วารสารแก่นเกษตร
THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj

ผลของปุ๋ยผสมสังกะสีต่อผลผลิต ปริมาณจุลินทรีย์ และการหายใจของดินปลูกในการผลิตคะน้า

Effect of zinc amended fertilizer on yield, microbial quantity and respiration of the cultivated soil of Chinese kale production

กนกอร อัมพรายน์[1], รจนา ตั้งกุลบริบูรณ์[1], ปวริศ ตั้งบวรธรรมา[1], ศิริพร เปรมฤทธิ์[1], ศิริญยา คาชิมา[1] และ ประวีณา ตั้งบวรธรรมา[1]*

Khanok-on Amprayn[1], Rochana Tangkoonboribun[1], Pawaris Tangbovornthamma[1], Siriporn Premrit[1], Sirinya Kashima[1] and Praweena Tangbovornthamma[1]*

[1] *สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) 35 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120*
[1] *Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) 35, Moo 3, Khlong Ha, Khlong Luang, Pathumthani 12120*

บทคัดย่อ: การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยผสมสังกะสี 2 รูปแบบ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่ผสมสังกะสี 3 ระดับความเข้มข้นคือ 0, 0.5 และ 1% ต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณสังกะสีของคะน้าพันธุ์บางบัวทอง 35 และผลของปุ๋ยเสริมสังกะสีต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และการหายใจของดิน ทำการทดลองในสภาพแปลงเกษตรใน ต.บางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2566 วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in CRD โดยให้ปุ๋ยแตกต่างกันในครั้งที่ 3 เมื่อคะน้ามีอายุ 30 วัน หลังหว่านเมล็ด เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิตผักเมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว 44 วัน นำผักมาหาปริมาณสังกะสีด้วยเครื่อง AAS ผลการทดลองพบว่า ปุ๋ยผสมสังกะสีส่งผลเชิงลบต่อความสูงและปริมาณผลผลิตของผักคะน้าประมาณ 28% แต่ผักคะน้ามีการสะสมสังกะสีในปริมาณที่สูงขึ้นประมาณ 22% โดยผลผลิตผักสดสูงสุดได้จากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ สัดส่วน 1:1 อัตรา 40 กรัม/ตารางเมตร ได้รับผลผลิต 9.2 กิโลกรัม/ตารางเมตร ส่วนคะน้าที่มีปริมาณสังกะสีสูงได้จากการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมสังกะสี 1% และปุ๋ยอินทรีย์เคมีผสมสังกะสี 0.5-1% ที่มีปริมาณสังกะสี 89.8 และ 91.8-98.1 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนั้น ยังพบว่าปุ๋ยผสมสังกะสีไม่มีผลกระทบต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดิน แต่ส่งผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีที่ลดลงในช่วงแรก (หลังใส่ปุ๋ย 3 วัน) ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปเป็นหลังใส่ปุ๋ย 7 วัน พบว่าดินมีปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับอัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดินที่พบว่าไม่แตกต่างกัน สำหรับผลของปุ๋ยผสมสังกะสีต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินพบว่าปุ๋ยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

คำสำคัญ: ปุ๋ยสังกะสี; ปุ๋ยอินทรีย์; ปุ๋ยอินทรีย์เคมี; คะน้า; ปริมาณจุลินทรีย์; การหายใจของดิน

ABSTRACT: This study aimed to investigate the effect of different fertilization among organic fertilizer or organic-chemical fertilizer amended with 3 level of Zn 0, 0.5 and 1% on growth, yield and Zn content of Chinese kale (Bang Bua Thong 35). The field experiment was conducted in Bangkuwat, Muang, Pathumthani during February to April 2023 with an experimental design of 2 x3 factorial in completely randomized design (CRD). The different fertilizers were applied at 3rd fertilization to the 30-day-old-Chinese kale. Growth parameters and fresh mass yield were collected at a time of harvesting (44 days) and then the vegetables were tested for Zn content using AAS. Results exhibited that Zn amended fertilizer provided negative effects on plant height and fresh yield for approx.

* Corresponding author: praweena@tistr.or.th

Received: date; July 24, 2023 Received: date; December 15, 2023

Accepted: date; March 18, 2024 Published: date

28% , however, consequent Chinese kale accumulated greater amount of Zn for approx. 22% . The highest yield (9.2 kg/m^2) obtained from the co-application of chemical fertilizer and organic fertilizer (1:1) at a rate of 40 g/m^{-2}, while, maximum Zn content in the kale obtained when co-applying of chemical fertilizer and either 1% Zn amended organic- or 0.5-1% Zn amended organic chemical- fertilizer which provided total Zn content of 89.8 and 91.8-98.1 mg/kg Dw, respectively. Moreover, it was found that Zn amended fertilizer provided no effect on total number of soil microorganisms. Nevertheless, the application of 1% Zn organic-chemical fertilizer exhibited a reduction of Zn solubilizing microorganisms after 3 days applying, and then recovered later after 7 days applying. Additionally, the soil respiration rate and soil chemical properties seemed to be slightly affected.
Keywords: zinc fertilizer; organic fertilizer; organic-chemical fertilizer; Chinese kale; number of soil microorganisms; soil respiration

