ผลของยิปซัมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อคุณสมบัติบางประการของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1

Effects of Flue Gas Desulfurization Gypsum on Selected Soil Properties and Rice Growth cv. Sanpatong 1

จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์*
Jakchaiwat Kaweewong
จำเนียร มีสำลี*
Jumnian Meesumlee
ไกรวุฒิ สมปุก**
Kraiwut Sompuk

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของยิปซัมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization Gypsum, FGD-Gypsum) ต่อคุณสมบัติบางประการของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 โดยทำการปลูก ในกระถางเป็นเวลา 130 วัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ ประกอบด้วย FGD-Gypsum อัตรา 0, 250, 500, 1000 และ 2,000 กิโลกรัม/ไร่ โดยแยกทำการทดลองในชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม ผลการทดลองพบว่าทั้ง 2 ชุดดินมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยลดลงตามอัตรา FGD-Gypsum ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) และค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตรา FGD-Gypsum ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) เช่นกัน อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของทั้งสองชุดดินเพียงเล็กน้อย ในส่วนของการเจริญเติบโตของข้าวพบว่านอกจากค่าความสูงเฉลี่ย การใช้ FGD-Gypsum กับข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในชุดดินหางดงไม่มีผลต่อจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และผลผลิตของข้าว สำหรับข้าวที่ปลูกในชุดดินแม่ริม พบว่าอัตรา FGD-Gypsum ที่แตกต่างกันทำให้ความสูง จำนวนต้นต่อกอ และผลผลิตของข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดย FGD-Gypsum ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ข้าวมีความสูงที่สุดเฉลี่ย 101.9 เซนติเมตร และอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ทำให้จำนวนต้นต่อกอและผลผลิตของข้าวสูงที่สุดเฉลี่ย 12.9 ต้นต่อกอ และ 316.8 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า FGD-Gypsum สามารถปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของดินให้ดีขึ้น และสามารถเพิ่มผลผลิตให้แก่ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในดินที่ขาดแคลนแคลเซียมและซัลเฟอร์ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณที่ใช้เพื่อไม่ให้พืชได้รับผลกระทบจากความเค็มรวมทั้งสมดุลของธาตุอาหารอื่นๆ ที่เกิดจากการใส่ FGD-Gypsum ที่มากเกินไป

คำสำคัญ : ยิปซัมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ / ข้าว / ชุดดินหางดง / ชุดดินแม่ริม

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
**นักศึกษาสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the effects of flue gas desulfurization gypsum (FGD-Gypsum) on selected soil properties and rice growth. The design of the experiment was completely randomized design (CRD). There were five treatments and eight replications. The FGD-Gypsum treatment structure comprised 0, 250, 500, 1,000 and 2,000 kg/rai. Hang Dong (Hd) and Mae Rim (Mr) series were used in this experiment. Rice (*Oryza sativa* L.) cv. Sanpatong 1 was grown in pots for 130 days. The results revealed that average bulk density of Hang Dong and Mae Rim soil series decreased significantly ($p \leq 0.01$) with increasing rates of the FGD-Gypsum while average electrical conductivity (EC) increased significantly ($p \leq 0.01$) with increasing rates of FGD-Gypsum. However, FGD-Gypsum has little or no effect on average soil pH of both soil series. The results of growth of rice cv. Sanpatong 1 on the Hang Dong series with FGD-Gypsum application showed that plant height increased with increasing FGD, while average numbers of tillers per plant, number of panicle per hill and yield had no statistically significant difference. However, the results of those with rice grown on the Mae Rim series revealed that plant height, number of panicles per hill and plant biomass generally increased significantly ($p \leq 0.05$) until FGD-Gypsum rate ranged from 500 to 1,000 kg/rai. The FGD-Gypsum rate at 500 kg/rai gave the maximum plant height at 101. 9 cm while tiller per plant (12.9) and yield (316.8 kg/rai) of the FGG-Gypsum rate at 1,000 kg/rai were the highest. This study suggests that the FGD-Gypsum can improve soil physical properties and increase rice yield grown on low calcium and sulfur soils. Applying amounts of FGD-Gypsum should be moderate, however, because very high levels can lead to excess salts including nutrient imbalance, which can be detrimental. Further studies are needed to better identify which soils benefit from FGD-Gypsum.

