

ผลของซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ต่อการเจริญเติบโต  
และผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1  
ภายใต้ระดับการให้น้ำที่แตกต่างกัน

Effects of Silicon from Cement Industry on Growth and Yield  
of Rice cv. Pathum Thani 1 under Different Water Supply

เวธนี วัฒนเดชเสรี, สมชาย ชคตระการ, พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์

และพฤกษ์ ชุติมานุกูล\*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Vataneewattanadatsaree, Somchai Chakhatrakon, Phakpen Poomipan

and Preuk Chutimanukul\*

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Received: July 6, 2018; Accepted: August 1, 2018

บทคัดย่อ

ภัยแล้งนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าว การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณของซิลิกอนที่เหมาะสมที่ใส่ในดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และเพื่อศึกษาผลของซิลิกอนต่อความต้านทานต่อสภาวะขาดน้ำของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 โดยการวางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 12 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ระดับการให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน 4 อัตรา ได้แก่ การให้น้ำอัตรา 100 เปอร์เซ็นต์ (ระดับการให้น้ำปกติ), 50, 25 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ของการให้น้ำเต็มอัตรา ปริมาณการใช้ซิลิกอนในอัตราที่แตกต่างกัน 5 อัตรา ได้แก่ การใช้ซิลิกอน (ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมซีเมนต์) ในอัตรา 0, 50, 150, 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ จากการทดลองพบว่าระดับการให้น้ำที่ลดลง ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตข้าวลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการให้น้ำปกติ นอกจากนี้ปริมาณซิลิกอนยังมีผลต่อทั้งการเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตข้าว โดยซิลิกอนที่ปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้การเจริญเติบโต (ความสูงต้น น้ำหนักแห้งรากและลำต้น จำนวนต้นต่อกอ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบ) รวมทั้งองค์ประกอบของผลผลิต (จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดตต่อรวง น้ำหนัก 100 เมล็ด และปริมาณผลผลิตต่อต้น) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซิลิกอนที่ปริมาณอื่น อีกทั้งยังส่งผลให้จำนวนเมล็ดลีบลดลงด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าซิลิกอนปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถ

ช่วยลดความเครียดจากสภาวะขาดน้ำที่มีผลต่อข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อีกทั้งยังเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อีกด้วย

**คำสำคัญ :** การเจริญเติบโต; ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1; ซิลิกอน; ผลผลิต; ระดับการให้น้ำ

## Abstract

Drought is considered to be a serious factor limiting rice production and quality. The objective of this study was to determine suitable amount of silicon application in soil for growth and yield and the effect of silicon on the resistance to drought stress of rice cv. Pathum Thani 1 under different water supply. A pot experiment was undertaken in factorial in CRD with 12 replications. The study factors were (1) different levels of water supply, corresponding to 100 (normal condition or control), 50, 25 and 12.5 % of full water supply, and (2) different levels of silicon, corresponding to 0, 50, 150, 300 and 500 kg/rai. The results showed that decreased water level as a result, the growth and yield components of rice decreased when comparing to those of the control. In addition, different levels of silicon also influenced both growth and yield of rice cv. Pathum Thani 1. Silicon at 300 kg/rai increased growth (plant height, root dry weight, shoot dry weight, tiller number per plant, photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance) and yield components (panicle number per plant, filled grains per panicle, 100 grain weight and yield per plant) of rice cv. Pathum Thani 1 when compared with other silicon level and it also reduced the undeveloped grains per panicle as a result, the productivity increases. It was, therefore, concluded that 300 kg/rai of silicon reduced the effect of toxicity from drought stress to rice cv. Pathum Thani 1 and it was also suitable for the growth and yield of rice cv. Pathum Thani 1.

**Keywords:** growth; rice cv. Pathum Thani 1; silicon; yield; level of water supply

## 1. คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและมีพื้นที่ปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทย รวมทั้งประชากรโลกในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในทวีปเอเชีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอฟริกา ซึ่งประเทศเหล่านี้เป็นประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (สมชาย, 2548) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ปลูกข้าวประมาณครึ่งหนึ่งของโลกได้รับปัญหาภัยแล้ง ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ไม่เพียงพอรวมทั้งการ

เข้าถึงของระบบชลประทานยังไม่ทั่วถึง สำหรับพื้นที่การปลูกข้าวของประเทศไทย พื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่ในเขตนาน้ำฝนที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างจำกัด จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว รวมทั้งส่งผลทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง (Hanson *et al.*, 1990) ดังนั้นปัญหาภัยแล้งนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่ทำให้ผลผลิตข้าวมีความแปรปรวน โดย (ชัชชัย, 2535) พบว่าเมื่อต้นข้าวได้รับสภาวะการขาดน้ำในระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ จะทำให้ผลผลิตลดลงประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์และผลผลิตจะลดลงถึง 30 เปอร์เซ็นต์เมื่อต้นข้าวได้รับสภาวะขาด

