บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยวและธาตุพิษในดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash) เป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าลอยลิกไนต์มีลักษณะเบา ลอยตัว สามารถฟุ้งกระจายไปในบรรยากาศ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมา ไม่ว่าจะเป็นมลภาวะทางอากาศ มลภาวะที่เกิดขึ้นกับดิน และน้ำใต้ดิน ดังนั้นการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร นับว่าเป็นการจัดการเถ้าลอยลิกไนต์ที่เหมาะสมวิธีการหนึ่ง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหาร (Adriano et al, 1980; U.S. EPA, 1988) อย่างไรก็ตาม การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรก็ต้องคำนึงถึงธาตุพิษต่างๆ ที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ด้วย เพราะธาตุพิษที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์อาจส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิต รวมทั้งการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดการสะสมธาตุพิษในดิน ทั้งนี้ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว (อลูมิเนียม และเหล็ก) และปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก) เป็นธาตุที่น่าจะต้องได้รับการศึกษาจากเถ้าลอยลิกไนต์ เนื่องจากความเป็นพิษของนิกเกิลนั้นทำให้พืชเกิดอาการซีดเหลืองระหว่างเส้นใบ (Mengel and Kirkby, 1982) รากไม่เจริญเติบโต ตลอดจนเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างส่วนต่างๆ ของพืชจนเซลล์เหี่ยวตายในที่สุด (Prokipcak and Ormzod, 1986) ส่วนการได้รับแคดเมียมจะส่งผลให้เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบซีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญเติบโตของรากลดลง (สันติ บุญฟ้าประทาน, 2526; Hewitt, 1953) และจะเกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่บริโภคพืชที่มีแคดเมียมสูงเกินกว่า 3 ppm ติดต่อกันเป็นประจำ (Mengel and kirkby, 1982) สำหรับการได้รับอลูมิเนียมในปริมาณสูงเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เพราะอลูมิเนียมจะยับยั้งการเจริญเติบโตของรากพืช (Pierre, 1931) เช่นเดียวกันกับการได้รับอาร์เซนิกในปริมาณสูงก็จะเกิดการหยุดชะงักการเจริญเติบโตของส่วนราก และยังมีผลต่อส่วนยอดของพืชอีกด้วย (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ส่วนความเป็นพิษของเหล็กจะทำให้ต้นข้าวมีใบผิดปกติ โดยเกิดจุดสีน้ำตาลเล็กๆ แล้วขยายเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ (Mengel and Kirkby, 1982)

เพื่อให้ทราบถึงผลของปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว (อลูมิเนียม และเหล็ก) และปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก) จากเถ้าลอยลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เมื่อนำมาเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับปลูกข้าว

พันธุ์ปทุมธานี 1 จึงต้องพิจารณาถึงปริมาณปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยวและปริมาณธาตุพิษที่มีอยู่เดิมในดินที่ศึกษาวิจัย และเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนที่จะทำการเพาะปลูก

5.1.1 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว และปริมาณธาตุพิษในดินก่อนการเพาะปลูก

ปริมาณทั้งหมด และปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยก่อนการเพาะปลูก (ตารางที่ 5.1) ของนิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก มีอยู่ในระดับปกติ สำหรับปริมาณของอลูมิเนียมในดินนั้นมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดพิษในพืชได้ แม้ว่าปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ยังอยู่ในระดับต่ำกว่าปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช แต่เพราะปริมาณทั้งหมดมีค่าสูงกว่าปริมาณในดินที่เริ่มเกิดความเป็นพิษในพืช 17 เท่า ส่วนปริมาณทั้งหมด และปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ของเหล็กในดินก็มีโอกาสก่อให้เกิดพิษในพืช เนื่องจากปริมาณทั้งหมด และปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้มีค่าสูงกว่าปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืชประมาณ 20 และ 3 เท่าตามลำดับ โดยที่ปริมาณเหล็กทั้งหมด และปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินมีปริมาณสูงจึงอาจก่อให้เกิดพิษต่อการปลูกข้าวได้ ความเป็นพิษของเหล็กจะทำให้ต้นข้าวมีใบผิดปกติ โดยจะเกิดจุดสีน้ำตาลเล็กๆ และจะขยายตัวกลายเป็นสีน้ำตาลทั้งใบ (Mengel and Kirkby, 1982) ซึ่งน่าจะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นข้าวลดลง และจะส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพผลผลิตข้าวได้ นอกจากนี้การที่พื้นที่ที่ศึกษาวิจัยมีสภาพเป็นดินนาขังน้ำ ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของเหล็กมาอยู่ในรูปสารละลายดินเพิ่มสูงขึ้น (ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, 2528; Gunawardena et al., 1982; Winslow et al., 1989) ส่วนอลูมิเนียมทั้งหมดในดินก็มีปริมาณสูงเช่นกัน ปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่สูงจะเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตของต้นข้าวลดลง เนื่องจากความเป็นพิษของอลูมิเนียมจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตในส่วนของรากข้าว (Pierre, 1931) ซึ่งสามารถที่จะส่งผลต่อผลผลิตข้าวได้

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณทั้งหมด และปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ของนิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก ในดินก่อนการเพาะปลูกอยู่ในเกณฑ์ปกติ ยกเว้นปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียม รวมทั้งปริมาณทั้งหมดและปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ของเหล็กนั้นมีค่าสูงกว่าปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช

5.1.2 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว และปริมาณธาตุพิษในเถ้าลอยลิกไนต์ก่อนการเพาะปลูก

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินอาจมีโอกาสเพิ่มปริมาณธาตุพิษให้แก่พื้นที่เพาะปลูก และเกิดปัญหาต่อการเจริญเติบโต ตลอดจนส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

ได้หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ดังนั้น ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร คือ ปริมาณธาตุพิษที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์

ปริมาณทั้งหมด และปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ของนิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก ในเถ้าลอยลิกไนต์ (ตารางที่ 5.2) อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าปริมาณในดินที่เริ่มก่อให้เกิดอาการเป็นพิษในพืช ส่วนอลูมิเนียมนั้นมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดอาการเป็นพิษในพืชได้ แม้ว่าจะมีปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้อยู่ในระดับต่ำกว่าปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช แต่เพราะปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมมีค่าสูงกว่าปริมาณที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช 77 เท่า เช่นเดียวกันกับปริมาณของเหล็กในเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีโอกาสก่อให้เกิดพิษในพืชได้ แม้ว่าปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้ยังอยู่ในระดับต่ำกว่าปริมาณในดินที่เริ่มก่อให้เกิดอาการเป็นพิษในพืช แต่เนื่องจากปริมาณทั้งหมดของเหล็กในเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าสูงกว่าปริมาณที่เริ่มก่อให้เกิดอาการเป็นพิษในพืช 26 เท่า

อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว (อลูมิเนียม และเหล็ก) และปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก) ที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษ ยกเว้นปริมาณทั้งหมดของอลูมิเนียมและเหล็กที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ หากเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมให้มีการละลายอยู่ในรูปทางเคมีที่พืชสามารถดูดดึงได้ได้มากขึ้น

5.1.3 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว และปริมาณธาตุพิษในดินเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปเป็นสารปรุงดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว (อลูมิเนียม และเหล็ก) และปริมาณธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก) ที่อาจเพิ่มขึ้นภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ในที่นี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณธาตุที่พืชสามารถดูดดึงได้ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ โดยมีผลการศึกษาดังนี้

1) อลูมิเนียม

ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน เมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของต้นข้าว (รูปที่ 5.2) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินลดลงเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตมากขึ้น ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (284.18 ppm) ส่งผลในการเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ใน

ดินร่วมกับอิทธิพลของการขังน้ำในนาข้าว โดยความเป็นพิษของอลูมิเนียมจะเกิดขึ้นในระยะแรกๆ ของการขังน้ำ (Bloomfield and Conlter, 1973; Breemen and Pons, 1978) และปริมาณของอลูมิเนียมที่ละลายได้ในสารละลายจะลดลงเมื่อดินมีการขังน้ำนานขึ้น ทั้งนี้เพราะค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสรสิทธิ์ วัชโรทยาน (2520) ที่ว่าการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงขึ้นตั้งแต่ 4.4 จะไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากความเป็นพิษของอลูมิเนียม และทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช คือ 300 ppm (Yoshida, 1981) ไม่ว่าจะเป็นช่วงระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ล้วนทำให้ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยวอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช

2) เหล็ก

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ส่งผลให้ปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในทุกระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวเพิ่มขึ้นในระยะต้นข้าวแตกกอ แล้วมีปริมาณค่อนข้างคงที่ในระยะการเจริญเติบโตต่อมา (รูปที่ 5.4) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการขังน้ำในนาข้าว เนื่องจากเหล็กจะเพิ่มปริมาณขึ้นหลังจากดินอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนหรือมีการขังน้ำเป็นเวลานาน (IRRI, 1982) ซึ่งยังสอดคล้องกับการรายงานของปัทมา วิทยากร (2533) ที่ว่าเหล็กถูกเปลี่ยนรูปได้ง่ายมากเมื่อดินอยู่ในสภาพขังน้ำโดยจะเปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น โดยปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (846.44 ppm) ส่งผลในการเพิ่มปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดิน โดยทุกตำรับทดลองมีปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้สูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช คือ 300 ppm (Tanaka and Yoshida, 1970) ไม่ว่าจะเป็นที่ระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม

อาจสรุปได้ว่า ปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว มีค่าสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืชไม่ว่าจะมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์หรือไม่ก็ตาม

ตารางที่ 5.1 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว และปริมาณธาตุพิษในดินที่ระดับปกติ ปริมาณที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช และปริมาณธาตุพิษในดินก่อนการเพาะปลูก

ชนิดของธาตุ	ปริมาณที่ตรวจพบในดินก่อนการเพาะปลูก (ppm)		ความเข้มข้นทั้งหมดในดินที่ระดับปกติ (ppm)	ปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช (ppm)
	ปริมาณทั้งหมด	ปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้		
อลูมิเนียม	5,271.48	284.18	-	300[3]
เหล็ก	5,934.69	846.44	-	300[4]
นิกเกิล	3.27	Trace	2-50[1]	100[2]
แคดเมียม	Trace	Trace	0.1-2[1]	3-5[2]
อาร์เซนิก	2.74	0.13	0.1-50[1]	15-50[2]

หมายเหตุ : 1 Schlipkoter and Brockhaus (1988) และ Alloway (1990)

2 Pendias and Pendias (1992)

3 Yoshida (1981)

4 Tanaka and Yoshida (1970)

ตารางที่ 5.2 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว ปริมาณธาตุพิษในเถ้าลอยลิกไนต์ และปริมาณธาตุในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช

ชนิดของธาตุ	ปริมาณที่ตรวจพบในเถ้าลอยลิกไนต์(ppm)		ปริมาณในดินที่เริ่มเกิดอาการเป็นพิษในพืช (ppm)
	ปริมาณทั้งหมด	ปริมาณที่พืชสามารถดูดดึงได้	
อลูมิเนียม	23,162.64	Trace	300[2]
เหล็ก	7,986.03	21.13	300[3]
นิกเกิล	31.25	Trace	100[1]
แคดเมียม	0.07	0.05	3-5[1]
อาร์เซนิก	26.55	0.21	15-50[1]

หมายเหตุ : 1 Pendias and Pendias (1992)

2 Yoshida (1981)

3 Tanaka and Yoshida (1970)

3) นิกเกิล

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง พบว่า ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะต้นข้าวแตกกอ จากนั้นจึงลดลงในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่อมาของต้นข้าว (รูปที่ 5.1) น่าจะเป็นผลจากการขังน้ำในดินที่เป็นกรดและมีปริมาณเหล็กสูง ทำให้มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในดินสูงในช่วง 4 สัปดาห์แรกหลังจากการขังน้ำ อิทธิพลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลง (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Ponnamperruma et al., 1966) ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้จึงเพิ่มขึ้นในระยะต้นข้าวแตกกอ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ UNEP/WHO (1991) ที่สรุปว่าลักษณะสมบัติการละลาย และการใช้ประโยชน์ได้ของนิกเกิลสำหรับพืชขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงปริมาณนิกเกิลจะละลายออกสู่สารละลายดินมากขึ้น ส่วนปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลงในช่วงระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยวนั้น เนื่องจากการขังน้ำส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินปรับตัวสูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ลดลง โดยการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวงล้วนส่งผลให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวในทุกช่วงระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ยกเว้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะเมล็ดข้าวงอกที่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก (ตารางที่ 4.3, 4.5, 4.7 และ 4.9) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณนิกเกิลที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ ส่งผลในการเพิ่มปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดิน อย่างไรก็ตาม ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีค่าต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (100 ppm จากตารางที่ 2.9) ไม่ว่าจะเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ล้วนทำให้ปริมาณนิกเกิลที่พืชดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว มีปริมาณต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช

4) แคดเมียม

ปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน เมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง มีน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้ ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (0.051 ppm) มีปริมาณไม่สูงมากพอที่จะเพิ่มปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดิน อีกทั้งการขังน้ำในนาข้าวทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; Ponnamperruma et al., 1966) ซึ่งทำให้เกิดการตกตะกอนของแคดเมียม ส่งผลในการลดปริมาณแคดเมียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดิน (Allway, 1990) นอกจากนี้ ปริมาณแคดเมียมยังถูกดูดซับโดยอนุภาคของดินเหนียว เหล็ก และอลูมิเนียม (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

อาจสรุปได้ว่า ปริมาณแคดเมียมที่พืชดูดดึงได้ของดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว ภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์มีอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช ไม่ว่าจะมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม

5) อาร์เซนิก

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ส่งผลให้ปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.3) เมื่อเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ในเถ้าลอยลิกไนต์ (0.21 ppm) ส่งผลในการเพิ่มปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดิน โดยทุกตำรับทดลองมีปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช (15-50 ppm ตารางที่ 2.9) ไม่ว่าจะเป็นช่วงระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มของปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินในทุกตำรับทดลอง พบว่า ปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว ทั้งนี้น่าจะเป็นผลสืบเนื่องและสัมพันธ์กับปริมาณอลูมิเนียมที่ลดลงในช่วงระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว เพราะอลูมิเนียมจะดูดซับอาร์เซนิกในรูปอาร์เซเนท (Arsenate) (WHO, 1981)

อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ในดินในช่วงระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ ระยะต้นข้าวออกรวง และระยะเวลาเก็บเกี่ยว มีปริมาณต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืชไม่ว่าจะมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวก็ตาม

5.2 ผลผลิตข้าวเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโต

การเปรียบเทียบผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก สามารถบ่งบอกถึงความเป็นประโยชน์จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

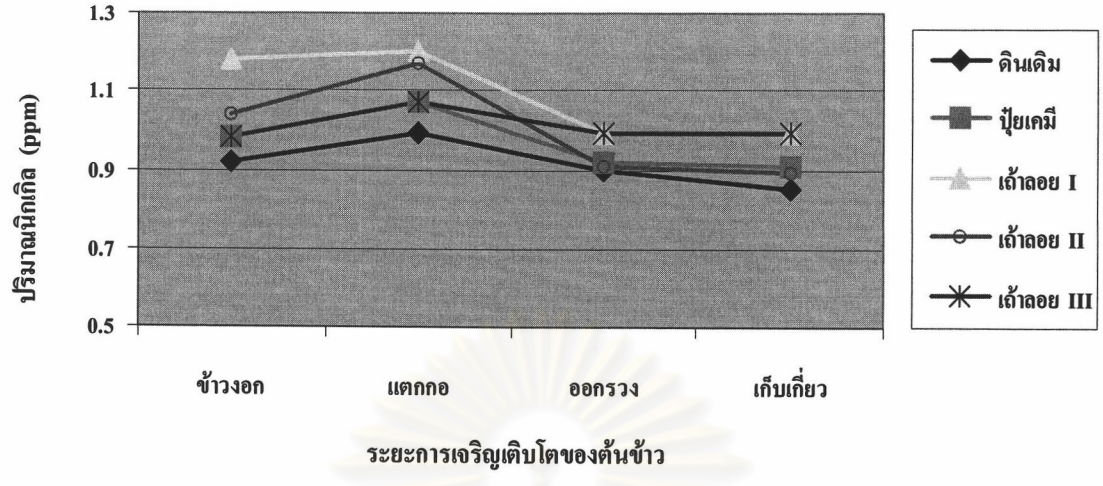
เมื่อพิจารณาผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 (รูปที่ 5.5) พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาที่ดิน (2541) ที่พบว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 65 เป็น 92.2 ถัง/ไร่ ที่อัตราเติม 2 ตัน/ไร่ ในหนึ่งฤดูปลูก จึงน่าจะเป็นไปได้ว่า เถ้าลอยลิกไนต์สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารได้ เพราะองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก (ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์) และจุลธาตุอาหาร (แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) (Adriano et al, 1980; U.S. EPA, 1988) ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตของข้าว

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอกร่วมกับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกสูงสุด (640.96 กก./ไร่) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมีหรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นออกรวง ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะในระยะข้าวงอกต้นข้าวต้องการธาตุอาหารเพื่อเพิ่มความสูง และความกว้างยาวของใบ (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2527) โดยธาตุอาหารที่ข้าวต้องการที่ระยะข้าวงอกในปริมาณมาก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Ishizuka, 1965) ขณะเดียวกันในระยะต้นข้าวเริ่มเจริญเติบโตจะมีการดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ไปสะสมมากในส่วนของใบและต้น (Yoshida, 1981) ดังนั้น เถ้าลอยลิกไนต์น่าจะไปเพิ่มปริมาณโพแทสเซียม และซัลเฟอร์ในดินให้มีอย่างเพียงพอสำหรับต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งจะส่งผลถึงการเจริญเติบโตในระยะต่อๆ ไปและส่งผลต่อปริมาณผลผลิตในท้ายที่สุด

ทั้งนี้สรุปได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระยะเมล็ดข้าวงอกเป็นระยะที่เหมาะสมในการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เมื่อพิจารณาเฉพาะผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่มีปริมาณสูงสุด

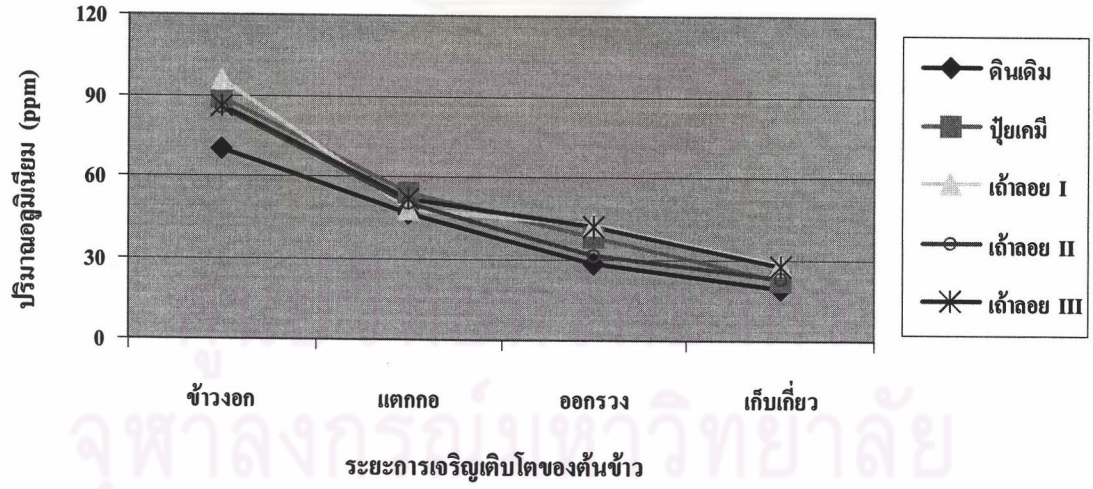
5.3 คุณภาพข้าวเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ตามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ประกอบไปด้วย ธาตุอาหารหลัก (ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ธาตุอาหารรอง (แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์) และจุลธาตุอาหาร



เถ้าลอยI = เติมเถ้าลอยระยะเมล็ดข้าวงอก เถ้าลอยII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวแตกกอ เถ้าลอยIII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวออกรวง

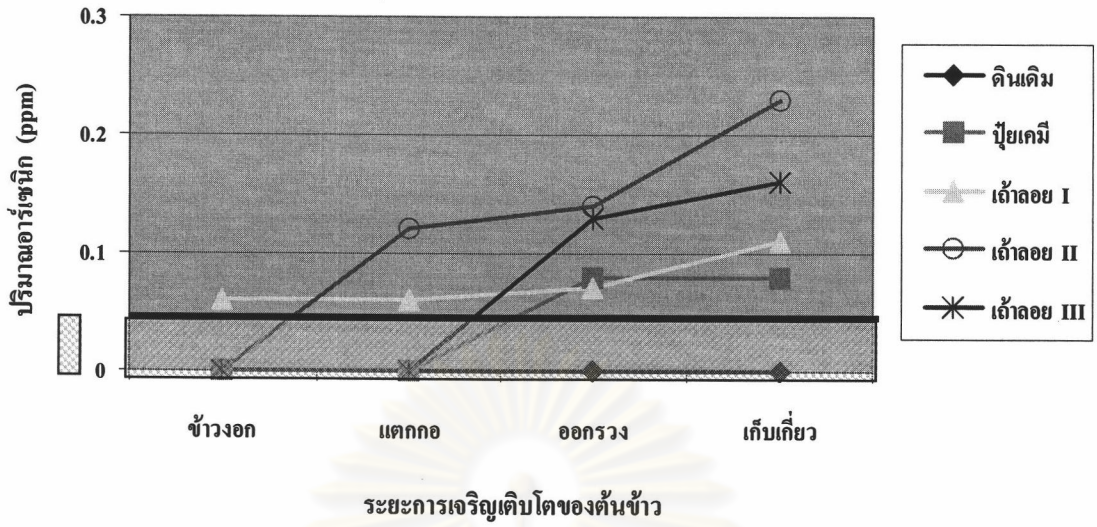
รูปที่ 5.1 ปริมาณนิกเกิลที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของต้นข้าว



เถ้าลอยI = เติมเถ้าลอยระยะเมล็ดข้าวงอก เถ้าลอยII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวแตกกอ เถ้าลอยIII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวออกรวง

รูปที่ 5.2 ปริมาณอลูมิเนียมที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของต้นข้าว

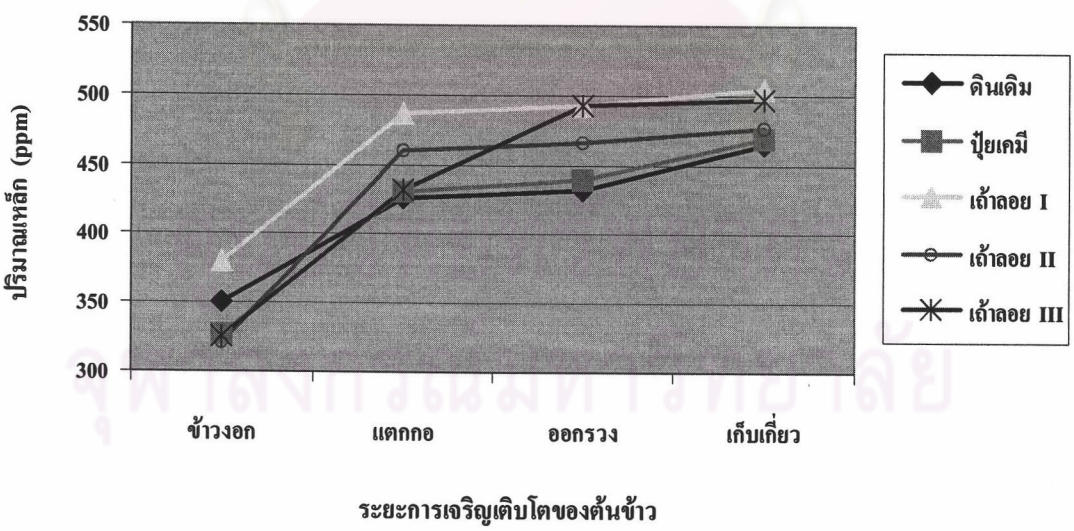
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เถ้าลอยI = เติมเถ้าลอยระยะเมล็ดข้าวงอก เถ้าลอยII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวแตกกอ เถ้าลอยIII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวออกรวง

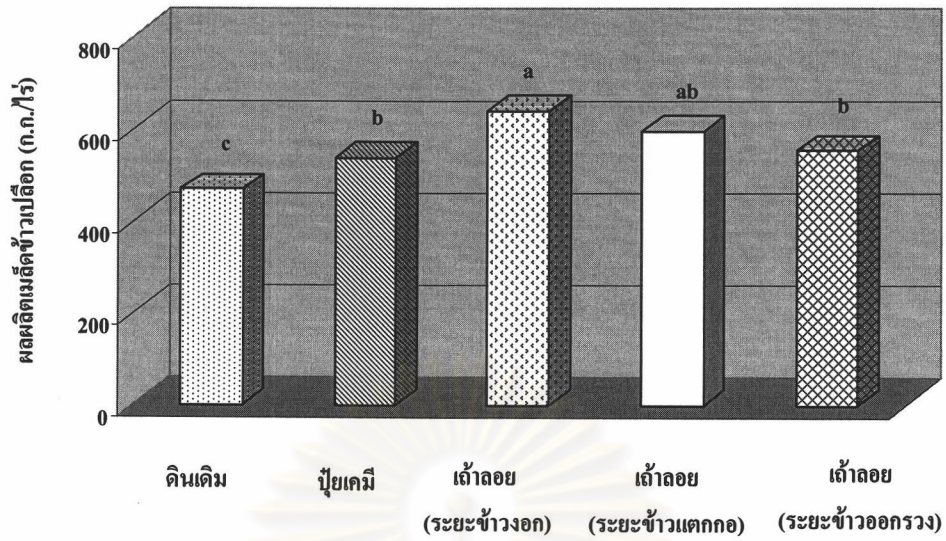
หมายถึง ช่วงที่มีปริมาณน้อยกว่าที่เครื่องมือจะตรวจพบ (Trace) คือ 0-0.05 ppm

รูปที่ 5.3 ปริมาณอาร์เซนิกที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของต้นข้าว



เถ้าลอยI = เติมเถ้าลอยระยะเมล็ดข้าวงอก เถ้าลอยII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวแตกกอ เถ้าลอยIII = เติมเถ้าลอยระยะต้นข้าวออกรวง

รูปที่ 5.4 ปริมาณเหล็กที่พืชสามารถดูดดึงได้ของดินตามระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของต้นข้าว



รูปที่ 5.5 ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกตามตำรับทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี) (Adriano et al, 1980; U.S. EPA, 1988) ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าว นอกจากนี้ปัจจัยสำคัญในการควบคุมผลผลิตของข้าว คือ ช่วงเวลาในการใส่ปุ๋ย เนื่องจากข้าวมีความต้องการธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตแตกต่างกัน ดังนั้น การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาเป็นสารปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ได้ปริมาณสูงสุดนั้น ควรพิจารณาการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ให้สอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบของต้นข้าว อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของปริมาณธาตุพิษที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์ก็เป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง เนื่องจากธาตุพิษต่างๆ อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยอาจมีการสะสมปริมาณธาตุพิษต่างๆ ในฟางข้าวและเมล็ดข้าวสาร ซึ่งจากการศึกษาของ Townsend and Gillham (1975) พบว่า พืชที่มีการเจริญเติบโตบนเถ้าลอยลิกไนต์จะมีการสะสมของนิกเกิล แคดเมียม และอาร์เซนิก ดังนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณภาพของข้าวเมื่อมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต

5.3.1 คุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางเคมี

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการส่งออกข้าว คือ คุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ ประกอบไปด้วยคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางกายภาพที่พิจารณาถึงขนาดเมล็ด และสิ่งที่ปะปนมากับเมล็ดข้าว และคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางเคมีซึ่งบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะพันธุ์ของข้าว ทั้งยังมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพการหุงต้มและบริโภค ซึ่งในที่นี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางเคมี โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางเคมี คือ ปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง (ในเมล็ดข้าวสาร) และเมื่อพิจารณาปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง (รูปที่ 5.6) พบว่า

1) ปริมาณอมิโลส

ปริมาณอมิโลสของเมล็ดข้าวสารเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก (12.80 เปอร์เซ็นต์) และระยะต้นข้าวแตกกอ (12.55 เปอร์เซ็นต์) ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (18.38 เปอร์เซ็นต์) หรือการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวออกรวงร่วมกับปุ๋ยเคมี (16.69 เปอร์เซ็นต์) โดยปริมาณอมิโลสที่ลดลงบ่งบอกให้ทราบว่าข้าวหุงสุกจะมีความเหนียวนุ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณอมิโลสมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการขยายปริมาตร การดูดน้ำระหว่างการหุงต้ม แต่มีความสัมพันธ์ทางลบกับความนุ่มเหนียวของข้าวสุก (Juliano, 1979; Perez, 1979) ดังนั้น ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสสูงจะดูดน้ำและจะขยายปริมาตรได้มาก ทำให้ข้าวสุกแข็งและร่วน ส่วนข้าวที่มีปริมาณอมิโลสต่ำจะดูดน้ำและจะขยายปริมาตรได้น้อย ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวนุ่ม (ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) และทุกตำรับ

ทดลองมีปริมาณอมิโลสอยู่ในมาตรฐานข้าวหอม คือ 12.0 - 19.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้สรุปได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ไม่ว่าจะเติมที่ระยะการเจริญเติบโตใดของต้นข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ล้วนทำให้ข้าวสารยังคงมีปริมาณอมิโลสอยู่ในมาตรฐานข้าวหอม ซึ่งเมื่อหุงสุกจะมีความเหนียวนุ่ม

2) ค่าความคงตัวแป้งสุก

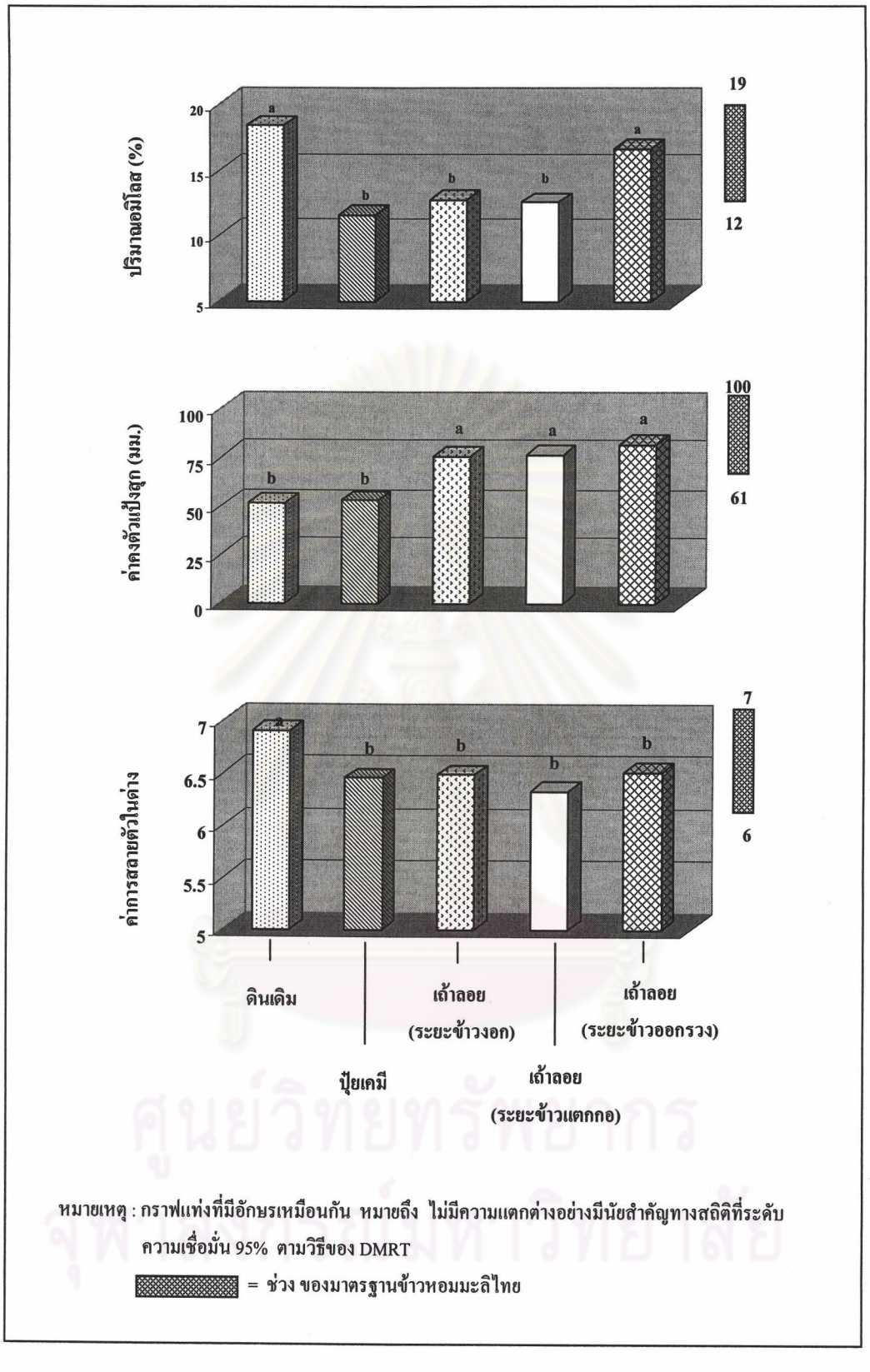
ค่าความคงตัวแป้งสุกเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก (75.83 มิลลิเมตร) ระยะต้นข้าวแตกกอ (76.50 มิลลิเมตร) และระยะต้นข้าวออกรวง (81.50 มิลลิเมตร) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (51.83 มิลลิเมตร) หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (53.00 มิลลิเมตร) โดยค่าความคงตัวแป้งสุกที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกให้ทราบว่าเมื่อข้าวหุงสุกจะมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น (ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) นอกจากนี้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ในทุกระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี มีค่าความคงตัวแป้งสุกอยู่ในมาตรฐานข้าวหอม ส่วนตำรับทดลองดินเดิมและการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานข้าวหอม ที่กำหนดไว้ว่าข้าวหอมจะต้องมีค่าความคงตัวแป้งสุกมากกว่า 61 มิลลิเมตร

ค่าความคงตัวแป้งสุกช่วยชี้ชัดให้ทราบถึงความอ่อนนุ่มของข้าวเมื่อหุงสุก แม้ว่าปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญก็ตาม เพราะข้าวที่มีปริมาณอมิโลสเท่าเท่ากันอาจมีความอ่อนนุ่มของข้าวสุกต่างกัน (Perez, 1979) ดังกรณีของปริมาณอมิโลสในข้าวสาร เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวออกรวงมีสูงกว่าที่ระยะเมล็ดข้าวงอก และระยะต้นข้าวแตกกอ ในขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ส่งผลให้ข้าวสารมีค่าคงตัวแป้งสุกเท่าๆ กัน นั่นหมายถึง ข้าวสารที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวออกรวง เมื่อหุงสุกจะมีความเหนียวนุ่มน้อยกว่าข้าวสารที่ได้จากการเติมที่ระยะเมล็ดข้าวงอก และระยะต้นข้าวแตกกอ ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าระยะเมล็ดข้าวงอก และระยะต้นข้าวแตกกอ น่าจะเป็นระยะที่เหมาะสมในการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ เมื่อพิจารณาทั้งปริมาณอมิโลส และค่าคงตัวแป้งสุก

3) ค่าการสลายตัวในด่าง

การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว รวมทั้งการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวงร่วมกับปุ๋ยเคมี มีค่าการสลายเมล็ดในด่างเท่ากับ 6.45 6.48 6.33 และ 6.50 ตามลำดับ โดยมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (6.90) ซึ่งค่าการสลายตัวในด่างที่ลดลงแสดงถึงการใช้ระยะเวลาในการหุงต้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่างที่สูง จะมีระดับของอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ทำให้ใช้ระยะเวลาในการหุงต้มน้อย (ละม้ายมาศ ยังสุข, 2541) อย่างไรก็ตาม ในทุกตำรับทดลองมีค่าการสลายตัวในด่างอยู่ในข้อกำหนดของพันธุ์ข้าวหอม คือ 6-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 ปริมาณอมิโลส ค่าคงตัวแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่าง (ในเมล็ดข้าวสาร)

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ล้วนมีคุณภาพข้าวเชิงพาณิชย์ทางเคมีอยู่ในมาตรฐานของข้าวหอม

5.3.2 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยวและปริมาณธาตุพิษ

การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปเป็นสารปรุงดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงปริมาณธาตุพิษที่อาจเพิ่มขึ้นภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ในที่นี้ได้ศึกษาถึงปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในเมล็ดข้าวสาร รวมทั้งปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในฟางข้าว และในดินภายหลังการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในช่วงเวลาเก็บเกี่ยว

1) ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในเมล็ดข้าวสาร

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวงร่วมกับปุ๋ยเคมี ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณนิกเกิล และอาร์เซนิกในเมล็ดข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4.12) ในขณะที่ปริมาณอลูมิเนียม และเหล็กทั้งหมดในเมล็ดข้าวสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ทั้งนี้ปริมาณเหล็กในเมล็ดข้าวสารเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวยังมีระดับต่ำกว่าความต้องการเหล็กในคนปกติ คือ 10-15 มิลลิกรัม/วัน (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2542) สำหรับแคดเมียมมีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้ กล่าวคือ แคดเมียมในเมล็ดข้าวสารมีปริมาณน้อยกว่า 0.05 ppm ซึ่งปริมาณธาตุพิษทั้งหมดน่าจะมีการดูดดึงมาจากในดินแล้วไปสะสมในเมล็ดข้าวสารส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งได้สะสมในฟางข้าว โดยเฉพาะปริมาณอลูมิเนียม และเหล็กที่มีมากในดินก่อนการเพาะปลูก

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณนิกเกิล และอาร์เซนิกในเมล็ดข้าวสารอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปริมาณอลูมิเนียม และเหล็กที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กที่เพิ่มขึ้นยังน้อยกว่าความต้องการเหล็กในคนปกติ ส่วนแคดเมียมมีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้

2) ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในฟางข้าว

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ไม่มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิลในฟางข้าว (3.61 3.35 และ 3.33 ppm) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (3.31 ppm) (ตารางที่ 4.13) โดยที่ปริมาณ

นิกเกิลที่ตรวจพบมีค่าต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช ซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 ppm (ตารางที่ 2.9) เช่นเดียวกันกับปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าวที่มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม โดยที่ทุกตำรับทดลองมีปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าวสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช คือ 300 ppm ตามเกณฑ์ของ Yoshida (1981) แสดงว่าถึงแม้จะไม่มีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ ปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าวก็มีค่าสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช สำหรับปริมาณอาร์เซนิกในฟางข้าวเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง (4.93 4.55 และ 5.99 ppm ตามลำดับ) พบว่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (2.77 ppm) อย่างไรก็ตามอาร์เซนิกที่ตรวจพบในทุกตำรับทดลองยังมีค่าต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช คือ 15-50 ppm (ตารางที่ 2.9) นอกจากนี้ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก และระยะต้นข้าวออกรวง ยังส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณเหล็กในฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ยกเว้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ที่ระยะต้นข้าวแตกกอ โดยที่ทุกตำรับทดลองมีปริมาณเหล็กในฟางข้าวสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช ตามเกณฑ์ของ Tanaka และ Yoshida (1970) คือ 300 ppm ส่วนปริมาณแคดเมียมในทุกตำรับทดลอง มีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณนิกเกิล และอลูมิเนียมในฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปริมาณอาร์เซนิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ปริมาณอาร์เซนิกที่เพิ่มขึ้นยังมีค่าต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืช ส่วนเหล็กในทุกตำรับทดลองมีค่าสูงกว่าระดับที่ก่อให้เกิดพิษในพืชไม่ว่าจะมีการเติมเถ้าลอยลิกไนต์หรือไม่ก็ตาม สำหรับปริมาณแคดเมียมในทุกตำรับทดลอง มีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้

3) ปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดินที่ระยะเก็บเกี่ยว

ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวในทุกตำรับทดลอง (ตารางที่ 5.3) มีปริมาณทั้งหมดคงเหลือสูงกว่าปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินก่อนการเพาะปลูก น่าจะเป็นผลมาจากการขังน้ำในนาข้าว โดยความเป็นพิษของอลูมิเนียมจะเกิดขึ้นในระยะแรกๆ ของการขังน้ำ (Bloomfield and Conlter, 1973; Breemen and Pons, 1978) และปริมาณของอลูมิเนียมที่ละลายได้ในสารละลายจะลดลงเมื่อดินมีการขังน้ำนานขึ้น แต่ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินก็ยังมีปริมาณสูงกว่าก่อนการเพาะปลูกอาจเนื่องจากการลดลงของปริมาณอลูมิเนียมเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมี ไม่มีผลทำให้ปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม ($F = 0.82^{NS}$) แสดงให้เห็นว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมทั้งหมดในดินอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณนิกเกิลทั้งหมดของดินที่ระยะเก็บเกี่ยวในทุกตำรับทดลอง มีปริมาณทั้งหมดคงเหลือในดินต่ำกว่าปริมาณนิกเกิลในดินก่อนการเพาะปลูก เช่นเดียวกันกับอาร์เซนิก และเหล็ก ที่มีปริมาณคงเหลือทั้งหมดในดินต่ำกว่าปริมาณทั้งหมดก่อนการเพาะปลูกในทุกตำรับทดลอง ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ นิกเกิล อาร์เซนิก และเหล็กลดลง โดยที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ทั้งสามระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว ไม่มีผลทำให้ปริมาณเหล็กทั้งหมดในดินแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 1.58^{NS}$) สำหรับปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในดินที่ระยะเก็บเกี่ยวในทุกตำรับทดลองและปริมาณทั้งหมดก่อนการเพาะปลูกมีน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้

ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ อัตรา 2 ตัน/ไร่ ที่ระยะเมล็ดข้าวงอก ระยะต้นข้าวแตกกอ และระยะต้นข้าวออกรวง ไม่มีผลทำให้ปริมาณนิกเกิล อลูมิเนียม และเหล็กเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นปริมาณอาร์เซนิกที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามทุกตำรับทดลองมีปริมาณอาร์เซนิกทั้งหมดในดินต่ำกว่าระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช ส่วนปริมาณแคดเมียมในทุกตำรับทดลอง มีปริมาณน้อยมากจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบได้

ตารางที่ 5.3 ปริมาณธาตุที่มีโอกาสเป็นปัญหาในดินเปรี้ยว และปริมาณธาตุพิษทั้งหมดในดินที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยว

ตำรับทดลอง	ปริมาณทั้งหมดของธาตุ (ppm)				
	Al	Fe	Ni	Cd	As
ดินเดิม (ควบคุม)	10941.67	4516.67	2.07	Trace	1.35^{b}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี	11350.00	4700.00	2.33	Trace	1.45^{b}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี + เถ้าลอยลิกไนต์ (ระยะเมล็ดข้าวงอก)	12966.67	4370.83	2.24	Trace	1.82^{a}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี + เถ้าลอยลิกไนต์ (ระยะต้นข้าวแตกกอ)	12600.00	4450.00	2.27	Trace	1.82^{a}
ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี + เถ้าลอยลิกไนต์ (ระยะต้นข้าวออกรวง)	13116.67	4179.17	2.23	Trace	1.95^{a}
F-value	0.82^{NS}	1.58^{NS}	0.29^{NS}	-	10.80^{*}
% CV	14.13	7.02	11.73	-	12.46

หมายเหตุ : Trace หมายถึง มีปริมาณน้อยเกินกว่าที่เครื่องมือจะตรวจพบได้ กล่าวคือ มีค่าน้อยกว่า 0.05 ppm

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละสดมภ์ หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามวิธีของ DMRT