ผลของซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ต่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวภายใต้สภาพความเค็ม

Effect of Silicon from Cement Industry on Growth and Yield of Mungbean under Salinity Stress

ขวัญภิชา สังข์สำราญ[1] สมชาย ชคตระการ[1] **พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์**[1] และ พฤกษ์ ชุติมานุกูล[1]

Khwanpicha Sungsamran[1], Somchai Chakhatrakan[1] **Phakpen Poomipan**[1]

and Preuk Chutimanukul [1]

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใช้ซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 เมื่อปลูกในสภาพความเค็ม โดยวางแผนการทดลองแบบ 4 x 4 Factorial in Completely Randomized Design จำนวน 6 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ซิลิกอน (จากอุตสาหกรรมซีเมนต์) 4 อัตรา ได้แก่ 0 80 160 และ 240 กิโลกรัมต่อไร่ และ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 4 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 10 20 และ 30 มิลลิโมลต่อลิตร ผลการทดลอง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้การเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงลำต้น น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งราก จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักฝักต่อต้นลดลง อย่างไรก็ตาม การใส่ซิลิกอน 240 กิโลกรัมต่อไร่มีผลทำให้ผลผลิตของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนในส่วนต่างๆของถั่วเขียว พบว่า เมื่อใส่ซิลิกอนเพิ่มขึ้นจะมีการสะสมซิลิกอนในใบและฝักเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น ผลการทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่า การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวลดลงเมื่อความเค็มของดินเพิ่มขึ้น แต่การใส่ซิลิกอน 240 กิโลกรัมต่อไร่ช่วยลดผลเสียหายจากความเค็มของดินได้ โดยมีผลทำให้ผลผลิตของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ของผลผลิตของถั่วเขียวที่ไม่มีการใส่ซิลิกอน

คำสำคัญ: ความเค็มของดิน ซิลิกอน ถั่วเขียว

ABSTRACT

The study on effect of silicon from cement industry on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) cv. Chai Nat 72 under salinity stress that was designed with 4x4 factorial in completely randomized design (CRD) with 6 replications. There were 2 factors: (1) four different levels of silicon supply at 0, 80, 160 and 240 kg/rai and concentration of sodium chloride solution (NaCl) at 0, 10, 20, and 30 mmol/l. The results showed that an increase of NaCl concentration had resulted in the decrease of plant growth and yield, plant height, dry weight of shoot and root, pod number and dry weight of pod. However, application of silicon at 240 kg/rai can significantly increase yield. Silicon content in leaf and pod was increased by increasing rate of silicon. Therefore, these results had indicated that decline growth and yield of mungbean was shown under salinity stress.

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จ.ปทุมธานี 12121

Department of Agriculture Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Rangsit Centre, Pathum Thani 12121

However, applied silicon at 240 kg/rai can significantly increase yield of mungbean by approximately 10 % of yield of no-silicon applied.

Keywords: Mungbean, Salinity of soil, Silicon

คำนำ

ดินเค็ม (Saline soil) คือ ดินที่มีเกลือละลายอยู่ในดินมากจนส่งผลกระทบต่อพืช ประเทศไทย พบพื้นที่ที่เป็นดินเค็มถึง 37 ล้านไร่ เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และบริเวณชายฝั่งทะเล โดยพบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคกลางพบดินเค็มเนื่องจากมีผลกระทบมาจากพื้นที่ที่เป็นน้ำกร่อยไหลอยู่ใต้ดิน เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านแหล่งที่มีเกลือและไหลไปยังจุดที่ดินปกติจะทำให้ดินบริเวณนั้นกลายเป็นดินเค็มได้ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, 2552) อย่างไรก็ตามความเครียดที่เกิดจากความเค็มส่งผลต่อสรีรวิทยา รวมไปถึงการทำงานกระบวนการเมทาบอลิซึม โดยอย่างยิ่งในถั่วเขียว Sehrawat *et al*. (2015) พบว่า ดินเค็มทำให้ถั่วเขียวเกิดการขาดน้ำจึงต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติเพื่อดูดน้ำและธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโต และมีการสะสมโซเดียมในปริมาณมากทำให้ไม่สามารถลำเลียงแคลเซียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียมได้ จึงเกิดอาการขาดธาตุอาหาร โดยเฉพาะถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย นิยมปลูกเป็นพืชหมุนเวียนสลับกับการปลูกข้าวและพืชไร่ต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมาก จึงสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล และทุกภูมิภาคของประเทศไทย การเพิ่มธาตุอาหารในดินช่วยลดผลกระทบของความเครียดที่เกิดจากความเค็มได้ อย่างไรก็ตามการศึกษาต่างๆแสดงให้เห็นว่า ซิลิกอนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะปกติและสภาวะความเครียด ซิลิกอนที่พบอยู่ในดินจะอยู่ในรูปของกรดซิลิซิก [$Si(OH)_4$] จากการทดลองของ ชอบ และ จินตนา (2560) ที่ได้มีการนำซิลิกอนมาใช้กับถั่วเขียวแล้วพบว่าซิลิกอนสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของถั่วเขียวได้ เนื่องจากถั่วเขียวจะมีการสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อของผนังเซลล์ จึงสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงในส่วนสะสมอาหารและเนื้อเยื่อที่เป็นท่อลำเลียงน้ำและอาหาร ซึ่งทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปัญหาโรคและแมลงน้อยลง ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลของซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ที่ปลูกภายใต้สภาพดินเค็มระดับต่าง ๆ โดยซิลิกอนที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมซีเมนต์

