

การสำรวจปริมาณการปนเปื้อนของสารตะกั่วในผงโกโก้ที่ผลิตในประเทศไทย

Survey of Lead Contamination Levels in Cocoa Powder Produced in Thailand

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้แท้ 100% ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งเพาะปลูกในประเทศไทย

วิธีการศึกษา: การวิจัยเชิงสำรวจภาคตัดขวาง (cross-sectional study) คัดเลือกตัวอย่างผงโกโก้แท้ 100% แบบเจาะจง

(purposive sampling) จำนวน 15 ตัวอย่าง จากผู้ผลิตหรือวิสาหกิจชุมชนโดยตรง และ/หรือซื้อจากผู้ผลิตที่ขายบนแพลตฟอร์มออนไลน์

โดยทุกตัวอย่างสามารถยืนยันแหล่งกำเนิดของเมล็ดโกโก้ที่เพาะปลูกในประเทศไทยได้ การวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วใช้เทคนิค Inductively

Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ตามวิธีอ้างอิง AOAC (2023) 999.10 ที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

โดยมีค่า limit of detection (LOD) เท่ากับ 0.040 mg/kg และ limit of quantitation (LOQ) เท่ากับ 0.075 mg/kg

ผลการศึกษา: ตัวอย่างผงโกโก้จำนวน 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ 53.33) ไม่พบการปนเปื้อนของสารตะกั่วในระดับที่ตรวจวัดได้ (<LOD;

0.040 mg/kg) ขณะที่ 7 ตัวอย่าง (ร้อยละ 46.67) ตรวจพบการปนเปื้อน โดย 3 ตัวอย่างมีปริมาณที่สามารถรายงานเชิง ปริมาณได้ที่ 0.102,

0.101 และ 0.096 mg/kg ตามลำดับ และอีก 4 ตัวอย่างมีปริมาณต่ำกว่าค่า LOQ ทั้งนี้ ตัวอย่างทั้ง 15 ตัวอย่าง มีปริมาณสารตะกั่วต่ำกว่า

เกณฑ์มาตรฐานสูงสุดที่ 1.0 mg/kg ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414 (พ.ศ. 2563)

สรุป: ผงโกโก้ที่ผลิตจากแหล่งปลูกในประเทศไทยมีระดับการปนเปื้อนของสารตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยของ

ประเทศ อย่างไรก็ตาม การบริโภคตัวอย่างที่พบการปนเปื้อนสูงสุดในปริมาณ 5–8 กรัมต่อวันอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้ได้รับสารตะกั่วเกิน

เกณฑ์ Maximum Allowable Dose Level (MADL) ตาม California Proposition 65 (0.5 µg/วัน) ประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้บริโภคโดยเฉพาะ

เด็กและหญิงมีครรภ์ จึงควรควบคุมปริมาณการบริโภคผงโกโก้และรับประทานอาหารหลากหลายเพื่อลดความเสี่ยงจากการสะสมโลหะหนัก

ในระยะยาว

คำสำคัญ: ผงโกโก้, สารตะกั่ว, การปนเปื้อน, ICP-MS, ประเทศไทย

Abstract

Objective: To quantify lead residues in 100% pure cocoa powder manufactured from cocoa beans cultivated in Thailand.

Methods: A cross-sectional survey was conducted using purposive sampling to collect 15 samples of 100% pure cocoa

powder directly from manufacturers or community enterprises, and/or purchased from producers selling on online platforms. All

samples were verified to originate from cocoa beans cultivated in Thailand. Lead concentrations were determined by Inductively

Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) in accordance with AOAC (2023) reference method 999.10 at Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd., with a limit of detection (LOD) of 0.040 mg/kg and a limit of quantitation (LOQ) of 0.075 mg/kg.

Results: Eight samples (53.33%) contained no detectable lead (<LOD; 0.040 mg/kg), while lead was detected in the remaining seven samples (46.67%). Of these, three samples yielded quantifiable concentrations of 0.102, 0.101, and 0.096 mg/kg, respectively, and four samples contained trace amounts below the LOQ. All 15 samples remained below the maximum permissible limit of 1.0 mg/kg stipulated by the Ministry of Public Health Notification No. 414 (B.E. 2563).

Conclusion: Cocoa powder produced from Thai-grown sources contained lead contamination within national safety standards. However, sustained daily consumption of 5–8 grams from samples with the highest detected lead levels may result in cumulative exposure exceeding the Maximum Allowable Dose Level (MADL) under California Proposition 65 (0.5 µg/day) of the United States. Consumers — particularly children and pregnant women — should monitor their cocoa powder intake and maintain a diversified diet to reduce the risk of long-term heavy metal bioaccumulation.

Keywords: Cocoa powder, Lead, Contamination, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), Thailand

บทนำ

ผงโกโก้ได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ด้วยภาพลักษณ์ของอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วย ฟลาโวนอลและแร่ธาตุหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาที่พบว่าผงโกโก้ หรือผลิตภัณฑ์โกโก้ในรูปแบบต่างๆ อาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยเฉพาะสารตะกั่วซึ่งสามารถสะสมในส่วนของเนื้อโกโก้ (cocoa solids) ผ่านกระบวนการตั้งแต่การเพาะปลูกไปจนถึงการแปรรูป^{1,2,3}

สารตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นโลหะหนักที่มีความเป็นพิษสูงและที่สำคัญคือ ไม่มีระดับการรับสัมผัสใดที่ถือว่าปลอดภัยต่อสุขภาพ⁴ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) และศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention: CDC) ยืนยันตรงกันว่า แม้ร่างกายจะได้รับตะกั่วในปริมาณน้อยก็สามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้^{4,5} เมื่อรับประทานเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วจะถูกสะสมในกระดูกและฟันได้นาน 25–40 ปี และสามารถปลดปล่อยกลับเข้าสู่กระแสเลือดได้ตลอดเวลา^{6,7} สำนักงานวิจัยมะเร็งนานาชาติ (IARC) จัดสารตะกั่วอนินทรีย์ไว้ในกลุ่ม 2A คือเป็นสารที่อาจก่อมะเร็งในมนุษย์⁸ การได้รับสารตะกั่วในปริมาณต่ำมากในระยะสั้นอาจไม่แสดงอาการทางคลินิกที่ชัดเจน โดยสัญญาณที่พบได้อาจเป็นเพียงระดับตะกั่วในเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การได้รับสารตะกั่วในปริมาณสูงในระยะสั้น หรือการได้รับอย่างต่อเนื่องในระยะยาว มีแนวโน้มก่อให้เกิดอาการและผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในเด็ก หากได้รับสารตะกั่วในระดับเพียงพอที่จะเป็นอันตรายได้และหากรับต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (เช่น หลายสัปดาห์ถึงหลายเดือน) อาจก่อให้เกิดความเสียหายถาวรต่อระบบประสาทส่วนกลาง ส่งผลให้เกิดความบกพร่องด้านการเรียนรู้ ความผิดปกติด้านพัฒนาการ และปัญหาสุขภาพระยะยาวอื่นๆ^{8,9,10} สำหรับผู้ใหญ่ การได้รับสารตะกั่วอย่างเรื้อรังมีความสัมพันธ์กับการเกิดความผิดปกติของการทำงานของไต ภาวะ

1 ความดันโลหิตสูง และผลกระทบต่องานด้านการรับรู้และระบบประสาท^{8,9,11,12} กลุ่มเสี่ยงสำคัญคือเด็กเล็ก (อายุน้อยกว่า 6 ปี) และหญิง
2 ตั้งครรภ์^{4,5,13} ในแง่ของการได้รับสารตะกั่วจากอาหาร นักวิทยาศาสตร์ขององค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Food and Drug
3 Administration: US FDA) รายงานว่าผู้ใหญ่ชาวอเมริกันได้รับสารตะกั่วจากอาหารโดยเฉลี่ยสูงสุดถึง 5.3 μg ต่อวัน¹⁴ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์
4 Maximum Allowable Dose Level (MADL) ตาม California Proposition 65 ที่กำหนดไว้เพียง 0.5 μg ต่อวันถึงกว่า 10 เท่า โดยเกณฑ์
5 ดังกล่าวถือเป็นมาตรฐานคุ้มครองสุขภาพผู้บริโภคที่เข้มงวดที่สุดในปัจจุบัน¹⁵

