สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่ไม่มีความเหมาะสมต่อการเกษตร จากลักษณะของดินพบว่ามีความเป็นกรดรุนแรง ส่งผลให้ความเป็นพิษของอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสเพิ่มขึ้น และมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ เนื่องจากในดินเปรี้ยวจัดจะมีการตรึงฟอสเฟต ในรูปออกไซด์ของอลูมินัมและเหล็กที่ผิวอนุภาคดินเหนียวส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาต่อการเกษตร การปรับปรุงแก้ไขดินเปรี้ยวโดยการใส่ปูนเพื่อลดความเป็นกรดทำให้อลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสละลายออกมาได้น้อยลง การใส่ซิลิเกต (Silicate) จะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้กับพืช โดยที่ซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียว (Clay) ออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมทำให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534)

ทางเลือกหนึ่งคือการหาแหล่งซิลิกอนแทนปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตซึ่งมีราคาตามท้องตลาดที่ค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนให้กับเกษตรกร อีกทั้งลดปริมาณการใช้สารเคมีที่จะเพิ่มขึ้น จากลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวก็น่าจะเอื้อต่อการเพิ่มปริมาณซิลิกอนให้กับการเกษตรได้ เนื่องจากมีปริมาณซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสูง อีกทั้งยังมีลักษณะสมบัติที่จะช่วยในการปรับปรุงดิน ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับผลผลิตของข้าว และคุณภาพของข้าว ทั้งนี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ ในขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าวใช้ฟางข้าวซึ่งผ่านการเพาะเห็ดมาเป็นวัสดุก็เป็นผลพลอยได้จากการที่เกษตรกรในท้องถิ่นนิยมนำฟางไปเพาะเห็ด เมื่อเก็บเห็ดแล้วก็จะยังเหลือฟางข้าวเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้ง ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมาใช้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตรและยังเป็นการลดปัญหามลภาวะที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงอิทธิพลของซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อคุณภาพการสีข้าว ยังเป็นการเพิ่มซิลิกอนในการปลูกข้าว ทั้งนี้ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ศึกษาในเถ้าลอยลิกไนต์ คือ ความหนาแน่นรวม ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด และปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สำหรับฟางข้าวและปุ๋ยหมักฟางข้าว คือ ความหนาแน่นรวม ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ความเป็นกรดเป็นด่างและปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude silicon)

5.1 ลักษณะสมบัติของดินภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว

ลักษณะสมบัติของดินหลังจากมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว ในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาจากทั้งลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เพื่อเป็นการบ่งบอกถึงความเหมาะสมของดินต่อการเจริญเติบโตของพืช

5.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของดิน

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของดินนา ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดินและปริมาณน้ำที่ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ที่ 2 ระดับความลึกคือ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร

5.1.1.1 ความหนาแน่นรวมของดิน

จากกระบวนการทำนาที่ต้องมีการทำเทือกซึ่งเป็นการทำให้ก้อนดินแตกออกจากกันกลายเป็นโคลน ส่งผลให้โครงสร้างของดินเสีย ความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้นเนื่องจากช่องว่างขนาดใหญ่ของดินถูกทำลายไป (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534; วิโรจน์ อิ่มพิทักษ์, 2531) จากตารางที่ 4.3 และตารางที่4.4 จะเห็นว่าความหนาแน่นรวมที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (รูปที่ 5.1) มีค่าอยู่ในช่วง 1.28-1.46 กรัม/ลบ.ซม. เพิ่มขึ้นจากความหนาแน่นรวมของดินก่อนทำการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.20 กรัม/ลบ.ซม. และความหนาแน่นรวมที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร (รูปที่4.1) มีค่าอยู่ในช่วง 1.45-1.55 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งความหนาแน่นรวมของดินก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.48 กรัม/ลบ.ซม. อย่างไรก็ตามความหนาแน่นรวมของดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีพบว่ามีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ (F-value = 2.32^{NS} และ 1.52^{NS} ตามลำดับ) เนื่องจากอิทธิพลจากอนุภาคดินเหนียวในดินนามีผลต่อสมบัติของดินสูงกว่าอนุภาคทรายละเอียดจากเถ้าลอยลิกไนต์จึงทำให้ความหนาแน่นรวมของดินไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุทรงกลม กลวง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 0.155 มิลลิเมตร (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะและคณะ, 2546) ซึ่งเป็นขนาดที่อยู่ในช่วงของขนาดอนุภาคทรายละเอียด (Fine sand) (0.02-0.2 มิลลิเมตร) ตามการจัดกลุ่มอนุภาคดินสากล (ISSS) โดยการเติมลงในดินนาด้วยอัตรา 2 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้เนื้อดินนาเปลี่ยนแปลง (ตรวงสรวง สกุลกลจักร, 2547) แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาระหว่างค่าที่ได้ตามตำรับทดลองพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และที่ระดับความลึก 15-20 เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าในดินที่มีความหนาแน่นรวมระหว่าง 1.25-1.60 กรัม/ลบ.ซม. การเติมเถ้าลอยลิกไนต์จะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มลดลง (Page et al., 1979, 1980) โดยน่าจะมีสาเหตุมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมีลักษณะสมบัติทางกายภาพที่เป็นทรงกลมและกลวง

ซึ่งเมื่อแทรกตัวอยู่ในดินนาจะช่วยเพิ่มจำนวนช่องขนาดใหญ่ให้กับอนุภาคดินเหนียวได้ ทำให้ช่องขนาดใหญ่ของดินเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544)

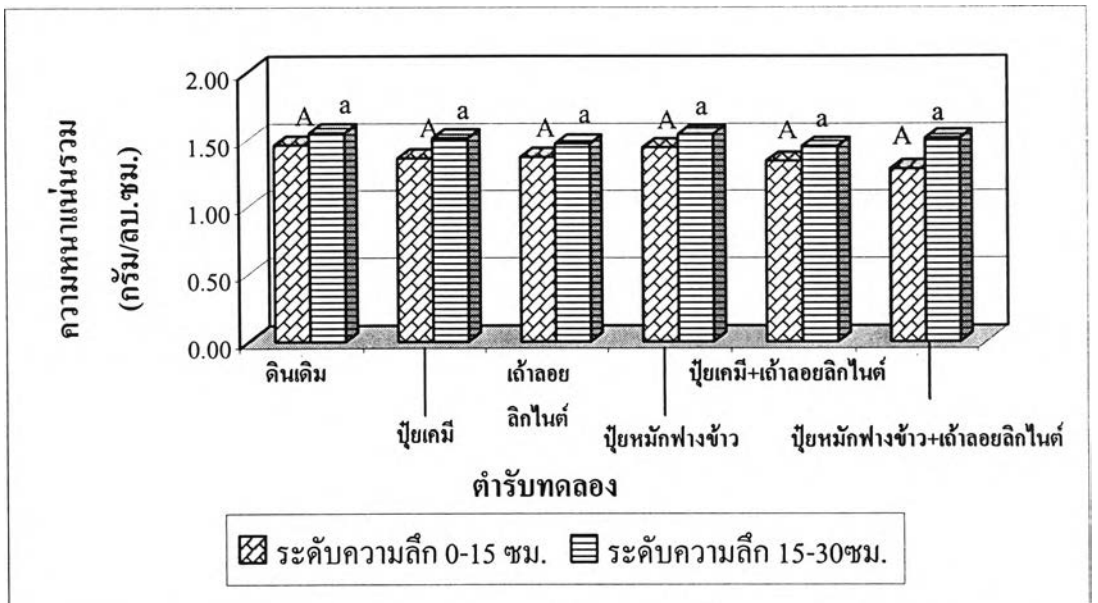
ในขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ส่งผลทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินจึงทำให้ความหนาแน่นของดินลดลง อย่างไรก็ตามการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวในระยะเวลาอันสั้นไม่สามารถทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ประเสริฐ สองเมือง (2543) ที่รายงานไว้ว่าการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวต้องเติมติดต่อกันเป็นเวลา 10 ปี จึงจะทำให้ความแข็งของดิน (Soil hardness) มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน

สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีทำให้ความหนาแน่นรวมของดินลดลงเป็นผลเนื่องมาจากปุ๋ยเคมี (16-20-0) มีผลต่อการเจริญทั้งในส่วนเหนือดินและใต้ดิน โดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่มีส่วนในการเจริญเติบโตของราก (Russell, 1973) ซึ่งอาจมีส่วนทำให้เกิดช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของดินจึงลดลง

5.1.1.1 ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้

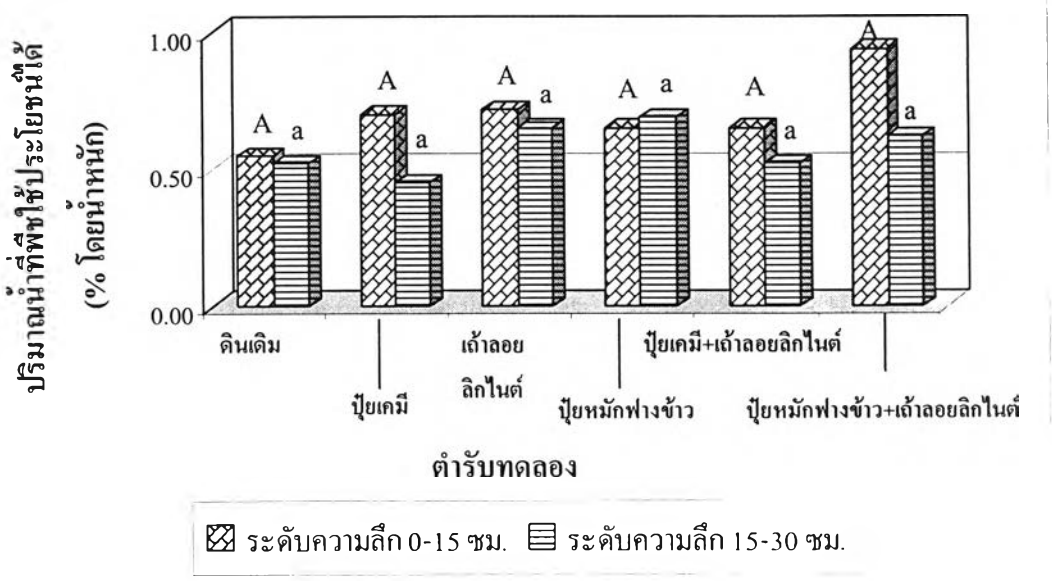
ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (รูปที่ 5.2) พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (F-value = 1.09^{NS}) และมีค่าอยู่ในช่วง 0.65-0.94 %โดยน้ำหนัก ทั้งนี้พบว่าตำรับที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าว มีปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิม เช่นเดียวกับปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร (รูปที่ 5.2) ก็มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (F-value = 1.42^{NS}) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.69 %โดยน้ำหนัก โดยในตำรับทดลองที่มีการเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าว มีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นยกเว้นการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว จากลักษณะสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว โดยเถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะทรงกลม กลวง ภายในเป็นช่องว่างจึงเป็นไปได้ว่าอนุภาคของน้ำอาจจะแทรกอยู่ตามช่องว่างของเถ้าลอยลิกไนต์ได้ ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบ ทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้มากคือ ประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ซึ่งอินทรียวัตถุมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ มีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำไว้ได้มาก มีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำจึงมีช่องที่ดูดซับน้ำได้ดี การใส่อินทรีย์วัตถุลงไปในดินจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับความชื้นไว้ได้สูง (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544)

อาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าว มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว



หมายเหตุ: กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกันในระดับความลึกเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 5.1 ความหนาแน่นรวมของดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม.ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต



หมายเหตุ: กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกันในระดับความลึกเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

รูปที่ 5.2 ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

5.1.2 การละลายได้จากดิน

ดินเปรี้ยวจัดเป็นดินที่มีปัญหาประเภทหนึ่ง เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดจัด หรือมี pH ต่ำมาก จึงมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อทำการขังน้ำเพื่อทำการปลูกข้าวจะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้ต่ำ เนื่องจากดินมีปฏิกิริยาที่เป็นกรดรุนแรงทำให้การละลายได้ของเหล็ก แมงกานีส และอลูมินัมสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อข้าว และส่งผลให้เกิดการขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง ทั้งนี้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสอยู่ในระดับต่ำ บางครั้งถึงกับขาดแคลน (Van Breemen and Pons, 1978) โดยจะตรึงฟอสเฟตในรูปของเหล็กฟอสเฟตและอลูมินัมฟอสเฟต ขณะเดียวกันหากดินขาดซิลิกอนจะทำให้ข้าวมีการสะสมแมงกานีส และเหล็กไว้อย่างมาก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2521) รวมถึงอลูมินัม (Rahman et al, 1998) ในปริมาณสูงกว่าปกติ และในดินที่มีการตรึงฟอสเฟตสูงจะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

5.1.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 3 ระยะ (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 5.3) ความเป็นกรดเป็นด่างของดินทั้ง 3 ระยะ พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของระยะเดียวกันในทุกตำรับทดลองมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ทั้งนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินในระยะก่อนเติมสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.16-4.38 ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 4.36-4.73 และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 3.92-4.39 ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างของทั้ง 3 ระยะนี้จัดได้ว่าดินมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 3.5-4.5 (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544) จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าในระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นในตำรับทดลอง การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ อาจเป็นผลเนื่องมาจากความเป็นด่างจัดของเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบมาก และเถ้าลอยลิกไนต์ที่ใช้ในการทดลองมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 11.82 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเป็นด่างจัดมาก ขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 7.73 (ตารางที่ 4.2) จึงอาจส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวน่าจะเป็นอิทธิพลจากการขังน้ำ เพราะเมื่อขังน้ำจะทำให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2534) ขณะที่ดินในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีการระบายน้ำออกจากแปลงนา ทำให้ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบเฟอร์รัส เป็นสารประกอบเฟอร์ริกและมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลงในระยะเก็บเกี่ยว

อาจสรุปได้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นในดินระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง และลดลงในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงน้อยกว่าการเติมปุ๋ยเคมี

5.1.2.2 ปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีส

การละลายได้ของอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสสูง เนื่องจากความเข้มข้นของเหล็กและอลูมินัมที่ละลายได้ในดินน้ำขังทำให้เกิดความเป็นพิษของอลูมินัมที่ pH 4.0 และความเป็นพิษของเหล็กที่ pH 6.5 (Ponnamperuma , 1978) และส่งผลให้แมงกานีสละลายได้ในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งจะปรากฏในดินเปรี้ยวจัดที่มี pH ต่ำและอยู่ในสภาพน้ำขัง (Tadano and Yoshida, 1978) แต่จากการศึกษาปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสในระยะ 14 วัน หลังการเติมสิ่งทดลอง (ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว) และระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่าปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสทั้งหมดของดินในระยะเดียวกันโดยมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ เช่นเดียวกับปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสที่ละลายได้ก็มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณที่ได้โดยใช้ค่าสัมพัทธ์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบปริมาณอลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ซึ่งกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100 (ตารางที่ 5.1-5.3 และรูปที่ 5.4-5.6) พบว่าปริมาณที่ละลายได้ของอลูมินัม และแมงกานีสมีปริมาณลดลงในระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง และมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระยะก่อนเติมสิ่งทดลอง จากผลการศึกษามีความเป็นไปได้ว่า ซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมีส่วนช่วยให้ปริมาณอลูมินัม และเหล็กที่ละลายได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่า การใส่ซิลิกอนสามารถลดความเป็นพิษของอลูมินัมต่อพืชได้ (Corrales et al., 1997; Ma et al., 1997) จากการทดลองโดยปลูกข้าวในสารละลายที่มีการใส่อลูมินัมและใส่อลูมินัมร่วมกับซิลิกอน พบว่าการยืดขยายตัวเนื้อเยื่อบริเวณรากข้าวลดลง เมื่อมีการใส่อลูมินัมอย่างเดียวเปรียบเทียบกับการใส่อลูมินัมร่วมกับซิลิกอน การใส่ซิลิกอนจะลดความเป็นพิษของอลูมินัม โดยจะไม่พบอาการเป็นพิษของอลูมินัม บริเวณเนื้อเยื่อรากข้าว (Hara et al., 1999) การลดลงของอลูมินัมเนื่องมาจากกระบวนการเปลี่ยนรูปทางเคมีของอลูมินัมไอออนในสารละลายที่ใช้ปลูกข้าวและในต้นข้าว โดยอลูมินัมจะถูกเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปของ Aluminum silicate complex ซึ่งเป็นพิษน้อยกว่า Monomer aluminum และมีผลทำให้การดูดดึงของอลูมินัมของพืชลดลง (Corrales et al., 1997; Ma et al., 1997) ประกอบกับปริมาณอลูมินัมที่ละลายได้ตลอดระยะการเจริญเติบโตมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชซึ่งมีค่าเท่ากับ 300 ppm Al (Pendias and Pendias, 1992) หรือแม้กระทั่งระดับความเข้มข้นที่จะทำให้ข้าวเริ่มแสดงอาการเป็นพิษมีค่าเท่ากับ 25 ppm Al (Thawornwong and Van Diest, 1974)

สำหรับปริมาณเหล็กโดยเฉพาะในดินเปรี้ยวจัดที่มีการขังน้ำ ดินจะอยู่ในสภาพรีดักชัน มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้เหล็กในรูปของเฟอร์รัสมีค่าสูงขึ้น และเป็นสัดส่วนโดยตรง

กับความเป็นกรดเป็นด่าง (Ponnamperuma, 1967) ซึ่งเหล็กในรูปของเฟอร์รัสซัลเฟต ถ้าสูงจนถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อข้าวได้ (Van Breeman and Moormann, 1978) ทั้งนี้ปริมาณความเข้มข้นของอลูมินัมและเหล็กมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือถ้าดินที่มี pH ต่ำๆ และมีออกซิเจนพอเพียง อลูมินัมไอออนในสารละลายดินจะมีความเข้มข้นมากกว่าเหล็กไอออน ซึ่งหากใช้ปลูกข้าวก็จะแสดงความเป็นพิษเนื่องจากอลูมินัม ในทางตรงกันข้ามหากดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน เฟอร์ริกไอออนส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นเฟอร์รัสไอออน ซึ่งถ้ามีสะสมอยู่มากก็อาจเป็นพิษต่อข้าวได้เช่นกัน (Tanaka and Navasero, 1967) แต่จากการศึกษาพบว่าปริมาณที่เหล็กละลายได้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับต้นข้าว ซึ่งปริมาณเหล็กที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าวมีค่าความผันแปรตั้งแต่ 30-2,000 ppm Fe ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะธาตุอาหาร พันธุ์ข้าว และอายุ (Tanaka and Navasero, 1966)

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอลูมินัมและเหล็กมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในระยะเก็บเกี่ยวเมื่อเทียบกับระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง ในระยะนี้นอกจากจะได้รับอิทธิพลจากซิลิกอนแล้ว น่าจะได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นในระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง และมีค่าลดลงในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ลดลงจะช่วยเพิ่มการละลายได้ของอลูมินัมและเหล็ก สำหรับปริมาณแมงกานีสไม่ส่งผลให้เห็นชัดเจน และค่าที่ตรวจวัดได้ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว เนื่องจากปริมาณเริ่มต้นที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าวถ้ามีปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสสูงขึ้นถึง 8 ppm Mn (Lockard, 1959) การใส่แมงกานีสในอัตรา 20 ppm Mn จะทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโต (Hsu and Chiu, 1957) ซิลิกอนช่วยลดความเป็นพิษของแมงกานีสในข้าว เนื่องจากซิลิกอนช่วยเพิ่ม Oxidizing power ในรากข้าว ลดการระเหยของน้ำ ทำให้การดูดดึงแมงกานีสในข้าวลดลง และช่วยเพิ่มความต้านทานความเป็นพิษของแมงกานีสที่พืชดูดดึงไว้ ในทางตรงกันข้าม หากพบว่ามีปริมาณแมงกานีสไม่เกิน 227 ppm Mn จะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว แต่หากมากกว่า 487 ppm Mn จะเป็นพิษต่อข้าว (ลัดดาวรรณ เพียรเพิ่มภัทร, 2528)

อาจกล่าวได้ว่าปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีสที่ละลายได้ไม่ก่อเกิดความเป็นพิษต่อต้นข้าว จึงไม่เป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของข้าว

5.1.2.3 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลัก (Primary nutrient elements) เนื่องจากพืชต้องการในปริมาณมาก แต่พืชได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544) ในดินทั่วๆ ไปมักมีปัญหาการขาดฟอสฟอรัส ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกตรึง (Fixed) หรือเปลี่ยนรูปได้ง่ายในดิน โดยเฉพาะในดินกรดจัดจะมีการตรึงฟอสฟอรัสสูง เมื่อปลูกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยฟอสเฟต ข้าวจะแสดงอาการขาดธาตุฟอสฟอรัส ลำต้นแคระแกร็น การแตกกอถูกจำกัด ให้

ผลผลิตต่ำ (Yoshida, 1981) ในดินกรดจัดจะพบเหล็กและอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณสูง ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตอย่างรุนแรงและทันที ทำให้เกิดสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ และไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Brady, 1990) และหากมีปริมาณฟอสฟอรัสเพียงพอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของราก ทำให้ลำต้นแข็งแรงป้องกันการหักล้ม มีความต้านทานต่อโรค ช่วยในการออกดอก และสร้างเมล็ดพืช (Russell, 1973) ในพื้นที่ดินกรดจัดที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.16-4.38 (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1) ซึ่งจัดว่าเป็นกรดรุนแรงมาก ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์หากสารละลายดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 6.8-7.2 (ยงยุทธ โอสถสภา, 2544) รวมทั้งการขังน้ำก็เป็นการเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่างให้สูงขึ้น ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเฟอร์รัสฟอสเฟตละลายน้ำได้ง่าย แต่ในพื้นที่ดินกรดจัดจะมีการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของเหล็ก อลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกต ซึ่งยากต่อการนำมาใช้ประโยชน์ของพืชจึงทำให้ดินขาดแคลนฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ซิลิกอนเป็นธาตุหลักธาตุหนึ่งที่ช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น โดยการใส่ซิลิกอนในรูปของซิลิเกต (Silicate) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสให้กับพืช ทั้งนี้ซิลิเกตจะมีความจำเพาะที่จะถูกดูดซับในส่วนคอลลอยด์ดิน (Higston et al, 1967) ซึ่งการใส่สารประกอบซิลิเกตลงไปในดินที่มีการตรึงฟอสเฟตสูง จะทำให้ลดการตรึงฟอสเฟต กล่าวคือซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียว (Clay) และออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมทำให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในดิน (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) จากตารางที่ 4.13 (รูปที่ 5.4-5.6) พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 16.48*) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (23.49 ppm P) การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว (20.26 ppm P) และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (21.77 ppm P) และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (22.91 ppm P) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (13.96 ppm P) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว (14.92 ppm P) ทั้งนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับดินเดิมและการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวที่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมีส่วนช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นแต่อิทธิพลหลักน่าจะมาจากปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักฟางข้าว เนื่องจากฟอสฟอรัสในเถ้าลอยลิกไนต์ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Scotti et al., 1999) ในขณะที่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักฟางข้าวสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เร็วกว่า

แม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง จะได้รับอิทธิพลหลักจากปุ๋ยเคมี แต่เมื่อพิจารณาการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (ตารางที่4.13) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.57*) ทั้งนี้ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (11.89 ppm P) มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ (9.84 ppm P) การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ (8.63 ppm P) การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว (9.78 ppm P) และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (9.37 ppm P) ก็มีแนวโน้มของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเทียบกับดินเดิม (6.50 ppm P) ดังนั้นความเป็นประโยชน์ของซิลิกอนน่าจะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในการเพาะปลูกครั้งต่อไป

5.1.2.4 ซิลิกอน

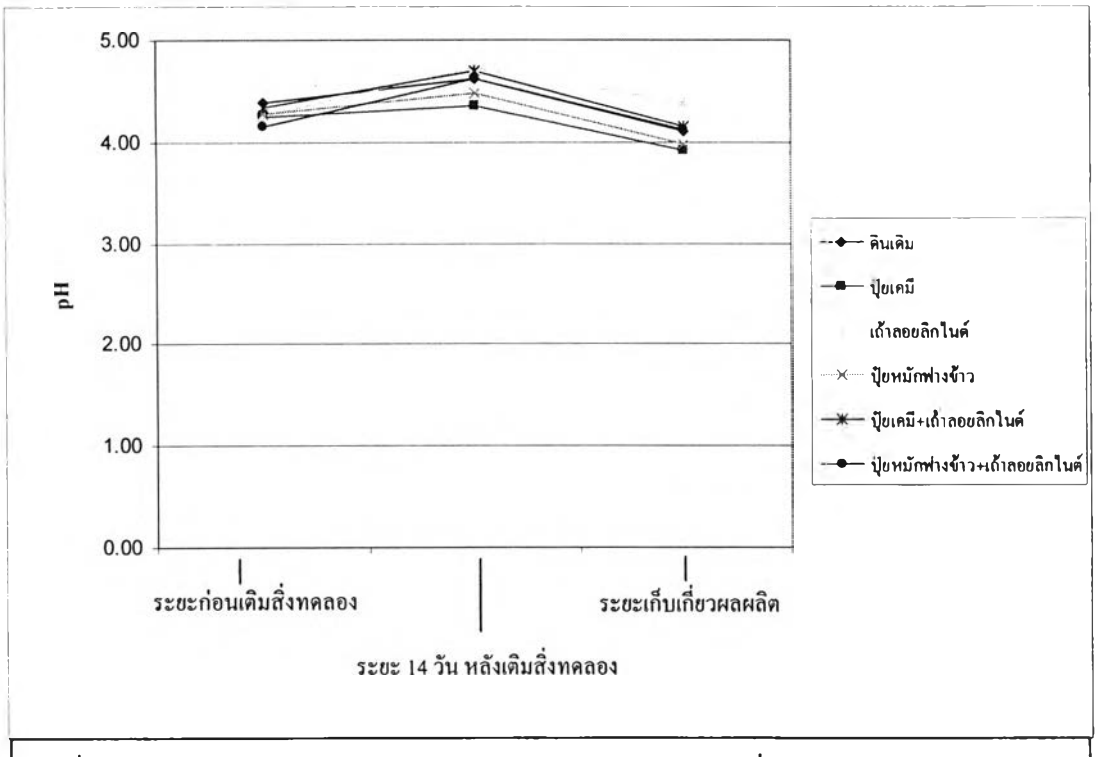
เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ พบว่าปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ในดิน (ตารางที่ 4.14 และรูปที่ 5.8) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value =16.23*) โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวมีปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ มีค่าเท่ากับ 84.84 ppm SiO_2(24.43 กิโลกรัม/ไร่) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี 78.58 ppm SiO_2 (22.63 กิโลกรัม/ไร่) ทำให้ปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว 71.56 ppm SiO_2 (20.61 กิโลกรัม/ไร่) และเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว 60.96 ppm SiO_2 (17.56 กิโลกรัม/ไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 47.43 ppm SiO_2 (13.66 กิโลกรัม/ไร่) ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม 46.48 ppm SiO_2 (13.39 กิโลกรัม/ไร่) เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ที่ได้ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวแล้ว เป็นไปได้ว่าซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าจะเป็นแหล่งของซิลิกอนในการเพิ่มซิลิกอนให้กับการเกษตร เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ในปริมาณมาก (Adriano et al., 1980) สำหรับปุ๋ยหมักฟางข้าวพบว่า ฟางข้าว 1,000 กิโลกรัม เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ธาตุซิลิกอนประมาณ 50 กิโลกรัม (เจริญ ท้วมขำ, 2544) ทั้งนี้ฟางข้าวซึ่งมีการแปรสภาพให้อยู่ในรูปปุ๋ยหมักฟางข้าว จะทำให้ฟางข้าวนั้นอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2547)

เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ในดิน (ตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 5.8) พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value =9.22*) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวมีปริมาณซิลิกอนเท่ากับ 48.26 ppm (13.90 กิโลกรัม/ไร่) ซึ่งมีปริมาณซิลิกอน

ที่ละลายได้ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว 32.93 ppm SiO_2 (9.48 กิโลกรัม/ไร่) และดินเดิม 32.44 ppm SiO_2 (9.34 กิโลกรัม/ไร่) จะเห็นได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวก็มีแนวโน้มส่งผลให้ซิลิกอนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและดินเดิม เป็นไปได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวมีส่วนช่วยในการเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้

อย่างไรก็ตามปริมาณซิลิกอนในทั้ง 6 ตำรับทดลองนี้มีเพียงพอต่อความต้องการซิลิกอนของข้าว เนื่องจากในหนึ่งฤดูปลูกข้าวจะดึงดูดซิลิกอนไป 7.10 กิโลกรัม/ไร่ (Imaizumi and Yoshida, 1958 อ้างถึงใน De Datta, 1978) ข้าวต้องการซิลิกอนในรูปของแคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate) 240-320 กิโลกรัมต่อไร่ เพื่อการเจริญเติบโต (Takahashi et al., 1990) โดยแคลเซียมซิลิเกตจะประกอบด้วยซิลิกอน 14-19%Si (Dobermann and Fairhurst, 2000) เทียบเท่ากับ 33.6-60.8 กิโลกรัมซิลิกอน/ไร่ จะเห็นว่าปริมาณซิลิกอนในดินสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพียงพอต่อความต้องการของข้าวในการเจริญเติบโต และเป็นไปได้ว่าซิลิกอนในดินเดิมที่มีเพียงพอเช่นกันอาจจะเป็นผลตกค้างอยู่ในพื้นที่จากการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ในปี พ.ศ. 2544

ดังนั้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวก็เป็นการเพิ่มปริมาณซิลิกอนให้กับดินทั้งปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้และปริมาณที่ละลายได้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว ยังส่งผลให้มีปริมาณซิลิกอนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวได้



รูปที่ 5.3 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 3 ระยะคือ ระยะก่อนเติมสิ่งทดลอง ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง

ตารางที่ 5.1 อลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ละลายได้ในดิน ที่ระยะก่อนเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100

