บทที่ 5

วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ข้อจำกัดของเถ้าลอยลิกไนต์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารข้าว

เถ้าลอยลิกไนต์ เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเป็นเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงนั้น มีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกข้าว ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองได้แก่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ที่สกัดได้ (SO_4^{2-}) ในปริมาณ 4.68 mg/kg 128.32 mg/kg 102.43 meq/100 g 0.027 meq/100 g และ1,549.08 mg/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวปะปนอยู่มากคือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) ซิลิกอน (SiO_2) ในปริมาณ 7,986.03 mg/kg 96.22 mg/kg 3.93 mg/kg 8.92 mg/kg และ 47.06% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณ 31.25 mg/kg 69.00 µg/kg และ 23,162.64 mg/kg ตามลำดับ

5.1.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 10.2 จัดได้ว่าความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์เป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline) ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) ซึ่งอาจจะมีผลต่อต้นข้าวที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5-7 (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2543) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ (2546) พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีความเป็นกรดเป็นด่างสูงมาก (10.25) แต่อำนาจการทำให้เป็นกลาง (Neutralizing value) ของเถ้าลอยลิกไนต์ต่ำ ดังนั้นความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์จึงไม่เป็นข้อจำกัดในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารข้าว

5.1.2 ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์ คือ ซิลิกอน (Si) ในเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่ามีปริมาณซิลิกอนเท่ากับ 47.06 % SiO_2 ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีปริมาณซิลิกอนสูง โดยอยู่ในรูปของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และมีรูปทางแร่วิทยาส่วนใหญ่เป็น Non-crystalline structure (อัญรูป)

(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) โดยปกติปริมาณซิลิกอนอยู่ในดินในรูปของซิลิกา (SiO_2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 49-75 % โดยน้ำหนัก ซึ่งซิลิกอนในเถ้าลอยลิกไนต์ไม่น่าจะเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารข้าว กลับจะเป็นประโยชน์ต่อต้นข้าว เพราะซิลิกอน จะทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ใบ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดีขึ้น เพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง (Yoshida, 1981)

5.1.3 ปริมาณธาตุพิษ

การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวจำเป็นต้องศึกษา ข้อจำกัดของเถ้าลอยลิกไนต์ในการเป็นเหล่งธาตุอาหารข้าวในด้านธาตุพิษ โลหะหนักที่เป็นพิษในเถ้าลอยลิกไนต์เมื่อเติมลงในดินนา ก็มีโอกาสที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ต้นข้าว และผลผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยนิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และอลูมิเนียม (Al)

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุพิษในเถ้าลอยลิกไนต์ พบว่ามีปริมาณทั้งหมด (Total concentration) ของนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมเท่ากับ 31.25 mg/kg, 69.00 µg/kg และ 23,162.64 mg/kg มีปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ (Available concentration) เท่ากับ 0.08 mg/kg, 51.00 µg/kg และ 0.68 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณธาตุพิษในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 5.1) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณธาตุพิษในเถ้าลอยลิกไนต์ ไม่เป็นข้อจำกัดในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารข้าว

ตารางที่ 5.1 ปริมาณธาตุพิษในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช

ชนิดธาตุ	ส่วนของพืช (ระยะการเจริญเติบโต)	ปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ (mg/kg)
นิกเกิล	-	50-100[2] 100[3]
แคดเมียม	-	3-5[3]
อลูมิเนียม	ต้นข้าวไม่รวมราก (ระยะแตกกอ)	300[1]

หมายเหตุ : 1 Yoshida, 1981

2 Chaney, 1982

3 Pendias and Pendias, 1992

สรุปได้ว่า องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ทั้งความเป็นกรดเป็นด่าง และธาตุอาหารเสริมประโยชน์ ไม่น่าจะเป็นข้อจำกัดในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารข้าว แต่อาจเกิดปัญหาจากธาตุพิษโดยเฉพาะอลูมิเนียม ถ้าเงื่อนไขของดินนาส่งเสริมให้การละลายได้ของอลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

5.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนา

เพื่อให้ทราบถึงผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีต่อผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาก่อนทำการทดลองและลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว เพื่อที่จะยืนยันว่าผลที่เกิดขึ้นเป็นผลอันเนื่องมาจากดินเดิมหรือเถ้าลอยลิกไนต์ โดยที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินนามีความสัมพันธ์กับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่เติมลงในดินนา และปริมาณธาตุอาหารในดินนาที่จะละลายออกมาเป็นประโยชน์แก่ต้นข้าว นอกจากนี้ยังมีผลต่อการละลายของธาตุพิษทั้งในดินนาและจากสิ่งทดลองที่เติมลงไป ซึ่งธาตุพิษเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นข้าวการปลูกข้าวให้ได้รับผลผลิตดี ต้องมีหรือจัดหาธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของต้นข้าว ธาตุอาหารหลักที่ข้าวต้องการในปริมาณสูงคือ ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) และธาตุโพแทสเซียม (K) (De Datta, 1981) นอกจากนี้ต้นข้าวยังต้องการธาตุซิลิกอน (Si) โดยต้องการในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นเพียงเล็กน้อย แต่ต้องการปริมาณมากขึ้นในช่วงเจริญพันธุ์ ก่อนข้าวตั้งท้องซิลิกอนจะเคลื่อนย้ายไปสะสมในใบธง หากขาดแคลนในช่วงนี้ช่อดอกข้าวจะไม่สมบูรณ์ (Ma et al., 1989 อ้างถึงใน ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) โลหะหนักที่เป็นพิษในเถ้าลอยลิกไนต์เมื่อเติมลงในดินนา ก็มีโอกาสที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ต้นข้าว และผลผลิต โดยที่นิกเกิลในปริมาณสูงจะทำให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองระหว่างเส้นใบจากใบอ่อนไปสู่ใบแก่ เกิดการตายของเนื้อเยื่อ (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526 ; Mengel and Kirkby, 1982) ส่วนอาการผิดปกติจากธาตุแคดเมียมคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญของรากลดลง และเกิดการเน่า เมื่อความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเพิ่มขึ้น (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526 ; Hewitt, 1953) ปริมาณอลูมิเนียมที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว เริ่มที่อาการชะงักงันของราก รากจะสั้นกุด และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปริมาณรากแขนงและรากฝอยลดลงอย่างมาก เป็นผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นไม่เป็นไปอย่างปกติ (กรมวิชาการเกษตร, 2543)

5.2.1 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาก่อนทำการทดลอง

เมื่อพิจารณาปริมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ และปริมาณธาตุพิษในดินก่อนทำการทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่าดินที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นดินกรด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 4.46 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นดินที่มีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) จัดอยู่ในชั้นดิน P-IIIa (ความเป็นกรดเป็นด่าง = 4.0-4.5) ตามการจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวของกรมพัฒนาที่ดิน (2541) เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรค เพราะจะเกิดความเป็นพิษเนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่สูงจะเป็นพิษต่อพืชที่ปลูกได้ ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช โดยเฉพาะฟอสฟอรัสมีปริมาณต่ำ เนื่องจากถูกตรึงอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินไม่เป็นไปอย่างปกติ อย่างไรก็ตามดินกรดจัดเมื่อมีการขังน้ำในแปลงนาความเป็นกรดเป็นด่างของดินก็จะเพิ่มขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้ความเป็นพิษของอลูมิเนียมลดลงและปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; Ponnamperuma, 1965)

ปริมาณธาตุอาหารเสริมประโยชน์ของดินก่อนทำการทดลอง คือ ธาตุซิลิกอน โดยในการศึกษาวิจัยได้วัดปริมาณธาตุซิลิกอนของดินในรูปของ SiO_2 มีค่าเท่ากับ 68.26 % โดยปกติปริมาณซิลิกอนอยู่ในดินในรูปของซิลิกา (SiO_2) มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 49-75 % โดยน้ำหนัก ซึ่งอาจจะเป็นผลึก เป็นอสัณฐาน (Amorphous) และในรูปของซิลิเกต (Silicate) เมื่อมีการขังน้ำจะอยู่ในสารละลายดินในรูปกรดโมโนซิลิซิก (Monosilicic acid ; H_4SiO_4 หรือ $Si(OH)_4$) การละลายได้ของซิลิกอนไม่ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดินในช่วง 2-8 (IIer, 1979 cited in De Datta, 1981)

เมื่อเปรียบเทียบธาตุพิษในดินก่อนทำการทดลอง พบว่า มีปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดมากกว่าปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ (ตารางที่ 4.1) เท่ากับ 18.52 34.64 และ 720.43 เท่า ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณนิกเกิลและแคดเมียมมีน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 5.1) ส่วนอลูมิเนียมมีปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช มากกว่า ปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ 4.84 เท่า แต่มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดสูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษถึง 148.89 เท่า ดังนั้น โอกาสที่อลูมิเนียมจะก่อให้เกิดปัญหาในการปลูกข้าวจึงมีความป็นไปได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่จะส่งเสริมให้การละลายได้ของอลูมิเนียมเพิ่มขึ้นได้ เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณฟอสเฟต เพราะฟอสเฟตจะลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมโดยการตกตะกอนกับอลูมิเนียมทั้งข้างนอกและข้างในราก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520; Evans and Kamprath, 1970; Haynes, 1984)

