วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ผลของแคลเซียมซิลิเกตจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมซิลิกอนของข้าวสายพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และทับทิมชุมแพ

Effect of calcium silicate from cement industry on growth, yield and silicon accumulation of Riceberry and Tubtim Chumphae rice varieties

พฤกษ์ ชุติมานุกูล[1]* ชลธิชา จีนขำ[1] และ ศรัณภิรมย์ งามล้วน[1]

Preuk Chutimanukul[1]*, Chonticha Jeankham[1] and Sarunpirom Ngamluan[1]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120
[1] Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ: ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคหันมาดูแลสุขภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพได้รับความนิยม เนื่องจากมีโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระสูง ลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง ข้าวเป็นพืชที่สามารถสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งมีผลทางอ้อมที่ทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น แต่ว่าปัจจุบันซิลิกอนเริ่มมีราคาสูงขึ้นจึงมีการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของซิลิกอนในการปลูกข้าว วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาอัตราแคลเซียมซิลิเกตจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่ต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ใช้แคลเซียมซิลิเกต 5 ระดับ คือ 0, 200, 400, 600 และ 800 กก./ไร่ วางแผนการทดลองแบบ 2×5 Factorial in CRD โดยทำการทดลองในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือน ผลการทดลองพบว่า การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400, 600 และ 800 กก./ไร่ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400 และ 600 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต 13.15, 6.11 และ 6.07 % ตามลำดับ ในการศึกษานี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$) การสะสมซิลิกอนในส่วนของลำต้น รวง และแกลบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าวทั้งสองสายพันธุ์
คำสำคัญ: การเจริญเติบโต; ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ; ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่; แคลเซียมซิลิเกต; ผลผลิต

ABSTRACT: Rice (*Oryza sativa* L.) is a major food crop and important economic crop of Thailand. Presently, consumers are turning to concentrate on health care. Riceberry and Tubtim Chumphae are popular rice varieties because of containing a high nutrition and antioxidant content that can minimize the risk of cancer. Rice is a plant that accumulates silicon in plant tissues which indirectly affected to increased crop yield. However, silicon has a higher price in recent, the waste from cement industry can be used as silicon source. Therefore, the objective of this research was to study the levels of calcium silicate from the cement industry on growth and yield of the 2 rice varieties, which different using 5 calcium silicate levels of 0, 200, 400, 600 and 800 kg/rai. The experiment was 2×5 Factorial in completely randomized design (CRD) with conducting the experiment in pots under greenhouse condition. The results showed that application of different calcium silicate levels did not significantly affect on grain yield. However, application of calcium silicate at the rates of 200, 400 and 600 kg/rai. gave rice yield over control by 13.15, 6.11 and 6.07 %t, respectively. Tubtim Chumphae rice variety produced significantly ($P \leq 0.01$) higher grain yield than that of Riceberry rice variety. Silicon accumulation on stem, panicle and husk did not significant difference between two rice varieties.
Keywords: growth; Tubtim chumphae; Riceberry, calcium silicate; yield

* Corresponding author; plove9528@hotmail.com

Received: date; September 30, 2020 Accepted: date; February 1, 2021 Published: date; June 5, 2021

บทนำ

ปัจจุบันคนไทยหันมาดูแลสุขภาพ และนิยมการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นทั้งพืชอาหารหลัก และพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย (Liu et al., 2017) พันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมทั้งในไทย และต่างประเทศ คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากมีลักษณะเด่น คือ เป็นพันธุ์ข้าวที่มีความหอมที่เป็นเอกลักษณ์ และมีคุณภาพในการรับประทานเป็นเลิศ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559) แต่ในปัจจุบันกระแสการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพกำลังได้รับความนิยม รวมถึงในอนาคตโครงสร้างทางสังคมจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสังคมผู้สูงอายุ ความต้องการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น (คมชัดลึก, 2561) ดังนั้น ในบรรดาข้าวที่มีคุณประโยชน์ที่ผู้บริโภคนึกถึง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวที่ได้รับความนิยมในการบริโภค เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น เบต้าแคโรทีน วิตามินอี โฟเลต รวมทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการดีเด่น (Chumjit et al., 2017) ดังนั้นข้าวทั้งสองสายพันธุ์จึงสามารถตอบสนองการรับประทานอาหารเพื่อสุขภาพของคนไทยได้อย่างตรงประเด็น และควรมีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคให้เพียงพอ ซึ่งจากการศึกษาของ สมชาย (2560) รายงานว่า ซิลิกอนเป็นธาตุเสริมประโยชน์และเป็นองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและช่วยเพิ่มผลผลิตข้าว หากข้าวมีการสะสมซิลิกอนไม่เพียงพอจะทำให้ผลผลิตข้าวลดลง โดยซิลิกอนเพิ่มผลผลิตข้าวโดยการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในดอก (Kazunori and Ma, 2008) และส่งผลให้ข้าวมีเมล็ดลีบเพิ่มมากขึ้นเมื่อปลูกในสารละลายในระยะสืบพันธุ์ (reproductive growth) ของข้าว (Inanaga et al., 2002) นอกจากนี้หากข้าวขาดซิลิกอนในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) จะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตช้าและผลผลิตลดลงอย่างมาก ใบข้าวจะเหี่ยวง่ายและเนื้อใบบางส่วนตาย (Ma et al., 1989) จึงทำให้มีความต้องการปริมาณการใช้ซิลิกอนทางการเกษตรในปัจจุบันเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากซิลิกอนมีราคาสูงจึงมีการนำวัสดุเหลือจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่ไม่ผ่านมาตราฐาน (ผนังปูนสำเร็จรูป) ที่มีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบมาใช้เสริมสำหรับการปลูกข้าวในรูปของแคลเซียมซิลิเกต (Ca_2SiO_4) มาประยุกต์กับทางการเกษตรเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือก ดังนั้นการทดลองจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราของแคลเซียมซิลิเกตที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการสะสมซิลิกอนของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองภายใต้โรงเรือนปลูกพืช คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยวางแผนการทดลองแบบ 2×5 Factorial in CRD จำนวน 8 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กระถาง กระถางละ 1 ต้น ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าว ได้แก่ ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ และปัจจัยที่ 2 คือ อัตราแคลเซียมซิลิเกตที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ 5 อัตรา ได้แก่ 0, 200, 400, 600, 800 กก./ไร่ (0, 3.21, 6.41, 9.62, 12.82 ก./กระถาง) ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ SiO_2 51.65%, CaO 37.63%, Fe_2O_3 1.83%, MgO 0.56% และสารประกอบอื่น ๆ 8.33%

การปลูกและการดูแลรักษา

ทำการเพาะกล้าพันธุ์ข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ลงในถาดหลุมเพาะกล้ามีขนาด 2.4 × 2.4 × 4.0 ซม. (กว้าง×ยาว×สูง) บรรจุด้วยดินเผา ปุ๋ยอินทรีย์ และทราย อัตราส่วน 1 : 2 : 0.25 ส่วน ตามลำดับ นำไปร่อนให้ละเอียดเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก เมื่อต้นกล้าอายุครบ 14 วัน ย้ายปลูกลงกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว กระถางละ 1 ต้น โดยกระถางบรรจุดิน 5 กก./กระถาง (สมบัติของดินก่อนปลูก มีดังนี้ ค่าความเป็นกรดด่าง 6.45 ค่าการนำไฟฟ้า 0.03 เดซิซีเมน/ม. ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน 1.93 % ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน 0.12 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 6.09 มก./กก. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ 105.25 มก./กก.) และใส่แคลเซียมซิลิเกตตามอัตราที่กำหนดไว้ผสมไปพร้อมกัน รดน้ำทุกวัน หลังย้ายปลูก 10 วัน ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กก./ไร่ (0.40 ก./กระถาง) และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังย้ายปลูกด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 20 กก./ไร่ (0.32 ก./กระถาง) ตามคำแนะนำของกรมการข้าว (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559)

การบันทึกข้อมูล

การเจริญเติบโตทางลำต้น บันทึกผล ได้แก่ บันทึกการเจริญเติบโตทางลำต้น จนถึงระยะที่ข้าวตั้งท้อง ข้อมูลที่บันทึกได้แก่ ความสูงต้น ความยาวราก จำนวนการแตกกอ และน้ำหนักแห้ง (ลำต้น และราก) บันทึกหลังการเก็บเกี่ยว โดยนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 72 ชม. จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่จึงทำการชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วนำออกมาบันทึกข้อมูลน้ำหนักแห้ง

องค์ประกอบผลผลิต การบันทึกองค์ประกอบผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวจะบันทึก จำนวนรวงต่อกอ น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด (ที่ความชื้น 14%) และปริมาณผลผลิตต่อกระถาง

ความเข้มข้นของซิลิกอน วัดปริมาณซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ลำต้น ราก รวง และแกลบ ตามวิธีของ Nayar et al. (1975)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS ver. 9.0

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของแคลเซียมซิลิเกตต่อการเจริญเติบโตของข้าวสองสายพันธุ์

เมื่อเปรียบเทียบข้าวสองสายพันธุ์ต่อการตอบสนองกับการใช้แคลเซียมซิลิเกตจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่แตกต่างกัน พบว่า ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ มีน้ำหนักแห้งลำต้น (47.53 ก.) น้ำหนักแห้งราก (33.41 ก.) จำนวนต้นต่อกอ (25.26 ต้น) มากกว่าข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีความสูง (93.41 ซม.) ความยาวราก (44.88 ซม.) มากกว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (**Table 1**) สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ข้าว และปริมาณแคลเซียมซิลิเกตนั้น พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อความสูง และจำนวนต้นต่อกอ แต่มีปฏิสัมพันธ์ต่อน้ำหนักแห้งลำต้น ความยาวราก และน้ำหนักแห้งราก ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ตอบสนองต่อการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 600 กก./ไร่ ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งลำต้นมากที่สุด (56.09 ก.) ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพตอบสนองต่อการไม่ใส่แคลเซียมซิลิเกต ส่งผลให้มีความยาวรากมากที่สุด (46.01 ซม.) แต่ไม่แตกต่างกับการตอบสนองต่อแคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400, 600 และ 800 กก./ไร่ และข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ตอบสนองต่อการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200 กก./ไร่ ส่งผลให้มีน้ำหนักแห้งรากมากที่สุด (38.13 ก.) แต่ไม่แตกต่างกับการตอบสนองต่อแคลเซียมซิลิเกตอัตรา 400, 600 และ 800 กก./ไร่ (**Table 2**) ซึ่ง ยงยุทธ (2552) ได้กล่าวไว้ว่า ซิลิกอนในรูปของกรดโมโนซิลิซิกที่พืชดูดได้จะสะสมในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิว มีลักษณะบาง ๆ เรียกว่าชั้นซิลิกา (silica layer) ซึ่งประกอบด้วยซิลิกอน เซลลูโลส แพคติน และแคลเซียมช่วยทำให้ใบพืชมีความแข็งแรงมากขึ้น อีกทั้งหากข้าวขาดซิลิกอนในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative growth) จะส่งผลให้มีการเจริญเติบโตช้า และผลผลิตลดลงอย่างมาก ใบข้าวจะเหี่ยวง่าย เนื้อใบบางส่วนตาย ดังนั้นอาจถือได้ว่าซิลิกอนช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวได้ (Ma et al., 1989)

ผลของแคลเซียมซิลิเกตต่อผลผลิตของข้าวสองสายพันธุ์

เมื่อเปรียบเทียบข้าวสองสายพันธุ์ต่อการตอบสนองกับการใช้แคลเซียมซิลิเกตจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่แตกต่างกัน พบว่า ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ มีจำนวนรวงต่อต้น (20.91 รวง) มากกว่าข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพ มีน้ำหนัก 100 เมล็ด (2.23 ก.) และปริมาณผลผลิตต่อต้น (57.63 ก.) มากกว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (**Table 1**) การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตราต่างกัน คือ 200, 400, 600 และ 800 กก./ไร่ ไม่มีผลทำให้จำนวนรวงต่อต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ และไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต ในขณะที่การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตราต่างกันไม่มีผลทำให้น้ำหนัก 100 เมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใส่แคลเซียมซิลิเกตทุกอัตราให้น้ำหนัก 100 เมล็ดสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต (**Table 1**) อย่างไรก็ตามการใส่แคลเซียมซิลิเกตทุกอัตราให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกันทาง

สถิติ และไม่แตกต่างทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต แต่มีแนวโน้มว่าการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400 และ 600 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต (**Table 1**) สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ข้าว และปริมาณแคลเซียมซิลิเกตนั้น พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อจำนวนรวงต่อกอ และปริมาณผลผลิตต่อต้น แต่มีปฏิสัมพันธ์ต่อน้ำหนัก 100 เมล็ด ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพร่วมกับการใส่แคลเซียมซิลิเกต 800 กก./ไร่ ส่งผลให้มีน้ำหนัก 100 เมล็ดมากที่สุด (2.41 ก.) แต่ไม่แตกต่างกับการใส่แคลเซียมซิลิเกต 600 กก./ไร่ (2.40 ก.) (**Table 2**) คล้ายกับการศึกษาของ Kaerlek (2012) รายงานว่า หากพืชได้รับซิลิกอนในรูปของ reagent-grade Na_2SiO_3 และ siliceous liming agent (PlantTuff) ในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอ จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับการรายงานของยงยุทธ (2552) กล่าวว่า ความเป็นประโยชน์ของซิลิกอนที่มีต่อพืชนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะสมซิลิกอนในพืชแต่ละชนิดหรือสายพันธุ์ของพืช เช่น การสะสมซิลิกอนที่เปลือกเมล็ดจะช่วยลดการคายน้ำได้ 20-30 % ในระยะข้าวเป็นน้ำนม ทำให้การพัฒนาของช่อดอกสมบูรณ์มากขึ้น ผลผลิตจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Ma and Takahashi, 2002) อีกทั้งการขาดซิลิกอนในระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ มีผลทำให้การเจริญของดอกล่าช้า และการเกิดเมล็ดลีบเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมล็ดที่กำลังพัฒนามีคาร์โบไฮเดรตน้อย การแบ่งเซลล์น้อย และการพัฒนาผนังเซลล์เกิดขึ้นช้า (Inanaga et al., 2002) ด้วยเหตุนี้ ซิลิกอนจึงช่วยทำให้ข้าวมีปริมาณเมล็ดดีและปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ Wattanapayapkul et al. (2011) ศึกษาการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตราต่างกันต่อผลผลิตและยับยั้งการระบาดของโรคไหม้ข้าวที่จังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์ พบว่าการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 800 และ 1000 กก./เฮกแตร์ ให้ผลผลิตข้าวสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ใส่ (ควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่จังหวัดสุรินทร์ โดยองค์ประกอบผลผลิตสำคัญที่ให้ผลผลิตสูงขึ้นคือ จำนวนรวงและเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีเพิ่มมากขึ้น

Table 1 Effect of calcium silicate from cement industry on growth, yield components and grain yield of 2 rice varieties

Treatment	Height (cm)	Stem dry weight (g/plant)	Root length (cm)	Root dry weight (g/plant)	Tillers/plant	Panicles/plant	100 grain weight (g)	Grain yield (g/plant)
Rice Cultivars (A)								
Riceberry	71.17±1.68^{b}	47.53±8.03^{a}	36.06±2.52^{b}	33.41±4.84^{a}	25.26±2.85^{a}	20.91±1.20^{a}	2.23±0.04^{b}	47.57±3.11^{b}
Tubtim chumphae	93.41±2.02^{a}	40.05±4.24^{b}	44.88±1.75^{a}	20.15±2.12^{b}	21.81±2.06^{b}	18.96±0.90^{b}	2.35±0.06^{a}	57.63±6.94^{a}
Calcium Silicate (B)								
0 kg/rai	81.30±12.00	40.73±4.74^{b}	40.31±6.56	23.54±3.74^{b}	25.19±1.97	19.81±1.26	2.23±0.04^{b}	50.26±4.88
200 kg/rai	83.33±12.21	40.93±4.60^{b}	41.27±2.93	29.76±8.27^{a}	22.61±2.70	20.81±1.40	2.31±0.04^{a}	56.87±10.82
400 kg/rai	82.21±13.44	42.24±4.85^{b}	39.91±5.32	27.20±8.23^{ab}	23.44±3.74	19.71±1.96	2.29±0.08^{a}	53.33±7.78
600 kg/rai	82.23±11.70	49.14±8.79^{a}	40.77±4.51	26.64±7.40^{ab}	24.39±2.21	19.82±1.11	2.32±0.10^{a}	53.31±6.54
800 kg/rai	82.38±12.14	45.92±9.81^{ab}	40.09±6.71	26.77±9.16^{ab}	22.03±3.11	19.53±1.65	2.32±0.11^{a}	49.25±3.98
A	**	**	**	**	**	**	**	**
B	ns	*	ns	*	ns	ns	**	ns
A x B	ns	**	**	**	ns	ns	**	ns
CV(%)	2.35	10.81	4.33	10.91	9.57	5.55	1.36	8.60

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ and 0.01

Table 2 Interaction between 2 rice varieties and 5 calcium silicate levels on growth and yield components

Parameters	Calcium Silicate (kg/rai) (B)	Rice Varieties (A)		Average
		Riceberry	Tubtim chumphae	
Stem dry weight (g/plant)	0	38.29±3.09 ^{c}	43.18±5.35 ^{c}	40.73±4.74 ^{B}
	200	45.33±2.16 ^{bc}	36.54±4.11 ^{c}	40.93±4.60 ^{B}
	400	44.59±5.50 ^{c}	39.89±3.48 ^{c}	42.24±4.85 ^{B}
	600	56.09±5.60 ^{a}	42.19±4.10 ^{c}	49.14±8.79 ^{A}
	800	53.38±8.14 ^{ab}	38.46±2.76 ^{c}	45.92±9.81 ^{AB}
	Average	47.53±8.03 ^{A}	40.05±4.24 ^{B}	
Root length (cm)	0	34.62±0.79 ^{c}	46.01±3.10 ^{a}	40.31±6.56
	200	39.34±0.86 ^{b}	43.20±0.18 ^{a}	41.27±2.93
	400	35.27±2.25 ^{c}	44.56±1.02 ^{a}	39.91±5.32
	600	36.90±2.18 ^{bc}	44.64±1.06 ^{a}	40.77±4.51
	800	34.18±2.55 ^{c}	46.00±1.12 ^{a}	40.09±6.71
	Average	36.06±2.52 ^{B}	44.88±1.75 ^{A}	
Root dry weight (g/plant)	0	26.66±2.11 ^{b}	20.42±1.17 ^{c}	23.54±3.74 ^{B}
	200	38.13±4.39 ^{a}	21.38±3.39 ^{c}	29.76±8.27 ^{A}
	400	34.31±3.72 ^{a}	20.10±2.03 ^{c}	27.20±8.23 ^{AB}
	600	33.31±0.55 ^{a}	19.96±1.65 ^{c}	26.64±7.40 ^{AB}
	800	34.64±4.56 ^{a}	18.90±1.77 ^{c}	26.77±9.16 ^{AB}
	Average	33.41±4.84 ^{A}	20.15±2.12 ^{B}	
100 seed weight (g)	0	2.19±0.01 ^{f}	2.27±0.02 ^{def}	2.23±0.04 ^{B}
	200	2.29±0.03 ^{cd}	2.32±0.01 ^{bc}	2.31±0.04 ^{A}
	400	2.22±0.02 ^{ef}	2.36±0.04 ^{ab}	2.29±0.08 ^{A}
	600	2.23±0.01 ^{def}	2.40±0.04 ^{a}	2.32±0.10 ^{A}
	800	2.23±0.01 ^{def}	2.41±0.07 ^{a}	2.32±0.11 ^{A}
	Average	2.23±0.04 ^{B}	2.35±0.06 ^{A}	

Means followed by different letters within varieties in each factor are significantly different at the 0.05 level

ผลของแคลเซียมซิลิเกตต่อความเข้มข้นของซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืช

เมื่อเปรียบเทียบข้าว 2 สายพันธุ์ต่อการตอบสนองการใช้แคลเซียมซิลิเกตจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่า การสะสมซิลิกอนในส่วนของลำต้น รวง และแกลบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าว 2 สายพันธุ์ แต่การสะสมซิลิกอนในส่วนรากของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพมีการสะสมมากกว่าพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.01$) (**Table 3**) การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตราต่างกันมีผลทำให้การสะสมซิลิกอนของลำต้นและรากมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของรวงและ

แกลบ (**Table 3**) การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 800 กก./ไร่ มีการสะสมซิลิกอนของลำต้นมากที่สุด ในขณะที่การสะสมซิลิกอนมากที่สุดเมื่อมีการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 400 กก./ไร่ (**Table 3**) สำหรับปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ข้าว และปริมาณแคลเซียมซิลิเกตนั้น พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณซิลิกอนในส่วนของราก รวงและแกลบ แต่มีปฏิสัมพันธ์ต่อปริมาณซิลิกอนในส่วนของลำต้น ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพร่วมกับการใส่แคลเซียมซิลิเกต 800 กก./ไร่ ส่งผลให้มีปริมาณซิลิกอนในส่วนของลำต้น (2.78%) (**Table 4**) ซึ่งจากการรายงานของ Balasta et al. (1989) กล่าวว่า ซิลิกอนจะเคลื่อนย้ายจากรากไปยังส่วนเหนือดินผ่านทางไซเล็ม โดยปริมาณการสะสมซิลิกอนจะขึ้นอยู่กับการคายน้ำของอวัยวะนั้น ๆ อีกทั้งการสะสมจะเกิดขึ้นเสมอที่บริเวณปลายสุดของการคายน้ำ ใบ และลำต้นของข้าวที่มีการคายน้ำสูง จึงมีการสะสมซิลิกอนมากขึ้นตามไปด้วย ยงยุทธ (2552) ได้รายงานว่า ข้าวเป็นพืชที่สะสมซิลิกอนในปริมาณของ SiO_2 มากถึง 10-15 % โดยสามารถดูดใช้ซิลิกอนได้มากถึง 24-48 กก.ซิลิกอน/ไร่ ซึ่งการผลิตข้าว 1 ตัน จะต้องใช้ซิลิกอนจากดิน 50-110 กก. (Doberman and Fairhurst, 2002) ทั้งนี้การสะสมซิลิกอนที่เพิ่มมากขึ้นไม่เป็นอันตรายต่อพืชแต่อย่างใด (ยงยุทธ, 2552)

Table 3 Accumulation of silicon at different plant parts by application calcium silicate of 2 rice varieties

Treatment	The amount of silicon (%SiO_2)			
	Stem	Root	Panicle	Husk
Rice Cultivars (A)				
Riceberry	2.64±0.05	2.59±0.03 ^{b}	2.62±0.07	2.64±0.05
Tubtim chumphae	2.62±0.10	2.66±0.07 ^{a}	2.62±0.04	2.63±0.07
Calcium Silicate (B)				
0 kg/rai	2.60±0.05 ^{b}	2.62±0.06 ^{ab}	2.60±0.07	2.62±0.05
200 kg/rai	2.61±0.09 ^{b}	2.59±0.06 ^{b}	2.61±0.07	2.63±0.03
400 kg/rai	2.59±0.03 ^{b}	2.66±0.05 ^{a}	2.65±0.05	2.60±0.03
600 kg/rai	2.64±0.05 ^{b}	2.65±0.08 ^{a}	2.61±0.04	2.62±0.03
800 kg/rai	2.71±0.11 ^{a}	2.60±0.07 ^{b}	2.64±0.06	2.69±0.09
A	ns	**	ns	ns
B	**	*	ns	ns
A x B	**	ns	ns	ns
CV(%)	1.84	1.67	2.16	1.93

ns = not significant; *, ** significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ and 0.01

Table 4 Interaction between the 2 rice varieties and 5 calcium silicate levels on accumulation of silicon in stem