น้ำในระหว่างการสร้างรวงอ่อนจนถึงรวงแก่เต็มที่

เมื่อพืชได้รับสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ย่อมส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (พัชณี และคณะ, 2544) ดังนั้นการนำซิลิกอน (silicon) มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตและเพิ่มความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ย่อมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ ซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์เป็นวัสดุแคลเซียมซิลิเกตที่มีรูพรุน (ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์) ซิลิกอนที่พืชดูดซึมจากดินจะมีการสะสมในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวมีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ เรียกว่าชั้นซิลิกา (silica layer) ทำให้พืชมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น (ยงยุทธ, 2552) และช่วยลดการสูญเสียน้ำแก่พืช (Emadian and Newton, 1989) การสะสมของซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืชจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช การคายน้ำ และชนิดของพืช โดยผ่านกลไกการดูดซึม การเคลื่อนย้ายซิลิกอนไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Yamaji *et al.*, 2012)

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ factorial in CRD จำนวน 12 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กระถาง กระถางละ 1 ต้น ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 คือ ระดับการให้น้ำในอัตราที่ต่างกัน 4 อัตรา ได้แก่ การให้น้ำอัตรา 100 เปอร์เซ็นต์ (1.8 ลิตรต่อกระถาง) ซึ่งเป็นปริมาณที่ดินมีความอุ้มน้ำพอดี, 50, 25 และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ ของการให้น้ำเต็มอัตรา ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณการใช้ซิลิกอนในอัตราที่แตกต่างกัน 5 อัตรา ได้แก่ การใช้ซิลิกอน (ผลิตภัณฑ์ได้จากอุตสาหกรรมซีเมนต์) ในอัตรา 0, 50, 150, 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ (0, 0.80, 2.40, 4.80 และ 8.00 กรัมต่อกระถาง) ตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาเป็นหน้าดิน ซึ่งมีค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูก ดังตารางที่ 1

องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมซีเมนต์มีค่าวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2

### ตารางที่ 1 สมบัติของดินก่อนปลูก

สมบัติดิน	ผลวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรดด่าง	7.11
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	0.04
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (%)	2.03
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (%)	0.10
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	7.09
ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (mg/kg)	110.07

### ตารางที่ 2 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมซีเมนต์

องค์ประกอบ	ผลลัพธ์
1. pH	10
2. SiO <sub>2</sub>	51.65 %
3. CaO	37.63 %
4. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.83 %
5. MgO	0.56 %
6. other	8.33 %

### 2.2 การปลูกและการดูแลรักษา

เพาะกล้าพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ลงในถาดหลุมเพาะกล้าที่มีขนาด 2.4x2.4x4.0 เซนติเมตร ที่บรรจุด้วยหน้าดินและขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่อต้นกล้าอายุ 10 วัน ย้ายปลูกลงกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว กระถางละ 1 ต้น ที่บรรจุด้วยดินปลูก 5 กิโลกรัม ที่ผสมคลุกเคล้ากับซิลิกอนรูปแบบหยาบในอัตราต่าง ๆ เข้ากันดีแล้ว เมื่อต้นข้าวอายุ 6 วัน หลังปลูกใส่ปุ๋ยครั้งแรก ด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 35 กิโลกรัมต่อไร่ (0.56 กรัมต่อกระถาง) ร่วมกับสูตร 0-0-60 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ (0.16 กรัมต่อกระถาง) และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0

อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ (0.32 กรัมต่อกระถาง) เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังปลูก ให้น้ำในระดับต่าง ๆ ทุกวันตลอดการทดลอง ฉีดพ่นสารสกัดธรรมชาติเพื่อกำจัดโรคและแมลงที่เข้าทำลายในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโต

### 2.3 การเก็บผลการทดลอง

บันทึกการเจริญเติบโต โดยบันทึกความสูงต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ จำนวนต้นตอก น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งลำต้น บันทึกอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบด้วยเครื่อง portable photosynthetic (LI-6400, Li-cor, USA) เมื่อข้าวอายุ 70 วันหลังปลูก (ระยะตั้งท้อง) วัดกลางใบของใบที่มีการพัฒนามากที่สุด (ใบที่ 2 ของข้าว) (Zhang *et al.*, 2017) บันทึกข้อมูลองค์ประกอบผลผลิต ได้แก่ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์เมล็ดดีและเมล็ดลีบต่อรวง น้ำหนัก 100 เมล็ดที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตต่อต้น วิเคราะห์ปริมาณซิลิกอน (เปอร์เซ็นต์) ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น รวงและเปลือกหุ้มเมล็ด โดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่ดัดแปลงมาจาก Nayer และคณะ (1975)