กล่าวได้ว่า ดินก่อนทำการทดลองมีความเหมาะสมสำรับการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรค และอาจเกิดปัญหาจากธาตุพิษโดยเฉพาะอลูมิเนียม ถ้าเงื่อนไขของดินนาส่งเสริมให้การละลายได้ของอลูมิเนียมเพิ่มขึ้น

5.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวที่เป็นตัวแทนในการศึกษาคือ ระยะ14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ปักดำ) ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง และระยะก่อนเกี่ยว โดยที่ตลอดระยะการเจริญเติบโตต้นข้าวจะมีการดูดดึงธาตุอาหาร และธาตุพิษที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติทางเคมีของดินนาเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

- **ความเป็นกรดเป็นด่าง**

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในแต่ละตำรับทดลอง และทุกระยะการเจริญเติบโตมีค่าเพิ่มขึ้น(ตารางที่ 4.2 4.5 4.8 และ 4.11) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการทดลอง (pH = 4.46) โดยที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้องส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (รูปที่ 5.1) จากนั้นจะลดลงในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่อมาของต้นข้าว ส่วนตำรับทดลองอื่นๆ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะเพิ่มขึ้นตามระยะการเจิญเติบโตและจะลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะก่อนเกี่ยว ยกเว้นการเติมปูนมาร์ล 0.5 ตัน/ไร่ ที่ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นทุกระยะการเจริญเติบโต ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ ทุกระยะการเจริญเติบโต

สาเหตุที่ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และลดลง ในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่อมาของต้นข้าว อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ความเป็นด่างจัดของเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงแรกที่เติมลงไป จะไปยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินขึ้นมา แต่เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีซัลเฟอร์ (S) อยู่เป็นจำนวนมาก (SO_4^{2-} = 1,549.08 mg/kg) ดังนั้นในช่วงการเจริญต่อมาของต้นข้าว ซัลเฟอร์อาจจะถูกรีดิวซ์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Strict anaerobes) เปลี่ยนเป็นสารประกอบซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อไป และเพิ่มไฮโดรเจนไอออนให้กับสารละลายดิน จนทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง ส่วนตำรับทดลองที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามระยะการเจิญเติบโต และลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะก่อนเกี่ยว น่าจะเป็นเพราะอิทธิพลของการขังน้ำ

ในแปลงนาตลอดระยะการเจริญเติบโต และระบายน้ำออกจากแปลงนาก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ ในกรณีของดินที่เป็นกรด (pH ประมาณ 5) เมื่อมีการขังน้ำระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะเพิ่มสูงขึ้น (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; Ponnamperuma, 1965) เนื่องจากดินนาอยู่ในสภาพรีดิวซ์ (Reduced conditions) สารประกอบเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ถูกรีดิวซ์เป็น สารประกอบเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ถูกปลดปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากับ ไฮโดเจนไอออน (H^+) จึงทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการระบายน้ำออกจากแปลงนา ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารประกอบเฟอร์รัส (Fe^{2+}) เป็นสารประกอบเฟอร์ริก (Fe^{3+}) มีการปลดปล่อยไฮโดเจนไอออนออกมา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542 ; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528) ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงที่ระยะก่อนเกี่ยว แต่การเติมปูนมาร์ลความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ระยะก่อนเกี่ยวไม่ลดลง น่าจะเป็นผลมาจากสารประกอบของแคลเซียมที่มีอยู่ในปูนมาร์ลเข้าไปทำลายฤทธิ์ของกรด โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบในดินทำให้ไอออนลบในดินหายไป ดังนั้นความเป็นกรดเป็นด่างของดินจึงเพิ่มขึ้น และจะมีผลตกค้างของปูนอยู่ 4-5 ปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ ทุกระยะการเจริญเติบโต เพราะว่าปุ๋ยเคมีจะเพิ่มสภาพความเป็นกรดให้กับดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ

สรุปได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น และจะลดลงในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่อมาของต้นข้าว โดยที่ความเป็นกรดเป็นด่างตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวมากกว่าการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว

- **ธาตุอาหารเสริมประโยชน์**

ปริมานซิลิกอนในรูปของซิลิกา (SiO_2) ที่ระยะก่อนเกี่ยว เมื่อเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (รูปที่ 5.2) ปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 ตำรับทดลอง น่าจะเป็นผลมาจากเถ้าลอยลิกไนต์ ขณะที่ดินเดิม และการเติมปูนมาร์ลไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซิลิกอนในทั้ง 2 ระยะการเจริญเติบโต (ตารางที่ 4.2 และ 4.11) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบตามตำรับทดลองที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง และระยะก่อนเกี่ยว พบว่าไม่มีความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนในดิน (F-value = 0.20^{NS}, 0.61^{NS}) แต่ปริมาณซิลิกอนตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (63.97 – 65.89 %) กลับมีปริมาณลดลงจากดินก่อนทำการทดลอง (68.26 %) ที่เป็นเช่นนี้ เพราะเมื่อขังน้ำจะทำให้เกิดการปลดปล่อยซิลิกอนที่ถูกดูดยึด

ไว้กับ Hydrous oxide ของ Fe^{3+} และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในดินที่เกิดขึ้นจากการขังน้ำจะละลาย Aluminosilicate ให้ออกมาอยู่ในรูป $Si(OH)_4$ จึงทำให้ปริมาณซิลิกอนในดินลดลง (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Hallmark et al., 1982; Ponnamperuma, 1972)

โดยสรุปแล้ว การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ทำให้ปริมาณซิลิกอนในรูปของซิลิกา (SiO_2) ในดินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

- **นิกเกิล**

ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกับที่ระยะต้นข้าวแตกกอ (รูปที่ 5.3) จากนั้นปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จะลดลงในระยะต้นข้าวตั้งท้อง และกลับเพิ่มสูงขึ้นในระยะก่อนเกี่ยว น่าจะเป็นผลมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นในระยะต้นข้าวตั้งท้อง และลดลงในระยะก่อนเกี่ยว ซึ่งการละลายได้ของนิกเกิลในดินขึ้นอยู่กับค่า ความเป็นกรดเป็นด่าง ทั้งนี้การละลายได้ของนิกเกิลจะน้อยลงเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2531; Chaney, 1982; Mengel and Kirkby, 1982; Siriratpiriya et al.,1985) โดยทั่วไปนิกเกิลจะละลายได้มากก็ต่อเมื่อดินมีความเป็นกรดเป็นด่างลดลงถึง 5 (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ ทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4 และ 4.7) แต่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง (ตารางที่ 4.10) ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้มีค่าลดลง (รูปที่ 5.3) แต่ก็ยังมีปริมาณสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.68*) นอกจากนี้ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ยังส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะก่อนเกี่ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากนิกเกิลในเถ้าลอยลิกไนต์ละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ อย่างไรก็ตามปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวยังมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (50-100 mg/kg จากตารางที่ 5.1)

จากผลดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้นจากการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว โดยเห็นได้อย่างเด่นชัดในทุกระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว อย่างไรก็ตาม ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่เพิ่มขึ้นก็ยังมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมด ที่ระยะ14วันหลังเติมสิ่งทดลอง ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง และระยะก่อนเกี่ยว เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.3 4.6 4.9 และ 4.12; F-value = 1.06^{NS} 0.004^{NS} 0.03^{NS} 1.07^{NS}) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปริมาณนิกเกิลทั้งหมด ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (รูปที่ 5.4) พบว่าปริมาณนิกเกิลทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 5.76-7.65 mg/kg ที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง เป็น 11.10-12.61 mg/kg ที่ระยะก่อนเกี่ยว แต่ปริมาณนิกเกิลที่เพิ่มขึ้นก็ยังน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 5.1)

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในดิน

- **แคดเมียม**

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (รูปที่ 5.5) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในนาจะทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ตามช่วงเวลาที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ โดยที่การปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ล้วนส่งผลให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้องเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10) เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมี หรือปูนมาร์ลลงดินเพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียวทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และกลับเพิ่มสูงขึ้นในระยะก่อนเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างในตำรับทดลองเดียวกัน (รูปที่ 5.1) เพราะความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นทำให้การละลายได้ของแคดเมียมลดลง (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2531; Andersson and Nilsson, 1974; Mengel and Kirkby, 1982; Siriratpiriya et al., 1985) นอกจากนี้แคดเมียมอาจจะถูกดูดซับโดยแร่ดินเหนียว หรือทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับ Hydrous oxides Fe, Al (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างที่ระยะก่อนเกี่ยวลดลง จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากแคดเมียมในเถ้าลอยลิกไนต์สามารถละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดดึงได้ถึง 73.91 % จึงน่าจะมีส่วนในการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ หรือในเถ้าลอยลิกไนต์อาจจะมีธาตุบางชนิดที่ไปทำปฏิกิริยาเสริม (Synergism) หรือปฏิกิริยาหักล้าง (Antagonism) กับสารประกอบของแคดเมียมในดิน ที่ทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ ของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวในทุกตำรับทดลอง ยังมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (3-5 mg/kg จากตารางที่ 5.1)

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในระยะต้นข้าวตั้งท้อง แต่ก็มีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด เมื่อพิจารณาในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวพบว่าเฉพาะที่ระยะต้นข้าวตั้งท้องเท่านั้น ที่มีความต่างทางสถิติ ในแต่ละตำรับทดลอง (ตารางที่4.9 และรูปที่ 5.6) โดยที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก และระยะต้นข้าวแตกกอ มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมี ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด มีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาเหตุที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดสูงที่สุด อาจเป็นผลเนื่องมาจาก ตำรับทดลองนี้พึ่งจะมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ จึงทำให้แคดเมียมในเถ้าลอยลิกไนต์ยังละลายออกมาได้ไม่มาก ประกอบกับ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ความเป็นกรดเป็นด่างจะเพิ่มขึ้นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ก่อนที่จะลดลงในระยะการเจริญเติบโตต่อมาของต้นข้าว (รูปที่ 5.1) จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด แต่ก็ยังน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 5.1)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพิ่มขึ้น เฉพาะที่ระยะต้นข้าวตั้งท้องเท่านั้น โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

- **อลูมิเนียม**

เมื่อพิจารณา ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (รูปที่ 5.7) พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น เมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น ยกเว้นที่ระยะต้นข้าวแตกกอ เมื่อการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก มีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (รูปที่ 5.1) ที่มีค่าสูงที่สุดที่ระยะนี้ เนื่องจากเมื่อดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น การละลายได้ของอลูมิเนียมจะลดลง โดยที่ Al^{3+} ในสารละลายดินจะกลับไปดูดซับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520; Evans and Kamprath, 1970; Foy, 1974; Haynes, 1984; Mengel and Kirkby, 1982) สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว มีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

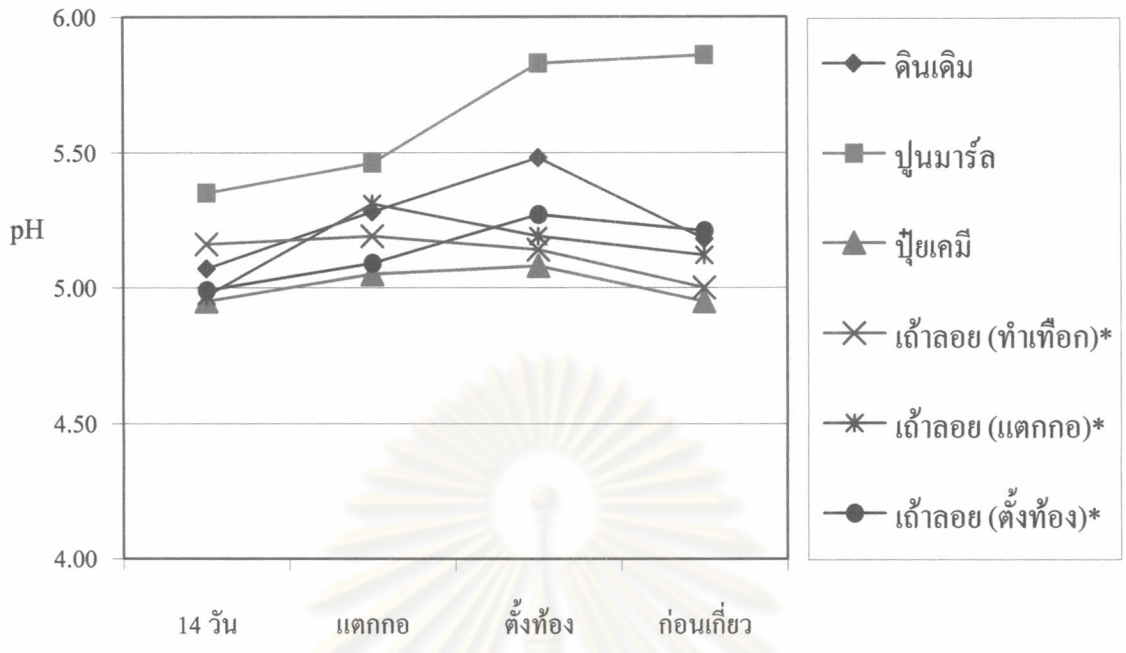
(รูปที่ 5.1) ส่วนปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่เพิ่มขึ้น จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง นอกจากจะเป็นผลโดยตรงที่ดินได้รับอลูมิเนียมจากเถ้าลอยลิกไนต์แล้ว การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ยังทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงในช่วงเวลาถัดจากที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ลดลงจะช่วยเพิ่มการละลายได้ของอลูมิเนียม อย่างไรก็ตาม สรสิทธิ์ วัชโรทยาน (2520) ได้รายงานว่า ความสามารถในการละลายของอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่าง เมื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้สูงขึ้นตั้งแต่ 4.4 ขึ้นไป จะไม่เกิดความเป็นพิษ จากอลูมิเนียม ซึ่งตลอดระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.94-5.86 ประกอบกับปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ตลอดระยะการเจริญเติบโตมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (300 mg/kg จากตารางที่ 5.1) ดังนั้นปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จึงไม่น่าจะเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของต้นข้าว

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ทั้ง 3 ระยะ มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก มีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้สูงที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต แต่ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่เพิ่มขึ้นก็ไม่น่าจะเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด ที่ระยะ14วันหลังเติมสิ่งทดลอง ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวตั้งท้อง และระยะก่อนเกี่ยว เปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 4.3 4.6 4.9 และ4.12 ; F-value = 0.35^{NS} 0.07^{NS} 0.09^{NS} 0.14^{NS}) เมื่อพิจารณาปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว (รูปที่ 5.8) พบว่าปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดมีปริมาณต่ำสุด ที่ระยะ ต้นข้าวแตกกอ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะการเจริญเติบโตต่อมา

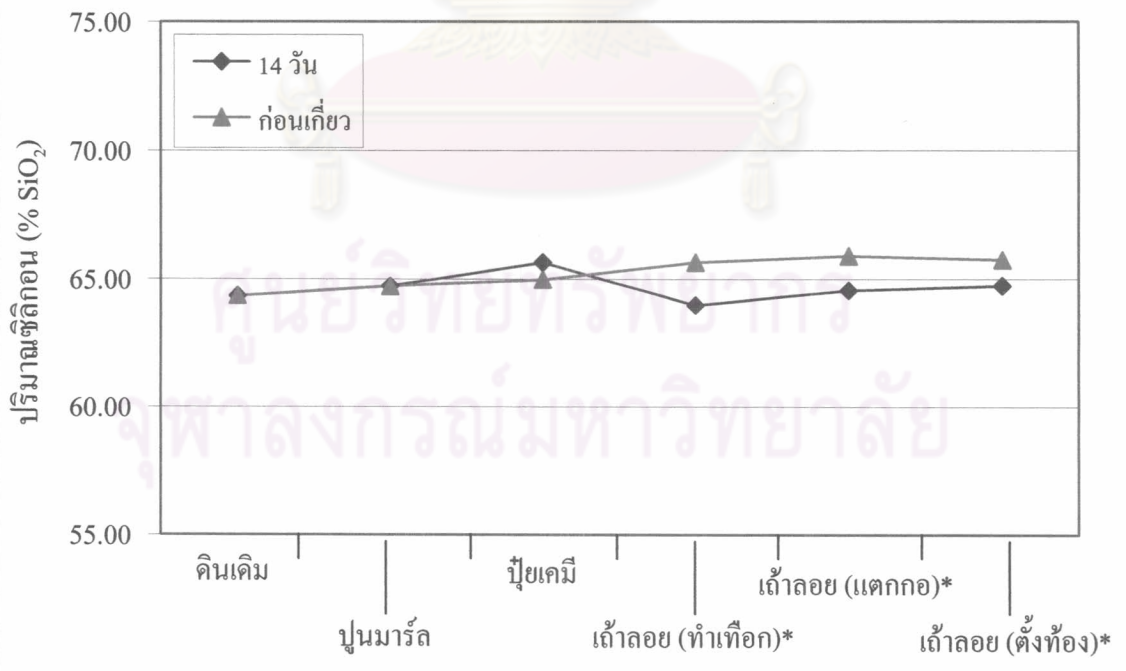
แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

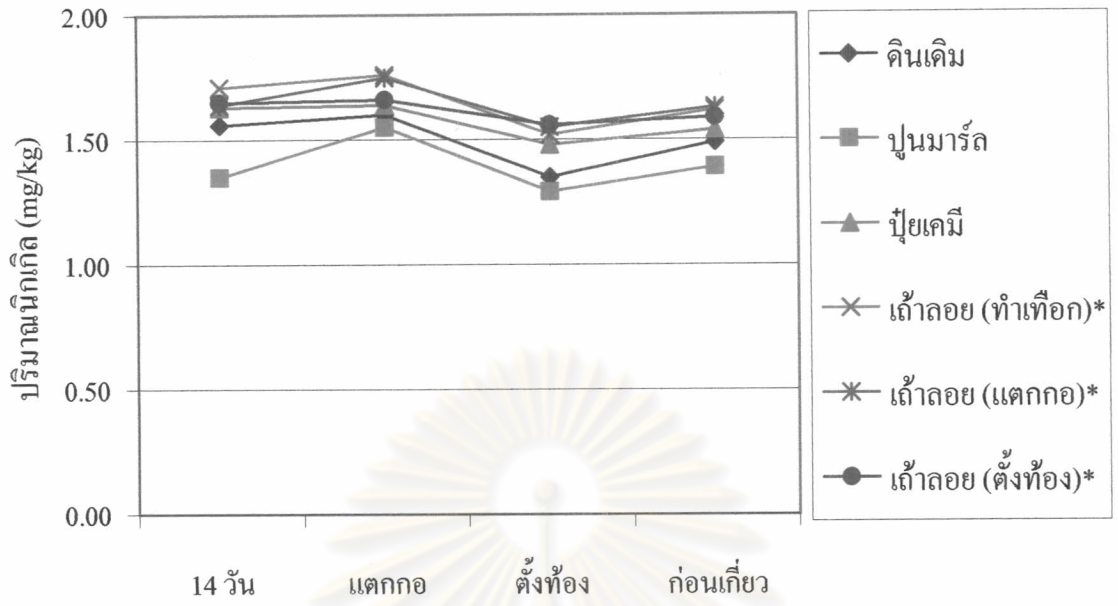
รูปที่ 5.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

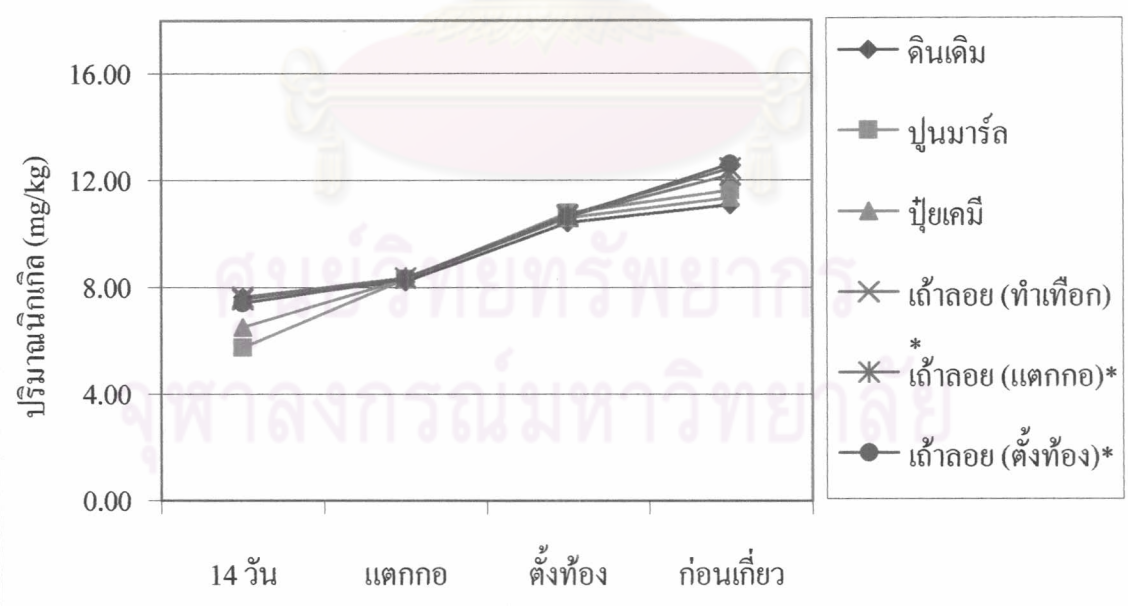
รูปที่ 5.2 ปริมาณซิลิกอนในรูปซิลิกา (SiO_2) ของดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง และระยะก่อนเกี่ยว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

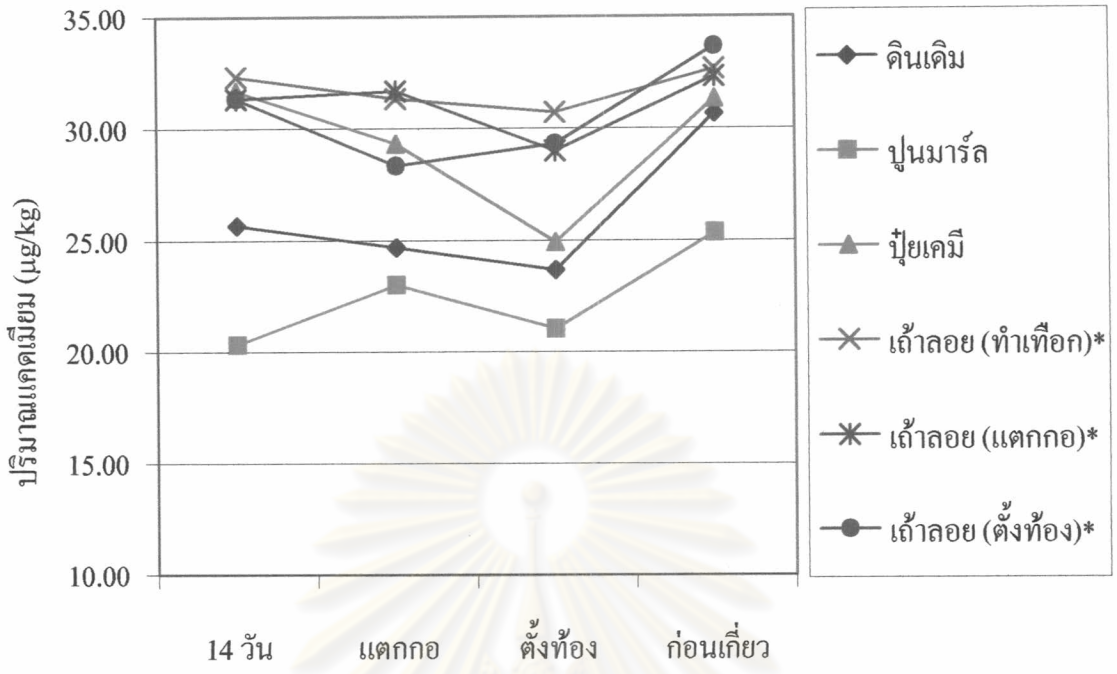
รูปที่ 5.3 ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

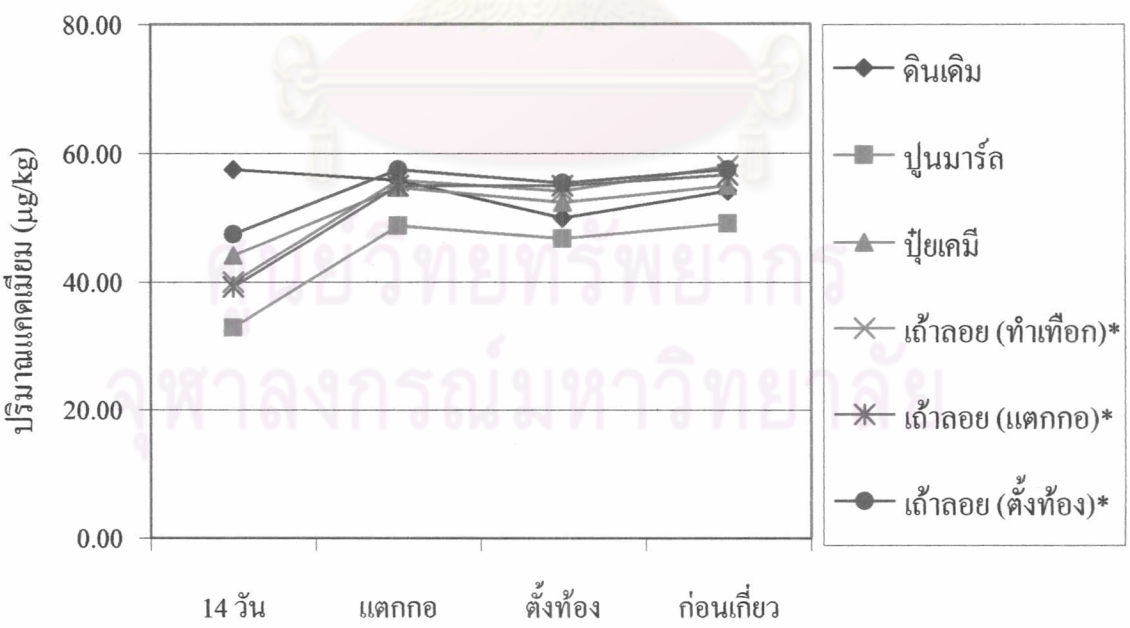
รูปที่ 5.4 ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