Keywords : Flue Gas Desulfurization Gypsum / Rice / Hang dong series / Mae Rim series

บทนำ

ยิปซัมเป็นแร่กำมะถันชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปของเกลือซัลเฟต มีสูตรทางเคมีว่า $CaSO_4.2H_2O$ มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ 18% และมีแคลเซียมอยู่ 23% (ปิยะ, 2553) สามารถเกิดได้ทั้งในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โดยยิปซัมที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า Flue Gas Desulfurization Gypsum หรือ FGD-Gypsum (Norton & Rhoton, 2007) ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรเช่นเดียวกับยิปซัมตามท้องตลาดทั่วไป (Lebron, et at., 2002) ในปัจจุบันได้มีการนำยิปซัมซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการปรับปรุงบำรุงดินและใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช (American Coal Ash Association, 2015) เป็นที่รู้กันว่ายิปซัมมีศักยภาพในการเพิ่มธาตุแคลเซียมและซัลเฟอร์ให้แก่ดิน (Katerina, et al., 2005) นอกจากนี้แคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบหลักของ FGD Gypsum เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ซึ่งมีบทบาทช่วยให้อนุภาคดินเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นเม็ดดินที่เสถียร (Marchis, et al., 2016) ส่งผลให้ดินมีการระบายน้ำและ

ถ่ายเทอากาศได้ดี เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชและการแพร่กระจายของระบบราก ทำให้ประสิทธิภาพของระบบรากพืชในการดูดใช้ธาตุอาหารและน้ำสูงขึ้น พืชทนต่อภาวะแห้งแล้งจากฝนทิ้งช่วงได้มากขึ้น (Clark, et al., 1999) ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของ FDG-Gypsum ในภาคการเกษตรของประเทศไทยมาบ้างแล้ว และในต่างประเทศก็มีการศึกษาที่บ่งชี้ว่าสามารถใช้เป็นสารปรับปรุงดินและสามารถเพิ่มผลผลิตของพืชได้ (จักรชัยวัฒน์, 2561) โดยในปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ขาย FGD-Gypsum (ความชื้นประมาณ 15%) แบบเทกอง ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในราคาตันละ 20 บาท ซึ่งการนำยิปซัมดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ เกษตรกรจะมีต้นทุนเป็นเพียงค่าใช้จ่ายในด้านขนส่งและค่าแรงในไร่นาเท่านั้น (ปฏิภาณ และคนอื่นๆ, 2560) ดังนั้นการศึกษาผลของ FGD-Gypsum ต่อการผลิตข้าวน่าจะเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการใช้ยิปซัมเพื่อการเกษตรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเกษตรได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดลอง ณ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ระหว่างเดือนเมษายน 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ดินที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม ทำการทดลองในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว โดยแต่ละชุดดินจะใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ กำหนดอัตราของยิปซัมโดยยึดข้อเสนอแนะจากสำเนา (2553) และ ปฏิภาณ และคนอื่นๆ (2560) ซึ่งการทดลองทั้ง 2 ชุดดินประกอบไปด้วย

กรรมวิธีที่ 1 FGD-Gypsum อัตรา 0 กิโลกรัม/ไร่ (0 กรัม/กระถาง)
กรรมวิธีที่ 2 FGD-Gypsum อัตรา 250 กิโลกรัม/ไร่ (15 กรัม/กระถาง)
กรรมวิธีที่ 3 FGD-Gypsum อัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ (30 กรัม/กระถาง)
กรรมวิธีที่ 4 FGD-Gypsum อัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ (60 กรัม/กระถาง)
กรรมวิธีที่ 5 FGD-Gypsum อัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ (120 กรัม/กระถาง)

การเตรียมงานทดลองและการปลูก

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ ชุดดินหางดงจากพื้นที่แปลงนาของเกษตรกร ตำบลนาแก้ว อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง พิกัดแปลง 18.111˚N, 99.335˚E ซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทรายแป้ง จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อละเอียด (fine, mixed, semiactive, isohyperthermic typic endoaqualfs) สีเทาแก่ และชุดดินแม่ริม บริเวณศูนย์การเรียนรู้เกษตรผสมผสานตามแนวพระราชดำริ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง พิกัดแปลง 18.229˚N, 99.485˚E มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (loamy-skeletal, mixed, isohyperthermic typic (Kandic) paleustults) สีน้ำตาล มีกรวดปะปนอยู่เล็กน้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, 2557) ซึ่งสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 2 ชุดดินก่อนทำการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตัวอย่างดินทั้งหมดจะถูกนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มเป็นเวลา 7 วันจากนั้นตักดินใส่ลงกระถางพลาสติกขนาด 12 นิ้ว จำนวน 80 กระถางกระถางละ 10 กิโลกรัม โดยทำการแยกแต่ละชุดดิน พร้อมทั้งทำการคลุก FGD-Gypsum ตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ตัวอย่างดินบางส่วนจะถูกแบ่งสำหรับนำมาวิเคราะห์