### 2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนตามวิธี 4x5 factorial in CRD เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม SPSS

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

### 3.1 การเจริญเติบโต

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ภายใต้ระดับการให้น้ำที่ต่างกันของข้าวพันธุ์ทุมธานี 1 จากผลการทดลองพบว่าระดับการให้น้ำที่ลดลง

ส่งผลให้ความสูง น้ำหนักแห้งรากและลำต้น และจำนวนต้นตอกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 3) ในขณะที่ระดับการให้น้ำที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ซิลิกอนที่ปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนต้นตอกสูงที่สุด ( $15.11 \pm 0.19$  ต้น) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Manal และคณะ (2014) ที่พบว่าสภาวะเครียดจากการขาดน้ำส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตในส่วนของความสูงต้น จำนวนต้นตอกและชีวมวลของรากลดลง โดยบางการศึกษารายงานว่าภายใต้สภาวะขาดน้ำ ซิลิกอนมีความสามารถในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากได้ อาจมีผลมาจากซิลิกอนช่วยให้รากพืชมีการเจริญเติบโตทางความยาวและมีการขยายขนาดของผนังเซลล์ในบริเวณเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น (Hattori *et al.*, 2003) อีกทั้งอาจเป็นผลมาจากซิลิกอนช่วยกระตุ้นให้รากพืชมีการดูดซึมธาตุอาหารได้มากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยส่งเสริมให้บริเวณรากเกิดการแลกเปลี่ยนประจุเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมให้กิจกรรมของรากสามารถดำเนินได้อย่างปกติ (Chan *et al.*, 2011) จึงเป็นผลทำให้พืชมีความต้านทานต่อสภาวะขาดน้ำได้มากยิ่งขึ้น

### 3.2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบ

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ภายใต้ระดับการให้น้ำที่ต่างกันของข้าวพันธุ์ทุมธานี 1 จากผลการทดลองพบว่าระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพบว่าระดับการให้น้ำที่ลดลง ส่งผลให้ลักษณะดังกล่าวมีค่าลดลง เนื่องจากคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้รับความเสียหาย

ที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (Smimoff, 1995) ดังนั้นเมื่อพืชมีการเปิดปิดของปากใบลดลงย่อมส่งผลทำให้ระดับการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเช่นกัน และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณซิลิกอน พบว่าซิลิกอนที่ใช้ในปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ไม่มีการใส่ซิลิกอนและการใส่ซิลิกอนที่ปริมาณ 50, 150 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่

4) เนื่องจากซิลิกอนมีบทบาทต่อการช่วยรักษาเมดลัสที่จำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ได้ (Lobato *et al.*, 2009) การใช้ซิลิกอนจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดกับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์บีได้ พืชจะมีการสะสมของซิลิกอนที่บริเวณผนังเซลล์ซึ่งสามารถช่วยปกป้องพืชได้ทางอ้อม ทำให้คลอโรฟิลล์บี รวมทั้งองค์ประกอบที่สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงอยู่ (Parida *et al.*, 2007)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน

ปัจจัย	ความสูงต้น (cm)	น้ำหนักแห้งราก (g)	น้ำหนักแห้งลำต้น (g)	จำนวนต้นต่อกอ
ระดับการให้น้ำ (A)				
100 %	77.39± 2.01 <sup>a 1/</sup>	7.38±0.51 <sup>a</sup>	28.67±1.38 <sup>a</sup>	13.58±1.08 <sup>b</sup>
50 %	77.09± 2.72 <sup>a</sup>	7.37±0.58 <sup>a</sup>	26.69±1.62 <sup>b</sup>	14.44±0.66 <sup>a</sup>
25 %	57.35± 0.85 <sup>b</sup>	6.92±0.56 <sup>b</sup>	18.20±0.67 <sup>c</sup>	8.43±0.56 <sup>c</sup>
12.50 %	40.57± 1.25 <sup>c</sup>	3.34±0.35 <sup>c</sup>	10.30±0.62 <sup>d</sup>	4.71±0.58 <sup>d</sup>
ปริมาณซิลิกอน (B)				
0 kg/rai	61.82±15.53 <sup>b 2/</sup>	5.89±1.69 <sup>c</sup>	20.41±7.47 <sup>b</sup>	9.74±3.89 <sup>b</sup>
50 kg/rai	62.63±15.97 <sup>b</sup>	6.14±1.73 <sup>bc</sup>	20.67±7.37 <sup>b</sup>	9.87±3.99 <sup>b</sup>
150 kg/rai	63.11±16.27 <sup>b</sup>	6.35±1.86 <sup>ab</sup>	21.22±7.59 <sup>ab</sup>	10.57±4.39 <sup>a</sup>
300 kg/rai	64.69±16.37 <sup>a</sup>	6.64±1.94 <sup>a</sup>	21.82±8.33 <sup>a</sup>	10.79±4.42 <sup>a</sup>
500 kg/rai	63.26±16.32 <sup>b</sup>	6.24±1.87 <sup>abc</sup>	20.70±7.73 <sup>b</sup>	10.48±4.19 <sup>a</sup>
A	**	**	**	**
B	**	*	**	**
A*B	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	2.70	8.00	5.16	5.57

