การประเมินธาตุอาหารพืชของกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จังหวัดนครปฐม

Estimation of Plant Nutrient in Fingerroot Grown on Sandy Clay Loam Soil at Nakhon Pathom Province

ชัชธนพร เกื้อหนุน[1/*] ภิญญาลักษณ์ รัตนวิระกุล[1/] สมฤทัย ตันเจริญ[1/]

Chattanaporn Kueanoon[1/*] Pinyaluck Ratanavirakul[1/] Somrutai Tancharoen[1/]

Received 31 May 2024/Revised 13 Sep. 2024/Accepted 25 Sep. 2024

ABSTRACT

General fertilizer application was recommended for fingerroot, which did not align with the crop's actual nutrient requirements. This experiment aimed to study crop nutrient requirements in fingerroot grown on sandy clay loam soil in Nakhon Pathom province. Treatments were laid out in a randomized complete block design with four replicates. The result revealed that the plant height and dry weight were not statistically different among treatments. The concentration of each plant nutrient varied across different parts of the plant. Potassium in leaf sheaths, nitrogen and calcium in leaves, and magnesium in leaves, leaf sheaths, roots, and shoots showed the highest concentrations. However, the phosphorus levels in all parts of plants did not differ. Nitrogen concentration decreased with increasing plant age in all parts except the rhizomes. Potassium in the leaves and leaf sheaths tended to decrease as the plant age increased, while no changes of potassium in other parts were observed. Phosphorus, calcium and magnesium in all plant ages were not different. Fingerroot grown in sandy clay loam soil, in which organic matter and exchangeable potassium were low but available phosphorus was very high, required fertilizer applications 2, 3, 4, 5, 6 and 7 months after planting at the rate of 15-6-49, 29-26-256, 289-136-1,159, 332-187-1,521, 1,239-717-4,709 and 774-674-3,564 mg N-P_2O_5-K_2O/clump, respectively. Precise nutrient management according to the requirements of fingerroot in each growth stage can enhance fertilizer use efficiency. These findings can serve as a guideline for developing site-specific fertilizer recommendations based on local soil conditions.

Keywords: fingerroot; cow dung; crop nutrient requirement; sandy clay loam soil; nutrient uptake

[1/] กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร 50 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ

[1/] Agricultural Production Sciences Research and Development Division, 50 Phaholyothin Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*** Corresponding author: wasak_k@hotmail.com**

บทคัดย่อ

คำแนะนำการใส่ปุ๋ยในกระชายเป็นแบบกว้าง ๆ ยังไม่ตรงตามความต้องการของพืช การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการธาตุอาหารของกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จ. นครปฐม วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี พบว่าความสูงและน้ำหนักแห้งไม่ความแตกต่างทางสถิติในทุกกรรมวิธี ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชมีความเข้มข้นในส่วนต่าง ๆ ของกระชายแตกต่างกัน โดย K ในกาบใบ N และ Ca ในใบ Mg ในใบ กาบใบ ราก และลำต้น มีความเข้มข้นสูงสุด ส่วน P มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ส่วนของพืช โดยที่ N ลดลงตามอายุพืชที่เพิ่มขึ้นในแต่ละส่วนยกเว้นในเหง้า ขณะที่ K ในใบ และกาบใบมีแนวโน้มลดลงตามอายุ แต่ส่วนอื่นไม่แตกต่างกัน ส่วน P Ca และ Mg ในทุกช่วงอายุไม่แตกต่างกัน การปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีปริมาณอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณปุ๋ยที่ต้องการในระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน อัตรา 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก. N-P_2O_5-K_2O/กอ ตามลำดับ จัดการธาตุอาหารให้เหมาะกับช่วงอายุของกระชายเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมกับพื้นที่และสภาพของดิน

คำสำคัญ: กระชาย; มูลวัวนม; ความต้องการธาตุอาหารของพืช; ดินร่วนเหนียวปนทราย; การดูดใช้ธาตุอาหาร

บทนำ

กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.) เป็นพืชสมุนไพรวงศ์ขิง (Zingiberaceae) ที่มีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจและเป็นเครื่องเทศสำคัญ แหล่งปลูกหลักอยู่ใน จ. นครปฐม แม้กระชายเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ แต่การปลูกให้ได้ผลผลิตและคุณภาพตามมาตรฐานยังมีข้อจำกัดจากสภาพดินในแต่ละพื้นที่ การจัดการธาตุอาหารพืชที่มีประสิทธิภาพต้องทำให้พืชได้รับธาตุอาหารตรงตามความต้องการของพืช และเหมาะสมในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ซึ่งมีความแตกต่างกันของระดับธาตุอาหารที่พอเพียงต่อการเจริญเติบโต การติดดอก หรือการให้ผลผลิต การประเมินความต้องการธาตุอาหารในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของกระชาย ส่งผลให้ใส่ปุ๋ยได้ถูกช่วงจังหวะที่พืชต้องการธาตุอาหารสูงสุดและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกความสามารถของพืชในการดูดดึงธาตุอาหารมาใช้ได้

การจัดการปุ๋ยในกระชายอาศัยข้อมูลระดับธาตุอาหารของพืชวงศ์ขิงเพื่อใช้อ้างอิงการจัดการธาตุอาหาร โดยระดับที่เหมาะสมของธาตุอาหารในใบขมิ้นชันที่อายุ 90-120 วัน เก็บจากใบตำแหน่งที่ 3 นับจากยอด คือ 1.22-2.75%N 0.36-1.27%P 3.66-6.60%K 0.18-0.33%Ca 0.61-1.25%Mg 143-1,568 มก.Fe/กก. 41.1-93.2 มก.Zn/กก. และ 14.3-26.3 มก.B/กก. (Kumar et al., 2003) การประเมินความต้องการธาตุอาหารจะนำมากำหนดสัดส่วนของปุ๋ยที่ต้องปรับใส่ให้พืชที่มีความแม่นยำ และใส่ให้พืชเฉพาะในส่วนของธาตุอาหารที่ขาดและไม่เพียงพอเท่านั้น (Jones et al., 2015) โดยดินที่

เหมาะสมในการปลูกควรเป็นดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินร่วนเหนียว ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0-6.5 อินทรียวัตถุมากกว่า 2% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 20-40 มก./กก. โพแทสเซียม 100-300 มก./กก. แคลเซียม 400 มก./กก. และแมกนีเซียม 60-100 มก./กก. (Halder et al., 2007) การให้ธาตุอาหารที่ถูกสูตรและถูกช่วงจังหวะของความต้องการธาตุอาหารชนิดนั้น ๆ ย่อมส่งเสริมพัฒนาการของพืชให้ได้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพได้มาตรฐาน จึงสามารถยกระดับการผลิตและเพิ่มศักยภาพการผลิตพืชของดินในระยะยาว จึงได้ดำเนินการศึกษาความเข้มข้นและความต้องการธาตุอาหารของกระชายในระยะต่าง ๆ และประเมินความต้องการปุ๋ยของกระชายจากการดูดใช้ธาตุอาหาร สำหรับนำไปปรับใช้และให้คำแนะนำการจัดการปุ๋ยในการผลิตกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย ในพื้นที่ จ. นครปฐม

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สมบัติดินในแปลงทดลอง

ดำเนินการทดลองในแปลงเกษตรกร ต. ทุ่งลูกนก อ. กำแพงแสน จ. นครปฐม ชุดดินกำแพงแสน (Ks) (Fine-silty, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Haplustalfs) (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) พิกัด 47P 597194mE 1548362mN จากการวิเคราะห์ดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. พบว่า เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย pH 7.7 ไม่มีความเค็ม (0.054 mS/cm) อินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ (0.74% และ 29 มก./กก.) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับสูงมาก (88 และ 2,400 มก./กก.) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง (212 มก./กก.)

2. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์

มูลวัวนมที่ใช้ในการศึกษา มีความชื้น 12% ของน้ำหนักสด C/N ratio 24.4 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมด 1.38 1.36 และ 2.64% ตามลำดับ อินทรียวัตถุ 58.1% การใส่มูลวัวนม อัตรา 1 ตัน น้ำหนักแห้ง (DW)/ไร่ ให้ธาตุอาหารพืช 13.8 13.6 และ 26.4 กก. N P_2O_5 และ K_2O/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนได้ 20% ของไนโตรเจนทั้งหมด (กรมวิชาการเกษตร, 2565ก)

3. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี ได้แก่ 1) แปลงควบคุม (control: ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ไม่ใส่ชีวมวล และผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์) 2) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง (RDF: 24-6-28 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่) 3) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง+มูลวัวนม 1.0 ตัน DW/ไร่ 4) ใส่ปุ๋ยเคมี 1.0 เท่าตามอัตราแนะนำของพืชวงศ์ขิง +มูลวัวนม 1.0 ตัน DW/ไร่+ไมคอร์ไรซา แปลงย่อยขนาด 3.0x3.6 ม. โดยมูลวัวนมใส่พร้อมสับกลบลงดิน 1 ตัน DW/ไร่ ส่วนเชื้อราไมคอร์ไรซาใส่อัตรา 5 ก./หลุม มีการใส่ปุ๋ยเคมี ดังนี้ ครั้งที่ 1 รองพื้นด้วยปุ๋ย P+ ½ K ครั้งที่ 2 ที่อายุ 2 เดือนหลังปลูก ใส่ ¼ N ครั้งที่ 3 ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N+ ½ K ครั้งที่ 4 ที่อายุ 4 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N และครั้งที่ 5 ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูก ด้วย ¼ N ในรูปปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)

ปลูกกระชายเหง้าพันธุ์พวง อายุ 10 เดือน ที่ผ่านการแช่สารป้องกันโรครากเน่า-โคนเน่า ใช้ระยะปลูก 0.15x0.15 ม. ปลูกแถวเดี่ยว 20 แถว ๆ ละ 24 ต้น พร้อมกลบดิน คลุมแปลงด้วยใบอ้อยและฉีดพ่น

สารควบคุมวัชพืช เมื่ออายุ 3 เดือนหลังปลูก ฉีดพ่นสารสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ความเข้มข้น 20% ในทุกกรรมวิธี ทุก ๆ 15 วัน 5 ครั้ง ดูแลรักษาแปลงตาม good agricultural practice (GAP) ให้น้ำระบบสปริงเกลอร์ เก็บเกี่ยวที่อายุ 8 เดือนหลังปลูก ในพื้นที่ 2.1 ตร.ม.

4. การเก็บตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร

เก็บตัวอย่างกระชายที่อายุ 2-8 เดือนหลังปลูก เลือกที่ไม่มีข้อจำกัดมาศึกษา จากกรรมวิธี 2-4 แยกเป็นส่วนของใบ (เก็บใบทั้งหมดรวมกัน) กาบใบ ลำต้น เหง้า ราก และรากสะสมอาหาร บดละเอียด วิเคราะห์ปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร แยกวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละแปลงย่อย แล้วหาค่าเฉลี่ย วัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้การย่อยสลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นและตัวเร่งปฏิกิริยา วิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี micro-Kjeldahl method (Bremner, 1960)

วัดปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยย่อยตัวอย่างด้วยกรดผสมระหว่างกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก สัดส่วน 1:2 (กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน, 2544) นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการทำให้เกิดสีตามวิธี Vanadomolybdate และวัดความเข้มสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง spectrophotometer (Anderson and Ingram, 1993) วัดปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Okalebo et al., 2002)

บันทึกข้อมูล ความสูง น้ำหนักแห้งและค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในแต่ละส่วน คำนวณปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหาร วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้ง

ความสูง และน้ำหนักแห้งต้นของกระชายที่อายุ 2 และ 5 เดือนหลังปลูก (Table 1) ความสูงและน้ำหนักแห้งต้นในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแบบต่างๆ ไม่แตกต่างทางสถิติและกรรมวิธีควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากดินปลูกกระชายมีอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมในดินต่ำจากการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ และใส่ปุ๋ยสูตรเสมอหรือปุ๋ยยูเรียเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดการตกค้างของฟอสฟอรัสในดินสูง การปลูกพืชในดินที่มีอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมต่ำและดินเป็นด่างเล็กน้อยทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึง ประกอบกับเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ปุ๋ยจึงชะละลายสูญหายได้ง่าย สอดคล้องกับรายงานของ Burakova and Bakšiene (2021) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้มีจุลินทรีย์ที่หลากหลายจึงส่งเสริมการหมุนเวียนของไนโตรเจนในดินและสูญเสียได้ง่ายโดยกระบวนการต่าง ๆ สอดคล้องกับ Sun et al. (2015) แต่แตกต่างจากรายงานของ Kadam and Kamble (2020) ที่การใส่ปุ๋ยเคมี 32-16-16 กก.N-P_2O_5-K_2O/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ 4 ตัน/ไร่ ให้ความสูงต้นขมิ้นชันสูงสุด นอกจากนี้ การใส่เชื้อราไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ไม่ช่วยเพิ่มความสูงและน้ำหนักแห้งกระชายได้ เนื่องจากการใส่เชื้อราส่งผลให้การชะละลายของไนเตรทสูง (Xiao and Chen, 2022; Yamawaki et al. (2013) และประสิทธิภาพการทำงานสูงหากดินมีประชากรเชื้อราต่ำ ซึ่งดินในแปลงมีสปอร์อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 33 สปอร์/ดิน 100 ก. ประกอบกับการใส่ปุ๋ยเคมีในดินที่มีฟอสฟอรัสสูงจึงทำให้ประชากรเชื้อราลดลง (Liu et al., 2020) จึงทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งต้นของกระชายที่อายุ 2 และ 5 เดือนหลังปลูกที่ได้รับการจัดการต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน

Table 1 Plant growth and dry weight of fingerroot at 2 and 5 months after planting (MAP)

Treatment[1/]	Plant height (cm)		Dry weight (g/clump)	
	2 MAP	5 MAP	2 MAP	5 MAP
Control	18.3	43.3	0.89	21.45
1.0 RDF	18.1	47.1	0.98	25.78
1.0 RDF+CD	16.6	45.6	0.72	24.77
1.0 RDF+CD+AMF	18.3	46.4	0.80	28.78
F-test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4.5	10.3	22.4	8.9

[1/] 1.0 RDF: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae (24-6-28 kg N-P_2O_5-K_2O/rai), 1.0 RDF+CD: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae + cow dung, 1.0 RDF+CD+AMF: Chemical fertilizer at a rate of 1.0 time the recommended dosage for Zingiberaceae + cow dung + mycorrhiza

2. ความเข้มข้นธาตุอาหาร

ใบและกาบใบ มีความเข้มข้น K>N>Ca>Mg>P (Table 2) โดยในทุกช่วงอายุ Ca Mg และ P มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น N และ K ลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น แสดงว่า ธาตุอาหารทั้งสองถูกส่งไปยังส่วนที่กำลังเจริญเติบโต สอดคล้องกับ Zhang et al. (1996) ที่รายงานว่าช่วง 4 เดือนแรก ปริมาณ K ที่สูงในกาบใบเพื่อเสริมความแข็งแรงผนังเซลล์และส่งไปให้ลำต้นกับเหง้าในการสร้างรากสะสมอาหาร ส่วน Ca เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ ท่อลำเลียงน้ำและอาหาร จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วง 5 เดือน หากได้รับ Ca ไม่เพียงพอจะกระทบต่อการดูดน้ำ ธาตุอาหารและผนังเซลล์อ่อนแอ (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2565) ใบกระชายที่อายุ 2-3 เดือน มี N K และ Mg อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 1.22-2.75%N 3.66-6.60%K และ 0.61-1.25%Mg ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น P (0.28-0.29%) ต่ำกว่าความเข้มข้นที่พอเหมาะในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 0.36-1.27% แตกต่างจากรายงานของ Singh et al. (1999) ที่พบว่า P ที่เหมาะสมในใบขมิ้นชันอยู่ในช่วง 0.2-0.5% ขณะที่ความเข้มข้น Ca (1.15-1.23%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับในใบขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ 0.18-0.33% (Kumar et al., 2003) แต่ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Perni (2005) พบว่า Ca มีค่าอยู่ในช่วง 1.20-1.91%

ลำต้น มีความเข้มข้น K>N>Mg>Ca, P (Table 2) ปริมาณ N ลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ P K Ca และ Mg มีค่าใกล้เคียงกัน ลำต้นมีความเข้มข้น K 6.28-6.64% และ Mg 0.50-0.70% ตามลำดับ แต่เมื่อลำต้นกลายเป็นเหง้า ปริมาณ K และ Mg ในเหง้าลดเหลือ 1.27-2.44% และ 0.25-0.31% ตามลำดับ เนื่องจาก K ในเหง้าถูกดูดนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของรากสะสมอาหาร สอดคล้องกับ Azizah et al. (2022) ส่วน Mg ถูกนำไปใช้เสริมสร้างความแข็งแรงของผนังเซลล์ เคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลหรือภาวะปฏิปักษ์ระหว่าง K และ Ca

ราก มี K>N>Ca>Mg P (Table 2) โดย N K Ca และ Mg ในทุกช่วงอายุไม่ต่างกัน แต่ P มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากจำเป็นต่อการสร้างราก นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยแอมโมเนียมหรือปุ๋ยที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้รากดูดใช้ P ได้ดีขึ้นและแก้ปัญหาการถูกตรึงกับ Ca ได้ (Elbasiouny et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับชนิดของปุ๋ย N ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

Table 2 Nutrient concentration in fingerroot at different growth stages in each month after planting (MAP)

Growth stage (MAP)	Plant part	Nutrient concentration (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
2	Leaves	2.36	0.28	3.76	1.23	0.71
	Leaf sheaths	1.77	0.38	8.03	0.72	0.62
	Shoots	1.65	0.37	6.32	0.38	0.50
	Roots	1.06	0.16	3.30	0.76	0.56
3	Leaves	2.11	0.29	3.79	1.15	0.64
	Leaf sheaths	1.39	0.39	8.08	0.59	0.52
	Shoots	1.18	0.37	6.28	0.41	0.70
	Roots	1.02	0.21	4.43	0.76	0.65
4	Leaves	1.92	0.30	3.85	1.29	0.75
	Leaf sheaths	1.21	0.45	8.44	0.65	0.64
	Shoots	1.16	0.37	6.64	0.45	0.69
	Roots	1.09	0.23	4.36	0.89	0.63
5	Leaves	1.90	0.25	3.54	1.51	0.64
	Leaf sheaths	0.85	0.39	7.90	1.01	0.43
	Rhizomes	0.77	0.27	2.44	0.30	0.31
	Storage roots	0.92	0.28	4.29	0.12	0.26
6	Leaves	1.85	0.25	2.53	1.30	0.67
	Leaf sheaths	0.82	0.30	5.94	0.85	0.46
	Rhizomes	1.31	0.28	1.31	0.25	0.25
	Storage roots	0.81	0.27	3.42	0.12	0.27
7	Leaves	1.49	0.18	2.31	1.57	0.64
	Leaf sheaths	0.65	0.21	7.06	0.97	0.44
	Rhizomes	1.68	0.34	1.38	0.23	0.25
	Storage roots	0.72	0.23	3.41	0.11	0.26
8	Leaves	-	-	-	-	-
	Leaf sheaths	-	-	-	-	-
	Rhizomes	1.87	0.38	1.27	0.30	0.28
	Storage roots	0.95	0.28	3.39	0.12	0.25

เหง้า มีความเข้มข้น N เพิ่มขึ้นตามอายุ (Table 2) เพื่อกักเก็บให้ต้นอ่อนในฤดูปลูกต่อไป สอดคล้องกับ Lee et al. (1981) รายงานว่า N ในเหง้าสะสมอย่างต่อเนื่องถึงช่วงเก็บเกี่ยวหรือที่อายุ 8 เดือน เหง้ามี K Ca และ Mg ไม่ต่างกันในทุกช่วงอายุ ซึ่งแตกต่างจากปริญญา (2563) ที่รายงานว่า ช่วง 6-8 เดือน Ca ในเหง้ากระชายมีแนวโน้มลดลง เห็นได้ว่าเหง้ากระชายมีความเข้มข้น N P K และ Ca อยู่ในระดับที่เพียงพอเมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่พอเหมาะในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.88-1.54%N 0.20-0.34%P 1.17-2.51%K และ 0.18-1.28%Ca ตามลำดับ แต่ความเข้มข้น Mg (0.25-0.31%) สูงกว่าเมื่อเทียบกับความเข้มข้น Mg ในเหง้าขมิ้นชัน ซึ่งอยู่ที่ระดับ 0.11-0.19%Mg (Kumar et al., 2000)

ในแต่ละช่วงอายุ ราก และรากสะสมอาหาร มีความเข้มข้น N P และ K ใกล้เคียงกัน แต่ความเข้มข้น Ca และ Mg ในรากสะสมอาหารต่ำ (Table 2) แม้ Ca และ Mg มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต (Sanghamithre and Menon, 2014; Koch et al., 2019) แต่พบสะสมมากในใบ กาบใบ และรากหรือส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนใต้ดิน นอกจากนี้ รากและรากสะสมอาหารมี K สูงกว่าธาตุอาหารอื่น เนื่องจากจำเป็นต่อการสร้างและเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทและกิจกรรมของ starch synthase enzyme ซึ่งไม่ต่างจาก Mg (White and Broadley, 2009)

3. สัดส่วนความเข้มข้นและปริมาณการสะสมธาตุอาหาร

ใบและกาบใบมีความเข้มข้น K>N>Ca>Mg>P ลำต้นและเหง้ามีความเข้มข้น K>N>Mg>Ca P และ N K>Ca Mg P ตามลำดับ ส่วนราก และรากสะสมอาหารมี K>N>Ca>Mg>P และ K>N>Mg P>Ca ตามลำดับ (Table 2) โดยใบ และกาบใบมีสัดส่วน N:P:K:Ca:Mg เฉลี่ย 8:1:30:5:3 และ 3:1:20:2:1 ตามลำดับ ขณะที่ลำต้น เหง้า ราก และรากสะสมอาหาร มีค่าเฉลี่ย 4:1:17:1:2 4:1:5:1:1 5:1:20:4:3 และ 3:1:13:0.4:1 ตามลำดับ

ทุกส่วนของกระชายมีสัดส่วนความเข้มข้น K และ N สูงกว่า Ca Mg และ P สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tania et al. (2021) ที่ขมิ้นชันต้องการ K และ N ในปริมาณสูง แต่การดูดใช้ K นั้นสูงกว่า N และยังสอดคล้องกับ อนัสรูลและคณะ (2564) ที่พบว่า K มีบทบาทในการสร้างหัวขมิ้นชัน และดินที่ขาด K ส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากสะสมอาหารต่ำ นอกจากนี้ทุกระยะการเจริญเติบโต กระชายต้องการ K มากที่สุด รองลงมาคือ N ส่วน P ต้องการน้อยที่สุด (Table 2) ปริมาณธาตุอาหารในดินจึงไม่สอดคล้องกับความต้องการธาตุอาหารในกระชาย เนื่องจากเกษตรกรใส่ปุ๋ยสูตรเสมอหรือปุ๋ยยูเรียอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีการตกค้างของ P ในดินสูงมาก อินทรียวัตถุในดินต่ำ กระชายที่ช่วงอายุ 2-7 เดือนหลังปลูก ต้องการ K 61.8% รองลงมา คือ N 16.6% และ P 4.7% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยในขิงของ Xu et al. (1993)

กระชายมีสัดส่วนความต้องการ $N:P_2O_5:K_2O$ ที่ระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน 3:1:9 1:1:10 2:1:9 2:1:8 2:1:5 และ 1:1:5 ตามลำดับ โดยสัดส่วนความต้องการ K สูงกว่า N และมีแนวโน้มลดลงตามระยะการเจริญเติบโตของพืช ขณะที่การดูดใช้ N P และ K มีค่า 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก. $N-P_2O_5-K_2O$/กอ ตามลำดับ (Table 2) ส่วน Ca และ Mg ในดินมีในปริมาณที่เพียงพอ ซึ่งเป็นในทำนองเดียวกันกับงานวิจัยของ Karthikeyan et al. (2009) ที่พบว่าขมิ้นชันมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม 2,000 326 และ 3,517 มก./ต้นผลผลิต

4. การปรับใช้และให้คำแนะนำการจัดการปุ๋ยในการผลิตกระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย

จากรูปแบบการดูดใช้ธาตุอาหารของกระชายที่ประเมินนี้ (Table 3) สามารถนำมาใช้พิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการให้ปุ๋ย พบว่า ที่ระยะ 2-3 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณต่ำ จากนั้นปริมาณการดูดใช้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งในระยะ 5-6 เดือนหลังปลูก กระชายมีการดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณสูงมาก โดยเฉพาะโพแทสเซียมและไนโตรเจน แต่หลังระยะ 6 เดือนเป็นต้นไปความต้องการธาตุอาหารมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่ากระชายต้องได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปสร้างผลผลิตก่อนอายุ 5 เดือน มิฉะนั้นจะส่งผลกระทบต่อปริมาณผลผลิต เมื่อพืชดูดใช้ธาตุ

