

อิทธิพลของ ZnSO_4 ต่อการเจริญเติบโตและสารต้านอนุมูลอิสระ ในไมโครกรีนผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลัก

Effects of ZnSO_4 on Growth and Antioxidants in Rat-tailed Radish, Dill and Hairy Basil Microgreens

พรชัย หาระโคตร* และภาณุมาศ ฤทธิไชย

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

สมพงษ์ ทะบันหาร

วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Bhornchai Harakotr* and Panumart Rithichai

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Sompong Tabunhan

Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Rangsit Centre,
Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของ zinc sulfate (ZnSO_4) ต่อการเจริญเติบโต สารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในไมโครกรีนผักชีหูด (rat-tailed radish, *Raphanus sativus* var. *caudatus* Alef) ผักชีลาว (dill, *Anethum graveolens* L.) และแมงลัก (hairy basil, *Ocimum africanum* Lour.) โดยการพ่น ZnSO_4 ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 μM เมื่ออายุ 2 วันหลังเพาะ หลังจากนั้นพ่นทุกวันจนถึงอายุ 11 วันหลังเพาะ และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 12 วันหลังเพาะ พบว่าไมโครกรีนผักชีหูดมีน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อความเข้มข้นของ ZnSO_4 สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพ่น ZnSO_4 ความเข้มข้น 2.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนทุกชนิดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด การพ่น ZnSO_4 ความเข้มข้น 1.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนผักชีหูดและผักชีลาวมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงสุด ขณะที่ไมโครกรีนแมงลักมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี สูงที่สุด เมื่อพ่นด้วย ZnSO_4 ความเข้มข้น

1.0 μM นอกจากนี้ปริมาณไลโคปีนและเบตา-แคโรทีนในไมโครกรีนมีการตอบสนองต่อ ZnSO_4 ต่างกัน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยซัลเฟอไรท์ในรูป ZnSO_4 เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ แคโรทีนอยด์ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของไมโครกรีนผักพื้นเมืองทั้ง 3 ชนิดนี้

คำสำคัญ : ZnSO_4 ; สารประกอบฟีนอลิก; ฟลาโวนอยด์; ไมโครกรีน

Abstract

Effect of zinc sulphate (ZnSO_4) on yield, contents of total phenolic, total flavonoids, carotenoids and their antioxidant capacities of the rat-tailed radish (*Raphanus sativus* var. *caudatus* Alef), dill (*Anethum graveolens* L.) and hairy basil (*Ocimum africanum* Lour.) microgreens was investigated. ZnSO_4 at the concentrations of 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 μM were sprayed daily during 2 to 11 days after sowing, and microgreens were harvested at the 12th day. The results indicated that high ZnSO_4 concentration reduced fresh and dry weight of these microgreens. However, the highest contents of total phenolic and total flavonoids were obtained from 2.5 μM ZnSO_4 treatment. The rat-tailed radish and dill microgreens under 1.5 μM ZnSO_4 application contained the highest values of DPPH and ABTS free radical scavenging activities, whereas, 1.0 μM ZnSO_4 enhanced the highest values of both antioxidant capacities in hairy basil microgreen. In addition, lycopene and β -carotene contents in vegetable microgreens showed significant response to levels of ZnSO_4 . Based on these results, sulphur fertilisation with ZnSO_4 has potential to enhance the antioxidant contents, carotenoids and their activities of these indigenous vegetable microgreens.

Keywords: ZnSO_4 ; phenolic compound; flavonoid; microgreen

1. บทนำ

ช่วง 3 ทศวรรษที่ผ่านมา โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (non-communicable diseases, NCD) ได้แก่ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง ความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และโรคมะเร็งบางชนิด เป็นสาเหตุการเสียชีวิตถึง 73 % ของการเสียชีวิตของประชากรไทย ซึ่งโรคเหล่านี้มีสาเหตุมาจากอากาฬร่างกายไม่เพียงพอ ภาวะเครียด และการบริโภคอาหารไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะการบริโภคผักและผลไม้ไม่เพียงพอ [1] ส่งผลให้ผู้บริโภคบางกลุ่มที่ตระหนักถึงปัญหา

ดังกล่าวปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค โดยการบริโภคผักและผลไม้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การผลิตผักและผลไม้มีการใช้สารเคมีของเกษตรกรเพื่อเพิ่มผลผลิตและให้คงสภาพอยู่ได้นาน ส่งผลให้ผักและผลไม้ไม่ปลอดภัยเท่าที่ควร ดังนั้นกระบวนการผลิตอาหารที่ปลอดภัยจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรและผู้บริโภค เช่น การผลิตผักแบบไมโครกรีน (microgreen) หรือกล้าผักที่เก็บเกี่ยวหลังออก 7-14 วันหลังเพาะ ขึ้นอยู่กับชนิดของผัก ประกอบด้วยลำต้น ใบเลี้ยง และใบจริง 1-2

ใบ โดยนำส่วนที่อยู่เหนือดินมาบริโภคได้โดยตรง หรือ วางตากแห้งจนอาหารทำให้ดูน่ารับประทานมากยิ่งขึ้น [2,3] ซึ่งระบบดังกล่าวเป็นการผลิตผักที่ปลอดภัย เหมาะสำหรับผู้อยู่อาศัยในสังคมเมืองที่มีข้อจำกัดเรื่อง สถานที่และเวลาในการดูแล สามารถปลูกทั้งแนวตั้ง และแนวราบ ใช้ระยะเวลาในการปลูกสั้น และดูแล รักษาง่าย [4] นอกจากนี้ไมโครกรีนอุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และสารพฤกษเคมี ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก โทโคฟี รอล ฟิลาโลควิโนน แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน สาร ประกอบฟีนอลิก และกลูโคซิโนเลต เป็นต้น [3,5,6] ซึ่งสารพฤกษเคมีดังกล่าวมีฤทธิ์ในการป้องกันโรคไม่ ติดต่อเรื้อรังต่าง ๆ [7]

การเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพ และการ สะสมปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชขึ้นอยู่กับ พันธุกรรม สภาพแวดล้อม รวมถึงการจัดการก่อนและ หลังการเก็บเกี่ยว ได้แก่ การจัดการน้ำ แสง อุณหภูมิ สารกระตุ้นชีวภาพ และธาตุอาหารพืช เป็นต้น [8,9] รายงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ย ชัลเฟอร์มีบทบาทสำคัญในการชักนำการเปลี่ยนแปลง ทางสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา และการผลิตสารพฤกษเคมี ในพืช เช่น ปุ๋ยชัลเฟอร์ในรูปแบบ K_2SO_4 ช่วยเพิ่มการเจริญ เติบโตและผลผลิตของต้นอ่อนผักกาดหัว [10] ขณะที่ ปวยเล้งและพริกมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น เมื่อได้รับ ammonium sulfate $(NH_4)_2SO_4$ [11] นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยชัลเฟอร์ในรูปแบบ potassium sulfate (K_2SO_4) สามารถเพิ่มปริมาณกลูโคซิโนเลตในต้นอ่อนบร็อคโคลี่ [12,13] ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนผักกาดหัว [10] sodium sulfate (Na_2SO_4) และ magnesium sulfate $(MgSO_4)$ เพิ่มปริมาณสาร ประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในผักกาดเขียวปลี [14] และ sodium thiosulfate $(Na_2S_2O_3)$ ที่เพิ่มความสามารถ ในการยับยั้งความมีชีวิตของเซลล์มะเร็งและอนุมูล อิสระในต้นอ่อนบร็อคโคลี่และผักกาดหัว [15]

นอกจากนี้ $(NH_4)_2SO_4$ ยังช่วยลดการสะสมไนเตรทใน กะหล่ำปลีได้ [16] ถึงแม้ว่ามีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับ ผลของปุ๋ยชัลเฟอร์รูปแบบต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและ สารพฤกษเคมีของผักที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ เป็น จำนวนมาก อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของปุ๋ย ชัลเฟอร์ในรูปแบบ $ZnSO_4$ ในไมโครกรีนผักพื้นเมืองของ ไทยยังมียูจำกัด ซึ่งผักพื้นเมืองมีความหลากหลาย และประโยชน์ต่อสุขภาพ ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ ทางชีวภาพไม่ด้อยไปกว่าผักจากต่างประเทศ ได้แก่ มี ฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน สามารถป้องกันการ ทำลายเซลล์ประสาทและฟื้นฟูความจำ ป้องกันอัลไซ เมอร์ และเพิ่มการสร้างเซลล์กระดูก เป็นต้น [17] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปุ๋ย ชัลเฟอร์ในรูปแบบ $ZnSO_4$ ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณสาร ด้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูล อิสระใน ไมโครกรีนผักพื้นเมือง 3 ชนิด คือ ผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลัก

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 เมล็ดพันธุ์ผักพื้นเมือง

เมล็ดพันธุ์พื้นเมืองที่ใช้ 3 ชนิด คือ ผักชีหูด (rat-tailed radish, *Raphanus sativus* var. *caudatus* Alef) ผักชีลาว (dill, *Anethum graveolens* L.) และ แมงลัก (hairy basil, *Ocimum africanum* Lour.) ซึ่งผ่านการประเมินสารยับยั้งอนุมูลอิสระใน ระดับสูง กลาง และต่ำ ตามลำดับ (ไม่ได้แสดงข้อมูล) โดยนำเมล็ด (3 g/ถาดเพาะ) ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ กลั่น มาเพาะในถาดเพาะขนาด $10 \times 15 \times 6$ cm บรรจุ ด้วยพีทมอสที่ผ่านการนึ่งกำจัดเชื้อ นำถาดเพาะไปวาง ในตู้เพาะที่ควบคุมอุณหภูมิ $25^\circ C$ ให้แสง 16 ชั่วโมง/วัน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.05 % และความชื้นสัมพัทธ์ 60 ± 2 % เมื่อไมโครกรีนอายุ 2 วันหลังเพาะ พ่นสารละลาย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 0 (control),

0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 μM ปริมาตร 30 mL/ ถาดเพาะ/ครั้ง หลังจากนั้นพ่นทุก ๆ วันจนถึงอายุ 11 วันหลังเพาะ เมื่อไม่โครกรีนอายุ 12 วันหลังเพาะ ตัดตัวอย่างพืชเหนือวัสดุเพาะและชั่งน้ำหนักสด จุ่มตัวอย่างพืชในไนโตรเจนเหลวและทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง เก็บตัวอย่างในช่องสุญญากาศที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป

2.2 การวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง

ใช้วิธีการของ Xiao และคณะ โดยนำตัวอย่างสด 10 g ทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง ตั้งทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง [3]

2.3 การสกัดตัวอย่าง

ใช้วิธีดัดแปลงจากวิธีการของ Oonsivilai และคณะ โดยชั่งตัวอย่างแห้ง 200 mg เติมน้ำทำละลายเมทานอลผสมน้ำ (1 : 1, v/v) ปริมาตร 5 mL นำไป sonication เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 3000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นดูดสารละลายใส่ส่วนบนใส่หลอดทดลอง และนำไปสกัดซ้ำอีก 2 รอบ นำสารสกัดที่ได้รวมกันและปรับปริมาตรเป็น 20 mL เก็บที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป [18]

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ใช้วิธีการของ Oonsivilai และคณะ โดยเติมน้ำละลายตัวอย่างละ 20 μL ใส่ในหลอดทดลองแล้วเติมน้ำ 1.58 mL สารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาตร 100 μL ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixture ทิ้งไว้ 5 นาที เติมน้ำ 20 % Na_2CO_3 ปริมาตร 300 μL ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วจึงเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว

คลื่น 765 nm และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้กรดแกลลิกเป็นมาตรฐาน และรายงานในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g of DW) [18]

2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ใช้วิธีการของ Kubola และคณะ โดยเติมน้ำละลายตัวอย่างละ 0.5 mL ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นใส่น้ำกลั่น 2.2 mL ผสมให้เข้ากัน และเติมน้ำ 5 % NaNO_2 ปริมาตร 0.15 mL ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที เติมน้ำ 10 % $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 0.3 mL ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที และเติม 1 M NaOH ปริมาตร 1 mL ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm โดยใช้คาเตชินเป็นสารมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์รายงานในรูปไมโครกรัมสมมูลของคาเตชินต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{g CE/g of DW}$) [19]

2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ ใช้วิธีดัดแปลงวิธีการของ Nagata และ Yamashita โดยชั่งตัวอย่างแห้ง 0.01 g เติมน้ำทำละลายที่ประกอบด้วย acetone-hexane (4 : 6, v/v) นำไป sonication เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แยกเก็บสารละลายใส่ส่วนบน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 435, 505, 645 และ 663 nm รายงานในรูปไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ($\mu\text{g/g of DW}$) [20] เพื่อหาปริมาณแคโรทีนอยด์จากสูตร ไลโคปีน = $-0.0458A_{663} + 0.204A_{645} + 0.372A_{505} - 0.0806A_{453}$ และเบตา-แคโรทีน = $0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$

2.5 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

2.5.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging activity) ใช้วิธี

การของ Harakotr และคณะ โดยปีเปิดสารละลายตัวอย่างละ 100 μL ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 1.90 mL ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixture แล้วเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm [21] คำนวณหา % inhibition จากสูตร $\% \text{ inhibition} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) \div A_{\text{control}}] \times 100$ เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ control; A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ sample

2.5.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS [2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline- 6 - sulfonic acid) free radical scavenging activity] ใช้วิธีการของ Harakotr และคณะ โดยเตรียมสารละลายอนุมูล ABTS⁺ ด้วยการผสมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 14 mL ปริมาตร 5 mL และ 4.9 mM K₂S₂O₈ ปริมาตร 5 mL ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนใช้น้ำสารละลาย ABTS⁺ มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0.700 ± 0.020 ที่ความยาวคลื่น 734 nm แล้วปีเปิดสารละลาย ABTS⁺ ปริมาตร 950 μL ผสมกับสารสกัดตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน 50 μL ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 nm รายงานผลเช่นเดียวกับวิธี DPPH [21]

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรม STATISTIX 9.0

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของการพ่น ZnSO₄ ต่อน้ำหนักสดและ

น้ำหนักแห้ง

การพ่น ZnSO₄ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของไมโครกรีนลดลง ตามความเข้มข้นของ ZnSO₄ ที่เพิ่มขึ้น ไมโครกรีนผักชีหุดมีน้ำหนักสดต่ำที่สุด เมื่อได้รับการพ่น ZnSO₄ ที่ความเข้มข้น 1.5, 2.0 และ 2.5 μM ขณะที่การพ่น ZnSO₄ ความเข้มข้น 2.0 และ 2.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนผักชีลาวและแมงลักมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดเช่นเดียวกันกับน้ำหนักแห้งของไมโครกรีนผักชีหุด (ตาราง 1) เมื่อสังเกตผลการศึกษพบว่า การได้รับปุ๋ยซัลเฟอร์ความเข้มข้นสูงส่งผลให้ไมโครกรีนมีขนาดลำต้นและการเจริญเติบโตลดลง ด้วยเหตุที่ปุ๋ยซัลเฟอร์ยับยั้งการสร้างกรดอะมิโน เช่น ซิสเทอีน ไลซีน ลิซีน ที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช [16] การศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Yang และคณะ ที่พบว่า การพ่น ZnSO₄ ส่งผลให้ต้นอ่อนบร็อคโคลี่มีการเจริญเติบโต ความยาวของลำต้น และน้ำหนักสดลดลง [22] อย่างไรก็ตาม Zhou และคณะ รายงานว่า น้ำหนักสดและความยาวของต้นอ่อนผักกาดหัวเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ K₂SO₄ เพิ่มขึ้น ขณะที่ความยาวรากไม่ต่างจาก control [10] นอกจากนี้ (NH₄)₂ SO₄ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตของต้นอ่อนปวยเล้งและพริก [11] รวมถึงการใช้ซัลเฟอร์บริสุทธิ์ในต้นอ่อน *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris* [23] อย่างไรก็ตาม Kopsell และคณะ รายงานว่าการใช้ MgSO₄ ความเข้มข้น 8-32 mg/L ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดขาวเคลส [24] ดังนั้นการเจริญเติบโต น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของไมโครกรีนขึ้นอยู่กับชนิดของผักและรูปของปุ๋ยซัลเฟอร์ที่เลือกใช้

3.2 ผลของการพ่น ZnSO₄ ต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

การพ่น ZnSO₄ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไมโครกรีนผักชีหุด ผักชีลาว และแมงลักมีปริมาณสาร

Table 1 Fresh and dry weight (g/trays) of 3 indigenous vegetable microgreens treated with various ZnSO₄ concentrations.

Conc. (μM)	Rat-tailed radish		Dill		Hairy basil	
	fresh	dry	fresh	dry	fresh	dry
control	34.31±3.11 ^{a 1/}	1.67±0.11 ^a	22.99±0.93 ^a	1.16±0.02 ^a	29.05±1.71 ^a	0.75±0.03 ^a
0.5	29.07±0.78 ^b	1.34±0.27 ^b	19.00±0.96 ^c	0.83±0.02 ^b	25.99±1.54 ^b	0.53±0.02 ^b
1.0	23.15±1.05 ^c	0.94±0.02 ^c	21.22±0.95 ^b	0.84±0.04 ^b	22.00±2.32 ^c	0.52±0.01 ^b
1.5	17.55±1.21 ^d	0.90±0.05 ^c	17.58±0.62 ^c	0.73±0.01 ^c	18.60±0.75 ^d	0.33±0.03 ^c
2.0	17.15±0.95 ^d	0.72±0.03 ^{cd}	12.47±0.75 ^d	0.34±0.04 ^d	15.84±0.91 ^e	0.26±0.01 ^d
2.5	15.93±0.71 ^d	0.50±0.24 ^d	11.59±0.64 ^d	0.34±0.04 ^d	13.78±1.44 ^e	0.24±0.01 ^d
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	6.60	15.29	4.70	4.74	7.38	4.95

**indicates significant differences ($p < 0.01$); ^{1/}Means in the same columns with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

ประกอบพืชนอลิคทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ ZnSO₄ ที่เพิ่มขึ้น (ตาราง 2) โดย ZnSO₄ ความเข้มข้น 2.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนผักพื้นเมืองทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมดสูงที่สุด และเพิ่มขึ้นเท่ากับ 418.09, 47.2 และ 127.40 % เมื่อเปรียบเทียบกับ control ตามลำดับ การทดลองจะเห็นได้ว่าการพ่นด้วย ZnSO₄ ส่งผลให้ไมโครกรีนมีปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพ่นสารละลายดังกล่าวที่ความเข้มข้นสูง เนื่องจากซัลเฟอร์มีผลในการยับยั้งกิจกรรมของ เอนไซม์ phenyl amino lyase, peroxidase (POD) และ polyphenol oxidase (PPO) ที่มีบทบาทสำคัญในปฏิกิริยารีดอกซ์ของสารประกอบพืชนอลิค ส่งผลให้มีการสะสมปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมดเพิ่มขึ้น [9,25] ซึ่งสอดคล้องกับการพ่นต้นอ่อนผักกาดหัวด้วย K₂SO₄ พบว่ามีปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่า 5-10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ control [10] เช่นเดียวกับการพ่น Na₂S₂O₃ ที่สามารถ

เพิ่มปริมาณสารประกอบพืชนอลิคในต้นอ่อนผักกาดหัวมากกว่า 1.64 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับ control ขณะที่ต้นอ่อนกะหล่ำปลีและบร็อคโคลี่ไม่ตอบสนองต่อ Na₂S₂O₃ [15] นอกจากนี้ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของไมโครกรีนผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลักมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมด เนื่องจากกรดอะมิโนที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบพืชนอลิค คือ phenylalanine ถูกนำมาใช้มากขึ้น ทำให้การสะสมโปรตีนลดลง ส่งผลต่อการลดลงของการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช [14] ดังนั้นการใช้ ZnSO₄ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณสารประกอบพืชนอลิคในไมโครกรีนผักพื้นเมือง ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในไมโครกรีน ผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลักมีการตอบสนองต่อ ZnSO₄ เช่นเดียวกับปริมาณสารประกอบพืชนอลิคทั้งหมด (ตาราง 3) ไมโครกรีนทุกชนิดมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุดเมื่อได้รับการพ่นด้วย ZnSO₄ ความเข้มข้น 2.5 μM (เพิ่มขึ้น 259.28, 26.09 และ

Table 2 Total phenolic content (mg GAE/g of DW) of 3 indigenous vegetable microgreens treated with various ZnSO₄ concentrations.

Conc. (μM)	Rat-tailed radish	Dill	Hairy basil
control	122.68±1.75 ^{e 1/}	107.77±5.77 ^e	80.74±3.81 ^e
0.5	145.43±5.25 ^e	126.71±2.38 ^d	92.18±4.09 ^c
1.0	199.68±3.50 ^d	167.15±9.40 ^c	99.92±2.09 ^b
1.5	246.05±21.88 ^c	171.94±1.65 ^c	93.74±0.75 ^c
2.0	415.28±53.14 ^b	217.81±4.88 ^b	85.33±2.48 ^d
2.5	635.72±5.96 ^a	245.27±3.15 ^a	118.70±3.71 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	8.07	3.02	2.70

** indicates significant differences ($p < 0.01$); ^{1/}Means in the same columns with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

Table 3 Total flavonoid content (mg CE/g of DW) of 3 indigenous vegetable microgreens treated with various ZnSO₄ concentrations.

Conc. (μM)	Rat-tailed radish	Dill	Hairy basil
0 (control)	38.09±0.50 ^{f 1/}	29.47±4.70 ^e	19.23±0.87 ^e
0.5	99.06±3.02 ^e	31.33±7.08 ^d	24.01±0.87 ^d
1.0	113.17±3.02 ^c	34.08±±3.06 ^c	24.87±2.17 ^{cd}
1.5	125.26±1.10 ^b	34.91±3.01 ^c	27.26±0.65 ^c
2.0	104.60±1.51 ^d	36.15±0.62 ^b	30.08±1.30 ^b
2.5	136.85±3.53 ^a	37.16±0.54 ^a	42.67±1.74 ^a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	2.32	5.19	5.12

** indicates significant differences ($p < 0.01$); ^{1/}Means in the same columns with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

121.89 % เมื่อเปรียบเทียบกับ control ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ไมโครกรีนผักแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อ ZnSO₄ ที่ต่างกัน สอดคล้องกับ Vallejo และคณะ ที่รายงานว่า การให้ CaSO₄ ความเข้มข้น 150 kg/ha

บร็อคโคลี่ 8 สายพันธุ์ มีปริมาณฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นมากกว่า 2-3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้น 15 kg/ha [9] นอกจากนี้พันธุ์ ความเข้มข้นธาตุอาหารพืช และช่วงเวลาที่ได้รับแสง ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อ

ปริมาณฟลาโวนอยด์ในบร็อคโคลี่ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Li และคณะ พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในผักกาดเขียวปลีพันธุ์ Xuelihong และ Baobaoqingcai เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับ $MgSO_4$ โดยเป็นการเพิ่มขึ้นของฟลาโวนอยด์ชนิด quercetin สำหรับผักกาดเขียวปลีทั้ง 2 พันธุ์ ขณะที่ฟลาโวนอยด์ชนิด kaempferol เพิ่มขึ้นเฉพาะผักกาดเขียวปลีพันธุ์ Xuelihong เท่านั้น [26] นอกจากนี้ไมโครกรีนผักขี้หูด ผักชีลาว และแมงลักที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในระดับสูง กลาง และต่ำ ตามลำดับ มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งสองที่ต่างกัน โดยที่ไมโครกรีนผักขี้หูดมีการเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา คือ ไมโครกรีนแมงลักและผักชีลาว ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อปุ๋ยซัลเฟอร์ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผักชนิดนั้น ๆ

การพ่น $ZnSO_4$ ส่งผลให้ไมโครกรีนผักขี้หูดมีปริมาณไลโคปีนและเบตา-แคโรทีนสูงกว่า control (ตาราง 4) โดยที่ความเข้มข้น 1.0 μM ส่งผลให้มี

ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด (เพิ่มขึ้น 139.60 และ 130.60 % เมื่อเปรียบเทียบกับ control ตามลำดับ) นอกจากนี้ ปริมาณไลโคปีนและเบตา-แคโรทีนมีปริมาณลดลงตามความเข้มข้นของ $ZnSO_4$ ที่เพิ่มขึ้น สำหรับไมโครกรีนผักชีลาวมีปริมาณไลโคปีนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ $ZnSO_4$ และความเข้มข้น 2.5 μM ส่งผลให้มีปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด (416.24 % เมื่อเปรียบเทียบกับ control) แต่ปริมาณของเบตา-แคโรทีนลดลง เมื่อความเข้มข้นของ $ZnSO_4$ เพิ่มขึ้น การพ่น $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 1.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนแมงลักมีปริมาณไลโคปีนสูงที่สุด ขณะที่ปริมาณเบตา-แคโรทีนสูงที่สุด เมื่อพ่นที่ความเข้มข้น 2.5 μM การทดลองจะเห็นได้ว่าการพ่น $ZnSO_4$ มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการสะสมไลโคปีนและเบตา-แคโรทีนในไมโครกรีนผักพื้นเมืองทั้ง 3 ชนิด ยกเว้นเบตา-แคโรทีนในไมโครกรีนผักชีลาว เนื่องจากซัลเฟอร์มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับแคโรทีนอยด์ ซึ่งแคโรทีนอยด์

Table 4 Carotenoid contents ($\mu g/g$ of DW) of 3 indigenous vegetable microgreens treated with various $ZnSO_4$ concentrations.

Conc. (μM)	Rat-tailed radish		Dill		Hairy basil	
	Lycopene	β -Carotene	Lycopene	β -Carotene	Lycopene	β -Carotene
0 (control)	9.57 $\pm$ 0.64 ^{d 1/}	107.23 $\pm$ 2.12 ^d	14.53 $\pm$ 1.42 ^d	121.79 $\pm$ 2.63 ^a	23.94 $\pm$ 2.70 ^d	68.04 $\pm$ 4.88 ^f
0.5	17.40 $\pm$ 1.99 ^b	147.29 $\pm$ 2.96 ^b	11.62 $\pm$ 1.49 ^d	113.32 $\pm$ 3.09 ^b	23.14 $\pm$ 1.08 ^d	101.46 $\pm$ 2.09 ^e
1.0	22.93 $\pm$ 2.07 ^a	247.27 $\pm$ 3.50 ^a	25.29 $\pm$ 4.00 ^c	103.73 $\pm$ 3.00 ^c	31.99 $\pm$ 2.12 ^c	128.14 $\pm$ 1.78 ^d
1.5	18.11 $\pm$ 0.27 ^b	145.71 $\pm$ 3.33 ^b	26.03 $\pm$ 1.52 ^c	85.72 $\pm$ 7.31 ^d	50.49 $\pm$ 0.77 ^a	154.54 $\pm$ 6.04 ^c
2.0	16.78 $\pm$ 0.31 ^b	128.93 $\pm$ 6.20 ^c	50.28 $\pm$ 4.35 ^b	76.54 $\pm$ 4.15 ^e	47.02 $\pm$ 1.47 ^b	187.53 $\pm$ 8.47 ^b
2.5	14.21 $\pm$ 0.38 ^c	131.55 $\pm$ 1.55 ^c	75.01 $\pm$ 2.76 ^a	52.98 $\pm$ 3.40 ^f	16.91 $\pm$ 0.79 ^e	225.17 $\pm$ 4.53 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	5.40	2.50	8.46	4.54	5.21	3.58

**indicates significant differences ($p < 0.01$); ^{1/}Means in the same columns with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

จะจับกับคลอโรฟิลล์ด้วยสัดส่วนที่แน่นอนด้วย chlorophyll/carotenoid-binding protein ภายในเนื้อเยื่อไทลาคอยด์ของพืชชั้นสูง [27] นอกจากนี้ การศึกษาทางอนุพันธุศาสตร์พบว่าวิธีการสังเคราะห์ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มีความใกล้ชิดกัน [24] ซึ่ง ผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับการใช้ปุ๋ยซัลเฟอร์ ในรูปต่าง ๆ ที่สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ เช่น การใช้ K_2SO_4 ในปวยเล้งและต้นอ่อน ผักกาดหัว [10,28] และการใช้ $MgSO_4$ ในผักกาดเขียว ปลี [26] ขณะที่ Kopsell และคณะ รายงานว่าการใช้ $MgSO_4$ ไม่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณ แคโรทีนอยด์ทั้งหมดในวอเตอร์เครส [24] ผลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแคโรทีนอยด์ใน ผักต่างชนิดมีความจำเพาะต่อรูปของปุ๋ยซัลเฟอร์ที่ใช้

3.3 ผลของการพ่น $ZnSO_4$ ต่อความสามารถ ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

การพ่น $ZnSO_4$ ส่งผลให้ไมโครกรีนผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลักมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่า control ยกเว้นความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในไมโครกรีนผักชีหูดที่การพ่นด้วย $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 2.5 μM มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระต่ำกว่า control (ตาราง 5) โดยที่ไมโครกรีนผักชีหูดและผักชีลาวที่ได้รับการพ่น $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 1.5 μM มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงที่สุด นอกจากนี้การพ่น $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 0.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนแมงลักมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระทั้งสองวิธีสูงที่สุด และลดลงเมื่อความเข้มข้นของ $ZnSO_4$ เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการพ่นด้วย $ZnSO_4$ ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมส่งผลให้ไมโครกรีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Kestwal และคณะ ที่พบว่า การพ่นต้นอ่อนบร็อกโคลี

และผักกาดหัวด้วย $Na_2S_2O_3$ ส่งผลให้มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้น ขณะที่ปุ๋ยซัลเฟอร์ดังกล่าวไม่ส่งผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในต้นอ่อนกะหล่ำปลี [15] นอกจากนี้ Li และคณะ พบว่าผักกาดเขียวปลีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับ $MgSO_4$ ความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ต่างกันตามพันธุ์ผัก [14] จะเห็นได้ว่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของผัก รวมถึงความเข้มข้นและรูปของปุ๋ยซัลเฟอร์ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์ พบว่าลักษณะดังกล่าวไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ถึงแม้ว่าสารประกอบฟีนอลิกหรือฟลาโวนอยด์เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลักในพืชที่มีสมบัติเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระ [10,30] นอกเหนือจากสารยับยั้งอนุมูลอิสระทั้ง 2 ชนิด ยังพบสารยับยั้งอนุมูลอิสระอื่น ๆ ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับ $DPPH^\bullet$ และ $ABTS^+$ ได้ดี [30,31] ดังนั้นในอนาคตควรมีการตรวจวัดปริมาณสารยับยั้งอนุมูลอิสระอื่น ๆ

ผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นแสดงให้เห็นว่าไมโครกรีนผักชีหูด ผักชีลาว และแมงลักที่ได้รับการพ่น $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 2.5 μM มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด การพ่นด้วย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 1.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนผักชีหูดและผักชีลาวมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS สูงสุด ขณะที่ไมโครกรีนแมงลักมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี สูงที่สุดเมื่อพ่นด้วย $ZnSO_4$ ที่ความเข้มข้น 1.0 μM สำหรับปริมาณแคโรทีนอยด์ในไมโครกรีนมีการตอบสนองต่อ $ZnSO_4$ ที่ต่างกัน โดยไมโครกรีนผักชีหูดมีปริมาณไลโค

ป็นและเบตา-แคโรทีนสูงที่สุดเมื่อพ่นที่ความเข้มข้น 1.0 μM ไมโครกรีนผักชีลาวมีปริมาณไลโคปีนสูงที่สุดเมื่อพ่นที่ความเข้มข้น 2.5 μM ขณะที่การพ่นด้วย ZnSO_4 ไม่สามารถกระตุ้นการสะสมปริมาณเบตา-แคโรทีนให้เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้ เมื่อความเข้มข้นของ ZnSO_4 เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณเบตา-แคโรทีนลดลงสำหรับไมโครกรีนแมงลักมีปริมาณไลโคปีนและเบตา-แคโรทีนสูงที่สุด เมื่อพ่นด้วย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1.5 และ 2.5 μM ตามลำดับ

4. สรุป

การพ่น ZnSO_4 ความเข้มข้น 2.5 μM ส่งผลให้ไมโครกรีนผักขี้หูด ผักชีลาว และแมงลักมีน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งลดลง แต่ความเข้มข้นของปุ๋ยซัลเฟอร์ดังกล่าวส่งผลให้ไมโครกรีนผักพื้นเมืองทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงสุด ส่วนความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระและปริมาณแคโรทีนอยด์ในไมโครกรีนมีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของ ZnSO_4 ที่ต่างกัน

Table 5 Antioxidant capacities (% inhibition) of 3 indigenous vegetable microgreens treated with various ZnSO_4 concentrations.

Conc. (μM)	Rat-tailed radish		Dill		Hairy basil	
	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS	DPPH	ABTS
0 (control)	41.66 $\pm$ 1.05 ^{b 1/}	37.21 $\pm$ 1.27 ^e	38.74 $\pm$ 1.96 ^d	22.06 $\pm$ 1.12 ^e	29.56 $\pm$ 1.96 ^c	9.93 $\pm$ 0.93 ^f
0.5	44.15 $\pm$ 2.26 ^b	52.24 $\pm$ 1.38 ^{cd}	42.75 $\pm$ 0.52 ^c	23.94 $\pm$ 0.31 ^d	52.70 $\pm$ 0.52 ^a	35.44 $\pm$ 0.50 ^a
1.0	42.35 $\pm$ 1.46 ^b	56.94 $\pm$ 0.50 ^b	41.28 $\pm$ 0.71 ^c	27.31 $\pm$ 0.60 ^c	41.02 $\pm$ 0.77 ^b	19.79 $\pm$ 0.25 ^b
1.5	53.43 $\pm$ 1.46 ^a	65.11 $\pm$ 1.78 ^a	52.37 $\pm$ 0.71 ^a	46.68 $\pm$ 0.50 ^a	41.27 $\pm$ 0.71 ^b	13.98 $\pm$ 0.73 ^c
2.0	43.42 $\pm$ 0.80 ^b	50.92 $\pm$ 0.15 ^d	41.71 $\pm$ 0.57 ^c	30.24 $\pm$ 1.71 ^b	29.72 $\pm$ 0.75 ^c	12.03 $\pm$ 0.93 ^d
2.5	33.07 $\pm$ 2.93 ^c	53.17 $\pm$ 0.69 ^c	47.96 $\pm$ 1.82 ^b	32.00 $\pm$ 1.35 ^b	40.78 $\pm$ 1.82 ^b	10.98 $\pm$ 0.31 ^e
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.95	2.12	2.72	3.33	2.90	3.34

**indicates significant differences ($p < 0.01$); ^{1/}Means in the same columns with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 (สัญญาเลขที่ 18/2560) ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

6. References

- [1] Lertrat, K., Ngarmsak, M. and Sungsrin-in, A., 2009, Thai food from local fruits and vegetables: The route to the sustainable well-being of Thai society, Khon Kaen Agr. J. 37: 1-20. (in Thai)
- [2] Muchajajib, U., 2014, A Study on Commercial

- Greenhouse Production of Local Plant Microgreens, Research Report, Raja mangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 121 p. (in Thai)
- [3] Xiao, Z., Lester, G.E., Luo, Y. and Wang, Q., 2012, Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens, J. Agric. Food Chem. 60: 7644-7651.
- [4] Bunpatum, G. and Kethaisong, D., 2017, Evaluation of yield and bioactive compounds of thirteen vegetable microgreens, Khon Kaen Agr. J. 45: 368-373. (in Thai)
- [5] Lester, G.E., Hallman, G.J. and Perez, J.A., 2010, r-Irradiation dose: Effects on baby-leaf spinach ascorbic acid, carotenoids, folate, α -tocopherol, and phyloquinone concentrations, J. Agric. Food Chem. 58: 4901-4906.
- [6] Oh, M.M., Carey, E.E. and Rajashekar, C.B., 2010, Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce, J. Am. Soc. Hort. Sci. 135: 223-229.
- [7] Rice-Evans, C.A. and Miller, N.J., 1996, Antioxidant activities of flavonoids as bioactive compounds of foods, Biochem. Soc. T. 24: 790-795.
- [8] Beanas, N., Garcia-Viguera, C. and Moreno, D.A., 2014, Elicitation: a tool for enhancing the bioactive composition of foods, Molecules 19: 13541-13563.
- [9] Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A. and García-Viguera, C., 2003, Effect of climatic and sulphur fertilisation conditions, on phenolic compounds and vitamin C, in the inflorescences of eight broccoli cultivars, Eur. Food Res. Technol. 216: 395-401.
- [10] Zhou, C., Zhu, Y. and Luo, Y., 2013, Effects of sulfur fertilization on the accumulation of health- promoting phytochemicals in radish sprouts, J. Agri. Food Chem. 61: 7752-7559.
- [11] Smatanova, M., Richer, R. and Hlusek, J., 2004, Spinach and pepper response to nitrogen and sulphur fertilization, Plant Soil Environ. 50: 303-308.
- [12] Schonhof, I., Blankenburg, D., Müller, S. and Krumbein, A., 2007, Sulfur and nitrogen supply influence growth, product appearance, and glucosinolate concentration of broccoli, J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 65-72.
- [13] Perez- Balibrea, S., Moreno, D. A. and Garcia-Viguera, C., 2010, Glucosinolates in broccoli sprouts (*Brassica oleracea* var. *italica*) as conditioned by sulphate supply during germination, J. Food Sci. 5: C673-677.
- [14] Li, J., Zhu, Z. and Gerendas, J., 2008, Effects of nitrogen and sulfur on total phenolics and antioxidant activity in two genotypes of leaf mustard, J. Plant Nutr. 31: 1642-1655.

- [15] Kestwal, R.M., Lin, J.C., Bagal-Keswal, D. and Chaing, B. H. , 2011, Glucosinolates fortification of cruciferous sprouts by sulphur supplementation during cultivation to enhance anti-cancer activity, *Food Chem.* 126: 1164-1171.
- [16] Losák, T., Hlušek, J., KráĚmar, S. and Varga, L. , 2008, The effect of nitrogen and sulphur fertilization on yield and quality of kohlrabi (*Brassica oleracea* L.), *R. Bras. Ci. Solo.* 32: 697-703.
- [17] Nualkaew, N. , 2013, Study of biological activities of the extract from Thai local vegetables, Research Report, Thailand Research Fund, 247 p. (in Thai)
- [18] Oonsivilai, R. , Oonmetta- aree, J. and Singthong J. , 2011, Bioactivity and Functional properties of Yanang, Krueo Manoy and Rang Chuet extracts, Research Report, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 44 p. (in Thai)
- [19] Kubola, J., Siriamornpun, S. and Meeso, N., 2011, Phytochemicals, vitamin C and sugar content of Thai wild fruits, *J. Agric. Food Chem.* 126: 972-981.
- [20] Nagata, M. and Yamashita, I., 1992, Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish* 39: 925-928.
- [21] Harakotr, B. , Suriharn, B. , Tangwongchai, R. , Scott, M. P. and Lertrat, K. , 2014, Anthocyanins and antioxidant activity in coloured waxy corn at different maturation stages, *J. Funct. Foods.* 9: 109-118.
- [22] Yang, R. , Guo, L. , Zhou, Y. , Shen, C. and Gu, Z. , 2015, Calcium mitigates the stress caused by ZnSO₄ as a sulphur fertilizer and enhances the sulforaphane formation of broccoli sprouts, *RSC Adv.* 5: 12563-12570.
- [23] De Pascale, S. , Maggio, A. , Pernice, R. , Fagliano, V. and Barbieri, G., 2007, Sulphur fertilization may improve the nutritional value of *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris*, *Eur. J. Agron.* 26: 418-424.
- [24] Kopsell, D.A., Barickman, T.C., Sams, C.E. and Mcelroy, J. C. , 2007, Influence of nitrogen and sulfur on biomass production and carotenoid and glucosinolate concentrations in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.), *J. Agric. Food Chem.* 55: 10628-10634.
- [25] Tomas- Barberan, F.A. and Espin, J. C. , 2001, Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables, *J. Sci. Food Agric.* 81: 853-876.
- [26] Li, J. , Zhu, Z.J. and Guo, S.R. Effects of nitrogen and sulfur application on antioxidant substances in leaf mustard, International Symposium on Vegetable Safety and Human Health, Beijing, China, February 28, 2010.
- [27] Reif, C., Arrigoni, E., Scharer, H., Nystrom, L.

- and Hurrell, R. F. , 2013, Carotenoid database of commonly eaten Swiss vegetables and their estimated contribution to carotenoid intake. J. Food Com. Anal. 29: 64-72.
- [28] Reif, C. , Arrigoni, E. , Neuweiler, R. Baumgartner, D., Nystrom, L. and Hurrell, R.F., 2012, Effect of sulfur and nitrogen fertilization on the content of nutritionally relevant carotenoids in spinach (*Spinacia oleracea*). J. Agri. Food Chem. 60: 5819-5824.
- [29] Barros, L. , Ferreira, M.J., Queiros, B. , Ferreira, I.C.F.R. and Baptista, P. , 2007, Total phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities, Food Chem. 103: 413-419.
- [30] Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H. and Matoba, T., 2003, Effects of ascorbic acid and tocopherol on antioxidant activity of polyphenolic compounds. Food Chem. Toxicol. 68: 1622–1625.
- [31] Najjaa, H., Zerria, K., Fattouch, S., Ammar, E. and Neffati, M., 2011, Antioxidant and antimicrobial activities of *Allium roseum* L. “Lazoul”, a wild edible endemic species in North Africa. Int. J. Food Prop. 14: 371-380.