บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง เถ้าลอยลิกไนต์ ฟางข้าว และปุ๋ยหมักฟางข้าว

ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลองจากพื้นที่ศึกษาวิจัย เถ้าลอยลิกไนต์ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยหมักฟางข้าว ถือได้ว่าเป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินความเป็นไปได้ของสิ่งทดลองในแง่ของการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง อินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) โดยมีผลการศึกษาวิจัยดังนี้

4.1.1 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง

ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ถือได้ว่าเป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินความเป็นไปได้ของสิ่งทดลองในแง่ของการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง และโดยพื้นที่ศึกษาวิจัยดังกล่าวเคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544

4.1.1.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่าในทุกตำรับการทดลองไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 1.63^{NS}) และมีค่าอยู่ในช่วง 4.16-4.49 จัดได้ว่ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่างรุนแรงมาก (Extremely acid) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามปทานุกรมปฐพีวิทยา (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) หรือมีความเป็นกรดจัดมาก (Extremely acid) เมื่อเทียบตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร, จารุณี นักระบาด และชอบ คณะฤกษ์, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) แต่ก็มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัย และจัดอยู่ในชั้นดิน P-IIIa ตามการจำแนกชั้นความเหมาะสมของ

ดินเปรี้ยวจัด เพื่อการปลูกข้าวของกรมพัฒนาที่ดิน (2541) เป็นดินที่เหมาะสมกับการทำนาปานกลาง โดยมีความเป็นกรดเป็นอุปสรรคในการปลูกข้าว เพราะจะเกิดความเป็นพิษเนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและปริมาณอลูมินัมที่มีอยู่มากจะเป็นพิษต่อต้นข้าวได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) อย่างไรก็ตามดินกรดจัดเมื่อมีการขังน้ำค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาที่ขังน้ำจะมีค่า 6.5-6.7 ภายใน 3 สัปดาห์ (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) และมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.1.1.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่าทุกตำรับการทดลองไม่มีความต่างทางสถิติ (F – value = 0.87^{NS}) และมีค่าอยู่ในช่วง 0.93-1.02 % จัดได้ว่ามีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) แสดงว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาทุกตำรับทดลองมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัย

4.1.1.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารหลักในดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.1) พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้) ไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 0.50^{NS} 1.52^{NS} และ 0.82^{NS} ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ศึกษาวิจัยมีความสม่ำเสมอของปริมาณธาตุอาหารหลักทั่วทั้งพื้นที่ โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 0.140-0.149 % ถือได้ว่ามีปริมาณไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับความต้องการไนโตรเจนของข้าว (0.6-0.8 %) (อานนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; Tanaka and Yoshida, 1975) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าอยู่ในช่วง 11.50-12.99 ppm และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าอยู่ในช่วง 95.16-106.64 ppm สามารถจัดได้ว่าอยู่ในระดับปานกลาง และระดับสูง ตามลำดับ เมื่อเทียบตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3 และ ผ.4 ตามลำดับ)

4.1.1.4 ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง คือ ซิลิกอน โดยทำการวัดในรูปกรดโมโนซิลิซิก (Monosilicic acid; $Si(OH)_4$) เป็นรูปที่ต้นข้าวสามารถใช้ประโยชน์ได้ (Yoshida, 1975) (ตารางที่ 4.1) พบว่า ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาก่อนเติมสิ่งทดลองไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 0.38^{NS}) สามารถสรุปได้ทุกตำรับทดลองมีความสม่ำเสมอของปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนา ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 49.45-52.70 ppm มีเพียงพอต่อความ

ต้องการซิลิกอนของข้าว เนื่องจากในหนึ่งฤดูปลูกข้าวจะดึงดูดซิลิกอนไป 7.10 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 4.44 ppm (De Datta, 1978; Imaizumi and Yoshida, 1958) และถือได้ว่ามีมากกว่าดินโดยทั่วไป มีค่าอยู่ในช่วง 14-20 ppm (Tisdale et al., 1985)

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง ซึ่งเคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544 มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยแต่ละตำรับทดลองไม่มีความต่างทางสถิติของความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) นอกจากนี้สามารถเป็นแหล่งของโพแทสเซียม และซิลิกอนสำหรับการปลูกข้าวได้อย่างเพียงพอ และถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการทำนาปานกลาง เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างรุนแรงมากอาจเป็นอุปสรรคต่อการทำนา

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง					
			ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน : น้ำ = 1 : 2)	อินทรียวัตถุ (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5; ppm)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O_5; ppm)	ซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$; ppm)
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	4.38	0.93	0.140	12.85	102.24	50.73
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	4.27	0.95	0.141	11.62	102.40	49.84
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.29	0.94	0.149	12.12	106.64	49.45
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	4.24	0.98	0.147	12.99	95.16	51.40
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.16	1.00	0.146	12.41	100.40	50.40
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	4.34	0.99	0.145	12.97	98.12	52.70
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	4.49	1.02	0.144	11.50	105.08	49.61
F-value	**1.63 NS**	**0.87 NS**	**0.50 NS**	**1.52 NS**	**0.82 NS**	**0.38 NS**
CV (%)	**3.35**	**6.28**	**5.54**	**9.98**	**7.45**	**6.62**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.1.2 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุเหลือใช้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ มีปริมาณมากถึง 2,400,000 ตัน/ปี หากมีการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในทางด้านเกษตรกรรมนับว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ของข้าว และเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหามลภาวะที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้

เถ้าลอยลิกไนต์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย (ตารางที่ 4.2) มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 11.82 จัดได้ว่าที่ความเป็นด่างจัดมาก (Very strongly alkaline) (คณะกรรมการจัดการทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) โดยมากกว่าแล้วมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 9.0 (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2544) ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ แต่จากการศึกษาวิจัยของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2546) พบว่า แม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีความเป็นกรดเป็นด่างสูงมาก แต่อำนาจการทำให้เป็นกลางต่ำ ดังนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่สูงของเถ้าลอยลิกไนต์จึงไม่มีผลในการแก้ไขปัญหาดินเปรี้ยวโดยตรง หรือไม่สามารถใช้เป็นปูนทางการเกษตรได้ แต่สามารถเอื้อต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว สำหรับปริมาณอินทรียวัตถุในเถ้าลอยลิกไนต์เท่ากับ 0.03 % ถือได้ว่าอยู่ในระดับต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานอินทรียวัตถุในดินทั่วไป คือ มีค่าน้อยกว่า 0.5 % (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

เถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับข้าว (ตารางที่ 4.2) คือ ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.014 % ซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินทั่วไป หรือเทียบกับความต้องการไนโตรเจนของข้าว (0.6-0.8 %) (อานนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; Tanaka and Yoshida, 1975) เนื่องจากในกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียล (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนที่พบถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นแก๊ส จึงตรวจพบปริมาณไนโตรเจนในเถ้าลอยลิกไนต์ได้น้อย (Adriano et al., 1980) ในทำนองเดียวกันปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 2.39 ppm ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ตามการประเมินระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) และฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ในเถ้าลอยลิกไนต์ไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้รวดเร็ว (Scotti et al., 1999) ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 214 ppm ถือได้ว่าอยู่ในระดับที่สูงมาก ตามการประเมินระดับของปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ตาม

การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) ส่วนปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ (ตารางที่ 4.2) คือ ซิลิกอนในรูปของกรดโมโนซิลิซิก (Monosilicic acid; $Si(OH)_4$) ซึ่งเป็นรูปที่ต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ (Yoshida, 1975) มีปริมาณเท่ากับ 324.55 ppm จัดได้ว่าเป็นวัสดุที่มีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูง เป็นผลดีต่อต้นข้าวเนื่องจากซิลิกอนจะช่วยลดการล้มของต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ใบข้าวตั้งตรงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงดีขึ้น อีกทั้งปริมาณซิลิกอนที่มากก็ไม่เป็นปัญหาในการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย (takahashi, 1968; Yoshida, 1981)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงดินนาในพื้นที่ศึกษาวิจัยน่าจะเป็นแหล่งโพแทสเซียมและซิลิกอนสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวได้ ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพการให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้น้อย

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์

ลักษณะสมบัติทางเคมี		เถ้าลอยลิกไนต์
ความเป็นกรดเป็นด่าง (เถ้าลอยลิกไนต์ : น้ำ = 1 : 2)		11.82
อินทรียวัตถุ (%)		0.03
ธาตุอาหารหลัก	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.014
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5; ppm)	2.39
	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O_5; ppm)	214
ธาตุเสริมประโยชน์	ซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$; ppm)	324.55

4.1.3 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว และปุ๋ยหมักฟางข้าว

ปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ใช้ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยหมักฟางข้าว สามารถพิจารณาลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีเพื่อบ่งชี้ถึงความเป็นแหล่งธาตุอาหารของปุ๋ยหมักฟางข้าว สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวรุ่นหลักและข้าวตอซังดังต่อไปนี้

4.1.3.1 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดแล้วนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว มีลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.3) ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

7.16 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 54.06 : 1 ซึ่งมีค่าสูงมาก จะมีผลต่อระบบการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าในการย่อยสลาย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) นอกจากนี้มีปริมาณธาตุอาหารหลักของข้าว ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด 0.70 % ฟอสฟอรัสทั้งหมด 0.012 % และโพแทสเซียมทั้งหมด 0.94 % สำหรับธาตุเสริมประโยชน์ คือ ซิลิกอนทั้งหมด (Crude silicon) พบในปริมาณ 10.69 %

4.1.3.2 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว

ปุ๋ยหมักฟางข้าวที่ได้จากการหมักฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดแล้ว กับ มูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย และเชื้อจุลินทรีย์ พด.1 เพื่อเติมลงในดินนาสำหรับเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับข้าว มีลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.3) คือ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เท่ากับ 7.73 จัดได้ว่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในระดับด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline) (คณะกรรมการจัดการทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) ซึ่งมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมักจะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.0-8.0 อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ไม่ค่อยมีปัญหาความเป็นกรดเป็นด่างมากนัก เพราะปกติแล้วความเป็นกรดเป็นด่างของเศษซากพืชจะเป็นกลางหรือเป็นกรดเล็กน้อย นอกจากนี้อินทรียวัตถุยังมีคุณสมบัติที่เป็นบัฟเฟอร์ได้ดี ช่วยรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักฟางข้าว เท่ากับ 11.68 : 1 สอดคล้องกับข้อกำหนดในการที่จะบ่งชี้ถึงปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดี คือ อัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักควรมีค่าเท่ากับ หรือต่ำกว่า 20 : 1 ซึ่งค่าดังกล่าวเมื่อนำปุ๋ยหมักฟางข้าวใส่ลงในดินแล้วจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อพืช (Bertoldi, Vallini and Pera, 1983) และปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักฟางข้าว มีค่าเท่ากับ 32.33 % ตามเกณฑ์การพิจารณาของกรมพัฒนาที่ดิน จัดได้ว่ามีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้ง ที่กำหนดว่าต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ประมาณ 25-50 % โดยน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) รวมทั้งอินทรียวัตถุเป็นแหล่งธาตุอาหารสำคัญสำหรับพืช เนื่องจากมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาสูงถึง 95 % อีกทั้งการที่อินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากและมีประจุลบเป็นส่วนใหญ่ จึงมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกไว้ได้มาก ทำให้สะสมธาตุอาหารได้มากขึ้น สำหรับปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (1.61 %) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.074 %) และโพแทสเซียมทั้งหมด (1.32 %) เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมกับการปลูกพืช คือ มีปริมาณธาตุอาหารไม่ต่ำกว่า 0.5-0.5-1.0 % (% ของ $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) จะเห็นได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสเท่านั้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์ ปริมาณที่มีอยู่ในรูป Crude silicon มีค่าเท่ากับ 12.72 % จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับต้นข้าว ต้นข้าวไม่ล้ม และสามารถต้านทานต่อโรคและแมลง เพราะข้าวเป็นพืชที่สะสมซิลิกอนตามลำต้นและใบ อีกทั้งปริมาณซิลิกอนในดินที่

มาก ก็ไม่เป็นข้อจำกัดในเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; Balasta et al., 1989; Imaizumi and Yoshida, 1958; Sommer, 1976) ทั้งนี้ฟางข้าวซึ่งมีการแปรสภาพให้อยู่ในรูปปุ๋ยหมักฟางข้าว จะทำให้ธาตุอาหารในฟางข้าวนั้นอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

ดังนั้น ฟางข้าวที่ผ่านการเพาะเห็ดแล้วนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหมักฟางข้าว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก หากเติมลงในดินนาจะมีปัญหาในการสลายตัว ขณะเดียวกันปุ๋ยหมักฟางข้าวมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม สามารถสลายตัวได้ดี จะช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้กับดินนาได้ และนอกจากนี้ปุ๋ยหมักฟางข้าวยังเป็นแหล่งธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) สำหรับการปลูกข้าวได้อีกด้วย

ตารางที่ 4.3 ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว และปุ๋ยหมักฟางข้าว

ลักษณะสมบัติทางเคมี		ฟางข้าว	ปุ๋ยหมักฟางข้าว
ความเป็นกรดเป็นด่าง (พืช : น้ำ = 1 : 5)		7.16	7.73
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)		54.06 : 1	11.68 : 1
อินทรียวัตถุ (%)		-	32.33
ธาตุอาหารหลัก	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.70	1.61
	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.012	0.074
	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	0.94	1.32
ธาตุเสริมประโยชน์	ซิลิกอนทั้งหมด (%)	10.69	12.72

หมายเหตุ : - หมายถึง ไม่ทำการวิเคราะห์

4.2 ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ต่อลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

การศึกษาวิจัยลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก นับว่าเป็นข้อมูลสำคัญ เพื่อบ่งชี้ถึงปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติทางเคมีของดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักที่เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) สำหรับการปลูกข้าวรุ่นหลัก นอกจากนี้ปริมาณธาตุอาหารในดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักยังช่วยประเมินความเป็นประโยชน์และความเพียงพอของธาตุอาหารต่อการ

พัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง รวมทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวตอซังอีกด้วย ผลการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.4) พบว่า ทุกตำรับการทดลองไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 2.56^{NS}) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.25-4.67 จัดได้ว่าดินนามีความเป็นกรดจัดมาก (Very strongly acid) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.6-5.0 ถึงมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-4.5 (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) หรือเมื่อเทียบระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา พบว่า มีความเป็นกรดจัด (Very strongly acid) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.5-5.0 ถึงมีความเป็นกรดจัดมาก (Extremely acid) มีค่าน้อยกว่า 4.5 (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) ความเป็นกรดของดินนานั้นเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง โดยการเติมปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มที่จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาลดลงเมื่อเทียบกับดินเดิม ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์มีแนวโน้มที่จะทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิมเช่นเดียวกัน

สรุปได้ว่า การเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึง เถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีคุณสมบัติเป็นปูนทางการเกษตรได้ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546) และปุ๋ยหมักฟางข้าว เมื่อย่อยสลายจะให้อินทรียวัตถุกับดินนาซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นบัฟเฟอร์ที่ดีช่วยรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่ให้เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก (Bertoldi et al., 1983)

4.2.2. ปริมาณอินทรียวัตถุ

ปริมาณอินทรียวัตถุของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.4) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนา (1.19 %) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 13.04^{*}) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.16 %) และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.18 %) (กลุ่มอักษร a เดียวกัน) นอกจากนี้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (1.01 % อักษร b) และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (1.04 % อักษร b) ก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.87 % อักษร c) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณอินทรียวัตถุในดินนากับดินเดิม

ทุกตำรับทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอยู่ในระดับต่ำปานกลาง คือ มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 1.5 % (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) การเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรียวัตถุในดินนามีความเป็นไปได้ว่าเป็นผลมาจากปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมลงในดินนาซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุถึง 32.33 % (ตารางที่ 4.3) เกิดการย่อยสลายส่งผลให้มีอินทรียวัตถุสะสมอยู่ในดินนามาก และอินทรียวัตถุถือได้ว่าเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนให้กับดินนา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์มีอินทรียวัตถุเพียง 0.03 % (ตารางที่ 4.3) มีศักยภาพการเพิ่มอินทรียวัตถุต่ำกว่าปุ๋ยหมักฟางข้าว แต่ก็มีมากกว่าปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นกลุ่มสารอนินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2528) จึงไม่มีส่วนช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินนา

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

4.2.2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินนาในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.4) ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ผลของการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.182 %) มีมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 15.02*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.126 % อักษร c) เติมเถ้าลอยลิกไนต์ (0.134 % อักษร c) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.161 % อักษร b) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมี (0.172 % อักษร ab) เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.170 % อักษร ab) และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.168 % อักษร ab) สำหรับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวก็มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์กลับไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนากับดินเดิม

จากผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า ปุ๋ยเคมีที่เติมลงในดินนามีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบต่อหน่วยน้ำหนักสูง (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) และปุ๋ยหมักฟางข้าวก็มีปริมาณอินทรียวัตถุถึง 32.33 % (ตารางที่ 4.3) ซึ่งจะเป็นแหล่งสำคัญที่ปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับดินนา อีกทั้งคุณสมบัติของอินทรียวัตถุช่วยให้ดินนามีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชได้มาก เพราะอินทรียวัตถุมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และมีประจุไฟฟ้าลบเป็นส่วนใหญ่จึงสามารถดูดซับไอออนบวกได้มากเช่นกัน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) จึงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณไนโตรเจนน้อยมาก (Adriano et al., 1980) เนื่องมาจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียล (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ทำให้ไนโตรเจนถูกทำลาย หรือเปลี่ยนรูป/สถานะกลายเป็นแก๊สไป จึงไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาเกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดินเดิม

นั่นหมายถึง การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาเพิ่มขึ้นในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ดินนาในทุกตำรับทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่เพียงพอกับความต้องการไนโตรเจนของข้าว (0.6-0.8 %) (อานนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; Tanaka and Yoshida , 1975) ประกอบกับไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สูญเสียออกจากดินนาได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวรุ่นหลักนั้นจะไม่มีผลต่อความสูง ความยาวรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซัง (Sompaew, 1979 อ้างถึงใน ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) ในทางกลับกันถ้าใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในข้าวตอซัง พบว่า ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกต่อกอเพิ่มขึ้น (สุระพร รัตนโกศล, 2520) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเติมไนโตรเจนลงในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักก่อนการปลูกข้าวตอซัง

4.2.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (18.83 ppm) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 5.58*) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (14.27 และ 14.07 ppm ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม (9.65 ppm อักษร c) แต่ไม่มีความต่างกันทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์

ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (12.33 1.2.80 และ 13.09 ppm ตามลำดับ กลุ่มอักษร bc เดียวกัน)

เมื่อจำแนกตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอยู่ในระดับปานกลาง (10-15 ppm) ถึงค่อนข้างต่ำ (6-10 ppm) (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาที่เพิ่มขึ้น น่าจะเป็นผลมาจากปุ๋ยเคมีเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบต่อหน่วยน้ำหนักสูง (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) ถึงแม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์จะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (2.39 ppm, ต ารางที่ 4.2) แ ละมีซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ (324.55 ppm, ตารางที่ 4.2) ซึ่งซิลิกอนจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Takahashi, 1968) หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวก็มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูง (0.074 %, ตารางที่ 4.3) ก็ตาม แต่ในดินนาในพื้นที่ศึกษาวิจัยดังกล่าวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.25-4.67 ถือได้ว่ามีความเป็นกรดจัดมากถึงความเป็นกรดรุนแรงมาก เมื่อเติมฟอสเฟตลงในดินนา พบว่า มีเพียงร้อยละ 10-25 เท่านั้น ที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณส่วนใหญ่ คือ ร้อยละ 75-90 จะถูกตรึงให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ยาก หรือไม่ละลายน้ำเลย (Haseman, Brown and White et, 1950) ดังนั้นจึงยากที่พืชจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ทำให้ได้ข้อสรุปว่า การเติมปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าวตอซังต่อไป สอดคล้องกับเหตุผลที่ว่าการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในข้าวรุ่นหลักจะทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น (Mengal and Leonards, 1978 อ้างถึงใน ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546)

4.2.2.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนา (167.36 ppm) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 49.59*) ได้แก่ ตำรับทดลองดินเดิม (88.08 ppm อักษร d) ปุ๋ยหมักฟางข้าว (126.64 ppm อักษร c) ปุ๋ยเคมี (91.68 ppm อักษร d) และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (150.40 ppmอักษร b) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (154.36 และ 157.24 ppm กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) นอกจากนี้การเติม

ปุ๋ยหมักฟางข้าวก็ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนามากกว่าดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมีนั้นไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนากับดินเดิม

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (214 ppm, ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.32 %, ตารางที่ 4.3) ที่เติมลงในดินนาในข้าวรุ่นหลักเป็นปัจจัยหลัก รวมทั้งสาเหตุที่ดินนาในสภาพรีดักชันในช่วงที่มีการขังน้ำจึงทำให้ Fe^{2+} และ Mn^{2+} ถูกปลดปล่อยออกมามาก และเข้าไปแทนที่ K^{+} ที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคของดินเหนียว ทำให้โพแทสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของ Soluble K เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Ponnamperuma, 1965) อย่างไรก็ตามปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อยึดตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) จะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าวตอซัง

แสดงว่า เถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม

4.2.2.4 ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก คือ ซิลิกอน ซึ่งวัดในรูปกรดโมโนซิลิซิก ($Si(OH)_4$) (ตารางที่ 4.4) พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีมีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนา (71.82 และ 74.54 ppm ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 29.54*) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนา (65.53 ppm อักษร b) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิม (46.06 ppm อักษร d) ปุ๋ยหมักฟางข้าว (57.58 ppm อักษร c) และปุ๋ยเคมี (47.79 ppm อักษร d) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (63.25 ppm อักษร bc) สำหรับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวยังก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนากับดินเดิม ส่วนเติมปุ๋ยเคมีนั้น กลับไม่พบว่าส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนามีความต่างทางสถิติกับดินเดิม

สำหรับปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้นนั้นน่าจะเป็นผลมาจากซิลิกอนปริมาณมากในเถ้าลอยลิกไนต์ (324.55 ppm: $Si(OH)_4$: ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (12.72 %: Crude Si: ตารางที่ 4.3) และมีความสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ Adriano et al. (1980) คือ เถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณซิลิกอนในรูปที่เป็นประโยชน์ในปริมาณมาก ส่วนปุ๋ยหมักฟางข้าว พบว่า ฟางข้าว 1,000 กิโลกรัม เมื่อสลายตัวแล้วจะให้ธาตุซิลิกอนประมาณ 50 กิโลกรัม (เจริญ ท้วมขำ, 2544) ทั้งนี้ฟางข้าวซึ่งมีการแปรสภาพให้อยู่ในรูปปุ๋ยหมักฟางข้าว จะทำให้ฟางข้าวนั้นอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2547) ดังนั้นปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักทั้ง 7 ตำรับทดลองนี้มีเพียงพอต่อความต้องการซิลิกอนของข้าว เนื่องจากในหนึ่งฤดูปลูกข้าวจะดึงดูดซิลิกอนไป 7.10 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 4.44 ppm (De Datta, 1978; Imaizumi and Yoshida, 1958) ข้าวต้องการซิลิกอนในรูปของแคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate) 240-320 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อการเจริญเติบโต (Takahashi et al., 1990) โดยแคลเซียมซิลิเกตจะประกอบด้วยซิลิกอน 14-19 % (Dobermann and Fairhurst, 2000) เทียบเท่ากับ 33.6-60.8 กิโลกรัมซิลิกอน/ไร่ และเป็นไปได้ว่าซิลิกอนในดินเดิมมีเพียงพอเช่นกัน อาจจะเป็นผลตกค้างอยู่ในพื้นที่จากการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ในปี พ.ศ. 2544

นั่นหมายถึง การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม นอกจากนี้ยังมีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์มากกว่าดินโดยทั่วไป คือ มีค่าอยู่ในช่วง 14-20 ppm (Tisdale et al. ,1985) ทั้งนี้ปริมาณซิลิกอนที่มากก็ไม่เป็นปัญหาในการเจริญเติบโตของข้าวอีกด้วย

จากผลการศึกษาวิจัย ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก สามารถสรุปได้ว่า ดินนาในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และซิลิกอนที่เป็นประโยชน์เพียงพอกับการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าวตอซัง ส่วนปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในดินนาทุกตำรับทดลองยังถือว่าไม่เพียงพอ จึงมีความจำเป็นต้องเติมไนโตรเจน และฟอสฟอรัสให้กับข้าวตอซัง นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของข้าวตอซังอีกด้วย

ตารางที่ 4.4 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก					
			ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน : น้ำ = 1 : 2)	อินทรียวัตถุ (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5 ; ppm)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O ; ppm)	ซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$; ppm)
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	4.44	0.87^{c}	0.126^{c}	9.65^{c}	88.08^{d}	46.06^{d}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	4.60	1.01^{b}	0.134^{c}	12.33^{bc}	154.36^{ab}	63.25^{bc}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.38	1.16^{a}	0.161^{b}	12.80^{bc}	126.64^{c}	57.58^{c}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	4.25	0.95^{bc}	0.172^{ab}	14.27^{b}	91.68^{d}	47.79^{d}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.54	1.18^{a}	0.170^{ab}	13.09^{bc}	157.24^{ab}	71.82^{a}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	4.66	1.04^{b}	0.168^{ab}	14.07^{b}	150.40^{b}	65.53^{b}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	4.67	1.19^{a}	0.182^{a}	18.83^{a}	167.36^{a}	74.54^{a}
F-value	**2.56^{NS}**	**13.04***	**15.02***	**5.58***	**49.59***	**29.59***
CV (%)	**3.71**	**5.68**	**5.86**	**14.97**	**5.96**	**5.78**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.3 ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ต่อลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง

ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณธาตุอาหาร และสมบัติทางเคมีในดินนา เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ในการปลูกข้าวรุ่นหลัก ส่วนการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังในปริมาณที่เท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับการทดลอง ถือได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซัง เป็นปัจจัยหลักคงที่จึงไม่มีอิทธิพลต่อการเปรียบเทียบผลของสิ่งทดลอง ตามตำรับทดลองที่ได้เติมตั้งแต่ข้าวรุ่นหลัก

นอกจากนี้สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง ยังช่วยประเมินความเป็นประโยชน์ และความเพียงพอของธาตุอาหารต่อการทำนาครั้งต่อไป หรือในกรณีที่มีการปลูกข้าวตอซังอีกครั้งหนึ่ง ธาตุอาหารในดินนาในระยะนี้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อพัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง การเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของข้าวตอซังด้วย ผลการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.5) พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในทุกตำรับทดลองไม่มีความต่างกันทางสถิติ (F-value = 0.93^{NS}) โดยมีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 4.07-4.41 จัดได้ว่าดินนาในระยะนี้มีความเป็นกรดจัดมาก (Very strongly acid) โดยมีค่าอยู่ในช่วง4.6-5.0 ถึงมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.5-4.5 (คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา, 2541: ตารางภาคผนวกที่ ผ.1) หรือมีความเป็นกรดจัดมาก (Extremely acid) เมื่อเทียบกับระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา คือ มีค่าน้อยกว่า 4.5 (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.2) ซึ่งความเป็นกรดของดินนานั้นจะเป็นอุปสรรคในการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง โดยตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่าตำรับทดลองอื่นๆ ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์และปุ๋ยหมักฟางข้าว มีแนวโน้มทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

อาจกล่าวได้ว่า การเติมสิ่งทดลองในข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินนาในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2546) ที่กล่าวว่า

เถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีคุณสมบัติเป็นปูนทางการเกษตรได้ และปุ๋ยหมักฟางข้าวเมื่อย่อยสลายจะให้อินทรียวัตถุกับดินนาซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นบัฟเฟอร์ที่ดีช่วยรักษาระดับความเป็นกรดเป็นด่างไม่ให้เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก

4.3.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ

ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.5) พบว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินนา (1.20 1.17 และ 1.19 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 38.10*) และจัดได้ว่าปริมาณอินทรียวัตถุมีอยู่ในระดับต่ำปานกลาง คือ มีค่าอยู่ในช่วง 1.0 1.5 % (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5) แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณอินทรียวัตถุในดินนา (0.92 0.93 และ0.95 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) กับดินเดิม (0.91 % อักษร b) และจัดได้ว่าอยู่ในระดับต่ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-1.0 % (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545: ตารางภาคผนวกที่ ผ.5)

แสดงว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากปุ๋ยหมักฟางข้าวมีปริมาณอินทรียวัตถุมากถึง 32.33 % (ตารางที่ 4.3) เมื่อย่อยสลายก็ส่งผลให้มีอินทรียวัตถุสะสมอยู่ในดินนามากขึ้นด้วย

4.3.3 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินนาในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.5) ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ผลของการศึกษาวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.3.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาในระยะที่เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนา (0.179 %) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 8.01*) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.168 0.170 และ 0.166 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมี ก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ในดินนา (0.161% อักษร b) เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.138 % อักษร c) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (0.142 % อักษร c) นั้นกลับพบว่าไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนามีความต่างทางสถิติกับดินเดิม

การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังนั้น น่าจะเป็นอิทธิพลของปุ๋ยเคมี เพราะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบต่อหน่วยน้ำหนักสูง (มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) และปุ๋ยหมักฟางข้าวซึ่งมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุก็จะปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับดินนาด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2547)

นั่นหมายถึง การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม ขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนาในทุกตำรับทดลองนั้นถือได้ว่ามีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการไนโตรเจนข้าว (0.6-0.8 %) (อานนท์ สุขสวัสดิ์, 2547; Tanaka and Yoshida , 1975) ที่ปลูกในฤดูกาลทำนาครั้งต่อไป

4.3.3.2 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนา (26.75 ppm) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.44*) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวก็ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (21.11 ppm อักษร b) เมื่อเทียบกับดินเดิม (14.29 ppm อักษร c) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (19.35 17.81 17.23 และ 19.35 ppm ตามลำดับ กลุ่มอักษร bc เดียวกัน) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีนั้น ยังไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนากับดินเดิม

เหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะ ดินนามีความเป็นกรดจัดมากถึงความเป็นกรดรุนแรงมาก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.07-4.41 (ตารางที่ 4.1) ทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงอยู่ในรูปของเหล็ก อลูมินัม และแร่ดินเหนียวซิลิเกต ซึ่งยากต่อการนำไปใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน , 2511; Matsuo, 1970; Takahashi, 1968) นอกจากนี้การเติมสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี)

ในข้าวรุ่นหลักเพียงอย่างเดียว หรือกล่าวได้อีกอย่าง คือไม่มีการเติมสิ่งทดลองร่วมกัน ก็ไม่ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นจากดินเดิม ทั้งนี้ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนามากกว่าในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.4) น่าจะมาจากการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังตกค้างอยู่ในดินนา เพราะข้าวตอซังมีช่วงการเจริญเติบโตสั้นจึงทำให้การดูดดึงฟอสฟอรัสจากดินนาได้น้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; IRRI, 1988) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาเหล่านี้น่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวในฤดูกาลถัดไปได้ หากนำปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนามาเปรียบเทียบตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.3) พบว่า ตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมปุ๋ยเคมี จัดได้ว่าอยู่ในระดับสูง (25-45 ppm) และการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี จัดได้ว่าอยู่ระดับค่อนข้างสูง (15-25 ppm) ส่วนดินเดิมนั้นจัดได้ว่าอยู่ในระดับปานกลาง (10-15 ppm)

ทำให้กล่าวโดยสรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเติมเฉพาะเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว หรือปุ๋ยเคมีกลับไม่แสดงอิทธิพล

4.3.3.3 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง (176.55 ppm) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 82.64*) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีส่งผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (154.76 158.93 และ 158.48 ppm ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เมื่อเทียบดินเดิม (86.01 ppm อักษร d) อีกทั้งการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวก็ยังส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนา (132.39 ppm อักษร c) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิต เมื่อเทียบกับดินเดิมอีกด้วย ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีนั้นกลับไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนากับดินเดิม

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นนั้น น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (214 ppm, ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.32 %, ตารางที่ 4.3) ที่เติมลงในดินนาในข้าวรุ่นหลัก

เป็นปัจจัยหลัก และอาจมาจากสาเหตุที่ดินนาในสภาพรีดักชันในช่วงที่มีการขังน้ำจึงทำให้ Fe^{2+} และ Mn^{2+} ถูกปลดปล่อยออกมามาก และเข้าไปแทนที่ K^{+} ที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคของดินเหนียว ทำให้โพแทสเซียมถูกปลกปล่อยออกมาอยู่ในรูปของ Soluble K เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Ponnamperuma, 1965) และถือได้ว่าปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาอยู่ในระดับที่สูงมาก เมื่อยึดตามการวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) เช่นเดียวกันกับดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก

ดังนั้น ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก

4.3.4 ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์

ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง พบว่า ปริมาณซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์นั้น ในรูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งวัดในรูปกรดโมโนซิลิซิก ($Si(OH)_4$) (ตารางที่ 4.5) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (74.20 ppm) ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.10*) เมื่อเทียบดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (43.63 และ 46.77 ppm ตามลำดับ อักษร d และ cd ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (60.60 69.70 และ 62.45 ppm ตามลำดับ อักษร abc ab และ ab ตามลำดับ) ขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี กลับไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนากับดินเดิมเช่นเดียวกัน

การเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังนั้น น่าจะเป็นผลของเถ้าลอยลิกไนต์เท่านั้น เพราะมีปริมาณซิลิกอนเป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณมาก (324.55 ppm, ตารางที่ 4.2) ถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบเคมี (12.27 %, ตารางที่ 4.3) แต่ดินนามีความเป็นกรดจัดมากถึงความเป็นกรดรุนแรงมาก ส่งผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายปุ๋ยหมักฟางข้าวของจุลินทรีย์ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544; ยงยุทธ โอสถสภา, 2547) และพบว่าปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาทุกตำรับทดลองมีเพียงพอต่อความต้องการซิลิกอนของข้าว เพราะข้าวจะดึงดูดซิลิกอนจากดินนา 7.10 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 4.44 ppm (De Datta, 1978; Imaizumi and Yoshida, 1958) อีกทั้งปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนายังถือได้ว่ามีปริมาณมากกว่าดินโดยทั่วไป คือ มีค่าอยู่ในช่วง 14-20 ppm (Tisdale et al. ,1985)

มีความเป็นได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทำให้ได้ข้อสรุปว่า ลักษณะสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักสามารถจะเป็นแหล่งฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน สำหรับการปลูกข้าวในฤดูกาลถัดไปได้อย่างเพียงพอ และถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการทำนาปานกลาง เนื่องจากมีความเป็นกรดจัดมาก อาจเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง

ตำรับทดลอง	ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง					
	ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน : น้ำ = 1 : 2)	อินทรียวัตถุ (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์
			ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5 ; ppm)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O ; ppm)	ซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ($Si(OH)_4$; ppm)
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	4.13	0.91 ^{b}	0.138 ^{c}	14.29 ^{c}	86.01 ^{d}	43.63 ^{d}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	4.41	0.92 ^{b}	0.142 ^{c}	19.35 ^{bc}	154.76 ^{b}	60.60 ^{abc}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.21	1.20 ^{a}	0.168 ^{ab}	17.81 ^{bc}	132.39 ^{c}	54.87 ^{bcd}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	4.07	0.93 ^{b}	0.161 ^{b}	17.23 ^{bc}	87.15 ^{d}	46.77 ^{cd}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	4.34	1.17 ^{a}	0.170 ^{ab}	21.11 ^{b}	158.93 ^{b}	69.70 ^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	4.20	0.95 ^{b}	0.166 ^{ab}	19.35 ^{bc}	158.48 ^{b}	62.45 ^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	4.30	1.19 ^{a}	0.179 ^{a}	26.75 ^{a}	176.55 ^{a}	74.20 ^{a}
F-value	**0.93** ^{NS}	**38.10** *	**8.01** *	**6.44** *	**82.64** *	**6.10** *
CV (%)	**5.00**	**13.65**	**5.83**	**14.03**	**5.08**	**13.43**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.4 การเจริญเติบโตของข้าวตอซังซึ่งเกิดจากตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี

ข้าวตอซังเป็นผลสืบเนื่องมาจากข้าวรุ่นหลัก หากต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งแรงย่อมส่งผลดีต่อพัฒนาของตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซัง รวมทั้งมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวตอซัง สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวตอซังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พิจาณาได้จาก ความสูงของข้าวตอซัง น้ำหนักแห้งของข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซัง) ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง (จำนวนต้นต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร ความยาวรวง จำนวนเมล็ดข้าวเปลือกต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด) เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซัง ทั้งนี้การเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังเป็นการเติมในปริมาณที่เท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับทดลอง ถือได้ว่าเป็นอิทธิพลหลักคงที่ จะไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่เติมตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก

การเจริญเติบโตของข้าวตอซังบ่งชี้ถึงศักยภาพของธาตุอาหารจากดินเดิม และสิ่งทดลอง (เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี) ที่เติมลงในดินนาในข้าวรุ่นหลัก มีรายละเอียดของผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

4.4.1 ความสูงของข้าวตอซัง

ความสูงของข้าวตอซัง (67.52 เซนติเมตร; ตารางที่ 4.6) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 0.09*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (51.54 และ 58.35 เซนติเมตร ตามลำดับ อักษร c และ bc ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (63.75 63.76 65.13 และ 63.97 เซนติเมตร ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของความสูงของข้าวตอซังกับดินเดิม

การเพิ่มขึ้นของความสูงของข้าวตอซังนั้น น่าจะเป็นผลมาจากโพแทสเซียม และซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว เพราะโพแทสเซียมและซิลิกอนมีผลทำให้ความสูงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ประมุข ถิ่นใหญ่, 2546; รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544; Feng and Saldana, 1978; Ismunadji and Parlohasdjono, 1979; Liang , Ma and Feng, 1994; Ma et al., 1989) ทั้งนี้ในทุกตำรับทดลอง ข้าวตอซังมีความสูงน้อยกว่า

ความสูงโดยทั่วไปของข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ 104-113 เซนติเมตร (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543) มีสาเหตุมาจากตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่พัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังมีการสะสมสารควบคุมการออกดอก เมื่อพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังสามารถออกรวงได้เร็ว ทำให้มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นสั้น ส่งผลให้ข้าวตอซังมีความสูงน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Kupkanchannakul et al., 1993; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ในทำนองเดียวกันข้าวตอซังทุกตำรับทดลองก็ยังมีความสูงน้อยกว่าข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่วาสนา อินแถลง (2548) ได้ทำการศึกษาวิจัย คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.90 เซนติเมตร สำหรับลักษณะของข้าวตอซังที่มีความสูงน้อยถือได้ว่าเป็นข้อดี เพราะทำให้ลำต้นข้าวแข็งแรง ไม่ล้มง่าย และสามารถใช้ประโยชน์จากแสงแดดในการสังเคราะห์แสง น้ำ และธาตุอาหาร เพื่อการสร้างผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kupkanchanakul et al., 1993)

แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ความสูงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.2 น้ำหนักแห้งของข้าวตอซัง

น้ำหนักแห้งของข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.6) บ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของข้าวตอซังที่เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลองในการปลูกข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี สำหรับในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาในส่วนของ น้ำหนักแห้งของตอซังข้าวรุ่นหลักและฟางข้าวตอซัง โดยที่ตอซังข้าวรุ่นหลัก คือ ส่วนของลำต้นของข้าวรุ่นหลักที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักได้กำหนดความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร และเป็นส่วนที่มีตายอดที่มีชีวิตบริเวณข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) จะพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง และฟางข้าวตอซัง คือ ส่วนของต้นข้าวตอซังที่เกิดจากตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่กล่าวมาข้างต้น มีผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

4.4.2.1 น้ำหนักแห้งของตอซังข้าวรุ่นหลัก

ตอซังข้าวรุ่นหลัก ซึ่งได้ทำการเก็บเกี่ยวพร้อมกับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง และฟางข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.6) พบว่า น้ำหนักแห้งของตอซังข้าวรุ่นหลักในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (67.07 กิโลกรัม/ไร่ อักษร a) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 15.87) เมื่อเทียบกับดินเดิมเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (32.18 55.73 และ 56.93 กิโลกรัม/ไร่ อักษร c b และ b) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับ

ปุ๋ยหมักฟางข้าว (58.44 59.23 และ 64.40 กิโลกรัม/ไร่ กลุ่มอักษร ab) ขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมีและเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ยังก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักแห้งของตอซังรุ่นหลักกับดินเดิมอีกด้วย

สำหรับน้ำหนักแห้งของข้าวตอซังที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจาก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์ ให้ผลผลิตสูง และทำให้ได้ตอซังข้าวรุ่นหลักที่สมบูรณ์แข็งแรงและมีธาตุอาหารสะสมในตอซังข้าวรุ่นหลักปริมาณมาก ส่งผลดีต่อการพัฒนาของตายอดเป็นต้นข้าวตอซัง ตลอดจนมีผลดีสืบเนื่องต่อตอซังข้าวรุ่นหลักในระยะการปลูกข้าวตอซังให้ยังทำหน้าที่ดูดดึงธาตุอาหารจากดินนาและสะสมในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะช่วยให้การเจริญเติบโตของข้าวตอซัง (Bahar and De Datta, 1977; Parago, 1963; Samson, 1980)

ชี้ให้เห็นว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.2.2 น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง

น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง ซึ่งไม่รวมน้ำหนักแห้งของตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 16.10*) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (1,091.42 กิโลกรัม/ไร่ อักษร a) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (819.12 กิโลกรัม/ไร่ อักษร b) เมื่อเทียบกับดินเดิม (320.06 กิโลกรัม/ไร่ อักษร d) อีกทั้งการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี (590.04 และ 593.60 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ กลุ่มอักษร c เดียวกัน) ก็ยังก่อให้ความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของน้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังกับดินเดิมอีกด้วย

สิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้งธาตุเสริมประโยชน์ คือ ซิลิกอน โดยธาตุอาหารหลักมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตลำต้นและใบ การแตกกอ และส่งเสริมความแข็งแรงของระบบรากของข้าวรุ่นหลัก (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) และซิลิกอน ซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ต้านทานโรค และแมลง ลดการล้ม (Sommer, 1976) และทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Imaizumi and Yoshida, 1958) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าถ้าเติมซิลิกอนร่วมกับธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) มีผลทำให้การ

เจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง และการแตกกอของข้าวเพิ่มขึ้นเด่นชัดกว่าการเติมธาตุอาหารหลักเพียงอย่างเดียว (ประมุข ถิ่นใหญ่, 2546; รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544; Kato and Owa, 1990; Liang et al., 1994) ล้วนแล้วส่งผลทำให้ต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็ง มีปริมาณธาตุอาหารสะสมในตอซังมาก และการแตกกอส่งมีจำนวนต้นข้าวมาก ตายอดบนตอซังจึงสามารถพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้เป็นจำนวนมาก และข้าวตอซังมีการเจริญเติบโตได้ดี จึงส่งผลทำให้น้ำหนักของฟางข้าวตอซังมากตามไปด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Plucknett et al., 1978)

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.3 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.6) ซึ่งจะบ่งชี้ถึงการตอบสนองธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ในด้านการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง จึงทำการพิจารณา 2 ส่วน ประกอบด้วย ผลผลิตเมล็ดเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จริง และผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.3.1 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จริง

ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง พบว่า ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (36.19 กิโลกรัม/ไร่ อักษร a) มีปริมาณมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.94) ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (22.72 21.85 19.73 24.80 และ 22.50 กิโลกรัม/ไร่ อักษร b) เมื่อเทียบกับดินเดิม (13.37 กิโลกรัม อักษร c)

ทั้งนี้ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารหลักมากและเพียงพอกับความต้องการของข้าว และธาตุอาหารอื่นจากเถ้าลอยลิกไนต์หรือปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นต้น ที่มีผลช่วยทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ IRRI (2002) ที่กล่าวถึงการใส่ซิลิกอนช่วยเพิ่มจำนวนรวงและเมล็ดดีต่อรวง และ Hossain et al. (2001) รายงานว่าผลการใส่ซิลิกอนในรูปแคลเซียมซิลิเกตและแกลบในการปลูกข้าว มีผลทำให้จำนวนเมล็ดข้าว น้ำหนักเฉลี่ย และผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับไม่ใส่ซิลิกอน และจากการศึกษาของ Shunji, Yoshie and Naoya (2002) รายงานว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมร่วมกับซิลิกอนมีผลทำให้ผลผลิตข้าว

เพิ่มขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโต การแตกกอ และจำนวนช่อดอกของข้าว ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 18.4 % นอกจากนี้เมื่อต้นข้าวดูดใช้ซิลิกอนจากดินในปริมาณมากและมีเพียงพอ ซิลิกอนจะสะสมอยู่ที่ผิวใบและลำต้นทำให้สามารถเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง ลดการล้มของต้นข้าว (Sommer, 1926) และมีผลทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มพื้นที่ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงดีขึ้น รักษาระดับความชื้นภายในต้น (Imaizumi and Yoshida, 1958; Takahashi, 1968) ระบบการดูดซึมธาตุอาหารเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้มากขึ้น (Sommer, 1926) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กนกพร ชัยวุฒิกุล (2544) และเจนจิรา พวงทับทิม (2546) ที่รายงานว่าการใส่เถ้าลอยลิกไนต์ในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัดทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น สำหรับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จริงถือได้ว่ามีค่าน้อยกว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังที่เป็นผลการศึกษาวิจัยของของนิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) และวาสนา อินแถลง (2548) มีค่าเท่ากับ 626 และ 456 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

ได้ข้อสรุปว่า การเพิ่มขึ้นของผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก

4.3.3.2 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต (528.68 กิโลกรัม/ไร่) มีปริมาณมากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 367.56) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีก็ให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต (216.73 219.05 257.44 และ 300.81 กิโลกรัม/ไร่ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) กับดินเดิม (54.97 กิโลกรัม/ไร่ อักษร c) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี (189.36 กิโลกรัม/ไร่ อักษร bc)

การเพิ่มขึ้นของปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น่าจะเป็นผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว โดยที่ไนโตรเจนมีอิทธิพลทำให้องค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น (สมศักดิ์ ศิริพานิชเจริญ, 2535; Mikkelsen, 1970) และฟอสฟอรัสก็มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รัตนชาติ ช่วยบุดดา, 2544) ส่วนโพแทสเซียมนั้น พบว่า มีผลอย่างเด่นชัดเกี่ยวกับจำนวนดอกและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีต่อรวง

โดยข้าวจะนำไปสร้างดอก สร้างเมล็ด และทำให้ละอองเกสรแข็งแรงมากกว่าการแตกกอ (Von Uexkull, 1976) ซึ่งมีความสอดคล้องกับอิทธิพลของปุ๋ยโพแทสเซียมที่เติมลงในดินนามีผลทำให้องค์ประกอบผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น คือ จำนวนรวงต่อตารางเมตร เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น (Mondal, Dasmahapatra and Chatterju, 1982) นอกจากนี้ซิลิกอนก็ยังช่วยทำให้ใบตั้งตรง ถือว่าเป็นลักษณะดีของใบข้าวที่สามารถจะรับแสงแดดได้มากโดยไม่บังแสงแดดซึ่งกันและกัน ทำให้พื้นที่ใบในการรับแสงแดดมากขึ้น เพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง อีกทั้งต้นข้าวมีความแข็งแรง การล้มของต้นข้าวลดลงซึ่งจะส่งผลให้องค์ประกอบผลผลิต และผลผลิตเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Takahashi, 1968) แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่จะผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังสูงสุด โดยเฉพาะตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี หากมีการจัดการระบบการปลูกเพื่อแก้ไขข้ออ่อนด้อยต่างๆ ของข้าวตอซัง ถือได้ว่าข้าวตอซังจะให้ผลผลิตเทียบเท่ากับผลการศึกษาวิจัยของของนิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) และวาสนา อินแถลง (2548) มีค่าผลผลิตเมล็ดเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเท่ากับ 626 และ 456 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลักส่งผลให้ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวตอซังที่ได้จริงกับผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิตในทุกตำรับทดลอง พบว่า ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากคำนวณองค์ประกอบผลผลิตมีปริมาณมากกว่าผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวตอซังที่ได้จริงถึง 4-14 เท่า ซึ่งมีสาเหตุมากจากการใช้ต้นข้าวตอซังที่มีเมล็ดในรวงสุกแก่แล้วมาศึกษาองค์ประกอบผลผลิต เมื่อนำองค์ประกอบผลผลิตมาคำนวณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกจึงมีปริมาณมากกว่า เพื่อจะแสดงถึงโอกาสที่จะได้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังมากสุด ถ้ามีระบบการจัดการให้ข้าวตอซังมีการเจริญเติบโตดี มีระยะเวลาการออกรวงที่สม่ำเสมอ และเมล็ดในรวงสุกแก่พร้อมกัน แต่ในทางปฏิบัติมักพบเสมอว่าผลผลิตข้าวตอซังสุกแก่ไม่พร้อมกัน เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังพร้อมกันทั่วทั้งพื้นที่จึงทำให้ได้เมล็ดข้าวตอซังที่สุกแก่ บางส่วนเมล็ดข้าวยังไม่สุกและอยู่ระยะน้ำนม จึงส่งผลให้ได้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จริงน้อยกว่า

4.4.4 องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง

องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซังสามารถบ่งชี้ถึงรายละเอียดการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง และโอกาสการใช้ประโยชน์จากข้าวตอซังในรูปแบบต่างๆ สำหรับองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซังที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยทำการเก็บตัวอย่างข้าวตอซัง 2 x 2 กอ จำนวน 3 จุด

ในแปลงทดลอง เพื่อหาองค์ประกอบผลผลิต (ตารางที่ 4.7) ได้แก่ จำนวนต้นต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร ความยาวรวง จำนวนเมล็ดข้าวต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.3.1 จำนวนต้นต่อตารางเมตร

จำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซัง พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้จำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซัง (243 245 260 244 290 และ 299 ต้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.24*) เมื่อเทียบดินเดิม (158 ต้นต่อตารางเมตร อักษร b)

การเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซังน่าจะเป็นผลมาจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) ในเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ทำให้ต้นข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งแรง ลดการล้ม มีการแตกกอมากทำให้มีจำนวนต้นข้าวรุ่นหลักมาก และตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักมีความสมบูรณ์สามารถพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังจำนวนมากอีกด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; สุระพร รัตนโกศล, 2520; IRRI, 1988; Plucknett et al., 1978) โดยเฉพาะไนโตรเจนจะช่วยกระตุ้นให้ตายอดที่ข้อบนตอซังพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซัง ทำให้มีจำนวนต้นข้าวตอซังเพิ่มขึ้น (เจริญ ท้วมขำ, 2543; ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; อำนาจ ชินเชษฐ์, 2521; Bahar, 1976; De Datta, 1978; Flinchum and Evatt, 1972; Hsieh and Young, 1959; Ishikawa, 1964) เช่นเดียวกันกับอิทธิพลของโพแทสเซียมที่เติมลงในดินนามีผลทำให้จำนวนต้นต่อตารางเมตรเพิ่มขึ้น (Mondal et al., 1982) ทั้งนี้จำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซังส่วนใหญ่ยังมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของวาสนา อินแถลง (2548) พบว่าจำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 404 ต้นต่อตารางเมตร ขณะเดียวกันข้าวตอซังมีจำนวนต้นต่อตารางเมตรมากกว่าข้าวรุ่นหลัก คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 240 ต้นต่อตารางเมตร (ธีรพร บุศยอังกูล, 2543) เพราะตอซังข้าวรุ่นหลัก มีตายอดบริเวณข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) สามารถพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้หลายต้น (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Bardhan Roy and Mondal, 1988; Kupkanchanakul et al., 1993; Mahadevappa and Yogeesha, 1988)

ทำให้ได้ข้อสรุปว่า การเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ล้วนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนต้นต่อตารางเมตรของข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.3.2 จำนวนรวงต่อตารางเมตร

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้จำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซัง (359 รวงต่อตารางเมตร) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.53) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (310 รวงต่อตารางเมตร อักษร ab) ขณะเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ยังก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซัง (246 260 265 และ 250 รวงต่อตารางเมตร กลุ่มอักษร b เดียวกัน) กับดินเดิม (154 รวงต่อตารางเมตร อักษร c)

สำหรับจำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) ในเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก โดยเฉพาะไนโตรเจนช่วยให้เกิดการแตกกอของต้นข้าว ฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) และซิลิกอนช่วยให้ช่อดอกข้าวมีความสมบูรณ์ และช่วยเพิ่มจำนวนรวงของข้าว (IRRI, 2002; Ma et al., 1989) อีกทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ยังช่วยให้ต้นข้าวรุ่นหลักแตกกอทำให้มีจำนวนต้นข้าวรุ่นหลักในปริมาณมาก ส่งผลสืบเนื่องมาจนถึงการพัฒนาของตายอดบนตอซังเป็นต้นข้าวตอซังได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน และจะส่งผลให้จำนวนรวงต่อตารางเมตรมากตามไปด้วย (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; สุระพร รัตนโกศล, 2520; IRRI, 1988; Plucknett et al., 1978) ขณะเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ก็ส่งผลให้มีจำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซังอยู่ในช่วงปกติของข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำทั่วไป คือ มีค่าอยู่ในช่วง 240-272 รวงต่อตารางเมตร (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543) แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักนั้น กลับพบว่ามีจำนวนรวงต่อตารางเมตรมากกว่าข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกด้วยวิธีปักดำทั่วไป ซึ่งมีสอดคล้องกับการศึกษาของ ทวี คุปต์กาญจนากุล (2546) นิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) Bardhan Roy and Mondal (1988) และ Mahadevappa and Yogeesha (1988) พบว่า จำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซังมากกว่าข้าวรุ่นหลัก มีค่าอยู่ในช่วง 291-369 รวงต่อตารางเมตร คงมีสาเหตุมาจากตอซังข้าวรุ่นหลักมีตายอดบริเวณข้อเหนือผิวดิน (Upper node) และข้อบริเวณผิวดิน (Lower node) พัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้หลายต้น ทำให้มีจำนวนรวงของข้าวตอซังมากกว่าข้าวรุ่นหลัก อย่างไรก็ตามจำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซังบางตำรับทดลอง เช่น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ก็มีจำนวนรวงต่อตารางเมตร

มากกว่าเมื่อเทียบกับผลการศึกษาของวาสนา อินแถลง (2548) ที่พบว่า ข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยเฉลี่ย 289 รวงต่อตารางเมตร

ดังนั้น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้จำนวนรวงต่อตารางเมตรของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

4.4.3.3 ความยาวรวง

ความยาวรวงของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ความยาวรวงของข้าวตอซัง (20.09 19.52 19.41 20.10 19.48 และ 20.80 เซนติเมตร ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.14*) เมื่อเทียบดินเดิม (17.30 เซนติเมตร อักษร b)

ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) จากเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ความยาวรวงของข้าวตอซังเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์เหล่านี้จะเป็นอิทธิพลหลักทำให้ข้าวรุ่นหลักสมบูรณ์แข็งแรงแล้ว ตายอดบนตอซังสามารถพัฒนาเป็นต้นข้าวตอซังได้ อีกทั้งยังมีส่วนช่วยให้ข้าวตอซังเจริญเติบโตได้ดี ซึ่งจะส่งผลให้ความยาวรวงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Sompaew, 1979 อ้างถึงในทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) เมื่อพิจารณาความยาวรวงของข้าวตอซัง พบว่าความยาวรวงของข้าวตอซังทุกตำรับการทดลองมีขนาดน้อยกว่าความยาวรวงปกติของข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ มีค่าอยู่ในช่วง 29-34 เซนติเมตร (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543) อาจเกิดจากสาเหตุที่ข้าวตอซังออกรวงเร็ว ทำให้เกิดการแย่งธาตุอาหารในช่วงการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นกับการออกรวงและสร้างเมล็ดของข้าว สอดคล้องกับผลการศึกษาความยาวรวงของข้าวตอซังโดยทั่วไปจะน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Bardhan Roy and Mondal, 1988; Mahadevappa and Yogeesha, 1988)

สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความยาวรวงของข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นผลมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก

4.4.3.4 จำนวนเมล็ดต่อรวง

จำนวนเมล็ดข้าวเปลือกต่อรวงของข้าวตอซัง พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้จำนวนเมล็ดข้าวเปลือกต่อรวงของข้าวตอซัง (58

เมล็ดต่อรวง) สูงสุดและแตกต่างกับตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.17*) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (49 เมล็ดต่อรวง อักษร ab) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมีเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีก็ส่งผลให้มีจำนวนเมล็ดข้าวเปลือกต่อรวง (43 44 40 และ 44 เมล็ดต่อรวง กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (26 เมล็ดต่อรวง อักษร c) เช่นเดียวกัน

จากผลการศึกษาวิจัยข้างต้น ชี้ให้เห็นถึง อิทธิพลของธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี พบว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโต (Early growth stage) ต้นข้าวจะดูดดึงไนโตรเจนเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida; 1981) และฟอสฟอรัสช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว ช่วยดูดดึงโพแทสเซียม และควบคุมสมดุลไนโตรเจนของราก และทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Yoshida, 1981) ส่วนโพแทสเซียมก็มีผลอย่างเด่นชัดเกี่ยวกับจำนวนดอก และจำนวนเมล็ดดีต่อรวง โดยต้นข้าวจะนำโพแทสเซียมไปสร้างดอก ทำให้ละอองเกสรแข็งแรง และสร้างเมล็ด (Von Uexkull, 1976) รวมทั้งซิลิกอนที่เป็นธาตุเสริมประโยชน์จะส่งผลให้ช่อดอกข้าวมีความสมบูรณ์ (Ma et al., 1989) ถ้าหากมีการเติมซิลิกอนร่วมกับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมก็จะช่วยให้จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวเพิ่มขึ้น (ประมุข ถิ่นใหญ่, 2546) และ Hossain et al. (2001) รายงานว่าผลการใส่ซิลิกอนในรูปแคลเซียมซิลิเกตและแกลบในการปลูกข้าวมีผลทำให้จำนวนเมล็ดข้าวต่อรวงเพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวตอซังในทุกตำรับทดลองมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 60 เมล็ดต่อรวง (วาสนา อินแถลง, 2548) และเทียบกับผลการศึกษาวิจัยของนิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) ที่พบว่าข้าวตอซังจะมีจำนวนเมล็ดต่อรวงในช่วง 86-106 เมล็ด

นั่นหมายถึง การเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีผลทำให้จำนวนเมล็ดข้าวเปลือกต่อรวงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.3.5 จำนวนเมล็ดดีต่อรวง

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าวตอซัง (44 เมล็ดดีต่อรวง) สูงสุดและมากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 10.87*) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์

ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ส่งผลให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวง (29 27 25 33 และ 30 เมล็ดดีต่อรวง กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (13 เมล็ดดีต่อรวง อักษร c) เช่นกัน

จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นอาจเป็นไปได้ว่า ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) จากเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก จะส่งผลให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงเพิ่มขึ้น โดยที่ไนโตรเจนจะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ทำให้ใบข้าวมีสีเขียว และเพิ่มปริมาณโปรตีน (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) รวมทั้งช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida; 1981) และฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร และการติดเมล็ดของข้าว รวมทั้งโพแทสเซียมก็ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์ และมีเมล็ดขนาดใหญ่ (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) นอกจากนี้ยังมีซิลิกอนทำให้ช่อดอกข้าวสมบูรณ์ ลดการลีบของเมล็ดข้าว ทำให้ใบตั้งตรงเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Ma et al., 1989; Takahashi, 1968) และสอดคล้องกับ IRRI (2002) ที่กล่าวถึงการใส่ซิลิกอนช่วยเมล็ดดีต่อรวงเพิ่มขึ้น ประกอบกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง การตอบสนองต่อธาตุอาหารสูงมาก มักประสบปัญหาเรื่องธาตุอาหารไม่เพียงพอในระยะข้าวกำเนิดช่อดอกและเริ่มสร้างรวง ทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบมาก หากไม่มีการเติมธาตุอาหารลงในดินนาอย่างเพียงพอก็จะส่งผลถึงจำนวนเมล็ดดีต่อรวงและผลผลิตลดลง (กรมวิชาการเกษตร, 2525) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าเท่ากับ 124 เมล็ด (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543) พบว่าทุกตำรับทดลองมีค่าน้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตาม การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักก็มีจำนวนเมล็ดดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัยของวาสนา อินแถลง (2548) พบว่า ข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 36 เมล็ด

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักมีผลทำให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.3.6 เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (75.69 %) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 8.64*) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์

ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (67.51 68.81 69.54 และ 68.28 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ยังก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเปอร์เซ็นต์ดีของข้าวตอซังกับดินเดิม (50.79 % อักษร c) อีกทั้งการเติมปุ๋ยเคมีก็ยังส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวตอซัง (61.32 % อักษร b) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิม

การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวตอซังเป็นเหตุผลเดียวกับการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนเมล็ดดีของข้าวตอซัง คือ ไนโตรเจนจะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เพิ่มโปรตีนและช่วงระยะหลังการเจริญเติบโต (Later growth stage) ไนโตรเจนที่ถูกดูดดึงจะนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida; 1981) และฟอสฟอรัสช่วยในการสร้างดอก การผสมเกสร และการติดเมล็ดของข้าว รวมทั้งหากเติมฟอสฟอรัสในข้าวรุ่นหลักจะทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นด้วย (Mengal and Leonards, 1978 อ้างถึงใน ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546) สำหรับโพแทสเซียมก็ช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์ และมีเมล็ดขนาดใหญ่ (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) นอกจากนี้ยังมีซิลิกอนทำให้ช่อดอกข้าวสมบูรณ์ ลดการลีบของเมล็ดข้าว และทำให้ใบตั้งตรงเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง (Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Ma et al., 1989; Takahashi, 1968) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากผลการศึกษาของประมุข ถิ่นใหญ่ (2546) พบว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับซิลิกอนจะทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบลดลง และรัตนชาติ ช่วยบุดดา (2544) พบว่า การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมกับซิลิกอนทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวลดลง ทั้งนี้ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอน) ล้วนแต่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลักทั้งสิ้น อย่างที่กล่าวมาข้างต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง การตอบสนองต่อธาตุอาหารสูงมาก มักประสบปัญหาเรื่องธาตุอาหารไม่เพียงพอในระยะข้าวกำเนิดช่อดอกและเริ่มสร้างรวง ทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบมาก หากไม่มีการเติมธาตุอาหารลงในดินนาอย่างเพียงพอก็จะส่งผลถึงเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีด้วย (กรมวิชาการเกษตร, 2525) และพบว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวตอซังทุกตำรับทดลองมีค่าน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซังที่เป็นผลการศึกษาวิจัยของนิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 93.40-95.90 % และ 85.41-88.99 % ตามลำดับ

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.4.3.7 น้ำหนัก 1,000 เมล็ด

น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.83*) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (20.56 กรัม อักษร a) เมื่อเทียบกับดินเดิม (17.14 และ 18.04 กรัม ตามลำดับ อักษร c และ bc ตามลำดับ) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (19.19 19.27 19.43 และ 19.37 กรัม ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ยังส่งผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีนั้นไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของน้ำหนัก 1,000 เมล็ดกับดินเดิม

น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้น เนื่องมาจากอิทธิพลของโพแทสเซียม และซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวเป็นปัจจัยหลัก เพราะโพแทสเซียมช่วยสร้างคาร์โบไฮเดรตทำให้เมล็ดข้าวสมบูรณ์มีน้ำหนักดี (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) ตรงกับรายงานของ Ishizuka and Tanaka (1951) รายงานว่า โพแทสเซียมมีผลทำให้ปริมาณน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้น สำหรับซิลิกอนที่สะสมอยู่ในลำต้นและใบ ทำให้ต้นข้าวแข็งแรง ต้านทานโรค และแมลง ลดการล้ม (Sommer, 1976) ทำให้ช่อดอกข้าวสมบูรณ์ ลดการลีบของเมล็ดข้าว และทำให้ใบข้าวตั้งตรง เพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Ma et al., 1989; Takahashi, 1968) ถึงแม้ว่าไนโตรเจนที่ต้นข้าวดูดดึงนำไปใช้สำหรับการสร้างเมล็ด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Mikkelsen, 1970; Yoshida; 1981) และฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการสร้างอาหารในกระบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยเร่งการเจริญเติบโต ทำให้ออกดอกได้เร็ว ช่วยดูดดึงโพแทสเซียม และควบคุมสมดุลไนโตรเจนของราก และทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Yoshida, 1981) ก็ตาม แต่จากผลการศึกษาวิจัยถือได้ว่าเป็นปัจจัยรองจากโพแทสเซียม และซิลิกอน และยังพบว่าทุกตำรับทดลองข้าวตอซังมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยกว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เป็นผลการศึกษาวิจัยของวาสนา อินแถลง (2548) คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.6 กรัม และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวรุ่นหลักพันธุ์ปทุมธานี 1 คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27 กรัม (ธีรพร บุศยอังกุล, 2543) ซึ่งมีความสอดคล้องการศึกษาวิจัยของ Bardhan Roy and Mondal (1988) และ Kupkanchanakul et al. (1993) ที่พบว่า ข้าวตอซังมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก มีสาเหตุมาจากการแก่งแย่งธาตุอาหารระหว่างเมล็ดกับต้นข้าวในข้าวตอซัง แต่ก็ไม่มีความสอดคล้องกับทวี คุปต์กาญจนากุล (2546) นิตยา รื่นสุข และคณะ (2548) Bardhan Roy and Mondal (1988) และ Mahadevappa and Yogeesha

(1988) ที่รายงานว่า เมล็ดของข้าวตอซังในรวงมีความสมบูรณ์มาก ส่งผลให้มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังมากกว่าข้าวรุ่นหลักด้วย

แสดงให้เห็นว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม

ผลการศึกษาวิจัย การเจริญเติบโตของข้าวตอซังซึ่งเกิดจากตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี สามารถสรุปได้ว่า การเติมสิ่งทดลองในข้าวรุ่นหลัก ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้ความสูงของข้าวตอซัง น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง (จำนวนต้นต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักนั้นส่งผลให้เฉพาะ น้ำหนักแห้งของฟางของข้าวตอซัง และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง (จำนวนต้นต่อตารางเมตร จำนวนรวงต่อตารางเมตร ความยาวรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดี) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น

ตารางที่ 4.6 ความสูงของข้าวตอซัง น้ำหนักแห้งของข้าวตอซัง และผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

ตำรับทดลอง	ความสูงของข้าวตอซัง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งของข้าวตอซัง (กิโลกรัม/ไร่)		ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง (กิโลกรัม/ไร่)	
		ตอซังข้าวรุ่นหลัก	ฟางข้าวตอซัง	ผลผลิตที่ได้จริง	ผลผลิตที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	51.54^{c}	32.18^{c}	320.06^{d}	13.37^{c}	54.97^{c}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	63.75^{ab}	58.44^{ab}	590.04^{c}	22.72^{b}	216.73^{b}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	63.76^{ab}	59.23^{ab}	624.90^{bc}	21.85^{b}	219.05^{b}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	58.35^{bc}	55.73^{b}	593.60^{c}	19.73^{b}	189.36^{bc}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	65.13^{ab}	64.40^{ab}	679.43^{bc}	24.80^{b}	257.44^{b}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	63.97^{ab}	56.93^{b}	819.12^{b}	22.50^{b}	00.81^{b}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	67.52^{a}	67.07^{a}	1,091.42^{a}	36.19^{a}	528.68^{a}
F-value	**0.09***	**15.87***	**16.10***	**3.94***	**367.56***
CV (%)	**7.16**	**8.80**	**14.28**	**26.01**	**23.90**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง						
	จำนวนต้นต่อตารางเมตร	จำนวนรวงต่อตารางเมตร	ความยาวรวง (เซนติเมตร)	จำนวนเมล็ดต่อรวง	จำนวนเมล็ดดีต่อรวง	เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (%)	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	158^{b}	154^{c}	17.30^{b}	26^{c}	13^{c}	50.79^{c}	17.14^{c}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	243^{a}	246^{b}	20.09^{a}	43^{b}	29^{b}	67.51^{ab}	19.19^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	245^{a}	260^{b}	19.52^{a}	44^{b}	27^{b}	68.81^{ab}	19.27^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	260^{a}	265^{b}	19.41^{a}	40^{b}	25^{b}	61.32^{b}	18.04^{bc}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	244^{a}	250^{b}	20.10^{a}	49^{ab}	33^{b}	69.54^{ab}	19.43^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	290^{a}	310^{ab}	19.48^{a}	44^{b}	30^{b}	68.28^{ab}	19.37^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	299^{a}	359^{a}	20.80^{a}	58^{a}	44^{a}	75.69^{a}	20.56^{a}
F-value	**3.24***	**6.53***	**3.14***	**6.17***	**10.87***	**8.64***	**3.83***
CV (%)	**17.87**	**16.22**	**5.50**	**15.50**	**16.87**	**7.06**	**5.11**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.5 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซังซึ่งเกิดจากตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง บ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดดึงและสะสมธาตุอาหาร ตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังในปริมาณเท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับทดลอง ถือได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังนั้นเป็นอิทธิพลหลักคงที่ จึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่เติมลงในดินนาตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก

ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ คือ คาร์บอน ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด) ธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอนทั้งหมด (Crude silicon)) โปรตีนหยาบ (Crude protein) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 ปริมาณคาร์บอน

เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ในข้าวรุ่นหลักซึ่งจะทำการศึกษาวิจัยปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอน โดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่ประยุกต์มาจาก Walkly and Black (ประโสค ธรรมเขต, 2540) ซึ่งจะไม่ใช่วิธีวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในข้าวตอซัง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1.1 ข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณคาร์บอนในข้าวรุ่นหลัก ซึ่งทำการวัดในรูปของอินทรีย์คาร์บอน ได้ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลัก คือ ส่วนของลำต้นและใบของข้าวรุ่นหลักที่อยู่ในระดับที่สูงจากพื้นดิน 20 เซนติเมตร เป็นส่วนที่จะนำออกไปจากแปลงทดลอง และได้มีการแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกไปแล้ว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ผลการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

1) ฟางข้าวรุ่นหลัก

ฟางข้าวรุ่นหลัก คือ ส่วนของลำต้นและใบของข้าวรุ่นหลักที่อยู่ในระดับที่สูงจากพื้นดิน 20 เซนติเมตร เป็นส่วนที่จะนำออกไปจากแปลงทดลอง และได้มีการแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกไปแล้ว พบว่า เมื่อเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวรุ่นหลัก (31.54 35.41 32.11 33.24 และ 35.25 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.62*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (24.29 % อักษร b) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (29.68 % อักษร ab) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์นั้นกลับไม่ส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวรุ่นหลักกับดินเดิมด้วย

อาจกล่าวได้ว่า ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลักมีอิทธิพลตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณคาร์บอนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 31.54*) เมื่อเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (29.03 28.54 30.21 และ 31.54 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) อีกทั้งการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว (21.87 % อักษร b) ก็ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (16.34 % อักษร c) เช่นกัน แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (19.23 % อักษร bc) นั้นกลับไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณคาร์บอนกับดินเดิม

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เป็นผลมาจากการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก

จากผลการศึกษาวิจัยข้างต้น ชี้ให้เห็นว่า ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมลงในดินนา ซึ่งอยู่ในรูปที่ต้นข้าวสามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) เพิ่มขึ้น เพราะไนโตรเจนส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ทำให้ใบข้าวมีสีเขียวมีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตสารประกอบคาร์บอนจำพวกคาร์โบไฮเดรต (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) เพิ่มดรรชนีพื้นที่ใบ และช่วยยืดอายุความแก่ของใบ ล้วนเป็นการช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) และฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แป้งด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (ยงยุทธ

โอสถสภา, 2543) และในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต ฟอสฟอรัสจะช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของรากข้าวในส่วนของรากฝอย รากแขนงและลำต้น ทำให้ลำต้นไม่ล้มง่าย ช่วยเร่งการเจริญเติบโตทำให้ออกดอกได้เร็ว ช่วยดูดดึงโพแทสเซียม และควบคุมสมดุลไนโตรเจนของรากและทำให้เมล็ดข้าวมีคุณภาพดีขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Yoshida, 1981) ถึงแม้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์จะมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบทางเคมีก็ตาม แต่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพียง 2.39 ppm เท่านั้น (ตารางที่ 4.2) จึงไม่ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในฟางข้าว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.5.1.2 ข้าวตอซัง

ปริมาณคาร์บอนในข้าวตอซัง ซึ่งซึ่งทำการวัดในรูปของอินทรีย์คาร์บอน ได้ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.10 4.11 และ4.12 ตามลำดับ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ตอซังข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณคาร์บอนในตอซังข้าวรุ่นหลัก ซึ่งทำการเก็บเกี่ยวพร้อมกับฟางข้าวตอซังและเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (38.12 % อักษร a) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 23.28*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (25.11 และ 30.50 % ตามลำดับ อักษร c และ bc ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (32.70 36.65 36.81 และ 35.89 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ก็ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณคาร์บอนกับดินเดิมเช่นกัน

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ฟางข้าวตอซัง

ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (8.49 และ 9.03 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 11.96*) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และ

เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (7.85 และ 7.89 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเติมปุ๋ยเคมีก็ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (6.93 และ 6.51 % ตามลำดับ อักษร bc และ c ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (5.37 % อักษร d)

สามารถสรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) เมล็ดเปลือกของข้าวตอซัง

ปริมาณคาร์บอนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (8.74 %) มีมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 11.68*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยเคมี (5.81 7.59 และ 6.75 % ตามลำดับ อักษร d bc และ c ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีในข้าวตอซังเหมือนกัน (7.92 8.55 และ 7.92 % กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยเคมียังก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณคาร์บอนกับดินเดิมอีกด้วย

แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) น่าจะเป็นผลมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ซึ่งมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์สารประกอบคาร์บอนจำพวกคาร์โบไฮเดรตจากระบวนการสังเคราะห์แสง (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981) อีกทั้งในช่วงการปลูกข้าวตอซังคาดว่าธาตุอาหารที่องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาก ไม่ว่าจะเป็นฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกอน ล้วนแล้วมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของข้าวให้ข้าวสามารถสร้างแป้งและน้ำตาลได้มากขึ้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; De Datta, 1981; Imaizumi and Yoshida, 1958; IRRI ,1967; Takahashi, 1968) สำหรับผลการศึกษาวิจัยปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนครั้งนี้มีข้อสังเกตว่าปริมาณคาร์บอนในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังมีค่าน้อยมาก คือ อยู่ในช่วง 5-12 % จากข้อสรุปที่ว่า ธรรมชาติของข้าวตอซัง จะมีการพัฒนาของตายอดบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซังมักจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ส่งผลให้มีต้นข้าวตอซัง

หลายช่วงระยะการเจริญเติบโต และผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังก็จะสุกแก่ไม่พร้อม (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Chauhan,Vergara and Lopez, 1985; Nair and Sahadeven, 1961; Prashar, 1970) ดังนั้น เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังพร้อมกันหมดทั่วทั้งพื้นที่จึงทำให้ได้ต้นข้าวตอซังทั้งที่แก่จัดหรือบางส่วนยังเป็นต้นข้าวอ่อนอยู่ ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังก็เช่นเดียวกัน ก็จะได้ทั้งเมล็ดข้าวที่สุกแก่ บางส่วนเมล็ดข้าวยังไม่สุก เมล็ดข้าวระยะเมล็ดน้ำนม และเมล็ดลีบ ซึ่งฟางข้าวที่ยังเป็นต้นข้าวอ่อน หรือเมล็ดข้าวยังไม่สุก เมล็ดข้าวระยะเมล็ดน้ำนม และเมล็ดลีบนั้น มีเซลลูโลสน้อย และการสร้างผนังเซลล์ยังมีไม่มาก จึงมีความเป็นไปได้ว่า ปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในข้าวตอซังในส่วนฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกจะมีปริมาณจะน้อยเพียง 5-12 %

4.5.2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ต้นข้าวรุ่นหลักและข้าวตอซังดูดดึงและสะสมตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.5.2.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลักและเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก มีผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

1) ข้าวรุ่นหลัก

ทำการศึกษาวิจัยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลักและเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ฟางข้าวรุ่นหลัก**

การเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลัก (0.69 0.71 และ 0.73 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 23.38*) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้มี

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.58 % อักษร b) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.50 % อักษร c) แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว กลับไม่พบว่ามีความต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.51 และ 0.55 % ตามลำดับ อักษร c และ bc ตามลำดับ) กับดินเดิม

แสดงว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนในฟางข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นอิทธิพลจากการเติมปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 7.11*) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (1.42 และ 1.44 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.93 % อักษร d) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี (1.37 % อักษร abc) เช่นเดียวกันกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก (1.21 % อักษร bc) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.97 และ 1.14 % ตามลำดับ อักษร cd และ bcd ตามลำดับ) ไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีความต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม

สามารถสรุปได้ว่า ไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากปุ๋ยเคมีเป็นส่วนใหญ่ เพราะปุ๋ยเคมีมีไนโตรเจนในปริมาณมาก เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก และยังรูปที่เป็นประโยชน์ที่ต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (ลัดดาวัลย์ กรรนุช, 2543) และยังคงสะสมอยู่ในต้นข้าวและเมล็ดข้าวเปลือก ขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าว เมื่อสลายตัวจะค่อยๆ ปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับดินนาอย่างช้าๆ ตามระยะเวลาการสลายตัวของอินทรีวัตถุ อาจเป็นไปได้ว่าตลอดระยะเวลาที่ปลูกข้าวรุ่นหลักอินทรียวัตถุสลายตัวเพียงบางส่วนจึงไม่อาจส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น ส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ก็ถือได้ว่ามีศักยภาพในการให้ไนโตรเจนต่ำ เนื่องจากมีไนโตรเจนอยู่ในปริมาณน้อย (Adriano et al., 1980) ประมาณ 0.03 % (ตารางที่ 4.2) อย่างไรก็ตามการดูดดึง และสะสม

ไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในฟางข้าวสำหรับประเทศไทยซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 % (Motomura, Seirayoskol and Cholitkul, 1984)

2) ข้าวตอซัง

ทำการศึกษาวิจัยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวตอซัง ในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก โดยมีผลการศึกษาวิจัยดังนี้ (ตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ)

- **ตอซังข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลัก พบว่า การเติมปุ๋ยเคมี เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.71 0.72 และ 0.72 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 37.85) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ เช่นเดียวกันกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.57 และ0.59 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.50 % อักษร c) แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์นั้นไม่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (0.51 % อักษร c) เมื่อเทียบกับดินเดิม

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักมีอิทธิพลตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- **ฟางข้าวตอซัง**

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 13.34*) เมื่อเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.58 และ 0.58 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.56 % อักษร ab) นอกจากนี้การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอน (0.53 และ 0.53 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร c เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.45 % อักษร c) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์นั้นไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.47 % อักษร c) กับดินเดิม

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง**

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.88 และ 0.91 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 6.62) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.74 0.78 และ 0.78 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ในทำนองเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมีก็ยังก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (0.68 % อักษร b) กับดินเดิม (0.46 % อักษร c) เช่นกัน

สามารถสรุปได้ว่า การเติม เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเป็นผลจากปุ๋ยหมักฟางข้าวและปุ๋ยเคมี เพราะปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมลงในดินนามีปริมาณอินทรียวัตถุถึง 32.33 % (ตารางที่ 4.3) ซึ่งจะเป็นแหล่งสำคัญที่ปลดปล่อยไนโตรเจนให้กับดินนาในระยะยาว (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543) และปุ๋ยเคมีก็มีไนโตรเจนรูปที่เป็นประโยชน์ที่ต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีในปริมาณสูง (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) ขณะที่เถ้าลอยลิกไนต์ (0.014%) มีศักยภาพการให้ไนโตรเจนต่ำ (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2546; Adriano et al, 1980) อย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากจะเป็นอิทธิพลของปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีแล้ว น่าจะเป็นผลมาจากซิลิกอนในเถ้าลอยลิกไนต์ที่ช่วยส่งเสริมให้ต้นข้าวสามารถดูดดึงไนโตรเจนจากดินนาได้มากขึ้น (Yoshida et al., 1969) และหากเติมไนโตรเจนในระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive phase) ไนโตรเจนเหล่านี้จะเปลี่ยนเป็นโปรตีนสะสมในเมล็ดข้าว (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของฟางข้าวตอซังในบางตำรับทดลองก็ยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในฟางข้าวสำหรับประเทศไทย คือ มีค่าเท่ากับ 0.5 % (Motomura et al., 1984) เช่นเดียวกับฟางข้าวรุ่นหลัก

4.5.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก และส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 4.9 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ)

1) ข้าวรุ่นหลัก

สำหรับข้าวรุ่นหลักทำการศึกษาวิจัย ในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ฟางข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลัก พบว่า เมื่อเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.075 0.074 และ0.077 % กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 9.77*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.055 % อักษร c) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.069 % อักษร ab) ในทำนองเดียวกัน การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.064 % อักษร b) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิมเช่นเดียวกัน ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์นั้นไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.062 % อักษร bc) กับดินเดิม

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดเปลือกของข้าวรุ่นหลัก พบว่า การเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.070 0.071 และ 0.074 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 9.86*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.023 % อักษร c) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.055 และ 0.056 % กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ยังส่งผลให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัส (0.049 % อักษร b) กับดินเดิมอีกด้วย

นั่นหมายถึง ฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลัก มีผลตรงต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นน่าจะมาจากปุ๋ยเคมีเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีฟอสฟอรัสมาก เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ (ลัดดาวัลย์ กรรนุช, 2543) ต้นข้าวสามารถดูดดึงไปใช้ได้ทันที และปริมาณฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งได้มาจากปุ๋ยหมักฟางข้าว (0.074 %: ตารางที่ 4.3) ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์มีซิลิกอนปริมาณมากจะช่วยลดการตรึงฟอสเฟตในดินนาลง ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินนาเพิ่มขึ้น (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2531; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Takahashi, 1968) ส่งผลให้ข้าวดูดดึงและสะสมฟอสฟอรัสไปไว้ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักมากขึ้น อย่างไรก็ตามการดูดดึงและสะสมปริมาณฟอสฟอรัสของฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลองต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวสำหรับประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 % (Motomura et al., 1984) ประกอบกับดินนาในพื้นที่เพาะปลูกมีการตรึงฟอสฟอรัสสูงเนื่องจากมีสภาพเป็นกรด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำประมาณ 4.0-4.5 นับว่าเป็นดินนาที่ขาดฟอสฟอรัส แม้ว่าจะวิเคราะห์พบปริมาณฟอสฟอรัสในดินนาก็ตาม (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) อาจกล่าวได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ข้าวดูดดึงมาใช้ประโยชน์จะมาจากปริมาณที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมีเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบในเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว

2) ข้าวตอซัง

ปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวตอซัง ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง มีผลการศึกษาวิจัยดังนี้

- **ตอซังข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลัก พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.085 % อักษร a) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 5.09*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (0.055 และ 0.070 % ตามลำดับ อักษร c และ b ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.072 0.071 0.074 และ 0.084 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ยังก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักกับดินเดิมอีกด้วย

สามารถสรุปจะได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลัก

- **ฟางข้าวตอซัง**

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวตอซัง (0.050 %) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.21*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (0.023 และ 0.038 % ตามลำดับ อักษร c และ b ตามลำดับ) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (0.042 0.040 0.045 และ 0.042 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ในทำนองเดียวกันเติมเถ้าลอยลิกไนต์ก็ส่งผลให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับดินเดิมอีกด้วย

อาจกล่าวได้ว่า การเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง**

ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังก็เช่นเดียวกัน พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง (0.039 %) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 6.02*) ยกเว้นการเติมลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ซึ่งไม่มีความต่างทางสถิติ (0.029 0.033 0.037 และ 0.035 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) อีกทั้งการเติมปุ๋ยเคมียังส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (0.027 % อักษร b) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (0.016 % อักษร c)

แสดงว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีอิทธิพลตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้น เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบทางเคมีลงในดินนา ย่อมส่งผลให้ข้าวตอซังดูดดึงและสะสมฟอสฟอรัสไว้ในส่วน

ของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังปริมาณมากด้วย สอดคล้องกับยงยุทธ โอสถสภา (2543) กล่าวว่า การเติมฟอสฟอรัสจะส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น อีกทั้งปุ๋ยเคมีก็ยังมีฟอสฟอรัสในรูปที่ข้าวใช้ประโยชน์ได้ทันที (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์มีซิลิกอนปริมาณสูง ซึ่งซิลิกอนช่วยลดการตรึงฟอสเฟตในดินนา ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น และต้นข้าวตอซังสามารถดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้ (ทัศนีย์ อัตตะนันท์, 2531; สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Takahashi, 1968) ตรงกับรายงานของ Friesen et al. (1994) การใส่ซิลิกอนร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสส่งเสริมให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางของข้าวตอซังทุกตำรับทดลองพบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวสำหรับประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 % (Motomura et al., 1984)

4.5.2.3 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ดังต่อไปนี้

1) ข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลัก คือ ส่วนของลำต้นและใบของข้าวรุ่นหลักที่อยู่ในระดับที่สูงจากพื้นดิน 20 เซนติเมตร เป็นส่วนที่จะนำออกไปจากแปลงทดลอง และได้มีการแยกเมล็ดข้าวเปลือกออกไปแล้ว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ผลการศึกษาวิจัยมีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

- **ฟางข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลัก พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวรุ่นหลัก (2.59 และ 2.56 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 5.42*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (2.11 % อักษร c) และเติมปุ๋ยเคมี (2.25 % อักษร bc) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟาง

ข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (2.43 2.36 และ2.38 % กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีนั้นก็ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดกับดินเดิม

สรุปได้ว่า โพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมในข้าวรุ่นหลัก มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก**

ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (4.53 % อักษร a) มีมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 4.38*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ส่งให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (3.41 3.35 3.88 และ 3.46 % ตามลำดับ อักษร c c b และ c ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (2.85 % อักษร d) สำหรับการเติมปุ๋ยเคมี (2.92 % อักษร d) ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดกับดินเดิม

นั่นหมายความว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสะสมในฟางข้าวรุ่นหลักและเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น่าจะเป็นผลมาจากโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ (214 ppm: ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.32 %: ตารางที่ 4.3) เป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ปุ๋ยเคมีที่เติมลงในดินนาประกอบด้วยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเท่านั้น ไม่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบทางเคมี (ลัดดาวัลย์ กรรนุช, 2543) และผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการศึกษาของศุภชัย แตงสุวรรณ (2431) และ Yoshida (1981) ที่ว่า การเติมปุ๋ยโพแทสเซียม ทำให้การสะสมโพแทสเซียมในฟางข้าว และเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงข้าวต้องการโพแทสเซียมสำหรับการเจริญเติบโต จนกระทั่งออกรวงสมบูรณ์ โดยที่โพแทสเซียม 20 % ข้าวดูดดึงไปสะสมในเมล็ด ส่วนที่เหลือจะสะสมอยู่ในลำต้นและใบ อีกทั้งดินนาที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นดินเหนียวจึงมีความสามารถในการรักษาระดับโพแทสเซียมในดินนา (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ส่งผลต่อการดูดดึงและสะสมโพแทสเซียมในฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกมากขึ้นด้วย ขณะเดียวกันปริมาณ

โพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลองสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวในประเทศไทย คือ มีค่าเท่ากับ 1.6 % (Motomura et al., 1984)

2) ข้าวตอซัง

ปริมาณโพแทสเซียมในข้าวตอซัง ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.10 4.11 และ4.12 ตามลำดับ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **ตอซังข้าวรุ่นหลัก**

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.72*) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (4.79 % อักษร a) เมื่อเทียบกับดินเดิม เติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี (3.90 4.15 และ 4.01 % ตามลำดับ อักษร d bcd และ cd ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (4.44 4.70 และ 4.53 % ตามลำดับ อักษร abc ab และ abc ตามลำดับ) ขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีก็ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดกับดินเดิม

สามารถสรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักนั้น กลับไม่ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น

- **ฟางข้าวตอซัง**

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (2.16 2.08 2.24 2.19 และ 2.33 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 16.03*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (1.31 % อักษร c) เช่นเดียวกันกับการเติมปุ๋ยเคมีก็ก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (1.71 % อักษร b) กับดินเดิม

แสดงว่า การเพิ่มขึ้นปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น่าจะเป็นผลมาจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก

- **เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง**

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (3.24 %) มีมากที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 18.18*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ทั้งหมด ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (2.80 2.65 2.98 และ 2.81 % ตามลำดับ อักษร bc c b และ bc ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับดินเดิม (2.28 % อักษร d) ส่วนการเติมปุ๋ยเคมี กลับไม่พบว่าส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (2.98 % อักษร d) กับดินเดิม

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาวิจัยข้างต้น นั่นหมายถึง การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น่าจะเป็นอิทธิพลจากโพแทสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ (214 ppm: ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (1.32 %: ตารางที่ 4.3) ตรงกับรายงานของศุภชัย แตงสุวรรณ (2431) และ Yoshida (1981) ที่ว่า การเติมปุ๋ยโพแทสเซียม ทำให้การสะสมโพแทสเซียมในฟางข้าว และเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในตอซังข้าวรุ่นหลักน่าจะเป็นผลมาจากเถ้าลอยลิกไนต์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้น เมื่อเติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักนั้น อาจจะเนื่องมาจากฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันทีจากปุ๋ยเคมี (ลัดดาวรรณ กรรณนุช, 2543) ช่วยให้ต้นข้าวดูดดึงโพแทสเซียมไปสะสมในลำต้นและใบได้ดีขึ้น (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Yoshida, 1981) อย่างไรก็ตามการสะสมโพแทสเซียมของตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังในทุกตำรับทดลองสูงกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวสำหรับประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 1.6 % (Motomura et al., 1984) เนื่องมาจากดินนาที่ทำการศึกษาวิจัยมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544 จึงมีโพแทสเซียมตกค้างในดินนาก่อนเติมสิ่งทดลอง (95.16-106.64 ppm: ตารางที่ 4.1) และดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก (86.01-176.55 ppm: ตารางที่ 4.5) ถือได้ว่าอยู่ในระดับสูง

เมื่อเทียบตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973: ตารางภาคผนวกที่ ผ.4) จึงส่งผลต่อปริมาณโพแทสเซียมในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง)

4.5.3. ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ที่ทำการศึกษาในฟางข้าว คือ ซิลิกอน โดยวัดในรูป Crude Si เพื่อทราบโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุเสริมประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี รวมทั้งปริมาณการสะสมซิลิกอนในส่วนของข้าวในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง)

4.5.3.1 ข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

1) ฟางข้าวรุ่นหลัก

ธาตุเสริมประโยชน์ที่ทำการศึกษาวิจัยในฟางข้าวรุ่นหลัก คือ ซิลิกอนทั้งหมด โดยทำการวัดในรูปของ Crude silicon พบว่า เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (14.08 13.72 และ 13.85 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.04*) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว (13.22 และ 11.23 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ในทำนองเดียวกันการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี (9.66 % อักษร b) ยังส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (10.12 % อักษร c)

นั่นหมายถึง การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

ธาตุเสริมประโยชน์ที่ทำการศึกษาวิจัยในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก คือ ซิลิกอนทั้งหมด โดยทำการวัดในรูปของ Crude silicon พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (6.74 6.81 6.75 และ 6.87 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.13*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ในทำนองเดียวกันการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวมีปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (5.61 % อักษร b) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม (3.78 % อักษร c) ขณะที่เติมปุ๋ยเคมี (3.92 % อักษร c) ไม่ส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดกับดินเดิม

ดังนั้น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลักมีผลตรงต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) อาจเนื่องมาจากซิลิกอนจากเถ้าลอยลิกไนต์ (324.55 ppm: ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (12.72 %: ตารางที่ 4.3) ซึ่งมีปริมาณมาก และข้าวก็เป็นพืชที่มีการสะสมซิลิกอน (Summer, 1979; Yoshida, 1975) โดยข้าวจะดูดดึงซิลิกอนจากสารละลายดินในรูปของกรดโมโนซิลิซิกขึ้นมาพร้อมกับน้ำ น้ำจะสูญเสียโดยกระบวนการคายน้ำแล้วซิลิกอนจะถูกทิ้งไว้ในเนื้อเยื่อข้าว และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของซิลิกาเจล (Yoshida, 1975) ทำให้มีการสะสมอยู่ภายในต้นข้าว แต่ซิลิกอนเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้าย (immobile) ในต้นพืช ดังนั้นระยะเวลาการใส่ซิลิกอนในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช (Ma et al., 1989) ทำให้พบซิลิกอนในฟางข้าว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักปริมาณมาก และมีความสอดคล้องกับปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ดินนาในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลักที่เพิ่มขึ้นด้วย หากเปรียบเทียบกับปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) ของฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลองพบว่ามีค่ามากกว่าปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) ในฟางข้าวที่เป็นผลการศึกษาของประเสริฐ สองเมือง (2543) และ Han (1978) มีค่าเท่ากับ 0.8 % เหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะดินนาก่อนเติมสิ่งทดลองมีซิลิกอนตกค้างอยู่จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544

4.5.3.2 ข้าวตอซัง

ทำการศึกษาวิจัยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวตอซัง ในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก โดยมีผลการศึกษาวิจัยดังนี้ (ตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ)

1) ตอซังข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ในตอซังข้าวรุ่นหลัก คือ ซิลิกอนทั้งหมด โดยทำการวัดในรูป Crude silicon พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (14.93 15.07 14.97 และ 16.16 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 7.60*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (11.68 และ 11.33 % ตามลำดับกลุ่มอักษร b เดียวกัน) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว (13.24 % อักษร ab) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีนั้นไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดกับดินเดิม

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude silicon) ในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ฟางข้าวตอซัง

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ในฟางข้าวตอซัง คือ ซิลิกอนทั้งหมด โดยทำการวัดในรูป Crude silicon พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (12.16 11.09 12.23 12.17 และ 12.26 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 14.36*) เมื่อเทียบกับดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (8.90 และ 9.03 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมี กลับไม่พบว่าก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดกับดินเดิม

สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก มีอิทธิพลตรงต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในฟางข้าวตอซัง

3) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง คือ ซิลิกอนทั้งหมด โดยทำการวัดในรูป Crude silicon พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (12.91 11.45 13.05 12.93 และ 13.11 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 8.90*) เมื่อ

เทียบกับดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (9.73 และ 9.81% ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดกับดินเดิม

แสดงว่า ซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมในข้าวรุ่นหลัก น่าจะมีอิทธิพลตรงต่อการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

นั่นหมายถึง การเพิ่มขึ้นของปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) เป็นผลมาจากซิลิกอนที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ (324.55 ppm, ตารางที่ 4.2) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (12.72 %, ตารางที่ 4.3) เช่นเดียวกันกันข้าวรุ่นหลัก ทั้งนี้ปริมาณการสะสมซิลิกอนในแต่ละส่วนของข้าวตอซังจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำของส่วนนั้นๆ และจะมีมากขึ้นตามอายุของพืช (Balasta et al., 1989) จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณซิลิกอนที่สะสมจึงมีการสะสมในฟางข้าวรุ่นหลักและเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักได้แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) ของตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังทุกตำรับทดลองกับปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) ในฟางข้าวที่เป็นผลการศึกษาของประเสริฐ สองเมือง (2543) และ Han (1978) มีค่าเท่ากับ 0.8 % พบว่า มีค่ามากกว่า ซึ่งเหตุผลเดียวกันกับข้าวรุ่นหลัก คือ ดินนาก่อนเติมสิ่งทดลองมีซิลิกอนตกค้างอยู่จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตรา 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544 และดินนาในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวรุ่นหลัก ก็มีปริมาณซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ ถือได้ว่าอยู่ในระดับสูงอีกด้วย เมื่อเทียบกับดินโดยทั่วไป คือ มีค่าอยู่ในช่วง 14-20 ppm (Tisdale et al. 1985) อีกทั้งปริมาณซิลิกอนที่มากจะไม่เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของข้าว และยังช่วยทำให้ต้นข้าวแข็งแรงและทนต่อการเข้าทำลายของโรค และแมลง ไร และรา (Yoshida, 1975; Takahashi et al., 1990) ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากข้าวถูกรบกวนจากโรค แมลงน้อยลง อีกทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการฉีดยาฆ่าแมลง และสารกำจัดโรคพืชต่าง

4.5.4 ปริมาณโปรตีนหยาบ

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน ตั้งแต่ 50 ถึง 100 หน่วย และเป็นสารประกอบกลุ่มไนโตรเจนเป็นส่วนใหญ่ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ซึ่งเป็นผลจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังในปริมาณเท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับทดลอง ถือได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังนั้นเป็นอิทธิพลหลักคงที่ จึงไม่มีผลต่อการ

เปรียบเทียบสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่เติมลงในดินนาตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก มีรายละเอียดของผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

4.5.4.1 ข้าวรุ่นหลัก

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก มีผลการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

1) ฟางข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) เป็นสารประกอบไนโตรเจน สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวรุ่นหลักนั้น พบว่า การเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (4.31 4.46 และ 4.56 % กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าตำรับทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 23.21*) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (3.64 % อักษร b) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (3.10 % อักษร c) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ (3.16 % อักษร c) และปุ๋ยหมักฟางข้าว (3.46 % อักษร bc) กลับไม่ก่อให้ความต่างทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบกับดินเดิม

ดังนั้น การเติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 7.11*) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (8.84 และ 9.00 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เมื่อเทียบกับดินเดิม (5.81 % อักษร d) แต่ไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (8.58 และ 7.57 % ตามลำดับ อักษร ab และ abc ตามลำดับ) ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวนั้น กลับไม่พบว่าก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบ (6.04 และ 7.14 % ตามลำดับ อักษร cd และ bcd ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับดินเดิม

อาจกล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ดังนั้น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะเถ้าลอยลิกไนต์มีศักยภาพในการให้ไนโตรเจนต่ำ (Adriano et al., 1980) และดินนามีความมีความเป็นกรดจัดมาก (Very strongly acid) ถึงมีความเป็นกรดรุนแรงมาก (Extremely acid) (ตารางที่ 4.1) ทำให้ผลกระทบต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักฟางข้าวของจุลินทรีย์ จึงส่งผลให้ไนโตรเจนปลดปล่อยสู่ดินนาน้อย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) ขณะเดียวปุ๋ยเคมีมีไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวได้ทันที ในปริมาณมากเมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก (มูลนิธิมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, 2547; ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) จึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้น ตรงกับรายงานของอรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น (2527) Brenes at el. (1961) De Datta (1981) Litter at el. (1959) และ Mays (1960) ที่กล่าวว่า ไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มโปรตีนในข้าว รวมทั้งการให้ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ใบมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า และปริมาณโปรตีนหยาบในลำต้นใบ และเมล็ดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับยงยุทธ โอสถสภา (2543) กล่าวที่ว่า การเติมปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอและในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนหยาบในพืช แต่ก็พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบของฟางข้าวตอซังทุกตำรับทดลองมีค่ามากกว่าฟางข้าวทั่วไป ซึ่งที่มีโปรตีนหยาบ เฉลี่ยเท่ากับ 2.76 % (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533; ทวี แก้วคง, 2527; ประเสริฐ สองเมือง, 2543; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531) อย่างไรก็ตามเมื่อนำฟางข้าวเหล่านี้มาเป็นอาหารสัตว์ ยังถือได้ว่ามีคุณค่าทางอาหารต่ำสำหรับสัตว์ เพราะมีโปรตีนหยาบน้อยกว่า 6 % (วัลลภ สันติประชา และประวิตร โสภโณดร, 2524) อาจเนื่องมาจากในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวไนโตรเจนบางส่วนมักจะไม่เหลือตกค้างในฟางข้าวแล้ว (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533; ประเสริฐ สองเมือง, 2543) ส่วนปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ในทุกตำรับทดลองอยู่ในช่วงปกติของปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวทั่วไป คือ 4.3-9.8 % (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรอนงค์ นิติกุล, 2547; Cagampang et al., 1996)

4.5.4.2 ข้าวตอซัง

ปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวตอซังนั้นจะพิจารณาในแง่ของการใช้ประโยชน์ข้าวตอซังเป็นอาหารสัตว์ ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้จึงทำการศึกษาวิจัยในส่วนตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก (ตารางที่ 4.10 4.11 และ4.12 ตามลำดับ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ตอซังข้าวรุ่นหลัก

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ในตอซังข้าวรุ่นหลัก พบว่า เมื่อเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (4.44 4.47 และ 4.51 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 37.49*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ขณะเดียวกัน การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ก็ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (3.55 และ3.68 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับดินเดิม (3.14 % อักษร c) อีกด้วย ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของมีปริมาณโปรตีนหยาบ (3.20 % อักษร c) กับดินเดิม

แสดงว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในตอซังข้าวรุ่นหลักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) ฟางข้าวตอซัง

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ในฟางข้าวตอซัง พบว่า การเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (3.62 และ 3.60 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 13.24*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (3.53 % อักษร ab) ในทำนองเดียวกันการเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (3.28 และ 3.30 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร b เดียวกัน) ก็ก่อให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบกับดินเดิม (2.81 % อักษร c) ส่วนการเติมเถ้าลอยลิกไนต์นั้นไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบ (2.93 % อักษร c) เพิ่มขึ้นจากดินเดิม

สรุปได้ดังนี้ การปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า ในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (5.49 และ5.71 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 6.62*) เมื่อเทียบดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (2.90 และ4.26 % ตามลำดับ อักษร c และ b ตามลำดับ) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติม

เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว (4.64 4.85 และ 4.88 % ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน) ขณะเดียวกันการเติมปุ๋ยเคมีก็ยังก่อให้เกิดความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบกับดินเดิมอีกด้วย

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษาวิจัยข้างต้น มีความเป็นไปได้ว่า การเพิ่มขึ้นอย่างสำคัญทางสถิติของปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) น่าจะเป็นผลมาจากไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี เป็นอิทธิพลหลัก โดยที่ไนโตรเจนช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีนในข้าว (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527; Brenes at el., 1961; De Datta, 1981; Litter at el., 1959; Mays, 1960) ขณะเดียวกันเถ้าลอยลิกไนต์มีซิลิกอนในปริมาณมาก จะช่วยส่งเสริมให้ข้าวตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้ดีขึ้น (Yoshida et al., 1969) ต้นข้าวอยู่ในช่วงระยะเจริญพันธุ์ (Reproductive phase) หากมีไนโตรเจนปริมาณมาก จะส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นด้วย (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนหยาบของตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังพบว่ามีค่ามากกว่าปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวทั่วไป คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.76 % (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533; ทวี แก้วคง, 2527; ประเสริฐ สองเมือง, 2543; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531) สำหรับปริมาณปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังในทุกตำรับทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงปกติของปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวทั่วไป คือ 4.3-9.8 % (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรอนงค์ นิติกุล, 2547; Cagampang et al., 1996) ยกเว้นตำรับทดลองดินเดิมมีปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกน้อยกว่าปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวทั่วไป

4.5.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีในข้าวตอซัง ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ดังต่อไปนี้

4.5.5.1 ข้าวรุ่นหลัก

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในข้าวรุ่นหลัก ทำการศึกษาวิจัยในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ)

1) ฟางข้าวรุ่นหลัก

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลัก บ่งชี้ถึงการสลายตัวของฟางข้าวรุ่นหลักด้วยจุลินทรีย์ จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลอง คือ ดินเดิม เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 1.94^{NS}) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 48.29 : 1 – 58.77 : 1

นั่นหมายถึง การเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ไม่ส่งผลทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก พบว่า ทุกตำรับทดลองมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักไม่มีความต่างทางสถิติ (F-value = 1.04^{NS}) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 17.87 : 1 – 23.60 : 1

สรุปได้ว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก

ถึงแม้ว่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับดินเดิม ซึ่งข้าวรุ่นหลักเหล่านี้ได้มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักมีค่าสูง เพราะมีค่ามากกว่า 10 : 1 - 20 :1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จะมีผลต่อระบบการย่อยสลายฟางข้าวของจุลินทรีย์ดิน แต่ก็มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟางข้าวทั่วไป ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 : 1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ประเสริฐ สองเมือง; 2543)

4.5.5.2 ข้าวตอซัง

สำหรับอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจนในข้าวตอซัง ได้ทำการศึกษาวิจัยในส่วนตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.10 4.11 และ4.12 ตามลำดับ)

1) ตอซังข้าวรุ่นหลัก

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตอซังข้าวรุ่นหลักที่เก็บเกี่ยวพร้อมกับฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (62.46 :1 อักษร a) มีค่ามากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 3.47*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ ยกเว้นตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าว ซึ่งไม่มีความต่างทางสถิติของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (59.65 : 1 และ 57.59 : 1 ตามลำดับ อักษร ab และ abc ตามลำดับ) ขณะเดียวกัน การเติมปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ก็ไม่มีความต่างทางสถิติของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (51.74 : 1 50.07 : 1 และ 52.88 : 1 ตามลำดับ อักษร bc c และ bc ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับดินเดิม (50.34 : 1 อักษร c) เช่นกัน

อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี ในข้าวรุ่นหลักไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในตอซังข้าวรุ่นหลัก

2) ฟางข้าวตอซัง

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวตอซัง พบว่า การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (15.03 : 1 16.07 : 1 และ 15.71 : 1 ตามลำดับ กลุ่มอักษร a เดียวกัน) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 4.40*) เมื่อเทียบกับดินเดิม (12.04 : 1 อักษร bc) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี (14.75 : 1 และ 14.01 : 1 ตามลำดับ อักษร ab และ abc ตามลำดับ) นอกจากนี้การเติมปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี กลับไม่พบว่าส่งผลให้เกิดความต่างทางสถิติของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (11.26 : 1 และ 14.01 : 1 ตามลำดับ อักษร c และ abc ตามลำดับ) กับดินเดิม

สามารถสรุปได้ดังนี้ การเติมปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3) เมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง พบว่า ตำรับทดลองทดลองดินเดิม มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (13.22 : 1) มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อักษร a และ F-value = 1.27*) เมื่อเทียบกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมี (9.09 : 1 อักษร b) แต่ไม่มีความต่างทางสถิติกับการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี (10.28 : 1 10.24 :1 10.06 : 1 11.14 : 1 และ 9.62 : 1 ตามลำดับ กลุ่มอักษร ab เดียวกัน)

มีความเป็นไปได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักก่อให้เกิดความต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังเมื่อเทียบกับดินเดิม

จากผลการศึกษาวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของข้าวตอซังในส่วนของตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังไม่สามารถจะสรุปชี้ชัดได้ว่าเป็นอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังมีค่าน้อยกว่าฟางข้าวทั่วไป คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70 : 1 ซึ่งจะมีผลต่อระบบการย่อยสลายฟางข้าวของจุลินทรีย์ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ประเสริฐ สองเมือง; 2543) ดังนั้นการสลายตัวของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังจะเกิดขึ้นได้ดี

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวรุ่นหลัก

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวรุ่นหลัก						
	คาร์บอน (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์	โปรตีนหยาบ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
		ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ซิลิกอนทั้งหมด (%)		
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	24.29 ^{b}	0.50 ^{c}	0.055 ^{c}	2.11 ^{c}	10.12 ^{c}	3.10 ^{c}	48.71 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	29.68 ^{ab}	0.51 ^{c}	0.062 ^{bc}	2.43 ^{ab}	13.22 ^{ab}	3.16 ^{c}	58.77 : 1
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	31.54 ^{a}	0.55 ^{bc}	0.064 ^{b}	2.36 ^{ab}	11.23 ^{ab}	3.46 ^{bc}	57.04 : 1
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	35.41 ^{a}	0.69 ^{a}	0.075 ^{a}	2.25 ^{bc}	9.66 ^{b}	4.31 ^{a}	51.33 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	32.11 ^{a}	0.58 ^{b}	0.069 ^{ab}	2.59 ^{a}	14.08 ^{a}	3.64 ^{b}	55.08 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	33.24 ^{a}	0.71 ^{a}	0.074 ^{a}	2.38 ^{ab}	13.72 ^{a}	4.46 ^{a}	46.62 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	35.25 ^{a}	0.73 ^{a}	0.077 ^{a}	2.56 ^{a}	13.85 ^{a}	4.56 ^{a}	48.29 : 1
F-value	**3.62** *	**23.38** *	**9.77** *	**5.42** *	**3.04** *	**23.21** *	**1.94** ^{NS}
CV (%)	**11.01**	**5.84**	**6.52**	**5.20**	**15.26**	**7.84**	**11.27**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.9 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก						
	คาร์บอน (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์	โปรตีนหยาบ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
		ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ซิลิกอนทั้งหมด (%)		
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	16.34 ^{c}	0.93 ^{d}	0.023 ^{c}	2.85 ^{d}	3.78 ^{c}	5.81 ^{d}	17.87 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	19.23 ^{bc}	0.97 ^{cd}	0.049 ^{b}	3.41 ^{c}	6.74 ^{a}	6.04 ^{cd}	19.99 : 1
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	21.87 ^{b}	1.14 ^{bcd}	0.055 ^{ab}	3.35 ^{c}	5.61 ^{b}	7.14 ^{bcd}	19.27 : 1
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	29.03 ^{a}	1.37 ^{abc}	0.070 ^{a}	2.92 ^{d}	3.92 ^{c}	8.58 ^{ab}	21.34 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	28.54 ^{a}	1.21 ^{bc}	0.056 ^{ab}	3.88 ^{b}	6.81 ^{a}	7.57 ^{abc}	23.60 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	30.21 ^{a}	1.42 ^{a}	0.071 ^{a}	3.46 ^{c}	6.75 ^{a}	8.84 ^{a}	21.49 : 1
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	31.54 ^{a}	1.44 ^{a}	0.074 ^{a}	4.53 ^{a}	6.87 ^{a}	9.00 ^{a}	22.09 : 1
F-value	**15.70** *	**7.11** *	**9.86** *	**4.38** *	**0.13** *	**7.11** *	**1.04** ^{NS}
CV (%)	**10.40**	**11.38**	**17.37**	**5.29**	**6.31**	**11.26**	**15.58**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของตอซังข้าวรุ่นหลัก

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของตอซังข้าวรุ่นหลัก						
	คาร์บอน (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์	โปรตีนหยาบ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
		ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ซิลิกอนทั้งหมด (%)		
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	25.11^{c}	0.50^{c}	0.055^{c}	3.90^{d}	11.68^{b}	3.14^{c}	50.34 : 1^{c}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	30.50^{bc}	0.51^{c}	0.070^{b}	4.44^{abc}	14.93^{a}	3.20^{c}	59.65 : 1^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	32.70^{ab}	0.57^{b}	0.072^{ab}	4.15^{bcd}	13.24^{ab}	3.55^{b}	57.59 : 1^{abc}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	36.65^{ab}	0.71^{a}	0.071^{ab}	4.01^{cd}	11.33^{b}	4.44^{a}	51.74 : 1^{bc}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	36.81^{ab}	0.59^{b}	0.077^{ab}	4.70^{ab}	15.07^{a}	3.68^{b}	62.46 : 1^{a}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	35.89^{ab}	0.72^{a}	0.084^{ab}	4.53^{abc}	14.97^{a}	4.47^{a}	50.07 : 1^{c}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	38.12^{a}	0.72^{a}	0.085^{a}	4.79^{a}	16.16^{a}	4.51^{a}	52.88 : 1^{bc}
F-value	**23.28***	**37.85***	**5.09***	**3.72***	**7.60***	**37.49***	**3.47***
CV (%)	**5.31**	**5.13**	**10.59**	**7.07**	**7.69**	**4.49**	**8.33**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวตอซัง

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวตอซัง						
	คาร์บอน (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์	โปรตีนหยาบ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
		ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ซิลิกอนทั้งหมด (%)		
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	5.37^{d}	0.45^{c}	0.023^{c}	1.31^{c}	8.90^{b}	2.81^{c}	12.04 : 1^{bc}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	6.93^{bc}	0.47^{c}	0.038^{b}	2.16^{a}	12.16^{a}	2.93^{c}	14.75 : 1^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	7.85^{ab}	0.53^{b}	0.042^{ab}	2.08^{a}	11.09^{a}	3.28^{b}	15.03 : 1^{a}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	6.51^{c}	0.58^{a}	0.040^{ab}	1.71^{b}	9.03^{b}	3.62^{a}	11.26 : 1^{c}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	8.49^{a}	0.53^{b}	0.045^{ab}	2.24^{a}	12.23^{a}	3.30^{b}	16.07: 1^{a}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	7.89^{ab}	0.56^{ab}	0.042^{ab}	2.19^{a}	12.17^{a}	3.53^{ab}	14.01 : 1^{abc}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	9.03^{a}	0.58^{a}	0.050^{a}	2.33^{a}	12.26^{a}	3.60^{a}	15.71 : 1^{a}
F-value	**11.96***	**13.34***	**6.21***	**16.03***	**14.36***	**13.24***	**4.40***
CV (%)	**8.43**	**6.00**	**14.68**	**7.89**	**6.28**	**4.60**	**10.69**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4.12 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

ตำรับทดลอง	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง						
	คาร์บอน (%)	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุเสริมประโยชน์	โปรตีนหยาบ (%)	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)
		ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	ซิลิกอนทั้งหมด (%)		
ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ พ.ศ. 2544)	5.81^{d}	0.46^{c}	0.016^{c}	2.28^{d}	9.73^{b}	2.90^{c}	13.22 : 1^{a}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์	7.59^{bc}	0.74^{ab}	0.029^{ab}	2.80^{bc}	12.91^{a}	4.64^{ab}	10.28 : 1^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	7.92^{ab}	0.78^{ab}	0.033^{ab}	2.65^{c}	11.45^{a}	4.85^{ab}	10.24 : 1^{ab}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	6.75^{c}	0.68^{b}	0.027^{b}	2.34^{d}	9.81^{b}	4.26^{b}	10.06 : 1^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว	8.55^{ab}	0.78^{ab}	0.037^{ab}	2.98^{b}	13.05^{a}	4.88^{ab}	11.14 : 1^{ab}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี	7.92^{ab}	0.88^{a}	0.035^{ab}	2.81^{bc}	12.93^{a}	5.49^{a}	9.09 : 1^{b}
ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี	8.74^{a}	0.91^{a}	0.039^{a}	3.24^{a}	13.11^{a}	5.71^{a}	9.62 : 1^{ab}
F-value	**11.68***	**6.62***	**6.02***	**18.18***	**8.90***	**6.62***	**1.27***
CV (%)	**6.84**	**13.37**	**17.87**	**5.05**	**7.53**	**13.29**	**19.67**

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยความสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.6 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง บ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดดึงและสะสมธาตุอาหาร ตลอดระยะการเจริญเติบโตของข้าว เป็นผลมาจากการเติมสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังในปริมาณเท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับทดลอง ถือได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังนั้นเป็นอิทธิพลหลักคงที่ จึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่เติมลงในดินนาตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก

จากผลการศึกษาวิจัยดังกล่าว เมื่อนำมาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) กับข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) แสดงถึงอิทธิพลของสิ่งทดลอง ได้แก่ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีที่เติมในข้าวรุ่นหลักที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง โดยมีรายละเอียดของพารามิเตอร์ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด) ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ (ซิลิกอนทั้งหมด (Crude silicon)) ปริมาณโปรตีนหยาบ (Crude protein) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ดังนี้

4.6.1 ปริมาณคาร์บอน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) กับปริมาณคาร์บอนในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ซึ่งเป็นผลจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก (รูปที่ 4.1) พบว่า ฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลองมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าฟางข้าวตอซัง ประมาณ 5-6 เท่า แต่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก ในทำนองเดียวกันเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักก็มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังประมาณ 2-4 เท่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ ข้าวตอซังมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนกระทั่งออกรวงสั้นกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ทำให้มีระยะการสังเคราะห์แสงของข้าวตอซังเพื่อสร้างแป้ง น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนได้น้อยกว่าข้าวรุ่นหลักที่มีระยะเวลาการเจริญเติบโตจนกระทั่งออกรวงมากกว่า ขณะที่ตอซังข้าวรุ่นหลักมีสะสมสารประกอบคาร์บอน (แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) จากกระบวนการสังเคราะห์แสงตั้งแต่เป็นต้นข้าวรุ่นหลักต่อเนื่องจนถึงเป็นต้นข้าวตอซัง และได้ทำการเก็บเกี่ยวพร้อมกับข้าวตอซัง จึงมีผลทำให้ตอซังข้าวรุ่นหลักมีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าฟางข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซัง

4.6.2 ปริมาณธาตุอาหารหลัก

ปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง ประกอบด้วย ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ที่ต้นข้าวรุ่นหลักและข้าวตอซังดูดดึงและสะสมตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต เมื่อนำมาเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักในข้าวรุ่นหลัก กับข้าวตอซัง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.2.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) เมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) (รูปที่ 4.1) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักมีปริมาณมากกว่าฟางข้าวตอซัง แต่น้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก เช่นเดียวกันกับเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักก็มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังประมาณ 1 เท่า อีกด้วย คงมีสาเหตุมาจากข้าวตอซังการเจริญเติบโตและออกรวงได้เร็ว (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ทำให้ดูดดึงไนโตรเจนจากดินนาได้น้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก สำหรับตอซังข้าวรุ่นหลักนั้นสามารถดูดดึงไนโตรเจนจากดินนาตั้งแต่เป็นต้นข้าวรุ่นหลักจนกระทั่งเป็นต้นข้าวตอซังทำให้มีระยะเวลาการสะสมไนโตรเจนมากกว่าฟางข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังเหมือนกับปริมาณคาร์บอนในข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง อย่างไรก็ตามการดูดดึงไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักยังสูงกว่าค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในฟางข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังสำหรับประเทศไทย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 % (Motomura et al., 1984)

4.6.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

จากผลการศึกษาวิจัย (รูปที่ 4.1) ชี้ให้เห็นว่า ทุกตำรับทดลอง ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลักมีปริมาณมากกว่าฟางข้าวตอซัง ประมาณ 1-2 เท่า แต่ก็มีปริมาณน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก ยกเว้นตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตอซังข้าวรุ่นหลักน้อยกว่าฟางข้าวรุ่นหลัก นอกจากนี้ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ก็ยังพบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังประมาณ 0.5-1 เท่า อีกด้วยเช่นกัน แสดงว่า ระยะเวลาการเจริญเติบโตจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซังที่แตกต่างกัน มีผลต่อการดูดดึงและการสะสมฟอสฟอรัสในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) และข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ส่วนตอซังข้าวรุ่นหลักมีการดูดดึง และสะสม

ฟอสฟอรัสตั้งแต่เป็นต้นข้าวรุ่นหลักต่อเนื่องจนถึงเป็นต้นข้าวตอซัง และได้ทำการเก็บเกี่ยวพร้อมกับข้าวตอซัง ซึ่งมีระยะเวลามากกว่าฟางข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง อย่างไรก็ตามการดูดดึงและสะสมฟอสฟอรัสของฟางข้าวรุ่นหลักในทุกตำรับทดลองต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในฟางข้าวสำหรับประเทศไทยซึ่งกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 % (Motomura et al., 1984)

4.6.2.3 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง ในทุกตำรับทดลอง (รูปที่ 4.1) พบว่า ฟางข้าวรุ่นหลักมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก ประมาณ 0.5-1 เท่าและมีปริมาณมากกว่าฟางข้าวตอซัง อีกทั้งในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ก็พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดน้อยกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักด้วย อาจเป็นไปได้ว่า ระยะเวลาการเจริญเติบโตจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซังมีผลทำให้เกิดดูดดึงและสะสมโพแทสเซียมในข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซังในปริมาณที่ต่างกัน ในทำนองเดียวตอซังข้าวรุ่นหลักมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดมากที่สุด เพราะมีการสะสมโพแทสเซียมตั้งแต่เป็นต้นข้าวรุ่นหลักจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซัง ขณะเดียวกันปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังในทุกตำรับทดลองสูงกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมในฟางข้าวในประเทศไทย คือ มีค่าเท่ากับ 1.6 % (Motomura et al., 1984) แสดงถึง อิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวที่เติมในข้าวรุ่นหลัก ซึ่งมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบทางเคมีมากถึง 214 ppm และ1.32 % ตามลำดับ อีกทั้งดินนาในพื้นที่ศึกษาวิจัยถือได้ว่ามีโพแทสซียมอยู่ในระดับสูง เมื่อเทียบตามเกณฑ์การวินิจฉัยความอุดมสมบูรณ์ของดินนา (จิรพงษ์ ประสิทธิเขตร และคณะ, 2534; FAO Project Staff and Land Classification Division, 1973)

4.6.3 ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) ในข้าวรุ่นหลัก กับข้าวตอซัง (รูปที่ 4.2) พบว่า ในทุกตำรับทดลอง ฟางข้าวรุ่นหลักมีปริมาณซิลิกอนทั้งหมดมากกว่าฟางข้าวตอซัง และมีปริมาณน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก ในทางกลับกัน ก็พบว่า ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในเมล็ดเปลือกของข้าวตอซังมีมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่า ข้าวตอซังมีการเจริญเติบโต และออกรวงได้เร็ว ทำให้มีอายุการเก็บเกี่ยวที่สั้นกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) จึงส่งผลให้การดูดดึงและสะสมซิลิกอนในฟางข้าวตอซังน้อยกว่าฟางข้าวรุ่นหลัก ส่วนในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังนั้น อาจมีสาเหตุมาจาก ข้าวตอซังออกรวงเร็ว ทำให้เกิดการแย่งธาตุอาหารในช่วงการเจริญเติบโตของข้าวตอซัง ระหว่างลำต้นกับเมล็ด ส่งผลให้ข้าวตอซังมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีน้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก หรืออาจกล่าวได้ว่า ข้าวมีเมล็ดลีบเป็นจำนวนมาก (นิตยา

รื่นสุข และคณะ, 2548) ซึ่งเมล็ดข้าวลีบจะมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณมาก ขณะเดียวกันก็จะมีไนโตรเจนปริมาณน้อยด้วย

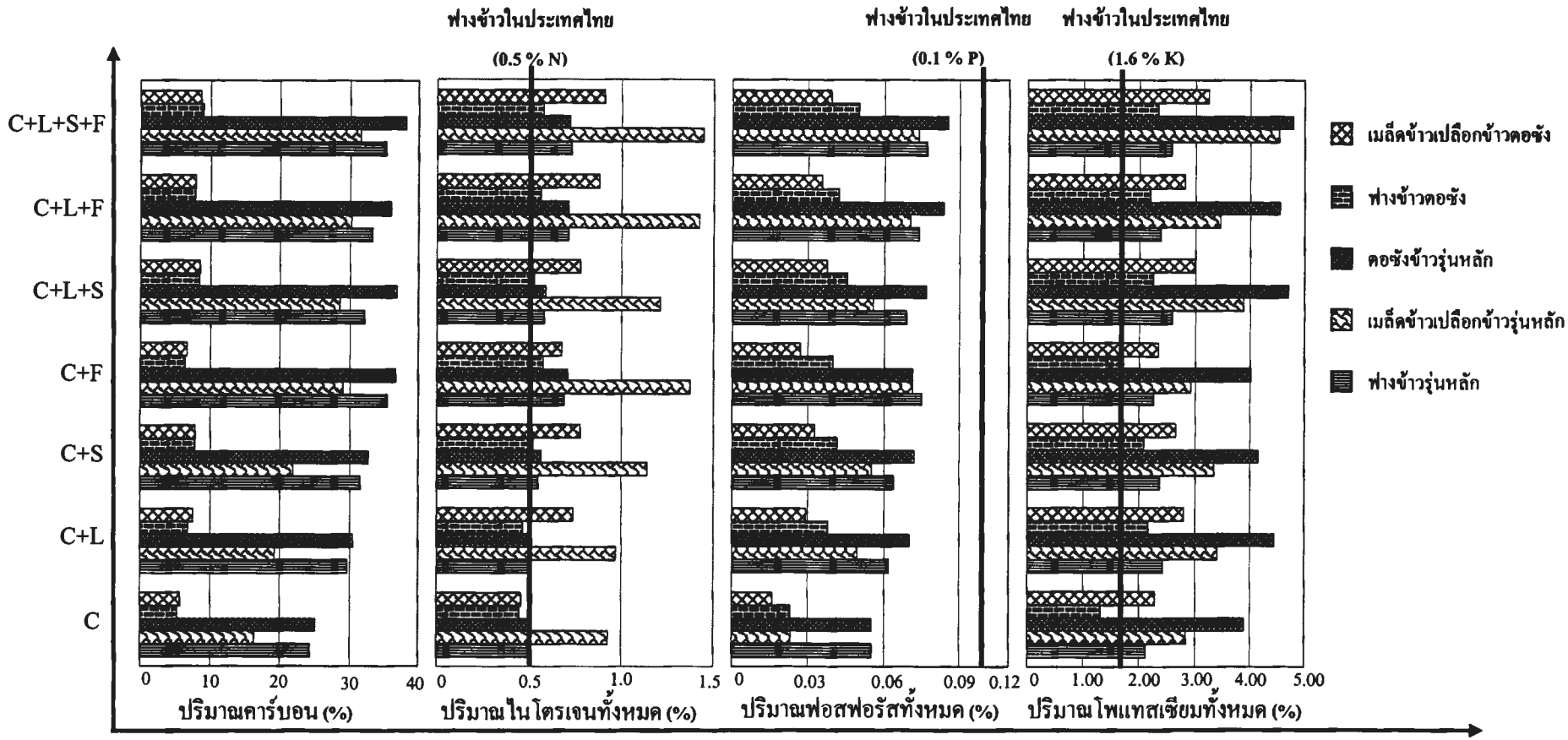
4.6.4 ปริมาณโปรตีนหยาบ

สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวรุ่นหลัก เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวตอซัง ล้วนเป็นผลจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก (รูปที่ 4.2) พบว่า ในทุกตำรับทดลองมีปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวรุ่นหลักมีมากกว่าฟางข้าวตอซัง แต่มีปริมาณน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก ในทำนองเดียวกันเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลักก็มีปริมาณมากกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ประมาณ 1-2 เท่า แสดงว่า ข้าวตอซังมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนกระทั่งออกรวงสั้นกว่าข้าวรุ่นหลัก (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ทำให้สร้างดูดดึงและสะสมไนโตรเจนในรูปของโปรตีนหยาบได้น้อยกว่าข้าวรุ่นหลัก ขณะที่ตอซังข้าวรุ่นหลักนั้นมีการสะสมไนโตรเจนในรูปของโปรตีนหยาบตั้งแต่เป็นต้นข้าวรุ่นหลักจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต ข้าวตอซังจึงมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด แต่ก็พบว่าปริมาณโปรตีนหยาบของฟางข้าวรุ่นหลัก ตอซังข้าวรุ่นหลัก และฟางข้าวตอซังทุกตำรับทดลองมีค่ามากกว่าฟางข้าวทั่วไป มีเฉลี่ยเท่ากับ 2.76 % (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533; ทวี แก้วคง, 2527; ประเสริฐ สองเมือง, 2543; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531) ส่วนปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังในทุกตำรับทดลองอยู่ในช่วงปกติของปริมาณโปรตีนหยาบในเมล็ดข้าวทั่วไป คือ 4.3-9.8 % (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534; อรอนงค์ นิติกุล, 2547; Cagampang et al., 1996)

4.6.5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

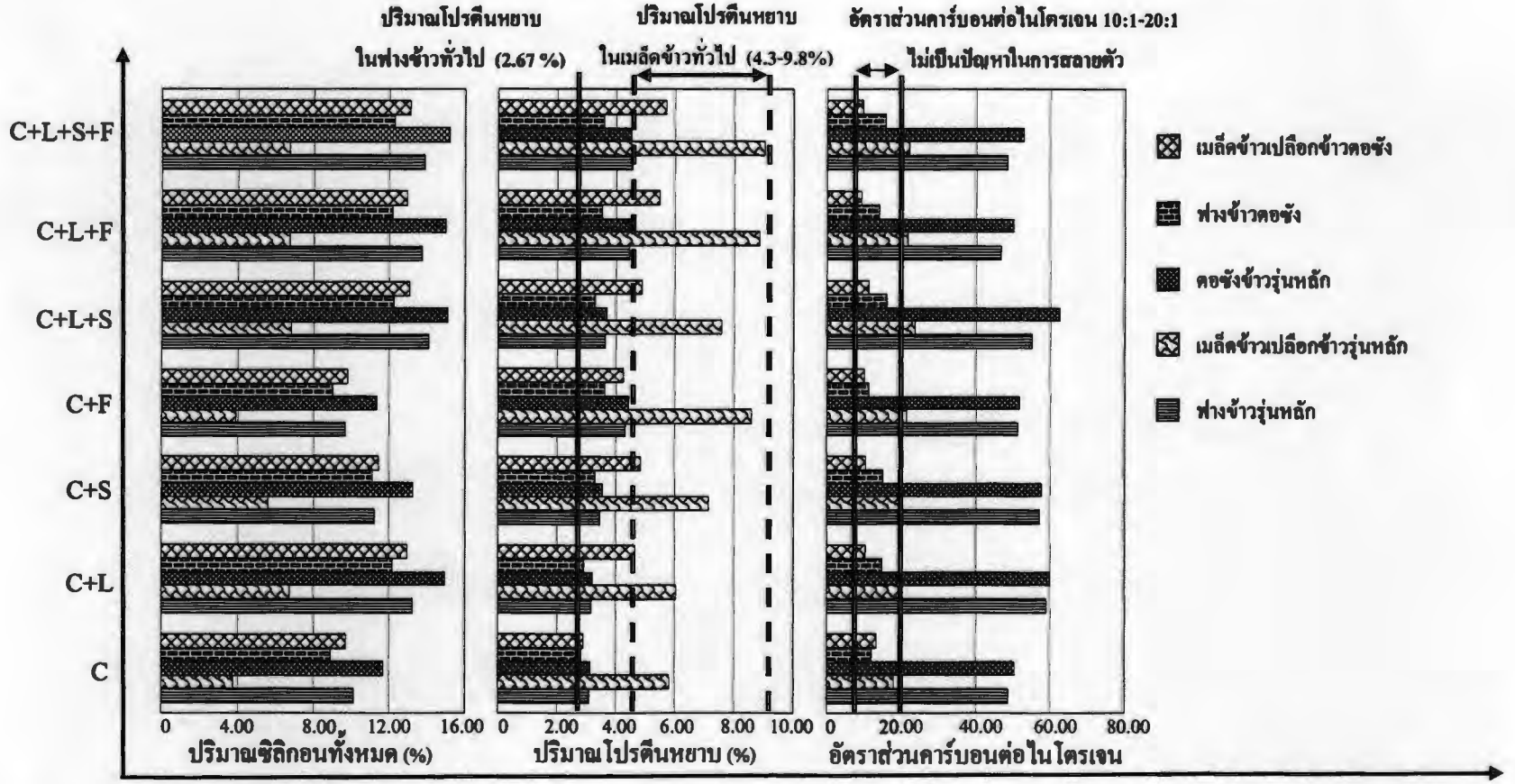
นอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลักทุกตำรับทดลองมีค่ามากกว่าฟางข้าวตอซัง ประมาณ 3-4 เท่า แต่ก็มีค่าน้อยกว่าตอซังข้าวรุ่นหลัก และเมื่อเปรียบเปรียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ก็พบว่า มีค่าน้อยกว่าเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ประมาณ 0.5 -1 เท่า เช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.2) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากที่ข้าวตอซังเจริญเติบโต และออกรวงได้เร็ว ทำให้มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ส่งผลให้การดูดดึงธาตุอาหารของข้าวตอซังจากดินนา โดยเฉพาะ ไนโตรเจน และการสังเคราะห์แสงก็เกิดขึ้นได้น้อย ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอน ปริมาณธาตุอาหารหลัก ปริมาณธาตุเสริมประโยชน์ และปริมาณโปรตีนหยาบ กล่าวได้มาข้างต้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวรุ่นหลัก และตอซังข้าวรุ่นหลัก มีค่าสูงมาก ซึ่งจะ

เป็นปัญหาต่อการสลายตัวด้วยจุลินทรีย์ แต่ในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง กลับพบว่า มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งจะไม่เป็นปัญหาในการสลายตัว (10 :1 -20 : 1)



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมดในฟางข้าว เมล็ดข้าวเปลือก และตอซังของข้าวรุ่นหลัก กับฟางข้าว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544) C+L หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ C+S หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี C+L+S หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว C+L+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี C+L+S+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบปริมาณซิลิกอนทั้งหมด ปริมาณโปรตีนหยาบ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในฟางข้าว เมล็ดข้าวเปลือก และตอซังของข้าวรุ่นหลัก กับฟางข้าว และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544) C+L หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ C+S หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี C+L+S หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว C+L+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี C+L+S+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี

4.7 โอกาสการใช้ประโยชน์จากข้าวตอซัง

การใช้ประโยชน์ของข้าวตอซังในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มุ่งเน้นเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวในรอบปีให้ได้มากที่สุด ไม่ว่าเป็นการวิธีการปลูกข้าวตอซังในแบบไม่ล้มตอซัง แบบข่มตอซัง และแบบล้มตอซัง ล้วนแล้วมีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวทั้งสิ้น และในกรณีที่พื้นที่นามีปริมาณน้ำไม่เพียงพอกับการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตเมล็ดข้าวตอซัง แต่ดินนายังมีความชื้นเพียงพอสำหรับการพัฒนาของตายอดที่ข้อบนตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นต้นข้าวตอซัง ก็ใช้ประโยชน์ต้นข้าวตอซังเป็นสำหรับแหล่งอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางเคมีของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง (ตารางที่ 4.8 4.9 4.10 4.11 และ 4.12) ที่เป็นผลจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก และเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังในปริมาณเท่ากันและเหมือนกันทุกตำรับทดลอง ถือได้ว่าการเติมปุ๋ยเคมีให้กับข้าวตอซังนั้นเป็นอิทธิพลหลักคงที่ จึงไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่เติมลงในดินนาตั้งแต่การปลูกข้าวรุ่นหลัก สามารถพิจารณาโอกาสการใช้ประโยชน์ข้าวตอซังในแง่ของ การทดแทนธาตุอาหารหลักและธาตุเสริมประโยชน์ในนาข้าว เป็นแหล่งอาหารสัตว์ และเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ มีรายละเอียดดังต่อไป

4.6.1 การทดแทนธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ในนาข้าว

การปลูกข้าวทำให้ปริมาณธาตุอาหารสูญเสียจากดินนาในรูปของผลผลิตข้าว และการเผาตอซังข้าวรุ่นหลักเพื่อความสะดวกในการไถพรวนดิน รวมทั้งการเคลื่อนย้ายฟางข้าวและตอซังข้าวออกจากพื้นที่นาไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น เช่น เป็นอาหารสัตว์ หรือเพาะเห็ดฟาง ล้วนเป็นสาเหตุทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินนาลดลง ขณะที่ข้าวตอซังเป็นผลพลอยได้จากข้าวรุ่นหลักที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมี มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก และธาตุเสริมประโยชน์ (ตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) สามารถพิจารณาใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และธาตุเสริมประโยชน์ คือ ซิลิกอน ได้ดังต่อไปนี้

4.6.1.1 การทดแทนธาตุอาหารหลัก

เมื่อพิจารณาการทดแทนไนโตรเจนที่นำออกไปจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลัก คือในส่วนของฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก พบว่า ข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) 1,000 กิโลกรัม (รูปที่ 4.3) ในตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี เทียบได้กับการนำไนโตรเจนทั้งหมดออกจากนาข้าว (16.95 20.63 17.94 21.27 และ 21.70 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม (14.25

กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดออกจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลัก (14.71 กิโลกรัม) ไม่ต่างทางสถิติกับดินเดิม ขณะเดียวกันข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ปริมาณ 1,000 กิโลกรัม ซึ่งเป็นส่วนที่จะทดแทนไนโตรเจนที่ออกจากนาข้าว (รูปที่ 4.3) ในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (17.23 18.68 19.70 18.99 21.58 และ 22.10 กิโลกรัม ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับดินเดิม (14.16 กิโลกรัม) จะเห็นได้ว่า ข้าวตอซัง 1,000 กิโลกรัมในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก สามารถจะทดแทนไนโตรเจนที่ออกจากนาข้าวในรูปของข้าวรุ่นหลักได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากข้าวตอซังในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักยังเพียงพอสำหรับการปลูกข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกปริมาณ 1,000 กิโลกรัม เพราะใช้ไนโตรเจน 18.9 กิโลกรัม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) 1,000 กิโลกรัม (รูปที่ 4.4) ที่นำออกจากนาข้าวในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก (1.11 1.19 1.46 1.25 1.44 และ 1.51 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม (0.78 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ปริมาณ 1,000 กิโลกรัมที่จะทดแทนส่วนที่ออกจากนาข้าว (รูปที่ 4.4) ในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (1.37 1.46 1.38 1.59 1.61 และ 1.74 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม (0.94 กิโลกรัม) เช่นเดียวกันกับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในข้าวตอซัง ดังนั้นข้าวตอซัง 1,000 กิโลกรัมในทุกตำรับทดลองสามารถจะทดแทนฟอสฟอรัสที่ออกจากนาข้าวในรูปของข้าวรุ่นหลักได้ ยกเว้นตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก หากนำฟอสฟอรัสทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของข้าวตอซังไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวไม่สามารถจะให้ได้ผลผลิตข้าวเปลือก 1,000 กิโลกรัมได้ เพราะใช้ฟอสฟอรัสถึง 5.17 กิโลกรัม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่นำออกจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) 1,000 กิโลกรัม (รูปที่ 4.5) พบว่า ตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดออกจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลัก (58.43 57.07 64.70 58.37 และ 70.90 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม (49.57 กิโลกรัม) ส่วนตำรับทดลองที่เติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักไม่ก่อให้เกิดความต่างทางสถิติของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ออกจากนาข้าว (51.73 กิโลกรัม) กับดินเดิม ส่วนข้าวตอซังที่เป็นผลสืบเนื่องจากข้าวรุ่นหลัก 1,000 กิโลกรัม (รูปที่ 4.5) เทียบได้กับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวตอซังในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก (94.00 88.83 99.17 95.37 และ103.57 กิโลกรัม ตามลำดับ) มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับดินเดิมและเติมปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก (74.90 และ 80.63 กิโลกรัม ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่า ข้าวตอซังทุกตำรับทดลองสามารถทดแทนโพแทสเซียมที่ออกจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลักได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวตอซังยังเพียงพอสำหรับการผลิตปลูกข้าว เพื่อให้ได้ผลผลิต 1,000 กิโลกรัม เพราะต้องการโพแทสเซียมเพียงแค่ 35.5 กิโลกรัม (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527)

4.6.1.2 การทดแทนธาตุเสริมประโยชน์

การทดแทนธาตุเสริมประโยชน์ในนาข้าวในรูปของซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) (รูปที่ 4.6) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดออกจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลัก (ฟางข้าวรุ่นหลัก และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวรุ่นหลัก) (199.60 168.37 208.87 204.70 และ 207.27 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิมและเติมปุ๋ยเคมี (139.03 และ 135.77 กิโลกรัม ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางของข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ที่จะทดแทนซิลิกอนที่นำออกจากนาข้าวในรูปของข้าวรุ่นหลัก (รูปที่ 4.6) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดที่จะทดแทนลงในนาข้าว (400.00 357.77 403.57 400.70 และ 405.40 กิโลกรัม ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม และเติมปุ๋ยเคมี (301.73 และ 303.10 กิโลกรัม ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาวิจัย ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณซิลิกอนทั้งหมดในข้าวตอซังทุก

ตำรับทดลองสามารถทดแทนซิลิกอนที่นำออกไปจากนาข้าวในรูปข้าวรุ่นหลักได้อย่างเพียงพอ สำหรับซิลิกอนนั้นจัดเป็นธาตุเสริมประโยชน์ของข้าว มีปริมาณซิลิกอนมากก็ไม่เป็นปัญหาในการเจริญเติบโตของข้าว โดยปกติแล้วต้นข้าวดูดดึงซิลิกอนจากดินนา 7.1 กิโลกรัม/ไร่ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; Summer, 1976; Yoshida, 1975)

นั่นหมายถึง ข้าวตอซังที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในข้าวรุ่นหลัก มีปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม รวมทั้งซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุเสริมประโยชน์มากกว่าดินเดิม เมื่อไถกลบข้าวตอซังเหล่านี้ สามารถจะทดแทนธาตุอาหารหลักและธาตุเสริมประโยชน์ที่ออกจากนาข้าวในรูปของข้าวรุ่นหลักได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังมีค่าอยู่ในช่วง 9 : 1 – 17 : 1 (ตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) ไม่เป็นปัญหาในการสลายตัว และเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุพร้อมกับธาตุอาหารให้กับดินนาด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

4.6.2 เป็นแหล่งอาหารสัตว์

การใช้ประโยชน์ข้าวตอซังเป็นแหล่งอาหารสัตว์นั้น โดยเฉพาะในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ต้องทำการพิจาณาทั้งปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ปริมาณโปรตีนหยาบ และปริมาณน้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ รวมทั้งปริมาณซิลิกอน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพอาหารสัตว์ โดยเฉพาะระบบการย่อยอาหารของสัตว์ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544)

4.6.2.1 ปริมาณธาตุอาหาร

ปริมาณธาตุอาหารในข้าวตอซัง โดยเฉพาะในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) โดยไนโตรเจนจะมีบทบาทในสัตว์ในรูปโปรตีน เพราะสัตว์ใช้โปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต คือ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ กล้ามเนื้อ เลือด น้ำย่อย ฮอร์โมน เนื้อเยื่อ ขน ผิวหนัง และทดแทนเซลล์ที่ตายไป (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก หากนำข้าวตอซังเหล่านี้มาเป็นแหล่งธาตุอาหารสัตว์ ฟอสฟอรัสในข้าวตอซังก็เป็นประโยชน์กับสัตว์ เพราะฟอสฟอรัสเป็น

ส่วนประกอบของกระดูก และฟัน ช่วยรักษาความสมดุลของความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกาย ช่วยในการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ ช่วยในการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดียวจากลำไส้และไต และป้องกันการเกิดโรคพิก้า (Pica) อีกด้วย (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนยัสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลักเช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าวตอซังที่เพิ่มขึ้นก็จะเป็นผลดีสำหรับสัตว์ เนื่องจากโพแทสเซียมช่วยรักษาระดับความดันออสโมซิส และความสมดุลของกรดและด่างภายในร่างกาย ช่วยควบคุมการเคลื่อนย้ายสารเข้าสู่เซลล์ และกระบวนเมตาบอลิซึมของ ส่งผลให้ผลผลิตด้านเนื้อ และนม เพิ่มขึ้นอีกด้วย (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531)

4.6.2.2 ปริมาณโปรตีนหยาบ

โปรตีนมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ คือ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกล้ามเนื้อ เลือด น้ำย่อย ฮอร์โมน เนื้อเยื่อ ขน ผิวหนัง และทดแทนเซลล์ที่ตายไป อีกทั้งโปรตีนยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำนม หากขาดโปรตีนแม้แต่เพียงเล็กน้อยก็จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต การให้น้ำนม การสืบพันธุ์ และกระบวนอื่นๆ ของสัตว์โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องต้องการโปรตีนสำหรับจุลินทรีย์ในกระเพาะ เพื่อให้การย่อยและเผาผลาญอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมันมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หากมีปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับต่ำ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระเพาะที่เกี่ยวข้องกระบวนการย่อยอาหาร และการสังเคราะห์วิตามินจะมีผลกระทบเป็นอย่างมาก (ทวี แก้วคง, 2527; พันทิพา พงษ์เพียจันทร์, 2539; สายัณห์ ทัดศรี, 2531) สำหรับปริมาณโปรตีนหยาบในข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ที่เป็นผลจากการเติมสิ่งทดลอง คือ เถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวรุ่นหลัก พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3.28-5.71 % (ตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) เมื่อนำมาเป็นอาหารสัตว์จะทำให้อัตราการกินอาหารของสัตว์ลดลง เพราะมีโปรตีนหยาบต่ำกว่า 6 % (วัลลภ สันติประชา และประวิตร โสภโณดร, 2524; เฉลิมพล แซมเพชร, 2530) อย่างไรก็ตามสามารถจะนำข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) มาปรับปรุงคุณภาพโดยการหมักกับยูเรียหรือกากน้ำตาล ก็จะทำให้ปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน (เจริญ แสงดี, 2529; ชูศักดิ์ แสงสินธุ์, 2533) หรือใช้ประโยชน์ข้าวตอซังเป็นอาหารสัตว์ในช่วงที่ต้นข้าวตอซังมีอายุ 30-60 วัน ซึ่งมีปริมาณโปรตีนหยาบ

อยู่ในช่วง 7-19 % เทียบเท่ากับพืชตระกูลถั่ว และพืชตระกูลหญ้า (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Gerpacio and Castillo, 1979)

นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนหยาบของข้าวตอซังคิดเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของฟางข้าวรุ่นหลัก (รูปที่ 4.7) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว ปุ๋ยเคมี เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวตอซังที่สัตว์จะได้รับ (17.32 20.35 21.47 22.41 28.92 และ 39.22 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ) มากกว่าดินเดิม (9.01 กิโลกรัม/ไร่) ซึ่งสอดคล้องผลการศึกษาวิจัยของทวี คุปต์กาญจนากุล (2546) ที่พบว่า ข้าวตอซังมีปริมาณโปรตีนหยาบ 16.60-123.20 กิโลกรัม/ไร่

4.6.2.3 น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซัง

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.6) คือ มีค่าอยู่ในช่วง 590.04-1,091.42 กิโลกรัม/ไร่ ย่อมทำให้ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวตอซังต่อรอบการปลูกข้าวตอซังเพิ่มขึ้น ทั้งนี้น้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการพัฒนาตายอดที่ข้อบนตอซัง ต้นข้าวตอซังบางพันธุ์ให้มวลชีวภาพสูงถึง 528 กิโลกรัม/ไร่ ภายใน 30 วัน และเพิ่มเป็น 1,416 กิโลกรัม/ไร่ ภายใน 60 วัน (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Gerpacio and Castillo, 1979; Kupkanchanakul et al., 1993) ซึ่งเป็นผลดีต่อสัตว์ เพราะสัตว์จะได้รับธาตุอาหารและโปรตีนปริมาณมากจากกินฟางข้าวตอซัง

4.6.2.4 ปริมาณซิลิกอน

ข้าวเป็นพืชที่มีการสะสมซิลิกอน (Summer, 1979; Yoshida, 1975) ประกอบกับเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักหมักฟางข้าวที่เติมลงในดินนาในการปลูกข้าวรุ่นหลักมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณมาก (ตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ) ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนในข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) เมื่อนำข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เหล่านี้ไปเป็นอาหารสัตว์ ก็จะทำให้ปัญหาต่อระบบการย่อยอาหารของสัตว์ (ประเสริฐ สองเมือง, 2543; ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544)

อาจกล่าวได้ว่า โอกาสที่จะใช้ประโยชน์จากข้าวตอซังที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ และปุ๋ยหมักฟางข้าวในการปลูกข้าวรุ่นหลัก โดยเฉพาะในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง เป็นแหล่งอาหารสัตว์ พบว่ามีทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งข้อดี คือ ส่งผล

ให้มีปริมาณธาตุอาหาร (ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) และน้ำหนักแห้งของฟางข้าวตอซังเพิ่มขึ้น หากจะนำข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวตอซังไปเป็นอาหารสัตว์จะมีข้อเสีย คือ มีปริมาณโปรตีนหยาบน้อย ถือได้ว่ามีคุณค่าทางอาหารต่ำ อัตราการกินอาหารของสัตว์ลดลง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ โดยการหมักกับยูเรียหรือกากน้ำตาล ก็จะทำให้ปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นก่อน หรือมีอีกทางเลือก คือ ใช้ประโยชน์ข้าวตอซังเป็นอาหารสัตว์ในช่วงที่ต้นข้าวตอซังมีอายุ 30-60 วัน ซึ่งมีปริมาณโปรตีนหยาบอยู่ในช่วง 7-19 % เทียบเท่ากับพืชตระกูลถั่ว และพืชตระกูลหญ้า (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; Gerpacio and Castillo, 1979) อย่างไรก็ตามข้าวตอซังมีซิลิกอนในปริมาณมาก มีผลทำให้ต่อคุณภาพอาหารสัตว์ลดลง โดยเฉพาะเป็นปัญหาต่อระบบการย่อยอาหารของสัตว์

4.6.3 เป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์

การหมักแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation) เป็นอีกแนวทางหนึ่งของการผลิตแอลกอฮอล์ นอกเหนือจากการสังเคราะห์ทางเคมี ประกอบกับทั่วโลกกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้แอลกอฮอล์ถูกนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า แก๊สโซลฮอล์ (Gasohol) เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทน สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังมีความเข้มข้นสูงถึง 99.5 % นำมาผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ สำหรับประโยชน์ของแก๊สโซลฮอล์ คือ การลดความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง ลดมลภาวะอันเกิดจากสารตะกั่ว และลดปริมาณการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2530) สำหรับการใช้แอลกอฮอล์เพื่อเป็นแหล่งเชื้อเพลิงเริ่มต้นในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยสหรัฐอเมริกาได้ผลิตแอลกอฮอล์ในรูปของเอทานอลเพื่อเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในกองทัพ และประเทศญี่ปุ่นเองก็ได้ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการขับเคลื่อนเครื่องบินรบด้วย (พูนสุข อัตถะสัมปุณณะ, 2533)

วัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบจำพวกคาร์บอน ได้แก่ แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น (อิทธิฤทธิ์ อึ้งวิเชียร, 2531; อำนวย ขวัญเมือง, 2543) โดยทั่วไปมักมีใช้แป้งและน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ แต่อาจมีผลกระทบด้านราคาที่สูง เนื่องจากแป้งและน้ำตาลเป็นวัตถุดิบนำไปใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ดังนั้นจึงได้ให้ความสนใจในการหาวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์แทนแป้งและน้ำตาล โดยที่เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์บอนเหมือนกับแป้ง และน้ำตาล ซึ่งจำพวกสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของพืช เกิดขึ้นจากการสะสมคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง (Lyons, 1981; Rese, 1980) ประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนหน่วย

เล็กๆ ที่เรียกว่า "น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว" หลายๆโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นโครงสร้างคล้ายลูกโซ่แบบร่างแห มีสูตรทางเคมี คือ $-(C_6H_{12}O_6)-_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยของน้ำตาลทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้างเซลลูโลส ตั้งแต่ 1,000 – 10,000 หน่วย (Paturau, 1989)

จากการศึกษาวัตถุดิบสำหรับผลผลิตแอลกอฮอล์ พบว่า ฟางข้าวทั่วไปมีปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 30.1-49.0 % ชานอ้อย 33.4 % ฟางข้าวสาลี 30.5% ต้นมันสำปะหลัง 32.2 % ต้นข้าวโพด 45 % และซังข้าวโพด 45 % (ณรงค์ เพ็งปรีชา, 2521; ปิ่นฉวี เวชชานุเคราะห์, 2526; Parisl, 1989; Staniforth, 1979; Swaminathan, 1982) เมื่อย่อยสลายจะได้น้ำตาลกลูโคส 50 % ของปริมาณคาร์บอน และเมื่อหมักน้ำตาลกลูโคสกับยีสต์ ภายใต้อุณหภูมิ 30 -35 องศาเซลเซียล และไม่มีออกซิเจน สามารถได้ผลิตแอลกอฮอล์ 51 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 49 % (ธาดา ตั้งศรีสุข, 2544; ปรียา วิบูลย์เศรณฐ์, 2524) หรือฟางข้าว 1 กรัม เปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ 0.145 กรัม (สุภาพร ชาติวรพงศา, 2536; อำนวย ขวัญเมือง, 2543)

$$\underset{\text{(น้ำตาล)}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{(แอลกอฮอล์)}}{2C_2H_6OH} + 2CO_2 \quad \text{(กระบวนการหมัก)}$$

$$\underset{\text{(น้ำตาล)}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O \quad \text{(กระบวนการหายใจ)}$$

ในปัจจุบันหลายคนหันมาให้ความสนใจฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งปริมาณมากจากภาคเกษตรกรรม เนื่องจากมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทางเคมี สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ได้เช่นเดียวกับแป้ง และน้ำตาล (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์ และวัฒนา วิริวุฒิกร, 2547) การศึกษาวิจัยองค์ประกอบทางเคมีของข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพื่อพิจารณาถึงโอกาสนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ สำหรับคุณภาพของวัตถุดิบสำหรับแอลกอฮอล์นั้น โดยทั่วไปจะพิจารณาถึง ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นต้น แต่การศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังพิจารณา องค์ประกอบผลผลิต (จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด และผลผลิตที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต) ร่วมด้วย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.6.3.1 ปริมาณคาร์บอน

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) ปริมาณคาร์บอนในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในฟางข้าวตอซัง มีค่าอยู่ในช่วง 5-10 %

และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง มีค่าอยู่ในช่วง 7-9 % มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนในฟางข้าวทั่วไป มีค่าอยู่ในช่วง 30.1 -49.0 % (ณรงค์ เพ็งปรีชา, 2521; ปิ่นฉวี เวชชานุเคราะห์, 2526; Parisl, 1989; Staniforth, 1979; Swaminathan, 1982) อาจเป็นเพราะ ข้าวตอซังมีระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนกระทั่งออกรวงสั้น (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2546; นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; Balasubramanian et al., 1970; Sutaryo and Suprihatno, 1993) ทำให้มีระยะการสังเคราะห์แสงของข้าวตอซังเพื่อสร้างแป้ง น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนได้น้อยกว่าฟางข้าวทั่วไป ขณะที่ตอซังข้าวรุ่นหลัก มีค่าอยู่ในช่วง 31-39 % ถือได้ว่า อยู่ในช่วงปกติของฟางข้าวทั่วไป (30.1-49.0 %) ที่นำมาเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ จากข้อมูลเบื้องต้นที่กล่าวว่าปริมาณคาร์บอนในฟางข้าว 100 % เทียบเท่ากับมีปริมาณน้ำตาล 50 % และเมื่อนำน้ำตาลมาผ่านกระบวนการหมักด้วยยีสต์ สามารถได้ผลิตแอลกอฮอล์ 25.5 % (ธาดา ตั้งศรีสุข, 2544; ปรียา วิบูลย์เศรณฐ์, 2524) ดังนั้นหากนำข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนอยู่ 5-10 % เทียบเท่ากับมีปริมาณน้ำตาล 2.5-5 % และเมื่อนำน้ำตาลมาผ่านกระบวนการหมักด้วยยีสต์ ก็จะได้แอลกอฮอล์เพียง 1.28-2.5 % ถือได้ว่าผลิตแอลกอฮอล์ได้น้อยกว่าการใช้ฟางข้าวทั่วไปเป็นวัตถุดิบซึ่งสามารถผลิตแอลกอฮอล์ถึง 7.68-12.50 % สอดคล้องกับการใช้ตอซังข้าวรุ่นหลักเป็นวัตถุดิบ สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 7.91-9.95 % เช่นกัน นอกจากนี้คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการหายใจของยีสต์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์อีกด้วย เพราะยีสต์ต้องการคาร์บอนในปริมาณที่เพียงพอ เพื่อการดำรงชีวิตและการขยายพันธุ์ ยีสต์จะได้รับคาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์โดยตรง โดยเซลล์ยีสต์จะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อย ทำให้โมเลกุลสารประกอบคาร์บอนมีขนาดเล็กลง แล้วจึงดูดซึมเข้าไปใช้ในเซลล์ (ระวีวรรณ แกล้วกล้า, 2538)

4.6.3.2 ปริมาณไนโตรเจน

ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ ยีสต์จะใช้ไนโตรเจนสร้างเอนไซม์ และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ถือได้ว่าไนโตรเจนเป็นทั้งอาหารหลักและอาหารเสริมของยีสต์ นอกจากนี้ยีสต์ยังต้องการสารประกอบไนโตรเจนบางอย่าง ที่ยีสต์ไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ เช่น กรดอะมิโนบางชนิด และสารที่มีโครงสร้างเป็นพิวรีน (Purine) และไพริมิดีน (Pyrimidine)ทำให้การเติมไนโตรเจนลงในการหมักแอลกอฮอล์ เพื่อให้ยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดี เนื่องจากยีสต์มีสมบัติพิเศษสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนในสารอนินทรีย์ให้เปลี่ยนเป็น กรดอะมิโนและโปรตีน (ระวีวรรณ แกล้วกล้า, 2538; อำนวย ขวัญเมือง, 2543) ทั้งนี้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของตอซังข้าวรุ่นหลัก 0.51-0.72 % และฟางข้าวตอซัง มีค่าอยู่ในช่วง 0.47-0.58 % (ตารางที่ 4.10 และ 4.11) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนในฟางข้าวสำหรับประเทศไทย คือ มีค่าเท่ากับ

0.5 % (Motomura et al., 1984) อีกทั้งเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังมีค่าอยู่ในช่วง 0.74-0.91 ถือได้ว่า ข้าวตอซังมีศักยภาพการให้ไนโตรเจนกับยีสต์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์สร้างเอนไซม์ และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์เทียบเท่ากับฟางข้าวทั่วไป

4.6.3.3 ปริมาณฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่สำคัญชนิดหนึ่งในการเจริญเติบโตของยีสต์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ ถือได้ว่าเป็นธาตุอาหารเสริม เนื่องจากฟอสฟอรัส เป็นสารจำเป็นในการสร้างสารประกอบที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานได้ คือ ATP โดยปกติยีสต์ต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณ 0.003-0.005 % (ระวีวรรณ แกล้วกล้า, 2538; อำนวย ขวัญเมือง, 2543) ผลการศึกษาวิจัย ชี้ให้เห็นว่า ข้าวตอซัง (ตอซังข้าวรุ่นหลัก ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) ที่เป็นผลจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลักส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัส มีค่าอยู่ในช่วง 0.016-0.085 % (ตารางที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) ซึ่งเพียงพอสำหรับความต้องการฟอสฟอรัสของยีสต์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

4.6.3.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ในปัจจุบันสามารถใช้ประโยชน์ฟางข้าวรุ่นหลักเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ (ผ่องศรี ศิวราศักดิ์ และวัฒนา วิริวุฒิกร, 2547) แต่ก็พบว่าฟางข้าวรุ่นหลักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงถึง 70 : 1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540; ประเสริฐ สองเมือง; 2543) เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (ยีสต์) นั่นหมายถึงในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ที่ใช้ฟางข้าวรุ่นหลักเป็นวัตถุดิบ จำเป็นต้องมีการเติมไนโตรเจนลงไปเพื่อให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 10 : 1- 20 : 1 ซึ่งเป็นสัดส่วนเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544, อิทธิฤทธิ์ อึ้งวิเชียร, 2531) ขณะเดียวกันข้าวตอซังที่เป็นผลจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยเฉพาะในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง มีค่าอยู่ในช่วง 9 : 1 – 17 : 1 (ตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ) จะไม่เป็นปัญหาต่อกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของจุลินทรีย์ (ยีสต์) หากพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพียงอย่างเดียว ถือได้ว่า ข้าวตอซัง (ฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง) มีความเหมาะสมในแง่ของการเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์มากกว่าเมื่อเทียบกับฟางข้าวรุ่นหลัก

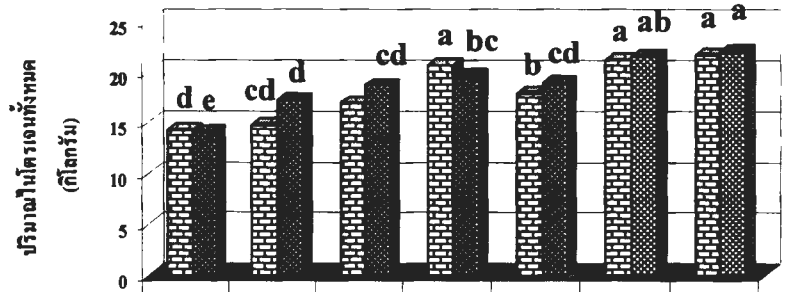
4.6.3.5 องค์ประกอบผลผลิต

องค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง ได้แก่ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และ

ปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก โดยที่จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1, 000 เมล็ด บ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนในรูปของแป้งในเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซังปริมาณมากน้อยเพียงใด ถ้าจำนวนเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1, 000 เมล็ดของข้าวตอซังมาก เทียบเท่ากับมีแป้งมากด้วย เมื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ก็จะเพิ่มโอกาสได้แอลกอฮอล์ในปริมาณมากกว่าการนำฟางข้าวหรือเมล็ดข้าวลีบมาเป็นวัตถุดิบ

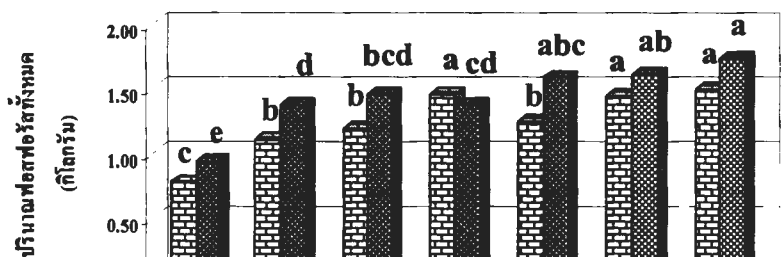
เมื่อคำนวณผลผลิตจากองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง (รูปที่ 4.8) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าว เถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ผลผลิตข้าวตอซังที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิต (216.73 219.05 257.44 300.81 และ 528.68 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเห็นได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก ส่งผลให้ผลผลิตข้าวตอซังที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิตมากกว่าผลผลิตข้าวปทุมธานี 1 ที่เป็นผลการศึกษาของ วาสนา อินแถลง (2548) มีค่าเท่ากับ 456 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งโอกาสที่จะนำเอาผลผลิตข้าวตอซังไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์มีความเป็นไปได้มาก อีกทั้งสามารถเพิ่มทางเลือกการใช้ประโยชน์ของผลผลิตข้าวตอซังที่มีข้อด้อย คือ ผลผลิตขาดความสม่ำเสมอของคุณภาพได้ ซึ่งไม่เป็นที่นิยมสำหรับการบริโภค (นิตยา รื่นสุข และคณะ, 2548; อรอนงค์ นิติกุล, 2547)

สำหรับการใช้ประโยชน์ข้าวตอซังเป็นวัตถุดิบผลิตแอลกอฮอล์ สามารถสรุปได้ว่า ข้าวตอซังในส่วนของฟางข้าวตอซัง และเมล็ดข้าวเปลือกของข้าวตอซัง ที่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปุ๋ยหมักฟางข้าว และปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็มีปริมาณน้อยกว่าฟางข้าวทั่วไป เมื่อนำไปเป็นวัตถุดิบทำให้โอกาสที่จะผลิตแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณน้อยกว่าฟางข้าวทั่วไป แม้ว่ามีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสเพียงพอสำหรับความต้องการของยีสต์ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นปัญหาต่อระบบการทำงานของจุลินทรีย์ (ยีสต์) มีค่า 9 : 1 – 17 :1 ก็ตาม ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาองค์ประกอบผลผลิตของข้าวตอซัง ได้แก่ เมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งในตำรับทดลองที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีในข้าวรุ่นหลัก มีผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่ได้จากการคำนวณองค์ประกอบผลผลิตมีโอกาสมากถึง 528.68 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งจะมีปริมาณคาร์บอนในรูปของแป้งมากขึ้น นั่นหมายถึง สามารถนำผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกข้าวตอซังมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ได้



	C	C+L	C+S	C+F	C+L+S	C+L+F	C+L+S+F
ข้าวรุ่นหลัก	14.25	14.71	16.95	20.63	17.94	21.28	21.70
ข้าวตอซัง	14.16	17.23	18.68	19.70	18.99	21.58	22.10

รูปที่ 4.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (กิโลกรัม) ใน 1,000 กิโลกรัม ของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง



	C	C+L	C+S	C+F	C+L+S	C+L+F	C+L+S+F
ข้าวรุ่นหลัก	0.78	1.11	1.19	1.46	1.25	1.44	1.51
ข้าวตอซัง	0.94	1.37	1.46	1.38	1.59	1.61	1.74

รูปที่ 4.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (กิโลกรัม) ใน 1,000 กิโลกรัม ของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544)

C+L หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์

C+S หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว

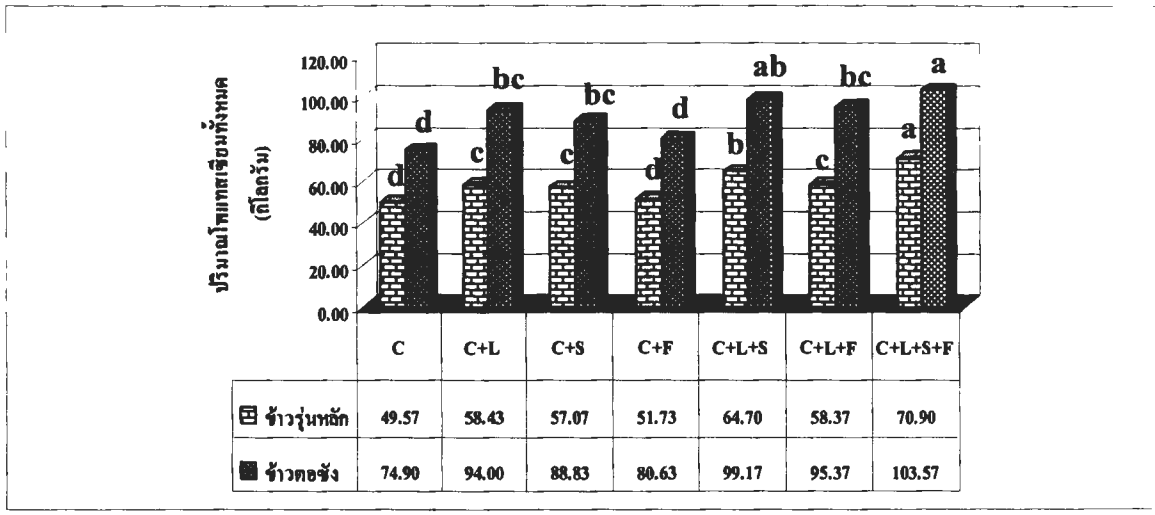
C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี

C+L+S หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว

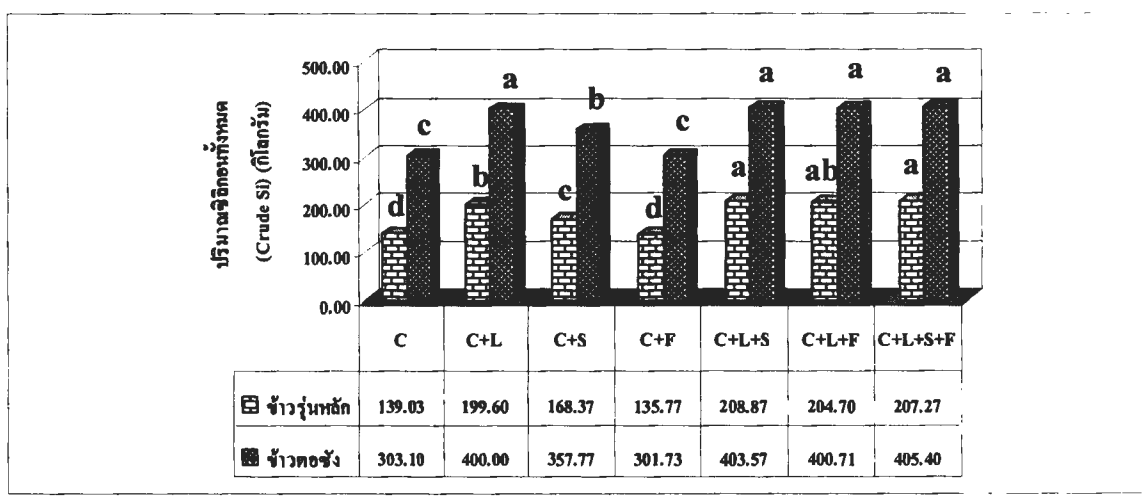
C+L+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี

C+L+S+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี

กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT



รูปที่ 4.5 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (กิโลกรัม) ใน 1,000 กิโลกรัม ของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง



รูปที่ 4.6 ปริมาณซิลิกอนทั้งหมด (Crude Si) (กิโลกรัม) ใน 1,000 กิโลกรัม ของข้าวรุ่นหลัก และข้าวตอซัง

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544)

C+L หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์

C+S หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว

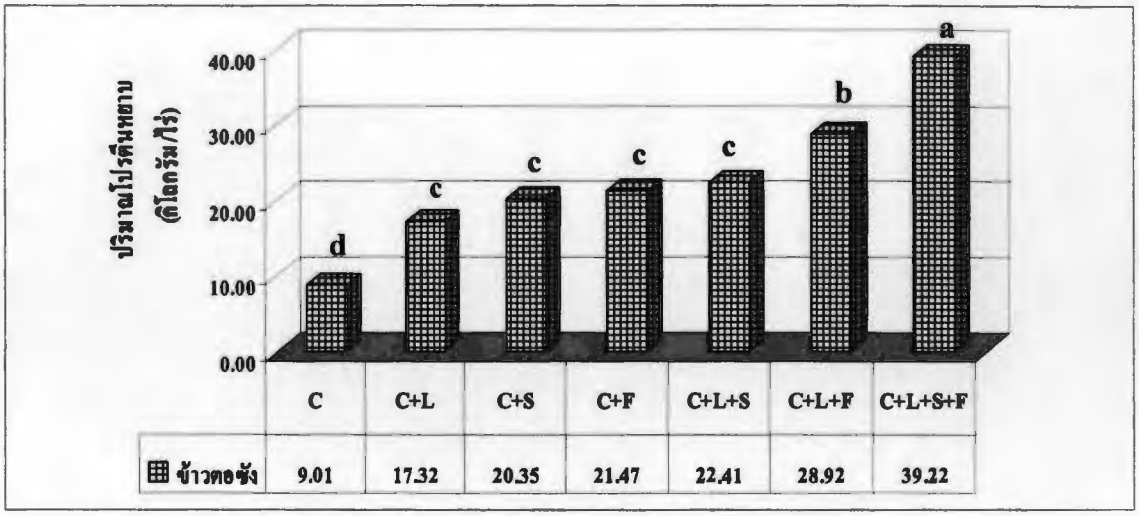
C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี

C+L+S หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว

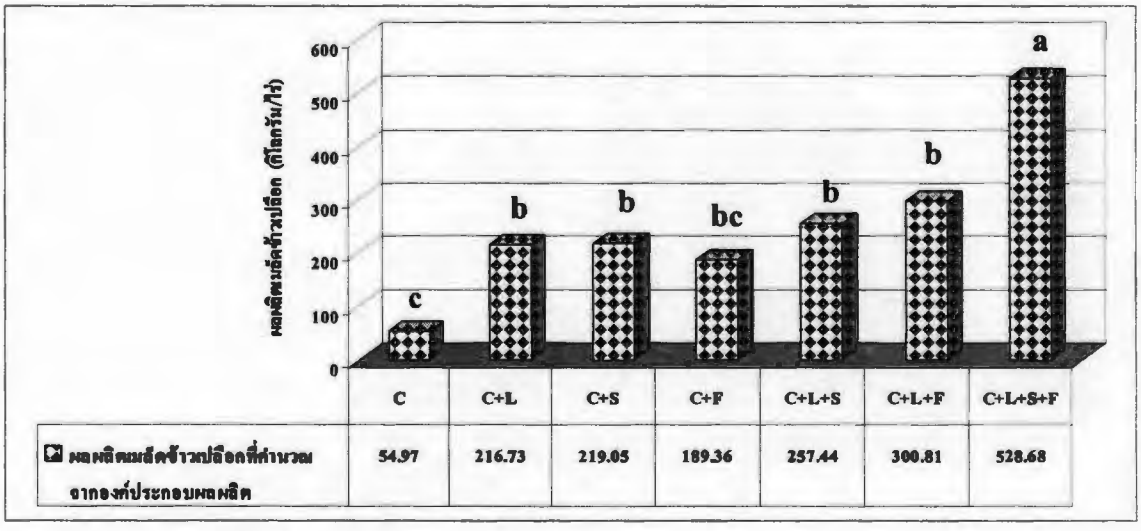
C+L+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี

C+L+S+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี

กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT



รูปที่ 4.7 ปริมาณโปรตีนหยาบในฟางข้าวตอซัง (กิโลกรัม/ไร่)



รูปที่ 4.8 ปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่คำนวณจากองค์ประกอบผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

หมายเหตุ : C หมายถึง ดินเดิม (เคยเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 2 ตัน/ไร่ เมื่อปี พ.ศ. 2544)
C+L หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์
C+S หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยหมักฟางข้าว
C+F หมายถึง ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
C+L+S หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว
C+L+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยเคมี
C+L+S+F หมายถึง ดินเดิม + เถ้าลอยลิกไนต์ + ปุ๋ยหมักฟางข้าว + ปุ๋ยเคมี

กราฟแท่งที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ตามวิธีของ DMRT