DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในผงโกโก้ด้วยเทคนิค ICP-MS

เจนิส พรภัคจิรา

สารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ
วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ปีการศึกษา 2566

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

DETERMINATION OF CADMIUM CONCENTRATION IN COCOA POWDER USING ICP-MS

JENIS PORNPAKJIRA

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Science
Department of Anti-Aging and Regenerative Medicine
College of Integrative Medicine,
Dhurakij Pundit University
Academic Year 2023

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในผงโกโก้ด้วยเทคนิค ICP-MS

เสนอโดย เจนิส พรภัคจิรา

สาขาวิชา วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

กลุ่มวิชา วิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พัฒนา เต็งอำนวย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

ลงชื่อ ..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราธิคุณแพทย์หญิงสมนพร บุณยะรัตเวช สองเมือง)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พัฒนา เต็งอำนวย)

ปพิชญา เทศนา ..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์(ร่วม)

(ดร. ปพิชญา เทศนา)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกราช บำรุงพืชน์)

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ รับรองแล้ว

..... คณบดีวิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พัฒนา เต็งอำนวย)

วันที่ 9 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2567

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

หัวข้อสารนิพนธ์ การตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในผงโกโก้ด้วยเทคนิค ICP-MS
ชื่อผู้เขียน เจนิส พรภัคจิรา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ พัฒนา เต็งอำนวย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ปพิชญา เทศนา
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ)
ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้บริโภคในสังคมให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้น ทำให้เลือกรับประทานอาหารที่ดีมีประโยชน์กลายเป็นสิ่งที่หลายคนคำนึงถึงการบริโภคโกโก้เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่น่าสนใจในปัจจุบันผงโกโก้นั้นเป็นที่นิยมเนื่องจากให้รสชาติหวานและมีกลิ่นหอมอร่อย นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่สามารถส่งเสริมสุขภาพให้กับร่างกายได้เช่นกัน การตรวจแคดเมียมเป็นกระบวนการที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัยของผงโกโก้ โดยทำการตรวจสอบสารตกค้างด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ที่อาจมีสารตกค้างแคดเมียมอยู่ในผลิตภัณฑ์นี้

โดยงานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณแคดเมียมในผงโกโก้จาก 3 กลุ่มตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง โดยสุ่มตรวจผลิตภัณฑ์ผงโกโก้ที่จำหน่ายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไป ผลการทดสอบ พบว่า ผงโกโก้ที่มีปริมาณแคดเมียมเกินมาตรฐาน มีจำนวน 2 ตัวอย่าง คือ ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยและผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย คิดเป็นร้อยละ 13.33 โดยพบปริมาณแคดเมียมมากถึง 1.49 และ 1.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณแคมเมียมจากทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือกลุ่มตัวอย่างผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย และกลุ่มตัวอย่างผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าจากต่างประเทศมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.584 ± 0.447, 0.488 ± 0.568 และ 0.14 ± 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ การตรวจพบนี้เป็นข้อมูลสำคัญให้แก่ผู้บริโภคเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและมีคุณภาพ อีกทั้งยังเป็นข้อมูลสำคัญให้แก่ร้านค้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์ผงโกโก้ได้ตระหนักถึงความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคอีกด้วย

คำสำคัญ: ผงโกโก้ / แคดเมียม / เลขสารบบ / อินดักทีฟ คัปเปิลพลาสมา แมสสเปกโตรมิเตอร์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Thematic Paper	DETERMINATION OF CADMIUM CONCENTRATION IN COCOA POWDER USING ICP-MS
Author	Jenis Porpakjira
Thematic Paper Advisor	Assistant Professor Patana Teng-umnuay, Ph.D. ,M.D.
Thematic Paper Co Advisor	Paphitchaya Thetsana Ph.D
Department	Master of science (Anti-Aging and Regenerative Medicine)
Academic Year	2023

ABSTRACT

Currently, consumers in society are placing more emphasis on taking care of their health, leading them to choose to consume nutritious and beneficial foods. Cocoa consumption has become an interesting option for many, as cocoa powder provides a sweet and aromatic taste. Additionally, it is known for its health-promoting properties. The process of cadmium testing is crucial in ensuring the quality and safety of cocoa powder. By inspecting residues using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) techniques that may contain cadmium residues in this product.

This research studied the amount of cadmium in cocoa powder from 3 samples, totaling 15 samples, by randomly inspecting cocoa powder products sold in online markets and general markets. The test results found that there were 2 cocoa powders with cadmium content exceeding the standard. An example is cocoa powder with a serial number produced in Thailand and cocoa powder without a serial number produced in Thailand. Representing 13.33 percent, the cadmium content was found to be as much as 1.49 and 1.16 milligrams per kilogram, respectively. The average of the cadmium content from all 3 sample groups found that the cocoa powder sample without a serial number produced in Thailand had the highest average cadmium content. Next was a sample of cocoa powder with a serial number produced in Thailand. And the cocoa powder sample with imported serial numbers had the lowest average cadmium content, which was 0.584 ± 0.447, 0.488 ± 0.568, and 0.14 ± 0.016 milligrams per kilogram, respectively. This detection is important information for consumers to use. Make a decision in choosing safe and quality products. It is also important information for stores that use cocoa powder products to be aware of safety for consumers.

Keywords: Cocoa powder / Cadmium / Serial number / Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการได้อย่างราบรื่นโดยได้รับการสนับสนุน และคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพ.พัฒนา เต็งอำนวย ที่ให้ความกรุณา ใส่ใจ และชี้แนะแนวทาง จนสารนิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ปพิชญา เทศนา ที่ให้ความกรุณาดูแลและส่งเสริมความมุ่งมั่นในการทำงานวิจัย การส่งเสริมจากอาจารย์ที่ท่านให้ความสำคัญในกระบวนการทำงาน ได้รับประสบการณ์ที่มีคุณค่าและความหมายในการเรียนรู้และเติบโตเป็นที่ประสบความสำเร็จในการทำงานสารนิพนธ์นี้จนเสร็จสมบรูณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการทุกท่าน สำหรับความรู้ทางวิชาการ และได้เสนอแนะทั้งในเรื่องของกระบวนการวิจัย และที่สำคัญคือ ในการสร้างความเชื่อมั่นและความมั่นใจในตนเองของผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัย มีความก้าวหน้าในการเรียนรู้และการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ได้ศึกษา

เจนิส พรภัคจิรา

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 คำถามการวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะการวิจัย	4
2. การรวบรวมเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 โกโก้	5
2.2 สารแคดเมียมตกค้าง	11
2.3 พิษของแคดเมียมและโรคที่เกิดขึ้น	12
2.4 ตรวจหาสารแคดเมียมด้วยเครื่องมือทางห้องปฏิบัติการ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 กรอบแนวความคิดเชิงทฤษฎี	22
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	22
3.3 การคัดเลือกตัวอย่างเกณฑ์การคัดเลือกตัวอย่าง	22
3.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	22
4. ผลการศึกษาวิจัย	22

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

5. สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 25
5.1 อภิปรายผลการวิจัย..... 25
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 29
รายการอ้างอิง..... 31
ประวัติผู้เขียน..... 38

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของโกโก้พันธุ์ Criollo, Forastero และ Trinitario 6

2.2 คุณค่าทางโภชนาการของโกโก้ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 8

2.3 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตจำนวน 10 ตัวอย่าง 17

2.4 แสดงตัวอย่าง แคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล ในโกโก้จากสายการผลิตโรงงาน X และ โรงงาน Y 20

4.1 ตัวอย่างข้อมูลตัวอย่างที่ส่งตรวจ 22

4.2 แสดงผลการตรวจปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้ 23

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย 4
2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของโกโก้ A) พันธุ์ Criollo B) พันธุ์ Forastero, และ C) พันธุ์ Trinitario 5
2.2 แผนที่การเพาะปลูกโกโก้ในประเทศไทย 6
2.3 แผนผังการทำงานเครื่องอินดักทีฟ คัปเปิลพลาสมา แมสสเปกโตรมิเตอร์ 16

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แคดเมียม (Cadmium) เป็นโลหะหนักที่เป็นพิษซึ่งสามารถพบได้ในดินของพื้นที่ปลูกโกโก้บางแห่ง และสามารถปนเปื้อนผงโกโก้ได้ การวิจัยพบว่าแคดเมียมในช็อกโกแลตและผงโกโก้ อาจมาจากแคดเมียมแทรกซึมในดินที่เพาะปลูก และการปนเปื้อนของสารตะกั่วอาจมาจากขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลตและผงโกโก้ ซึ่งผงโกโก้บางชนิดพบว่ามีแคดเมียมเข้มข้นสูงประมาณ 0.1 ถึง 4.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม[1]

สหภาพยุโรปได้กำหนดปริมาณที่ควรได้รับของแคดเมียมไม่เกิน 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม[2] และประเทศไทยกำหนดปริมาณสารแคดเมียมในช็อกโกแลตที่มีปริมาณผงโกโก้ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไปที่ 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม[3] ผู้ผลิตผงโกโก้บางรายได้ดำเนินการเพื่อลดระดับแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ของตน ตัวอย่างเช่น บางบริษัทจัดหาเมล็ดโกโก้จากภูมิภาคที่มีแคดเมียมในดินต่ำกว่า หรือใช้เทคนิคการผลิตในอุตสาหกรรมที่ลดความเข้มข้นของแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

โกโก้เป็นสินค้าที่ได้รับความชื่นชอบและเป็นที่แพร่หลายในทุกวงการ เริ่มตั้งแต่อาหารและเครื่องดื่ม ไปจนถึงเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ ซึ่งทำให้มูลค่าทางเศรษฐกิจของโกโก้มีค่าสูงมาก ตามข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร รายงานในการประชุมหารือพืชทางเลือกที่มีอนาคต (Future crops) กรณีสินค้าโกโก้ ณ 19 มีนาคม 2563 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ระบุว่า ปริมาณการผลิตโกโก้โลกในปี 2020 ประมาณ 4.7 ล้านตัน การส่งออกผลิตภัณฑ์โกโก้ของไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่าน ลดลงร้อยละ 11 โดยลดจาก 32,862 ตัน ในปี 2558 เหลือ 19,063 ตัน ในปี 2562 โดยในปี 2562 ประเทศที่ไทยส่งออกผลิตภัณฑ์โกโก้มากเป็นอันดับหนึ่ง ได้แก่ ญี่ปุ่นมีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 80 ของปริมาณทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ เมียนมาร์ มีสัดส่วนร้อยละ 5 และมาเลเซีย ร้อยละ 4[4]

ตามรายงานของ บริษัท Grand View Research ในปี 2021 ระบุว่า มูลค่าของตลาดช็อกโกแลตโดยรวม (ไม่รวมผงโกโก้) มีค่าประมาณ 113 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (USD) และมีโอกาสเติบโตขึ้นตามทิศทางของการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมการบริโภคของผู้คน โดยส่วนใหญ่จะมุ่งหวังการบริโภคช็อกโกแลตที่มีคุณภาพสูงและส่งเสริมสุขภาพ ผู้ผลิตช็อกโกแลตอาศัยโกโก้ที่ปลอดสารพิษและมีคุณภาพสูง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความตระหนักสูงขึ้นในเรื่องของสุขภาพและการบริโภคที่ยั่งยืน เนื่องจากโกโก้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น อาหารและเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ และเครื่องสำอาง ซึ่งมีความต้องการสูงจากผู้บริโภค โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการเพิ่มขึ้นของการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของโปรตีนและไขมันต่ำ การเพิ่มปริมาณการผลิตโกโก้ในระดับโลกอาจจะส่งผลให้มูลค่าทางเศรษฐกิจของโกโก้เพิ่มขึ้นไปอีกด้วย[5]

งานวิจัยการทำประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะ 10 ชนิด รวมถึงสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบต่อระบบอาหารที่มีโกโก้ เช่น เรียกความเสี่ยงตามดัชนีอันตราย (HQ > 1) ว่าเป็น

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ความเสี่ยงต่อความเป็นพิษที่สำคัญ ซึ่งอาจเกิดผลกระทบทางระบบประสาท การพัฒนาการที่ผิดปกติ หรือเสื่อมสภาพของร่างกาย เช่น โรคกระดูกพรุน โรคโปรตีนในปัสสาวะ นิ่วในไต โรคกระดูกพรุน และการเกิดรอยดำ งานวิจัยนี้ได้รายงานว่า 2 ใน 100,000 คนมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งผิวหนัง โดยพิจารณาจากการประเมินความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งในผลิตภัณฑ์โกโก้ การศึกษาเพิ่มเติมยังแสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งเพิ่มขึ้นเป็น 3 ใน 100,000 ในกลุ่มผู้บริโภคช็อกโกแลตแท่งและช็อกโกแลตลูกกวาด ข้อมูลเหล่านี้ได้รับการยืนยันจากการค้นพบอื่นๆ นอกจากนี้ การได้รับแคดเมียมในผลิตภัณฑ์โกโก้เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเพราะเด็กมีโอกาสได้รับการสัมผัสสารพิษสูงกว่าผู้ใหญ่ หลังจากวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์บางอย่างรวมทั้งโกโก้พบว่าผู้บริโภคโกโก้ที่เป็นผู้ใหญ่มีความเสี่ยง (HQ > 1) ต่อโรคโปรตีนในปัสสาวะ นิ่วในไต โรคกระดูกพรุน และการเกิดรอยดำ ท่ามกลางความเป็นพิษ อื่น ๆ การศึกษายังระบุว่าความเสี่ยงต่อความเป็นพิษในเด็กมีสูงกว่าในผู้ใหญ่ เนื่องจากโลหะที่เป็นพิษหลายชนิด เช่น สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในโกโก้ ดังนั้นการใช้โกโก้ควรพิจารณาความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องให้ดีก่อนการบริโภค เพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพในระยะยาว การศึกษาเพิ่มเติมจะช่วยให้มีความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเสี่ยงและการตัดสินใจที่ถูกต้องในการบริโภคโกโก้และผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ อย่างรอบคอบ[6]

การศึกษาจากคณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดลในปี 2565 ได้ทำการสำรวจน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งหมด 16 จุดเพื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนของโลหะหนัก ระดับแร่ธาตุ และคุณภาพของน้ำ เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ การวิเคราะห์พบว่าค่าดัชนีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำและไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน เนื่องจากมีการปนเปื้อนมาจากภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน วัตถุปนเปื้อนเหล่านี้มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบของโลหะหนักต่อสุขภาพและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พื้นที่และการปนเปื้อนของโลหะหนักในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ผลการวิเคราะห์พบว่าในช่วงปี 2552 ถึงปี 2556 ค่าความเข้มข้นของเหล็กมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความขุ่น (0.640) และค่าฟอสเฟตโดยรวม (0.622) รวมถึงค่าของแข็งแขวนลอย (0.542) และค่าความเข้มข้นของนิกเกิล (0.513) แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มข้นของสังกะสี (-0.517) ซึ่งมีค่านัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ ในขณะเดียวกันในช่วงปี 2557 ถึงปี 2561 พบว่าค่าความเข้มข้นของเหล็กมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความขุ่น (0.900) ค่าของแข็งแขวนลอย (0.671) ค่าความเข้มข้นของแมงกานีส (0.607) และค่าความเข้มข้นของนิกเกิล (0.512) โดยมีค่านัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.01$ นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของแคดเมียมยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความเข้มข้นของโครเมียม (0.509) สำหรับช่วงเวลานี้ ในช่วงปี 2552 ถึง 2554 มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ในบางสถานีในจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ และสุโขทัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่ช่วงปี 2558 ถึง 2561 ทำให้มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์มากขึ้น นอกจากนี้ ค่าดัชนีมลพิษจากโลหะหนักก็ได้ถูกคำนวณและเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พื้นที่ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่บริเวณแม่น้ำยมที่เป็นที่เสี่ยงสำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนัก ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นี้เน้นให้เห็นถึงผลกระทบที่มีต่อสุขภาพ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ของมนุษย์และสภาพแวดล้อมในพื้นที่เขตร้อน เช่น การเพิ่มการใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการใช้ปุ๋ยเคมีหรือสารเคมีในการเพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม้อาจมีผลต่อการกระจายของโลหะหนักในน้ำ[7] การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะเมื่อเกี่ยวข้องกับการปลูกโกโก้ เนื่องจากพืชโกโก้อาจดูดซับโลหะหนักจากดินและน้ำ ทำให้ผลผลิตโกโก้มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เมื่อมนุษย์บริโภคโกโก้ที่ปนเปื้อนโลหะหนักอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง ดังนั้น การทำความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พื้นที่และคุณภาพน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่เขตร้อนอย่างเหมาะสมต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

การวิเคราะห์และการรายงานผลเช่นนี้จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่เขตร้อนอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพอย่างสูง โดยต้องการการร่วมมือจากส่วนราชการ เอกชน และประชาชนทั่วไปเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดความเสี่ยงต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อมในพื้นที่เขตร้อนอย่างยั่งยืน

1.2 คำถามการวิจัย

ผงโกโก้ที่วางจำหน่ายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไปมีสารแคดเมียมตกค้างหรือไม่

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผงโกโก้ในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไปว่ามีสารแคดเมียมตกค้างหรือไม่

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการตรวจหาสารตกค้างแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ผงโกโก้ ที่วางจำหน่ายในร้านออนไลน์ และตามท้องตลาดทั่วไปในประเทศไทยที่มีเลขสารบบอาหารที่ผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบที่มีผลิตในต่างประเทศจำนวน 5 ตัวอย่าง และ ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง

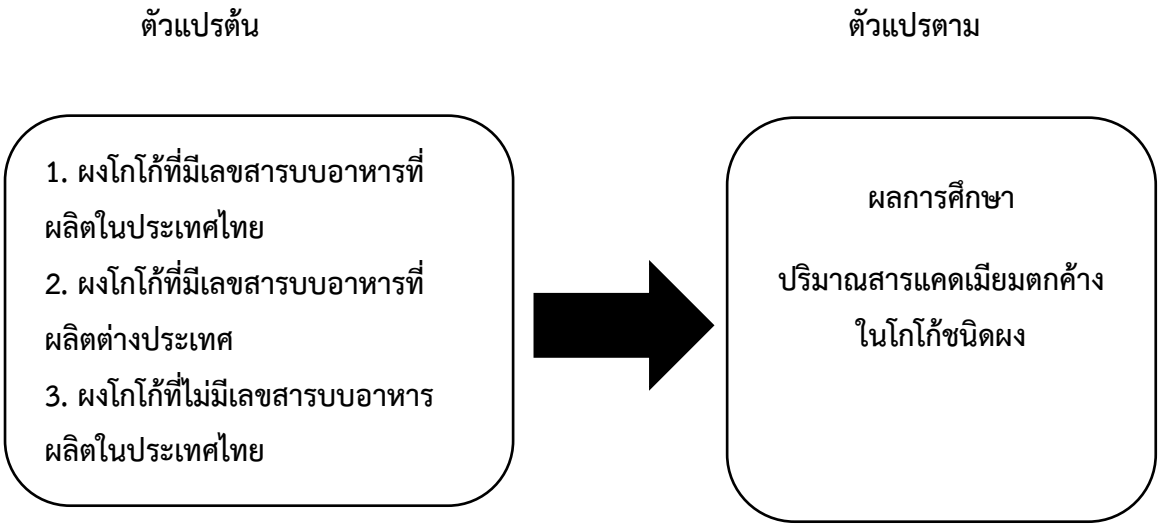
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้บริโภค ใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจเลือกบริโภค

1.5.2 เพื่อเป็นข้อมูลความรู้ให้กับประชาชนให้รู้โทษของผลิตภัณฑ์ที่มีแคดเมียมปนเปื้อน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

1.6 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 ผงโกโก้ หมายถึง เครื่องดื่มชนิดผงสำเร็จรูปไม่ปรุงแต่งและเจือปนวัตถุดิบอื่นที่พร้อมนำไปเติมน้ำและสามารถประกอบอาหารหรือดื่มได้ในทันที

1.7.2 เลขสารบบอาหาร หมายถึง ตัวเลข 13 หลักที่ได้รับอนุญาตในส่วนของสถานที่และผลิตภัณฑ์อาหาร XX-X-XXXXX- X-XXXX โดยประกอบไปด้วย เลขสถานที่ประกอบการ 8 หลักแรก XX-X-XXXXX และ เลขผลิตภัณฑ์อาหาร 5 หลักหลัง - X-XXXX เป็นรหัสของข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ผลิตและข้อมูลต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 2
การรวบรวมเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาสารแคดเมียมในผงโกโก้ที่มีผลกระทบต่อร่างกาย ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 โกโก้

2.1.1 ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ และข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของโกโก้

2.1.2 ประโยชน์ของโกโก้

2.1.3 ข้อมูลด้านความปลอดภัยของโกโก้

2.1.4 สารสำคัญที่อยู่ในผงโกโก้และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

2.1.5 งานวิจัยผงโกโก้กับประโยชน์ด้านสุขภาพ

2.2 สารแคดเมียมตกค้าง

2.2.1 นิยามศัพท์

2.2.2 สาเหตุของสารแคดเมียมตกค้างในดิน

2.3 งานวิจัยสารแคดเมียมที่เกี่ยวข้อง

2.4 ตรวจหาสารแคดเมียมด้วยเครื่องมือทางปฏิบัติการ

2.1 โกโก้

2.1.1 ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ และข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของโกโก้

โกโก้มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Theobroma cacao L.* เป็นพืชในวงศ์ Sterculiaceae เป็นผลไม้ยืนต้นอายุต้นยาวนานกว่า 70 ปี แต่อายุการให้ผลผลิตเชิงพาณิชย์ อยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 ปีเท่านั้น เป็นพืชที่ชอบร่มเงาบาง ๆ ออกดอกติดผลเมื่ออายุได้ 2-3 ปี ออกดอกติดผลเป็นกลุ่มบริเวณลำต้นและกิ่งกระโดง (Chupon) ดอกมีสีขาวขนาดเล็กกลีบเลี้ยง 5 กลีบ สีขาวหรือขาวประชมพู กลีบดอก 5 กลีบเรียงสลับกับกลีบเลี้ยง สีขาวอมเหลืองหรือขาวอมชมพู เกสรเพศผู้ 10 อัน โคนก้านชูอับเรณูติดกันเป็นหลอดสั้น ๆ ยอดเกสรเพศเมียแยกเป็น 5 แฉก โดยต้นโกโก้จะผลิตดอกและสร้างผลผลิตให้เก็บเกี่ยวได้ตลอดปี แต่จะให้ผลผลิตมากในช่วงต้นฤดูหนาวเดือนตุลาคมจนถึงต้นฤดูร้อนเดือนมีนาคมของทุกปี ส่วนต้นโกโก้ที่ได้รับน้ำและความชื้นอย่างสม่ำเสมอจะออกดอกทั้งปี โกโก้และอนุพันธ์ของโกโก้ได้รับการยอมรับว่ามีธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์และซับซ้อน[8]

(1) สายพันธุ์ของโกโก้

โกโก้มีสายพันธุ์หลัก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ Criollo, Forastero, Trinitario แสดงข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของโกโก้พันธุ์ Criollo, Forastero และ Trinitario[9]

ลักษณะพันธุ์	Criollo	Forastero	Trinitario
ลักษณะผล	เปลือกนุ่ม	เปลือกแข็ง	เปลือกแข็งมาก
สีของเปลือก	แดง	สีเขียวอมฟ้า	เปลี่ยนแปลงตามอายุของผล
จำนวนเมล็ด	20-30	>30	>30
สีของเนื้อเมล็ด	สีงาช้าง หรือสีม่วงอ่อน	สีม่วงถึงสีม่วงเข้ม	สีเปลี่ยนตามอายุของเมล็ด บางทีเมล็ดสีขาว

A) B) C)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ของโกโก้ A) พันธุ์ Criollo B) พันธุ์ Forastero, และ C) พันธุ์ Trinitario

ปัจจุบันประเทศไทยมีพันธุ์โกโก้ที่ผ่านการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรอย่างถูกต้องตามกฎระเบียบเพียง 2 พันธุ์เท่านั้น คือ

1. พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 x Na32)

พันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 x Na32) เป็นพันธุ์โกโก้ลูกผสมที่คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ขึ้นโดยนักวิชาการเกษตรของศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพร กรมวิชาการเกษตร เป็นพันธุ์โกโก้ที่ให้ผลผลิตสูง เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูง ร้อยละ 57.27 ลักษณะการผสมเกสร เป็นพวกผสมข้ามต้น ควรปลูกลูกผสมพันธุ์อื่นร่วมด้วยอย่างน้อย 1 พันธุ์ในแปลงเดียวกัน โดยปลูกคละปนกันไปเพื่อประโยชน์ในการผสมเกสร มีความทนทานต่อโรคกิ่งแห้งค่อนข้างสูง พื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกโกโก้ ลักษณะดินควรเป็นดินร่วน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูง หน้าดินลึก การระบายน้ำในดินค่อนข้างดี สภาพความเป็นกรดด่าง อยู่ระหว่าง 5.5-7.0 ปริมาณน้ำฝนควรกระจายสม่ำเสมอ ระหว่าง 1,500-2,000 มิลลิลิตรต่อปี ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ที่ 5.5 ถึง 7.0 ต้นโกโก้สามารถทนต่อความเป็นกรดได้ดี สายพันธุ์ลูกผสมชุมพร 1 (Pa7 x Na32) จึงเหมาะในการปลูกภาคใต้และภาคตะวันออก

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2. พันธุ์ ไอ.เอ็ม.1 (I.M.1)

พันธุ์ ไอ.เอ็ม.1 (I.M.1) เป็นพันธุ์โกโก้หอมลูกผสม สาย Trinitario ที่ได้จากการศึกษาวิจัย คัดเลือก และปรับปรุงพันธ์เป็นพันธุ์โกโก้ที่ให้ผลผลิตสูง เมล็ดมีกลิ่นหอมจัดและมีความเปรี้ยวต่ำเมื่อนำมาแปรรูปเป็นช็อกโกแลต เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูง ระหว่างร้อยละ 52-67 ลักษณะเด่น คือ เจริญเติบโตเร็ว ทนแล้ง ให้ผลผลิตสูง เริ่มออกดอกติดผลและเก็บเกี่ยวได้ในปีที่ 3 หลังจากปลูก เมล็ดแห้งมีขนาดและคุณภาพตรงกับความต้องการของตลาดเหมาะสำหรับปลูกในเขตภาคกลาง เหนือและอีสาน

ในปี 2562 ในประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูก 1,547 ไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ

อันดับที่ 1	จังหวัดเชียงราย	มีพื้นที่เพาะปลูก	270	ไร่
อันดับที่ 2	จังหวัดพิษณุโลก	มีพื้นที่เพาะปลูก	252	ไร่
อันดับที่ 3	จังหวัดจันทบุรี	มีพื้นที่เพาะปลูก	166	ไร่ [10]

ภาพที่ 2.2 แผนที่การเพาะปลูกโกโก้ในประเทศไทย

ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา พื้นที่ ที่ใช้ปลูกโกโก้ในประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างมาก จาก 320 ไร่ ในปี 2558 ไปสู่ 1,431 ไร่ในปี 2562 ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 56.22 ต่อปี แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวโกโก้ได้ลดลง 264 ไร่ ในปี 2558 ลดลงเพียง 89 ไร่ ในปี 2562 หรือลดลงร้อยละ 19.54

สาเหตุหลักที่ทำให้พื้นที่เก็บเกี่ยวลดลงนั้น เกิดจากการที่เกษตรกรได้ตัดสินใจที่จะเปลี่ยนไปปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นที่มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ดีกว่าโกโก้ โดยเฉพาะในช่วงปี 2561 - 2562 ที่มีการเพิ่มพื้นที่ปลูกโกโก้ในภูมิภาคอื่นที่ไม่ใช่ภาคใต้ แต่ยังไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ส่วนใหญ่แหล่งปลูกโกโก้ในประเทศไทยจะอยู่ในภาคเหนือ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 43 ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด โดยจังหวัดที่มีการปลูกโกโก้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

มากที่สุด ได้แก่ เชียงราย พิษณุโลก เชียงใหม่ และตาก ภาคอื่น ๆ ที่มีการปลูกโกโก้ ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 21 ภาคตะวันออก ร้อยละ 15 ภาคใต้ ร้อยละ 12 และภาคกลาง ร้อยละ 6

ในปี 2558 มีผลผลิตลดลงจาก 128.04 ตัน ลงมาเป็น 28.04 ตัน ในปี 2560 แต่ก็มีการเพิ่มขึ้นเป็น 125.12 ตัน ในปี 2562 ทำให้ผลผลิตโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.77 ต่อปี ในปัจจุบัน มีเกษตรกรที่สนใจปลูกโกโก้มากขึ้น และหวังว่าจะสามารถใช้โกโก้เป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้เสริมจากพืชหลัก โดยมีการสั่งจองต้นพันธุ์โกโก้ลูกผสมชุมพร1 จากศูนย์วิจัยพืชสวนชุมพรถึง 430,000 ต้น[11]

2.1.2 ประโยชน์ของโกโก้

โกโก้เป็นพืชที่มีการเติบโตในการผลิตอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มทั่วโลก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโกโก้ ไม่ว่าจะเป็นช็อกโกแลต, นมช็อกโกแลต, หรือเครื่องดื่มช็อกโกแลต ได้รับความนิยมในทุกช่วงวัย นอกจากนี้ โกโก้ยังมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น แร่ธาตุ วิตามิน, และสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ที่สำคัญ โกโก้ยังเป็นพืชที่สามารถสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกร โดยเฉพาะในประเทศที่มีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการปลูกโกโก้ เช่น ประเทศไทย ที่มีภูมิภาคที่สามารถปลูกโกโก้ได้หลากหลาย

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการของโก้โกในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม[12]

คุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณ	หน่วย
1. โปรตีน	20.4	กรัม
2. ไขมัน	25.6	กรัม
3. คาร์โบไฮเดรต	35	กรัม
4. พลังงาน	452	แคลอรี่
5. โซเดียม	650	มิลลิกรัม
6. โพแทสเซียม	534	มิลลิกรัม
7. แคลเซียม	51.2	มิลลิกรัม
8. แมกนีเซียม	192	มิลลิกรัม
9. เหล็ก	14.3	มิลลิกรัม
10. ทองแดง	3.4	มิลลิกรัม
11. ฟอสฟอรัส	385	มิลลิกรัม
12. กำมะถัน	160	มิลลิกรัม
13. คลอรีน	199	มิลลิกรัม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2.1.3 ข้อมูลด้านความปลอดภัยของโกโก้

โกโก้เป็นแหล่งสะสมของสารและองค์ประกอบที่มีประโยชน์ แต่ประโยชน์จากโกโก้จะมาจากโกโก้ธรรมชาติเท่านั้น โดยมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ซีลีเนียม, โพแทสเซียม, ฟอสฟอรัส, แมกนีเซียม, แคลเซียม, โซเดียมและธาตุเหล็ก, แมงกานีสและสังกะสี, วิตามินกลุ่ม B, PP, K และAlkaloid Theobromine ที่มีผลต่อร่างกายน้อยกว่าคาเฟอีน ดังนั้นแพทย์จึงอนุญาตให้เด็กได้รับประโยชน์จากโกโก้ ซึ่งแตกต่างจากช็อกโกแลตโดยช็อกโกแลตทำมาจากการสกัดน้ำมันจากเมล็ดโกโก้และมีการปรุงแต่งเพื่อจัดจำหน่ายทางการค้า ดังนั้นโกโก้ธรรมชาติและช็อกโกแลตมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านองค์ประกอบต่างๆ ดังนั้น การบริโภคโกโก้ธรรมชาติก็ถือว่าปลอดภัยสำหรับเด็กๆ และผู้ใหญ่ตามลำดับ ในขณะที่ช็อกโกแลตควรจะมีการบริโภคในปริมาณที่เหมาะสม[13]

2.1.4 สารสำคัญที่อยู่ในผงโกโก้และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา

โกโก้ประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด เช่น น้ำมันประมาณ ร้อยละ 30-50, แป้งประมาณ ร้อยละ 15, โปรตีนประมาณร้อยละ 20 - 15, และมีสารอื่น ๆ เช่น alkaloid theobromine ประมาณ ร้อยละ 1-4, caffeine ประมาณร้อยละ 0.07-0.369, สาร catechin, pyrazine, tyramine, tyrosine เป็นต้น[14]

สาร alkaloid theobromine ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับกาเฟอีน แต่มีฤทธิ์อ่อนกว่ากาเฟอีน โดยสารนี้มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง กระตุ้นหัวใจ ขยายหลอดเลือด คลายกล้ามเนื้อเรียบ และช่วยขับปัสสาวะ โดยมีฤทธิ์ที่คล้ายกับ Theophylline ซึ่งเป็นสารที่ช่วยบรรเทาอาการหืดหอบได้ อย่างไรก็ตาม ถ้ากินโกโก้มากเกินไปก็อาจจะเป็นสารเสพติดได้

โกโก้มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย และ ไวรัส รวมถึงช่วยยับยั้งออกซิเดชัน และป้องกันฟันผุ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ช่วยลดความดันโลหิต ลดระดับไขมันในเลือด และช่วยขับปัสสาวะ ตามการทดสอบความเป็นพิษ พบว่าโกโก้ไม่มีความเป็นพิษต่อตัวอ่อน และไม่มีความเป็นพิษต่อหนูขาวเมื่อนำมาผสมอาหารให้กินในปริมาณที่ทำให้หนูขาวตายเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.84 กรัมต่อกิโลกรัม[15]

2.1.5 งานวิจัยผงโกโก้กับประโยชน์ด้านสุขภาพ

สารอาหารที่สำคัญของโกโก้ประกอบไปด้วยไขมัน โปรตีน เกลือ คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ทองแดง เหล็ก และสังกะสี แมงกานีส รวมไปถึงสารอีกมากมายหลายชนิด เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ ฟลาโวนอยด์ สารอีพิคาเทชิน สารคาเทชิน เป็นต้น สารสำคัญต่าง ๆ ในโกโก้ย่อมส่งผลดีต่อร่างกาย โดยมีงานวิจัยเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของโกโก้ในการักษาแต่ละโรค ดังนี้

(1) โรคหัวใจและหลอดเลือด

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมา ผลิตภัณฑ์ของโกโก้ที่มีผลต่อหัวใจและหลอดเลือด มีการศึกษาทางระบาดวิทยาได้รับการยอมรับว่าการบริโภคโกโก้มีผลดีต่อการลดความเสี่ยงของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases) จากการเก็บข้อมูล 23 เรื่อง ผู้เข้าร่วมวิจัย 405,304 คน พบว่าการบริโภคช็อกโกแลตในการลดความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases) คือ 45 กรัมต่อ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สัปดาห์ ในขณะที่การบริโภคช็อกโกแลตที่สูงกว่านั้นอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงจากการบริโภคน้ำตาลที่สูง นอกจากนี้การทดลองทางคลินิกยังสรุปว่าโกโก้และผลิตภัณฑ์โกโก้ชนิดอื่นมีผลดีต่อการลดปัจจัยความเสี่ยงของโรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases) รวมถึงการทำงานของเยื่อบุหลอดเลือด ความดันโลหิต เมแทบอลิซึมของไขมันและความแข็งตัวของหลอดเลือด[16]

(2) ความดันโลหิต

โกโก้มีสารที่ช่วยลดความดันโลหิต เรียกว่า "ฟลาโวนอยด์" ซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการลดการเกิดออกซิเดชันในร่างกาย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดโรคหัวใจและการอุดตันของหลอดเลือด นอกจากนี้ ฟลาโวนอยด์ยังช่วยในการทำงานของเซลล์ที่เส้นใยของหลอดเลือดโดยกระตุ้นการผลิตของ nitric oxide (NO) ในเซลล์ที่เส้นใยของหลอดเลือด ซึ่ง nitric oxide (NO) นี้มีฤทธิ์ในการขยายหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดสามารถขยายและหดตัวได้ดีขึ้น ทำให้ความดันโลหิตลดลง มีการทดลองในผู้เข้าร่วมวิจัย 52 ราย รับประทานโกโก้ซึ่งมีฟลาวานอล ประมาณ 33 –1,052 มิลลิกรัมกรัมต่อวันตามลำดับ หลังจากผ่านไป 6 สัปดาห์ เฉพาะผู้ที่รับปริมาณฟลาโวนอลสูงสุด (1,052 มก. ต่อวัน) เท่านั้นที่แสดงให้เห็นการลดลงอย่างมีนัยสำคัญใน 24 ชั่วโมง SBP (5.3 ± 5.1 mmHg; p = 0.001), DBP (3 ± 3.2 mmHg ; p = 0.002) และค่าเฉลี่ยของหลอดเลือดแดง ความดันโลหิต (3.8 ± 3.2 มิลลิเมตรปรอท; p = 0.0004) ดังนั้น การบริโภคโกโก้อย่างสม่ำเสมอสามารถช่วยในการควบคุมความดันโลหิต แต่ควรระวังในการบริโภคโกโก้ที่มีน้ำตาลมาก เพราะอาจทำให้เกิดโรคอื่น ๆ เช่น โรคเบาหวาน และโรคอ้วน[17]

(3) ด้านผิวพรรณ

การบริโภคสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารรวมถึงการใช้สารต้านอนุมูลอิสระ เฉพาะที่สามารถเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผิวหนังได้ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นในผิวหนังสามารถปกป้องผิวจากความเสียหายที่เกิดจากรังสียูวี ดังนั้นการบริโภคสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารจึงถือเป็นกลยุทธ์ที่ดีในการต่อต้านริ้วรอยแห่งวัย สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เนื่องจากการป้องกันการเกิดออกซิเดชันเป็นสิ่งจำเป็นในสภาพแวดล้อมกลางแจ้งที่อุดมด้วยรังสียูวี ฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากพืช และแหล่งสำคัญของ ฟลาโวนอยด์นอกเหนือจากผักและผลไม้ ได้แก่ โกโก้ ชา และไวน์แดง การศึกษาในผู้หญิงเกาหลีวัย (43–86 ปี) จำนวน 64 คน โดยการเก็บภาพถ่ายก่อนและหลังเข้ารับการทดลอง และวัดด้วยเครื่อง Skin-Visiometer SV 600; Courage + Khazaka Electronic พบว่าริ้วรอยบนใบหน้าและความหยาบกร้าน (ความยืดหยุ่นโดยรวม) ลดลงในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มโกโก้ทุกวัน ขนาดฟลาโวนอล 320 มิลลิกรัม เป็นเวลา 24 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับยาหลอก การบริโภคโกโก้ฟลาโวนอลเป็นประจำมีผลดีต่อริ้วรอยบนใบหน้าและความยืดหยุ่น การเสริมฟลาโวนอลโกโก้อาจช่วยป้องกันการแก่ชราจากแสงได้[18]

(4) ผลของโกโก้ต่อความไวของอินซูลิน

การศึกษาจำนวนมากระบุว่าฟลาโวนอลอาจให้การปกป้องหลอดเลือดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและมีการดูดซึมไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน การดูดซึมของไนตริกออกไซด์มีอิทธิพลต่อการดูดซึมกลูโคสที่กระตุ้นอินซูลินและหลอดเลือด ดังนั้นฟลาโวนอลอาจส่งผลเชิง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บวกต่อการเผาผลาญและความดัน การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าดาร์กช็อกโกแลตที่อุดมด้วยโพลีฟีนอล แต่ไม่ใช่ไวท์ช็อกโกแลต (ซึ่งมีเนยโกโก้) จะช่วยลดความดันโลหิตและเพิ่มความไวของอินซูลินในคนที่มีสุขภาพดี การค้นพบนี้บ่งชี้ว่าดาร์กช็อกโกแลตอาจออกฤทธิ์ป้องกันเอ็นโดทีเลียมของหลอดเลือดด้วยการแก้ไขความไวของอินซูลิน [19]

(5) ผลของโกโก้ต่อโรคหืด

โรคหืดเป็นสภาวะที่ทำให้หลอดลมของผู้ที่ป่วยเกิดการหดตัวและเกิดการอักเสบเรื้อรัง ทำให้หลอดลมมีความไวต่อสิ่งกระตุ้นต่าง ๆ มากกว่าปกติ ผู้ที่เป็นโรคนี้อาจมีอาการหายใจลำบาก ไอ และหายใจไม่สะดวก ถ้าสภาวะนี้รุนแรงขึ้นอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิต มีข้อมูลที่แสดงว่า ผงโกโก้ที่ไม่มีน้ำตาลมีสารที่ช่วยต้านโรคหืด ได้แก่ สารทีโอโบรมีนและสารทีโอฟิลลีน ทำงานโดยการยับยั้งการทำงานของสารที่เรียกว่า "ไซโตไคน์" ซึ่งเป็นสารที่ร่างกายสร้างขึ้นเมื่อเกิดการอักเสบ ไซโตไคน์ทำให้เกิดการหดตัวของหลอดลม ทำให้หายใจลำบาก และเกิดอาการหืดหืบ ดังนั้น การยับยั้งไซโตไคน์จะช่วยลดอาการหืดหืบ การวิจัยในหนูทดลองพบว่า การบริโภคผงโกโก้ที่มีสารเหล่านี้อาจช่วยลดความรุนแรงของอาการหืด แต่การวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองในสัตว์ ดังนั้น ยังต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมในมนุษย์เพื่อยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้กับมนุษย์ได้หรือไม่[20-21]

(6) ผลของโกโก้ต่อการลดน้ำหนัก

โกโก้มักเกี่ยวข้องกับการลดน้ำหนัก เนื่องจากส่งผลต่อความอยากอาหารและการเผาผลาญอาหาร โกโก้มีสารประกอบที่ชื่อว่า โปรไซยานิดิน ซึ่งพบว่าช่วยลดความอยากอาหารและเพิ่มความรู้สึกอิ่ม สิ่งนี้สามารถช่วยในการลดปริมาณแคลอรี่โดยรวม ยังพบว่าโกโก้มีฤทธิ์กระตุ้นเล็กน้อยเนื่องจากมีธีโอโบรมีนช่วยการเผาผลาญ โดยการทานผงสกัดจากเมล็ดโกโก้ (ฟลาโวนอยด์) 80 กรัม นาน 4 สัปดาห์ วิจัยในผู้ใหญ่ 15 คน พบว่าน้ำหนักและดัชนีมวลกายลดลง[22-23]

