

การเปรียบเทียบวิธีการย่อยต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
ที่ปนเปื้อนในดินและผัก: กรณีศึกษาดำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย
A Comparison of Digestion Methods on Evaluation Analytical
Performance Heavy Metals Contamination in Soil and Vegetables:
A Case Study in Nam Suay Subdistrict, Mueang Loei District,
Loei Province

นภัสสร วงเปรี้ยว^{1*} ธิตินันท์ ธรรมโส¹ บุษาวดี พุทธานุ¹
ภัทรานุช พงสุข¹ และสุพัฒน์ พระเมืองคง¹

Napatsorn Wongpriaw^{1*}, Thitinan Thammasom¹, Bussabavadee Puttanu¹
Pattranuch Pongsuk¹ and Suphat Phramueangkhong¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินและผักกาดเขียวกวางตั้งด้วยวิธีการย่อย 6 วิธี คือ วิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้ำคั้น วิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับกรดเปอร์คลอริก วิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก และวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ ตะกั่ว แคดเมียม และสารหนู ด้วยเทคนิค graphite furnace-atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS) ผลการวิจัยพบปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในผักกาดเขียวกวางตั้งที่ความเข้มข้น ND-0.03±0.02 0.07±0.02-0.12±0.04 และ ND-0.02±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และพบในตัวอย่างดินที่ความเข้มข้น ND-0.15±0.03 18.75±0.36-20.21±0.15 ND-2.04±0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ผลการประเมินวิธีการย่อยตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตั้ง 6 วิธี ต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ≥ 0.995 และพบว่าการย่อยผักกาดเขียวกวางตั้งด้วยวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า ให้ผลดีที่สุด ความแม่นยำของวิธีให้ค่าร้อยละการคืนย้อนกลับ (%recovery) อยู่ในช่วงร้อยละ 99.77-90.17 ปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และปริมาณต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (LOQ) คือ 0.0027-0.0519 และ 0.0090-0.0519 รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้ำคั้น และพบว่าวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นวิธีที่ยอมรับได้ ค่าใช้จ่ายไม่สูง ง่ายและมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

* Corresponding author e-mail: napatsorn.won@lru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i2.260441>

Received: 18 September 2023, Revised: 19 April 2024, Accepted: 1 May 2024

มีค่าร้อยละการคืนย้อนกลับอยู่ในช่วง 85.75-80.12 และปริมาณต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ คือ 0.0497-0.0029 ปริมาณต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ คือ 0.1656-0.0097 การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียววางตุ้งพบว่ามีปริมาณลดลงและการปนเปื้อนโลหะหนักมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงถึงความปลอดภัยต่อการบริโภค

คำสำคัญ: การปนเปื้อน วิธีย่อยตัวอย่าง โลหะหนัก ดิน ผัก

Abstract

The study aims to analyze the content of three heavy metals in soils and *Brassica rapa* L. Six digestion methods, including method-1; prepared the samples; digestion with nitric acid, method-2; digestion with nitric acid in overnight, method-3; digestion with nitric acid and hydrogen peroxide, method-4; digestion with nitric acid and perchloric acid, method-5; digestion with sulfuric acid and method-6; dry ash. Heavy metal contents such as cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As) were analyzed using graphite furnace atomic absorption spectrometry (GF-AAS). The results revealed that the concentration ranges of cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As) in *B. rapa* L. were ND-0.03±0.02, 0.07±0.02-0.12±0.04, and ND-0.02±0.03 milligram per kilogram (mg/kg), respectively. The soil samples found heavy metal contents in the ranges of ND-0.15±0.03, 18.75±0.36-20.21±0.15, and ND-2.04±0.03 mg/kg, respectively. The evaluation of six digestion methods of *B. rapa* L. on the analytical performance of heavy metals, including cadmium, lead, and arsenic, showed a linearity range of $r^2 \geq 0.995$. The comparison of six digestion methods found the best preparation sample in removing the matrix, and the efficiency of analysis of heavy metal showed in method-6 as dry ash at 480 °C for 4 hours. The recovery percentages for cadmium, lead, and arsenic were found in the 99.77-90.17% range. Limit of detection (LOD) and quantitation (LOQ) were 0.0027-0.0519 and 0.0090-0.0519. In addition, the sample preparation of method-1; prepared the samples; digestion with nitric acid and method-3; digestion with nitric acid and hydrogen peroxide were also acceptable. The substances were inexpensive, easy, and fast to analyze. The recovery percentage, LOD, and LOQ were 85.75-80.12, 0.0497-0.0029, and 0.1656-0.0097, respectively. The transfer factor of heavy metal from soil to vegetables has been found to have decreased. The contamination of heavy metals was less than that of the World Health Organization. This indicates that it is safe for consumption.

