ในการเจริญเติบโตของรากข้าว ช่วยให้การงอกของเมล็ดดีขึ้นและส่งเสริมการออกดอก (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) ส่วนโพแทสเซียมช่วยเพิ่มจำนวนหน่อในระยะข้าวแตกกอสูงสุดและเพิ่มจำนวนดอกต่อรวง (De Datta, 1981) ในที่นี้ปริมาณธาตุอาหารหลักพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนทำการทดลองในพื้นที่ศึกษาวิจัยซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่มีปัญหาอันเนื่องมาจากความเป็นกรดจัดของดินส่งผลต่อการตรึงธาตุอาหารหลักของข้าวไว้ควบคู่กับดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินคงที่หลังจากสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ทำปฏิกิริยากับสารละลายดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) เพื่อบ่งชี้ถึงความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสูงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดในต้นข้าวมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (Ishizuka, 1976) รวมทั้งทำหน้าที่ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว (Makino, Mae and Ohira, 1983; Grindlay, 1997; Jiang et al, 1999)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.140-0.149% (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองในทุกตำรับทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.1) โดยพบว่าเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (0.193%) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (0.174%) และมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ (0.178%) และมีแนวโน้มที่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (0.190%) โดยเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มสูงสุด (0.209%) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว (ตารางที่ 4.1) ค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อข้าว โดยไนโตรเจนที่สลายตัวได้เกือบทั้งหมดจะถูกปลดปล่อยออกมาในระยะ 2 สัปดาห์ของการขังน้ำ และประสิทธิภาพของการตรึงไนโตรเจนในดินที่อยู่ในสภาพน้ำขังจะสูงกว่าดินที่ไม่มีน้ำขัง ทั้งนี้เพราะ

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 แหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวและความเสี่ยงต่อธาตุพิษ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว

ทางเลือกที่น่าสนใจในการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวนอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยเคมี น่าจะมุ่งไปที่วัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม เช่น เถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรม เช่น ปุ๋ยหมักฟางข้าว ซึ่งได้จากแปลงนา เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าวทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรจึงนับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการเพื่อรองรับวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมได้ การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวสำหรับการปลูกข้าว จำเป็นต้องคำนึงถึงการเป็นแหล่งธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว รวมถึงความเสี่ยงจากธาตุพิษอันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่อาจปนเปื้อนด้วยโลหะหนักที่เป็นพิษ รวมถึงความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินความต้องการของข้าว ดังนั้นเพื่อประเมินความสามารถในการเป็นแหล่งธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว รวมถึงโอกาสในการดูดดึงธาตุพิษของต้นข้าวเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงพิจารณาการเป็นแหล่งธาตุอาหารของเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จากปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ รวมถึงโอกาสในการดูดดึงธาตุพิษ พิจารณาจากปริมาณธาตุพิษทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ของดินก่อนทำการทดลองในพื้นที่ศึกษาวิจัยซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่พบปัญหาอันเนื่องมาจากความเป็นกรดจัดของดินส่งผลต่อการตรึงธาตุอาหารหลักของข้าวไว้ควบคู่กับดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินคงที่หลังจากสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ทำปฏิกิริยากับสารละลายดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

5.1.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าวโดยไนโตรเจนช่วยควบคุมการออกดอกของข้าว และเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว ฟอสฟอรัสช่วย

เอ็นไซม์ของการตรึงไนโตรเจนจะทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนน้อย (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ทำให้ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม

ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มต่ำกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวนั้น เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนในเถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในระดับต่ำ (0.014%, ตารางที่ 4.1) โดยในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่พบมากในอินทรียวัตถุต่างๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) ถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นก๊าซทำให้เถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณไนโตรเจนน้อย (Adriano et al, 1980) ประกอบกับปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งเป็นอินทรียวัตถุเมื่อใส่ในดินนาน้ำขังซึ่งอยู่ในสภาพอับอากาศ จะช่วยเร่งขบวนการดีไนตริฟิเคชันให้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Pilot and Patrick, 1972) ทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนบางส่วนไปจากดินได้ อย่างไรก็ตามปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองอยู่ในระดับปานกลาง (0.1-0.2%) ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

5.1.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทสำคัญต่อต้นข้าวในระยะแรกของการเจริญเติบโต เนื่องจากข้าวต้องการฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการสร้างรากและการแตกกอ รวมทั้งเป็นตัวให้และส่งผ่านพลังงานในกระบวนการทางชีวเคมีของข้าว (De Datta, 1981)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11.50-12.99 ppm (ตารางที่ 4.2) จัดอยู่ในระดับปานกลาง (อยู่ในช่วง 10-15 ppm) เมื่อจำแนกตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองในทุกตำรับทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.1) แต่ขณะเดียวกันเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (16.17 ppm) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (13.96 ppm) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา2 ตัน/ไร่ (14.92 ppm) และการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (16.11 ppm) โดยเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมีส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงสุด (25.88 ppm)

ทั้งนี้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีปริมาณไม่แตกต่างจากดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยวนั้น เนื่องมาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในเถ้าลอยลิกไนต์ (5.48 ppm) ส่วนใหญ่ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Scotti, Silva and Botteschi, 1999) และถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวจะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในปริมาณสูง (1,704.96 ppm) แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาวิจัยมีสภาพความเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.16-4.49) ทำให้อลูมิเนียมละลายออกมาในปริมาณสูง (ตารางที่ 4.3) ปริมาณฟอสฟอรัสในดินจึงถูกตรึงอยู่ในรูปของอลูมิเนียมและเหล็กฟอสเฟตซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ยาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535; Brady, 1974; Sanchez, 1976) รวมทั้งการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินนาจะเร่งการตรึงฟอสฟอรัสได้เร็วขึ้น (Phongpan, 1987) นับเป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้ประโยชน์ของพืช แต่ขณะเดียวกันเมื่อดินอยู่ในสภาพน้ำขังเหล็ก และอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ และที่แลกเปลี่ยนได้จะมีค่าลดลงทำให้การตรึงฟอสฟอรัสลดลง จึงเป็นการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้ อาจกล่าวได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาของฟอสฟอรัสโดยตรงเพียงอย่างเดียว แต่มีปัจจัยหลายอย่างที่ควบคุมการละลายได้และการตรึงฟอสเฟต ดังนั้นปริมาณฟอสฟอรัสในดินจึงไม่สามารถบ่งชี้ถึงความเพียงพอแก่ความต้องการฟอสฟอรัสของพืชได้ ทั้งนี้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง จัดอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (ช่วง 15-25 ppm) เมื่อจำแนกตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระนาดและชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3)

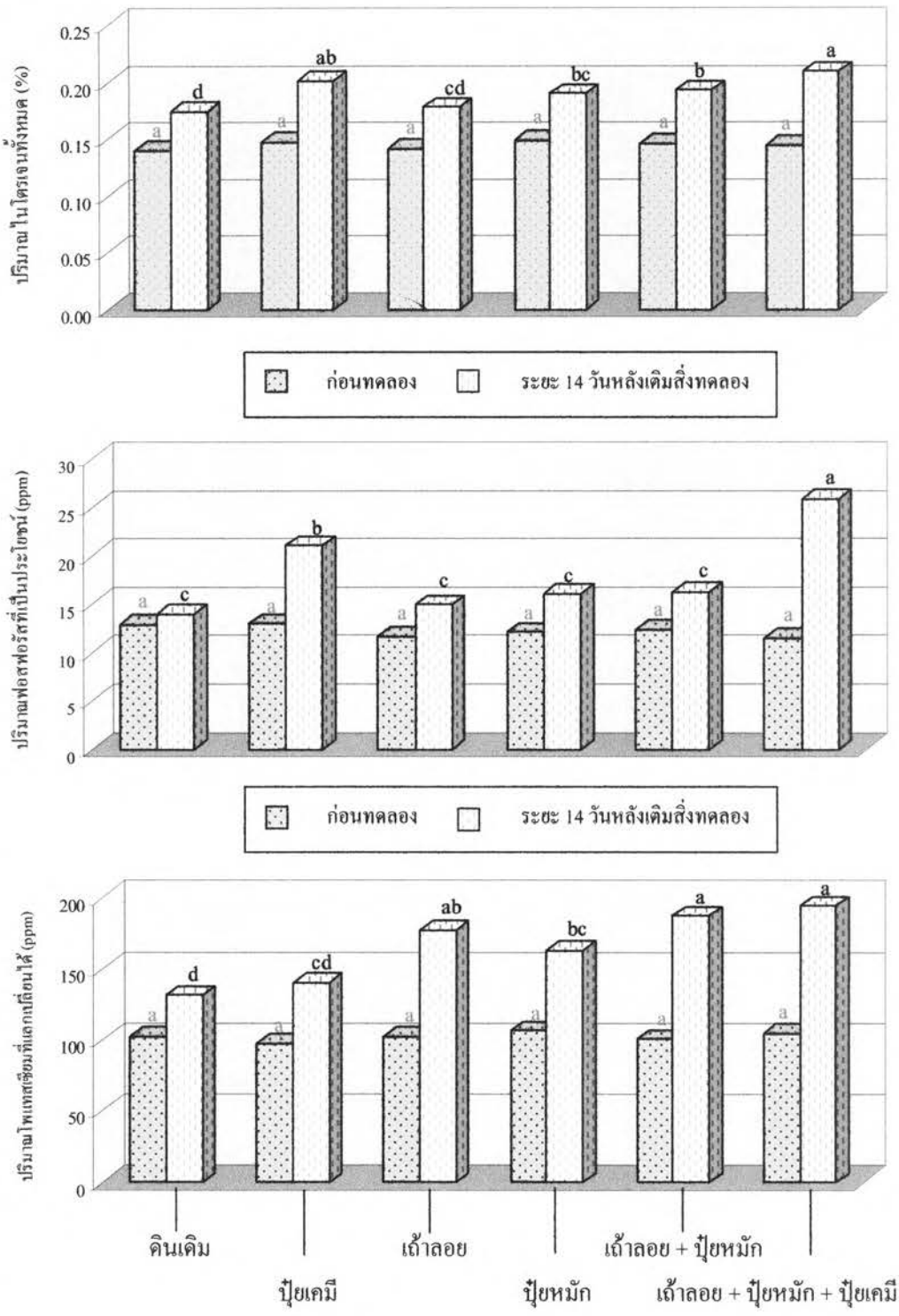
5.1.1.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญในการปลูกข้าว เนื่องจากช่วยเพิ่มจำนวนหน่อในระยะข้าวแตกกอสูงสุด และเพิ่มจำนวนดอกต่อรวง (De Datta, 1978)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 97.40-106.64 ppm (ตารางที่ 4.2) จัดอยู่ในระดับสูง (ช่วง 90-120 ppm) เมื่อจำแนกตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร,จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) ทั้งนี้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ระยะ14 วันหลังเติมสิ่งทดลองในทุกตำรับทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.1) โดยพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (186.84 ppm) ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว

(131.40 ppm) และมีแนวโน้มที่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (176.64 ppm) และเทียบเท่ากับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี (194.28 ppm) ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากโพแทสเซียมที่อยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณสูงถึง 257.87 ppm มากกว่าที่มีในปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งมีปริมาณ 1.59 ppm (ตารางที่ 4.1) โดยปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากเถ้าลอยลิกไนต์รวมถึงรูปที่เป็นประโยชน์นั้น จะขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิด (Scotti, Silva and Botteschi, 1999) รวมทั้งดินนาเมื่อขังน้ำจะส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายได้มีปริมาณสูงขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากกว่าดินที่มีการระบายอากาศดี (Robinson, 1930) ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง จัดอยู่ในระดับสูงมาก (มากกว่า 120 ppm) เมื่อจำแนกตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4)

กล่าวโดยสรุปสำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักในดินก่อนทำการเพาะปลูกได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนและโพแทสเซียมสำหรับการปลูกข้าวได้สูง ในขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสก็น่าจะเป็นแหล่งอาหารสำหรับการปลูกข้าวได้เช่นกัน ดังนั้นเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวน่าที่จะสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารทดแทนหรือเพิ่มเติมจากการใช้ปุ๋ยเคมีตามปกติได้



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกันในดินระยะเดียวกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_20) ของดินก่อนทำการทดลองและระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

5.1.2 ปริมาณธาตุพิษ

การนำเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าว จำเป็นต้องศึกษาข้อจำกัดด้านธาตุพิษของสิ่งทดลองก่อนเติมลงในดินนา เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์อาจปนเปื้อนด้วยโลหะหนักที่เป็นพิษ รวมถึงความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป ซึ่งมีโอกาสที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมตามส่วนต่างๆ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นข้าวและผลผลิตได้ ประกอบกับความเป็นกรดจัดของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยซึ่งเป็นดินเปรี้ยว และลักษณะของดินนาที่เมื่อทำการขังน้ำดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างรุนแรง อาจส่งผลทำให้การละลายได้ของธาตุพิษบางชนิดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อข้าวได้ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) โดยปริมาณธาตุพิษที่มากเกินไปย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังนี้ ธาตุนิกเกิลจะส่งผลให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองระหว่างเส้นใบจากใบอ่อนไปสู่ใบแก่ เกิดการตายของเนื้อเยื่อ (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526; Mengel and Kirkby, 1982) ธาตุแคดเมียมจะส่งผลให้เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญของรากลดลง และเกิดการเน่าเมื่อความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเพิ่มขึ้น (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526; Hewitt, 1953) ส่วนธาตุอลูมิเนียมจะก่อให้เกิดอาการชะงักงันของราก รากจะสั้นกุด และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปริมาณรากแขนงและรากฝอยลดลงอย่างมากเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นผิดปกติ (กรมวิชาการเกษตร, 2543ค) โดยการศึกษาครั้งนี้ปริมาณธาตุพิษพิจารณาเฉพาะนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนูในปริมาณทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินก่อนทำการทดลองที่ควบคู่กับดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่ความเป็นกรดเป็นด่างของดินคงที่หลังจากสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ทำปฏิกิริยากับสารละลายดิน (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) เพื่อให้ทราบถึงโอกาสในการดูดดึงธาตุพิษของต้นข้าวตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตอันเนื่องมาจากสิ่งทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.2.1 นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินก่อนทำการทดลองและที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.3 และ 4.5) พบว่า มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณนิกเกิลที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.10 ppm โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ไม่มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในดินเปลี่ยนแปลง ถึงแม้ว่าจะพบปริมาณนิกเกิลทั้งหมดในเถ้าลอยลิกไนต์ก็ตาม (0.531 ppm, ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้เนื่องมาจากความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.4) ทำให้การละลายได้ของนิกเกิลลดลงซึ่งการ

ละลายได้ของนิกเกิลในดินขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยการละลายได้ของนิกเกิลจะน้อยลงเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Chaney, 1982; Mengel and Kirkby, 1982) ทั้งนี้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินก่อนทำการเพาะปลูกยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินโดยปริมาณนิกเกิลในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 50-100 ppm (Chaney, 1982: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

5.1.2.2 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.002 ppm และปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้พบว่า มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณแคดเมียมที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.001 ppm (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.2) โดยพบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (0.003 ppm) ทำให้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (0.002 ppm) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (0.003 ppm) ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณแคดเมียมทั้งหมด (0.016 ppm, ตารางที่ 4.1) มากกว่าปริมาณที่พบในปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.003 ppm, ตารางที่ 4.1) ถึง 5.33 เท่า อย่างไรก็ตามปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.5) พบว่ามีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณแคดเมียมที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.001 ppm และเนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้อยู่น้อยคือ 0.001 ppm จึงไม่สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินได้ ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินก่อนทำการเพาะปลูกยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน ซึ่งปริมาณแคดเมียมในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 3-5 ppm (Pendias and Pendias, 1992: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

5.1.2.3 อลูมิเนียม

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วง 1,214.67-1,508.33 ppm โดยปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้มีค่าอยู่ในช่วง 10.10-18.92 ppm (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดและปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.3) โดยพบว่าการเติม

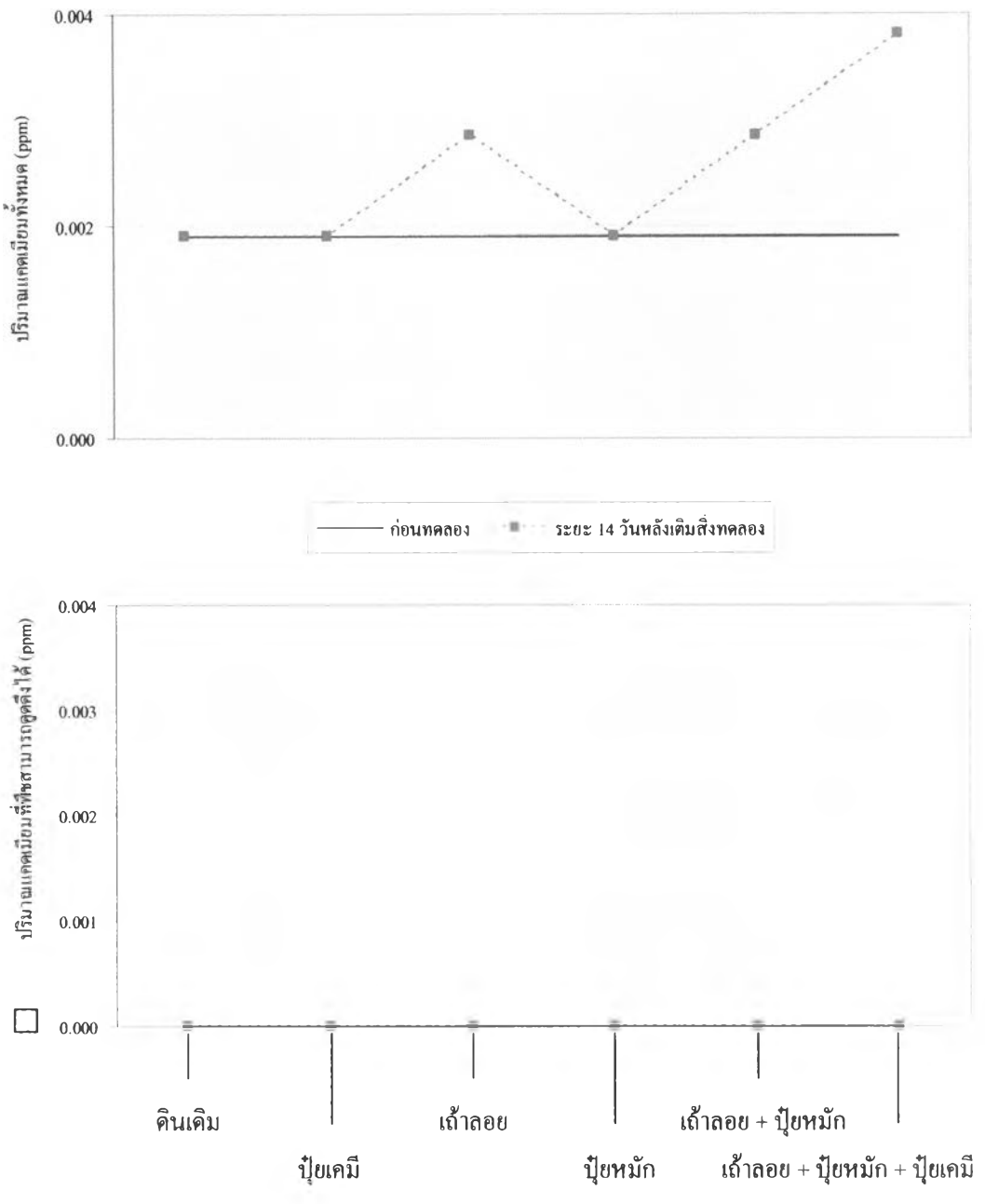
เถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.61^{NS}) ซึ่งปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในทุกตำรับทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 885.33-1,296.83 ppm (ตารางที่ 4.5) และไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 2.81^{NS}) ซึ่งปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในทุกตำรับทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 3.54-11.52 ppm (ตารางที่ 4.5) ถึงแม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวจะมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดค่อนข้างสูง (1,822.25 ppm และ 237.13 ppm, ตารางที่ 4.1) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่อลูมิเนียมมีโอกาสจะก่อให้เกิดปัญหาในการปลูกข้าว แต่ทั้งนี้การละลายได้ของอลูมิเนียมก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณฟอสเฟต ซึ่งฟอสเฟตจะลดความเป็นพิษของอลูมิเนียมโดยการตกตะกอนกับอลูมิเนียมทั้งข้างนอกและข้างในราก (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520; ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; กรมพัฒนาที่ดิน, 2542; Evans and Kamprath, 1970; Haynes, 1984) ทำให้ปริมาณอลูมิเนียมลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินก่อนทำการเพาะปลูกยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน โดยปริมาณอลูมิเนียมในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 27-270 ppm (Coutler, 1972: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) แต่ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดยังพบในปริมาณสูงซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญที่มีอยู่เดิมในดินซึ่งเป็นดินเปรี้ยวนั้น จึงอาจถือเป็นข้อเตือนใจให้ทราบว่าควรมีการจัดการพื้นที่ปลูกข้าวด้วยวิธีการต่างๆ ร่วมด้วยก่อนทำการปลูกข้าว

5.1.2.4 สารหนู

ปริมาณสารหนูทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.026-0.037 ppm และปริมาณสารหนูที่พืชสามารถดูดดึงได้พบว่า มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณสารหนูที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.01 ppm (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้ปริมาณสารหนูทั้งหมดในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนทำการทดลอง (รูปที่ 5.4) แต่พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหนูทั้งหมดในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 2.28^{NS}) ซึ่งปริมาณสารหนูทั้งหมดในทุกตำรับทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.034-0.065 ppm (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมีสารหนูทั้งหมดเป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณ 0.107 ppm และ 0.018 ppm ตามลำดับ และสารหนูที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณ 0.096 ppm (ตารางที่ 4.1) จึงส่งผลให้ปริมาณสารหนูที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลองมีน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณสารหนูที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.01 ppm (ตารางที่ 4.5) อย่างไร

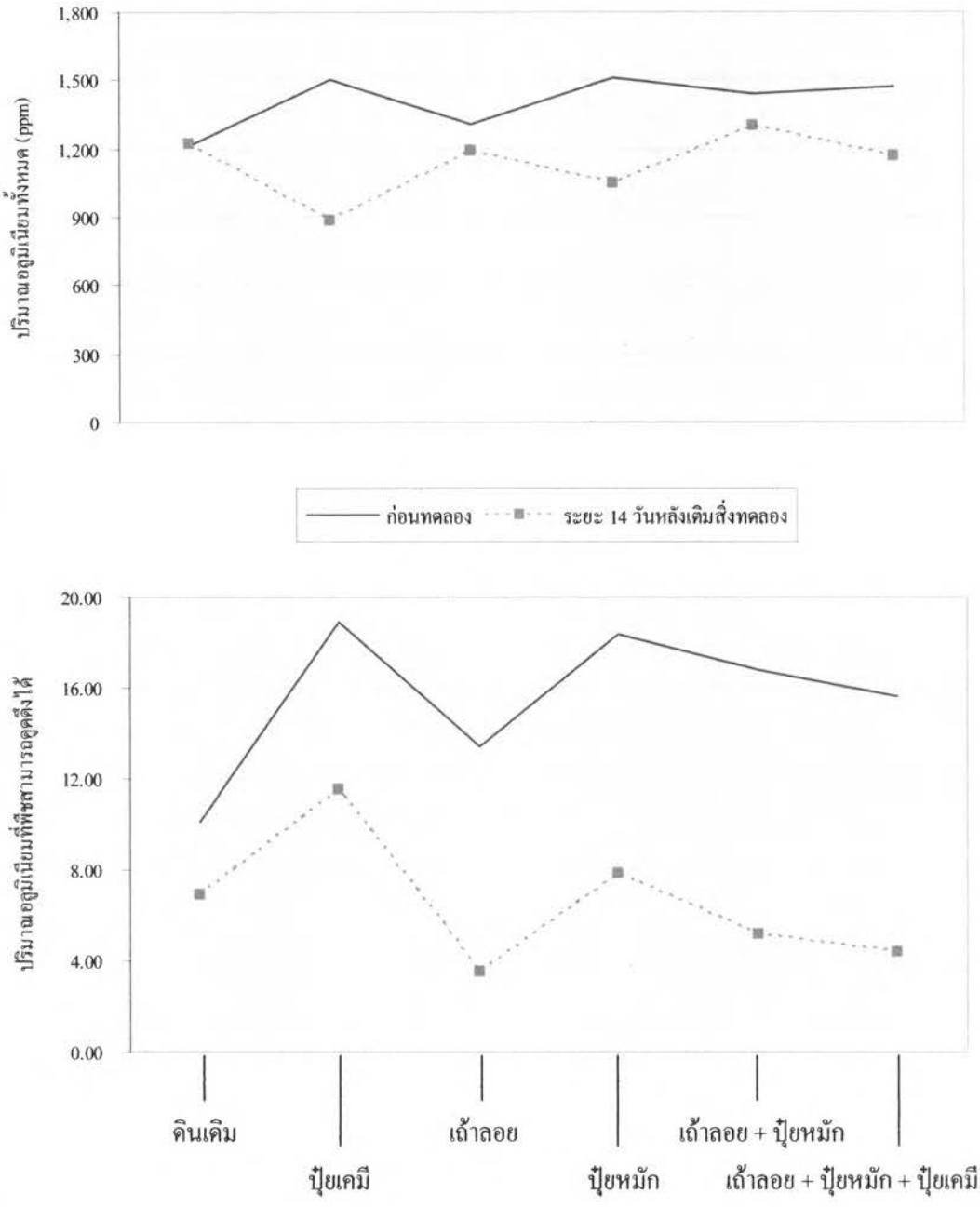
ก็ตามปริมาณสารหนูทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินก่อนทำการเพาะปลูกยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดิน ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดมาตรฐานระดับสารหนูที่ปนเปื้อนได้ในดินต้องมีค่าไม่เกิน 40 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

กล่าวโดยสรุปสำหรับองค์ประกอบทางเคมีด้านธาตุพิษก่อนทำการเพาะปลูกได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากดินเดิม ซึ่งเป็นดินเปรี้ยว ยกเว้นปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินยังอยู่ในมาตรฐานระดับของธาตุพิษที่ยอมให้ปนเปื้อนได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวจึงไม่น่าเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของต้นข้าว

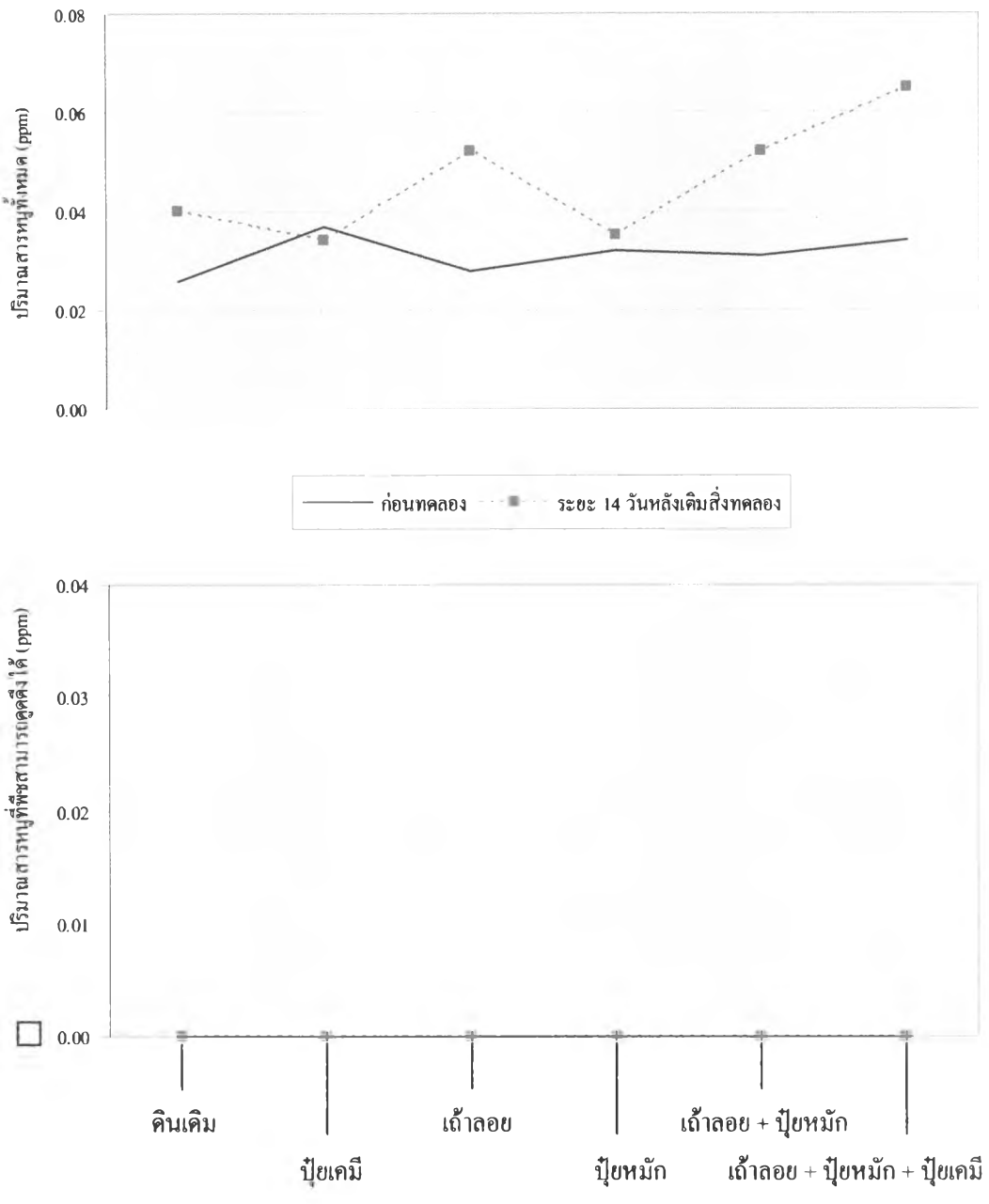


□ หมายถึง ช่วง Trace คือ มีปริมาณน้อยกว่าที่เครื่องมือจะตรวจพบ โดยค่าต่ำสุดของปริมาณแคดเมียมที่เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer สามารถตรวจวัดได้คือ 0.001 ppm

รูปที่ 5.2 ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินก่อนทดลองและดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง



รูปที่ 5.3 ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินก่อนทดลองและดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง



☐ หมายถึง ช่วง Trace คือ มีปริมาณน้อยกว่าที่เครื่องมือจะตรวจพบ โดยค่าต่ำสุดของปริมาณสารหนูที่เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer สามารถตรวจวัดได้คือ 0.01 ppm

รูปที่ 5.4 ปริมาณสารหนูทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินก่อนทดลองและดินที่ระยะ 14 วันหลังเติมสิ่งทดลอง

5.2 ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวต่อผลผลิตและคุณภาพทางเคมีของข้าว

การปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตดี จำเป็นต้องพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าวร่วมด้วย ซึ่งนอกเหนือจากปุ๋ยเคมีแล้วเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรมจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และปุ๋ยหมักฟางข้าวจากฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ในแปลงนา เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรก็เท่ากับเป็นการวางแนวทางในการจัดการเพื่อรองรับของเหลือทิ้งจากทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมได้ในระยะยาว โดยเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวนับได้ว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์ก็มีองค์ประกอบทางเคมีที่ปนเปื้อนด้วยธาตุพิษ ซึ่งประกอบไปด้วยโลหะหนักที่เป็นพิษ รวมถึงความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้ต้นข้าวมีโอกาสได้รับธาตุพิษขณะที่มีการดูดดึงธาตุอาหารจากเถ้าลอยลิกไนต์ได้ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าธาตุอาหารจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว รวมทั้งธาตุพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ ย่อมส่งผลต่อผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกและคุณภาพทางเคมีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในที่นี้คุณภาพทางเคมีของข้าวพิจารณาในส่วนของคุณภาพทางเคมีเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย ปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวของแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการส่งออกข้าวทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งพิจารณาในส่วนของปริมาณธาตุพิษที่มีโอกาสสะสมอยู่ในข้าวสาร ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ซึ่งธาตุพิษเหล่านี้หากมีปริมาณมากเกินไปในดินย่อมทำให้ต้นข้าวดูดดึงธาตุพิษเหล่านี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และนำไปสะสมตามส่วนต่างๆ ของต้นข้าว รวมถึงเมล็ดข้าวซึ่งเมล็ดข้าวสารนับได้ว่าเป็นตัวส่งถ่ายธาตุพิษที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากหากมีปริมาณธาตุพิษสะสมในเมล็ดข้าวสารเกินมาตรฐานที่ยอมให้บริโภคได้ย่อมทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

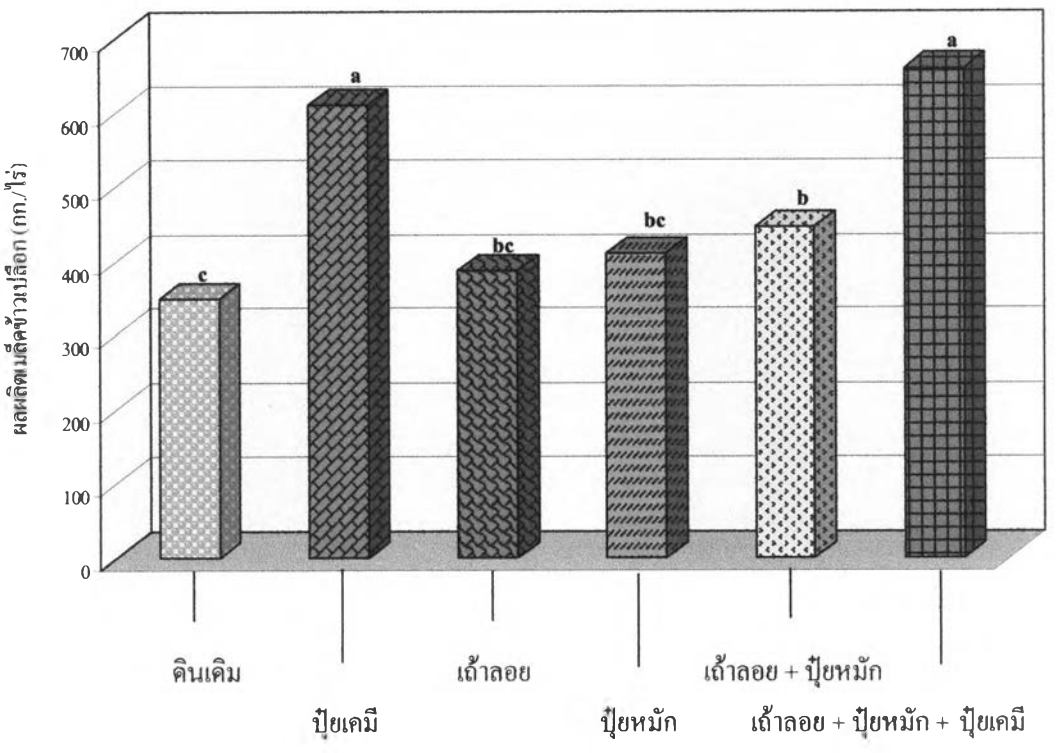
5.2.1 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ตารางที่4.8 และรูปที่ 5.5) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (446.95 กก./ไร่, F-value = 43.38*) ซึ่งมีแนวโน้มที่จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (388.10 กก./ไร่) หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (411.25 กก./ไร่) และเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มสูงสุด

(660.86 กก./ไร่) ทั้งนี้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว (ตารางที่ 4.1) ละลายออกมาอยู่ในรูปทางเคมีที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) รวมทั้งปุ๋ยหมักฟางข้าวยังส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของดินดีขึ้นช่วยให้ดินมีสภาพร่วนซุย ทำให้มีการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำได้ดี (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2522) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์แม้ว่าจะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดินเดิม (ตารางที่ 4.4) แต่อาจเนื่องมาจากซิลิกอนที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ สามารถช่วยลดการตรึงฟอสเฟตโดยสารประกอบซิลิเกตจะไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและทำปฏิกิริยากับ Fe, Al oxides (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ทำให้ฟอสฟอรัสในดินซึ่งช่วยส่งเสริมการออกดอก (De Datta, 1981) มีความเป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น รวมทั้งปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู) ที่มีอยู่ดินไม่ได้มีผลทำให้พืชได้รับความเป็นพิษ แม้ว่าอลูมิเนียมทั้งหมดจะมีปริมาณสูง (ตารางที่ 4.5) ซึ่งเป็นผลมาจากพื้นที่เพาะปลูกเป็นดินเปรี้ยวที่ความเป็นกรดจัดทำให้ส่งเสริมการละลายได้ของอลูมิเนียมก็ตาม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) แต่ก็ถือเป็นข้อเตือนใจในการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ด้วยความระมัดระวัง อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดึงดูดได้มีปริมาณน้อย (ตารางที่ 4.5) และอยู่ในมาตรฐานระดับของธาตุพิษที่ยอมให้ปนเปื้อนได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรม จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้

ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกน้อยกว่าการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวนั้น เนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารข้าวในเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่ได้อยู่ในรูปที่ข้าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันทีทั้งหมด แต่จะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต สอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่เดียวกันของ กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) และเจนจิรา พวงทับทิม (2546) ที่พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 480.67 กก./ไร่ ในปี 2541 เป็น 640.96 กก./ไร่ ในปี 2544 และการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นเวลา 20-22 ปี พบว่าทำให้ผลผลิตข้าว กข.7 เพิ่มขึ้น 46% และ 17% ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลกและสถานีทดลองข้าวพิมายตามลำดับ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543)

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีแนวโน้มที่จะแตกต่างกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.5 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (กก./ไร่)

5.2.2 คุณภาพทางเคมีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

คุณภาพทางเคมีของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในที่นี้มุ่งพิจารณาในส่วนของคุณภาพทางเคมีเชิงพาณิชย์ อันประกอบไปด้วย ปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวของแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง เนื่องจากเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการส่งออกข้าวทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งพิจารณาในส่วนของปริมาณธาตุพิษที่มีโอกาสสะสมอยู่ในข้าวสาร ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุพิษ ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ในปริมาณ 1.8-8,000 ppm, 0.1-25 ppm, 11,500-144,000 ppm และ 2.3-1,700 ppm ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA, 1988) และเนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นดินเปรี้ยวซึ่งมีความเป็นกรดจัด ประกอบกับดินนาเมื่อทำการขังน้ำ ดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจนจึงเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างรุนแรง อาจทำให้การละลายได้ของธาตุพิษบางชนิดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) รวมถึงอาจมีความเป็นไปได้ในการส่งถ่ายธาตุพิษตามห่วงโซ่อาหารโดยผ่านเมล็ดข้าวสาร ซึ่งย่อมเกิดอันตรายต่อผู้บริโภคโดยตรง หากมีปริมาณธาตุพิษเหล่านี้สะสมในเมล็ดข้าวสารเกินมาตรฐานที่ยอมให้บริโภคได้

5.2.2.1 คุณภาพทางเคมีเชิงพาณิชย์

คุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์เป็นลักษณะที่สำคัญในการกำหนดคุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าว โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีเฉพาะตัวของข้าวแต่ละพันธุ์ที่ผู้บริโภคใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ซึ่งมีผลต่อการส่งออกข้าวทั้งในและต่างประเทศ การศึกษาในครั้งนี้คุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มุ่งพิจารณาเฉพาะปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวของแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง ซึ่งเป็นคุณภาพข้าวทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับรสนิยมของผู้บริโภคโดยตรง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.2.1.1 ปริมาณอมิโลส

ปริมาณอมิโลสของเมล็ดข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 5.6) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.52^{NS}) โดยปริมาณอมิโลสมีค่าอยู่ในช่วง 16.40-17.24% ทั้งนี้เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้เมล็ดข้าวสารมีปริมาณอมิโลส 16.40% ทำให้ปริมาณอมิโลสมีแนวโน้มลดลงต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ โดยปริมาณอมิโลสที่ลดลงบ่งบอกถึงความเหนียวนุ่มมากขึ้นของข้าวเมื่อหุงสุก และทุกตำรับทดลองไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าว เนื่องจาก

ปริมาณอมิโลสของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าอยู่ในช่วง 16-20% (กรมวิชาการเกษตร, 2545; กระทรวงพาณิชย์, 2546) จัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำ ซึ่งจะดูดน้ำและขยายปริมาตรได้น้อย ทำให้ข้าวชื้นและเหนียวนุ่มเมื่อหุงสุก (ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) ขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุง เนื่องจากคุณสมบัติการคืนตัวของอมิโลสที่สุกแล้ว (retrogradation) ทำให้ข้าวสุกขยายปริมาตรมากหรือหุงขึ้นหม้อดี ข้าวจะร่วน และเรียงเม็ดงาม แต่แข็งเมื่อเย็นตัวลง (งามชื่น คงเสรี, 2541; กรมวิชาการเกษตร, 2545)

5.2.2.1.2 ค่าคงตัวของแป้งสุก

ค่าคงตัวของแป้งสุกในเมล็ดข้าวสาร (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 5.6) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ค่าคงตัวของแป้งสุกมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (F-value = 6.23*) โดยมีค่าคงตัวของแป้งสุก 62.67 มม. และ 72.33 มม. ตามลำดับ และไม่แตกต่างกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ (62.50 มม.) แต่มีแนวโน้มที่จะแตกต่างกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (61.00 มม.) และเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ค่าคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้นสูงถึง 75.17 มม. โดยมีแนวโน้มที่จะแตกต่างจากการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมี แต่ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างเมื่อเทียบกับดินเดิมที่มีค่าคงตัวของแป้งสุก 69.00 มม. และ 72.33 มม. ตามลำดับ

โดยค่าคงตัวของแป้งสุกที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่มของข้าว ทั้งนี้ค่าคงตัวของแป้งสุกในเมล็ดข้าวสารทุกตำรับทดลอง (61.00-75.17 มม.) ไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าว เนื่องจากค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าอยู่ในช่วง 61-100 มม. จัดอยู่ในประเภทแป้งสุกอ่อน (อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533; มิ่งสรรพ์ ขาวสะอาด, 2537; งามชื่น คงเสรี, 2541) แม้ว่าปริมาณอมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพข้าวสุก แต่ถ้าข้าวมีปริมาณอมิโลสเท่ากันหรือใกล้เคียงกันอาจมีความอ่อนนุ่มของข้าวสุกต่างกัน (Perez, 1979) เนื่องจากคุณสมบัติของแป้งสุกมีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ทำให้ข้าวที่มีค่าคงตัวของแป้งสุกสูง เมื่อหุงเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวที่นุ่มกว่าข้าวที่มีค่าคงตัวของแป้งสุกต่ำ (งามชื่น คงเสรี, 2541; กรมวิชาการเกษตร, 2545) การพิจารณาความอ่อนนุ่มของข้าวสุกจึงจำเป็นต้องพิจารณาค่าคงตัวของแป้งสุกควบคู่กับปริมาณอมิโลส โดยปริมาณอมิโลสในข้าวสารเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติกับดินเดิม ในขณะที่ค่าคงตัวของแป้งสุกมีค่าต่ำกว่าดินเดิม นั่นหมายถึงข้าวสารที่ได้จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่จะมีความอ่อนนุ่มของข้าวสุกน้อยกว่า แต่ก็ยังคงความเหนียวนุ่มตามมาตรฐานข้าวหอมปทุมธานีเช่นเดิม

5.2.2.1.3 ค่าการสลายตัวในด่าง

ค่าการสลายตัวในด่างของเมล็ดข้าวสารในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.9 และรูปที่ 5.6) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.07^{NS}) โดยค่าการสลายตัวในด่างมีค่าอยู่ในช่วง 6.15-6.65 ทั้งนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ค่าการสลายตัวในด่างเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี ทำให้ค่าการสลายตัวในด่างเพิ่มสูงกว่าตำรับทดลองอื่นๆ โดยทุกตำรับทดลองไม่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้านคุณภาพข้าว เนื่องจากค่าการสลายตัวในด่างของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อยู่ในระดับ 6-7 (กรมวิชาการเกษตร, 2545; กระทรวงพาณิชย์, 2546) ซึ่งค่าการสลายตัวในด่างที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกถึงการใช้ระยะเวลาในการหุงต้มน้อยลง เนื่องจากค่าการสลายตัวในด่างที่สูงจะมีระดับอุณหภูมิของแป้งสุกต่ำ ทำให้ใช้ระยะเวลาทำให้สุกน้อยลง (งามชื่น คงเสรี, 2541) ส่งผลให้ประกอบอาหารได้รวดเร็วขึ้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ล้วนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอมิโลส และค่าการสลายตัวในด่างของเมล็ดข้าวสาร แต่ส่งผลให้ค่าคงตัวของแป้งสุกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้คุณภาพข้าวทางเคมีเชิงพาณิชย์ของเมล็ดข้าวสารในทุกตำรับทดลอง ล้วนอยู่ในมาตรฐานข้าวหอมปทุมธานี 1 คือ จัดเป็นข้าวอมิโลสต่ำและอยู่ในประเภทแป้งสุกอ่อน รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยข้าวมีความอ่อนนุ่มเมื่อหุงสุกและใช้ระยะเวลาในการหุงต้มลดลง

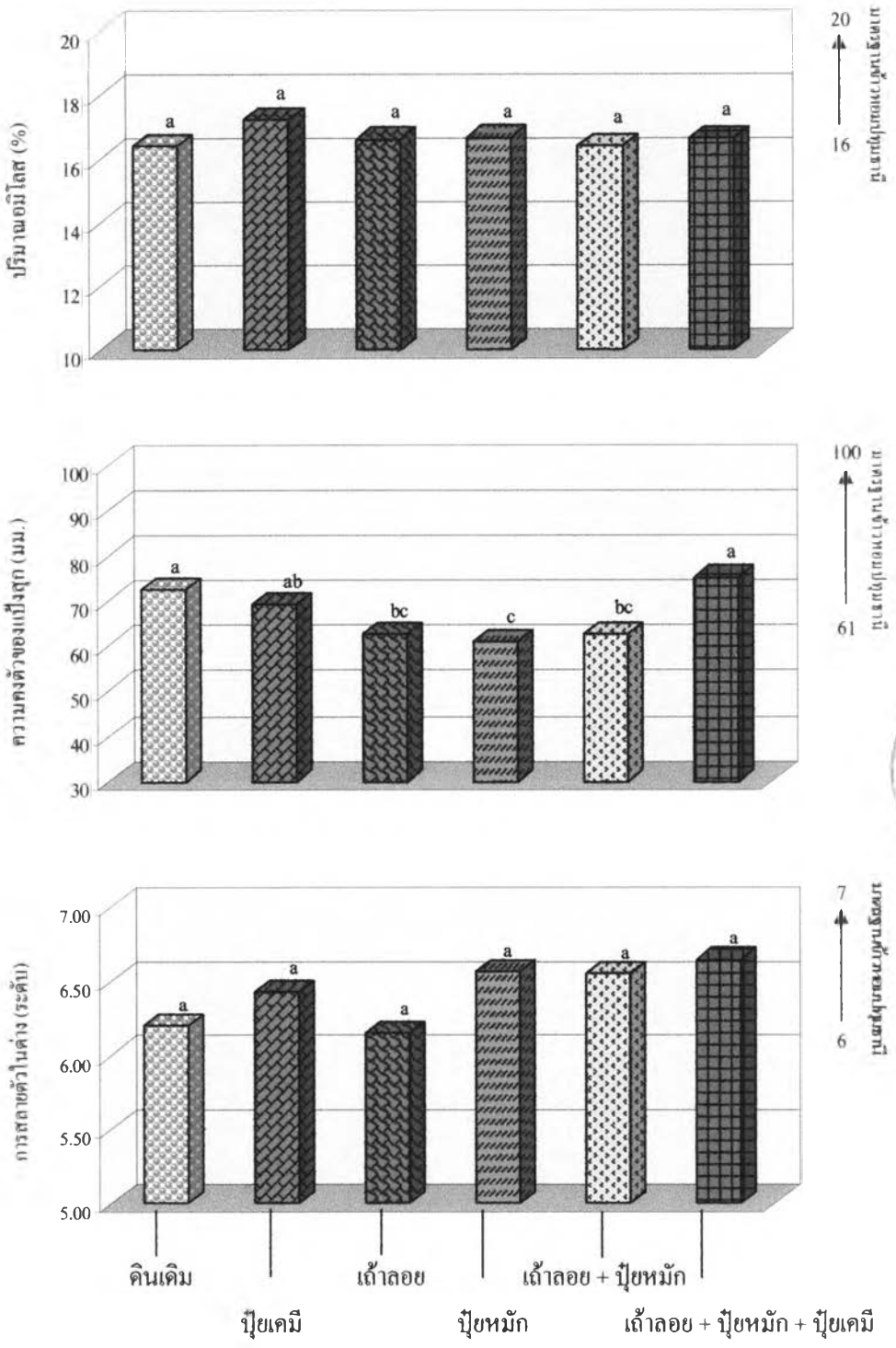
5.2.2.2 ปริมาณธาตุพิษ

ปริมาณธาตุพิษที่สะสมในเมล็ดข้าวสาร อันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ปนเปื้อนด้วยธาตุพิษ ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ในปริมาณ 1.8-8,000 ppm, 0.1-25 ppm, 11,500-144,000 ppm และ 2.3-1,700 ppm ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541; U.S.EPA, 1988) ซึ่งหากธาตุพิษเหล่านี้สะสมในเมล็ดข้าวสารในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้บริโภคได้ ย่อมก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคโดยตรง โดยนิกเกิลเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมผ่านลำไส้สู่กระแสเลือดแล้วจับกับอัลบูมินในพลาสมาเป็น nickelplasmin และสะสมที่ไต ต่อมใต้สมอง และปอด เป็นต้น รวมทั้งยังเป็นปัจจัยร่วมกับโลหะอื่นๆ ในการก่อให้เกิดมะเร็งได้ (คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชา พิษวิทยาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย, 2538; วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม, 2542) ส่วนแคดเมียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะยับยั้งการทำงานของระบบเอนไซม์ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) โดยจะเริ่มเป็นที่ไต ทำให้ไตล้มเหลว ปวดกระดูก กระดูกผิดรูป พบได้มากที่สุดในหญิงที่มีบุตรแล้ว ซึ่งอาการ

ของโรคที่พบได้ง่ายที่สุดคือ จะรู้สึกเจ็บจากการกดกระดูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เรียกว่า โรค อิไต-อิไต (itai-itai byo) ถ้าเป็นมากกระดูกจะฝ่อและผิดรูป ถ้าเป็นหลายปีกระดูกจะผิดรูปถึงขั้นเดินไม่ได้ (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2531; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่วนอลูมิเนียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายส่งผลให้เกิดการระคายเคืองเยื่อบุกระเพาะอาหารและลำไส้ได้ รวมทั้งทำให้มีอาการเจ็บคอ ปากไหม้ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องและท้องเสียได้ (วิลาวัณย์ จึงประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม, 2542) และสำหรับสารหนูเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลให้เกิดอาการอาเจียน เป็นพิษต่อตับ และไต รวมทั้งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดมะเร็งที่ปอด ตับ น้ำเหลือง และผิวหนัง (นิธิยา รัตนาปนนท์ และวิบูลย์ รัตนาปนนท์, 2543; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) โดยการศึกษาครั้งนี้ปริมาณธาตุพิษพิจารณาเฉพาะปริมาณทั้งหมดของนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ที่มีโอกาสสะสมอยู่ในข้าวสารอันเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ปนเปื้อนด้วยธาตุพิษ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนูทั้งหมดในข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 (ตารางที่ 4.10) พบว่า มีการสะสมในปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนูที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.10 ppm, 0.001 ppm, 2.0 ppm และ 0.01 ppm ตามลำดับ เนื่องมาจากอัตราการใช้เถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่สูงมากพอจนก่อให้เกิดการดูดดึงและสะสมของธาตุพิษ รวมทั้งดินในพื้นที่เพาะปลูกมีลักษณะเป็นดินเหนียวจึงมีความสามารถในการดูดดึงธาตุพิษไว้ได้ดี (Dias and Polo, 1988) ทั้งนี้ปริมาณนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียมและสารหนูทั้งหมดในข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้บริโภคได้ โดยปริมาณนิกเกิลที่ยอมให้บริโภคได้ในข้าวกล้องมีค่าเท่ากับ 0.19 ppm (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ส่วนปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้บริโภคได้มีค่าเท่ากับ 0.8 ppm (ดุษณี สุทธปรียาศรี, 2532) และมาตรฐานอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข กำหนดให้อาหารที่บรรจุในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทมีปริมาณสารหนูไม่เกิน 2 ppm (กรมควบคุมมลพิษ กองการจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, 2541) นั่นหมายถึงความเสี่ยงจากธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู) ในการบริโภคข้าวสาร เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีน้อยมาก

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู) ในข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่นั้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมให้บริโภคได้ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์



หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.6 ปริมาณอมิโลส (%) ความคงตัวของแป้งสุก (มม.) และการสลายตัวในด่าง (ระดับ) ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

5.3 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุพิษคงเหลือตกค้างในดินภายหลังการเก็บเกี่ยว

ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุพิษคงเหลือตกค้างในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านการเกษตร จะบ่งบอกให้ทราบถึงความสามารถของการเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าว และความเป็นไปได้อันเนื่องมาจากผลตกค้างของธาตุพิษที่อาจส่งผลต่อการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป เนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นดินเปรี้ยวซึ่งมีความเป็นกรดจัด ประกอบกับดินนาเมื่อทำการขังน้ำดินจะอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน จึงเกิดปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างรุนแรง อาจทำให้การละลายได้ของธาตุพิษบางชนิดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) ในที่นี้ปริมาณธาตุอาหารหลักพิจารณาในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณธาตุพิษพิจารณาจากปริมาณธาตุพิษทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ ซึ่งประกอบด้วยโลหะหนักที่เป็นพิษ รวมถึงความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินความต้องการของข้าว ได้แก่ นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองในพื้นที่ศึกษาวิจัยซึ่งเป็นดินเปรี้ยวที่มีปัญหาความเป็นกรดจัด นับเป็นส่วนสำคัญที่บ่งชี้ถึงความสามารถของเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป ปริมาณธาตุอาหารหลักในที่นี้มุ่งพิจารณาในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.1.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวเนื่องจากเป็นส่วนประกอบหลักของโปรตีน กรดอะมิโน คลอโรฟิลล์ และเอ็นไซม์ รวมทั้งช่วยควบคุมการออกดอกและเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.7) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (0.170%) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (0.126%) และทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินเทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.172%) ทั้งนี้

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนที่มีมากในปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.610%, ตารางที่ 4.1) รวมทั้งอินทรียวัตถุที่ได้จากปุ๋ยหมักฟางข้าวส่งเสริมให้มีการตรึงไนโตรเจนได้ดีขึ้น จึงทำให้เกิดความต่างระหว่างปริมาณไนโตรเจนคงเหลือตกค้างในดินเมื่อเติมเฉพาะปุ๋ยเคมีกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ อย่างไรก็ตามเมื่อประเมินปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินแล้ว จัดได้ว่าดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นดินที่มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในระดับปานกลาง (0.1-0.2%) ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

5.3.1.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวโดยช่วยกระตุ้นการสร้างราก ส่งเสริมให้การงอกของเมล็ดดีขึ้น ทำให้ต้นข้าวตั้งตัวและแตกกอได้ดี (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.7) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (13.09 ppm) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (9.65 ppm) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ (12.33 ppm) หรือการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (12.80 ppm) แต่มีแนวโน้มแตกต่างจากการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (14.27 ppm) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมฟอสเฟตลงในดินโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปอินทรีย์ฟอสฟอรัสซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ได้เพียงร้อยละ 10-25 เท่านั้น ในขณะที่ปริมาณส่วนใหญ่คือ ร้อยละ 75-90 จะถูกตรึงให้อยู่ในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ได้แก่ อลูมิเนียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2539; ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2545) ซึ่งละลายน้ำได้ยากหรืออยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Haseman, Brown and White, 1950) ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อพิจารณาความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staffand Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองจัดอยู่ในระดับปานกลาง (10-15 ppm) โดยเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินสูงถึง 18.83 ppm จัดได้ว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินอยู่ในระดับค่อนข้างสูง (15-25 ppm)

5.3.1.3 โพแทสเซียม

ดินโดยทั่วไปมีปริมาณโพแทสเซียมค่อนข้างสูง แต่ในการปลูกข้าวยังต้องใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมให้เสมอ เนื่องจากพืชมีความต้องการโพแทสเซียมในปริมาณมากในการเจริญเติบโต (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) เพื่อเพิ่มจำนวนหน่อในระยะข้าวแตกกอสูงสุดและเพิ่มจำนวนดอกต่อรวง (De Datta, 1978)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.7) พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือตกค้างในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (157.24 ppm) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (88.08 ppm) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (154.36 ppm) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี (167.36 ppm) ทั้งนี้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือตกค้างในดินที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณมากถึง 257.87 ppm (ตารางที่ 4.1) รวมถึงศักยภาพของดินในการปลดปล่อยโพแทสเซียม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ดินเหนียว ชนิดของแร่ดินเหนียว และความมากน้อยของการผ่านกระบวนการกำเนิดดิน (Suwanarit and Narkviroj, 1976) โดยปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์แก่พืช (available potassium) จะขึ้นอยู่กับอำนาจในการผลักดันให้เกิดปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (soluble potassium) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (extractable potassium) จะถูกควบคุมโดย CEC ของดิน ปริมาณแร่ดินเหนียวหรือประเภทของเนื้อดิน (ถวิล ครุฑกุล, 2530) เมื่อพิจารณาความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระนาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) พบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองจัดอยู่ในระดับสูงมาก (มากกว่า 120 pm)

กล่าวโดยสรุป สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลักในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือตกค้างในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินไม่แตกต่างจากดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว เมื่อประเมินตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนาจัดได้ว่า ดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์คงเหลือตกค้างในดินอยู่ในระดับปานกลาง และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้คงเหลือตกค้างในดินอยู่ในระดับสูงมาก ดังนั้นเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวจึงน่าจะเป็นแหล่งธาตุอาหารต่อเนื่องสำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไปได้

5.3.2 ปริมาณธาตุพิษ

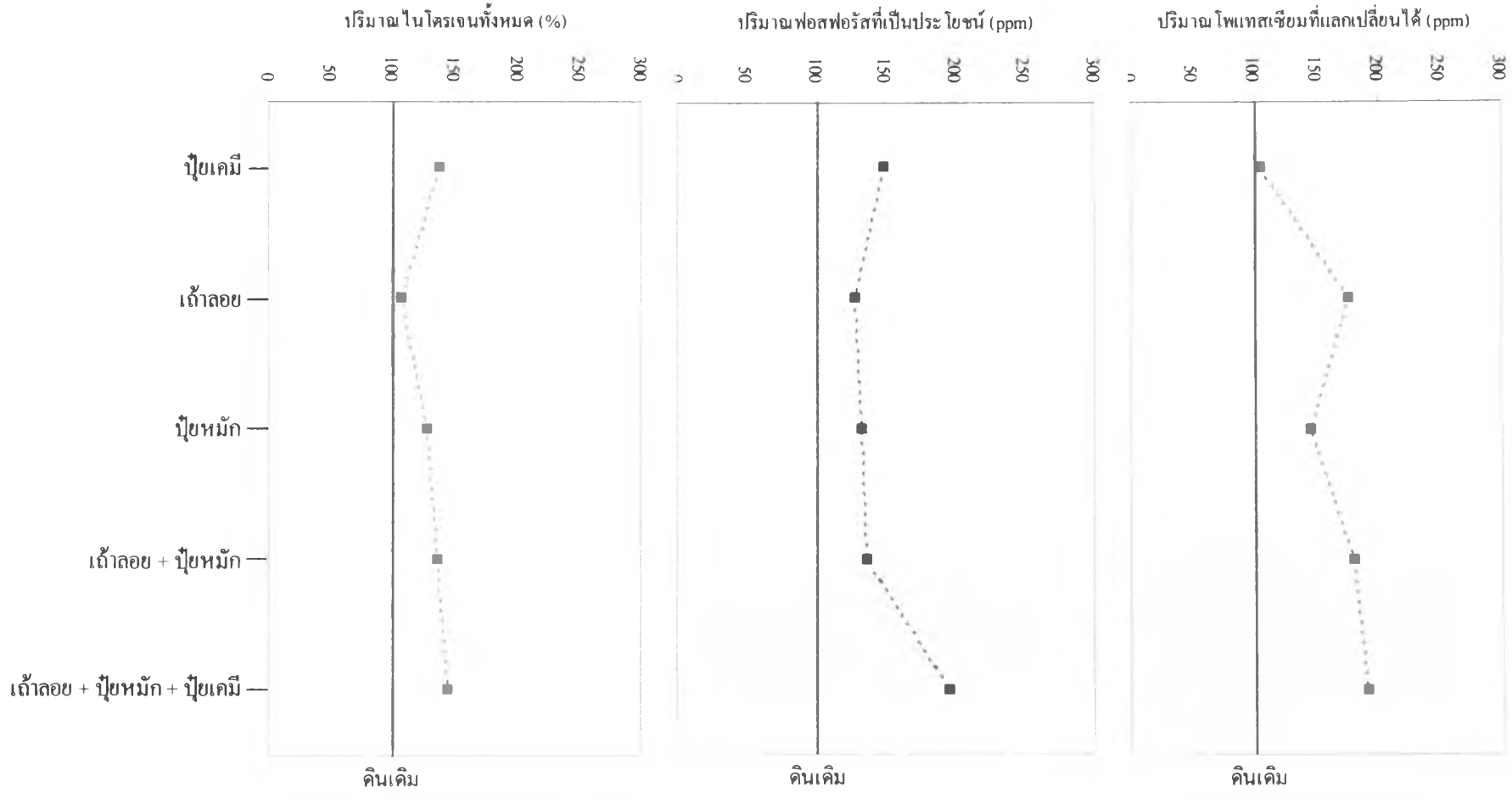
ปริมาณธาตุพิษของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองในพื้นที่ศึกษาวิจัยซึ่งเป็นดินเปรี้ยว สามารถบ่งบอกให้ทราบถึงแนวโน้มความเป็นไปได้ของปริมาณธาตุพิษคงเหลือตกค้างในดินที่อาจส่งผลต่อการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป เนื่องจากดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยเป็นดินเปรี้ยวซึ่งมีความเป็นกรดจัด อาจทำให้การละลายได้ของธาตุพิษบางชนิดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่อาจเป็นพิษต่อข้าวได้ (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) โดยปริมาณธาตุพิษที่มากเกินไปย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวดังนี้ ธาตุนิกเกิลจะส่งผลให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองระหว่างเส้นใบจากใบอ่อนไปสู่ใบแก่ เกิดการตายของเนื้อเยื่อ (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526; Mengel and Kirkby, 1982) ธาตุแคดเมียมจะส่งผลให้เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญของรากลดลง (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526; Hewitt, 1953) ส่วนธาตุอลูมิเนียมจะส่งผลโดยตรงต่อราก โดยรากจะสั้นกุดและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปริมาณรากแขนงและรากฝอยลดลง ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นผิดปกติ (กรมวิชาการเกษตร, 2543ข) ในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณธาตุพิษ ประกอบด้วยโลหะหนักที่เป็นพิษ และความเป็นพิษของธาตุบางชนิดที่มีปริมาณมากเกินไป โดยพิจารณาเฉพาะนิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู ในปริมาณทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.2.1 นิกเกิล

ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 4.7) จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ พบว่า มีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณนิกเกิลที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.10 ppm ซึ่งเนื่องมาจากอัตราการใช้เถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่สูงมากพอจนก่อให้เกิดการสะสมและตกค้างของปริมาณนิกเกิลในดิน อย่างไรก็ตามการละลายได้ของนิกเกิลในดินจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยการละลายได้ของนิกเกิลจะน้อยลงเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของดินสูงขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Chaney, 1982; Mengel and Kirkby, 1982) ทั้งนี้ปริมาณนิกเกิลทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืช โดยปริมาณนิกเกิลในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 50-100 ppm (Chaney, 1982: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

5.3.2.2 แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.8) จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่



หมายเหตุ : นำเสนอเป็นค่าสัมพัทธ์เมื่อกำหนดให้ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N,P,K) ที่มีอยู่ในดินเดิมเท่ากับ 100

รูปที่ 5.7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) ของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ พบว่า แคดเมียมทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินมีปริมาณ 0.003 ppm ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.29^{NS}) โดยทุกตำรับทดลองมีปริมาณแคดเมียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.002-0.003 ppm ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราการใช้เถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่สูงมากพอที่จะก่อให้เกิดการสะสมและตกค้างในดินได้ อย่างไรก็ตามเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินที่มีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ เมื่อใส่ลงดินพบว่า แคดเมียมจะไม่ถูกชะล้างลงสู่น้ำใต้ดิน แต่ส่วนใหญ่จะตกค้างอยู่ในดิน (ดาวรุ่ง สังข์ทอง, 2539) สำหรับปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ พบว่า มีน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณแคดเมียมที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.001 ppm ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืช ซึ่งปริมาณแคดเมียมในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 3-5 ppm (Pendias and Pendies, 1992: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

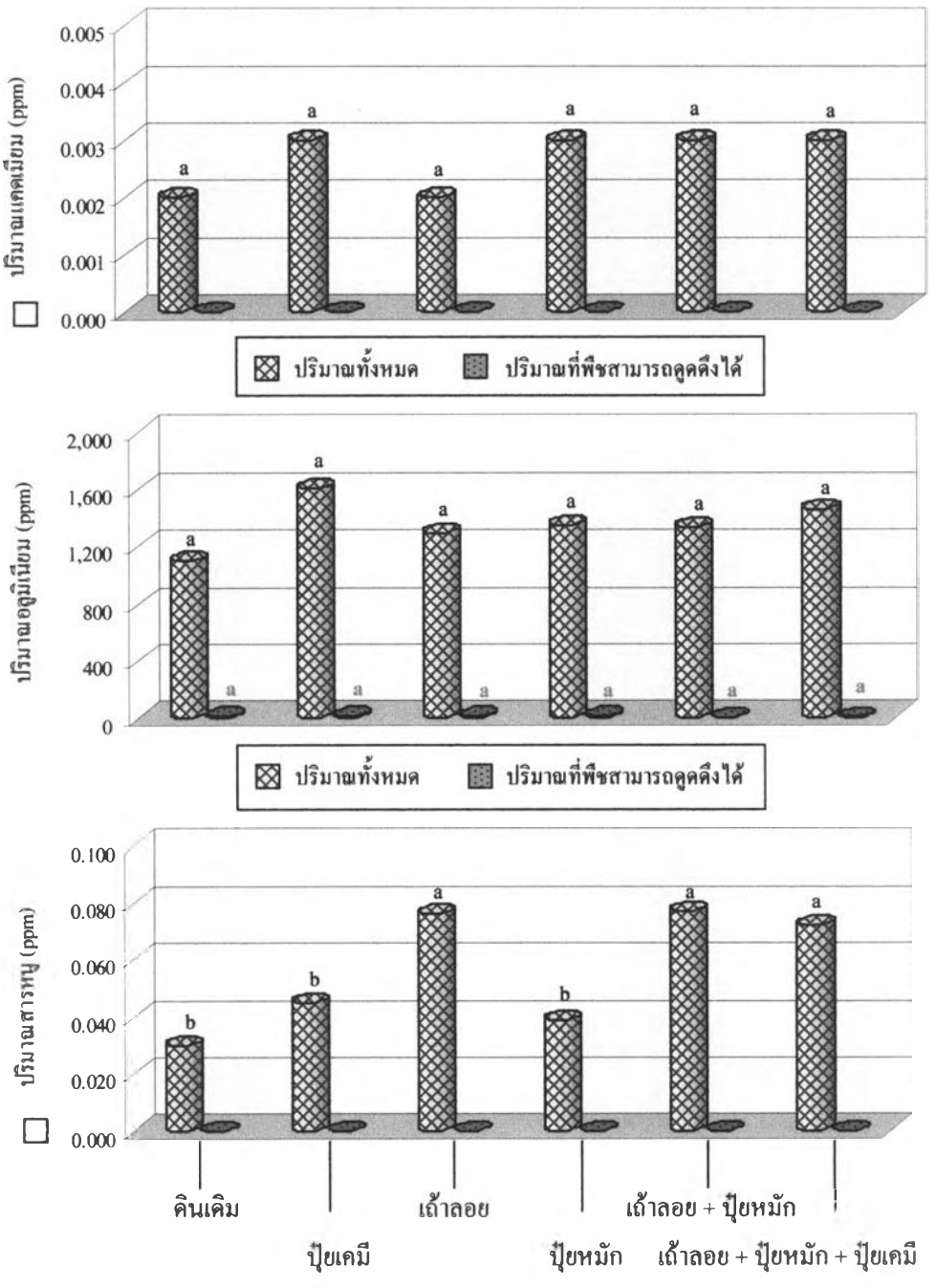
5.3.2.3 อลูมิเนียม

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดและปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.8) จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ พบว่า อลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินมีปริมาณ 1,338.50 ppm ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.89^{NS}) โดยทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดอยู่ในช่วง 1,097.12-1,600.33 ppm และปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ พบว่า มีปริมาณ 4.56 ppm ซึ่งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.69^{NS}) โดยทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้อยู่ในช่วง 4.56-11.86 ppm ทั้งนี้การละลายได้ของอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยเมื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้สูงขึ้นตั้งแต่ 4.4 ขึ้นไปแล้วอันตรายจากความเป็นพิษของอลูมิเนียมจะไม่เกิดขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2520) โดยที่ Al^{3+} ในสารละลายดินจะถูกดูดซับอยู่ตามผิวของแร่ดินเหนียว (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) อย่างไรก็ตามปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินยังอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษโดยปริมาณอลูมิเนียมในดินที่เริ่มก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืชมีค่าอยู่ในช่วง 27-270 ppm (Coutler, 1972: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) แม้ว่าปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินจะอยู่ในระดับสูงกว่าระดับที่ยอมให้มีได้ในดินซึ่งเป็นปัญหาที่มีอยู่เดิมในดินซึ่งเป็นดินเปรี้ยวก็ตาม แต่ก็ถือเป็นข้อเตือนใจให้ทราบว่าควรมีการจัดการพื้นที่เพื่อการปลูกข้าวสำหรับการปลูกในฤดูกาลถัดไป

5.3.2.4 สารหนู

ปริมาณสารหนูทั้งหมดและปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 5.8) พบว่า ปริมาณสารหนูทั้งหมดคงเหลือตกค้างในดินจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ (0.077 ppm) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว (0.030 ppm) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่เพียงอย่างเดียว (0.076 ppm) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่และปุ๋ยเคมี (0.072 ppm) ทั้งนี้ปริมาณสารหนูทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจัดได้ว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย แต่เป็นข้อเตือนใจให้ทราบว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีผลทำให้เกิดการตกค้างของสารหนูได้ ซึ่งเนื่องมาจากเถ้าลอยลิกไนต์มีสารหนูปนเปื้อนอยู่ในปริมาณ 0.107 ppm จึงนับเป็นข้อที่ควรระวังในการนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรม มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ส่วนปริมาณสารหนูที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินมีน้อยมากจนตรวจไม่พบด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer ซึ่งค่าต่ำสุดของปริมาณสารหนูที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้คือ 0.01 ppm ทั้งนี้เนื่องมาจากดินที่ใช้ในการเพาะปลูกเป็นดินเหนียว ซึ่งมีปริมาณแร่ดินเหนียว เหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงจึงสามารถดูดซับและตรึงสารหนูไว้ได้ดี (O Neill, 1993) อย่างไรก็ตามปริมาณสารหนูทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินจัดอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืช แม้ว่าปริมาณสารหนูทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นจากเดิมก็ตามแต่ก็ยังอยู่ห่างจากระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืชถึง 520 เท่า ซึ่งองค์การอนามัยโลก (WHO) กำหนดมาตรฐานระดับสารหนูที่ปนเปื้อนได้ในดินต้องมีค่าไม่เกิน 40 ppm (กรมควบคุมมลพิษ, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) จึงไม่ต้องกังวลสำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป

กล่าวโดยสรุปสำหรับปริมาณธาตุพิษในดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลองได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้ (นิกเกิล แคดเมียม อลูมิเนียม และสารหนู) คงเหลือตกค้างในดินไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากดินเดิมซึ่งเป็นดินเปรี้ยว ยกเว้นสารหนูทั้งหมดที่มีปริมาณคงเหลือตกค้างในดินเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและห่างจากระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืชถึง 520 เท่า ทั้งนี้ปริมาณธาตุพิษที่พืชสามารถดูดดึงได้คงเหลือตกค้างในดินอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดพิษในพืช ดังนั้นความเป็นไปได้อันเนื่องมาจากผลตกค้างของธาตุพิษที่อาจส่งผลต่อการปลูกข้าว จึงไม่น่าจะเป็นอุปสรรคในการใช้ประโยชน์จากพื้นที่เพื่อการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไป



□ หมายถึง ช่วง Trace คือ มีปริมาณน้อยกว่าที่เครื่องมือจะตรวจพบ โดยค่าต่ำสุดของปริมาณแคดเมียม และสารหนู ที่เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer สามารถตรวจวัดได้ คือ 0.001 ppm และ 0.01 ppm ตามลำดับ

หมายเหตุ : กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกันในปริมาณทั้งหมด และในปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

รูปที่ 5.8 ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดและที่พืชสามารถดูดดึงได้ (แคดเมียม อลูมิเนียมและสารหนู) ของดินภายหลังการเก็บเกี่ยวหรือดินเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ดังนั้นกล่าวได้ว่า การนำเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมที่ได้จากแปลงนา สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าวได้ เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารของข้าวทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าว จึงนับเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารข้าวนอกเหนือจากการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการปลูกข้าวได้ รวมทั้งปุ๋ยหมักฟางข้าวยังสามารถเพิ่มอินทรียวัตถุในดินจึงนับเป็นการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ดีขึ้นได้ในระยะยาว และอาจถือเป็นวิธีการปลูกข้าวที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีทำให้เข้าข่ายของการปลูกข้าวแบบเกษตรอินทรีย์ซึ่งราคาข้าวที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์จะสูงกว่าราคาข้าวที่ปลูกโดยทั่วไปประมาณ 5-10 % (กรมวิชาการเกษตร, 2542ข) เนื่องจากตลาดการค้าข้าวในปัจจุบันให้ความสำคัญอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและตระหนักถึงความปลอดภัยจากการผลิตและการบริโภค โดยในอนาคตอันใกล้นี้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางมีแนวโน้มที่จะใช้ถ่านหินลิกไนต์มาเป็นเชื้อเพลิงมากขึ้น ด้วยเหตุนี้การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรก็เท่ากับเป็นการวางแนวทางในการจัดการเพื่อรองรับวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมได้