

ผลของการฉีดพ่นสังกะสีทางใบต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิตถั่วเขียว พันธุ์ชัยนาท 84-1 และชัยนาท 72

Effects of foliar zinc fertilizer on yield and yield quality of mungbean cv. Chainat 84-1 and Chainat 72

สายชล สุขญาณกิจ^{1*} ศานิต สวัสดิ์กาญจน์¹ ภารดี แซ่อึ้ง¹ ไฉนจิตา จิวประเสริฐ¹ และธนวรรณ พาณิชพัฒน์²

Saychol Sukyankij^{1*}, Sanit Sawatdikam¹, Paradee Sae-Ung¹ Sopida Jewprasert¹ and Thanawan Panich-Pat²

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการฉีดพ่นปุ๋ยสังกะสีที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของถั่วเขียว ทำการทดลองในแปลงเกษตรกร อ. บางไทร จ. พระนครศรีอยุธยา โดยทดสอบฉีดพ่นสังกะสีทางใบในถั่วเขียวสองสายพันธุ์ วางแผนการทดลองแบบ 2x5 factorial in RCB จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ 1) พันธุ์ถั่วเขียว ได้แก่ พันธุ์ชัยนาท 84-1 และพันธุ์ชัยนาท 72 2) อัตราการฉีดพ่นสังกะสีคือ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 % $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ผลการทดลองพบว่า การฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.25-1.0% ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบของผลผลิตของถั่วเขียวทั้งสองสายพันธุ์ ในถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 การฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 1.0% ให้ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลส่วนต้นและใบสูงที่สุด (326 และ 1,070 กก./ไร่) ส่วนพันธุ์ชัยนาท 72 พบว่าการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.5% ให้ ผลผลิตเมล็ดและชีวมวลส่วนต้นและใบสูงที่สุด (388 และ 1,385 กก./ไร่) การดูใช้สังกะสีทั้งในส่วนเมล็ดและส่วนลำต้นและใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการฉีดพ่นสังกะสี เช่นเดียวกับกับปริมาณโปรตีนในเมล็ดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อฉีดพ่นสังกะสีโดยพบว่า การฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.5 และ 0.75% ให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 และชัยนาท 84-1 สูงที่สุด (4.12 และ 3.80% ตามลำดับ) ในทางตรงข้ามการเพิ่มอัตราฉีดพ่นสังกะสีกลับมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเหล็กในเมล็ดมีค่าลดลงอย่างชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72

คำสำคัญ: สังกะสี การให้ปุ๋ยทางใบ ถั่วเขียว

Abstract: The objective of this study was to determine the optimum foliar zinc fertilizer application rate to increase yield and quality of mungbean. This research was conducted in a plot of farmers in Bang Sai district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, by examining the application of foliar zinc fertilizer in two mungbean varieties. The experimental design was 2x5 factorial in randomized complete block design (RCBD), 3 replications, consisting of 2 factors: 1) mungbean varieties, namely Chainat 84-1 and Chainat 72 varieties 2) zinc spraying rate was 0, 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0% $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. The results showed that spraying zinc at the rate of 0.25-1.0% increased growth, yield and yield components of both varieties. In Chainat 84-1, 1.0% zinc spraying yields the highest grains and biomass at stems

Received July 25, 2019

Accepted October 11, 2019

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Science, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand

* Corresponding author: saychol.agri@gmail.com

and leaves (326 and 1,070 kg/rai). For Chainat 72, it was found that 0.5% foliar zinc spraying gave the highest grains and biomass at stems and leaves (388 and 1,385 kg/rai). The uptake of zinc in grains, stems and leaves tends to increase as the rate of zinc spraying, as well as the amount of protein in the grains that tends to increase. The spraying of zinc at the rate of 0.5 and 0.75% gave the highest amount of protein in mungbean, Chainat 72 and Chainat 84-1 varieties (4.12 and 3.80% respectively). On the other hand, increasing the rate of zinc spraying had a tendency to significantly reduce the amount of iron in the grains, especially in mungbean Chainat 72.

Keywords Zinc, foliar fertilizer, mungbean

บทนำ

จากปัญหาสถานการณ์ภัยแล้งในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมาส่งผลกระทบต่อการปลูกพืชของเกษตรกรในทั่วประเทศ โดยเฉพาะปัญหาปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูกทำให้หน่วยงานภาครัฐต้องกำหนดนโยบายในการลดการปลูกพืชหลักและหันมาปลูกพืชใช้น้ำน้อยในช่วงฤดูแล้งแทน (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2561) จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการเพาะปลูกข้าวเป็นลำดับต้น ๆ ของประเทศซึ่งมีการปลูกทั้งนาปีและนาปรัง จากนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชใช้น้ำน้อยประกอบกับราคาผลผลิตข้าวที่ค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 6,000-6,500 บาท/ตัน) การปรับเปลี่ยนจากการปลูกข้าวนาปรังเป็นพืชชนิดอื่นแทนจึงเป็นทางเลือกสำคัญของเกษตรกรในพื้นที่ ถั่วเขียวเป็นพืชชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มพืชใช้น้ำน้อยในการเพาะปลูก อีกทั้งสามารถเจริญเติบโตได้ในดินหลากหลายประเภท เป็นพืชโปรตีนและวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เช่น การผลิตวุ้นเส้น แป้ง สตาร์ช และโปรตีนไอโซเลท เป็นต้น (ราชันิพร และคณะ 2559; พิระศักดิ์, 2542) ด้านพันธุ์ของถั่วเขียวที่นิยมปลูกนั้นมีหลากหลายสายพันธุ์เนื่องจากมีการพัฒนาพันธุ์มาโดยตลอด โดยปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรมีการปรับปรุงถั่วเขียวสายพันธุ์ใหม่ ได้แก่ พันธุ์ชัชานา 84-1 และพันธุ์ชัชานา 72 ที่มีความโดดเด่นทั้งลักษณะเมล็ด ปริมาณผลผลิตต่อไร่ คุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งความต้านทานต่อการเข้าทำลายของโรคและแมลง ซึ่งเป็นลักษณะพันธุ์ที่ดีกว่าพันธุ์กำแพงแสน 1 หรือชัชานา 36 ซึ่งมีการส่งเสริมให้ปลูกอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (ศูนย์บริการสายพันธุ์พืชกำแพงแสนและวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี, 2562; สุมนา และคณะ 2562) ปกติการปลูกถั่วเขียวมักปลูกหลังจากเก็บเกี่ยวพืช

