บทที่ 5
วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก

การกำจัดเถ้าลอยลิกไนต์โดยทั่วไป จะทำการกองทิ้งกลางแจ้งตามพื้นที่รกร้างว่างเปล่า ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ไม่ว่าจะเป็นปัญหามลภาวะอากาศ เนื่องจากขนาดที่เล็กของเถ้าลอยลิกไนต์ และมีน้ำหนักเบา ทำให้สามารถฟุ้งกระจายได้ดีตามแรงลม ปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นกับดิน และน้ำใต้ดิน เนื่องจากการชะล้างโดยน้ำฝน หรือแหล่งน้ำผิวดิน ก่อให้เกิดการสะสม หากมีปริมาณมากพอจะก่อให้เกิดพิษแก่พื้นที่ดังกล่าวในที่สุด ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร นับเป็นการจัดการเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมะสมวิธีการหนึ่ง ที่สามาถลดปริมาณปัญหามลภาวะที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามยังมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของเถ้าลอยลิกไนต์ เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างไปจากวัสดุปรุงดิน ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้นเกณฑ์ในการพิจารณาความเหมาะสมในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของเถ้าลอยลิกไนต์ สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ลงสู่พื้นที่เพาะปลูกของพื้นที่ศึกษาวิจัย ประกอบด้วย ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณธาตุอาหารรอง และปริมาณจุลธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน

5.1.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

พิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก

1.) ไนโตรเจน

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินน่าจะมีศักยภาพในการให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 ^{o}C (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนซึ่งพบมากในอินทรียวัตถุต่าง ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นก๊าซ จึงตรวจพบปริมาณไนโตรเจนในเถ้าลอยลิกไนต์ได้น้อย ดังเช่น การศึกษาของ Adriano et al (1980) ที่ระบุว่า เถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณไนโตรเจนน้อยมาก สำหรับปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมดในดินพื้นที่ศึกษาวิจัย (0.099 %) นั้น มีค่ามากกว่าปริมาณที่พบในเถ้าลอยลิกไนต์ (0.013 %) เนื่องจากโดยทั่วไปไนโตรเจนในดินนาจะอยู่ในรูปของอินทรียไนโตรเจนเกือบทั้งหมด มีส่วนน้อยมากประมาณว่าไม่เกินร้อยละ 5 อยู่ในรูปของอนินทรียไนโตรเจน ได้แก่ ไนเตรท และแอมโมเนียม (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; Patrick and Wyatt, 1964) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ทั้งนี้การย่อยสลายไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ถูกควบคุมโดยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด การระบายน้ำ ความชื้นในดิน สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ การเขตกรรม การเปียกและแห้งสลับกันของดิน (ศุภมาศ พานิชศักดิ์พัฒนา, 2529)

2.) ฟอสฟอรัส

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ตารางที่ 4.1) เมื่อจำแนกตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) นั้น พบว่า ดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่ำ เนื่องมาจากการศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) ต่อข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในเถ้าลอยลิกไนต์ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Scotti et al, 1999) และปริมาณฟอสฟอรัสของดินส่วนใหญ่ได้มาจากอินทรียวัตถุในดินโดยอาศัยกระบวนการแปรสภาพอินทรียวัตถุ (Mineralization) และการสลายตัวของสารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ในดิน รวมถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่างซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งในการควบคุมปฏิกิริยาเคมีในดิน ทั้งนี้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีลักษณะเป็นดินเปรี้ยวโดยสามารถจำแนกระดับความเป็นกรดเป็นด่างได้ในระดับที่เป็นกรดจัดมาก (pH 4.46) ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก และอลูมินัมฟอสเฟตซึ่งยากแก่การนำมาใช้ประโยชน์ของพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

แต่การขังน้ำจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มิได้เกิดจากปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสโดยตรง แต่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534) กล่าวคือ การขังน้ำในดินนาเปรี้ยวส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้น การละลายของเหล็ก และอลูมิเนียมมากขึ้น รวมถึงการตรึงฟอสเฟตลดลง โดยช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมที่สุด คือ 6-7 หากค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 7 จะทำให้ฟอสเฟตถูกตรึงโดยแคลเซียม แมกนีเซียม และคาร์บอเนต ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสในดินไม่สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ความเพียง

พอแก่ความต้องการฟอสฟอรัสของพืชได้ เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่ควบคุมการละลายได้และการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

3.) โพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available Potassium) ในดิน ประกอบด้วย ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Potassium) และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (Soluble Potassium) ซึ่งสามารถพบได้ในปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (Extractable Potassium) จาก 1 N NH_4OAc แต่โดยทั่วไปแล้วในดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายอยู่น้อยมาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้จาก 1 N NH_4OAc คือ ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2520) เมื่อจำแนกปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ตารางที่ 4.1) ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีระดับของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์นั้นมีระดับของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก แต่เมื่อจำแนกตามเกณฑ์ของคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2535) ดังตารางภาคผนวกที่ ผ.5 พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยยังคงมีระดับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ (อยู่ในช่วง 50-75 ppm) ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์มีระดับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (มากกว่า 125 ppm) เท่านั้น

อย่างไรก็ตามปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากเถ้าลอยลิกไนต์ รวมถึงรูปที่เป็นประโยชน์นั้น ขึ้นกับ ประเภทของแหล่งกำเนิด (Scotti et al, 1999) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์แก่พืช (Available Potassium) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปไปมาได้ ขึ้นอยู่กับ อำนาจในการผลักดันให้เกิดปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (Soluble Potassium) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Extractable Potassium) ซึ่งควบคุมโดยปริมาณแร่ดินเหนียว หรือประเภทของเนื้อดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530)

จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินพื้นที่ศึกษาวิจัยน่าจะมีศักยภาพต่ำในการเป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์นั้นน่าจะมีศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้สูง

5.1.2 ปริมาณธาตุอาหารรอง

การพิจารณา และเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารรอง ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมถึงปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 4.1) เมื่อจำแนกปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534: ตารางภาคผนวกที่ ผ.6) พบว่า ดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับสูง และสูงมาก ตามลำดับ สำหรับการจำแนกปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534: ตารางภาคผนวกที่ ผ.6) พบว่า ดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัยมีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในระดับต่ำ ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีระดับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำมาก

ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ถือเป็นดัชนีสำคัญของความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากดินที่มีปริมาณแคลเซียมมากจะมีสภาพทางกายภาพและทางเคมีของดินดี และช่วยให้เกิดผลดีต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน นอกจากนี้ปริมาณแคลเซียมยังช่วยให้ดินมีโครงสร้างแบบเม็ด (Granular) และมีช่องว่างมาก ทำให้การระบายน้ำ และการถ่ายเทอากาศภายในดินเป็นไปอย่างดี ช่วยลดปัญหาทางกายภาพเมื่อมีดินเหนียวมาก อย่างไรก็ตามในสภาพน้ำขังจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนของแคลเซียม และแมกนีเซียม แต่ไอออนต่าง ๆ เหล่านี้สามารถเพิ่มปริมาณขึ้นได้โดยการไล่ที่ของ NH^{4+} Fe^{2+} และ Mn^{2+} ให้ออกมาอยู่ในสารละลายดิน (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534) ก่อให้เกิดประโยชน์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้

สำหรับปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ในดินนั้น มีค่ามากกว่าปริมาณที่พบในเถ้าลอยลิกไนต์ และโดยทั่วไประดับวิกฤตของปริมาณกำมะถันที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนในรูปที่เป็นประโยชน์ในดิน คือ 6-7 ppm (ปัทมา วิทยากร, 2533) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณซัลเฟอร์ที่วิเคราะห์พบมาก อย่างไรก็ตามปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้น่าจะเป็นประโยชน์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มากกว่าการก่อให้เกิดพิษ เนื่องจากการขังน้ำจะเปลี่ยนแปลงปริมาณซัลเฟอร์ในสารละลายดินให้ลดลงอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอเมื่อเริ่มขังน้ำ (Ponnamperuma, 1981)

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะน่าจะมีศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารรอง คือ ปริมาณแคลเซียม และซัลเฟอร์ในการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้สูงถึงสูงมาก แต่สำหรับปริมาณธาตุแมกนีเซียมนั้นน่าจะมีศักยภาพที่เป็นประโยชน์ในการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำถึงต่ำมาก

5.1.3 ปริมาณจุลธาตุอาหาร

การพิจารณา และเปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุอาหาร (ตารางที่ 4.2) ได้แก่ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมด รวมถึงปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก เมื่อพิจารณาเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน แต่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ ส่วนปริมาณแมงกานีสที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ และระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน โดยเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณแมงกานีสที่พืชสามารถดูดดึงได้ในระดับที่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ แต่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน

นอกจากนี้ปริมาณทองแดงที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย มีอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนเมื่อสกัดด้วย CH_3COONH_4 pH 4.8 และ 0.5 EDTA รวมถึง DTPA แต่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ ส่วนปริมาณทองแดงที่พืชสามารถดูดดึงได้จากเถ้าลอยลิกไนต์นั้น มีค่าต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนทั้งในกรณีที่สกัดด้วย CH_3COONH_4 pH 4.8 และ 0.5 EDTA รวมถึง DTPA ทั้งยังต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ สำหรับปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนจากการสกัดด้วย 0.1 N HCl แต่อยู่ในช่วงระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนเมื่อสกัดด้วย DTPA + $CaCl_2$ pH 7.3 ส่วนปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะนั้นมีค่าต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ทั้งจากการสกัดด้วย 0.1 N HCl และ DTPA + $CaCl_2$ pH 7.3 ซึ่งปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่พืชสามารถดูดดึงได้ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ

ส่วนการพิจารณาเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินซึ่งกำหนดโดยประเทศอังกฤษ ทั้งนี้ปริมาณทองแดง และสังกะสีทั้งหมดของดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม

จึงอาจกล่าวได้ว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ น่าจะมีศักยภาพในการให้จุลธาตุอาหาร คือ เหล็ก แมงกานีส และทองแดงในการปลูกข้าวได้ ทั้งนี้

ปริมาณเหล็กทั้งหมดที่พบในดิน และเถ้าลอยลิกไนต์มีอยู่ค่อนข้างสูง จึงมีแนวโน้มที่อาจจะก่อให้เกิดพิษในการปลูกข้าวได้ แม้ว่าปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้พบในปริมาณที่ต่ำกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษก็ตาม ทั้งนี้เพราะในดินนาที่มีสภาพน้ำขังจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของเหล็กมาอยู่ในสารละลายดินเพิ่มสูงขึ้น (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528) เช่นเดียวกับปริมาณแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่มีอยู่สูงจากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่ดิน และอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เนื่องจากในดินที่มีสภาพเป็นกรด ปริมาณแมงกานีสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535; ถวิล ครุฑกุล, 2531; Genevini et al, 1984) สำหรับปริมาณทองแดงทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ พบในปริมาณที่ค่อนข้างน้อยโดยเฉพาะในรูปที่เป็นประโยชน์ แต่ไม่น่าจะก่อให้เกิดการขาดแคลน เนื่องจากโดยทั่วไปทองแดงปรากฏในรูปอิสระในสารละลายดินน้อย แต่มีทองแดงเป็นจำนวนมาก (ร้อยละ 98) ที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรียวัตถุ (ปัทมา วิทยากร, 2533) ส่วนปริมาณสังกะสีทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์พบค่อนข้างน้อยอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนได้ เนื่องจากดินที่มีการขังน้ำทำให้ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีลดลง (Yoshida et al, 1973)

ปริมาณธาตุอาหารที่ตรวจวิเคราะห์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ชี้ชัดว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหาร มากกว่าธาตุอาหารหลักในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 โดยในส่วนที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ปริมาณไนโตรเจน นั้น สามารถเติมทดแทนได้ (Bredakis and Page, 1965; Hodgson and Holliday, 1966) ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ดำเนินการเติมปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 2 กก./ไร่ และเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 2.5 กก./ไร่ อย่างไรก็ตาม ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้อยู่มาก รวมถึงการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ลงดินเป็นการเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมให้กับพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่สูงเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากปริมาณอลูมิเนียมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของราก (Pierre, 1931) ทั้งยังมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมของอลูมิเนียมในสารละลายดิน เช่น ความเข้มข้นในสารละลายดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และอินทรียวัตถุ ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความสามารถในการต้านทางการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Buffering Capacity) ของดิน (Evan and Kamprath, 1970)

นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ต่ำกว่า 6.5 ยังส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการละลายของโลหะหนัก (จุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด) ให้อยู่ในรูปทางเคมีที่พืชดูดไปใช้ได้ (Siriratpiriya, et al, 1985) และเมื่อจำแนกค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และเถ้าลอย

ลิกไนต์ (ตารางที่ 4.1) ตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดจัดมาก แม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในระดับที่เป็นด่างจัดมาก อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) นั้น พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดจัดมากเช่นเดียวกัน แต่เถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในระดับที่เป็นด่างจัดเท่านั้น ซึ่งการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ของการศึกษาวิจัยนี้ คือ 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ไม่น่าจะมีความสามารถในการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้มีค่าสูงกว่า 6.5 ได้ เนื่องจากการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้ขึ้นไปอยู่ที่ 7.00 ของเถ้าลอยลิกไนต์ สำหรับดินเหนียว (pH 5.87) จะต้องอาศัยเถ้าลอยลิกไนต์ถึง 14.2 ตัน/ไร่ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544)

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณธาตุพิษหลายชนิด ซึ่งในที่นี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม ดังนั้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินจึงมีโอกาสเพิ่มความเป็นพิษของธาตุพิษให้แก่พื้นที่เพาะปลูก และเป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้ หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) ซึ่งกำหนดโดยประเทศเนเธอร์แลนด์ แม้ว่าเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของประเทศอื่น ๆ แล้วปริมาณนิกเกิลทั้งหมดมีอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าก็ตาม นอกจากนี้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดที่พบในดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีในระดับที่สูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) อย่างไรก็ตามปริมาณนิกเกิล และแคดเมียมทั้งหมดของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดจากเถ้าลอยลิกไนต์ยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม นอกจากนี้ปริมาณนิกเกิล และแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ รวมถึงปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากเถ้าลอยลิกไนต์ ยังคงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับวิกฤตของปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ อย่างไรก็ตามปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินอยู่ในช่วงของระดับที่ก่อให้เกิดพิษ ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรนั้น ปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ปริมาณธาตุพิษที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์

5.2 อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์

ด้วยข้อจำกัดของชนิด และปริมาณธาตุพิษที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ ร่วมกับปริมาณจุลธาตุอาหารที่พืชต้องการอยู่ในปริมาณจำกัด การได้รับจุลธาตุอาหารมากหรือน้อยเกินไปมักก่อให้เกิดปัญหากับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการกำหนดอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพื่อควบคุมปริมาณการเติมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการจัดการเถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตรที่เหมาะสม การที่จะกล่าวว่าเถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารปรุงดิน ซึ่งสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารได้ด้วย จำเป็นต้องพิจารณาผลผลิตพืชที่ได้รับเมื่อปลูกในพื้นที่ที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ เนื่องจากผลผลิตเป็นดัชนีบ่งชี้ให้ทราบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ที่ได้เติมลงในพื้นที่เพาะปลูกมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชเพียงใด กล่าวได้ว่าการสรุปอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงผลผลิต ร่วมกับชนิด และปริมาณของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่อาจส่งผลกระทบทางลบต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และแม้จะไม่ส่งผลกระทบทางลบต่อผลผลิตก็อาจจะเพิ่มปริมาณธาตุพิษจนเกินค่ามาตรฐานที่พื้นที่เพาะปลูกจะรับได้ หรือก่อให้เกิดการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษจนก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาจัดการ หรือกำจัด ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อดินในพื้นที่เพาะปลูก และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นั้น ต้องไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพื้นที่เพาะปลูก และการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จากจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษ

ดังนั้นเกณฑ์ในการพิจารณาอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จึงประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ คือ ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่คงเหลือในดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่มีในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ซึ่งข้าวดูดดึง และสะสมไว้ตลอดฤดูปลูก รวมถึงผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.1 ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่คงเหลือในดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่คงเหลือในดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์) ปริมาณจุลธาตุอาหาร (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม) โดยได้ดำเนินการพิจารณาเปรียบเทียบเป็น 3 กรณี ด้วยกัน คือ

1.) การเปรียบเทียบดิน ซึ่งได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราเติม 3 อัตรา (0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่) กับดินเดิม และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

2.) การพิจารณาแนวโน้มของปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษของดิน ซึ่งได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ใน 3 อัตราเติม

3.) การเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษของดินเดิม และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูกกับดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในทุกตำรับทดลอง

โดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

การพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ภาพที่ 5.1) โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

1.) ไนโตรเจน

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์มีแนวโน้มคงเหลือเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5.1) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าดินเดิมอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.3) สำหรับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติมต่าง ๆ มีประมาณไนโตรเจนทั้งหมดคงเหลือในดินต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่คงเหลือ หรือตกค้างในดินเนื่องมาจากความสามารถในการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 แตกต่างกัน เพราะข้าวสามารถใช้ประโยชน์จากไนโตรเจนได้ เมื่อยังคงดูดดึงธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมได้อย่างเพียงพอ (ปัทมา วิทยากร, 2533)

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากทุกตำรับทดลองคงเหลือในดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวสูงกว่าดินในพื้นที่เพาะปลูก และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก (ภาพที่ 5.1) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการขังน้ำส่งผลให้ดินมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น ปริมาณธาตุอาหาร แสงแดด และน้ำ เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของวัชพืชในนาข้าว เมื่อวัชพืชโดยเฉพาะพวกสาหร่ายหรือตะไคร่น้ำ (ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกได้หมด) มีการเจริญเติบโต และตายลง ก่อให้เกิดการย่อยสลายโดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนด้วยกระบวน

การทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ได้แก่ กระบวนการแอมมินิเซชัน (Aminization) และแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ซึ่งจะได้สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของเกลือแอมโมเนียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และสุรเดช จินตกานนท์, 2532)

2.) ฟอสฟอรัส

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5.1) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือในดินไม่แตกต่างกับดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือต่ำกว่าดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อจำแนกปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) นั้น พบว่า ดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสคงเหลือในระดับที่ค่อนข้างต่ำ สำหรับดินเดิม และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสคงเหลือในดินในระดับต่ำ

โดยทั่วไปการเติมฟอสเฟตลงในดิน พบว่า มีเพียงร้อยละ 10-25 เท่านั้น ที่พืชสามารถดูดดึงได้ ปริมาณส่วนใหญ่ คือ ร้อยละ 75-90 จะถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ยาก หรืออยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Haseman, Brown and White, 1950) ดังนั้นจึงยากที่พืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงในดินจะอยู่ในรูปอนินทรียฟอสฟอรัส ได้แก่ แคลเซียมฟอสเฟต เหล็กฟอสเฟต และอลูมิเนียมฟอสเฟต (Chang and Jackson, 1957) ซึ่งจากลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า มีปริมาณแคลเซียม เหล็ก และอลูมิเนียมในระดับสูง นอกจากนี้ดินในพื้นที่เพาะปลูกเองก็มีปริมาณเหล็ก และอลูมิเนียมในระดับสูงเช่นกัน ดังนั้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะมีการตรึงฟอสฟอรัสสูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามสารประกอบฟอสฟอรัสในรูปแคลเซียมฟอสเฟตจะละลายออกมาเป็นไอออนอิสระได้ง่ายกว่าอลูมิเนียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ตามลำดับ (Sanchez, 1976) จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นการเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ส่งผลให้ฟอสฟอรัสในดินถูกตรึงในรูปแคลเซียมฟอสเฟตสูงกว่าในรูปอื่น ๆ แต่การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในระดับต่ำ (0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่) มีปริมาณ