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับการให้น้ำ; <sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณซิลิกอน; \* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; \*\* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ และอัตราการเปิดปิดของปากใบของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน

ปัจจัย	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ )	อัตราการคายน้ำ ( $\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ )	อัตราการเปิดปิดของปากใบ ( $\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$ )
ระดับการให้น้ำ (A)			
100 %	5.09±0.42 <sup>a 1/</sup>	0.95±0.19 <sup>a</sup>	20.44±3.85 <sup>a</sup>
50 %	4.56±0.36 <sup>b</sup>	0.88±0.15 <sup>ab</sup>	18.76±2.52 <sup>ab</sup>
25 %	4.60±0.59 <sup>c</sup>	0.79±0.17 <sup>bc</sup>	17.45±2.52 <sup>b</sup>
12.50 %	4.46±0.46 <sup>d</sup>	0.73±0.25 <sup>c</sup>	14.57±3.69 <sup>c</sup>
ปริมาณซิลิกอน (B)			
0 kg/rai	4.42±0.43 <sup>b 2/</sup>	0.71±0.13 <sup>b</sup>	16.98±3.59 <sup>bc</sup>
50 kg/rai	4.66±0.49 <sup>ab</sup>	0.81±0.23 <sup>ab</sup>	17.84±3.34 <sup>b</sup>
150 kg/rai	4.59±0.44 <sup>b</sup>	0.89±0.23 <sup>a</sup>	18.77±4.00 <sup>ab</sup>
300 kg/rai	4.97±0.38 <sup>a</sup>	0.91±0.18 <sup>a</sup>	19.82±3.54 <sup>a</sup>
500 kg/rai	4.62±0.57 <sup>ab</sup>	0.82±0.17 <sup>ab</sup>	15.36±3.07 <sup>c</sup>
A	**	**	**
B	*	*	**
A*B	ns	ns	ns
C.V. (%)	8.85	21.71	15.25

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับการให้น้ำ; <sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณซิลิกอน; \* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; \*\* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

### 3.3 องค์ประกอบของผลผลิต

การศึกษาผลของระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนต่อองค์ประกอบของผลผลิต พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอน เมื่อพิจารณาที่ระดับการให้น้ำพบว่าระดับการให้น้ำที่ลดลง ส่งผลทำให้จำนวนต้นตอกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าลดลง และระดับการให้น้ำที่ลดลงจนถึง 12.50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่สามารถให้ผลผลิตได้

สำหรับปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการใส่ซิลิกอนที่ปริมาณ 150 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ข้าวมีจำนวนตอกสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ใส่ปริมาณซิลิกอนและการใส่ซิลิกอนที่ปริมาณอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าการใส่ซิลิกอนถึง 300 และ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ยังทำให้จำนวนรวงตอกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 5) จากผลการทดลองพบว่าระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนมีผลต่อองค์ประกอบของผลผลิต

(จำนวนเมล็ดดีและจำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (เปอร์เซ็นต์) น้ำหนัก 100 เมล็ด และปริมาณผลผลิตต่อไร่) อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) โดยพบว่าระดับการให้น้ำที่ลดลงจนถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของการให้น้ำปกติ ส่งผลทำให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวงและปริมาณผลผลิตต่อต้นลดลง คิดเป็น 22.79 และ 32.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่จำนวนเมล็ดลีบและน้ำหนัก 100 เมล็ดมีค่าเพิ่มขึ้น คิดเป็น 48.74 และ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับการให้น้ำปกติ (ตารางที่ 5) เนื่องจากการขาดน้ำส่งผลให้เกิดการสร้างรวงที่ลดลงและทำให้อัตราการเกิดเมล็ดลีบเพิ่มสูงขึ้น (Liu *et al.*, 2006) สำหรับปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน พบว่าซิลิกอนที่ปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้จำนวนเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนัก 100 เมล็ด และปริมาณผลผลิตต่อต้นมีค่าสูงที่สุด อีกทั้งการใส่ซิลิกอนปริมาณ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการให้น้ำที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ยังพบว่าทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบของข้าวมีค่าต่ำที่สุด (30.55±6.89 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ และให้ผลไม่แตกต่างกับการให้น้ำปกติร่วมกับการใส่ซิลิกอนที่ 300 กิโลกรัมต่อไร่ (ตารางที่ 6) นอกจากนี้การให้น้ำที่ระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับการใส่ซิลิกอน 300 กิโลกรัมต่อไร่ยังส่งผลให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีน้ำหนัก 100 เมล็ด และปริมาณผลผลิตต่อต้นมีค่าสูงที่สุด (378.10 กิโลกรัมต่อไร่) เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ (ตารางที่ 6) ด้วยเหตุนี้เนื่องจากซิลิกอนมีส่วนช่วยในการปรับปรุงการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะแห้งแล้ง โดยการปรับปรุงการเปิดปิดของปากใบ นอกจากนี้ยังรวมถึงการช่วยส่งเสริมการผลิตเม็ดสี ซึ่งมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Chen *et al.*, 2011) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างเป็นปกติ และมีองค์ประกอบของผลผลิตเพิ่มขึ้น

### 3.4 ปริมาณซิลิกอนในส่วนต่างๆของพืช

ปริมาณซิลิกอนที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่าระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนมีส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกอนในส่วนของรากอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) กล่าวคือ เมื่อมีการลดระดับการให้น้ำลงจากการให้น้ำปกติ ส่งผลให้ปริมาณซิลิกอนที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืชลดลง แต่ระดับการให้น้ำที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้รากข้าวมีปริมาณซิลิกอนสูงที่สุด (0.31 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกันมีผลต่อการสะสมของซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยการสะสมซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีผลแปรผันตามกับปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้น ซิลิกอนมีการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนเหนือดิน โดยการเคลื่อนย้ายผ่านทางไซเล็ม (xylem) หรือท่อลำเลียงน้ำของพืชในรูปของกรดซิลิซิก [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ] (ยงยุทธ, 2552; Ding *et al.*, 2008) โดยอาศัยการคายน้ำของพืชเป็นตัวกลางสำคัญในการเคลื่อนย้ายซิลิกอนไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (Yamaji *et al.*, 2008; Yamaji *et al.*, 2012) เมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดจากการขาดน้ำ ค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ในใบและน้ำในเซลล์พืชจะมีปริมาณลดลง (Siddique *et al.*, 2000; Farooq *et al.*, 2009) ส่งผลต่อการเปิดปิดของปากใบ ซึ่งเป็นการตอบสนองของพืชเมื่อพืชได้รับสภาวะขาดน้ำ (Reddy *et al.*, 2004; Farooq *et al.*, 2009) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้การสะสมของซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืชลดลงด้วย นอกจากนี้ Sonobe และคณะ (2011) และ Ming และคณะ (2012) รายงานว่าสิ่งทดลองที่มีการใส่ซิลิกอนสามารถช่วยส่งเสริมการดูดน้ำของรากพืชได้ จึงส่งผลให้พืชมีการดูดซึมซิลิกอนโดยผ่านทางรากพืชได้เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าพืชมีการสะสมซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของพืชในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป เช่นเดียวกับการศึกษาของ

Hossain *et al.* (2001) ที่พบว่าข้าวมีการสะสมของซิลิกอนในส่วนของใบ ลำต้น และเมล็ดแตกต่างกัน โดยพบว่าพืชมีการสะสมซิลิกอนในส่วนของใบสูงที่สุด รองลงมา คือ ลำต้นและเมล็ด เนื่องจากพืชมี

การดูดซิลิกอนจากดินมาสะสมได้มากน้อยแตกต่างกันออกไปตามชนิดพืชและส่วนประกอบของพืช (ยงยุทธ, 2552)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน

ปัจจัย	จำนวนรวงต่อกอ	จำนวนเมล็ดดีต่อรวง (%)	จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง (%)	น้ำหนัก 100 เมล็ด (g)	ปริมาณผลผลิตต่อต้น (g)
ระดับการให้น้ำ (A)					
100 %	10.39±0.93 <sup>b 1/</sup>	63.23±7.02 <sup>a</sup>	36.77±7.02 <sup>c</sup>	21.43±0.69 <sup>b</sup>	23.93±4.53 <sup>a</sup>
50 %	11.37±0.46 <sup>a</sup>	54.45±10.09 <sup>b</sup>	45.55±10.09 <sup>b</sup>	21.91±0.69 <sup>a</sup>	20.45±4.39 <sup>b</sup>
25 %	9.72±1.04 <sup>c</sup>	48.82±8.65 <sup>c</sup>	54.69±6.62 <sup>a</sup>	21.61±0.83 <sup>a</sup>	7.69±2.68 <sup>c</sup>
12.50 %	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>
ปริมาณซิลิกอน (B)					
0 kg/rai	7.21±4.53 <sup>c 2/</sup>	37.90±24.68 <sup>c</sup>	37.10±24.23 <sup>a</sup>	15.32±9.85 <sup>d</sup>	10.99±9.04 <sup>c</sup>
50 kg/rai	7.65±4.70 <sup>bc</sup>	40.31±25.28 <sup>bc</sup>	34.69±22.67 <sup>ab</sup>	15.74±10.11 <sup>c</sup>	12.30±9.97 <sup>bc</sup>
150 kg/rai	8.30±5.03 <sup>a</sup>	43.73±27.46 <sup>ab</sup>	31.93±20.72 <sup>b</sup>	16.12±10.35 <sup>b</sup>	14.28±11.18 <sup>ab</sup>
300 kg/rai	8.17±4.97 <sup>ab</sup>	48.20±30.24 <sup>a</sup>	30.05±21.99 <sup>b</sup>	16.68±10.08 <sup>a</sup>	15.10±10.53 <sup>a</sup>
500 kg/rai	8.02±4.87 <sup>ab</sup>	37.99±23.53 <sup>c</sup>	37.49±23.24 <sup>a</sup>	15.23±9.79 <sup>d</sup>	11.83±10.70 <sup>c</sup>
A	**	**	**	**	**
B	**	**	**	**	**
A*B	ns	ns	*	**	ns
C.V. (%)	7.56	14.50	14.80	1.66	19.98

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับการให้น้ำ; <sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณซิลิกอน; \* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; \*\* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

#### 4. สรุป

ระดับการให้น้ำที่ลดลง ส่งผลทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ลดลง โดยปริมาณซิลิกอนที่เพิ่มขึ้น สามารถช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะขาดน้ำของข้าวพันธุ์

ปทุมธานี 1 ได้ สำหรับปริมาณซิลิกอนที่ 300 กิโลกรัมต่อไร่ ถือว่าเป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มากที่สุด



**ตารางที่ 6** ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซิลิกอนและระดับการให้น้ำต่อจำนวนต้นตอกอ จำนวนเมล็ดลึบต่อรวง และน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1

องค์ประกอบ ผลผลิต	ปริมาณซิลิกอน (kg/rai)	ระดับการให้น้ำ				ค่าเฉลี่ยรวม
		100 %	50 %	25 %	12.50 %	
จำนวน ต้นตอกอ	0	12.25±0.25 <sup>c 1/</sup>	14.00±0.50 <sup>b</sup>	8.25±0.75 <sup>d</sup>	4.44±0.51 <sup>e</sup>	9.74±3.89
	50	12.50±0.50 <sup>c</sup>	14.25±0.66 <sup>ab</sup>	8.25±0.55 <sup>d</sup>	4.48±0.13 <sup>e</sup>	9.87±3.99
	150	14.33±0.38 <sup>ab</sup>	14.75±0.43 <sup>ab</sup>	8.43±0.59 <sup>d</sup>	4.77±0.75 <sup>e</sup>	10.57±4.39
	300	14.42±0.52 <sup>ab</sup>	15.11±0.19 <sup>a</sup>	8.70±0.75 <sup>d</sup>	4.92±0.63 <sup>e</sup>	10.79±4.42
	500	14.42±0.38 <sup>ab</sup>	14.08±0.88 <sup>ab</sup>	8.50±0.43 <sup>d</sup>	4.93±0.90 <sup>e</sup>	10.48±4.19
	ค่าเฉลี่ยรวม	13.58±1.08	14.44±0.66	8.43±0.56	4.71±0.58	
จำนวน เมล็ดลึบ ต่อรวง (%)	0	37.73±6.75 <sup>def</sup>	52.76±6.78 <sup>abc</sup>	57.89±7.50 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>g</sup>	37.10±24.23
	50	35.59±3.65 <sup>ef</sup>	50.08±9.95 <sup>abc</sup>	53.11±6.58 <sup>abc</sup>	0.00±0.00 <sup>g</sup>	34.69±22.67
	150	34.43±8.75 <sup>ef</sup>	46.23±7.82 <sup>cd</sup>	47.07±5.91 <sup>bcd</sup>	0.00±0.00 <sup>g</sup>	31.93±20.72
	300	31.77±8.46 <sup>f</sup>	30.55±6.89 <sup>f</sup>	57.87±4.55 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>g</sup>	30.05±21.99
	500	44.33±1.73 <sup>cde</sup>	48.14±1.33 <sup>abc</sup>	57.49±4.32 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>g</sup>	37.49±23.24
	ค่าเฉลี่ยรวม	36.77±7.02	45.55±10.09	54.69±6.62	0.00±0.00	
น้ำหนัก 100 เมล็ด (g)	0	21.56±0.18 <sup>ef</sup>	21.43±0.00 <sup>ef</sup>	20.33±0.25 <sup>g</sup>	0.00±0.00 <sup>h</sup>	15.32± 9.85
	50	21.57±0.62 <sup>ef</sup>	21.68±0.01 <sup>def</sup>	21.70±0.10 <sup>def</sup>	0.00±0.00 <sup>h</sup>	15.74±10.11
	150	22.32±0.20 <sup>abc</sup>	21.90±0.16 <sup>cde</sup>	22.17±0.15 <sup>bcd</sup>	0.00±0.00 <sup>h</sup>	16.12±10.35
	300	21.29±0.17 <sup>f</sup>	22.78±0.75 <sup>a</sup>	22.63±0.15 <sup>ab</sup>	0.00±0.00 <sup>h</sup>	16.68±10.08
	500	20.42±0.11 <sup>g</sup>	21.31±0.12 <sup>f</sup>	21.23±0.21 <sup>f</sup>	0.00±0.00 <sup>h</sup>	15.23± 9.79
	ค่าเฉลี่ยรวม	21.43±0.69	21.91±0.69	21.61±0.83	0.00±0.00	

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความสัมพันธ์ในระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอน

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการวิจัยจาก กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประเภททุนวิจัยทั่วไป สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2561 ตามสัญญาเลขที่ ทน 23/2561 และทุนบัณฑิตเรียนดี เพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ปีการศึกษา 2559 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณ บริษัท Taiheiyō Cement Corporation (ประเทศญี่ปุ่น) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและ

อำนวยความสะดวกด้านวัสดุอุปกรณ์

## 6. รายการอ้างอิง

รัชชัช ฒ นคร, 2535, ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช, เอกสารเพื่อการถ่ายทอด เทคโนโลยี ชุดความรู้เทคโนโลยีการพัฒนา ที่ดิน, สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

พัชนี ชัยวัฒน์, Bottrel, D.G. และ Bernado, E.N.,

ตารางที่ 7 ปริมาณซิลิกอน (เปอร์เซ็นต์) ในส่วนของราก ลำต้น รวง และเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในระดับการให้น้ำและปริมาณซิลิกอนที่แตกต่างกัน

ปัจจัย	ปริมาณซิลิกอนในส่วนของราก	ปริมาณซิลิกอนในส่วนของลำต้น	ปริมาณซิลิกอนในส่วนของรวง	ปริมาณซิลิกอนในส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ด
ระดับการให้น้ำ (A)				
100 %	0.25±0.07 <sup>b 1/</sup>	4.15±0.45 <sup>a</sup>	1.84±0.12 <sup>a</sup>	4.27±0.30 <sup>a</sup>
50 %	0.31±0.01 <sup>a</sup>	2.46±0.82 <sup>b</sup>	0.82±0.33 <sup>b</sup>	3.73±0.43 <sup>b</sup>
25 %	0.27±0.07 <sup>b</sup>	1.13±0.42 <sup>c</sup>	0.47±0.24 <sup>c</sup>	2.07±0.72 <sup>c</sup>
12.50 %	0.26±0.05 <sup>b</sup>	0.65±0.26 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>
ปริมาณซิลิกอน (B)				
0 kg/rai	0.20±0.05 <sup>c 2/</sup>	1.71±1.43 <sup>b</sup>	0.61±0.69 <sup>b</sup>	2.18±1.79 <sup>c</sup>
50 kg/rai	0.24±0.05 <sup>c</sup>	1.98±1.51 <sup>ab</sup>	0.73±0.71 <sup>ab</sup>	2.44±1.69 <sup>bc</sup>
150 kg/rai	0.28±0.05 <sup>b</sup>	2.13±1.32 <sup>ab</sup>	0.80±0.65 <sup>a</sup>	2.53±1.64 <sup>ab</sup>
300 kg/rai	0.33±0.05 <sup>a</sup>	2.25±1.50 <sup>a</sup>	0.88±0.80 <sup>a</sup>	2.58±1.77 <sup>ab</sup>
500 kg/rai	0.33±0.05 <sup>a</sup>	2.41±1.59 <sup>a</sup>	0.91±0.74 <sup>a</sup>	2.85±1.94 <sup>a</sup>
A	*	**	**	**
B	**	*	**	**
A*B	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.56	25.16	25.43	15.08

<sup>1/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระดับการให้น้ำ; <sup>2/</sup> ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรพิมพ์เล็กเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณซิลิกอน; \* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %; \*\* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %; ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2544, ผลของซิลิกอนในต้นข้าวต่อเพลิงกระโดดสีน้ำตาล, ว.การเกษตร 19(3): 179-211.

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

สมชาย ชดตะการ, 2548, ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท ก.พล (1996) จำกัด, กรุงเทพฯ.

Chen, W., Yao, X.Q., Cai, K.Z. and Chen, J., 2011, Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption, Biol. Trace Elem. Res. 142: 67-76.

Ding, T.P., Zhou, J.X., Wan, D.F., Chen, Z.Y. and Zhang, F., 2008, Silicon isotope fractionation in bamboo and its significance

- to the biogeochemical cycle of silicon, *Geochim Cosmochim Acta* 72: 1381-1395.
- Emadian, S.F. and Newton, R.J., 1989, Growth enhancement of loblollypine (*Pinus taeda* L.) seedlings by silicon, *Plant Physiol.* 134: 98-103.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A., 2009, Plant drought stress: Effects, mechanisms and management, *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185-212.
- Hanson, A.D., Peacock, W.J., Evans, L.T., Arntzen, C.J. and Khush, G.S., 1990, Drought resistance in rice, *Nature* 234: 2.
- Hattori, T., Inanaga, S., Tanimoto, E., Lux, A., Luxova, M. and Sugimoto, Y., 2003, Silicon-induced changes in viscoelastic properties of sorghum root cell walls, *Plant Cell Physiol.* 44: 743-749.
- Hossain, K. A., Horiuchi, T. and Miyagawa, S., 2001, Effect of silicate materials on growth and grain yield of rice plants grown in clay loam and sandy loam soils, *J. Plant Nutr.* 24: 1-13.
- Liu, J. X., Liao, D.Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X.E., Li, Z.C. and Bennett, J., 2006, Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice, *Field Crops Res.* 97: 87-100.
- Lobato, A.K.S., Costa, R.C.L., Neto, M.A.M., Oliveira, N.C.F., Santos, F.B.G., Alves, G.A.R., Freitas, J.M.N., Cruz, F.J.R., Marochio, C.A. and Coimbra, G.K., 2009, Responses of the photosynthetic pigments and carbon metabolism in *Vigna unguiculata* cultivars submitted to water deficit, *Res. J. Biol. Sci.* 4: 593-598.
- Manal, M.E., Hemmat, E.K., Nesma, M.H. and Abdelsalam, E.D., 2014, Effect of selenium and silicon on yield quality of rice plant grown under drought stress, *AJCS.* 8: 596-605.
- Ming, D.F., Pei, Z.F., Naeem, M.S., Gong, H.J. and Zhou, W.J., 2012, Silicon alleviates PEG-induced water-deficit stress in upland rice seedlings by enhancing osmotic adjustment, *J. Agron. Crop Sci.* 198: 14-26.
- Nayer, P.K., Misra, A.K. and Patnaik, S., 1975, Rapid microdetermination of silicon in rice plant, *Plant Soil* 42: 497-494.
- Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S. and Auramgabadkar, L.P., 2007, Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to 112 responses of organisms to water stress short-term drought stress followed by recovery, *Plant Biotechnol. Rep.* 1: 37-48.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandanb, M., 2004, Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants, *J. Plant Physiol.* 161: 1189-1202.
- SGS, 2015, Analysis report of Taiheiyo International (Thailand) Co., Ltd.
- Siddique, M.R.B., Hamid, A. and Islam, M.S., 2000, Drought stress effects on water relations of wheat, *Bot. Bull. Acad. Sin.* 41: 35-39.
- Smirnoff, N., 1995, Antioxidant Systems and

- Plant Response to the Environment, In Smirnoff, V. (Ed.), Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation, BIOS Scientific Publishers, Oxford.
- Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A.E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K. and Inanaga, S., 2011, Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress, *J. Plant Nutr.* 34: 71-82.
- Yamaji, N., Mitatni, N. and Ma, J.F., 2008, A transporter regulating silicon distribution in rice shoots, *Plant Cell* 20: 1381-1389.
- Yamaji, N., Chiba, Y., Mitani-Ueno, N. and Ma, J.F., 2012, Functional characterization of a silicon transporter gene implicated in silicon distribution in barley, *Plant Physiol.* 160: 1491-1497.
- Zhang, C., Li, X., He, Y., Zhang, J., Yan, T. and Liu, X., 2017, Physiological investigation of C4-phosphoenolpyruvate-carboxylase-introduced rice line shows that sucrose metabolism is involved in the improved drought tolerance, *Plant Physiol.* 115: 328-342.