

การสำรวจนำร่องของระดับโลหะหนักในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก

กฤษฎวรรณ อธิฐงาม

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปีการศึกษา 2564

**PRELIMINARY SURVEY OF HEAVY METAL LEVEL IN
PREMIXED SOIL**

KRISSANAWAN ITNGAM



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 2021



ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การสำรวจนำร่องของระดับ โลหะหนักในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก
เสนอโดย กฤษณวรรณ อธิงาม
สาขาวิชา วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ
กลุ่มวิชา วิทยาศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์
ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

ลงชื่อ  ประธานกรรมการ
(เกศชกรหญิง รองศาสตราจารย์ ดร.มยุรี ตันติสิทธิ์)

ลงชื่อ  กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์พันธ์ศักดิ์ ศุกระฤกษ์)

ลงชื่อ  กรรมการ
(ดร.นายแพทย์ภาวิต หน่อไชย)

วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ รับรองแล้ว

ลงชื่อ  คณบดีวิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นายแพทย์พัฒนา เต็งอำนวย)

วันที่ 12 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2565

หัวข้อสารนิพนธ์	การสำรวจนำร่องของระดับโลหะหนักในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก
ชื่อผู้เขียน	กฤษฎวรรณ อธิฐงาม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศศ.นพ.พันธ์ศักดิ์ สุกระฤกษ์
สาขาวิชา	วิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ
ปีการศึกษา	2564

บทคัดย่อ

พฤติกรรมของผู้คนในปัจจุบันเริ่มปลูกพืชผักรับประทานเองมากขึ้น เพื่อต้องการรับประทานพืชผักปลอดสารพิษ การปลูกพืชผักยังมีอันตรายแฝงในกลุ่มโลหะหนักที่ปนเปื้อนมาจากดิน ซึ่งสามารถถ่ายโอนสู่พืชซึ่งเป็นห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ การสำรวจค่าปริมาณโลหะหนักในดินเพื่อเป็นข้อมูลและเฝ้าระวังปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในดิน โดยการศึกษาในครั้งนี้เป็นการสำรวจดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง หาปริมาณโลหะหนักว่ามีการปนเปื้อนเกินกว่าค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษกำหนดหรือไม่ ผู้วิจัยกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงโดยได้ดินมาทั้งหมด 3 ยี่ห้อ และทำการทดสอบด้วยวิธีการ Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS/OES) ผลจากการศึกษาพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อพบการปนเปื้อนของสารโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) โดยดินยี่ห้อดินดีเมืองระยองมีปริมาณสารตะกั่วมากที่สุด คือ 7.285 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินน้องอาร์ม 4.011 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล 3.106 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ต่อมา สารหนู (AS) พบมากในดินดีเมืองระยอง 1.556 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินน้องอาร์ม 1.326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล <1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคดเมียม (Cd) และปรอท (Hg) ไม่พบในดินทั้ง 3 ยี่ห้อ อย่างไรก็ตาม การพบสารปนเปื้อนในครั้งนี้พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษที่กำหนดไว้คือ ตะกั่วไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารหนูไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้เป็นการสำรวจช่วยให้ทั้งผู้ประกอบการและผู้บริโภคตระหนักถึงแหล่งที่มาของดินและเฝ้าระวังถึงคุณภาพและสารปนเปื้อนในดินก่อนที่จะนำมาใช้งานเพื่อความปลอดภัยด้านสุขภาพ

คำสำคัญ: ดินปนเปื้อน, ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก, โลหะหนัก, การตรวจแบบ ICP-MS/OES

Thematic Paper Title	PRELIMINARY SURVEY OF HEAVY METAL LEVEL IN PREMIXED SOIL
Author	Krissanawan Itngam
Thematic Paper Advisor	Assistant Professor Pansak Sugkraroek, MD
Department	Anti-Aging and Regenerative Medicine, College of Integrative Medicine
Academic Year	2021

ABSTRACT

With the growing demand for organic vegetables, more people have opted for the planting of their own vegetable. However, there is also a risk for consumption of homegrown vegetables, as heavy metals found in contaminated soil may enter the food chain through polluted vegetables. Information gained from the survey will raise awareness on heavy metal contamination in soil. The study has been conducted to survey bagged premixed soil products from Rayong province, and find out whether contaminated heavy metal level exceeds standard set by the Department of Pollution Control. The researcher selected 3 brands of bagged premixed soil as purposive samplings, and conducted the Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS/OES) testing. The result reveals contamination of heavy metals in all the 3 brands of bagged premixed soil. “Din Dee Rayong” contains the highest level of lead (Pb) at 7.285 mg./kg., followed by “Din Nong Arm” and “Din Nong Phol”, at 4.011 mg./kg. and 3.106 mg./kg., respectively. Arsenic (AS) is also found in “Din Dee Rayong” at 1.556 mg./kg., “Din Nong Arm” at 1.326 mg./kg., and “Din Nong Phol” at <1.000 mg./kg., while cadmium (Cd) and mercury (Hg) are not detected in all the 3 brands of bagged premixed soil. However, heavy metal contamination level found in the purposive samplings does not exceed the Department of Pollution Control’s standard are Lead not more than 400 mg./kg., Arsenic not more than 6 mg/kg. The Study will, therefore, help both the entrepreneurs and consumers to be aware of and take precaution on sources of soil, and soil quality and contamination for their health and safety.

Keywords: contaminated soil, premixed soil, heavy metal, ICP-MS/OES testing

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ อาจารย์ ผศ. นพ. พันธุ์ศักดิ์ สุกระฤกษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิทยาการชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่ได้ให้คำปรึกษา เสนอข้อคิดเห็น เสนอแนะแนวทางในการพัฒนาสารนิพนธ์เล่มนี้ รวมทั้งช่วยแก้ไขข้อบกพร่องจนสารนิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ท่านอื่น ๆ ทุกท่านที่มีเมตตาต่อผู้วิจัย ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ต่อสารนิพนธ์เล่มนี้ นอกจากนี้ยังรวมถึงบุคลากรของ มหาวิทยาลัยที่คอยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการต่าง ๆ ทั้งในการส่งเล่มสารนิพนธ์เล่มนี้ ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมสาขาที่ได้ช่วยและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนเล่ม สารนิพนธ์ ช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังเป็นเพื่อน ร่วมศึกษายังเป็นทั้งผู้ให้กำลังใจและกำลังใจ เป็นเพื่อนผู้คอยช่วยสนับสนุนให้สารนิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านมาในโอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลของผู้วิจัยทุกท่าน หากผู้วิจัยไม่ได้รับความ ร่วมมือในการเก็บข้อมูลสารนิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี รวมถึง ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขา จังหวัด ฉะเชิงเทรา ที่ช่วยเหลือการวิเคราะห์เฉพาะทางและทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล อันเป็นประโยชน์แก่ผู้อื่นได้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้เข้ามา ศึกษา ค้นคว้าวิชาความรู้เพื่อเพิ่มศักยภาพของตน มหาวิทยาลัยเป็นทั้งสถานที่ที่สร้างแรงบันดาลใจ ในการสร้างองค์ความรู้ อำนวยความสะดวก และมอบทรัพยากรทางความรู้ส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถ สร้างองค์ความรู้และนำองค์ความรู้นี้เผยแพร่ให้ผู้อื่นได้รับประโยชน์ในครั้งนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 สมมติฐานของงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก.....	7
2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน.....	11
2.3 การศึกษาการดูดซึมสาร โลหะหนักของพืชผักที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อน และการดูดซึมของโลหะหนักในทางเดินอาหารของมนุษย์.....	14
2.4 การศึกษาการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในดินเกษตรกรรมและ ผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชากร – กรณีศึกษาสำหรับ ลุ่มน้ำตะวันออกในประเทศจีน.....	16
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	20
3.1 รูปแบบงานวิจัย.....	20
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	20
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	22
3.4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	22
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาณโลหะหนัก.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิธีการ.....	23
3.7 การนำเสนอผลการวิจัย.....	26
4. ผลการวิจัย.....	27
4.1 การปนเปื้อนของสารตะกั่ว (Pb) ในดิน.....	27
4.2 การปนเปื้อนของสารหนู (As) ในดิน.....	28
4.3 การปนเปื้อนของสารแคดเมียม (Cd) ในดิน.....	29
4.4 การปนเปื้อนของสารปรอท (Hg) ในดิน.....	30
5. สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผล.....	31
5.2 อภิปรายผล.....	32
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	34
บรรณานุกรม.....	35
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก วิธีตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์.....	40
ภาคผนวก ข ใบรับรองห้องปฏิบัติการ.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ข้อกำหนดมาตรฐานโลหะหนักในดิน.....	2
1.2 ข้อกำหนดปริมาณสูงสุดของโลหะหนักปนเปื้อนในผัก.....	2
3.1 รายงานผลสำรวจดินผสมพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายตามร้านเกษตรและ ร้านขายต้นไม้ในอำเภอ บ้านฉาง จังหวัดระยอง.....	21
3.2 ตารางแสดงลำดับขั้นตอนโปรแกรมคลื่นไมโครเวฟ.....	25
4.1 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อน ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง.....	28
4.2 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารหนู (As) ที่ปนเปื้อน ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง.....	29
4.3 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารแคดเมียม (Cd) ที่ปนเปื้อน ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง.....	30
4.4 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารปรอท (Hg) ที่ปนเปื้อน ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง.....	30

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในกลุ่มตัวอย่าง.....	5
2.1 ต้นก้ามปู (Rain tree).....	9
2.2 ใบก้ามปูหมัก.....	10
3.1 เครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICPOES).....	24
3.2 ลักษณะการกระจายอนุภาคนิวทริโน.....	26



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา (Background and Significance of the study)

การกักตัวในช่วงการระบาดของโรค COVID-19 ส่งผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคอาหารของคนทั่วโลก ผู้คนจำนวนมากหันมาประกอบอาหารรับประทานเองที่บ้านเพื่อลดการแพร่ระบาดของโรคทำให้เศรษฐกิจหยุดชะงัก ผู้คนมีรายได้น้อยลงแต่ราคาอาหารกลับสูงขึ้น หลายคนจำเป็นต้องประหยัดค่าใช้จ่ายและอยู่ที่บ้านเป็นระยะเวลานานกว่าปกติ จึงมีเวลาปรับสภาพแวดล้อมภูมิทัศน์บริเวณบ้าน การปลูกผักสวนครัวสามารถควบคุมสารเคมีปนเปื้อนจากยาปราบศัตรูพืชได้ดีกว่าการบริโภคผักจากตลาด แต่วัตถุดิบที่จำเป็นต้องหาซื้อมาใช้เพื่อปลูกผักของคนเมือง คือ ดิน

ด้วยพื้นที่ในจังหวัดระยองอยู่ในแผนพัฒนาพื้นที่พิเศษภาคตะวันออก มีการจัดเขตพื้นที่เป็นนิคมอุตสาหกรรมมากถึง 13 นิคม ซึ่งคาดว่าอุตสาหกรรมเหล่านี้จะเป็นที่มาของโลหะหนักจากรายงานปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นในเขตควบคุมมลพิษจังหวัดระยอง^[1] ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น โรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม อุตสาหกรรมผลิตพลาสติก อุตสาหกรรมผลิตสารเคมี เป็นต้น การนำเข้าและการผลิตสารเคมีเพื่อใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจ ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งอากาศ น้ำ และดินถูกปนเปื้อนด้วยสารเคมีและโลหะหนัก จากงานวิจัยที่การแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และบริเวณข้างเคียง^[2] พบค่าโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงประเภทแคดเมียม ตะกั่ว และยังมีงานวิจัยการกระจายเชิงพื้นที่และการประเมินความเสี่ยงของสารหนู, แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และสังกะสี ในดินชั้นบนที่จังหวัดระยอง^[3] พบเจอโลหะหนักเหล่านี้เกินค่ามาตรฐาน โลหะหนัก^[4] จัดอยู่ในกลุ่มธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 ขึ้นไปและส่วนมากเป็นธาตุอยู่ในกลุ่มที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โลหะหนักเป็นสารที่คงตัวไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ รวมถึงการสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตในน้ำด้วย เมื่อแหล่งกำเนิดของดินมีการปนเปื้อนของสารพิษและโลหะหนักทำให้ดินเสื่อม สิ่งเหล่านี้ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพืชและจุลินทรีย์ในดินแต่โลหะหนักยัง

สามารถโอนย้ายจากดินสู่พืชส่งผลต่อห่วงโซ่อาหารก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพในระยะยาวของมนุษย์^[5]

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 กำหนดมาตรฐานโลหะหนัก^[6] ได้แก่

ตารางที่ 1.1 ข้อกำหนดมาตรฐานโลหะหนักในดิน

ประเภทโลหะหนัก	มาตรฐานโลหะหนัก
สารหนู Arsenic (As)	ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม Cadmium (Cd)	ไม่เกิน 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท Mercury (Hg)	ไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว Lead (Pb)	ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนประกาศ ณ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2563 กำหนดปริมาณสูงสุดของโลหะหนักปนเปื้อน^[7] ดังนี้

ตารางที่ 1.2 ข้อกำหนดปริมาณสูงสุดของโลหะหนักปนเปื้อนในผัก

ประเภทหรือชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
สารหนู Arsenic (As)	
ข้าวขัดสี	0.2
ข้าวกล้อง	0.35
แคดเมียม Cadmium (Cd)	
ผักใบ รวมทั้งผักใบตระกูลกะหล่ำ	0.2
ผักที่บริโภคลำต้นหรือก้าน	0.1
ผักบริโภคผล ยกเว้นมะเขือเทศ	0.05

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)

ประเภทหรือชนิดของอาหาร	ปริมาณสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ผักรากและผักหัว ยกเว้น เซเลอรีแอก	0.1
พืชหัวแบบหอม	0.05
ถั่วฝักสด	0.1
ปรอท mercury (Hg)	
อาหารอื่น นอกจากปลา อาหารทะเล ผลิตภัณฑ์เสริม อาหาร และเกลือบริโภค	0.02
ตะกั่ว lead (Pb)	
ผักบริโภคผล	0.05
ผักใบ รวมทั้ง ผักใบตระกูลกะหล่ำ ยกเว้นผักปวยเล้ง	0.3
ผักสายและหัวผัก	0.1
พืชหัวแบบหอม	0.1
ถั่วฝักสด	0.1

จากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจมุ่งเน้นศึกษาค่าปริมาณ โลหะหนักในดิน ผสมพร้อมปลูก โดยเจาะจงเลือกดินผสมใบก้ามปูที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายใน ร้านเกษตรและร้านขายต้นไม้ในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง เพื่อเป็นการเฝ้าระวังโลหะหนักปนเปื้อนในดินผสมพร้อมปลูก

1.2 สมมติฐานของงานวิจัย (Hypothesis)

ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกบรรจุจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง มีการปนเปื้อนของโลหะหนักประเภทสารหนู, แคดเมียม, ปรอท และตะกั่ว เกินกว่าค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษกำหนด

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย (Objectives)

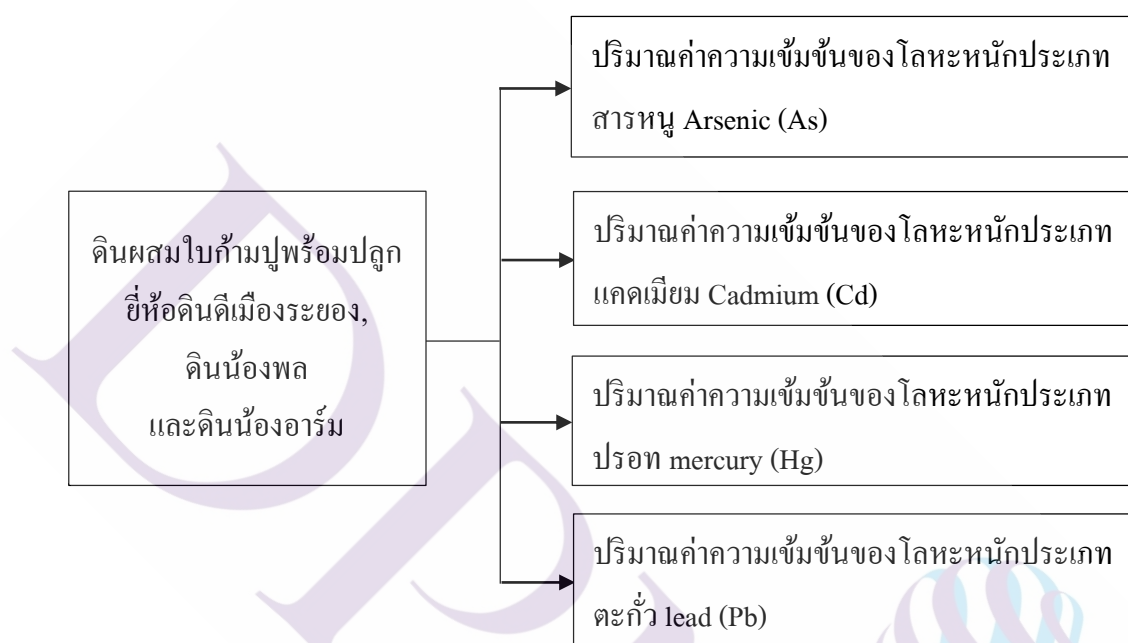
เป็นการศึกษานำร่องหาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก
บรรจุถุงจำหน่าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Benefits)

1. เพื่อเป็นการเฝ้าระวัง และติดตามคุณภาพดินสำหรับใช้เพาะปลูก และเป็นแนวทาง
ในการดูแลป้องกันสุขภาพที่อาจเกิดจากภัยแฝงมาจากพืชผักอีกทาง
2. ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสนับสนุนหน่วยงานที่
เกี่ยวข้องของทางภาครัฐกระทรวงสาธารณสุข, กระทรวงอุตสาหกรรม และกระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์ เข้ามามีส่วนร่วมวางแผนในอนาคต เพื่อคุณภาพของดินผสมพร้อมปลูกบรรจุถุงในแต่ละ
ครั้งที่ผลิตออกมาให้มีคุณภาพมาตรฐานคงที่ มีข้อมูลรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ และผ่านการ
ตรวจสอบสารปนเปื้อนก่อนจัดจำหน่าย เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและบริโภค

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาโดยเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่าย ถุงละ 20 – 25 บาท แหล่งผลิตในจังหวัดระยอง ซึ่งใบก้ามปูมีไนโตรเจนสูงเหมาะสำหรับการปลูกพืชผัก ระยะสั้นเป็นที่นิยม วางจำหน่ายตามร้านเกษตรและร้านจำหน่ายต้นไม้หลายแห่งในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง



ภาพที่ 1.1 หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในกลุ่มตัวอย่าง

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ (Operational Definitions)

1. ดินปนเปื้อน (Contaminated soil) หมายถึง ดินในพื้นที่ปนเปื้อนที่ไม่ได้ดำเนินการทำความสะอาดตามมาตรฐานหรือระดับของการปนเปื้อนของสถานที่นั้นมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

2. ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก หมายถึง ดินที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะต่อการปลูกพืชประโยชน์ของดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกคือ เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เพิ่มความชุ่มชื้นในดิน ใบก้ามปูมีไนโตรเจนสูงเป็นอาหารให้พืชผักได้ดี และมีส่วนผสมอื่น ๆ เช่น มูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ น้ำแอมโมเนีย ดินประเภทนี้ น้ำหนักเบาจึงนำมาใช้เพาะปลูกพืชผักในระยะแรกเจริญเติบโตได้ดี ส่วนระยะต่อมาธาตุอาหารจะลดน้อยลง ทำให้ดินชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับปลูกต้นไม้ในระยะยาว

3. โลหะหนัก (Heavy metals) หมายถึง กลุ่มโลหะที่มีความเป็นพิษแบบสะสมและมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 4 หน่วย ได้แก่ ทองแดง นิกเกิล สังกะสี โครเมียม แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว สารหนู ซึ่งกำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO)

4. การตรวจแบบ Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS/OES) เป็นวิธีการวิเคราะห์ธาตุ (elemental analysis) วิธีหนึ่ง โดยหลักการของอะตอมมิคสเปกโทรสโกปี (atomic spectroscopy) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยกระบวนการคายพลังงานของอะตอม (atomic emission) กระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ ICP-MS/OES เป็นการนำพลังงานจากพลาสมาในการยิงอิเล็กตรอนให้หลุดจากวงแหวนชั้นนอกของอะตอม ทำให้เกิดไอออนประจุบวกของสารตัวอย่าง ไอออนนี้จะถูกแยกและวัดด้วยเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของตัวอย่าง เทคนิค ICP-MS/OES สามารถที่วิเคราะห์ให้ผลได้หลายธาตุในเวลาเดียวกัน และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ ICP-MS/OES สามารถควบคุมสิ่งรบกวนอื่น ๆ ได้ดี นอกจากนี้เครื่อง ICP-MS/OES ถูกนำมาประยุกต์ใช้ใน งานเภสัชวิเคราะห์ ด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งตกค้างในอาหารพิษ วิทยาและนิติวิทยาศาสตร์ อีกทั้งเทคนิค ICP-MS/OES ยังเป็น เทคนิคที่ใช้ตัวอย่างที่มีอย่างจำกัด

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นกรอบในการศึกษา เพื่อนำเสนอรายละเอียดตามที่ได้ศึกษามาตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก

2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

2.2.1 โลหะหนักประเภทสารหนู

2.2.2 โลหะหนักประเภทแคดเมียม

2.2.3 โลหะหนักประเภทปรอท

2.2.4 โลหะหนักประเภทตะกั่ว

2.3 การศึกษาการดูดซึมสารโลหะหนักโดยพืชผักที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อนและการดูดซึมของโลหะหนักในทางเดินอาหารของมนุษย์

2.4 การศึกษาการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในดินเกษตรกรรมและผลกระทบต่อเกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชากร - กรณีศึกษาสำหรับกลุ่มน้ำตวันออกในประเทศจีน

2.1 ดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก^[8]

ดินผสมใบก้ามปูมีสารอาหารหลักคือไนโตรเจนจำนวนมากจากใบก้ามปู เป็นสารอาหารที่ทำให้พืชผักต้นไม้เจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีและเมื่อหมักสะสมไปเรื่อย ๆ ใบก้ามปูจะค่อย ๆ ย่อยสลายปะปนไปกับดิน และทำให้ดินนั้นมีปริมาณฮิวมัสที่มากขึ้น ดินผสมใบก้ามปูมีส่วนผสมหลัก 2 อย่าง คือ ดินและใบก้ามปู

ดิน หมายถึง วัตถุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการสลายตัวทางกายภาพ และทางเคมีของหินและแร่รวมกับสารอินทรีย์ที่เกิดจากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์เป็นผิวชั้นบนที่ห่อหุ้มโลกอยู่เป็นชั้นบาง ๆ เป็นวัตถุที่คำนวณการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช ดินประกอบด้วยแร่ธาตุ ที่เป็นของแข็ง อินทรีย์วัตถุ น้ำ และอากาศ ที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

องค์ประกอบของดิน ประกอบด้วย

1. อินทรีย์วัตถุ ได้แก่ ซากพืชซากสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว และสารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตที่ผ่านการย่อยมาแล้ว แต่ไม่รวมถึงซากพืชซากสัตว์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย
2. อนินทรีย์วัตถุ ได้จากการผุพังสลายของหินและแร่จากเปลือกโลกซึ่งเป็นองค์ประกอบมากที่สุดในดิน เนื้อดินมีขนาดแตกต่างกัน โดยจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้
 - กลุ่มอนุภาคขนาดทราย คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 – 0.05 มิลลิเมตร
 - กลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้ง คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 – 0.002 มิลลิเมตร
 - กลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร
3. อากาศ คือ ก๊าซต่าง ๆ ที่แทรกตัวอยู่ตามช่องว่างในดิน O_2 , N_2 , CO_2
4. สารละลายส่วนใหญ่ คือ น้ำที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างในเม็ดดิน

ประเภทของดิน ในแต่ละท้องถิ่นที่มีความแตกต่างกันไป ซึ่งมีคุณสมบัติและประโยชน์แตกต่างกัน ดังนี้

1. ดินเหนียว เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะมีลักษณะก้อนแข็งมาก เมื่อเปียกน้ำจะมีความยืดหยุ่นสามารถปั้นเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ เป็นดินที่อุ้มน้ำ ดูดซับจึงไม่สามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี ด้วยคุณสมบัตินี้จึงแลกเปลี่ยนธาตุอาหารได้ดี เหมาะที่จะใช้ทำนา
2. ดินร่วน เป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียด นุ่มมือในสภาพดินแห้ง จับเป็นก้อนบ้างในสภาพดินชื้นจะยืดหยุ่นได้บ้าง เป็นดินที่ระบายน้ำดีปานกลาง จัดเป็นดินที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก
3. ดินทราย มีทรายเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 84 เนื้อดินเกาะตัวกันหลวม คลายตัวง่าย มีการระบายน้ำและอากาศได้ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำเพราะความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืชน้อย พืชที่ปลูกในทรายจึงมักขาดน้ำและธาตุอาหาร
4. ดินดี คือ ดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ อินทรีย์วัตถุ น้ำและอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม หน้าดินสีดำนามักจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง มีธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อพืช มีค่า pH อยู่ที่ 5 – 7
5. ดินไม่ดีหรือดินเลว คือ ดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีไม่เหมาะสมหรือเหมาะสมน้อยมากในการเพาะปลูก หากจะนำมาใช้ในการเกษตรเพาะปลูก ต้องมีการจัดการแก้ไขให้เหมาะสมก่อน

ใบก้ามปู มาจากพืชตระกูลถั่ว ที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Samanea saman Jacq Merr.* ชื่อที่รู้จักกันในประเทศไทย ได้แก่ จามจุรี ก้ามกลาม ก้ามปู ฉำฉา ลำลา ดัง ชื่อในภาษาอังกฤษที่เรียกกันแพร่หลาย คือ Rain tree ซึ่งเรียกตามลักษณะการเติบโตของพืชชนิดนี้ คือ เมื่อฤดูฝนผ่านไป

ในแต่ละปีต้นไม้จะเติบโตเร็วติดกับต้นไม้อื่น ๆ อย่างสังเกตเห็นได้ชัด ลำต้นมีขนาดใหญ่ มีกิ่งก้านมากมาย เป็นไม้ยืนต้น

ใบก้ามปูจะมีธาตุไนโตรเจน (N) ซึ่งเป็นธาตุหลักของพืชสูงกว่าใบไม้ชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว ไนโตรเจนเป็นส่วนที่ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากเป็นอาหารหลักของพืชให้พืชเจริญเติบโต โดยไนโตรเจนยังเป็นส่วนหนึ่งของเซลล์พืชเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างโปรตีน ไนโตรเจนยังมีส่วนช่วยในกระบวนการสร้างอาหารและสร้างพลังงานให้กับพืชและยังช่วยทำให้พืชใบเขียวตั้งตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อสังเคราะห์อาหารได้ดีอีกด้วย ด้วยเหตุผลนี้จึงนิยมนำใบก้ามปูมาทำดินผสมพร้อมปลูกสำหรับปลูกพืชผัก



ภาพที่ 2.1 ต้นก้ามปู (Rain Tree)

ที่มา: <https://www.thailandtravelhub.com/kanchanaburi/places/giant-rain-tree/>

วิธีการผสมดินพร้อมปลูกจากใบก้ามปู

1. นำใบก้ามปูแห้งที่หามาได้ คัดแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษถุงพลาสติก ก้นบุหรี่ ก้อนหินออก นำใบก้ามปูแห้งมากองรวมกันบนพื้นดินเพื่อให้ดินช่วยเร่งกระบวนการหมักได้เร็วขึ้น

2. รดด้วยน้ำเปล่ากับส่วนผสมอื่นแล้วแต่ผู้ผลิตจะเลือกใช้ เช่นผสมกับจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง, จุลินทรีย์จากหยวกกล้วย, น้ำส้มควันไม้, ปุ๋ยยูเรียน้ำ หรือมูลสัตว์เป็นต้น ตามสัดส่วนที่ผู้ผลิตแนะนำ คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่วทั้งกอง

3. หมักไว้ในที่ร่ม เป็นกองสูงเพื่อรักษาความชุ่มชื้นและช่วยให้ใบก้ามปูเปียกเร็ว พรมน้ำทุก ๆ 7 วันให้มีความชุ่มชื้นและพลิกกลับให้ทั่ว ใช้ผ้าใบปิดคลุมทั้งกองหมักทิ้งไว้ประมาณ 1 - 2 เดือน ให้ยังคงรูปใบก้ามปูในลักษณะเปียกเพื่อช่วยให้ดินฟูร่วนซุยอากาศและน้ำถ่ายเทได้ดี

4. เมื่อหมักจนใบก้ามปูเปียกตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ นำหน้าดินมาผสมโรยด้วยปุณขาวคลุกเคล้ากันจนทั่ว รดน้ำแล้วคลุมผ้าใบหมักต่ออีก 1 สัปดาห์

5. เปิดผ้าใบออก คลุกเคล้าส่วนผสมให้ทั่วนำไปบรรจุถุงออกจำหน่าย



ภาพที่ 2.2 ใบก้ามปูหมัก

ที่มา: <https://mapsus.net/TH/none-570320>

ขั้นตอนและกระบวนการผลิตของผู้ผลิตแต่ละแห่งมีความแตกต่างกัน ไม่มีมาตรฐานควบคุมการผลิต แหล่งที่มาของส่วนผสม สัดส่วน และวิธีการไม่มีบรรทัดฐาน ขึ้นอยู่กับภูมิปัญญาชาวบ้าน วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น ประสบการณ์และการถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่น ไม่มีวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต ขาดการตรวจสอบหาสารปนเปื้อนที่อาจแฝงมากับผลิตภัณฑ์ ไม่ระบุวันที่ผลิต ค่าปริมาณสารเคมีปนเปื้อนมากับพืชผักอาจมีอยู่ในดินถ้าดินที่นำมาผสมหรือพื้นที่ที่ทำการหมักเป็นพื้นที่ปนเปื้อน

2.2 การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

สิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักกลายเป็นปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งของประเทศที่ต้องการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมพร้อมกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีคุณภาพควบคู่กัน โลหะหนักเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งมีน้ำหนักอะตอมสูงและมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอย่างน้อย 5 เท่า แหล่งที่มาของโลหะหนักที่มีจากธรรมชาติ รวมถึงการปะทุของภูเขาไฟ เนื้อวัสดุหลักของดิน ละอองดินลอยจากแหล่งกำเนิด และไฟฟ้า รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเพาะปลูก การใช้ยาปราบศัตรูพืช การทำปศุสัตว์ การรั่วซึมของสิ่งปฏิกูล วงการแพทย์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นต้น ที่มีส่วนทำให้เกิดโลหะหนักในธรรมชาติ นอกจากนี้แม้ว่ามลพิษทางโลหะจะแผ่ขยายออกไปในอากาศ แต่โลหะหนักเหล่านี้ก็จะสามารถปนเปื้อนในดินและในน้ำด้วยเช่นกัน โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับดินในการเกษตรมีผลต่อการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในพืชได้^[9] เมื่อพืชดูดซึมสะสมไว้ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชในปริมาณมากเกินไปเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อนำพืชผักมาบริโภคต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่นเดียวกับการได้รับสารเคมีตกค้างจากยาปราบศัตรูพืช^[10] โลหะหนักประเภทสารหนู แคดเมียมปรอท และตะกั่ว จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นพิษสูง ซึ่งทราบกันดีว่าส่งผลเสียหายต่อเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ รวมถึงระบบการทำงานของร่างกายแม้ได้รับการสัมผัสในปริมาณน้อยก็ตาม ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมทั้งขนาดที่ได้รับเข้าไป เส้นทางการรับ เช่น การสัมผัสบริโภค หรือการสูดดม ระยะเวลาและชนิดของโลหะหนัก ตลอดจนอายุ เพศ พันธุกรรม และภาวะโภชนาการของแต่ละบุคคล

หากสารโลหะหนักมีปริมาณมากและอยู่ในดินเป็นเวลานานก็จะมีพิษทำให้ดินเสื่อมโทรม โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับดินเพาะปลูกเป็นปัญหากับสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ โลหะหนักที่เป็นพิษในดินส่งผลกระทบต่อพืชที่เพาะปลูกซึ่งเป็นห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ทั้งในพืช สัตว์บกและสัตว์น้ำ ในระบบทางชีววิทยา มีรายงานว่าโลหะหนักส่งผลกระทบต่อออร์แกเนลล์ของเซลล์และส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane), ไมโทคอนเดรีย (mitochondrial), ไลโซโซม (lysosome), เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม (endoplasmic reticulum), นิวเคลียส (nuclei) และเอนไซม์ (enzymes) บางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญ การล้างพิษ และการซ่อมแซมของเซลล์ ไอออนของโลหะมีปฏิสัมพันธ์กับส่วนประกอบของเซลล์ เช่น ดีเอ็นเอ (DNA) และโปรตีน นิวเคลียร์ ทำให้ดีเอ็นเอเสียหายและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่อาจนำไปสู่การปรับวงจรเซลล์ การก่อมะเร็ง หรือการตายของเซลล์ได้ การศึกษาอีกหลายงานวิจัยจากห้องปฏิบัติการได้แสดงให้เห็นว่าการสร้างออกซิเจนชนิดปฏิกิริยา (ROS) และความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมีบทบาท

สำคัญในความเป็นพิษและการก่อมะเร็งของโลหะหนัก เช่น สารหนู, แคดเมียม, ปรอท และตะกั่ว ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์และสัตว์

2.2.1 โลหะหนักประเภทสารหนู^[11]

สารหนู สามารถพบการปนเปื้อนอยู่ในสถานะแวดล้อม การผลิตและการใช้ในภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น ยาปราบศัตรูพืช สารฆ่าเชื้อรา น้ำยากันปลวกและสีย้อมไม้ เป็นต้น แต่ยังมีมีการนำสารหนูใช้ในวงการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการรักษาโรคต่าง ๆ เช่น ทริพาโนโซมิเอซิส (โรคนอนไม่หลับเกิดจากมีปรสิตโปโตซัว), ซิฟิลิส, อะมีบิก, มะเร็งเม็ดเลือดขาว และโรคงูสวัด รวมทั้งมีการนำสารหนูมาเป็นส่วนประกอบของยากำจัดโรคพยาธิในโค, สุนัข, ไก่ และไก่ทองในวงการสัตวแพทย์

สารหนูสามารถอยู่ในรูปประเภท pentavalent และ trivalent ส่วนสารประกอบของสารหนู (Arsenic compound) มีทั้งในรูปสารประกอบอินทรีย์ (Organic arsenic compound) และสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic arsenic compound) สารหนูสามารถดูดซึมผ่านทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจ หรือทางผิวหนัง และเยื่อต่าง ๆ สารในรูป pentavalent ภายหลังจากดูดซึมก็จะเปลี่ยนเป็นรูป trivalent

2.2.1.1 ความเป็นได้ที่มนุษย์จะมีโอกาสสัมผัสกับสารประกอบของสารหนู รายงานการศึกษาพบว่าผู้คนนับล้านทั่วโลกได้รับสารประกอบของสารหนู โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่มีน้ำใต้ดินปนเปื้อนสารหนูในปริมาณความเข้มข้นสูง การสัมผัสกับสารประกอบของหนูส่วนใหญ่เกิดขึ้นผ่านทางเดินอาหาร ทางเดินหายใจและการสัมผัสทางผิวหนัง โดยปกติแล้วมนุษย์มีโอกาสรับสารหนูจากอากาศได้น้อยกว่าการรับผ่านทางน้ำและอาหารประมาณ 50 ไมโครกรัมต่อวัน แต่การสัมผัสของแต่ละบุคคลมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน โดยเฉพาะคนงานที่ทำงานในอุตสาหกรรมที่ใช้สารประกอบของสารหนูมักจะมีโอกาสสัมผัสกับสารหนูในระดับที่สูงขึ้นเป็นอย่างมากซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และการศึกษาทางระบาดวิทยาได้รายงานว่าจะมีความเสี่ยงต่อระบบสุขภาพที่เพิ่มขึ้นและผลกระทบของการเป็นสารก่อมะเร็งนั้นเกี่ยวข้องกับการสัมผัสสารประกอบของสารหนูที่คุกคามสุขภาพของมนุษย์

2.2.1.2 ลักษณะกลไกของความเป็นพิษและการเป็นสารก่อมะเร็ง โดยปกติความเป็นพิษของสารประกอบของสารหนูจะได้รับอิทธิพลอย่างมากจากความสามารถในการละลายและการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบของสารหนูในขั้นต้น สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic arsenic compound) ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับอายุ เพศ ปัจจัยทางพันธุกรรมและโภชนาการของแต่ละบุคคล ก่อผลกระทบกับความบกพร่องระดับเซลล์และการยับยั้งเอนไซม์ในไมโทคอนเดรีย การศึกษาทางระบาดวิทยาแสดงให้เห็นว่าการได้รับสารหนูในระยะเวลายาวนานก่อให้เกิดโรคมะเร็ง

2.2.2 โลหะหนักประเภทแคดเมียม^[11]

โลหะหนักประเภทแคดเมียมกระจายอยู่ทั่วไปบนชั้นเปลือกนอกของโลก ซึ่งปกติรวบรวมได้ประมาณ 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สารประกอบของแคดเมียมมักพบในหินตะกอนและฟอสเฟตในทะเล แคดเมียมมักถูกนำมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เช่น เป็นส่วนผสมของโลหะ แบตเตอรี่ สี บูห์รีและแว่นตากันแดด ในหลายประเทศตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากแคดเมียมจึงลดปริมาณการใช้แคดเมียมลง

2.2.2.1 ความเป็นได้ที่มนุษย์จะมีโอกาสสัมผัสกับแคดเมียม มนุษย์มีโอกาสสัมผัสกับแคดเมียมจากการสูดดมควันบูห์รี ชิการ์ และการบริโภคปนเปื้อนแคดเมียม ได้แก่ หอย, เห็ด, ผงโกโก้ และหอยแมลงภู่ และในกลุ่มบุคคลที่ทำงานสัมผัสกับแคดเมียมในภาคอุตสาหกรรม ความเข้มข้นของแคดเมียมในร่างกายมนุษย์สามารถตรวจวัดระดับได้ปัสสาวะหรือเลือด

2.2.2.2 กลไกในระดับโมเลกุลของความเป็นพิษและการเป็นสารก่อมะเร็ง แคดเมียมเป็นอันตรายถึงชีวิตและเป็นพิษในร่างกายมนุษย์หากสูดดมหรือกลืนกินเข้าไป ผู้ที่สัมผัสกับแคดเมียมส่วนใหญ่จะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดกล้ามเนื้อ ช็อก ชัก ปวดท้อง น้ำลายไหล เวียนศีรษะบ้านหมุน และรู้สึกแสบร้อน แคดเมียมจัดเป็นสารประเภทสารก่อมะเร็งในมนุษย์ เนื่องจากค้นพบว่าแคดเมียมมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของมะเร็งในมนุษย์ เช่น ปอด ไต กระเพาะอาหาร ตับ และระบบเม็ดเลือดของตับ

2.2.3 โลหะหนักประเภทปรอท^[11]

เป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติอยู่ 3 กลุ่ม (จำเป็น, ปกติ และอนินทรีย์) ธาตุปรอทที่อุณหภูมิห้องอยู่ในรูปของเหลว มีลักษณะเป็นไอปรอท เป็นสารพิษและเป็นพิษที่กระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อร่างกายและทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมากมาย ปรอทถูกใช้ในธุรกิจไฟฟ้า (ตัวควบคุมภายในอาคาร, แบตเตอรี่ และสวิตช์) และทันตกรรม (วัสดุอุดฟัน)

2.2.3.1 ความเป็นได้ที่มนุษย์จะมีโอกาสสัมผัสกับตะกั่ว มนุษย์ส่วนใหญ่ได้รับสารปรอทจากมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนในอาหาร การทำงานในภาคอุตสาหกรรม วัคซีนบางชนิด วัสดุอุดฟันอัลมาแกม และการประกอบในบางอาชีพ เมื่อมนุษย์สูดซับปรอทแล้ว อัตราการขับของปรอทออกจากร่างกายก็จะน้อยลง และปรอทจะถูกสะสมในส่วนสำคัญของร่างกายก็คือไต ไต และระบบประสาท ปรอทเป็นพิษมากเมื่อดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย

2.2.3.2 กลไกระดับโมเลกุลของความเป็นพิษของปรอทและการสารก่อมะเร็ง สารประกอบของปรอทเป็นพิษ และทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น เป็นพิษต่อไต เป็นพิษต่อทางเดินอาหาร และเป็นพิษต่อระบบประสาทในร่างกายมนุษย์ ในขณะที่การศึกษามากมายได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นไปได้ของการก่อมะเร็ง

2.2.4 โลหะหนักประเภทตะกั่ว^[11]

ตะกั่วเป็นโลหะสลายตัวน้ำเงินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในปริมาณจำกัดในชั้นเปลือกโลก แม้ว่าการเกิดสารตะกั่วจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ แต่กิจกรรมของมนุษย์วิทยา เช่น การใช้ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม การขุด และการประกอบ นำไปสู่ความเข้มข้นของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณสูง ทำให้เกิดอันตรายและมีคุณสมบัติที่เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ตะกั่วเป็นที่ต้องการสูงทั้งในชนบทและในเมือง รวมถึงมีการใช้งานในแบตเตอรี่รถยนต์

2.2.4.1 ความเป็นได้ที่มนุษย์จะมีโอกาสสัมผัสกับตะกั่ว การได้รับสารตะกั่วของมนุษย์ส่วนใหญ่เกิดจากการสูดดมละอองที่ปนเปื้อนตะกั่วและการกลืนกินฝุ่นจากอาหารและน้ำที่ปนเปื้อน หากน้ำดื่มมีตะกั่วปนเปื้อนอัตราการดูดซึมส่วนใหญ่จะผ่านเข้าสู่ไตไปยังตับ และสุดท้ายไปยังเนื้อเยื่ออ่อนอื่น ๆ เช่น สมองและหัวใจ ทำให้เกิดพิษตะกั่วในระบบประสาท ซึ่งต่อมาทำให้บุคคลนั้นมีอาการต่าง ๆ เช่น ปวดศีรษะ หงุดหงิด ความจำเสื่อม และสมาธิสั้น

2.2.4.2 กลไกในระดับโมเลกุลของความเป็นพิษและการเป็นสารก่อมะเร็ง การศึกษาส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า ตะกั่วส่งผลเสียทั้งในผู้ใหญ่และเด็ก ผลเสียในผู้ใหญ่ เช่น ภาวะการสืบพันธุ์ จำนวนอสุจิลดลงและการแท้งลูกในสตรี ในขณะที่เด็กวัยเดียวกันการศึกษาเหล่านี้ได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นของความฉลาดที่ลดลง โดยที่เด็ก ๆ นั้นจะเกิดมามีไอคิวต่ำและเด็กมีพัฒนาการอย่างล่าช้า นอกจากตะกั่วจะเป็นสารก่อมะเร็ง โดยตะกั่วสามารถกระตุ้นซิสเตอร์โครมาทิดและการกลายพันธุ์ของยีนในปัจจุบันบุคคล

2.2.5 บทสรุป

การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่าโลหะหนักจำพวกมีพิษหากมีการสะสมในร่างกาย ส่งผลกระทบต่อสุขภาพรวมถึงความผิดปกติตั้งแต่ระดับเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ ระบบการทำงานของร่างกายต่าง ๆ เช่น ระบบการควบคุมการทรงตัว ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ ระบบการหมุนเวียนของเลือด ระบบหัวใจ ระบบสืบพันธุ์จนถึงระบบภูมิคุ้มกัน มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต

2.3 การศึกษาการดูดซึมสารโลหะหนักของพืชผักที่ปลูกบนดินที่ปนเปื้อนและการดูดซึมของโลหะหนักในทางเดินอาหารของมนุษย์^[12]

บทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายหลักในการวัดความคล่องตัวของโลหะหนักในดินโดยการประเมินการดูดซึมของพืชและการประเมินแนวทางในการวัดการดูดซึมโลหะหนักทางรากของพืชชนิดต่าง ๆ การปนเปื้อนของโลหะหนักกลายเป็นอีกปัญหาใหญ่ของโลก อัตราการเพิ่มขึ้นของโลหะหนักในดินที่สูงขึ้นทำให้นักวิจัยจำนวนมากต้องทำการศึกษามากขึ้นตามไป

ด้วย เพื่อให้แน่ใจว่ามีความเข้าใจเกี่ยวข้องกับผลกระทบการสัมผัสของมนุษย์และผลกระทบจากการปนเปื้อนโลหะหนักต่อสิ่งแวดล้อม

แม้ว่าโลหะบางชนิด เช่น แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี สามารถเป็นแร่ธาตุสำคัญสำหรับพืชได้ แต่ก็ยังเป็นพิษและอันตรายได้เมื่อมีความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น คลื่นไส้ ท้องอืดท้องเฟ้อ และท้องร่วง พืชผล เช่น แครอท ผักโขม บวบ และผักกาดหอม ซึ่งพืชเหล่านี้สามารถดูดซึมและสะสมโลหะหนักได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมและสังกะสีสูง

จากการทดลองการดูดซึมของโลหะในพืชส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมีและปัจจัยทางกายภาพ เช่น ปัจจัยของดิน, ปริมาณอินทรีย์วัตถุ, ความสามารถในการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไฮดรอกไซด์, พีเอช (pH), ซัลเฟต และเนื้อสัมผัสของดิน ส่วนการดูดซับโลหะยังสามารถได้รับอิทธิพลจากลักษณะของพืชในการประเมินการดูดซึมโลหะจากดินที่ปนเปื้อนไปยังพืช

อย่างไรก็ตาม ความสามารถของสารสกัดที่ใช้ในการประเมินการดูดซึมโลหะหนักของพืชขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ ดินที่ใช้ และสารละลายที่ใช้ มีหลายวิธีในการตรวจหาการโลหะหนักในมนุษย์ เช่น ตรวจจากเลือดหรือในปัสสาวะ แต่ในการแปรผลโลหะหนักในสัตว์ทดลองและมนุษย์จะมีความคลาดเคลื่อนด้วยสรีระที่ต่างกัน และด้วยข้อจำกัดนี้ที่นำไปสู่การสร้างระบบ Vivo ที่อาศัยการสกัดทางเดินอาหารซึ่งสามารถวัดเศษโลหะที่ละลายได้ภายใต้สภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหารและความพร้อมสำหรับการดูดซึม จากตัวอย่าง ผักโขม แครอท และผักกาดหอมที่ปนเปื้อนด้วยโลหะที่มีความเข้มข้นต่างกันของสารโลหะประเภทสารแคดเมียม, ทองแดง, แมงกานีส, ตะกั่ว และสังกะสี ต่อมาได้ปลูกในดินปนเปื้อนและทำการทดลองควบคุม เพิ่มเติมในการทดลองนี้คือมีการเพาะปลูกในเรือนกระจกเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ภายหลังเก็บเกี่ยวพืชที่โตเต็มที่ที่เป็นใบและเก็บรากไว้เพื่อสังเกตการณ์ นอกจากนี้ ดินตัวอย่างจากแต่ละกระถางและพืชได้รับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและหาความเข้มข้นของโลหะในแต่ละกระถางด้วย นอกจากนี้ยังใช้ Flame-Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS) เพื่อกำหนดความเข้มข้นของโลหะในดิน ในทางกลับกัน Differential Pulse Anodic Stripping Voltammetry (DP-ASV) ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในตัวอย่างพืช เพื่อประเมินการดูดซึมโลหะของส่วนที่บริโภคได้ เช่น ใบของผักโขมและผักกาดหอม

ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับสังกะสี, แมงกานีส, แคดเมียม และทองแดงของพืชมีความสอดคล้องกับการปนเปื้อนในดินสูงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า การถ่ายโอนโลหะจากดินไปยังพืชลดลงจากแมงกานีส > สังกะสี > แคดเมียม > ทองแดง > ตะกั่ว ตามลำดับ นอกจากนี้ การทดลองนี้ยังพบว่าพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในด้านการดูดซึมโลหะระดับอ่อน

ตัวอย่างเช่น ผักโขมจะสะสมสังกะสีและแมงกานีสในอัตราที่สูง ในขณะที่ตะกั่วและทองแดงค่อนข้างต่ำกว่าในเนื้อเยื่อของพืช ขณะเดียวกันพบเนื้อโลหะมากที่สุดในผักกาดหอม (แมงกานีส 63.7%), หัวไชเท้า (ทองแดง 62.5%, แคดเมียม 54.9% และแมงกานีส 45.8%) และในผักกาดหอม (สังกะสี 45.2%) การศึกษาทางเดินอาหาร (GI) แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมโลหะแตกต่างกันอย่างมาก จากธาตุสู่ธาตุและในความหลากหลายสายพันธุ์ของพืช

