ดินส่วนมากจะมีธาตุไนโตรเจนอยู่น้อย เพราะไนโตรเจนสูญหายไปจากดินได้ง่าย โดยขบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นและยังมีการสูญเสียไปเนื่องจากการเก็บเกี่ยวโดยติดไปกับส่วนที่เป็นเมล็ดและฟางในปริมาณมาก ซึ่ง Khan (1968) อ้างถึงใน สุดประสงค์ สุวรรณเลิศ (2535) รายงานว่าในเมล็ดข้าวมีธาตุไนโตรเจนติดมาด้วยมากกว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ดังนั้นปุ๋ยไนโตรเจนจะไม่มีผลตกค้างในดินไม่ว่าเป็นดินชนิดใดจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือทำให้ผลผลิตไม่ลดลง (สุจินต์และสมโภชน์, 2516 อ้างถึงใน สุดประสงค์ สุวรรณเลิศ ,2535)

2.1.2.2 แหล่งธาตุฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ในดินมีธาตุฟอสฟอรัสในปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช เนื่องจากเป็นธาตุที่ถูกตรึงหรือเปลี่ยนรูปได้ง่ายกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่อพืชลดลง ในดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม โดยทั่วไปพื้นที่ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.06 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนและโพแทสเซียมเป็น 0.14 และ 0.83 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยในฤดูเพาะปลูกพืชไร่หนึ่งฤดูปลูกมีการสูญเสียฟอสฟอรัสไปจากดินประมาณ 0.8-5 กิโลกรัมฟอสฟอรัสต่อไร่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

ฟอสฟอรัสในดินจะปรากฏในรูปของสารประกอบที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต หรือเมื่อมีการแตกตัวออกไป จะเรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ฟอสฟอรัสในสารละลายดินเป็นแอนไอออนของกรดออโธฟอสฟอริก (H_3PO_4) รูปของแอนไอออนจึงมีได้สามแบบขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลายดิน เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 6.8 รูปที่เป็นประโยชน์และมีอยู่มากคือ $H_2PO_4^-$ ซึ่งพืชดูดไปใช้ได้ง่ายที่สุด pH ระหว่าง 6.8-7.2 จะมีอยู่ในรูป HPO_4^{2-} มากซึ่งพืชดูดได้ช้ากว่ารูปแรก หาก pH สูงกว่า 7.2 จะมี PO_4^{3-} เป็นส่วนใหญ่ซึ่งพืชดูดใช้ได้ยาก เมื่อพืชดูดฟอสเฟตไอออนเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชแล้วจะไม่ผ่านกระบวนการรีดักชันเพื่อเปลี่ยนรูปเหมือนไนเตรทหรือซัลเฟต แต่คงอยู่ในรูปของฟอสเฟตเหมือนเดิมในสองสภาพคือ อนินทรีย์ฟอสเฟต (Pi) และองค์ประกอบในสารอินทรีย์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งพืชต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) เพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะวัฒนภาค (vegetative stage) เป็นไปตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักแห้ง) โดยการขาดฟอสฟอรัสของพืชมีผลกระทบต่อการเจริญพันธุ์อย่างมาก เช่น ออกดอกช้า จำนวนดอก ผล และเมล็ดน้อยลง การที่ใบเสื่อมตามอายุและร่วงหล่นเร็ว

กว่าปกติซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ (Barry and Miller, 1989 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

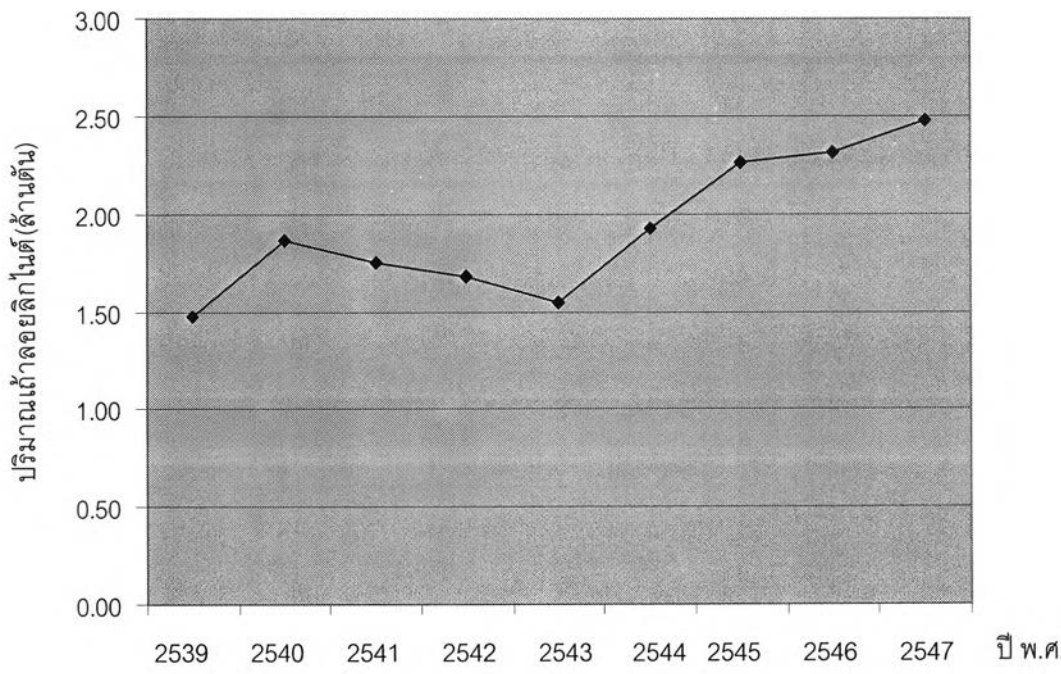
โดยแหล่งธาตุฟอสฟอรัสสามารถได้รับจากปุ๋ยหมักฟางข้าวและเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีองค์ประกอบของธาตุฟอสฟอรัส สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินได้

1) ปุ๋ยหมักฟางข้าว จากการที่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ข้าวต้องการ โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนดังที่กล่าวมาแล้ว ปุ๋ยหมักฟางข้าวยังเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัส เนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวทำมาจากฟางข้าวที่พบว่ามีค่าวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.13 เปอร์เซ็นต์ (Ponnamperuma, 1984) นอกจากนี้ค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของฟางข้าวพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.09 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว 7 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย 0.48 เปอร์เซ็นต์ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

ฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของอินทรียวัตถุในดินชั้นบน ดังนั้นการชะล้างหน้าดินหรือการเอาฟางออกไปจากพื้นที่จึงเป็นการสูญเสียฟอสฟอรัสที่สำคัญ การหมุนเวียนฟางข้าวจึงเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสในดินได้ทางหนึ่ง โดยการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2,000 กก./ไร่ ติดต่อกัน 12 ปี ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลให้ได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีขีดจำกัดในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ช้าอาจไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวในทันที ประกอบกับต้องใช้วัสดุปริมาณมากในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวในการเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

2) เถ้าลอยลิกไนต์ ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เมื่อเดินเครื่องเต็มที่จะใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประมาณวันละ 40,000 ตัน เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า การเผาถ่านหินลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะนี้ ได้กระทำที่อุณหภูมิประมาณ 900-1,000°C จะได้เถ้าลิกไนต์เป็นของที่เหลือจากการเผาถ่านหิน ส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กเรียกว่า เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) ซึ่งจะถูกดักจับไว้ด้วยเครื่องดักจับอนุภาคด้วยประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) และอาจมีจำนวนสูงสุดถึงประมาณวันละ 8,000 ตัน หรือคิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ อีกส่วนหนึ่งเกิดจากอนุภาคเล็กๆ ปะทะกันเอง หรือปะทะกับผนังเตา แล้วหลอมติดกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เรียกว่า Slag เมื่อน้ำหนักมากขึ้น Slag จะหล่นลงมาสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) ซึ่งในส่วนนี้อาจมีจำนวนสูงสุดประมาณวันละ 2,000 ตัน หรือคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) โดยเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุซึ่งถูกกำหนดให้เป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) และ

จัดเป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วในประเภทสารซึ่งถูกชะล้างได้ (Leachable Substances) ดังนั้น จึงนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate Extraction Procedure) เพื่อตรวจว่ามีปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษอยู่ในน้ำสกัดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในประกาศฯ หรือไม่ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษอยู่ในน้ำสกัดในปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก จึงไม่เข้าข่ายเป็นสารพิษที่ต้องกำจัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับดังกล่าว และสามารถนำเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะมาใช้งานได้โดยปลอดภัย (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) ประกอบกับปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เกิดขึ้นจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหินลิกไนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละปี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้ต้องมีแนวทางในการจัดการซึ่งการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากกิจกรรมทางการเกษตรมีความต่อเนื่องของการใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับการเกิดขึ้นของเถ้าลอยลิกไนต์



รูปที่ 2.1 ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2547 (หัวหน้าหมวดบัญชีธุรการ, 2549)

เถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบธาตุฟอสฟอรัส (P) ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักของข้าวในปริมาณ 600-2,500 ppm (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมพัฒนาที่ดิน, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544; U.S. EPA., 1988) ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence

พบว่า มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปริมาณที่มาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อเทียบกับปริมาณในดินที่ใช้เพาะปลูกทั่วไปซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.06 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543-2548 (หัวหน้าหมวดพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพ, 2549)

ออกไซด์ของธาตุ	ปริมาณที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละปี, %					
	2543	2544	2545	2546	2547	2548
P_2O_5	0.19	0.14	0.14	0.17	0.15	0.18
K_2O	2.87	2.93	2.98	2.86	2.80	2.64
SiO_2	40.14	39.07	37.44	39.13	36.93	35.35
CaO	12.40	13.30	17.06	17.66	16.25	18.99
MgO	2.27	2.41	2.58	2.67	2.56	2.78
Al_2O_3	21.36	21.85	21.04	21.81	20.82	19.38
Na_2O	1.27	1.29	1.27	1.08	1.00	1.08
SO_3	2.26	2.23	1.87	2.23	2.17	2.62
TiO_2	0.48	0.48	0.47	0.43	0.48	0.40
Fe_2O_3	13.68	13.92	15.14	11.87	14.69	15.45

2.1.2.3 แหล่งธาตุโพแทสเซียม

โพแทสเซียม เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่และหิน ซึ่งเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินหลายชนิด ในดินโดยทั่วไปจึงพบว่ามีธาตุโพแทสเซียมกระจายทั่วไปทั้งดินชั้นบนและดินชั้นล่างและพบในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โพแทสเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีพของพืช และอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุมูลของเกลือที่ละลายได้ ไม่เกิดการแปรสภาพเป็นสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ และเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ในพืช เช่นเดียวกับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุไนโตรเจน แต่จะพบว่าดินนาในประเทศไทยบางพื้นที่ที่องค์ประกอบของดินเป็นแร่ดินเหนียวประเภทอิลไลต์หรือมอนต์มอริลโลไนต์ ซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของโพแทสเซียมโดยอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ ซึ่งจะดูดซับโพแทสเซียมไว้และสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ดินเหล่านี้จึงมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียม จึงไม่จำเป็นต้องให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในดินนาเหล่านี้ ปุ๋ยที่ใช้จึงเป็นปุ๋ยสูตร 16-20-0 เป็นต้น ขณะที่ดินทราย ดินพรุ และดินที่มีแร่ดินเหนียวประเภทเคโอลิไนต์ จะมีความสามารถในการรักษาระดับ

โพแทสเซียมต่ำ ดังนั้นควรใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเป็นระยะๆ เพื่อเพิ่มระดับโพแทสเซียมในดินให้เพียงพอกับความต้องการของพืช (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

ความเป็นประโยชน์ของธาตุโพแทสเซียมขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ของดิน เช่น ลักษณะเนื้อดิน อนุภาคดินเหนียวที่เกี่ยวข้องกับการตรึงโพแทสเซียม กระบวนการชะล้างไปจากดิน และวิธีการและอัตราการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดินธาตุหนึ่ง เมื่อพืชขาดโพแทสเซียมขอบใบจะมีสีซีด (chlorosis) แล้วกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งไปในที่สุด อาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ ระหว่างเส้นใบจะมีจุดสีน้ำตาลแห้ง โพแทสเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ (mobile) ในพืช เพราะฉะนั้นลักษณะอาการขาดจะเกิดขึ้นที่ใบแก่ก่อนใบอ่อน พวกธัญพืชมักจะให้เมล็ดลีบและน้ำหนักเบาผิดปกติ นอกจากนั้นการขาดโพแทสเซียมยังทำให้พืชล้ม (lodging) ได้ง่าย เพราะพืชที่ขาดโพแทสเซียมจะมีลำต้นอ่อน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

โดยแหล่งธาตุโพแทสเซียมสามารถได้รับจากปุ๋ยหมักฟางข้าวและเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีองค์ประกอบของธาตุโพแทสเซียม สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดินได้

1) ปุ๋ยหมักฟางข้าว ความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุโพแทสเซียมจากปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ทำมาจากฟางข้าวพบว่า มีค่าวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 1.47-1.5 เปอร์เซ็นต์ (Ponnamperuma, 1984) นอกจากนี้ค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของฟางข้าวพบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 2.39 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว 7 ตัวอย่าง พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย 2.06 เปอร์เซ็นต์ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540)

ประเสริฐ สองเมือง (2543) พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2,000 กก./ไร่ ติดต่อกัน 12 ปี มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยหมักยังช่วยให้ดินดูดซับโพแทสเซียม (K^+) ได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวแล้วจะได้ฮิวมัส ซึ่งมีประจุลบที่เกิดขึ้นหลังจากการแยกตัว (dissociation) ของบางกรุ๊ปในอินทรียวัตถุ เช่น carboxylic group (-COOH) และ phenolic group (-OH) (ปรีดี ดีรักษา, 2537) อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีขีดจำกัดในการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ช้าอาจไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าวในทันที ประกอบกับต้องใช้วัสดุปริมาณมากในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวในการเป็นแหล่งธาตุโพแทสเซียมจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

2) เถ้าลอยลิกไนต์ องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุโพแทสเซียม (K) เนื่องจากมีโองค์ประกอบของธาตุโพแทสเซียมในปริมาณ 1,534-34,700 ppm (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมพัฒนาที่ดิน, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544; U.S. EPA., 1988) ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence พบว่า มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่มาก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เมื่อเทียบกับปริมาณในดินที่ใช้เพาะปลูกทั่วไปซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.83 เปอร์เซ็นต์

2.1.2.4 แหล่งธาตุเสริมประโยชน์

ธาตุเสริมประโยชน์เฉพาะข้าว ได้แก่ ซิลิกอน (silicon) ซึ่งมีผลด้านเสริมประโยชน์ต่อข้าวหลายประการ เช่น ช่วยให้ใบตั้งชัน (erectness) ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ป้องกันการล่วงล้ำของเชื้อโรคเข้าไปในรากและใบ ป้องกันความเป็นพิษของแมงกานีสหรือเหล็กหรือทั้งสองธาตุ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ช่วยให้ใบตั้งชัน แปลงที่มีข้าวค่อนข้างหนาแน่นหรือใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงใบพืชส่วนปลายมีแนวโน้มที่จะโค้งลงจึงบังแสงกันเอง เมื่อข้าวได้รับซิลิกอนอย่างเพียงพอก็จะเคลื่อนย้ายมาสะสมที่ผนังเซลล์ชั้นผิวนอกของใบ แผ่นใบก็จะแข็งและตั้งชันจึงรับแสงได้ดีขึ้น (Adatia and Besford, 1986 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

2) ลดการล้ม ข้าวที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงมักมีลำต้นอ่อนและล้มง่าย ซิลิกอนช่วยให้ลำต้นข้าวแข็งแรงขึ้นและล้มน้อยลง (Idris et al., 1975 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

3) ป้องกันการล่วงล้ำของเชื้อโรคเข้าไปในรากและใบ ความแข็งแรงของเซลล์ผิวนอกที่มีซิลิกอนสูงจะช่วยป้องกันมิให้เชื้อราสาเหตุของโรคพืชบางชนิดล่วงล้ำเข้าไปในเซลล์และแมลงก็กัดกินใบน้อยลง (Marschner, 1995 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

4) ป้องกันความเป็นพิษของแมงกานีสหรือเหล็ก ซิลิกอนช่วยให้พืชทนต่อแมงกานีสได้ดีขึ้น โดยซิลิกอนช่วยให้แมงกานีสกระจายในใบอย่างทั่วถึงไม่สะสมบริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป แต่ถ้าข้าวไม่ได้รับซิลิกอนจะพบแมงกานีสสะสมอยู่ในใบบางบริเวณมากจนเป็นพิษและเกิดจุดสีน้ำตาลหรือเนโครซิส (necrosis) (Horst and Marschner, 1978 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งซิลิกอนช่วยให้ข้าวทนอยู่ได้แม้สารละลายที่ใช้ปลูกจะมีแมงกานีสและเหล็กสูง โดยลดการสะสมแมงกานีสและเหล็กในส่วนเหนือดินและเพิ่มอำนาจการออกซิไดส์ (oxidizing power) ของราก กล่าวคือ ซิลิกอนช่วยเพิ่มปริมาตรและความแข็งแรงของแอเรงคิมา (aerenchyma,

คอร์เทกซ์ซึ่งมีช่องอากาศมาก) ทั้งในรากและส่วนเหนือดิน ออกซิเจนจึงเคลื่อนย้ายลงไปถึงราก สะดวกและออกซิไดส์แมงกานีสกับเหล็กมิให้เป็นอันตรายต่อราก

5) ซิลิกอนยังมีผลในด้านอื่นๆ อีก เช่น ช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตที่ถูกตรึงในดินไร่ ลดการคายน้ำผ่านผิวเคลือบคิวทินของใบข้าว และช่วยให้เมล็ดข้าวสาลีงอกดีขึ้นเมื่อสารละลายที่ใช้เพาะเมล็ดมีโซเดียมคลอไรด์มากกว่าปกติ (Marschner, 1995 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ของอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, ธวิโรจน์ ตันนุกิจ และกนกพร ชัยวุฒิกุล (2546) โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence พบว่า มีองค์ประกอบออกไซด์ของซิลิกอน (SiO_2) ปริมาณมากถึง 47.06 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การศึกษาองค์ประกอบเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2548 ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2546) ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2542 และหัวหน้าหมวดพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพ (2549) ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2548 พบว่า มีค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของซิลิกอนในปริมาณ 39.47 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณซิลิกอนออกไซด์ในเถ้าลอยลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2539-2548 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546 และหัวหน้าหมวดพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพ, 2549)

พ.ศ.	ปริมาณ SiO_2, %
2539	40.60
2540	41.50
2541	37.30
2542	47.20
2543	40.14
2544	39.07
2545	37.44
2546	39.13
2547	36.93
2548	35.35
เฉลี่ย	39.47

2.2 ดินปลูกข้าว

ดินปลูกข้าวจะแตกต่างจากดินปลูกพืชไร่ก็คือ ลักษณะของการที่มีน้ำขัง โดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ปลูกข้าวในโลกจะปลูกข้าวในสภาพน้ำขัง ซึ่งไม่เพียงต้องการให้น้ำแก่ข้าว แต่สภาพน้ำขังมีประโยชน์ต่อข้าวคือ ทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารที่ละลายในน้ำ ช่วยกำจัดวัชพืช ช่วยปรับอุณหภูมิไม่ให้ร้อนหรือเย็นเกินไป เป็นต้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543)

2.2.1 การจำแนกความเหมาะสมของดินปลูกข้าว

ดินที่ใช้ปลูกข้าวจะอยู่ในสภาพน้ำขังมีการเปลี่ยนแปลงเป็นวงจรคือ มีสภาพน้ำขังและสภาพดินแห้งสลับกับไป ดินที่เหมาะสมที่ใช้ปลูกข้าวโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นดินลึก เนื้อละเอียด น้ำซึมผ่านได้ช้า ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง มีปริมาณเกลือต่ำ และมีน้ำมากพอที่จะปลูกพืชได้ครั้งหนึ่งในช่วงหนึ่งปี (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ทั้งนี้กรมพัฒนาที่ดิน (2542) ได้แบ่งชั้นความเหมาะสมของดินที่ใช้ปลูกข้าวออกเป็น 5 ชั้น ดังนี้

ชั้นที่ 1 (P-I) เป็นชั้นที่มีความเหมาะสมดีมาก (Soil very well suited) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นดินลึก เนื้อละเอียด สภาพให้น้ำซึมผ่านได้ช้า พื้นที่ราบเรียบ ดินมีการระบายน้ำเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง มีปริมาณเกลือต่ำ ขังน้ำได้ดี มีน้ำมากพอที่จะปลูกข้าวได้อย่างน้อย 1 ครั้ง ในรอบปี ระดับการจัดการธรรมดา ข้าวให้ผลผลิตมากกว่า 50 ถังต่อไร่

ชั้นที่ 2 (P-II) เป็นชั้นที่มีความเหมาะสมดี (Soil well suited) มีข้อจำกัดบางประการสำหรับการปลูกข้าว เช่น เนื้อดินเป็นดินร่วนหรือดินเหนียวปนทราย สภาพให้น้ำซึมผ่านได้ค่อนข้างช้าถึงปานกลาง มีชั้นดินอัดตัวแน่นในช่วงความลึก 10-30 เซนติเมตร อาจจะได้รับความเสียหายจากการขาดน้ำแต่ไม่รุนแรงมากนักหรือมีน้ำมากเกินไป ระดับการจัดการธรรมดา ข้าวให้ผลผลิตประมาณ 35-50 ถังต่อไร่

ชั้นที่ 3 (P-III) เป็นชั้นที่มีความเหมาะสมปานกลาง (Soil moderately suited) มีข้อจำกัดบางประการสำหรับการปลูกข้าวและระดับความรุนแรงสูงกว่า P-II เช่น มีปริมาณก้อนกรวดปะปนอยู่ในเนื้อดินเล็กน้อยถึงปานกลาง มีหินโผล่บ้าง ปริมาณเกลือในระดับปานกลางหรือดินเป็นกรดจัด มีความเสียหายในเรื่องของการขาดน้ำหรือมีน้ำมากเกินไปสูงกว่า P-II ข้าวให้ผลผลิตประมาณ 20-35 ถังต่อไร่

ชั้นที่ 4 (P-IV) เป็นชั้นที่ไม่ค่อยมีความเหมาะสมหรือมีความเหมาะสมน้อยมาก (Soil poorly suited) เพราะข้อจำกัดมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นกว่า P-III เช่น เนื้อดินค่อนข้างเป็นทรายมีปริมาณก้อนกรวดและหินโผล่มากกว่า P-III ปริมาณเกลือสูง ความเป็นกรดรุนแรงถึงรุนแรงมากใน

ระดับความลึก 20-50 เซนติเมตร การขาดน้ำหรือมีน้ำท่วมขังรุนแรงมากกว่า P-III ผลผลิตข้าวประมาณ 15-20 ถังต่อไร่

ชั้นที่ 5 (P-V) เป็นชั้นที่ไม่ค่อยมีความเหมาะสมสำหรับปลูกข้าว (Soil unsuited) เนื่องจากมีข้อจำกัดมากและรุนแรงมากกว่า P-IV เช่น สภาพพื้นที่เป็นที่ดอนไม่สามารถเก็บกักน้ำได้ ปริมาณก้อนกรวดที่ปะปนในเนื้อดินมากกว่าร้อยละ 80 ในช่วงความลึก 0.2 เซนติเมตร มีหินโผล่ปกคลุมพื้นที่มากกว่าร้อยละ 25 ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการใช้ประโยชน์ มีปริมาณเกลือสูงมาก สภาพการนำไฟฟ้ามีค่า EC มากกว่า 10 mS/cm

2.2.2 ดินที่มีปัญหาในการปลูกข้าว

ดินที่มีปัญหา (Problem soils) หมายถึง ดินที่ปลูกพืชแล้วได้ผลผลิตต่ำ หรือไม่ได้ผลผลิตเลย ถึงแม้ว่าจะใส่ปุ๋ยอย่างเต็มที่ เนื่องจากดินมีสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์บางอย่าง ซึ่งเป็นผลเสียต่อพืชโดยทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม ปัจจุบันประชากรของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พื้นที่เพาะปลูกในโลกก็มีจำกัด ดังนั้นการปลูกข้าวจึงต้องขยายพื้นที่ไปยังดินที่ปัจจุบันไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก เพื่อที่จะให้การแก้ไขและปรับปรุงทำได้ถูกต้องเหมาะสม จึงควรต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับดินที่มีปัญหาต่างๆ ดินประเภทที่พบมากและรู้จักกันดี ได้แก่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ดินกรดจัดหรือเปรี้ยวจัด (Acid sulphate soils) เป็นดินที่มี pH ต่ำมาก โดยทั่วไปจะมี pH ต่ำกว่า 4 เนื่องจากกรดกำมะถัน ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชั่นของแร่ไพไรท์ เมื่อทำการขังน้ำเพื่อปลูกข้าวจะได้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรง ทำให้การละลายของเหล็ก แมงกานีส และอลูมินั่มสูงขึ้น จนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวและเกิดการขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง

2) ดินเค็มและดินโซดิก (Saline and sodic soils) ดินเค็ม คือ ดินที่มีปริมาณเกลือสูงจนมีผลเสียต่อพืช พืชที่ปลูกในดินเค็มนั้นพบว่า การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ใบมีสีเขียวจัด และพืชบางชนิดแสดงอาการของเกลือเป็นพิษ ปลายใบไหม้ และใบมีสีเหลืองซีด ส่วนดินโซดิก เป็นดินที่มีโซเดียมสูงมาก จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชที่จำเป็น ผลของความเค็มต่อข้าวพบว่า ข้าวเป็นพืชที่ทนความเค็มได้ปานกลาง แต่ไม่สามารถทนความเค็มได้ตลอดช่วงการเจริญเติบโต จึงมีผลทำให้ผลผลิตลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความเป็นด่างนั้น มีหลายปัจจัยทำให้ผลผลิตลดลง เช่น การขาดสังกะสี แคลเซียม และโพแทสเซียม เป็นต้น

3) ดินพีท (Peat soils) ดินพีทเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ และชั้นอินทรียวัตถุต้องมีความหนากว่า 50 เซนติเมตร ส่วนปัญหาที่พบในดินพีท เช่น การขาดธาตุอาหารต่างๆ การมีน้ำขัง การยุบตัวของพื้นที่ การสลายตัวอย่างรวดเร็วของอินทรียวัตถุ นอกจากนี้ยังพบว่าการปลูกข้าวในดินพีททำให้ข้าวมีเมล็ดลีบ

4) ดินที่ขาดสังกะสี (Zinc deficient soils) ดินจะมี pH มากกว่า 7 อยู่ในสภาพน้ำขังต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน มีอินทรียวัตถุสูง มีสังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่ำ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง และมีค่า Mg/Ca ratio มากกว่า 1 การขาดสังกะสีของข้าวมีผลทำให้เส้นกลางใบอ่อนโดยเฉพาะตรงฐาน ใบมีสีเหลืองซีด มีสีน้ำตาลเป็นจุดและเป็นเส้นที่ใบล่าง การเจริญเติบโตชะงัก ใบมีขนาดเล็กลง อาการผิดปกติที่มองเห็นจะเกิดขึ้นประมาณ 2-3 สัปดาห์หลังจากปักดำ แต่อาการมักหายไปเองประมาณ 6-8 สัปดาห์หลังจากขังน้ำ ในกรณีที่ขาดสังกะสีรุนแรงกล้าข้าวที่ปักดำอาจตายได้

5) ดินที่มีเหล็กเป็นพิษ (Iron toxic soils) ปริมาณเหล็กที่ละลายมากเกินไปในดินจะยับยั้งการเจริญเติบโตของข้าว ในกรณีรุนแรงจะเห็นจุดประสีม่วงหรือน้ำตาลแดง หรือบางครั้งมีสีเหลืองส้มเกิดขึ้นที่ปลายใบ (Bronzing) โดยจะเริ่มที่ใบแก่ก่อน ต่อมาใบจะแห้ง รากมีลักษณะไม่สมบูรณ์ สั้น หยาบ และมีสีน้ำตาลเข้ม และมีรากสีขาวเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย อาการจะเกิดขึ้นที่ระยะการเจริญเติบโตช่วงไหนก็ได้ แต่มักเกิดในช่วงแตกกอสูงสุด และช่อดอกโผล่ ผลสุดท้ายข้าวจะให้ผลผลิตต่ำและเมล็ดลีบ

6) ดินที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นพิษ (Hydrogen sulfide toxic soils) เกิดจากดินมีปริมาณเหล็กต่ำ จะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้น ทำให้รากเน่า รากของข้าวปกติมีสีน้ำตาลแดง แต่ในดินที่มีไฮโดรเจนซัลไฟด์รากข้าวจะมีสีดำหรือเทา

2.2.3 ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัด

ดินกรดจัดหรือดินเปรี้ยวจัด (acid sulphate soils) คือ ดินที่มีหรือกำลังมีหรือได้เคยมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดของดิน ซึ่งเป็นผลมาจากขบวนการสร้างดิน และปริมาณของกรดที่เกิดขึ้นนั้นมีมากพอที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน โดยทั่วไปจะมีจุดประสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบที่เรียกว่า จาโรไซท์ (jarosite) ในดินชั้นล่าง ดินนี้มี pH ต่ำมากจนก่อให้เกิดปัญหาและเป็นอุปสรรคต่อการปลูกพืช เป็นดินที่เกิดจากตะกอนของน้ำกร่อย (brackish water alluvium) และตะกอนน้ำทะเล (sea water alluvium) ซึ่งจะมีสารประกอบซัลไฟด์ในรูปของแร่ไพไรท์ สารนี้เมื่อถูกออกซิไดซ์จะให้สารประกอบสีเหลืองฟางข้าวที่เรียกว่า จาโรไซท์ (jarosite) ในชั้นหน้าตัดของดิน และมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น ดินจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก pH ของดินมีค่า 4.5 – 3.0 หรือต่ำกว่า เป็นผลทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540)

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหามากประเภทหนึ่งในการปลูกพืช เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก จึงมีผลกระทบต่างๆ สามารถแยกประเด็นสำคัญๆ ได้ดังนี้คือ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธนเศรษฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540)

2.2.3.1 ผลกระทบด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร

2.2.3.1.1 ความเป็นกรดของดิน (soil acidity)

ไฮโดรเจนไอออนที่มีความเข้มข้นสูงๆ อาจเป็นพิษต่อพืชได้ พบว่าเมื่อรากสัมผัสกับดินที่มี pH ต่ำเป็นเวลานาน การแตกแขนงของรากจะถูกยับยั้ง และในกรณีที่รุนแรงปลายรากจะตาย ความเป็นกรดของดินจะเป็นอันตรายต่อพืชโดยตรงเมื่อดินมี pH ต่ำกว่า 3.0

2.2.3.1.2 การที่มีธาตุอาหารบางชนิดละลายออกมามากจนเป็นพิษต่อพืช

1) ความเป็นพิษของธาตุอลูมินั่ม

อลูมินั่มเป็นธาตุที่พบมากในดินเปรี้ยวจัด เนื่องจากธาตุอลูมินั่มสามารถละลายได้เมื่อค่า pH ของดินน้อยกว่า 4.5 ซึ่งธาตุอลูมินั่มนี้แม้มีอยู่ในสารละลายดินเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้ โดยความเข้มข้นของอลูมินั่มในสารละลายดินหากมากกว่า 1 ppm จะกระทบต่อพืชโดยตรง ทำให้ผลผลิตลดลง โดยเริ่มแรกความเป็นพิษของอลูมินั่มจะทำลายระบบราก จำกัดการพัฒนาของราก รากจะสั้น อ้วนหรือบวมงอ มีขนอ่อนแตกออกมาน้อยมาก และอลูมินั่มที่สะสมในรากจะยับยั้งการดูดใช้และการเคลื่อนย้ายแคลเซียมและฟอสฟอรัสสู่ส่วนยอด ดังนั้นถึงแม้ในดินจะมีฟอสฟอรัสเพียงพอ แต่มีปริมาณความเข้มข้นของอลูมินั่มสูงก็จะเกิดการรวมตัวของฟอสฟอรัส เป็นอลูมินั่มฟอสเฟตตกตะกอน หรือถูกยึดเอาไว้ในดินอย่างแข็งแรง ทำให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสของพืชได้

2) ความเป็นพิษของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นธาตุอาหารพืชที่สามารถละลายได้ดีมากในดินที่มีระดับ pH ต่ำกว่า 5.5 โดยแมงกานีสในสารละลายดินจะอยู่ในรูปของ Mn^{2+} และในสภาพน้ำขังแมงกานีสในรูปของ Mn^{+} จะเปลี่ยนเป็น Mn^{2+} ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ Mn^{2+} ในสารละลายเพิ่มขึ้น และยังมีผลให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีค่าสูงขึ้นจนถึงขั้นเป็นพิษได้ แมงกานีสเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะ Mn^{2+} แต่ถ้ามีในปริมาณสูงจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชได้ โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 1–4 ppm ถ้าปริมาณต่ำหรือสูงกว่านี้จะเกิดอาการขาดหรือเป็นพิษตามลำดับ เมื่อ pH ต่ำกว่า 5.5 มักเกิดความเป็นพิษของแมงกานีสต่อพืช โดยเฉพาะในดินที่มีแร่แมงกานีสเป็นองค์ประกอบอยู่สูง ซึ่งความเข้มข้นของแมงกานีสในพืชระดับปกติอยู่ระหว่าง 40-120 ppm ขณะที่ความเข้มข้นที่สูงกว่า 180 ppm แสดงถึงการที่มีแมงกานีสในปริมาณมากผิดปกติ ลักษณะความเป็นพิษของแมงกานีสที่ปรากฏแก่พืช คือ จุดสีน้ำตาลเป็นรอยด่างที่ใบแก่ เนื่องจากการสะสมธาตุแมงกานีสเป็นแห่งๆ ทำให้การกระจายของ

คลอโรฟิลด์ไม่สม่ำเสมอ ขอบใบมีสีขาวซีด (chlorosis) พืชบางชนิดอาจมีสีขาวระหว่างเส้นแขนงใบ (vein) เมื่อพืชมีความเข้มข้นของแมงกานีสสูงสามารถชักนำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุเหล็กได้

3) ความเป็นพิษของธาตุเหล็ก

ธาตุเหล็กพบเป็นสารประกอบจำนวนมากในดินกรด เขตร้อนชื้น และมีสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับธาตุแมงกานีส กล่าวคือเหล็กจะเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อ pH ของดินสูงกว่า 6.0 และเมื่อ pH ของดินลดลงเหล็กสามารถละลายน้ำออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วง pH ต่ำกว่า 5.0 ความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายดินจะเพิ่มสูงมากกว่าช่วง pH ที่อยู่ระดับสูงกว่า 5.0 หลายเท่าตัว ดังนั้นในดินที่มีเหล็กที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ และที่ละลายได้อยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก อาจจะเป็นอันตรายแก่พืชที่ปลูกได้ ระดับความเป็นพิษของเหล็กต่อพืชนั้น สารละลายที่มีเหล็กมากกว่า 50 ppm จะทำให้ข้าวชะงักการแตกกอ และถ้าเหล็กมีความเข้มข้นสูงถึง 300–400 ppm ผลผลิตจะลดลง โดยข้าวจะแสดงอาการเป็นพิษ ลักษณะอาการเป็นพิษของเหล็กโดยทั่วไปคือ ใบล่างของพืชจะมีลักษณะเป็นจุดสีน้ำตาลแดงเล็กๆ ปรากฏอยู่ที่ปลายใบ แล้วจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ แล้วเหี่ยวแห้งตายไป (bronzed) ในข้าวบางพันธุ์ ใบจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม โดยเริ่มจากปลายใบและแห้งตาย มีผลทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโต แคระแกร็น ลดจำนวนการแตกกอ ใบแคบ ใบบนจะมีสีเขียวเข้ม ใบล่างจะมีสีน้ำตาลเข้มเป็นคลื่นๆ และตายในที่สุด รากมีน้อย และมีสีน้ำตาลดำ ข้าวจะให้ผลผลิตต่ำและมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง (สุรชัย หมื่นสังข์, 2537)

4) ความเป็นพิษจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า จะเกิดขึ้นมากในดินเปรี้ยวจัดที่อยู่ในสภาพน้ำแช่ขัง ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของดิน ทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์บางชนิดเพิ่มขึ้น ประกอบกับอินทรียวัตถุค่อนข้างสูง จึงยิ่งทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากขึ้น ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ละลายในน้ำของดินเปรี้ยวจัดจะยับยั้งการทำงานของรากพืช โดยในต้นข้าวที่ยังอ่อนอยู่จะได้รับผลกระทบมากกว่าต้นที่อายุมากและถ้าหากมีปริมาณมากจะทำให้รากพืชเน่า พืชตาย หรืออ่อนแอเกิดโรคง่าย

2.2.3.1.3 การขาดธาตุอาหารพืช

ดินเปรี้ยวจัด จะทำให้ธาตุอาหารพืชที่สำคัญถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ธาตุอาหารที่พบว่าขาดอยู่เสมอ ได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่ถูกตรึงมากที่สุดในดินเปรี้ยวจัด ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อดินเป็นกรดรุนแรง ปริมาณของเหล็กและอลูมินั่มจะ

ละลายออกมามากแล้วจะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสในดินเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลาย พืชไม่สามารถดูดนำไปใช้ประโยชน์ได้ ขบวนการนี้เรียกว่า การตรึงฟอสฟอรัสในดิน

2.2.3.1.4 กิจกรรมของจุลินทรีย์ไม่เป็นไปตามปกติ

ในสภาพดินเปรี้ยวจัดโดยปกติจะมีสารพิษเกิดขึ้นมากมาย ดังนั้น ขบวนการต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของพวกจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินจะถูกยับยั้งไม่ให้เป็นไปตามปกติเท่าที่ควร ได้แก่ ขบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) ขบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และไนโตรเจนฟิคเซชัน (nitrogen fixation) จะเกิดขึ้นน้อยมากในดินเปรี้ยวจัด

2.2.3.2 การจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าว

กรมพัฒนาที่ดินได้แบ่งชั้นความเหมาะสมของดินเพื่อการปลูกข้าวออกเป็น 5 ชั้นตามความเหมาะสม คือ P-I ถึง P-V โดย P-I เป็นดินที่เหมาะสมมากต่อการปลูกข้าวและลดลงตามลำดับจนกระทั่งถึง P-V ซึ่งเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกข้าว (หน้า 14-15) นอกจากนี้ Kevie and Yemanas (1972) ได้จำแนกดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวบริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทยออกเป็น 3 ชั้นความเหมาะสม คือ P-IIa P-IIIa และ P-IVa (a แสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ที่ดินเนื่องจากความเป็นกรด) ดังนี้

1) P-IIa เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนา โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคบ้าง เนื้อดินเป็นดินเหนียว หน้าดินลึก การระบายน้ำเลว มีอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ดินที่มี pH 4.5-5.5 พบจาโรไซท์ที่ระดับความลึกมากกว่า 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ผลผลิตข้าวประมาณ 192-352 กก./ไร่ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) โดยไม่ใส่ปุ๋ย มีเนื้อที่ประมาณ 3,500,000 ไร่ ชุดดินที่เหมาะสมนี้ได้แก่ ชุดดินมหาโพธิ์ (Ma) อยุธยา (Ay) และท่าขวาง (Tp)

2) P-IIIa เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว จะต้องมีการจัดการดินเป็นพิเศษเพื่อปลูกข้าว หน้าดินลึก การระบายน้ำเลว มีความเป็นกรดรุนแรงมากขึ้น ดินที่มี pH 4.0-4.5 พบจาโรไซต์ที่ระดับความลึก 50-100 เซนติเมตรจากผิวดิน ข้าวตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยต่ำ ผลผลิตข้าวได้ประมาณ 144-256 กก./ไร่ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) โดยไม่ใส่ปุ๋ย มีเนื้อที่ประมาณ 1,437,500 ไร่ ชุดดินที่เหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดเสนา (Se) รังสิต (Rs) ธัญบุรี (Tan) และดอนเมือง (Dm)

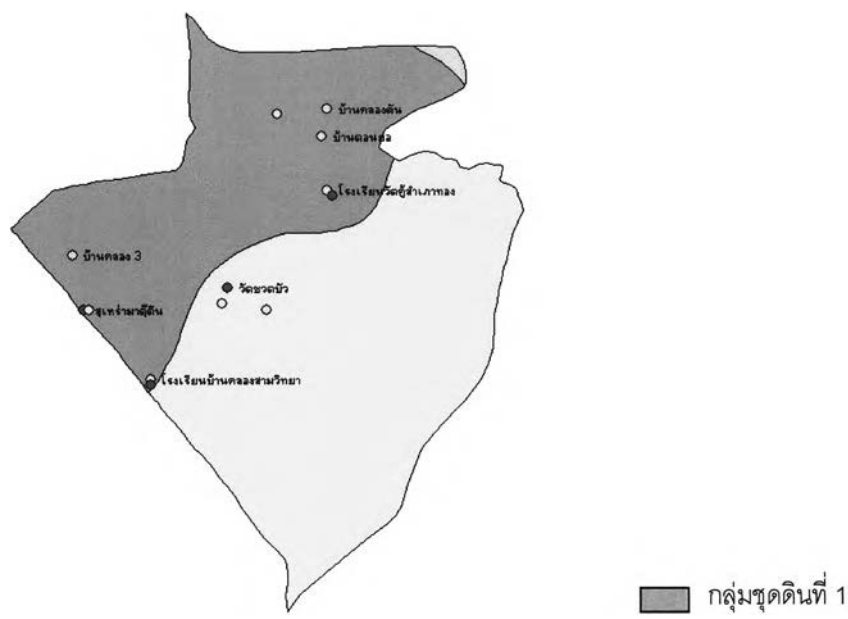
3) P-IVa เป็นดินที่ไม่เหมาะสมกับการทำนา เพราะดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากจนเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว ทำให้ผลผลิตต่ำมาก pH ของดินแห้งต่ำกว่า 4.0 พบจาโรไซท์ที่ระดับความลึกน้อยกว่า 50 เซนติเมตรจากผิวดิน ซึ่งต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ บางพื้นที่ถูกปล่อยให้ว่างเปล่า ผลผลิตข้าวได้ประมาณ 144 กก./ไร่ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) ดินประเภทนี้มีเนื้อที่ประมาณ 437,500 ไร่ ชุดดินที่ไม่เหมาะสมนี้ ได้แก่ ชุดองครักษ์ (Ok) รังสิตกรดจัด (Rsa) และชะอำ (Ca)

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3.3 ลักษณะโดยทั่วไปของชุดดินรังสิตกรดจัด

ลักษณะโดยทั่วไปของชุดดินรังสิตกรดจัด พบว่าจัดอยู่ในกลุ่มดิน Sulfic Tropaquepts; very fine coarse, mixed, acid, isohyperthermic (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) การแพร่กระจายของชุดดินรังสิตกรดจัดในประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 320,250 ไร่ พบในบริเวณภาคกลางตอนใต้เป็นส่วนใหญ่เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อยบนที่ราบลุ่มที่น้ำทะเลเคยท่วมถึง ลักษณะดินบนเป็นดินเหนียวสีดำหรือสีเทาเข้มมาก พบจุดประสีน้ำตาลและเหลืองตามรอยรากพืช ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทาหรือน้ำตาลเข้มปนเทา พบจุดประสีเหลือง สีน้ำตาล สีแดง และสีเหลืองฟางข้าวของสารประกอบกำมะถัน ภายในช่วงความลึกระหว่าง 50-100 เซนติเมตร จากผิวดิน ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัดมาก โดยอยู่ในช่วง 4.0-4.5 และมีรอยถูไถที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของดิน เมื่อมีการเปียกและแห้งสลับกัน ภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ดินชั้นล่างถัดไปลึกมากกว่า 150 เซนติเมตรจากผิวดิน มีเนื้อดินเป็นเลนเหนียวสีเทาเข้มหรือสีเทาปนเขียวของตะกอนน้ำทะเล มีศักยภาพที่จะก่อให้เกิดดินกรดกำมะถัน ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.5-6.0 ชั้นดินนี้เมื่อผึ่งลมให้แห้งจะแปรสภาพเป็นดินเปรี้ยวจัดกำมะถัน จัดอยู่ในชั้นสมรรถนะความเหมาะสมเพื่อการปลูกข้าว P-IVa และเป็นดินที่ไม่เหมาะสมกับการทำนา

ซึ่งพื้นที่ศึกษาทดลองในแปลงนาเกษตรกร ตำบลดอนยอ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก จัดอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 10 ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นดินชุดรังสิตกรดจัด



รูปที่ 2.2 แผนที่ดิน ต.ดอนยอ อ.เมือง จ.นครนายก จัดอยู่กลุ่มชุดดินที่ 10 ซึ่งเป็นดินชุดรังสิตกรดจัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

2.3 สมบัติของดินนา

การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินนาทั้งสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพย่อมส่งผลถึงการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก รวมไปถึงผลผลิตพืช ดังนั้นการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินจึงมีความสำคัญ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพิจารณาจัดการในการปลูกพืช เพื่อให้ได้ผลิตผลที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2.3.1 สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดินเป็นสมบัติที่มีผลโดยตรงและโดยอ้อมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ธาตุอาหารพืชในดิน เป็นต้น ซึ่งสมบัติทางเคมีในส่วนของธาตุอาหารพืชได้กล่าวในหัวข้อ 2.1

2.3.1.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

การขังน้ำทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินสูงขึ้น สำหรับดินทั่วๆ ไป หลังจากขังน้ำไปหลายๆ สัปดาห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 6.5-7.0 ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าว คือ การขังน้ำในดินกรดทำให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นเป็นผลดี คือ ทำให้ข้าวดูดธาตุอาหารดีขึ้น เพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสและแมงกานีส โดยในดินที่มีออกซิเจนฟอสเฟตจะอยู่รวมกับเหล็กในรูปของ strengite ($FePO_4.2H_2O$) ที่ไม่ละลาย ดังนั้นเมื่อดินมีน้ำขังสารประกอบเหล็กเหล่านี้จะถูกรีดิวซ์เป็น Fe^{2+} และทำให้ฟอสเฟตเป็นประโยชน์ได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดความเป็นพิษของเหล็กและอลูมินั่มอีกด้วย (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543)

2.3.1.2 อินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุ คือ สิ่งที่ได้จากการย่อยสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ เมื่อย่อยสลายต่อไปจนถึงขั้นสุดท้ายจะได้ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารที่เสถียร มีพื้นที่สัมผัสสูง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน จึงสามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้ดี อินทรียวัตถุในดิน ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ สารฮิวมิก (Humic Substances) ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลซับซ้อน จุลินทรีย์ย่อยสลายยากมาก และพวกที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (Non Humic Substances) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิปิด กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

อินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญต่อสมบัติทางเคมีของดิน ซึ่งบทบาทของอินทรียวัตถุมีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) เป็นตัวเชื่อมอนุภาคดิน มีการสร้างสารเชื่อมโดยจุลินทรีย์ ทำให้ดินเหนียวยึดเกาะกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งเม็ดดินเมื่อรวมกลุ่มกันเป็นจำนวนมากจะก่อให้เกิดโครงสร้างของดินที่สามารถดูดซับน้ำได้มาก ดินมีการซาบซึมน้ำและระบายอากาศได้ดี

2) อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถในการดูดซับประจุบวก (cations) สูง เนื่องจากอินทรียวัตถุมีประจุลบจำนวนมากที่ส่วนใหญ่เกิดจากการ dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะ Carboxylic Group และ Phenolic Group นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังมีประจุบวกบางส่วนทำให้สามารถดูดซับประจุลบ (anions) ได้ด้วย

3) อินทรียวัตถุเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญที่สุด จากการย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ถูกปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ในการย่อยสลายยังให้กรดคาร์บอนิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่ช่วยละลายสารประกอบของธาตุอาหารให้เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้ในการย่อยสลายยังได้สารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลต (Chelating Agent) สามารถรวมตัวกับประจุของจุลธาตุที่เป็นโลหะให้เป็นประโยชน์ต่อพืชด้วย

4) อินทรียวัตถุช่วยให้ดินมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี เนื่องจากการที่อินทรียวัตถุมีประจุลบจำนวนมากและมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง เป็นเหตุให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเท่านั้นถ้าดินมีปริมาณอินทรียวัตถุที่เหมาะสม

2.3.1.3 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า CEC หมายถึง ผลรวมของประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ นิยมบอกในรูปของ cmol(+)/kg ซึ่งมีค่าเท่ากับหน่วยเดิม meq/100 กรัมดิน โดยจะช่วยให้ธาตุอาหารพืชในดินส่วนใหญ่ซึ่งเป็นประจุบวกไม่ถูกชะล้างให้สูญหายไปจากดินได้ง่าย เนื่องจากประจุบวกจะดูดยึดธาตุอาหารไว้ที่ผิวของ Clay Micelle และเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากรากพืชสามารถดูดดึงธาตุอาหารได้โดยตรงจากผิวของ Clay Micelle โดยกระบวนการที่เรียกว่า Contact Exchange หากดินไม่มีอำนาจในการดูดยึดประจุบวกต่างๆ ธาตุอาหารที่มีประจุบวกจะสูญเสียจากดินไปโดยไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ปุ๋ยโพแทส ธาตุโพแทสเซียมที่มาจากปุ๋ยจะเข้าไปไล่ที่ประจุบวกเดิมที่มีอยู่ในดิน เช่น H^+ และ Ca^{2+} เป็นต้น ให้ออกไปและตัวมันเองเข้าแทนที่ โดยพืชไม่จำเป็นต้องใช้โพแทสเซียมที่มาจากปุ๋ยให้หมดไปในทันที แม้จะมีฝนตกชะดินอยู่บ่อยๆ โพแทสเซียมก็ไม่สูญหายไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.3.2 สมบัติทางกายภาพของดินนา

สมบัติทางกายภาพของดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกทั้งทางตรงและทางอ้อม ตั้งแต่การงอกของเมล็ดพืช การเจริญเติบโตตลอดทั้งวงจรชีวิตของพืช และการให้ผลผลิตพืช ซึ่งสมบัติที่ควบคุมสมบัติทางกายภาพเกือบทุกประการของดิน คือ เนื้อดิน (Soil Texture) และโครงสร้างดิน (Soil Structure) นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญทางการเกษตรที่เป็นผลต่อเนื่องจากสมบัติพื้นฐานทั้งสองประการ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ความพรุน (Porosity) ความชื้นภาคสนาม (Field Capacity) จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point) และปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Water) เป็นต้น ปกติแล้วในการวิเคราะห์ดินเพื่อการแก้ไขปรับปรุงบำรุงดินแก่เกษตรกรสำหรับนักวิชาการโดยทั่วไปจะวิเคราะห์เฉพาะเนื้อดินเท่านั้นเพื่อคาดคะเนความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและการถ่ายเทอากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

2.3.2.1 เนื้อดิน

เนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความเสถียรมาก (stable) ดินส่วนใหญ่โดยปกติจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อดินน้อยมากภายใต้สภาพการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรแม้ในระยะเวลานาน อิทธิพลของเนื้อดินไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตพืช แต่มีผลควบคุมสมบัติทางกายภาพอื่นๆ หลายประการ เช่น ความจุในการอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศ และการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นต้น

ในด้านปฐพีวิทยา เนื้อดินถูกจำแนกเป็นหลายประเภท โดยสิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดิน คือ สัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์ 3 กลุ่มขนาด คือ อนุภาคทราย (Sand) อนุภาคทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) โดยอนุภาคทรายเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ที่สุดในดิน อนุภาคทรายแป้งเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง และอนุภาคดินเหนียวเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน ซึ่งขนาดของอนุภาคในดินจะมีผลโดยตรงต่อจำนวนและขนาดของช่องว่างในดินที่ส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศในดิน หากอนุภาคของดินมีขนาดใหญ่พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่าน้อย ความสามารถในการดูดซับจึงน้อย อีกทั้งช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ทำให้ดูดซับน้ำด้วยแรงต่ำ ทำให้ดินนั้นระบายน้ำและอากาศได้ดี เนื่องจากดินมีช่องอากาศมากและมีความต่อเนื่องถึงกัน ในขณะที่อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่ามากจึงมีความสามารถในการดูดซับได้มาก นอกจากนี้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ทำให้ดูดยึดน้ำด้วยแรงสูง ทำให้ดินนั้นระบายน้ำและอากาศได้ไม่ดี ช่องว่างในดินส่วนมากจะมีน้ำขังอยู่ช่องว่างจึงไม่ต่อเนื่องถึงกันเนื่องจากมีน้ำขวางอยู่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

เมื่ออนุภาคทั้ง 3 กลุ่ม ผสมรวมกันเป็นมวลดินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทางด้านธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะภูมิอากาศ เป็นผลให้เกิดเนื้อดินหลายชนิด นักวิทยาศาสตร์จึงจัดเนื้อดินเป็นกลุ่มประเภท (textural class) ซึ่งมี 12 ประเภท แต่เนื่องจากการใช้งานดินเชิงปฏิบัติสำหรับเพาะปลูกโดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องทราบเนื้อดินที่แน่นอน ดังนั้นสำหรับการเกษตรอาจจำแนกประเภทเนื้อดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ดินเนื้อละเอียด (Fine-textured Soils) ซึ่งประกอบด้วย ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay) ดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) ดินร่วนเหนียว (Clay Loam) ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay Loam) ดินประเภทนี้มีช่องว่างขนาดเล็กระหว่างอนุภาค และมีปริมาตรรวมของช่องว่างมาก การไหลซึมน้ำจึงต่ำ ดินนี้จึงมักมีปัญหาน้ำท่วมขัง และการระบายอากาศไม่ดี รากพืชทั่วไปอาจประสบปัญหาขาดอากาศได้ นอกจากนี้ดินเนื้อละเอียดที่มีธรรมชาติเกาะกันเป็นก้อนทึบการไถพรวนจึงต้องใช้กำลังงานมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่าย ปัญหาอีกประการหนึ่งคือ มักเกิดแผ่นแข็งปิดผิว (Surface Crust) ทำให้เมล็ดพืชงอกได้ยาก อย่างไรก็ตามข้อดีของดินเนื้อละเอียดคือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง อนุภาคมีประจุลบ ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ทำให้ดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้มาก การชะล้างธาตุอาหารไปกับน้ำเลยเขตรากเกิดขึ้นน้อย หากมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินเนื้อละเอียด เช่น ส่งเสริมให้อนุภาคจับตัวกันเป็นเม็ด (Aggregate) โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือสารปรับปรุงดินต่างๆ ก็จะทำให้ดินมีสัดส่วนของช่องว่างขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น การไหลซึมน้ำของดินจะเร็วขึ้น การระบายอากาศและน้ำของดินก็ดีขึ้นด้วย

2) ดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured Soils) ประกอบด้วย ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) ดินทรายแป้ง (Silt) จะมีการระบายน้ำไม่เร็วมากจนก่อให้เกิดการชะล้างสูญเสียธาตุอาหารพืช แต่เร็วพอที่จะทำให้น้ำท่วมขัง มีปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Water) ค่อนข้างมาก พืชจึงสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำส่วนใหญ่ที่ดินอุ้มไว้ นอกจากนี้ดินยังมีความร่วนซุยและทำการไถพรวนได้ง่าย ดินเนื้อปานกลางจึงมีลักษณะเหมาะสมต่อการเพาะปลูก

3) ดินเนื้อหยาบ (Coarse-textured Soils) ประกอบด้วย ดินทราย (Sand) ดินทรายร่วน (Loamy sand) ดินร่วนทราย (Sandy Loam) ดินประเภทนี้จะมีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างอนุภาคจึงมีการไหลซึมน้ำดี ดังนั้น เกษตรกรที่เพาะปลูกในดินเนื้อหยาบ สามารถเตรียมดินได้ภายในเวลาไม่นานหลังฝนตก ดินมักไม่เกาะตัวเป็นก้อนทึบ การไถพรวนจึงไม่ต้องใช้แรงมาก สำหรับข้อเสียของดินเนื้อหยาบคือ การที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ และ

ประกอบด้วยช่องว่างระหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ จึงดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย ปุ๋ยที่ใส่สามารถถูกชะล้าง (Leaching) ด้วยน้ำให้ไหลลึกเลยเขตรากได้ง่าย

2.3.2.2 โครงสร้างดิน

โครงสร้างดิน หมายถึง การจับตัวเป็นเม็ดของอนุภาคเดี่ยวโดยกลไกธรรมชาติ เม็ดดินที่ได้อาจเรียกว่า หน่วยโครงสร้าง (Structural Unit) ซึ่งมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปดินที่มีการสร้างตัวมานาน มีพืชพรรณหนาแน่น มีกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น พืช สัตว์ และจุลินทรีย์มาก ถูกรบกวนจากการไถพรวนน้อย มักจะเป็นดินที่มีโครงสร้าง ซึ่งโครงสร้างดินมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีผลเกี่ยวเนื่องกับน้ำ อากาศ และการกระจายของรากที่แตกต่างกัน ซึ่งโครงสร้างดินมี 4 ประเภท (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนี้

1) โครงสร้างดินแบบก้อนกลม (Granular หรือ Crumb Structure) เมื่อเรียงตัวเป็นหน้าตัดดินจะเกิดช่องขนาดใหญ่ขึ้นระหว่างเม็ดดิน ช่วยทำให้หน้าตัดดินมีการระบายน้ำและอากาศ รวมทั้งการกระจายรากดี

2) โครงสร้างดินแบบก้อนเหลี่ยม (Blocky Structure) เมื่อเรียงตัวเป็นหน้าตัดดินจะมีสภาพให้น้ำและอากาศซึมได้ รวมทั้งการกระจายของรากอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

3) โครงสร้างแบบแผ่น (Platy Structure) มักพบในดินที่มีการอัดตัว (Compaction) โดยเครื่องจักรกลการเกษตร ลักษณะโครงสร้างคล้ายแผ่นเรียงตัวในแนวระนาบและมักจะซ้อมเหลื่อมเป็นชั้นๆ การเรียงตัวเช่นนี้จะขัดขวางการไหลซึมของน้ำและการระบายอากาศ รวมทั้งการกระจายของราก

4) โครงสร้างแบบแท่ง (Prism-Like Structure) โครงสร้างแบบแท่งหัวเหลี่ยม (Prismatic) มีสภาพให้น้ำซึมได้ปานกลาง ส่วนแบบแท่งหัวมน (Columnar) มีสภาพให้ซึมน้ำได้ค่อนข้างต่ำ

ดินในธรรมชาติไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างเสมอไป ดินหลายชนิดได้ชื่อว่าไร้โครงสร้าง (Structureless) ซึ่งอาจมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยว (Single Grain) ได้แก่ ดินเนื้อหยาบประเภทดินทราย (Sandy Soil) ในธรรมชาติอนุภาคทรายล้วนจับตัวกันน้อยมาก เนื่องจากขาดปัจจัยส่งเสริมการเชื่อมยึดด้วยสารเชื่อม (Cementing Agent) อนุภาคดินเหล่านี้จึงมีลักษณะร่วนเป็นอนุภาคเดี่ยว และมีสมบัติด้านสภาพซึมน้ำและอากาศดี

2) ลักษณะเป็นก้อนทึบ (Massive) ได้แก่ ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินนาที่ผ่านการทำเทือกหรือย่ำกวน (Puddle) มาใหม่ๆ หรือเนื้อดินปานกลางบางประเภท ดินเหล่านี้มีปัจจัยส่งเสริมให้อนุภาคดินเชื่อมยึดติดกัน แต่ไม่มีปัจจัยก่อให้เกิดการแตกแยกเป็นเม็ดๆ ทำให้อนุภาคยึดติดกันเป็นพืด มีผลทำให้ดินในหน้าตัดมีสภาพให้ซึมได้ต่ำ ลักษณะก้อนทึบนี้มักเกิดในดินชั้น C แต่สามารถเกิดในดินชั้น A ได้ ถ้ามีการทำเทือกเพื่อปลูกข้าว

2.3.2.3 ความหนาแน่นและความพรุนของดิน

ความหนาแน่นและความพรุนของดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่ได้รับอิทธิพลจากชนิดเนื้อดินและการเกิดเม็ดดินหรือการเกิดโครงสร้างดิน

ความหนาแน่นของสารใดๆ หมายถึงสัดส่วนระหว่างมวล (mass) ของสารนั้นกับปริมาตร (volume) ของสารนั้น ในกรณีของดินความหนาแน่นมี 2 ประเภท คือ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินแห้งในส่วนที่เป็นของแข็ง (Mass of Soil Solids) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรรวมของดิน (Total Volume of Soil) ซึ่งรวมถึงปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างในดินด้วย ความหนาแน่นรวมมีหน่วยเป็นหน่วยของมวลต่อหน่วยปริมาตร เช่น กรัม/ลบ.ซม., กก./ลบ.ม. เป็นต้น ดินโดยทั่วไปมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 1.0-1.6 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความหนาแน่นรวมของดินเป็นสมบัติที่เปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน แม้ดินชนิดเดียวกันก็มีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและการจัดการดินนั้นๆ โดยความหนาแน่นรวมของดินจะลดลงเมื่อปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุมีน้ำหนักเบาและช่วยให้ดินร่วนซุย สำหรับเนื้อดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ เพราะว่าดินเนื้อละเอียดมีปริมาณช่องว่างในดินมากกว่า ทำให้ปริมาตรทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความหนาแน่นรวมอาจใช้เป็นดัชนีอย่างหนึ่งของการอัดตัวของอนุภาคดินได้ ดินที่มีความหนาแน่นสูงมักมีการอัดตัวสูง ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากน้ำหนักของเครื่องมือที่ใช้ในการเกษตรและการเหยียบย่ำดินโดยมนุษย์และสัตว์ ในขณะที่ทำการเพาะปลูกทำให้การชอนไชของรากถูกจำกัด และการเพาะปลูกทำให้เม็ดดินบริเวณผิวดินปะทะโดยตรงกับหยดน้ำฝนมากขึ้นเป็นผลให้เม็ดดินแตกและดินแน่นทึบมากขึ้น

2) ความหนาแน่นอนุภาค (Particle Density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินแห้งในส่วนที่เป็นของแข็งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของส่วนที่เป็นอนุภาคดิน (Volume of Solid) ค่าความหนาแน่นอนุภาคถือว่าเป็นความหนาแน่นที่แท้จริงของดิน เนื่องจากส่วนที่เป็นของแข็งของดินประกอบด้วยอนุภาคต่างๆ มากมาย ดังนั้น ในการวัดความหนาแน่นของอนุภาคดินแต่ละชนิดจึงถือว่าเป็นค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของดินนั้นๆ ดินโดยทั่วไปจะมีค่าความหนาแน่นอนุภาคอยู่

ระหว่าง 2.6-2.7 กรัม/ลบ.ซม. (ความหนาแน่นของอนุภาคดินโดยทั่วไปเฉลี่ย = 2.65 กรัม/ลบ.ซม.) ความหนาแน่นของดินชนิดหนึ่งๆ มักจะมีค่าค่อนข้างคงที่ นอกจากนี้ความหนาแน่นอนุภาคสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เช่น ดินที่มีความหนาแน่นอนุภาคต่ำกว่า 2.0 กรัม/ลบ.ซม. ย่อมมีอินทรียวัตถุมากอาจเป็นดินอินทรีย์ ถ้าความหนาแน่นอนุภาคมีค่าประมาณ 2.0 กรัม/ลบ.ซม. หรือมากกว่า จะเป็นดินที่ใช้ในการเกษตรกรรมทั่วไป ซึ่งมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และถ้ามีความหนาแน่นอนุภาคมากกว่า 3.0 กรัม/ลบ.ซม. ดินนั้นประกอบด้วยแร่ที่มีความหนาแน่นสูง เช่น แร่เหล็กต่างๆ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นอนุภาคสามารถใช้ในการคำนวณความพรุนทั้งหมดของดินได้

ความพรุน (Porosity) ของดิน หมายถึง ส่วนที่เป็นช่องว่างของดิน ความพรุนของดินจะเป็นตัวช่วยในการพิจารณาการจัดการดินและน้ำในดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ความพรุนของดินมีหลายชนิด แต่ในที่นี้กล่าวเฉพาะความพรุนรวม (Total Porosity) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรดินทั้งหมด ความพรุนของดินมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน เป็นผลมาจากดินเนื้อหยาบจะมีความพรุนต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด เพราะดินเนื้อหยาบแม้จะมีช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า แต่ปริมาตรรวมของช่องว่างจะน้อยกว่าดินเนื้อละเอียดที่มีช่องว่างขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก

ดินที่มีเนื้อดินต่างกันจะมีสัดส่วนของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวต่างกัน อนุภาคเหล่านี้เมื่อเรียงตัวเป็นก้อนดินจะทำให้เกิดช่องขนาดต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย โดยช่องว่างในดินมีอยู่ 3 ขนาดคือ ช่องว่างขนาดใหญ่ (Macropores) ช่องว่างขนาดปานกลาง (Mesopores) และช่องว่างขนาดเล็ก (Micropores) โดยช่องว่างขนาดใหญ่เป็นช่องว่างที่มีขนาดรัศมีโตกว่า 100 ไมครอน ทำหน้าที่ระบายน้ำเมื่อดินได้รับน้ำในอัตราสูงจนเกิดสภาพน้ำท่วมขัง เมื่อสภาพดังกล่าวพ้นไปแล้วช่องขนาดใหญ่จะเป็นที่บรรจุและเป็นทางผ่านของอากาศในดิน เมื่อช่องขนาดใหญ่แห้งลงเนื่องจากการกระจายน้ำลงสู่ส่วนลึก ช่องขนาดปานกลางเป็นช่องที่มีขนาดรัศมี 50-100 ไมครอน ซึ่งยังมีน้ำขังเต็มอยู่ก็จะใช้ระบายน้ำลงสู่ส่วนลึกต่อไป หรือในกรณีที่ดินได้รับน้ำในปริมาณไม่เกิดสภาวะน้ำขัง ช่องขนาดปานกลางจะถูกใช้ระบายน้ำเช่นกัน ดังนั้นช่องขนาดใหญ่และขนาดปานกลางจะทำหน้าที่ระบายน้ำและระบายอากาศเมื่อน้ำกระจายตัวออกจากช่องเหล่านั้นหมดแล้ว ส่วนช่องขนาดเล็กจะมีการไหลของน้ำอย่างช้าๆ ดังนั้นช่องขนาดเล็กที่มีขนาดรัศมีต่ำกว่า 50 ไมครอน จึงเป็นช่องบรรจุน้ำไว้ให้พืชใช้ แต่พืชใช้น้ำจากช่องขนาดเล็กได้เพียงบางส่วน เนื่องจากน้ำที่บรรจุในช่องขนาดเล็กมากๆ จะได้รับแรงดึงดูดจากผนังของช่องจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ประโยชน์ได้ โดยขนาดช่องว่างที่บรรจุน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะมีรัศมีขนาด 0.2-10 ไมครอน ส่วนช่องว่างที่มีขนาดโตกว่า 10 ไมครอน ถือว่าเป็นช่องสำหรับการระบายน้ำ และช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

กว่า 0.2 ไมครอน ถ้ามีน้ำขังอยู่ถือว่าน้ำเหล่านั้นไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช การประเมินการกระจายขนาดของช่องว่างใช้วิธีแปลงผลจากกราฟการปลดปล่อยความชื้นของดิน (Moisture Release Curve) กราฟปลดปล่อยความชื้นของดินได้จากการนำดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) มาให้ได้รับความกดดันอากาศต่างๆ กัน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Pressure Plate Apparatus และ Pressure Membrane Apparatus

2.3.2.4. ความชื้นในดิน

ดินในสภาพสนามจะมีความชื้นอยู่เสมอไม่มากก็น้อย ความชื้นในดินอาจอยู่ในรูปไอน้ำในช่องอากาศในดิน หรืออาจอยู่ในรูปของน้ำซึ่งถูกดินดูดยึดไว้ แต่ส่วนใหญ่แล้วความชื้นในดินจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อพูดถึงความชื้นของดินจึงมักหมายถึง ความชื้นในรูปของเหลวซึ่งเรียกว่า น้ำในดิน

ส่วนค่าคงที่ความชื้นในดิน (Moisture Constant) เป็นค่าที่แสดงถึงพิกัดบน (Upper Limit) และพิกัดล่าง (Lower Limit) ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Moisture) ในดิน มีรายละเอียดดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

1) ความชื้นภาคสนาม (Field Capacity) หมายถึง ระดับของการดูดยึดน้ำของดินภาคสนาม เกิดขึ้นหลังจากที่ดินได้รับน้ำเต็มที่แล้วน้ำก็จะซึมลงสู่ดิน การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก จนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่งที่การเคลื่อนที่ของน้ำโดยแรงดึงดูดของโลกหมดไป ระดับของน้ำที่เหลืออยู่ในดินขณะนั้นก็คือ ความชื้นภาคสนาม ซึ่งจะเป็นน้ำส่วนที่ดูดยึดเป็นแผ่นบางๆ ตามผิวของอนุภาคดินและอยู่ในช่องว่างขนาดเล็ก ระดับความชื้นภาคสนามนี้ถือว่าเป็นจุดพิกัดบนของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Upper Limit of Plant Available Water Content) การหาระดับความชื้นภาคสนามโดยตรงนั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากไม่ทราบว่าการดูดยึดน้ำในระดับนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไร แต่อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองหาและพบว่าที่จุดนี้ดินจะดูดยึดน้ำไว้ด้วยแรงที่ใกล้เคียงกับ 0.33 บรรยากาศ ดังนั้น วิธีการหาระดับความชื้นภาคสนามจึงกระทำได้ในห้องปฏิบัติการ โดยการนำดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วให้ได้รับแรงดึงดูดน้ำที่ 0.33 บรรยากาศ จนกระทั่งเกิดการสมดุลคือ ไม่มีน้ำไหลออกมาจากดินอีกน้ำที่เหลืออยู่ในดินก็คือ ระดับความชื้นภาคสนาม

2) จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point) หมายถึง ระดับการดูดยึดน้ำของดินในขณะที่พืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรขึ้น เนื่องจากน้ำในดินจะมีการสูญเสียอยู่ตลอดเวลาโดยการระเหยหรือพืชดูดไปใช้ ปริมาณน้ำในดินจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดๆ หนึ่งที่พืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรไม่สามารถฟื้นคืนสภาพเดิมได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีน้อยมาก พืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ในอัตราที่ทัดเทียมกับการคายน้ำของพืช ที่จุดนี้ก็คือระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร ซึ่งถือว่าเป็นจุดพิกัดล่างของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Lower Limit of Plant Available Water

Content) การวัดหาระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวรนี้กระทำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรงคือการทดลองปลูกพืชในกระถางแล้วปล่อยให้พืชเจริญเติบโตสักระยะหนึ่ง โดยการรักษาระดับน้ำในดินให้อยู่ในระดับความชื้นภาคสนาม หลังจากนั้นจึงงดให้น้ำจนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวร ระดับน้ำที่เหลืออยู่ในดินขณะนั้นก็คือ ระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร วิธีการหาโดยตรงนี้ต้องใช้เวลานาน การหาโดยทางอ้อมได้จากการทดลองซึ่งพบว่า ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรดินจะดูดยึดน้ำไว้ด้วยแรงประมาณ 15 บรรยากาศ ดังนั้น วิธีการวัดหาระดับจุดเหี่ยวถาวรจะกระทำได้เช่นเดียวกับการหาระดับความชื้นภาคสนาม แต่ให้แรงดึงดูดน้ำเท่ากับ 15 บรรยากาศ

3) ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Water) เป็นระดับปริมาณน้ำในดินที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งเป็นสิ่งแสดงถึงปริมาณสูงสุดของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่ดินนั้นจะพึงมีได้ หาได้จากผลต่างระหว่างจุดพิกัดบน (ความชื้นภาคสนาม) และจุดพิกัดล่าง (จุดเหี่ยวถาวร)

2.3.3 ผลของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินนา

เถ้าลอยลิกไนต์ถูกนำมาใช้ในทางการเกษตร เนื่องจากเถ้าลอยมีศักยภาพที่จะปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินได้ นอกจากจะเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่พืชแล้วยังช่วยปรับปรุงเนื้อดินจากเนื้อดินที่มีลักษณะหยาบให้เนื้อดินมีความละเอียดมากขึ้น หรือจากเนื้อดินที่มีความละเอียดมากให้กลายเป็นเนื้อดินที่หยาบขึ้น การเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำให้แก่ดินที่มีเนื้อหยาบ สำหรับการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตรนั้น สามารถแยกพิจารณาผลที่เกิดจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ต่อดินได้ดังนี้

2.3.3.1 ผลต่อสมบัติทางเคมีของดินนา

เถ้าลอยลิกไนต์สามารถใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Soil Amendment) สำหรับพื้นที่เพาะปลูกทางการเกษตร เนื่องจากความสามารถในการให้ธาตุอาหารหลัก (Major Element) และอาหารรอง (Minor Element) เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ (วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530 อ้างถึงใน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536; Bredakis, 1966) รวมทั้งธาตุอาหารที่จำเป็น (Essential Element) อื่นๆ แก่พืชที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายได้ (Cope, 1961) ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบบางประการของถ่านหินถูกเปลี่ยนระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นการกองเถ้าลอยลิกไนต์ทิ้งไว้ก็จะทำให้เกิดการละลายหรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเพิ่มขึ้น (Central Electricity Generating Board, 1964) ซึ่งจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติม 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตัน/ไร่ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าว มีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเป็น 65 77.5 88.2 91.1 และ 92.2 ถัง/ไร่ ตามลำดับ และยังส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือก ได้แก่ จำนวนเมล็ด/รวง เพิ่มขึ้นจาก 108 109

118 130 และ 137 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่สำหรับน้ำหนักเมล็ดข้าว/รวงเฉลี่ย 1,000 เมล็ด จะอยู่ในช่วง 27-28 กรัม ซึ่งเป็นอัตราปกติ คือ ไม่พบความแตกต่างระหว่างการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติมต่างๆ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

เนื่องจากเถ้าลอยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงถึง 9-12 จึงทำให้มีการศึกษาถึงศักยภาพในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อแก้ไขความเป็นกรดของดิน เช่น การศึกษาของ Phung, Lund and Page (1978) ได้เปรียบเทียบความสามารถของการยกระดับ pH ของดินระหว่างการเติมเถ้าลอย (pH = 12.5) กับแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในดินเหนียวปนทรายแป้ง (pH = 4.1) ที่อัตราต่างๆ กัน พบว่า pH จะเพิ่มขึ้นในระดับที่เท่ากันได้ เมื่อเติมเถ้าลอยมากเป็น 5 เท่าของแคลเซียมคาร์บอเนต และอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, ธวิโรจน์ ตันนุกิจ และกนกพร ชัยวุฒิกุล (2546) ก็พบเช่นเดียวกันว่า เมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์ (pH = 10) เติมลงในดินเหนียว (pH = 5.87) และดินร่วน (pH = 5.00) จะต้องเติมเถ้าลอยถึง 14.2 และ 16 ตัน/ไร่ จึงจะสามารถยกระดับ pH ของดินให้ได้เท่ากับ 7.00 ในขณะที่มีการเติมปูนมาร์ล ($CaCO_3$) เพียง 0.9 ตัน/ไร่ เท่ากับว่าต้องเติมเถ้าลอยมากเป็น 15-18 เท่าของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้การศึกษาของ ฐิติยา อังสัจจะพงษ์ (2539) ที่ทำการใส่เถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปริมาณ 0 1.8 และ 3.6 ตัน/ไร่ ในชุดดินโคราชซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น และในการที่จะยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างจากเดิม (5.3) ไปอยู่ที่ระดับ 6.5-6.7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชต้องใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณ 1.8 ตัน/ไร่ หากใส่เถ้าลอยลิกไนต์ 3.6 ตัน/ไร่ จะยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างไปอยู่ที่ 7.3-7.5 ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ในรูปของปูนเพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความเป็นไปได้น้อย แต่อาจกล่าวได้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) เนื่องจากเมื่อคลุกเคล้าลงไปในดินจะทำปฏิกิริยาให้อนุภาคดินเชื่อมยึดกันเป็นเม็ดดินที่เสถียรได้ดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

2.3.3.2 ผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินนา

เถ้าลอยลิกไนต์สามารถปรับปรุงเนื้อดิน (Soil Texture) ให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้นได้ เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับทรายแป้ง (silt) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงสู่ดินในปริมาณมากๆ ในดินทรายและดินเหนียวสามารถปรับปรุงเนื้อดินจากดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) ให้เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) หรือดินร่วน (Loam) ในขณะที่เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินเหนียวความหนาแน่นรวมของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้น (Chang *et al.*, 1977) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ และเถ้าลอยยังช่วยลดความหนาแน่นรวมของดินและเพิ่มการระบายอากาศ (Chang *et al.*, 1977; Fail and Wochock, 1977)

ทั้งนี้การศึกษาของ Miller, Turk and Foth (1965) พบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างดินจากแปลงควบคุมและแปลงที่ถูกบำบัดด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ มีค่าเท่ากับ 1.56 กรัม/มิลลิลิตร และ 0.92 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

นอกจากนี้ความจุในการอุ้มน้ำของเถ้าลอยลิกไนต์ยังช่วยในการจัดการ และการซึมของน้ำในพื้นที่สำหรับการปรับปรุงดินสนามหญ้า เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีการดูดซึมน้ำได้รวดเร็วกว่า และน้ำที่ดูดซึมไปนั้นจะถูกปล่อยในช่วงเวลาแห้งแล้ง เพื่อรักษาสภาพการเจริญเติบโตของพืชได้ (Patterson, Henderlons and Adams, 1968; Patterson, 1969) โดยการเติมเถ้าลอยลงดินยังสามารถปรับปรุงความจุในการอุ้มน้ำของดินได้ โดยเฉพาะในดินทราย และยังทำให้ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นด้วย (Salter, Webb and Williams, 1971; Chang et al., 1977; Campbell et al., 1983; Aitken, Campbell and Bell, 1984) ทั้งนี้จากการศึกษาของ Miller, turk and Foth (1965) พบว่า ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Moisture Content) สำหรับแปลงควบคุมและแปลงที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ 800 ตัน/เอเคอร์ ขึ้นกับปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในบรรยากาศ โดยปริมาณฝนจะก่อให้เกิดการสะสมความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแปลงที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และก่อให้เกิดความเป็นประโยชน์ต่อเนื่องไปถึงในช่วงเวลาที่แห้งแล้งของฤดูร้อน ขณะที่ดินในแปลงควบคุมยังคงมีความชื้นน้อยจากช่วงฤดูฝน และในช่วงฤดูแล้งจะไม่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายสัปดาห์ เนื่องจากปริมาณความชื้นจริงของดินในแปลงควบคุมยังคงอยู่ใกล้เคียงกับจุดเหี่ยว (Wilting Point) เพราะน้ำฝนส่วนใหญ่ที่ตกอยู่บนพื้นที่ที่ทำการศึกษาไหลไปตามผิวดินมากกว่าการถูกดูดซับ

2.3.4 ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินนา

ปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเศษพืช หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น สีน้ำตาลปนดำ มีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ต่ำ (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2540) ปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติในด้านการปรับปรุงสมบัติของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ทำให้ดินโปร่ง เพิ่มความพรุนให้แก่ดิน เป็นผลให้การระบายน้ำ การระบายอากาศในดินดีขึ้น ช่วยให้ทำการไถพรวนได้สะดวกและประหยัดแรงงานได้มากอีกด้วย และช่วยในการอุ้มน้ำและดูดซับธาตุอาหารพืชของดินดีขึ้น นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังมีประโยชน์ในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืช ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ตลอดจนธาตุอาหารเสริมให้แก่ดิน ทำให้พืชและจุลินทรีย์ในดินเจริญเติบโตดีขึ้น และส่งเสริมกิจกรรมต่างๆ อีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติในแง่การปรับปรุงดินดังกล่าวมีในปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์เท่านั้นจะไม่มีในปุ๋ยเคมี ดังนั้นในปัจจุบันนักวิชาการเกษตรรวมทั้งเกษตรกรจำนวนมาก

ได้กลับมาให้ความสนใจที่จะใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืชอย่างกว้างขวาง ประกอบกับประเทศไทยต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศอันเป็นผลให้เกษตรกรต้องใช้จ่ายเงินเป็นค่าปุ๋ยเคมีในราคาที่ค่อนข้างสูง จากเหตุผลดังกล่าวแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรสามารถทำได้วิธีหนึ่งคือ การใช้ปุ๋ยหมักปรับปรุงบำรุงดิน เพราะเกษตรกรสามารถทำปุ๋ยหมักได้เอง โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งในไร่นา รวมทั้งมูลสัตว์ต่างๆ และหลังจากที่ขบวนการหมักได้เสร็จสิ้นแล้ว เกษตรกรก็สามารถนำเอาปุ๋ยหมักที่สลายตัวมาใช้ปรับปรุงบำรุงดินเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินทำให้คุณสมบัติของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและส่งผลให้เกษตรกรได้รับผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

เมื่อพิจารณาตามคุณสมบัติของปุ๋ยหมักซึ่งประกอบไปด้วยอินทรียวัตถุสามารถอธิบายผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ดังนี้

2.3.4.1 ผลต่อสมบัติทางเคมีของดินนา

ปุ๋ยหมักช่วยรักษาสมบัติความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงระดับสารเคมีหรือปฏิกิริยาทางเคมีในดิน (ช่วยเพิ่มความจุบัฟเฟอร์) โดยความจุบัฟเฟอร์ของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักลงไปในดิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์มากในสภาพดินหยาบเนื่องจากมีความจุบัฟเฟอร์ต่ำ สภาพบัฟเฟอร์จะช่วยต่อต้านความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความเค็ม ยากำจัดศัตรูพืช พิษจากโลหะหนักที่ใส่ลงไปในดิน ให้มีการเปลี่ยนแปลงในดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชซึ่งได้กล่าวแล้วในข้างต้น ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนธรรมชาติที่สำคัญที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของดินในส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบด้วยอินทรียวัตถุและอนินทรียวัตถุ ในส่วนของอนินทรียวัตถุคือ เศษของหินและแร่ ซึ่งมีธาตุอาหารอื่นเป็นองค์ประกอบหลายชนิด แต่หินและแร่ดังกล่าวมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณน้อย ดังนั้นธาตุไนโตรเจนส่วนใหญ่จึงได้มาจากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าอินทรียวัตถุเป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนธรรมชาติที่สำคัญที่สุดและไนโตรเจนในรูปอินทรียสารจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชนำไปใช้ได้โดยขบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินในรูปของแอมโมเนียม (NH_4-N) และไนเตรท (NO_3-N) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับธาตุอาหารพืชอื่นๆ ปุ๋ยหมักยังเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัส และธาตุกำมะถัน รวมถึงธาตุอื่นๆ อย่างครบถ้วน แม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ อยู่ในปุ๋ยหมักน้อยแต่การย่อยสลายตัวของอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักทำให้ธาตุอาหารดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป พืชจึงสามารถนำไปใช้ได้ตลอดระยะเวลาของการเจริญเติบโต (ปรีดี ดีรักษา, 2537) แต่ในดินที่เป็นกรดฟอสฟอรัสในดินมักจะถูกตรึงโดยเหล็กและอลูมินั่ม ถ้าดินนั้นมีอินทรียวัตถุสูง อินทรียวัตถุจะสลายตัวปล่อยสารต่างๆ เช่น citrates, tartrates, oxalates, lactases

ซึ่งจะรวมตัวกับเหล็กและอลูมินั่มได้เร็วกว่าฟอสฟอรัส เป็นผลให้มีเหล็กและอลูมินั่มฟอสเฟตซึ่งเป็นสารไม่ละลายน้ำน้อยลง ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น โดยการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดในข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด ชุดดินรังสิต พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวจะเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นข้าวและผลผลิตเมล็ดข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดได้รับสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่ได้รับปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวจะดูดดึงธาตุอาหาร N P K ขึ้นมาใช้ได้ในปริมาณที่สูงกว่าข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดที่ได้รับปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข, สุเทพ ทองแพ และปรีเนียม ทองแพ, 2535)

ประเสริฐ และคณะ (2531) ทำการทดลองในดินร่วนปนทราย (sand 47%, silt 40%, clay 13%) ผลจากการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกัน 12 ปี มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด โดยแปลงดินเดิมมีอินทรียวัตถุ 0.91 เปอร์เซ็นต์ แปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าว 2,000 กก./ไร่ อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นเป็น 1.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีอินทรียวัตถุเพียง 1.04 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว 2,000 กก./ไร่ มีอินทรียวัตถุในดินสูงที่สุดคือ 1.58 เปอร์เซ็นต์ โดยการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าจะช่วยเพิ่มส่วนของต้นข้าว หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวแล้วตอซังได้ปล่อยทิ้งไว้ในนาเป็นผลส่งเสริมให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับ Ponnamperuma (1984) ที่ได้รายงานไว้ว่าการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันระยะยาว (16 ฤดูกาลเพาะปลูก) ทำให้อินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือ 2.19 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับการไถกลบฟางข้าวซึ่งได้ 2.17 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าการเกี่ยวฟางออกและการเผาฟางมีค่า 1.81 และ 1.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ปุ๋ยหมักช่วยให้ดินมีความสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชได้สูง เนื่องจากปุ๋ยหมักเมื่อย่อยสลายแล้ว จะได้ฮิวมัสซึ่งมีประจุเป็นลบเช่นเดียวกับอนุภาคของดินเหนียว แต่ปริมาณประจุลบหรือความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของฮิวมัสมีค่าสูงกว่าอนุภาคดินเหนียวประมาณ 5-10 เท่า การใส่ปุ๋ยหมักจึงเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารพืชยึดเหนี่ยวธาตุอาหารไม่ให้ถูกน้ำชะล้างเพราะธาตุอาหารจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของดิน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ ไว้ได้เป็นอย่างดี ทำให้ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชเป็นไปได้ดียิ่งขึ้น

ปุ๋ยหมักนอกจากจะส่งเสริมสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินแล้วยังช่วยส่งเสริมสมบัติทางชีวภาพของดิน เช่น ลดปัญหาโรคพืช เนื่องจากเชื้อโรคพืชส่วนใหญ่ที่อยู่ในดินเป็นพวกที่ไม่ต้องการอากาศชอบอยู่ในบริเวณที่อับอากาศและชื้นแฉะ แต่อินทรียวัตถุจะทำให้ดินถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้นจึงเป็นทางหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณเชื้อโรคพืช นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดสร้างสาร antibiotic ได้ ซึ่งสารนี้จะช่วยทำลายเชื้อโรคบางชนิดในดินได้ด้วย

I 25201475

2.3.4.2 ผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินนา

ปุ๋ยหมักทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำ ทั้งนี้เนื่องจากฮิวมัสที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลเข้ม และมีขนาดอนุภาคละเอียด จึงสามารถคลุกเคล้ากับส่วนอื่นๆ ของดินได้ดีมาก โดยทั่วไปเมื่อดินมีสีดังกล่าวถือได้ว่าเป็นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง ยกเว้นดินที่มีธาตุแมงกานีสในปริมาณค่อนข้างสูง

ปุ๋ยหมักมีอิทธิพลต่อการเกิดเม็ดดิน (aggregation) อินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวทำให้เกิดสารเชื่อม (cementing agent) เช่น levans, dextrans และสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งพวก oxide ของเหล็กและอลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกซิลิค แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันให้เกิดเป็นเม็ดดินอันเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มช่องว่างในดิน ทำให้ดินเหนียวเกิดช่องว่างขนาดโตและเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในดินเหนียวหรือดินเนื้อละเอียดดีขึ้น และการอุ้มน้ำในดินทรายหรือดินเนื้อหยาบดีขึ้น ทำให้ดินสามารถเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรียวัตถุ นอกจากนี้อินทรียวัตถุช่วยป้องกันการระเหยน้ำในดินโดยปกคลุมบนผิวดินช่วยป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องถึงผิวดินโดยตรง ตลอดจนช่องว่างในดินชั้นบนที่เพิ่มขึ้น น้ำใต้ดินที่จะซึมผ่านช่องดังกล่าวมาด้านบนผิวดินได้ยาก จึงเป็นการลดการระเหยน้ำในดินอีกทางหนึ่ง ซึ่งการวิเคราะห์ค่าการจับตัวของเม็ดดินในการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันนาน 11 ปี ทำให้เม็ดดิน (aggregate) ขนาด 0.25 มม. มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านั้น มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ติดต่อกันทำให้ดินร่วนซุยดีขึ้น (ประเสริฐ สองเมือง และคณะ, 2531)

ในดินที่มีความหนาแน่นรวมสูงจะทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ช้า จำกัดบริเวณหาอาหารของรากพืช การไถพรวนทำได้ไม่สะดวก การระบายน้ำและอากาศไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นดานแข็งจากการไถพรวน (tillage pan) บางครั้งอาจมีความหนาแน่นรวมสูงถึง 2 กรัม/ลบ.ซม. อาจเกิดการอัดแน่นของอนุภาคดินซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเจริญเติบโตของรากพืช ดังนั้นการไถชั้นดานแข็งร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อาจลดความหนาแน่นรวมลงได้ถึง 1.4 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งถือว่าเป็นความหนาแน่นรวมปกติของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและทำให้การไถพรวนกระทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้อินทรียวัตถุจากปุ๋ยหมักยังช่วยลดการทำให้ดินแน่นโดยเม็ดฝน เนื่องจากอินทรียวัตถุที่ปกคลุมหรือคลุกเคล้าอยู่บริเวณผิวดิน ช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบกับดินโดยตรง ดินจึงไม่แน่นและน้ำฝนสามารถซึมลงไปในดินชั้นล่าง เป็นการลดการพังทลายของหน้าดิน โดยการศึกษาการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันทำให้ดินชั้นบน (0-5 ซม.) ซึ่งมี

เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวมีความหนาแน่นรวมลดลงอย่างเด่นชัด ($P<0.05$) โดยเฉพาะเมื่อใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตราสูง 1,000-2,000 กก./ไร่ (ประเสริฐ สองเมือง และคณะ, 2531)

ในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ถึงแม้ว่าปุ๋ยอินทรีย์จะมีส่วนช่วยในการปรับปรุงบำรุงดินในหลายๆ ด้าน แต่ก็ยังมีข้อเสียและอุปสรรคในการใช้อยู่บ้าง ได้แก่ มีปริมาณธาตุอาหารต่ำ ทำให้ต้องใส่ในปริมาณมาก สิ้นเปลืองแรงงาน ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูง ต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บรักษา คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์จากต่างแหล่งอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ในบางโอกาสหายากหรือหามาได้ไม่เพียงพอแก่ความต้องการ ซึ่งในบางครั้งอาจทำให้มีราคาแพงเกินไปไม่คุ้มค่ากับการนำมาใช้ ดังนั้นน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาปุ๋ยหมักที่ทำจากฟางข้าวที่มีอยู่แล้วมาใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เช่น ปุ๋ยยูเรียในการเป็นแหล่งไนโตรเจน เพื่อให้การทำปุ๋ยหมักฟางข้าวสะดวกยิ่งขึ้นเป็นการลดอุปสรรคดังที่ได้กล่าวมา

2.4 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

2.4.1 ลักษณะของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ปทุมธานี 1 หรือสายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 เป็นพันธุ์ข้าวหอมไม่ไวต่อช่วงแสง สามารถปลูกได้ตลอดปี เป็นข้าวที่ได้คัดเลือกจากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างสายพันธุ์ข้าวหอม BKNA6-18-3-2 สายพันธุ์แม่ และ PTT85061-86-3-2-1 เป็นสายพันธุ์พ่อ ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สายพันธุ์แม่และพ่อมีลักษณะความหอมที่ได้มาจากพันธุ์ กข 15 หรือ ขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์อายุเบา และข้าวดอกมะลิที่ชนะการประกวด เมื่อปี พ.ศ. 2525 จากการเริ่มดำเนินการผสมพันธุ์เมื่อ พ.ศ. 2533 ได้ปลูกคัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูล (pedigree method) จนถึงชั่วรุ่น (generation) ที่ 6 แล้วจึงนำไปปลูกศึกษาลักษณะพันธุ์ในปี พ.ศ. 2536 นำไปประเมินผลผลิตในงานเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีและระหว่างสถานี ระหว่างปี พ.ศ. 2537-2539 ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี และสถานีทดลองในเครือข่ายรวม 5 แห่ง ได้รับการพิจารณาเป็นข้าวสายพันธุ์ดี เมื่อนำไปทดสอบผลผลิตในนาราษฎร์ของภาคกลาง รวม 8 จังหวัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีเสถียรภาพการให้ผลผลิตสูงและให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงในสภาพแวดล้อมต่างกัน เช่นเดียวกับพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และสามารถตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับ 6 ถึง 12 กิโลกรัม (N) ต่อไร่ ในดินอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และประมาณ 18 กิโลกรัม (N) ต่อไร่ ในดินอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวหอมไม่ไวต่อช่วงแสงที่ปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง ซึ่งกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรองพันธุ์เป็นพันธุ์พืชรับรองที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง มีต้นค่อนข้างเตี้ยสูงประมาณ 104-113 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวมีขน ใบแก่ช้า กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวคอรวงสั้น เหมาะที่จะนำไปปลูกในสภาพนาชลประทาน มีอายุเก็บเกี่ยว 112-125 วัน (สถาบันวิจัย

ข้าว, 2547) เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ต้านทานต่อโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง และเพลี้ยกระโดดหลังขาวในระดับปานกลาง ต้านทานค่อนข้างสูงต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีสีฟาง ยาว 10.52 มิลลิเมตร กว้าง 2.47 มิลลิเมตร และหนา 1.95 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้องมีความยาวประมาณ 7.6 มิลลิเมตร กว้าง 2.17 มิลลิเมตร และหนา 1.72 มิลลิเมตร เมล็ดมีลักษณะเรียว ยาว ท้องไข่น้อย และคุณภาพการสีดี เช่นเดียวกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

คุณสมบัติทางเคมีหรือคุณภาพการหุงต้มของปทุมธานี 1 เมล็ดมีค่าอมิโลสต่ำ 15-18 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคงตัวของแป้งสุก 83-85 มิลลิเมตร การสลายตัวในด่าง 6.1-6.9 จัดเป็นข้าวหุงสุกง่าย เมื่อหุงสุกมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ข้าวสุกมีสีขาวนวล ผิวค่อนข้างมัน เป็นข้าวนุ่มค่อนข้างเหนียว เช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิ

การปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ควรเริ่มจากการใช้พันธุ์ข้าวพันธุ์แท้ที่มีความบริสุทธิ์และมีคุณภาพได้มาตรฐานของเมล็ดพันธุ์ การเตรียมดินก่อนปลูกควรกำจัดข้าวเรื้อก่อนหว่านข้าวพันธุ์ใหม่ อัตราการหว่านข้าวพันธุ์นี้ประมาณ 15 กก./ไร่ ในภาคกลางที่มีดินค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ไม่ควรใส่ปุ๋ยมากเกินไป โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยยูเรีย จะทำให้ต้นข้าวเฝือใบ อาจทำให้หนอนกอม้วนใบระบาดรุนแรงได้ นอกจากนั้นยังทำให้ต้นข้าวล้มง่าย ผลผลิตลดลง ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์ข้าวโดยทั่วไปคือ เมื่อใบธงที่อยู่ใกล้รวงข้าวเริ่มเหลืองแห้งจะเป็นเวลาพร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยว แต่สำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 นั้นใบธงแก่ช้าแม้รวงข้าวสุกแล้ว ใบธงยังมีสีเขียวดีอยู่ ถ้าเก็บเกี่ยวระยะใบธงเหลืองหรือเริ่มแห้งข้าวจะสุกงอมเมล็ดข้าวแห้งมากเกินไป เมื่อนำไปสีเมล็ดจะแตกหักง่าย ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมควรเริ่มจากการสังเกตข้าวที่เริ่มออกรวง โดยทั่วไปข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ถ้าปลูกแบบนาหว่านน้ำตมจะออกรวงหลังการหว่านประมาณ 80-85 วัน หรือถ้าแบบปักดำจะออกรวงหลังวันปักดำประมาณ 66-70 วัน (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2543; สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2546)

2.4.2 เนื้อที่เพาะปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่

ในปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2544 - 2545 จากการสำรวจของกรมส่งเสริมการเกษตร มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวปทุมธานี 1 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2546) ทั้งประเทศรวม 483,801 ไร่ ผลผลิตจำนวน 307,095 ตัน โดยพื้นที่เพาะปลูกข้าวปทุมธานี 1 แยกเป็นภาคเหนือจะมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดคือ 167,660 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 43.89 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวปทุมธานี 1 ทั้งประเทศ รองลงมาคือ ภาคกลาง ซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูก 107,690 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 22.26 ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พื้นที่ปลูก ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในแต่ละภาคของปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2544-2545 (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2546)

ภาค	พื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
กลาง	107,690	88,495	821.76
เหนือ	167,660	134,305	801.06
ตะวันออกเฉียงเหนือ	40,135	23,398	582.98
ตะวันออก	66,520	11,334	597.78
ตะวันตก	91,091	44,530	488.85
ใต้	10,705	5,033	470.15
รวม	483,801	307,095	634.75