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 6 ซ้ำ ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ (pH 10, SiO_2 51.65%, CaO 37.63%, Fe_2O_3 1.83% และ MgO 0.56%) 4 อัตรา ได้แก่ 0 80 160 และ 240 กิโลกรัมต่อไร่ ปัจจัยที่ 2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 4 ระดับ ได้แก่ 0 10 20 และ 30 มิลลิโมลต่อลิตร ปลูกถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ที่บรรจุด้วยดินผสมกับซิลิกอนจากอุตสาหกรรมซีเมนต์ ในอัตราต่างๆ ตามแผนการทดลอง จากนั้นรดด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ตามแผนการทดลอง ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-24-12 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อถึงอายุเก็บเกี่ยว (63 วัน) จึงบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงลำต้น น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งราก ข้อมูลผลผลิต ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น และน้ำหนักฝักต่อต้น จากนั้นนำ ใบ ฝัก เมล็ด ลำต้น และราก มาวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนตามวิธีการของ Nayar *et al.* (1975)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของถั่วเขียวลดลง โดยพบว่า ถั่วเขียวมีความสูงน้อยที่สุดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์30มิลลิโมล/ลิตร(62.54 เซนติเมตร) รองลงมาคือความสูงของถั่วเขียวเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 10 มิลลิโมล/ลิตร (66.25 และ 68.42 เซนติเมตร ตามลำดับ) และถั่วเขียวมีความสูงมากที่สุดเมื่อปลูกในดินที่ไม่ได้รับความเค็ม (71.10 เซนติเมตร) แต่การใส่อัตราซิลิกอนไม่มีผลต่อความสูงของถั่วเขียว โดยเมื่อปลูกถั่วเขียวร่วมกับการใส่ซิลิกอนในอัตรา 0 80 160 และ 240 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า มีความสูงเท่ากับ 67.56, 66.27, 67.79 และ 66.96 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เช่นเดียวกับน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของถั่วเขียวลดลง โดยพบว่า ถั่วเขียวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินน้อยที่สุดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิโมล/ลิตร (17.17 กรัม/ต้น) รองลงมาคือ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของถั่วเขียวเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 20 และ 10 มิลลิโมล/ลิตร (17.95 และ 18.37 กรัม/ต้น ตามลำดับ) และถั่วเขียวมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากที่สุดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 0 มิลลิโมล/ลิตร (18.39 กรัม/ต้น) แต่อัตราซิลิกอนไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของถั่วเขียว โดยเมื่อปลูกถั่วเขียวร่วมกับการใส่ซิลิกอนในอัตรา 0 80 160 และ 240 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน เท่ากับ 18.00, 18.17, 18.02 และ 17.69 กรัม/ต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าอิทธิพลร่วมของอัตราซิลิกอนและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อน้ำหนักแห้งรากของถั่วเขียว โดยพบว่า น้ำหนักแห้งรากจะลดลงตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อไม่มีการใส่ซิลิกอน (3.59, 3.72, 3.95 และ 3.15 กรัม/ต้น ตามลำดับ) แต่หากใส่ซิลิกอนในอัตรา 80 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้น้ำหนักแห้งรากลดลง โดยน้ำหนักแห้งรากของถั่วเขียวที่ปลูกในดินที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิโมล/ลิตร เท่ากับ 3.87 กรัม/ต้น และน้ำหนักแห้งรากของถั่วเขียวที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 3.23 กรัม/ต้น (ตารางที่ 2) ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเขียวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sehrawat *et al.* (2015) ซึ่งได้ศึกษาผลของความเค็มของดินในถั่วเขียวพบว่าความเครียดจากความเค็มเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขาดน้ำ อีกทั้งปริมาณเกลือส่งผลทำให้เกิดการสะสมโซเดียมไอออนมากเกินไป (Kazem *et al.*, 2015) แต่การใส่ซิลิกอน 80 กิโลกรัมต่อไร่ ส่งผลให้ถั่วเขียวมีน้ำหนักแห้งรากเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งการศึกษาของ Emanuel (1993) พบว่า ซิลิกอนส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความแข็งแรงของผนังเซลล์ บรรเทาความเครียดจากความเค็มของดิน และเพิ่มความต้านทานต่อโรคและแมลง

ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้จำนวนฝักและน้ำหนักฝักของถั่วเขียวลดลง โดยพบว่าถั่วเขียวมีจำนวนฝักน้อยที่สุดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิโมล/ลิตร (15.46 ฝัก/ต้น) และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลดลงเป็น 20 10 และ 0 มิลลิโมล/ลิตร พบว่าจำนวนฝัก ของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นเป็น 17.29, 17.96 และ 16.96 ฝัก/ต้น ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำหนักฝัก พบว่าถั่วเขียวมีน้ำหนักฝักน้อยที่สุดเมื่อปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิโมล/ลิตร (10.58 กรัม/ต้น) และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลดลงเป็น 20 10 และ 0 มิลลิโมล/ลิตร ส่งผลให้น้ำหนักฝักของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นเป็น 11.90, 12.53 และ 12.14 กรัม/ต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ การใส่ซิลิกอนอัตรา 240 กิโลกรัม/ไร่ มีผลทำให้น้ำหนักฝักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักฝัก 12.53 กรัม/ต้น ในขณะที่การไม่ใส่ซิลิกอนมีผลทำให้น้ำหนักฝักเท่ากับ 11.50 กรัม/ต้น (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mahmood *et al.* (2016) พบว่า ความเค็มส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดถั่วเขียวลดลง ในขณะที่การใส่ ไรโซแบคทีเรียร่วมกับการใส่ซิลิกอนส่งผลให้ผลผลิตเมล็ดถั่วเขียวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกอนช่วยบรรเทาความเครียดจากความเค็มของดินได้

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซิลิกอนในส่วนต่าง ๆ ของถั่วเขียว พบว่า ความเค็มไม่มีผลต่อการสะสมซิลิกอนในถั่วเขียว และการใส่ซิลิกอนยังมีผลทำให้มีการสะสมซิลิกอนเพิ่มขึ้นในใบและฝักของถั่วเขียว โดยพบว่า เมื่อไม่ใส่ซิลิกอนจะมีผลให้ปริมาณซิลิกอนในใบและฝักของถั่วเขียวเท่ากับ 2.51 และ 2.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อมีการใส่ซิลิกอน 240 กิโลกรัม/ไร่ พบว่า ปริมาณซิลิกอนในใบและฝักของถั่วเขียวเท่ากับ 2.61 และ 2.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ยงยุทธ (2552) ที่กล่าวว่า พืชที่มีปริมาณซิลิกอนปานกลาง ได้แก่ อ้อย ธัญพืช พืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด และพืชวงศ์

Table 1 Growth, yield and silicon content of Mungbean under salinity stress (NaCl concentration) with different rate of silicon.

Factor	Plant height (cm)	Dry weight of root (g/plant)	Dry weight of shoot (g/plant)	Pod number (no./plant)	Dry weight of pod (g/plant)	Silicon content in leaf (%)	Silicon content in pod (%)	Silicon content in seed (%)	Silicon content in shoot (%)	Silicon content in root (%)
Rate of silicon (A)										
0 kg/rai	67.56±4.85 1/	3.60±0.34 bc	18.00±1.45	17.21±2.19	11.50±1.17 b	2.51±0.04 b	2.54±0.07 c	2.60±0.04	2.60±0.04	2.64±0.05
80 kg/rai	66.27±4.65	3.82±0.47 ab	18.17±1.39	17.00±1.72	11.69±1.00 b	2.54±0.06 b	2.56±0.07 bc	2.59±0.05	2.60±0.04	2.65±0.04
160 kg/rai	67.79±3.80	3.92±0.54 a	18.02±0.94	16.13±2.11	11.70±0.90 b	2.60±0.05 a	2.60±0.04 ab	2.59±0.02	2.60±0.04	2.65±0.07
240 kg/rai	66.96±3.67	3.50±0.26 c	17.69±1.09	17.33±1.83	12.53±0.97 a	2.61±0.03 a	2.62±0.04 a	2.60±0.02	2.62±0.02	2.67±0.06
NaCl concentration (B)										
0 mmol/l	71.10±2.62 a 2/	3.54±0.40 b	18.39±1.26 a	16.96±2.17 a	12.14±0.63 a	2.58±0.07	2.59±0.07	2.59±0.03	2.60±0.03	2.64±0.04
10 mmol/l	68.42±2.97 b	3.69±0.23 b	18.37±0.93 ab	17.96±2.14 a	12.53±0.69 a	2.57±0.05	2.56±0.07	2.60±0.03	2.60±0.04	2.68±0.06
20 mmol/l	66.52±2.71 b	4.05±0.56 a	17.95±1.25 a	17.29±1.53 a	11.90±0.93 a	2.56±0.06	2.57±0.05	2.59±0.04	2.63±0.02	2.65±0.04
30 mmol/l	62.54±3.00 c	3.57±0.34 b	17.17±1.08 a	15.46±1.12 b	10.58±1.17 b	2.55±0.06	2.59±0.04	2.59±0.03	2.60±0.03	2.65±0.06
					F test					
A	ns	*	ns	ns	*	**	**	ns	ns	ns
B	**	**	*	*	**	ns	ns	ns	ns	ns
A*B	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	4.02	7.46	5.81	10.57	6.85	1.77	1.81	1.12	1.18	1.90

** There were statistically significant differences at 99%, * There were statistically significant differences at 95%, ns means not significant difference.

1/ Mean±SD within a column of A factor followed by a same letter are not significant differences at 95% level by DMRT.

2/ Mean±SD within a column of B factor followed by a same letter are not significant differences at 95% level by DMRT.

Gramineae เช่น หญ้าคา หญ้าตีนกา หญ้าแพรก จะมีการสะสมของซิลิกอนไดออกไซด์ ประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ และถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 มีการสะสมปริมาณซิลิกอนมากที่สุดในส่วนของใบ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ชอบ และ จินตนา (2560) พบว่า การสะสมซิลิกอนในเนื้อเยื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ส่วนสะสมอาหาร และเนื้อเยื่อในส่วนของท่อลำเลียงน้ำ และอาหาร ส่งผลให้สามารถป้องกันการเข้าทำลายของโรคและแมลงศัตรูพืชได้

Table 2 Dry weight of mungbean root affecting by NaCl concentration and rate of silicon.

NaCl concentration	Rate of silicon (kg/rai)			
(mmol/l)	0	80	160	240
	Dry weight of root (g/plant)			
0	3.59±0.07 $^{cdefgh\ 1/}$	3.23±0.26 ^{hg}	4.09±0.19 ^{abc}	3.26±0.26 ^{fgh}
10	3.72±0.02 ^{cdefg}	3.86±0.13 ^{bcde}	3.35±0.10 ^{efgh}	3.77±0.21 ^{cdef}
20	3.95±0.36 ^{bcd}	4.33±0.31 ^{ab}	4.46±0.73 ^{a}	3.46±0.22 ^{defgh}
30	3.15±0.02 ^{h}	3.87±0.33 ^{bcde}	3.78±0.22 ^{cdef}	3.50±0.12 ^{defgh}

$^{1/}$ Mean ± SD followed by a same letter are not statistically significant differences at 95% level by DMRT.

สรุปผลการทดลอง

ความเครียดจากสภาวะเค็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวลดลง แต่การใส่ซิลิกอน 240 กิโลกรัมต่อไร่ช่วยลดผลเสียหายจากความเค็มของดินได้ โดยมีผลทำให้ผลผลิตของถั่วเขียวเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ชอบ คณะฤกษ์ และ จินตนา หัสวายุกุล. 2560. **ผลการวิจัยการใช้ซิลิกอนในการเกษตร**. แหล่งที่มา: www.organellelife.com/pdf/silicon.pdf, 25 พฤศจิกายน 2560.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 529 หน้า.

สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2552. **ดินเค็มในประเทศไทย**. แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical03035_1.pdf.16 สิงหาคม 2560.

Ahmad, P., M. A. Ahanger, P. Alam, M. N. Alyemeni, L. Wijaya, S. Ali and M. Ashraf. 2018. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. **J Plant Growth Regul.** 37: 1-13.

Emanuel, E. 1993. The anomaly of silicon in plant biology. **PNAS**. 91: 11-17

Kazem, G-G., L. Ramin and N. Nosratollah. 2015. Some physiological responses of mungbean to salicylic acid and silicon under salt stress. **ABR.** 60: 7-13.

Kazem, G-G. and L. Ramin. 2014. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll a fluorescence in mungbean under salt stress. **Russ J Plant Physiol.** 62: 611–616.

Mahmood, S., I. Daur, S. G. Al-Solaimani, S. Ahmad, M. H. Madkour, M. Yasir, H. Hirt, S. Ali and Z. Ali. 2016. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mungbean. **Front Plant Sci** 7: 876.

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

Sehrawat, N., M. Yadav, K. V. Bhat, R. K. Sairam and P. K. Jaiwal. 2015. Effect of salinity stress on mungbean during consecutive summer and spring seasons. **JAS**. 60: 23-32.