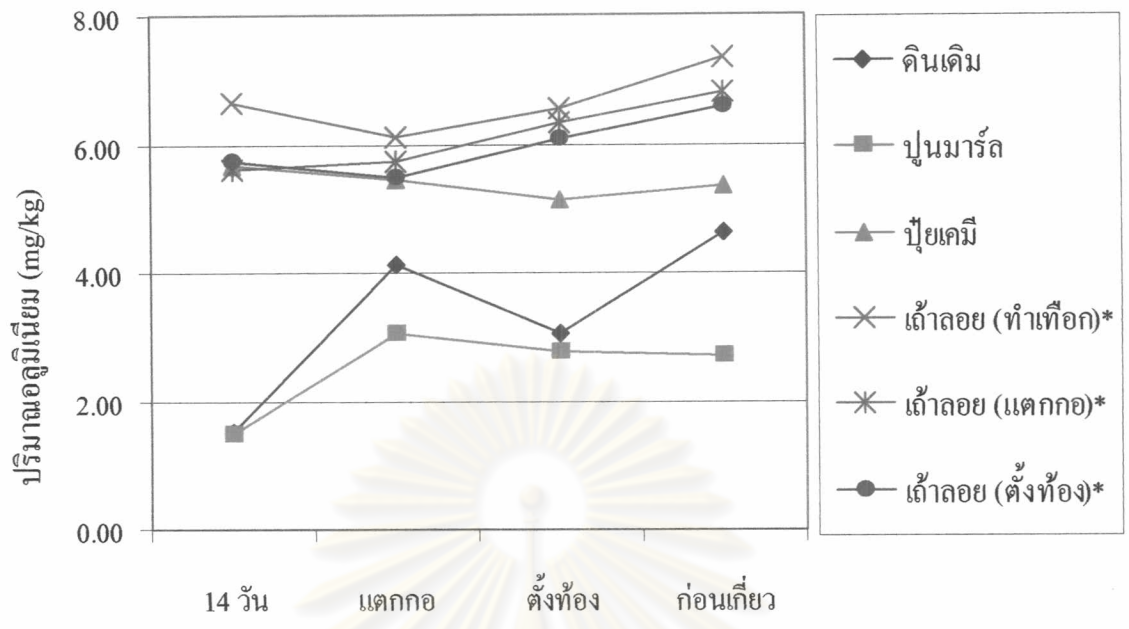
หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.5 ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว



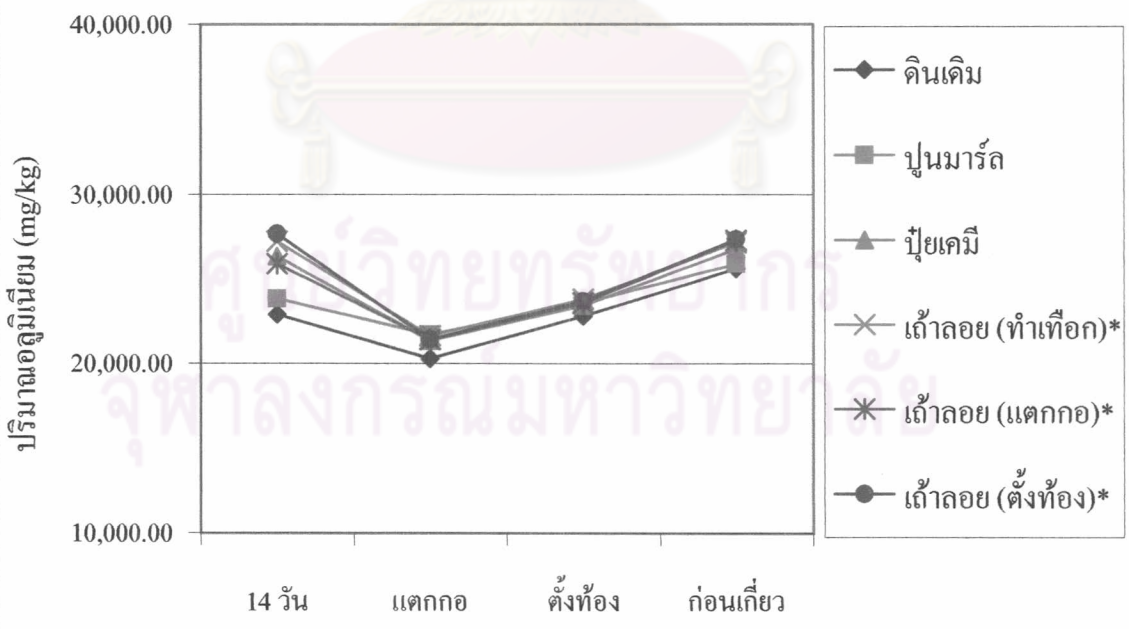
หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.6 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.7 ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.8 ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การปลูกข้าวจะให้ผลผลิตดีต้องมีหรือจัดหาธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของข้าวอย่างสอดคล้องกับการเจริญเติบโต โดยที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว จะทำให้ต้นข้าวมีโอกาสได้รับธาตุอาหารตรงกับความต้องการ ในขณะเดียวกันเมื่อต้นข้าวดูดดึงธาตุอาหาร ก็มีโอกาสที่จะดูดดึงธาตุพิษจากเถ้าลอยลิกไนต์ ธาตุอาหารและธาตุพิษจากเถ้าลอยลิกไนต์ จะมีผลต่อผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก ดัชนีการเก็บเกี่ยว และองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

5.3.1 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และดัชนีการเก็บเกี่ยว

เมื่อพิจารณาผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (รูปที่ 5.9) พบว่า การเติมเฉพาะปุ๋ยเคมี (533.53 กก./ไร่) และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (540.45 กก./ไร่) ระยะต้นข้าวแตกกอ (543.77 กก./ไร่) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (546.94 กก./ไร่) มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (ตารางที่ 4.14) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมี พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีอิทธิพลให้เกิดความต่างของผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจาก ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารที่มีอยู่ในเถ้าลอย ละลายออกมาอยู่ในรูปทางเคมีที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ซิลิกอนที่มีอยู่มากในเถ้าลอยลิกไนต์ (47.06 % SiO_2) น่าจะมีส่วนลดการตรึงฟอสเฟต โดยสารประกอบซิลิเกต จะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว และทำปฏิกิริยากับ Fe, Al oxides ทำให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511 ; Takahashi, 1968) นอกจากนี้ซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นไป จะไปสะสมที่ผิวใบ และลำต้น ทำให้การสังเคราะห์แสง เพิ่มขึ้นลำต้นแข็งแรง เพิ่มความต้านท่านโรค และแมลงมากัดกินต้นข้าว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Yoshida, 1981) จึงน่าจะมีส่วนทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาดัชนีการเก็บเกี่ยวซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ประสิทธิภาพในการใช้ธาตุอาหารของต้นข้าว ถ้าดัชนีการเก็บเกี่ยวมีค่าสูงแสดงว่า ต้นข้าวจะนำธาตุอาหารไปสร้างเมล็ดมากกว่านำไปสร้างใบและลำต้น (ตารางที่ 4.14 และรูปที่ 5.9) พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก (0.60) ระยะต้นข้าวแตกกอ (0.61) และระยะต้นข้าวตั้งท้อง (0.62) มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำกว่า การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (0.63) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.83^{NS}) ในขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ทั้ง 3 ระยะ ไม่มีผลให้

ดัชนีการเก็บเกี่ยวมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (0.60) หรือการเติมปูนมาร์ล (0.60) จะเห็นได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียวมีดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ แต่มีผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกน้อยกว่า อาจเป็นเพราะว่าในเถ้าลอยลิกไนต์ มีซิลิกอนอยู่มากและซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นมาจะเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ที่ผิวใบและลำต้น เพิ่มความแข็งแรงแก่ต้นข้าว เพิ่มพื้นที่ของใบ ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และระบบการดูดซึมธาตุอาหารดีขึ้น จึงทำให้เพิ่มทั้งปริมาณต้นข้าว และผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก ดังนั้นดัชนีการเก็บเกี่ยวจึงไม่เพิ่มขึ้น

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มากกว่า การเติมปุ๋ยเคมีอย่างเดียว 6.92-15.07 กิโลกรัม/ไร่ โดยที่ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารของต้นข้าวเมื่อพิจารณาจากดัชนีการเก็บเกี่ยวนั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

5.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินนา ย่อมส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ทั้งคุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์ (ปริมาณอมิโลส และความคงตัวของแป้งสุก) และคุณภาพข้าวทางเคมี (ธาตุอาหารเสริมประโยชน์ และธาตุพิษ)