อาหารได้ในปริมาณมาก จะสะสมสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อการสร้างชีวมวล จึงจำเป็นต้องให้ปุ๋ยก่อนช่วงที่พืชต้องการธาตุอาหารในปริมาณสูง (Jones et al., 2015) ดังนั้น ควรให้ปุ๋ยกระชายที่ระยะ 2-4 เดือนหลังปลูก เนื่องจากที่ระยะ 3 เดือนหลังปลูกกระชายเริ่มมีการสร้างรากสะสมอาหาร การให้ปุ๋ยหลังระยะ 4 เดือน อาจล่าช้าไป สอดคล้องกับ Kulpapangkorn and Mai-leang, (2012)

กระชายมีความต้องการ K และ N ในปริมาณที่สูงกว่า P แต่ดินปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย มีอินทรียวัตถุและ K ที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ แต่ P ที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืช หากให้ปุ๋ยไม่เพียงพอตามความต้องการต่อไปอีกเรื่อย ๆ จะส่งผลให้ระบบการผลิตไม่ยั่งยืน กระตุ้นให้ดินเกิดความเสื่อมโทรม จำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น 2.5-4.0 ตัน/ไร่ พร้อมสับกลบ เพื่อเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุและ N ที่เป็นประโยชน์ สำหรับการจัดการปุ๋ยให้เลือกใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) แทนปุ๋ยยูเรีย เนื่องจากดินมีความเป็นด่าง สำหรับ K ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่มีปริมาณต่ำมาก สามารถรองพื้นก้นหลุมด้วยมูลค้างคาว 500-800 กก./ไร่ หรือใส่ปุ๋ยโพแทชตามค่าวิเคราะห์ดิน ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตอาจใส่ในอัตราต่ำเพื่อสร้างสมดุลธาตุอาหารในดิน หากไม่ใส่ปุ๋ยเลยจะทำให้เกิดการเสียสมดุลธาตุอาหารในดินในระยะยาวได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2565ข)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชบ่งบอกระดับของธาตุอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของพืชในแต่ละระยะการเจริญเติบโต โดยทั่วไปปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ การจัดการปุ๋ยที่ถูกต้องและเพียงพอ ระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบจะอยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งบ่งบอกว่าพืชสามารถดูดนำธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าความเข้มข้นที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปใช้อ้างอิงระดับของธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย จังหวัดนครปฐม เพื่อช่วยให้การจัดการปุ๋ยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้น การปลูกกระชายในดินร่วนเหนียวปนทราย จ. นครปฐม ที่ใช้ระยะปลูก 0.15x0.15 ม. แนะนำให้ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชวงศ์ขิง อัตรา 18-6-24 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ หากค่าวิเคราะห์ทางเคมีของดินอยู่ในระดับสูงและสูงมาก ควรลดปริมาณการใช้ปุ๋ยให้น้อยกว่าอัตราที่แนะนำ 85 และ 70% ตามลำดับ แต่ถ้าค่าวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก ควรเพิ่มปริมาณการใช้ปุ๋ยให้มากกว่าอัตราที่แนะนำ 115 และ 130% ตามลำดับ (กองปฐพีวิทยา, 2545) ส่วนช่วงเวลาการให้ปุ๋ยที่เหมาะสม จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ควรแบ่งการใส่ปุ๋ยออกเป็น 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ที่ระยะ 2 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N+P+1/2K ครั้งที่ 2 ที่ระยะ 3 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N ครั้งที่ 3 ที่ระยะ 4 เดือนหลังปลูก ใส่ปุ๋ย 1/3N+1/2K อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการตอบสนองต่อการเพิ่มผลผลิตกระชายที่จำเพาะเจาะจงกับสายพันธุ์และชนิดของดินเพื่อให้ได้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่เฉพาะสำหรับการปลูกกระชายต่อไป

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารในกระชายระยะต่าง ๆ พบว่า K ในกาบใบ N และ Ca ในใบ Mg ในใบ กาบใบ ราก และลำต้นมีความเข้มข้นสูงสุด แต่ P มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ส่วนของพืช ส่วนความเข้มข้นของธาตุอาหารในแต่ละส่วนของพืชดังนี้ ใบมี K>N>Ca>Mg>P ปริมาณของ N และ K ลดลงตามอายุ แต่ Ca Mg และ P มีค่าใกล้เคียงทุกช่วงอายุ

Table 3 Nutrient uptake in fingerroot at different growth stages in 2-7 months after planting

Month after planting	Plant part	Dry weight (g/clump)	Nutrient uptake (mg/clumb)				
			N	P	K	Ca	Mg
2	Leaves	0.341	9.1	1.0	13.7	4.6	3.0
	Leaf sheaths	0.180	3.2	0.7	16.5	1.3	1.0
	Shoots	0.184	1.8	0.5	7.4	0.5	0.5
	Roots	0.107	1.1	0.2	3.5	0.8	0.7
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
3	Leaves	2.409	6.4	5.5	91.0	28.7	13.2
	Leaf sheaths	1.083	15.0	4.0	86.6	6.4	5.5
	Shoots	0.298	3.6	1.0	18.8	1.1	2.1
	Roots	0.390	4.0	1.0	17.1	3.0	1.5
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
4	Leaves	8.470	179.4	25.1	339.6	109.5	61.2
	Leaf sheaths	4.870	58.1	22.5	405.1	31.1	30.6
	Shoots	0.817	9.3	3.0	53.8	3.7	5.5
	Roots	3.834	41.8	8.8	167.1	39.1	24.0
	Storage roots	-	-	-	-	-	-
5	Leaves	10.678	202.1	27	376.1	166.6	69
	Leaf sheaths	7.047	54.2	30.3	544.5	70.3	30.1
	Rhizomes	1.726	13.3	4.6	45.1	5.2	5.0
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	6.991	62.7	19.8	302.1	8.1	17.8
6	Leaves	25.898	477.7	69.3	664.6	342.6	179.7
	Leaf sheaths	21.640	175.3	75.5	1243.5	185.9	98.9
	Rhizomes	17.392	191.8	45.9	225.9	39	47.4
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	51.635	394.4	122.3	1790.5	78.8	146.8
7	Leaves	31.949	233.8	127.3	376.1	248.2	101.0
	Leaf sheaths	32.220	93.2	29.4	979.2	143.9	65.7
	Rhizomes	31.182	52.8	10.8	43	7.2	7.5
	Roots	-	-	-	-	-	-
	Storage roots	125.656	394.1	126.8	1571.5	56.3	123.1

กาบใบมีความเข้มข้นธาตุอาหารแต่ละชนิดเหมือนกับในใบและ N ลดลงตามอายุ ส่วน K มีค่าสูงที่ช่วง 4 เดือนแรก จากนั้นความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งมีค่าตรงกันข้ามกับ Ca ลำต้นมี K>N>Mg>Ca P ซึ่ง N ลดลงตามอายุ ส่วนธาตุอาหารอื่น ๆ ใกล้เคียงกัน เหง้ามี N K>Ca Mg P โดย N เพิ่มขึ้นตามอายุ ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่ต่างกันในทุกระยะ รากมี K.>N>Ca>Mg>P ซึ่ง P มีค่าสูงในช่วง 4 เดือนแรก ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน รากสะสมอาหารมี K>N>Mg, P>Ca ซึ่งธาตุอาหารทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงอายุ กระชายที่ปลูกในดินร่วนเหนียวปนทราย จ.นครปฐม ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับสูงมาก ต้องการปุ๋ยที่ระยะ 2 3 4 5 6 และ 7 เดือน 15-6-49 29-26-256 289-136-1,159 332-187-1,521 1,239-717-4,709 และ 774-674-3,564 มก. N-P_2O_5-K_2O/ต้น ตามลำดับ โดยที่ Ca และ Mg ในดินมีในปริมาณที่เพียงพอ

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. ลักษณะและสมบัติของชุดดินจัดตั้งของประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/pf_desc_all/Ks.htm .สืบค้น: 23 พ.ย. 2566.

กรมวิชาการเกษตร. 2565ก. การประเมินการปลดปล่อยธาตุอาหารของชีวมวล. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 10 หน้า.

กรมวิชาการเกษตร. 2565ข. การประเมินสมบัติของดินในพื้นที่ปลูกกระชาย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 24 หน้า.

กลุ่มงานวิจัยเคมีดิน. 2544. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.กรุงเทพฯ. 164 หน้า.

กองปฐพีวิทยา. 2545. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยพืชสวนอย่างมีประสิทธิภาพ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 66 หน้า.

ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข สุทธิ์เดชา ขุนทอง กมรินทร์ นิ่มนวลรัตน์ และสุรเชษฐ์ นาราภัทร. 2565. ผลของปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมต่อระดับแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินและใบขมิ้นชัน. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร. 39(3): 24-39.

ปริญญา พลจันทร์. 2563. การเจริญเติบโตและผลของ salicylic acid ต่อปริมาณสารทุติยภูมิและแคลเซียมในกระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

อนัสรูล บากา จักรกฤษณ์ พูนภักดี ขวัญตา ขาวมี และจำเป็น อ่อนทอง. 2564. ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลวัวต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และสารเคอร์มิคูนอยด์ในขมิ้นชันที่ปลูกในดินร่วนเหนียวสีแดงและดินร่วนทราย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 26(3): 1611-1626.

Anderson, J.M. and J.S.I. Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, England. 221: 62-65.

Azizah, N., E. Nihayati, H. Khotimah, S. Rohmah, E. Widaryanto, Y. Sugito and S. Kurniawan. 2022. Impact of potassium fertilization on yield, nutrient use and response efficiency, and antioxidant content of red ginger (Zingiber officinale var. rubrum Theilade). Chilean Journal of Agricultural Research. 82(3): 380-389.

Bremner, J.M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. The Journal of Agricultural Science. *55*(1): 11-33.