หลักแล้วเสร็จแล้วจึงปลูกถั่วเขียวตาม เนื่องจากใช้น้ำในการเจริญเติบโตน้อยและสามารถไถกลบเพื่อบำรุงดินหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วเสร็จ การใส่ปุ๋ยมักเน้นการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักเฉพาะฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (ศานิต, 2556) เนื่องจากธาตุทั้งสองมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและการเจริญเติบโตของต้นถั่วและมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมการตรึงไนโตรเจน (ธงชัย, 2550) ขณะที่การใส่ปุ๋ยจุลธาตุโดยเฉพาะสังกะสีในถั่วเขียวนั้นมีรายงานค่อนข้างน้อย เนื่องจากสภาพการปลูกที่มักปลูกในดินที่ค่อนข้างดีและไม่มีการจัดการชั่งน้ำหนักมาเกี่ยวข้องซึ่งจะเป็นตัวการในการลดความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน (Mandal and Mandal, 1990; Dobermann and Fairhurst, 2000) นอกจากนี้ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินยังถูกควบคุมด้วยปัจจัยทางดินอื่น ๆ อีก เช่น พีเอชดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ รวมถึงชนิดและปริมาณของแร่ดินเหนียว (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Kabata-Pendias, 2004; Huang et al., 2014 Fan et al., 2016) ซึ่งปัจจุบันมีการทำวิจัยเกี่ยวกับความสำคัญของสังกะสีต่อพืชชนิดต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย (พัชรินทร์ และคณะ 2558; Cakmak, 2008; Boonchuay et al., 2013) Kabata-Pendias and Pendias (1992) รายงานว่าสังกะสีมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมระดับเซลล์ เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ฟอสเฟต รวมถึงฮอร์โมนในพืช Samreen et al. (2017) ศึกษาผลของสังกะสีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของถั่วเขียวที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์พบว่าการเพิ่มปริมาณสังกะสีช่วยให้ถั่วเขียวมีปริมาณคลอโรฟิลล์ และโปรตีนเพิ่มขึ้น แต่ลดปริมาณการสะสมของเหล็ก แมงกานีส โพแทสเซียม และโซเดียมในเมล็ด ดังนั้นการฉีดพ่นสังกะสีเพิ่มเติมทางใบจึงอาจช่วยเพิ่มผลผลิตรวมถึงคุณภาพของผลผลิตถั่วเขียวได้ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการฉีดพ่นสังกะสีทางใบต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพของผลผลิต และการดูดใช้สังกะสีในถั่วเขียวพันธุ์ชัชยานา 84-1 และพันธุ์ชัชยานา 72

วิธีการศึกษา

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกรรม ตำบลกระแซง อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (14°29'42.94"N 100°49'94.25"E) ซึ่งจัดอยู่ในชุดดินเอนดอซอมา (Vertic Endoaquepts) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2559) วิเคราะห์สมบัติของดินเบื้องต้นตามวิธีการของ National Soil Survey Center (1996) พบว่าดินที่ระดับความลึก 0-30 ซม. เป็นกรดรุนแรง (5.12) เนื้อดินเป็นดินเหนียว ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก (47.5 ก./กก.) ไนโตรเจนอยู่ในระดับสูงมาก (2.6 ก./กก.) ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับค่อนข้างสูงและสูงมาก (20.6 และ 157 มก./กก.) (FAO project Staff and Land Classification Division, 1973) ปริมาณสังกะสีและเหล็กที่สกัดได้เท่ากับ 4.72 และ 49.7 มก./กก. ตามลำดับ ทำการทดลองในระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 แปลงทดลองมีขนาด 3x4 ตร.ม. วางแผนการทดลองแบบ 2x5 factorial in RCB (Randomized Complete Block) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยที่ 1 พันธุ์ถั่วเขียว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัชยานา 84-1 และพันธุ์ชัชยานา 72 ปัจจัยที่ 2 การฉีดพ่นสังกะสีเป็นปุ๋ยทางใบ 5 อัตรา คือ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 % $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 เป็นปุ๋ยรองพื้นอัตรา 25 กก./ไร่ จากนั้นหว่านเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในอัตรา 10 กก./ไร่ (พีระศักดิ์, 2542) เมื่อถั่วเขียวมีอายุ 21 วัน ทำการฉีดพ่นสังกะสีครั้งที่ 1 ในอัตราความเข้มข้นตามแผนการทดลองในปริมาณ 100 มล./แปลง และฉีดพ่นอีกครั้งเมื่อถั่วเขียวออกดอก (ที่ระยะ 35 วันหลังปลูก) ในปริมาณเดียวกัน

การเก็บข้อมูลประกอบด้วย ปริมาณคลอโรฟิลล์หลังจากฉีดพ่นสังกะสีแล้ว 1 สัปดาห์ คือที่ระยะ 28 และ 42 วันหลังปลูกโดยเครื่อง SPAD meter (SPAD-502 Minota, Osaka, Japan) และที่ระยะเก็บเกี่ยว (68 วันหลังปลูก) บันทึกความสูง จากนั้นตัดต้นถั่วสูงจากพื้น 5 ซม. ในพื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 1 ตร.ม. ของ

แต่ละแปลงย่อย นำมาผึ่งให้แห้งในโรงเรือนนาน 2 สัปดาห์ จากนั้นนับจำนวนฝัก/ต้น วัดความยาวฝัก นับจำนวนเมล็ด/ฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อไร่ แล้วบันทึกผล ส่วนการหาค่าน้ำหนักแห้งส่วนต้นและใบนั้นจะแบ่งตัวอย่างส่วนต้นและใบจากแต่ละซ้ำของตำรับทดลองไปอบเพื่อหาค่าความชื้นในพืชแล้วจึงคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งต่อพื้นที่ต่อไป ด้านการวิเคราะห์ทางเคมี ทำการแบ่งตัวอย่างส่วนต้นและใบและส่วนเมล็ดมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 48 ชม. บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยวิธี Kjeldahl method จากนั้นนำค่าที่ได้คูณกับ 6.25 เพื่อคำนวณเป็นปริมาณโปรตีน (Crude protein) (AOAC, 1990) ปริมาณสังกะสีและเหล็กวิเคราะห์โดยย่อยสลายด้วยกรดผสม tri-acid mixture ($HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$ acid mixture) (Pequerul et al., 1993) แล้ววัดปริมาณสังกะสีและเหล็กด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณการดูดใช้สังกะสีของถั่วเขียว (Akinrinde and Gaizer, 2006) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับทดลอง โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโต

ข้อมูลด้านการเจริญเติบโตพิจารณาจากความเขียวของสีเขียว (SPAD chlorophyll) ที่ระยะ 28 และ 42 วันหลังปลูก และความสูงของต้นที่ระยะเก็บเกี่ยว (Figure 1) โดยพบว่า การฉีดพ่นสังกะสีในอัตราที่ต่างกัน (0-1.0%) มีผลให้ค่าความเขียวใบทั้งสองระยะ และค่าความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.75-1.0% มีผลให้ค่าเขียวของใบมีค่าสูงสุด (40.3-40.4 SPAD unit และ 46.0-49.7 SPAD unit ที่ระยะ 28 และ 42 วันหลังปลูก ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างทางสถิติของค่าความเขียวใบที่ระยะ 42 วันระหว่างพันธุ์ถั่วเขียว โดยถั่วเขียวพันธุ์ชัชยานา 72 ให้ค่าความเขียวใบ (42.2 SPAD unit) สูงกว่าพันธุ์ชัชยานา 84-1 (36.9 SPAD unit) ในส่วนค่าความสูง

ต้นถั่วเขียวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการฉีดพ่นปุ๋ยสังกะสีโดยการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.75% ให้ค่าความสูงถั่วเขียวสูงที่สุด (70.3 ซม.) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการฉีดพ่นในอัตรา 0.25, 0.5 และ 1.0% ในส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์ถั่วเขียวและอัตราการฉีดพ่นสังกะสีนั้นไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

สังกะสีเป็นธาตุอาหารพืชที่มีบทบาทในการสร้างคลอโรฟิลล์ (Dobermann and Fairhurst, 2000; Cakmak 2008; Chittamart et al., 2016) การได้รับสังกะสีไม่เพียงพอจะมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Jyung et al., 1972) ดังนั้นการได้รับสังกะสีในปริมาณที่เหมาะสมจึงมีส่วน

สำคัญในการสร้างคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของพืช จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 0.25-1.0% ช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบทั้งสองช่วงระยะ (21 และ 35 วันหลังปลูก) สอดคล้องกับงานทดลองของ Samreen et al. (2017) ซึ่งพบว่า การให้สังกะสีเพิ่มขึ้นปริมาณ 1 และ 2 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วเขียวได้ 51.5 และ 48.8 % ตามลำดับ ซึ่งให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับงานทดลองของ Kandoliya et al. (2018) ที่ศึกษาผลของสังกะสีและเหล็กต่อปริมาณรงควัตถุ ผลผลิต และคุณภาพผลผลิตข้าวสาลีที่ปลูกในดินเหนียว พบว่าการให้สังกะสีโดยวิธีฉีดพ่นทางใบช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าวสาลีได้มากกว่าการใส่ทางดินและได้ผลดีเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่ร่วมกับปุ๋ยเหล็ก

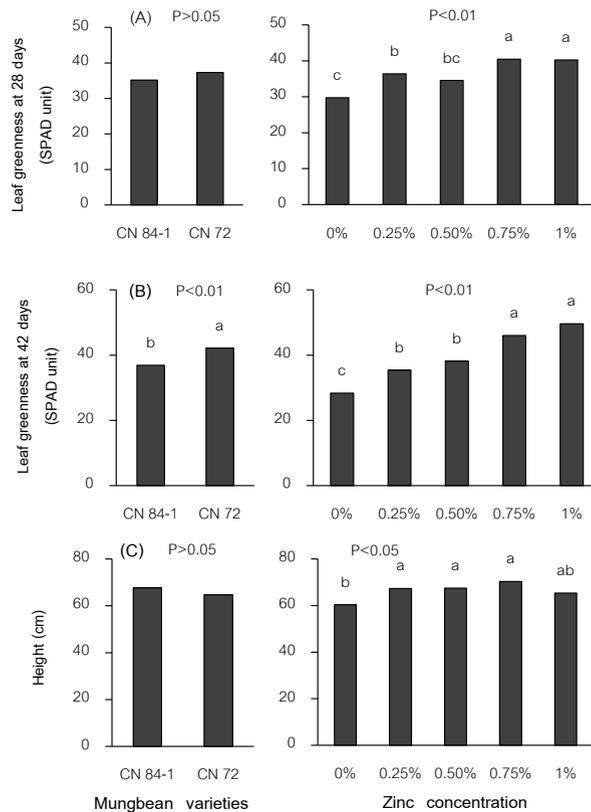


Figure 1 Effects of foliar Zn fertilizer on chlorophyll content at 28 and 42 days (A and B) and plant height at harvesting stage (C) of mungbean, CN-84-1 = Mungbean cv. Chainat 84-1 and CN 72 = Mungbean cv. Chainat 72.

2. ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ในส่วนของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พิจารณาจากผลผลิตเมล็ด จำนวนเมล็ดต่อฝัก ความยาวฝัก จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งส่วนต้นและใบ (Table 1) โดยพบความแตกต่างทางสถิติทั้งในส่วนพันธุ์ถั่วเขียว อัตราการฉีดพ่นสังกะสี รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองในส่วนของจำนวนฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด ปริมาณน้ำหนักแห้งส่วนต้นและใบ และผลผลิตเมล็ด ซึ่งถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72 ให้ผลผลิตเมล็ดรวมทั้งองค์ประกอบของผลผลิตอื่น ๆ ได้แก่ จำนวนฝักต่อต้น น้ำหนัก 100 เมล็ด และน้ำหนักแห้งส่วนต้นและใบ สูงกว่าพันธุ์ชยันนาท 84-1 การฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 0.5-1.0% มีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดรวมทั้งองค์ประกอบของผลผลิตอื่น ๆ มีค่าสูงกว่าการฉีดพ่นในอัตรา 0-0.25% เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสายพันธุ์ถั่วเขียวและอัตราการฉีดพ่นสังกะสีแล้วพบว่า การฉีดพ่นสังกะสีทางใบในอัตรา 0.5% ในถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72 ให้ปริมาณผลผลิตเมล็ด น้ำหนักแห้งส่วนต้นและใบ และน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงที่สุด (388, 1,385 กิโลกรัม และ 7.20 กรัม ตามลำดับ) ซึ่งไม่แตกต่างกับผลผลิตเมล็ดที่ได้จากการฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 0.25, 0.5 และ 1.0% ในถั่วเขียวพันธุ์ดังกล่าว ขณะที่จำนวนเมล็ดต่อฝักและความยาวฝักไม่พบความแตกต่างทางสถิติ

การฉีดพ่นสังกะสีทางใบช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิตอื่น ๆ อย่างชัดเจนในถั่วเขียวทั้งสองสายพันธุ์ เนื่องจากสังกะสีมีบทบาทในการส่งเสริมการติดดอกของพืช เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตซึ่งส่งผลถึงความสมบูรณ์ของเมล็ด นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ มากกว่า 300 ชนิดในพืช (ยงยุทธ, 2558; Dobermann and Fairhurst, 2000; Alloway, 2008; Cakmak, 2008) ประกอบกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีโดยวิธีการฉีดพ่นทางใบทำให้พืชได้รับสังกะสีได้อย่างเต็มที่ซึ่งแตกต่างจากการใส่ทางดินที่มีโอกาสถูกตรึงโดยปัจจัยทางดินด้านต่าง ๆ เช่น อินทรีย์วัตถุ พีเอช ปริมาณรวมถึงชนิดของแร่ดินเหนียว อีกทั้งไอออนของธาตุอาหารชนิดอื่น ๆ ในดิน (Kabata-Pendias and Pendias, 1992; Kabata-Pendias, 2004; Bennour, 2012; Huang et al., 2014 Fan et al., 2016) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Kandoliya et al. (2018) รายงาน

ว่าการฉีดพ่นสังกะสีทางใบอัตรา 0.5, 1.0 และ 1.5% ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีได้ประมาณ 4.7, 8.1 และ 22.1% ตามลำดับ แต่แตกต่างกับงานวิจัยของ Phuphong et al. (2018) ที่ศึกษาการฉีดพ่นสังกะสีในข้าว กข 14 ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่พบว่า การฉีดพ่นสังกะสีในรูป $ZnSO_4$ อัตรา 0.5% ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต และในบางแปลงทดลองการให้สังกะสีอัตราดังกล่าวกลับมีผลทำให้ผลผลิตเมล็ดลดลง ขณะที่ยงยุทธ และคณะ (2556) แนะนำว่าการฉีดพ่นสารละลาย $ZnSO_4$ อัตรา 0.5% สามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีของพืชได้เป็นอย่างดี แต่การแก้ไขให้ได้ผลระยะยาวควรปรับปรุงดินและใส่ปุ๋ยทางดินในอัตราที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด

3. การดูดีใช้สังกะสี

การดูดีใช้สังกะสีทั้งในส่วนเมล็ดและในส่วนลำต้นและใบแสดงใน Figure 2 จากผลการทดลองพบความแตกต่างทางสถิติของปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย (สายพันธุ์ถั่วเขียวและความเข้มข้นของการฉีดพ่นสังกะสี) การฉีดพ่นสังกะสีในอัตราความเข้มข้นที่สูงขึ้นมีผลให้การดูดีใช้สังกะสีทั้งในส่วนเมล็ดและส่วนลำต้นและใบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยการฉีดพ่นสังกะสีความเข้มข้น 0.75% ในถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72 ให้ค่าการดูดีใช้สังกะสีในเมล็ดสูงที่สุด (13.2 ก./ไร่) ซึ่งค่าที่ได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับการฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 1% ในถั่วเขียวทั้งสองสายพันธุ์ ส่วนการดูดีใช้สังกะสีในตอซึ่งนั้นพบว่าการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 1% ในถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72 ให้ค่าการดูดีใช้สังกะสีในตอสูงที่สุด (549 ก./ไร่) รองลงมาคือการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 1% และ 0.75% ในถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 84-1 ตามลำดับ

การฉีดพ่นสังกะสีทางใบส่งเสริมให้ถั่วเขียวมีการดูดีใช้สังกะสีเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนเมล็ดและส่วนลำต้นและใบ มีงานวิจัยหลายงานที่พบว่า การให้สังกะสีในปริมาณมากขึ้นส่งผลถึงการดูดีใช้สังกะสีของพืชที่สูงขึ้น (Shaheen et al., 2007; Fageria et al., 2008; Shahane et al. 2018) โดย Shahane et al. (2018) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสังกะสีต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในข้าวหอมพบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มขึ้นอัตรา 5 กก./เฮกตาร์ทำให้ข้าวหอมมีการดูดีใช้สังกะสีเพิ่มขึ้นถึง 46% ขณะที่ Ranjha et al. (2001) พบว่าการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักร่วมกับสังกะสีทำให้ข้าว

Table 1 Effect of foliar Zn fertilizer on yield and yield component of mungbean

Treatments	No. Seed (seed/pod) ¹	Pod length (cm) ¹	No. pod (pod/plant) ¹	100 grain wt. (g) ¹	Dry stover (kg/rai) ¹	Grain yield (kg/rai) ¹
Mungbean variety (A)						
CN 84-1 (A1)	12.4	9.9	11.3 b	6.1 b	960 b	220 b
CN 72 (A2)	12.8	10.0	16.3 a	6.7 a	1,228 a	351 a
F-test	ns	ns	**	*	**	**
Concentration of foliar Zn fertilizer (B)						
0.0 % Zn(NO ₃) ₂ (B1)	12.3	9.8	10.3 c	6.1 b	898 c	237 c
0.25 % Zn(NO ₃) ₂ (B2)	12.2	10.4	13.7 b	6.4 b	1,083 b	256 b
0.5 % Zn(NO ₃) ₂ (B3)	12.5	9.8	14.7 ab	7.1 a	1,199 a	294 ab
0.75 % Zn(NO ₃) ₂ (B4)	13.0	9.8	15.5 a	6.1 b	1,148 a	299 ab
1.0 % Zn(NO ₃) ₂ (B5)	13.0	9.9	14.8 ab	6.2 b	1,142 a	341 a
F-test	ns	ns	**	*	**	**
Interaction between AxB						
A1B1	12.7	10.3	8.0 d	6.4 b	895 c	184 d
A1B2	12.3	10.1	9.7 d	5.7 c	881 c	177 d
A1B3	12.0	9.7	13.0 bc	7.0 a	1,013 b	200 d
A1B4	11.7	10.1	11.7 c	5.8 c	940 c	212 d
A1B5	13.3	9.4	14.3 b	5.7 c	1,070 b	326 b
A2B1	12.0	9.3	12.7 bc	5.8 c	902 c	289 bc
A2B2	12.0	10.7	17.7 a	7.2 a	1,286 a	334 b
A2B3	13.0	9.9	16.3 ab	7.2 a	1,385 a	388 a
A2B4	14.3	9.4	19.3 a	6.4 b	1,355 a	387 a
A2B5	12.7	10.4	15.3 ab	6.8 ab	1,214 ab	355 ab
F-test	ns	ns	**	*	**	**
CV (%)	10.2	6.9	9.8	8.4	6.8	8.4

Remark¹ Means within the same column followed by the same letters indicate no significant differences among treatment using by DMRT, **, * Significant different at 0.05 and 0.01 probability levels, ^{ns} not significant, CN-84-1 = Mungbean cv. Chainat 84-1 and CN 72 = Mungbean cv. Chainat 72.

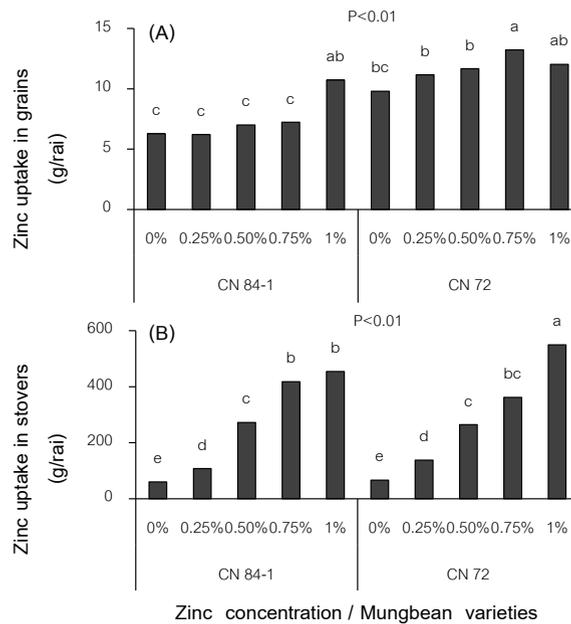


Figure 2 Interaction between mungbean varieties and zinc concentration on Zinc uptake in grains (A) and stovers (B) of mungbean, CN-84-1 = Mungbean cv. Chainat 84-1 and CN 72 = Mungbean cv. Chainat 72.

มีการดูดใช้สังกะสีเพิ่มขึ้นแต่ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อใส่ปุ๋ยคอกร่วมด้วย นอกจากนี้ปริมาณการดูดใช้สังกะสียังขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์พืช Fageria et al. (2008) ศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดใช้สังกะสีในพืชอาหาร 4 ชนิดพบว่า ถั่วแขกและถั่วเหลืองมีการดูดใช้สังกะสีในเมล็ดใกล้เคียงกัน (78-80 ก./เฮกตาร์) ขณะที่ข้าวไร่และข้าวโพดมีการดูดใช้สังกะสีที่สูงกว่า (139-142 ก./เฮกตาร์)

4. คุณค่าทางโภชนาการ

คุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วย ปริมาณโปรตีน เหล็ก และสังกะสีในเมล็ด (Table 2) จากผลการทดลองพบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ถั่วเขียว อัตราการฉีดพ่น รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองที่มีต่อปริมาณโปรตีนและเหล็กในเมล็ด โดยถั่วเขียวพันธุ์ชายนท 72 มีปริมาณโปรตีนในเมล็ด (24.7%) สูงกว่าพันธุ์ชายนท 84-1 (21.7%) ในทางตรงข้ามกลับให้ปริมาณเหล็กในเมล็ดต่ำกว่า (53.4 และ 58.9 มก./กก. ในถั่วเขียวพันธุ์ชายนท 72 และชายนท 84-1 ตามลำดับ) อัตราการฉีดพ่นสังกะสี 0.75% ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุด (24.1%) ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับการใช้ที่อัตรา 0.5 และ 1.0% ขณะที่ปริมาณเหล็กในเมล็ดกลับพบว่าอัตราการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.25% ให้ปริมาณเหล็กสูง

ที่สุด (63.9 มก./กก.) ด้านปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยพบว่าอัตราการฉีดพ่นสังกะสีอัตรา 0.5% ในถั่วเขียวพันธุ์ชายนท 72 ให้ค่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงสุด (25.8%) ขณะที่ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดนั้นพบว่ามีค่าสูงสุดในถั่วเขียวพันธุ์ชายนท 84-1 ที่ฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 0.25% (63.9 มก./กก.) ส่วนความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดนั้นไม่พบความแตกต่างทางสถิติในแต่ละตำรับทดลอง

ปริมาณโปรตีน เหล็ก และสังกะสีในเมล็ดถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการบ่งชี้คุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหาร เนื่องจากโปรตีนเป็นสารอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับร่างกายมนุษย์ ขณะที่เหล็กและสังกะสีมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น flavin-iron enzymes, transferrin, ferritin, carbonic anhydrase และ alcohol dehydrogenase เป็นต้น (McCall et al., 2000; Abbaspour et al., 2014) โดย Welch and Graham (2004) รายงานว่าความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีในพืชตระกูลถั่วมีค่าอยู่ในพิสัย 34-89 มก./กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55 มก./กก.) และ 21-54 มก./กก. (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 มก./กก.) ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง (Table 2)

Table 2 Effect of foliar Zn fertilizer on nutrition in grain of mungbean

Treatments		Crude protein (%) ¹	Fe in grains (mg/kg) ¹	Zn in grain (mg/kg) ¹
Mungbean variety (A)				
CN 84-1	(A1)	21.7 b	58.9 a	34.1
CN 72	(A2)	24.7 a	53.4 b	32.9
F-test		**	*	ns
Concentration of foliar Zn fertilizer (B)				
0.0 % Zn(NO ₃) ₂	(B1)	21.8 b	54.4 b	33.9
0.25 % Zn(NO ₃) ₂	(B2)	22.7 ab	63.9 a	34.0
0.5 % Zn(NO ₃) ₂	(B3)	23.6 a	51.3 c	32.2
0.75 % Zn(NO ₃) ₂	(B4)	24.1 a	52.9 c	34.2
1.0 % Zn(NO ₃) ₂	(B5)	23.8 a	58.2 ab	33.2
F-test		**	*	ns
Interaction between AxB				
	A1B1	19.7 d	53.1 c	34.2
	A1B2	20.8 d	68.8 a	34.8
	A1B3	21.4 c	50.9 d	34.6
	A1B4	23.7 b	54.8 bc	34.2
	A1B5	23.0 bc	67.2 a	32.9
	A2B1	23.9 b	55.8 bc	33.7
	A2B2	24.5 ab	59.1 b	33.3
	A2B3	25.8 a	51.8 c	30.0
	A2B4	24.5 ab	51.0 c	34.2
	A2B5	24.6 ab	49.3 d	33.7
F-test		**	*	ns
CV (%)		3.3	12.6	7.3

Remark¹ Means within the same column followed by the same letters indicate no significant differences among treatment using by DMRT, **, * Significant different at 0.05 and 0.01 probability levels, ^{ns} not significant, CN-84-1 = Mungbean cv. Chainat 84-1 and CN 72 = Mungbean cv. Chainat 72.

ในพืชนั้นสังกะสีมีความสำคัญต่อโครงสร้างโปรตีน เรียกว่า zinc finger protein มีบทบาทในการถอดรหัส DNA ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์โปรตีนซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการกระตุ้นให้พืชสามารถทนเค็มและเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อแรงจลนจากภายนอกของพืช (ยงยุทธ, 2558; Martin et al., 2014) ดังนั้นการที่พืชได้รับสังกะสีเพิ่มขึ้นจึงมีแนวโน้มในการเพิ่มปริมาณโปรตีนด้วย ส่วนสังกะสีและเหล็กนั้นก็มีปฏิสัมพันธ์ในเชิงปฏิบัติต่อกัน Mousavi et al. (2012) รายงานว่าการใส่สังกะสีมีผลให้ความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อพืชลดลง และในสภาพที่พืชได้รับสังกะสีไม่เพียงพอความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อพืชจะมีค่าสูงกว่าในสภาพที่พืชได้รับสังกะสีเพียงพอ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองซึ่งจะเห็นได้ว่าการฉีดพ่นสังกะสีในระดับต่ำ (0.25%) จะให้ค่าความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดสูงกว่าการฉีดพ่นสังกะสีในปริมาณที่มากขึ้น (0.5 และ 0.75%) ทั้งนี้อาจเพราะเหล็กในพืชนั้นมีสมบัติในการจับเกาะกับธาตุโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ทองแดง และสังกะสี เพื่อลดการเคลื่อนย้ายสู่ส่วนเหนือดินอื่น ๆ (Prasad, 1999) ดังนั้นจึงทำให้เหล็กที่เคลื่อนย้ายมาสะสมในเมล็ดมีค่าลดลง ขณะที่การฉีดพ่นสังกะสีในอัตราที่แตกต่างกันกลับไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดถั่วเขียวทั้งสองสายพันธุ์ สอดคล้องกับ Phuphong et al. (2018) ซึ่งพบว่าการฉีดพ่นสังกะสีความเข้มข้น 0.5% $ZnSO_4$ ไม่ช่วยให้ความเข้มข้นของสังกะสีในข้าวพันธุ์ กข 14 เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีผลมาจากข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายสังกะสีในไหลเอ็มของข้าวซึ่งแตกต่างจากในข้าวสาลีที่สามารถเคลื่อนย้ายสังกะสีจากใบสู่ส่วนเมล็ดได้ง่ายกว่า (Grewal and Graham, 1999; Cakmak, 2008) ทั้งนี้สังกะสีในพืชจะเคลื่อนย้ายผ่านไหลเอ็มในรูปของเกลืออินทรีย์หรือในรูปของโลหะคีเลตซึ่งมีสภาพการเคลื่อนที่ได้อยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น (ยงยุทธ, 2558) จากเหตุผลที่กล่าวมาจึงอาจเป็นสาเหตุให้ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดถั่วเขียวที่ได้รับการฉีดพ่นสังกะสีในอัตราที่แตกต่างกันมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสังกะสีในเมล็ดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สรุป

การฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 0.25-1.0% ช่วยเพิ่มผลผลิตรวมถึงองค์ประกอบผลผลิตด้านต่าง ๆ ของถั่วเขียวทั้งสองสายพันธุ์ รวมถึงการดูดใช้สังกะสีทั้งในส่วนเมล็ดและส่วนลำต้นและใบที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอัตราการฉีดพ่นสังกะสี ในถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 84-1 การฉีดพ่นสังกะสีในอัตรา 1% ให้ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งต้นและใบเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ขณะที่พันธุ์ชัยนาท 72 การฉีดพ่นสังกะสีที่อัตรา 0.5 และ 0.75% ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุดใกล้เคียงกัน ในส่วนคุณค่าทางโภชนาการนั้นปริมาณโปรตีนในเมล็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการฉีดพ่นสังกะสี ขณะที่ปริมาณเหล็กในเมล็ดกลับพบว่ามีความลดลงตามปริมาณการฉีดพ่นสังกะสีที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 ขณะที่พันธุ์ชัยนาท 84-1 พบว่าการฉีดพ่นสังกะสีในอัตราต่ำช่วยเพิ่มปริมาณเหล็กในเมล็ดแต่ปริมาณการสะสมจะมีความลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการฉีดพ่นสังกะสี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ขอขอบคุณภาคีวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคกลาง. www.idd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Ay.html. ค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2559.
- ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 300 หน้า.
- พัชรินทร์ ตู่ยวงศ์, เพ็ญญา จักรสมศักดิ์, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม และชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย.

2558. ผลของการพ่นสังกะสีที่ใบต่อผลผลิตและการสะสมธาตุสังกะสีในข้าวกล้องของข้าวพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุง. แก่นเกษตร 43: 605-612.
- พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2542. ถั่วเขียว. หน้า 143-156. ใน พืชเศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ยงยุทธ ไสถสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 548 หน้า.
- ยงยุทธ ไสถสภา อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2556. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 519 หน้า.
- รัชนีพร โปธินาม, อนุชิตา มุ่งงาม และ ทัดดาว ภาชีผล. 2559. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของสตร้าจากถั่วเขียวและถั่วพุ่มและการประยุกต์ใช้ในการผลิตวุ้นเส้น. แก่นเกษตร 44: 1073-1079.
- ศานิต สวัสดิกาญจน์. 2556. พืชไร่เศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตรัม กรุงเทพฯ. 376 หน้า.
- ศูนย์บริการฉายรังสีแกมมาและวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยี. 2562. พืชพันธุ์กลายในประเทศไทย: ถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72. <https://www.sci.ku.ac.th/Gamma/database/Greenbean/Gbean.htm>. ค้นเมื่อ 28 กันยายน 2562.
- สุนนา งามผ่องใส, สุวิมล ถนอมทรัพย์, สมทรง ชาติชื่น, อรุณี วงศ์ปิยะสถิตย์, จิราลักษณ์ ภูมิไธสง, อารดา มาสรี, พัชราพร หนูวิสัย, สันติ พรหมคำ, ชาวนาถ พุทธิเทพ, ชูชาติ บุญศักดิ์, นรีลักษณ์ วรรณสาย, สมชาย บุญประดับ, รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์, นงลักษณ์ บันลาย, นัฐภัทร คำหล้า, อรรถพร กสิวิวัฒน์, พรพุฒิ ประเสริฐกุล, มัทนา ศรีหัตถกรรม, อัจฉรา จอมสง่าวงศ์, ปวีณา ไชยวรรณ, วันชัย ถนอมทรัพย์, วิไลวรรณ พรหมคำ และศักดิ์ เฟ่งผล. 2555. ถั่วเขียวพันธุ์ใหม่ "ชยันนาท 84-1". รายงานวิจัยและพัฒนา ปี 2555. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา. 2561. แผนการบริการจัดการน้ำและการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตชลประทานปี 2561/62. กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- Abbaspour, N., R. Hurrell and R. Kelishadi. 2014. Review on iron and its importance for human health. J. Res. Med. Sci. 19: 164-174.
- Akinrinde, E.A. and T. Gaizer. 2006. Differences in the performance and phosphorus use efficiency of some tropical rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Pakistan Journal of Nutrition 5(3): 206-211.
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition, 2nd Ed. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.
- AOAC. 1990. Official method of analysis. 15th eds. Association of Official Analytical Chemistry Inc. Arlington, Virginia, USA.
- Bennour, H.A.M. 2012. Influence of pH and ionic strength on the adsorption of copper and zinc in bentonite Clay. Chem. Sci. Trans. 1: 371-381.
- Boonchuay, P., I. Cakmak, B. Rerkasem, and C. Prom-u-thai. 2013. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. Soil Sci Plant Nutr. 59: 182-187.
- Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. Plant Soil. 302: 1-17.
- Chittamart, N., J. Inkam, D. Ketrot and T. Darunsontaya. 2016. Geochemical fractionation and absorption characteristic of Zn in Thai major calcareous soils. Commun. Soil

- Sci. Plant Anal. 47: 2348–2363.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Potash and phosphate institute (PPI), Phosphate institute of Canada (PPIC) and International rice research institute (IRRI).
- Fageria, N.K., M.P. Barbosa Filho and A.B. Santos. 2008. Growth and zinc uptake and use efficiency in food crops, Comm. Soil Sci. Plant Anal. 39: 2258-2269.
- Fan, T.T., Y.J. Wang, C.B. Li, J.Z. He, J. Gao, D.M. Zhou, S.P. Friedman and D.L. Sparks. 2016. Effect of organic matter on sorption of Zn on soil: Elucidation by wien effect measurements and EXAFS spectroscopy. Environ. Sci. Technol. 50: 2931-2937.
- FAO Project Staff and Land Classification Division. 1973. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Co-operative, Bangkok.
- Grewal, H.S., and R.D. Graham. 1999. Residual effects of subsoil zinc and oilseed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat. Plant and Soil 207: 29–36.
- Huang, B., Z. Li, J. Huang, L. Guo, X. Nie, Y. Wang, Y. Zhang and G. Zeng. 2014. Adsorption characteristics of Cu and Zn onto various size fractions of aggregates from red paddy soil. J. Hazard. Materials 264: 176–183.
- Jyung, W.H., M.E. Camp, D.E. Polson, M.W. Afams and S.H. Witter. 1972. Differential response of two bean varieties to zinc as revealed by electrophoretic protein pattern. Crop Sci. 12: 26-29.
- Kabata-Pendias, A. 2004. Soil plant transfer to trace element an environmental issue. Geoderma 122: 143-149.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soil and Plant, 2nd ed. CCR Press, Boca Raton, Florida.
- Kandoliya, R.U., H.L. Sakarvadiya and B.B. Kunjadia. 2018. Effect of zinc and iron application on leaf chlorophyll, carotenoid, grain yield and quality of wheat in calcareous soil of Saurashtra region. Inter. J. Chem. Studies 6: 2092-2096.
- Mandal, B. and L.N. Mandal. 1990. Effect of phosphorus application on transformation of zinc fraction in soil and on the zinc nutrition of lowland rice. Plant Soil 121: 115-123.
- Martin, L., M. Decourteix, E. Badel, S. Huguet, B. Moulia, J.L. Julien and N.L. Fournier . 2014. The zinc finger protein PtaZFP2 negatively controls stem growth and gene expression responsiveness to external mechanical loads in poplar. New Phytologist 203: 168-181.
- McCall, K.A., C.C. Huang and C.A. Fierke. 2000. Function and mechanism of zinc metalloenzymes. J. Nutr. 130 (suppl): 1437-1446.
- Mousavi, S.R., M. Galavi and M. Rezaei. 2012. The interaction of zinc with other elements in plants: a review. Inter. J. Agri. Crop Sci. 4: 1881-1884.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington D.C.

- Pequerul, A., C. Pérez, P. Madero, J. Val and E. Monge. 1993. A rapid wet digestion method for plant analysis. pp. 3-6. In M.A. C. Fragoso and M.L. van Beusichem eds. Optimization of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers.
- Phuphong, P., I. Cakmak, B. Dell and C. Prom-u-thai. 2018. Effects of foliar application of zinc on grain yield and zinc concentration of rice in farmers' fields. CMU J. Nat. Sci. 17: 181-190.
- Prasad, M.N.V. 1999. Metallothioneins and metal binding complexes in plants. pp. 51-72. In M.N.V. Prasad and J. Hagemeyer. eds. Heavy Metal Stress in Plant. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Ranjha, A.M., I. Ahmed, M. Iqbal and M.J. Ahmed. 2001. Rice response to applied phosphorus, zinc and farmyard manure. Inter. Agri. Biolo. 2: 197-198.
- Samreen, T., H.U. Shah, S Ullah and M. Javid. 2017. Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mungbeans plant (*Vigna radiata*). Arabian J. Chem. 10; 1802–1807.
- Shahane, A.A., Y.S. Shivay, D. Kumar and R. Prasanna. 2018. Interaction effect of nitrogen, phosphorus, and zinc fertilization on growth, yield, and nutrient contents of aromatic rice varieties, J. Plant Nutri. 41: 2344-2355.
- Shaheen, R., M.K. Samim and R. Mahmud. 2007. Effect of zinc on yield and zinc uptake by wheat on some soils of Bangladesh. J. Soil. Nature 1: 7-14.
- Welch, R.M. and R.D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. J. Exper. Bot. 55: 353-364.