- **คุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์**

ประเทศไทยส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกติดต่อกันมากว่าสิบปี เนื่องจากผลิตข้าวได้ปริมาณมาก และมีคุณภาพดี โดยที่มาตรฐานสำหรับการส่งออกข้าวของกระทรวงพาณิชย์กำหนดเฉพาะลักษณะทางกายภาพ เช่น ความยาวเมล็ด ปริมาณและขนาดข้าวหัก ความสะอาด สิ่งเจือปน ความชื้นและระดับการสี ซึ่งตรวจสอบได้ง่าย ในขณะที่ข้าวที่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกันเมื่อนำไปหุงต้มอาจมีคุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน ดั้งนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว (Cooking and eating quality) ซึ่งสามารถชี้ชัดได้จากคุณสมบัติเมล็ดทางเคมี (Grain chemical properties) ซึ่งเป็นลักษณะประจำพันธุ์ ทั้งนี้คุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์ที่ศึกษาวิจัย ได้แก่ ปริมาณอมิโลส และความคงตัวของแป้งสุก

1) ปริมาณอมิโลส

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอมิโลสในข้าวสารในแต่ละตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.19 และรูปที่ 5.10) พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอมิโลสในข้าวสารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน

การเติมปูนมาร์ล 0.50 ตัน/ไร่ และการเติมปุ๋ยเคมีลงดินเพียงอย่างเดียว มีปริมาณอมิโลสในข้าวสารไม่แตกต่างไปจากดินเดิม ทั้งนี้ปริมาณอมิโลส (14.09-17.18 %) แม้จะลดลงหากแต่ยังไม่ถึงขั้นก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าว สำหรับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เพราะปริมาณอมิโลสของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีค่าอยู่ในช่วง 12-18 % จัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำ เมื่อข้าวสุกจะมีลักษณะเหนียว นุ่ม (งามชื่น คงเสรี, 2542: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม จึงทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมาก เมื่อสุกแล้วข้าวจะร่วนฟู และแข็งกระด้างไม่เหนียวติดกัน โดยปริมาณอมิโลสที่ลดลงน่าจะทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวเพิ่มขึ้นหรือมีความร่วนลดลง และทำให้ข้าวนุ่มมากขึ้น (งามชื่น คงเสรี, 2542)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอมิโลสของข้าวสารลดลงจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังอยู่ในมาตรฐานข้าวหอม และจัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำ ที่มีลักษณะข้าวสุกเหนียว นุ่ม

2) ความคงตัวของแป้งสุก

เมื่อพิจารณาความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.19 และรูปที่ 5.10) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.24^{NS}) โดยที่ความคงตัวของแป้งสุกจะมีค่าอยู่ในช่วง 78.0-82.7 มิลลิเมตร การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง มีผลทำให้ค่าความคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิม 79.50 มิลลิเมตร เพิ่มเป็น 81.66 81.67 และ 81.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ความคงตัวของแป้งสุกในทุกตำรับทดลอง อยู่ในมาตรฐานความคงตัวของแป้งสุกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่มีค่าอยู่ในช่วง 61.0-100.0 มิลลิเมตร และจัดอยู่ในประเภทแป้งสุกอ่อน (งามชื่น คงเสรี, 2542: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) แม้ว่าปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ข้าวสุกที่มีปริมาณอมิโลสเท่ากัน อาจมีความแข็งของข้าวสุกแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก คุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกสูงเมื่อสุกแล้ว จะนุ่มกว่าข้าวที่มีค่าความคงตัวของแป้งสุกต่ำกว่า (งามชื่น คงเสรี, 2542) ทั้งนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์นอกจากจะทำให้ปริมาณอมิโลสของข้าวสารลดลงแล้ว ยังทำให้ความคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้นดังนั้น ข้าวสารเมื่อหุงสุกแล้วจะมีความเหนียวนุ่มเพิ่มมากขึ้น

โดยสรุปแล้ว การเติมสิ่งทดลองได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของแป้งสุกอย่างมีนัยสำคัญ โดยยังอยู่ในมาตรฐานข้าวหอม และจัดอยู่ในประเภทแป้งสุกอ่อน

- **ธาตุอาหารเสริมประโยชน์**

แม้ว่าซิลิกอนจะไม่ใช่ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช แต่ซิลิกอนเป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์สำหรับข้าว ซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นมาจะเคลื่อนย้ายไปสะสมอยู่ที่ผิวใบและลำต้น ทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ของใบ ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และระบบการดูดซึมธาตุอาหารดีขึ้น เพิ่มความต้านทานต่อโรค แมลง และลดการล้มของต้นข้าว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531 ; De Datta, 1981; Takahashi, 1968; Yoshida, 1981) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในนาข้าว จัดเป็นการหาธาตุซิลิกอนมาเพิ่มให้กับต้นข้าว ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณซิลิกอนในต้นข้าว โดยที่การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการวัดปริมาณซิลิกอน ด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence ในรูปซิลิกา (% SiO_2) ในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ เมื่อพิจารณาปริมาณซิลิกอน (ตารางที่ 4.15) และค่าสัมพัทธ์ของซิลิกอน (รูปที่ 5.11) ในฟางข้าว ข้าวสาร และ แกลบ พบว่า

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ไม่มีผลทำให้ปริมาณซิลิกอนในฟางข้าว และข้าวสารที่ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.79^{NS} และ 0.88^{NS} ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น ก็สอดคล้องกับปริมาณซิลิกอนในดินที่ระยะก่อนเกี่ยวที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (รูปที่ 5.2) เมื่อเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวที่เพิ่มขึ้นนี้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ รัตนชาติ ช่วยบุดดา (2544) ที่พบว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1 ดูดดึงซิลิกอนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ซิลิกอนร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินชุดดินรังสิตกรดจัด ส่วนการตรวจพบซิลิกอนในข้าวสาร (0.126 – 0.149 %) อาจเป็นผลมาจากการปนเปื้อนในขั้นตอนการกะเทาะเปลือกข้าว และการขัดสีเมล็ดข้าว เพราะว่าปกติเนื้อเมล็ดข้าวสาร จะมีแป้ง (84-93 %) โปรตีน (5-14 %) ไขมัน และไวตามิน ดังนั้นปริมาณซิลิกอนในรูปซิลิกาที่ตรวจพบจึงอาจมาจากการปนเปื้อน

สำหรับปริมาณซิลิกอนในแกลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง จากที่มีอยู่ในตำรับทดลองดินเดิม 25.35 % SiO_2 เพิ่มเป็น 27.35 27.70 และ 27.66 % SiO_2 ตามลำดับ ปริมาณซิลิกอนในแกลบเพิ่มขึ้นอย่างสอดคล้องกับปริมาณซิลิกอนในดิน เช่นเดียวกับปริมาณซิลิกอนในฟางข้าวและข้าวสาร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าสัมพัทธ์ของซิลิกอน (รูปที่ 5.11) พบว่า มีการสะสมซิลิกอนในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

สรุปได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ทั้ง 3 ระยะ มีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณซิลิกอนในแกลบเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณซิลิกอนในฟางข้าว และข้าวสาร ขณะที่ ช่วงเวลาในการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ต่างกัน ไม่ทำให้เกิดความต่างของปริมาณซิลิกอน ในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ

- **ธาตุพิษ**

เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินนาเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารและจุลธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 โลหะหนักที่เป็นพิษในเถ้าลอยลิกไนต์ ก็มีโอกาสที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ต้นข้าว รวมทั้งเกิดอันตรายต่อมนุษย์ และสัตว์ที่บริโภคข้าว จึงจำเป็นต้องศึกษาธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม) ในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ เพื่อประเมินความเสี่ยงจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร

1) ปริมาณธาตุพิษในฟางข้าว

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุพิษในฟางข้าว พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลในฟางข้าว (Ni = 5.15 5.35 และ5.09 mg/kg ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (3.79 mg/kg) หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (3.98 mg/kg) (ตารางที่ 4.16) อย่างไรก็ตามปริมาณนิกเกิลที่ตรวจพบยังต่ำกว่าระดับความเป็นพิษในต้นข้าวที่มีค่าเท่ากับ 20-50 mg/kg (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เช่นเดียวกับปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าว ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณเท่ากับ 84.79 86.45 79.57 50.13 และ 58.46 mg/kg ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าว บ่งบอกให้ทราบว่ายังไม่จำเป็นต้องกังวลถึงความเป็นพิษต่อต้นข้าวเพราะต้นข้าวจะปรากฏความเป็นพิษก็ต่อเมื่อตรวจพบว่ามีอลูมิเนียมในส่วนของลำต้นสูงกว่า 300 mg/kg (Tanaka and Yoshida, 1970) สำหรับปริมาณแคดเมียมในฟางข้าวมีน้อยมาก กล่าวคือ มีน้อยกว่า 10 µg/kg ซึ่งต่ำกว่าระดับความเป็นพิษของแคดเมียมในต้นข้าวที่มีค่าเท่ากับ 5-10 mg/kg (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

กล่าวโดยสรุปสำหรับปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล และอลูมิเนียม) ในฟางข้าวที่ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ได้ว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุพิษในฟางข้าว ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล และอลูมิเนียม) ของฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2) ปริมาณธาตุพิษในข้าวสาร