ปริมาณธาตุอาหารในดินอีกครั้ง เพื่อนำไปกำหนดอัตราปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยข้าว (2547) โดยใช้ชุดตรวจสอบธาตุอาหารในดินอย่างง่าย (Soil Test Kit) ตามวิธีการของทัศนีย์ และประทีป (2558) ผลการวิเคราะห์ดินด้วย Soil Test Kit ของชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม รวมทั้งอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้สำหรับข้าวในแต่ละชุดดินได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

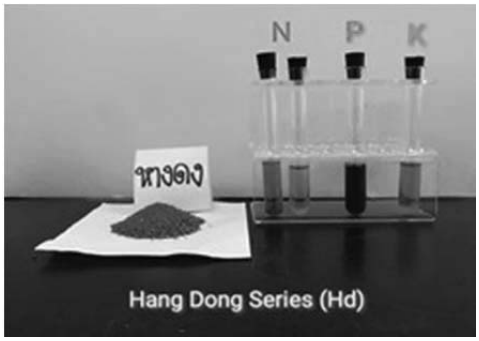
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนการทดลอง

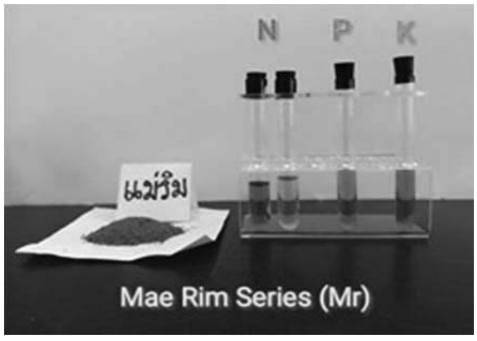
รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์	
	ชุดดินหางดง	ชุดดินแม่ริม
pH (1:5, ดิน:น้ำ)	6.43	5.65
Electrical Conductivity (EC) (เดลิซีเมนต์/เมตร) (1:1, ดิน:น้ำ)	0.26	0.15
อินทรียวัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	2.37	1.24
ไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	0.37	0.09
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	97.01	17.32
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	188.30	89.41
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,635.00	518.52
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	127.70	28.70
กำมะถันที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	27.50	5.75
เนื้อดิน (soil texture)	ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)	ร่วนปนทราย (sandy loam)
พิกัดแปลงที่เก็บตัวอย่างดิน	18.111°N, 99.335°E	18.229°N, 99.485°E

สำหรับพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลองได้แก่ พันธุ์สันป่าตอง 1 เป็นพันธุ์ข้าวเหนียว สูงประมาณ 110-119 เซนติเมตร ไม่ไวต่อช่วงแสง ทรงกอตั้ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบธงตั้งตรง รวงยาว ระแง้ถี่ รวงแน่น คอรวงสั้น ฟางแข็ง ใบแก่ช้า เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง นิยมปลูกในพื้นที่นาชลประทานเขตภาคเหนือตอนบน สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ผลผลิตเฉลี่ย 630 กิโลกรัม/ไร่ มีความต้านทานโรคใบไหม้และโรคขอบใบแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ทำการปลูกลงในกระถางเมื่อต้นกล้ามีอายุได้ 20 วัน คัดเลือกต้นที่สมบูรณ์มากที่สุด โดยปลูกกระถางละ 3 ต้น ในระหว่างการปลูกจะมีการควบคุมระดับน้ำให้คงที่ กำจัดวัชพืชโดยวิธีกลทุก 30 วัน และเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดเมื่อข้าวมีอายุ 130 วันหลังปักดำ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ดินด้วยชุดตรวจสอบธาตุอาหารในดินอย่างง่าย (Soil Test Kit) และคำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

ตัวอย่างดิน	ปริมาณไนโตรเจน		ปริมาณฟอสฟอรัส	ปริมาณโพแทสเซียม
	แอมโมเนียม	ไนเตรท		
1. ชุดดินหางดง	ปานกลาง (M)	ต่ำ (L)	สูง (H)	ปานกลาง (M)
2. ชุดดินแม่ริม	ต่ำ (L)	ต่ำ (L)	ต่ำ (L)	ต่ำ (L)





คำแนะนำปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน (สถาบันวิจัยข้าว, 2547)

1. ชุดดินหางดง: ครั้งที่ 1 (ปุ๋ยรองพื้น)* 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัม/ไร่, 18-46-0 อัตรา 3 กิโลกรัม/ไร่ และ 0-0-60 อัตรา 4 กิโลกรัม/ไร่, ครั้งที่ 2 (ปุ๋ยแต่งหน้า)** 46-0-0 อัตรา 4 กิโลกรัม/ไร่
2. ชุดดินแม่ริม: ครั้งที่ 1 (ปุ๋ยรองพื้น)* 46-0-0 อัตรา 3 กิโลกรัม/ไร่, 18-46-0 อัตรา 15 กิโลกรัม/ไร่ และ 0-0-60 อัตรา 9 กิโลกรัม/ไร่, ครั้งที่ 2 (ปุ๋ยแต่งหน้า)** 46-0-0 อัตรา 9 กิโลกรัม/ไร่

*ใส่หลังจากปักดำข้าวทันที ** ใส่ในช่วง 30 วันหลังปักดำ

การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในแต่ละชุดดิน ทำการเก็บข้อมูลทางด้านจำนวนต้นต่อกอในที่ระยะข้าวเริ่มให้กำเนิดช่อดอก (60 วันหลังปักดำ) เนื่องจากเป็นระยะที่ข้าวแตกกอได้สูงสุด (บุญหงษ์, 2553) สำหรับความสูง ทำการเก็บข้อมูลโดยวัดจากโคนต้นถึงคอรวง เมื่อข้าวเริ่มออกรวง (90 วันหลังปักดำ) เมื่อข้าวอายุได้ 130 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตทั้งหมดในทุกกระถาง เพื่อบันทึกข้อมูลจำนวนรวงต่อกอและน้ำหนักผลผลิตที่ระดับความชื้น 15% พร้อมกับสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 15 เซนติเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีบางประการ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม โดยวิธี Core Method, ความเป็นกรด-ด่างของดิน (soil pH) วัดโดย pH meter โดยใช้อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 และค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity : EC) วัดโดย conductivity meter อัตราส่วน ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2530) โดยข้อมูลทั้งหมดถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัย

ผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อสมบัติบางประการของดิน

ผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดินที่ความลึก 15 เซนติเมตร ในช่วงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยทำการบันทึกข้อมูล 3 ค่า ได้แก่ความหนาแน่นรวม ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และความเป็นกรด-ด่างของดิน พบว่าการใช้ FGD-Gypsum ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับส่งผลทำให้ความหนาแน่นรวมของทั้งชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ซึ่งการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ชุดดินทั้งสองมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ยลดลงต่ำสุด โดยวัดค่าได้ 1.24 และ 1.53 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้การใช้ FGD-Gypsum ทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของชุดดินทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) ด้วยเช่นกัน โดยพบว่าการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 500-2,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ชุดดินหางดงมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด โดยวัดได้ในช่วง 0.37-0.39 เดลิซีเมนส์/เมตร ส่วนชุดดินแม่ริม FGD-Gypsum ในอัตรา 2,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด โดยวัดได้ 2.24 เดลิซีเมนส์/เมตร สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของดินพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งในชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม แต่อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่สูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของทั้งสองชุดดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ตารางที่ 3)

ผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

การศึกษาผลของการใช้ FGD-Gypsum ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต ของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยทำการบันทึกข้อมูล 4 ค่า ได้แก่ ความสูง จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนักผลผลิต พบว่าในชุดดินหางดง FGD-Gypsum ในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละระดับ ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 100.2-112.7 เซนติเมตร โดยกรรมวิธีที่มีการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ มีค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุด 112.7 เซนติเมตร สำหรับจำนวนต้นต่อกอและจำนวนรวงต่อกอพบว่าทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในส่วนของผลผลิตพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นกัน แต่การใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ข้าวมีผลผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงสุด คิดเป็น 405.6 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่มากกว่า 500 กิโลกรัม/ไร่ ในชุดดินหางดงมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง (ภาพที่ 1 ก)

ตารางที่ 3 ผลของ FGD-Gypsum ต่อคุณสมบัติบางประการของชุดดินหางดง และชุดดินแม่ริมภายหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ชุดดิน (soil series)	อัตรา FGD-Gypsum (กิโลกรัม/ไร่)	ความหนาแน่นรวม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	Electrical Conductivity (EC) (เดลิซีเมนส์/เมตร)	soil pH
ชุดดินหางดง	0	1.35 ± 0.04^{a}	0.24 ± 0.02^{b}	6.94 ± 0.07
	250	1.30 ± 0.05^{ab}	0.27 ± 0.02^{b}	6.99 ± 0.07
	500	1.29 ± 0.06^{bc}	0.39 ± 0.09^{a}	7.02 ± 0.07
	1000	1.27 ± 0.05^{bc}	0.37 ± 0.06^{a}	7.00 ± 0.18
	2000	1.24 ± 0.07^{c}	0.38 ± 0.05^{a}	7.03 ± 0.07
	F-Test	*	*	ns
	C.V. (%)	4.26	16.58	1.39
ชุดดินแม่ริม	0	1.66 ± 0.05^{a}	0.19 ± 0.01^{d}	6.94 ± 0.06
	250	1.61 ± 0.03^{a}	0.29 ± 0.07^{d}	6.94 ± 0.11
	500	1.62 ± 0.04^{a}	0.78 ± 0.34^{c}	6.98 ± 0.15
	1000	1.62 ± 0.09^{a}	1.36 ± 0.38^{b}	6.98 ± 0.06
	2000	1.53 ± 0.07^{b}	2.24 ± 0.39^{a}	7.04 ± 0.11
	F-Test	*	*	ns
	C.V. (%)	3.82	29.38	1.61

หมายเหตุ: 1) ค่าเฉลี่ยที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามการเปรียบเทียบแบบ Fisher's Least Significant Difference (LSD)

2) * = significant at 0.05, ns = non-significant

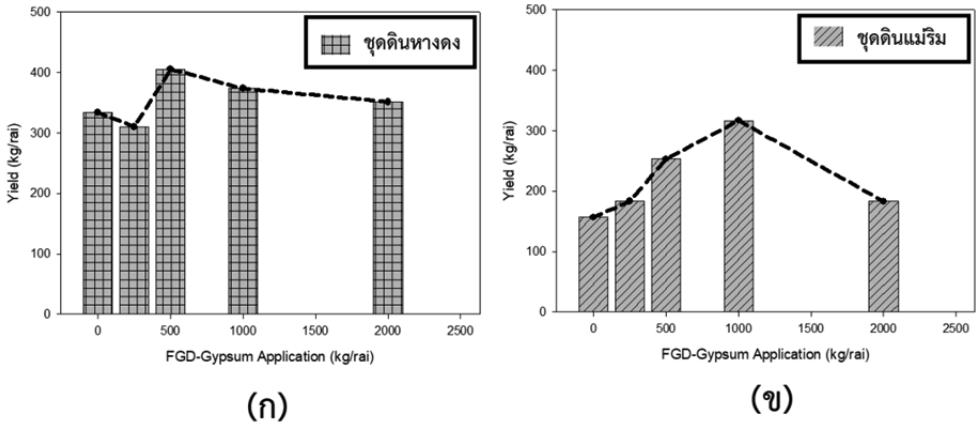
ในส่วนของชุดดินแม่ริม พบว่าการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละระดับ ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีความสูงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 92.8-101.9 เซนติเมตร โดยกรรมวิธีที่มีการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 500 กิโลกรัม/ไร่ มีค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุด 101.9 เซนติเมตร นอกจากนี้อัตรา FGD-Gypsum ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับนี้ ยังส่งผลทำให้จำนวนต้นต่อกอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในช่วง 10.3-12.9 ต้น/กอ ซึ่งการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 1000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ข้าวมีจำนวนต้นต่อกอเฉลี่ยสูงสุด คือ 12.9 ต้น อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ทุกกรรมวิธีไม่ทำให้จำนวนรวงต่อกอมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในส่วนของผลผลิตพบว่าการใช้ FGD-Gypsum ในอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ข้าวมีผลผลิตเฉลี่ยสูงกว่าการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเท่ากับ 316.8 กิโลกรัม/ไร่ อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่มากกว่า 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ในชุดดินแม่ริมมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง (ภาพที่ 1 ข)

ตารางที่ 4 ผลของ FGD-Gypsum ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริม

ชุดดิน (soil series)	อัตรา FGD-Gypsum (กิโลกรัม/ไร่)	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนต้น (ต้น/กอ)	จำนวนรวง (รวง/กอ)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
ชุดดินหางดง	0	109.5 ± 9.2^{ab}	10.4 ± 4.4	9.8 ± 1.2	334.1 ± 135.3
	250	111.0 ± 7.0^{ab}	10.3 ± 1.6	10.3 ± 2.0	309.9 ± 122.7
	500	112.7 ± 11.5^{a}	10.8 ± 4.4	10.1 ± 1.7	405.6 ± 147.5
	1000	106.4 ± 14.7^{ab}	11.1 ± 2.5	11.0 ± 1.4	373.6 ± 134.1
	2000	100.2 ± 9.2^{b}	12.3 ± 3.0	9.9 ± 1.6	351.6 ± 109.1
	F-Test	*	ns	ns	ns
	C.V. (%)	9.88	30.77	15.61	51.22
ชุดดินแม่ริม	0	92.9 ± 9.24^{b}	10.5 ± 1.9^{b}	9.8 ± 0.9	156.6 ± 87.8^{b}
	250	92.8 ± 9.24^{b}	10.3 ± 1.8^{b}	9.6 ± 2.1	183.5 ± 66.8^{b}
	500	101.9 ± 9.24^{a}	12.0 ± 2.2^{ab}	9.6 ± 1.6	235.1 ± 70.3^{ab}
	1000	98.9 ± 9.24^{ab}	12.9 ± 2.7^{a}	11.1 ± 1.4	316.8 ± 96.2^{a}
	2000	95.8 ± 9.24^{ab}	10.9 ± 2.5^{ab}	10.0 ± 1.2	183.0 ± 69.1^{b}
	F-Test	*	*	ns	*
	C.V. (%)	7.94	20.30	14.90	53.91

หมายเหตุ: 1) ค่าเฉลี่ยที่ใช้ตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามการเปรียบเทียบแบบ Fisher's Least Significant Difference (LSD)

2)* = significant at 0.05, ns = non-significant



ภาพที่ 1 ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ปลูกในชุดดินหางดง (ก) และชุดดินแม่ริม (ข) ภายใต้การใช้ FGD-Gypsum ในแต่ละอัตรา

อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของยิปซัมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD-Gypsum) ต่อสมบัติบางประการของดินและการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 พบว่า FGD-Gypsum มีผลต่อความหนาแน่นรวมของดินอย่างมาก โดยทำให้ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริมลดลงตามการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความแน่นทึบของดินที่ลดลงเป็นผลมาจากการเติม FGD-Gypsum ลงไป (Marchis, et al., 2016) Buckley และ Wolkowski (2014) และ Yu, et al. (2014) รายงานไปในทำนองเดียวกันว่า FGD-Gypsum สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้นได้ เนื่องจากแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) จากยิปซัมจะช่วยทำให้อนุภาคดินเกิดการเกาะกลุ่มเป็นเม็ดดินที่เสถียร โครงสร้างของดินถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของก๊าซออกซิเจน ทำให้ดินมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดี ซึ่งเหมาะแก่การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของรากพืช ในส่วนของค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย (EC) ของทั้ง 2 ชุดดิน พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับของ FGD-Gypsum ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chun, et al. (2007) และ Yonggan, et al. (2017) ที่รายงานว่าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติม FGD-Gypsum ลงไปในดินเช่นกัน ค่าการนำไฟฟ้าของดินถูกใช้เป็นตัวประมาณค่าของเกลือที่ละลายในน้ำที่สกัดออกมาจากดิน ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีของความเค็มที่บอกได้ว่าพืชจะเจริญเติบโตเป็นปกติหรือไม่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยปกติแล้วยิปซัมที่ได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีปริมาณของเกลือที่ละลายน้ำได้ปนอยู่ด้วย (Baligar, et al., 2011) ซึ่งผลจากการทดลองนี้ชี้ให้เห็นชัดว่าค่าการนำไฟฟ้าของดินที่เพิ่มสูงขึ้น เกิดจากการใช้ FGD-Gypsum ที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม FGD-Gypsum ไม่มีผลหรือมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน แม้จะถูกใส่ในปริมาณที่สูงก็ตาม Fisher (2011) รายงานว่าปกติการเติม FGD Gypsum หรือยิปซัมธรรมชาติลงไปในดินทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินกรด จะไม่ช่วยยกระดับ pH ของดินให้สูงขึ้น หรือสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นหากเทียบกับปูน ทั้งนี้เนื่องจาก FGD-Gypsum เป็นเกลือ ($CaSO_4$) ที่แตกตัวได้ 100% จึงทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการยกระดับของค่าความเป็นกรด-ด่างของดินดังกล่าว