Keywords: Contamination, Digestion method, Heavy metals, Soil, Vegetables

บทนำ

ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ถือเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญอีกพื้นที่หนึ่งของ จังหวัดเลย มีการเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก สภาพดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว พื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นพื้นราบประชาชนใช้ปลูกข้าว ส่วนพื้นที่ซึ่งเป็นเนินใช้ปลูกพืชไร่และทำสวน (เทศบาลตำบลน้ำสวย, 2561) ดินเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่สุดในการเพาะปลูก ทั้งนี้การใช้ดินเพื่อทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องและเป็นระยะเวลานานทำให้คุณภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป (เสื่อมลง) ส่งผลให้เกษตรกรมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุเพื่อการปรับปรุงดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อรา เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจากการใช้วัสดุปรับปรุงดินดังกล่าวถือเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินมีโอกาสสะสมโลหะหนักและ สารอื่น ๆ ได้ โดยโลหะหนักและสารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ในดินบางส่วนอาจละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืช สามารถดูดสะสมได้ ทำให้ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและเกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพ ตามประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ระบุค่าสารหนู แคดเมียม และ ตะกั่ว ต้องมีได้ไม่เกิน 6 67 และ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ดังนั้นการปนเปื้อนโลหะหนักและสารอื่น ๆ ในดินจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง นอกจากต้องให้ความสำคัญกับคุณภาพดิน พืชและผักที่เพาะปลูกแล้ว วิธีการวิเคราะห์ก็ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้อง คำนึงถึง สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักมีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการเตรียม ตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ เช่น การเจือจาง การย่อยและการสกัดด้วยกรด การย่อยด้วยไมโครเวฟ (พุทธิดา และมาริส, 2567) การเผาให้เป็นเถ้าที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสีย ที่แตกต่างกัน นุชจรี และปิยะดา (2564) ศึกษาประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดในดิน นาข้าว 3 อำเภอ จังหวัดสุโขทัย ด้วยการเตรียมตัวอย่างโดยสกัดด้วยกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก พบว่าดินนาข้าวมีการปนเปื้อนตะกั่วในช่วง ND-34.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ตรวจไม่พบ ปริมาณแคดเมียมในทุกพื้นที่ นอกจากนี้ สมสุข และคณะ (2558) ศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงในผักสวนครัว จังหวัดมหาสารคาม โดยการนำตัวอย่างเปียกมาอบให้แห้งแล้วย่อยด้วยกรด ไนตริกเข้มข้นหาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ (atomic absorption spectrometer: AAS) พบว่าผักแต่ละชนิดมีค่าโลหะหนักทั้งสามชนิดในปริมาณน้อยกว่า ค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นการเลือกวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมก่อนนำไป วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการย่อยตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ 6 วิธีต่อประสิทธิภาพการ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินและผัก กรณีศึกษาบ้านนาบ้าน ตำบลน้ำสวย อำเภอ เมืองเลย จังหวัดเลย รวมทั้งเป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพดินและยังใช้เป็นแนวทางในการลด ความเสี่ยงของสุขภาพจากการบริโภคผัก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมีและเครื่องมือ

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และสารหนู (As) สารเคมีสำหรับการย่อยตัวอย่าง ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดไนตริก (HNO₃) กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) กรดเปอร์คลอริก (HClO₄) และกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เป็น AR Grade, Merck, Germany

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น Model AA-6200 Shimadzu, Japan ที่การไหลของแก๊ส 1 ลิตรต่อนาที ความกว้างของช่องแสง 0.7 มิลลิเมตร และความยาวคลื่น 228.8 283.3 และ 193.7 นาโนเมตร สำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากแปลงปลูกจำนวน 5 แปลง ดังตารางที่ 1 จากบ้านนาน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย จำนวน 250 กรัม ในแปลงปลูกผักกาดเขียววางตั้งที่ความลึก 5 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบดละเอียดโดยใช้โม่บด แล้วชั่งตัวอย่างดินมาจำนวน 2.5 กรัม เติมสารผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ต่อกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ในอัตราส่วน 3:1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นและทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Mwegoha and Kihampa, 2010; Rashid *et al.*, 2016) กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค graphite furnace-atomic absorption spectrophotometry (GF-AAS)

3. การเก็บและย่อยตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งก่อนการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

เก็บตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจากแปลงปลูกจำนวน 5 แปลง (ตารางที่ 1) โดยเก็บซ้ำ 5 ครั้ง ๆ ละ 100 กรัม แล้วนำตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งมาล้างทำความสะอาด นำมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น โดยความชื้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 3 เก็บตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งที่ได้ไว้ในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างดินและผักกาดเขียววางตั้ง

จุดเก็บตัวอย่างดินและ ผักกาดเขียววางตั้ง	รายละเอียด
จุดเก็บที่ 1	พื้นที่ทิศเหนือติดกับสวนลำไยห่างจากพื้นที่ปลูกผัก 1 กิโลเมตร ทิศใต้ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกอยู่ติดกับทุ่งนาเป็นนาปี การเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมี
จุดเก็บที่ 2	พื้นที่อยู่ติดกับทุ่งนาล้อมรอบทุกทิศ การเกษตรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีเพื่อการเกษตร
จุดเก็บที่ 3	พื้นที่อยู่ในระหว่างการเกษตร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่างดินและ ผักกาดเขียววางตั้ง	รายละเอียด
จุดเก็บที่ 4	พื้นที่อยู่บนพื้นที่เกษตรอินทรีย์ ไม่มีการใช้สารเคมีในการทำการ เพาะปลูก ทิศใต้อยู่ติดกับถนนประโยชน์ ทิศเหนืออยู่ติดกับสวนมะม่วง ทิศตะวันออกอยู่ติดกับสวนไผ่ และทิศตะวันตกอยู่ติดกับคลองไส้ไก่
จุดเก็บที่ 5	พื้นที่เป็นพื้นที่ใกล้กับเขตชุมชน และแปลงปลูกข้าวโพดมีการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีเพื่อการเกษตร

4. การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งด้วยวิธีการย่อย 6 วิธี ดังนี้

4.1 วิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล (crucible) แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนจนได้สารละลายใส ทำการย่อยตัวอย่างซ้ำอีกครั้งด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Hseu, 2004)

4.2 วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้ำคืน

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้ง จำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบลแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนจนได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

4.3 วิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 เข้มข้น 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

4.4 วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียววางตั้ง จำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชีเบล แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Mwegoha and Kihampa, 2010)

4.5 วิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตุ้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชเชิล แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 98 ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 7 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ซ้ำอีกครั้ง นำไปให้ความร้อนอีกครั้งจนได้สารละลายใส จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Mwegoha and Kihampa, 2010)

4.6 วิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า

โดยชั่งตัวอย่างผักกาดเขียวกวางตุ้งจำนวน 1 กรัม ใส่ในครุชเชิล แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 5 โมลาร์ (M) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยใช้เตาให้ความร้อน แล้วนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 4 หยด และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนโดยใช้เตาให้ความร้อน แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร อีกครั้ง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 93 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS (Laing, 2003)

5. การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ (method validation)

5.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู ที่ความเข้มข้น 7 ระดับ ได้แก่ แบลงค์ 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 และ 30.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค GF-AAS จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มข้น แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.9950 (AOAC International, 2002)

5.2 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery)

การทดสอบความถูกต้องโดยใช้วิธีเติมสารมาตรฐาน (standard addition) โดยการเติมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักลงในสารละลายตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายผสมไปทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืน ซึ่งค่าร้อยละการกลับคืนที่ผ่านเกณฑ์ควรอยู่ในช่วงร้อยละ 80.00-115.00 (AOAC International, 2002)

5.3 การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) และการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจหาได้ (LOQ)

โดยใช้วิธีการคำนวณจากสัญญาณของแบลงค์ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด โดยทำการวิเคราะห์แบลงค์ จำนวน 11 ซ้ำ จากนั้นคำนวณค่าความเข้มข้นจากความเข้มข้นเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบลงค์ โดยทั่วไปความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์ และความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถตรวจหาได้มีค่าเป็น 10 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์ (ทิพวรรณ, 2549)

5.4 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

โดยนำตัวอย่างมาทำการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของสารในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งค่าที่ได้ไม่ควรเกินร้อยละ 11.00 (AOAC International, 2002)

6. การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก (transfer factor: TF)

โดยการนำผลความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวอย่างอาหารด้วยความเข้มข้นของโลหะหนักทั้งหมดในดิน (Kachenko and Singh, 2006)

7. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one way ANOVA) ในโปรแกรม Microsoft excel และแสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทำการทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดินจากสวนปลูกผักกาดเขียววางตั้งในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GF-AAS ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของตะกั่วมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.45 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ สารหนู (2.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแคดเมียม (0.19 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างดิน

จุดเก็บตัวอย่างดิน	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.16 ± 0.04	20.21 ± 0.15	ND
จุดเก็บที่ 2	0.15 ± 0.03	19.58 ± 0.21	1.78 ± 0.09
จุดเก็บที่ 3	0.16 ± 0.04	21.45 ± 0.23	0.65 ± 0.04
จุดเก็บที่ 4	ND	19.26 ± 0.41	ND
จุดเก็บที่ 5	0.19 ± 0.04	18.75 ± 0.36	2.04 ± 0.03
ค่ามาตรฐาน*	67.00	400.00	6.00

หมายเหตุ: - ค่าที่รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD)

- ND (not detected) คือ ตรวจไม่พบ

- * ค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดตั้ง

การประเมินวิธีการย่อยตัวอย่างก่อนวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 6 วิธี ว่ามีความเหมาะสม สามารถใช้วิเคราะห์ตัวอย่างได้ถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) มีผลดีทุกวิธี คือ มีค่า $r^2 \geq 0.9950$ และมีค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของวิธีทั้งหมดแสดงผลที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้ โดยมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.00 และผลการศึกษาค่าร้อยละการกลับคืน ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถวัดได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 3) จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยวิธีที่ 1 2 3 และ 6 เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำโดยเฉพาะวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า ให้ผลการวิเคราะห์แม่นยำที่สุด รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้างคืน เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืน แต่ทั้งสองวิธีจะมีข้อจำกัดในเรื่องของค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 68 และกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 20 ที่ให้ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่วิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก วิธีนี้มีข้อเสียเนื่องจากกรดเปอร์คลอริกเป็นสารอันตรายที่ค่อนข้างรุนแรงอาจก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรงและสามารถเกิดการระคายเคืองได้ และวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ให้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ค่าร้อยละการกลับคืน) ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดตั้งถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะถือว่าเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหารที่สามารถถ่ายโอนโลหะหนักและสารอาหารไปถึงผู้บริโภคลำดับต่าง ๆ จากผลการวิเคราะห์พบว่าผักกาดเขียวกวาดตั้งมีการปนเปื้อนของตะกั่วในปริมาณสูงที่สุด เท่ากับ 0.12 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ แคดเมียม เท่ากับ 0.05 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนู เท่ากับ 0.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 4) แต่ปริมาณที่พบในการปนเปื้อนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน และขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งจากวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการย่อยทั้ง 6 วิธี ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธี และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดต้ง

การ ย่อย วิธีที่	การตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์โลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดต้ง ค่าร้อยละการกลับคืน, ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร), และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
1	85.75, 0.0263, 0.0876	82.84, 0.0295, 0.0983	84.09, 0.0031, 0.0100
2	98.64, 0.0273, 0.0910	97.83, 0.0473, 0.1580	85.73, 0.0031, 0.0100
3	83.72, 0.0269, 0.0897	80.12, 0.0497, 0.1656	81.44, 0.0029, 0.0097
4	74.21, 0.0105, 0.0350	76.97, 0.0300, 0.1003	82.61, 0.0029, 0.0097
5	80.05, 0.0258, 0.0860	71.23, 0.0297, 0.0990	69.89, 0.0018, 0.0060
6	99.77, 0.0255, 0.0850	98.35, 0.0519, 0.1730	90.17, 0.0027, 0.0090

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการย่อยวิธีที่ 1-6 ของการตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้ง มีค่าการวิเคราะห์ F-value เท่ากับ 0.0127 0.0509 0.0147 0.0340 0.0473 และ 0.0328 ตามลำดับ และค่า p-value เท่ากับ 0.9874 0.9507 0.9854 0.9667 0.9540 และ 0.9679 ตามลำดับ เนื่องจากค่า p-value ของการวิเคราะห์ทั้ง 6 วิธีมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 3 ชุด ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้ง

จุดเก็บตัวอย่าง ผักกาดเขียวกวาดต้ง	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.04±0.05	0.12±0.04	ND
จุดเก็บที่ 2	0.03±0.02	0.08±0.03	0.02±0.03
จุดเก็บที่ 3	0.03±0.04	0.07±0.02	ND
จุดเก็บที่ 4	ND	0.09±0.03	ND
จุดเก็บที่ 5	0.05±0.03	0.10±0.03	0.04±0.03
ค่ามาตรฐาน*	0.20	0.30	2.00

หมายเหตุ: - ค่าที่รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)

- ND (not detected) คือ ตรวจไม่พบ

- * ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน (กระทรวงสาธารณสุข, 2563)

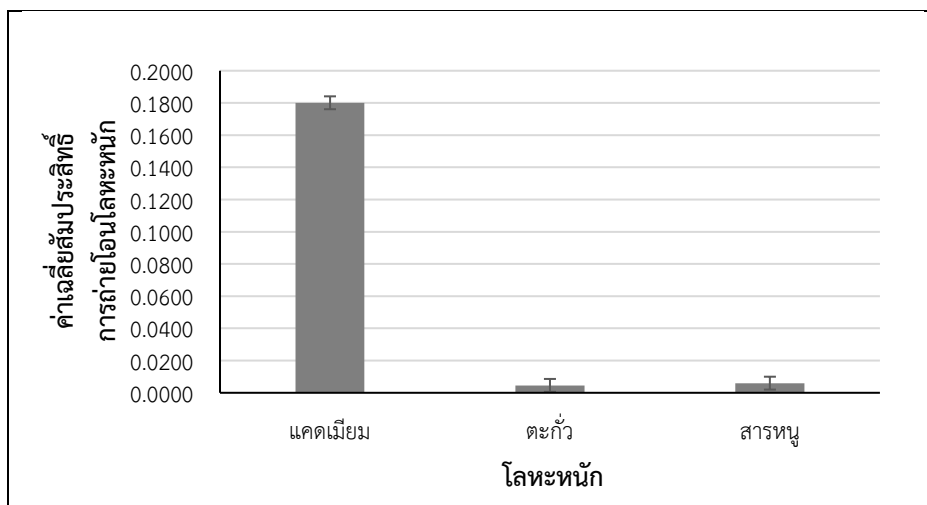
3. ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก

การศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชเป็นตัวบ่งชี้ที่วัดความสามารถของพืชในการดูดซับและนำโลหะหนักออกจากดินเข้าสู่ระบบพืชผ่านรากพืช มีความสำคัญในการประเมินความเสี่ยงของการสะสมโลหะหนักในพืช และการจัดการกับการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืช ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ เพราะเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการได้รับโลหะหนักของมนุษย์และสัตว์ในฐานะผู้บริโภค รวมทั้งเป็นเรื่องที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของดินและกระบวนการปลูกพืชและผักเพื่อลดการสะสมของโลหะหนัก ผลการศึกษาทำให้มีวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของโลหะหนักในดินด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การปลูกผักแบบอินทรีย์หรือการใช้วิธีการปลูกที่มีการควบคุมการใช้สารเคมีและปุ๋ยเคมี ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนัก ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 1

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียวกวาดตั้ง

จุดเก็บตัวอย่าง ผักกาดเขียวกวาดตั้ง	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียวกวาดตั้ง		
	แคดเมียม	ตะกั่ว	สารหนู
จุดเก็บที่ 1	0.2500±0.05	0.0059±0.02	-
จุดเก็บที่ 2	0.2000±0.04	0.0040±0.04	0.0112±0.03
จุดเก็บที่ 3	0.1875±0.03	0.0032±0.05	-
จุดเก็บที่ 4	-	0.0046±0.03	-
จุดเก็บที่ 5	0.2631±0.04	0.0053±0.05	0.0196±0.02
ค่าเฉลี่ย	0.1801±0.04	0.0046±0.04	0.0060±0.03

หมายเหตุ: - ค่าที่รายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD)



ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่ผักกาดเขียวกวาดตั้ง

การอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินที่ปลูกผักกาดเขียววางตุ้งในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบล น้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ทั้ง 5 จุดเก็บตัวอย่าง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในดินอยู่ในช่วงระหว่าง $ND-0.19 \pm 0.04$ $19.26 \pm 0.41-21.45 \pm 0.23$ และ $ND-2.04 \pm 0.03$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งระดับความเข้มข้นของโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน โดยกำหนดให้การปนเปื้อนของสารหนูไม่เกิน 6 ตะกั่วไม่เกิน 400 และแคดเมียมไม่เกิน 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) มีความสอดคล้องกับการศึกษาของพรรณนิภา และปิยะดา (2564) ที่ศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินสำหรับปลูกผักเศรษฐกิจ 5 ชนิด ในพื้นที่ตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่าดินในแปลงผักมีการปนเปื้อนของตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และเหล็กผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2547 ในขณะที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในแปลงปลูกผักทั้งหมด จากผลการศึกษาพบปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยพบว่าที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 มีการปนเปื้อนของแคดเมียมและสารหนูในระดับที่สูงกว่าจุดอื่น คือ 0.19 ± 0.04 และ 2.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อาจเป็นเพราะเป็นพื้นที่เกษตรใกล้กับเขตชุมชนและแปลงปลูกข้าวโพด ซึ่งมีการใช้สารเคมีมากกว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดอื่น ๆ ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 พบการปนเปื้อนของตะกั่วสูงสุด เท่ากับ 21.45 ± 0.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ระหว่างการเกษตรปลูกพืชและพื้นที่ที่ไม่ถูกใช้งาน ทั้งนี้สรุปได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน นอกจากนี้อาจมีสาเหตุมาจากสารหรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก วัสดุปรับปรุงดิน ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช และยาฆ่าเชื้อราในการเกษตร รวมถึงปริมาณและความถี่ในการใช้สารหรือวัสดุต่าง ๆ ดังกล่าว และจากผลการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกาดเขียววางตุ้งในพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่าผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกในพื้นที่บ้านน่าน้ำมัน ตำบล น้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย มีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วสูงที่สุดบริเวณจุดเก็บที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.12 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ แคดเมียมและสารหนู บริเวณจุดเก็บที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.03 และ 0.05 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างผักกาดเขียววางตุ้งบริเวณจุดเก็บที่ 4 และไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูในตัวอย่างผักกาดเขียววางตุ้งบริเวณจุดเก็บที่ 1 3 และ 4 ทั้งนี้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดที่ตรวจพบมีค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ โดยปริมาณที่กำหนดของตะกั่วและแคดเมียมในผักใบรวมทั้งผักใบตระกูลกะหล่ำยกเว้นผักปวยเล้ง ปริมาณสูงสุดที่มีได้ไม่เกิน 0.3 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับสารหนูปริมาณสูงสุดที่มีได้ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2563) ซึ่งผลจากการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของสมสุข และคณะ (2558) ที่ศึกษาปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดงในผักสวนครัว จังหวัดมหาสารคาม โดยการนำตัวอย่างเปื่อยมาอบให้แห้งแล้วย่อยด้วยกรดไนตริกเข้มข้น หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ พบว่าผักแต่ละชนิดมีค่าโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดในปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ระดับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักเกิดขึ้น

จากการเคลื่อนย้ายวัตถุแร่ธาตุและสารต่าง ๆ ผ่านทางรากของพืชจากดินที่ปนเปื้อน นอกจากนี้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการปลดปล่อยแร่ธาตุและสารต่าง ๆ จากดินสู่พืช โลหะหนักทำให้เกิดพิษต่อร่างกาย เช่น เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน ระบบย่อยและเผาผลาญสารอาหารและระบบพลังงานบกพร่อง ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง อ่อนเพลีย มีไข้ ความดันโลหิตสูง เกิดภาวะโปรตีนในปัสสาวะสูง ไตทำงานผิดปกติ ปวดตามข้อและกระดูก สายตาพร่ามัว ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย และมีโอกาสเสียชีวิตตามมา การถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มนุษย์มีโอกาสได้รับโลหะหนักผ่านห่วงโซ่อาหาร ซึ่งในการศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินสู่พืชครั้งนี้พบปริมาณการถ่ายโอนของแคดเมียมสูงที่สุด รองลงมา คือ สารหนู และตะกั่ว โดยมีค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์อยู่ที่ 0.1801 0.0060 และ 0.0046 ตามลำดับ สำหรับการประเมินวิธีการย่อยตัวอย่าง 6 วิธีต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก โดยประเมินผ่านผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ผลที่ทุกวิธีการเตรียมตัวอย่าง คือ มีค่า $r^2 \geq 0.9950$ ผลการศึกษาค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ แสดงผลยอมรับได้ คือ มีค่าไม่เกินร้อยละ 11.00 และผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืน ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวัดได้ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ พบว่าวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดตัวรบกวนซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าร้อยละการกลับคืนของแคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู จากการทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้ง มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 99.77 98.35 และ 90.17 ตามลำดับ ถึงแม้การเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด แต่ก็มีข้อจำกัดเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาให้เป็นเถ้า นอกจากนี้ยังใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างถึง 5 ชั่วโมง รองลงมา คือ วิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริกค้างคืน วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ให้ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถวัดได้ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ และค่าร้อยละการกลับคืน อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยเฉพาะวิธีที่ 1 วิธีการย่อยด้วยกรดไนตริกชนิดเดียวในกระบวนการย่อยเพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งถือเป็นวิธีการที่ประหยัด ง่าย และมีความรวดเร็ว ด้วยเหตุผลนี้จึงนำตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดต้งทั้งหมด (ทุกจุดเก็บตัวอย่าง) มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ให้ผลการวิเคราะห์เป็นค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 85.75 82.84 และ 84.09 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ให้ค่าร้อยละการกลับคืนต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ไม่มีกรดไนตริกในกระบวนการย่อย ซึ่งกรดไนตริกเป็นสารที่ช่วยกำจัดตัวรบกวน โดยให้ค่าร้อยละการกลับคืนของตะกั่วและสารหนูอยู่ที่ร้อยละ 76.23 และ 74.89 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ในขณะที่วิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกร่วมกับกรดเปอร์คลอริก ไม่แนะนำวิธีนี้เนื่องจากกรดเปอร์คลอริกเป็นสารอันตรายที่ค่อนข้างรุนแรงกว่าสารชนิดอื่น หากเป็นสารผสมจะก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรง สามารถทำลายดวงตาและการระคายเคืองอาจทำให้ตาบอดได้ นอกจากนี้วิธีนี้ยังให้ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละการกลับคืนที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตาม AOAC International (2002) คือ มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80.00

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินและผัก กรณีศึกษาบ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ด้วยวิธีการเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งผ่านกระบวนการย่อยทั้ง 6 วิธี แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GF-AAS พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งผ่านกระบวนการย่อยทั้ง 6 วิธี ให้ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนูในตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่าวิธีที่ 6 การย่อยด้วยการเผาให้เป็นเถ้า เป็นวิธีที่สามารถกำจัดตัวรบกวนออกจากตัวอย่างผักกาดเขียวกวาดตั้งที่ทำการวิเคราะห์ได้ดีที่สุด และมีค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัด คือ มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องผ่านกระบวนการเผาให้เป็นเถ้าด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิสูง (480 องศาเซลเซียส) เพื่อกำจัดตัวรบกวนในการวิเคราะห์และใช้เวลานาน ในขณะที่เดียวกันวิธีที่ 2 การย่อยด้วยกรดไนตริก ค้างคืน ก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือและยอมรับได้เช่นเดียวกัน แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่าง (การย่อยใช้เวลา 24 ชั่วโมง) ก่อนนำมาวิเคราะห์ วิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้ สำหรับวิธีที่ 4 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับกรดเปอร์คลอริก และวิธีที่ 5 การย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก ไม่แนะนำให้ใช้ทั้ง 2 วิธีนี้ในการเตรียมตัวอย่าง เนื่องจากประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ค่อนข้างต่ำ (ค่าร้อยละการกลับคืนในการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน) และยังมีข้อจำกัดเรื่องความเป็นพิษของกรดเปอร์คลอริก ในทางกลับกันวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริก และวิธีที่ 3 การย่อยด้วยกรดไนตริกพร้อมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นวิธีที่ยอมรับได้ ค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูง และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์โดยเฉพาะวิธีที่ 1 การย่อยด้วยกรดไนตริกเพียงชนิดเดียวในกระบวนการย่อยตัวอย่างและใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างเพียง 1 ชั่วโมง ซึ่งจากการวิเคราะห์การสะสมปริมาณโลหะหนักในดิน พบว่าการสะสมปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน และจากผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนักในผักกาดเขียวกวาดตั้ง พบว่าผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 2 และ 5 มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว และสารหนู มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 ± 0.02 - 0.05 ± 0.03 0.10 ± 0.03 - 0.08 ± 0.03 และ 0.02 ± 0.03 - 0.04 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ในการศึกษาตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแคดเมียมในผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 4 และตรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารหนูในผักกาดเขียวกวาดตั้งบริเวณจุดเก็บที่ 1 3 และ 4 ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักที่พบมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน และขององค์การอนามัยโลก (WHO) การศึกษาการถ่ายโอนโลหะหนักจากดินไปสู่ผักผ่านทางรากผักพบแนวโน้มการถ่ายโอนโลหะหนักสูงที่สุด คือ แคดเมียม และน้อยที่สุด คือ ตะกั่ว

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาควรเพิ่มเติมในพื้นที่อื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืชผักที่ครอบคลุมมากขึ้น เนื่องจากการศึกษานี้เป็นเพียงกรณีศึกษาในพื้นที่เฉพาะบ้านน่าน้ำมัน ตำบลน้ำสวย อำเภอเมือง จังหวัดเลย และในอนาคตควรทำการศึกษาวิธีการบำบัดหรือลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและพืชผัก เช่น การใช้จุลินทรีย์ การใช้ปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนักที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งบประมาณต่ำ แต่ให้ผลที่น่าเชื่อถือ เพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2564). *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2564 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: <https://www.pcd.go.th/laws/25162/>.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2563). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/118/T_0017.PDF.
- ทิพวรรณ นิงน้อย. (2549). แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว. *รายงานวิจัย*. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.
- เทศบาลตำบลน้ำสวย. (2561). *แผนพัฒนาท้องถิ่น พ.ศ. 2561-2565*. สืบค้นเมื่อ 19 เมษายน 2567, จาก: https://www.kluaykwang.go.th/index/add_file/Ztx2SpiMon21132.pdf.
- นุชจรี ท้ายสนิท และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดในดินนาข้าวของจังหวัดสุโขทัย. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 99-108.
- พรรณิภา แต้มดี และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินของพื้นที่ผลิตผักเศรษฐกิจในจังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(2), 98-108.
- พุทธิธิดา ด้วงกลัด และมาริสา อินทวงศ์. (2567). การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง โดยเทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาออปติคอลอิมิสชันสเปกโทรเมตรี. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 43(1), 108-121, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.258284>.
- สมสุข ไตรศุกกิตติ มนขวัน วังกุลางกูร และวิชา เสนาจักร. (2558). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในผักโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรีในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 2(4), 127-133.

- AOAC International. (2002). *AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals*. Retrieved 19 April 2024, from: https://s27415.pcdn.co/wp-content/uploads/2020/01/64ER20-7/Validation_Methods/dAOAC_Guidelines_For_Single_Laboratory_Validation_Dietary_Supplements_and_Botanicals.pdf.
- Hseu, Z.Y. (2004). Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. *Bioresource Technology*, 95(1), 53-59, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.008>.
- Kachenko, A.G. and Singh, B. (2006). Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 169(1), 101-123, doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-2027-1>.
- Laing, G.D., Tack, F.M.G. and Verloo, M.G. (2003). Performance of selected destruction methods for the determination of heavy metals in reed plants (*Phragmites australis*). *Analytica Chimica Acta*, 497(1-2), 191-198, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.08.044>.
- Mwegoha, W. and Kihampa, C. (2010). Heavy metal contamination in agricultural soils and water in Dar es Salaam city, Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11), 763-769, doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150306.13>.
- Rashid, H., Fardous, Z., Chowdhury, A.Z., Alam, K., Bari, L., Moniruzzaman, M., and Gan, S.H. (2016). Determination of heavy metals in the soils of tea plantations and in fresh and processed tea leaves: An evaluation of six digestion methods. *Chemistry Central Journal*, 10(7), doi: <https://doi.org/10.1186/s13065-016-0154-3>.