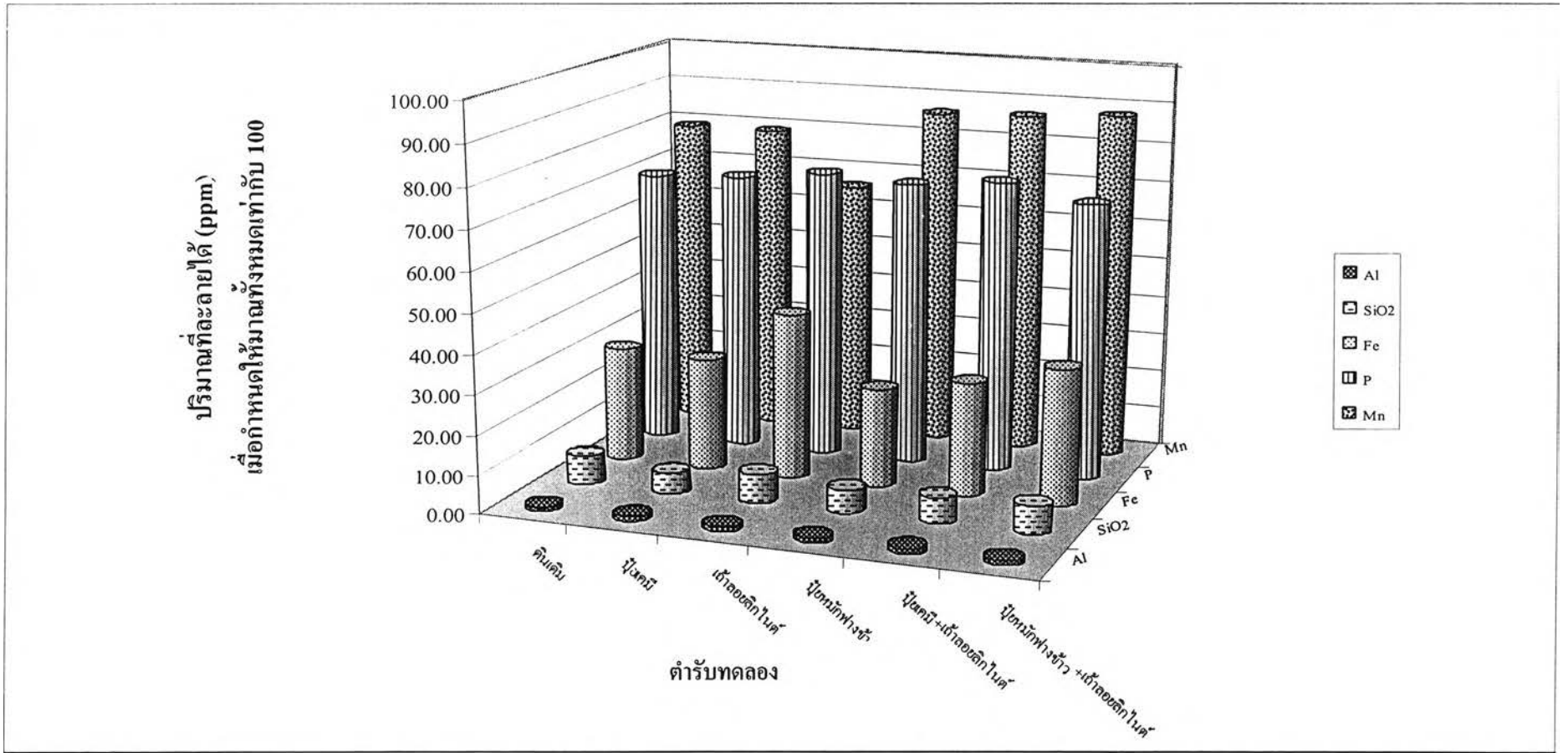
ตำรับทดลอง	ปริมาณที่ละลายได้ (ppm)				
	Al	Fe	Mn	P	SiO_2
ดินเดิม	1.03	29.61	79.34	70.12	7.56
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี	1.26	28.79	79.11	71.14	5.46
ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์	1.17	42.39	65.96	73.41	7.55
ดินเดิม+ปุ๋ยหมักฟางข้าว	1.11	25.32	86.27	72.12	6.05
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์	1.24	29.09	86.79	74.18	6.57
ดินเดิม +ปุ๋ยหมักฟางข้าว+เถ้าลอยลิกไนต์	1.16	34.84	88.22	70.36	7.23

ตารางที่ 5.2 อลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ละลายได้ในดิน ที่ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100

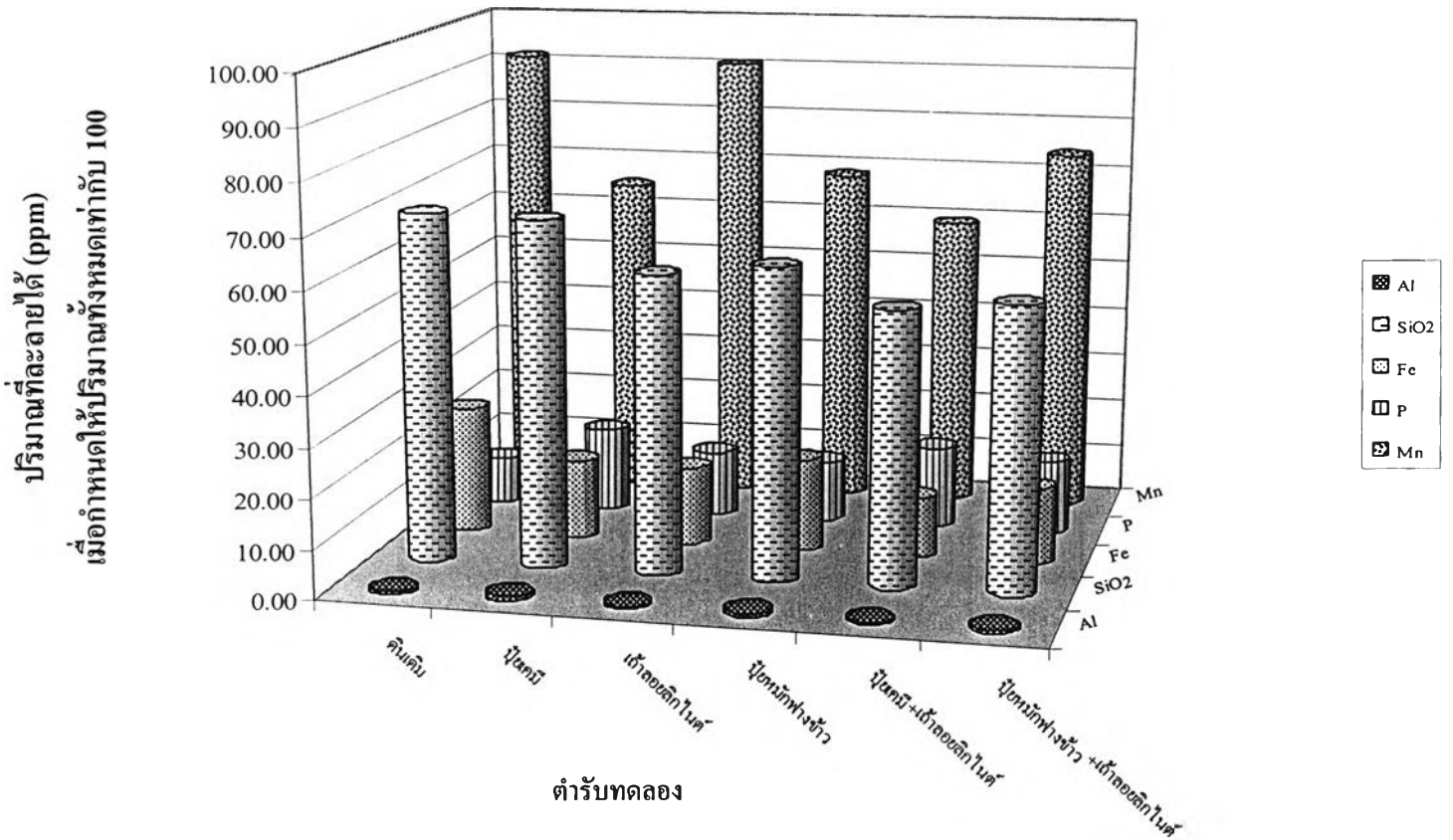
ตำรับทดลอง	ปริมาณที่ละลายได้ (ppm)				
	Al	Fe	Mn	P	SiO_2
ดินเดิม	0.57	25.94	91.54	9.61	69.79
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี	1.04	15.98	65.06	17.14	69.43
ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์	0.58	15.91	90.90	13.42	59.78
ดินเดิม+ปุ๋ยหมักฟางข้าว	0.75	18.82	68.46	12.57	62.14
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์	0.53	12.23	59.38	16.65	54.83
ดินเดิม +ปุ๋ยหมักฟางข้าว+เถ้าลอยลิกไนต์	0.50	15.34	74.00	15.11	56.89

ตารางที่ 5.3 อลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ละลายได้ในดิน ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100

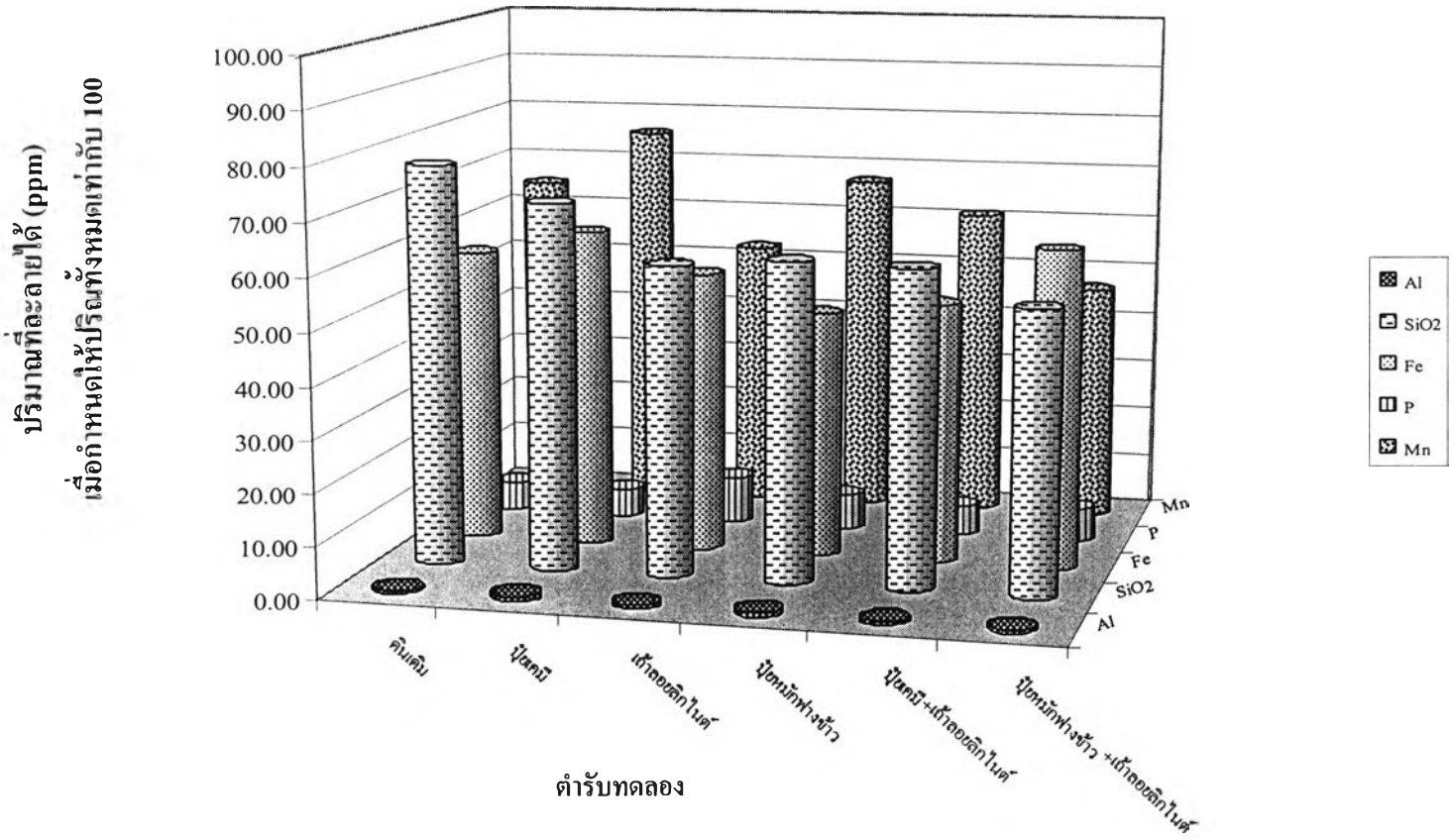
ตำรับทดลอง	ปริมาณที่ละลายได้ (ppm)				
	Al	Fe	Mn	P	SiO_2
ดินเดิม	0.69	57.03	64.87	5.78	77.08
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี	0.91	61.95	75.66	5.57	70.54
ดินเดิม+เถ้าลอยลิกไนต์	0.67	54.51	52.74	9.21	59.67
ดินเดิม+ปุ๋ยหมักฟางข้าว	0.78	47.75	66.99	6.80	61.19
ดินเดิม+ปุ๋ยเคมี+เถ้าลอยลิกไนต์	0.59	50.50	60.95	5.78	60.80
ดินเดิม +ปุ๋ยหมักฟางข้าว+เถ้าลอยลิกไนต์	0.56	61.53	46.61	6.42	54.35



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบการละลายได้ในดินของอลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ระยะก่อนเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบการละลายได้ในดินของอลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบการละลายได้ในดินของอลูมินัม เหล็ก แมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน ที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต เมื่อกำหนดให้ปริมาณทั้งหมดของแต่ละธาตุเท่ากับ 100

5.1.3.1 เถ้าลอยลิกไนต์

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งจากการศึกษาความหนาแน่นรวม มีค่าเท่ากับ 1.19 กรัม/ลบ.ซม. ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 1.65% โดยน้ำหนัก ความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่าเท่ากับ 11.82 มีปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ 349.98 ppm SiO_2 และปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ 202.95 ppm SiO_2 เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ จะเห็นว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่จัดได้ว่าเป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline) โดยอยู่ในช่วงมากกว่า 9.0 (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544) ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ แต่จากการศึกษาของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะและคณะ (2546) พบว่า แม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีความเป็นกรดเป็นด่างสูงมาก แต่อำนาจการทำให้เป็นกลางต่ำ ดังนั้นความเป็นกรดเป็นด่างจึงไม่เป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบสูง ซึ่งซิลิกอนที่ละลายได้คิดเป็น 58% เมื่อเทียบกับปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้

5.1.3.2 ปุ๋ยหมักฟางข้าว

การศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ทำจากฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ด (ตารางที่ 4.2) พบว่าความหนาแน่นรวม มีค่าเท่ากับ 0.17 กรัม/ลบ.ซม. ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ มีค่าเท่ากับ 2.76 % โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7.73 ซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ได้จัดว่าอยู่ในระดับที่เป็นด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline) โดยความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 7.3-7.4 (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544) และมีปริมาณซิลิกอนในรูป Crude silicon เท่ากับ 12.72 % Crude Si

จะเห็นได้ว่าทั้งเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบสูง ซิลิกอนจัดเป็นธาตุที่เสริมประโยชน์ (Beneficial) (Rahman et al., 1998) และมีผลต่อข้าวโดยช่วยให้ช่อดอกข้าวสมบูรณ์ (Ma et al., 1989 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) นอกจากนี้ลักษณะสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าจะมีส่วนช่วยให้คุณภาพข้าวดีขึ้น

5.2 ผลผลิตข้าวเปลือก

ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดโดยทั่วไปจะให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 200-300 กิโลกรัม/ไร่ (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543)

เมื่อพิจารณาผลผลิตข้าวเปลือก (ตารางที่ 4.17 และรูปที่ 5.9) พบว่าน้ำหนักผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ความชื้น 14% เมื่อมีการเติมสิ่งทดลองส่งผลให้น้ำหนักของผลผลิตในแต่ละตำรับทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 24.30*) โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์

ร่วมกับปุ๋ยเคมี ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว สำหรับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวพบว่า ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 สูงกว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวและการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ดินเดิมให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกตำรับทดลอง ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นไม่น่าจะเป็นอิทธิของซิลิกอนโดยตรง เนื่องจากจะเห็นได้ว่าตำรับการทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมด้วยจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว และดินเดิม ทั้งนี้ผลผลิตที่แตกต่างน่าจะมาจากปริมาณธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารอื่นจากเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าว ที่มีผลช่วยเสริมประโยชน์ทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ IRRI (2002) ที่กล่าวถึงการใส่ซิลิกอนช่วยเพิ่มจำนวนรวงและเมล็ดดีต่อรวง และ Hossain et al. (2001) รายงานว่าผลการใส่ซิลิกอนในรูปแคลเซียมซิลิเกตและแกลบในการปลูกข้าว มีผลทำให้จำนวนเมล็ดข้าว น้ำหนักเฉลี่ยและผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ซิลิกอน และจากการศึกษาของ Park (1979) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมร่วมกับซิลิกอนมีผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Sheng and Wang (1993) ที่พบว่าการใส่ซิลิกอนร่วมด้วยมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโต การแตกกอ และจำนวนช่อดอกของข้าว ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 18.4 % นอกจากนี้เมื่อต้นข้าวดูดใช้ซิลิกอนจากดินในปริมาณมากและมีเพียงพอ ซิลิกอนจะสะสมอยู่ที่ผิวใบและลำต้นทำให้สามารถเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง ลดการล้มของต้นข้าว (Sommer, 1926) และมีผลทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดีขึ้น รักษาระดับความชื้นภายในต้น (Imaizumi and Yoshida, 1958; Takahashi, 1968) ระบบการดูดซึมธาตุอาหารเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากขึ้น (Sommer, 1926) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) และเจนจิรา พวงทับทิม (2546) ที่รายงานว่าการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนรากต่อลำต้นที่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าอัตราส่วนรากต่อลำต้นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 4.81*) และเมื่อเปรียบเทียบดินเดิมกับตำรับทดลองอื่นๆ ก็พบว่า ในตำรับทดลองดินเดิมมีค่าอัตราส่วนรากต่อลำต้นมากที่สุด สำหรับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว มีค่าอัตราส่วนรากต่อลำต้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว นั้นแสดงว่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวในตำรับทดลองดินเดิมนั้นมีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการ เพราะในตำรับทดลองดินเดิมมีการเจริญเติบโตทางลำต้นน้อยเมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่น รากต้องเจริญเติบโตมากกว่าเพื่อหาธาตุอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการแทนที่จะใช้ในการเจริญทางลำต้นจึงทำให้อัตราส่วนรากต่อลำต้นมีค่าสูงขึ้น (Russell, 1997) ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมี การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลอยลิกไนต์มีผลทำให้อัตราส่วนรากต่อลำต้นลดลง อาจเป็นผลเนื่องมาจากซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวมีส่วนช่วยในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินออกมา ซึ่งในดินกรดนั้นจะมีตรึงฟอสเฟตสูง ซิลิกอนจะทำให้ลดการตรึงฟอสเฟต กล่าวคือซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียว (Clay) และออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัมทำให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นในดิน (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2534) และจากการศึกษาของ พูลสวัสดิ์ อาจละกะ (2519) รายงานว่า การเพิ่มซิลิกอนให้กับต้นข้าวมีส่วนช่วยทำให้ข้าวมีความสูงเพิ่มขึ้น และช่วยให้ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในฟางข้าวสูงขึ้น โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นมากกว่าราก (ประเสริฐ สองเมือง, 2543) อีกทั้งปริมาณอลูมินัม เหล็ก และแมงกานีส (รูปที่ 4.4-4.6) ไม่มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสในดิน (ปริมาณทั้งหมดและปริมาณที่ละลายได้) เกิดความเป็นพิษต่อต้นข้าว จึงไม่เป็นข้อจำกัดของการเจริญเติบโตของข้าว

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ซิลิกอนจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าว มีผลทำให้ผลผลิตข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเติมเถ้าลอยลิกไนต์

5.3 ปริมาณซิลิกอนในราก ลำต้น และเมล็ด

การวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนในต้นข้าว ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนในราก ลำต้น และเมล็ดข้าว ทั้งนี้ในเมล็ดข้าวมีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ปริมาณซิลิกอนในเมล็ดข้าวสารและแกลบ

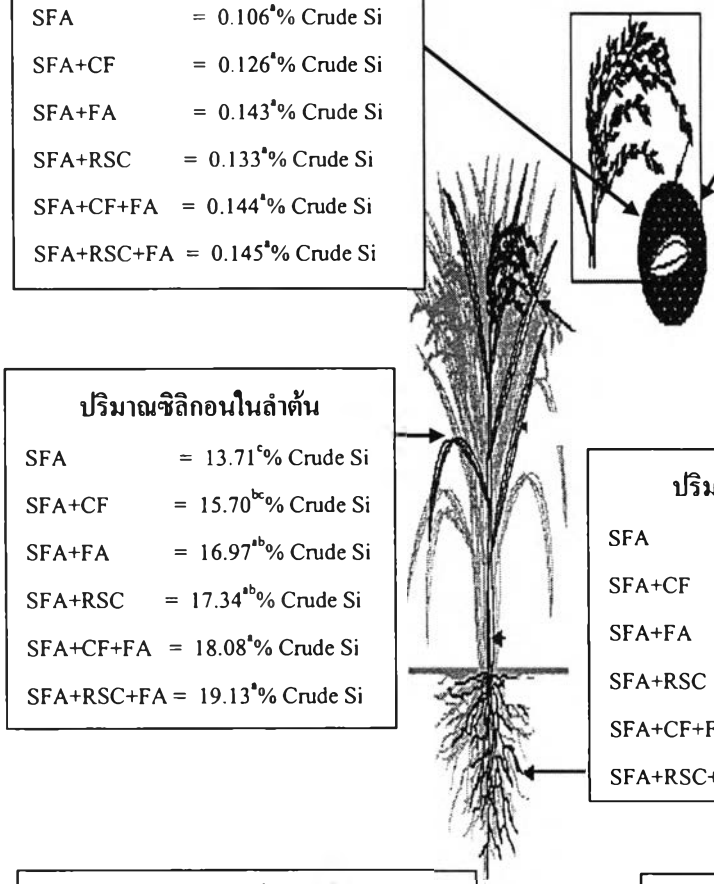
เมื่อพิจารณาโดยรวมของปริมาณที่วิเคราะห์ได้ในต้นข้าว (ตารางที่ 4.16 และรูปที่ 5.7) พบว่าปริมาณซิลิกอนในราก และข้าวสารมีปริมาณซิลิกอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าปริมาณซิลิกอนที่วิเคราะห์ได้ในลำต้นและแกลบ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเพิ่มมากขึ้นนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการดูดดึงซิลิกอน โดยข้าวจะดูดดึงซิลิกอนจากสารละลายดินในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (Lewin and Reimann, 1969) ขึ้นมาพร้อมกับน้ำ น้ำจะสูญเสียโดยกระบวนการคายน้ำแล้วซิลิกอนจะถูกทิ้งไว้ในเนื้อเยื่อข้าว และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของซิลิกาเจล (Yoshida, 1975) ทำให้มีการสะสมอยู่ภายในต้นข้าว แต่ซิลิกอนเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้าย (immobile) ในต้นพืช ดังนั้นระยะเวลาการใส่ซิลิกอนในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช (Ma et al., 1989) ทั้งนี้ปริมาณการสะสมซิลิกอนในแต่ละส่วนจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำของส่วนนั้นๆ และจะมีมากขึ้นตามอายุของพืช (Balasta et al., 1989) จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณซิลิกอนที่สะสมจึงมีการสะสมในลำต้นและแกลบได้แตกต่างกัน]