ในส่วนของการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 พบว่าการใช้ FGD-Gypsum ในอัตราไม่เกิน 500 กิโลกรัม/ไร่ ในชุดดินหางดงและชุดดินแม่ริมทำให้ความสูงเฉลี่ยของข้าวมีค่าสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan, et al. (2006) ที่ใช้ยิปซัมในอัตรา 320 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ข้าวที่ปลูกในดินเหนียวปนทรายแป้งมีความสูงอยู่ในช่วง 108.8-114.3 เซนติเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้ในชุดดินหางดงซึ่งมีลักษณะเป็นดินเนื้อละเอียดเช่นเดียวกัน (112.7 เซนติเมตร) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ในชุดดินหางดงไม่ทำให้จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ สันป่าตอง 1 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นไปได้ว่าดินมีธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวอันเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน รวมทั้งธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินดั้งเดิมมีปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุแคลเซียมและซัลเฟอร์ (ตารางที่ 1) ซึ่งเทียบตามเกณฑ์การประเมินปริมาณธาตุอาหารในดินของ Horneck, et al. (2011) จึงทำให้ข้าวไม่ตอบสนองต่อการใช้ FGD-Gypsum ปฏิภาณ และคนอื่นๆ (2560) รายงานว่า เคยมีการทดลองใช้ FGD-Gypsum จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะกับข้าว ถั่วเหลือง และถั่วลิสง ในเขตชลประทานทางภาคเหนือของประเทศ โดยผลการศึกษาพบว่าการใช้ยิปซัมดังกล่าวมีแนวโน้มทำให้ปริมาณแคลเซียม และซัลเฟอร์ในดินสูงขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการทดลองในชุดดินที่มีปริมาณของธาตุอาหารดั้งเดิมเพียงพอต่อความต้องการของพืชอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้ FGD-Gypsum น่าจะเหมาะกับดินที่ขาดแคลนธาตุแคลเซียม และซัลเฟอร์มากกว่า ซึ่งการรายงานดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองเมื่อมีการใช้ FGD-Gypsum กับชุดดินแม่ริมที่มีปริมาณของธาตุแคลเซียมและซัลเฟอร์อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 1) (Horneck, et al., 2011) อันเนื่องมาจากสมบัติ

พื้นฐานบางประการของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) การใช้ FGD-Gypsum จึงส่งผลให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยการใช้ในอัตรา 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ผลผลิตของข้าวมีค่าสูงสุด และ สูงกว่าการไม่ใส่ FGD-Gypsum ประมาณ 2 เท่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shaban, et al. (2013) ที่รายงานว่าการใช้ยิปซัมในปริมาณ 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่ ในดินร่วนปนทรายทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณแหล่งของธาตุอาหารรองในดินที่ขาดแคลนโดยเฉพาะอย่างยิ่งซัลเฟอร์ จะส่งผลในด้านบวกต่อผลผลิตของข้าวอย่างมาก Tan, et al. (2000) รายงานว่าการให้ซัลเฟอร์ในรูปของ แอมโมเนียมซัลเฟตหรือยิปซัม สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึง 10% เมื่อเทียบกับแปลงควบคุม ซึ่ง Azza, et al. (2011) และ Jena และ Kabi (2012) ก็ได้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน

การศึกษาในครั้งนี้สามารถให้คำแนะนำอัตราการใส่ FGD-Gypsum ให้กับข้าวที่ปลูกในดินเนื้อหยาบหรือดินที่มีปริมาณของแคลเซียมและซัลเฟอร์ที่ต่ำได้ว่าควรใส่ไม่เกิน 1000 กิโลกรัม/ไร่ เมื่อเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมด้วย ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของข้าว แต่อย่างไรก็ตามการใช้ FGD-Gypsum ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินของทั้ง 2 ชุดดินในการทดลองครั้งนี้ยังให้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 630 กิโลกรัม/ไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2547) อยู่มาก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ข้าวที่ปลูกในกระถางทดลองส่วนหนึ่งเกิดโรคใบสีส้ม ซึ่งเกิดจากเชื้อไว้รัส เยลโล โอเรนจ์ลีฟไวรัส (yellow orange leaf virus) โดยมีแมลงเพลี้ยจักจั่นสีเขียวเป็นพาหะในช่วงระยะที่ข้าวกำลังแตกกอ ส่งผลทำให้ต้นแคระแกร็น แตกกอน้อย รวงข้าวมีเมล็ดน้อย รวมทั้งมีน้ำหนักของเมล็ดเบากว่าปกติ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางที่อนุเคราะห์ FGD-Gypsum จำนวน 10 กระสอบเพื่อใช้ในการทดลองในครั้งนี้ และขอบคุณสาขาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางสำหรับการสนับสนุนด้านวัสดุ อุปกรณ์ทางการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2530). **คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** กรงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. (2548). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรชัยวัฒน์ กาวีวงศ์. (2561). การใช้ยิปซัมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเกษตร. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, **36**(1),161-172**.**

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. (2558). **ธรรมชาติของดินและปุ๋ย**. (พิมพ์ครั้งที่ 13). กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

บุญหงษ์ จงคิด. (2553). **ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และคนอื่นๆ. (2560). การตอบสนองของอ้อยต่อ FGD ยิปซัมในดินที่ขาดแคลน Ca และ S. ใน **การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 5**, หน้า 34-40. กรุงเทพฯ : โรงแรม เซ็นทรา บาย เซ็นทรา.

