

# ผลของสังกะสีและซิลิกอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

## Effects of zinc and silicon on growth and yield of rice cv. Khao Dawk Mali 105

เบญจพร กลุณิตย์<sup>1,2\*</sup>, ชลิตา วังภูมิใหญ่<sup>1</sup>, มงคล วงศ์สวัสดิ์<sup>1</sup>,  
 ธนกร สิริตระกุลศักดิ์<sup>1</sup>, กัลยรัตน์ มณีประดิษฐ์<sup>1</sup>  
 และ ปัทมา วิตยากร<sup>2,3</sup>

Benjapon Kunlanit<sup>1,2\*</sup>, Chalita Wangpoomyai<sup>1</sup>, Mongkol Vongsavas<sup>1</sup>,  
 Tanapon Siritrakulsak<sup>1</sup>, Kanyarat Maneepradid<sup>1</sup> and Patma Vityakon<sup>2,3</sup>

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสังกะสี (zinc, Zn) และซิลิกอน (silicon, Si) ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินทรายร่วน (loamy sand soil) โดยทำงานทดลองในกระถางในสภาพโรงเรือน และวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design มี 5 กรรมวิธี และ 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (T1) 2) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (สูตร 16-16-8 และ 46-0-0 อัตรา 22.5 และ 10.0 กก./ไร่ ตามลำดับ) (T2) 3) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับ Zn อัตรา 1.1 กก./ไร่ (T3) 4) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับ Si อัตรา 195.6 กก./ไร่ (T4) และ 5) ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับ Zn อัตรา 1.1 กก./ไร่ และ Si อัตรา 195.6 กก./ไร่ (T5) ผลการศึกษา พบว่า กรรมวิธี T2-T5 ให้องค์ประกอบของการเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิต และผลผลิตเมล็ดของข้าวสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (T1) ( $P < 0.01$ ) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับ Zn และ Si (T3-T5) มีแนวโน้มทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดสูงกว่าใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (T2) ( $P > 0.05$ )

**คำสำคัญ:** ปุ๋ยเคมี, สังกะสี, ซิลิกอน, ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105, ดินทรายร่วน

Received November 13, 2018

Accepted March 26, 2019

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

<sup>2</sup> กลุ่มวิจัยการจัดการอินทรีย์วัตถุของดิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Soil Organic Matter Management Group, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

<sup>3</sup> สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Soil Science and Environment, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

\* Corresponding author: benjapon.k@msu.ac.th

**ABSTRACT:** The objective of this study was to investigate the effects of zinc (Zn) and silicon (Si) on growth and yield of rice cv. Khao Dawk Mali 105 grown in a loamy sand soil. An experimental design was a randomized complete block design with 5 treatments of fertilizer application and 4 replications, namely 1) no fertilizer (control, T1), 2) recommended chemical fertilizer rate (16-16-8 and 46-0-0 formulas at the rates of 22.5 and 10.0 kg/rai, respectively) (T2), 3) recommended chemical fertilizer rate + Zn at the rate of 1.1 kg/rai (T3), 4) recommended chemical fertilizer rate + Si at the rate of 195.6 g/rai (T4), and 5) recommended chemical fertilizer rate + Zn at the rate of 1.1 kg/rai and Si at the rate of 195.6 g/rai (T5). The results showed that T2-T5 contributed to higher growth and yield components as well as grain yield of rice than no fertilizer application (T1) ( $P < 0.01$ ). However, application of recommended chemical fertilizer rate with Zn and Si (T3-T5) showed a trend to have higher yield component and grain yield than the recommended chemical fertilizer rate (T2) ( $P > 0.05$ ).  
**Keywords:** Chemical fertilizer, Zinc, Silicon, Rice cv. Khao Dawk Mali 105, Loamy sand soil

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมโดยเฉพาะการปลูกข้าว โดยข้าว (*Oryza sativa* L.) อยู่ในวงศ์ Poaceae ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว, 2560) โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวประมาณ 11.7 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 175,161 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพืชไวต่อช่วงแสง เป็นข้าวนาปี มีใบสีเขียวค่อนข้างแคบ และทนแล้งได้ดี พื้นที่นิยมปลูกข้าวนาปี ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ ในการเพาะปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในปี 2559/2560 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 20,541,940 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56 ของพื้นที่เพาะปลูกพืชทั้งหมดของภาค ได้ผลผลิตข้าวอยู่ที่ 7,037,301 ตัน โดยผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 356 กก./ไร่ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กับภูมิภาคอื่นๆ พบว่า ผลผลิตเฉลี่ยในภูมิภาคอื่นๆ สูงกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ให้ผลผลิตข้าวเฉลี่ยอยู่ที่ 495, 374 และ 373 กก./ไร่ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) การที่ผลผลิตของข้าวในภูมิภาคอื่นๆ สูงกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือน่าจะมาจากความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สูงกว่า เนื่องจากสภาพดินส่วนใหญ่ของภูมิภาคนี้เป็นดินเนื้อทรายมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และดินเป็นดินเก่า (old soil) ที่ผ่านการสลายตัวผุพังมาเป็นระยะเวลานาน ทำให้มี

ปริมาณธาตุอาหารในดินต่ำ โดยเฉพาะ Zn และ Si (Foy, 1992) ดังนั้น การจัดการปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมจึงจะช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวในภูมิภาคนี้ได้

ธาตุอาหารพืชมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ธาตุสังกะสี (zinc, Zn) เป็นจุลธาตุ (micronutrient) ที่มีความสำคัญ ซึ่งพืชขาดไม่ได้ โดยธาตุ Zn มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ของพืช ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และการสังเคราะห์โปรตีน (protein synthesis) นอกจากนี้ยังช่วยในการต้านทานโรค (disease resistance) ส่วนธาตุซิลิกอน (silicon, Si) เป็นธาตุเสริมประโยชน์ (beneficial element) พืชต้องการในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่ธาตุ Si มีผลด้านเสริมประโยชน์ต่อพืชหลายประการ เช่น ช่วยให้ใบตั้งชัน ลำต้นแข็งแรงไม่หักง่าย และป้องกันไม่ให้เชื้อโรคเข้าไปในรากและใบ ซึ่งเป็นเชื้อราสาเหตุของการเกิดโรคพืช (Marschner, 1995) ตัวอย่างการศึกษาผลของ Zn และ Si ต่อข้าวพันธุ์ Tarome Hashemi ที่ปลูกในดินร่วนปนทราย (sandy loam soil) ของประเทศอิหร่าน โดย Ghasemi et al. (2013) พบว่า การใส่ Zn และ Si ร่วมกับธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าไม่ใส่ Zn และ Si และ Esfahani et al. (2014) ได้ศึกษาผลของการใส่ Zn และ Si ร่วมกับธาตุอาหารหลักต่อผลผลิตข้าวพันธุ์ Tarom Mahalli ที่ปลูกในกระถางในโรงเรือน โดยใช้ดินร่วนปนทรายแป้ง (silty loam soil) พบว่าการใส่ Zn และ Si ร่วมกับธาตุอาหารหลักทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าการใส่ Zn หรือ Si เพียงอย่างเดียวถึง 10% นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาใน

ระบบไฮโดรโปนิกส์ของ Mehrabanjoubani et al. (2015) พบว่า การใส่ Zn อัตรา 10 ไมโครกรัม/ล. ร่วมกับ Si อัตรา 1.5 มิลลิโมล ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสูงกว่าไม่ใส่ Zn และ Si และเช่นเดียวกัน Song et al. (2014) ได้ศึกษาผลของ Si และ Zn ในระบบระบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่า การใส่ Si (1.5 มิลลิโมล) ร่วมกับ Zn ในระดับปกติ (0.15 ไมโครโมล) ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวสูงกว่าไม่ใส่ Si ถึงแม้ว่า Zn และ Si จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าว แต่การศึกษาผลของ Zn ร่วมกับ Si ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินเนื้อทรายนั้นยังมีจำกัด ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของ Zn และ Si ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินทราย่วน (loamy sand soil)

## วิธีการศึกษา

### 1. แผนการทดลอง

ดำเนินการทดลองในกระถางในโรงเรือนทดลอง แต่สภาพภายในโรงเรือนไม่สามารถควบคุมทิศทางของแสงและอุณหภูมิได้ ดังนั้น การทดลองนี้จึงได้วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design (RCBD) มี 5 กรรมวิธี และมีจำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย

1. กรรมวิธีที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (T1)

2. กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำของกรมการข้าวสูตร 16-16-8 และ 46-0-0 อัตรา 22.5 และ 10.0 กก./ไร่ ตามลำดับ (กรมการข้าว, 2553) (T2)

3. กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และ 46-0-0 อัตรา 22.5 และ 10.0 กก./ไร่ ตามลำดับ ร่วมกับ Zn อัตรา 1.1 กก./ไร่ (T3)

4. กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และ 46-0-0 อัตรา 22.5 และ 10.0 กก./ไร่ ตามลำดับ ร่วมกับ Si อัตรา 195.6 ก./ไร่ (T4)

5. กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 และ 46-0-0 อัตรา 22.5 และ 10.0 กก./ไร่ ตามลำดับ ร่วมกับ Zn อัตรา 1.1 กก./ไร่ และ Si อัตรา 195.6 ก./ไร่ (T5)

## 2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 2.1 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

2.1.1 ทำการเก็บตัวอย่างดินทราย่วน (loamy sand soil) ที่ระดับความลึก 0-20 ซม. จากแปลงเกษตรอินทรีย์เขตพื้นที่นาสีนวน คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.นาสีนวน อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม (พิกัด 16°20'43"N 103°12'38"E) และนำดินมาผึ่งให้แห้งในร่ม จากนั้นนำดินมาร่อนผ่านตระแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม.

2.1.2 นำดินจากข้อ 2.1.1 มาวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สังกะสีและซิลิกอนที่เป็นประโยชน์ในดิน ตามวิธีการของเบญจพร (2559) และ Benton Jones (2001)

2.1.3 เตรียมดินเพื่อปลูกข้าว โดยนำดินจากข้อ 2.1.1 ปริมาณ 5 กก. ใส่ในกระถาง โดยให้ความสูงของดินในกระถางเท่ากับ 3/4 ของกระถาง แล้ววัดพื้นที่หน้าตัดผิวดินในกระถางเพื่อนำไปคำนวณการใส่ปุ๋ย

2.1.4 เตรียมต้นกล้าและปักดำ การเตรียมกล้าโดยการเพาะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลงในทรายในถาดเพาะ เมื่อกล้าอายุได้ประมาณ 1 เดือน ทำการปักดำใช้ต้นกล้าจำนวน 3 ต้น/กระถาง