5.4 คุณภาพการสี

คุณภาพการสีข้าวพิจารณาได้จากร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดรวมกับต้นข้าว (ตารางที่ 4.16) พบว่า คุณภาพการสีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 5.64*) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ มีคุณภาพการสีของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว หรือเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว คุณภาพการสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเพียงอย่างเดียว และการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ในขณะที่ดินเดิมมีคุณภาพการสีต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามเมื่อนำคุณภาพการสีของข้าวแต่ละตำรับทดลองมาจัดให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพการสี (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) พบว่าในตำรับทดลองดินเดิม การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ จัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพการสีของข้าวดี (อยู่ในช่วงร้อยละ 40-50 ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว) ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์จัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพการสีดีมาก (มากกว่าร้อยละ 50 ของข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าว) เป็นไปได้ว่าซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์ มีส่วนช่วยส่งเสริมให้เมล็ดข้าวเปลือกก่อนสีมีความสมบูรณ์ของเมล็ดมากขึ้น จึงส่งผลให้คุณภาพการสีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ดีขึ้น โดยซิลิกอนจะมีอิทธิพล ต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่เด่นชัดในช่วงหลังการเจริญเติบโตระยะ vegetative stage เร็วขึ้น (Ma et al.,1989; Kato et al., 1997) ซึ่งสอดคล้องกับ Shunji et al., (2002) รายงานว่าซิลิกอนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว และการใส่ซิลิกอนจะช่วยลดการเกิดเมล็ดลีบของข้าว และจากการศึกษาของ รัตนชาติ ช่วยบุดดา (2544) พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับซิลิกอนในดินรังสิตกรดจัด ข้าวตอบสนองต่อฟอสฟอรัสได้มากขึ้น ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น จำนวนเมล็ดทั้งหมดของข้าวเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวลดลงมากกว่าที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว

อาจสรุปได้ว่า การเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ส่งผลให้คุณภาพการสีข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ดีขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิม โดยเฉพาะการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ส่งผลให้คุณภาพการสีดีขึ้นและจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพการสีดีมาก



ปริมาณซิลิกอนในข้าวสาร

SFA = 0.106[a]% Crude Si
SFA+CF = 0.126[a]% Crude Si
SFA+FA = 0.143[a]% Crude Si
SFA+RSC = 0.133[a]% Crude Si
SFA+CF+FA = 0.144[a]% Crude Si
SFA+RSC+FA = 0.145[a]% Crude Si

ปริมาณซิลิกอนในแกลบ

SFA = 9.58[c]% Crude Si
SFA+CF = 9.49[c]% Crude Si
SFA+FA = 12.55[b]% Crude Si
SFA+RSC = 12.23[b]% Crude Si
SFA+CF+FA = 12.49[b]% Crude Si
SFA+RSC+FA = 14.72[a]% Crude Si

ปริมาณซิลิกอนในลำต้น

SFA = 13.71[c]% Crude Si
SFA+CF = 15.70[bc]% Crude Si
SFA+FA = 16.97[ab]% Crude Si
SFA+RSC = 17.34[ab]% Crude Si
SFA+CF+FA = 18.08[a]% Crude Si
SFA+RSC+FA = 19.13[a]% Crude Si

ปริมาณซิลิกอนในราก

SFA = 4.90[a] % Crude Si
SFA+CF = 4.81[a] % Crude Si
SFA+FA = 4.84[a] % Crude Si
SFA+RSC = 5.56[a] % Crude Si
SFA+CF+FA = 5.54[a] % Crude Si
SFA+RSC+FA = 5.94[a] % Crude Si

ปริมาณซิลิกอนที่สกัดได้ในดิน
ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

SFA = 48.48[d] ppm SiO_2
SFA+CF = 47.43[d] ppm SiO_2
SFA+FA = 71.56[bc] ppm SiO_2
SFA+RSC = 60.96[c] ppm SiO_2
SFA+CF+FA = 78.58[ab] ppm SiO_2
SFA+RSC+FA = 84.84[a] ppm SiO_2

ปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้
ระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง

SFA = 32.44[c] ppm SiO_2
SFA+CF = 32.93[c] ppm SiO_2
SFA+FA = 42.78[ab] ppm SiO_2
SFA+RSC = 37.88[bc] ppm SiO_2
SFA+CF+FA = 43.08[ab] ppm SiO_2
SFA+RSC+FA = 48.26[a] ppm SiO_2

หมายเหตุ: SFA = ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์เมื่อปี พ.ศ. 2544), CF = ปุ๋ยเคมี,
FA = เถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่, RSC = ปุ๋ยหมักฟางข้าว อัตรา 2 ตัน/ไร่

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายความว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยตามตำรับทดลอง
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธี DMRT

รูปที่ 5.7 ผลของตำรับทดลองที่มีต่อปริมาณซิลิกอนในราก ลำต้น เมล็ดข้าวสาร และแกลบ

5.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีกับปริมาณซิลิกอนในดิน และต้นข้าว (ราก ลำต้น และเมล็ดข้าว)

5.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีกับปริมาณซิลิกอนในดิน

การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีกับปริมาณซิลิกอนในดิน (รูปที่ 5.8-5.13) พบว่า มีเพียงปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ของดินระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพการสี ($y = 33.478 + 0.3094x$ มีค่า $r = 0.692^*$) และพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่ละลายได้ของดินระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้น่าจะมาจากการละลายได้ของซิลิกอนซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับช่วง pH มีค่าอยู่ระหว่าง pH 2-9 ในดินที่ถูกน้ำขังหรือดินที่ใช้ปลูกข้าว พบว่าความเข้มข้นของซิลิกอนในสารละลายดินจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น หลังจากมีการขังน้ำและจะค่อยๆ ลดลง เมื่อมีการขังน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้น ซึ่งซิลิกอนอาจจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงแรกของการขังน้ำ (Ponnamperuma, 1978)

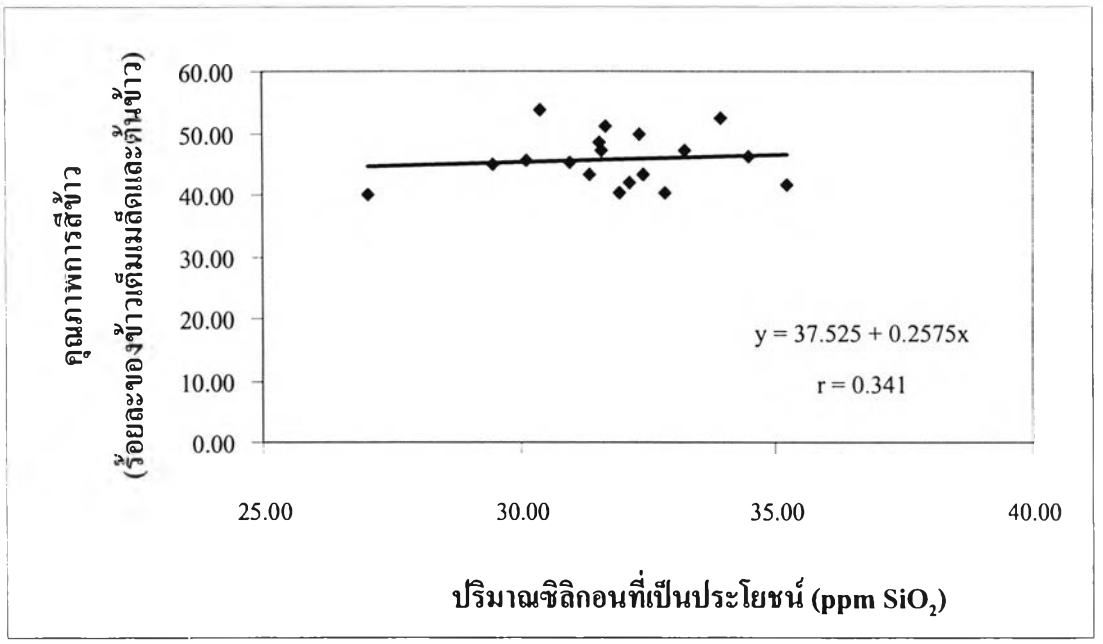
5.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีกับปริมาณซิลิกอนในต้นข้าว (ราก ลำต้น และเมล็ดข้าว)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในราก (รูปที่ 5.14) พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในลำต้น (รูปที่ 5.15) พบว่าคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในลำต้นมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($y = 34.886 + 0.6613x$ มีค่า $r = 0.760^*$) แต่เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่พบในข้าวสาร (รูปที่ 5.16) พบว่าคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในข้าวสารไม่มีความสัมพันธ์กัน เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่พบในแกลบ (รูปที่5.17) พบว่าคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในแกลบไม่มีความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน

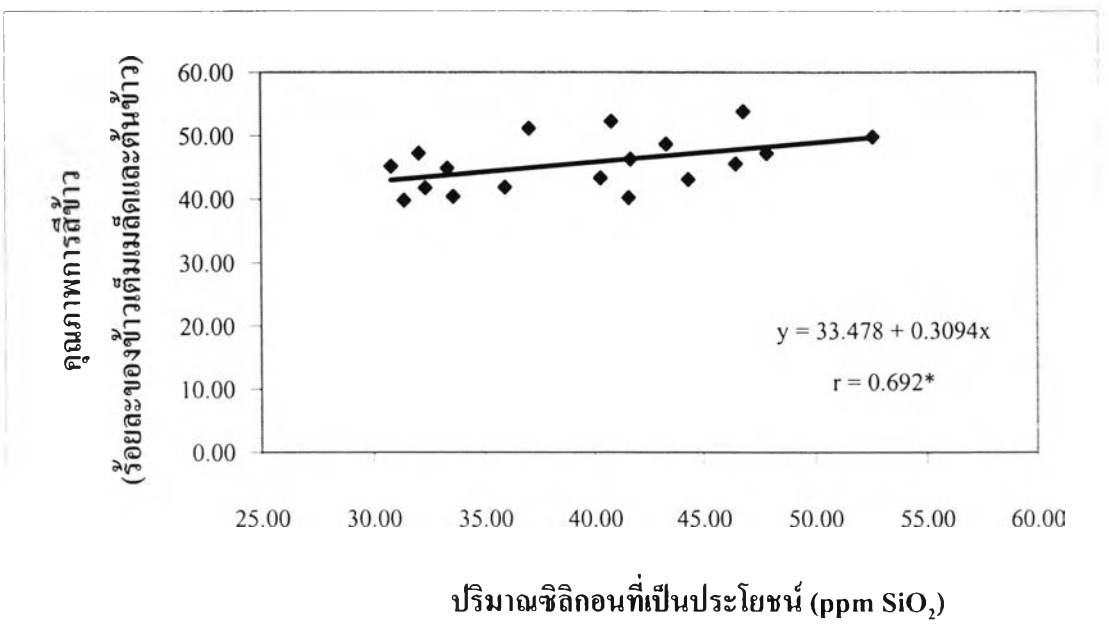
ทั้งนี้ปริมาณซิลิกอนที่สะสมอยู่ในดินและฟางข้าว นอกจากจะมีส่วนช่วยให้เมล็ดข้าวเปลือกก่อนสีมีความสมบูรณ์ของเมล็ดมากขึ้น ซิลิกอนอาจส่งผลต่อระดับความชื้นของข้าว กล่าวคือซิลิกอนจะสะสมในพืชอยู่ในรูปของ Amorphous silica ($SiO_2.nH_2O$) จัดเรียงเป็นชั้นในผนังเซลล์ มีประโยชน์ต่อพืชคือ ช่วยลดการคายน้ำผ่านผิวเคลือบคิวทิน (Balasta et al., 1989) และมีผลต่อคุณภาพการสี ซึ่งสอดคล้องกับ Takahashi (1995) ได้รายงานว่า ซิลิกอนช่วยรักษาความชื้นภายในต้นข้าว ทั้งนี้ระดับความชื้นก็มีผลต่อการร้าวของเมล็ดได้ซึ่งจะส่งผลต่อระดับของคุณภาพการสีของข้าว (กิติยา กิจควรดี, 2545) นอกจากนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากซิลิกอนช่วยป้องกันการรุกล้ำของเชื้อโรค โดยป้องกันเชื้อราในรากและใบ เนื่องจากความแข็งแรงของผนังเซลล์ที่มี

ซิลิกอนสูง ทำให้แมลงกัดกินใบได้น้อยลง (Yoshida, 1975; Takahashi et al., 1990; Idris et al., 1975; Marchner, 1995; ยงยุทธ โอสถสภา, 2544; IRRI, 2002)

ดังนั้น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวก็น่าจะมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความสมบูรณ์ขึ้น

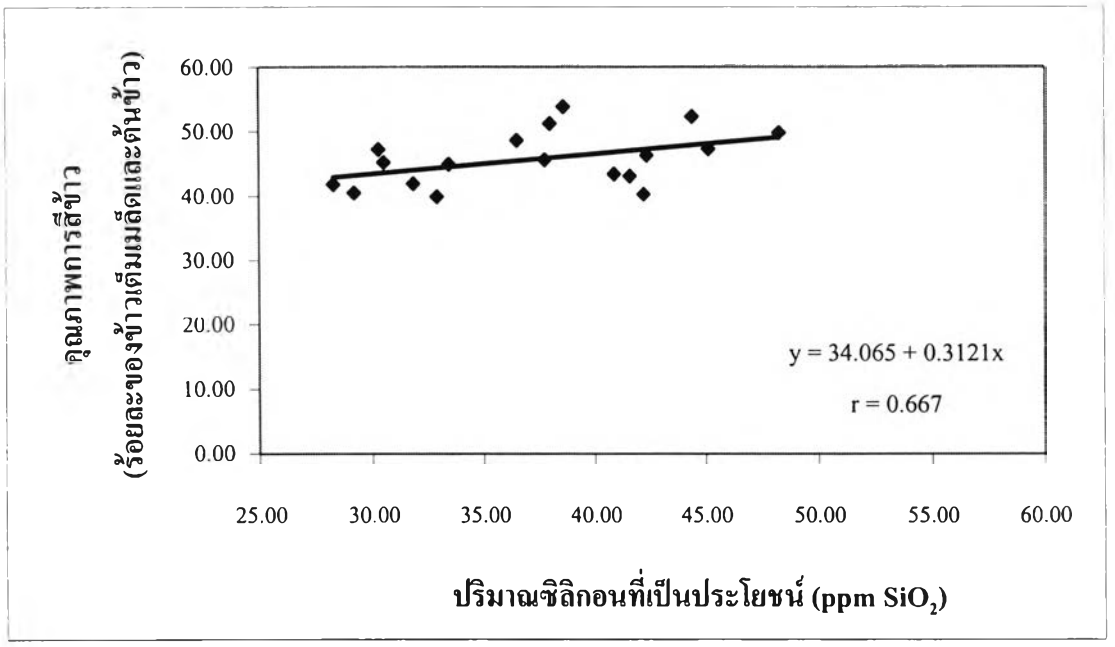


รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินก่อนเติมทดลอง

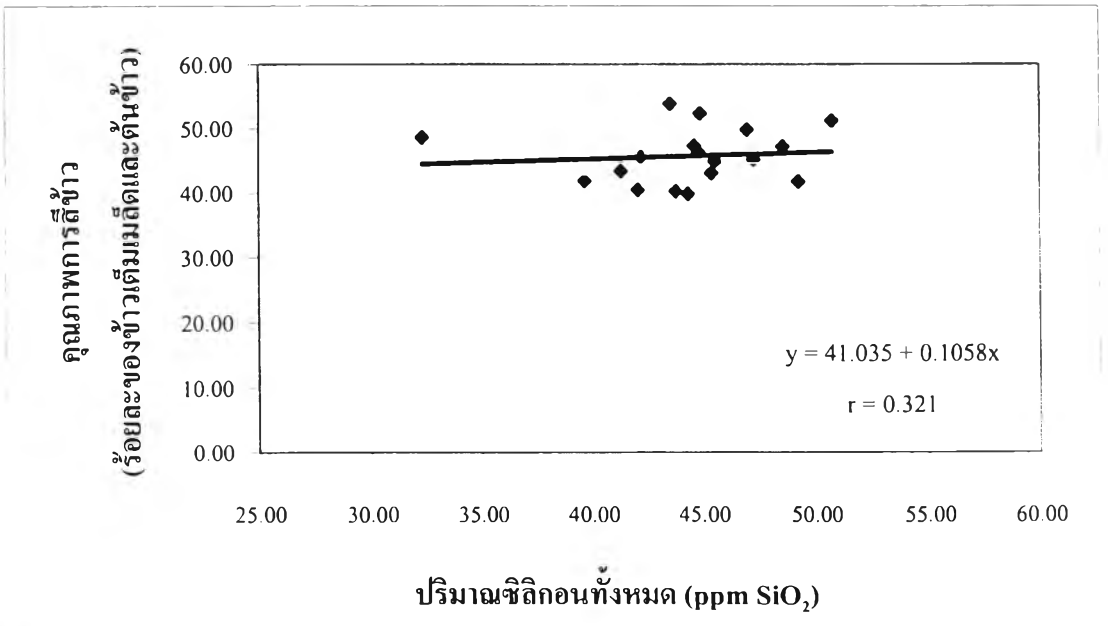


หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

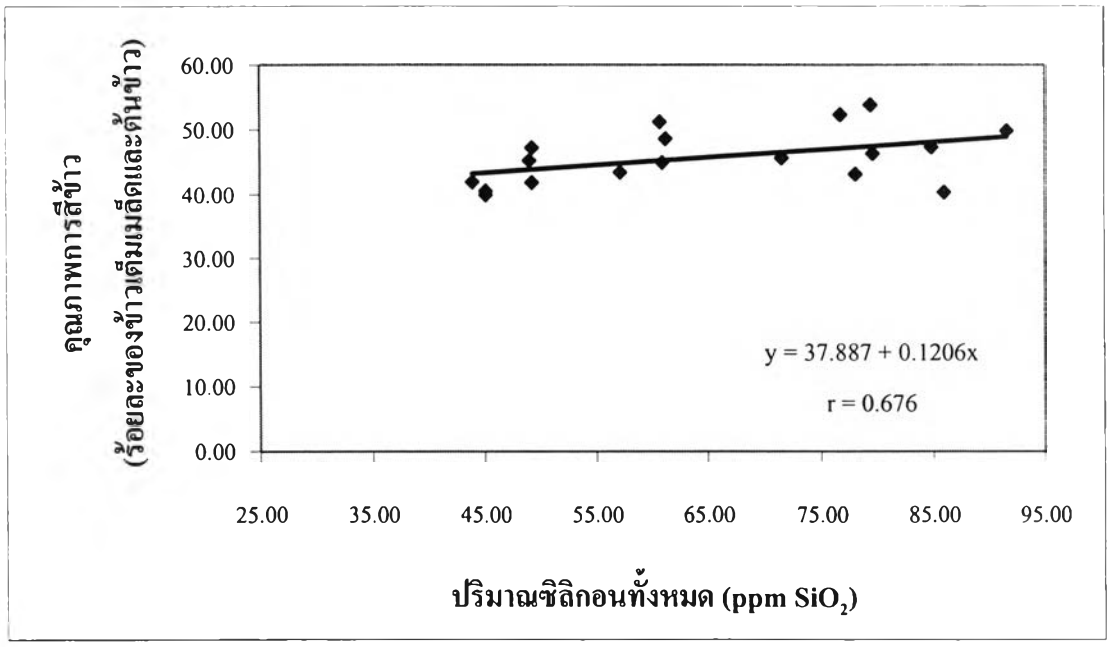
รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง



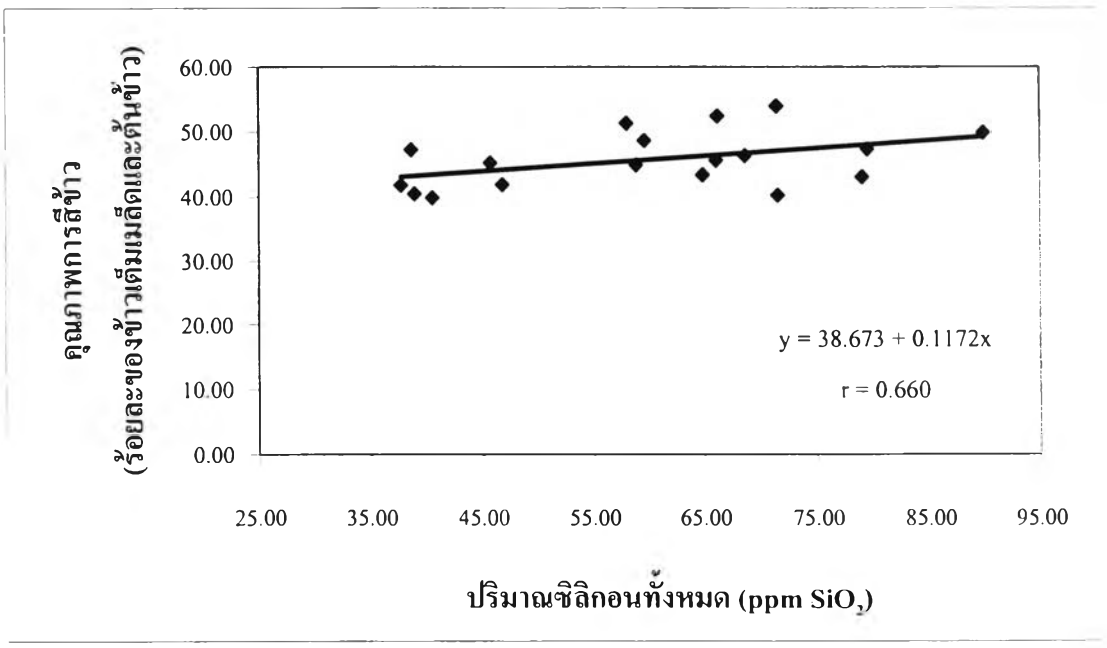
รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต



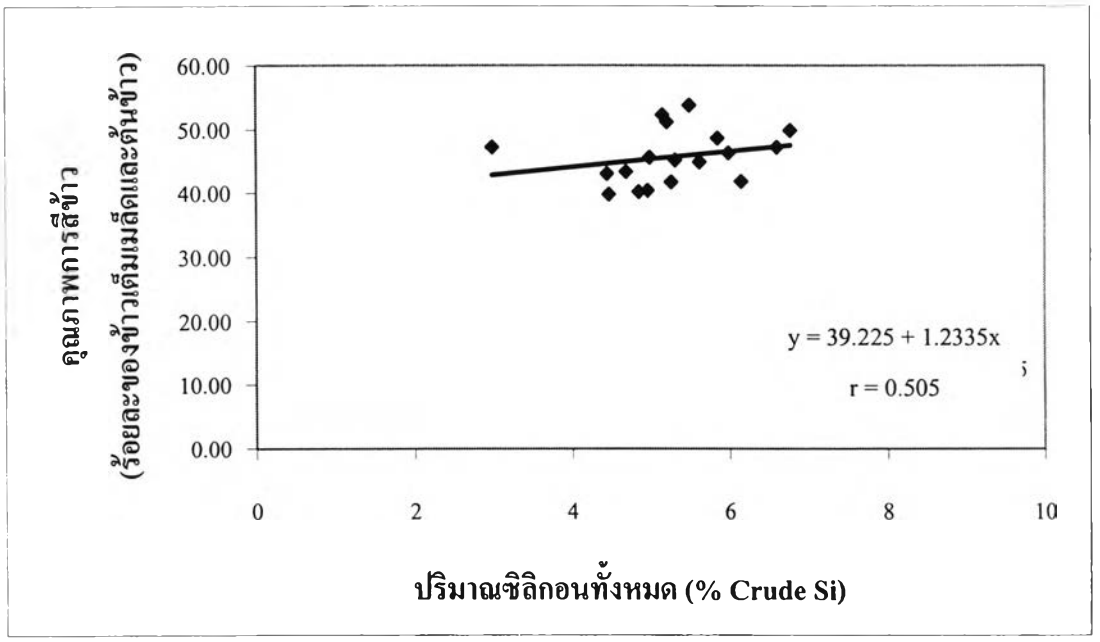
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในดินก่อนเติมสิ่งทดลอง



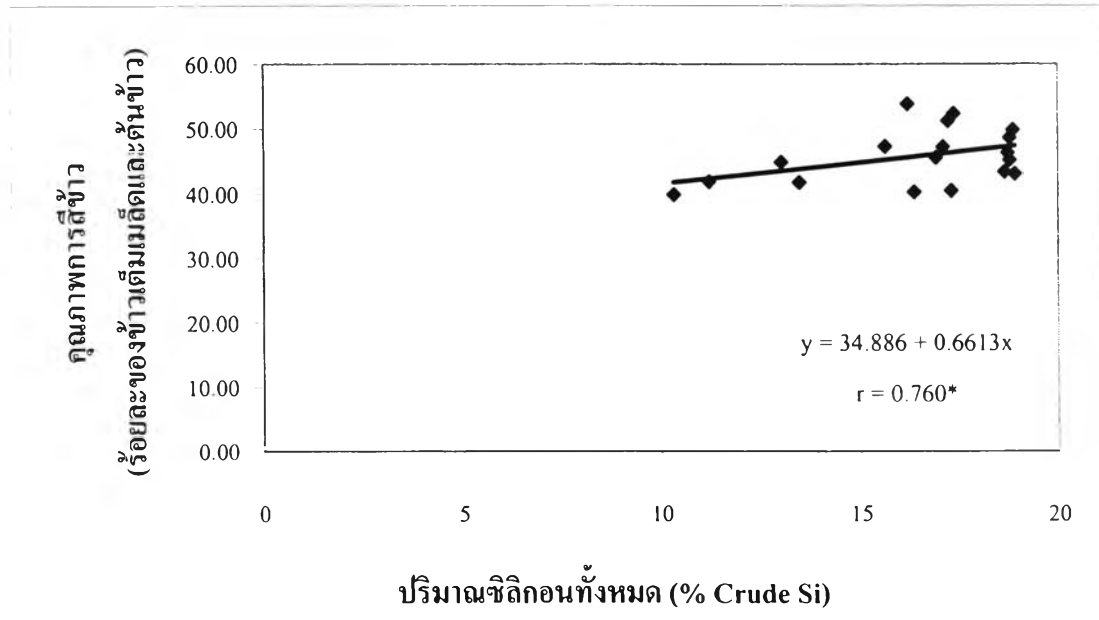
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในดินระยะ 14 วัน หลังเติมสิ่งทดลอง



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในดินระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต

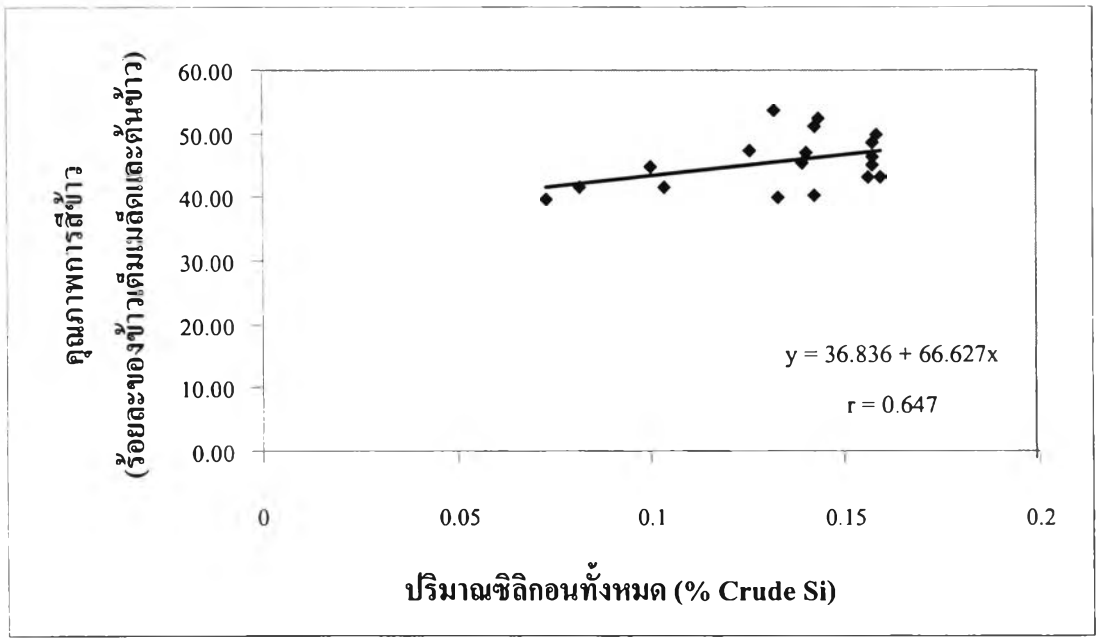


รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในราก

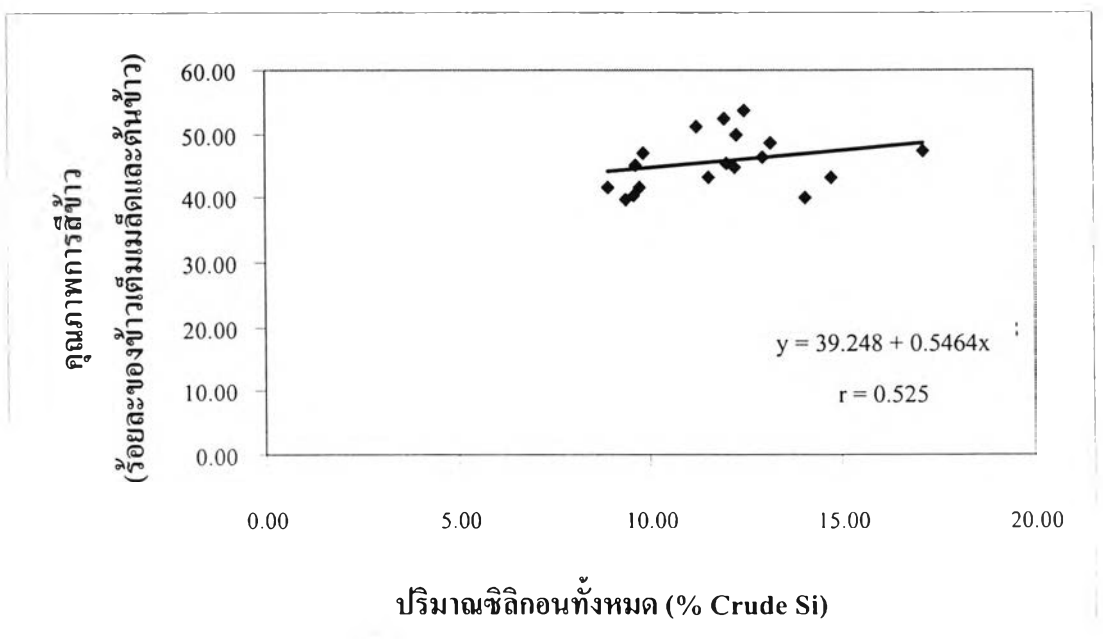


หมายเหตุ : * หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในลำต้น



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในเมล็ดข้าวสาร



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการสีของข้าวกับปริมาณซิลิกอนในแกลบ