แคลเซียม (จากเถ้าลอยลิกไนต์) ที่เติมลงสู่พื้นที่เพาะปลูกในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณเหล็ก และอลูมิเนียม จึงอาจก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสในรูปของสารประกอบเหล็ก และอลูมิเนียมมากกว่าการตรึงในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งเป็นการลดความเป็นประโยชน์มากกว่าเป็นการช่วยให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า มีเพียงดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ เท่านั้น ที่มีระดับปริมาณฟอสฟอรัสคงเหลือในดินสูงขึ้นกว่าปริมาณที่พบในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก

3.) โพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5.1) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวต่ำกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.3) เมื่อจำแนกปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) นั้น พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับปานกลาง สำหรับดินเดิมมีระดับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับสูง และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับต่ำ

เมื่อจำแนกปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ตามเกณฑ์ของคณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา (2535) ดังตารางภาคผนวกที่ ผ.5 พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่เป็นดินเดิม และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีอย่างเดียว รวมถึงดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีระดับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับปานกลาง ส่วนดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ยังคงมีระดับปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับต่ำ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมซึ่งถูกดูดยึดที่อนุภาคดินได้ง่ายกว่า H^+ หรือ Al^{3+} (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดินและเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่า

ปริมาณที่มีอยู่ในดินก่อนการเพาะปลูก แต่ต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์สามารถเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้

ดังนั้นจึงน่าจะกล่าวได้ว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมในการให้ปริมาณธาตุอาหารหลักแก่พื้นที่เพาะปลูกต่อไป คือ 1 ตัน/ไร่ เนื่องจากเป็นอัตราเติมที่สามารถให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือในดินสูง แม้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวจะต่ำก็ตาม เนื่องจากในการเพาะปลูกโดยทั่วไปมักไม่พบการขาดแคลนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวในดินเหนียว เพราะมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่ในน้ำ ไม่ว่าจะเป็นน้ำจากในนา น้ำที่ไหลบ่าน้ำในแม่น้ำ และน้ำชลประทาน ซึ่งเพียงพอกับความต้องการของข้าวที่ให้ผลผลิตในระดับปกติ นอกจากนี้ในสภาพดินนาน้ำขังยังเอื้ออำนวยให้ปริมาณโพแทสเซียมพิ่มขึ้นมาได้ โดยเกิดจากการไล่ที่ด้วย NH^{4+} Fe^{2+} และ Mn^{2+} อย่างไรก็ตามแม้ว่าข้าวจะดูดดึงโพแทสเซียมขึ้นมามาก แต่เมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในดิน และปริมาณที่มีอยู่ในน้ำโดยทั่วไปก็เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534)

5.2.1.2 **ปริมาณธาตุอาหารรอง**

การพิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารรอง ได้แก่ ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ (ภาพที่ 5.2) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.) แคลเซียม

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้แนวโน้มปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยลดลงตามอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยการเติมการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของพื้นที่ศึกษาวิจัยในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวสูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อจำแนกปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ตารางที่ 4.4) ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534: ตารางภาคผนวกที่ ผ.6) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีระดับปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับปานกลาง สำหรับดินเดิม และดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีระดับปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับสูง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณ

แคลเซียมก่อให้เกิดการตรึงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อดินในรูปแคลเซียมฟอสเฟต (Chang and Jackson, 1975) ซึ่งพบมากในการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราต่ำ (0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่) เคยผู้ลัพธ์ได้สัมพันธ์กับบรมาณพอสพอรัสที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่เพาะปลูกต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินพื้นที่ศึกษาวิจัยในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยทุกตำรับทดลองมีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือต่ำกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในดินต่ำกว่า

2.) แมกนีเซียม

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีแนวโน้มคงเหลือในดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยลดลงตามอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวสูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อจำแนกปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ตารางที่ 4.4) ตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534: ตารางภาคผนวกที่ ผ.6) พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีระดับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับต่ำมาก สำหรับดินเดิม และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีระดับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในระดับต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในดินต่ำกว่าดินในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก และดินในพื้นที่ดินเดิม รวมถึงดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือในดินสูงกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของ

แมกนีเซียมเป็นลักษณะเดียวกันกับปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

3.) ซัลเฟอร์

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้คงเหลือในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวสูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้กับระดับวิกฤตของปริมาณกำมะถันที่เป็นประโยชน์โดยทั่วไป (ปิทมา วิทยากร, 2533) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้คงเหลือในระดับที่สูงกว่า โดยปกติปริมาณซัลเฟอร์สามารถถูกตรึงโดยเหล็ก และอลูมิเนียมได้ดี แต่ไม่เหนียวแน่นเท่าการตรึงฟอสเฟตจึงยังเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ นอกจากนี้การตรึงซัลเฟอร์ยังขึ้นกับระดับความเป็นกรดเป็นด่างด้วย (Hue et al, 1985) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้คงเหลือในดินต่ำกว่าดินในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้คงเหลือในดินสูงกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ดังนั้นน่าจะเป็นไปได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ปริมาณซัลเฟอร์ในพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น

จึงอาจกล่าวได้ว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมในการให้ปริมาณธาตุอาหารรองแก่พื้นที่เพาะปลูกต่อไป คือ 0.5 ตัน/ไร่ ทั้งนี้เพราะสามารถให้ปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมถึงปริมาณซัลเฟอร์ที่สกัดได้คงเหลือในดินสูงกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

5.2.1.3 ปริมาณจุลธาตุอาหาร

พิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ในปริมาณทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ (ภาพที่ 5.3 และ ภาพที่ 5.4) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.) เหล็ก

ปริมาณเหล็กทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.5) พบว่า ปริมาณเหล็กทั้งหมดจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้จากการวิเคราะห์ในแปลงที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการดูดตรึงปริมาณฟอสเฟต หรือซัลเฟอร์ที่มีอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกรวมถึงการดูดดึง และสะสมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณคงเหลือในดินสูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษเมื่อวิเคราะห์ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 3.7 แต่ปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่คงเหลือนั้นต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษเมื่อวิเคราะห์ที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.0 และในทุกตำรับทดลองมีปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในดินสูงกว่าระดับวิกฤติที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณเหล็กทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณเหล็กทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินและเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณเหล็กทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในดินสูงกว่าที่พบในดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีการขังน้ำซึ่งก่อให้เกิดการละลายของเหล็กเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของปัทมา วิทยากร (2533) ที่ว่าเหล็กถูกเปลี่ยนรูปได้ง่ายมากเมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำ โดยอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น เนื่องจากการแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอน (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534) เมื่อดินขังน้ำ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญที่สุด และการรายงานของ Ponnamperuma et al (1967) ที่ว่าการขังน้ำในดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวนั้น พื้นที่เพาะปลูกจะอยู่ในสภาพรีดักชัน ส่งผลให้เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในรูปเฟอรัสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังขึ้นกับระยะเวลาการขังน้ำ และระดับความชื้นของดินอีกด้วย (Nhung and Ponnamperuma, 1966) เช่นเดียวกับ Tanaka and Navasero (1966b) ซึ่งพบว่า การขังน้ำเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ส่งผลให้ปริมาณเหล็กในสารละลายดินเพิ่มขึ้นจากช่วง 800-1,700 ppm เป็น 5,000 ppm

2.) แมงกานีส

ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.5) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า ปริมาณแมงกานีสทั้งหมด จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์อีก 2 อัตราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณแมงกานีสที่พืชสามารถดูดดึงได้จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหารและธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแมงกานีสทั้งหมดคงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน รวมถึงการพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหารและธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแมงกานีสที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ และระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในดินสูงกว่าดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีการขังน้ำซึ่งก่อให้เกิดการละลายของแมงกานีสเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการรายงานของปัทมา วิทยากร (2533) ที่ว่าแมงกานีสถูกเปลี่ยนรูปได้ง่ายมากเมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำ โดยแมงกานีสส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Patrick and Turner (1968) และ Gotoh and Patrick (1972) ที่ว่าในสภาพน้ำขังแมงกานีสในรูป Mn^{4+} จะเปลี่ยนรูปเป็นเป็น Mn^{2+} ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของ Mn^{2+} ในสารละลายเพิ่มขึ้น ทั้งยังมีผลให้ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ในดินมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมงกานีสในสภาพรีดักชันนี้ เกิดเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก Anaerobic Bacteria และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นก่อนการเปลี่ยนแปลงของเหล็ก เพราะระดับออกซิเดชันของแมงกานีสที่สูงกว่าเหล็ก (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

3.) ทองแดง

ปริมาณทองแดงทั้งหมดของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.5) เมื่อเปรียบเทียบตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณทองแดงที่พืชสามารถดูดดึงได้จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณทองแดงทั้งหมดคงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน

จากการพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณทองแดงที่พืชสามารถดูดดึงได้กับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณทองแดงที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ ซึ่งโดยทั่วไปความเป็นประโยชน์ของทองแดงเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างลดลง (Lucas and Knezek,1972) แต่ทั้งนี้ปริมาณที่คงเหลือในดินยังขึ้นกับความสามารถในการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ และสะสมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ร่วมด้วย อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบปริมาณทองแดงทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณทองแดงทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่าดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณทองแดงทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในดินสูงกว่าดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินส่งผลให้ปริมาณทองแดงในพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มสูงขึ้น

4.) สังกะสี

ปริมาณสังกะสีทั้งหมดของดินในช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.5) เมื่อเปรียบเทียบตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์อีก 2 อัตรา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณสังกะสีทั้งหมดคงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ใน

ดิน สำหรับการพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน เมื่อสกัดด้วย DTPA + $CaCl_2$ pH 7.3 แต่หากเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้กับปริมาณสังกะสีที่สกัดด้วย 0.1 N HCl ปรากฏว่า ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้คงเหลืออยู่ในช่วงของระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน อย่างไรก็ตามปริมาณสังกะสีที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินมีค่าต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ

โดยทั่วไปความเป็นประโยชน์ของสังกะสีเพิ่มขึ้น เมื่อความเป็นกรดเป็นด่างลดลง (Lucas and Knezek,1972) เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดง แต่ทั้งนี้ปริมาณสังกะสีที่คงเหลือในดินยังขึ้นกับความสามารถในการดูดดึงไปใช้ประโยชน์ และสะสมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ร่วมด้วย สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณสังกะสีทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณสังกะสีทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณสังกะสีทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในดินสูงกว่าดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก

จึงอาจกล่าวได้ว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมในการให้ปริมาณจุลธาตุอาหารทั้งหมดแก่พื้นที่เพาะปลูกต่อไป คือ 0.5 ตัน/ไร่ แต่ปริมาณจุลธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ กลับมีแนวโน้มคงเหลือในพื้นที่เพาะปลูกสูงกว่าอัตราเติมอื่น ๆ รวมถึงดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

5.2.1.4 ปริมาณธาตุพิษ

การพิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุพิษ ประกอบด้วย นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมในปริมาณทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ (ภาพที่ 5.5) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.) นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน (ตารางที่ 4.6) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว รวมถึงการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดคงเหลือในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษ

ของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณนิกเกิลทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณนิกเกิลทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ นั้น มีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดคงเหลือสูงกว่าดินในช่วงเวลาก่อนกาะเพาะปลูก อย่างไรก็ตามในทุกตำรับทดลองมีปริมาณนิกเกิลทั้งหมดคงเหลือในดินต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก สำหรับปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณคงเหลือในดินสูงกว่าดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของ ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539) ที่ว่า หากมีการนำสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ปนเปื้อนนิกเกิลใส่ลงในดินจะพบว่าปริมาณนิกเกิลไม่ถูกชะล้างลงสู่น้ำใต้ดิน แต่ปริมาณส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ในดิน

2.) แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน (ตารางที่ 4.6) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) และระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหารและธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดคงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน และระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ และเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวในแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณแคดเมียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินจากพื้นที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดคงเหลือในดินต่ำกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก และปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ที่คงเหลือในดินน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้เช่นเดียวกันกับดินในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ไม่สูงมากพอจนก่อให้เกิดการสะสมตกค้างของปริมาณแคดเมียมในดิน อย่างไรก็ตาม ดาวรุ่ง สังข์ทอง (2539) กล่าวว่า หากมีการนำสารปรับปรุงคุณภาพดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมใส่ลงในดินจะพบว่าไม่ถูกชะล้างลงสู่น้ำใต้ดิน แต่ส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ในดิน เช่นเดียวกับปริมาณนิกเกิล

3.) อลูมิเนียม

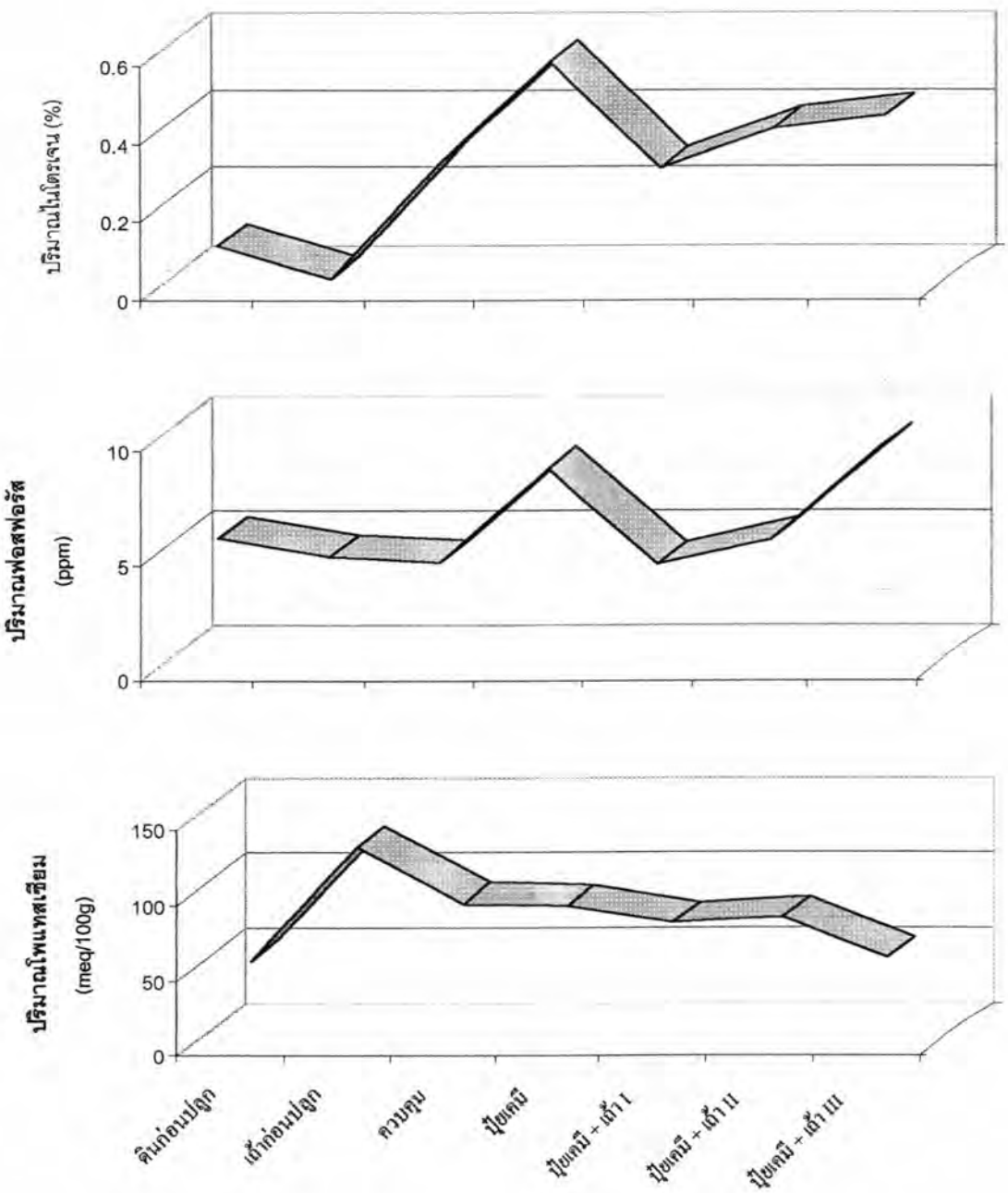
การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือในดินลดลงตามอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.6) โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือในดินสูงกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม (ตารางที่ 2.6) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือในระดับที่สูงกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน (ตารางที่ 2.5) พบว่า ดินในทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในระดับที่ต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษ

สำหรับการเปรียบเทียบปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวแต่ละตำรับทดลองกับปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก พบว่า ดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ นั้น มีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือในดินต่ำกว่าดินในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก แต่ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือในดินสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก สำหรับปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณคงเหลือในดินต่ำกว่าดินในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก และปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้จากตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวเท่านั้นมีปริมาณคงเหลือในดินสูงกว่าปริมาณที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาก่อนการเพาะปลูก ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ สรสิทธิ์ วัชโรทยาน (2520) ที่ว่าการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงขึ้นตั้งแต่ 4.4 ขึ้นไปแล้วอันตรายจากความเป็นพิษของอลูมิเนียมจะไม่เกิดขึ้น จึงอาจกล่าวได้ว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมในการให้ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในปริมาณที่ต่ำแก่พื้นที่เพาะปลูกต่อไป คือ การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่

ดังนั้นน่าจะสรุปได้ว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสม สำหรับการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทางการเกษตรในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เมื่อยึดปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารแก่พื้นที่เพาะปลูกต่อไป คือ 0.5 ตัน/ไร่ เนื่องจากเป็นอัตราเติมที่สามารถให้ปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ประเภท คงเหลือในพื้นที่เพาะปลูก และมีแนวโน้มที่เป็นประโยชน์แก่พื้นที่เพาะปลูกได้ต่อไป อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุพิษที่

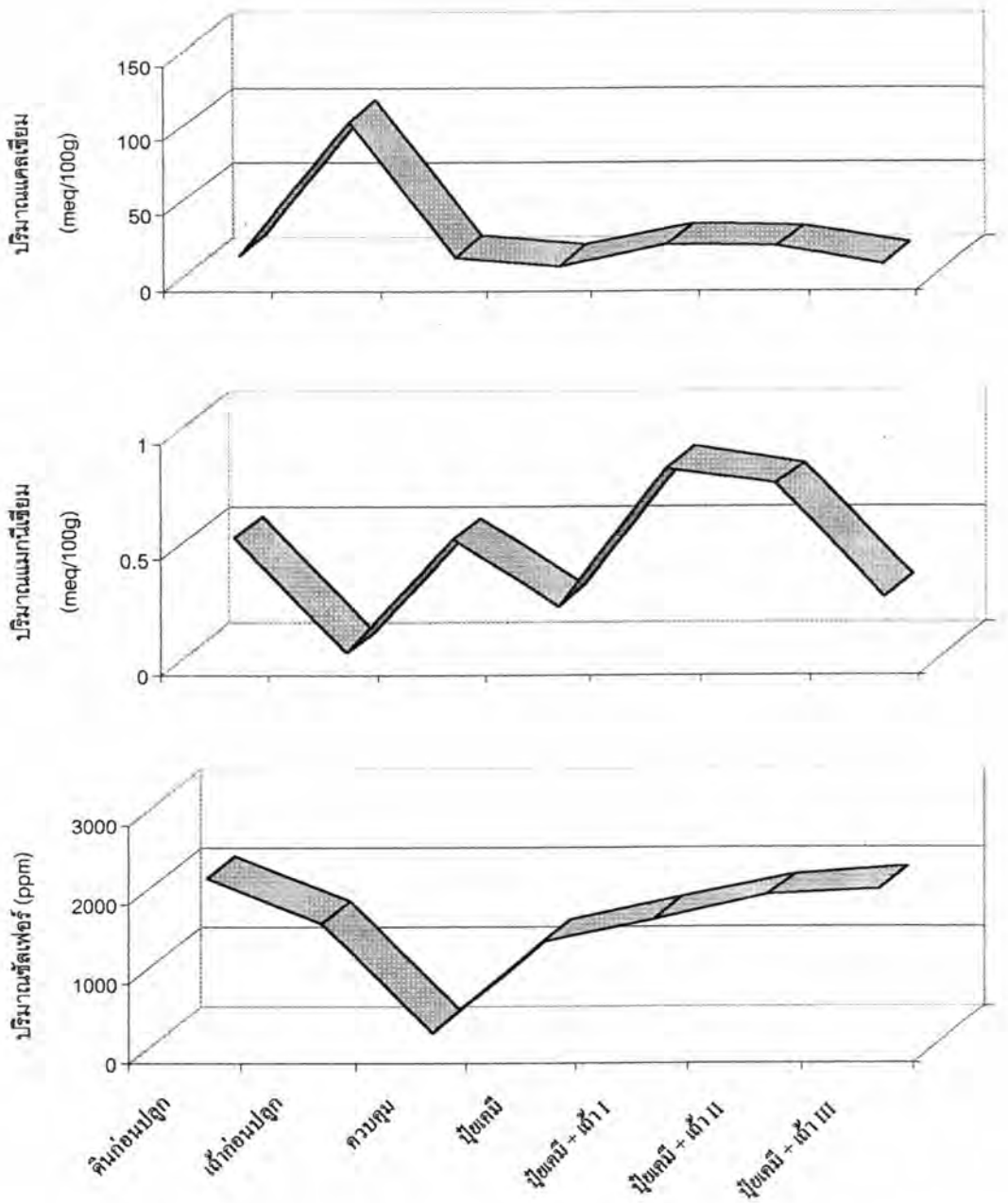
พืชสามารถดูดดึงได้ที่คงเหลือในพื้นที่เพาะปลูกนั้น พบว่า ที่อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ปริมาณธาตุพิษในระดับที่ต่ำกว่าซึ่งไม่ก่อให้เกิดพิษแก่พื้นที่เพาะปลูก และพืชต่อไปได้ นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ที่อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ก็ไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากความเป็นพิษของอลูมิเนียมเช่นเดียวกับตำรับทดลองอื่น

การจัดระดับความเป็นกรดเป็นด่างตามการจำแนกด้วยเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในพื้นที่ดินเดิม และดินที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว รวมถึงดินที่เติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับที่เป็นกรดจัด กรดจัดมาก และกรดปานกลาง ตามลำดับ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดแก่ อย่างไรก็ตามเมื่อจำแนกค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) พบว่าดินเดิมส่งผลให้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดเล็กน้อย การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดจัด ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดปานกลาง และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวนี้ อาจกล่าวได้ว่าเป็นอิทธิพลเนื่องมาจากการขังน้ำในพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติมต่าง ๆ ดังเช่นการศึกษาของอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2544) ที่ว่า การยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินเหนียวให้เท่ากับ 7 จะต้องอาศัยเถ้าลอยลิกไนต์ถึง 14.2 ตัน/ไร่ อย่างไรก็ตาม การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้นจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงสู่พื้นที่เพาะปลูกซึ่งเพิ่มสูงขึ้นนั้น ก่อให้เกิดความเป็นกรดเพิ่มขึ้นในพื้นที่เพาะปลูก



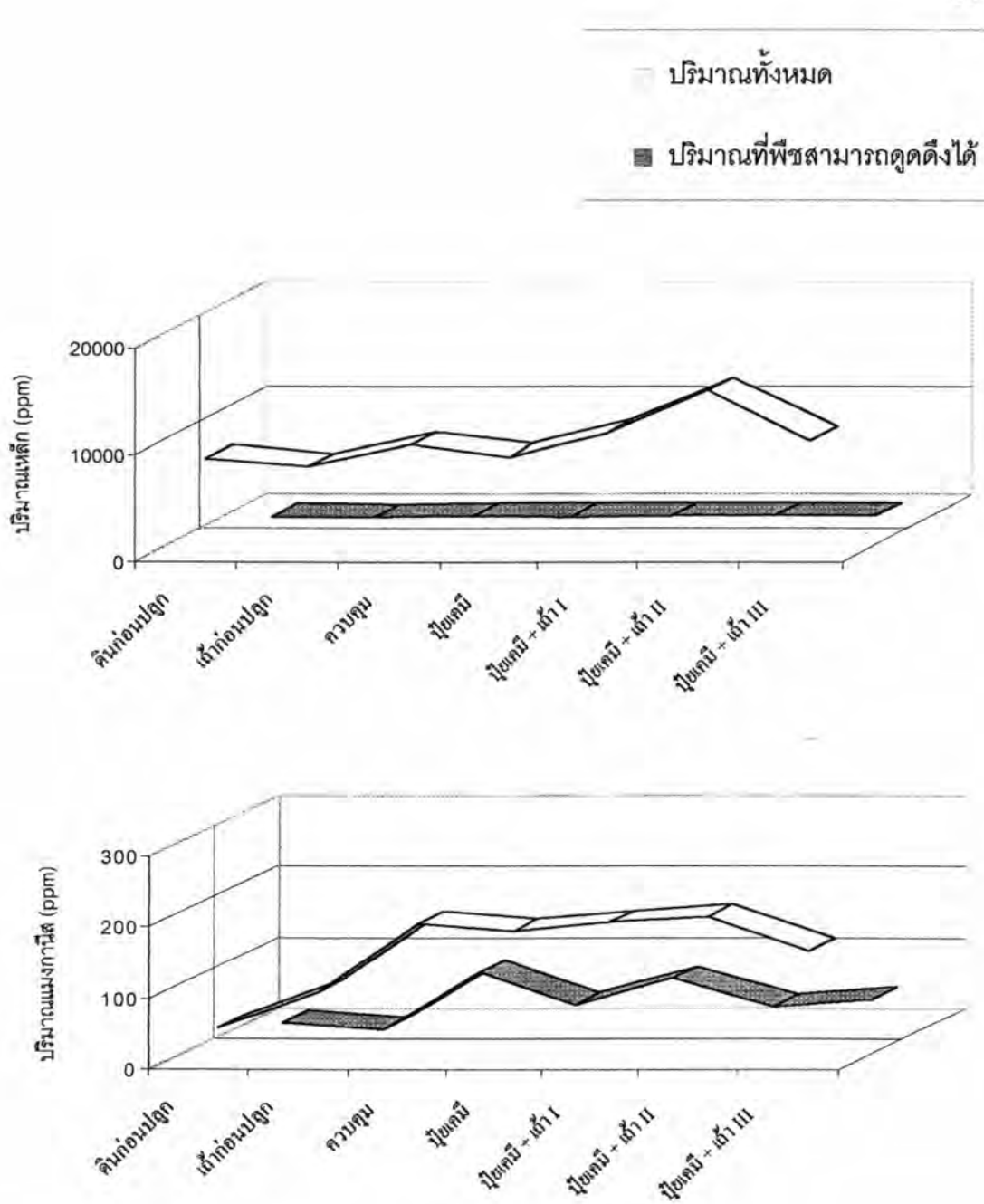
เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.1 ปริมาณธาตุอาหารหลักของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยว



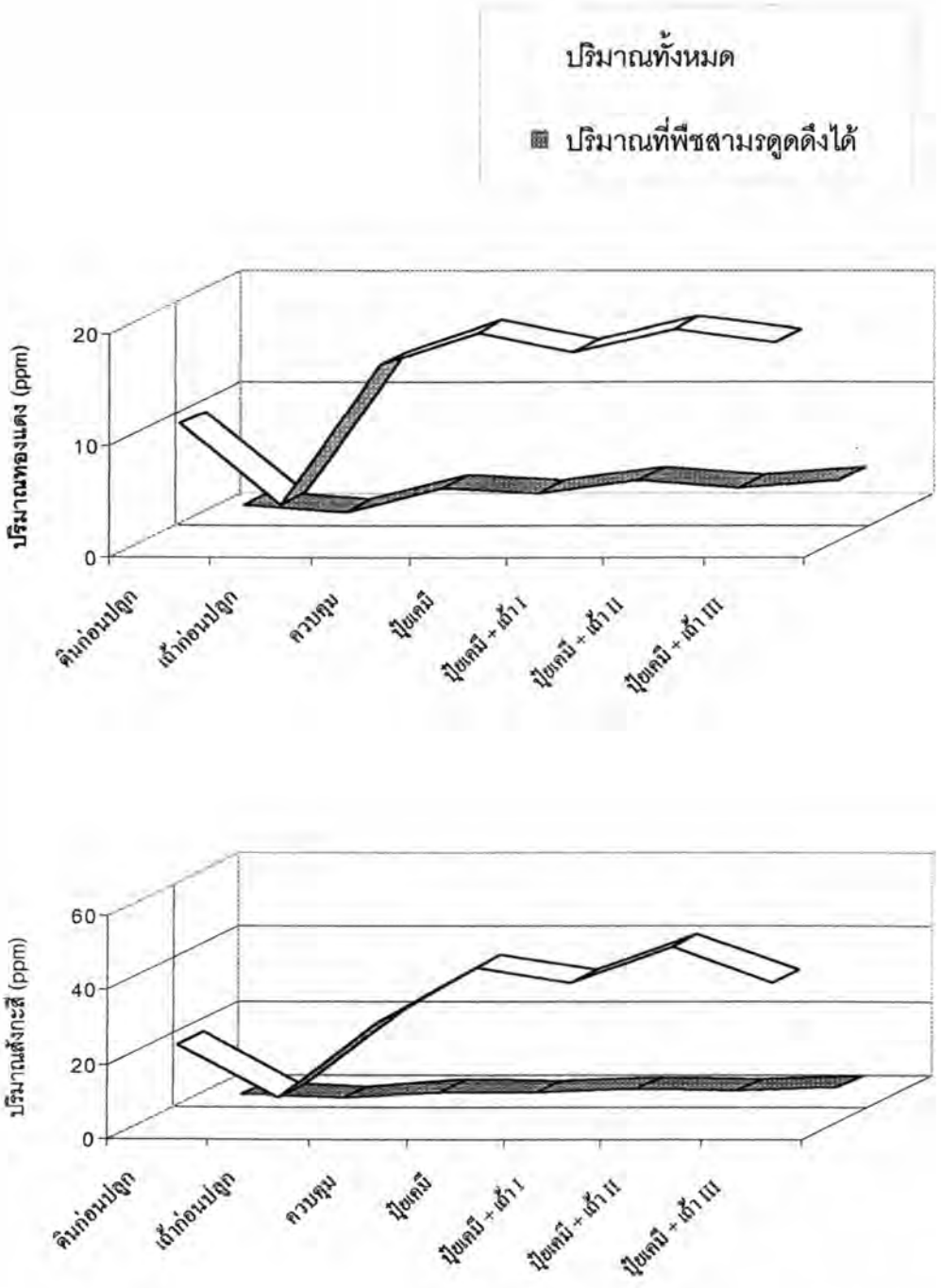
เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.2 ปริมาณธาตุอาหารรองของดิน และเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยว



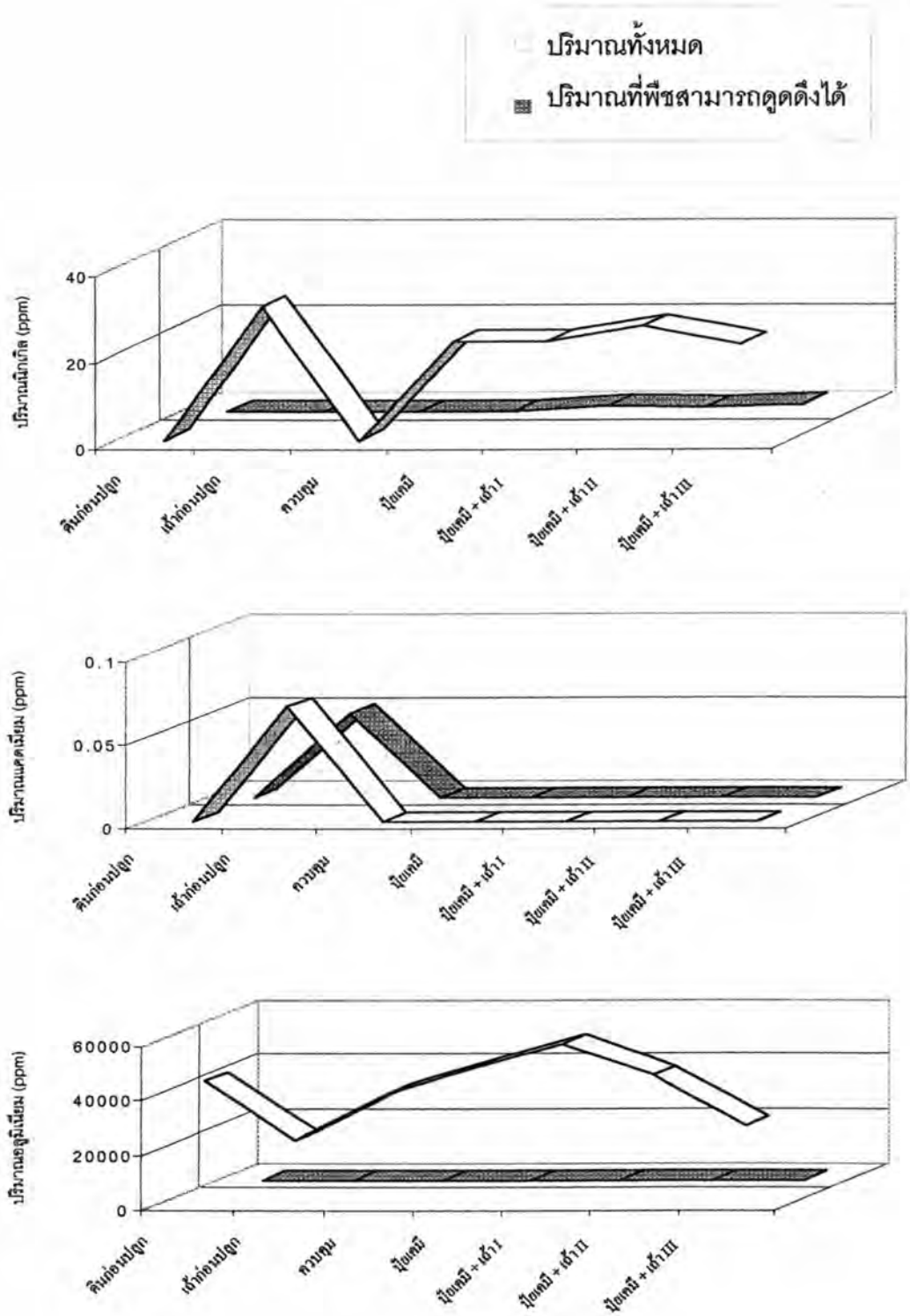
เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.3 ปริมาณเหล็ก และแมงกานีสทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามตำรับทดลองต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยว



เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.4 ปริมาณทองแดง และสังกะสีทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามตำรับทดลองต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาก่อนการเพาะปลูก และเก็บเกี่ยว



เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.5 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมด และที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามตำรับทดลองต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว

5.2.2 ปริมาณธาตุอาหารและธาตุพิษที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึงและสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

ปริมาณธาตุอาหารและธาตุพิษที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ประกอบด้วย ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ปริมาณจุลธาตุอาหาร (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) และปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม) โดยการพิจารณาเปรียบเทียบแนวโน้มของธาตุอาหารหลัก จุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราเติมต่าง ๆ และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดดึง และสะสมของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) ที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราเติมต่าง ๆ กับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.2.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

การพิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

1.) ไนโตรเจน

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4.7) ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยปริมาณไนโตรเจนที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึงน่าจะมาจากปุ๋ยเคมีที่เติม และปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินก่อนการเพาะปลูกมากกว่าปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพในการให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ต่ำ อย่างไรก็ตามการดูดดึงปริมาณไนโตรเจนของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สูงกว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในฟางสำหรับประเทศไทยมี ซึ่งค่าเท่ากับ 0.5 % (Motomura et al, 1984) แม้ว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่พบในเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ยังต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในเมล็ดสำหรับประเทศไทยมี ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 1.4 % (Motomura et al, 1984)

2.) ฟอสฟอรัส

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.7) ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีเพียงการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ เท่านั้นที่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการดูดดึง และสะสมปริมาณฟอสฟอรัสของฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในทุกตำรับทดลองต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดและฟางสำหรับประเทศไทย ซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 5,000 และ 1,000 ppm ตามลำดับ (Motomura et al, 1984) จึงอาจกล่าวได้ว่าดินในพื้นที่เพาะปลูกมีการตรึงฟอสฟอรัสด้วยอนุภาคดิน เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.5 สูงกว่าการปล่อยให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับที่ลัดดาวัลย์ กรรณนุช (2543) กล่าวว่า ดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 4.0-5.0 นับว่าเป็นดินที่ขาดฟอสฟอรัส แม้ว่าจะวิเคราะห์พบปริมาณฟอสฟอรัสก็ตาม ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึงมาใช้ประโยชน์น่าจะมาจากปริมาณที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีเป็นส่วนใหญ่ (สุดใจ สุขช่วย, 2533) เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบในเถ้าลอยลิกไนต์

3.) โพแทสเซียม

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.7) ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ส่วนปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามการดูดดึงปริมาณไนโตรเจนของฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สูงกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมในฟางสำหรับประเทศไทยมี ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 16,000 ppm (Motomura et al, 1984) ยกเว้นการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ นอกจากนี้เมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในทุกตำรับทดลองให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมในเมล็ดสำหรับประเทศไทยมี ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 3,000 ppm (Motomura et al, 1984)

จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมในการดูดดึง และสะสมปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) คือ 1 ตัน/

ไร่ เนื่องจากมีแนวโน้มในการดูดดึง และสะสมปริมาณธาตุอาหารหลักทั้งหมดสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราอื่น ๆ

5.2.2.2 ปริมาณจุลธาตุอาหาร

การพิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณจุลธาตุอาหาร ได้แก่ ปริมาณเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมดที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

1.) เหล็ก

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.8) ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณเหล็กทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ส่วนปริมาณเหล็กทั้งหมดในเมล็ดข้าวเลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นั้น พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 2.8) พบว่า ปริมาณเหล็กทั้งหมดในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อยู่ในระดับปกติในทุกตำรับทดลอง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความเข้มข้นของเหล็กที่ละลายน้ำจะเป็นพิษต่อข้าวได้แตกต่างกันไป ตามชนิดของพันธุ์ข้าว และช่วงอายุ หรือระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ทั้งนี้ปริมาณของเหล็กที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปจะสะสมอยู่ในลำต้น โดยเฉพาะบริเวณข้อ (Node) หลังจากนั้นเหล็กส่วนใหญ่จะถูกเคลื่อนย้ายไปสะสมที่ใบแก่ (Tanaka et al, 1968) จึงวิเคราะห์พบปริมาณเหล็กทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ได้มากกว่าปริมาณเหล็กทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

นอกจากนี้ความเข้มข้นของเหล็กที่เป็นอันตรายต่อข้าวยังขึ้นกับ สภาวะธาตุอาหาร อายุต้นข้าว และสิ่งแวดล้อมในดินกรด ซึ่งแม้ว่าความเข้มข้นของเหล็กที่ละลายน้ำได้มีเพียง 30 ppm ก็เป็นพิษต่อข้าวได้ หากมีปริมาณโพแทสเซียม และฟอสฟอรัสในปริมาณต่ำ (Ottow et al, 1981) ทั้งนี้เพราะข้าวไม่สามารถป้องกันการดูดดึงธาตุเหล็กเข้าไปสะสมได้ (Tadano and Yoshida, 1978) เนื่องจากข้าวมีความสามารถที่จะสร้างกลไกต่าง ๆ เพื่อที่จะสกัดกั้น หรือยับยั้งอันตรายที่มาจากความเป็นพิษของเหล็กซึ่งอยู่ในดิน แต่ถ้าพืชขาดฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียม หรือไนโตรเจน กลไกการสกัดกั้นความเป็นพิษของเหล็กจะต่ำกว่าปกติ (Tanaka and Navasero, 1966c; Takajima and Kanaganayagum, 1970;