(7) ผลของโกโก้ต่อสุขภาพจิตที่ดี

กรดอะมิโนทริปโตแฟน Tryptophan เป็นสารตั้งต้นของ 5-HTP (5-hydroxytryptophan) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของสารสื่อประสาทซีโรโทนิน (Serotonin) และ ฮอร์โมนเมลาโทนิน (Melatonin) โดยมีวิตามินบี3,บี6,ธาตุเหล็ก,แร่สังกะสี,แร่แมกนีเซียม จัดเป็นโคเมไซม์ และโคแฟคเตอร์สำคัญต่อการสังเคราะห์ซีโรโทนิน (Serotonin) การบกพร่องซีโรโทนิน จะทำให้เกิดความเครียด ซึมเศร้า ย้ำคิดย้ำทำ นอนไม่หลับ มีการอยากอาหาร อยากของหวานผิดปกติ ความจำบกพร่อง อาการปรวนแปรก่อนมีรอบเดือน การดื่มเครื่องดื่มโกโก้อาจช่วยกระตุ้นการทำงานสารเคมีเหล่านี้ในร่างกายได้ เมื่อเราดื่มโกโก้ สารฟลาโวนอยด์จะถูกนำเข้าสู่ร่างกาย และช่วยกระตุ้นเซลล์ประสาทในสมองให้สร้างสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพจิต เช่น ซีรูโทนิน ดอปามีน และฟีนิลเอทิลามีน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความสมดุลของสมองและลดอาการซึมเศร้าได้ในบางกรณี อย่างไรก็ตาม การดื่มเครื่องดื่มโกโก้ไม่สามารถเป็นวิธีการรักษาโรคซึมเศร้าได้อย่างเดียว แต่เป็นทางเลือกการรักษาในระยะยาว โดยควรรับประทานอาหารที่มีสารอาหารสมดุล ออกกำลังกายเป็นประจำ และปรึกษาแพทย์เพื่อรับการวินิจฉัย และการรักษาที่เหมาะสมต่อความเสี่ยงและสภาวะสุขภาพของแต่ละบุคคลใน

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ระบบสุขภาพที่เป็นอยู่ของตนเอง ไม่ควรใช้การดื่มเครื่องดื่มโกโก้เป็นทางเลือกการรักษาเดียว และควรปฏิบัติตามคำแนะนำทางการแพทย์อย่างเหมาะสม[24-25]

งานวิจัย "Cocoa flavanol consumption improves cognitive function, blood pressure control, and metabolic profile in elderly subjects: the Cocoa, Cognition, and Aging (CoCoA) Study-a randomized controlled trial." นั้นเป็นการศึกษาที่ได้รับการเผยแพร่ในวารสารวิชาการ "American Journal of Clinical Nutrition" วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาผลของการบริโภคโกโก้ที่มีสารฟลาโวนอยด์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของสมอง การควบคุมความดันโลหิต ในผู้สูงอายุ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบสุ่มกลุ่มควบคุม (randomized controlled trial) ซึ่งแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างสุ่มแบบบอร์ด (board) โดยมีผู้เข้าร่วมวิจัยรวมทั้งหมด 90 คน อายุระหว่าง 61 - 85 ปี แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่รับการบริโภคโกโก้ที่มีสารฟลาโวนอยด์และกลุ่มที่รับการบริโภคโกโก้ที่ไม่มีสารฟลาโวนอยด์ (placebo) ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่รับการบริโภคโกโก้ที่มีสารฟลาโวนอยด์มีผลให้มีการฟื้นฟูในการทำงานของสมองเชิงบวก การควบคุมความดันโลหิต ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ในสุขภาพทั้งร่างกายและจิตใจ ดังนั้นการบริโภคโกโก้ที่มีสารฟลาโวนอยด์อาจมีประโยชน์ในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะซึมเศร้าและความเครียดในบางกรณี[26]

2.2 สารแคดเมียมตกค้าง

2.2.1 สาเหตุสารแคดเมียมตกค้างในดิน

ดินปนเปื้อน หมายถึง การที่สารเป็นพิษในรูปต่าง ๆ ถูกผสมลงในดินธรรมชาติ การปนเปื้อนนี้อาจเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ตั้งใจหรือเกิดจากธรรมชาติก็ได้ แต่ทำให้ที่ดินนั้นเกิดความเสื่อมโทรม มีปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร หรือมีผลกระทบต่อความปลอดภัยของมนุษย์และสัตว์ หรือต้องการปรับปรุงที่ดินนั้นให้คืนสู่สภาพเดิม[27]

แคดเมียม คือ โลหะหนักชนิดหนึ่งที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การทำเม็ดสี พลาสติก ยางหมึกพิมพ์ ฯลฯ และหากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนเข้าสู่แม่น้ำลำคลองก็จะทำให้สารแคดเมียมมีการสะสมอยู่ในน้ำและในหากมีการนำน้ำที่มีการปนเปื้อนมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรก็จะส่งผลให้มีสารแคดเมียมปนเปื้อนภายในดินและทำให้มีสารแคดเมียมสะสมอยู่ในพืช ทำให้มีปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและมีผลกระทบต่อสุขภาพ อนามัย ตลอดจนการเติบโตของมนุษย์ พืช และสัตว์

ปัจจุบันสามารถอธิบายถึงสาเหตุของการปนเปื้อนภายในดิน แบ่งประเภทได้ 2 ประเภท ดังนี้

(1) เกิดตามธรรมชาติ วัตถุต้นกำเนิดดิน มีองค์ประกอบของเกลือแร่ หรือสารประกอบของโลหะ

(2) เกิดของมนุษย์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

(2.1)การทำเหมืองแร่ การบด การทิ้งหางแร่ การจัดการที่ไม่เหมาะสม โดยจะพบเพียงปริมาณเล็กน้อยปนเปื้อนดิน หิน ที่เป็นแหล่งแร่ โดยเฉพาะในเหมืองแร่สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง

(2.2) การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตร

(2.3) การใช้น้ำเสียในระบบชลประทานจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำเสียลงแม่น้ำลำคลอง[28]

2.3 พิษของแคดเมียมและโรคที่เกิดขึ้น

การได้รับแคดเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ พิษเฉียบพลันส่วนใหญ่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นหรือฟูมแคดเมียม ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแคดเมียมถูกทำให้ร้อน โดยทั่วไประยะเวลาหลังจากสัมผัสสารจะยาวนาน 2-3 ชั่วโมง ก่อนแสดงอาการ อาการเริ่มแรกจะมีการระคายเคืองและรุนแรงเพิ่มตามลำดับ อันตรายจากกรณีเช่นนี้มีถึงร้อยละ15 ผู้ป่วยที่รอดชีวิตอาจมีฟองอากาศในเนื้อเยื่อ และเนื้อปอดปูดนูนออกมา ซึ่งต้องใช้เวลานานในการรักษาให้หาย มีรายงานว่าพบพิษเรื้อรังเกิดขึ้นหลังจากสัมผัสฟูมแคดเมียมออกไซด์เป็นเวลานาน[29]

โรคอิไต-อิไต (Itai-itai) เป็นโรคที่เกิดจากการประสบพิษแคดเมียมในระดับสูง สาเหตุหลักของโรคนี้คือการรับประทานหรือการสูดแก๊สที่ปนเปื้อนแคดเมียมในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้แคดเมียมสะสมในร่างกายเป็นเวลานาน โรคอิไต-อิไต (Itai-itai) ถูกระบุครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมาจากการปล่อยแคดเมียมจากโรงงานทำเหมืองสังกะสี เข้าสู่แม่น้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำดื่มและน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตร ระยะเวลาที่จะเกิดโรคขึ้นอยู่กับปริมาณแคดเมียมที่เข้าสู่ร่างกาย ซึ่งสามารถสะสมได้เป็นเวลาหลายปี เมื่อแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย มันจะถูกสะสมในไต กระดูก และตับ การสะสมของแคดเมียมในกระดูกสามารถทำให้เกิดการทำลายกระดูก ทำให้กระดูกอ่อนแอ โค้งงอ และสะดุดง่าย โรคอิไต-อิไต (Itai-itai) เป็นโรคที่มีลักษณะเด่นในการทำลายกระดูก ทำให้เกิดอาการปวดร้าวในกระดูกและข้อ ทำให้การเดินของผู้ป่วยเป็นไปอย่างยากลำบาก อาการอื่น ๆ ของโรคอิไต-อิไต (Itai-itai) รวมถึง การลดลงของความหนาแน่นของกระดูก (osteoporosis), การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของกระดูก, ภาวะโลหิตจาง, และอาจมีการทำงานผิดปกติของไต ในกรณีที่รุนแรง แคดเมียมอาจสะสมในปอด ทำให้เกิดภาวะปอดอักเสบ การรักษาโรคอิไต-อิไต (Itai-itai) มุ่งเน้นที่การลดการสัมผัสและการรับประทานแคดเมียม การดูแลรักษาและการป้องกันโรคจึงมักมุ่งเน้นที่การควบคุมและการป้องกันการปล่อยแคดเมียมเข้าสู่สิ่งแวดล้อมว่า น้ำที่คุณดื่มและอาหารที่คุณทานไม่มีการปนเปื้อนแคดเมียม

ในบางกรณี การใช้ยารักษาเพื่อลดระดับแคดเมียมในร่างกาย หรือการใช้ทางเลือกการรักษาอื่น ๆ เช่น การทำล้างไต (dialysis) อาจจำเป็นต่อไปอาการของโรคอิไต-อิไต (Itai-itai) อาจเริ่มต้นจากการเหนื่อยง่าย การเจ็บปวดระดับน้อยในกระดูกและข้อ ซึ่งเรื่องนี้จะเพิ่มขึ้นทั้งความรุนแรงและความถี่ของปวดตามเวลา จากนั้น อาการอาจลุกลามไปสู่ความไม่สามารถทำงานปกติของไต ซึ่งสามารถนำไปสู่การล้มเหลวของไตได้ และในกรณีที่รุนแรงมาก มันสามารถส่งผลต่อหัวใจและระบบหายใจขณะนี้ยังไม่มีวิธีการรักษาที่สามารถแก้ไข

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ความเสียหายจากแคดเมียมในร่างกายได้แน่นอน แต่การตรวจสอบและจัดการโรคอิไต-อิไต (Itai-itai) อย่างต่อเนื่องจะช่วยลดลงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อไป และทำให้สามารถดำรงชีวิตอย่างปกติขึ้น

ดังนั้น การป้องกันคือวิธีที่ดีที่สุดในการจัดการกับโรคอิไต-อิไต (Itai-itai) การรับรู้และป้องกันการสัมผัสกับแคดเมียมจะช่วยลดระดับความเสี่ยงในการเกิดโรคนี้ การมีความรู้เกี่ยวกับแหล่งที่อาจเป็นต้นทางของแคดเมียม และวิธีการป้องกันการสัมผัส เช่น การทดสอบคุณภาพน้ำ การใช้แหล่งน้ำที่ปลอดภัย และการป้องกันการเผาไหม้ขยะที่อาจปล่อยแคดเมียม เป็นวิธีการป้องกันที่มีประสิทธิภาพ[36]

โรคที่เกิดจากสารแคดเมียมมีดังนี้ ภาวะกระดูกอ่อน (Osteomalacia) ภาวะไตวาย (Renal Failure) ภาวะโลหิตจาง (Anemia) การทำงานผิดปกติของระบบประสาทและสมอง ส่งผลต่อการทำงานของสารตัวสื่อประสาท นอกจากนี้แคดเมียมยังสามารถทำให้เกิดการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ อาจนำไปสู่การเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) ในกรณีที่แย่ที่สุด และอาจส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ทำให้เกิดภาวะอ่อนแรงทางเพศ (sexual dysfunction) และอาจลดความสามารถในการเจริญพันธุ์[30]

2.4 ตรวจหาสารแคดเมียมด้วยเครื่องมือทางห้องปฏิบัติการ

เครื่องมือที่สามารถตรวจสารแคดเมียมตกค้างในผงโกโก้ได้หลายวิธี แต่ละเครื่องมีหลักการการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น XRF (X-ray Fluorescence) เป็นเครื่องมือที่ใช้รังสีเอกซ์ในการกระตุ้นให้ธาตุในตัวอย่างเปล่งแสงเอกซ์ออกมา

หลักการการทำงานคือ การนำตัวอย่างไปวางไว้ใต้แหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ จากนั้นรังสีเอกซ์จะกระตุ้นให้ธาตุในตัวอย่างเปล่งแสงเอกซ์ออกมา แสงเอกซ์จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งจะวัดพลังงานของแสงเอกซ์และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับปริมาณของธาตุ

AAS (Atomic Absorption Spectrometry) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงอินฟราเรดในการกระตุ้นให้ธาตุในตัวอย่างดูดซับแสง หลักการการทำงานคือ การนำตัวอย่างไปวางไว้ในห้องดูดซับแสง จากนั้นแสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงอินฟราเรดจะกระตุ้นให้ธาตุในตัวอย่างดูดซับแสง ปริมาณแสงที่ดูดซับจะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งจะวัดปริมาณแสงที่ดูดซับและสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ดูดซับกับปริมาณของธาตุ

GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) เป็นเครื่องมือที่ใช้การแยกสารโดยใช้ โครมาโทกราฟีแก๊ส จากนั้นนำสารที่แยกได้ไปใช้วิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวล หลักการการทำงานคือ การนำตัวอย่างไปผสมกับตัวทำละลายที่เป็นแก๊ส จากนั้นนำส่วนผสมไปผ่านคอลัมน์โครมาโทกราฟีแก๊ส ซึ่งจะแยกสารออกจากกันตามจุดเดือด สารที่แยกได้จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวล ซึ่งจะวัดมวลของสารและสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับปริมาณของสาร

ICP-MS ซึ่ง ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) เป็นเครื่องมือที่แม่นยำน่าเชื่อถือ ใช้ปริมาณตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อย และสามารถบอกปริมาณสารตกค้างได้ หลักการการทำงานคือ การนำตัวอย่างไปเผาในพลาสมา ซึ่งจะทำให้เกิดไอออนของสารที่ต้องการวิเคราะห์ จากนั้นไอออนจะถูก

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

นำไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์มวล ซึ่งจะวัดมวลของไอออนและสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับปริมาณของไอออน

ในการตรวจหาสารแคดเมียมในครั้งนี้จะตรวจสอบด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ การทดสอบวิจัยครั้งนี้ กระทำโดยนักวิจัยจากศูนย์ปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย ในการดำเนินการมีดังนี้คือ การเตรียมตัวอย่าง เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมี

หลักการของ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นหนึ่งวิธีการวิเคราะห์ธาตุ (elemental analysis) โดยหลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี (atomic spectroscopy) ซึ่งวิธีเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยกระบวนการคายพลังงานของอะตอม (atomicemission) กระบวนการของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ ICP-MS เป็นการใช้พลังงานจากพลาสมาในการยิงอิเล็กตรอนให้หลุดจากวงแหวนชั้นนอกของอะตอม ทำให้เกิดไอออนประจุบวกของสารตัวอย่าง ไอออนนี้จะถูกแยกและวัดด้วยเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของตัวอย่าง และเป็นแหล่งกำเนิดการกระตุ้นของอุณหภูมิสูง ที่เกิดกระบวนการกำจัดตัวทำละลาย (desolvation) ออกจากสารละลายตัวอย่าง และระเหยสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปไอ (vaporization) ซึ่งไอของโมเลกุลเหล่านี้จะถูกให้เปลี่ยนเป็นอะตอม (atomization) แล้วต่อมาเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ซึ่งไอออนของตัวอย่างที่เกิดขึ้นสามารถตรวจวัดด้วยวิธีทางสเปกโทรเมตรีสองชนิด คือ Inductively coupled plasma-atomic emission Spectrometry (ICP-AES) หรือ ที่เรียกว่า Inductively coupled plasma-optical emission Spectrometry (ICP-OES) ซึ่งทำการตรวจวัดความยาวคลื่นที่อะตอมคายพลังงานออกมาในรูปแสง และวิธี ICP-MS ซึ่งทำการตรวจวัดไอโซโทป (isotopes) ของธาตุตามอัตราส่วนของมวลต่อประจุ (mass-to-charge ratio, m/e) ด้วยเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์[31]

เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นเครื่องมือที่มีการพัฒนาล่าสุดสำหรับการวิเคราะห์ธาตุ โดยใช้หลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี (atomic mass spectroscopy) ทำให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายตัวในเวลาเดียวกัน และมีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึงขีดจำกัดการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นพิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ถึง เฟมโตกรัมต่อมิลลิลิตร (fg/ml).

ข้อดีของเครื่อง ICP-MS ได้แก่

(1) ความรวดเร็วในการวิเคราะห์

(2) สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายตัวในเวลาเดียวกัน

(3) ความไวในการวิเคราะห์สูง

(4) สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึงขีดจำกัดการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นพิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ถึง เฟมโตกรัมต่อมิลลิลิตร (fg/ml)

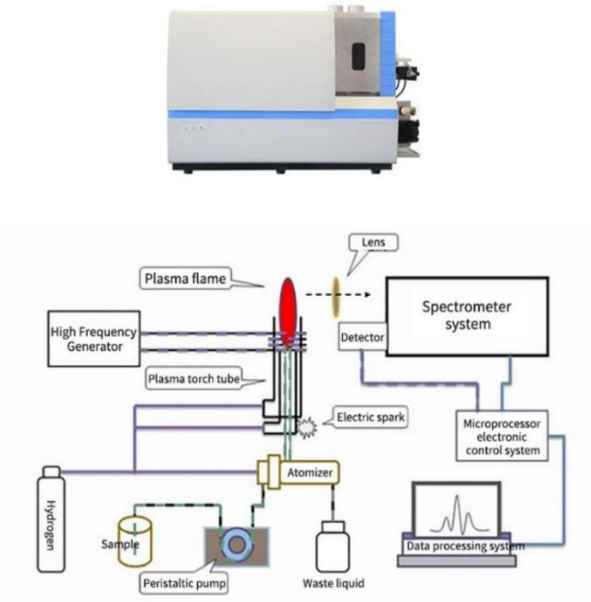
ข้อเสียของเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ได้แก่

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ธาตุบางตัวไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธี ICP-MS ได้แก่ ธาตุในกลุ่มแก๊สเฉื่อย เนื่องจากตัวอย่างอยู่ในสถานะแก๊ส (ได้แก่ ฮีเลียม (He), นีออน (Ne), อาร์กอน (Ar), คริปทอน (Kr), ซีนอน (Xe), และ เรดอน (Rn)) ธาตุออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) วิเคราะห์ไม่ได้ เนื่องจากเป็นแก๊สพื้นหลัง ธาตุฟลูออรีน (F) ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่แตกตัวเป็นไอออน

เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณตัวยาสำคัญ การวิเคราะห์การปนเปื้อน การศึกษาเมแทบอลิซึมของยา การศึกษาเภสัชจลนศาสตร์ และการตรวจวัดระดับยาในผู้ป่วย ฯลฯ นอกจากการใช้ในงานด้านเภสัชวิเคราะห์แล้ว วิธี ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) ยังเป็นวิธีที่มีประโยชน์และใช้ในงานด้านอื่น ได้แก่ การวิเคราะห์น้ำ การวิเคราะห์ธาตุหรือสารตกค้างในสมุนไพร และข้าว

การเลือกใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) ในงานวิจัยการตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารละลายที่มีความซับซ้อนและละเอียด ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) เป็นเทคนิคที่ใช้พลาสม่าเชื่อมโยงโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นสูงเพื่อทำลายสสารให้กลายเป็นไอ และจากนั้นใช้แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าเพื่อจับกับไอเหล่านั้นและวิเคราะห์องค์ประกอบของไอดังกล่าว เทคนิคนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียด้วยความละเอียดสูง ทำให้เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียด้วยความละเอียดสูงในผงโกโก้



ภาพที่ 2.3 แผนผังการทำงานเครื่องอินดักทีฟ คัปเปิลพลาสมา แมสสเปกโตรมิเตอร์

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิตยสาร CR Consumer Reports ได้รายงานการสุมตรวจ ช็อกโกแลตแบบแท่ง โดยใช้เกณฑ์วัดระดับ (MADL) ของรัฐแคลิฟอร์เนียแคดเมียม (4.1 ไมโครกรัม) แสดงเปอร์เซ็นต์ของ MADL ที่บรรจุในช็อกโกแลตหนึ่งออนซ์ ผลลัพธ์ระบุว่าผลิตภัณฑ์ใดมีระดับที่สูงกว่าโดยเปรียบเทียบ และไม่ใช่การประเมินว่าผลิตภัณฑ์นั้นเกินมาตรฐานทางกฎหมายหรือไม่ ทางนิตยสารใช้ระดับดังกล่าวเนื่องจากไม่มีข้อจำกัดปริมาณสาของรัฐบาลกลางสำหรับปริมาณตะกั่วและแคดเมียมที่อาหารส่วนใหญ่สามารถบรรจุได้ และนักวิทยาศาสตร์ของ CR Consumer Reports เชื่อว่าระดับของรัฐแคลิฟอร์เนียเป็นระดับที่สามารถป้องกันได้มากที่สุด แม้ว่าแคดเมียมและตะกั่วจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง แต่ผลิตภัณฑ์ในแต่ละหมวดหมู่จะแสดงรายการตามลำดับระดับของตะกั่วและแคดเมียม เนื่องจากโลหะหนักนั้นก่อให้เกิดความกังวลเป็นพิเศษ และไม่มีปริมาณใดที่ถือว่าปลอดภัย[32]

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตจำนวน 10 ตัวอย่าง[32]

ผลิตภัณฑ์	ยี่ห้อ/สูตร	ปริมาณเปอร์เซ็นต์ช็อกโกแลต	ปริมาณสารปนเปื้อนเปอร์เซ็นต์ MADL	
			ตะกั่ว	แคดเมียม
	Beyond Good Organic Pure Dark Chocolate	70%	42%	112%
	Beyond Good Organic Pure Dark Chocolate	80%	42%	138%
	Equal Exchange Organic Extra Dark Chocolate	80%	45%	120%
	Lindt Excellence Dark Chocolate	70%	48%	116%

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ยี่ห้อ/สูตร	ปริมาณเปอร์เซ็นต์ช็อกโกแลต	ปริมาณสารปนเปื้อนเปอร์เซ็นต์ MADL	
			ตะกั่ว	แคดเมียม
	Scharffen Berger Extra Dark Chocolate	85%	49%	204%
	Alter Eco Organic Dark Chocolate Classic Blackout	85%	49%	204%
	Mast Organic Dark Chocolate	80%	14%	40%
	Hershey's Special Dark Mildly Sweet Chocolate	N/A	265%	30%

โกโก้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมช็อกโกแลต แต่ในการปลูกและผลิตโกโก้นั้นจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยและสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งอาจจะมีสารพิษปนเปื้อน เช่น แคดเมียม ซึ่งสามารถสะสมอยู่ในดินและถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดพันธุ์ของโกโก้ได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ที่บริโภคช็อกโกแลตและอาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโกโก้เนื่องจากผู้บริโภคอาจหันไปซื้อช็อกโกแลตจากแหล่งอื่นที่ไม่มีแคดเมียมอยู่ในโกโก้ ทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ผลิตโกโก้ในท้องถิ่นได้

รายงานในปี 2014 พบว่า ปริมาณแคดเมียม (R2 = 0.907) และตะกั่ว (R2 = 0.955) ในช็อกโกแลตมีความสัมพันธ์กัน ยิ่งช็อกโกแลตมีปริมาณโกโก้มากเท่าไหร่ ปริมาณแคดเมียมและตะกั่วก็จะยิ่งมากเท่านั้น[33] เมล็ดโกโก้จากฮอนดูรัส มีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ย 1.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม[34] ซึ่งอาจแปรผันตามปัจจัยของดินในการศึกษาที่คล้ายกัน พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเมล็ดโกโก้ต่ำกว่า 0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ในประเทศโบลิเวีย ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดโกโก้ แตกต่างกันในโกโก้ภายใต้การปลูกพืชเชิงเดียว[35] ความเข้มข้นของแคดเมียมในเปลือกโกโก้ 0.629 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีแนวโน้มจะสูงกว่าเมล็ดโกโก้ที่ 0.072 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาบดเป็นผงโกโก้ความเข้มข้นของแคดเมียมจะอยู่ที่ 0.153 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของแคดเมียมจะลดลงเล็กน้อย จากการตรวจพบระดับแคดเมียม 0.116 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในช็อกโกแลตโกเลต มากกว่าระดับสารปนเปื้อนสูงสุดของสหภาพยุโรป (MCL) 0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมที่มีผลใช้บังคับ 1 มกราคม 2562 นอกจากนี้ระดับแคดเมียมในลูกอมที่ได้จากโกโก้สูงที่ 0.687 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงมากว่าเกินกว่า MCLs ของสหภาพยุโรปและจีนกำหนดระดับสารปนเปื้อนสูงสุด 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของอาหารประจำชาติมาตรฐานความปลอดภัยประเทศจีน ดังนั้นแคดเมียมก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค ลูกอมที่ได้จากโกโก้ อาจทำให้เกิดมะเร็งไตและต่อมลูกหมากและที่เกี่ยวข้องกับไตอื่น ๆ โรคต่าง ๆ[36] แนวโน้ม การสัมผัสและความเสี่ยงจากสารหนู, แคดเมียม, และปรอท ความเสี่ยงขึ้นอยู่กับปริมาณและระดับความอันตรายของสารหนู, แคดเมียม, และปรอทในระบบอาหารที่มีโกโก้ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนัก 10 ชนิดใน 27 ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์โกโก้ และช็อคโกแลต ที่จำหน่ายในตลาดซาอุดิอาระเบียโดยใช้ Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) ระดับเฉลี่ยของแคดเมียมอยู่ในช่วง 0.001–0.080 ไมโครกรัมต่อมวลของสารตั้งต้น กรัม (μg/g) ความเสี่ยงมีค่าดัชนี Hazard Quotient > 1 (HQ > 1) จะส่งผลต่อความเป็นพิษในหลายประการ เช่น ความผิดปกติของระบบประสาท, โรคกระดูกพรุน, โปรตีนในปัสสาวะ, ไตนิ่ว keratosis, และรอยดำ รายงานว่า 2 ใน 100,000 คน มีความเสี่ยงต่อผิวหนังมะเร็ง เนื่องจากการประเมินความเสี่ยงของสารก่อมะเร็งในผลิตภัณฑ์โกโก้ และการศึกษาเพิ่มเติมแสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งเพิ่มขึ้นเป็น 3 ใน 100,000 รายในกลุ่มผู้บริโภคช็อกโกแลตแท่งและลูกกวาด ช็อคโกแลต การได้รับแคดเมียมในช็อกโกแลตเท่ากันในเด็กและผู้ใหญ่ แต่เด็กมีความเสี่ยงสูงกว่าในการสัมผัสแคดเมียม (8.6%) เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใหญ่ (1.8%) หลังจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โกโก้บางอย่าง รวมทั้งโกโก้ พบว่าผู้บริโภคโกโก้ที่เป็นผู้ใหญ่มีความเสี่ยง Hazard Quotient > 1 (HQ > 1) ต่อโรคต่าง ๆ เช่น โปรตีนในปัสสาวะ, นิ่วในไต, โรคกระดูกพรุน, และรอยดำ ซึ่งมีสาเหตุมาจากโลหะหลายชนิด เช่น สารหนู, ตะกั่ว, และแคดเมียมที่อาจพบในโกโก้ การศึกษาพบว่าความเสี่ยงต่อความเป็นพิษเหล่านี้ในเด็กมีสูงกว่า นั่นหมายความว่า เด็กมีโอกาสมากขึ้นที่จะเป็นพิษจากโลหะเหล่านี้ ข้อมูลนี้ช่วยให้เข้าใจว่าการบริโภคช็อกโกแลตที่มีแคดเมียมอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพได้แต่มีความเสี่ยงสูงขึ้นในกลุ่มเด็กเทียบกับผู้ใหญ่ เพราะความแตกต่างในอัตราการสัมผัสแคดเมียมและความอันตรายของโลหะต่าง ๆ ในร่างกาย[37]

งานวิจัยชื่อ "Nickel, cadmium and lead levels in raw cocoa and processed chocolate mass materials from three different manufacturers" ผู้วิจัยได้เลือกตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิดคือ นิกเกิล แคดเมียม และ ลีด ในวัตถุดิบชนิดผงโกโก้และวัตถุดิบชนิดช็อกโกแลต จาก 3 โรงงานที่ผลิตสินค้าเหล่านี้ โดยไม่ได้ระบุชื่อของโรงงานในการทดสอบ ได้ทำการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบชนิดผงโกโก้และวัตถุดิบชนิดช็อกโกแลต จาก 3 โรงงานที่ผลิตสินค้าเหล่านี้ โดยใช้วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณโลหะหนัก Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) และ Atomic Absorption

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Spectrophotometry (AAS) เพื่อวัดปริมาณโลหะหนักในแต่ละตัวอย่าง โดยทดสอบทั้งก่อนและหลังการผ่านกระบวนการผลิตเพื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่มีอยู่ในสินค้าเหล่านี้ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ในงานวิจัยนี้ พบว่าปริมาณโลหะตะกั่วในวัตถุดิบชนิดผงโกโก้และวัตถุดิบชนิดช็อกโกแลตที่ตรวจวัดจาก 3 โรงงานมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน Codex Alimentarius ที่กำหนดไว้ ดังนั้น สรุปได้ว่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนปริมาณแคดเมียมในวัตถุดิบชนิดผงโกโก้และวัตถุดิบชนิดช็อกโกแลตมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นสรุปได้ว่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกรณีของแคดเมียมเท่านั้น ส่วนปริมาณตะกั่วในผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกรณีของตะกั่ว โดยสรุปตามผลการวิจัย ตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตาม ระเบียบของ Codex Alimentarius เป็นแนวทางแนะนำเท่านั้น แต่การกำหนดเกณฑ์ความปลอดภัยขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศ โดยอาจจะมีเกณฑ์ความปลอดภัยที่ต่างกันไปกันออกไปตามข้อกำหนดของแต่ละประเทศ ดังนั้น การตรวจวัดค่านิกเกิล แคดเมียม และลีด ในอาหารจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและสังคมในระยะยาว

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่าง แคดเมียม ตะกั่ว และนิเกิล ในโกโก้จากสายการผลิตโรงงาน X และโรงงาน Y [38]

ผลิตภัณฑ์	ผู้ผลิต	แคดเมียม	ตะกั่ว	นิเกิล
		(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
Cocoa fat	X	< 0.002	< 0.0013	0.086 ± 0.005
Cocoa fat	Y	< 0.002	< 0.0013	0.070 ± 0.005
Cocoa powder	X	0.153 ± 0.015	0.575 ± 0.014	12.10 ± 0.13
Cocoa powder	Y	0.174 ± 0.011	0.155 ± 0.012	11.70 ± 0.10
Cocoa mass	X	0.058 ± 0.006	0.585 ± 0.016	5.72 ± 0.13
Cocoa mass	Y	0.098 ± 0.009	< 0.0013	5.87 ± 0.10

ปริมาณแคดเมียมในช็อกโกแลตนั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของเมล็ดโกโก้และกระบวนการผลิต เมล็ดโกโก้ที่นำเข้าจากเอกวาดอร์มีแคดเมียมสูงที่สุด ประมาณ 0.629 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่เมล็ดโกโก้ที่นำเข้าจากสาธารณรัฐโดมินิกันมีแคดเมียมน้อยกว่าประมาณห้าเท่า ประมาณ 0.128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในระหว่างกระบวนการผลิต ปริมาณแคดเมียมในช็อกโกแลตจะลดลง โดยลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 สาเหตุหลักมาจากการเพิ่มวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น น้ำตาล และไขมันโกโก้ ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมต่ำช็อกโกแลตที่ผลิตโดยโรงงาน X และ Y มีปริมาณแคดเมียมต่ำที่สุด โดยอยู่ที่ประมาณ 0.058 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและ 0.098 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ช็อกโกแลตที่ผลิตโดยโรงงาน Z มีปริมาณแคดเมียมสูงสุด โดยอยู่ที่ประมาณ 0.429 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สาเหตุหลักมาจากการใช้เมล็ดโกโก้ที่นำเข้าจากเอกวาดอร์เป็นวัตถุดิบหลัก ทั้งนี้ปริมาณแคดเมียมในช็อกโกแลตทุกประเภทที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนด[38]

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

งานวิจัย "The contribution of cacao consumption to the bioaccessible dietary cadmium exposure in the Belgian population" พบว่า การบริโภคโกโก้มีส่วนทำให้เกิดการสัมผัสกับแคดเมียมผ่านทางอาหารในประชากรเบลเยียมมากถึงร้อยละ 7-9 งานวิจัยนี้ศึกษาการบริโภคโกโก้เป็นแหล่งแคดเมียมในประชากรเบลเยียมจำนวน 2,055 คน โดยใช้แบบสอบถามความถี่ในการบริโภคอาหารและการเรียกคืนอาหาร 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ผู้เข้าร่วมรับประทานโกโก้เฉลี่ยวันละ 28 กรัม ซึ่งสูงกว่าที่ประเมินไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ นักวิจัยยังวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโกโก้จำนวน 349 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณแคดเมียมในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโกโก้นั้นปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.006 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้เฉลี่ยจากแป้งสาลีที่ 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ต่ำกว่าแป้งสาลีประมาณห้าเท่า (ในผงโกโก้) และสองเท่า (ในดาร์กช็อกโกแลต) ปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.003 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งต่ำกว่าปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้เฉลี่ยจากแป้งสาลีที่ 0.015 มิลลิกรัมต่อกรัม ประมาณสองเท่า เมื่อเทียบกับปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้จากแป้งสาลี ปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณแคดเมียมในอาหาร รูปแบบของอาหาร และสภาพร่างกายของผู้บริโภค งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การบริโภคโกโก้อาจเป็นแหล่งแคดเมียมที่สำคัญในประชากรเบลเยียม อย่างไรก็ตาม ปริมาณแคดเมียมที่ดูดซึมได้จากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโกโก้นั้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอาหารหลักอื่น ๆ ดังนั้น จึงควรบริโภคโกโก้ในปริมาณที่พอเหมาะ และหลีกเลี่ยงการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโกโก้ที่มีคุณภาพต่ำ[39]

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดเชิงทฤษฎี

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการตรวจหาปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในโกโก้ชนิดผงที่มีขายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไปโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

สุ่มเก็บตัวอย่างในโกโก้ชนิดผงที่มีขายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไป ที่มียอดขายสูงสุดตามลำดับ จำนวน 15 ตัวอย่าง

3.2.1 ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าต่างประเทศ จำนวน 5 ตัวอย่าง

3.2.2 ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย จำนวน 5 ตัวอย่าง

3.2.3 ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย จำนวน 5 ตัวอย่าง

3.3 การคัดเลือกตัวอย่างเกณฑ์การคัดเลือกตัวอย่าง

3.3.1 ผลิตภัณฑ์ผงโกโก้ไม่มีส่วนผสมอื่นเจือปน เช่น แป้ง นม ถั่วชนิดต่างๆ

3.3.2 มีวางจำหน่ายออนไลน์ และตลาดทั่วไป

3.3.3 มียอดจำหน่ายเกิน 1,000 ชิ้น จากหน้าร้านค้าออนไลน์

3.3.4 ผลิตภัณฑ์ไม่หมดอายุตามฉลาก

3.3.5 บรรจุภัณฑ์ไม่มีการชำรุด

3.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.4.1 เตรียมผลิตภัณฑ์ตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 250 กรัม

3.4.2 กรอกข้อมูลผลิตภัณฑ์ในเอกสารตามลำดับชื่อตัวอย่างที่ส่งตรวจ และข้อมูลทำอัตราการละลายของตัวอย่างตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 356และ 414 เช่น ตัวอย่างกลุ่ม A ลำดับที่1 อัตราการละลาย ผงโกโก้ 1 ช้อนชา กับน้ำร้อน 150 มิลลิกรัม คนจนละลาย แล้วจึงทำการตรวจหาสารตกค้างได้

3.4.3 ตรวจหาสารแคดเมียมตกค้างในผงโกโก้ โดยส่งตรวจ บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชีย จำกัด (มหาชน) โดยอาศัยเครื่องมือและเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้หลักการวิจัยเชิงวิเคราะห์ (Analytical research) รายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่า Limit of Detection (LOD) 0.01 และค่า Limit of Quantitation (LOQ) 0.03 เมื่อได้ข้อมูลแล้วจึงสรุปและนำเสนอผลการทดสอบในรูปแบบค่าเฉลี่ย และอภิปรายเชิงพรรณนา

3.4.4 นำผลมาวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.5 อภิปรายผลทดสอบ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในโกโก้ชนิดผงที่มีขายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไป มีสารแคดเมียมตกค้างหรือไม่ โดยมีกลุ่มอย่างที่เข้าเกณฑ์การคัดเลือกทั้งหมด 15 ตัวอย่าง แล้วจึงนำมาทดสอบ โดยอาศัยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) พบว่าปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้จากแหล่งผลิตต่าง ๆได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลตัวอย่างที่ส่งตรวจ

กลุ่มตัวอย่าง	แหล่งที่มาของผงโกโก้	วันหมดอายุ
ผงโกโก้ที่มีสารบบนำเข้าจากต่างประเทศ	ประเทศเนเธอร์แลนด์	30/06/2024
	ประเทศสหราชอาณาจักร	03/05/2025
	ประเทศเบลเยี่ยม	14/12/2024
	ประเทศสหรัฐอเมริกา	02/2025
	ประเทศฝรั่งเศส	20/05/2025
ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย	ประเทศอินโดนีเซีย	21/11/2024
	ประเทศไทย	31/10/2025
	จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประเทศไทย	23/12/2024
	ประเทศไทย	19/12/2024
	จังหวัดน่าน ประเทศไทย	12/2025
ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย	ดอยช้าง ประเทศไทย	05/02/2025
	ประเทศกาน่า	1/11/2025
	ประเทศไทย	15/10/2025
	ประเทศอินโดนีเซีย	NA
	จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย	NA

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าต่างประเทศ ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย

ลำดับ	ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าต่างประเทศ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) A	ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) B	ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) C
1.	0.16	1.49	0.74
2.	0.13	0.19	1.16
3.	0.12	0.22	0.15
4.	0.15	0.15	0.76
5.	0.14	0.39	0.11
ค่าเฉลี่ย	0.14	0.488	0.584
ค่า SD	0.016	0.568	0.447

จากตารางที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.584 ± 0.447 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย 0.488 ± 0.568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าจากต่างประเทศ 0.14 ± 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

จากการตรวจพบค่าเกินมาตรฐาน 2 ตัวอย่าง จาก 15 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 13.33 เหตุปัจจัยที่ส่งผลทำให้พบสารแคดเมียมตกค้าง ผู้วิจัยสันนิฐานได้ว่า กระบวนผลิตที่ไม่ได้ควบคุมปริมาณสารแคดเมียม โกโก้ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีมลพิษทางดินสูงมีโอกาสพบสารแคดเมียมสูง

ผลการวิจัยพบว่าปริมาณสารแคดเมียมในโกโก้ที่มีปริมาณเกินค่าที่ประเทศไทยกำหนดปริมาณสารแคดเมียมในช็อกโกแลตที่มีปริมาณผงโกโก้ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไปที่ 0.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมกรัม ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยมีปริมาณเกินค่ากำหนด 1 ตัวอย่าง แสดงค่าที่ 1.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยเกินค่าที่กำหนด 1 ตัวอย่าง แสดงค่าที่ 1.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาปริมาณสารแคดเมียมตกค้างในโกโก้ชนิดผงที่มีขายในตลาดออนไลน์และตลาดทั่วไปแบบเจาะจงตามขอบเขตการวิจัยทั้งหมด 15 ตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) โดยมีตัวอย่างที่จำหน่ายในประเทศไทยที่มีเลขสารบบอาหารที่ผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบที่ผลิตในต่างประเทศจำนวน 5 ตัวอย่าง และ ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรองรับ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำมาเขียนสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

5.2 สรุปผลการศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคัดกรองเบื้องต้น ว่าผลิตภัณฑ์ผงโกโก้ร้อยละ 70 ขึ้นไป มีสารแคดเมียมตกค้างหรือไม่ โดยมีกลุ่มตัวอย่างที่เข้าเกณฑ์การคัดเลือกทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ประเภทละ 5 ตัวอย่าง ได้แก่ ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบที่มีผลิตในต่างประเทศจำนวน 5 ตัวอย่าง และ ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบที่ผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง ผงโกโก้ที่มีเลขสารบบอาหารที่ผลิตในประเทศไทยจำนวน 5 ตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า ผงโกโก้ที่ไม่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.584 ± 0.447 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือผงโกโก้ที่มีเลขสารบบผลิตในประเทศไทย 0.488 ± 0.568 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และผงโกโก้ที่มีเลขสารบบนำเข้าจากต่างประเทศ 0.14 ± 0.016 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จาการตรวจพบค่าเกินมาตรฐาน 2 ตัวอย่าง จาก 15 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 13.33 เหตุปัจจัยที่ส่งผลทำให้พบสารแคดเมียมตกค้าง ผู้วิจัยสันนิษฐานได้ว่า ชนิดของเมล็ดโกโก้จากละตินอเมริกามักมีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าเมล็ดโกโก้จากแอฟริกาตะวันตก[37] และกระบวนการผลิตที่ไม่ได้ควบคุมปริมาณสารแคดเมียม โกโก้ที่ปลูกในพื้นที่ ที่มีมลพิษทางดินสูงมีโอกาสพบปริมาณสารแคดเมียมสูง เช่น ดินที่ปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดมลพิษ แหล่งอุตสาหกรรม เหมืองแร่ การใช้ปุ๋ยหรือยาฆ่าแมลงที่มีแคดเมียม โดยเฉพาะในดินที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น เหมืองแร่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นต้น โกโก้เป็นพืชที่ดูดซับแคดเมียมจากดินได้ ดังนั้นการปลูกโกโก้ที่ปนเปื้อนแคดเมียมอาจส่งผลให้เมล็ดมีปริมาณแคดเมียมที่สูง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ การลดแคดเมียมในการปลูกโกโก้มีดังนี้

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

เลือกพื้นที่ปลูกที่เหมาะสม เป็นวิธีหนึ่งสำคัญในการลดปริมาณแคดเมียมในการปลูกโกโก้ เกษตรกร ควรเลือกพื้นที่ปลูกที่อุดมไปด้วยสารอื่นๆ ที่ช่วยดูดซับแคดเมียม เช่น ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และแคลเซียม สารอาหารเหล่านี้จะช่วยจับแคดเมียมไว้ในดินและทำให้พืชดูดซึมแคดเมียมได้น้อยลง สภาพดินที่มีค่า pH ต่ำ มีแนวโน้มที่จะสะสมแคดเมียมมากกว่าดินที่มีค่า pH สูง นอกจากนี้ เกษตรกรควรหลีกเลี่ยงการปลูกโกโก้ในพื้นที่ที่ปนเปื้อนแคดเมียม เช่น พื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเหมืองแร่ โรงงานอุตสาหกรรม หรือพื้นที่ที่มีการเผาไหมเชื้อเพลิงฟอสซิล เป็นต้น

การใช้ปุ๋ยที่เหมาะสม ปุ๋ยเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช เกตรกรควรใช้ปุ๋ยที่อุดมไปด้วยสารอาหารอื่นๆ ที่ช่วยดูดซับแคดเมียม เชน ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยฟอสเฟต และปุ๋ยโพแทสเซียม ปุ๋ยเหล่านี้จะช่วยจับแคดเมียมไว้ในดินและทำให้พืชดูดซึมแคดเมียมได้น้อยลง นอกจากนี้เกษตรกรควรหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยที่มีปริมารแคดเมียมสูง เช่น ปุ๋ยหมักจากพืชตะกูลถั่ว ปุ๋ยคอก เป็นต้น

การหมุนเวียนการปลูกพืชเป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของดิน เกษตรกรควรหมุนเวียนการปลูกพืชกับพืชอื่นๆ เช่น พืชตระกูลถั่ว พืชตระกูลกะหล่ำ พืชตระกูลแตง ซึ่งพืชเหล่านี้สามารถช่วยดูดซับแคดเมียมจากดินได้ นอกจากนี้ เกษตรกรควรหลีกเลี่ยงการปลูกโกโก้ในพื้นที่เดิมติดต่อกันเป็นเวลานาน เนื่องจากจะทำให้ปริมาณแคดเมียมในดินสะสมเพิ่มขึ้น

การแปลงสภาพแคดเมียมเป็นวิธีการเปลี่ยนรูปของแคดเมียมให้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ สามารถทำได้ดังนี้

การระบายน้ำออก (leaching) การระบายน้ำออกเป็นวิธีการที่อาศัยการไหลของน้ำผ่านดินเพื่อชะล้างแคดเมียมออกจากดิน สามารถทำได้โดยการให้น้ำแก่ดินอย่างสม่ำเสมอและระบายน้ำทิ้งออก วิธีการนี้เหมาะสำหรับดินที่มีความเป็นกรดต่ำ (pH >7)

การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นวิธีการที่อาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนแคดเมียมในดินด้วยไอออนอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ สามารถทำได้โดยการใช้สารเคมี เช่น โซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต (sodium aluminate silicate) โซเดียมฟอสเฟต (sodium phosphate) เป็นต้น

การบำบัดด้วยสารเคมี (chemical treatment) การบำบัดด้วยสารเคมีเป็นวิธีการที่อาศัยการใช้สารเคมีเพื่อเปลี่ยนรูปของแคดเมียมให้เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ สามารถทำได้โดยการใช้สารเคมี เช่น แคดเมียมคลอไรด์ (cadmium chloride) แคดเมียมไนเตรต (cadmium nitrate) เป็นต้น

การตรึงแคดเมียมด้วยสารอินทรีย์ (organic fixation) การตรึงแคดเมียมด้วยสารอินทรีย์เป็นวิธีการที่อาศัยสารอินทรีย์ในดิน เช่น สารประกอบอินทรีย์ของคาร์บอน สารประกอบอินทรีย์ของซิลิคอน เป็นต้น มาจับแคดเมียมไว้ไม่ให้ละลายน้ำและไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ สามารถทำได้โดยการปลูกพืชตระกูลถั่ว พืชตระกูลกะหล่ำ พืชตระกูลแตง เป็นต้น

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

การตรึงแคดเมียมด้วยสารอนินทรีย์ (inorganic fixation) เป็นวิธีการที่อาศัยสารอนินทรีย์ในดิน เช่น สารประกอบของเหล็ก สารประกอบของแมงกานีส เป็นต้น มาจับแคดเมียมไว้ไม่ให้ละลายน้ำและไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์ สามารถทำได้โดยการใช้สารเคมี เช่น เหล็กออกไซด์ (iron oxide) แมงกานีสออกไซด์ (manganese oxide) เป็นต้น การเลือกวิธีการแก้แคดเมียมในดินที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณแคดเมียมในดิน ชนิดของดิน พืชที่ต้องการปลูก เป็นต้น นอกจากนี้ เกษตรกรควรปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านดินเพื่อเลือกวิธีการแก้แคดเมียมในดินที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ[40]

ในประเทศไทย มีรายงานการปนเปื้อนโลหะหนักรุนแรงในหลายพื้นที่ เช่น การปนเปื้อนสารแคดเมียมในห้วยแม่ตาว จังหวัดตาก การปนเปื้อนสารตะกั่วในห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี การปนเปื้อนสารหนูในอำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในอดีต วิธีการบำบัดโลหะหนักมักใช้วิธีทางกายภาพและเคมี เช่น การกรอง การตกตะกอนทางเคมี การแยกกรองด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้มีข้อจำกัด เช่น มีค่าใช้จ่ายสูง ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และอาจสร้างสารพิษตกค้างในพื้นที่บำบัด การวิจัยการบำบัดด้วยพืช (Phytoremediation) เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับความสนใจมากขึ้น เป็นการใช้พืชดูดซับโลหะหนักจากดินและน้ำไปสะสมไว้ที่ใบ ลำต้น หรือราก วิธีนี้มีปลอดภัย มีค่าใช้จ่ายต่ำ ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้าง โดยการใช้จุลินทรีย์ช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืช เปลี่ยนโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมได้ สารที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เช่น Siderophore จับกับเหล็กในดินให้อยู่ในรูปที่พืชดูดซึมได้ Indole-3-acetic acid (IAA): ฮอร์โมนพืช 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase ลดปริมาณ ethylene ในพืช กรดอินทรีย์เพิ่มความเป็นกรดของดิน ช่วยให้โลหะหนักละลายน้ำได้มากขึ้น[41]

งานวิจัยมากมายที่ศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการลดแคดเมียมในดิน พบว่าจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถลดปริมาณแคดเมียมในดินได้ โดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการลดแคดเมียมในดิน ได้แก่

แบคทีเรีย เช่น Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa, Enterobacter aerogenes สามารถปริมาณแคดเมียมในดินได้ดีกว่ายีสต์ และเชื้อรา

ยีสต์ เช่น Saccharomyces cerevisiae, Candida albicans

รา เช่น Aspergillus niger, Penicillium chrysogenum

งานวิจัยบางชิ้นพบว่าจุลินทรีย์สามารถลดปริมาณแคดเมียมในดินได้สูงสุดถึงร้อยละ 90 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการลดแคดเมียมของจุลินทรีย์อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของจุลินทรีย์ ปริมาณของแคลเซียมในดิน ปริมาณของแอมโมเนียในดิน เป็นต้น โดยสรุปแล้ว การใช้จุลินทรีย์เพื่อลดแคดเมียมในดินเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้ได้ในระยะยาว[42]

กัญชงหรือเฮมพ์ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cannabis sativa L.* เป็นพืชที่สามรถบำบัดดินที่ปนเปื้อนจากโลหะหนักเนื่องจากมีความสามรถดูดสารพิษออกจากดินและสามารถสะสมไว้ในตัวเอง สามมารถเจริญเติบโตเร็วและทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน รองรับสภาพดินและสภาพอากาศที่หลากหลายได้ เป็นพืชที่ไม่ต้องการการดูแลและไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นอาหาร เพื่อป้องกันไม่ให้สารพิษเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร มีวงจรชีวิตสั้นสามารถเจริญเติบโตและทำงานบำบัดดินได้เร็วขึ้น การใช้กัญชงหรือเฮมพ์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ในการลดความเป็นพิษในดินและสิ่งแวดล้อมโดยที่ไม่ต้องใช้สารเคมี การทดลองพบว่าการปลูกเฮมพ์บนดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมและมีการเติมสารอีดีทีเอ (EDTA) ส่งผลให้เฮมพ์ที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อนและมีการเติมสารอีดีทีเอนั้นมีระดับการสะสมแคดเมียมสูงกว่าเฮมพ์ที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อนเพียงอย่างเดียว จึงแสดงให้เห็นว่าการปลูกเฮมพ์บนดินที่ปนเปื้อนเพียงอย่างเดียวก็สามารถช่วยบาบัดและฟื้นฟูดินปนเปื้อนได้ แต่ถ้ามีการเติมสารอีดีทีเอซึ่งเป็นสารที่ช่วยและส่งเสริมให้โลหะหนักออกจากดินและให้อยู่ในรูปที่ง่ายต่อการดูดดึงของพืช ก็จะช่วยเพิ่มการดูดดึงและสะสมโลหะหนักเข้าสู่กัญชงหรือเฮมพ์ให้ดียิ่งขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีการปลูกกัญชงหรือเฮมพ์ในพื้นที่ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก โดยในปัจจุบันหน่วยงานที่รับผิดชอบได้เตรียมการส่งเสริมและยกระดับการใช้กัญชงหรือเฮมพ์เป็นพืชเศรษฐกิจในทุกพื้นที่โดยให้มีการยื่นคำร้องขออนุญาตก่อนการปลูก โดยการส่งเสริมการปลูกกัญชงหรือเฮมพ์จะเป็นการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนสารพิษในดินอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว อีกทั้งยังสร้างความเข้มแข็งให้กับเศรษฐกิจและสังคมในระยะยาวด้วย[43]

ในงานวิจัยของ Vineta Vitola ทำการวัดความเข้มข้นของปรอท สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียมในเมล็ดโกโก้ทั้งหมด วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือเมล็ดโกโก้และเปลือกโกโก้ จากการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพเมล็ดโกโก้ พบว่าความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม อลูมิเนียม และสังกะสีในเมล็ดโกโก้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างของความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดโกโก้จากกานา แคเมอรูน และเอกวาดอร์มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดโกโก้จากไนจีเรีย ($p > 0.05$) ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดโกโก้จากแคเมอรูนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดโกโก้จากไนจีเรีย เอกวาดอร์ และกานา ($p > 0.05$) ความแตกต่างของความเข้มข้นของอะลูมิเนียมในเมล็ดโกโก้มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทุกตัวอย่างที่วิเคราะห์ ความเข้มข้นของสังกะสีในเปลือกเมล็ดโกโก้สูงกว่าโดยเฉพาะในเปลือกเมล็ดโกโก้จากเอกวาดอร์ ($p < 0.05$) การคำนึงถึงความเข้มข้นของโลหะหนักที่แตกต่างกันในเมล็ดโกโก้ควรพิจารณาเมื่อเลือกส่วนผสมและองค์ประกอบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารหวานโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อโกโก้สูง เช่น ช็อกโกแลต, ขนมหวาน, ไส้โกโก้, ครีมโกโก้ และอื่น ๆ เพื่อป้องกันกระบวนการออกฤทธิ์ของการเกิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บของผลิตภัณฑ์[44]

5.2 สรุปผลการวิจัย

แม้งานวิจัยนี้จะตรวจพบค่าปริมาณแคดเมียมเกินมาตรฐาน ผู้บริโภคไม่ควรตื่นตะหนกกับผลการศึกษาวิจัยนี้ เพราะยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาร่วมด้วย ปริมาณแคดเมียมที่พบเกินมาตรฐานในบางตัวอย่าง ไม่ได้หมายความว่าโกโก้ทุกชนิดมีปริมาณแคดเมียมสูง ผู้บริโภคควรตรวจสอบฉลากสินค้า เลือกซื้อผงโกโก้ที่มีปริมาณแคดเมียมต่ำ ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อผงโกโก้จากแหล่งที่เชื่อถือได้ ตรวจสอบฉลากสินค้า เลือกซื้อผงโกโก้ที่มีเลขสารบบอาหาร เลือกซื้อจากร้านค้าที่ได้มาตรฐาน ยังมีแหล่งอาหารอื่นๆ ที่เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ ผู้บริโภคสามารถเลือกรับประทานอาหารหลากหลาย เลือกรับประทานผักผลไม้สดๆ เพื่อเสริมสร้างสุขภาพปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น การเลือกซื้อวัตถุดิบและอาหารที่มีคุณภาพ ปลอดภัย ปราศจากสารเคมีอันตราย เป็นสิ่งที่ทุกคนควรให้ความสำคัญ

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

(1) ผู้ผลิตควรเลือกใช้เมล็ดโกโก้จากแหล่งผลิตที่ปลอดภัยจากมลภาวะ เช่น แหล่งผลิตที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งอุตสาหกรรมหรือแหล่งกำเนิดมลพิษ ผู้ผลิตควรรักษามาตรฐานกรรมวิธีการผลิตที่ช่วยลดการปนเปื้อนของสารแคดเมียม เช่น การใช้กระบวนการผลิตแบบสมัยใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีในการกำจัดสารแคดเมียมออกจากเมล็ดโกโก้ และการตรวจวัดปริมาณสารแคดเมียมอย่างสม่ำเสมอ โดยควรตรวจวัดตั้งแต่วัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

(2) ผู้บริโภค สามารถใช้ข้อมูลนี้ เป็นแนวทางในการเลือกซื้อ และวางแผนการบริโภคในปริมาณที่เหมาะสม ไม่ควรบริโภคมากเกินไป ไม่ควรบริโภคเกิน 2-3 แก้วต่อวัน หรือไม่เกิน 40 กรัมต่อวัน ควรเลือกซื้อผงโกโก้แท้ร้อยละ 70 ขึ้นไป เลือกรับประทานผงโกโก้ที่มีส่วนผสมของไขมันโกโก้ต่ำ (Low Fat Cocoa) ผสมผสานโกโก้กับอาหารอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตที่มีความรับผิดชอบต่อสังคม

(3) สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงสาธารณสุข กรมควบคุมมลพิษ และองค์การอาหารและยา ควรมีมาตรการในการกำกับดูแลและตรวจสอบปริมาณสารแคดเมียมในโกโก้ชนิดผงอย่างเข้มงวด เพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

(1) ควรศึกษาปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้จากแหล่งผลิตต่าง ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้อย่างครอบคลุม

(2) ควรศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาผงโกโก้ที่มีต่อปริมาณสารแคดเมียม เพื่อทราบถึงปริมาณสารแคดเมียมที่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา

(3) ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ปริมาณฝนตก ระดับความเป็นกรดของดิน การศึกษาวิจัยในประเด็นเหล่านี้ จะช่วยให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารแคดเมียมในผงโกโก้ได้อย่างละเอียดและครอบคลุมยิ่งขึ้น

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง

1. Schaefer HR, Dennis S, Fitzpatrick S. Cadmium: Mitigation strategies to reduce dietary exposure. Journal of food science. 2020 Feb;85(2): 260-7. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14997
2. ฉลาดซื้อ ฉบับที่ 199. ช็อกโกแลตปนเปื้อนสารแคดเมียม ตะกั่ว ภัยแฝงที่ต้องระวัง. [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.seub.or.th/.
3. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข. ฉบับที่ 417 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. ๒๕๒๒ เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ เงื่อนไข วิธีการใช้ และอัตราส่วนของวัตถุเจือปนอาหาร (ฉบับที่ 1) โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้วัตถุเจือปนอาหาร เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบัน . (2563). [เข้าถึงเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/118/T_0017.PDF
4. กลุ่มงานวิจัยพืชอุตสาหกรรม กลุ่มวิชาการ สถาบันวิจัยพืชสวน. [เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/12/สถานการณ์การผลิตโกโก้_พฤศจิกายน63.pdf
5. Chocolate Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Traditional, Artificial), By Distribution Channel (Supermarket & Hypermarket, Convenience Store, Online), By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030 [Internet]. Available from: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chocolate-market.
6. Anyimah-Ackah E, Ofosu IW, Lutterodt HE, Darko G. Exposures and risks of arsenic, cadmium, lead, and mercury in cocoa beans and cocoa-based foods: a systematic review. Food Quality and Safety [Internet]. 2019;3:1–8. doi: 10.1093/fqsafe/fyy025.
7. Nateekhuncharoen N. Health risk assessment for heavy metals in Chao Phraya River basin [Internet]. 2023. Available from: https://doi.org/10.58837/chula.the.2021.204.8.
8. วิจิตร วังใน. โกโก้:อาหารที่ดีที่สุดและยาวิเศษของทุกยุคทุกสมัย. 2560. พืช สวน ฉบับเดือนมกราคม-เมษายน, น. 4. [เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2565] เข้าถึงได้จาก: http://hsst.or.th/wp-content/uploads/journal/journal1-60.pdf
9. Qin X-W, Lai J-X, Tan L-H, Hao C-Y, Li F-P, He S-Z, Song Y-H. Characterization of volatile compounds in Criollo, Forastero, and Trinitario cocoa seeds (Theobroma cacao L.) in China. International Journal of Food Properties [Internet]. 2017;20:2261–2275. doi: 10.1080/10942912.2016.1236270.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง(ต่อ)

10. แบ่งปันความรู้สู่ภูมิภาค ฉบับที่ 7. ปลดบล็อกโกโก้ไทยอย่างไรให้ไปต่อได้. 2564. [เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.bot.or.th/content/dam/bot/documents/th/research-and-publications/article/regional/2564/2564_RL_07_unlock_coco.PDF
11. การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตโกโก้ สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2564). [เข้าถึงเมื่อ 1 เมษายน 2565] เข้าถึงได้จาก: https://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=3136
12. Mendoza-Meneses CJ, Feregrino-Pérez AA, Guevara-González RG, García-Trejo JF. Implementation of pre-harvest techniques in emerging agroforestry systems to increase the yield of cocoa tree (Theobroma cacao L.). Heliyon. 2023 Mar 1;9(3). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14542
13. จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก. สมุนไพรลดไขมันในเลือด 140 ชนิด. “โกโก้” .2013.
14. Litterio MC, Jaggers G, Celep GS, Adamo AM, Costa MA, Oteiza PI, Fraga CG, Galleano M. Blood pressure-lowering effect of dietary (−)-epicatechin administration in L-NAME-treated rats is associated with restored nitric oxide levels. Free Radical Biology and Medicine. 2012 Nov 15;53(10):1894-902. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.08.585
15. Ren Y, Liu Y, Sun XZ, Wang BY, Zhao Y, Liu DC, Zhang DD, Liu XJ, Zhang RY, Sun HH, Liu FY. Chocolate consumption and risk of cardiovascular diseases: a meta-analysis of prospective studies. Heart. 2019 Jan 1;105(1):49-55. http://dx.doi.org/10.1136/heartjnl-2018-313131
16. Ludovici V, Barthelmes J, Nägele MP, Enseleit F, Ferri C, Flammer AJ, Ruschitzka F, Sudano I. Cocoa, blood pressure, and vascular function. Frontiers in nutrition. 2017 Aug 2;4:36. https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00036
17. Yoon HS, Kim JR, Park GY, Kim JE, Lee DH, Lee KW, Chung JH. Cocoa flavanol supplementation influences skin conditions of photo-aged women: a 24-week double-blind, randomized, controlled trial. The Journal of nutrition. 2016 Jan 1;146(1):46-50. https://doi.org/10.3945/jn.115.217711

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง (ต่อ)

18. Tanghe A, Heyman E, Wyngaert KV, Van Ginckel A, Celie B, Rietzschel E, Calders P, Shadid S. Evaluation of blood pressure lowering effects of cocoa flavanols in diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Journal of Functional Foods. 2021 Apr 1;79:104399. https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104399
19. Périz M, Pérez-Cano FJ, Cambras T, Franch À, Best I, Pastor-Soplin S, Castell M, Massot-Cladera M. Attenuating effect of Peruvian cocoa populations on the acute asthmatic response in Brown Norway rats. Nutrients. 2020 Jul 31;12(8):2301. https://doi.org/10.3390/nu12082301
20. Awortwe C, Asiedu-Gyekye IJ, Nkansah E, Adjei S. Unsweetened natural cocoa has anti-asthmatic potential. International Journal of Immunopathology and Pharmacology. 2014 Apr;27(2):203-12. https://doi/pdf/10.1177/039463201402700207
21. Munguía L, Izaguirre-Gutiérrez F, Hernández M, Ortiz A, Sánchez ME, Nájera N, Meaney E, Rubio-Gayosso I, Domínguez-Borgua A. Beneficial effects of a flavanol-enriched cacao beverage on anthropometric and cardiometabolic risk profile in overweight subjects. Revista mexicana de cardiología. 2015 Jun 30;26(2):78-86. https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=58908
22. Bowser SM, Moore WT, McMillan RP, Dorenkott MR, Goodrich KM, Ye L, O'Keefe SF, Hulver MW, Neilson AP. High-molecular-weight cocoa procyanidins possess enhanced insulin-enhancing and insulin mimetic activities in human primary skeletal muscle cells compared to smaller procyanidins. The Journal of nutritional biochemistry. 2017 Jan 1;39:48-58. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.10.001
23. Tuenter E, Foubert K, Pieters L. Mood components in cocoa and chocolate: the mood pyramid. Planta medica. 2018 Aug;84(12/13):839-44. https://doi.org/10.1055/a-0588-5534.
24. Klaessens S, Stroobant V, De Plaen E, Van den Eynde BJ. Systemic tryptophan homeostasis. Frontiers in Molecular Biosciences. 2022 Sep 14;9:897929. https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.897929

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง (ต่อ)

25. Mastroiacovo D, Kwik-Uribe C, Grassi D, Necozione S, Raffaele A, Pistacchio L, Righetti R, Bocale R, Lechiara MC, Marini C, Ferri C. Cocoa flavanol consumption improves cognitive function, blood pressure control, and metabolic profile in elderly subjects: the Cocoa, Cognition, and Aging (CoCoA) Study—a randomized controlled trial. The American journal of clinical nutrition. 2015 Mar 1;101(3):538-48. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092189
26. กองวิจัยและพัฒนาที่ดิน. ข้อมูลการจัดการดิน.(2565). [เข้าถึงเมื่อ 31 มกราคม 2566] เข้าถึงได้จาก: https://www.ldd.go.th/Web_Soil/polluted.htm
27. Samrane K, Latifi M, Khajouei M, Bouhaouss A. Comprehensive analysis and relevant developments of cadmium removal technologies in fertilizers industry. Minerals Engineering [Internet]. 2023;201:108189. doi: 10.1016/j.mineng.2023.108189.
28. Mehdikhanmahaleh MM, Tabatabaei-Malazy O. Itai itai disease. Elsevier eBooks [Internet]. 2024. p. 725–729. Available from: https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824315-2.00924-6.
29. Woolf AD. Itai-Itai disease—Japan, 1955. Elsevier eBooks [Internet]. 2022. p. 109–120. Available from: https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822218-8.00024-7.
30. Nageswaran G, Choudhary YS, Jagannathan S. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Elsevier eBooks [Internet]. 2017. p. 163–194. Available from: https://doi.org/10.1016/b978-0-323-46140-5.00008-x.
31. Consumer Reports Magazine February 2023 via @ConsumerReports [Internet]. Consumer Reports. Available from: https://www.consumerreports.org/magazine/2023/02/.
32. Villa JEL, Peixoto RRA, Cadore S. Cadmium and Lead in Chocolates Commercialized in Brazil. Journal of Agricultural and Food Chemistry [Internet]. 2014;62:8759–8763. doi: 10.1021/jf5026604.
33. Gramlich A, Tandy S, Gauggel C, López M, Perla D, Gonzalez V, Schulin R. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. Science of the Total Environment [Internet]. 2018;612:370–378. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.145.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง (ต่อ)

34. Gramlich A, Tandy S, Andres C, Paniagua JC, Armengot L, Schneider M, Schulin R. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. Science of the Total Environment [Internet]. 2017;580:677–686. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.014.
35. Anyimah-Ackah E, Ofosu IW, Lutterodt HE, Darko G. Exposures and risks of arsenic, cadmium, lead, and mercury in cocoa beans and cocoa-based foods: a systematic review. Food Quality and Safety [Internet]. 2019;3:1–8. doi: 10.1093/fqsafe/fyy025.
36. Salama AK. Health risk assessment of heavy metals content in cocoa and chocolate products sold in Saudi Arabia. Toxin Reviews [Internet]. 2018;38:318–327. doi: 10.1080/15569543.2018.1471090.
37. Kruszewski B, Obiedziński MW, Kowalska J. Nickel, cadmium and lead levels in raw cocoa and processed chocolate mass materials from three different manufacturers. Journal of Food Composition and Analysis [Internet]. 2018;66:127–135. doi: 10.1016/j.jfca.2017.12.012.
38. Vanderschueren R, Doevenspeck J, Goethals L, Andjelkovic M, Waegeneers N, Smolders E. The contribution of cacao consumption to the bioaccessible dietary cadmium exposure in the Belgian population. Food and Chemical Toxicology. 2023 Jan 5:113599. https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.113599
39. Gramlich A, Tandy S, Andres C, Paniagua JC, Armengot L, Schneider M, Schulin R. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. Science of the Total Environment [Internet]. 2017;580:677–686. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.014.
40. การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพืชในการบำบัดการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม – EHT [Internet]. 2013. [เข้าถึงเมื่อ 31 มกราคม 2566] เข้าถึงได้จาก: https://eht.sc.mahidol.ac.th/article/434.
41. เบญจภรณ์ ประภักดี, จิรวีฐ์ แสงทอง. แนวทางการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนแคดเมียมด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม...จากขวดทดลองสู่พื้นที่จริง. วารสารสิ่งแวดล้อม. 2559 ; 20 1, 1-13.เข้าถึงเมื่อ 01 เมษายน 2566, จาก https://ej.eric.chula.ac.th/article/view/131

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

รายการอ้างอิง(ต่อ)

42. Ashraf MA, Hussain I, Rasheed R, Iqbal M, Riaz M, Arif MS. Advances in microbe-assisted reclamation of heavy metal contaminated soils over the last decade: A review. Journal of Environmental Management [Internet]. 2017;198:132–143. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.04.060.

43. อชิรญาณ์ คเณศรักษพงษ์ และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. เฮมพ์"...พืชฟื้นฟูดินปนเปื้อนสารพิษสู่นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ชุมชน...ยุค Thailand 4.0. 2563 วารสารสิ่งแวดล้อม [เข้าถึงเมื่อ 25 มีนาคม 256] เข้าถึงได้จาก: https://ej.eric.chula.ac.th/storage/ckeditor/file/file-285-Thai-579531171.pdf

44. V**Ī**tola V, Ciproviča I. The Effect of Cocoa Beans Heavy and Trace Elements on Safety and Stability of Confectionery Products. Rural Sustainability Research [Internet]. 2016;35:19–23. doi: 10.1515/plua-2016-0003.

DPU DHURAKIJ PUNDIT UNIVERSITY มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล เจนิส พรภัคจิรา

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2564 ปริญญาตรี ศิลปศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโรงแรมและการท่องเที่ยว
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประวิติการทำงาน อาชีพอิสระ