

ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมปริมาณซิลิคอนกับการให้ผลผลิตของข้าว

สำราญ พิมราช^{1*}, เหล็กไหล จันทะบุตร¹, พรพิชญ์ ธรรมปัทม² และ สุนันท์ บุตรศาสตร์³¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, ²สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร, ³สาขาวิชาธุรกิจการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

บทคัดย่อ

การใช้ปุ๋ยซิลิคอนเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวมีความต้านทานโรคและแมลงศัตรูพืช รวมทั้งสามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงในการเพิ่มผลผลิตข้าวได้โดยไม่ทำให้ต้นข้าวหักล้มเสียหายเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตข้าว การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณซิลิคอนที่สะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดและฟางข้าว และ 2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมของปริมาณซิลิคอนกับผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ดำเนินการทดลองโดยปลูกข้าวในบ่อซีเมนต์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-สิงหาคม 2561 วางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ กำหนดให้ปัจจัย A คือ การฉีดพ่นกรดซิลิกิกในอัตรา 0, 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. และปัจจัย B คือ จำนวนครั้งและช่วงระยะที่ฉีดพ่นกรดซิลิกิก ได้แก่ 1) ฉีดพ่น จำนวน 1 ครั้ง ที่ระยะ 30 วันหลังงอก 2) ฉีดพ่น จำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก 3) ฉีดพ่น จำนวน 3 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก และ 4) ฉีดพ่น จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก เก็บข้อมูลน้ำหนักเมล็ด น้ำหนักฟางแห้ง และปริมาณซิลิคอนที่สะสมในส่วนของเมล็ดและฟางข้าว จากการวิเคราะห์ซิลิคอน (ซิลิคอนไดออกไซด์) ที่สะสมอยู่ในเมล็ดและฟางข้าว พบว่าการฉีดพ่นกรดซิลิกิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้ปริมาณซิลิคอนที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่น ในขณะที่การฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก มีผลทำให้การสะสมของซิลิคอนในเมล็ดและฟางข้าวสูงกว่าการฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้ง ที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้ง หลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก นอกจากนี้ยังพบว่า การฉีดพ่นกรดซิลิกิกในอัตราความเข้มข้นสูงทำให้มีการสะสมของซิลิคอนในเมล็ดและฟางข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นหรือการฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นต่ำ ซึ่งปริมาณของซิลิคอนที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งและระยะเวลาที่ฉีดพ่น โดยเฉพาะการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกมีผลทำให้การสะสมของซิลิคอนในเมล็ดและฟางข้าวสูงสุด ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับน้ำหนักเมล็ด ($r=0.42^{**}$ และ 0.47^{**} ตามลำดับ) ดังนั้นการฉีดพ่นกรดซิลิกิกเพื่อช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวควรฉีดพ่นโดยเฉพาะในดินที่ขาดธาตุซิลิคอน

คำสำคัญ: กรดซิลิกิก ซิลิคอน การฉีดพ่นทางใบ และการสะสม

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: sumranp@gmail.com

Relationship between Silicon Accumulation and Yield Production of Rice

Sumran Pimratch^{1*}, Leklai Chantabut¹, Pornpisanu Thammapat² and Sunan Butsat³

¹Program in Agricultural Technology, ²Program in Food Technology, ³Program in Food Business and Nutrition, Faculty of Agricultural Technology Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand

Abstract

The application of silicon to increase plant health, resistance to diseases and insect pests and ability of plant to use high nitrogen rates without lodging is a promising means for crop management to increase yield. The objectives of this study were; 1) to investigate the effects of foliar spray of silicic acid in terms of rate and frequency to quantify silicon dioxide (SiO₂) accumulation in grains and straw and 2) to determine relationship between SiO₂ accumulation and yield of Chinat 1 rice. The experiment was undertaken at the Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University during February to August 2018. A 4 x 4 factorial experiment was set up in a completely randomized design arrangement of the treatments with three replications. Factor A consisted of four levels of silicic acid (0, 50, 100 and 150 ml/20 L water) and factor B included four levels of spraying frequency (one time at 30 days after emergence (DAE), two times at 30 and 60 DAE, three times at 30, 60 and 75 DAE and four times at 30, 60, 75 and 90 DAE). Data were recorded for grain yield, straw dry weight, and SiO₂ accumulation in grains and straw. Applications of silicic acid at the rates of 50, 100 and 150 ml/20 L water had significantly higher SiO₂ accumulation in grains and straw than un-treated control, whereas application of silicic acid for four times at 30, 60, 75 and 90 DAE had significantly higher SiO₂ in grains and straw than application if silicic acid for one time at 30 DAE, application of silicic acid for two time at 30 and 60 DAE and application of silicic acid for three time at 30, 60 and 75 DAE. Applications of silicic acid at high rates had higher SiO₂ in grains and straw than untreated control and applications at low rates. The higher the frequency of spray, the greater the accumulation of SiO₂ in grains and straw. Application of silicic acid for four times at 30, 60, 75 and 90 DAE had the highest accumulation of SiO₂ in grains and straw. The interactions between rate and frequency of spray were significant for the accumulation of SiO₂ in grains and straw. Positive and significant correlations were observed between accumulation of SiO₂ in grains and straw, and grain yield ($r = 0.42^{**}$ and 0.47^{**} , respectively). Therefore, silicic acid spray to increase growth and yield of rice should be sprayed, especially on silicon deficient soils.