Burakova, A. and E. Bakšiene. 2021. Leaching losses of main nutrients by incorporating organic fertilizers into light texture soils Haplic Luvisol. Environmental Engineering Research. 26(4): 1-10.

Elbasiouny, H., F. Elbehiry, H. El-Ramady and E.C. Brevik. 2020. Phosphorus availability and potential environmental risk assessment in alkaline soils. Agriculture. 2020. 10(5): 172.

Halder, N.K., N.C. Shill, M.A. Siddiky, J. Sarkar and R. Gomez. 2007. Response of turmeric to zinc and boron fertilizer. Journal of Biological Science. 7(1): 182-187.

Jones, C., K. Olson-Rutz and C.P. Dinkins. 2015. Nutrient Uptake Timing by Crops: to assist with fertilizing decision. Available at: https://landresources.montana.edu/soilfertility/documents/PDF/pub/NutUpTimeEB0191.pdf. Accessed: August 5, 2024.

Kadam, J.H. and B.M. Kamble. 2020. Effect of organic manures on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.). Journal of Applied and Natural Science 12(2): 91-97.

Karthikeyan, P.K., M. Ravichandran, P. Imas, and M. Assaraf. 2009. The effect of potassium on the yield and quality of turmeric (*Curcuma longa*). Optimizing Crop Nutrition, No. 21. 5 p. Available at: https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/eifc_no21-rf1.pdf. Accessed: November 20, 2023.

Koch, M., M. Busse, M. Naumann, B. Jákli, I. Smit, I. Cakmak, C. Hermans and E. Pawelzik. 2019. Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and

partitioning of photo assimilates in potato plants. Physiologia Plantarum. 166(4): 921-935.

Kulpapangkorna, W. and S. Mai-leang. 2012. Effect of plant nutrition on turmeric production. Procedia Engineering. 32: 166-171.

Kumar G.V.V., M.A. Aariff and H. Begum. 2000. Influence of mineral nutrient composition of turmeric rhizome on curcumin content of different cultivars. Indian Journal of Tropical Agriculture. 18(3): 265-269.

Kumar, P.S.S., S.A. Geetha, P. Savithri, R. Jagadeeswaran and P.P. Mahendran. 2003. Diagnosis of nutrient imbalances and derivation of new RPZI (Reference Population Zero Index) values using DRIS/MDRIS and CND approaches in leaves of turmeric (*Curcuma longa*). Journal of Applied Horticulture. 5(1): 7-10.

Lee, M. T., D. G. Edwards and C.J. Asher. 1981. Nitrogen nutrition of ginger (*Zingiber officinale*) II. Establishment of a leaf analysis test. Field Crops Research. 4: 69-81.

Liu, J., J. Zhang, D. Li, C. Xu and X. Xiang. 2020. Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. MicrobiologyOpen. 2020(9): e920

Okalebo, J. R., K.W. Gathua and P.L. Woomer. 2002. Laboratory Methods of Soil and Plant Analysis: A Working Manual (2^{nd}). Sacred Africa, Nairobi. 127 p.

Perni, J. 2005. Nutrient status of turmeric growing soils in Guntur, A.P. India. Thesis: Master of Science in Agriculture. Acharya N.G. Ranga Agriculture University, India. 199 p.

Sanghamithre, V.K. and M.V. Menon. 2014. Effect of S, Ca and Mg on fresh rhizome yield of turmeric (*Curcuma longa* L.). Journal of Tropical Agriculture. 52(2): 158-161.

Singh, D., P.K. Chhonkar and R.N. Panday. 1999. Soil, Plant and Water Analysis: A Method Manual. IARI, New Delhi, India. pp. 160.

Sun, R., X. Guo, D. Wang and H. Chu. 2015. Effects of long-term application of chemical and organic fertilizers on the abundance of microbial communities involved in the nitrogen cycle. Applied Soil Ecology. 95: 171-178.

Tania, C., R. Chatterjee, P. K. Chattopadhyay, A. Phonglosa, T. Basanta and J. W. Haobijam. 2021. Role of potassium and nitrogen on growth, yield and quality of turmeric (*Curcuma longa* L.) cv. "Suranjana" under Alluvial Plains of West Bengal. International Journal of Current Microbiology and Applied Sci.ences. 10(1): 7-12.

White, P.J. and M.R. Broadley. 2009. Bio-fortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytologist. 182(1): 49-84.

Xiao, Y. and L. Chen. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi reduce potassium, cadmium and ammonium losses but increases nitrate loss under high intensity leaching events. BMC Plant Biology. 22: 365.

Xu, K., D.W. Zhao and X.M. Jiang. 1993. Studies on the nitrogen absorption rule in ginger by using isotope 15^{N}. Acta Horticulturae Sinica. 20(2): 161-165.

Yamawaki, K., A. Matsumura, R. Hattori, A. Tarui, M.A. Hossain, Y. Ohashi and H. Daimon. 2013. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on growth, nutrient uptake and curcumin production of turmeric (*Curcuma longa* L.). Agricultural Sciences. 4(2): 66-71.

Zhang, Y., L. Li and G. Liao. 1996. Rules of absorbtion, distribution, translocation of nitrogen phosphorus and potassium in turmeric plant. Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 21(8): 462-509. (in Chinese).