Calcium Silicate (kg/rai) (B)	Rice Varieties (A)		Average
	Riceberry	Tubtim chumphae	
0	2.64±0.03 $^{f/}$	2.57±0.03 ^{cd}	2.60±0.05 ^{B}
200	2.69±0.06 ^{b}	2.54±0.02 ^{d}	2.61±0.09 ^{B}
400	2.62±0.00 ^{bcd}	2.57±0.02 ^{cd}	2.59±0.03 ^{B}
600	2.61±0.05 ^{bcd}	2.67±0.04 ^{b}	2.64±0.05 ^{B}
800	2.64±0.08 ^{bc}	2.78±0.09 ^{a}	2.71±0.11 ^{A}
Average	2.64±0.05	2.62±0.10	

Means followed by different letters within varieties in each factor are significantly different at the 0.05 level

สรุป

การใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตราที่แตกต่างกันมีผลทำให้ผลผลิตข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพสูงกว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ โดยองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ น้ำหนัก 100 เมล็ด ของข้าวพันธุ์ทับทิมชุมแพสูงกว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ส่วนการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400, 600 และ 800 กก./ไร่ ไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ และไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกตทุกอัตรา แต่มีแนวโน้มว่าการใส่แคลเซียมซิลิเกตอัตรา 200, 400 และ 600 กก./ไร่ ให้ผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่มีการใส่แคลเซียมซิลิเกต 13.15, 6.11 และ 6.07 % ตามลำดับ และการสะสมซิลิกอนในส่วนของลำต้น รวง และแกลบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างข้าวทั้งสองสายพันธุ์

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย ประเภททุนนักวิจัยรุ่นใหม่ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ TUYR 27/2562 ทางคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท Taiheiyo Cement Corporation Co., Ltd., Japan ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. 2559. องค์ความรู้เรื่องข้าว. แหล่งข้อมูล: http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=19.htm. ค้นเมื่อ 30 ธันวาคม 2563.

คมชัดลึก. 2560. เทรนด์อาหาร 2018 เสริม “สุขภาพ-ความงาม” มาแรง. แหล่งข้อมูล: http://www.nationtv.tv/main/content/378560225/. ค้นเมื่อ 14 มิถุนายน 2563.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย ชคตระการ. 2560. ผลของการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพันธุ์ปทุมธานี1. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(1): 66-74.

Balasta, M. L. F. C., C. M. Perez, B. O. Juliano, C. P. Villareal, J. N. A. Lott, and D. B. Roxas. 1989. Effect of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. Canadian Journal of Botany. 67(8): 2356-2363.

Chumjit, S., W. Sangartit, U. Kukongviriyapan, P. Pakdeechote, V. Kukongviriyapan, and S. Thawornchinsombat. 2017. Effects of Tubtim Chum Phae rice bran hydrolysates on blood pressure and oxidatives stress in L-NAME-induced hypertensive rats. KKU research journal. 17(3): 19-29.

Doberman, C., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Potash and Phosphate Institute, Canada and International Rice Research Institute, The Philippines.

Inanaga, S., Y. Higuchi, and N. Chishaki. 2002. Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant. Journal of Plant Nutrition. 48(3): 341-345.

Kaerlek, W.J. 2012. Effect of silicon on plant growth and drought stress tolerance. All Graduate Theses and Dissertations. Utah State University.

Kazunori, T., and J. F. Ma. 2008. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. Plant Soil. 307(1): 21-27.

Liu, J., S. Rahman, S. Sriboonchitta, and A. Wiboonpongse. 2017. Enhancing productivity and resource on conservation by eliminating in efficiency of Thai rice farmers: A zero in efficiency stochastic frontier approach. Sustainability-Basel. 9(5): 1-18.

Ma, J. F., K. Nishimura, and E. Takahashi. 1989. Effect of silicon on growth of rice plant at different growth stages. Soil Science and Plant Nutrition. 35(3): 347-356.

Ma, J. F., and E. Takahashi. 2002. Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan. 1 st Edition. Elsevier Science. Dordrecht.

Nayar, P. K., A. K. Misra, and S. Patnaik. 1975. Rapid microdetermination of silicon in rice plant. Plant Soil. 42(2): 497-494.

Wattanapayapkul, W., A. Polthanee, B. Siri, N. Na Bhadalung, and A. Promkhambut. 2011. Effects of silicon in suppressing blast disease and increasing grain yield of organic rice in Northeast Thailand. Asian Journal of Plant Pathology. 5(4): 134-145.