Keywords: silicic acid, silicon, foliar spray and accumulation

* Corresponding author: E-mail: sumranp@gmail.com

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของการปลูกข้าวคือผลผลิตต่ำ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ การใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงทำให้ต้นข้าวอ่อนแอ หักล้มง่าย เกิดการสูญเสียของผลผลิตข้าว และง่ายต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง ดังนั้นการใช้สารเพิ่มประสิทธิภาพหรือธาตุอาหารที่ช่วยเสริมประโยชน์ เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ต้นข้าว ทำให้ต้นข้าวมีความต้านทานโรคและแมลงศัตรู รวมทั้งสามารถใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงในการเพิ่มผลผลิตข้าวได้โดยไม่ทำให้ต้นข้าวหักล้มเสียหาย จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรผู้ผลิตข้าว

ปุ๋ยซิลิคอนช่วยปกป้องพืชจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และจากการทำลายของศัตรูพืช การใช้ปุ๋ยซิลิคอนในรูปของสารแอกทีฟเชิงชีว-ธรณี-เคมี (biogeochemically active silicon substances) ช่วยให้ความมีธาตุนี้เพียงพอและเสริมประโยชน์แก่พืชที่ดูดไปใช้ (Synder *et al.*, 2007) ช่วยทำให้ต้นข้าวมีระบบรากแข็งแรง สมบูรณ์ มีรากจำนวนมาก ต้นข้าวเจริญเติบโตดี แตกกอมาก ต้นไม่หักล้มง่าย ใบข้าวตั้งขึ้น สามารถรับแสงแดดได้อย่างทั่วถึง อากาศถ่ายเทดี ช่วยลดการเกิดโรคและลดการสะสมของแมลง ซิลิคอนช่วยให้ใบข้าวมีความเหนียวและแข็งแรง ต้นข้าวทนต่อการเข้าทำลายของแมลง การขาดซิลิคอนในข้าวทำให้การเจริญเติบโตลดลง พืชที่ขาดซิลิคอนต้องการน้ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ความต้านทานต่อโรคราน้ำค้างลดลง ธาตุซิลิคอนจะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ต่อเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย คือ กรดโมโนซิลิซิก (monosilicic acid; H_4SiO_4

หรือ $Si(OH)_4$) และกรดพอลิซิลิซิก (polysilicic acid) (Cai *et al.*, 2008; Marschner, 1995; Osotspa, 2015)

การขาดธาตุซิลิคอนของข้าวในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะทำให้การเจริญเติบโตช้า ถ้าหากข้าวขาดธาตุซิลิคอนในช่วงออกดอกจะทำให้ช่อดอกไม่สมบูรณ์ (Ma *et al.*, 1989) ทำให้การเจริญของดอกล่าช้า และมีเมล็ดลีบจำนวนมาก การให้ปุ๋ยซิลิคอนช่วยทำให้การพัฒนาของข้าวในระยะเจริญพันธุ์ดีขึ้น (Inanaga *et al.*, 2002) ทำให้โครงสร้างทรงพุ่มของต้นข้าวดีขึ้น (Ando *et al.*, 2002) ข้าวมีซิลิคอนในส่วนเหนือดิน 2-10 % แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 5-6 % การผลิตเมล็ดข้าว 1 ตัน รากข้าวต้องดูดซิลิคอนมาจากดิน 50-110 กก. หรือเฉลี่ย 80 กก. ซิลิคอน/ตันผลผลิตซึ่งประมาณ 80 % ยังคงอยู่ในฟางเมื่อข้าวสุกแก่ สำหรับความเข้มข้นระดับวิกฤตขาดแคลน จากใบบนสุดซึ่งขยายขนาดเต็มที่แล้ว (Y leaf) ในช่วงแตกกอจนถึงระยะมีดอกอ่อนที่ซอกบนสุด (initiation of panicle primodia, IPP) สูงกว่า 5 % ซิลิคอน ค่าดังกล่าวจากส่วนเหนือดินในช่วงเก็บเกี่ยวก็สูงกว่า 5 % ซิลิคอน เช่นเดียวกัน แต่ระดับที่ถือว่าพอเหมาะคือ 5-10 % ซิลิคอน (Doberman and Fairhurst, 2000) ข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ได้รับซิลิคอนจะมีการเจริญเติบโตสูง (Gill *et al.*, 2007) จากรายงานการทดลองที่ผ่านมาส่วนมากเป็นการให้ปุ๋ยซิลิคอนทางรากพืช แต่ยังคงขาดข้อมูลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยซิลิคอนหรือกรดซิลิซิกโดยการฉีดพ่นทางใบ และการหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมธาตุซิลิคอนกับการให้ผลผลิต ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณซิลิคอนที่สะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดและฟางข้าว และ

2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมของปริมาณซิลิคอนกับผลผลิตของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

วิธีดำเนินการวิจัย

แผนการทดลอง

พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง คือ พันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง และใช้กรดซิลิซิกที่มีความเข้มข้นของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับ 1.48 % วางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ปัจจัย A คือ การฉีดพ่นกรดซิลิซิก 4 อัตรา (0, 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล.) ปัจจัย B คือ จำนวนครั้งและระยะที่ฉีดพ่นกรดซิลิซิก (1, 2, 3 และ 4 ครั้ง) คือ ในช่วงระยะข้าวแตกกอ 30 วันหลังงอก ในช่วงระยะข้าวแตกกอ 30 วันหลังงอก และระยะข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน 60 วันหลังงอก, ในช่วงระยะข้าวแตกกอ 30 วันหลังงอก ระยะข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน 60 วันหลังงอก และระยะข้าวออกดอก 75 วันหลังงอก และ ในช่วงระยะข้าวแตกกอ 30 วันหลังงอก ระยะข้าวเริ่มสร้างดอกอ่อน 60 วันหลังงอก ระยะข้าวออกดอก 75 วันหลังงอก และระยะพัฒนาการของเมล็ด 90 วันหลังงอก) ประกอบด้วย 16 กรรมวิธี (treatments combination)

การปลูกและการดูแลรักษา

ปลูกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในบล็อกซีเมนต์ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 ซม. สูง 50 ซม. ที่บรรจุดินปลูกที่ผ่านการตากแดดให้แห้งและบดให้ละเอียด ใช้ระยะปลูก 20 x 20 ซม. ปลูกหลุมละ 3-5 เมล็ด หลังจากปลูกรดน้ำให้ชุ่มที่ระดับความจุสนาม (field capacity) หลังจากข้าวงอกอายุ 7 วัน ถอนให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร

16-16-8 อัตรา 30 กก./ไร่ เมื่อข้าวอายุได้ 15 วันหลังงอก และใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ เมื่อข้าวอายุได้ 60 วันหลังงอก กำจัดวัชพืชโดยใช้มือถอนอย่างสม่ำเสมอในแต่ละกรรมวิธีมีการให้น้ำอย่างเพียงพอ และเมื่อข้าวเริ่มแตกกอรักษาระดับของน้ำให้สูงประมาณ 10 ซม. จนถึงใกล้ระยะเก็บเกี่ยวค่อยงดการให้น้ำ

การฉีดพ่นกรดซิลิซิก ฉีดพ่นครั้งแรกเมื่อข้าวอายุได้ 30 หลังจากเมล็ดงอก (ฉีดพ่น 1 ครั้ง) และฉีดพ่นซ้ำอีกครั้งตามอัตราความเข้มข้น และช่วงระยะเวลาในการฉีดพ่นเมื่อข้าวอายุได้ 60, 75 และ 90 วันหลังงอก (ฉีดพ่น 2, 3 และ 4 ครั้ง ตามลำดับ) ตามทรีตเมนต์ที่กำหนด ในการฉีดพ่นแต่ละครั้งจะใช้โครงไม้สี่เหลี่ยมที่มีพลาสติกกันสำหรับฉีดพ่นแต่ละทรีตเมนต์ เพื่อควบคุมให้ละอองของกรดซิลิซิกที่ฉีดพ่นอยู่ในเฉพาะพื้นที่ของทรีตเมนต์ที่กำหนด และป้องกันไม่ละอองของกรดซิลิซิกไปปะปนกับทรีตเมนต์อื่นๆ

การเก็บข้อมูล

1) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดิน ได้แก่ อนุภาคดินทราย (sand) อนุภาคดินร่วน (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) โดยวิธี Pipette method (Drilon, 1980) และสมบัติทางเคมีดิน ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) โดยวิธี Kjeldahl method (Black, 1965) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธี Bray II (Drilon, 1980) ปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้ (extractable K, Ca) โดยวิธี NH_4OAc and Atomic absorption spectrophotometer (Cottenie, 1980) สภาพความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH (1:2.5 H_2O) โดยวิธี Std. Glass electrode (Black, 1965) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange; CEC) โดยวิธี Peech

method และอินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) โดยวิธี Walkley and Black (Black, 1965)

2) น้ำหนักเมล็ดต่อต้น โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดแห้งทั้งหมดด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง แล้วนำมาคำนวณหาน้ำหนักเมล็ดต่อต้น

3) น้ำหนักฟางแห้งและน้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดเก็บตัวอย่างพืชทั้งต้น ยกเว้นราก เพื่อหาน้ำหนักแห้งของข้าว แล้วนำมาแยกส่วนของฟางข้าว (ลำต้นและใบ) และเมล็ด นำมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4) วิเคราะห์หาปริมาณซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งอยู่ในรูปของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ในส่วนของเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) และข้าวฟางข้าว ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร (Hallmark *et al.*, 1982)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละลักษณะตามแผนการทดลองที่กำหนด และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (Gomez and Gomez, 1984) และคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการสะสมของปริมาณซิลิคอนในส่วนของเมล็ดและฟางแห้งกับผลผลิตของข้าวโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำเร็จรูป MSTAT-C (Bricker, 1989)

ผลการวิจัย

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง พบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองมีอนุภาคดินทราย (sand) อนุภาคดินร่วน (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) เท่ากับ 67.90, 20.50 และ 11.60 % ตามลำดับ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มี pH เท่ากับ 6.2 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เท่ากับ 23.21 c mol/kg ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.02 dS/m ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ คือ มีอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 0.14 % ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.007 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 15.12, 42.34 และ 130.71 มก./กก. ตามลำดับ

น้ำหนักเมล็ด

จากการชั่งน้ำหนักเมล็ดแห้ง พบว่า น้ำหนักเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งในทางสถิติ (Table1) โดยที่การฉีดพ่นกรดซิลิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล.มีผลทำให้ผลผลิตข้าวสูงการไม่ฉีดพ่นกรดซิลิก การฉีดพ่นในอัตราดังกล่าวให้น้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 28.84, 26.84 และ 27.36 ก./ต้น ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าในกรรมวิธีไม่ฉีดพ่นกรดซิลิกที่ให้น้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 23.00 ก./ต่อต้น เมื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาที่ฉีดพ่นพบว่า การฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้ง ที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้ง หลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก และการฉีด

พ่นจำนวน 4 ครั้งที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกไม่มีผลทำให้ผลผลิตข้าวแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) ซึ่งให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยเท่ากับ 26.18, 25.79, 25.79 และ 27.04 ก./ต้น ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาที่ฉีดพ่น พบว่า ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (Table 1) หรือไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและระยะเวลาของการฉีดพ่นในลักษณะน้ำหนักเมล็ด โดยที่ผลผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 20.91-30.42 ก./ต้น ในกรรมวิธีการฉีดพ่นกรดซัลฟิวริก อัตรา 50 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้งที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูง เท่ากับ 30.42 ก./ต้น รองลงมาคือ การฉีดพ่นกรดซัลฟิวริก อัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 2 ครั้งที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก (29.09 ก./ต้น) และการฉีดพ่นกรดซัลฟิวริก อัตรา 50 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 3 ครั้งที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก (28.82 ก./ต้น) ตามลำดับ

น้ำหนักฟางแห้ง

จากการชั่งน้ำหนักฟางข้าวแห้ง พบว่า การฉีดพ่นกรดซัลฟิวริกในอัตรา 0, 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. ไม่มีผลทำให้น้ำหนักฟางแห้งแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) ซึ่งน้ำหนักฟางแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 38.86-39.43 ก./ต้น ในทำนองเดียวกันพบว่า การฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้งที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้งที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้งหลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้งที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกไม่มีผลทำให้น้ำหนักฟางแห้งของข้าวแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) ซึ่งน้ำหนักฟางแห้งเฉลี่ยอยู่ในช่วง

ระหว่าง 36.53-41.73 ก./ต้น และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาที่ฉีดพ่น พบว่า ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (Table 1) โดยมีน้ำหนักฟางแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 33.84-48.38 ก./ต้น โดยที่การฉีดพ่นกรดซัลฟิวริก ในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก มีแนวโน้มให้น้ำหนักฟางแห้งสูง เท่ากับ 48.38 ก./ต้น

การสะสมของซิลิคอนในส่วน of ข้าวเมล็ดข้าว

จากการวิเคราะห์ซิลิคอนที่สะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดข้าวเปลือกในรูปของซิลิคอนไดออกไซด์ใน พบว่า การฉีดพ่นกรดซัลฟิวริกในอัตรา 0, 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้ความเข้มข้นของซิลิคอนที่สะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดข้าวแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) โดยที่ความเข้มข้นของซิลิคอนที่สะสมในเมล็ดมีค่า เท่ากับ 0.85, 1.04, 1.07 และ 1.12 % ตามลำดับ (0.85, 1.05, 1.07 และ 1.12 ก./ต้น ตามลำดับ) ซึ่งกรรมวิธีไม่ฉีดพ่นกรดซัลฟิวริกมีผลทำให้การสะสมซิลิคอนในเมล็ดต่ำกว่าการฉีดพ่นกรดซัลฟิวริกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. เมื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลา พบว่า การสะสมของซิลิคอนในเมล็ดมีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) โดยที่การฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้งที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้งที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้งหลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก มีผลทำให้การสะสมของซิลิคอนในเมล็ดต่ำกว่าการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้งที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก ซึ่งความเข้มข้นของซิลิคอนที่สะสมในเมล็ดมีค่า เท่ากับ 0.98, 0.97, 1.02 และ 1.12 % ตามลำดับ (0.98, 0.97, 1.02 และ 1.12

ก./ต้น ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติระหว่างอัตราการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาที่ฉีดพ่น (Table 1) โดยการสะสมของซิลิโคนในเมล็ดที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.79-1.24 % (0.80-1.25 ก./ต้น) การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก มีผลทำให้การสะสมของซิลิโคนในเมล็ดสูงสุด รองลงมาคือ การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก และการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก ตามลำดับ

การสะสมของซิลิโคนในส่วนของฟางข้าว

จากการวิเคราะห์ซิลิโคนที่อยู่ในรูปของซิลิโคนไดออกไซด์ซึ่งสะสมอยู่ในส่วนของฟางข้าว (ลำต้นและใบ) พบว่า การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 0, 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้การสะสมของซิลิโคนในส่วนของฟางข้าวแตกต่างกันในทางสถิติ (Table 1) โดยที่การสะสมของซิลิโคนในส่วนฟางข้าวมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.33, 5.28, 5.35 และ 5.60 % ตามลำดับ (1.69, 2.09, 2.08 และ 2.19 ก./ต้น ตามลำดับ) ในกรณีวิธีไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิกมีผลทำให้การสะสมของซิลิโคนในฟางข้าวต่ำกว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. ซึ่งการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. มีการสะสมของซิลิโคนในฟางข้าวสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาพบว่า การสะสมของซิลิโคนในส่วนของฟางข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) โดยที่การฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้ง ที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้ง หลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก มีผลทำให้

การสะสมของซิลิโคนในฟางข้าวต่อการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก ซึ่งซิลิโคนที่สะสมในฟางข้าวมีค่า เท่ากับ 5.00, 5.06, 5.17 และ 5.34 % ตามลำดับ (เท่ากับ 1.87, 1.88, 2.06 และ 2.24 ก./ต้น ตามลำดับ) และพบว่า มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างอัตราการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาที่ฉีดพ่น (Table 1) โดยที่การสะสมของซิลิโคนในฟางข้าวมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4.29-5.74 % (1.62-2.78 ก./ต้น) การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก มีผลทำให้ซิลิโคนสะสมในฟางข้าวมากที่สุด เท่ากับ 5.74 % (2.78 ก./ต้น) รองลงมาคือ การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 150 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 3 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, และ 75 วันหลังงอก และการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 100 มล./น้ำ 20 ล. จำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก ตามลำดับ ซึ่งมีของซิลิโคนสะสมในฟางข้าว เท่ากับ 5.72, 5.61 และ 5.59 % ตามลำดับ (2.43, 2.17 และ 2.04 ก./ต้น ตามลำดับ) ในขณะที่กรรมวิธีไม่มีการฉีดพ่นกรดซิลิซิกมีผลทำให้ซิลิโคนสะสมในฟางข้าวอยู่ในระดับต่ำ

ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมปริมาณซิลิโคนกับการให้ผลผลิต

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิโคนในรูปของซิลิโคนไดออกไซด์กับการให้ผลผลิตข้าว พบว่า ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณซิลิโคนไดออกไซด์ที่สะสมในส่วนของเมล็ดและในส่วนของฟางข้าว (Table 1) โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.42** และ 0.47** ตามลำดับ

Table 1 Yield, silicon dioxide (SiO₂) accumulation in grains and straw and relationship between accumulation of silicon dioxide in grains and straw, and grain yield of rice cv. Chai Nat 1 grown in pot experiment during February-August in the 2018.