ปริมาณอลูมิเนียมในข้าวสาร (ตารางที่ 4.17) จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน แต่เมื่อเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปูนมาร์ล พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 7.00 และ 6.65 เพิ่มเป็น 7.73 7.67

และ 7.68 mg/kg ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ระยะ ร่วมกับปุ๋ยเคมีไม่ส่งผลให้เปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลในข้าวสาร (F-value = 0.95^{NS}) สำหรับแคดเมียมมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ กล่าวคือแคดเมียมในข้าวสารมีปริมาณน้อยกว่า 10 µg/kg โดยที่ปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้บริโภคได้มีค่าเท่ากับ 0.8 mg/kg (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2532) นั่นหมายถึงความเสี่ยงจากธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม) ในการบริโภคข้าวสาร เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์น่าจะมีน้อยมากจนไม่ต้องกังวล

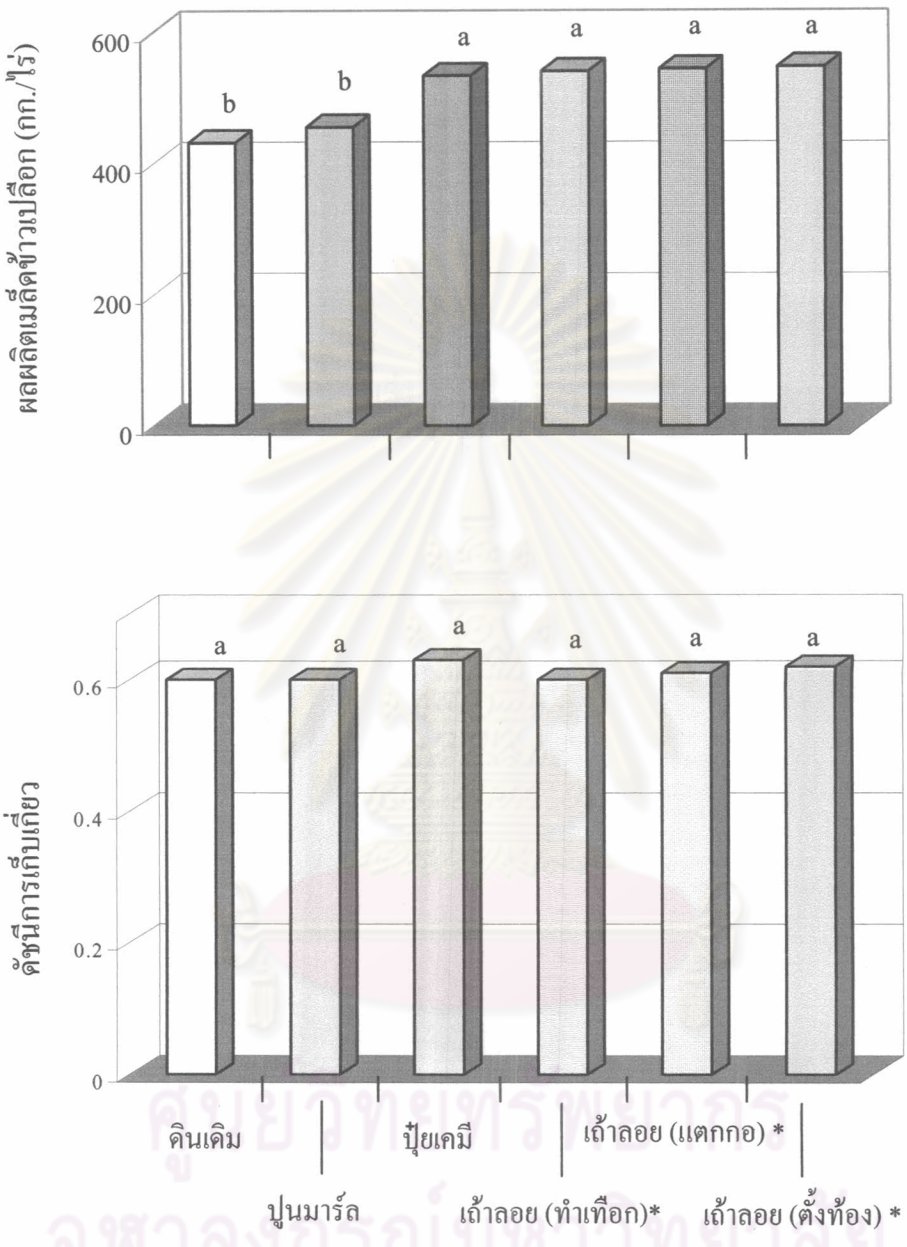
แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ทั้ง 3 ระยะ ทำให้ปริมาณอลูมิเนียมในข้าวสารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ทำให้ปริมาณนิกเกิลในข้าวสารเปลี่ยนแปลง

3) ปริมาณธาตุพิษในแกลบ

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมในแกลบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 4.18) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีผลทำให้ ปริมาณนิกเกิลในแกลบเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญ (F-value = 1.51^{NS}) สำหรับปริมาณแคดเมียมในแกลบมีปริมาณน้อยมาก กล่าวคือมีปริมาณน้อยกว่า 10 µg/kg ธาตุพิษ (แคดเมียม และนิกเกิล) ไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาในการนำแกลบไปใช้ประโยชน์เพราะแคดเมียมมีน้อยมาก สำหรับนิกเกิลมีปริมาณไม่แตกต่างจากดินเดิม ดังนั้นจึงน่าจะมีความปลอดภัยที่จะนำแกลบไปใช้เป็นวัสดุคลุมดิน เชื้อเพลิงชีวมวล ทำอิฐ และใช้ปรับปรุงดิน

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปูนมาร์ล และปุ๋ยเคมี ไม่มีผลต่อการสะสมอลูมิเนียมในแกลบ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ล้วนทำให้เพิ่มการสะสมอลูมิเนียมอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเติมปูนมาร์ล ปุ๋ยเคมีและเถ้าลอยลิกไนต์ ลงในดินนา ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลในแกลบ

เมื่อพิจารณา ค่าสัมพัทธ์ (รูปที่ 5.12) พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะทำเทือก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวตั้งท้อง ล้วนส่งผลให้มีการสะสมนิกเกิลและอลูมิเนียมในฟางข้าวมากที่สุด อาจเป็นเพราะว่าพืชมีกลไกป้องกันอันตรายต่อส่วนของพืชที่ใช้ในการสืบพันธุ์ดังนั้นจึงมีการสะสม อลูมิเนียม และนิกเกิลในฟางข้าวมากกว่าในข้าวสารและแกลบ โดยจากการศึกษาของ Jaffer et al (1976) พบว่าพืชสามารถลำเลียงธาตุพิษไปสะสมในส่วนที่ไม่ไวต่อธาตุพิษ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับส่วนที่สำคัญของพืช

