สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ความเป็นประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าว

ดินเปรี้ยวจัดไม่เหมาะสมต่อการเกษตรกรรมเนื่องจากลักษณะดินมีความเป็นกรดรุนแรง เกิดความเป็นพิษจากเหล็ก อลูมินัม และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ ทำให้ข้าวที่ปลูกให้ผลผลิตต่ำ อีกทั้งเกษตรกรในพื้นที่ยังนิยมนำฟางข้าวหลังจากที่เก็บเกี่ยวผลผลิตไปเพาะเห็ดฟาง จากการกระทำดังกล่าวทำให้พื้นนาสูญเสียอินทรียวัตถุไป และที่สำคัญก็คือการสูญเสียธาตุซิลิกอนออกไปจากพื้นที่นา ถ้าเป็นเช่นนี้ต่อไปอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน ในอนาคตข้างหน้าพื้นที่นาก็จะขาดความอุดมสมบูรณ์ลงในที่สุด

ทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงดินก็คือ นำเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือเป็นเชื้อเพลิง มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่เอื้อต่อการนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดิน นอกจากนี้เกษตรกรในท้องถิ่นนิยมเพาะเห็ดฟางซึ่งหลังจากที่เก็บผลผลิตเห็ดฟางแล้ว ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดจะนำไปกองทิ้งไว้เป็นขยะหรือเผาทิ้ง มิได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ จึงได้มีการนำฟางที่ผ่านการเพาะเห็ดและฟางข้าวที่เหลือทิ้งนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่งในรูปปุ๋ยหมักเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ดังนั้นจึงได้ศึกษาวิจัยถึงความเป็นประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในดินนาเกี่ยวกับ ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนของของดิน เพราะในดินเปรี้ยวเป็นดินที่ขาดแคลนธาตุฟอสฟอรัสเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ต่ำ โดยซิลิกอนน่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากนี้ดินเปรี้ยวชุดดินรังสิตกรดจัดซึ่งมีสภาพเป็นดินเหนียว แน่น ทึบ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น

5.1.1 เถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว

เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุที่มีทรงกลม กลวง มีรูพรุน มีพื้นที่ผิวมาก ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง รวมถึงธาตุเสริมประโยชน์ซิลิกอน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2546) ส่วนปุ๋ยหมักฟางข้าวประกอบด้วยอินทรียสารซึ่งช่วยให้ดินมีสภาพร่วนซุย ไม่อัดตัวแน่นทึบ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก (N,P,K) ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว (ธงชัย มาลา, 2546; ประเสริฐ สองเมือง, 2543; สมศักดิ์ วังใน, 2521)

5.1.1.1 ลักษณะสมบัติทางเคมี

ความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 11.82 (ตารางที่ 4.1) จัดได้ว่าความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline) โดยอยู่ในช่วงมากกว่า 9.0 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่วนปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.73 (ตารางที่ 4.2) ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับด่างเล็กน้อย (slightly alkaline) โดยความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.3 - 7.4 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 2.39 ppm (ตารางที่ 4.1) จัดได้ว่าอยู่ในระดับต่ำมาก (very low) โดยอยู่ในช่วงน้อยกว่า 3 ppm (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) ในขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับ 744.07 ppm (ตารางที่ 4.2) จัดได้ว่าอยู่ในระดับสูงมาก (very high) มากกว่า 45 ppm (FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) อาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวสามารถนำไปใช้เพิ่มธาตุฟอสฟอรัสในดินได้

ข้าวที่ได้รับธาตุซิลิกอนจะทำให้ใบตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ใบ ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงดีขึ้น เพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง (Yoshida, 1981) ปุ๋ยหมักฟางข้าวพบว่าปริมาณซิลิกอน (crude SiO_2 %) มีค่าเท่ากับ 12.72% (ตารางที่ 4.2) ถือว่ามีปริมาณไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมีธาตุซิลิกอนในรูปซิลิกา (SiO_2) มีอยู่ถึง 39.9 % (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) โดยปริมาณซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$) ของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 324.55 ppm หรือ 3.24% (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยลิกไนต์สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มปริมาณซิลิกอนในทางการเกษตรได้

5.1.1.2 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

ความหนาแน่นรวมและความพรุนของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 1.19 กรัม/ลบ.ซม. และ55.09 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) เถ้าลอยลิกไนต์มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.49 ถึง 870 ไมโครเมตร โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 155 ไมโครเมตร (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2546) รวมถึงช่องขนาดใหญ่ (macropores) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมโครเมตร เมื่อเติมลงในดินเหนียวทำให้ช่องขนาดใหญ่ของดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังประกอบด้วยขนาดอนุภาคที่ช่วยทำให้ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าความหนาแน่นรวมและความพรุนเท่ากับ 0.17 กรัม/ลบ.ซม. และ 93.58 % ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) จัดได้ว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นวัสดุที่มีสภาพร่วนซุย ไม่อัดตัว

แน่นทึบ จึงกล่าวได้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว มีสมบัติทางกายภาพที่เอื้อต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

5.1.2 เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในดินเปรี้ยวจัด

เพื่อให้ทราบถึงความเป็นประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าว จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินนาก่อนทำการทดลองเพื่อให้ทราบเป็นข้อมูลพื้นฐานและความสม่ำเสมอของพื้นที่ที่ทำการศึกษาวิจัย ในระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองเป็นระยะที่ใช้ในการประเมินความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลังจากเติมสิ่งทดลองเนื่องจากสิ่งทดลองทำปฏิกิริยากับสารละลายดินได้อย่างเหมาะสม (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ 2531) ในระยะต้นข้าวออกดอกเป็นระยะที่ใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของรากข้าว ส่วนสมบัติทางกายภาพของดินทำการศึกษาที่ระยะเก็บเกี่ยวเพื่อให้ทราบถึงผลจากการเติมสิ่งทดลอง

5.1.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่างของดินก่อนการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.16 - 4.38 (ตารางที่ 4.3) จัดได้ว่าดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เมื่อดินมีการขังน้ำ ออกซิเจนจากอากาศจะแพร่กระจายลงสู่ดินได้น้อยมาก ออกซิเจนที่มีอยู่ในดินก็จะถูกจุลินทรีย์ในดินใช้ไปจนหมดและในที่สุดดินจะอยู่ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน สารประกอบเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะถูกรีดิวซ์โดยอนุมูล H^+ ถูกใช้ไปในกระบวนการรีดักชันทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (Ponnamperuma, Martinez, Loy, 1966 อ้างถึงใน De Datta, 1981) ทั้งนี้เมื่อเติมสิ่งทดลองแล้ว 14 วัน พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละตำรับทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.36-4.73 (รูปที่ 5.1) สาเหตุที่ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเป็นผลมาจากการขังน้ำในดินเปรี้ยวจัดซึ่งมีสารประกอบเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ที่ถูกรีดิวซ์ในปริมาณต่ำจึงทำให้ปฏิกิริยารีดักชันของเหล็ก ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นนั้นเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินธรรมดา จึงทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปรี้ยวจัดเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.5 – 5.0 (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547) ในขณะที่ความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการปลูกข้าวอยู่ในช่วง 5.0 - 7.0 (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2543) สำหรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง หรือระยะต้นข้าวออกดอก (รูปที่ 5.1) พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การเติมปุ๋ยเคมีทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง เพราะปุ๋ยเคมีจะเพิ่มสภาพความเป็นกรดให้กับดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในขณะที่การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับ

เถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากในปุ๋ยหมักฟางข้าวมีอินทรียสารที่ยังย่อยสลายไม่หมด เมื่อนำมาเติมลงในนาจึงเกิดการเน่าเปื่อยเกิดกรดอินทรีย์ จึงทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง (De Datta, 1981; Marschner, 1986) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม อาจเป็นเพราะความเป็นด่างจัดของเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมี pH เท่ากับ 11.82 (ตารางที่ 4.1)ไปยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินขึ้นมา ทั้งนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่สามารถใช้เป็นปูนทางการเกษตรได้ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546)