Treatments	Yield		Silicon dioxide (SiO ₂) accumulation			
	Grain weight (g/plant)	Straw dry weight (g/plant)	Grain (%)	Grain (g/plant)	Straw (%)	Straw (g/plant)
Silicic acid rates (A)						
0 ml (a1)	23.00b	39.08	0.85c ^{1/}	0.85c	4.33c	1.69b
50 ml (a2)	28.84a	39.43	1.04b	1.05b	5.29b	2.09a
100 ml (a3)	26.48a	38.86	1.07b	1.07b	5.35b	2.08a
150 ml (a4)	27.36a	39.08	1.12a	1.12a	5.60a	2.19a
F-test (A)	**	ns	**	**	**	**
Foliar spray timings (B)						
30 DAE (b1)	26.18	36.53	0.98bc ^{1/}	0.98bc	5.00c	1.87b
30, 60 DAE (b2)	25.79	38.06	0.97c	0.97c	5.06bc	1.88b
30, 60, 75 DAE (b3)	25.79	40.14	1.02b	1.02b	5.17b	2.06ab
30, 60, 75, 90 DAE (b4)	27.04	41.73	1.12a	1.12a	5.34a	2.24a
F-test (B)	ns	ns	**	**	**	*
Silicic acid rates (A) x Foliar spray timings B						
a1 x b1	23.07	37.81	0.85ef ^{1/}	0.85ef	4.29e	1.62
a2 x b1	27.59	36.20	0.98cd	0.99cd	5.10d	2.03
a3 x b1	28.47	38.27	1.02bc	1.02bc	5.12d	1.96
a4 x b1	25.58	33.84	1.07bc	1.07bc	5.48c	1.85
a1 x b2	24.06	41.36	0.79f	0.80f	4.36e	1.80
a2 x b2	28.56	38.82	0.99bcd	1.00bc	5.13d	1.85
a3 x b2	21.45	36.58	0.99bcd	0.99cd	5.17d	1.89
a4 x b2	29.09	35.47	1.08b	1.09b	5.56abc	1.97
a1 x b3	20.91	38.56	0.91de	0.92de	4.36e	1.67
a2 x b3	28.82	40.15	1.01bc	1.02bc	5.20d	2.04
a3 x b3	28.34	43.22	1.07bc	1.07bc	5.50bc	2.37
a4 x b3	28.62	38.65	1.08b	1.09b	5.61abc	2.17

Table 1 Yield, silicon dioxide (SiO₂) accumulation in grains and straw and relationship between accumulation of silicon dioxide in grains and straw, and grain yield of rice cv. Chai Nat 1 grown in pot experiment during February-August in the 2018. (continue)

Treatments	Yield		Silicon dioxide (SiO ₂) accumulation			
	Grain weight (g/plant)	Straw dry weight (g/plant)	Grain (%)	Grain (g/plant)	Straw (%)	Straw (g/plant)
Silicic acid rates (A) x Foliar spray timings B						
a1 x b4	23.95	38.59	0.83ef	0.83ef	4.32e	1.67
a2 x b4	30.42	42.56	1.19a	1.19a	5.72ab	2.43
a3 x b4	27.67	37.39	1.20a	1.20a	5.59abc	2.09
a4 x b4	26.13	48.38	1.24a	1.25a	5.74a	2.78
F-test (A x B)	ns	ns	*	*	**	ns
C.V. (%)	15.40	16.97	5.53	5.53	2.62	16.85
Correlation coefficient (r)	-	-	0.42**	0.42**	0.47**	0.32*

¹Means in the same column with the same letter(s) are not significantly different at $P < 0.05$ by DMRT

ns, *, ** = non significant, significantly different at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively (df = 46)

วิจารณ์ผลการวิจัย

การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิก โดยให้ผลผลิตเท่ากับ 28.84, 26.48 และ 27.36 ก./ต่อต้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตที่ได้จากการฉีดพ่นกรดซิลิซิกทั้ง 3 อัตราไม่แตกต่างกัน ขณะที่ผลผลิตข้าวในทรีตเมนต์ที่ไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิกมีค่าเท่ากับ 23.00 ก./ต้น ในทำนองเดียวกัน การฉีดพ่นในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. ยังให้ผลทำให้จำนวนรวงต่อกอ และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากกว่าไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิก แต่ไม่มีผลทำให้จำนวนเมล็ด

ดีต่อรวง น้ำหนักฟางแห้ง น้ำหนักแห้งทั้งหมด และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน (Pimratch *et al.*, 2018) การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตราความเข้มข้น 50 และ 100 มล./น้ำ 20 ล. ทำให้จำนวนเมล็ดสีต่อรวงน้อยกว่าการไม่ฉีดพ่น สำหรับการฉีดพ่นกรดซิลิซิกจำนวน 1 ครั้งในระยะ 30 วัน หลังออก จำนวน 2 ครั้งในระยะ 30 และ 60 วันหลังออก จำนวน 3 ครั้งในระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังออก และจำนวน 4 ครั้งในระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังออกไม่มีผลทำให้จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ด น้ำหนักฟางแห้ง น้ำหนักแห้งทั้งหมด และดัชนีเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน (ข้อมูลไม่ได้แสดง) แต่พบว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกจำนวน 2, 3 และ 4 ครั้ง

มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดลึบต่อรวงน้อยกว่าการฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้ง แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราในการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งแต่ละช่วงระยะเวลาของการฉีดพ่นทั้งในลักษณะของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต (Pimratch *et al.*, 2018)

จากการวิเคราะห์ธาตุซิลิคอน (Si) ที่อยู่ในรูปของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในส่วนของเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) และในส่วนของข้าวฟางข้าวหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ในเมล็ดและฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิกและการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้งที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกมีผลทำให้ปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในเมล็ดและฟางข้าวสูงกว่าการฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้ง ที่ระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้ง ที่ระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้ง หลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การสะสมของซิลิคอนไดออกไซด์ในเมล็ดและฟางข้าวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อฉีดพ่นในอัตราที่มีความเข้มข้นสูง และปริมาณของซิลิคอนไดออกไซด์ที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้ง และระยะเวลาที่ฉีดพ่น

จากการหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิต (น้ำหนักเมล็ด) กับการสะสมของซิลิคอนในเมล็ดและฟางข้าว พบว่า ผลผลิตของข้าวมีสหสัมพันธ์ในทางบวกกับปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าว ($r=0.42^{**}$ และ 0.47^{**} ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าการให้ผลผลิตของข้าวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการสะสมของปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ในเมล็ดและฟางข้าว ซึ่งปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์

ที่เพิ่มขึ้นอาจสามารถช่วยส่งเสริมให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นได้ ถึงแม้ว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. ไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวแตกต่างกันอย่างชัดเจน แต่ผลผลิตของข้าวที่ได้จากการฉีดพ่นกรดซิลิซิกแตกต่างไปจากผลผลิตข้าวที่ไม่ได้ฉีดพ่นกรดซิลิซิก ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนธาตุที่จัดอยู่ในกลุ่มธาตุเสริมประโยชน์ พืชไม่ได้ต้องการในปริมาณเหมือนธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Osotspa, 2015) ดังนั้นการฉีดพ่นกรดซิลิซิกทั้ง 3 อัตราดังกล่าวจึงไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนทั้งในแง่การเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต ซึ่งการฉีดพ่นกรดซิลิซิกสามารถฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นต่ำจนถึงอัตราที่มีความเข้มข้นสูง จากหลายๆ งานทดลองชี้ให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยซิลิคอนช่วยส่งเสริมให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยซิลิคอนในอัตรา 40, 80 และ 160 กก./ไร่ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตเมล็ดข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ยซิลิคอน ซึ่งการใส่ปุ๋ยซิลิคอนอัตรา 160 กก./ไร่ ได้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด (Sumranrum, 2011) การใส่ปุ๋ยแคลเซียมซิลิเกตช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ได้เฉพาะในดินไม่เค็มและดินเค็มในระดับปานกลาง (Siriruang, 2017) การดูแลใช้ธาตุซิลิคอนในใบข้าวเพิ่มขึ้นตามอายุของใบ การใส่ปุ๋ยซิลิคอนมีผลทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงกว่าสำหรับการทดลองที่ไม่ใส่ซิลิคอน และการใส่ซิลิคอนทำให้ข้าวมีการสะสมไนโตรเจนในส่วนของลำต้นได้มากกว่าไม่ใส่ซิลิคอนถึง 38 % (Thongchon, 2016) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยซิลิคอนหรือการฉีดพ่นกรดซิลิซิกจะทำให้ข้าวมีการสะสมไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จึงน่าจะมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวให้เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ระหว่างการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตราต่างๆ กับการไม่ฉีดพ่นกรดซิลิซิก จากการศึกษาในครั้งนี้เห็นได้ว่า การฉีดพ่นกรดซิลิซิกทางใบสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวได้ โดยเฉพาะในด้านการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง ซึ่งเห็นได้จากการฉีดพ่นกรดซิลิซิกมีผลทำให้ค่า SCMR เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่น (ข้อมูลไม่ได้แสดง) ในขณะที่การเจริญเติบโตในลักษณะการแตกกอเห็นผลที่ชัดเจนที่ระยะ 90 วันหลังงอก ประกอบกันกับองค์ประกอบผลผลิตในลักษณะจำนวนรวงต่อกอและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. การวัดค่า SCMR เป็นการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทางอ้อม และมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุในใบพืชที่ทำหน้าที่ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ใบพืชที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงจะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูง ส่วนใบพืชที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบต่ำก็จะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงต่ำ (Ndjondjop *et al.*, 2012) ซึ่งการฉีดพ่นกรดซิลิซิกมีผลทำให้ค่า SCMR ในใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่น ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์อาหารเพื่อใช้ในการพัฒนาการเจริญเติบโตและผลผลิตได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิลิซิกเป็นแร่ธาตุอาหารเสริมที่มีธาตุซิลิโคนเป็นองค์ประกอบ จัดอยู่ในกลุ่มธาตุเสริมประโยชน์สำหรับพืช กรดซิลิซิกสามารถละลายน้ำได้ ทำให้พืชสามารถดูดซึมน้ำและกรดซิลิซิกผ่านทางรากเข้าสู่ลำต้นและทางใบได้อย่างรวดเร็ว (Peleg *et al.*, 2010) นอกจากนี้ซิลิโคนช่วยทำให้ข้าวแข็งแรง ลำต้นตั้งตรง ป้องกันการหักล้ม ช่วยทำให้ใบตั้งตรงจึงรับ

แสงได้ดี และเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง (Epstein and Bloom, 2005)

สำหรับจำนวนครั้งและช่วงระยะที่ฉีดพ่นกรดซิลิซิก ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกไม่จำเป็นต้องฉีดหลายๆ ครั้ง การฉีดพ่นธาตุซิลิโคนในปริมาณที่ข้าวต้องการอย่างเพียงพอเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรพิจารณาเป็นหลักที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว แต่จากการทดลองในครั้งนี้เป็นที่น่าสนใจว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกจำนวนครั้งตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไปซึ่งอยู่ในช่วงระยะเวลาที่ข้าวเจริญพันธุ์คือระยะข้าวเริ่มสร้างดอกก่อน 60 วันหลังงอก ระยะข้าวออกดอก 75 วันหลังงอก และระยะพัฒนาการของเมล็ด 90 วันหลังงอก มีแนวโน้มทำให้จำนวนเมล็ดลีบต่อรวงของข้าวลดลง(ข้อมูลไม่ได้แสดง) เมื่อเทียบกับการฉีดพ่นเพียง 1 ครั้งเมื่อข้าวอายุได้ 30 วันหลังงอกซึ่งเป็นระยะที่ข้าวกำลังแตกกอ ซึ่งเห็นว่าการฉีดพ่นกรดซิลิซิกในช่วงระยะเวลา 60, 75 และ 90 วันหลังงอกช่วยทำให้การพัฒนาของข้าวในระยะเจริญพันธุ์ดีขึ้น ถ้าหากข้าวขาดธาตุซิลิโคนในช่วงออกดอกจะทำให้ช่อดอกไม่สมบูรณ์ (Ma *et al.*, 1989) ทำให้การเจริญของดอกล่าช้าและมีเมล็ดลีบจำนวนมาก การให้ปุ๋ยซิลิโคนช่วยให้การพัฒนาของข้าวในระยะเจริญพันธุ์ดีขึ้น (Inanaga *et al.*, 2002) ทำให้โครงสร้างทรงพุ่มของต้นข้าวดีขึ้น (Ando *et al.*, 2002) ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดที่กำลังพัฒนามีคาร์โบไฮเดรตน้อย การแบ่งเซลล์น้อยและการพัฒนาผนังเซลล์เกิดขึ้นช้า การเติมซิลิโคนในสารละลายธาตุอาหาร 15-50 มก. ซิลิโคน/ลิตร ช่วยให้การพัฒนาของข้าวในระยะเจริญพันธุ์ดีขึ้น ในขณะที่การศึกษาของ

Ando *et al.* (2002) พบว่า การใส่ 50-180 ก. ซิลิโคน/ตร.ม. แม้จะไม่ช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเมล็ดสูงขึ้น แต่ทำให้โครงสร้างทรงพุ่มของต้นข้าวดีขึ้น กล่าวคือ ความเข้มข้นแสงสัมพัทธ์ (relative light intensity) ในทรงพุ่มส่วนบนสูงกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับปุ๋ยซิลิโคน ทั้งในระยะแตกกอสูงสุด (maximum tiller number stage) และระยะข้าวตั้งท้อง (booting stage) สำหรับข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ได้รับซิลิโคน 75 มก. ซิลิโคน/ลิตร จะมีการเจริญเติบโตสูง และสามารถสะสมธาตุไนโตรเจนในส่วนของดิน 0.91 มก.ซิลิโคน/น้ำหนักรากแห้ง (Gill *et al.*, 2007) Doberman and Fairhurst (2000) รายงานว่า ข้าวมีซิลิโคนในส่วนของดิน 2-10 เปอร์เซ็นต์ แต่โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 5-6 % การผลิตเมล็ดข้าว 1 ตัน รากข้าวต้องดูดซิลิโคนมาจากดิน 50-110 กก. หรือเฉลี่ย 80 กก. ซิลิโคน/ผลผลิต 1,000 กก. ซึ่งประมาณ 80 % ยังคงอยู่ในฟางเมื่อข้าวสุกแก่ สำหรับความเข้มข้นระดับวิกฤตขาดแคลน จากใบบนสุดซึ่งขยายขนาดเต็มที่แล้ว (Y leaf) ในช่วงแตกกอจนถึงระยะมีดอกอ่อนที่ข้อบนสุด (initiation of panicle primodia, IPP) สูงกว่า 5 %ซิลิโคน ค่าดังกล่าวจากส่วนของดินในช่วงเก็บเกี่ยวก็สูงกว่า 5 % ซิลิโคน เช่นเดียวกัน แต่ระดับที่ถือว่าพอเหมาะคือ 5-10 % ซิลิโคน ดังนั้นการฉีดพ่นกรดซิลิซิกควรฉีดพ่นในช่วงระยะ 60-75 วันหลังงอกจึงน่าจะเป็นช่วงระยะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นช่วงระยะข้าวกำลังตั้งท้องและออกดอก

สรุปผลการวิจัย

การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดมีค่าสูงกว่าการไม่ฉีดพ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การฉีดพ่นกรดซิลิซิกจำนวน 1 ครั้งในระยะ 30 วันหลังงอก จำนวน 2 ครั้งในระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก จำนวน 3 ครั้งในระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก และจำนวน 4 ครั้งในระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก ไม่มีผลต่อผลผลิตของข้าวอย่างชัดเจน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราในการฉีดพ่นกับจำนวนครั้งและช่วงระยะเวลาของการฉีดพ่นกรดซิลิซิกทั้งในผลผลิต

การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตรา 50, 100 และ 150 มล./น้ำ 20 ล. มีผลทำให้ปริมาณซิลิโคนที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่น ในขณะที่การฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้งในระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอก มีผลทำให้การสะสมของซิลิโคนในเมล็ดและฟางข้าวสูงกว่าการฉีดพ่นจำนวน 1 ครั้งในระยะ 30 วันหลังงอก การฉีดพ่นจำนวน 2 ครั้งในระยะ 30 และ 60 วันหลังงอก และการฉีดพ่นจำนวน 3 ครั้งหลังงอกที่ระยะ 30, 60 และ 75 วันหลังงอก นอกจากนี้ยังพบว่า การฉีดพ่นกรดซิลิซิกในอัตราความเข้มข้นสูงทำให้มีการสะสมของซิลิโคนในเมล็ดและฟางข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่ฉีดพ่นหรือการฉีดพ่นในอัตราความเข้มข้นต่ำ ซึ่งปริมาณของซิลิโคนที่สะสมในเมล็ดและฟางข้าวจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งและระยะเวลาที่ฉีดพ่น โดยเฉพาะการฉีดพ่นจำนวน 4 ครั้ง ที่ระยะ 30, 60, 75 และ 90 วันหลังงอกมีผลทำให้การสะสมของซิลิโคนในเมล็ดและฟางข้าวสูงที่สุด ซึ่งการให้ผลผลิตของข้าวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการสะสมของปริมาณซิลิโคนไดออกไซด์ในเมล็ดและฟางข้าว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท อะโกรไบโอเมท จำกัด เป็นอย่างยิ่งที่สนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคาม และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์เครื่องมือทาง วิทยาศาสตร์ที่ใช้ในงานทดลอง และขอบคุณนักศึกษาที่ ช่วยเหลือในการเตรียมงานทดลองและเก็บข้อมูลการวิจัย ในครั้งนี้

References

- Ando, H., K. Kakuda, H. Fujii, K. Suzuki and T. Ajika. 2002. Growth and canopy structure of rice plant grown under field conditions as affected by Si application. *Soil Sci. Plant Nutr.* 48: 341-345.
- Black, C.A. 1965. *Method of Soil Analysis Part 2.* Agronomy 9. American Society of Agronomy, Wisconsin.
- Bricker, A.A. 1989. *MSTAT-C User's Guide.* Michigan State University.
- Doberman, C. and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient disorders and nutrient management.* Potash and Phosphate Institute. Canada and International Rice Research Institute. Philippines.
- Drilon, J.R. 1980. *Standard Methods of Analysis for Soil, Plant, Water and Fertilizer.* Los Baños, Laguna, Philippines.
- Cottenie, A. 1980. *Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendation.* FAO, Rome.
- Cai, K., D. Gao, S. Luo, R. Zeng, J. Yang and X. Zhu. 2008. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. *Physiol. Plantarum.* 134: 324-333.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. *Mineral Nutrition of Plant: Principle and Perspectives.* Sinauer Association, Inc. Publishers, Massachusetts.
- Gill, M.A., R.M. Irfan and M.A. Maqsood. 2007. Silicon requirement of coarse and fine varieties of rice. *J. Plant Nutr.* 30: 163-170.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research.* John Wiley & Sons: New York.

- Hallmark, C.T., L.P. Wilding, and N.E. Smeck. 1982. Silicon. In Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy 9. Madison, Wisconsin.
- Inanaga, S., Y. Higuchi and N. Chisaki. 2002. Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant. Soil Sci. Plant Nutr. 48: 341-345.
- Ma, J.F., K. Nishimura and E. Takahashi. 1989. Effect of silicon on growth of rice plant at different growth stage. Soil Sci. and Plant Nutrition. 35: 347-365.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition. Academic Press: London.
- Ndjiondjop, M.N., K. Futakulchi, F. Cisse, H. Baimey and R. Bocco. 2012. Field evaluation of rice genotypes from the two cultivated species (*Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima* Steud.) and their interspecifics for tolerance to drought. Crop Sci. 52: 524-538.
- Osotspa Y., 2015. Plant Nutrients. Kasetsart University Publication, Bangkok. (in Thai)
- Pimratch, S., P. Thammapat and S. Butsat. 2018. Effects of silicic acid foliar spray on growth, yield and yield components of Chai Nat 1 rice. Prawarun Agri. J. 15(2): 363-371. (in Thai)
- Siriruang, P., W. Thaymuang and T. Mala. 2017. Effects of calcium silicate fertilizer on growth and yield of Phatum thani 80 rice in saline soil. Khon Kaen Agr. J. 45 (Suppl. 1): 991-996. (in Thai)
- Peleg, Z., Y. Saranga, T. Fahima, A. Aharoni and R. Elbaum. 2010. Genetic control over silica deposition in wheat awns. Physiol. Plantarum. 140: 10-20.
- Synder, G.H., V.V. Matichenkov and L.E. Datnoff. 2007. Silicon. In Handbook of Plant Nutrition. (A.V. Barker and D.J. Pilbeam eds.) CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
- Sumranrum, W., A. Polthanee, B. Siri and N. Na Bhuthaloong and .2011. Effects of silicon fertilizer rate on blast (*Pyricularia oryzae* Cav.) resistance and grain yield of organic Khao Dawk Mali 105 rice. Khon Kaen Agr. J. 39 (Suppl.): 310-315. (in Thai)
- Thongchon, P., J. Inthasan and S. Konsaeng. 2016. The Effect of Silicon and Nitrogen on Growth and Nutrient Uptake of Rices at Tillering Stage. Khon Kaen Agr. J. 47 (Suppl. 2): 409-412. (in Thai)