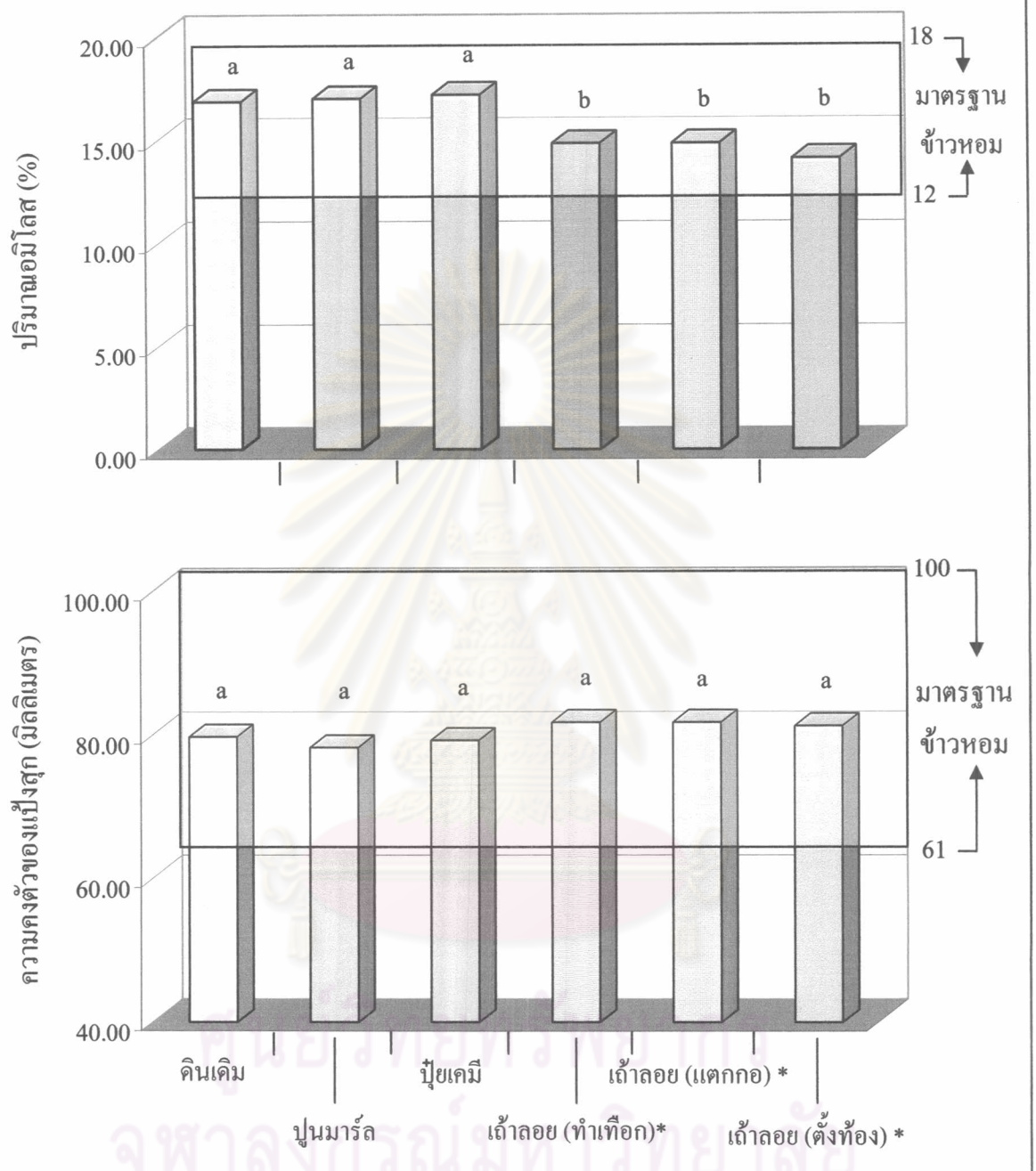


หมายเหตุ : 1) * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

2) ตัวอักษรที่เหมือนกันของกราฟแท่ง แต่ละกราฟ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

รูปที่ 5.9 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก (กก./ไร่) และดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

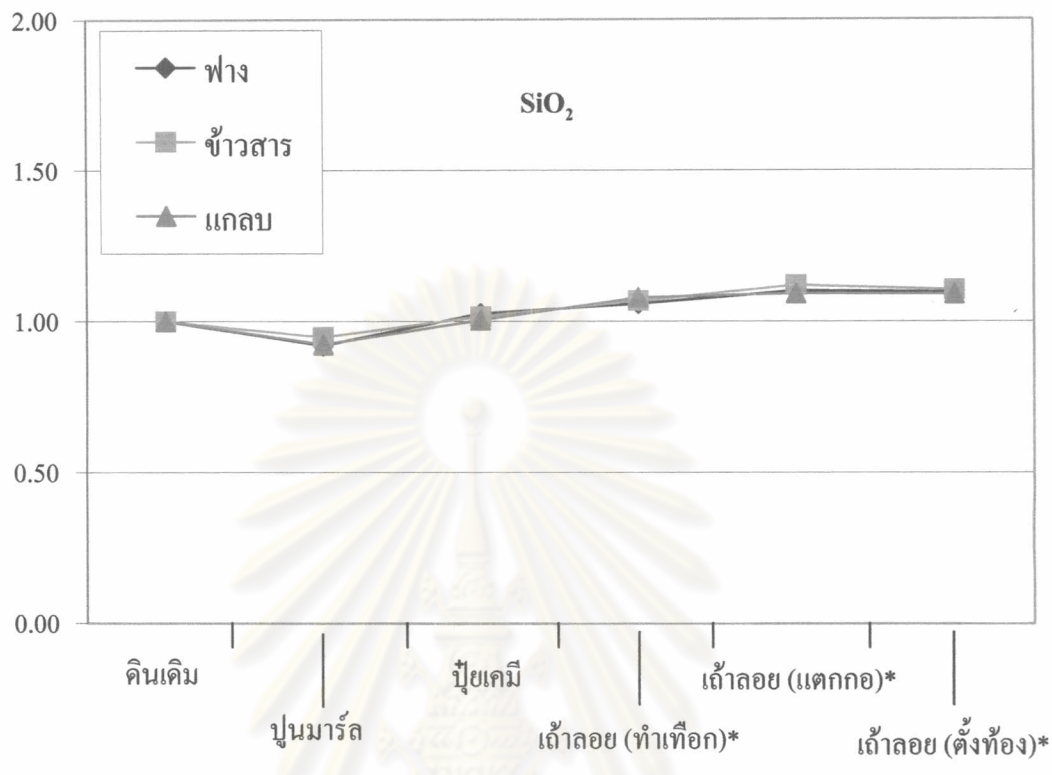
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : 1) * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

2) ตัวอักษรที่เหมือนกันของกราฟแท่ง แต่ละกราฟ แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธี DMRT

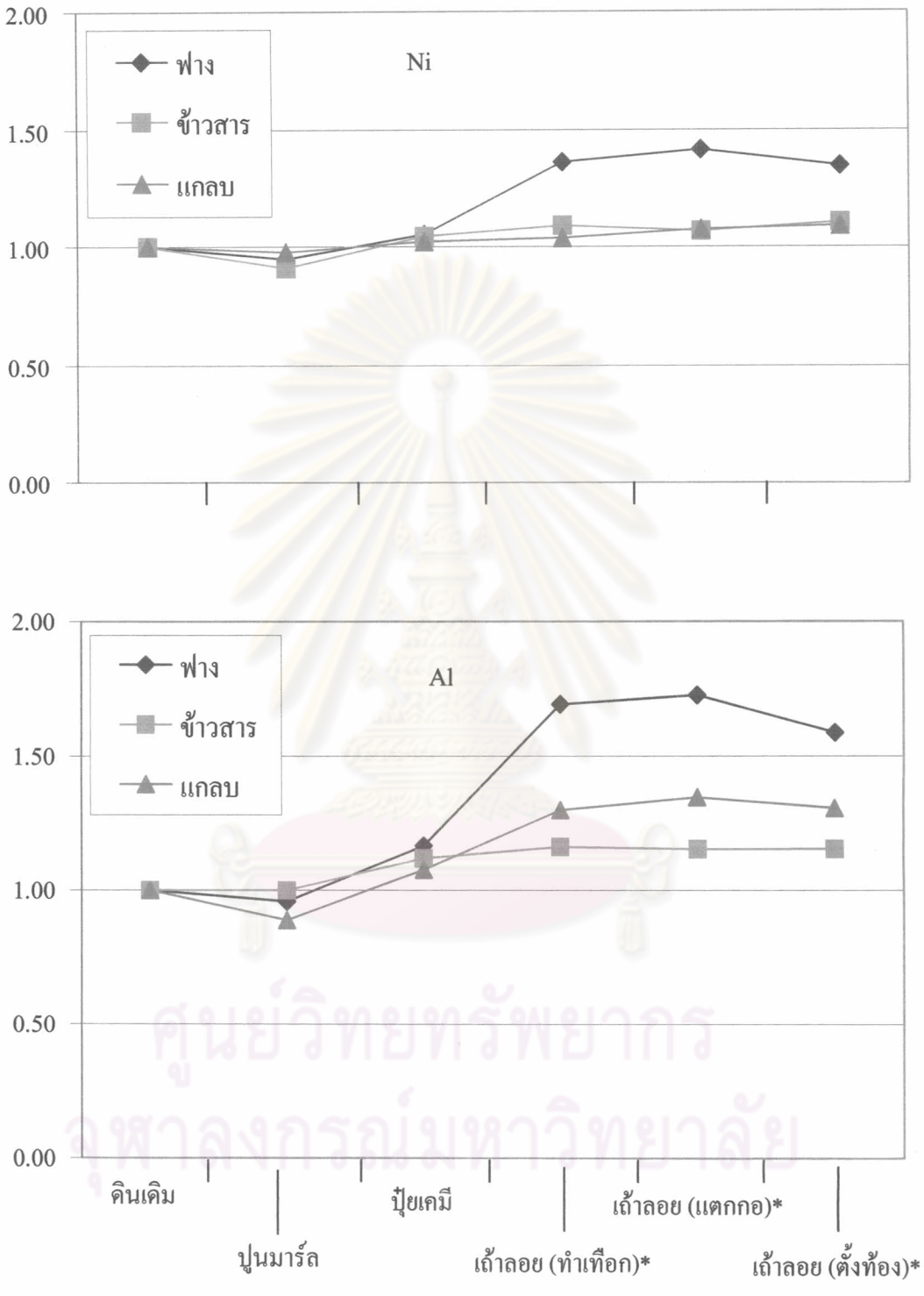
รูปที่ 5.10 ปริมาณอมิโลส (%) และความคงตัวของแป้งสุก (มิลลิเมตร) ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.11 ค่าสัมพัทธ์ของซิลิกอนในรูปซิลิกา (SiO_2) ใน ฟางข้าว ข้าวสาร และ แกลบ (ดินเดิม = 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : * หมายถึงมีการเติมปุ๋ยเคมีเท่ากับตำรับทดลองปุ๋ยเคมีร่วมด้วย

รูปที่ 5.12 ค่าสัมพัทธ์ของนิกเกิล และอลูมิเนียมใน ฟางข้าว ข้าวสาร และ แกลบ (ดินเดิม = 1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย