

การวัดปริมาณสารตะกั่วปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มรสโกโก้ที่จำหน่ายในประเทศไทย DETERMINATION OF LEAD CONTAMINATION IN COCOA-FLAVORED PROTEIN POWDER SUPPLEMENTS AVAILABLE IN THAILAND

(Received: July 15,2026 ; Revised: July 17,2026 ; Accepted: July 19,2026)

นิรมล ไบปกทอง¹ ธรณวิฐ วัฒนาเศรษฐ²

Niramom Baipokthong¹ Thunnawat Wattanaseth²

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารตะกั่ว (Pb) ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มรสโกโก้และรสช็อกโกแลตที่จำหน่ายในประเทศไทย และจำแนกผลตามประเภทผลิตภัณฑ์ การศึกษาเป็นการวิจัยเชิงพรรณนาทางห้องปฏิบัติการ โดยคัดเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 20 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเวย์โปรตีน 10 ตัวอย่าง และโปรตีนจากพืช 10 ตัวอย่าง วิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ตามวิธีมาตรฐาน AOAC

ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้ง 20 ตัวอย่างมีปริมาณสารตะกั่วต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ (LOD = 0.12 mg/kg) โดยทั้งกลุ่มเวย์โปรตีนและโปรตีนจากพืชให้ผล Not Detected ทุกตัวอย่าง และไม่สามารถประเมินความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้

คำสำคัญ: โปรตีนผงชงดื่ม, สารตะกั่ว, เวย์โปรตีน, โปรตีนจากพืช

ABSTRACT

This study was survey research aimed to determine the concentration of lead (Pb) in cocoa- and chocolate-flavored protein powder products available in Thailand and classify the results according to product types. This laboratory-based descriptive study selected 20 samples using purposive sampling, including 10 whey protein products and 10 plant-based protein products. Lead concentrations were determined using Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) according to the AOAC standard method.

The results showed that all 20 samples had lead concentrations below the detection limit of the analytical method (LOD = 0.12 mg/kg). Both whey protein and plant-based protein groups showed Not Detected results in all samples. Therefore, differences in lead concentrations between the two product groups could not be assessed because all detected values were below the analytical detection limit

Keywords: Protein powder supplement, Lead, Whey protein, Plant-based protein

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่ม (protein powder supplements) ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่ใส่ใจสุขภาพ ผู้ที่ออกกำลังกาย และผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก

เนื่องจากเป็นแหล่งโปรตีนที่สะดวกต่อการบริโภค และสามารถช่วยเสริมปริมาณโปรตีนที่ร่างกายต้องการ อย่างไรก็ตาม การบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการได้รับสารปนเปื้อนสะสมในระยะยาว หากผลิตภัณฑ์มีการ

¹ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ) วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจ

² ดร.นายแพทย์ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ corresponding author

ปนเปื้อนของสารอันตรายจากวัตถุพิษหรือกระบวนการผลิต^{1,2}

สารตะกั่ว (Lead; Pb) เป็นโลหะหนักที่ไม่มีบทบาททางชีวภาพในร่างกายมนุษย์และมีความเป็นพิษสูง สามารถสะสมในร่างกายและส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบไต และระบบโลหิต รวมถึงกระตุ้นการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) และรบกวนกระบวนการสร้างฮีโมโกลบิน (heme synthesis)^{3,4} การได้รับสารตะกั่วในปริมาณต่ำอย่างต่อเนื่องสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรที่มีความไวต่อสารพิษ⁵

จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารบางชนิดอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยระดับการปนเปื้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ได้แก่ แหล่งที่มาของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และระบบควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์^{6,7,8} โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของโกโก้ (cocoa) ซึ่งมีรายงานการตรวจพบโลหะหนัก เช่น ตะกั่วและแคดเมียม เนื่องจากโกโก้ อาจเกิดการสะสมโลหะหนักจากสิ่งแวดล้อมในระหว่างการเพาะปลูกและกระบวนการแปรรูป⁹

ผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ โปรตีนจากสัตว์ เช่น เวย์โปรตีน (whey protein) และโปรตีนจากพืช (plant-based protein) ซึ่งอาจมีปัจจัยเสี่ยงต่อการปนเปื้อนแตกต่างกัน โดยโปรตีนจากพืชอาจเกี่ยวข้องกับการสะสมโลหะหนักจากดินและแหล่งน้ำ ขณะที่เวย์โปรตีนอาจเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อน การผลิต และการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีข้อมูลเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงจากต่างประเทศ แต่ข้อมูลในบริบทของประเทศไทยยังมีจำกัด ซึ่งอาจมีความแตกต่างด้านแหล่งวัตถุดิบ มาตรฐานการผลิต และระบบควบคุมคุณภาพ ดังนั้น

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณสารตะกั่วในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มรสโกโก้และรสช็อกโกแลตที่จำหน่ายในประเทศไทย และจำแนกผลตามประเภทผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานด้านความปลอดภัยอาหารและสนับสนุนการเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มรสโกโก้ ที่จำหน่ายในประเทศไทย จำแนกผลตามประเภทผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เวย์โปรตีนและโปรตีนจากพืช และประเมินผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยอาหารที่เกี่ยวข้อง

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มรสโกโก้และรสช็อกโกแลตที่จำหน่ายในประเทศไทย โดยประชากรที่ศึกษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่มที่มีจำหน่ายผ่านช่องทางออนไลน์และร้านค้าทั่วไป กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 20 ตัวอย่าง แบ่งเป็นผลิตภัณฑ์เวย์โปรตีน (whey protein) จำนวน 10 ตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช (plant-based protein) จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์มีโกโก้หรือช็อกโกแลตเป็นส่วนประกอบหลัก มีบรรจุภัณฑ์สมบูรณ์ มีข้อมูลผลิตภัณฑ์ครบถ้วน และยังไม่หมดอายุ ณ วันที่เก็บตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วดำเนินการโดยใช้เทคนิค Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่าง

อาหารที่มีความซับซ้อนของเมทริกซ์ (complex matrix) โดยดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน AOAC ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แร่ธาตุและโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหาร¹⁰ การตรวจวิเคราะห์ดำเนินการในห้องปฏิบัติการบริษัท กฤษฏา แลบบอราทอรีส์ จำกัด ซึ่งได้รับการรับรองระบบคุณภาพ ISO/IEC 17025:2017 เพื่อควบคุมคุณภาพ ความถูกต้อง และความสามารถในการสอบกลับของผลการวิเคราะห์

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถูกเตรียมโดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างตามวิธีมาตรฐาน จากนั้นทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก (HNO₃) ภายใต้สภาวะควบคุม เพื่อเปลี่ยนสารประกอบของตะกั่วให้อยู่ในรูปสารละลาย ก่อนนำเข้าสู่เครื่อง ICP-OES สำหรับตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกั่วที่ความยาวคลื่นจำเพาะ และรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) ตามหลักการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES¹¹

ผลการตรวจวิเคราะห์รายงานเป็นค่าความเข้มข้นของสารตะกั่ว โดยค่าที่ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ (Limit of Detection; LOD) รายงานเป็น Not Detected (ND) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน และร้อยละ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวิเคราะห์สารตะกั่วในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงขี้ผึ้งตามประเภทผลิตภัณฑ์

ประเภทโปรตีน	จำนวนตัวอย่าง	ผลการตรวจวัด Pb	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
Whey	10	Not Detected	0.12	0.50	ผ่านเกณฑ์
Plant-based	10	Not Detected	0.12	0.50	ผ่านเกณฑ์
รวม	20	Not Detected	0.12	0.50	ผ่านเกณฑ์

* ND (Not Detected) หมายถึง ตรวจไม่พบสารตะกั่วในระดับที่สูงกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ โดยมีค่า LOD เท่ากับ 0.12 mg/kg และค่า LOQ เท่ากับ 0.50 mg/kg

เมื่อนำผลการตรวจวิเคราะห์จำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์เวย์โปรตีนและผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชมีผลการตรวจวิเคราะห์สาร

จริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้ไม่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง และได้รับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต เลขที่ DPUHREC 0107/2568 วันที่ 1 กรกฎาคม 2569

ผลการศึกษา

ผลิตภัณฑ์โปรตีนผงขี้ผึ้งที่นำมาศึกษาจำนวน 20 ตัวอย่าง แบ่งเป็นผลิตภัณฑ์เวย์โปรตีน (whey protein) จำนวน 10 ตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืช (plant-based protein) จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งคัดเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยผ่านช่องทางออนไลน์และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่ว (Pb) ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงขี้ผึ้งจำนวน 20 ตัวอย่าง พบว่าทุกตัวอย่างมีผลการตรวจวิเคราะห์เป็น Not Detected (ND) โดยมีค่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ (Limit of Detection; LOD) เท่ากับ 0.12 mg/kg และค่าขีดจำกัดการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) เท่ากับ 0.50 mg/kg ดังแสดงในตารางที่ 1

ตะกั่วเป็น ND ทุกตัวอย่าง จึงไม่สามารถประเมินความแตกต่างของระดับสารตะกั่วระหว่างผลิตภัณฑ์

ทั้งสองกลุ่มได้ เนื่องจากค่าที่ตรวจพบอยู่ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์

เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์กับเกณฑ์มาตรฐานด้านความปลอดภัยอาหารที่เกี่ยวข้อง พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณสารตะกั่ว (Lead; Pb) ในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงขงดื่มรสโกโก้และรสช็อกโกแลตที่จำหน่ายในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ตัวอย่างมีผลการตรวจวิเคราะห์สารตะกั่วเป็น Not Detected (ND) โดยมีค่า LOD เท่ากับ 0.12 mg/kg แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารตะกั่วในตัวอย่างอยู่ต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษา

ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการประเมินความปลอดภัยด้านสารปนเปื้อนในอาหาร ซึ่งการรายงานผลเป็น Not Detected หมายถึงปริมาณสารอยู่ต่ำกว่าความสามารถในการตรวจวัดของวิธีวิเคราะห์ ไม่ได้หมายความว่าสารดังกล่าวไม่มีอยู่ในตัวอย่างทั้งหมด โดยการแปลผลจำเป็นต้องพิจารณาพร้อมกับค่า LOD และ LOQ ของวิธีวิเคราะห์¹²

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานด้านสารตะกั่ว พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษา โดย Codex Alimentarius กำหนดแนวทางควบคุมสารปนเปื้อนในอาหารเพื่อจำกัดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค และการประเมินความเสี่ยงควรพิจารณาพร้อมกับระดับการได้รับสัมผัสจากการบริโภค¹³

เมื่อจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ พบว่าเวย์โปรตีนและโปรตีนจากพืชมีผลการตรวจวิเคราะห์เป็น ND ทุกตัวอย่าง จึงไม่สามารถประเมินความแตกต่างของระดับสารตะกั่วระหว่างสองกลุ่มได้

อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชอาจมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนักมากกว่าเนื่องจากวัตถุดิบจากพืชสามารถสะสมโลหะหนักจากดิน น้ำ และสิ่งแวดล้อมในระหว่างการเพาะปลูกได้²

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของโกโก้ พบว่ามีรายงานการตรวจพบโลหะหนัก เช่น ตะกั่วและแคดเมียมในผลิตภัณฑ์โกโก้จากบางแหล่งผลิต ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพของดิน แหล่งเพาะปลูก กระบวนการเก็บเกี่ยว และการแปรรูป⁹ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษารังนี้ไม่พบสารตะกั่วในระดับที่สูงกว่าค่า LOD ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งอาจสะท้อนถึงการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษา

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์โปรตีนผงขงดื่มรสโกโก้และรสช็อกโกแลตที่ศึกษาไม่พบสารตะกั่วในระดับที่สูงกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ และมีผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากผลิตภัณฑ์โปรตีนผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคบางกลุ่มมีการบริโภคเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง การเฝ้าระวังการปนเปื้อนโลหะหนักจึงยังมีความจำเป็น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของโกโก้หรือวัตถุดิบจากพืช ซึ่งอาจมีโอกาสดำเนินการปนเปื้อนจากแหล่งเพาะปลูก สิ่งแวดล้อม หรือกระบวนการผลิต

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุนระบบการเฝ้าระวังและตรวจติดตามโลหะหนักในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารอย่างต่อเนื่อง รวมถึงส่งเสริมแนวทางควบคุมคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปสำหรับผู้ผลิตควรให้ความสำคัญกับการคัดเลือกแหล่งวัตถุดิบ การตรวจสอบคุณภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต และการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

สำเร็จรูป เพื่อควบคุมความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของโลหะหนัก

สำหรับการศึกษาครั้งต่อไป ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้ครอบคลุมผลิตภัณฑ์หลายประเภท หลายแหล่งจำหน่าย และหลายช่วงเวลา เพื่อสะท้อนสถานการณ์การปนเปื้อนในตลาดประเทศไทยได้มากขึ้น รวมถึงควรศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อน เช่น แหล่งที่มาของวัตถุดิบ ประเทศผู้ผลิต กระบวนการแปรรูป และควรวิเคราะห์โลหะหนักชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) และปรอท (Hg) เพื่อประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นายแพทย์ธรณัฐ วัฒนาเศรษฐ์

สำหรับคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และการสนับสนุนตลอดกระบวนการวิจัย ซึ่งช่วยให้การศึกษานี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ และมีคุณค่าทางวิชาการ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ สำหรับความรู้ แนวคิด และประสบการณ์ทางวิชาการที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนางานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วง และเจ้าหน้าที่ที่คณะผู้ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานและอำนวยความสะดวกในระหว่างดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการ หน่วยงานภาครัฐ ผู้ผลิตและผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภค ผู้ประกอบการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารตะกั่วในผลิตภัณฑ์โปรตีนผงชงดื่ม และสนับสนุนการพัฒนาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Journal. 2010;8(4):1570. doi:10.2903/j.efsa.2010.1570.
2. Bandara SB, Towle KM, Monnot AD. A human health risk assessment of heavy metal ingestion among consumers of protein powder supplements. Toxicology Reports. 2020;7:1255-1262. doi:10.1016/j.toxrep.2020.08.001.
3. Flora G, Gupta D, Tiwari A. Toxicity of lead: A review with recent updates. Interdisciplinary Toxicology. 2012;5(2):47-58. doi:10.2478/v10102-012-0009-2.
4. Patrick L. Lead toxicity, a review of the literature. Part 1: Exposure, evaluation, and treatment. Alternative Medicine Review. 2006;11(1):2-22.
5. World Health Organization. Lead poisoning and health [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023 [cited 2026 Jul 11]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
6. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. EXS. 2012;101:133-164. doi:10.1007/978-3-7643-8340-4_6.
7. Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon. 2020;6(9):e04691. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04691.
8. Abt E, Robin LP. Perspective on cadmium and lead in cocoa and chocolate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020;68(46):13067-13079. doi:10.1021/acs.jafc.0c02131.

9. Abt E, Fong Sam J, Gray P, Robin LP. Cadmium and lead in cocoa powder and chocolate products in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(37):9493-9501.
10. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 21st ed. Rockville, MD: AOAC International; 2019.
11. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Method 200.7: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Revision 4.4. Cincinnati: Environmental Monitoring Systems Laboratory; 1994.
12. Thompson M, Ellison SLR, Wood R. Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis. *Pure Appl Chem*. 2002;74(5):835-855.
13. Codex Alimentarius Commission. *General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995)*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization; 2023.