6 หลักฐานจากงานวิจัยหลายฉบับชี้ว่า ผงโกโก้มักพบการปนเปื้อนของสารตะกั่วในระดับที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตประเภทอื่น
7 การศึกษาของ Abt และคณะ (ค.ศ. 2018) ที่สุ่มตรวจผงโกโก้และผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตในสหรัฐอเมริกาจำนวน 144 ตัวอย่าง พบว่าผงโกโก้มี
8 ค่าเฉลี่ยการปนเปื้อนของสารตะกั่วสูงสุดที่ 0.11 mg/kg ในขณะที่ดาร์กช็อกโกแลต มิลค์ช็อกโกแลต และโกโก้ nibs มีค่าต่ำกว่าอย่างชัดเจน¹
9 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lo Dico และคณะ (ค.ศ. 2018) ที่สำรวจผงโกโก้และช็อกโกแลตในประเทศอิตาลีจำนวน 145 ตัวอย่าง พบว่า
10 ปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ total dry cocoa solids ในผลิตภัณฑ์ โดยผงโกโก้มีปริมาณตะกั่วสูงสุดและมีค่ามัธยฐานสูงถึง 0.417
11 mg/kg²

12 ในบริบทของประเทศไทย ตลาดผลิตภัณฑ์โกโก้และช็อกโกแลตในปี พ.ศ. 2567 มีมูลค่าประมาณ 8,699 ล้านบาท เติบโตขึ้นถึงร้อยละ 4.7 จากปีก่อน¹⁶ ขณะที่การเพาะปลูกโกโก้ขยายตัวครอบคลุมทุกภูมิภาคตั้งแต่ภาคเหนือถึงภาคใต้¹⁷ แม้ตลาดจะเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่
13 งานวิจัยที่มุ่งตรวจสอบปริมาณสารตะกั่วในผงโกโก้ที่ผลิตในประเทศไทยโดยตรงยังมีอยู่อย่างจำกัด การสำรวจที่ผ่านมาในประเทศไทยส่วนใหญ่เน้นผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตสำเร็จรูป^{18,19} ไม่ใช่ผงโกโก้ที่ผู้บริโภคนำไปชงดื่มหรือใช้ทำขนมโดยตรง ทั้งนี้ ในระดับสากล ข้อมูลการศึกษา
14 เปรียบเทียบการปนเปื้อนของสารตะกั่ว รวมถึงโลหะหนักอื่นๆในผงโกโก้ และผลิตภัณฑ์โกโก้รูปแบบต่างๆ เช่น เมล็ดโกโก้กะเทาะเปลือก
15 (Cocoa nibs) เนื้อโกโก้ที่ได้จากเมล็ดโกโก้ที่ผ่านกระบวนการสกัด โกโก้ชั่นเหลว (Cocoa liquor) เป็นต้น โดยตัวอย่างมาจากแหล่งผลิตโกโก้
16 ขนาดใหญ่ของโลก เช่น สาธารณรัฐไอวอรีโคสต์ สาธารณรัฐกานา พบว่าระดับของสารโลหะหนักปนเปื้อนมีปริมาณที่แตกต่างกันตามสภาพ
17 ภูมิประเทศและกระบวนการสกัด²⁰ อย่างไรก็ตามยังมีข้อมูลในลักษณะเดียวกันค่อนข้างน้อยสำหรับผงโกโก้ หรือผลิตภัณฑ์โกโก้ที่ผลิตใน
18 ประเทศกลุ่มอาเซียน และประเทศไทย

21 การศึกษารุ่นนี้จึงมุ่งสำรวจปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้แท้ 100% ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งเพาะปลูกในประเทศไทย เพื่อ
22 เป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยเบื้องต้นของปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้ สำหรับผู้บริโภคและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์
23 ต่อไป

24 วัตถุประสงค์ของการวิจัย: เพื่อศึกษาปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้แท้ 100% ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งเพาะปลูกในประเทศไทย
25 ไทย

26 วิธีการศึกษา

27 รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจภาคตัดขวาง (cross-sectional study) แบบเชิงปริมาณ (quantitative) โดยเก็บรวบรวม ตัวอย่างและข้อมูลเพียงครั้งเดียวในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2569 ไม่มีการติดตามผลย้อนหลังหรือขยายผลไปยังช่วงเวลาอื่น

การคัดเลือกตัวอย่าง

ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Nonprobability Sampling) โดยเลือกใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวอย่างตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกตัวอย่างจากผู้ผลิตหรือ วิสาหกิจชุมชนโดยตรง และ/หรือจากผู้ผลิตที่จำหน่ายผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยพิจารณาเฉพาะผงโกโก้แท้ 100% ที่สามารถตรวจสอบ หรือยืนยันแหล่งที่มาของเมล็ดโกโก้ได้อย่างชัดเจน และเป็นโกโก้ที่เพาะปลูกภายในประเทศไทยเท่านั้น รวมตัวอย่างทั้งสิ้น 15 ชนิด ที่แตกต่างกัน ซึ่งผงโกโก้บางตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากการแบ่งซื้อในปริมาณย่อยจากผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย มิใช่บรรจุภัณฑ์ขนาด จำหน่ายปลีกที่วางขายในตลาดอย่างเป็นทางการ จึงอาจไม่มีเลขสารบบอาหารปรากฏบนฉลาก

เกณฑ์การคัดเลือก: (1) เป็นผงโกโก้แท้ 100% ที่ไม่มีส่วนผสมอื่นเจือปน เช่น น้ำตาล สารให้ความหวาน ครีมเทียม แป้ง นม หรือ ถั่วชนิดต่าง ๆ (2) บรรจุในบรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิ ขนาดบรรจุไม่ต่ำกว่า 100 กรัม (3) สามารถระบุจังหวัดแหล่งที่มาของเมล็ดโกโก้ในประเทศไทย หรือสามารถยืนยันแหล่งกำเนิดจากผู้ผลิตได้ (4) สามารถสั่งซื้อได้จากผู้ผลิตหรือวิสาหกิจชุมชนโดยตรง (5) ยังไม่หมดอายุ และ (6) บรรจุภัณฑ์อยู่ในสภาพสมบูรณ์

เกณฑ์การคัดออก: (1) ผงโกโก้นำเข้าจากต่างประเทศ (2) ผงโกโก้ที่นำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศมาแบ่งบรรจุภายใน ประเทศ (repackaging) (3) ผงโกโก้ที่ไม่ระบุแหล่งที่มาของวัตถุดิบ หรือไม่สามารถระบุจังหวัดแหล่งเพาะปลูกในประเทศไทยอย่าง ชัดเจน (4) ผงคาเคา (cacao powder) ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการคั่วด้วยความร้อนสูงตามมาตรฐานการผลิตผงโกโก้ทั่วไป และ (5) ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะ เป็นโกโก้บดสับหยาบ (ground cocoa nibs) ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผงละเอียด

อนึ่ง ในการศึกษาครั้งนี้ คำว่า "ผลิตภัณฑ์" หมายถึง ผงโกโก้แท้ 100% ที่ได้รับอนุญาตเลขสารบบอาหารจากสำนักงานคณะกรรมการ อาหารและยา (อย.) เรียบร้อยแล้ว ส่วนตัวอย่างที่ยังไม่มีเลขสารบบอาหาร จะเรียกว่า "ตัวอย่าง" หรือ "ผงโกโก้"

การวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างผงโกโก้ทั้ง 15 ตัวอย่างถูกบันทึกรหัสตัวอย่าง วันหมดอายุ และรูปแบบบรรจุภัณฑ์ จากนั้นส่งตรวจวิเคราะห์ที่ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขากรุงเทพมหานคร ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 และขึ้นทะเบียนเป็นห้อง ปฏิบัติการตรวจสอบความปลอดภัยทางอาหารของประเทศไทย²¹ โดยใช้เทคนิค ICP-MS ซึ่งเป็น Gold standard ในการวิเคราะห์โลหะหนัก ในอาหาร²² ตามวิธี in-house method TE-C-H-134 ซึ่งอ้างอิงจาก AOAC (2023) 999.10 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการนำผงโกโก้ ที่ผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenized) มาใส่ในภาชนะปิด (closed vessels) เติมนิโตรเจนไตรออกไซด์ (HNO₃) ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ (H₂O₂) แล้วย่อยสลายตัวอย่างด้วยพลังงานไมโครเวฟ (microwave digestion) ภายใต้ความร้อนและความดันสูง เพื่อกำจัดสาร

1 อินทรีย์ออกจากตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปเจือจาง (diluted) ก่อนส่งเข้าเครื่อง ICP-MS เพื่อตรวจวัดปริมาณตะกั่วในรูปไอออน
2 ประจวบกับ รายงานผลเป็น mg/kg

3 เกณฑ์กำหนดการตรวจพบสารตะกั่ว ดังนี้

4 (1) ตรวจไม่พบ (Not detected) หมายถึง ตัวอย่างที่มีปริมาณสารตะกั่วต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ (Limit of
5 Detection; LOD = 0.040 mg/kg)

6 (2) ตรวจพบแต่ต่ำกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ (Detected <LOQ) หมายถึง ตัวอย่างที่สามารถตรวจพบสัญญาณของสารตะกั่วได้
7 แต่มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ = 0.075 mg/kg)

8 (3) ตรวจพบ (Detected) หมายถึง ตัวอย่างที่มีปริมาณสารตะกั่วในระดับตั้งแต่ค่า LOQ ขึ้นไป หรือเครื่อง ICP-MS สามารถระบุ
9 ปริมาณสารตะกั่วได้อย่างแม่นยำ

10 ข้อมูลสถิติวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) และนำเสนอในรูปแบบจำนวน ความถี่ และร้อยละ เพื่ออธิบาย
11 ลักษณะทั่วไปของผลิตภัณฑ์และผลการตรวจวิเคราะห์สารตะกั่ว นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์การกระจายเชิงพื้นที่ (descriptive spatial
12 analysis) เพื่อแสดงการกระจายตัวของการตรวจพบสารตะกั่วตามจังหวัดแหล่งเพาะปลูกวัตถุดิบโกโก้ในประเทศไทย

13 ผลการศึกษา

14 ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่าง

15 ตัวอย่างผงโกโก้แท้ 100% ทั้ง 15 ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ส่วนใหญ่บรรจุในซอง (ร้อยละ 46.67) รองลงมาเป็นถุง (ร้อยละ 33.33)
16 และที่เหลือบรรจุในกระปุก ปริมาณบรรจุต่อตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ที่ 250 กรัม แหล่งวัตถุดิบของเมล็ดโกโก้กระจายอยู่ในหลายภูมิภาคของ
17 ประเทศไทย โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่พบมาจากจังหวัดในภาคใต้และภาคเหนือ ทั้งนี้ จากตัวอย่างทั้งหมด 15 ตัวอย่าง พบว่า 11
18 ตัวอย่าง (ร้อยละ 73.33) ยังไม่มีเลขสารบบอาหารของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) 13 หลัก ขณะที่อีก 4 ตัวอย่าง (ร้อยละ
19 26.67) ได้รับการอนุญาตเลขสารบบอาหารเรียบร้อยแล้ว

20 ผลการตรวจวัดปริมาณสารตะกั่วตกค้าง

21 จากการวิเคราะห์ตัวอย่างผงโกโก้ทั้ง 15 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 พบว่าผงโกโก้จำนวน 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ
22 53.33) ไม่พบการปนเปื้อนของสารตะกั่วในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ (not detected; <LOD) ขณะที่อีก 7 ตัวอย่าง (ร้อยละ 46.67) ตรวจพบ
23 การปนเปื้อนของสารตะกั่วในระดับที่ต่างกัน

24 เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มที่ตรวจพบการปนเปื้อน สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยตามระดับความเข้มข้น กลุ่มแรก ประกอบด้วย 4
25 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างรหัส C, F, I และผลิตภัณฑ์รหัส K ตรวจพบแต่ต่ำกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ (Detected <LOQ) ซึ่งมีความเข้มข้น
26 ของตะกั่วอยู่ในช่วง 0.040–0.075 mg/kg อยู่ในระดับร่องรอย (trace level) กลุ่มที่สองประกอบด้วย 3 ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว
27 เพียงพอจะรายงานเชิงปริมาณได้อย่างแม่นยำ โดยผลิตภัณฑ์รหัส B มีค่าสูงสุดที่ 0.102 mg/kg รองลงมาคือ ตัวอย่างรหัส O ที่ 0.101 mg/kg

และตัวอย่างรหัส J ที่ 0.096 mg/kg ตามลำดับ ถึงแม้จะตรวจพบการปนเปื้อนของสารตะกั่วใน 7 ตัวอย่าง แต่ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบ (0.102 mg/kg ใน ผลิตภัณฑ์รหัส B) ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดที่กำหนดโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414 (พ.ศ. 2563) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 1.0 mg/kg²³ โดยปริมาณที่พบคิดเป็นประมาณหนึ่งในสิบของค่ามาตรฐานดังกล่าว ตัวอย่างผงโกโก้ ทั้ง 15 ตัวอย่างจึงเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยและสามารถจำหน่ายเพื่อการบริโภคได้อย่างถูกต้องตามกฎหมายของประเทศไทย

ทั้งนี้ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการศึกษานี้มาจากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 442 (พ.ศ. 2566) เรื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเมล็ดโกโก้²⁴ ซึ่งให้อ้างอิงค่าปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414 (พ.ศ. 2563) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน เนื่องจากประกาศดังกล่าวมิได้กำหนดค่าสูงสุดของตะกั่วในหมวด "ผงโกโก้" ไว้เป็นการเฉพาะ จึงใช้เกณฑ์จากหมวด "อาหารอื่นๆ นอกเหนือจากรายการที่ระบุ" ซึ่งกำหนดปริมาณตะกั่วสูงสุดที่ยอมรับได้ไว้ที่ไม่เกิน 1.0 mg/kg²³

การจำแนกการตรวจพบตามการระบุเลขสารบบอาหาร

เมื่อจำแนกการตรวจพบสารตะกั่วตามสถานะการระบุเลขสารบบอาหาร 13 หลัก พบว่าสัดส่วนการตรวจพบในทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีเลขสารบบอาหาร 13 หลัก (n = 4) ตรวจพบสารตะกั่วรวม 2 ตัวอย่าง (ร้อยละ 50.00) แบ่ง เป็นตัวอย่างที่ตรวจพบในระดับที่สามารถรายงานค่าเชิงปริมาณได้ (detected) จำนวน 1 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ตรวจพบแต่ต่ำกว่าขีดจำกัดการรายงานเชิงปริมาณ (detected < LOQ) จำนวน 1 ตัวอย่าง ส่วนกลุ่มผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบอาหาร 13 หลัก (n = 11) ตรวจพบสารตะกั่วรวม 5 ตัวอย่าง (ร้อยละ 45.45) โดยแบ่งเป็นระดับตรวจพบแบบวัดปริมาณได้ (detected) จำนวน 2 ตัวอย่าง และตรวจพบ (detected < LOQ) จำนวน 3 ตัวอย่าง เนื่องจากจำนวนตัวอย่างน้อย จึงยังไม่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการระบุเลขสารบบอาหารกับระดับการปนเปื้อนของสารตะกั่วในเชิงสถิติได้

การจำแนกเชิงพื้นที่

ผลการวิเคราะห์การกระจายเชิงพื้นที่ (descriptive spatial analysis) ของผลการตรวจวัดสารตะกั่วในตัวอย่างผงโกโก้แท้ 100% จำนวน 15 ตัวอย่าง (รหัส A–O) แสดงให้เห็นว่าแหล่งเพาะปลูกวัตถุดิบกระจายตัวอยู่ในหลายภูมิภาคทั่วประเทศ ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ เมื่อจำแนกตามระดับการปนเปื้อน พบว่ากลุ่มที่ตรวจพบสารตะกั่วในระดับที่สามารถรายงานค่าเชิงปริมาณได้ (Detected) มาจากแหล่งปลูกในจังหวัดเชียงราย (รหัส B) นครศรีธรรมราช (รหัส J) และนราธิวาส (รหัส O) ขณะที่กลุ่มที่ตรวจพบในระดับต่ำกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ (Detected < LOQ) มาจากจังหวัดเชียงราย (รหัส C) อุทัยธานี (รหัส F) ชุมพร (รหัส K) และตัวอย่างที่ผสมวัตถุดิบจากเชียงใหม่และนครราชสีมา (รหัส I) ส่วนกลุ่มที่ไม่พบการปนเปื้อน (Not detected) กระจายอยู่ในจังหวัดน่าน ตาก ลพบุรี ศรีสะเกษ และระนอง (2 ตัวอย่าง) รวมถึงตัวอย่างที่มีแหล่งวัตถุดิบจากหลายจังหวัด ได้แก่ รหัส E (ลำปางและเชียงราย) และรหัส N (ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง และสุราษฎร์ธานี) ข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ ภายในจังหวัดเดียวกันอย่างจังหวัดเชียงราย กลับพบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่ม Detected (รหัส B) และกลุ่ม Detected < LOQ (รหัส C) โดยจะนำมาอภิปรายในส่วนถัดไป ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ครั้งนี้แสดงให้เห็น

ว่าการตรวจพบสารตะกั่วมีการกระจายตัวในหลายพื้นที่ของประเทศไทย และอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมหรือแหล่งเพาะปลูก
วัตถุดิบในแต่ละพื้นที่ หรือปัจจัยอื่น

อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้อภิปรายได้ในสามประเด็นหลัก ข้อสังเกตจากผลการศึกษา การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภค
และการเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศ

ข้อสังเกตจากผลการศึกษา

การศึกษานี้พบตัวอย่างที่มีแหล่งวัตถุดิบจากจังหวัดเดียวกัน (จังหวัดเชียงราย) มีระดับสารตะกั่วที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ได้แก่
ผลิตภัณฑ์รหัส B (0.102 mg/kg) กับรหัส C (<0.075 mg/kg) ดังแสดงในภาพที่ 2 อย่างไรก็ตาม มีข้อมูลไม่เพียงพอเกี่ยวกับกระบวนการ
ผลิตหลังการเก็บเกี่ยวของทั้งสองตัวอย่าง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาอื่น ๆ ที่ชี้ให้เห็นว่าการปนเปื้อนสารตะกั่วในโกโก้อาจไม่ได้
เกิดจากดินหรือปัจจัยทางภูมิศาสตร์โดยตรง แต่น่าจะมาจากปัจจัยในกระบวนการผลิตของแต่ละผู้ผลิต เช่น การตากเมล็ดในพื้นที่เปิดใกล้
ถนนหรือชุมชน ทำให้ฝุ่นตะกั่วในอากาศเกาะติดเปลือกเมล็ดโกโก้ที่ยังมีความชื้น^{3,20,25} การกะเทาะเปลือกเมล็ดโกโก้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้เศษ
เปลือกที่ปนเปื้อนฝุ่นที่มีโลหะหนักหลุดรอดเข้าสู่ส่วนของเนยหรือการสีหรือของเครื่องจักรที่ขัดกรีดด้วยตะกั่วซึ่งอาจปลดปล่อยตะกั่วเข้าสู่
ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการอัดไฮดรอลิกที่ใช้ความร้อนและแรงดันสูง²⁰ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Godebo และคณะ (ค.ศ. 2024)²⁶ และ
Rankin และคณะ (ค.ศ. 2005)³ ที่ระบุว่า การปนเปื้อนของสารตะกั่วในโกโก้ ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว (post-
harvest contamination) มากกว่าการดูดซึมจากรากต้นโกโก้

การที่ผงโกโก้บางตัวอย่างในการศึกษานี้ไม่มีเลขสารบบอาหารปรากฏบนฉลาก อาจเป็นผลจากรูปแบบการจำหน่ายมากกว่า
คุณภาพการผลิต เนื่องจากตัวอย่างบางส่วนได้มาจากการแบ่งซื้อในปริมาณย่อยจากผู้ผลิต/ผู้จำหน่าย มิใช่บรรจุภัณฑ์ขนาดจำหน่ายปลีกที่
วางขายในตลาดอย่างเป็นทางการ อีกทั้งกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชนที่มีลักษณะเป็นงานคราฟต์ (craft) ซึ่งผลิตจำนวนน้อยต่อล็อต
(small batch production) เอื้อให้ผู้ผลิตสามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะในขั้นตอนการตากเมล็ดที่มักใช้โรงเรือนระบบปิด
ช่วยลดการสัมผัสฝุ่นและมลพิษจากสิ่งแวดล้อม^{3,25} นอกจากนี้ การใช้เครื่องจักรขนาดเล็กที่เป็นวัสดุระดับ food-grade หรือเครื่องจักรใหม่ ยัง
เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการหลุดลอกของโลหะหนักเข้าสู่กระบวนการผลิต^{20,25} ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าสัดส่วน
การตรวจพบสารตะกั่วระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีเลขสารบบอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 50.00 และ 45.45 ตามลำดับ) และปริมาณที่ตรวจ
พบในทั้งสองกลุ่มไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ทั้งนี้ การส่งเสริมมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) และมาตรฐาน
OTOP จากภาครัฐ สามารถช่วยยกระดับการควบคุมคุณภาพสถานที่ผลิตของวิสาหกิจชุมชนได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การยกระดับสู่
มาตรฐานการผลิตอาหารที่ดีของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และการขออนุญาตเลขสารบบอาหาร จะทำให้ผงโกโก้ได้รับการ
ตรวจสอบและควบคุมที่มีมาตรฐานสูงขึ้น สามารถลดการเกิดสารปนเปื้อนและโลหะหนักได้อย่างเป็นระบบและยั่งยืน

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคผงโกโก้

การประเมินความเสี่ยงในส่วนนี้แบ่งการอภิปรายออกเป็นสองกลุ่มผู้บริโภค คือ ผู้บริโภคทั่วไปและกลุ่มเปราะบาง (เด็กและสตรีมีครรภ์) โดยเทียบผลการตรวจวัดกับเกณฑ์คุ้มครองสุขภาพที่เข้มงวดของสหรัฐอเมริกา (California Proposition 65 และ US FDA Interim Reference Level) และสหภาพยุโรป (EFSA Margin of Exposure)

การประเมินความเสี่ยงในผู้บริโภคทั่วไป

ตัวอย่างผงโกโก้ทุกตัวอย่างในการศึกษานี้มีค่าความเข้มข้นของสารตะกั่วต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสูงสุดของกฎหมายไทยที่ 1.0 mg/kg²⁴ และต่ำกว่าระดับอ้างอิงตาม California Proposition 65 (Prop 65) Settlement Agreement (2018) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโกโก้มากกว่าร้อยละ 95 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.225 mg/kg โดยค่าสูงสุดที่ตรวจพบในการศึกษานี้คือ 0.102 mg/kg¹⁵ อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ Prop 65 ยังกำหนด Maximum Allowable Dose Level (MADL) สำหรับสารตะกั่วไว้ที่ 0.5 µg ต่อวัน¹⁵

การเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุ้มครองสุขภาพสากล

ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ผู้วิจัยกำหนดขนาดหน่วยบริโภคอ้างอิงของเครื่อง ต้มโกโก้ร้อน 1 แก้ว เท่ากับผงโกโก้ 5 กรัม (ประมาณ 1 ช้อนชา) ทั้งนี้เนื่องจากผงโกโก้แท้ 100% มีความเข้มข้นของรสชาติและความขมสูง ปริมาณที่ใช้ต่อครั้งบริโภคจึงน้อยกว่าผลิตภัณฑ์โกโก้สำเร็จรูปที่มีการผสมนมและน้ำตาล จากนั้นทำการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาจำนวนหน่วยบริโภคสูงสุดต่อวัน (Maximum Allowable Servings) ที่ร่างกายสามารถบริโภคได้ก่อนจะได้รับสารตะกั่วสะสมจนแตะหรือเกินเกณฑ์ความปลอดภัยทางสุขภาพสากล โดยมุ่งเน้นไปที่เกณฑ์ที่มีความเข้มงวดสูง ได้แก่ เกณฑ์ California Proposition 65 MADL (0.5 µg/วัน)¹⁵ และเกณฑ์เฉพาะกลุ่มประชากรเปราะบาง ได้แก่ เกณฑ์ US FDA IRL สำหรับเด็ก (2.2 µg/วัน)

ทั้งนี้ สำหรับเกณฑ์ US FDA IRL ของสตรีวัยเจริญพันธุ์ (8.8 µg/วัน) เมื่อนำมาประเมินร่วมกับหน่วยบริโภคมาตรฐาน 5 กรัม พบว่าต้องบริโภคมากกว่า 17 แก้วต่อวัน จึงจะเกินเกณฑ์ความปลอดภัย ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าพฤติกรรมการบริโภคจริงในชีวิตประจำวันอย่างมาก ผู้วิจัยจึงขอเสนอผลการแสดงผลในตารางเพื่อมุ่งเน้นการสื่อสารความเสี่ยงในกลุ่มประชากรที่เปราะบาง โดยได้ทำการวิเคราะห์เจาะจงใน 3 ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนในระดับที่สามารถรายงานค่าได้อย่างแม่นยำของการศึกษารุ่นนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการประเมินพบว่า แม้ระดับการปนเปื้อนที่ตรวจพบจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อพิษเฉียบพลันจากการบริโภคเพียงครั้งเดียว 9 แต่ในกรณีที่ตัวอย่างมีการปนเปื้อนในระดับประมาณ 0.1 mg/kg การบริโภคเพียง 1 แก้ว (ใช้ผง 5 กรัม) ต่อวันก็อาจทำให้ปริมาณสารตะกั่วที่ได้รับเกินเกณฑ์ Prop 65 ได้แล้ว¹⁵ และหากบริโภคเป็นประจำต่อเนื่อง อาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการสะสมของสารตะกั่วในร่างกายและก่อให้เกิดผลกระทบทางสรีรวิทยาในระยะยาว^{4,9,27} โดยเกณฑ์ Prop 65 กำหนดระดับสูงสุดของสารตะกั่วที่ได้รับต่อวันโดยไม่ต้องติดตามเตือนผู้บริโภค (MADL) ไว้ที่ 0.5 ไมโครกรัมต่อวัน หากได้รับเกินกว่านี้ผู้ผลิตต้องติดตามเตือน เนื่องจากสารตะกั่วมีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์และพัฒนาการของทารกในครรภ์และเด็กเล็ก ทั้งนี้ Prop 65 เป็นเกณฑ์ที่องค์กรคุ้มครองผู้บริโภค เช่น Consumer Reports ใช้อ้างอิงในการประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารตะกั่วที่ได้รับจริงสำหรับแต่ละบุคคลขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของการปนเปื้อนในผงโกโก้ที่ใช้ ปริมาณผงที่ใช้ต่อครั้ง และความถี่ในการบริโภค^{4,9}