2.1.5 การดูแลรักษา มีดังนี้

2.1.5.1 รักษาระดับน้ำในทุกกระถางให้อยู่ระดับ 8 เซนติเมตร เหนือผิวดิน

2.1.5.2 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยเมื่อข้าวอายุได้ 7 วันหลังปักดำ โดยใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 22.5 กก./ไร่ (กรมการข้าว, 2553) และ Zn อัตรา 0.55 กก./ไร่ (ใส่ในรูป  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) (Khan et al., 2007)

2.1.5.3 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ใส่ปุ๋ยในระยะกำเนิดช่อดอก โดยใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กก./ไร่ (กรมการข้าว, 2553) และ Zn อัตรา 0.55 กก./ไร่

2.1.5.4 ใส่ Si อัตรา 195.6 ก./ไร่ (การใส่ Si โดยการผสมน้ำแล้วฉีดพ่นทางใบ เมื่อข้าวอายุ 20 30 และ 50 วันหลังปักดำ (Ghasemi et al., 2013) สำหรับกรรมวิธีที่ใส่ Si

2.1.6 เก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเมื่ออายุ 100-120 วัน

### 3. การเก็บข้อมูล

#### 3.1 การเจริญเติบโต

ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตประกอบด้วย

1) ความสูงของต้น โดยวัดความสูงจากระดับผิวดินถึงปลายใบที่สูงที่สุด และจำนวนต้น/กอ ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 วัน หลังปักดำ

2) พื้นที่ใบใช้เครื่องวัดพื้นที่ใบ คือ Handheld Laser Leaf Area Meter (CI-203) ความเขียวของสีเขียวใช้เครื่อง SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) และวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ของข้าวที่ระยะแตกกอ (tillering stage) และออกรวง (heading stage)

3) น้ำหนักแห้งส่วนที่อยู่เหนือดิน น้ำหนักแห้งราก และอัตราส่วนของส่วนที่อยู่เหนือดินต่อรากที่ระยะเก็บเกี่ยว โดยนำส่วนที่อยู่เหนือดิน และ

รากของข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C จนน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้ง (Mehrabanjoubani et al., 2015)

#### 3.2 ผลผลิต

ข้อมูลด้านผลผลิตประกอบด้วย ผลผลิตเมล็ด, เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี ((จำนวนเมล็ดดี/จำนวนเมล็ดทั้งหมด) x 100), จำนวนเมล็ดดี, ความยาวรวง, จำนวนเมล็ด/รวง, จำนวนรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด (Ghasemi et al., 2013)

#### 3.3 ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ดัชนีการเก็บเกี่ยวหาได้จากสูตร (Dey et al., 2015)

$$\text{ดัชนีการเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{ผลผลิตทางเศรษฐกิจ (economic yield)}}{\text{ผลผลิตทางชีวภาพ (biological yield)}}$$

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลตามแผนการทดลองแบบ RCBD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8 (Analytical Software, Tallahassee, FL, USA)

#### ผลการศึกษาและวิจารณ์

##### 1. สมบัติของดินก่อนปลูกข้าว

สมบัติของดินก่อนปลูกข้าว ดินมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 7.90 การนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) เท่ากับ 0.05 เดซิซีเมน/ม. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) ในดินเท่ากับ 0.10% ไนโตรเจน (nitrogen, N) ทั้งหมดในดินเท่ากับ 0.01% ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) ที่เป็นประโยชน์ในดินเท่ากับ 0.002 มก./กก. โพแทสเซียม (potassium, K) ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเท่ากับ 23.78 มก./กก. และมีปริมาณสังกะสี (zinc, Zn) และซิลิกอน (silicon, Si) ที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 1.13 และ 20 มก./กก. ตาม

ลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินที่ศึกษามี pH ค่อนข้างสูง ดินไม่เค็ม และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารหลักในดินต่ำ (Benton Jones, 2001) ส่วนปริมาณ Zn และ Si ในดินอยู่ในระดับปานกลาง (Korndörfer et al., 2006)