บทนำ

คะน้า (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra*) เป็นผักที่มีปริมาณการบริโภคในประเทศสูง (วรรณิศา และ พรไพรินทร์, 2557) เป็นผักฤดูเดียว มีอายุตั้งแต่หว่านจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน สามารถปลูกติดต่อกันได้ตลอดทั้งปี พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ใบกลม และพันธุ์ใบแหลม โดยการปลูกผักคะน้า 1 ฤดู ต้องการธาตุอาหารที่ประกอบด้วยไนโตรเจน 9-16 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 1.5-2 กิโลกรัมต่อไร่ และโพแทสเซียม 15-25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งการปลูกพืชชนิดเดียวไม่มีการปลูกพืชอื่นหมุนเวียน ทำให้มีการใช้ปุ๋ยอัตราสูงต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ส่งผลให้เกิดการสะสมธาตุอาหารในดินมากเกินไป นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อธาตุอาหารเสริมบางธาตุ เช่น ธาตุสังกะสีในดินลดลง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) การจัดการปุ๋ยถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปรับโครงสร้างของดินและการเจริญเติบโตของพืช นอกจากธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ที่พืชต้องการแล้ว ยังมีธาตุอาหารรองและจุลธาตุอื่น ๆ ที่มีบทบาทสำคัญมากเช่นเดียวกัน สังกะสี (Zn) เป็นจุลธาตุที่ส่งเสริมการสังเคราะห์ฮอร์โมน IAA อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมของดีเอ็นเอ (DNA) อาร์เอ็นเอ (RNA) ซึ่งช่วยในการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน รวมถึงความทนทานต่อโรค และแมลง (Alloway, 2008) ปุ๋ยสังกะสี $ZnSO_4$ ละลายน้ำได้ดีจึงเพิ่มความเข้มข้นสังกะสีในสารละลายดินได้รวดเร็ว ทำให้พืชดูดซึมไปใช้ได้ดี การให้ปุ๋ยสังกะสีที่เหมาะสมช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง และลดความเสียหายของเซลล์พืชจากอนุมูลอิสระที่เกิดจากความเครียดจากสิ่งแวดล้อมได้ แต่หากให้ปุ๋ยสังกะสีมากเกินไปจะเกิดผลเสียต่อพืชจากพิษของโลหะหนัก (da Silva et al., 2023) ในทางตรงกันข้ามความเป็นประโยชน์ของ Zn ในดินสามารถถูกยับยั้งได้ด้วยหลายปัจจัย เช่น ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (Rehman et al., 2012)

ธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อการทำงานของร่างกายด้านการเจริญเติบโต ภูมิคุ้มกันโรคติดเชื้อ การสืบพันธุ์และระบบประสาทควบคุมพฤติกรรม กลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงต่อภาวะการขาดธาตุสังกะสีคือ เด็ก วัยรุ่น และหญิงตั้งครรภ์/ให้นมบุตร ผู้ใหญ่อายุ 19 ปีขึ้นไป มีความต้องการสังกะสีเฉลี่ย 9-11 มก. ต่อวัน จากการประเมินตามวิธีของคณะกรรมการนานาชาติด้านโภชนาการของธาตุสังกะสี (IZiNCG) ประเทศไทยจัดอยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563)

จากการรณรงค์ให้คนไทยบริโภคผักและผลไม้อย่างน้อยวันละ 400 กรัม เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (วันทนีย์, ม.ป.ป.) ผักจึงเป็นสัดส่วนที่มากและสำคัญในการบริโภค และจากข้อมูลของ Wong et al. (2019) จะเห็นว่าผักรับประทานใบมีธาตุสังกะสีเป็นองค์ประกอบเพียง 3-4 มก./กก. สด ขณะที่ปริมาณสังกะสีในระดับที่เพียงพอของพืชวงศ์ *Brassica* อยู่ระหว่าง 20-200 มก./กก. โดยในส่วนเหนือดินของผักเคล (*B. pleracea* var. *acephla*) ที่สะสมสังกะสีได้ดีกว่า *Brassica* ชนิดอื่น ๆ พบว่ามีธาตุเพียง 33-60 มก./กก. แห้ง การเพิ่มธาตุสังกะสีเข้าไปในผักจึงเป็นแนวทางในการลดความเสี่ยงต่อการขาดธาตุได้ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีแต่วิธีที่ไม่ซับซ้อนและเห็นผลคือการเสริมผ่านการให้ปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม (agronomic biofortification) (Broadley et al., 2010; Satheesh and Fanta, 2020) แต่ปุ๋ยที่ใส่ก็ไม่ควรส่งผลกระทบต่อสมบัติของดินด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงทดลองใช้ปุ๋ยผสมสังกะสีรูปแบบต่าง ๆ ในการผลิตคะน้าระดับแปลงเกษตรกร เพื่อศึกษาผลของการให้ปุ๋ยต่อสมบัติดิน การเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และการสะสมธาตุสังกะสีในคะน้า รวมทั้งศึกษาผลของปุ๋ยเสริมสังกะสีต่อปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน รวมถึงการหายใจของดินด้วย