การประเมินความเสี่ยงของสารตะกั่วในกลุ่มเปราะบาง

ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารตะกั่วในระดับเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญตามกลุ่มประชากร ในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพสมบูรณ์ ร่างกายจะดูดซึมสารตะกั่วผ่านระบบทางเดินอาหารเพียงร้อยละ 5–15 ของปริมาณที่ได้รับ ขณะที่เด็กดูดซึมได้สูงถึงร้อยละ 40–50 ซึ่งสูงกว่าผู้ใหญ่ถึง 4–5 เท่า^{4,9} เนื่องจากสารตะกั่วใช้ช่องทางการขนส่งร่วมกับแร่ธาตุที่จำเป็น (แคลเซียม เหล็ก และสังกะสี) หากเด็กมีภาวะขาดแคลนแร่ธาตุดังกล่าวจะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมสารตะกั่ว⁹ นอกจากนี้ blood-brain barrier ของเด็กยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ ทำให้สารตะกั่วเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางได้โดยอิสระ ก่อให้เกิดพิษต่อระบบประสาทและอาจทำให้เกิดเป็นความเสียหายถาวรของระบบประสาท คณะกรรมการความปลอดภัยอาหารแห่งยุโรป (European Food Safety Authority: EFSA) ได้กำหนดค่า benchmark dose lower confidence limit at 1% extra risk (BMDL01) สำหรับการสูญเสียระดับสติปัญญา 1 จุด ไว้ที่ปริมาณการได้รับสารตะกั่ว 0.50 µg/kg bw/วัน²⁸ สำหรับสตรีวัยเจริญพันธุ์ที่อาจมีโอกาสดังครรภ์ ความเสี่ยงไม่จำกัดเฉพาะตัวผู้บริโภค แต่ครอบคลุมการส่งผ่านสารตะกั่วสู่ทารก สารตะกั่วในกระแสเลือดสามารถผ่านรกเข้าสู่ทารกในครรภ์ได้อย่างอิสระ¹³ ขณะเดียวกัน กระบวนการสลายกระดูกเพื่อระดมแคลเซียมสำหรับการสร้างโครงร่างของร่างกายทารกและการผลิตน้ำนม จะปลดปล่อยสารตะกั่วที่สะสมในกระดูกมาระหว่าง 25–40 ปีกลับเข้าสู่กระแสเลือด⁹ ส่งผลให้ทารกได้รับสารตะกั่วผ่านทั้งสายสะดือและน้ำนมอย่างต่อเนื่อง การประเมินความปลอดภัยของผงโกโก้จึงควรพิจารณาอย่างเข้มงวดกับเด็กและสตรีมีครรภ์

การประยุกต์ใช้เกณฑ์ FDA Interim Reference Level สหรัฐอเมริกา

US FDA ได้กำหนด Interim Reference Level (IRL) สำหรับสารตะกั่วในอาหารแยกตามกลุ่มประชากร โดยใช้หลักเกณฑ์จลนศาสตร์ในการคำนวณย้อนกลับจากค่า blood lead reference value ของ CDC ที่ 3.5 µg/dL ผ่านตัวแปรทางสรีรวิทยา ร่วมกับการประยุกต์ใช้ค่าปัจจัยความปลอดภัย (safety factor) 10 เท่า เพื่อสร้างหลักประกันว่าการได้รับสารตะกั่วจากอาหารรายวันที่ระดับ IRL จะส่งผลให้สารตะกั่วในกระแสเลือดมีระดับต่ำกว่าเกณฑ์เฝ้าระวังของ CDC ถึง 10 เท่า ค่า IRL ที่ได้แยกตามกลุ่มประชากรเปราะบาง คือ 2.2 µg/วัน สำหรับเด็ก และ 8.8 µg/วัน สำหรับสตรีวัยเจริญพันธุ์²⁸ เมื่อนำเกณฑ์ IRL มาประเมินกลุ่มตัวอย่างที่สามารถรายงานค่าเชิงปริมาณได้ (รหัส B, O และ J) โดยคำนวณเป็นจำนวนแก้วสูงสุดที่ดื่มได้ก่อนเกินเกณฑ์ และร้อยละของเกณฑ์ IRL ต่อการบริโภคในปริมาณ 1 แก้วมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

การประเมิน Margin of Exposure (MOE) ของสหภาพยุโรป

เมื่อขยายผลจากตารางที่ 2 หากเด็กดื่มผลิตภัณฑ์รหัส B จำนวน 3 แก้ว (เทียบเท่าผงโกโก้ 15 กรัม) จะได้รับสารตะกั่วคิดเป็นร้อยละ 69.5 ของเกณฑ์ IRL สำหรับเด็ก ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะตัวเลขอาจตีความได้ว่ายังอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย อย่างไรก็ตาม มีข้อที่ควรตระหนักถึงที่สำคัญคือ ผงโกโก้เป็นเพียงเครื่องดื่มหรือวัตถุดิบในขนม ไม่ใช่อาหารหลัก ขณะที่ธัญพืช ผัก เนื้อสัตว์ และน้ำดื่ม ล้วนเป็นแหล่งสะสมของสารตะกั่วในอาหารประจำวันที่มีปริมาณสูงกว่า¹⁴ ดังนั้น margin of exposure ที่แท้จริงจึงแคบลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาการสัมผัสรวมจากทุกแหล่ง

การประยุกต์ใช้วิธีการประเมิน MOE ของ EFSA สหภาพยุโรป แสดงให้เห็นความสำคัญของประเด็นนี้ในเด็ก โดย MOE คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณอ้างอิงที่ก่อให้เกิดผลเสีย (BMDL01) ต่อปริมาณการรับสัมผัสจริงของผู้บริโภค สำหรับสารตะกั่ว EFSA ระบุว่า

ค่า MOE ตั้งแต่ 10 ขึ้นไปบ่งชี้ว่าปริมาณที่ได้รับยังห่างจากระดับที่น่าเป็นห่วง ในขณะที่ค่า MOE ที่ต่ำกว่า 10 หมายความว่าปริมาณที่ได้รับจริงอยู่ในช่วงที่ไม่อาจละเลยความเสี่ยงได้และถือว่าต้องให้ความสำคัญ²⁸ สำหรับเด็กน้ำหนักเฉลี่ย 15 กิโลกรัม ค่า benchmark dose สำหรับผลกระทบต่อพัฒนาการของระบบประสาท (developmental neurotoxicity) เท่ากับ 7.5 µg/วัน (BMDL01 0.50 µg/kg bw/วัน × 15 kg)²⁸ เมื่อนำปริมาณสารตะกั่ว 1.53 µg ที่เด็กได้รับจากการบริโภคผลิตภัณฑ์รส B 15 กรัม (เทียบเท่า 3 แก้ว) มาคำนวณ ค่า MOE จะเท่ากับ 4.9 ซึ่งหมายความว่าเด็กได้รับสารตะกั่วในปริมาณที่ใกล้เคียงกับระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาการทางสมอง และ EFSA ถือว่าระดับนี้ต้องให้ความสำคัญ²⁸ ผลการประเมินนี้จึงชี้ว่า แม้ผลิตภัณฑ์รส B จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานของไทยและอยู่ในช่วงปกติของ IRL ของ US FDA แต่การบริโภคที่ระดับเข้มข้น (≥ 15 กรัม/วัน หรือประมาณ 3 แก้ว/วัน) ในเด็กไม่สามารถถือว่าปลอดภัยอย่างสมบูรณ์ เด็กและสตรีมีครรภ์จึงควรจำกัดปริมาณและความถี่ของการบริโภคผงโกโก้ที่มีการปนเปื้อนระดับใกล้เคียง 0.1 mg/kg

การเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศ

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษารัศนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศที่รายงานปริมาณการปนเปื้อนของสารตะกั่วในผงโกโก้โดยตรง ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าสูงสุดของการปนเปื้อนสารตะกั่วในผงโกโก้ของประเทศไทยเท่ากับ 0.102 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าค่าสูงสุดที่รายงานในทุกการศึกษาที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ ผงโกโก้จากประเทศอิหร่านที่มีค่าสูงสุด 1.90 mg/kg²⁹ ประเทศอิตาลี 1.228 mg/kg² กลุ่มตัวอย่างจากประเทศฝรั่งเศส สวิตเซอร์แลนด์ และโปแลนด์ 0.769 mg/kg²⁰ ผงโกโก้อร์แกนิกจากประเทศเซอร์เบีย 0.73 mg/kg³⁰ และผงโกโก้ที่จำหน่ายในตลาดสหรัฐอเมริกา 0.38 mg/kg¹

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ประมาณค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นสารตะกั่วในตัวอย่างทั้ง 15 ตัวอย่างด้วยวิธี middle-bound substitution^{31,28} ได้ค่าเฉลี่ยที่ 0.046 mg/kg ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่รายงานจากงานวิจัยต่างประเทศที่นำมาเปรียบเทียบทุกฉบับ (อยู่ในช่วง 0.11–0.417 mg/kg)^{1,2,20,29} ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยที่นำเสนอใช้สำหรับการเปรียบเทียบเชิงพรรณนาเท่านั้น มิได้นำมาใช้สำหรับการสรุปทางสถิติหรือการคำนวณปริมาณการได้รับต่อวัน และการศึกษานี้พบระดับตะกั่วของผลิตภัณฑ์รส B และตัวอย่างรส O และ J มีระดับที่มากกว่า LOQ แต่ไม่เกินมาตรฐานที่ประเทศไทยกำหนดให้มีได้ เมื่อพิจารณาเฉพาะการศึกษาที่ใช้เทคนิค ICP-MS เช่นเดียวกัน ผลการศึกษานี้ยังคงอยู่ในกลุ่มที่มีค่าสูงสุดต่ำกว่างานวิจัยก่อนหน้า^{1,2,20} ซึ่งลดความเป็นไปได้ที่ความแตกต่างของค่าที่พบจะเกิดจากความแตกต่างของเทคนิควิเคราะห์เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของชนิดตัวอย่างเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ (เช่น ICP-MS, FAAS, ICP-OES) และค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD/LOQ) ของแต่ละห้องปฏิบัติการ เป็นปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาที่ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบข้อมูลในเชิงสถิติได้อย่างสมบูรณ์^{1,2,20,29,30} เมื่อเทียบกับงานวิจัยต่างประเทศบาง ฉบับที่มีขนาดตัวอย่างใหญ่กว่า (เช่น n = 28 หรือ n = 39)^{1,29} พบว่ามีช่วง range ที่กว้างกว่าช่วง range ของข้อมูลในการศึกษานี้ แต่ข้อมูลสามารถสะท้อนภาพเบื้องต้นได้ว่า ระดับการปนเปื้อนสารตะกั่วในผงโกโก้ไทยอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับภาพรวมของนานาชาติ และไม่พบ outlier ที่กระโดดออกมาอย่างชัดเจน^{1,2,20,29,30}

สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้แท้ 100% จำนวน 15 ตัวอย่างที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งเพาะปลูกในประเทศไทย ด้วยเทคนิค ICP-MS พบว่าตัวอย่างจำนวน 8 ตัวอย่าง (ร้อยละ 53.33) ไม่พบการปนเปื้อนในระดับที่ตรวจวัดได้ ขณะที่ 7 ตัวอย่าง (ร้อยละ 46.67) ตรวจพบการปนเปื้อน โดย 3 ตัวอย่างมีปริมาณที่สามารถรายงานเชิงปริมาณได้ที่ 0.102, 0.101 และ 0.096 mg/kg ตามลำดับ และอีก 4 ตัวอย่างมีปริมาณต่ำกว่าค่า LOQ มีข้อค้นพบว่าผงโกโก้ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งเพาะปลูกจากทุกภูมิภาคในประเทศไทยที่นำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้ไม่มีปริมาณสารตะกั่วที่เกินมาตรฐานสูงสุดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 414 (พ.ศ. 2563) ที่ประเทศไทยกำหนด²⁴ ข้อเสนอแนะปริมาณการบริโภคผงโกโก้ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับปนเปื้อนสูงสุดที่พบในการศึกษานี้ (0.102 mg/kg) และความแปรปรวนต่อพิษตะกั่วของแต่ละกลุ่มประชากร มีดังนี้ ผู้ใหญ่สุขภาพดีไม่เกิน 2 แก้วต่อวัน เด็กและหญิงตั้งครรภ์หรือให้นมบุตร ไม่เกิน 1 แก้วต่อวันและไม่ควรดื่มทุกวัน หรือเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีใบรับรองว่ามีตะกั่วต่ำ โดยที่ 1 แก้ว ใช้ผงโกโก้ 5 กรัม

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษานี้มีข้อจำกัดของข้อมูลจากแหล่งผลิตผงโกโก้ในประเทศไทย ซึ่งรวมถึงกระบวนการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และขั้นตอนการบรรจุ รวมทั้งการเก็บรักษาก่อนการจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด ที่อาจมีขั้นตอนที่ทำให้ผงโกโก้มีระดับสารปนเปื้อนที่น้อยลงหรือเพิ่มขึ้นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

1) การศึกษาเปรียบเทียบสารปนเปื้อนในผงโกโก้ธรรมชาติกับผงโกโก้ที่ผ่านกระบวนการอัลคาไลซ์ (Dutch-processed) เพื่อประเมินว่ากระบวนการผลิตมีผลต่อการสะสมหรือลดระดับสารตกค้างหรือไม่

2) การศึกษาเปรียบเทียบผงโกโก้ที่มีไขมันสูงกับผงโกโก้ที่มีไขมันต่ำ เนื่องจากสัดส่วนไขมันอาจเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารปนเปื้อน

3) การวิจัยเกี่ยวกับสารตกค้างอื่นๆในผงโกโก้ที่ผลิตในประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่างอย่างเป็นระบบในแต่ละภูมิภาค ณ สถานที่ผลิต ทั้งเข้าข่ายโรงงานและ/หรือวิสาหกิจชุมชน

เอกสารอ้างอิง

1. Abt E, Fong Sam J, Gray P, et al. Cadmium and lead in cocoa powder and chocolate products in the US Market. Food Additives & Contaminants: Part B. 2018;11(2):92-102.
2. Dico GML, Galvano F, Dugo G, et al. Toxic metal levels in cocoa powder and chocolate by ICP-MS method after microwave-assisted digestion. Food Chemistry. 2018;245:1163-1168.
3. Rankin CW, Nriagu JO, Aggarwal JK, et al. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. Environmental health perspectives. 2005;113(10):1344.

- 1 4. World Health Organization. Lead poisoning Available: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health)
2 and-health. Accessed November 27, 2025.
- 3 5. Centers for Disease Control and Prevention. Risk factors and pregnancy Available: [https://www.cdc.gov/lead-](https://www.cdc.gov/lead-prevention/risk-factors/pregnancy.html)
4 prevention/risk-factors/pregnancy.html. Accessed November 7, 2025.
- 5 6. Wang S, Zhao X, Zhou R, et al. The influence of adult urine lead exposure on bone mineral densit: NHANES 2015-
6 2018. *Frontiers in Endocrinology*. 2024;15:1412872.
- 7 7. Yu Y-L, Yang W-Y, Hara A, et al. Public and occupational health risks related to lead exposure updated according to
8 present-day blood lead levels. *Hypertension Research*. 2023;46(2):395-407.
- 9 8. Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary toxicology*. 2015;8(2):55.
- 10 9. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Lead. U.S. Department of Health and
11 Human Services, Public Health Service 2020.
- 12 10. Heidari S, Mostafaei S, Razazian N, et al. The effect of lead exposure on IQ test scores in children under 12 years: a
13 systematic review and meta-analysis of case-control studies. *Systematic reviews*. 2022;11(1):106.
- 14 11. Dai HaiJiang DH, Huang ZhiJun HZ, Deng QiHong DQ, et al. The effects of lead exposure on serum uric acid and
15 hyperuricemia in Chinese adults: a cross-sectional study. 2015.
- 16 12. Tsoi MF, Lo CWH, Cheung TT, et al. Blood lead level and risk of hypertension in the United States National Health and
17 Nutrition Examination Survey 1999–2016. *Scientific reports*. 2021;11(1):3010.
- 18 13. American College of Obstetricians and Gynecologists. Lead screening during pregnancy and lactation. Committee
19 Opinion No. 533 Available: [https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2012/08/lead-screening-during-](https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2012/08/lead-screening-during-pregnancy-and-lactation)
20 pregnancy-and-lactation. Accessed November 7, 2025.
- 21 14. Gavelek A, Spungen J, Hoffman-Pennesi D, et al. Lead exposures in older children (males and females 7–17 years),
22 women of childbearing age (females 16–49 years) and adults (males and females 18+ years): FDA total diet study 2014–16. *Food*
23 *Additives & Contaminants: Part A*. 2020;37(1):104-109.
- 24 15. California Office of Environmental Health Hazard Assessment. Proposition 65: Lead Available:
25 <https://oehha.ca.gov/proposition-65/chemicals/lead>. . Accessed November 7, 2025.
- 26 16. National Food Institute (Thailand). Cocoa and chocolate products market Available: [https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-](https://fic.nfi.or.th/market-intelligence-detail.php?smid=424)
27 detail.php?smid=424. Accessed November 7, 2025.

- 1 17. Loei Horticultural Research Center DoA. Knowledge management: cocoa production technology. Department of
2 Agriculture 2024.
- 3 18. Chaladsue Magazine. Chocolate...with lead contamination. Chaladsue Magazine 2017.
- 4 19. Thai Food and Drug Administration. FDA confirms chocolate sold in Thailand is safe Available:
5 https://oryor.com/media/newsUpdate/media_specify/706. Accessed November 7, 2025.
- 6 20. Mounicou S, Szpunar J, Andrey D, et al. Concentrations and bioavailability of cadmium and lead in cocoa powder and
7 related products. Food Additives & Contaminants. 2003;20(4):343-352.
- 8 21. European Committee for Standardization. EN 17851:2023 Foodstuffs—Determination of elements and their chemical
9 species—Determination of Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, U and Zn in foodstuffs by inductively coupled plasma
10 mass spectrometry (ICP-MS) after pressure digestion. CEN 2023.
- 11 22. AOAC INTERNATIONAL. Official Method 2015.01: Heavy metals in food by inductively coupled plasma–mass
12 spectrometry (ICP–MS). Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. Gaithersburg, MD: AOAC INTERNATIONAL
13 2015.
- 14 23. Ministry of Public Health T. Notification of the Ministry of Public Health No. 414 (BE 2563) on standards for food with
15 contaminants. Royal Thai Government Gazette. 2020;137(118 D):17–32.
- 16 24. Ministry of Public Health T. Notification of the Ministry of Public Health No. 442 (BE 2566) on products derived from
17 cocoa beans. Royal Thai Government Gazette. 2023;140(153 D):34-36.
- 18 25. Hurst WJ, Krake SH, Bergmeier SC, et al. Impact of fermentation, drying, roasting and Dutch processing on flavan-3-ol
19 stereochemistry in cacao beans and cocoa ingredients. Chemistry Central Journal. 2011;5(1):53.
- 20 26. Godebo TR, Stoner H, Kodsup P, et al. Occurrence of heavy metals coupled with elevated levels of essential elements
21 in chocolates: Health risk assessment. Food Research International. 2024;187:114360.
- 22 27. Torres-Mendoza BM, Garibaldi-Ríos AF, Rizo De La Torre LDC, et al. Lead poisoning in the Americas: Sources,
23 regulations, health impacts, and molecular mechanisms. Journal of Xenobiotics. 2025;15(4):134.
- 24 28. European Food Safety Authority. Management of left-censored data in dietary exposure assessment of chemical
25 substances. Efsa Journal. 2010;8(3):1557.

29. Mohamadi S, Mahmudiono T, Zienali T, et al. Probabilistic health risk assessment of heavy metals (Cd, Pb, and As) in Cocoa powder (Theobroma cacao) in Tehran, Iran market. International Journal of Environmental Health Research. 2024;34(1):257-272.

30. Skeledžija M ea. The content of As, Cd, Cr, Ni and Pb in organic cocoa powder. . 9th International Congress "New Perspectives in Science Education". Florence, Italy. 2018.

31. World Health Organization. GEMS/Food Programme: Reliable Evaluation of Low-Level Contamination of Food—Workshop in the Frame of GEMS/Food-EURO. WHO 1995.

ตาราง

ตารางที่ 1 ลักษณะตัวอย่างผงโกโก้/ผลิตภัณฑ์โกโก้และผลการวิเคราะห์สารตะกั่วปนเปื้อน (N=15)

รหัส	ลักษณะบรรจุภัณฑ์	แหล่งปลูกวัตถุดิบ	เลขสารบบอาหาร	ปริมาณตะกั่ว (mg/kg)	สถานะการตรวจ*
A	ซอง 200 กรัม	น่าน	มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
B	ซอง 500 กรัม	เชียงราย	มี	0.102	Detected
C	ถุง 250 กรัม	เชียงราย	ไม่มี	<0.075	Detected (<LOQ)
D	กระปุก 120 กรัม	ตาก	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
E	ถุง 500 กรัม	ลำปาง, เชียงราย	มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
F	ถุง 500 กรัม	อุทัยธานี	ไม่มี	<0.075	Detected (<LOQ)
G	ซอง 250 กรัม	ลพบุรี	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
H	ถุง 100 กรัม	ศรีสะเกษ	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
I	ซอง 150 กรัม	เชียงใหม่, นครราชสีมา	ไม่มี	<0.075	Detected (<LOQ)
J	ซอง 250 กรัม	นครศรีธรรมราช	ไม่มี	0.096	Detected

รหัส	ลักษณะบรรจุภัณฑ์	แหล่งปลูกวัตถุดิบ	เลขสารบบอาหาร	ปริมาณตะกั่ว (mg/kg)	สถานะการตรวจ*
K	กระปุก 250 กรัม	ชุมพร	มี	<0.075	Detected (<LOQ)
L	กระปุก 250 กรัม	ระนอง	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
M	ซอง 120 กรัม	ระนอง	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
ประจวบคีรีขันธ์,					
N	ถุง 250 กรัม	ชุมพร, ระนอง,	ไม่มี	ไม่สามารถระบุปริมาณได้	Not Detected
สุราษฎร์ธานี					
O	ซอง 500 กรัม	นราธิวาส	ไม่มี	0.101	Detected

- 1 หมายเหตุ: LOD = 0.040 mg/kg, LOQ = 0.075 mg/kg, ระดับตะกั่วที่ระบุให้มีได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข = 1.0 mg/kg
- 2 * Not detected: ตัวอย่างที่มีปริมาณสารตะกั่วต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจพบของวิธีวิเคราะห์ (LOD = 0.040 mg/kg) Detected
- 3 <LOQ : ตัวอย่างที่สามารถตรวจพบสัญญาณของสารตะกั่วได้ แต่มีปริมาณต่ำกว่าขีดจำกัดการหาปริมาณ (LOQ = 0.075 mg/kg) และ
- 4 Detected : ตัวอย่างที่มีปริมาณสารตะกั่วตั้งแต่ค่า LOQ ขึ้นไป หรือเครื่อง ICP-MS ตรวจพบสารตะกั่วในระดับที่สามารถระบุปริมาณได้อย่าง
- 5 แม่นยำ
- 6
- 7 ตารางที่ 2 จำนวนแก้วที่ดื่มได้สูงสุดต่อวัน และร้อยละการรับสัมผัสสารตะกั่วจากการดื่มโกโก้ 1 แก้วมาตรฐาน เปรียบเทียบกับ
- 8 เกณฑ์คุ้มครองสุขภาพสากล Prop 65 MADL และ US FDA IRL เด็ก

รหัสตัวอย่าง	ความเข้มข้น (mg/kg)	จำนวนแก้วที่ดื่มได้สูงสุด (แก้ว/วัน)		ร้อยละของเกณฑ์ (%) เมื่อดื่มโกโก้ 1	
		ก่อนได้รับตะกั่วเกินเกณฑ์		แก้วมาตรฐาน (5 กรัม)	
		Prop 65 MADL (0.5 µg/วัน)	US FDA IRL เด็ก (2.2 µg/วัน)	% Prop 65	% IRL เด็ก
B	0.102	~ 1 แก้ว (0.98)	~ 4 แก้ว (4.3)	102.0 %	23.2 %
O	0.101	~ 1 แก้ว (0.99)	~ 4 แก้ว (4.4)	101.0 %	23.0 %
J	0.096	~ 1 แก้ว (1.04)	~ 5 แก้ว (4.6)	96.0 %	21.8 %

- 9 หมายเหตุ: คำนวณจากหน่วยบริโภคมาตรฐาน 1 แก้ว = ผงโกโก้ 5 กรัม, ตัวเข้มแสดงค่าที่แตะหรือเกินเกณฑ์ Prop 65 (MADL)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

13 ตารางที่ 3 ปริมาณสารตะกั่วตกค้างในผงโกโก้จากงานวิจัยต่างประเทศเปรียบเทียบกับการศึกษา

ประเทศและผู้วิจัย	ลักษณะตัวอย่าง	n	วิธีวิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย / มัธยฐาน (mg/kg)	ค่าต่ำสุด (mg/kg)	ค่าสูงสุด (mg/kg)
อิหร่าน — Mohamadi และคณะ, 2024 ³⁰	ผงโกโก้ในตลาดเตหะราน	28	FAAS	เฉลี่ย 0.23 ± 0.46 ^a	<0.05	1.90
อิตาลี — Lo Dico และคณะ , 2018 ²	ผงโกโก้ที่จำหน่ายให้ผู้บริโภค ^b	35	ICP-MS	มัธยฐาน 0.417	ไม่รายงาน	1.228 ± 0.146
เซอร์เบีย — Skeledzija และคณะ, 2018 ³¹	ผงโกโก้อร์แกนิก	5	ICP-OES	ไม่รายงาน ^c	<LOQ	0.73 ± 0.02 ^d
สหรัฐอเมริกา — Abt และคณะ, 2018 ¹	ผงโกโก้จากร้านค้าและช่องทาง ออนไลน์ในรัฐแมริแลนด์	39	ICP-MS	เฉลี่ย 0.11 ± 0.10	0.002	0.38
ฝรั่งเศส สวิตเซอร์แลนด์ และโปแลนด์ —	ผงโกโก้เชิงพาณิชย์ ^e	20	ICP-MS ^f	เฉลี่ย 0.18 ± 0.05	0.011	0.769

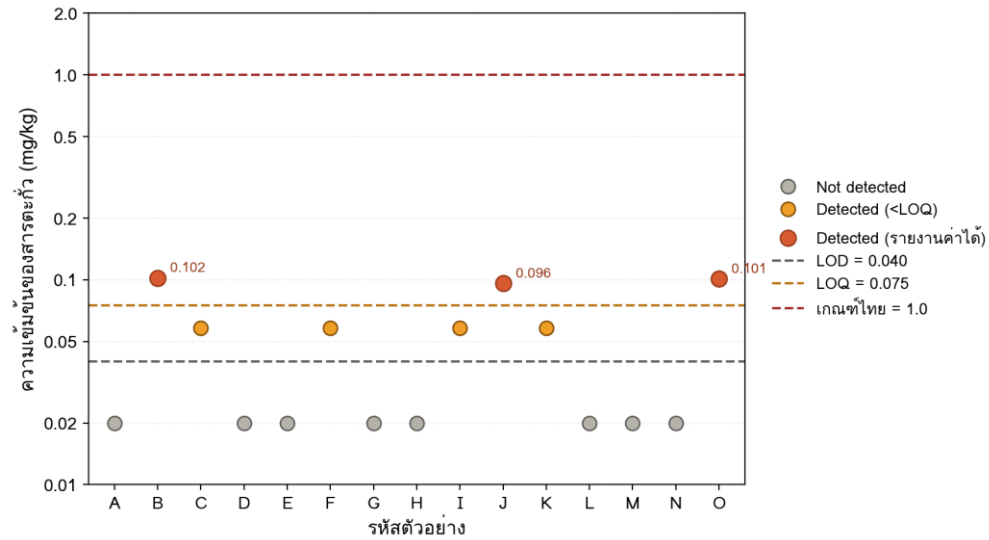
ประเทศและผู้วิจัย	ลักษณะตัวอย่าง	n	วิธีวิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย / มัธยฐาน (mg/kg)	ค่าต่ำสุด (mg/kg)	ค่าสูงสุด (mg/kg)
Mounicou และคณะ, 2003 ²⁰						
ไทย — การศึกษา (2026)	ผงโกโก้ 100% จากแหล่งปลูกในไทย	15	ICP-MS	เฉลี่ย 0.046 ^g	<LOD	0.102

หมายเหตุ:

- ^a ค่า SD สูงกว่า mean สะท้อนการกระจายตัวของตัวอย่างที่สูงมาก
- ^b ใช้คำว่า cocoa powder sold to the final consumer (ไม่ใช่ cocoa powder for chocolate shake)
- ^c งานวิจัยรายงานเป็นค่าเฉลี่ยของการวัดซ้ำในแต่ละตัวอย่าง ไม่ได้รายงานค่าเฉลี่ยรวมของตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง
- ^d พบตะกั่วใน 3 จาก 5 ตัวอย่าง (0.50 ± 0.09 , 0.64 ± 0.10 และ 0.73 ± 0.02 mg/kg) อีก 2 ตัวอย่าง <LOQ (LOQ = 0.5 mg/kg)
- ^e ตัวอย่างจากมาเลเซีย เวเนซุเอลา เอกวาดอร์ บราซิล ไ오วรีโคสต์ และกานา
- ^f เตรียมตัวอย่างด้วย high-pressure digestion
- ^g คำนวณค่าเฉลี่ยโดยประมาณด้วยวิธี middle-bound substitution ใช้สำหรับการเปรียบเทียบเชิงพรรณนาเท่านั้น

รูปภาพ

1 ภาพที่ 1 ระดับสารตะกั่วในตัวอย่างผงโกโก้ไทย 15 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับค่า LOD, LOQ และเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวง



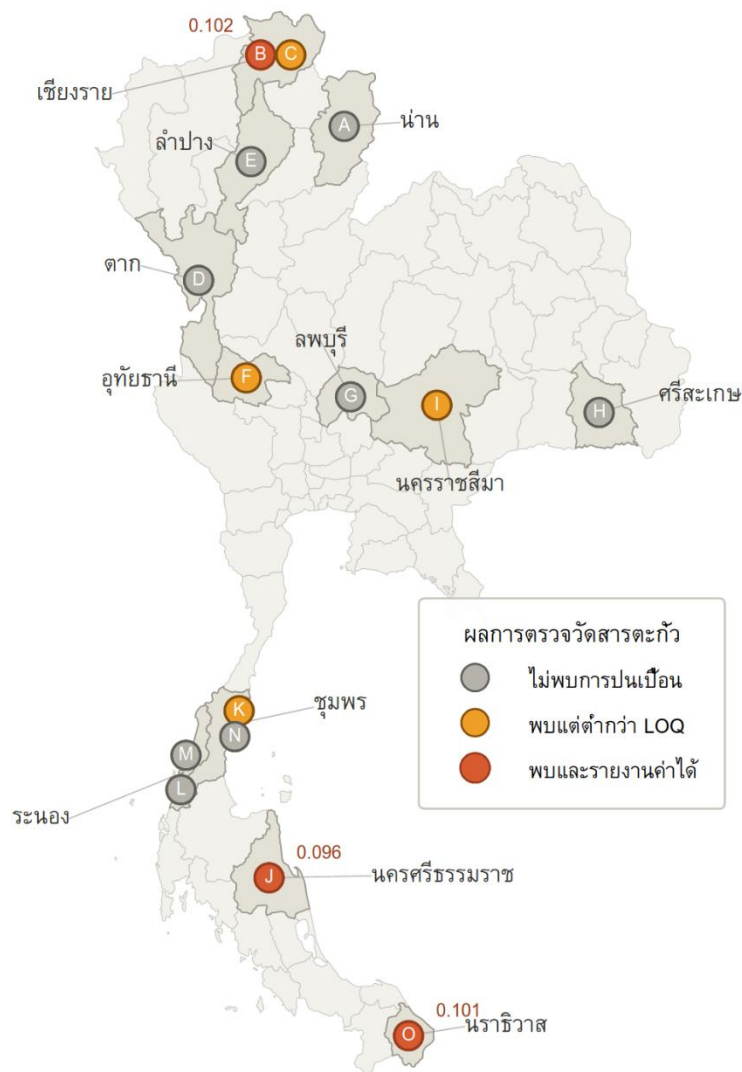
2 สารานุกรมสุประเทศไทย (กราฟใช้สเกลลอการิทึมเพื่อให้เห็นทั้งช่วงข้อมูลและเกณฑ์ตามกฎหมายในแกนเดียวกัน)

3 หมายเหตุ: ค่าที่ไม่พบการปนเปื้อน (not detected) แสดงที่ครึ่งหนึ่งของค่า LOD (0.020 mg/kg) ตามวิธีแทนค่ามาตรฐาน middle-bound

4 substitution (LOD/2) และตัวอย่างที่พบการปนเปื้อนในปริมาณต่ำกว่า LOQ แสดงที่ค่ากึ่งกลาง (LOD+LOQ)/2 = 0.058 mg/kg

5

6



1

2 ภาพที่ 2 การกระจายเชิงพื้นที่ของผลการตรวจวัดสารตะกั่วในตัวอย่างผงโกโก้แท้ 100% จำนวน 15 ตัวอย่าง (รหัส A–O) จำแนกตามจังหวัด

3 แหล่งเพาะปลูกของเมล็ดโกโก้ในประเทศไทย

4 หมายเหตุ: จุดสีเทาแทนตัวอย่างที่ไม่พบการปนเปื้อน (not detected) จุดสีส้มแทนตัวอย่างที่ตรวจพบแต่ต่ำกว่า LOQ และจุดสีแดงแทน

5 ตัวอย่างที่ตรวจพบและรายงานค่าได้ โดยมีตัวเลขกำกับแสดงความเข้มข้น (mg/kg) ทั้งนี้ ตัวอย่างที่มาจากจังหวัดเดียวกันถูกจัดแยกตำแหน่ง

6 เล็กน้อยเพื่อให้แสดงผลได้ชัดเจน อนึ่ง ตัวอย่างบางรายการมีแหล่งวัตถุดิบจากหลายจังหวัด (รหัส E, I และ N) ซึ่งในแผนที่นี้แสดงตำแหน่ง

7 เพียงจังหวัดเดียวต่อตัวอย่าง

8

9