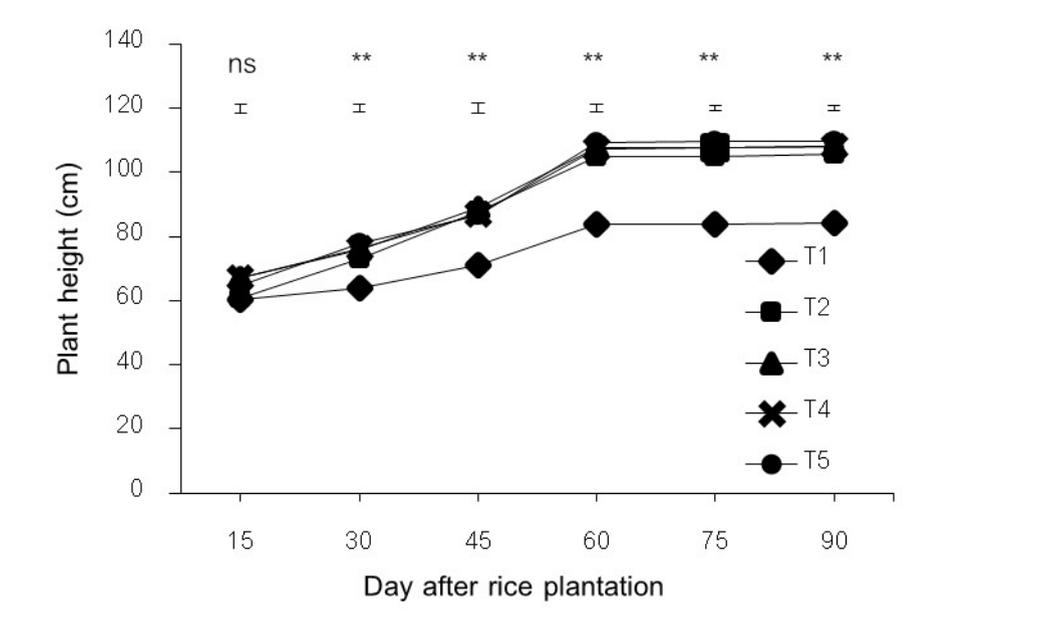
### 2. การเจริญเติบโตของข้าว

#### 2.1 ความสูง

การเจริญเติบโตด้านความสูงของข้าว พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นที่ 15 30 45 60 75 และ 90 วันหลังปักดำ พบว่าความสูงของข้าวเพิ่มขึ้นจากวันที่ 15 ถึงวันที่ 60 หลังปักดำ และวันที่ 60 มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด จากนั้นความสูงเริ่มคงที่จากวันที่ 60-90 วันหลังปักดำ โดยกรรมวิธี T5 มีแนวโน้มความสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากกรรมวิธี T3 T4 และ T2 ( $P > 0.05$ ) แต่ให้ความสูงมากกว่ากรรมวิธี T1 ( $P < 0.01$ ) (Figure 1) ซึ่งความสูงของข้าวจะสูงในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต (vegetative stage) จากนั้นความสูงของข้าวจะเริ่มคงที่จนกระทั่งถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยการใส่ปุ๋ยจะให้ความสูงของข้าวมากกว่าไม่ใส่ปุ๋ย เนื่องจากธาตุอาหารพืชไปช่วยใน

การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ซึ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Marschner, 1995) และการใส่ Zn และ Si มีแนวโน้มให้ความสูงของข้าวมากกว่าใส่ปุ๋ย N P และK เพียงอย่างเดียว

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ghasemi et al. (2013) และ Song et al. (2014) ที่พบว่า การใส่ Zn และ Si ให้ความสูงมากกว่าไม่ใส่ Zn และ Si



**Figure 1** Rice height as influenced by chemical fertilizer application.

\*; significantly different by LSD ( $p < 0.01$ )

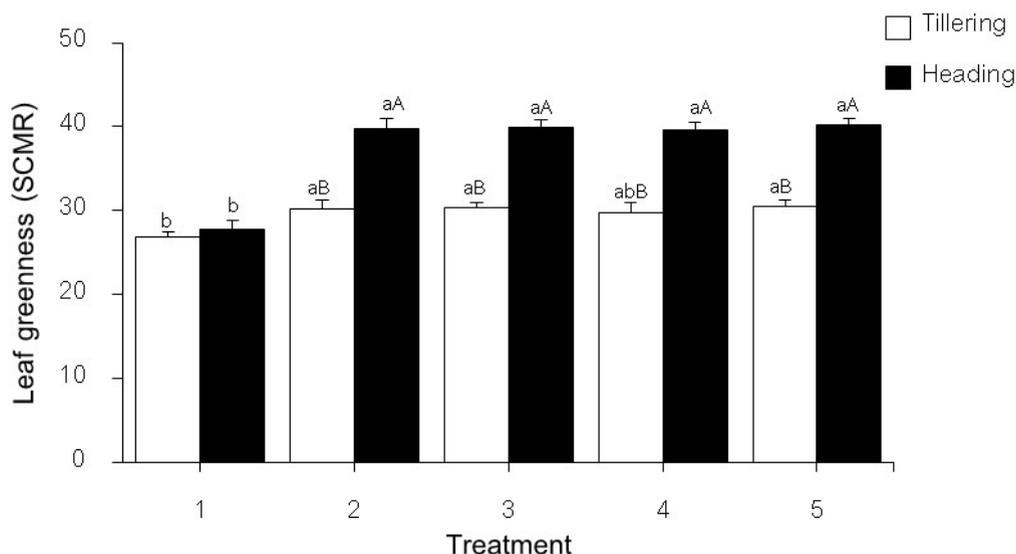
ns; not significantly different ( $p > 0.05$ ).

Vertical bars represent standard error of the differences (SED)

## 2.2 ความเขียวของสีเขียว

ความเขียวของสีเขียว (SPAD chlorophyll meter reading, SCMR) ในข้าว พบว่า ที่ระยะออกกรวงมีค่า SCMR สูงกว่าในระยะแตกกอ โดยกรรมวิธี T5 ให้อาชีพสูงสุดเท่ากับ 40.17 รองลงมา คือ กรรมวิธี T3 T2 T4 และ T1 เท่ากับ 39.93, 39.71, 39.69 และ 27.76 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเขียวของสีเขียวที่ระยะออกกรวง (heading) มีค่าสูงกว่าระยะแตกกอ (tillering) ( $P < 0.01$ ) (Figure 2) อาจเป็นเพราะว่าข้าวได้รับปุ๋ยยูเรียในช่วงระยะออกกรวง และ N ก็เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนสีเขียวของพืช และจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Marschner, 1995) จึงทำให้ค่าความเขียวสีเขียวสูงในระยะออกกรวง สอดคล้องกับ

