

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการวิจัย

5.1 ปริมาณธาตุปุ๋ยของดิน etailoylikไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนก่อนเพาะปลูก

การปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตดีจำเป็นต้องมีธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยเฉพาะธาตุปุ๋ย ประกอบด้วย ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งจัดเป็นธาตุอาหารที่ต้นข้าวต้องการปริมาณมากแต่มักได้รับจากดินไม่เพียงพอ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ความสำคัญของธาตุปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าวมีดังนี้ ไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ช่วยควบคุมการออกดอก เพิ่มปริมาณโปรตีนและผลผลิตของข้าว ธาตุฟอสฟอรัส (P) ซึ่งช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของราก ช่วยในการดูดซับโพแทสเซียมและควบคุมสมดุลไนโตรเจนของราก ในขณะที่ธาตุโพแทสเซียม (K) ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์และมีน้ำหนักดี (De Datta, 1981; อรรถวุฒิ ทัศนีสองชั้น, 2527)

การใช้ประโยชน์etailoylikไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนทางการเกษตร จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจแก่เกษตรกรและเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากetailoylikไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีสมบัติทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุปุ๋ยในการปลูกข้าวได้ ทั้งนี้การศึกษาปริมาณธาตุปุ๋ยของดิน etailoylikไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ก่อนเพาะปลูก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากดินเดิม ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พิจารณาถึงการเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยของetailoylikไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปลูกข้าว และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณธาตุปุ๋ย ได้แก่ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อินทรีย์วัตถุและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

5.1.1 ไนโตรเจน

5.1.1.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-N)

ปริมาณไนโตรเจน (รูปที่ 5.1) สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ศึกษาวิเคราะห์ทั้งไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) และไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) ส่วนยูเรียซึ่งเป็นรูปหนึ่งของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะได้รับจากการเติมปุ๋ยยูเรียเท่านั้น (ยงยุทธ โอสธสภา, 2546) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินพื้นที่ศึกษาวิจัยมีค่าเท่ากับ 0.154 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจน

ทั้งหมดของดินสำหรับปลูกพืชที่มีค่า 2.0-2.5 เปอร์เซ็นต์ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) โดยดินนา โดยทั่วไปจะพบไนโตรเจนในรูปของอินทรีย์ไนโตรเจนเกือบทั้งหมด มีส่วนน้อยมากประมาณไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่แอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน (จิรพงษ์ ประสทธิเชตร จารุณี นักระบาด และชอบ คณะฤทธิ, 2534; Patrick และ Turner, 1968) เหตุที่พบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินน้อย อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของพื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้จัดได้ว่าเป็นกรดรุนแรงมาก (pH เท่ากับ 3.58, ตารางที่ 4.1) จึงส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ซึ่งสามารถเกิดกิจกรรมย่อยสลายได้ดีเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินใกล้ๆ เป็นกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ 80 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือมาจากองค์ประกอบของดินที่เป็นอนินทรีย์สาร (ขงยุทธ โอสดสภา, 2546) อาจมาจากน้ำชลประทาน น้ำฝน การดูดซับแอมโมเนียมจากบรรยากาศ และการตรึงไนโตรเจน (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) ทั้งนี้หากช่วงระยะเจริญเติบโตของต้นข้าว (Early growth stage) มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอที่จะส่งผลต่อการแตกกอของใบ และปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวอีกด้วย (Yoshida, 1981; De Datta, 1981)

ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีปริมาณเท่ากับ 2.55 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.1) และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ข้าวต้องการใน 1 ฤดูปลูก สำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงคือ 6 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 1.2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิต 500 กิโลกรัมต่อไร่ (สถาบันวิจัยต่างประเทศ อ้างถึงใน อรรถวุฒิ ทัศนีสองชั้น, 2527) พบว่ากากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวได้ ส่วนถ้ำลอลิกไนต์มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพียง 0.014 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในถ้ำลอลิกไนต์ที่มีปริมาณน้อย อาจเนื่องมาจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ไนโตรเจนซึ่งพบมากในอินทรีย์วัตถุถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นก๊าซ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ตรวจพบในถ้ำลอลิกไนต์จึงน้อย (Adriano และคณะ, 1980)

5.1.1.2 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์

ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินพื้นที่ศึกษาวิจัยก่อนเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 10.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจนมีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ (ตารางที่ 4.1) อาจเนื่องจากขณะทำการเก็บตัวอย่างมีฝนตก ประกอบกับพื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นพื้นที่ลุ่มทำให้เกิดน้ำท่วมขังพื้นที่ ส่งผลให้ดินนาขาดออกซิเจน (O_2) ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ดินนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ อีกทั้งไนเตรท

ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินนาจะถูกรีดิวซ์ (reduced) ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) แล้วระบายออกสู่บรรยากาศในที่สุด (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511; Yoshida, 1981; De Datta, 1981) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินกับความต้องการแอมโมเนียมไนโตรเจนของข้าว ในระยะการเจริญเติบโตช่วงแรก (Early growth stage) ซึ่งต้องการ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Yoshida, 1981) กล่าวได้ว่าดินไม่สามารถเป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับต้นข้าว เป็นไปได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน ประกอบกับพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นกรดรุนแรงมาก (pH เท่ากับ 3.58) กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์เปลี่ยนรูปอินทรีย์ไนโตรเจนให้กลายเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนจึงเกิดได้น้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ขณะที่ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีปริมาณสูงถึง 1,242.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจัดเป็นอินทรีย์สารประเภทหนึ่ง ซึ่งจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีอยู่ให้พืชไปใช้ประโยชน์ (Yongjie และ Yangsheng, 2004) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่มีอยู่จึงน่าจะส่งผลให้ต้นข้าวไม่ขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ขณะที่ถั่วลยถิกไนต์มีแอมโมเนียมไนโตรเจนเพียง 19.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นับว่ามีปริมาณน้อย อาจเนื่องมาจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินถิกไนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้ไนโตรเจนถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นก๊าซ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่ตรวจพบในถั่วลยถิกไนต์จึงน้อย (Adriano และคณะ, 1980) ตามปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

5.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนสำคัญเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ความแข็งแรง ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดินของต้นข้าวและรากข้าว (อรรควุฒิ ทศน์สองชั้น, 2527) จากการศึกษาวิจัยพบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนเพาะปลูก (รูปที่ 5.1) จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (P_2O_5 เท่ากับ 6.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินของถวิล ครุฑกุล (2530) (ตารางภาคผนวกที่ ก-3) และปริมาณฟอสฟอรัสดังกล่าวจัดอยู่ในเกณฑ์ของชุดดินรังสิตกรดจัด ซึ่งดินชุดดังกล่าวจะมีฟอสฟอรัสประมาณ 4.90-11.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2522) สาเหตุที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินมีปริมาณต่ำอาจเนื่องมาจาก ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเปรี้ยวจัด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่จัดอยู่ในเกณฑ์เป็นกรดรุนแรงมาก (pH เท่ากับ 3.53) ทั้งนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟอสเฟตที่ละลายดินมากที่สุด โดยที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5.00 ฟอสเฟตจะถูกตรึงอยู่ในรูปสารประกอบเหล็ก และอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน ทำให้เกิดกิจกรรมย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้กลายเป็น

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่จะละลายสู่ดินยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบและไอออนบวกของเหล็กอะลูมิเนียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่อยู่ในสภาพที่จะทำปฏิกิริยากับไอออนฟอสเฟต รวมถึงชนิดและปริมาณแร่ดินเหนียวในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ขณะที่ถ้ำลอลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำมากและสูงตามลำดับ (P_2O_5 เท่ากับ 1.64 และ 222.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อใช้เกณฑ์ประเมินของถวิล ครุฑกุล (2530) ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในถ้ำลอลิกไนต์ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Scotti และคณะ, 1999) ส่วนกากตะกอนน้ำเสียชุมชนซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ต่างๆปะปนอยู่มาก จึงส่งผลให้การเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จัดอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เมื่อเติมลงสู่ดินจึงช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน ส่งผลให้ต้นข้าวสามารถดึงดูไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งต้นข้าวต้องการฟอสฟอรัสในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Early growth stage) มากกว่าระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage)

5.1.3 โปแทสเซียม

ปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน (รูปที่ 5.1) พื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 102.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4.1) ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของถวิล ครุฑกุล (2530) (ตารางภาคผนวกที่ ก-4) โดยปริมาณโปแทสเซียมที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้จะขึ้นอยู่กับอำนาจในการผลักดันให้เกิดโปแทสเซียมละลาย (Soluble Potassium) และปริมาณที่พร้อมจะเป็นประโยชน์ได้ของโปแทสเซียม (Exchangeable Potassium) ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะถูกควบคุมโดยค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (C.E.C.) และปริมาณของแร่ดินเหนียวในเนื้อดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530) ความสำคัญของโปแทสเซียมมีผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตของข้าวและเป็นหนึ่งในธาตุปุ๋ยที่พืชต้องการปริมาณมากเช่นเดียวกับไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของถ้ำลอลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน มีระดับความเป็นประโยชน์สูง (K_2O เท่ากับ 280.00 และ 365.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของถวิล ครุฑกุล (2530) (ตารางภาคผนวกที่ ก-5) โดยปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากถ้ำลอลิกไนต์รวมถึงรูปที่เป็นประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิด (Scotti และคณะ, 1999) เช่นเดียวกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

อาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสำหรับเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยในการปลูกข้าว นั้น กากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะมีศักยภาพเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยได้อย่างเหมาะสมแก่ดินข้าว ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์น่าจะเป็นแหล่งของโพแทสเซียมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว

5.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณธาตุปุ๋ย

ความเป็นประโยชน์ของธาตุปุ๋ยต่อต้นข้าวของสิ่งทดลองต่างๆ ถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรีย์วัตถุ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (รูปที่ 5.2) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการปลดปล่อยธาตุปุ๋ยออกมาสู่ดิน เพื่อให้ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตและแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เพาะปลูกอีกด้วย

5.1.4.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิตและคุณภาพของข้าว ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารของดินต่อพืช การละลายของโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ และกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) สำหรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินพื้นที่ศึกษาวิจัยก่อนเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 3.53 (ตารางที่ 4.1) จัดได้ว่าเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) และจัดอยู่ในชั้นดิน P-IVa (pH เท่ากับ 3.0-4.1) ตามการจำแนกชั้นความเหมาะสมของดินเปรี้ยวจัดเพื่อการปลูกข้าวของกรมพัฒนาที่ดิน (2541) ทั้งนี้ชั้นดินดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับการทำนาและยากที่จะปรับปรุงแก้ไข ดินประเภทนี้จะให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยประมาณ 100-200 ถังต่อไร่ และจะพบจาร์โรไซด์อยู่ที่ระยะความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งระดับความลึกของจาร์โรไซด์สัมพันธ์กับความเป็นกรดของดิน จึงส่งผลให้ดินพื้นที่ดังกล่าวมีความเป็นกรดรุนแรงมาก ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุปุ๋ยถูกจำกัดหรือไม่เพียงพอต่อความต้องการของต้นข้าว โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากการเกิดกิจกรรมย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน ซึ่งมีผลต่อการสลายตัวของอินทรีย์สารเกิดช้าลง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อีกทั้งฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินส่วนใหญ่จะถูกตรึงอยู่ในรูปของสารประกอบเหล็กและอะลูมิเนียม ส่งผลให้การละลายของฟอสฟอรัสสู่สารละลายดินมีปริมาณน้อย และยังก่อให้เกิดความเป็นพิษจากเหล็ก อะลูมิเนียมและแมงกานีส ที่จะละลายออกมามากจนถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อต้นข้าวที่เพาะปลูกได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) การเติมเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในสภาพดังกล่าวจะจำกัดความเป็นประโยชน์ของธาตุปุ๋ยที่จะละลายออกมาให้ต้นข้าวนำไปใช้ประโยชน์

ขณะที่ความเป็นกรดเป็นด่างของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 10.55 และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีค่าเท่ากับ 5.67 เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ของปทานุกรมปฐพีวิทยา (2541)

อาจกล่าวได้ว่าเกลือลิกไนต์มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างจัดได้ว่าเป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline) ส่วนกากตะกอนน้ำเสี้ยวชุมชนจัดได้ว่าเป็นกรดปานกลาง (Moderately acid) ความเป็นกรดเป็นด่างของสิ่งทดลองทั้งสองอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดย Ponnampereuma (1978) เสนอว่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ 6.60 เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว อย่างไรก็ตามเกลือลิกไนต์มีอำนาจในการทำให้เป็นกลางต่ำมาก ถึงแม้ว่าจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างจัดได้ว่าเป็นด่างจัดมากก็ตาม (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2546) ขณะที่กากตะกอนน้ำเสี้ยวชุมชนอาจทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงในช่วงแรกๆ ของการเติมซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น (Guldi และคณะ, 1983)

ดังนั้นการเติมเกลือลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสี้ยวชุมชนอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และการปลดปล่อยธาตุปุ๋ยออกสู่ดินให้ต้นข้าวนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว

5.1.4.2 อินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินก่อนเพาะปลูกมีค่ากับ 0.86 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.1) จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (อินทรีย์วัตถุน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตามเกณฑ์จำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน กองจำแนกที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522) และน้อยกว่าดินที่ใช้ในการเกษตรทั่วไปจะมีค่าอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 1-3 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ทั้งนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณต่ำ อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เป็นกรดอย่างรุนแรง ส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินเกิดการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ ดำเนินไปอย่างค่อนข้างจำกัด (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) ทั้งนี้อินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆ ของดิน ทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพซึ่งมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยบทบาทที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุ คือ สารเชื่อมอนุภาคดิน ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้ธาตุอาหารพืชถูกชะละลายสูญหายไปกับน้ำโดยง่าย ทั้งช่วยต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีประจุลบเป็นจำนวนมาก และมีความสามารถดูดซับแคตไอออนสูง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ขณะที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุของเกลือลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสี้ยวชุมชนมีค่าเท่ากับ 0.05 และ 11.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากและสูงมากตามเกณฑ์จำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดิน กองจำแนกที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน (เล็ก มอญเจริญ, 2522) โดยกากตะกอนน้ำเสี้ยวชุมชนจัดเป็นอินทรีย์สารประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถย่อยสลายตัวได้ การเติม

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนจึงเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินในการเป็นแหล่งธาตุอาหารระยะยาว ในการปลูกข้าวได้ สำหรับถ้ำลอยลิกในดินนั้นจะเห็นได้ว่าอินทรีย์วัตถุที่วิเคราะห์ได้นั้นมีปริมาณน้อยมาก อาจเนื่องมาจากการเผาไหม้ถ่านหินที่อุณหภูมิสูง (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้อินทรีย์วัตถุในถ้ำลอยลิกในดินถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูป/สภาพกลายเป็นก๊าซ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

อาจกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน่าจะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ขณะที่การเติมถ้ำลอยลิกในดินไม่น่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน

5.1.4.3 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินก่อนเพาะปลูกมีค่าเท่ากับ 21.5 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกับค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเหนียวทั่วไป (C.E.C. ของดินเหนียว เท่ากับ 22-63 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม) (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) ทั้งนี้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติธาตุอาหารและการแลกเปลี่ยนไอออนบวก ซึ่งมีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งนี้ธาตุอาหารพืชในดินส่วนใหญ่เป็นพวกแคตไอออนจะถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของ Clay micelle โดยเฉพาะแอมโมเนียมไนโตรเจน และโพแทสเซียม ทำให้ธาตุอาหารเหล่านี้ไม่สูญเสียออกจากดินได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

5.2 ปริมาณธาตุปุ๋ยของดินที่มีการเติมถ้ำลอยลิกในดิน และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

ปริมาณธาตุปุ๋ยของดินเมื่อเติมถ้ำลอยลิกในดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชน พิจารณาจาก 2 ช่วงเวลา คือ 1) ช่วงเวลาหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ เป็นการศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงของดิน เมื่อเติมถ้ำลอยลิกในดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชนต่อการเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยในการปลูกข้าว และ 2) ช่วงเวลาหลังเก็บเกี่ยวซึ่งบ่งชี้ถึงปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่คงเหลืออยู่ในดิน ที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการเพาะปลูกครั้งต่อไป ทั้งนี้ความเป็นประโยชน์ของธาตุปุ๋ยยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยของดินด้วย

5.2.1 ไนโตรเจน

5.2.1.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.3) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือเติมถ้ำลอยลิกในดินอัตรา 2 ตันต่อไร่

ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดิน เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี หรือเติมแกลบลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทั้งนี้การเติม กากตะกอนน้ำเสียชุมชนช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดิน อาจเนื่องมาจากแหล่งที่มาของ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียซึ่งประกอบไปด้วยอินทรีย์สารปะปนอยู่ จำนวนมากซึ่งอินทรีย์สารเหล่านี้จะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชต่างๆ โดยเฉพาะไนโตรเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยได้อย่างดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้ระดับความเป็น กรดเป็นต่างของดินที่สูงขึ้นทำให้เกิดภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ใน กากตะกอนน้ำเสียชุมชนให้กลายเป็นไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ทศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) ส่วนดินที่มีการเติมแกลบลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่าการเติมปุ๋ยเคมีหรือกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ อาจเนื่องมาจากกระบวนการเผา ไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้ไนโตรเจนที่พบมากในอินทรีย์วัตถุต่างๆ ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นก๊าซ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ขณะที่ดินเดิม (ควบคุม) มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่าทุกค่ารับทดลอง อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ที่เป็นกรดอย่างรุนแรง จึงเกิดสภาวะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุได้ ซึ่งไนโตรเจน จะมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ 80 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การเติมไนโตรเจนอย่างเพียงพอและ ในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณ โปรตีนให้แก่เมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวที่มีปริมาณ โปรตีนสูงเหมาะที่จะนำไปแปรรูป (เช่น ขนมปัง) และมีคุณค่าทางโภชนาการอีกด้วย (ขงยุทธ โอสธสกา, 2546)

ขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของดินหลังเก็บเกี่ยวในทุกค่ารับทดลอง (รูปที่ 5.3) พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงหลังจากเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ เนื่องจาก ต้นข้าวดูดดึงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต ทั้งนี้ไนโตรเจน ทั้งหมดของดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือเติมแกลบลิกไนต์ อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีปริมาณคงเหลืออยู่ในดิน มากกว่าค่ารับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี และค่ารับทดลองอื่นๆ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของ ดินหลังเก็บเกี่ยวที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีปริมาณมากกว่าการเติม ปุ๋ยเคมีถึง 14.81 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดดังกล่าวสามารถเป็นแหล่งไนโตรเจน สำหรับการเพาะปลูกฤดูต่อไป (อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ, 2529; Kelling และคณะ, 1977) และเป็น ธาตุอาหารให้แก่พืชได้อย่างยาวนานกว่าการเติมปุ๋ยเคมี

5.1.1.2 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์

สำหรับปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนซึ่งเป็นรูปไนโตรเจนที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุด (Yoshida, 1981; ขงยูทอ โอสถสภา, 2546) พบว่า ดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.3) ที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ หรือถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ ส่งผลให้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินมากกว่าค่ารับทดลองอื่นๆ และเทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี อาจเนื่องมาจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ประมาณ 10-12 : 1 ซึ่งจัดได้ว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบ (C/N ratio ต่ำกว่า 20/1) ส่งผลต่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ใน ไตรเจนให้กลายเป็นอนินทรีย์ใน ไตรเจน (Mineralization) แล้วปลดปล่อยอนินทรีย์ใน ไตรเจนที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ แอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ให้แก่ข้าวได้ง่าย (Follet และคณะ, 1981) นอกจากนี้การเติมปูนมาร์ลซึ่งช่วยยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปอินทรีย์ใน ไตรเจนเป็นอนินทรีย์ใน ไตรเจนเพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ทศนิยม อัดตะนันท์, 2543) อีกทั้งช่วงระยะ 2 สัปดาห์หลังจากการขังน้ำ ใน ไตรเจนที่สลายตัวได้เกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจะถูกปลดปล่อยออกสู่ดินเป็นประโยชน์แก่ข้าว (De Datta, 1981; สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511; ทศนิยม อัดตะนันท์, 2543) ทั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนดังกล่าว ต้นข้าวจะดูดดึงเพื่อไปใช้ประโยชน์เจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (อรรควุฒิ ทศน์สองชั้น, 2527) นอกจากนี้แอมโมเนียมไนโตรเจนจะมีภาวะปฏิปักษ์ (Antagonism) ต่อการดูดอะลูมิเนียม (Al^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ของรากข้าว (ขงยูทอ โอสถสภา, 2546) ซึ่งช่วยลดความเป็นพิษอันเนื่องมาจากธาตุทั้งสองต่อต้นข้าวได้อีกด้วย

ขณะที่ดินหลังเก็บเกี่ยวพบว่าแอมโมเนียมไนโตรเจนที่คงเหลืออยู่ในดิน (รูปที่ 5.3) ที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ หรือถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ มีปริมาณคงเหลือมากกว่าการเติมปุ๋ยเคมี เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจัดเป็นอินทรีย์สารประเภทหนึ่ง ซึ่งจะค่อยๆ เกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีอยู่ให้พืชไปใช้ประโยชน์ (Yongjie และ Yangsheng, 2004) ทำให้ดินไม่ขาดแคลนไนโตรเจนที่มีประโยชน์ อีกทั้งดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเหนียวซึ่งมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงจึงสามารถดูดซับแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ซึ่งเป็นไอออนบวกไว้ไม่ให้ถูกชะละลายไปกับน้ำ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ส่งผลให้ดินคงเหลือปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อการปลูกข้าวในฤดูถัดไป ทั้งนี้ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดิน อุณหภูมิ และปัจจัยอื่นๆ (ทศนิยม อัดตะนันท์, 2543)

ขณะที่ไนเตรทไนโตรเจนของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ เนื่องจากการปลูกข้าวส่วนใหญ่จะมีการขังน้ำไว้ในแปลงนา ส่งผลให้ดินขาดออกซิเจน (O_2) ทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ดินนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้ อีกทั้งไนเตรทไนโตรเจนที่มีอยู่ในดินน่าจะถูกรีดิวซ์ (Reduced) ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) แล้วระบายออกสู่บรรยากาศในที่สุด (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511) ทั้งนี้การสูญเสียไนเตรทไนโตรเจนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 2-3 วันหลังจากการขังน้ำ (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) ส่วนดินหลังเก็บเกี่ยวตรวจไม่พบปริมาณไนเตรทไนโตรเจน อาจเนื่องมาจากดินยังคงมีน้ำขังอยู่ในแปลงนาบางส่วน เพราะสภาพพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นที่ลุ่มทำให้น้ำไม่สามารถระบายออกแปลง ส่งผลให้ดินยังอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน ส่งผลยับยั้งการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ทำให้ไนโตรเจนไม่สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นไนเตรทไนโตรเจนได้

5.2.2 ฟอสฟอรัส

จากผลการศึกษาวิจัยดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.3) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ หรือแกลลอลยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินเทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี หรือการเติมแกลลอลยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทั้งนี้พื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเปรี้ยวจัด ซึ่งฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกตรึงอยู่ในรูปสารประกอบเหล็กและอะลูมิเนียม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) การเติมแกลลอลยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ เป็นการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แก่ดิน ประกอบกับการเติมปูนมาร์ลซึ่งช่วยยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น ช่วยลดฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในรูปสารประกอบเหล็กและอะลูมิเนียม และส่งผลให้เกิดภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ทำให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อต้นข้าวมากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้ซิลิกอนที่มีอยู่มากในแกลลอลยลิกไนต์ (47.06 เปอร์เซ็นต์ SiO_2) น่าจะมีส่วนลดการตรึงฟอสเฟต โดยสารประกอบซิลิเกตจะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว โดยทำปฏิกิริยาเกิดสารประกอบกับเหล็กและอะลูมิเนียม (Takahashi, 1968; สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543; รัตนชาติ ช่วยบุคดา, 2544) จึงส่งผลต่อการเติมแกลลอลยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ต้นต่อไร่ มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นกว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพียงอย่างเดียว ขณะที่การเติมแกลลอลยลิกไนต์อัตรา 2 ต้นต่อไร่ ไม่มีผลเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สู่ดิน อาจเนื่องมาจากฟอสเฟตที่เติมลงในดินโดยทั่วไป พบว่าพืชสามารถดูดดึงได้เพียง 10-25 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่คือ 75-90 เปอร์เซ็นต์ ถูกตรึงอยู่ในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539; วิเชียร ฝอยพิกุล, 2539) ซึ่งละลายน้ำได้ยากหรืออยู่ใน

รูปที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงยากที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Haseman, Brown และ White, 1950)

สำหรับดินหลังเก็บเกี่ยวนั้นพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน (รูปที่ 5.3) ที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือแกลลยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ คงเหลืออยู่ในดินมากกว่าดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมี หรือเติมแกลลยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่คงเหลืออยู่ในดินจัดอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เมื่อใช้เกณฑ์ประเมินของถวิล ครุฑกุล (2530) ที่เสนอว่าระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสปานกลาง เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 7-17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางภาคผนวกที่ ก-3) และเมื่อใช้เกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จिरพงษ์ ประสิทธิ์เขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) พบว่าปริมาณดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง (P_2O_5 เท่ากับ 15-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางภาคผนวกที่ ก-4)

5.2.3 โปแทสเซียม

ศักยภาพของดินในการปลดปล่อยโปแทสเซียมขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ดินเหนียวชนิดของแร่ดินเหนียวและความมากน้อยของการผ่านกระบวนการกำเนิดดิน (Suwanarit และ Narkviroj, 1976) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) การเติมแกลลยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือการเติมแกลลยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณโปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.3) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมี อาจเนื่องมาจากแกลลยลิกในดินมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจัดอยู่ในเกณฑ์สูง (ตารางภาคผนวกที่ ก-2) (C.E.C. แกลลยลิกในดิน เท่ากับ 30.00 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ประเมินระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (สุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; วราภรณ์ คุณวานากิจ, 2530) ขณะที่กากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจัดอยู่ในเกณฑ์สูงเช่นเดียวกัน (C.E.C. กากตะกอนน้ำเสียชุมชน เท่ากับ 32.84 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม) จึงส่งผลช่วยดูดซับโปแทสเซียมไม่ให้ถูกชะลหายไปกับน้ำ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินทุกคำรับทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากดินที่ศึกษาจัดครั้งนี้เป็นดินเหนียว ซึ่งองค์ประกอบที่เป็นแร่ดินเหนียว จะดูดซับโปแทสเซียมไว้และสามารถปลดปล่อยโปแทสเซียมออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511; มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

สำหรับดินหลังเก็บเกี่ยว (รูปที่ 5.3) พบว่าดินที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลืออยู่ในดินมากกว่าค่ารับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี หรือเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ของถวิล ครุฑกุล (2530) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่คงเหลือจัดอยู่ในระดับสูง (K_2O มากกว่า 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางภาคผนวกที่ ก-5) และเมื่อใช้เกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิ์เชตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973) พบว่าปริมาณดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์สูงมาก (K_2O มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางภาคผนวกที่ ก-6) ทั้งนี้ดินนาส่วนใหญ่ของประเทศไทยมักพบปริมาณโพแทสเซียมในดินค่อนข้างสูง เนื่องจากองค์ประกอบของดินที่เป็นแร่ดินเหนียวซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญของโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ โดยจะดูดซับโพแทสเซียมไว้และสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511; มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

สรุปได้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีศักยภาพการเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยอันได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้แก่ต้นข้าวได้ เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี อีกทั้งปริมาณดังกล่าวยังเพียงพอสำหรับเป็นแหล่งของธาตุปุ๋ยในการปลูกข้าวครั้งต่อไป ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่สามารถเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยที่ครบถ้วนแก่ต้นข้าวได้ โดยสามารถเป็นแหล่งโพแทสเซียมที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวเพียงอย่างเดียว

5.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณธาตุปุ๋ย

5.2.4.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ และหลังเก็บเกี่ยว (รูปที่ 5.4) พบว่า ทุกค่ารับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยมาร์ลอัตรา 5 ตันต่อไร่ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนเพาะปลูก (pH เท่ากับ 3.53) โดยดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นมากกว่า 1 pH unit สำหรับดินหลังเก็บเกี่ยว พบว่าดินที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ เพียงอย่างเดียว หรือกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ เพียงอย่างเดียว หรือเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ และดินเค็ม (ปุ๋ยมาร์ล) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นจากดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ สำหรับดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีพบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงเมื่อเทียบค่ารับทดลองอื่นๆ ที่มีการเติมปุ๋ยมาร์ลเพื่อปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้สูงขึ้น อาจเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 และปุ๋ยยูเรีย ซึ่งเป็นปุ๋ยที่มีไนโตรเจนอยู่ในรูป

แอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อเติมลงสู่ดินในช่วงระยะแรก ดินยังคงมีออกซิเจนสะสมอยู่ แอมโมเนียมซัลเฟตที่อยู่ในปุ๋ยอาจถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นไนเตรทในโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และขณะที่เปลี่ยนเป็นไนเตรทในโตรเจนก็จะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรดมากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีลงสู่ดินจะส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง และเมื่อใส่ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ก็จะส่งผลตกค้างของความเป็นกรดต่อดินเพิ่มขึ้น ส่วนตำรับทดลองที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ นั้นพบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่แตกต่างจากดินเดิม (ปูนมาร์ล) ทั้งที่ความเป็นกรดเป็นด่างของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีค่าเท่ากับ 5.67 ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับกรดปานกลาง อาจเป็นเพราะอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่เติมลงสู่ดิน ส่งเสริมให้ดินมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี (Buffering capacity) อันเนื่องมาจากประจุลบจำนวนมากในอินทรีย์วัตถุช่วยดูดซับแคตไอออนพวกไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างจัดได้ว่าเป็นกรดปานกลางลงสู่ดิน พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่แตกต่างทางสถิติกับดินเดิม (ปูนมาร์ล) (Kuntz และคณะ, 1984; Siriratpiriya และคณะ, 1985) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 10.55 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นด่างจัดมาก แต่พบว่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ไม่แตกต่างทางสถิติจากดินเดิม (ปูนมาร์ล) อาจเนื่องมาจากอำนาจในการทำให้เป็นกลาง (Neutralizing value) ของเถ้าลอยลิกไนต์ต่ำมาก โดยอรวรรณ ศิริรัตน์ พิริยะ และคณะ (2546) พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ที่อัตราเดิม 0.5-4 ตันต่อไร่ สามารถยกระดับดินเปรี้ยว (ดินเหนียวและดินร่วน) ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับการเติมปูนมาร์ล

สาเหตุที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่มีการเติมปูนมาร์ลอัตรา 5 ตันต่อไร่ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากปูนมาร์ลที่ใส่ลงไปดินที่เปียกชื้นจะเกิดปฏิกิริยากับสารละลายดิน (Soil solution) ทำให้เกิดสารประกอบในรูปไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) เช่น แคลเซียมไบคาร์บอเนต $Ca(HCO_3)_2$ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจะแตกตัวให้แคตไอออนที่เป็นเบส (Basic cation) เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) โดยแคตไอออนดังกล่าวจะเข้าไปไล่ที่ ไฮโดรเจนที่ถูกดูดซับ (Adsorbed H^+) อยู่ที่พื้นผิวของคอลลอยด์ โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่ถูกไล่ออกมาจะทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) กลายเป็นไฮโดรเจนคาร์บอเนต (H_2CO_3) หรือน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีแคลเซียม (Ca) หรือแมกนีเซียม (Mg) ที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ดินมีอัตราร้อยละอิ่มตัวด้วยเบส (Base saturation percentage) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และผลของปูนมาร์ลที่เติมลงไปจะมีผลตกค้างอยู่ในดิน 4-5 ปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) ซึ่งช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการเพาะปลูกถัดไป และช่วยในการคงระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

นอกจากนี้อิทธิพลจากการขังน้ำในแปลงนาก่อนปลูกข้าวน่าจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินนาเมื่อขังน้ำออกซิเจนที่มีอยู่ในดินนาจะหายไปหมดภายใน 2-3 วันหลังจากการขังน้ำ (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) ส่งผลให้ค่ารีดอกซ์ (Redox potential) ของดินลดลง ดินนาจึงอยู่ในสภาพรีดิวซ์ (Reduced condition) สภาพะดังกล่าวสารประกอบพวกเฟอร์ริก (Fe^{3+}) จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นสารประกอบเฟอร์รัส (Fe^{2+}) (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2511) ทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ถูกปลดปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543) แต่ที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างดังกล่าว ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังไม่สามารถละลายออกมาสู่ดินได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากธาตุดังกล่าวจะละลายออกมาได้มากที่สุดเมื่อระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินใกล้เคียงกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

ทั้งนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เดิมปูนมาร์ลอัตราเดิม 5 ตันต่อไร่ เพื่อปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินก่อนเพาะปลูกนั้นมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณไว้ อาจเนื่องมาจากพื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเปรี้ยวจัดซึ่งดินมีการสะสมของแร่ไพไรต์ (FeS_2) อยู่ปริมาณสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) ซึ่งแร่ไพไรต์ดังกล่าวเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นจาร์โรไซด์และกรดกำมะถันขึ้น การเกิดกรดกำมะถันขึ้นส่งผลให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง ประกอบกับพื้นที่ทำการศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้เป็นดินเปิดใหม่จึงมีพัฒนาการและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ดินยังมีอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ และหลังเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นไม่ถึง 7.00

สรุปได้ว่าการเติมเถ้าลอยถิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน

5.2.4.2 อินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ และเถ้าลอยถิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ และหลังเก็บเกี่ยว (รูปที่ 5.5) พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับค่ารับทดลองอื่นๆ อาจเนื่องมาจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนจัดเป็นอินทรีย์สารประเภทหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (OM เท่ากับ 11.43 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้การเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือเถ้าลอยถิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินให้เพิ่มขึ้น โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นยังช่วยในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออนที่เป็นประโยชน์

ไม่ให้ถูกชะละลายสูญหายไปกับน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของอินทรีย์วัตถุประกอบไปด้วยประจุบวก และประจุลบจำนวนมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลืออยู่ในดินหลังเก็บเกี่ยวเกี่ยวจากการเติม กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือแกลลยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ จะเป็นประโยชน์ต่อการเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืชใน ฤดูปลูกถัดไปได้อีกด้วย (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2529) โดยเฉพาะไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ทั้งนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวยังมีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพของดิน โดยกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถปรับปรุงลักษณะทาง กายภาพของดิน ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น โดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุนและเพิ่ม ความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน เพิ่มความชุ่มชื้นของดิน รักษาเนื้อดินให้คงอยู่ (ปรัชญา รัชัญญาดี, 2532; Guidi, 1983; Hall, 1984; Hasit, 1986; Peterson และคณะ, 1979; Sopper, 1993; Pichtel และ คณะ, 1994) โดยเฉพาะดินที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเหนียว ซึ่งจัดเป็นดินที่ประกอบไปด้วยขนาด ดินที่มีอนุภาคละเอียด อินทรีย์วัตถุช่วยทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทของ อากาศและระบายน้ำได้ดีตลอดจนลดความเหนียว ทำให้การไถพรวนสะดวกมากขึ้น (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่คงเหลืออยู่ในดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ และแกลลยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ อยู่ในระดับเดียวกับดินที่ใช้ในการเกษตรทั่วไปจะมีค่าอินทรีย์วัตถุอยู่ระหว่าง 1-3 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินหลังเก็บเกี่ยวในทุกคำรับ ทดลองนั้นลดลงจากหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ เนื่องจากอินทรีย์วัตถุบางส่วนเกิดการ ย่อยสลายแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้แก่ต้นข้าว สำหรับดินที่มีการเติมแกลลยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่พบนั้นน้อยมาก อาจเนื่องมาจากการเผาไหม้ถ่านหินที่ อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้อินทรีย์วัตถุใน แกลลยลิกไนต์ถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูป/สภาพกลายเป็นก๊าซ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

อาจกล่าวได้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ช่วย เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน และปริมาณที่คงเหลืออยู่ในดินจะเป็นประโยชน์แก่ต้นข้าวในฤดู ปลูกถัดไปและในระยะยาว

5.2.1.3 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.6) พบว่าทุกคำรับทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจาก

อินทรีย์วัตถุของดินจากการเติมสิ่งทดลองต่างๆ นั้นยังมีปริมาณไม่สูงพอหรือการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์จึงยังไม่เพิ่มค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

สำหรับดินหลังเก็บเกี่ยวพบว่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ อาจเนื่องมาจากความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินจะขึ้นกับปริมาณและชนิดของอนุภาคดินเหนียวและปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน การเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นการช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ซึ่งดินที่มีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นก็พลอยมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนตามไปด้วย เพราะฮิวมัสในอินทรีย์วัตถุนั้นมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงถึง 200-300 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) สำหรับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินในตำรับทดลองอื่นๆ ภายหลังเก็บเกี่ยวยังคงอยู่ในระดับสูงเทียบเท่ากับที่ควรจะมีอยู่ในดินเหนียว (C.E.C. ของดินเหนียว เท่ากับ 22-63 มิลลิกรัมสมมูลต่อดิน 100 กรัม) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินบ่งชี้ให้ทราบว่าดินมีความสามารถในการเก็บรักษาธาตุอาหารพืชไว้เป็นประโยชน์ได้ยาวนาน รวมทั้งสามารถป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างหน้าดินหรือภาวะการไหลซึมตามหน้าตัดของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; อรรวรรณ ศิริวัตรพิริยะ, 2544)

จึงอาจกล่าวได้ว่าการเติมถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนให้แก่ดิน ซึ่งช่วยเก็บรักษาธาตุอาหารพืชไว้เป็นประโยชน์ได้ยาวนาน รวมทั้งสามารถป้องกันการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากการชะล้างหน้าดินหรือภาวะการไหลซึมตามหน้าตัดของดิน

5.3 ธาตุพืช

การใช้ประโยชน์ถ้ำลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปลูกข้าวนอกจากจะเป็นการเติมธาตุปุ๋ยลงสู่ดิน ซึ่งจะทำให้ต้นข้าวมีโอกาสได้รับธาตุปุ๋ยได้อย่างเพียงพอแล้ว ก็มีโอกาสที่จะดูดดึงธาตุพืชจากถ้ำลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ไปสะสมยังส่วนต่างๆ ของต้นข้าว รวมถึงเมล็ดข้าวซึ่งเป็นส่วนที่นำไปบริโภค โดยธาตุพืชที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือสารหนูและแคดเมียม (รูปที่ 5.7) ซึ่งธาตุทั้งสองสามารถละลายน้ำได้ดี ทั้งนี้หากต้นข้าวดูดดึงสารหนูจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อรากข้าว ส่งผลยับยั้งการดูดดึงธาตุอาหารต่างๆ ของต้นข้าว (Abedin และคณะ, 2002) ขณะที่แคดเมียมจะพบอาการผิดปกติ คือ การเจริญของรากลดลงและเกิดการเน่าเปื่อย ส่งผลให้ต้นข้าวแคระแกร็น รวมถึงเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง (สันติ บุญฟ้าประทาน,

2526; Hewitt, 1953) ทั้งนี้การละลายของธาตุพิษออกมาสู่ดิน ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณอินทรีย์วัตถุ

5.3.1 ปริมาณธาตุพิษของดิน เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน ก่อนเพาะปลูก

5.3.1.1 สารหนู

เมื่อพิจารณาปริมาณสารหนูของดินพื้นที่ศึกษาวิจัยพบว่าที่ปริมาณทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 3.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณที่สกัดได้ซึ่งสกัดด้วย DTPA มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของสารหนูที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณดังกล่าวน้อยกว่าปริมาณสารหนูของดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่พืชที่ระดับ 15-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pendias และ Pendias, 1992)

ขณะที่ปริมาณสารหนูของเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 4.41 และ 0.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารหนูทั้งหมดของเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีค่าสูงถึง 23.39 และ 10.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารหนูทั้งหมดของเถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชคือ ที่ระดับ 15-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pendias และ Pendias, 1992) ส่วนปริมาณสารหนูทั้งหมดของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน้อยกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช

5.3.1.2 แคดเมียม

สำหรับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ของดินมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ขณะที่ปริมาณแคดเมียมในเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 0.10 และ 0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมีค่าสูงถึง 1.98 และ 2.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณดังกล่าวน้อยกว่าปริมาณแคดเมียมในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่พืชโดยปริมาณแคดเมียมที่ระดับ 3-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pendias และ Pendias, 1992) จะก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่ต้นข้าวได้



ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณธาตุพิษ (สารหนูและแคดเมียม) ของดิน และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนก่อนเพาะปลูกดังกล่าวมีน้อยมากจนไม่น่าก่อให้เกิดปัญหาต่อการเพาะปลูกข้าว ขณะที่ปริมาณสารหนูที่พบในถ้ำลอยลิกไนต์อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อการปลูกข้าวได้

5.3.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณธาตุพิษ

การละลายของโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษของสิ่งทดลองถูกควบคุมด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง และอินทรีย์วัตถุ

1) ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน มีความสัมพันธ์ต่อการละลายของโลหะหนัก ทั้งนี้การเติมสิ่งทดลองดังกล่าวลงสู่ดิน อาจเกิดความเสี่ยงของธาตุพิษต่อต้นข้าวที่เพาะปลูกและกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยสะสมตามห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินก่อนเพาะปลูกจัดเป็นกรดรุนแรงมาก (pH เท่ากับ 3.53, ตารางที่ 4.1) การยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้การดูดซับโลหะหนักของพืชลดลงได้ เนื่องจากไอออนของโลหะหนักต่างๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลงเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (Davies, 1980; Siriratpiriya และคณะ, 1985) ส่งผลให้การดูดซับโลหะหนักของต้นข้าวลดลง

2) อินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินที่สูงจะช่วยลดการละลายของโลหะหนักที่เป็นธาตุพิษของดินได้ (Siriratpiriya และคณะ, 1985) โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุ (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินก่อนปลูกพบว่ามีความเท่ากับ 0.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจัดอยู่ระดับต่ำ (เล็ก มอญเจริญ, 2522) ส่งผลจำกัดต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุ ซึ่งช่วยลดการละลายของธาตุพิษสู่ดินได้

ถึงแม้ว่าปริมาณสารหนูและแคดเมียมที่อยู่ในสิ่งทดลองดังกล่าวจะน้อยมากจนไม่น่าก่อให้เกิดปัญหาต่อการเพาะปลูกข้าว แต่ปริมาณสารหนูและแคดเมียมที่พบในถ้ำลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน อาจชะละลายออกมาสู่ดินและสิ่งแวดล้อมได้ เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายธาตุพิษ การเติมถ้ำลอยลิกไนต์และกากตะกอนจึงควรยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงกว่า 6.5 (Hyde และคณะ, 1979; Kuntz และคณะ, 1984) เพื่อลดความเสี่ยงจากธาตุพิษที่ชะละลายลงสู่ดิน นอกจากนี้การยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินดังกล่าวยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นไปอย่างเหมาะสม

5.3.2 ปริมาณธาตุพิษของดินที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

5.3.2.1 สารหนู

ปริมาณสารหนูทั้งหมดของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ (รูปที่ 5.8) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับค่ารับทดลองอื่นๆ แต่ปริมาณดังกล่าวยังน้อยกว่า ปริมาณสารหนูของดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษแก่พืชที่ระดับ 15-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Pendias และ Pendias, 1992) และอยู่ในระดับมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดคือ ระดับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินต้องมีค่าไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียว เหล็ก ออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์สูง จึงสามารถดูดซับและตรึงสารหนูได้ (O' Neill, 1993) ประกอบกับระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่และอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น ช่วยลดการละลายของ สารหนูลง โดยเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้ปริมาณสารหนูที่สกัดได้ (รูปที่ 5.9) ในทุกค่ารับทดลองน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของสารหนู ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม

สำหรับดินหลังเก็บเกี่ยว พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ มีแนวโน้มปริมาณสารหนูทั้งหมดเพิ่มขึ้นจาก ค่ารับทดลองที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะทางเคมีของสารหนูคล้ายกับธาตุฟอสฟอรัส จึงทำให้สารหนูที่ถูกตรึงไว้ในดินถูกปลดปล่อยละลาย ออกมาสู่ดิน การเติมสิ่งทดลองที่มีฟอสฟอรัสลงสู่ดินจึงเป็นการเพิ่มปริมาณสารหนูให้ละลายออกสู่ ดินมากขึ้น (National academy of Science, 1977) ทั้งนี้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่คงเหลืออยู่ในดิน หลังเก็บเกี่ยวยังอยู่ในระดับมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนด นอกจากนี้ปริมาณ สารหนูที่สกัดได้ในทุกค่ารับทดลองน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่ง สามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของสารหนูที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับดินก่อนเพาะปลูกและหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอัตราการเติม เถ้าลอยลิกไนต์และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไม่สูงมากพอจนก่อให้เกิดอันตรายต่อพืชและระดับ สารหนูที่ปนเปื้อนในดินตามมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนด

5.3.2.2 แคดเมียม

แคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์ และ หลังเก็บเกี่ยว (รูปที่ 5.10 และ 5.11) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ หรือเติม กากตะกอนน้ำเสียชุมชน 0.5 ตันต่อไร่ และทุกค่ารับทดลองมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจ

พบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของแคดเมียมที่ระดับความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้นทำให้การละลายของแคดเมียมลดลง (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543; Andersson และ Nilsson, 1974; Mengel และ Kirkby, 1982; Siriratpiriya และคณะ, 1985) อีกทั้งดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียวมาก แคดเมียมทำปฏิกิริยาดกตะกอนกับไฮดรอกไซด์ (Hydrous oxides) ของเหล็กและอะลูมิเนียม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อีกทั้งการดูดซับแคดเมียมจะลดลงเมื่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน (Haghiri, 1974) ซึ่งการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน จึงทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่สกัดได้ของดินมีค่าน้อยกว่าปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชซึ่งอยู่ในค่า 3-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อาจสรุปได้ว่าการเติมถ่านลอยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ ส่งผลให้ปริมาณธาตุพิษ (สารหนูและแคดเมียม) ทั้งหมดและปริมาณที่สกัดได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้วย โดยระดับมาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดคือ ระดับสารหนูที่ปนเปื้อนในดินต้องมีค่าไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณสารหนูและแคดเมียมที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชซึ่งอยู่ในค่า 15-50 และ 3-5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

5.4 ปริมาณและคุณภาพของข้าว

ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกจากพื้นที่เก็บเกี่ยวและองค์ประกอบผลผลิต (รูปที่ 5.12) เป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพการเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยของ ถ่านลอยลิกในดิน กากตะกอนน้ำเสียชุมชน ในการปลูกข้าว ขณะที่คุณภาพข้าวพิจารณาจากการสะสมของธาตุพิษ (สารหนูและแคดเมียม) ในข้าวกล้อง (รูปที่ 5.13 และ 5.14) เนื่องจากการเติมถ่านลอยลิกในดินและกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

5.4.1 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก

การเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ และถ่านลอยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน 0.5 ตันต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวดําแห้ง 17 (166.11 และ 152.60 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ) ได้เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี (174.14 กิโลกรัมต่อไร่) หรือการเติมถ่านลอยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (164.52 กิโลกรัมต่อไร่) โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม (ควบคุม) ดินเดิม (ปูนมาร์ล) หรือการเติมถ่านลอยลิกในอัตรา 2 ตันต่อไร่ เพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับ Nakaji และคณะ (2002) ได้ศึกษาโดยนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว พบว่า

ผลผลิตของข้าวที่ได้เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี และผลผลิตที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนยังเพิ่มขึ้นกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเมื่อใช้ปลูกข้าวในฤดูถัดไปอีกด้วย เช่นเดียวกับ Tsadilas และคณะ (2002) ที่นำแฉ่ำลอยลิกไนต์ใช้ประโยชน์ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปลูกข้าวสาลี พบว่าผลผลิตข้าวสาลีที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเทียบกับการเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี

เมื่อคำนวณผลผลิตของเมล็ดข้าวเปลือกโดยใช้องค์ประกอบผลผลิต พบว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 มีโอกาสได้รับมากถึง 669.21 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือ 709.89 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ เทียบเท่าได้กับการเติมปุ๋ยเคมี ซึ่งมีโอกาสได้รับมากถึง 670.95 กิโลกรัมต่อไร่ และ 727.17 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทั้งนี้ผลผลิตที่มีโอกาสได้รับอาจเป็นผลมาจากปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยที่เพียงพอกับการปลูกข้าว และเมื่อรวมกับฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมที่มีอยู่ในแฉ่ำลอยลิกไนต์ เป็นการช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ต้นข้าวทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จึงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การเติมปูนมาร์ลเพื่อปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เพิ่มขึ้นก็ช่วยส่งเสริมให้ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของดินเพิ่มขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) โดยส่งผลให้ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงด้วยเหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแมงกานีส (Mn) ลดลง ส่งผลให้ฟอสฟอรัสละลายออกมาเป็นประโยชน์มากขึ้น และช่วยทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ เช่น กระบวนการปลดปล่อยธาตุอาหาร (Mineralization) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์โดยเฉพาะไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เช่นเดียวกับดินเดิมที่มีการเติมปูนมาร์ล (351.50 กิโลกรัมต่อไร่) พบว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม (ควบคุม) (137.06 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่การเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ (492.39 กิโลกรัมต่อไร่) เพียงอย่างเดียว พบว่าปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับทดลองที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและปุ๋ยเคมี อาจเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในแฉ่ำลอยลิกไนต์มีน้อยจนเป็นธาตุที่จำกัดปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกตามหลักปัจจัยที่ขาดแคลน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ถึงแม้ว่าแฉ่ำลอยลิกไนต์จะมีธาตุโพแทสเซียมและธาตุอื่นๆ ปริมาณมากก็ตามแต่ผลผลิตจะไม่เพิ่มขึ้นหากไม่มีการเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้เพียงพอลงสู่ดิน เช่นเดียวกับ Rautary และคณะ (2003) ที่ได้เติมแฉ่ำลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีและอินทรีย์สารประเภทต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก พบว่าผลผลิตข้าวสาลีที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมแฉ่ำลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียว

ทั้งนี้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้รับยังต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบผลผลิต อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่ปรับแล้ว (pH เท่ากับ 4.85) ยังต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว โดย Ponamperuma (1978) เสนอไว้ที่ความเป็นกรดเป็นด่างที่ 6.60 ที่ระดับความเป็นกรดเป็นด่างดังกล่าวไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังไม่สามารถละลายออกมาสู่ดินได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากธาตุดังกล่าวจะละลายออกมาได้มากที่สุดเมื่อระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินใกล้เคียงเป็นกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) อีกทั้งแร่ไพไรท์ที่สะสมอยู่มากในดินเปรี้ยวจัดเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นจาร์โรไซด์และกรดกำมะถันขึ้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) การเกิดกรดกำมะถันส่งผลให้ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง จนยับยั้งการเจริญเติบโตของต้นข้าว นอกจากนี้พื้นที่ศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดินเปิดใหม่จึงมีพัฒนาการและความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินยังคงมีอิทธิพลของวัตถุต้นกำเนิดมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จึงน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตที่คำนวณจากองค์ประกอบผลผลิต

สรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ หรือ แฉะลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ สามารถเป็นแหล่งธาตุปุ๋ยที่เพียงพอแก่การปลูกข้าว โดยปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้เทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี หรือแฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ขณะที่การเติมแฉะลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวให้ผลผลิตน้อยกว่าการเติมปุ๋ยเคมีหรือกากตะกอนน้ำเสียชุมชน

5.4.2 ปริมาณธาตุพิษในข้าวกล้อง

5.4.2.1 สารหนู

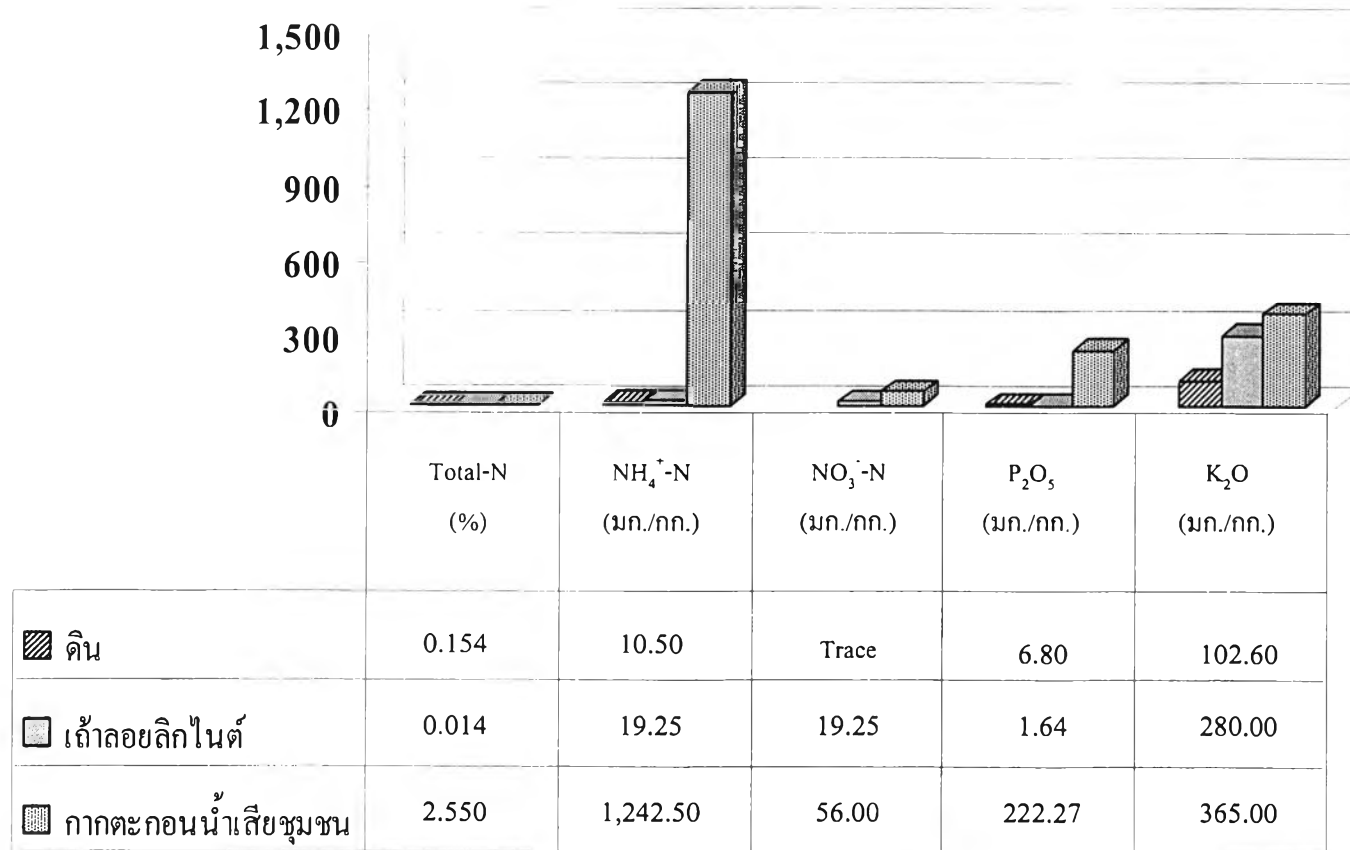
สารหนูในข้าวกล้องจากแปลงนาที่มีการเติมแฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ (0.1483 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ (0.1380 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.1530 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม (ควบคุม) (0.0687 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดินเดิม (ปทุมมา) (0.0600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การเติมปุ๋ยเคมี (0.0687 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) หรือการเติมกากตะกอนน้ำเสียชุมชน 0.5 ตันต่อไร่ (0.0817 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้ปริมาณสารหนูที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากสารหนูมีเคมีนิสคล้ายกับฟอสเฟต จึงอาจทำให้สารหนูที่ละลายออกมาจากแฉะลอยลิกไนต์ถูกต้นข้าวดูดดึงไปส่วนต่างๆ มากขึ้น (National academy of Science, 1977) อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูที่ตรวจพบดังกล่าวยังอยู่ในมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้มีปริมาณสารหนูไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สุนทรื สิงหนุตตรา, 2541) นอกจากนี้

การปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้เพิ่มขึ้น ไอออนของโลหะหนักต่างๆ ในรูปที่เปลี่ยนประจุได้และละลายน้ำได้จะมีปริมาณลดลง (Davies, 1980; Siriratpiriya และคณะ, 1985) ส่งผลให้ปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดซับลดลง อีกทั้งสารหนูในรูปแอนไอออน เช่น AsO_4^{3-} สามารถทำปฏิกิริยาคตะกอนกับไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม (Hydrous oxides) (Fe และ Al) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ทำให้ปริมาณสารหนูที่พบในข้าวกล้องอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

5.4.2.2 แคลเซียม

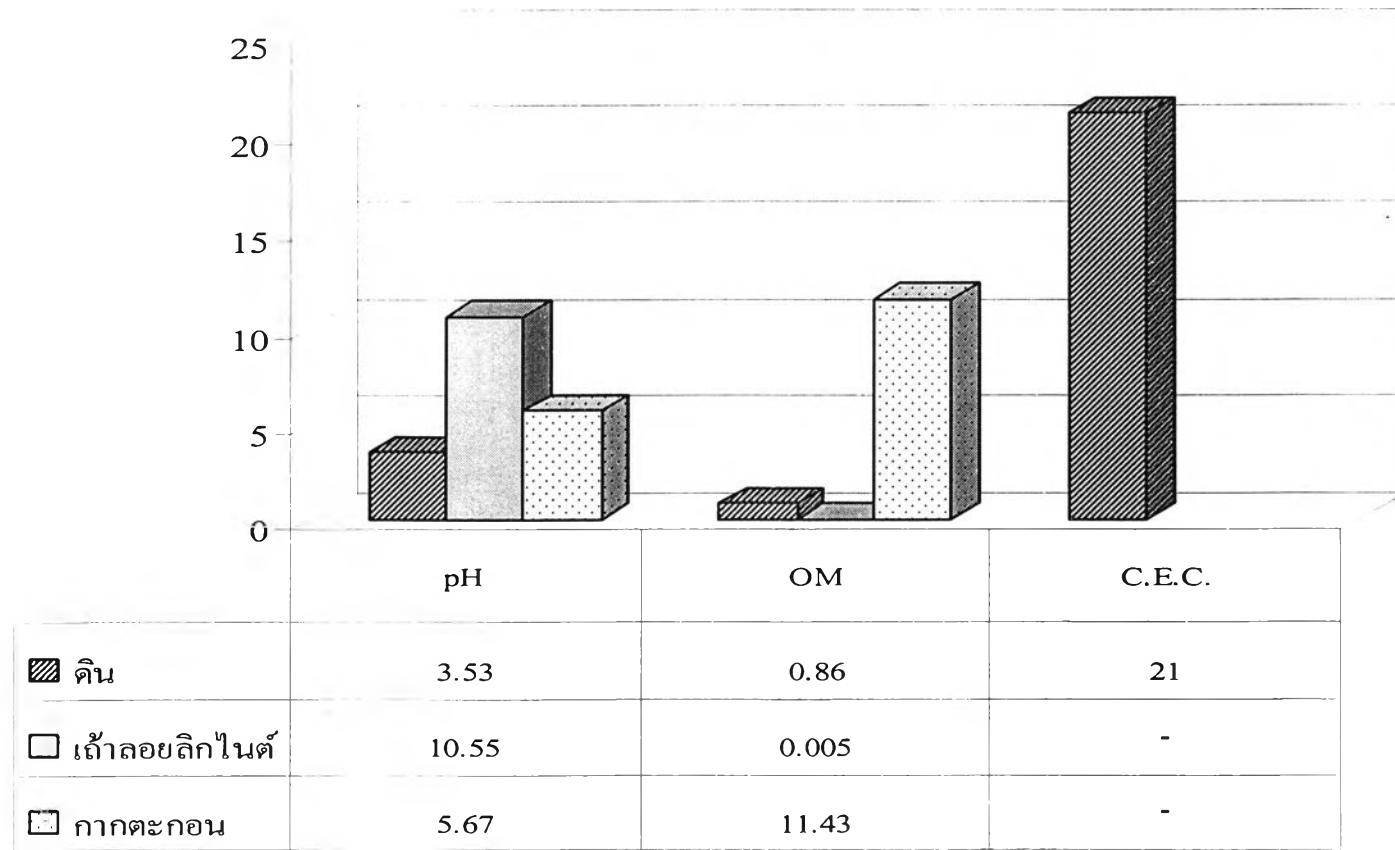
ปริมาณแคลเซียมในข้าวกล้องทุกตำรับทดลอง พบว่ามีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของแคลเซียมที่ระดับความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมาตรฐานอาหารที่มีสารโลหะหนักปนเปื้อนตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้มีปริมาณแคลเซียมไม่เกิน 0.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คุณิ สุทรปรียาศรี, 2532) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นทำให้การละลายได้ของแคลเซียมลดลง (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2543; Andersson และ Nilsson, 1974; Mengel และ Kirkby, 1982; Siriratpiriya และคณะ, 1985) อีกทั้งดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียว ซึ่งแคลเซียมทำปฏิกิริยาคตะกอนกับกับไฮดรอกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม (Hydrous oxides) (Fe และ Al) โดยแคลเซียมชอบสะสมอยู่ในพีชกินไบมากกว่าเมล็ด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงทำให้ปริมาณแคลเซียมในข้าวกล้องที่ตรวจพบในครั้งนี้นี้น้อยมากจนไม่น่ากังวล

สรุปได้ว่าความเสี่ยงจากธาตุพิษ (สารหนูและแคลเซียม) สำหรับการบริโภคข้าวกล้องที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนน้อยมากจนไม่น่ากังวลจึงส่งผลต่อการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปลูกข้าวได้อย่างปลอดภัย



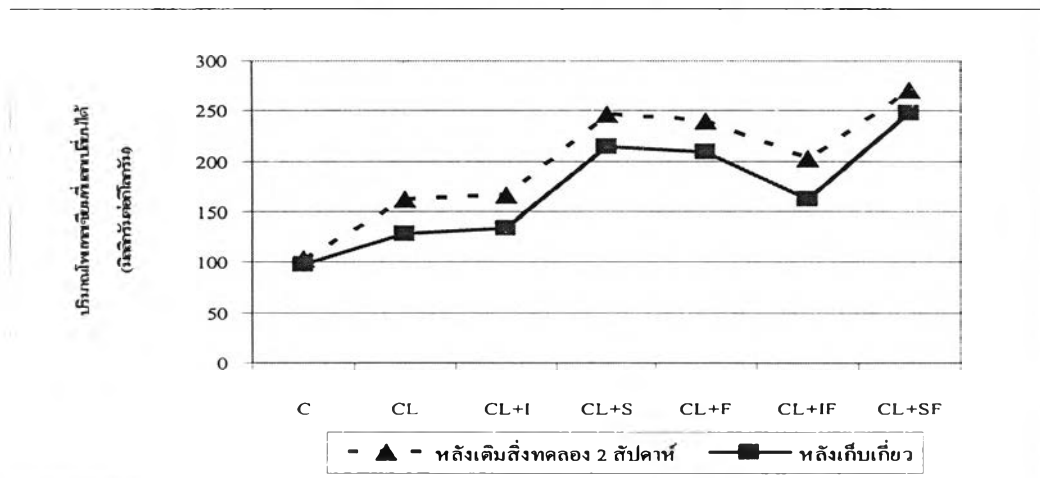
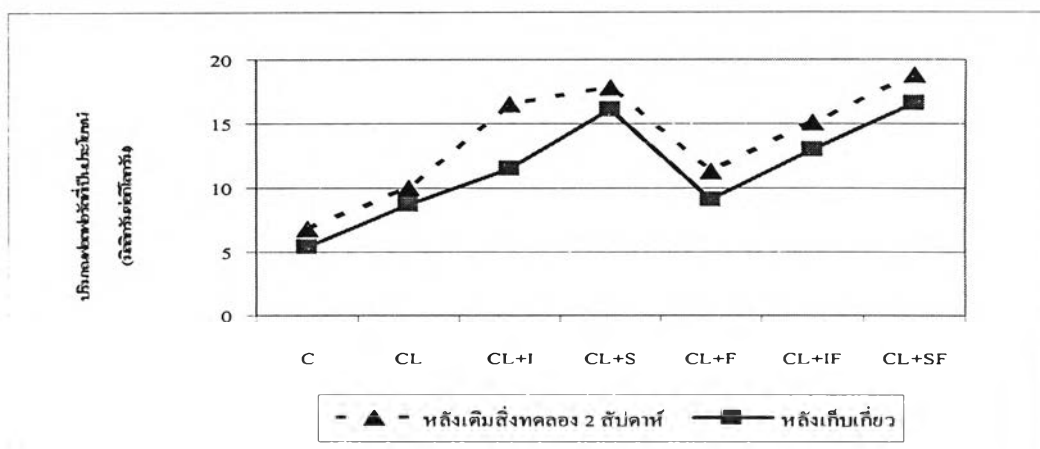
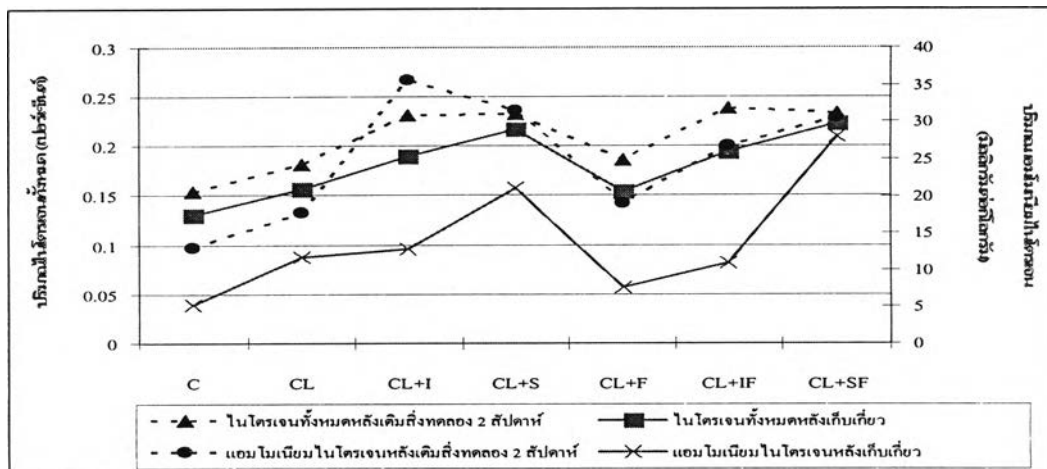
รูปที่ 5.1 ปริมาณธาตุปุ๋ยของดิน เถ้าลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนก่อนเพาะปลูก

หมายเหตุ: Trace หมายถึง ปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบ



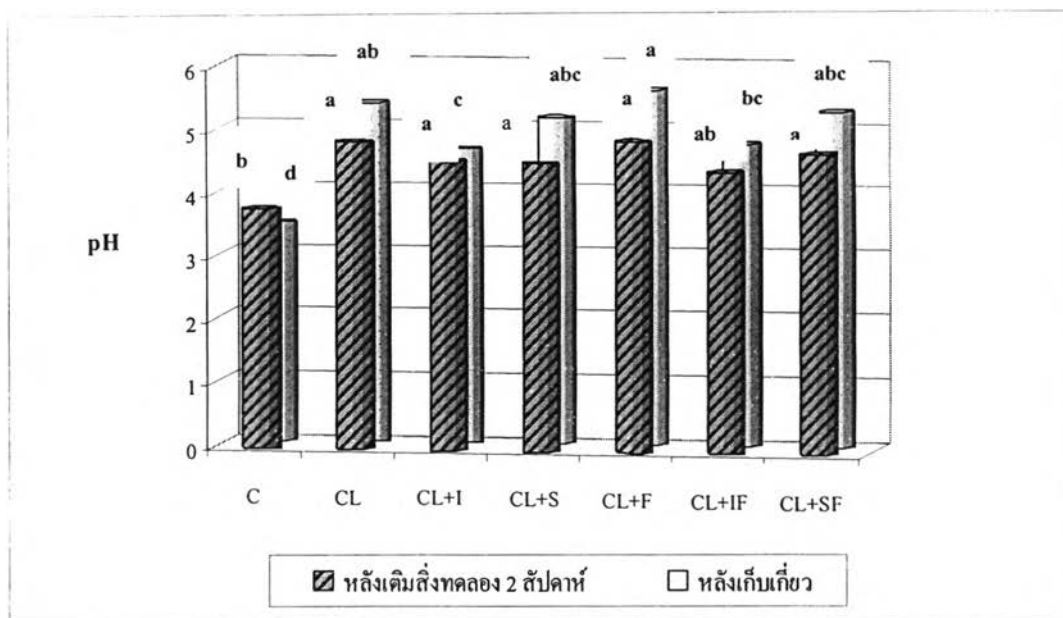
รูปที่ 5.2 ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ใต้ออยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนก่อนเพาะปลูก

หมายเหตุ : หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

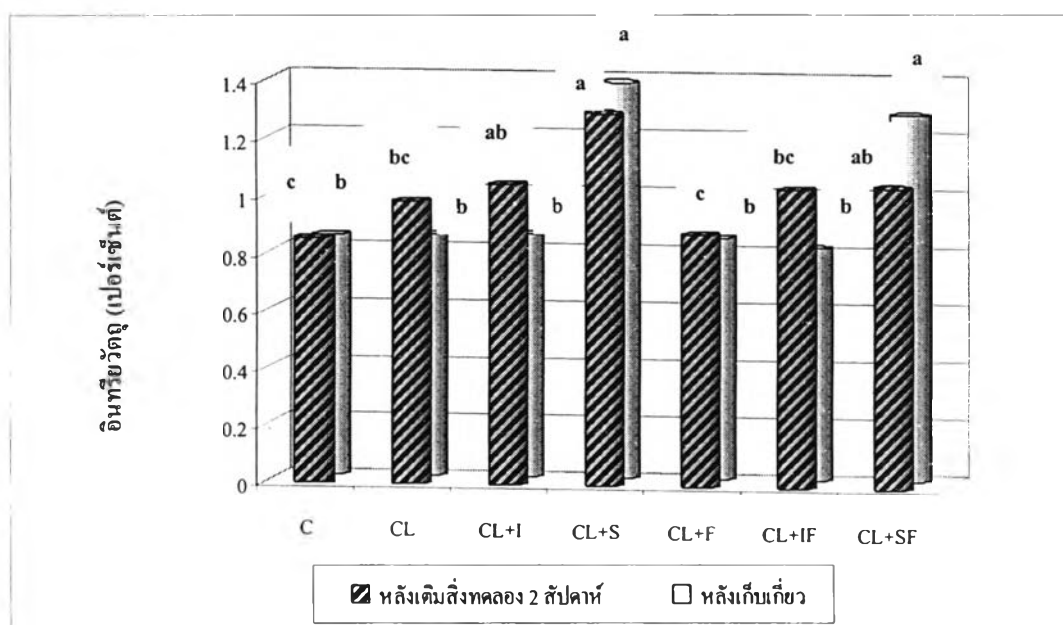


รูปที่ 5.3 ปริมาณธาตุปุ๋ยของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ : C = ดินเดิม , CL = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล),
 CL + I = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,
 CL + S = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,
 CL + F = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล) + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,
 CL + IF = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ,
 CL + SF = ดินเดิม (ปุ๋ยมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่



รูปที่ 5.4 ความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว



รูปที่ 5.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ : C = ดินเดิม , CL = ดินเดิม (ปูนมาร์ล),

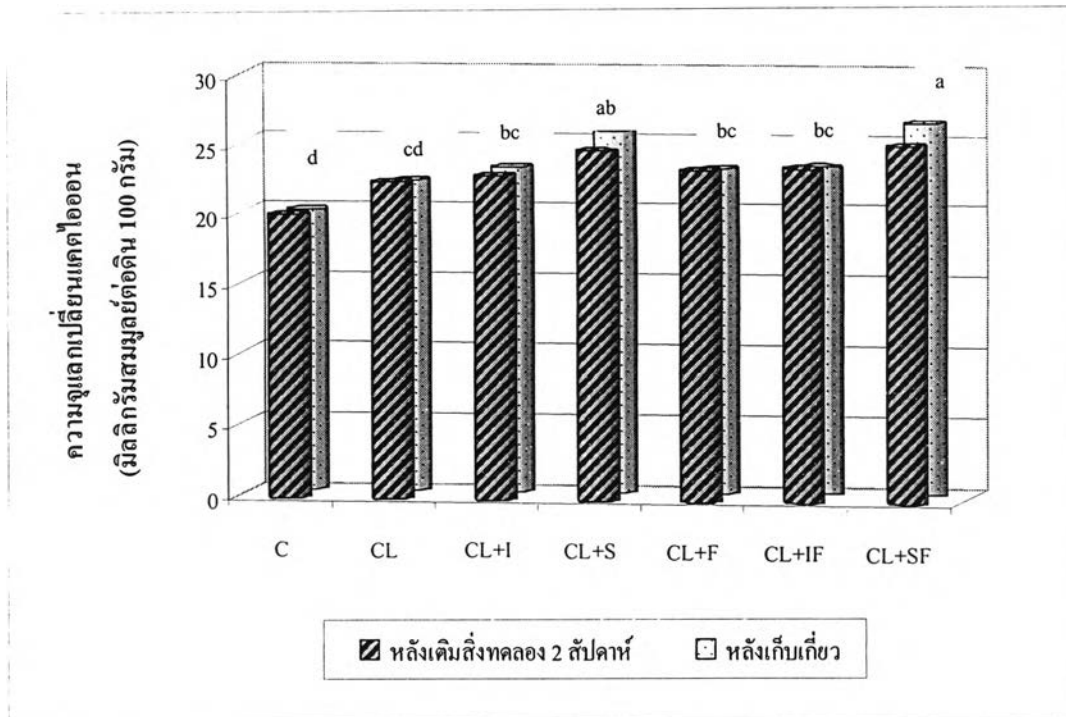
CL + I = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ใยเคมี,

CL + S = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,

CL + F = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

CL + IF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ใยเคมี + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

CL + SF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่



รูปที่ 5.6 ความจุแกลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ : C = ดินเดิม , CL = ดินเดิม (ปูนมาร์ล),

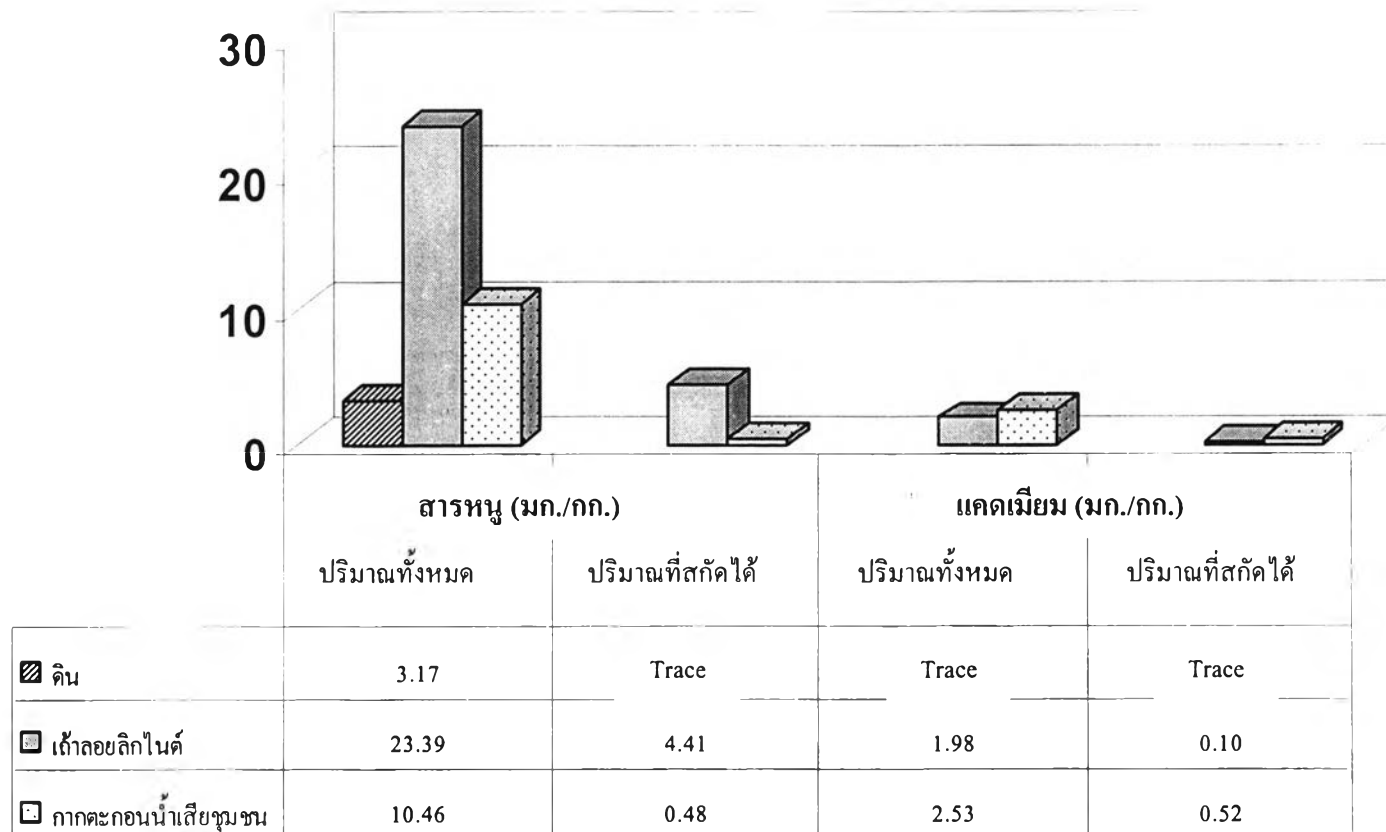
CL + I = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,

CL + S = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,

CL + F = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

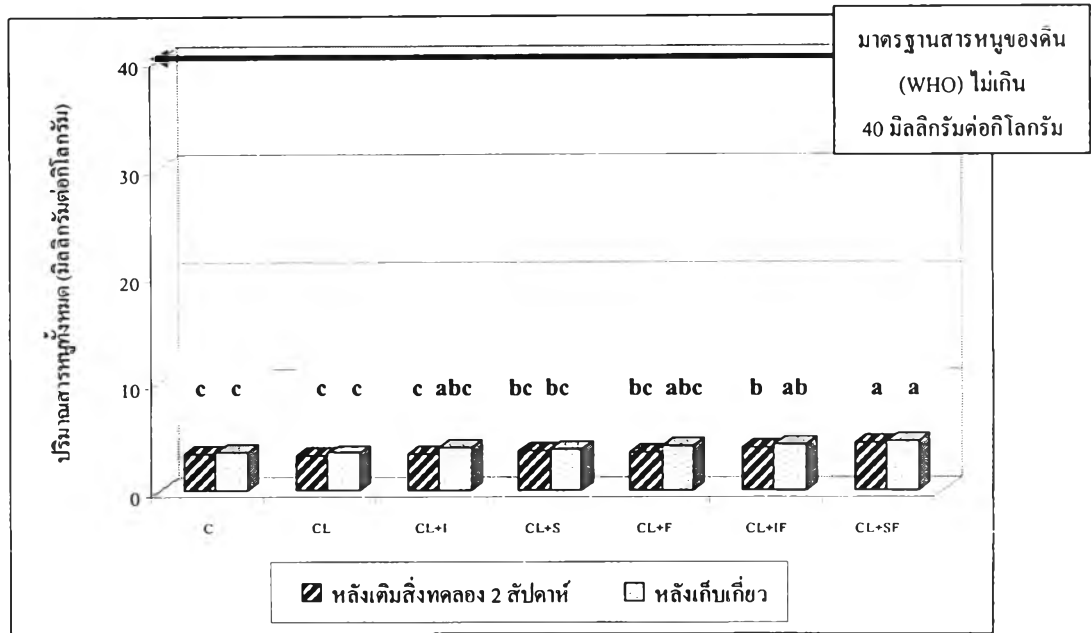
CL + IF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ,

CL + SF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่

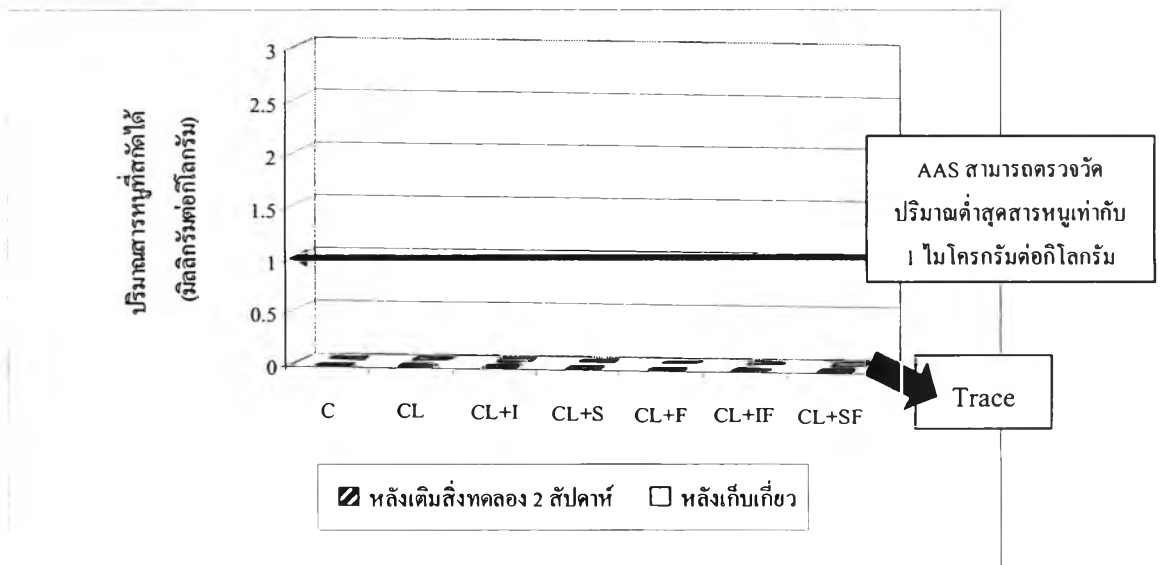


รูปที่ 5.7 ปริมาณธาตุพิษ (สารหนูและแคดเมียม) ของดิน เถาลอยลิกไนต์ และกากตะกอนน้ำเสียชุมชนก่อนเพาะปลูก

หมายเหตุ: Trace หมายถึง ปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดได้เมื่อมีปริมาณต่ำสุดของสารหนูเท่ากับ 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณต่ำสุดของแคดเมียมเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



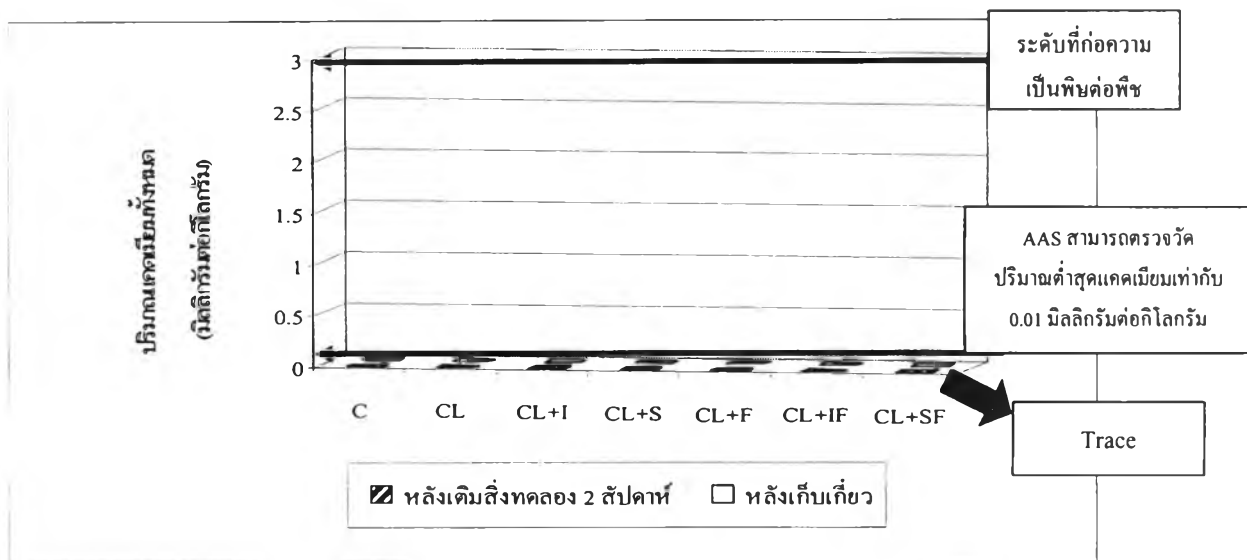
รูปที่ 5.8 ปริมาณสารหนูทั้งหมดของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว



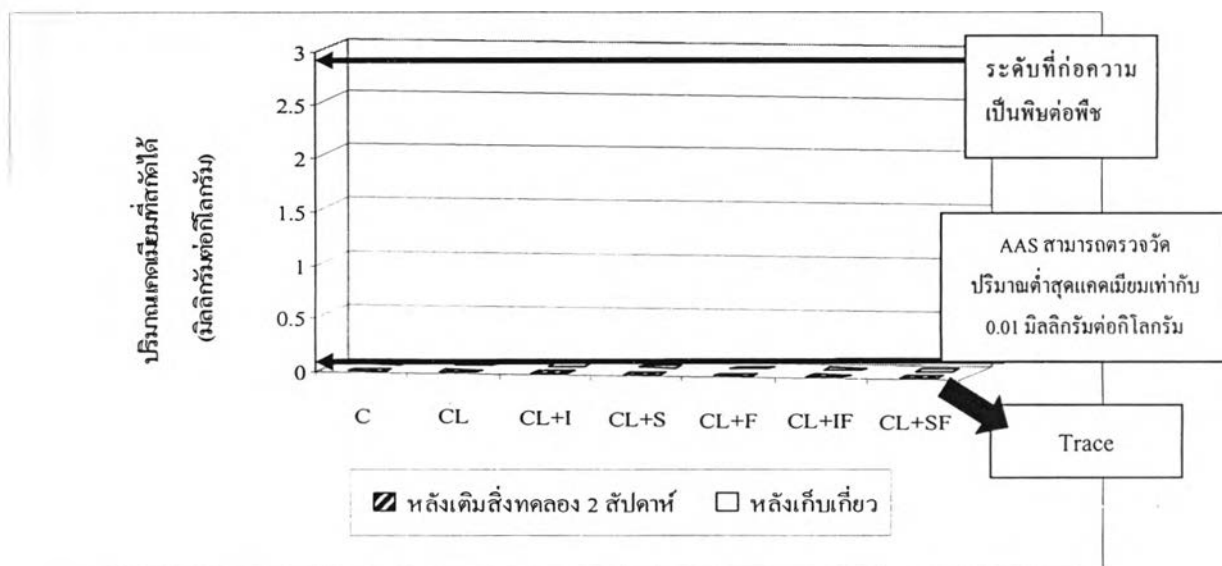
รูปที่ 5.9 ปริมาณสารหนูที่สกัดได้ของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว

- หมายเหตุ : C = ดินเดิม , CL = ดินเดิม (ปูนมาร์ล),
 CL + I = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,
 CL + S = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,
 CL + F = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ถ้ำลอยถิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,
 CL + IF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + ถ้ำลอยถิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ,
 CL + SF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + ถ้ำลอยถิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่

Trace หมายถึง ปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของสารหนูเท่ากับ 1 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม



รูปที่ 5.10 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว



รูปที่ 5.11 ปริมาณแคดเมียมที่สกัดได้ของดินหลังเติมสิ่งทดลอง 2 สัปดาห์และหลังเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ : C = ดินเดิม , CL = ดินเดิม (ปูนมาร์ล),

CL + I = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,

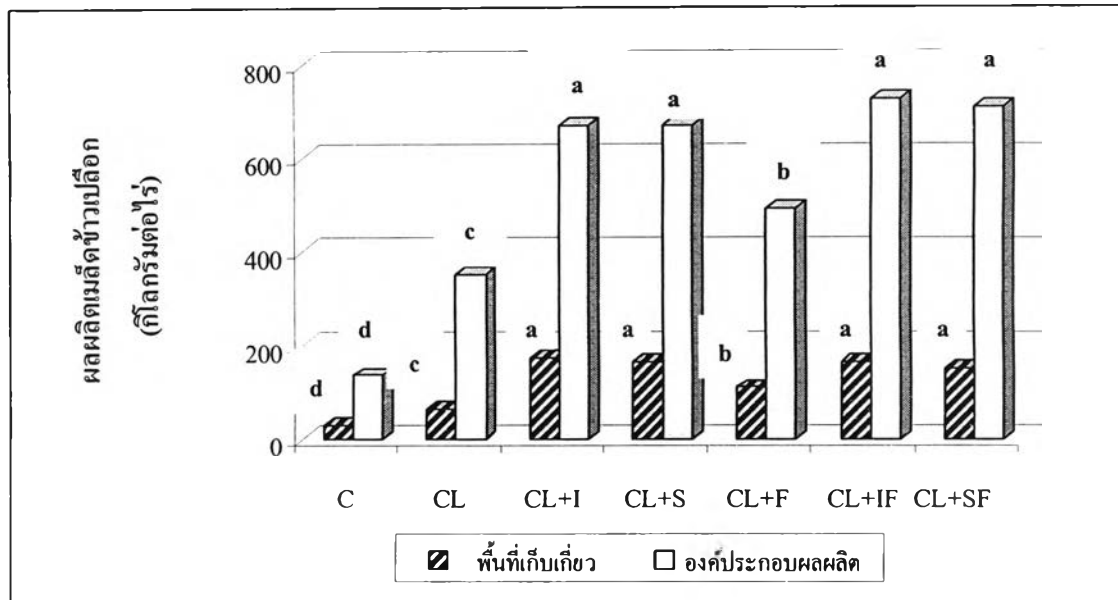
CL + S = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,

CL + F = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

CL + IF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ,

CL + SF = ดินเดิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + แฉะลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่

Trace หมายถึง ปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของแคดเมียมเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



รูปที่ 5.12 ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกจากพื้นที่เก็บเกี่ยวและองค์ประกอบผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)

หมายเหตุ : C = คินเคิม , CL = คินเคิม (ปูนมาร์ล),

CL + I = คินเคิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,

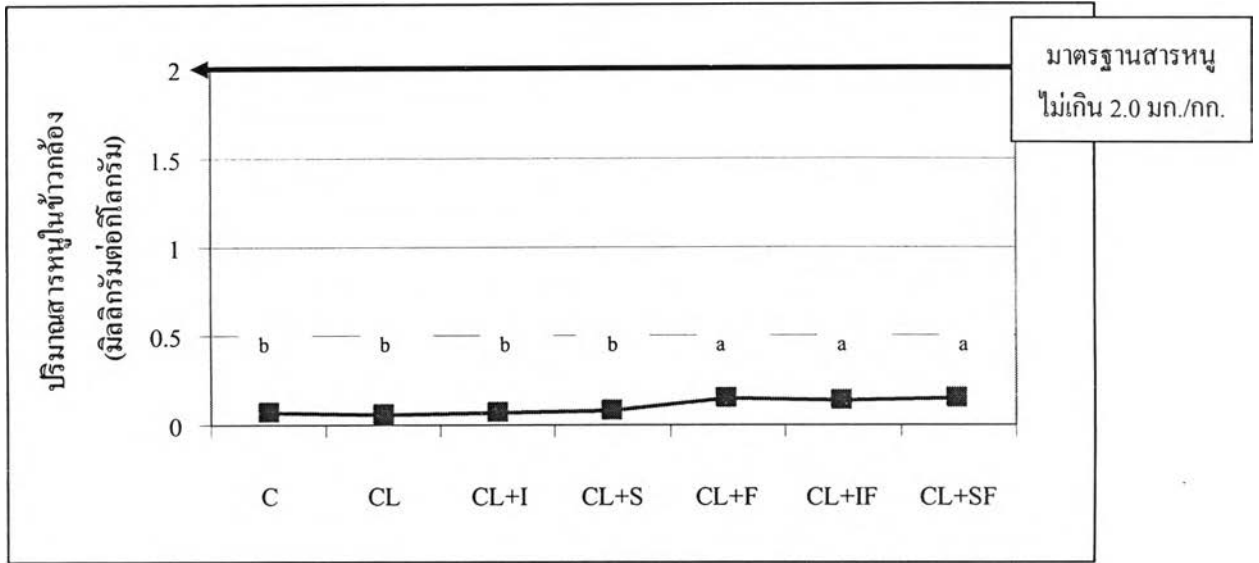
CL + S = คินเคิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,

CL + F = คินเคิม (ปูนมาร์ล) + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

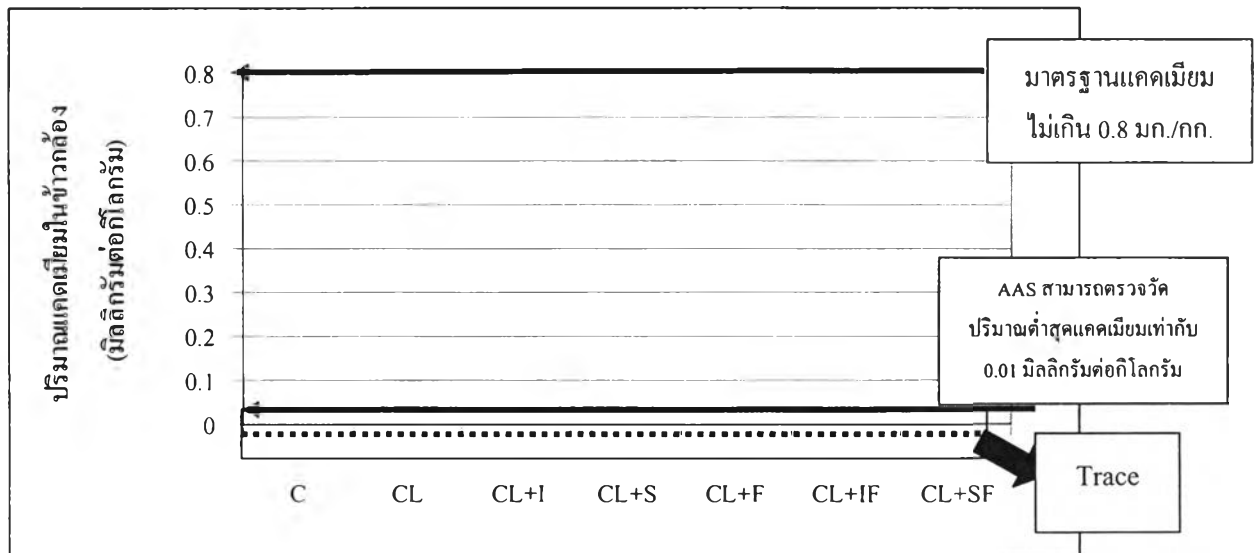
CL + IF = คินเคิม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,

CL + SF = คินเคิม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่

กราฟแท่งที่มีตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT



รูปที่ 5.13 ปริมาณสารหนูทั้งหมดในข้าวกล้อง



รูปที่ 5.14 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในข้าวกล้อง

- หมายเหตุ : C = ดินเค็ม , CL = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล),
 CL + I = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี,
 CL + S = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่,
 CL + F = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล) + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่,
 CL + IF = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล) + ปุ๋ยเคมี + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่ ,
 CL + SF = ดินเค็ม (ปูนมาร์ล) + กากตะกอนน้ำเสียชุมชนอัตรา 0.5 ตันต่อไร่ + ถ้ำลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตันต่อไร่

Trace หมายถึง ปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยเครื่อง AAS ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณต่ำสุดของแคดเมียมเท่ากับ 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม