

ความเสี่ยงจากธาตุพิษเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105¹

Risk of toxic elements from lignite fly ash cultivated KDML105 rice variety¹

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ² และ สิทธิพร เกตุวรสุนทร³

Orawan Siriratpiriya² and Sitthiporn Gatvorasoontorn³

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของความเสี่ยงจากธาตุพิษเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ในการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design ทำ 3 ซ้ำ ประกอบด้วย ชุดควบคุม (ดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง) การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ โดยปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ด้วยวิธีปักดำ ในแปลงนาเกษตรกร ต.บ้านปริก อ.บ้านนา จ.นครนายก พบว่า อลูมิเนียมในต้นข้าว (ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ) เมื่อเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณนิกเกิลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในฟางข้าวเท่านั้น ส่วนแคดเมียมนั้นมีปริมาณน้อยมาก กล่าวคือน้อยกว่า 0.50 ppb ทั้งในฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวที่ได้รับจากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีก็เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 431.87 เป็น 540.45 กก./ไร่ ดังนั้นการเติมเถ้าลอยลิกไนต์อัตรา 0.50 ตัน/ไร่ ในการปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ไม่น่าจะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากธาตุพิษ 3 ธาตุคือ นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม

Abstract

The risk of toxic elements from lignite fly ash cultivated KDML105 rice variety was conducted at agricultural area tambon Banprik, Banna district, Nakorn Nayok province. The experimental design was Randomized Complete Block with 3 replications. Chemical fertilizer (16-20-0 12.50 kg/rai, 21-0-0 0.50 kg/rai) and chemical fertilizer cum lignite fly ash 0.50 tonnes/rai were applied to the soil. The test plant was KDML105 rice variety that cultivated by transplant method. The results indicated that chemical fertilizer cum lignite fly ash has effect on the increasing of aluminium in rice (rice straw, polished rice and rice husk) significantly. While nickel was increased significantly only in rice straw. For cadmium the content in rice was not detected (cadmium < 0.50 ppb). Nevertheless, Rice yield was increased form 431.87 to 540.45 kg/rai when chemical fertilizer cum lignite fly ash applied to the soils. That is to say, application lignite fly ash at the rates 0.50 tonnes/rai for cultivated KDML105 rice variety did not show risk of toxic elements (nickel, cadmium and aluminium)

Keyword: lignite fly ash, KDML105 rice variety, nickel, cadmium, aluminium

O siriratpiriya : Orawan.Si@Chula.ac.th

¹ งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “ขีดจำกัด และผลกระทบจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทางการเกษตร” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.)

² สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Institute of Environmental Research, Chulalongkorn University

³ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-Departmental of Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University

คำนำ

การปลูกข้าวให้ได้รับผลผลิตดี ต้องมีหรือจัดหาธาตุอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของต้นข้าว ธาตุอาหารหลักที่ข้าวต้องการในปริมาณสูงคือ ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) และธาตุโพแทสเซียม (K) (De Datta, 1978) การเพาะปลูกส่วนใหญ่จะทำให้ระดับธาตุอาหารในดินลดลงไปจากเดิม จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาธาตุอาหารจากแหล่งอื่นมาใส่เพิ่มเติม เช่นการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดและ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ในขณะเดียวกันถ้าลดยลิกไนต์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเป็นเชื้อเพลิงนั้น มีองค์ประกอบทางเคมีที่บ่งชี้ถึงโอกาสในการเป็นแหล่งธาตุอาหารในการปลูกข้าว ทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S) ในปริมาณ 600-2,500 ppm 1,534-34,700 ppm 5,400-177,100 ppm 4,900-58,000 ppm และ 0.11-0.25 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวปะปนอยู่มากคือ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) ซิลิกอน (Si) ในปริมาณ 7,800-289,000 ppm 31-4,400 ppm 0-3,020 ppm 14-13,000 ppm และ 196,000-271,000 ppm ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถ้าลดยลิกไนต์ยังมีโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณ 1.8-8,000 ppm 0.1-250 ppm และ 11,500-144,000 ppm ตามลำดับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542; อรรณพ, 2544; U.S.EPA., 1988)

โลหะหนักที่เป็นพิษในถ่านลดยลิกไนต์เมื่อเติมลงในดินนา ก็มีโอกาที่จะเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ต้นข้าว และผลผลิต โดยที่นิกเกิลในปริมาณสูงจะทำให้พืชเกิดอาการขีดเหลืองระหว่างเส้นใบจากใบอ่อนไปสู่ใบแก่ เกิดการตายของเนื้อเยื่อ (สันติ, 2526 ; Mengel and Kirkby, 1982) ส่วนอาการผิดปกติจากธาตุแคดเมียมคือ เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบขีดเหลือง ต้นแคระแกรน การเจริญของรากลดลง และเกิดการเน่า เมื่อความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับแคดเมียมเพิ่มขึ้น (สันติ, 2526 ; Hewitt, 1953) ปริมาณอลูมิเนียมที่มากเกินไป จะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว เริ่มที่อาการชะงักงันของราก รากจะสั้นกุด และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ปริมาณรากแขนงและรากฝอยลดลงอย่างมาก เป็นผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นไม่เป็นไปอย่างปกติ (กรมวิชาการเกษตร, 2543) กล่าวได้ว่า ถ่านลดยลิกไนต์ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งมีองค์ประกอบ ทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษถ้าไม่มีการจัดการที่ดีพอ ย่อมมีโอกาสสร้างปัญหาแก่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะชี้ชัดให้ทราบถึงความเสี่ยงจากธาตุพิษเมื่อเติมถ่านลดยลิกไนต์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ การใช้ประโยชน์ถ่านลดยลิกไนต์ในทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด นับเป็นการสร้างทางเลือกในการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทางหนึ่งอย่างเหมาะสม และปลอดภัย

อุปกรณ์และวิธีการ

การดำเนินการศึกษาทดลอง

1. การศึกษาวิจัยครั้งนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB (Randomized complete block design) ทำ 3 ซ้ำ (Replication) มี 3 ตำรับการทดลอง (Treatment) คือ

1. ดินเดิม (ไม่เติมสิ่งทดลอง)
2. ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
3. ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี+ถั่วลยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่
หนึ่งหน่วยทดลองคือแปลงทดลองขนาด 6 x 12 เมตร ดังนั้นหน่วยทดลองทั้งหมดมี 9 หน่วย
2. พื้นที่ทำการทดลองคือ แปลงนาเกษตรกร ต.บ้านพริก อ.บ้านนา จ.นครนายก
3. เติมสิ่งทดลอง (ปุ๋ยเคมี และถั่วลยลิกไนต์) ลงในแปลงทดลองหลังจากทำเทือก ตามตำรับทดลองที่กำหนด
4. เมื่อต้นกล้าพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีอายุประมาณ 25 – 30 วันนำไปปักดำในแปลงทดลอง
5. พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ ธาตุพิษ (นิเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม ในฟางข้าว ข้าวสาร แกลบ) และผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก
6. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of Variance และ เปรียบเทียบข้อมูลด้วยวิธี DMRT

การเก็บตัวอย่าง

1. เมื่อข้าวสุกแก่ สุ่มตัวอย่างต้นข้าวในพื้นที่เก็บเกี่ยว จำนวน 2 จุด จุดละ 4 กอ เก็บใส่ถุงกระดาษที่เตรียมไว้ จากนั้นนำต้นข้าวไปแยกส่วนเป็น ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ แล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นย่อย (Digest) ตัวอย่างด้วย กรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ในอัตราส่วน $\text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 = 2 : 1$ และทำการวิเคราะห์ธาตุพิษด้วยเครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPS)
2. เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในแปลงทดลองด้วยพื้นที่เก็บเกี่ยว 4 x 10 เมตร โดยเว้นระยะจากขอบแปลงเข้าไปด้านละ 1 เมตร เพื่อเป็นแนวป้องกัน (Guard row)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของการเติมถั่วลยลิกไนต์ต่อปริมาณธาตุพิษในต้นข้าว (ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ)

การศึกษาปริมาณธาตุพิษในข้าวเมื่อเติมถั่วลยลิกไนต์ จำเป็นต้องศึกษาปริมาณธาตุพิษที่มีอยู่ในถั่วลยลิกไนต์ และดินก่อนปลูก พบว่าถั่วลยลิกไนต์มีปริมาณนิเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดเท่ากับ 31.25, 0.069 และ 23,162.64 ppm มีปริมาณที่พืชสามารถดูดซับได้เท่ากับ 0.08, 0.051 และ 0.68 ppm ตามลำดับ สำหรับดินก่อนปลูกมีปริมาณนิเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียมทั้งหมดเท่ากับ 11.30, 0.97 และ 44,666.67 ppm โดยมีปริมาณที่พืชสามารถดูดซับได้เท่ากับ 0.61, 0.028 และ 62.00 ppm ตามลำดับ

1.1 ปริมาณธาตุพิษในฟางข้าว

การเติมถั่วลยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณนิเกิลในฟางข้าว (5.15 ppm) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (3.79 ppm) หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (3.98 ppm) (Table 1) อย่างไรก็ตามปริมาณนิเกิลที่ตรวจพบยังต่ำกว่าระดับความเป็นพิษในต้นข้าวที่มีค่าเท่ากับ 20-50 ppm (ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เช่นเดียวกับปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าว ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว โดยมีปริมาณเท่ากับ 84.79, 50.13 และ 58.46 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณอลูมิเนียมในฟางข้าวบ่งบอกให้ทราบว่ายังไม่จำเป็นต้องกังวลถึงความเป็นพิษต่อต้นข้าวเพราะต้นข้าวจะปรากฏความเป็นพิษก็ต่อเมื่อตรวจพบว่าอูมิเนียมในส่วนกลั่น

สูงกว่า 300 ppm (Tanaka และ Yoshida, 1970) สำหรับปริมาณแคดเมียมในฟางข้าวมีน้อยมาก กล่าวคือ มีน้อยกว่า 0.50 ppb ซึ่งต่ำกว่าระดับความเป็นพิษของแคดเมียมในต้นข้าวที่มีค่าเท่ากับ 5-10 ppm (ภาควิชา ปฐพีวิทยา, 2544)

1.2 ปริมาณธาตุพิษในข้าวสาร

ปริมาณอลูมิเนียมในข้าวสาร (Table 1) จากการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวลงดิน แต่เมื่อเทียบกับดินเดิมพบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจาก 7.00 เป็น 7.73 ppm ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมีไม่ส่งผลให้เปลี่ยนแปลงปริมาณนิกเกิลในข้าวสาร สำหรับแคดเมียมมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบ กล่าวคือแคดเมียมในข้าวสารมีปริมาณน้อยกว่า 0.50 ppb โดยที่ปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้บริโภคได้มีค่าเท่ากับ 0.8 มก./กก. (ppm) (คุชณี, 2532) นั้นหมายถึงความเสี่ยงจากธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม) ในการบริโภคข้าวสาร เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์น่าจะจะมีน้อยมากจนไม่ต้องกังวล

Table 1 Toxic elements concentration (ppm) in rice straw, polished rice and rice husk (ppm)

Treatment	toxic elements		
	nickel	cadmium	aluminium
toxic elements in rice straw (ppm)			
Control	3.79 ^b	trace	50.13 ^b
Chemical fertilizer	3.98 ^b	trace	58.46 ^b
Chemical fertilizer + lignite fly ash	5.15 ^a	trace	84.79 ^a
Different by treatment	P < 0.05	-	P < 0.05
toxic elements in polished rice (ppm)			
Control	0.46	trace	7.00 ^b
Chemical fertilizer	0.48	trace	7.45 ^{ab}
Chemical fertilizer + lignite fly ash	0.50	trace	7.73 ^a
Different by treatment	P > 0.05	-	P < 0.05
toxic elements in rice husk (ppm)			
Control	2.91	trace	25.00 ^b
Chemical fertilizer	2.97	trace	26.93 ^b
Chemical fertilizer + lignite fly ash	3.01	trace	32.47 ^a
Different by treatment	P > 0.05	-	P < 0.05

Trace = cadmium < 0.5 ppb

Numbers followed by the same letter are not significantly different at 0.05 level according to DMRT

1.3 ปริมาณธาตุพิษในแกลบ

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมในแกลบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม หรือการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Table 1) นอกจากนี้ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ยังมีผลทำให้ ปริมาณนิกเกิลในแกลบเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญ สำหรับปริมาณแคดเมียมในแกลบมีปริมาณน้อยมาก กล่าวคือมีปริมาณน้อยกว่า 0.50 ppb ธาตุพิษ (แคดเมียม และนิกเกิล) ไม่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาในการนำแกลบไปใช้ประโยชน์เพราะแคดเมียมมีน้อยมาก สำหรับนิกเกิลมีปริมาณไม่แตกต่างจากดินเดิม ดังนั้นจึงน่าจะมีความปลอดภัยที่จะนำแกลบไปใช้เป็นวัสดุคลุมดิน เชื้อเพลิงชีวมวล ทำอิฐ และใช้ปรับปรุงดิน

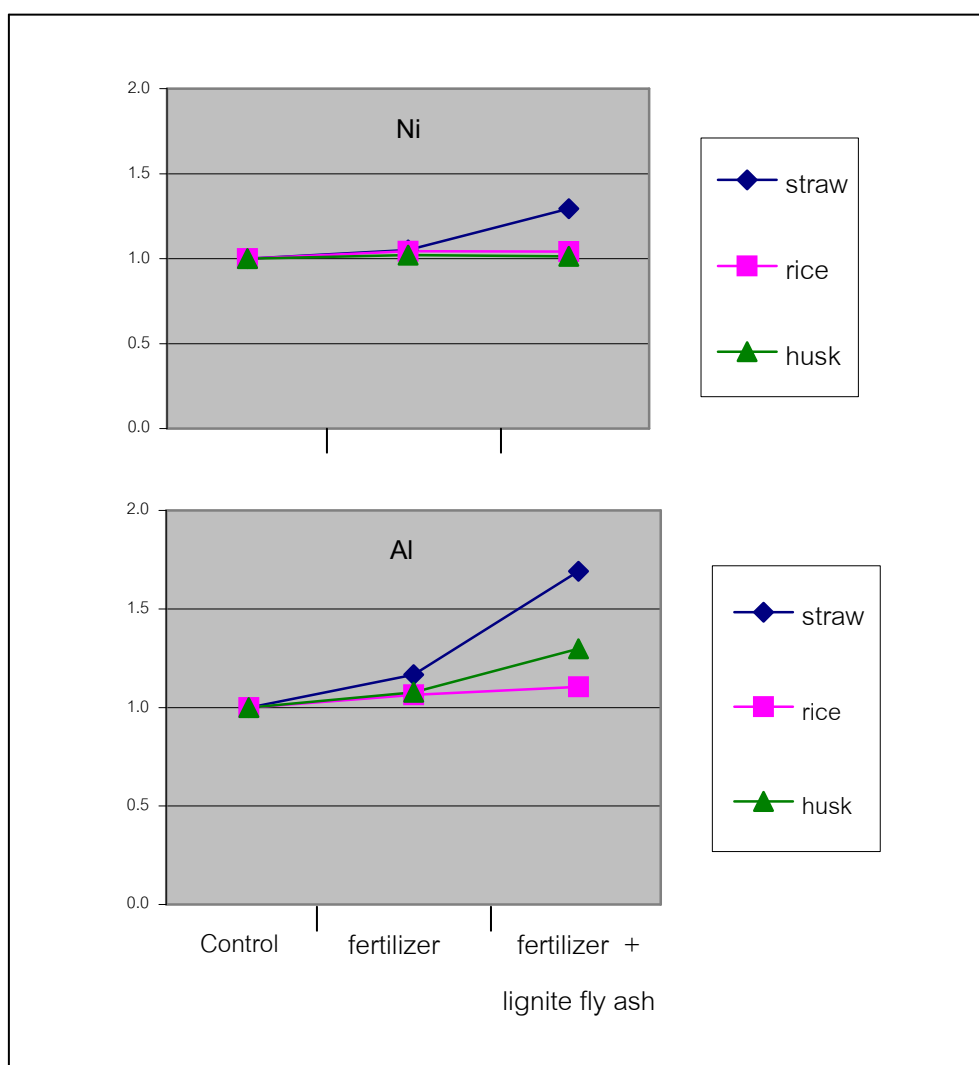


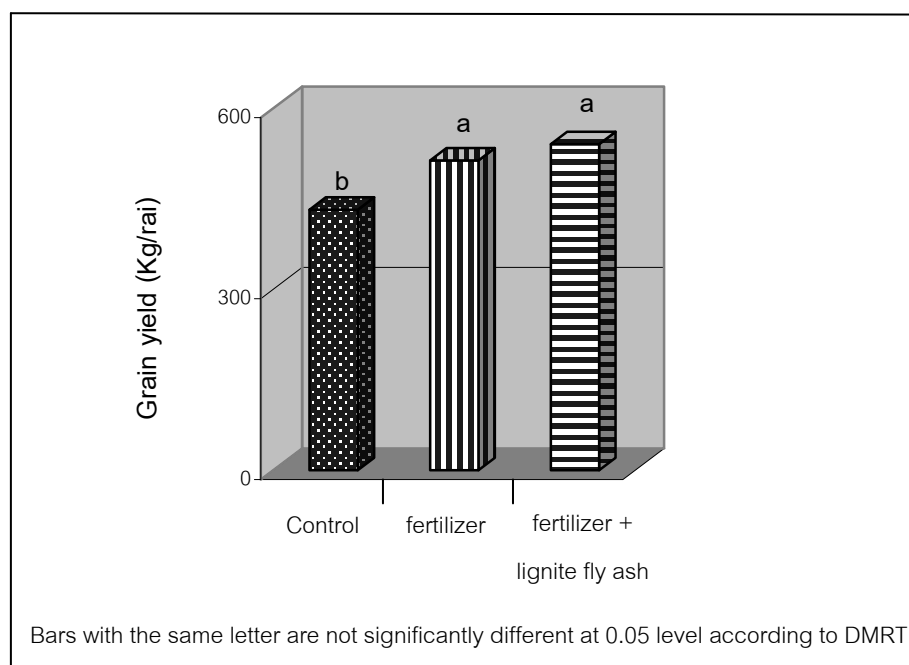
Figure 1 Relative value of toxic elements (nickel and aluminium) in rice straw, white rice and husk rice (control = 1)

เมื่อพิจารณา จากค่าสัมพัทธ์ (Figure 1) พบว่าการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ส่งผลให้มีการสะสมนิกเกิลและอลูมิเนียมในฟางข้าวมากที่สุด อาจเป็นเพราะว่าพืชมีกลไกป้องกันอันตรายต่อส่วนของพืชที่ใช้ในการสืบพันธุ์ ดังนั้นจึงมีการสะสม อลูมิเนียม และนิกเกิลในฟางข้าวมากกว่าในข้าวสารและแกลบ โดยจากการศึกษาของ

Jaffer et al (1976) พบว่าพืชสามารถลำเลียงธาตุพิษไปสะสมในส่วนที่ไม่ไวต่อธาตุพิษ เพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับส่วนที่สำคัญของพืช

2. ผลของการเติมเถ้าลอยลิกไนต์ต่อผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือก

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (540.45 กก./ไร่) หรือการเติมเฉพาะปุ๋ยเคมี (513.53 กก./ไร่) มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับดินเดิม (431.87 กก./ไร่) (Figure 2) โดยที่เถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจาก ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารที่มีอยู่ในเถ้าลอย ละลายออกมาอยู่ในรูปทางเคมีที่ต้นข้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ซิลิกอนที่มีอยู่มากในเถ้าลอยลิกไนต์ ($47.06\% \text{ SiO}_2$) น่าจะมีส่วนลดการตรึงฟอสเฟต โดยสารประกอบซิลิเกต จะเข้าไปแทนที่ฟอสเฟตที่ถูกตรึงอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว และทำปฏิกิริยากับ Fe, Al oxides ทำให้ปริมาณความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเพิ่มขึ้น (ทศนีย์, 2534 ; รัตนชาติ, 2544 ; สรสิทธิ์, 2511 ; Takahashi, 1968) นอกจากนี้ซิลิกอนที่ต้นข้าวดูดดึงขึ้นไป จะไปสะสมที่ผิวใบ และลำต้น ทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น ลำต้นแข็งแรง เพิ่มความต้านทานโรคและแมลงที่จะมากัดกินต้นข้าว (ทศนีย์, 2534 ; Yoshida, 1981) จึงน่าจะมีส่วนทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น



1 ha = 6.25 rai

Figure 2 The effect of applying chemical fertilizer and lignite fly ash on Grain yield (kg/rai) of KDML105

สรุป

ถั่วลยอกไนต์ ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารที่สามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารได้ อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงปริมาณธาตุพืชที่มีอยู่ในถั่วลยอกไนต์ด้วย หากนำถั่วลยอกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การเติมถั่วลยอกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลในการเพิ่มอณูนิยมนในต้นข้าว (ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบ) อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณนิกเกิลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในฟางข้าวเท่านั้น ส่วนปริมาณแคดเมียมใน ฟางข้าว ข้าวสาร และแกลบมีน้อยมาก นอกจากนี้การเติมถั่วลยอกไนต์ร่วมกับปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า มีความเสี่ยงจากธาตุพิษ (นิกเกิล แคดเมียม และอณูนิยมน) น้อยมากจนไม่น่ากังวล เมื่อนำถั่วลยอกไนต์ 0.50 ตัน/ไร่ ไปใช้ประโยชน์ในการปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2543. ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารของพืช เอกสารประกอบภาพ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร. 119 หน้า.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2542. การแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. กองการพิมพ์ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กฟผ. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ลำปาง.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 528 หน้า.
- ดุชนี สุทธิปริยาศรี. 2532. โภชนศาสตร์คลินิก. โครงการตำราวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร. 368 หน้า.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2531.ดินที่ใช้ปลูกข้าว. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 393 หน้า
- รัตนชาติ ช่วยบุตตา. 2544. อิทธิพลของฟอสฟอรัสและซิลิกอนต่อผลผลิตและการดูดซับธาตุอาหารของข้าวและข้าวโพดที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด ชุดดินรังสิตกรดจัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สรสิทธิ์ วัชรโยธาน. 2511. เคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 237 หน้า.
- สันติ บุญฟ้าประทาน. 2526. ผลของแคดไอออนของแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี ต่อปรากฏการณ์การขาดเหล็กในพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- อรรณพ ศิริรัตน์พิริยะ. 2544. การประเมินความเป็นประโยชน์ถั่วลยอกไนต์ต่อการปลูกพืชอาหารสัตว์, การประชุมวิชาการการขยายปรับปรุงพันธุ์และความสมบูรณ์ในพันธุ์สัตว์ เรื่องการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างยั่งยืนในการผลิตสัตว์. คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- De Datta, S.K. 1978. Mineral Nutrition and Fertilizer Management of Rice, In Principles and Practices of Rice Production. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines. : 348-419.
- Hewitt, E.J. 1953. Metal interrelationship in plant nutrition. J. Exper. Bot 4 : 59-64.

- Jaffer, T., Brooks, R.R., Lee, J. and Reeves, R.D. 1976. "*Sebertia acuminata* : A Hyperaccumulator of Nickel from New Caledonia." Science 193 : 579-580.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern. 655 p.
- Takahashi, E. 1968. Silica as a Nutrient to the Rice Plant. JARQ 3(3) : 1-4.
- Tanaka, A., and S. Yoshida. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull. 10 p.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines. 267 p.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1988. Waste from the Combustion of Coal by Electric Utility Power plants. U.S. EPA Rep. 530-SW-88-002. U.S.EPA, Washington, D.C.