วิธีการศึกษา

พื้นที่ทดลอง การปลูก และการให้ปุ๋ยคะน้า

พื้นที่ทดลองเป็นแปลงเกษตรที่ปลูกผักเชิงการค้าใน ต.บางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ - เมษายน 2566 วางแผนการทดลองแบบ 2x3 Factorial in CRD แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ ใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยผสมสังกะสี 2 รูปแบบ มี 2 ปัจจัย โดยปัจจัยที่ 1 คือ ปุ๋ยพื้นฐาน 2 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยอินทรีย์ (OF) และปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 (T6) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณสังกะสี (Zn) ที่ผสมในปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์เคมี 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.5 และ 1% ปุ๋ยสังกะสีที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยผสมคือ $ZnSO_4$ (Zn 35%) คะน้าที่ใช้เป็นพันธุ์บางบัวทอง 35 (พันธุ์ใบกลม) ทำการเตรียมต้นพืชโดยการหว่านเมล็ดพันธุ์อัตรา 2 กรัม/ตร.ม. ให้น้ำวันละ 2 ครั้ง มีการถอนแยกเมื่อผักอายุ 20 วัน หลังหว่านเมล็ด ก่อนใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ให้ปุ๋ยหลังหว่านเมล็ด จำนวน 3 ครั้ง ทุก 10 วัน ครั้งที่ 1 และ 2 ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 23-8-8 อัตรา 40 กรัม/ตร.ม. ส่วนครั้งที่ 3 เมื่อคะน้าอายุ 30 วันหลังหว่านเมล็ด เริ่มทำการทดลองโดยการใส่ปุ๋ยตามชุดการทดลอง 6 กรรมวิธี **(Table 1)** อัตรา 20 กรัม/ตร.ม. ร่วมกับปุ๋ยเคมี 15-15-15 อีก 20 กรัม/ตร.ม.

Table 1 Treatment description

T	Treatment	Abbreaviation	Zinc amended fertilizer (g/plant)
T1	Chemical fertilizer 50% + Organic fertilizer 50%	0ZnOF	0.3
T2	Chemical fertilizer 50% + 0.5% Zn amended organic fertilizer 50%	0.5ZnOF	0.3
T3	Chemical fertilizer 50% + 1% Zn amended organic fertilizer 50%	1ZnOF	0.3
T4	Chemical fertilizer 50% + Organic-chemical fertilizer 6-6-6 50%	0ZnOT6	0.3
T5	Chemical fertilizer 50% + 0.5% Zn amended organic-chemical fertilizer 6-6-6 50%	0.5ZnOT6	0.3
T6	Chemical fertilizer 50% + 1% Zn amended organic-chemical fertilizer 6-6-6 50%	1ZnOT6	0.3

การวิเคราะห์สมบัติของดินและปุ๋ยอินทรีย์

ก่อนและหลังทำการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างดินแปลงทดสอบจำนวน 6 จุด แยกเศษพืชออก แล้วรวมตัวอย่าง นำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์สมบัติดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC 1:5), ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM), ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P), ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) และปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Zn)

ปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาใช้มีคุณสมบัติดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (EC 1:10), ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM), ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N), ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P_2O_5), ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total K_2O) และปริมาณสังกะสีทั้งหมด (total Zn) ดังแสดงใน **Table 2**

Table 2 Characteristics of soil, and organic fertilizer

Sample	Properties	Unit	Value
Soil	pH	-	6.6
	Electrical conductivity (EC 1:5)	dS/m	0.86
	Organic matter (OM)	%	1.51
	Available Phosphorus (Avail. P)	mg/kg	297.20
	Exchangeable Potassium (Exch. K)	mg/kg	298.28
	Exchangeable Zinc (Exch. Zn)	mg/kg	4.94
Organic fertilizer	pH	-	7.0
	Electrical conductivity (EC 1:10)	dS/m	5.97
	Organic matter (OM)	%	26.60
	Total Nitrogen (N)	%	1.7
	Total Phosphorus (P_2O_5)	%	1.4
	Total Potassium (K_2O)	%	2.2
	Total Zinc (Zn)	mg/kg	104.44

การเก็บเกี่ยวผลผลิตและการเก็บข้อมูล

เมื่อผักคะน้าอายุ 44 วัน (หลังหว่านเมล็ด) เก็บข้อมูลความสูง ขนาดใบ และความเข้มของสีใบ โดยใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืช (Chlorophyll Meter SPAD) ด้วยการสุ่มวัดต้นพืช 3 ต้น จากนั้นเก็บต้นผักแบบถอนราก 3 ต้น นำไปวิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง สุ่มเก็บปริมาณผลผลิตผักคะน้าในพื้นที่ 1 ตร.ม. ด้วยการตัดต้นเหนือดินประมาณ 5 ซม. ชั่งน้ำหนักสดผลผลิตทั้งหมด จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีทั้งหมดในต้นพืช

การเก็บตัวอย่างดินและการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด

สุ่มเก็บตัวอย่างดินแปลงปลูกคะน้าหลังใส่ปุ๋ยเป็นเวลา 0, 3 และ 7 วัน ด้วยการจ้วงเก็บที่ความลึก 0-15 ซม. แปลงละ 3 จุด นำมาตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ด้วยเทคนิคการเจือจางลำดับส่วน (serial dilution) เกลี่ยสารแขวนลอยลงบนอาหารแข็งสูตร Plate Count Agar (PCA) บ่มจานเพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตรวจนับจำนวนโคโลนีที่ขึ้นบนหน้าอาหาร รายงานผลการตรวจนับเป็น colony forming unit (CFU) ต่อกรัมดิน

การตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสี

นำตัวอย่างดินหลังใส่ปุ๋ยเป็นเวลา 0, 3 และ 7 วัน มาตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสี (Zn solubilizing microorganisms) ด้วยการเจือจางลำดับส่วน เกลี่ยสารแขวนลอยลงบนอาหารแข็งสูตร Zinc Solubilizing medium ที่มี ZnO ผสมอยู่ 0.1% บ่มจานเพาะเชื้อในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2-5 วัน ตรวจนับจำนวนโคโลนีที่เกิดวงใส (clear zone) บนอาหาร และรายงานผลการตรวจนับเป็น colony forming unit (CFU) ต่อกรัมดิน

การวัดการหายใจของจุลินทรีย์ดิน

ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากดินและอุณหภูมิดิน ใน collar ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.5 ซม. ที่ฝังไว้ระหว่างต้นพืชโดยฝังลงในดินลึก 3 ซม. แปลงละ 2 จุด หลังใส่ปุ๋ยเป็นเวลา 3 และ 7 วัน ด้วยเครื่อง EGM-4 CO_2 Gas Analyzer อ่านค่าและรายงานผลเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาในหน่วยกรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (g $CO_2/m^2/h$)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วย ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลระหว่างกรรมวิธีทดลองด้วยการทดสอบ LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix เวอร์ชั่น 8.1

ผลการศึกษาและวิจารณ์

สมบัติดินก่อนและหลังปลูกคะน้า

สมบัติดินก่อนปลูกคะน้า พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 6.6) เป็นกลาง, ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (EC 1:5) มีค่า 0.86 dS/m ไม่เค็ม รวมทั้งค่าอินทรียวัตถุในดิน (OM) เท่ากับ 1.51% ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักกินต้นและใบ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (Avail.P) รวมถึงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch.K) มีค่าเท่ากับ 297.20 และ 298.28 mg/kg เป็นปริมาณสูงมาก และยังมีปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้สูง

การใส่ปุ๋ยให้กับคะน้าที่มีระยะเวลาการเพาะปลูก 44 วัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติดินเมื่อเปรียบเทียบกับดินก่อนปลูก ดังนี้ ค่า pH ลดลงเล็กน้อยประมาณ 0.4 pH unit และค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.15 dS/m (ไม่เค็ม) ทั้งค่า pH ที่ลดลง และ EC ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตรวมถึงผลผลิตของผักกินต้นและใบ ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0.5%,1%Zn และแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 มีค่า OM เพิ่มขึ้น 0.06-0.08% เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 1%Zn มีค่าเพิ่มขึ้น 35.3 mg/kg และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทีย์เคมี 6-6-6 มีค่าเพิ่มขึ้น 105.89 mg/kg สำหรับปริมาณสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่าในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 0.5%Zn มีค่าเพิ่มขึ้น 0.1 mg/kg ส่วนในแปลงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 0.5%Zn มีค่าสังกะสีที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงถึง 2.69 mg/kg **(Table 3)**

Table 3 Characteristics of soil, before planting and after harvesting the Chinese kale

Parameters	Before planting (0 day)	After harvesting (44 days after seed sowing)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	Average
pH	6.6	6.3	6.0	6.1	5.9	6.7	6.4	6.2
EC1:5 (dS/m)	0.86	0.95	1.40	1.16	0.68	0.91	0.97	1.01
OM (%)	1.51	1.44	1.58	1.59	1.57	1.44	1.47	1.51
Avail. P (mg/kg)	297	280	312	332	330	275	285	302
Exch. K (mg/kg)	298.28	257.82	270.57	353.46	404.17	303.56	291.67	313.54
Exch. Zn(mg/kg)	4.94	3.24	2.25	4.91	4.15	5.04	4.15	3.96

หมายเหตุ : T1=Chemical fertilizer 50% + Organic fertilizer 50%

T2=Chemical fertilizer 50% + 0.5% Zn amended organic fertilizer

T3=Chemical fertilizer 50% + 1% Zn amended organic fertilizer

T4=Chemical fertilizer 50% + Organic-chemical fertilizer 6-6-6

T5=Chemical fertilizer 50% + 0.5% Zn amended organic-chemical fertilizer 6-6-6

T6=Chemical fertilizer 50% + 1% Zn amended organic-chemical fertilizer 6-6-6

การเจริญเติบโตของคะน้า

การให้ปุ๋ยคะน้าอายุ 30 วัน หลังหว่านเมล็ด ด้วยปุ๋ยที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านความสูงต้น ขนาดใบ และความเขียวใบของคะน้าที่ระยะเก็บเกี่ยว (44 วัน) ที่แตกต่างกัน แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต้นคะน้า **(Table 4)** โดยพบว่า การใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (OF) หรือปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 (OT6) อีก 50% ต้นคะน้าที่ได้มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่การใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% ร่วมกับ Zn ที่ระดับความเข้มข้น 0.5-1% (0.5-1Zn) ทำให้ต้นคะน้ามีความสูงน้อยกว่าแต่มีขนาดใบใหญ่กว่าปุ๋ยที่ไม่ได้ผสม Zn (0Zn) โดยการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 คือ 0ZnOF ทำให้ต้นคะน้ามีความสูงมากที่สุดมากกว่าการใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีอื่น ๆ 23-42% ขณะที่การใช้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 5 คือ ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% + อินทรีย์เคมี 6-6-6 0.5%Zn50% (0.5ZnOT6) และ กรรมวิธีที่ 6 คือ ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% + อินทรีย์เคมี 6-6-6 1%Zn 50% (1ZnOT6) ทำให้ได้คะน้าที่มีใบขนาดใหญ่ขึ้น ใบคะน้ามีพื้นที่ใบมากกกว่าการใช้ปุ๋ยกรรมวิธีอื่น 11-32% ส่วนความเขียวของใบคะน้าจากกรรมวิธีที่ 5 คือ ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% + อินทรีย์เคมี 6-6-6 0.5%Zn50% (0.5ZnOT6) ใบมีสีเขียวเข้มกว่ากรรมวิธีอื่น 14%

พบว่า ในการให้ปุ๋ยคะน้าอายุ 30 วัน ด้วยการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 50% ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 50% (0ZnOF) สัดส่วน 1:1 ทำให้ต้นคะน้ามีความสูงมากที่สุด สอดคล้องกับงานของ Dawar et al. (2022) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักส่งผลให้ต้นข้าวสาลีมีความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ สายชล และคณะ (2555) ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ทำให้ผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงที่สุด ขณะที่การให้ Zn ร่วมไปกับปุ๋ยส่งผลต่อความสูงคะน้าที่ลดลง ขัดแย้งกับงานส่วนใหญ่ที่พบว่า การให้ปุ๋ย Zn ส่งผลต่อความสูงของพืชที่เพิ่มขึ้น เช่นในมะเขือเทศ ข้าวสาลี มันสำปะหลัง และถั่วเขียว (Ahmed et al., 2022; Dawar et al., 2022; da Silva et al., 2023; Samreen et al., 2017) แต่ใบคะน้ามีขนาดใหญ่และเขียวเข้มขึ้น อาจเป็นเหตุให้น้ำหนักสดและแห้งของต้นคะน้าไม่แตกต่างกัน

Table 4 Growth measurement in terms of plant height, leaf area, and leaf greenness of Chinese Kale cultivated under different fertilizer application

Source	Treatment	Plant height (cm)	Leaf area (cm^2)	Leaf greenness (SPAD unit)	Plant Fw (g)	Plant Dw (g)
Based	a1 = OF	16.3	186.6	54.9	140.2	9.6
fertilizer (a)	a2 = OT6	17.6	203.4	56.1	137.8	9.5
Zn level (b)	b1 = 0Zn	19.9^{a}	166.1^{b}	52.9	134.0	10.4
	b2 = 0.5Zn	14.2^{b}	222.0^{a}	58.3	146.7	9.0
	b3= 1Zn	16.7^{ab}	197.0^{ab}	55.4	136.3	9.2
a x b	a1b1 (T1)	21.8^{a}	182.9^{b}	54.6^{ab}	134.3	10.2
	a1b2 (T2)	12.6^{b}	182.1^{b}	53.6^{ab}	140.3	8.5
	a1b3 (T3)	14.6^{ab}	194.9^{b}	56.6^{ab}	146.0	10.4
	a2b1 (T4)	18.0^{ab}	149.3^{b}	51.2^{b}	133.6	10.6
	a2b2 (T5)	15.9^{ab}	261.8^{a}	63.0^{a}	153.0	9.5
	a2b3 (T6)	18.8^{ab}	199.0^{ab}	54.2^{ab}	126.7	8.6
F-test	a	ns	ns	ns	ns	ns
	b	*	*	ns	ns	ns
	a x b	*	*	*	ns	ns
	CV (%)	25.51	18.34	11.50	34.74	32.71

An asterisk (*) indicates significant different at P<0.05. Different letter(s) after the mean values indicates significant difference among each treatment tested by LSD (P<0.05).

ปริมาณผลผลิตและการสะสมสังกะสีของคะน้า

การให้ปุ๋ยกับคะน้าอายุ 30 วัน ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อน้ำหนักสดผลผลิตและปริมาณสังกะสีของผักคะน้าที่แตกต่างกัน การให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ สัดส่วน 1:1 หรือ OT6 ไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตและการสะสม Zn ของคะน้า แต่การให้ Zn กับคะน้าส่งผลเชิงลบต่อปริมาณผลผลิต ขณะที่พืชสะสม Zn ในต้นมากขึ้น **(Table 5)** โดยการให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 1 คือ 0ZnOF ได้ผลผลิตคะน้าสดต่อพื้นที่มากที่สุด มากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ อยู่ 22-35% และการให้ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 3, 5 และ 6 คือ 1ZnOF, 0.5ZnOT6 และ 1ZnOT6 คะน้าสะสม Zn สูงที่สุด สูงกว่ากรรมวิธีอื่น 9-22%

Table 5 Yield and total zinc content of Chinese Kale cultivated under different fertilizer application

Source	Treatment	Fresh biomass yield (kg/m^2)	Plant Zn content (mg/kgDw)
Based fertilizer (a)	a1 = OF	7.7	82.3
	a2 = OT6	5.8	91.9
Zn level (b)	b1 = 0Zn	7.4	79.2^{b}
	b2 = 0.5Zn	6.5	88.0^{ab}
	b3 = 1Zn	5.8	93.9^{a}
a x b	a1b1 (T1)	9.2^{a}	72.8^{b}
	a1b2 (T2)	7.2^{ab}	84.2^{ab}
	a1b3 (T3)	6.6^{b}	89.8^{a}
	a2b1 (T4)	5.6^{b}	85.7^{ab}
	a2b2 (T5)	5.8^{b}	91.8^{a}
	a2b3 (T6)	6.0^{b}	98.1^{a}
F-test	a	ns	ns
	b	ns	*
	a x b	*	*
	CV (%)	19.93	9.99

An asterisk (*) indicates significant different at P<0.05. Different letter(s) after the mean values indicates significant difference among each treatment tested by LSD (P<0.05).

พบว่าการให้ปุ๋ย Zn ส่งผลเชิงลบต่อปริมาณผลผลิต แต่คะน้ามีการสะสม Zn ในต้นและใบพืชเพิ่มมากขึ้น ปริมาณ Zn ในคะน้าที่สูงขึ้น ยังไม่ถึงระดับความเข้มข้นที่มากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืช (>400 ppm) (เจตจรินทร์, 2559) สอดคล้องกับงานของ Vassilev et al. (2011) ที่พบว่า Zn ที่ระดับความเข้มข้นสูงส่งผลกระทบต่อน้ำหนักสดที่ลดลงของชีวมวลถั่วแขก และ กัญญ์กุลณัช และคณะ (2564) ที่รายงานว่า การให้ปุ๋ยสังกะสีร่วมกับธาตุอาหารไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าว แต่การใช้ปุ๋ยสังกะสีในบางรูปแบบส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของกล้าข้าว และการที่คะน้าสะสม Zn ในต้นเพิ่มขึ้นจากการให้ปุ๋ย Zn ทางดินอาจเนื่องจากผักคะน้ามีความสามารถในการดูดซึม Zn จากดินไปสะสมไว้ในเนื้อเยื่อได้ดี (สมพร และ ศวพร, 2556) นอกจากนี้มีรายงานว่า การให้ปุ๋ย Zn กับผัก เช่น ถั่วแขก *(Phaseolus vulgaris)* และ ผักเบี้ย (*Portulaca oleracea*) พืชจะสะสม Zn เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของ Zn ที่ให้ทางราก (Wong et al., 2019)

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและจุลินทรีย์ละลายสังกะสี

ดินก่อนการใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 6.9-7.2 log CFU/g เฉลี่ย 7.0 log CFU/g หลังการใส่ปุ๋ย 3 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 7.2-7.5 log CFU/g เฉลี่ย 7.3 log CFU/g และหลังใส่ปุ๋ย 7 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 7.3-7.6 log CFU/g เฉลี่ย 7.3 log CFU/g **(Table 6)** จะเห็นได้ว่าปุ๋ยเสริมสังกะสีไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในดิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shah et al. (2014) ที่รายงานไว้ว่า ZnO ไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในดินและไม่ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในดินเกิดการเปลี่ยนแปลง

สำหรับปริมาณจุลินทรีย์ที่ละลายสังกะสีในดินก่อนการใส่ปุ๋ย พบว่า มีปริมาณอยู่ระหว่าง 4.0-4.5 log CFU/g เฉลี่ย 4.2 log CFU/g หลังใส่ปุ๋ย 3 วัน ตรวจพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีในดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในแปลงที่ใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่ 6 (ปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 ผสม Zn 1%) มีปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีลดลง 0.7 log CFU/g เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยรูปแบบอื่น การที่จุลินทรีย์ละลายสังกะสีมีปริมาณลดลงอาจเนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 ผสม Zn 1% ไปเพิ่มปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์

ในดินมากพอให้จุลินทรีย์ในดินใช้ในการเจริญเติบโตและกิจกรรมได้เพียงพอ เกิดการแข่งขันระหว่างจุลินทรีย์ในดินเอง ซึ่งจุลินทรีย์ละลายสังกะสีอาจมีความสามารถในการแข่งขันน้อยกว่าจึงเจริญเติบโตได้น้อยกว่าจุลินทรีย์อื่นๆ สำหรับหลังใส่ปุ๋ย 7 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีที่ตรวจนับได้จากตัวอย่างดินไม่แตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธี โดยมีปริมาณระหว่าง 4.3-4.8 log CFU/g เฉลี่ย 4.5 log CFU/g และส่วนใหญ่จุลินทรีย์ที่พบว่าสามารถละลายธาตุสังกะสีได้ส่วนใหญ่คือ เชื้อรา **(Table 6)**

Table 6 Numbers of total soil microorganisms, total zinc solubilizing microorganisms (ZSM) and Soil respiration rate derived from Chinese kale planting soil at before and after zinc amended fertilizer application

Source	Treatment	Total count (log CFU/g)		ZSM count (log CFU/g)		Soil respiration rate (g $CO_2/m^2/h$)	
		Day3	Day7	Day3	Day7	Day3	Day7
Based fertilizer (a)	a1 = OF	7.4	7.4	4.5	4.6	0.4	1.8
	a2 = OT6	7.3	7.3	4.2	4.3	0.6	1.5
Zn level (b)	b1 = 0Zn	7.3	7.3	4.2	4.2^{b}	0.5	1.4
	b2 = 0.5Zn	7.4	7.3	4.5	4.4^{ab}	0.7	2.1
	b3 = 1Zn	7.3	7.4	4.3	4.7^{a}	0.3	1.5
a x b	a1b1 (T1)	7.4^{ab}	7.6^{a}	4.2^{ab}	4.3^{b}	0.5	1.9
	a1b2 (T2)	7.3^{ab}	7.4^{ab}	4.7^{a}	4.3^{ab}	0.5	2.6
	a1b3 (T3)	7.5^{a}	7.3^{ab}	4.7^{a}	4.6^{ab}	0.2	0.9
	a2b1 (T4)	7.2^{ab}	7.0^{b}	4.3^{ab}	4.4^{ab}	0.4	0.9
	a2b2 (T5)	7.4^{ab}	7.3^{ab}	4.4^{a}	4.5^{ab}	1.0	1.6
	a2b3 (T6)	7.2^{b}	7.5^{ab}	3.8^{b}	4.8^{a}	0.5	2.0
F-test	a	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	b	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	a x b	*	*	*	*	ns	ns
	CV (%)	2.03	3.66	7.57	7.54	72.12	91.11

An asterisk (*) indicates significant different at P<0.05. Different letter(s) after the mean values indicates significant difference among each treatment tested by LSD (P<0.05).

อัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดิน

อัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดินหลังใส่ปุ๋ย 3 และ 7 วัน ไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูลสูง โดยหลังใส่ปุ๋ย 3 วัน มีอัตราการหายใจของดินอยู่ระหว่าง 0.2-1.0 g $CO_2/m^2/h$ เฉลี่ย 0.5 g $CO_2/m^2/h$ และที่ 7 วันหลังใส่ปุ๋ยมีอัตราการหายใจของดินอยู่ระหว่าง 0.9-2.6 g $CO_2/m^2/h$ เฉลี่ย 1.7 g $CO_2/m^2/h$ **(Table 6)** จะเห็นว่า อัตราการหายใจของจุลินทรีย์ดินหลังใส่ปุ๋ย 7 วัน มีมากกว่าหลังใส่ปุ๋ย 3 วัน สะท้อนให้เห็นถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นและปลดปล่อยคาร์บอนบางส่วนออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yazdanpanah et al. (2013) ที่รายงานว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมในการปลูกข้าวมีส่วนในการช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน **(Table 6)**

สรุป

การให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (0ZnOF) สัดส่วน 1:1 อัตรา 40 กรัม/ตร.ม. กับคะน้าอายุ 30 วัน ให้ปริมาณผลผลิตผักสดมากที่สุด ส่วนการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ผสมสังกะสี 1% (1ZnOF) หรือ ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 ผสมสังกะสี 0.5-1% (0.5ZnOT6-1ZnOT6) สัดส่วน 1:1 อัตรา 40 กรัม/ตร.ม. คะน้าที่ได้มีปริมาณสังกะสีสูงระหว่าง 89.8-98.1 มก./กก. แห้ง และจากการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติดินก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยผสมสังกะสี พบว่า ปุ๋ยผสมสังกะสีทุกรูปแบบส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินน้อยมาก แต่ปุ๋ยอินทรีย์เคมี 6-6-6 ผสมสังกะสี 1% ส่งผลต่อการลดลงของจุลินทรีย์ละลายสังกะสีในช่วงแรกของการใส่ (ประมาณ 3 วันหลังใส่ปุ๋ย) และเมื่อเวลาผ่านไป ที่ 7 วันหลังการใส่ปุ๋ย จุลินทรีย์ในดินน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงพลวัตจึงตรวจพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ละลายสังกะสีไม่แตกต่างกัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณรสสุคนธ์ พุกนิล คุณนพรัตน์ น้อยเมือง และคณะทำงานห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ปุ๋ย และพืช (SFP Lab) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ทุกคน ในความทุ่มเท และความช่วยเหลือทุกด้าน

เอกสารอ้างอิง

กัญญ์กุลณัช คำปวง, สิทธิเศวตร์ ลอดแก้ว และชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย. 2564. ผลของการจัดการปุ๋ยสังกะสีต่อการเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และก่ำดอยสะเก็ดที่เพาะในวัสดุปลูกขี้เถ้าแกลบ. แก่นเกษตร. 49(4): 810-817.

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. 2563. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ.

เจตจรินทร์ ทำสะอาด. 2559. การศึกษารูปแบบเหล็กและสังกะสีระหว่างการหมักปุ๋ยมูลไก่ด้วยเทคนิคการสกัดแบบ Community Bureau of Reference (BCR). วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

วรรณิศา ปัทมะภูษิต และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. 2557. ประสิทธิภาพปุ๋ยเคมีต่ออัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตคะน้า. แก่นเกษตร. 42(ฉบับพิเศษ 3): 941-946.

วันทนีย์ เกรียงสินยศ. ม.ป.ป. กินอย่างไรให้ได้คุณค่าทางโภชนาการ. แหล่งข้อมูล: https://dopah.anamai.moph.go.th/web-upload/8x6b2a6a0c1fbe85a9c274e6419fdd6071/tinymce/KPI2565/05/202/กินอย่างไรให้ได้คุณค่าทางโภชนาการ.pdf. ค้นเมื่อ 13 มิถุนายน 2566.

สมพร เรืองศรี และศวพร ศุภผล. 2556. แนวทางการลดการสะสมโลหะหนักในพื้นที่ผลิตผักขอบชุมชนเมือง จ.สระบุรี. น. 528. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51 5-7 กุมภาพันธ์ 2556. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายชล พรมีอยู่, อัจฉรา จิตตลดากร และหฤษฎี ภัทรดิลก. 2555. ผลการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยมูลวัวหมัก และปุ๋ยเคมีต่อการผลิตผักบุ้งจีน. น. 1-12. ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2.

Ahmed, R., Md.K. Uddin, Md.A. Quddus, M.Y.A. Samad, M.A.M. Hossain, and A.N.A. Haque. 2022. Impact of foliar application of zinc and zinc oxide nanoparticles on growth, yield, nutrient uptake and quality of tomato. Horticulturae. 9: 162.

Alloway, B.J. 2008. Zinc in soil and crop nutrition 2nd edition. IZA, Brussesls, Belgium and IFA Paris, France.

Broadley, M.R., S.Ơ. Lochlainn, J.P. Hammond, H.C. Bowen, I. Cakmak, S. Eker, H. Erdem, G.J. King, and P.J. White. 2010. Shoot zinc (Zn) concentration varies widely within *Brassica oleracea* L. and is affected by soil Zn and phosphorus (P) levels. Journal of Horticulture Science and Biotechnology. 85(5): 375-380.

da Silva, J.A., M. Leonel, A.M. Fernandes, F.G.S. Garreto, J.G.S. Nunes, and R.F. Tajra. 2023. Growth, yield and nutrients of sweet cassava fertilized with zinc. Ciência Rural, Santa Maria. 53(9): 1-13.

Dawar, K., W. Ali, H. Bibi, I.A. Mian, M.A. Ahmad, M.B. Hussain, M. Ali, S. Ali, S. Fahad, S. ur Rehman, R. Datta, A. Syed, and S. Danish. 2022. Effect of different levels of zinc and compost on yield and yield components of wheat. Agronomy. 12: 1562.

Rehman, H.U., T. Aziz, M. Farooq, A. Wakeel, and Z. Rengel. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. Plant Soil. 361: 203-226.

Samreen, T., H. Humaria, 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 Journal of Chemistry. 10(Supplement 2): S1802-S1807.

Satheesh, N., and S.W. Fanta. 2020. Kale: Review on nutritional composition, bio-active compounds, anti-nutritional factors, health beneficial properties and value-added products. Cogent Food and Agriculture. 6:1, DOI: 10.1080/23311932.2020.1811048.

Shah, V., J. Jones, J. Dickman, and S. Greenman. 2014. Response of soil bacterial community to metal nanoparticles in biosolids, Journal of Hazardous Materials. 274: 399-403.

Vassilev, A., A. Nikolova, L. Koleva, and F. Lidon. 2011. Effects of excess Zn on growth and photosynthetic performance of young bean plants. Journal of Phytology. 3(6): 58-62.

Wong, K.W., C.K. Yap, R. Nulit, H. Omar, A.Z. Aris, W.H. Cheng, M.T. Latif, and C.S. Leow. 2019. Zn in vegetables: A review and some insights. Integrative Food, Nutrition and Metabolism. 6: 1-7.

Yazdanpanah, N., E. Pazira, A. Neshat, M. Mahmoodabadi, and L.R. Sinobas. 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. Agricultural Water Management. 120: 39–45.