Tadano and Yoshida, 1978; Ottow et al, 1981; Benckiser et al, 1982) ทำให้กระบวนการสร้าง และสลาย (Metabolism) ตลอดจนระบบสมดุลย์ต่าง ๆ ภายในต้นข้าวผิดปกติไปทำให้ความสามารถในการป้องกันการดูดดึงธาตุเหล็กที่บริเวณรากข้าวลดน้อยลง ส่งผลให้ปริมาณเหล็กเข้าสู่ลำต้น และใบของข้าวได้ ในที่สุดข้าวจะได้รับอันตรายจากความเป็นพิษของเหล็กโดยตรง (Benckiser et al, 1982)

2.) แมงกานีส

การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ (ตารางที่ 4.8) ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสทั้งหมดที่พบในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณแมงกานีสทั้งหมดที่พบในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม สำหรับปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 2.8) พบว่า ปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในทุกตำรับทดลองมากกว่าปริมาณปกติที่กำหนดโดย Chaney (1982) และ Allaway (1968) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดโดย Davies and Carlton-Smith (1980) พบว่าปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อยู่ในช่วงของปริมาณปกติ อย่างไรก็ตามไม่มีตำรับทดลองใดพบปริมาณแมงกานีสทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ สำหรับเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พบว่า ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณแมงกานีสทั้งหมดอยู่ในปริมาณปกติ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในสภาพทั่ว ๆ ไปแล้วความเป็นพิษของแมงกานีสต่อข้าวมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณแมงกานีสเป็นจุลธาตุอาหารที่ข้าวมีความต้องการมาก (Tanaka and Navasero, 1966c; Tanaka and Yoshida, 1970) นอกจากนี้ Ponnamperuma (1972) รายงานว่า ดินที่มีปริมาณแมงกานีสมาก ความเข้มข้นของปริมาณแมงกานีสจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อขังน้ำเป็นระยะเวลายาวนาน (มากกว่า 2-3 สัปดาห์) โดยเกิดการตกตะกอนเป็นแมงกานีสคาร์บอเนต

3.) ทองแดง

ปริมาณทองแดงที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.8) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 2.8) พบว่า ปริมาณทองแดงทั้งหมดในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ อย่างไรก็ตามพืชต้องการทองแดงเป็นจำนวนน้อยสำหรับการเจริญเติบโต การสร้างคลอโรฟิลล์ และการสร้างเมล็ด (Somer, 1931; Lipman and Mackinney, 1931)

4.) สังกะสี

ปริมาณสังกะสีที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 4.8) การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ ก่อให้เกิดความแตกต่างของปริมาณสังกะสีทั้งหมดของฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 โดยมีปริมาณต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ส่วนปริมาณสังกะสีทั้งหมดของเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ มีปริมาณมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 2.8) พบว่า ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ในทุกตำรับทดลองต่ำกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ซึ่งกำหนดโดย Davies and Carlton-Smith (1980) ซึ่งปริมาณที่กำหนดเป็นเกณฑ์นั้นได้มาจากการวิเคราะห์เนื้อเยื่อใบแก่ แต่ในทุกตำรับทดลองกลับมีปริมาณสังกะสีในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนซึ่งกำหนดโดย Yoshida (1981) ที่กำหนดปริมาณขึ้นจากการวิเคราะห์ข้าวทั้งต้นยกเว้นรากข้าวในระยะที่ข้าวแตกกอเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสังกะสีในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อยู่ในช่วงของปริมาณปกติที่กำหนดโดย Chaney (1982) และ Allaway (1968) ในทุกตำรับทดลอง

สำหรับเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พบว่า ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณสังกะสีทั้งหมดสูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนซึ่งกำหนดโดย Yoshida (1981) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนตามเกณฑ์ของ Davies and Carlton-Smith (1980) พบว่า

เมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากแปลงที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 และ 1 ตัน/ไร่ มีปริมาณสังกะสีที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 อยู่ในช่วงปริมาณปกติเมื่อเปรียบเทียบตามเกณฑ์ของ Chaney (1982) และ Allaway (1968) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะพบการขาดธาตุสังกะสีเสมอในข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มแถบประเทศในเอเชีย (Yoshida, Forno and Bhadrachalam, 1971) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงหรือต่ำเกินไป ทำให้เกิดการสะสมกรดอินทรีย์พวก Acetic มาก ส่งผลให้พืชมีความสามารถในการดูดธาตุสังกะสีได้น้อยลง (Tanaka and Navasero, 1967)

อย่างไรก็ตามการเพิ่มธาตุสังกะสีเพียง 1 ppm ลงในภาชนะสารละลายน้ำยาที่มีธาตุอาหารครบยกเว้นธาตุสังกะสี จะทำให้ข้าวมีผลผลิตสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีให้สูงขึ้นเป็น 5 ppm ผลผลิตจะลดลง เนื่องจากเกิดความเป็นพิษ และเมื่อเพิ่มปริมาณสังกะสีเป็น 10 ppm ข้าวก็จะตาย แต่เมื่อนำมาทดลองในกระถางดินข้าวจะตอบสนองต่อธาตุสังกะสีได้ดีเมื่อให้ในปริมาณที่ต่ำกว่า 75 ppm แต่เมื่อให้ในปริมาณที่สูงถึง 250 ppm จะเป็นพิษต่อต้นข้าว (Yamarski, 1964)

จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมในการดูดดึง และสะสมปริมาณจุลธาตุอาหารของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) คือ 0.5 ตัน/ไร่ โดยมีแนวโน้มในการสะสมปริมาณจุลธาตุอาหารสูงสุดเป็นส่วนใหญ่

5.2.2.3 ปริมาณธาตุพิษ

การพิจารณาและเปรียบเทียบปริมาณธาตุพิษ ได้แก่ ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

ปริมาณนิกเกิล และแคดเมียมทั้งหมดในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก (ตารางที่ 4.9) มีการดูดดึง และสะสมในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถระบุปริมาณได้ ทั้งที่มีการวิเคราะห์พบปริมาณแคดเมียมจากเถ้าลอยลิกไนต์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากอัตราการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ไม่สูงมากพอจนก่อให้เกิดการดูดดึง และสะสมของธาตุพิษ และดินในพื้นที่เพาะปลูก (ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้) มีลักษณะเป็นดินเหนียวจึงมีความสามารถในการดูดดึงธาตุพิษไว้ได้ดี (Dias and Polo, 1988) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (ตารางที่ 2.9) พบว่า ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ต่ำกว่าปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในทุกตำรับทดลอง ยกเว้นปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดที่พบในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 จาก

ตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ มีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ

นอกจากนี้การศึกษาของ Mengle and Kirkby (1982) ทำให้ทราบว่าปริมาณสังกะสีที่มีอยู่ในดินสามารถลดการดูดดึงปริมาณแคดเมียมของพืชได้ ส่วนปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในฟางที่ได้จากแปลงซึ่งมีการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกทั้ง 3 อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่เติมร่วมกับปุ๋ยเคมีสูงกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดกับปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษในการปลูกข้าว (ตารางที่ 2.7) พบว่า ปริมาณอลูมิเนียมในฟางที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ สูงกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ แต่สำหรับปริมาณอลูมิเนียมในเมล็ดข้าวเปลือกนั้นมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษในทุกตำรับทดลอง อย่างไรก็ตามจากการสังเกตในภาคสนามตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 นั้น ไม่พบความผิดปกติที่สามารถเกิดขึ้นกับลักษณะที่สำคัญของต้นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ลำต้น ใบ หรือ รวงข้าว) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากพันธุ์ข้าวที่เลือกใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นพันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะดินเปรี้ยวซึ่งพบปริมาณเหล็ก และอลูมิเนียมสูงเป็นปกติได้เป็นอย่างดี

จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมในการดูดดึง และสะสมปริมาณธาตุพิษในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) คือ 0.5 ตัน/ไร่ โดยการดูดดึง และสะสมปริมาณอลูมิเนียมไม่สูงเกินเกณฑ์ที่ยอมให้มีได้ทั้งในฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลัก จุลธาตุอาหาร และธาตุพิษ เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาน่าจะกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมสำหรับการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร คือ 0.5 ตัน/ไร่ เนื่องจากเป็นอัตราเติมที่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีแนวโน้มในการดูดดึง และสะสมปริมาณธาตุอาหารหลัก รวมถึงจุลธาตุอาหารได้สูงเหมาะสำหรับการกำจัดเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการเผาไหม้ถ่านหิน โดยก่อให้เกิดประโยชน์แก่พื้นที่กำจัดจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ ทั้งยังส่งผลให้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สามารถเจริญเติบโตได้โดยไม่แสดงอาการที่บ่งบอกถึงการได้รับพิษใด ๆ และปริมาณการดูดดึงจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่เป็นโลหะหนักก็ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้มีได้

นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการนำฟางไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การเพาะเห็ด การทำปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือการไถกลบฟางเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชเพื่อทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น (Cook, 1970) ในการเพาะปลูกครั้งต่อไปได้อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมในฟางมีอยู่สูงกว่าปริมาณโดยทั่วไป ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจน 0.6 % ปริมาณฟอสฟอรัส 1,000 ppm และปริมาณโพแทสเซียม 500 ppm (Ponnamperuma, 1984) ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมักแต่ละชนิดจะสูงต่ำต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษซากอินทรียสารที่นำมาใช้ และกรรมวิธีในการหมัก (ศุภมาศ พานิชศักดิ์พัฒนา, 2530) และ Hashimoto and Ishikawa (1969) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักจากการเก็บตัวอย่างจำนวน 105 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณไนโตรเจน 0.39 % ปริมาณฟอสฟอรัส 800 ppm ปริมาณโพแทสเซียม 58,000 ppm และปริมาณแมงกานีส 192 ppm แต่ทั้งนี้คุณค่าทางอาหารพืชไม่ได้เป็นประโยชน์ต่อพืชในพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดใน 1 ฤดูปลูก แต่ยังคงค้างอยู่ในดิน และค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาในฤดูกาลต่อ ๆ ไป (สมาน ริมวานิช, 2532) โดยในฤดูแรกของการเพาะปลูกพืชมีธาตุไนโตรเจนน้อยกว่า 30 % ปริมาณฟอสฟอรัส 60-70 % และปริมาณโพแทสเซียม 75 % ของปริมาณทั้งหมดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ส่วนที่เหลือจะถูกปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในฤดูต่อ ๆ ไป ซึ่งในเขตร้อนผลของปุ๋ยหมักจะมีต่อไปอีกประมาณ 2-3 ฤดูปลูก (ปรัชญา ธัญญาดี, 2532)

ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักในดินจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่ม และยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ส่งเสริมให้ดินมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากยิ่งขึ้น (สมศักดิ์ วังใน, 2521; FAO,1978) นอกจากนี้เมื่ออินทรียวัตถุเมื่อสลายตัวแล้วยังก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดการตรึงฟอสฟอรัสของดิน (Swenson, Cole and Sieling, 1949) เป็นการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของปริมาณฟอสฟอรัสให้แก่พืชได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งทดแทนปริมาณฟอสฟอรัสที่พบน้อยในฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 แต่ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใส่ลงสู่พื้นที่เพาะปลูก และปริมาณที่ต้องการใช้ในพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากอินทรียวัตถุเมื่อใส่ลงไปในดินนาสภาพที่มีน้ำขังจะถูกย่อยสลายโดยขบวนการทางชีวเคมีซึ่งปราศจากออกซิเจน ก่อให้เกิดสารที่ให้ประโยชน์ และโทษต่อพืช (Tanaka and Yoshida, 1975) แตกต่างกัน

นอกจากนี้ฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ได้รับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติมต่าง ๆ ยังมีแนวโน้มในการให้จุลธาตุอาหาร (เหล็ก และแมงกานีส) สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามหากมีการนำฟางข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรควรคำนึงถึงปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้เป็นสำคัญ เพื่อให้เกิดประโยชน์ และความปลอดภัยสูงสุด นอกจากนี้ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ถูกดูดดึง และสะสมในเมล็ด

ข้าวเปลือก ยังมีปริมาณไม่เกินปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้ทั้งที่กำหนดโดย Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization [FAO and WHO] (1984) และตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 71 (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2532) ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในเมล็ดข้าวเปลือกที่ปลูกโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุปรับปรุงดินร่วมกับการเติมปุ๋ยเคมีนั้น ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ที่บริโภค

ตารางที่ 5.1 ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ยอมให้บริโภคได้สูงสุด (FAO and WHO, 1984)

ชนิดของธาตุ	ปริมาณที่ยอมให้บริโภค (มก./กก.น้ำหนักตัว)
เหล็ก	0.8[1]
ทองแดง	0.05-0.5[1]
สังกะสี	0.30-1.0[1]
แคดเมียม	0.0067-0.0083[2]

หมายเหตุ : 1 หมายถึง ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้สูงสุดในแต่ละวัน
2 หมายถึง ปริมาณที่ยอมให้บริโภคได้สูงสุดในแต่ละสัปดาห์

ตารางที่ 5.2 ค่ามาตรฐานอาหารที่มีโลหะหนักปนเปื้อน ตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 71 (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2532)

ชนิดของธาตุ	ปริมาณที่ยอมให้บริโภค (มก./กก.น้ำหนักตัว)
ทองแดง	20
สังกะสี	100
แคดเมียม	0.8

5.2.3 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง ดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

การพิจารณาและเปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยว สามารถบ่งบอกถึงภาพรวมของความเป็นประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์ ความสามารถในการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 และความคุ้มค่าในการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติ โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 0.25 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.10 และภาพที่ 5.6) ดังต่อไปนี้ คือ การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเติมต่าง ๆ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาน้ำหนักฟางจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ให้น้ำหนักฟางต่ำกว่าอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์อื่น ๆ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีให้น้ำหนักฟางสูงกว่าตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว พบว่า อัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลให้น้ำหนักฟางสูงกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

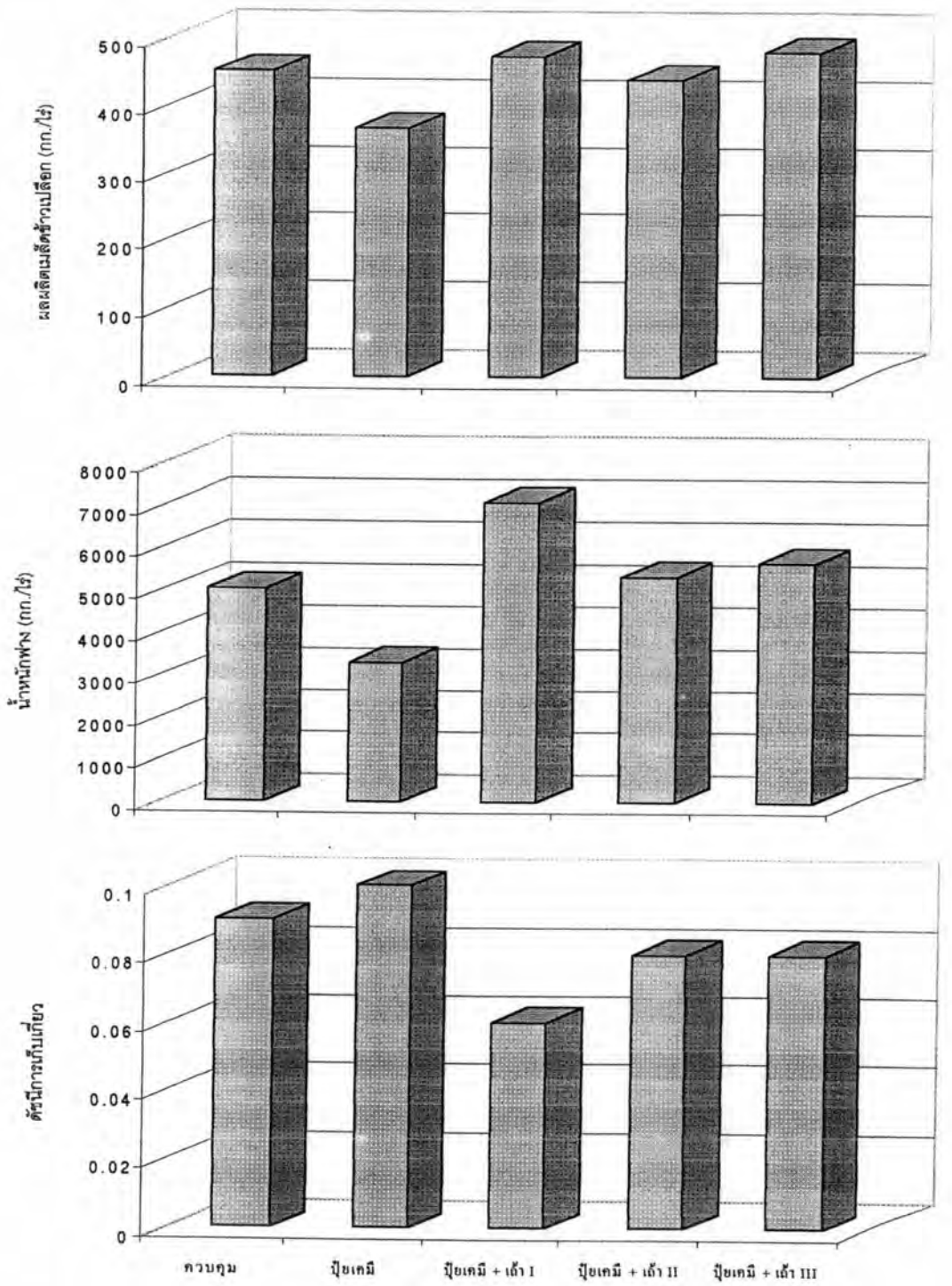
สำหรับดัชนีการเก็บเกี่ยวจากการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 อัตรา พบว่า ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำกว่าดินเดิม และการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.25 ตัน/ไร่ ให้ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 และ 1 ตัน/ไร่ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม

จึงอาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทั้งผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยว โดยความแตกต่างนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุอาหาร และธาตุพิษส่งผลต่อรูปทางเคมีที่พืชสามารถดูดดึงได้ โดยปฏิกิริยาเสริม หรือ ปฏิกิริยาหักล้าง ก่อให้เกิดการเพิ่มหรือลดความ

สามารถในการดูดดึงธาตุอาหาร และธาตุพิษของพืชเพื่อเสริมสร้างผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกให้สูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว แต่อัตราส่วนระหว่างผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกต่อผลรวมน้ำหนักฟางและเมล็ดข้าวเปลือก หรือค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ ต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลเนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ที่เติมลงในดินทำให้การดูดดึงธาตุอาหารเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตทางลำต้น (ฟาง) สูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักฟางเพิ่มมากกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเพิ่มความสามารถในการสะสมธาตุอาหาร และธาตุพิษในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ทำให้การกำจัดเถ้าลอยลิกไนต์ไม่ก่อให้เกิดพิษแก่ดินในพื้นที่เพาะปลูก

ดังนั้นน่าจะสรุปได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ เหมาะสมสำหรับการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์สำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เมื่อยึดผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นเกณฑ์ เนื่องด้วยว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์อื่น ๆ แม้ว่าค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ จะไม่ต่างกับการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับอัตราเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.5 ตัน/ไร่ ก็ตาม

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่คงเหลือในดินในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว ปริมาณธาตุอาหาร และธาตุพิษที่ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ดูดดึง และสะสมในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว รวมถึงผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 สามารถสรุปได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 1 ตัน/ไร่ น่าจะเหมาะสมที่สุด สำหรับการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยกัน เนื่องจากเป็นอัตราเติมที่สามารถให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหาร ทั้งยังมีแนวโน้มของปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือในพื้นที่เพาะปลูกในระดับต่ำจึงไม่อาจก่อให้เกิดพิษแก่พื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (ฟาง และเมล็ดข้าวเปลือก) ยังมีแนวโน้มในการดูดดึง และสะสมปริมาณธาตุอาหารหลัก รวมถึงจุลธาตุอาหาร ได้สูง โดยไม่ก่อให้เกิดการสะสมธาตุพิษเกินเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ด้วยกัน



เถ้า I = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า II = 0.25 ตัน/ไร่ เถ้า III = 0.25 ตัน/ไร่

ภาพที่ 5.6 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก น้ำหนักฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยวตามตำรับทดลองต่าง ๆ ในช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว