บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ศักยภาพการเป็นแหล่งธาตุอาหารของเถ้าลอยลิกไนต์

การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องพิจารณาถึงลักษณะสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้

2.1.1 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบ

การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิงประมาณวันละ 30,000-45,000 ตัน/วัน ทำให้เกิดเถ้าลอยลิกไนต์ (lignite fly ash) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ถ่านหินในปริมาณ 6,000-9,000 ตัน/วัน คิดเป็น 75-78% ของเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้น (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544ข) เถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะเบาลอยฟุ้งไปในบรรยากาศระหว่างการเผาไหม้ถ่านหิน โดยถูกดักจับไว้ด้วยเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic precipitator) เพื่อแยกเถ้าลอยซึ่งมีขนาดเล็กและเบาออกจากก๊าซร้อนก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2.1.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

เถ้าลอยลิกไนต์โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นฝุ่นผงละเอียดคล้ายผงปูนซีเมนต์ มีสีเทาเทาดำ หรือน้ำตาล รูปร่างส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม (sub-round to round) อาจพบลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนเผา และชนิดของถ่านหิน รูปร่างของเถ้าลอยเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของอนุภาค โดยเมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (scanning electron microscope) ส่องดูจะพบว่า อนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์เป็นทรงกลมเหมือนลูกบอล ใหญ่บ้าง เล็กบ้าง ซึ่งอาจตัน หรือกลวง โดยลักษณะทรงกลมซึ่งภายในกลวง เรียกว่าเถ้าลอยกลวง (cenospheres) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ไมครอนจนถึง 150 ไมครอน นอกจากนี้เถ้าลอยลิกไนต์ยังมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่ง มีส่วนประกอบหลักเป็นอันยรูปของซิลิกาและอลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสกับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติสามารถทำปฏิกิริยาเคมี

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [Ca $(OH)_2$] เกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (cementitious) โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และขบวนการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยลิกไนต์จึงขึ้นอยู่กับขบวนการเผาถ่านหิน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544ข; การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545) ทั้งนี้คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2535-2536 นั้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2537)

ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	ปี พ.ศ.	
	2535	2536
ความถ่วงจำเพาะ	1.99	2.51
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/kg)	270.6	295.7
สารที่หายไประหว่างการเผาไหม้ (%)	0.64	0.69
ความหนาแน่น (kg/m^3)	1261.2	1268.1

2.1.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

เถ้าลอยลิกไนต์มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 8-12 จึงมีคุณสมบัติเป็นด่าง โดยองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญและจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S) ในปริมาณ 600-2,500 ppm 1,534-34,700 ppm 5,400-177,100 ppm 4,900-50,800 ppm และ 0.11-0.25 ppm ตามลำดับ อีกทั้งยังมีปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชปะปนอยู่มาก คือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และซิลิกอน (Si) ในปริมาณ 7,800-289,000 ppm 31-4,400 ppm 30-3,020 ppm 14-13,000 ppm และ 196,000-271,000 ppm ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA, 1988) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2544 นั้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

นอกจากนี้เถ้าลอยลิกไนต์อาจปนเปื้อนด้วยธาตุพิษ 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 ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA, 1988) ซึ่งธาตุพิษเหล่านี้มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับความเป็นกรดเป็นด่าง ในลักษณะที่ความเป็นกรดของ

สภาพแวดล้อมที่มีธาตุพิษ เช่น ดิน น้ำ จะส่งเสริมให้ธาตุพิษมีรูปทางเคมีที่พืชดูดดึงไปสู่ส่วนต่างๆ ของพืชได้มากขึ้น (Siriratpiriya et al., 1985) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านธรณีวิทยาและด้านภูมิศาสตร์ที่สัมพันธ์กับการเกิดถ่านหินเป็นหลัก รวมทั้งขบวนการเผาและอุณหภูมิที่ใช้เผา

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตั้งแต่ พ.ศ. 2533-2544 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545)

ปี พ.ศ.	องค์ประกอบทางเคมี (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	loss on ignition
2533	37.8	20.5	1.2	17.4	3.3	0.9	2.1	3.9	0.8
2534	42.8	2.3	14.0	10.5	2.4	0.8	2.3	3.9	0.7
2535	40.3	24	15.0	11.2	2.8	1.0	2.6	3.1	0.5
2536	43.1	20.2	13.2	13.0	2.7	1.3	2.4	2.6	0.6
2537	52.8	18.0	8.5	13.3	1.4	0.9	2.0	2.8	0.3
2538	40.6	22.8	12.8	14.4	2.5	0.7	2.0	2.8	0.9
2539	40.6	23.6	13.0	13.0	2.5	1.2	3.0	2.4	0.7
2540	41.5	28.1	12.3	10.0	1.2	0.6	3.3	2.0	0.8
2541	37.3	22.1	14.4	11.4	2.7	1.1	2.7	2.5	0.1
2542	47.2	22.1	9.1	9.4	3.3	1.7	1.3	2.5	0.1
2543	38.9	22.8	13.4	15.2	2.3	0.8	3.0	2.5	0.1
2544	39.9	18.2	13.6	17.2	2.4	1.3	2.7	1.5	0.1

2.1.2 การใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร

เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน มีลักษณะสมบัติทางเคมีที่ประกอบไปด้วย ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองของพืชเป็นจำนวนมาก จึงน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ดังนี้

2.1.2.1 ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหาร

เนื่องจากสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองของพืชเป็นจำนวนมาก จึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารและเพิ่มผลผลิตแก่พืชได้

โดยเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในการปรับปรุงดินพบว่า ช่วยให้ฟอสฟอรัสในดินมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นจากการไล่ที่ด้วยซิลิกอน รวมทั้งช่วยเพิ่มปริมาณโพแทสเซียม เหล็กและโบรอนในดิน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544ก) ในขณะเดียวกันเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะข้าวงอก ระยะข้าวแตกกอ และที่ระยะข้าวออกรวงร่วมกับการเติมปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว รวมทั้งคุณภาพข้าวสาร ได้แก่ ปริมาณอมิโลส (amylose) ค่าคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) และค่าการสลายเมล็ดในด่าง (alkali test) ล้วนอยู่ในมาตรฐานของข้าวหอม (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และเจนจิรา พวงทับทิม, 2547) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกถั่วลิสง ส่งผลให้คุณภาพของถั่วลิสงดีขึ้น โดยเมล็ดถั่วลิสงจะเต็มฝักและเต่ง กลีบเมล็ดหนา แข็งแรง ผลภายนอกของเมล็ดเป็นสีชมพูปนส้มสวยงาม และเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับการปลูกไม้ดอกไม้ประดับ พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ช่วยเพิ่มความสูง ขนาดของทรงพุ่ม จำนวนดอก และคุณภาพของดอกดาวเรืองได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544ก)

2.1.2.2 ความเสี่ยงในการนำไปใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร

เถ้าลอยลิกไนต์อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อพืชที่ปลูกได้ เนื่องจากมีส่วนประกอบของจุลธาตุอาหารและธาตุพิษที่เป็นโลหะหนักหลายชนิด เช่น ทองแดง สังกะสี นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม สารหนู และตะกั่ว (วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2530; การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA,1988) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ลดลง ทั้งนี้โลหะหนักทุกชนิดมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงของเถ้าลอยลิกไนต์สามารถลดการละลายของธาตุพิษบางชนิดได้ (Scotti, Silva and Botteschi,1999) โดยพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินส่งผลให้ความเข้มข้นของทองแดง สังกะสี และนิกเกิล อยู่ในระดับต่ำ (Albanis et al, 1998) อย่างไรก็ดีการเพิ่มความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารและธาตุพิษบางชนิดมักสอดคล้องกับการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เติมลงในดิน

ดังนั้นการพิจารณาเพื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในพื้นที่เพาะปลูกนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดก่อนนำไปใช้ โดยอัตราการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมต่อดินและพืชที่ปลูกคือ 2 ตันต่อไร่ ด้วยปัจจัยการประเมินความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่มีความจำเป็น (essential element) และการควบคุมปริมาณธาตุพิษ (toxic element) ในเถ้าลอยลิกไนต์ให้อยู่ในดินและพืชในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) ซึ่งยืนยันได้จากการศึกษาของ อรวรรณศิริรัตน์พิริยะ และสิทธิพร เกตุวรสุนทร (2547) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 0.50 ตัน/ไร่โดยตรงในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า ความเสี่ยงจากธาตุพิษที่มีในเถ้าลอยลิกไนต์ไม่ก่อให้เกิดปัญหากับพืช

ที่ปลูก ในขณะที่เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 3.12 และ 6.24 ตัน/ไร่ ในการปลูกข้าวโพดสุวรรณ 1 ในดินร่วนทราย ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณตะกั่วในเมล็ดข้าวโพด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544ก) แต่ไม่เกินกว่าระดับปกติของธรรมชาติมากนัก

2.2 ปุ๋ยหมัก

2.2.1 สภาพปัญหาและความต้องการปุ๋ยหมักของดิน

ดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบและสัดส่วนที่เหมาะสม ดังนี้ อนินทรียวัตถุ 45% อินทรียวัตถุ 5% น้ำ 25% และอากาศ 25% โดยปริมาตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จะเห็นได้ว่าอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบที่มีในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะเป็นส่วนสำคัญต่อการควบคุมสมบัติของดินทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งสมบัติของดินดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอินทรียวัตถุของดินในประเทศไทยพบว่าพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 191 ล้านไร่ หรือประมาณ 60% ของพื้นที่ทั้งประเทศ มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับต่ำ (ปรัชญา ธัญญาดี, เมธี มณีวรรณ และพิรัชฌา วาสนานุกูล, 2540) เนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิ สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนส่งเสริมให้อัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินเกิดอย่างรวดเร็วและการทำเกษตรกรรมติดต่อกันเป็นเวลานานโดยไม่ได้เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน เป็นต้น จากสาเหตุดังกล่าวเหล่านี้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช

ทั้งนี้ภาคกลางดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่พัดพามากับน้ำ และยังเป็นที่ราบลุ่มเหมาะสำหรับการปลูกข้าว แต่เนื่องจากได้ใช้ในการปลูกข้าวติดต่อกันมาเป็นเวลานานทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงเป็นลำดับ ดังนั้นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดินในรูปของปุ๋ยหมักอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดินให้สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประเภทอินทรีย์อยู่มาก หากนำวัสดุเหลือใช้เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์โดยนำมาแปรรูปเป็นปุ๋ยหมักก็จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถส่งเสริมให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากยิ่งขึ้น

2.2.2 การผลิตปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (composi) หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่างๆ มาหมักรวมกัน วัสดุอินทรีย์ที่นำมาหมักนั้นจะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายจนแปรสภาพไปจากรูปเดิมโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาล

ปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (ธงชัย มาลา, 2546; วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2545) สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงและบำรุงดินได้

2.2.2.1 วิธีการทำปุ๋ยหมัก

การกองปุ๋ยหมักทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ สภาพพื้นที่ และฐานะของเกษตรกร วิธีการกองปุ๋ยหมักมีทั้งแบบกองบนพื้นและการหมักในหลุม ทั้งนี้เมื่อคำนึงถึงสภาพโดยทั่วไปของประเทศไทยแล้ว วิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีการตั้งกองบนพื้นดินโดยพิจารณาวิธีการกองตามส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2545; ธงชัย มาลา, 2546) ดังนี้

2.2.2.1.1 การกองแบบใช้เศษพืชอย่างเดียว

เป็นการนำเศษพืชมากองให้มีขนาดกว้าง 2-3 เมตร สูงประมาณ 1.2-1.5 เมตร การกองปุ๋ยหมักโดยวิธีนี้จะใช้เวลานาน เนื่องจากไม่มีการเติมปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืช เพียงแต่อาศัยความชื้นที่พอเหมาะ และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติเท่านั้น

2.2.2.1.2 การกองโดยผสมมูลสัตว์

เป็นการนำเศษพืชและมูลสัตว์ในอัตราส่วน เศษพืช:มูลสัตว์ เท่ากับ 100:20 โดยน้ำหนัก มากองให้มีขนาดกว้างประมาณ 2-3 เมตร สูงชั้นละ 30-40 เซนติเมตร จำนวน 3-4 ชั้น ทั้งนี้อาจเพิ่มมูลสัตว์ในปริมาณที่มากขึ้น กรณีที่มีมูลสัตว์จำนวนมากซึ่งจะเป็นผลดีต่อการย่อยสลายและคุณภาพของปุ๋ยหมัก

2.2.2.1.3 การกองปุ๋ยหมักโดยผสมมูลสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน

เป็นการนำเศษพืช มูลสัตว์ และปุ๋ยไนโตรเจน ในอัตราส่วน 100:20:0.2 ตามลำดับ มากองเช่นเดียวกับวิธีที่ 2 ซึ่งปุ๋ยไนโตรเจนที่ผสมลงในกองปุ๋ยหมักใช้เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนให้แก่จุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษพืชให้รวดเร็วขึ้น (Gaur, 1980) ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษพืชที่สลายตัวได้ยากหรือมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง

2.2.2.1.4 การกองปุ๋ยหมักโดยการผสมเชื้อเร่งปุ๋ยหมัก

วิธีการกองปุ๋ยหมักแบบนี้มีส่วนผสมเช่นเดียวกับวิธีที่ 2 แต่ได้เพิ่มการใส่สารเร่งประเภทจุลินทรีย์ลงในกองปุ๋ยหมักเพื่อลดระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักให้สั้นลงทำให้ได้

ปุ๋ยหมักใช้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการใช้สารเร่งในการทำปุ๋ยหมักมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมสภาพแวดล้อมในกองให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้แก่ ความชื้นและการระบายอากาศเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Suler and Finstein, 1977) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมการย่อยสลาย ทั้งนี้การใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมจะมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมให้อัตราการย่อยสลายเกิดในอัตราที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น (Stuetzenberger, 1971)

2.2.2.1.5 การกองปุ๋ยหมักโดยวิธีการต่อเชื้อ

การทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้จะใช้เชื้อจากกองปุ๋ยหมักที่หมักแล้ว 15 วัน ไปเป็นต้นตอของเชื้อในกองถัดไป เนื่องจากปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนสูงสุดในช่วง 15 วันแรก หลังจากนั้นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะค่อยๆ ลดลงเป็นลำดับ (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ, 2527) โดยใช้อัตราส่วน วัสดุเศษพืช 1 ตันผสมปุ๋ยหมัก 200 กิโลกรัม และปุ๋ยไนโตรเจน 2 กิโลกรัม กองเช่นเดียวกับวิธีที่ 2 ซึ่งการกองปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและลดต้นทุนในการผลิตปุ๋ยหมักได้เป็นอย่างดี

2.2.2.2 คุณภาพและมาตรฐานของปุ๋ยหมัก

ข้อกำหนดในการบ่งบอกว่าปุ๋ยหมักมีคุณภาพและมาตรฐานเพียงพอต่อการใช้ปรับปรุงบำรุงดิน (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2545) มีดังนี้

2.2.2.2.1 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์และสะดวกต่อการปฏิบัติในภาคสนาม (Cosico, 1985; FAO, 1987) มีดังนี้ ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ลักษณะโดยทั่วไปจะอ่อนนุ่ม ยุ่ย และขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่มีกลิ่นเหม็น ในกรณีที่มีกลิ่นเหม็นหรือฉุนแสดงว่ากระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักยังไม่สมบูรณ์ ความร้อนในกองปุ๋ยจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ย รวมทั้งมีพืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ ซึ่งปุ๋ยหมักดังกล่าวสามารถนำไปใส่ลงดินได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

2.2.2.2.2 มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

คุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับ เศษวัสดุที่ใช้ กรรมวิธีในการกอง ตลอดจนการดูแลรักษา ทั้งนี้ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีมาตรฐาน (วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2545; Bertoldi, Vallini and Pera, 1983) ดังนี้

1) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่สูงกว่า 20:1
2) เกรดปุ๋ยไม่ควรต่ำกว่า 0.5-0.5-1.0 (% ของ N, P_2O_5, K_2O)

3) ความชื้นของปุ๋ยหมักไม่ควรมากกว่า 35-40% โดยน้ำหนัก
4) ปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 25-50% โดยน้ำหนัก
5) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 6.0-7.5
6) ไม่ควรมีวัสดุอื่นเจือปน

2.2.3 ผลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะสมบัติของดิน

ปุ๋ยหมักมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงบำรุงดินทั้งทางตรงและทางอ้อมด้วยกันหลายประการ แต่ปัจจัยหลักคือ การเป็นแหล่งของสารประกอบฮิวมัสในดินซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยธาตุอาหารหลักและรองของพืชช่วยส่งเสริมให้คุณสมบัติของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดังนี้

2.2.3.1 ผลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะสมบัติทางกายภาพ

การใส่ปุ๋ยหมักจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้น โดยสารประกอบฮิวมัสในปุ๋ยหมักซึ่งแสดงอำนาจประจุลบจะเป็นตัวเชื่อมอนุภาคของดินให้เกาะกันเป็นก้อน (ธงชัย มาลา, 2546) ทำให้ดินทรายซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบมีช่องว่างขนาดเล็กเพิ่มขึ้น อีกทั้งอินทรียวัตถุยังช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำได้ถึง 7 เท่าของน้ำหนักอินทรียวัตถุที่ใส่ลงไป (นิรันดร์ สิงหบุตรา, 2533) ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) ของดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเนื้อหยาบจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนดินเหนียวซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดปุ๋ยหมักจะช่วยทำให้ดินมีสภาพร่วนซุยมากขึ้นซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ระบบรากพืชสามารถแผ่กระจายดูดธาตุอาหารในดินได้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยหมักยังมีผลทางอ้อมต่อการช่วยควบคุมการชะล้างพังทลายของหน้าดิน (Im, 1982; Cosico, 1985) เนื่องจากอินทรียวัตถุที่ปกคลุมหรือคลุกเคล้าอยู่บริเวณผิวดิน จะช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบกับดินโดยตรง ดินจึงไม่แน่นและน้ำฝนสามารถซึมลงไปในดินชั้นล่างเป็นการลดการพังทลายของดินได้

2.2.3.2 ผลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะสมบัติทางเคมี

การใส่ปุ๋ยหมักจะเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง โดยทั่วไปปุ๋ยหมักจะมีปริมาณธาตุอาหารหลักดังนี้คือ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ประมาณ 0.4-2.5%, 0.2-2.5% และ 0.5-1.8% ตามลำดับ รวมถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย อาทิ เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) และอื่นๆ (Stefen, 1979) ซึ่งปุ๋ยหมักจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งเป็นส่วนของเศษอินทรีย์ถึง 96% และส่วนที่เป็นมวลชีพ 4% ซึ่งส่วนที่เป็นมวลชีพจะมีบทบาทสำคัญที่สุดในการหมุนเวียนและการแปรรูปธาตุอาหารจากรูปที่ไม่เป็น

ประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ อาทิ การเปลี่ยนรูปอนุมูลแอมโมเนียมซึ่งเป็นรูปที่พืชดูดนำไปใช้ได้ยากให้อยู่ในรูปไนไตรท์และเป็นไนเตรทซึ่งพืชสามารถดูดนำไปใช้ได้ง่าย (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544; Gray and William, 1971; Alexander, 1977) รวมทั้งยังพบว่าผลผลิตพืชเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยหมัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอันเนื่องมาจากได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมามากขึ้น (กรมวิชาการเกษตร, 2528) ขณะที่ปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายอย่างช้าๆ ในดิน

2.2.3.3 ผลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะสมบัติทางชีวภาพ

การใส่ปุ๋ยหมักในดินเป็นการเพิ่มแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ดิน ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มปริมาณมากขึ้น กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจึงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน ได้แก่ กระบวนการย่อยสลายอินทรียสาร ซึ่งทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ และธาตุอาหารต่างๆ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อรวมกับน้ำในดินจะเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก ซึ่งทั้งกรดคาร์บอนิกและกรดอินทรีย์จะช่วยละลายธาตุอาหารพืชบางชนิดในดินให้เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น อาทิ ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เป็นต้น (Kucey, 1983) นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรียจำพวก *Azotobacter* sp. (Marchesini et al, 1988) ซึ่งมีผลช่วยยับยั้งการเจริญและความสามารถในการก่อให้เกิดโรคพืช โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้รากพืชได้ (Nishio and Kusano, 1980; Hoitink, 1986) รวมทั้งยังมีผลต่อการควบคุมปริมาณไส้เดือนฝอยในดิน โดยจุลินทรีย์ที่เป็นศัตรูของไส้เดือนฝอยจะขับสารพวกอัลคาลอยด์ และกรดไขมันบางชนิดที่เป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย (ธงชัย มาลา, 2546) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจึงส่งผลให้ปริมาณไส้เดือนฝอยลดลงได้

2.2.4 การใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักฟางข้าวในนาข้าว

พื้นที่นาในประเทศไทยมีฟางข้าวเกิดขึ้นปีละประมาณ 10 ล้านตัน ซึ่งฟางข้าวส่วนนี้ถูกนำออกไปจากแปลงนาทำให้ดินต้องสูญเสียอินทรียวัตถุรวมทั้งธาตุอาหารข้าวเป็นปริมาณมากในทุกปี เนื่องจากฟางข้าวมีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองหลายชนิด ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน 0.59% ฟอสฟอรัส 0.08% โพแทสเซียม 1.56% แคลเซียม 0.38% แมกนีเซียม 0.23% และซัลเฟอร์ 0.08% (กรมวิชาการเกษตร, 2543ค) ดังนั้นหากมีการนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในนาข้าวมาทำเป็นปุ๋ยหมักใส่กลับลงดินในแปลงนาแล้วจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารและผลผลิตของข้าวได้ โดยทั่วไปปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว จะมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวดังนี้ ธาตุไนโตรเจน 2.16% ฟอสฟอรัส 1.18% โพแทสเซียม 1.31% แคลเซียม 2.29% แมกนีเซียม 0.44% และซัลเฟอร์ 0.41% และที่สำคัญปุ๋ยหมักฟางข้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนต่ำ (C/N=11.94) ทำให้ไนโตรเจนละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อข้าวได้เร็ว

(ประเสริฐ สองเมือง, 2543) ทั้งนี้การกำหนดปริมาณปุ๋ยหมักที่ใส่ในดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงความต้องการธาตุอาหารของพืชด้วย โดยปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักมิได้มีประโยชน์ต่อพืชทันทีทั้งหมด บางส่วนพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง ส่วนที่เหลือจะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชต่อไป ซึ่งจากการประเมินธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจากปุ๋ยหมักในฤดูแรกของการเพาะปลูกที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรงพบว่า ปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่า 30% ปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) 60-70% และปริมาณโพแทสเซียม (K_2O) 75% ของทั้งหมด (ธงชัย มาลา, 2546) ส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูกาลต่อไป การใส่ปุ๋ยหมักจะพิจารณาชนิดของพืชที่ปลูกเป็นสำคัญ โดยทั่วไประยะเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ยหมักสำหรับการปลูกข้าวคือ ใส่ในช่วงของการเตรียมดินโดยหว่านให้ทั่วแปลงแล้วจึงทำการไถกลบทันที ซึ่งจะทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่เป็นประโยชน์ต่อข้าวสูงสุดในอัตราประมาณ 2-4 ตันต่อไร่ต่อปี (ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์ และวรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, 2545; ธงชัย มาลา, 2546) สำหรับดินเหนียวหรือดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำปานกลางทางภาคเหนือและภาคกลาง ทั้งนี้ประเมินจากปริมาณธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน เป็นสำคัญ

การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปรับปรุงดินนา ถือเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินถึง 2.19% สูงกว่าการเกี่ยวฟางออกและการเผาฟางซึ่งมีค่าอินทรียวัตถุ 1.81% และ 1.94% ตามลำดับ ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 0.203% ในขณะที่การเกี่ยวฟางออกและการเผาฟางมีค่า 0.167% และ 0.173% ตามลำดับ (Ponnamperuma, 1984) และปุ๋ยหมักฟางข้าวยังช่วยเพิ่มดัชนีพื้นที่ใบ ปริมาณราก การดูดน้ำของราก และช่วยเพิ่มการดูดธาตุอาหารในต้นและเมล็ดข้าวได้โดยจะช่วยในการดูดซับธาตุที่เป็นด่าง ได้แก่ ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียมไว้ให้อยู่ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

ทั้งนี้การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวเพื่อปรับปรุงดินนาในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ เป็นเวลาติดต่อกันถึง 12 ปี (2519-2530) พบว่า การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ผลผลิตข้าวกข. 7 ในปีแรกของการทดลองซึ่งได้ผลผลิตเพียง 265 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นเป็น 621 กิโลกรัมต่อไร่ในปี 2530 หรือเพิ่มขึ้นถึงไร่ละ 356 กิโลกรัม คิดเป็น 134% เมื่อเทียบกับนาที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งได้ผลผลิตเพียง 358 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2530 ต่ำกว่าผลผลิตของแปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวถึงไร่ละ 263 กิโลกรัมต่อไร่ หรือต่ำกว่า 73% (ประเสริฐ สองเมือง และวิทยาศรีทานันท์, 2531) ขณะเดียวกันการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวจะสามารถเพิ่มผลผลิตของข้าวได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีซึ่งส่งผลให้ความสูงของต้นข้าวเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยเคมีช่วยเพิ่มจำนวนรวงน้ำหนักแห้งของต้นข้าว พื้นที่ใบ และอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (ประเสริฐ สองเมือง, 2531) ส่วนปุ๋ยหมักฟางข้าวช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของรากข้าวที่เจริญเติบโต (elongated root) ดังนั้นการใส่

ปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์จึงช่วยส่งเสริมระบบของรากข้าว (Yamazaki and Harada, 1982) ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิตข้าว

2.3 คุณภาพข้าว

2.3.1 คุณภาพในการซื้อขาย

ปัจจุบันตลาดการซื้อขายข้าวจะกำหนดคุณภาพของข้าวโดยพิจารณาคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ถือเป็นมาตรฐานในการซื้อขายข้าวทั้งในประเทศและในตลาดโลก โดยคุณภาพของข้าวในการซื้อขาย (งามชื่น คงเสรี, 2541; รตนชนม์ ธันโยดม และนัฐธีร์ ศรีสุเทพ, 2532) อาจจำแนกได้ดังนี้

2.3.1.1 คุณภาพทางกายภาพ (physical grain properties)

คุณภาพทางกายภาพเป็นลักษณะสำคัญในการกำหนดมาตรฐานข้าวในการซื้อขาย ได้แก่

2.3.1.1.1 ขนาดและรูปร่างของเมล็ด อาจวัดเป็นความยาว ความกว้างและความหนา แต่ในการพิจารณาคุณภาพเมล็ดโดยทั่วไปจะหมายถึงความยาวของเมล็ดเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เมล็ดยาวชั้น 1 (> 7.0 มม.) เมล็ดยาวชั้น 2 (6.6-7.0 มม.) เมล็ดยาวชั้น 3 (6.2-6.6 มม.) และเมล็ดสั้น (< 6.2 มม.) ทั้งนี้บางประเทศได้กำหนดรูปร่างเมล็ดโดยประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด ดังนี้ เมล็ดเรียว (> 3) เมล็ดปานกลาง (2.1-3.0) และเมล็ดป้อม (< 2.1) แต่มาตรฐานข้าวไทยไม่มีการกำหนดรูปร่างเมล็ด เนื่องจากข้าวส่วนใหญ่มีเมล็ดเรียวยาวและยึดถือข้าวที่มีความยาวเกิน 7.0 มิลลิเมตร เป็นข้าวคุณภาพดี

2.3.1.1.2 สีของข้าวกล้อง ข้าวบางพันธุ์จะมีข้าวกล้องเป็นสีแดงน้ำตาลหรือสีม่วงจนเกือบดำ ข้าวกล้องที่มีสีเหล่านี้ถือเป็นข้าวกล้องที่มีคุณภาพเฉพาะ และมักนิยมบริโภคเพื่อวัตถุประสงค์ทางด้านโภชนาการหรือเป็นขนมหวาน โดยข้าวพันธุ์ใดมีข้าวกล้องเป็นสีล้วนๆ จะมีราคาสูง แต่ถ้าปนในข้าวขาวจะทำให้ราคาหรือคุณภาพข้าวด้อยลง

2.3.1.1.3 ท้องไข่ ข้าวที่มีคุณภาพดีจะมีท้องไข่น้อย เมล็ดจึงใส ทั้งนี้ถือว่าข้าวที่มีขนาดขุ่นขาวตั้งแต่ครึ่งเมล็ดขึ้นไปเป็นข้าวท้องไข่ เนื่องจากข้าวท้องไข่เป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่นิยมของวงการค้าข้าว เพราะทำให้เมล็ดข้าวดูไม่งามและคุณภาพการสีไม่ดี เนื่องจากมีข้าวหักมาก

2.3.1.1.4 คุณภาพการสี เป็นลักษณะที่แสดงถึงปริมาณข้าวสารเต็มเมล็ดซึ่งได้จากการสีข้าวเปลือกโดยข้าวที่มีคุณภาพดีได้แก่ ข้าว 100% ซึ่งเป็นข้าวเมล็ดยาวมีปริมาณข้าวหักน้อยและขนาดข้าวหักเหลือยาวมากกว่าครึ่งหนึ่งของเมล็ด รวมทั้งมีสิ่งเจือปนน้อย

2.3.1.2 คุณภาพทางเคมี (chemical grain properties)

คุณภาพทางเคมีเป็นลักษณะที่สำคัญ ในการกำหนดคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าว ซึ่งเกี่ยวข้องกับรสนิยมของผู้บริโภคโดยตรง คุณภาพการหุงของข้าวนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีภายในเมล็ดข้าว อันประกอบไปด้วย ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิของแป้งสุก การยืดตัวของเมล็ดเมื่อหุง และกลิ่นหอม เป็นต้น

2.3.1.3 มาตรฐานข้าวหอมปทุมธานี

เนื่องจากข้าวหอมปทุมธานีเป็นข้าวที่ได้รับความนิยมในตลาดการค้าข้าวทั้งภายในและต่างประเทศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานสินค้าเพื่อแสดงคุณภาพของข้าวที่จำหน่าย โดยกำหนดมาตรฐานข้าวหอมปทุมธานี (กรมวิชาการเกษตร, 2545; กระทรวงพาณิชย์, 2546) ดังนี้

2.3.1.3.1 คำนิยาม

1) ข้าวหอมปทุมธานี (THAI PATUMTHANI FRAGRANT RICE) หมายถึง ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอมที่ไม่ไวต่อช่วงแสงและกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงสุกจะได้เมล็ดข้าวสวยอ่อนนุ่ม

2) อมิโลส (amylose) หมายถึง แป้งชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในเมล็ดข้าว เมื่อหุงแล้วทำให้ข้าวสวย มีความอ่อนนุ่มหรือกระด้างแตกต่างกันไปตามปริมาณอมิโลส

2.3.1.3.2 มาตรฐานข้าวหอมปทุมธานี

1) ลักษณะและขนาดของเมล็ดข้าว โดยทั่วไปเป็นข้าวเมล็ดยาว ความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มม. และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 3.2 : 1

2) คุณสมบัติทางเคมี มีปริมาณอมิโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ16.0 แต่ไม่เกินร้อยละ 20.0 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 14.0 และมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่างระดับ 6-7

3) ชั้นของข้าวแบ่งเป็น 2 ชั้น ตามปริมาณข้าวหอมปทุมธานี ได้แก่ ข้าวหอมปทุมธานีชั้นดีเลิศ (prime quality) ต้องมีข้าวหอมปทุมธานีไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนัก และข้าวหอมปทุมธานีชั้นดีพิเศษ (superb quality) ต้องมีข้าวหอมปทุมธานีไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก

4) ข้าวหอมปทุมธานี แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทข้าวขาว มี 6 ชนิด ได้แก่ ข้าวขาว 100% ชั้น 1, ข้าวขาว 5%, ข้าวขาว 10%, ข้าวขาว 15%, ข้าวขาวหักเอวันเลิศพิเศษ, ข้าวขาวหักเอวันเลิศ และประเภทข้าวกล้องมี 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวกล้อง 100% ชั้น 1, ข้าวกล้อง 5%, ข้าวกล้อง 10% และข้าวกล้อง 15%

5) ข้าวหอมปทุมธานีที่มีข้าวเจ้าพันธุ์อื่นผสมเกินกว่าร้อยละ 20 ไม่ถือว่าเป็นข้าวหอมปทุมธานี

6) กำหนดความชื้นข้าวหอมปทุมธานีไว้ไม่เกินร้อยละ 14.0

2.3.2 คุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533; มิ่งสรรพ์ ขาวสะอาด, 2537; งามชื่น คงเสรี, 2541) คือ คุณสมบัติทางเคมีเฉพาะตัวของข้าวแต่ละพันธุ์ที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ซึ่งเกี่ยวข้องกับรสนิยมของผู้บริโภคโดยตรงทั้งนี้เพราะความชอบของแต่ละคนแตกต่างกัน ปัจจัยที่ทำให้คุณภาพของข้าวสุกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ดังนี้

2.3.2.1 ปริมาณอมิโลส (apparent amylose content)

ปริมาณอมิโลส หมายถึง อัตราส่วนระหว่าง อมิโลสกับอมิโลเพคติน ซึ่งปริมาณอมิโลสเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของคุณภาพการหุงของข้าว โดยมีผลต่อการดูดซับน้ำและปริมาณการขึ้นหม้อของข้าวเมื่อนำมาหุง ซึ่งสามารถจัดประเภทข้าวตามปริมาณอมิโลสได้ดังนี้ ข้าวเหนียว (0-2 %) ข้าวอมิโลสต่ำ (10-19 %) ข้าวอมิโลสปานกลาง (20-25%) และข้าวอมิโลสสูง (25-34%) ซึ่งข้าวที่มีอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุง เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอมิโลสที่สุกแล้ว (retrogradation) ทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือหุงขึ้นหม้อดี ข้าวจะร่วนและเรียงเม็ดงาม แต่จะแข็งเมื่อเย็นตัวลง ในขณะที่ข้าวที่มีอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อยจะชื้น และเหนียวเมื่อหุงสุก หากใส่น้ำมากเกินไปในขณะหุงจะได้ข้าวสุกแฉะเละ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวที่หุงสุกจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอมิโลเพคตินในเมล็ดข้าว

2.3.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency)

สำหรับข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน อาจได้ข้าวที่หุงแล้วมีลักษณะต่างกันได้ เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากันทำให้แป้งสุกมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ทั้งนี้ความนุ่มของข้าวจะขึ้นอยู่กับความคงตัวของแป้งเป็นสำคัญ ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งต่ำจะนุ่มกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสูงเมื่อหุงสุก ซึ่งสามารถจัดแบ่ง

ข้าวตามค่าคงตัวของแป้งสุกโดยวัดจากระยะทางที่แป้งไหลได้ ดังนี้ แป้งสุกแข็ง (26-40 มม.) แป้งสุกปานกลาง (41-60 มม.) และแป้งสุกอ่อน (61-100 มม.)

2.3.2.3 อุณหภูมิที่แป้งสุก (gelatinization temperature)

อุณหภูมิที่แป้งสุก หมายถึง อุณหภูมิซึ่งเมล็ดแป้งเริ่มพองในน้ำร้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับเวลาในการทำให้สุก โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำจะใช้เวลาในการทำให้สุกน้อยคุณสมบัตินี้จึงมีความสำคัญมาก หากตลาดมีความต้องการประกอบอาหารแบบรวดเร็ว อย่างไรก็ตามความหนาของเมล็ดข้าวก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ต้องยืดเวลาหุงต้มออกไป โดยข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกเท่ากัน แต่มีเมล็ดหนาจะต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวเมล็ดบาง ในทำนองเดียวกันโปรตีนซึ่งมีมากตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดอาจเป็นอุปสรรคในการซึมผ่านของน้ำทำให้เวลาในการหุงต้มนานยิ่งขึ้นเช่นกัน โดยอุณหภูมิแป้งสุกดูได้จากค่าการสลายตัวของเมล็ดข้าวในน้ำด่าง (alkali spreading value) มาประมาณระดับอุณหภูมิแป้งสุกได้ดังนี้

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	< 65	70-74	> 75
ค่าการสลายเมล็ดในด่าง	6-7	4-5	1-3
ระยะเวลาหุงต้ม (นาที)	12-16	16-24	> 24
ระดับ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง

2.3.2.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio)

ในระหว่างการหุงต้ม เมล็ดข้าวจะมีการขยายตัวทุกด้าน โดยเฉพาะตามด้านยาว คุณลักษณะนี้เป็นคุณภาพพิเศษของข้าว ซึ่งจะช่วยเสริมให้เมล็ดข้าวสุกขยายขนาดเพิ่มขึ้น และหากข้าวสุกเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน การขยายขนาดเมล็ดข้าวสุกจะช่วยให้ข้าวขึ้นหม้อดียิ่งขึ้นและยังช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้นเพราะการขยายตัวทำให้เนื้อข้าวโปร่งขึ้นไม่อัดกันแน่น

2.3.2.5 กลิ่นหอม (aroma)

ข้าวทั่วไปอาจมีสารระเหยหลายชนิดโดยมีผู้ทำการวิเคราะห์ไอที่ได้จากการหุงข้าว Koshihikari ของญี่ปุ่น พบว่า มีสารอยู่กว่าร้อยชนิด ซึ่งประกอบด้วยสาร hydrocarbon 13 ชนิด Alcohol 13 ชนิด aldehyde 16 ชนิด ketone 14 ชนิด กรด 14 ชนิด ester 8 ชนิด phenol 5 ชนิด Pyridine 3 ชนิด pyrazine 6 ชนิด ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีกลิ่นแตกต่างกัน สำหรับข้าวหอมจะมีสาร 2 – acetyl – 1 – pyrolline มากกว่าข้าวทั่วไป ทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม

2.3.3 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ข้าวปทุมธานี 1 (กรมวิชาการเกษตร, 2542ก; กรมวิชาการเกษตร, 2543ก; กรมวิชาการเกษตร, 2544; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545) เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าหอมที่กรมวิชาการเกษตรทำการค้นคว้าวิจัยเพื่อทดแทนพันธุ์ข้าวหอมคุณภาพต่ำ ซึ่งได้จากการผสมพันธุ์ข้าวระหว่างสายพันธุ์ข้าวหอม BKNA6-18-3-2 สายพันธุ์แม่ และ PTT85061-86-3-2-1 สายพันธุ์พ่อ ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยสายพันธุ์แม่และพ่อมีลักษณะความหอมที่ได้มาจากข้าวพันธุ์ กข 5 หรือขาวดอกมะลิ 105 กลายพันธุ์อายุเบาและข้าวหอมมะลิที่ชนะการประกวดเมื่อปี พ.ศ. 2525 มาปลูกเพื่อคัดเลือกพันธุ์แบบสืบตระกูล (pedigree method) ถึงขั้นรุ่น (generation) ที่ 6 จนได้สายพันธุ์ PTT90071-93-8-1-1 เมื่อปี 2536 จนได้รับการพิจารณาเป็นข้าวสายพันธุ์ดี โดยมีลักษณะพิเศษคือ ลำต้นเตี้ย ตอบสนองต่อปุ๋ย ไม่ไวต่อช่วงแสง เหมาะที่จะปลูกในสภาพนาชลประทานของภาคกลางได้ตลอดทั้งปีและที่สำคัญลักษณะของเมล็ดทางกายภาพและคุณภาพการหุงต้มเทียบได้กับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ดังนั้นกรมวิชาการเกษตรจึงประกาศรับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2543 เป็นต้นมา

2.3.3.1 มาตรฐานของพันธุ์ข้าว

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสงปลูกได้ทั้งฤดูนาปีและนาปรัง อายุการเก็บเกี่ยวนาดำ 113-126 วัน นาหว่านน้ำตม 104-114 วัน มีระยะพักตัวของเมล็ด 3-4 สัปดาห์ ลักษณะทั่วไปของข้าวพันธุ์นี้คือ ต้นสูงประมาณ 104-113 ซม. ทรงกอตั้ง ใบและปล้องมีสีเขียว มีขน ใบแก่ช้า ใบธงยาวตั้งตรงปานกลาง คอรวงสั้น รวงอยู่ใต้ใบธง เปลือกเมล็ดมีสีฟาง มีขน มีหาง กลีบรองดอกสีฟาง เมล็ดข้าวเปลือกเฉลี่ยยาว 10.52 มม. กว้าง 2.47 มม.และหนา 1.95 มม.ส่วนเมล็ดข้าวกล้องเฉลี่ยยาว 7.60 มม. กว้าง 2.17 มม. และหนา 1.72 มม.

2.3.3.2 ลักษณะเด่นประจำพันธุ์

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวเจ้าหอมไม่ไวต่อช่วงแสง คุณภาพเมล็ดคล้ายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อหุงสุกจะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม รวมทั้งยังต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาว โรคไหม้ และโรคขอบใบแห้ง โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 650-774 กิโลกรัมต่อไร่

2.3.3.3 ข้อจำกัด

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จะต้านทานเพลี้ยจักจั่นสีเขียว โรคใบหงิก และโรคใบสีส้มได้น้อย รวมทั้งตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนสูง อาจทำให้ฟางอ่อน ต้นข้าวล้ม และผลผลิตลดลงเมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูง

2.4 ดินเปรี้ยวจัด จังหวัดนครนายก

จังหวัดนครนายกมีพื้นที่ทั้งหมด 1,326,250 ไร่ ส่วนใหญ่ใช้ทำการเกษตรกรรมแต่ปรากฏว่าเป็นพื้นที่ดินเปรี้ยวจำนวนถึง 554,091 ไร่ หรือร้อยละ 41.48 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด ครอบคลุมพื้นที่ในเขตอำเภอเมือง อำเภอบ้านนา อำเภอองครักษ์ และอำเภอปากพลี ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชุดดินรังสิตและชุดดินองครักษ์ (สุรชัย หมื่นสังข์, 2546) ปัญหาความเป็นกรดจัดของดินทำให้ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ เนื่องจากดินเปรี้ยวจัดเกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย ซึ่งผลจากการทับถมของอินทรียวัตถุร่วมกับกระบวนการสร้างดิน ทำให้ดินมีกรดกำมะถันเกิดขึ้น โดยอาจจะมี หรือกำลังมี หรือได้เคยมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดของดินมาก่อน และปริมาณของกรดที่เกิดขึ้นนั้นมีมากพอที่จะมีผลต่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินได้ ทำให้ดินเปรี้ยวจัดมีความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ จึงก่อให้เกิดปัญหาและเป็นอุปสรรคต่อการปลูกพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520; Pons, 1972)

2.4.1 สภาพปัญหาดินเปรี้ยวจัดต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหาประเภทหนึ่งในการปลูกพืช (Panichapong, 1981) ถึงแม้ว่าดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่ราบลุ่ม ดินมีการระบายน้ำเลวซึ่งเหมาะสำหรับการปลูกข้าว แต่ปฏิกิริยาที่เป็นกรดจัดของดิน ทำให้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้ โดยเฉพาะเมื่อทำการขังน้ำเพื่อปลูกข้าวจะได้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาที่เป็นกรดอย่างรุนแรงส่งผลให้ธาตุอาหารบางชนิดในดินละลายออกมามากจนอาจเป็นพิษต่อข้าวที่ปลูก รวมถึงการตรึงธาตุอาหารหลักของข้าวไว้ ทำให้ต้นข้าวขาดแคลนอาหารได้ ดังนี้

2.4.1.1 ความเป็นกรดของดิน

ความเป็นกรดจัดของดินส่งผลโดยตรงต่อการดูดดึงธาตุอาหารบางชนิดของข้าว โดยเมื่อรากข้าวสัมผัสกับดินที่มี pH ต่ำ เป็นเวลานาน โดยเฉพาะที่ pH 3.5 จะมีผลทำให้ข้าวไม่สามารถดูดธาตุอาหารโลหะไอออนบวกได้ดี (Thawornwong and Van Diest, 1974) ซึ่งในสภาวะที่ดินเป็นกรดจัดส่งผลให้ดินขาดสารประกอบของแคลเซียมและแมกนีเซียม โดยจะมีสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมเข้ามาแทนที่ในปริมาณสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับ pH ต่ำกว่า 3.5-4.0 ไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้จะมีปริมาณสูงถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ และไนโตรเจนในดินซึ่งอยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียมจะสลายตัวเป็นก๊าซไนโตรเจนระเหยขึ้นไปในอากาศและฟอสฟอรัสในดินอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533; เจริญ เจริญจำรัสชีพ, 2541) ดินเปรี้ยวจึงมีไนโตรเจนต่ำและขาดฟอสฟอรัส ข้าวจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้

2.4.1.2 ความเป็นพิษของอลูมิเนียม

ในระยะแรกของการขังน้ำ ดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างรุนแรง อลูมิเนียมจึงมีความเข้มข้นสูงโดยที่ระดับ pH 3.5 จะมีอลูมิเนียมละลายได้สูงถึง 69 ppm ทำให้เป็นอันตรายต่อกล้าข้าวที่ปลูกได้ (Ponnamperuma, 1972) ความเป็นพิษของอลูมิเนียมส่วนใหญ่จะแสดงอาการที่ราก โดยมีผลต่อการสร้าง DNA ในรากข้าวทำให้การเจริญเติบโตของรากหยุดชะงัก การสร้างระบบรากจะไม่สมบูรณ์ รากจะสั้น และแคระแกรน บริเวณใบจะมีสีเหลืองส้มระหว่างเส้นใบ แต่ที่ปลายใบและขอบใบจะมีสีขาวซีด ต่อมาใบจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มักเกิดกับใบแก่ที่อยู่ด้านล่างๆ ซึ่งจะแห้งเหี่ยวและตายไปในที่สุด (Fageria, 1983) ทั้งนี้ในกรณีที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและข้าวที่ปลูกขาดธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ความเข้มข้นของอลูมิเนียมเพียง 1–2 ppm (Tanaka and Navasero, 1966) สามารถทำให้ข้าวแสดงอาการเกิดพิษได้

2.4.1.3 ความเป็นพิษของแมงกานีส

ในดินเปรี้ยวจัดที่มีระดับ pH ต่ำ ข้าวที่ปลูกอาจได้รับอันตรายเนื่องจากความเป็นพิษของแมงกานีสได้ โดยในสภาพที่มีน้ำขังแมงกานีสในรูปของ Mn^{4+} จะเปลี่ยนเป็น Mn^{2+} ทำให้ความเข้มข้นของแมงกานีสที่ละลายน้ำได้มีค่าสูงสุดอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 สัปดาห์ หลังจากขังน้ำ (Ponnamperuma, 1972) ทั้งนี้ถ้าความเข้มข้นเกิน 25 ppm สามารถทำให้ข้าวแสดงอาการเกิดพิษได้ โดยข้าวจะชะงักการแตกกอ ลำต้นแคระแกรน เกิดจุดสีน้ำตาลบริเวณแผ่นใบและก้านใบ ซึ่งมักจะเกิดกับใบล่างๆ ของต้นข้าว

2.4.1.4 ความเป็นพิษของเหล็ก

ในดินเปรี้ยวจัดที่มีการขังน้ำเพื่อปลูกข้าวดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน (reduction) ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรูป Fe^{3+} เปลี่ยนไปอยู่ในรูป Fe^{2+} และจะสะสมได้สูงสุดหลังขังน้ำประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดปริมาตรลง (IRRI, 1964) ความเป็นพิษของเหล็กนั้น มักจะเกิดขึ้นในระยะแตกกอ และระยะสร้างรวงอ่อน ซึ่งถ้าเกิดในระยะสร้างรวงอ่อนผลผลิตข้าวที่ได้จะลดลง และมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบสูง (Breemen and Moormann, 1978) ซึ่งจะแสดงอาการที่ใบเป็นส่วนใหญ่ โดยเป็นจุดสีน้ำตาลแดงเล็กๆ ปรากฏอยู่ที่ปลายใบของใบล่างสุดและจะค่อยๆ กลายเป็นสีน้ำตาลทั้งใบและตายในที่สุด (Tanaka and Yoshida, 1970 ; Yoshida, 1981) โดยทั่วไปความเป็นพิษของเหล็กอยู่ในช่วง 30-20,000 ppm แต่ทั้งนี้ในกรณีที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำความเข้มข้นของเหล็กเพียง 30 ppm (Tadano and Yoshida, 1978) สามารถทำให้ข้าวแสดงอาการเป็นพิษได้

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1.5 ความเป็นพิษของไฮโดรเจนซัลไฟด์

ดินนาเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อข้าวได้ ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไปทำลายกลไกการทำงานของรากข้าวที่จะออกซิไดส์เฟอรัสที่ผิวของรากให้ตกตะกอนอยู่ในรูปเฟอริกไฮดรอกไซด์ หรือเฟอริกคาร์บอเนตได้ (Tanaka et al, 1968) โดยจะเป็นตัวแก่งแย่งออกซิเจนจากรากทำให้ความสามารถในการเพิ่มออกซิเจนของรากข้าวลดลง (สมศักดิ์ วังใน, ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และอธิจิตต์ ตะเวทีกุล, 2517) ซึ่งความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ 0.01- 0.1 ppm สามารถยับยั้งการหายใจของรากข้าวได้ ทำให้ต้นข้าวมีเหล็กสะสมมากขึ้น แต่ถ้าระดับ pH สูงขึ้น ปริมาณเหล็กในต้นข้าวจะลดลง (Tanaka et al, 1968) ทั้งนี้เนื่องจากระบบการหายใจของข้าวดีขึ้น เหล็กจึงถูกตกตะกอนไป

2.4.1.6 การขาดฟอสฟอรัส

ดินเปรี้ยวจัด ส่วนใหญ่จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวน้อยมาก เนื่องจากถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถเป็นประโยชน์ได้ (Hesse, 1963) โดยเฉพาะในสภาวะที่ดินมีระดับ pH ต่ำ เหล็กและอลูมิเนียมจะมีบทบาทสำคัญต่อปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัส เนื่องจากในสภาพที่ดินมีการระบายอากาศดีฟอสฟอรัสจะตกตะกอนร่วมกับเหล็กและอลูมิเนียม แต่เมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขัง ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงจะถูกปลดปล่อยออกมา (Patrick and Mahapata, 1968) ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัดขาดฟอสฟอรัส ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวคือ ข้าวจะมีใบธงเขียวเข้ม และตั้งตรง การแตกตอลดลง ต้นเตี้ยแคระ

2.4.2 ธาตุอาหารสำหรับข้าว

การที่ข้าวจะเจริญเติบโตได้นั้นจำเป็นต้องได้รับธาตุอาหารมากกว่า 10 ชนิด ซึ่งสามารถจัดกลุ่มธาตุอาหารตามความสำคัญ ปริมาณที่พืชต้องการใช้ และผลของการขาดธาตุอาหารเหล่านั้น (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) ดังนี้

2.4.2.1 ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมากเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ถ้าพืชขาดธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งในกลุ่มนี้จะแสดงอาการขาดอย่างรุนแรงทำให้การเจริญเติบโตชะงักลง และถ้ายังไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้พืชต้นนั้นตายในที่สุด

2.4.2.2 ธาตุอาหารรอง ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เป็นธาตุอาหารที่ข้าวนำไปใช้น้อยกว่ากลุ่มแรก ปกติดินทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้เพียงพอ จะขาดบ้างก็ในบางพื้นที่เท่านั้น โดยถ้าข้าวขาดธาตุใดธาตุหนึ่งในกลุ่มนี้ ข้าวจะแสดงอาการขาดให้เห็น ซึ่งหากมีการเติมธาตุอาหารที่ขาดลงในดินจะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติได้ดังเดิม

2.4.2.3 จุลธาตุอาหาร (trace element) ประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน คลอรีน โมลิบดินัม และโคบอลท์ เป็นธาตุอาหารที่ข้าวต้องการในปริมาณน้อย แต่ยังมีความจำเป็น เพราะเมื่อขาดธาตุอาหารเหล่านี้แล้วความสามารถในการเจริญเติบโตของข้าวจะลดลง หรือชะงักการเจริญเติบโต ถ้าขาดรุนแรงอาจตายได้

2.4.3 การจัดการพื้นที่ดินเปรี้ยวเพื่อการปลูกข้าว

เนื่องจากดินเปรี้ยวจัดส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่ราบลุ่ม ดินมีการระบายน้ำเลว การใช้ประโยชน์พื้นที่ส่วนใหญ่จึงใช้ในการทำนาปลูกข้าว แต่ได้ผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินปกติทั่วไป เนื่องจากสภาพปัญหาความเป็นกรดของดิน ความเป็นพิษของธาตุบางชนิดและการขาดแคลนไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งเป็นอาหารหลักของข้าว ดังนั้นการจัดการดินเปรี้ยวจัดให้เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว จึงต้องอาศัยวิธีการดังต่อไปนี้

2.4.3.1 การชะล้างด้วยน้ำ

การชะล้างด้วยน้ำจะช่วยลดความเจือจางของเหล็กและอลูมิเนียมที่สะสมในบริเวณรากข้าว และยังป้องกันการขาดธาตุอาหารบางชนิดได้ (Ponnamperuma, Yuan and Nhung, 1965) โดยปริมาณไพไรต์ในดินสามารถลดลงจากร้อยละ 2-3 เหลือเพียงร้อยละ 0.5 ในระยะ 5-10 ปี (Coulter, 1972) ภายใต้สภาพการชะล้างและการระบายน้ำที่ดี

2.4.3.2 การขังน้ำ

การขังน้ำทำให้การละลายของฟอสเฟตและแมงกานีสเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (IRRI, 1981) ความเป็นพิษเนื่องจากเหล็กและอลูมิเนียมจึงลดลง

2.4.3.3 การใส่ปูน

การใส่ปูนเป็นการปรับค่า pH ของดินให้สูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กและอลูมิเนียมลดลง (IRRI, 1983) เนื่องจากฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารประกอบของเหล็กและอลูมิเนียมถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มสูงขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

2.4.3.4 การใส่ปุ๋ยฟอสเฟต

การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นการเพิ่มระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้สูงขึ้น เนื่องจากฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ถูกตรึงโดยเหล็กและอลูมิเนียม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินค่อนข้างต่ำ

2.4.3.5 การใส่แมงกานีสไดออกไซด์

เนื่องจากแมงกานีสไดออกไซด์สามารถยับยั้งการลดลงของปริมาณออกซิเจนโดยทำหน้าที่ควบคุมสภาพออกซิเดชัน-รีดักชัน ในดินที่ขังน้ำเพื่อปลูกข้าวส่งผลให้ปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมที่ละลายได้ลดน้อยลง (IRRI, 1981; Ponnamperuma and Solivas, 1981) นอกจากนี้แมงกานีสไดออกไซด์ยังมีสภาพคงตัวไม่สลายง่ายแม้ดินจะมีการระบายน้ำเลว

2.4.3.6 การใช้พันธุ์ข้าวทนดินเปรี้ยว

การใช้พันธุ์ข้าวที่ด้านทานต่อความเป็นพิษของเหล็กและอลูมิเนียมนั้น จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเป็นอย่างมาก สามารถสรุปข้าวพันธุ์ที่เหมาะสมที่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวภาคกลาง โดยใช้ความสูงของระดับน้ำในพื้นที่เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกพันธุ์ (เจริญ เจริญจำรัสชีพ, 2541) คือ ที่ระดับน้ำลึกมากกว่า 1 เมตร ใช้พันธุ์ข้าวเล็บมือนาง 111 และข้าว กข. 19 ที่ระดับน้ำลึก 60-80 เซนติเมตร ใช้พันธุ์ข้าวตะเภาแก้ว 161 หรือ กข.27 และที่ระดับน้ำลึกน้อยกว่า 60 เซนติเมตร ใช้พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 หรือพันธุ์หอมนายพล และพันธุ์ข้าวลูกผสม กข. ต่างๆ

2.4.4 การจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัด

การจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดมีความจำเป็นมาก เนื่องจากการจำแนกดินตามความเหมาะสม จะมีการบ่งบอกถึงข้อจำกัดของดินชุดนั้นๆ ซึ่งข้อจำกัดนี้จะพิจารณาตามสภาพที่เกิดของดินตามธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดได้มากขึ้น

2.4.4.1 การจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดในการปลูกข้าว

ความเหมาะสมของดินเพื่อการปลูกข้าวสามารถจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม เริ่มจากกลุ่มที่ 1 (P-I) ซึ่งเป็นดินที่มีสภาพเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวได้ผลดี จนถึงกลุ่มที่ 5 (P-V) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว ทั้งนี้การจำแนกพื้นที่ตามความเหมาะสมในการทำนาได้อาศัยลักษณะเนื้อดิน ความลึกของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในการให้น้ำซึมผ่านได้ ลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชันของพื้นที่ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความเป็นกรดเป็นด่าง ปัญหาเรื่องน้ำท่วม จากลักษณะดังกล่าวข้างต้น สามารถจำแนกสมรรถนะของดินเปรี้ยวจัดในที่ราบลุ่มภาคกลางที่ใช้ในการทำนาได้ 3 ประเภท (พร้อมพันธ์ สนิทวงศ์ และมนัส นวลเจริญ, 2522) ดังนี้

2.4.4.1.1 ดินเปรี้ยวน้อย (P-IIa) มีระดับ pH 4.7-5.5 เป็นดินที่เหมาะในการทำนา ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว หน้าดินลึก การระบายน้ำเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ผลผลิตของข้าวที่ได้อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากความเป็นกรดของดินเป็นอุปสรรคบ้างเล็กน้อย แต่ไม่รุนแรงพอที่จะทำอันตรายแก่ข้าวได้มากนัก แต่อาจทำให้ข้าวเกิดปัญหาต่อการตอบสนองต่อปุ๋ยได้ จึงควรมีการปรับปรุงโดยการใส่ปูนลงไป ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินมหาโพธิ์ ชุดดินอยุธยา ชุดดินบางน้ำเปรี้ยว และชุดดินฉะเชิงเทรา เป็นต้น

2.4.4.1.2 ดินเปรี้ยวปานกลาง (P-IIIa) มีระดับ pH 4.1-4.7 เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนาปานกลาง ความเป็นกรดของดินเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว การระบายน้ำเลว ผลผลิตของข้าวที่ได้อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดแก่ ทำให้เป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว เนื่องจากข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการดินเป็นพิเศษเพื่อปลูกข้าว โดยใส่ปูนลงไปในปริมาณที่มากพอ ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินรังสิต และชุดดินธัญบุรี เป็นต้น

2.4.4.1.3 ดินเปรี้ยวจัด (P-IVa) มีระดับ pH ต่ำกว่า 4 เป็นดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับทำนา ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว การระบายน้ำเลว ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดจัดทำให้ผลผลิตของข้าวค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก และเนื่องจากดินมีความเป็นกรดรุนแรงมากจนบางพื้นที่ถูกทิ้งให้ว่างเปล่าโดยปราศจากการปลูกข้าว จึงมีเฉพาะหญ้ากก หรือปรือที่สามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้าจะทำการเพาะปลูกจะต้องมีการใส่ปูนในปริมาณที่มากและใส่ปุ๋ยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชควบคู่กันไป ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินองครักษ์ และชุดดินรังสิตกรดจัด เป็นต้น

2.4.4.2 หลักเกณฑ์การจำแนกความเหมาะสม

หลักเกณฑ์การจำแนกความเหมาะสม (criteria for suitability classification) ของดินเปรี้ยวจัด พิจารณาโดยใช้ลักษณะดังต่อไปนี้

2.4.4.2.1 ความลึกของจาโรไซท์ (depth of jarosite) เป็นเกณฑ์หลักที่ใช้จำแนกความเหมาะสมอันเนื่องมาจากความเป็นกรดของดินที่มีต่อการปลูกข้าว โดยความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของชั้นจาโรไซท์กับชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดของประเทศไทย ได้ปรับปรุงข้อมูลใหม่ตาม Soil Taxonomy ของ USDA (เฉลียว แจ้งไพร และคณะ, 2525) ดังนี้ ชั้นจาโรไซท์ที่ระดับความลึกน้อยกว่า 50 เซนติเมตร น้อยกว่า 50-100 เซนติเมตร และมากกว่า 100 เซนติเมตร จากหน้าดิน ชั้นความเหมาะสมของดินจัดอยู่ในชั้น P-IVa, P-IIIa และ P-IIa ตามลำดับ

2.4.4.2.2 ชั้นความเป็นกรดของดิน (acidity classes) ได้ใช้สมบัติทางเคมีของดินในความลึกจากหน้าดินระยะ 1 เมตร เป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งดินกรดจัดออกเป็น 5 ชั้น (พร้อมพันธ์ สนิทวงศ์ และมนัส นวลเจริญ, 2522; Osborne,1984) ดังนี้

Class I pH เป็นกลางถึงกรดอ่อน พบบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ เป็นดินที่เกิดจากตะกอนของน้ำทะเล ไม่มีฤทธิ์เป็นกรด จึงไม่มีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ของที่ดินเหล่านี้ ลักษณะโดยทั่วไปของดินในชั้นนี้ คือ เป็นดินลึก เนื้อดินละเอียด น้ำซึมผ่านได้ช้า ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง มีปริมาณของเกลือต่ำขังน้ำได้ดี ดินชั้นนี้จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการทำนาและปลูกพืชที่ต้องการน้ำมาก ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินบางปะอิน และชุดดินราชบุรี เป็นต้น

Class II pH เป็นกรดอ่อน (slightly) การจัดการบางครั้งไม่ตอบสนองต่อปูนมาร์ล พบบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ หรือบริเวณที่น้ำทะเลเคยท่วมถึงมาก่อน เป็นดินที่เกิดจากการสะสมของตะกอนน้ำกร่อยและที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ซึ่งสารไพไรท์จะถูกออกซิไดซ์ในชั้นดินที่ลึก และสารต่างๆ ที่เกิดจากผลของการออกซิเดชัน จะถูกชะล้างลงไปในดินชั้นล่างต่ำกว่า 1 เมตร หรือถูกทำให้เป็นกลางโดย $CaSO_4$ ดินชั้นนี้จึงเหมาะสำหรับการทำนาหรือปลูกพืชที่ต้องการน้ำมากดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินฉะเชิงเทรา ชุดดินมหาโพธิ์ บางส่วนของชุดดินรังสิต และชุดดินธัญบุรี เป็นต้น

Class III pH เป็นกรดค่อนข้างสูง (moderately) การจัดการตอบสนองต่อปูนมาร์ลในอัตราต่ำ เป็นดินที่เกิดจากที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงที่ประกอบไปด้วยการสะสมของตะกอนน้ำกร่อย ซึ่งสารต่างๆ ที่เกิดจากผลของการออกซิเดชันยังคงอยู่ที่ระดับความลึก 1 เมตร ดินชั้นนี้จึงมีความเหมาะสมปานกลางต่อการทำนาและปลูกพืชที่ต้องการน้ำมาก ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ ชุดดินรังสิต และบางส่วนของชุดดินธัญบุรี เป็นต้น

Class IV pH เป็นกรดสูง (severely) การจัดการควรใช้ปูนมาร์ลในอัตรา 1-1.5 ตัน/ไร่ เป็นดินที่พบบริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง และจะพบตะกอนเก่าน้ำกร่อยอยู่ด้วยเช่นกัน อีกทั้งยังมีปริมาณธาตุอาหารในดินอยู่ในระดับต่ำ ดินชั้นนี้จึงเป็นดินที่ค่อนข้างไม่เหมาะสมในการทำนาหรือปลูกพืชที่ต้องการน้ำ ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ บางส่วนของชุดดินองครักษ์ และชุดดินรังสิตกรดจัด เป็นต้น

Class V pH เป็นกรดสูงมาก (extremely) การจัดการควรใช้ปูนมาร์ลในอัตรา 1.5-2.5 ตัน/ไร่ เป็นดินที่พบบริเวณที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงและพบตะกอนเก่าน้ำกร่อยอยู่ด้วย รวมทั้งมีปริมาณธาตุอาหารในดินอยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกับ Class IV ดินชั้นนี้จึงเป็นดินที่ไม่เหมาะสมที่จะทำนาหรือปลูกพืชที่ต้องการน้ำมาก เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านความเป็นกรดที่รุนแรงของดินต่อการใช้ประโยชน์ในพื้นที่นั้น ดินที่จัดอยู่ในชั้นนี้ ได้แก่ บางส่วนของชุดดินองครักษ์ และชุดดินรังสิตกรดจัด เป็นต้น