การศึกษาของ Yuan et al. (2016) พบว่า ค่า SCMR เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวได้รับปุ๋ย N ในอัตราที่สูงขึ้น และค่า SCMR มีค่าสูงในระยะออกกรวง (heading stage) มากกว่าในระยะแตกกอ (tillering stage) และ Zakeri et al. (2015) รายงานว่า ค่า SCMR มีสหสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับความเข้มข้นของ N ในใบของถั่วเลนทิล (lentil) โดยเฉพาะในช่วงที่ถั่วสร้างฝัก (first-pod ถึง late-pod) และในข้าวโพด Sinclair and Muchow (1995) ก็พบว่า ความเข้มข้นของ N ในใบข้าวโพดมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับการให้ผลผลิตเมล็ดของข้าวโพด ทั้งนี้ Vollmann et al. (2011) รายงานว่า ค่า SCMR สามารถใช้ทำนายการให้ผลผลิตของพืชได้



**Figure 2** Rice leaf greenness (SCMR) as influenced by chemical fertilizer application during tillering and heading stages.

Similar lowercase letters on top of bar graphs, which compare leaf greenness among the treatments in each stage, represent not significant differences by LSD ( $P>0.05$ )

Similar uppercase letters on top of bar graphs, which compare leaf greenness between the two stages in each treatment, represent not significant differences ( $P>0.05$ )

Vertical bars represent standard error of the means (SEM)

### 2.3 พื้นที่ใบ

ในแต่ละกรรมวิธีการทดลอง พบว่า พื้นที่ใบ (leaf area) ในระยะแตกกอ (tillering stage) และระยะออกรวง (heading stage) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่เมื่อเปรียบเทียบแต่ละกรรมวิธีการทดลองในระยะการเจริญเติบโต และระยะออกรวง พบว่า การใส่ปุ๋ยทำให้พื้นที่ใบข้าวมีค่าสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย ( $P<0.05$ ) (Figure 3) สอดคล้องกับการศึกษาของ Jing et al. (2007) พบว่า พื้นที่ใบของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับปุ๋ย N ส่วน Amanullah et al. (2016) รายงานว่า ข้าวที่ได้ P (120 กก./เฮกตาร์) ร่วมกับ Zn (10 กก./เฮกตาร์) ทำให้มีค่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) สูงกว่าข้าวที่ไม่ได้รับ P และ Zn ในประเทศอินเดีย Sarma et al. (2017) พบว่า การใส่ Si ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ ได้แก่ PA-6129, PA-6201, PA-6444, PHB-71, US-312 และ BPT-5204 ในระยะแตกกอสูงกว่าไม่ใส่ Si และ Sun et al. (2018)

รายงานว่ ในข้าวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ที่ได้รับ NPK เพียงพอทำให้มีดัชนีพื้นที่ใบสูงกว่าข้าวที่ได้รับ NPK ไม่เพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจาก NPK เป็นธาตุอาหารหลักที่มักขาดในดินโดยทั่วไป และเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณที่มากเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต (Marschner, 1995)

### 2.4 น้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือดินและใต้ดิน

น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (ลำต้นและใบ) พบว่า กรรมวิธี T5 T3 และ T4 ทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่ากรรมวิธี T2 และ T1 ( $P<0.01$ ) ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งส่วนใต้ดิน (ราก) พบว่า กรรมวิธี T5 ทำให้น้ำหนักแห้งส่วนใต้ดินสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ( $P<0.01$ ) สำหรับอัตราส่วนของส่วนเหนือดินต่อส่วนใต้ดิน (shoot/root ratio) พบว่า กรรมวิธี T3 ให้ค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ ( $P<0.05$ ) (Table 1)

กรรมวิธี T3 T4 และ T5 (เพิ่มขึ้นเป็น 24-35% และ 76-84% เมื่อเปรียบเทียบกับ T2 และ T1 ตามลำดับ) มีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตของส่วนที่อยู่เหนือดินและส่วนใต้ดินสูงกว่ากรรมวิธี T2 และ T1 โดยการเพิ่มของกรรมวิธีที่ได้รับ Zn และ/หรือ Si มีมากกว่า 50% ของกรรมวิธีที่ไม่ได้รับปุ๋ยเคมี (T1) (Table 1) นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้พบว่า การที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับ Zn และ Si มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตด้านส่วนที่อยู่เหนือดินและส่วนที่อยู่ใต้ดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (Table 1) ซึ่งการที่ผลผลิตข้าวสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ Zn และ Si เนื่องจาก Zn เป็นจุลธาตุ (micronutrient) ที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ก็ขาดไม่ได้ เพราะถ้าหากมีไม่พอกับความต้องการของพืชแล้ว พืชจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลง และ Si เป็นธาตุอาหารเสริมประโยชน์ (beneficial element) ที่ช่วย

กระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชในด้านการพัฒนารากและผลผลิตโดยเฉพาะในพืชพวกธัญพืช (cereal crop) (Marschner, 1995) ซึ่งผลของการศึกษานี้สอดคล้องกับ Mehrabanjoubani et al. (2015) ที่ได้ศึกษาผลของ Si และสถานะของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ได้รับ Zn แตกต่างกัน พบว่า การใส่ Si ร่วมกับ Zn ทำให้น้ำหนักลำต้นแห้งและน้ำหนักรากแห้งสูงกว่าการใส่ Zn เพียงอย่างเดียว และ Song et al. (2014) พบว่า ข้าวที่ได้รับ Zn อัตรา 1.5 มิลลิโมล ร่วมกับ Si อัตรา 1.5 มิลลิโมล ให้น้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือดินและใต้ดินมากกว่าข้าวที่ใส่ Zn เพียงอย่างเดียว แต่การใส่ Zn อัตราที่สูง (2.0 มิลลิโมล) ร่วมกับ Si อัตรา 1.5 มิลลิโมล กลับทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวลดลง ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าข้าวได้รับ Zn มากเกินไปจึงอาจทำให้เกิดอาการเป็นพิษ (toxicity) ได้

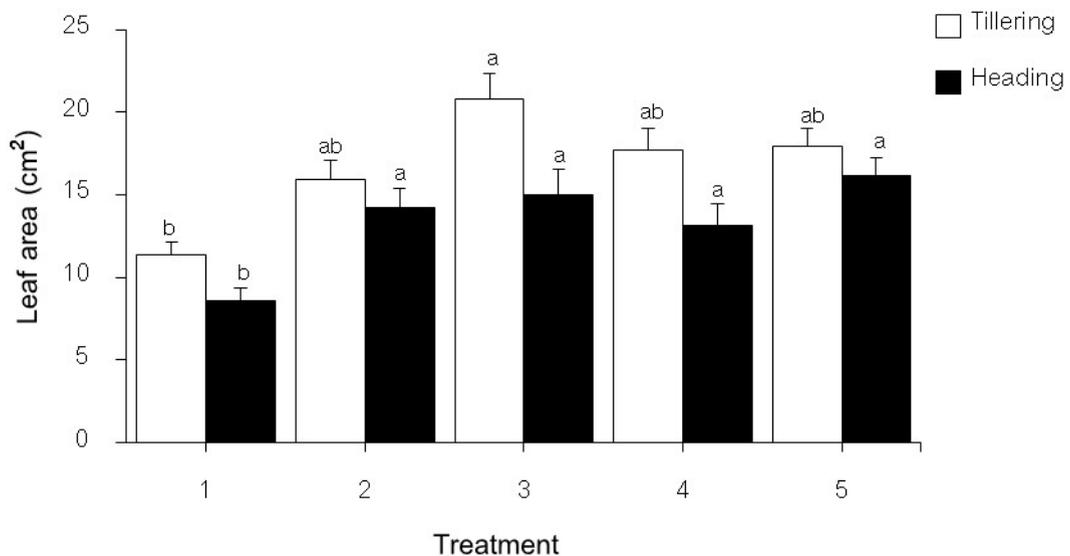


Figure 3 Leaf area as influenced by chemical fertilizer application during tillering and heading stages

Similar lowercase letters on top of bar graphs, which compare leaf area among the treatments in each stage, represent

not significant differences by LSD ( $P > 0.05$ )

Vertical bars represent standard error of the means (SEM)

**Table 1** Above-and belowground dry weights and a ratio of shoot/root as influenced by zinc and silicon applications

Treatment	Shoot dry weight (g/hill)	Root dry weight (g/hill)	Shoot/root ratio
T1	3.08c (-)	2.20d (-)	1.40b (-)
T2	4.69b (+52%)	3.02c (+37%)	1.55ab (+11%)
T3	5.67a (+84%)	3.39b (+54%)	1.623a (+19%)
T4	5.42a (+76%)	3.65ab (+66%)	1.49ab (+7%)
T5	5.77a (+87%)	3.91a (+78%)	1.48ab (+5%)
F-test	**	**	*
C.V. (%)	6.49	4.71	6.87

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ( $P < 0.01$  (\*\*),  $P < 0.05$  (\*))  
 +% represent increases of relative amount of above- and belowground dry weight compared to T1 (no fertilizer application)

### 3. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

จำนวนเมล็ดข้าว (grain number) พบว่า กรรมวิธี T5 มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ด/รวง และจำนวนเมล็ดทั้งหมดสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธี T3 T4 และ T2 แต่ T5 ให้จำนวนเมล็ดสูงกว่าในกรรมวิธี T1 ( $P < 0.01$ ) และการใส่ปุ๋ยทำให้จำนวนเมล็ดดี/รวงสูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ยถึง 82-118% ส่วนจำนวนเมล็ดดี/รวง พบว่า กรรมวิธี T3 มีแนวโน้มให้จำนวนเมล็ดดี/รวงสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธี T5 T4 และ T2 แต่ T3 ให้จำนวนเมล็ดดี/รวงสูงกว่ากรรมวิธี T1 ( $P < 0.01$ ) (Table 2)

ความยาวของรวง (panicle length) พบว่า กรรมวิธี T5 มีแนวโน้มให้ความยาวรวงสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธี T3 T4 และ T2 แต่ T5 ให้ความยาวรวงสูงกว่ากรรมวิธี T1 ( $P < 0.01$ ) ส่วนน้ำหนักเมล็ดดี (filled grain weight) และผลผลิตเมล็ดทั้งหมด (total grain yield) พบว่า กรรมวิธี T5 ทำให้น้ำหนักเมล็ดดี/กอ (filled grain weight/hill) และผลผลิตเมล็ดทั้งหมดสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธี T4 T3 และ T2 แต่ T5 ให้น้ำหนักเมล็ดดี/กอและน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดสูงกว่ากรรมวิธี T1 ( $P < 0.01$ ) (Table 3) ซึ่งการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับ Zn และ Si มีแนวโน้มให้องค์ประกอบด้านผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวและไม่ใส่ปุ๋ย เนื่องจาก Zn เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยแต่ก็ไม่สามารถขาด Zn ได้ โดย Zn มีความจำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์

โปรตีน รวมทั้งช่วยในการต้านทานโรค ถ้าหากมี Zn ไม่พอกับความต้องการของพืชแล้ว พืชจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลง Si เป็นธาตุเสริมประโยชน์ของพืชมีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่ง Si จะช่วยให้ใบตั้งชันเพื่อรับแสงได้เต็มที่ ลำต้นแข็งแรงไม่หักง่าย และป้องกันการเข้าทำลายของโรค (เช่น โรคไหม้ (rice blast) โรคใบไหม้ (leaf blight) และโรคใบจุดสีน้ำตาล (brown spot) เป็นต้น) (Marschner, 1995; Datnoff and Rodrigues, 2005; Massey and Hartley, 2006; Wissuwa et al., 2006) มีตัวอย่างการศึกษาของ Cuong et al. (2017) ได้ศึกษาอิทธิพลของ Si ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวในประเทศเวียดนาม พบว่าการใส่ปุ๋ย N P K ตามคำแนะนำร่วมกับ Si ทำให้ผลผลิตฟางเพิ่มขึ้น 20% จำนวนเมล็ด/รวงเพิ่มขึ้น 6% อัตราการติดเมล็ดเพิ่มขึ้น 89.8% น้ำหนัก 1000 เมล็ดเพิ่มขึ้น 33% และผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้น 23% เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ย N P K ตามคำแนะนำ ส่วน Khan et al. (2007) รายงานว่า การใส่ Zn ทางดิน อัตรา 10 กก./เฮกตาร์ ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่ Zn อัตรา 5 กก./เฮกตาร์ และไม่ใส่ Zn เช่นเดียวกับ Mustafa et al. (2011) พบว่า การใส่ Zn รูปแบบต่างๆ ได้แก่ การแทรกข้าวก่อนปลูก การใส่ทางดิน และการฉีดพ่นทางใบ ทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดของข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ Zn อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ Esfahani et al.

(2014) รายงานว่า การฉีดพ่น Zn ร่วมกับ Si ทางใบ ทำให้องค์ประกอบด้านผลผลิต และดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวสายพันธุ์ Tarom Mahalli สูงกว่าการฉีดพ่น Zn หรือ Si เพียงอย่างเดียว ส่วน Ghasemi

et al. (2013) และ Cuong et al. (2017) รายงานว่าการใส่ Zn ทำให้ดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวสูงขึ้น แต่การใส่ Zn ร่วมกับ Si หรือใส่ Si เพียงอย่างเดียวไม่ได้เพิ่มดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าว

**Table 2** Yield component of rice as influenced by zinc and silicon applications

Treatment	No. of grain/ panicle	No. of filled grain/panicle	No. of grain/hill	Filled grain percentage (%)
T1	23.06b (-)	21.81b (-)	92.25b (-)	95.01 (-)
T2	41.88a (+82%)	39.69a (+82%)	167.5a (+82%)	95.10 (0%)
T3	49.31a (+114%)	47.5a (+118%)	197.25a (+114%)	96.27 (+1%)
T4	46.44a (+101%)	44.69a (+105%)	185.75a (+101%)	96.04 (+1%)
T5	50.25a (+118%)	46.13a (+112%)	201.00a (+118%)	92.64 (-2%)
F-test	**	**	**	ns
C.V. (%)	17.58	14.67	17.58	4.44

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ( $P < 0.01$ , \*\*)

ns; not significantly different ( $P > 0.05$ )

+% represent increases of relative amount of yield component parameters compared to T1 (no fertilizer application)

**Table 3** Yield component, grain yield and harvest index of rice as influenced by zinc and silicon applications

Treatment	Panicle length (cm)	Filled grain weight (g/hill)	1000 grain weight (g)	Total grain yield (g/hill)	Harvest index
T1	14.91b (-)	2.38b (-)	25.8 (-)	2.4b (-)	0.43 (-)
T2	18.44a (+24%)	3.86a (+62%)	27.1 (+5%)	3.93ab (+64%)	0.47 (+9%)
T3	19.68a (+32%)	4.51a (+90%)	25.8 (0%)	4.56a (+90%)	0.48 (+12%)
T4	19.42a (+30%)	4.82a (+103%)	26.1 (+1%)	4.85a (+102%)	0.48 (+12%)
T5	19.96a (+34%)	5.00a (+110%)	26.4 (+2%)	5.12a (+113%)	0.50 (+16%)
F-test	**	**	ns	**	ns
C.V. (%)	5.96	16.5	2.76	17.03	9.50

Means in a same column followed by the different letters are significantly different by LSD ( $P < 0.01$ , \*\*)

ns; not significantly different ( $P > 0.05$ )

+% represent increases of relative amount of yield component, grain yield and harvest index parameters compared to T1 (no fertilizer application)

## สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสังกะสี (zinc, Zn) และซิลิกอน (silicon, Si) มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินเนื้อทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยเคมี (กรรมวิธี T2-T5) ให้องค์ประกอบของการเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิต และผลผลิตเมล็ดของข้าวสูงกว่ากรรมวิธีไม่ใส่ปุ๋ย (กรรมวิธี T1) ( $P < 0.01$ ) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำร่วมกับ Zn และ Si (กรรมวิธี T3-T5) มีแนวโน้มทำให้องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิตเมล็ดสูงกว่าใส่ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T2) ( $P > 0.05$ ) อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปควรปรับอัตราของ Zn และ Si ในระดับที่สูงขึ้น เพื่อหาอัตราของ Zn และ Si ที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

## เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. ข้าวขาวดอกมะลิ. หนังสืออิเล็กทรอนิกส์. สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว.
- เบ็ญจพร กุลนิษฐ์. 2559. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน: เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา 0801312 ความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ย. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว. 2560. องค์ความรู้เรื่องข้าว. แหล่งข้อมูล: <http://www.brrd.in.th/rkb2/varieties/index.php-file=content.php&id=65.htm>. ค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน 2560.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. ข้าวนาปี. แหล่งข้อมูล: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/-PDF/4-60.pdf>. ค้น

เมื่อ 11 มกราคม 2562.

- Amanullah, J., K. Inamullah, Z. Shah, and S. K. Khalil. 2016. Phosphorus and zinc interaction influence leaf area index in fine versus coarse rice (*Oryza sativa* L.) genotypes in Northwest Pakistan. *Int. J. Plant Physiol.* 2: 1–8.
- Benton Jones, J.J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton FL, CRC Press.
- Cuong, T. X., H. Ullah, A. Datta, and T. C. Hanh. 2017. Effects of Silicon-Based Fertilizer on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Rice in Tropical Zone of Vietnam. *Rice Sci.* 24: 283-290.
- Datnoff, L.E. and F.A. Rodrigues. 2005. The Role of Silicon in Suppressing Rice Diseases. *APSnet Features*. doi 10.1094/APSnetFeature-2005-0205.
- Dey, R., M. Biswas. M. N. Hossain Maiah, and P. Mandal. 2015. Agronomic performance of rice varieties. *Int. J. Plant Soil Sci.* 6: 124-139.
- Esfahani, A. A., H. Pirdashti, and Y. Niknejhad. 2014. Effect of iron, zinc and silicon Application on quantitative parameters of rice (*Oryza Sativa* L. CV.Tarom Mahalli). *Int. J. Food Allied Sci.* 3: 529-533.
- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Adv. Soil Sci.* 19: 97-149.
- Ghasemi, M., H. Mobasser, A. G. Malidarreh, and H. Asadimanesh. 2013. Zinc, silicon and potassium application on rice. *Int. J. Agric Crop Sci.* 5: 936-942.
- Jing, Q., T. Dai, D. Jiang, Y. Zhu, and W. Cao.

2007. Spatial distribution of leaf area index and leaf N content in relation to grain yield and nitrogen uptake in rice. *Plant Prod. Sci.* 10: 136 -145.
- Khan, R., A.R. Gurmani, M.S. Khan, and A.H. Gurmani. 2007. Effect of zinc application on rice yield under wheat rice system. *Pak. J. Biol. Sci.* 10: 235-239.
- Korndörfer, G.H. Snyder, M. Ulloa, G. Powell, and L.E. Datnoff. 2006. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *J. Plant Nutr.* 24:1071-1084.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Edition, Academic Press, London.
- Massey, F.P. and S.E. Hartley. 2006. Experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: Impacts on foliage digestibility and vole growth rates. In: *Proc. Royal Soc. B.* 273: 2299-2304.
- Mehrabanjoubani, P., A. Abdolzadeh, H.R. Sadeghipour, and M. Aghdasi. 2015. Impacts of silicon nutrition on growth and nutrient status of rice plants grown under varying zinc regimes. *Theor. Exp. Plant Phys.* 27: 19-29.
- Mustafa, G., E. Ullah, N. Akbar, S.A. Qaisrani, A. Iqbal, H.Z. Khan, K. Jabran, A.A. Chattha, R. Trethowan, T. Chattha, and B.M. Atta. 2011. Effect of zinc application on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *IJAVMS.* 5: 530-535.
- Sarma, R.S., D. Shankhdhar, S.C. Shankhdhar, and P. Srivastava. 2017. Effect of silicon solublizers on growth parameters and yields attributes in different rice genotypes. *Int. J. Pure App. Biosci.* 5: 60-67.
- Sinclair T.R. and R.C. Muchow. 1995. Effect of nitrogen supply of maize yield: I. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 87: 632-641.
- Song, A., P. Li, F. Fan, Z. Li, and Y. Liang. 2014. The Effect of silicon on photosynthesis and expression of its relevant genes in rice (*Oryza sativa* L.) under high-zinc stress. *Plos One* 26: 1-21. DOI:10.1371-/journal.pone.0113782.
- Sun, Y., C. Tong, S. He, K. Wang, and L. Chen. 2018. Identification of nitrogen, phosphorus, and potassium deficiencies based on temporal dynamics of leaf morphology and color. *Sustainability.* 10: 1-14.
- Vollmann, J., H. Walter, T. Sato, and P. Schweiger. 2011. Digital image analysis and chlorophyll metering for phenotyping the effects of nodulation in soybean. *Comput. Electron. Agr.* 75: 190-195.
- Wissuwa, M., A.M. Ismail, and S. Yanagihara. 2006. Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiol.* 142: 731-741.
- Yuan, Z., Q. Cao, K. Zhang, S. T. Ata-UI-Karim, Y. Tian, Y. Zhu, W. Cao, and X. Liu. 2016. Optimal leaf positions for SPAD meter measurement in rice. *Front. Plant Sci.* 7: 1-10.

Zakeri, H., J. Schoenau, A. Vandenberg, M.T. Aligodarz, and R.A. Bueckert. 2015. Indirect estimations of lentil leaf and plant N by SPAD chlorophyll meter. *Int. J. Agron.* 1-10. DOI:10.1155/2015/748074.