อาจกล่าวได้ว่าในทุกตำรับทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดินในระยะ 14 วันหลังเดิมสิ่งทดลอง และระยะต้นข้าวออกดอกอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.2.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่เกี่ยวข้องกับการความแข็งแรงในการเจริญเติบโต ของข้าวทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินและราก โดยเฉพาะในระยะแรกของการเจริญเติบโตทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (De Datta, 1981, Yoshida, 1981) ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการย่อมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ผิดปกติไปเช่น พืชจะออกดอกช้า และมีราก ผอม บาง สั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในพื้นที่ดินเปรี้ยวมีความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในระดับที่เป็นกรดจัดมาก pH 4.16 - 4.38 (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้มากที่สุดที่ความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 6.8-7.2 (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) โดยการขังน้ำเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเนื่องจากเฟอร์รัสฟอสเฟตละลายน้ำได้ง่ายขึ้น แต่ในพื้นที่ดินเปรี้ยวมีเหล็ก และอลูมินัมละลายออกมามากเช่นกัน ฟอสฟอรัสจึงถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกต ซึ่งยากต่อการนำมาใช้ประโยชน์ของพืช จึงทำให้ดินขาดแคลนฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธนเศรฐ และเมธิน ศิริวงศ์, 2540; Matsuo et al., 1997) เมื่อเติมสิ่งทดลองแล้ว 14 วัน (รูปที่ 5.1) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือดินเดิม มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเมื่อเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาเหตุที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมก็เพราะว่า เถ้าลอยลิกไนต์มีระดับปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่ำเพียง 11.87 ppm (ตารางที่ 4.1) ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในเถ้าลอยลิกไนต์ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Scotti et al., 1999) ส่วนการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ถึง 744.07 ppm (ตารางที่ 4.2) อาจเป็นไปได้ว่าฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ดูดกินจนอยู่ในรูปสารอินทรีย์โดยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์จะถูกปลดปล่อยออกมาหลังจากที่จุลินทรีย์ตาย และถูกย่อยสลายโดยจะค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารในระยะยาว (ธงชัย มาลา, 2546) จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในระยะ14วันหลังเติมสิ่งทดลองส่วนใหญ่มาจากการเติมปุ๋ยเคมี

เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในระยะต้นข้าวออกดอก (รูปที่ 5.1) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวยังคงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบตำรับทดลองอื่นๆ สำหรับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม อาจเป็นผลเนื่องจากซิลิกอนมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) ส่วนการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม น่าจะมีสาเหตุมาจากเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ที่ถูกจุลินทรีย์ดูดกินจนอยู่ในรูปสารอินทรีย์จะถูก

ปลดปล่อยออกมาหลังจากที่จุลินทรีย์ตาย และถูกย่อยสลายโดยจะค่อยๆปลดปล่อยธาตุอาหารในระยะยาว (ธงชัย มาลา, 2546)

เป็นไปได้ที่จะสรุปว่าในระยะ14วันหลังเติมสิ่งทดลอง การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระยะต้นข้าวออกดอกกลับทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

5.1.2.3 ซิลิกอนที่เป็นประโยชน์

ซิลิกอนเป็นธาตุซึ่งมีมากเป็นอันดับสองในโลกรองจากธาตุอลูมินัม แต่ปริมาณที่ละลายได้และอยู่ในสารละลายดินมีเพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าซิลิกอนจะไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชแต่จะเป็นธาตุเสริมประโยชน์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546; Vashegyi et al., 2002) แต่ข้าวเป็นพืชที่ดูดดึงซิลิกอนในปริมาณมากสูงกว่าธาตุอาหารอื่นๆ (Takahashi, 1995) ซิลิกอนสามารถละลายได้เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในช่วง 2.0-8.0 โดยความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะมีผลต่อการละลายของซิลิกอนน้อยมาก (De Datta, 1981; ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา, 2546) ประโยชน์ของธาตุซิลิกอนคือช่วยให้ใบตั้งชัน ลำต้นแข็งไม่ล้มง่าย ป้องกันการล่วงล้ำของเชื้อโรคเข้าไปในรากและใบ โดยซิลิกอนจะสะสมอยู่ในผนังเอนโดเดอร์มิส (Hudson and Sangster, 1989 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) พร้อมทั้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแอเรงคิมาทั้งในรากและส่วนเหนือดินส่งผลให้ออกซิเจนเคลื่อนย้ายลงไปถึงรากสะดวกและออกซิไดส์เหล็กไม่ให้เป็นอันตรายต่อราก (Marschner, 1995 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2546) ซึ่งมีงานวิจัยที่พบว่าการใส่ธาตุซิลิกอนทำให้รากพืชหลายชนิดเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Cocker et al., 1998; Ma et al., 2001; Vashegyi et al., 2002) นอกจากนั้นซิลิกอนยังมีผลในการช่วยปลดปล่อยฟอสเฟตที่ถูกตรึงได้ง่ายในดินเปรี้ยวให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ (Hingston et al. , 1968) และมีความสามารถในการลดการดูดซับของฟอสเฟตก่อนที่ฟอสเฟตจะถูกดูดซับโดยดิน (Obihara และ Russell, 1972)

เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$) เมื่อเติมสิ่งทดลองแล้ว 14 วัน หรือระยะต้นข้าวออกดอก (รูปที่ 5.1) พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ในขณะที่การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียวมีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและดินเดิมซึ่งมีค่าไม่

แตกกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ในปริมาณมาก (Adriano et al., 1980; Lee et al., 2005)

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพในการเพิ่มปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ให้กับดิน ทั้งในระยะ14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง และระยะต้นข้าวออกดอก

5.1.2.4 ความหนาแน่นรวมและความพรุนของดิน

การทำนาในดินเหนียวเพื่อให้ดินขังน้ำไว้ได้นานต้องทำเทือกซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ก้อนดินแตกออกจากกันกลายเป็นโคลนตมส่งผลให้โครงสร้างดินเสียและความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้นเนื่องจากช่องว่างขนาดใหญ่ของดินถูกทำลายไป (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; วิโรจน์ อิ่มพิทักษ์, 2531) จะเห็นได้จากความหนาแน่นรวมของดินที่ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ในช่วง 1.28 - 1.46 กรัม/ลบ.ซม.เพิ่มขึ้นจากก่อนทำการทดลองซึ่งมีค่า 1.20 กรัม/ลบ.ซม.ในขณะที่ความพรุนของดินที่ระยะก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิตอยู่ในช่วง 45.03 – 51.82 % ลดลงจากก่อนทำการทดลองซึ่งมีค่า 54.65 % (ตารางที่ 4.6)

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นรวมของดินและความพรุนของดินที่ระดับความลึก 0 – 20 ซม. ในภาพรวม (รูปที่ 5.2) พบว่าการเติมสิ่งทดลองต่างๆ (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ไม่ทำให้ความหนาแน่นรวมของดิน และความพรุนของดินเกิดความแตกต่างกันในแต่ละตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีทรงกลมกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 0.155 มม. (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ ธวิโรจน์ ตันนุกิจ และกนกพร ชัยวุฒิกุล, 2546) จัดเป็นขนาดที่อยู่ในช่วงของขนาดอนุภาคทรายละเอียด Fine sand อยู่ในช่วงขนาด 0.02-0.2 มม.ตามการจัดกลุ่มขนาดอนุภาคดินระบบสากล (ISSS) โดยการเติมลงในดินนาในอัตรา 2 ตันต่อไร่ไม่ทำให้เนื้อดินนาเปลี่ยนแปลง (ดวงสรวง สกุลกลจักร, 2547) เนื่องจากอิทธิพลจากอนุภาคดินเหนียวในดินนามีผลต่อสมบัติของดินสูงกว่าอนุภาคทรายละเอียดจากเถ้าลอยลิกไนต์จึงทำให้ความหนาแน่นรวมและความพรุนของดินไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (รูปที่ 5.2) ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลง ส่วนความพรุนของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าในดินที่มีความหนาแน่นรวมของดินระหว่าง 1.25 ถึง 1.60 กรัม/ลบ.ซม. การเติมเถ้าลอยลิกไนต์จะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง (Page et al., 1979,1980; Lingling et al., 2005; Sezer et al., 2004) สาเหตุน่าจะมาจากในอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว

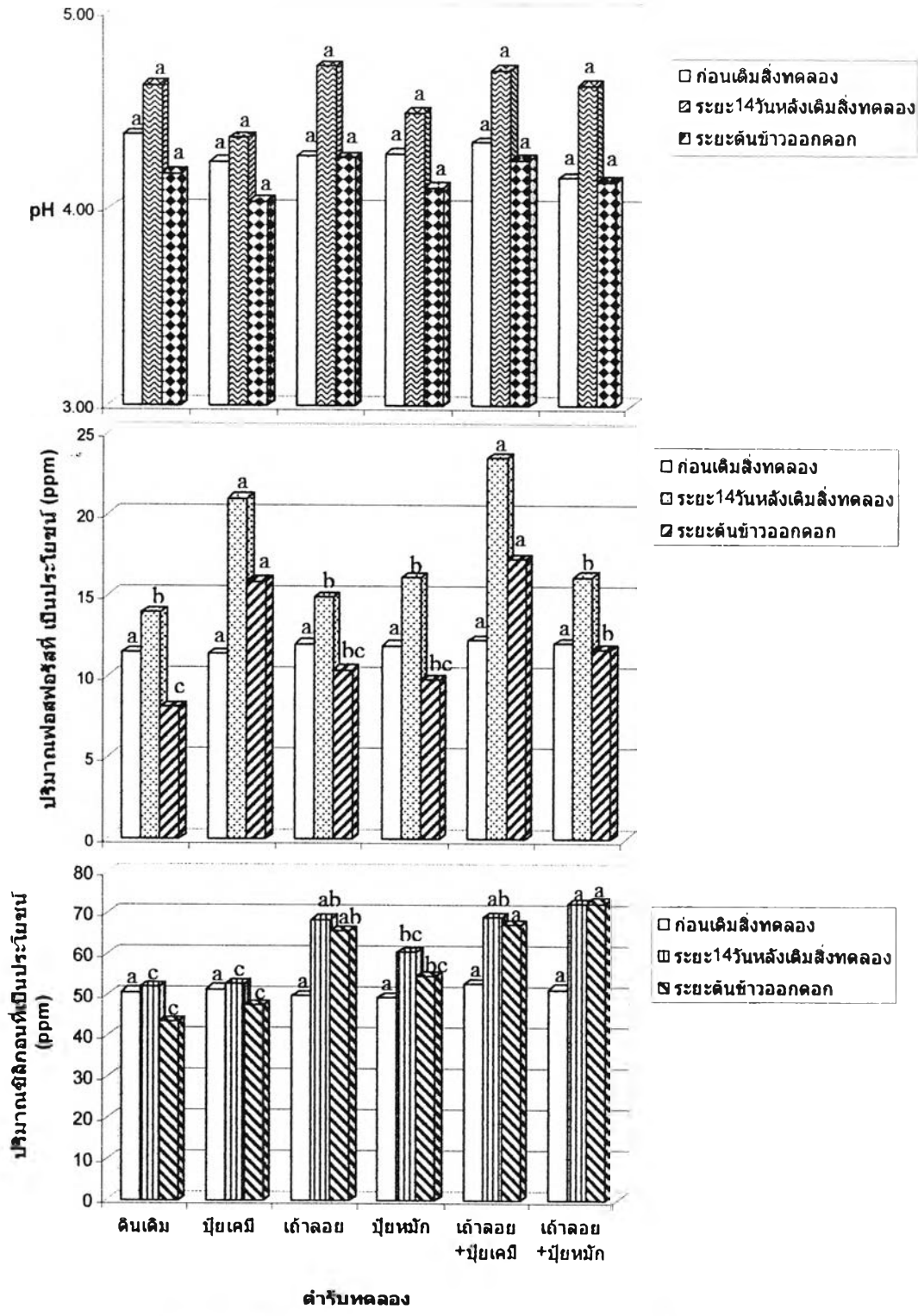
(ดินเดิม) เมื่อเรียงตัวกันเป็นก้อนดินจะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีทรงกลมกลวง มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.49 ถึง 870 ไมโครเมตร โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 0.155 มม.หรือ 155 ไมโครเมตร (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2546) โดยอนุภาคทรงกลมกลวงขนาด 155 ไมโครเมตร เหล่านี้เมื่อแทรกตัวอยู่ในดินนาน่าจะช่วยเพิ่มจำนวนช่องขนาดใหญ่ (macropores) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมโครเมตร ให้กับอนุภาคดินเหนียว ทำให้ช่องขนาดใหญ่ของดินเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง ส่วนความพรุนของของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทางตรงกันข้าม งานวิจัยของ Chang et al. (1977) รายงานว่าเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย น้อยกว่า 10 ไมโครเมตร (ขนาดทรายแป้ง 2 – 50 ไมโครเมตร) ลงในดินเหนียวทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าเพิ่มขึ้น อาจกล่าวได้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินเหนียวต้องคำนึงถึงขนาดของอนุภาค และอัตราการเติมเถ้าลอยลิกไนต์มิฉะนั้นอาจทำให้ดินนาแข็งขึ้น

ส่วนสาเหตุที่การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวทำให้ความหนาแน่นรวมของดินและความพรุนของดินมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการดินเดิม (รูปที่ 5.2) น่าจะมีสาเหตุมาจาก การเติมปุ๋ยเคมีซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (16-20-0) ซึ่งจะช่วยปรับปรุงและบำรุงโครงสร้างดินเนื่องจากฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มกิจกรรมของราก และจุลินทรีย์ในดินซึ่งมีส่วนช่วยทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น ในขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวจะทำให้โครงสร้างดินเสีย (Biswas and Mukherjee, 1999)

สำหรับสาเหตุที่การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (รูปที่ 5.2) ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินและความพรุนของดินมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวจะเห็นได้ว่าทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง ส่วนความพรุนของของดินเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง เนื่องจากการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินจึงทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีค่าลดลง (Biswas and Mukherjee, 1999) ส่งผลให้ความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่ฟางข้าวลงในดินนาจะไม่สามารถทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเปลี่ยนแปลงได้ภายในครั้งเดียวแต่ต้องใช้เวลานานถึง 10 ปี (Bird et al., 2002) สอดคล้องกับ ประเสริฐ สองเมือง (2543) ที่รายงานว่าการใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวต้องใส่ติดต่อกัน 10 ปีจึงทำให้ความแข็งของดิน (soil hardness) มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยใน

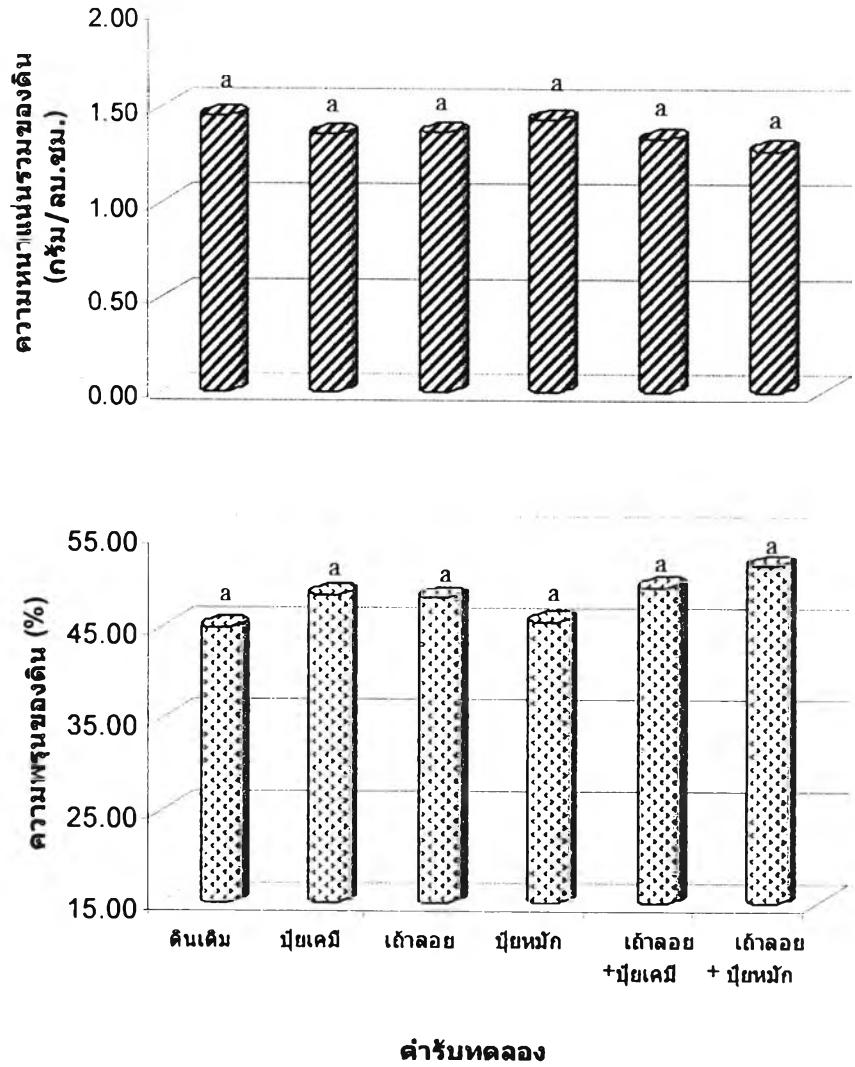
การศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ในขณะที่ ถนอม คลอดเพ็ง และ ชัยวุฒิ นิมมลังกูร (2526) รายงานว่าต้องใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวในอัตราไม่ต่ำกว่า 3 ตันต่อไร่ จึงสามารถทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า และเกิดขึ้นประมาณ 3 ล้านตัน/ปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) มีราคาจำหน่ายหน้าโรงไฟฟ้าสูงสุดตันละ 120 บาท (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2546) สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์เป็นทางเลือกในการเพิ่มปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ให้กับดินแทนการใช้ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตซึ่งมีราคาแพง ในขณะที่การนำฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดมาทำเป็นปุ๋ยหมักและเติมกลับลงสู่ดินเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินและลดการเผาฟางซึ่งทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในระยะต้นข้าวออกดอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในระยะต้นข้าวออกดอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ความหนาแน่นรวม และความพรุนของดินไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกันของ pH หรือปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ หรือปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ที่ระยะการเก็บตัวอย่างเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ของดิน ก่อนเติมสิ่งทดลอง ระยะ14วันหลังเติมสิ่งทดลอง และระยะต้นข้าวออกดอก



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 5.2 ความหนาแน่นรวมของดินและความพรุนของดินที่ระดับความลึก 0 – 20 ซม.ที่ระยะก่อนเก็บเกี่ยว

5.2 การเจริญเติบโตของรากข้าวเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวในดินเปรี้ยวจัด

การเจริญเติบโตของรากข้าวมีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องหลายประการเช่น ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี สิ่งแวดล้อม และพันธุกรรม (Russell, 1977; Yoshida, 1981) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหาร และสารปรับปรุงดินได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) ส่วนการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวจะมีธาตุอาหารหลัก (N,P,K) ในปริมาณต่ำ และจะปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืชอย่างช้าๆ และมีคุณสมบัติช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้โปร่งร่วนซุยทำให้ระบายน้ำ และอากาศได้ดี (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) โดยการศึกษาวิจัยจะศึกษาความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ในระยะออกดอกที่มีผลโดยตรงกับการเจริญเติบโตของรากข้าวซึ่งประกอบด้วย น้ำหนักแห้งราก ความยาวราก และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักรากกับน้ำหนักลำต้น

5.2.1 การเจริญเติบโตของรากข้าว

ข้าวเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีน้ำขังซึ่งเป็นดินที่ขาดออกซิเจนอย่างรุนแรงโดยรากข้าวยังมีออกซิเจนสำหรับการหายใจได้ เนื่องจากออกซิเจนสามารถผ่านจากกาบใบลงสู่ราก (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) อาจกล่าวได้ว่าการเจริญเติบโตของรากข้าว (น้ำหนัก และความยาวราก) เป็นเส้นทางนำออกซิเจนลงสู่ดินเพื่อที่จะได้พลังงานในการดูดดึงน้ำ และธาตุอาหาร นอกจากนั้นยังสามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินเนื่องจากสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินนาปรับเปลี่ยนด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของรากข้าว (รูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4) พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวทำให้น้ำหนักแห้งราก และความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ในขณะที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินของทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่สามารถใช้เป็นปูนทางการเกษตรได้ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในระยะข้าวออกดอกที่อยู่ในช่วง 4.04 - 4.26 (ตารางที่ 4.3) ถือได้ว่าอยู่ในระดับกรดจัด และมีส่วนในการยับยั้งการเจริญเติบโตของราก เนื่องจากสภาพรีดักชัน (reduction) ทำให้เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ละลายน้ำได้มากขึ้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ แต่เมื่อมีปริมาณมากจนเกินไปจะเป็นอุปสรรคต่อการดูดน้ำและธาตุอาหารของรากข้าวจนเกิดความเป็นพิษจากเหล็ก นอกจากนี้ยังมีความเป็นพิษจากอลูมินัม (Al) ที่ละลายออกมากเกินไปจนมีผลยับยั้ง

การเจริญเติบโตของรากข้าว (เจริญ เจริญจำรัสชีพ และคณะ, 2542; อนนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; De Datta, 1981, Matsuo et al., 1997) การเจริญเติบโตของรากที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ส่วนหนึ่งน่าจะมีผลมาจากปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ตารางที่ 4.5) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม กล่าวคือ ซิลิกอนที่มีในเถ้าลอยลิกไนต์มีส่วนช่วยทำให้รากข้าว เพิ่มอำนาจการออกซิเดชัน โดยรากข้าวเป็นบริเวณที่สภาพออกซิเดชันและรีดักชันมาสัมผัสกันออกซิเจนที่แพร่ซึมออกมาบริเวณรากข้าวจะออกซิไดส์เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ที่มีมากเกินไปให้อยู่ในรูปสารประกอบเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซึ่งจะตกตะกอนเคลือบผิวราก (สีน้ำตาลบริเวณผิวรากข้าว) ทำให้รากข้าวสามารถเจริญเติบโตดูดดึงธาตุอาหาร และน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้มากขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; Yoshida, 1981; Matsuo et al., 1997) อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่พบว่าการใส่ธาตุซิลิกอนลงในสารละลายที่มีอลูมินัมทำให้รากพืชหลายชนิดเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Cocker et al., 1998; Ma et al., 2001; Vashegyi et al., 2002) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.4) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม อาจเป็นผลเนื่องจากซิลิกอนมีส่วนช่วยในการปลดปล่อย ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) จึงมีส่วนช่วยให้รากเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของรากข้าว (รูปที่ 5.3) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่ารากข้าวเจริญเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง ทั้งนี้พบว่าน้ำหนักแห้งราก และความยาวรากไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.4) อาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยเคมีประกอบด้วยไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (16-20-0 และ46-0-0) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลัก มีผลต่อการเจริญเติบโตของรากข้าว เนื่องจากไนโตรเจนมีส่วนเพิ่มการเจริญเติบโตของรากผิวดิน (Matsuo and Hoshikawa, 1993; Yamazki and Harada, 1982) ในขณะที่ฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มการแตกกอจึงมีส่วนทำให้น้ำหนักรากและความยาวรากมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการแตกกอทำให้เกิดราก (crown roots) เพิ่มขึ้น (Yoshida, 1981; Matsuo and Hoshikawa, 1993) และมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อีกทั้งการใส่ปุ๋ยเคมียังช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของรากที่หยุดการเจริญเติบโต คือรากที่มีความยาวน้อยกว่า 5 ซม.ที่หยุดการเจริญเติบโต และเพิ่มเปอร์เซ็นต์รากที่เจริญเติบโต คือ รากข้าวที่มีความยาวมากกว่า 5 ซม.จึงทำให้น้ำหนักราก และความยาวรากเมื่อเติมปุ๋ยเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น (ประเสริฐ สองเมือง ,2543; Abe et al., 1995) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี

(ตารางที่ 4.4) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4.5) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อาจกล่าวได้ว่าซิลิกอนนอกจากมีส่วนช่วยทำให้รากข้าวเพิ่มอำนาจการออกซิเดชัน แล้ว (Yoshida, 1981; Matsuo et al., 1997) นอกจากนั้นยังมีส่วนช่วยในการปลดปล่อย ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) จึงทำให้น้ำหนักราก และความยาวรากเพิ่มขึ้น

อีกสาเหตุหนึ่งที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้การเจริญเติบโตของรากเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้การเจริญเติบโตรากข้าวไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญแต่มีค่าเพิ่มขึ้น น่าจะมีสาเหตุมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง (Lingling et al., 2005; Sezer et al., 2004) โดยความหนาแน่นรวมที่ลดลงที่อุณหภูมิ 25 - 37^{0}C มีส่วนทำให้รากข้าวเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น (Kar et al., 1976) ซึ่งในอนุภาคดินเหนียวเพียงอย่างเดียว (ดินเดิม) เมื่อเรียงตัวกันเป็นก้อนดินจะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รากพืชดูดน้ำจากช่องเหล่านี้ได้น้อยเนื่องจากมีแรงดึงดูดน้ำสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีทรงกลมกลวงมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0.49 ถึง 870 ไมโครเมตรโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 0.155 มม.หรือ 155 ไมโครเมตร (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2546) โดยอนุภาคขนาด 155 ไมโครเมตร เหล่านี้เมื่อแทรกตัวอยู่ในดินนาจะเพิ่มจำนวนช่องขนาดใหญ่ (macropores) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมโครเมตร ให้กับอนุภาคดินเหนียว ทำให้ช่องขนาดใหญ่ของดินเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 60 ถึง 100 ไมโครเมตร จะส่งเสริมให้รากเจริญเติบโตได้มากที่สุด (Baver, Gardner and Gardner, 1972) เนื่องจากทำให้จำนวนรูพรุนที่เป็นช่องว่างเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้รากเจริญเติบโตได้เพิ่มขึ้น (Kar et al., 1979; Matsuo and Hoshikawa, 1993) นอกจากนี้ขนาดอนุภาคทรายแป้ง (2 ถึง 50 ไมโครเมตร)บางส่วนที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีส่วนช่วยอุ้มน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงมีส่วนทำให้รากข้าวเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสามารถดูดดึงน้ำและธาตุอาหารเพิ่มขึ้น

จึงสรุปได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ ทำให้น้ำหนักแห้งราก และความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี สูตร16-20-0 อัตรา 40 กก./ไร่ และ 46-0-0 อัตรา 15 กก./ไร่ ทำให้

น้ำหนักแห้งราก และความยาวรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

สำหรับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว พบว่าความยาวรากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมแต่มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำหนักแห้งรากกลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (รูปที่ 5.4) จะเห็นได้ว่าความยาวรากไม่ได้เป็นผลมาจากน้ำหนักรากเสมอไป (Penning de Vries et al., 1989) ซึ่งไม่สอดคล้องกับ เกรียงไกร พันธุ์วรรณ์ และสุพจน์ สัตยากุล (2537) ซึ่งพบว่าความยาวรากมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งราก นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งราก หรือความยาวรากเมื่อเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ สาเหตุอาจเป็นผลมาจากปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ใช้เวลาในการหมักเพียง 50 วันในขณะที่การหมักปุ๋ยโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 3 เดือนหรือ 120 วัน (สมศักดิ์ วังใน, 2521; ธงชัย มาลา, 2546; ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2547) โดยธาตุอาหารจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการหมักฟางข้าวมีมากขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) และยังเป็นไปได้ว่าเกิดการ immobilization คือการที่จุลินทรีย์นำสารอนินทรีย์ที่เป็นธาตุอาหารไปใช้จนข้าวเกิดภาวะขาดแคลนธาตุอาหาร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่งผลให้รากข้าวเจริญเติบได้ช้าลง ทั้งนี้การเติมสารอินทรีย์ซึ่งยังอาจย่อยสลายไม่หมดลงในดินขังน้ำซึ่งมีสภาพรีดักชันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดกรดอินทรีย์หลายชนิด และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) อีกทั้งสภาพดินเป็นดินเปรี้ยวจัด โดยพบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำรับทดลอง แต่เมื่อเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้กรดอินทรีย์ และความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ลดลงมีส่วนในการยับยั้งการเจริญเติบโตของราก การหายใจ การดูดดึงธาตุอาหาร และพิษต่อรากข้าว เป็นสาเหตุทำให้รากเน่า (De Datta, 1981, Yoshida, 1981) จึงน่าจะเป็นสาเหตุทำให้น้ำหนักรากลดลง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียวไม่ทำให้ความยาวรากมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมแต่ความยาวมีค่าเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.4) เนื่องจากการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์รากที่เจริญเติบโต คือรากข้าวที่มีความยาวมากกว่า 5 ซม. นอกจากนั้นยังส่งเสริมให้รากเจริญเติบโตลงในดินที่ระดับลึกลงไปจากโคนต้นในมุม 45 องศา (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; Abe et al., 1995) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ความยาวรากเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว และดินเดิม สาเหตุน่าจะเป็นผลมาจากการ

เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ (ตารางที่ 4.5) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว และดินเดิม โดยธาตุซิลิกอนมีส่วนช่วยทำให้รากข้าว เพิ่มอำนาจการออกซิเดชัน (Cocker et al., 1998; Ma et al., 2001; Vashegyi et al., 2002; Yoshida, 1981) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (ตารางที่ 4.4) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือดินเดิม จึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้รากข้าวมีความยาวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินกับการเติมปุ๋ยเคมีแล้วพบว่ามีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจเป็นไปได้ว่าธาตุอาหารหลักที่มีไม่เพียงพอในเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความยาวรากจากการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม

จึงสรุปได้ว่าการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้น้ำหนักแห้งรากมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่ทำให้ความยาวรากแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือดินเดิม

5.2.2 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักรากกับน้ำหนักลำต้น

ข้าวที่ปลูกในดินเหนียวจะมีค่าอัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ปลูกในดินทราย โดยสภาพแวดล้อมคือดินที่ปลูกมีอิทธิพลต่ออัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นมากกว่าพันธุกรรมของข้าว และน้ำในดิน (เกรียงไกร พันธุ์วรรณ์ และสุพจน์ สัตยากุล, 2537) ทั้งนี้ในการศึกษาใช้พันธุ์ปทุมธานี 1 ในนาชลประทานที่มีการควบคุมระดับน้ำ สมบัติของดินจะถูกปรับเปลี่ยนโดยการเติมสิ่งทดลอง

การเจริญเติบโตของรากข้าวมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นข้าว กล่าวคือ เมื่อต้นข้าวมีอัตราการสังเคราะห์แสงที่สูงจะส่งผลให้กิจกรรมของรากเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามกิจกรรมของรากที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเนื่องจากรากข้าวสามารถแสวงหาธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นได้อย่างเพียงพอ (Osaki et al., 1997) เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งลำต้น (ตารางที่ 4.7) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวทำให้น้ำหนักแห้งลำต้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีพบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นไม่มีความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวแต่มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากธาตุอาหารหลักที่จะต้องมีเพียงพอแล้วสาเหตุ

หนึ่งน่าจะมาจากซิลิกอนในเถ้าลอยลิกไนต์มีส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานโรคและแมลง นอกจากนั้นยังช่วยให้ใบตั้งตรงและเพิ่มการสังเคราะห์แสง (Yoshida, 1981) เมื่อพิจารณาการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวพบว่าน้ำหนักแห้งลำต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียวแต่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม เนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวประกอบด้วยธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในปริมาณต่ำ โดยจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้น (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; Yoshida, 1981)

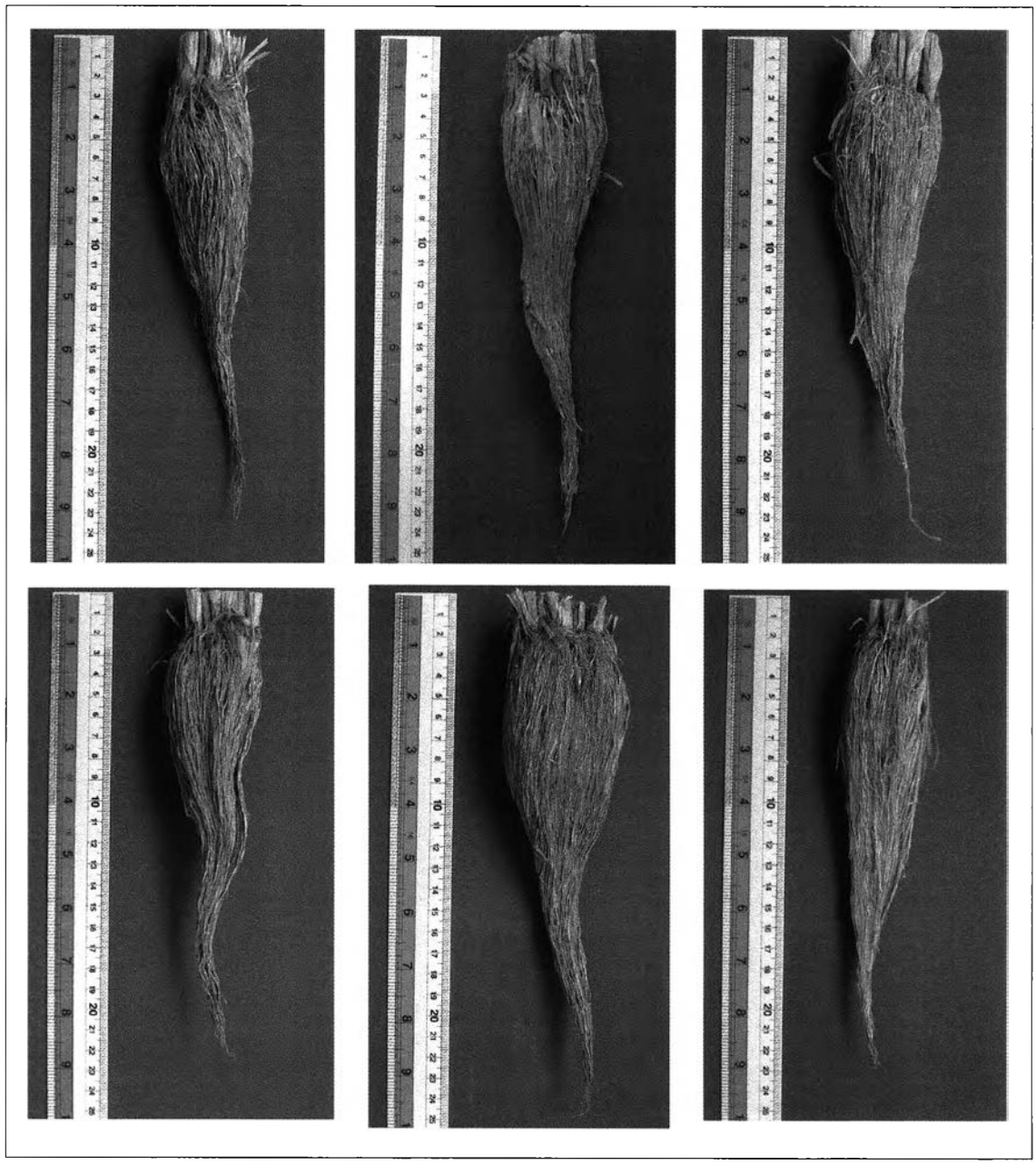
เมื่อพิจารณาจำนวนต้นต่อกอของทุกตำรับทดลอง (รูปที่ 5.4) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้นเนื่องจากฟอสฟอรัสที่มีมากในปุ๋ยเคมี และบางส่วนจากเถ้าลอยลิกไนต์มีส่วนช่วยเพิ่มการแตกกอ (Yoshida, 1981; Matsuo et al., 1995) ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวทำให้จำนวนต้นต่อกอเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้จำนวนต้นต่อกอเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือดินเดิม อาจมีสาเหตุมาจากธาตุซิลิกอนมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) จึงมีส่วนทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับประมุข ถิ่นใหญ่ (2546) และ Ling et al. (1994) ที่รายงานว่าการใส่ธาตุซิลิกอนมีผลทำให้ข้าวแตกกอเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่ได้ช่วยเพิ่มการแตกกอเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมี (Abe et al., 1995)

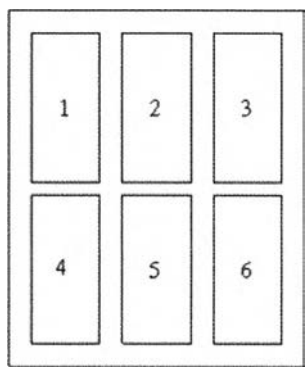
สำหรับอัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้น (รูปที่ 5.4) เมื่อพิจารณาดินเดิมพบว่าอัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวและมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี แสดงว่าในดินที่มีธาตุอาหารไม่เพียงพอ (ดินเดิม) ศักยภาพของรากที่จะดูดดึงธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นมีน้อยกว่าการเติมสิ่งทดลองอื่นๆรากต้องเจริญเติบโตเพื่อแสวงหาธาตุอาหารโดยอาหารจะถูกใช้ในการเจริญเติบโตของรากแทนที่จะใช้ไปในการเจริญทางลำต้นจึงทำให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นมีค่าสูงขึ้นใน (Russell, 1977; Price et al., 2002) ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวซึ่งในเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณไนโตรเจนต่ำเนื่องจากกระบวนการการเผาไหม้ถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้ไนโตรเจนถูกทำลาย

หรือเปลี่ยนรูปหรือสถานะกลายเป็นก๊าซจึงทำให้ในเถ้าลอยลิกไนต์มีไนโตรเจนในปริมาณน้อย (Adriano et al., 1980) แต่ปริมาณฟอสฟอรัสที่มีในเถ้าลอยลิกไนต์และอีกส่วนหนึ่งมาจากผลของซิลิกอนที่มีส่วนช่วยในการปลดปล่อย ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) โดยในสภาพที่ไม่ขาดแคลนน้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.4) พบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ฟอสฟอรัสทำให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (Russell, 1977) ดังนั้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์จึงเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้กับดินซึ่งมีส่วนทำให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นมีค่าลดลง

ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม เนื่องจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ล้วนแล้วแต่มีธาตุอาหาร (N, P) ครบถ้วนจึงทำให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากปุ๋ยเคมีจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นมากกว่าราก (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) ทั้งนี้การเติมไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสในสภาพที่ไม่ขาดแคลนน้ำมีผลให้อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นลดลง (Russell, 1977)

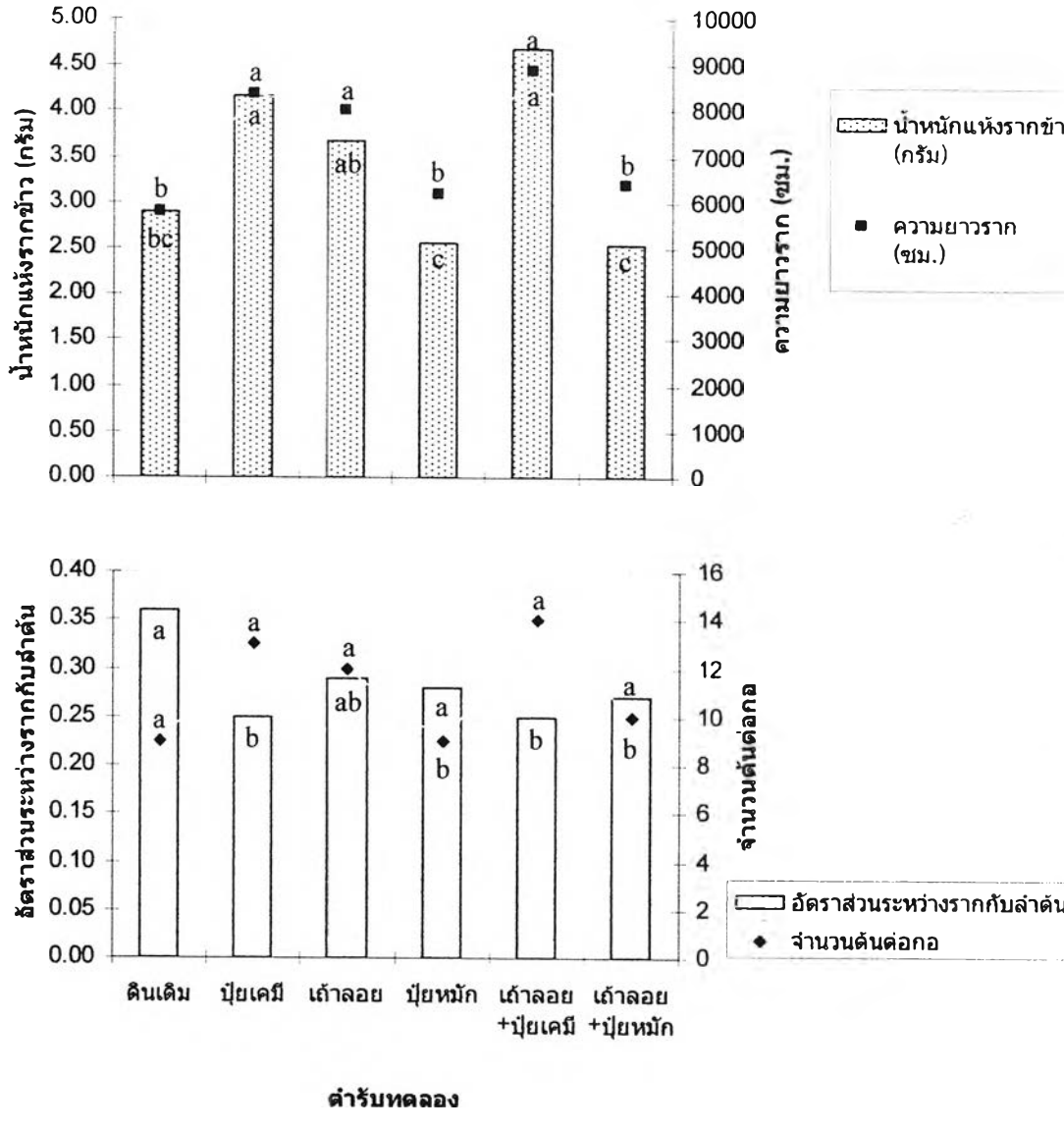
กล่าวโดยสรุป อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้นของข้าวมีค่าลดลงเมื่อเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ และปุ๋ยหมักฟางข้าว 2 ตัน/ไร่ โดยจำนวนต้นต่อกอในแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ





1. ดินเดิม
2. ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์
3. ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี
4. ดินเดิม+ปุ๋ยหมักฟางข้าว
5. ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์+ปุ๋ยเคมี
6. ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์+ปุ๋ยหมักฟางข้าว

รูปที่ 5.3 ลักษณะการเจริญเติบโตของรากข้าวที่ระยะต้นข้าวออกดอกเมื่อเดิมสิ่งทดลองต่างๆ



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.4 น้ำหนักแห้งรากข้าว ความยาวราก อัตราส่วนระหว่างรากกับลำต้น และจำนวนต้นต่อกอ ที่ระยะต้นข้าวออกดอก

5.3 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก

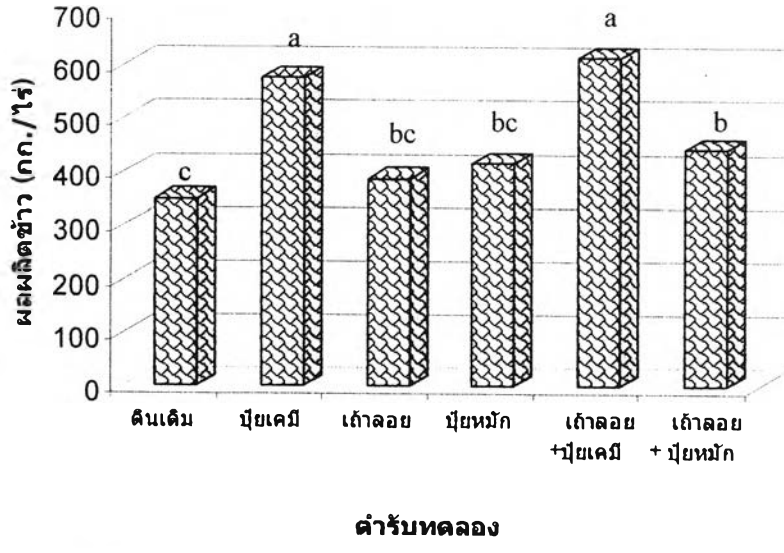
การเพิ่มผลผลิตข้าวเป็นเป้าหมายสำคัญสำหรับการปลูกข้าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ดินเปรี้ยวซึ่งได้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในช่วงเพียง 200-300 กก./ไร่ (ธีรพร บุศยอังกูล, 2543)

เมื่อพิจารณาผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (รูปที่ 5.5) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียวทำให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิมแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น มีค่า 446.95 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว มีค่า 388.10 กก./ไร่ หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว มีค่า 416.38 กก./ไร่ หรือดินเดิม มีค่า 350.17 กก./ไร่เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว ซึ่งการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งมีธาตุอาหารหลัก (N,P,K) ครบถ้วนแต่มีในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมักฟางข้าวจะดูดซับธาตุอาหารไว้ และปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้แก่พืชอย่างช้าๆ (ธงชัย มาลา, 2546; ประเสริฐ สองเมือง, 2543) โดยการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวในดินเปรี้ยวจัดทำให้ข้าวดูดดึงธาตุอาหารขึ้นมาใช้ได้มากขึ้น และทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และคณะ, 2535) เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารรวมถึงธาตุเสริมประโยชน์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546; U.S.EPA., 1988) โดยเฉพาะธาตุซิลิกอนที่มีอยู่มากในเถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งข้าวเป็นพืชที่สะสมธาตุซิลิกอน (Takahashi, Ma and Miyake, 1990) โดยธาตุซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นไปจะสะสมที่ผิวใบ และลำต้น ทำให้ลำต้นแข็ง เพิ่มการสังเคราะห์แสงและเพิ่มความต้านทานโรค (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2546; Yoshida, 1981) ธาตุซิลิกอนยังช่วยเพิ่มจำนวนรวงต่อกอ และความสมบูรณ์ของรวงข้าว (Ma, Nishimra, and Takahashi, 1989; Takahashi, 1995) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในระยะต้นข้าวออกดอกเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม อาจเป็นผลเนื่องจากซิลิกอนมีส่วนช่วยในการปลดปล่อย ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) จึงทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

นั้นหมายถึงการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือดินเดิม

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีค่า 616.50 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีค่า 575.55 กก./ไร่ (รูปที่ 5.5) พบว่าไม่ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากซิลิกอนที่มีมากในเถ้าลอยลิกไนต์ไม่ได้เป็นธาตุอาหารหลักเหมือนกับการเติมปุ๋ยเคมี (N,P) โดยไนโตรเจนมีผลต่อจำนวนรวง ทำให้ช่อดอกใหญ่ขึ้น และเพิ่มผลผลิต ส่วนฟอสฟอรัสช่วยเพิ่มความแข็งแรง เพิ่มการแตกกอ และทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546; De Datta, 1981; Yoshida, 1981) อย่างไรก็ตามผลผลิตที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวน่าจะมีสาเหตุมาจากธาตุอาหารรอง จุลธาตุอาหารรวมถึงธาตุเสริมประโยชน์ และซิลิกอนที่มีอยู่มากในเถ้าลอยลิกไนต์มีส่วนช่วยในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อะลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกตให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Hingston et al., 1968; Ma and Takahashi, 1990; Matsuo et al., 1995) นอกจากนี้ซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นไปจะสะสมที่ผิวใบ และลำต้น ทำให้ลำต้นแข็ง เพิ่มการสังเคราะห์แสงและเพิ่มความต้านทานโรค (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2546; Yoshida, 1981) จึงน่าจะมีส่วนทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) และเจนจิรา พวงทับทิม (2546) ที่พบว่าการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในต่างประเทศที่พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Singh and Siddiqui, 2003; Rautaray, Ghosh and Mittra, 2003; Mittra et al., 2005; Lee et al., 2005) แสดงว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กล่าวโดยสรุปได้ว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เพิ่มขึ้นเป็นเพราะปุ๋ยเคมี ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวอย่างใดอย่างหนึ่ง เพียงมีแนวโน้มที่จะช่วยให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากดินเดิมเท่านั้น แต่หากใช้เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวจะทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