ปิยะ ดวงพัตรา. (2553). **สารปรับปรุงดิน.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจัยข้าว, สถาบัน. (2547). **คำแนะนำการใช้ปุ๋ยเคมีในนาข้าวตามค่าวิเคราะห์ดิน**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

วิชาการเกษตร, กรม. (2547). **เอกสารวิชาการข้าว**. [Online]. Available : http://www.ricethailand.go.th/Rkb/manual/data_012/E-book/Eb_001.PDF [2561, เมษายน 20].

สำเนา เพชรฉวี. (2553). **กรีนแคล ยิปซัมเพื่อการเกษตร**. [Online] Available : http://www.bktgypsum.com/cgi-bin/mainframe_th.pl?showp=news_ content_ th3.html. [2560, เมษายน 25].

สำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน, สำนัก. (2557). **ลักษณะและสมบัติของชุดดินหลักในภาคเหนือ.** [Online]. Available : http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/knownlg/series_n2557.htm [2561, มีนาคม 30].

American Coal Ash Association. (2015). **Coal combustion products production and use statistics**. [Online]. Available : https://www.acaa-usa.org/Publications /Production-Use-Reports [2018, April 12].

Azza, A.M.M., Mahgoub, H.M. & Abd El-Aziz, N.G. (2011). Response of *Schefflera arboricola* L. to gypsum and sulphur application irrigated with different levels of saline water. **Aust. J. Basic & Appl. Sci.**, **5**, 121-129.

Baligar, V.C., et al. (2011). Flue gas desulfurization product use on agricultural land. **Advances in Agronomy**, **111**, 51-86.

Buckley, M.E. & Wolkowski, R.P. (2014). In-season effect of flue gas desulfurization gypsum on soil physical properties. **J. Environ. Qual., 43**, 322-327.

Chun S., Nishiyama, M. & Matsmoto, S. (2007). Response of corn growth in salt-affected soils of north-east China to flue-gas desulfurization by-product. **Commun. Soil. Sci. Plan., 38**, 813-825.

Clark, R.B., et al. (1999). Boron accumulation by maize grown in acidic soil amended with coal combustion products. **Fuel, 78**, 179-185.

Fisher, M. (2011). **Amending soils with gypsum**. [Online]. Available : https://www.agronomy.org/files/publications/crops-and-soils/amending-soils-with-gypsum.pdf [2018, April 20].

Horneck D.A., et al. (2011). **Soil test interpretation guide**. [Online]. Available : http://extension.oregonstate.edu/sorec/sites/default/files/soil_test_interpretationec 1478.pdf [2018, April 27].

Jena, D. & Kabi, S. (2012). Effect of gromor sulphur, bentonite sulphur pastilles on yield and nutrient uptake by hybrid rice-potato-green gram cropping system in an inceptisol. **Int. Res. J. of Agric. Sci. Soil Sci**., **2**, 179-187.

Katerina, D., et al. (2005). **Gypsum for agricultural use in Ohio sources and quality of available products**. [Online]. Available : https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-20 [2018, March 16].

Khan, R., et al. (2006). Effect of gypsum application on rice yield under wheat rice system. **Int. J. Agri. Biol., 8**(4), 535-538.

Lebron, I., Suares, D.L. & Yoshida, T. (2002). Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soil under reclamation. **Soil Science Society of America Journal, 66**, 92-98.

Marchis, D., Badulescu, C. & Nistor, M.C. (2016). Benefit of using fgd gypsum from S.E. Turceni in agriculture. **J. Agri. Sci., 48**, 247-253.

Norton, L.D. & Rhoton, F. (2007). **FGD gypsum influences on soil surface sealing, crusting, infiltration and runoff.** [Online]. Available : http://library.acaa-usa.org/5-GD_Gypsum_ Influences_on_Soil_Surface_Sealing_Crusting_Infiltration_and_Runoff.pdf [2018, April 15].

Shaban, K.H.A., Helmy, A.M. & El-Galad, M. (2013). Role of gypsum and sulphur application in ameliorating saline soil and enhancing rice productivity. **Acta Agronomica Hungarica, 61**(4), 303-316.

Tan, H., et al. (2000). Effect of various sulphur sources on yield and soil sulphur balance in a rice-rice cropping pattern in Guangxi province. **Better Crops International, 14,** 24-25.

Yonggan, Z., et al. (2017). **Combined application of a straw layer and flue gas desulfurization gypsum to reduce soil salinity and alkalinity**. [Online]. Available : https://www.sciencedirect.com/science/ article/pii/S1002016017604806 [2018, April 27].

Yu, H.L., et al. (2014). Effects of sodic soil reclamation using flue gas desulphurization gypsum on soil pore characteristics, bulk density, and saturated hydraulic conductivity. **Soil Sci Soc. Am. J., 78**, 1201-1213.