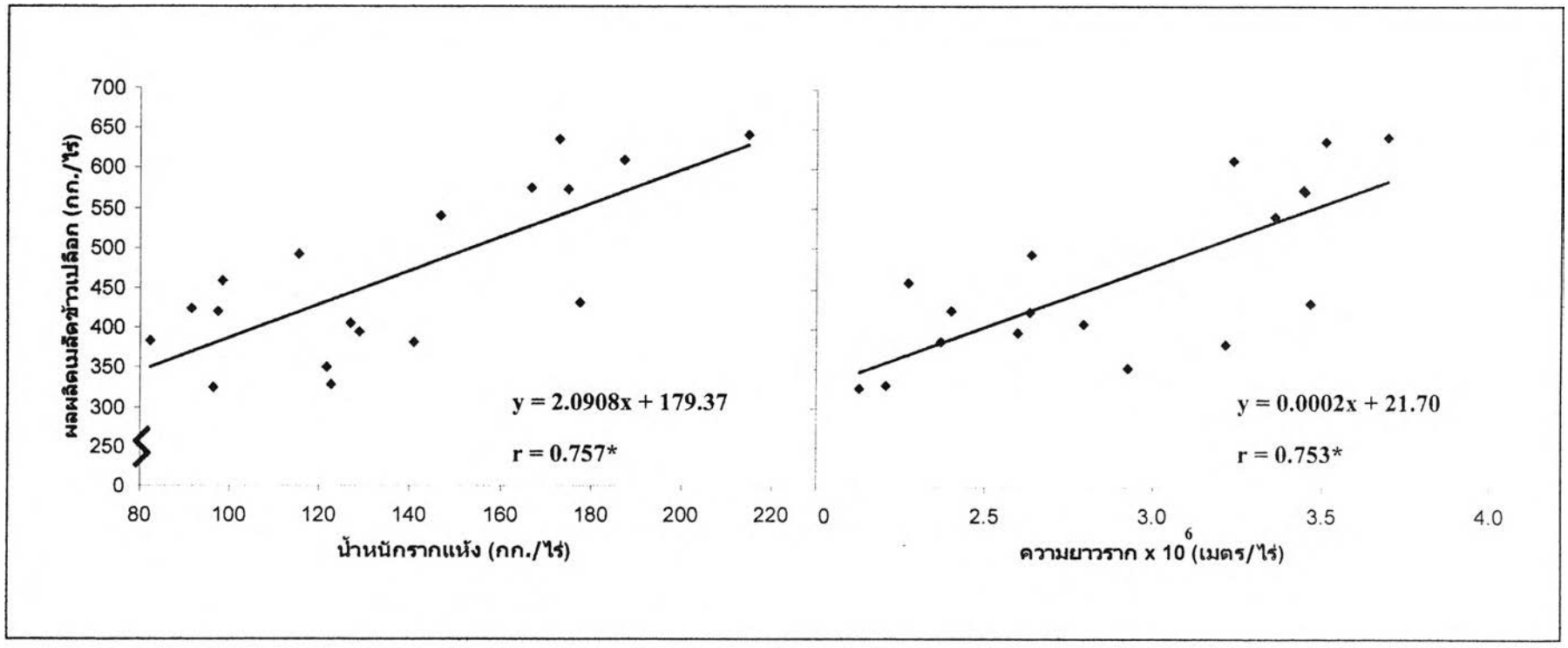
รูปที่ 5.5 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ความชื้น14%

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของรากข้าวกับผลผลิตข้าว

การเจริญเติบโตของรากข้าวสามารถบอกให้ทราบถึงโอกาสที่จะได้รับผลผลิตข้าวตามมา เพราะความยาวและน้ำหนักของรากผิวดินมีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าว (Yamazki and Harada, 1982; Matsuo and Hoshikawa, 1993) การเพิ่มผลผลิตข้าวเป็นเป้าหมายสำคัญสำหรับการปลูกข้าว การปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของรากข้าวเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Matsuo and Hoshikawa, 1993) โดยที่การเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ทำให้สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากข้าว เมื่อนำการเจริญเติบโตของรากข้าว (น้ำหนัก และความยาว) มาหาสหสัมพันธ์กับผลผลิตข้าว จะได้คำตอบถึงสาเหตุความเป็นประโยชน์ของการเติมสิ่งทดลองระหว่างการเจริญเติบโตของรากข้าวกับผลผลิตข้าว ตลอดจนสหสัมพันธ์ของน้ำหนักแห้ง และความยาวราก

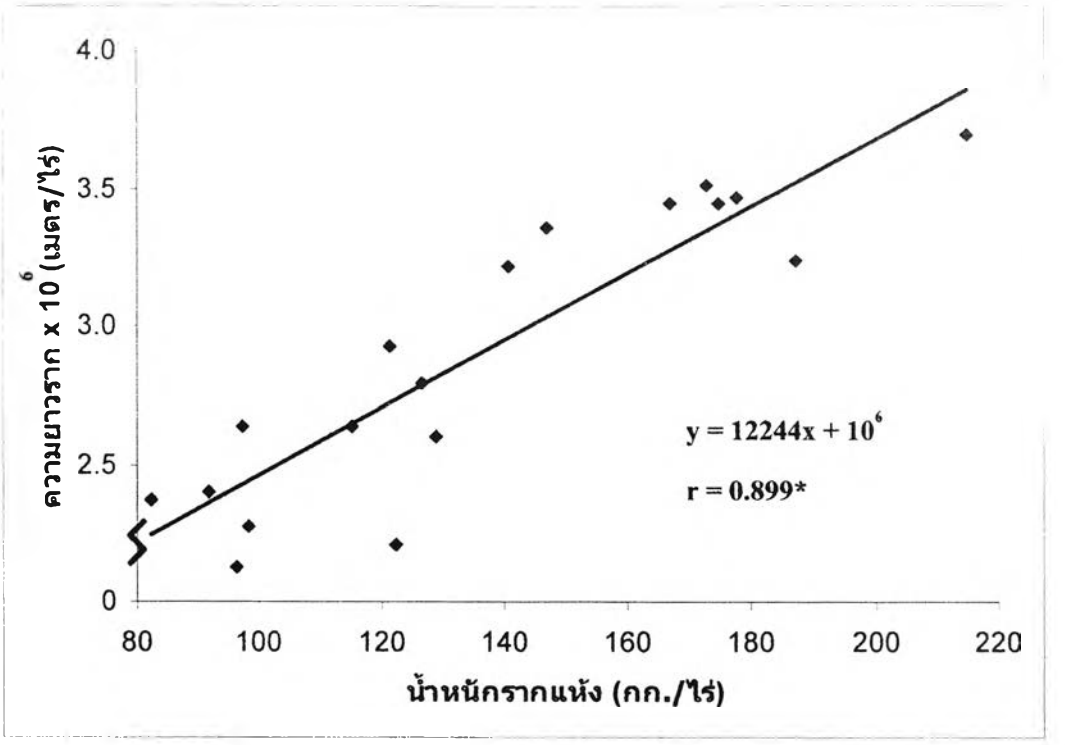
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรากข้าวกับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 (รูปที่ 5.6) พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($y = 2.0908x + 179.37$, $r = 0.757^*$) ส่วนความยาวรากมีความสัมพันธ์กับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 (รูปที่ 5.6) โดยความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิตข้าว ($y = 0.0002x + 21.70$, $r = 0.753^*$) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำหนักแห้งรากมีความสัมพันธ์กับความยาวราก (รูปที่ 5.7) เป็นเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($y = 12244x + 10^6$, $r = 0.899^*$)

จึงสรุปได้ว่าในการปลูกข้าวนาสวนซึ่งการเจริญเติบโตของรากส่วนใหญ่เจริญอยู่ที่ความลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร (Pardeep et al., 1994) การเจริญเติบโตของรากข้าวทั้งน้ำหนักแห้งรากและความยาวรากที่เพิ่มขึ้นเป็นลักษณะที่ส่งเสริมให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Yamazki and Harada, 1982; Matsuo and Hoshikawa, 1993)



หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งราก และความยาวรากกับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งรากกับความยาวราก