โดยสรุป ความเข้มข้นของโลหะ (แคดเมียม, ทองแดง, แมงกานีส และสังกะสี) ในผักโขม, หัวไชเท้า, ผักกาดหอมและแครอท ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของโลหะในดินที่ใช้ปลูกพืช ในการทดลองควบคุมระดับโลหะในดินที่ปนเปื้อนแมงกานีส, สังกะสี และแคดเมียม ส่วนใหญ่มีมากอยู่ที่ใบ ในขณะที่ทองแดง มีมากอยู่ในราก จากที่กล่าวมาข้างต้น โลหะหนักที่ใหญ่ที่สุดซึ่งพบได้ในพืชต่าง ๆ บ่งบอกถึงความเข้มข้นของโลหะ

2.4 การศึกษาการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในดินเกษตรกรรมและผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร – กรณีศึกษาลำห้วยน้ำเต้าวันออกในประเทศจีน^[13]

ในการทำการวิจัยในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในดินมีงานวิจัยตีพิมพ์ออกมามากมาย แสดงให้เห็นว่าโลกเรายังมีปัญหามลพิษในดินอยู่และมีแนวโน้มที่จะขยายบริเวณกว้างมากขึ้นจากปัจจัยที่กล่าวแล้วข้างต้น

มีงานวิจัยที่ทำเป็นกรณีศึกษาการวิเคราะห์การปนเปื้อนโลหะหนักในดินเกษตรกรรมและผลกระทบต่อสุขภาพของประชากร – กรณีศึกษาลำห้วยน้ำเต้าวันออกในประเทศจีน^[13] มีขั้นตอนงานวิจัย แนวคิดและทฤษฎีที่สามารถนำมาปรับใช้ในการทำการวิจัยครั้งนี้คือ

2.4.1 มีการศึกษากำหนดชนิดของดิน และพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง

โดยมีการใช้ข้อมูลทางประวัติศาสตร์ มีการสัมภาษณ์เป็นการส่วนตัว ลงพื้นที่ตรวจสอบ โดยมีข้อสังเกตถึงพฤติกรรมผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น มีวิถีชีวิตที่มีการเก็บพืชผักที่ขึ้นบริเวณนั้นเป็นอาหาร ส่วนการสัมภาษณ์นั้น มีการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของรัฐหรือผู้มีอำนาจ, เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม, คนงานในเมืองแร่, ผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่นั้นระยะยาว และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้วางแผนการทำงานขั้นต่อไป

2.4.2 การเก็บตัวอย่างดินและการหาปริมาณโลหะหนัก

พื้นที่ศึกษาและแหล่งเก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่การเกษตร กำหนดตัวปัจจัยที่มีผลต่อดิน คือปรอท (Pb), แคดเมียม (Cd), สารหนู (As), สังกะสี (Zn), และทองแดง (Cu) ในการเก็บตัวอย่างดินและหาปริมาณโลหะหนัก มีการนำ GPS เข้ามาใช้ในการลงพิกัดจุดที่เก็บตัวอย่างแต่ละจุด โดย

การขุดหน้าดินความลึก 10 – 20 เซนติเมตร น้ำหนักของแต่ละตัวอย่าง 200 – 500 กรัม ในแต่ละพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง นำใส่ถุงปิดมิดชิด เขียนรหัสและทำการบันทึกข้อมูลก่อนนำส่งห้องปฏิบัติการ ทางเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการจะทำการคัดสิ่งปนเปื้อนในดินจำพวกกิ่งไม้ พืช หรือวัตถุปนเปื้อนออก และนำดินตัวอย่างน้ำหนัก 100 กรัมทำการร่อนเพื่อดำเนินการตรวจวิเคราะห์หาสารโลหะหนักต่อไปด้วยเทคนิค

- Inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุโดยหลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี ซึ่ง ICP-MS เป็นเครื่องมือที่มีการพัฒนาน่าสุด ทำให้วิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ธาตุได้พร้อมกันหลายตัวในเวลาเดียวกัน และที่สำคัญคือมีความไวในการวิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์ธาตุได้ถึงขีดจำกัดการตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นพิโคกรัมต่อมิลลิลิตร (pg/ml) ถึง เฟมโตกรัมต่อมิลลิลิตร (fg/ml)

- Silver diethyldithiocarbamate colorimetric method (SDDC) วิธีการนี้เป็นเทคนิคการวัดสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการกำหนดสารหนูในสารละลายที่เป็นน้ำ

- Atomic absorption spectrometry (AAS) คือ เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณวิเคราะห์โดยอาศัยการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระของธาตุเมื่อถูกกระตุ้นด้วยพลังงานความร้อนจากเปลวไฟ (Flame) หรือกระแสไฟฟ้า (Graphite Furnace หรือ Electrothermal) เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งเนื่องจากสามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะได้มากถึง 70 ธาตุด้วยกัน มีความสะดวกรวดเร็ว มีความไวสูงและเป็นเทคนิคที่เฉพาะ

- Atomic fluorescence spectrometry (AFS) คือ เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิคการวาวแสงของอะตอม

- Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุได้หลาย ๆ ธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยอาศัยการวัดการคายแสงของธาตุเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากพลาสมา เหมาะกับงานวิเคราะห์ที่หลากหลายทั้งโลหะที่เป็นพิษ ในสิ่งแวดล้อม น้ำดื่ม อาหาร หรือในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

- Hydride generation atomic fluorescence spectroscopy (HG-AFS) ใช้สำหรับการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบเป็นเวลาหลายทศวรรษ มีความไวที่ดีกว่าเทคนิคการดูดกลืนอะตอมหลายแบบและมีช่วงเชิงเส้นที่ยาวกว่ามาก

2.4.3 พารามิเตอร์การประเมินและวิธีการคำนวณมลพิษโลหะหนักในดิน

วิธีการที่ 1 วิธีการประเมินดัชนีมลพิษเดี่ยว

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

วิธีการที่ 2 รูปแบบการประเมินดัชนี

$$P = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{max})^2}{2}}$$

อ้างอิงตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศระดับที่สอง ซึ่งกำหนดว่าตะกั่วควรต่ำกว่า 50 มก. / กก., แคดเมียม ต่ำกว่า 0.30 มก./ กก., สารหนู ต่ำกว่า 25 มก. / กก., ทองแดง ต่ำกว่า 200 มก. / กก., สังกะสี น้อยกว่า 250 มก. / กก. และ โครเมียม ต่ำกว่า 250 มก. / กก. ดัชนีมลพิษครอบคลุมแบ่งออกเป็นห้าระดับ: $p \leq 0.7$ สะอาด (ปลอดภัย), $0.7 < p \leq 1$ คือจุดเฝ้าระวัง, $1 < p \leq 2$ คือมลพิษบางเบา, $2 < p \leq 3$ คือมลพิษปานกลางและ $p > 3$ คือมลพิษร้ายแรง

2.4.4 ตำรวจสุขภาพของผู้คนที่อาศัยในพื้นที่ที่ทำการศึกษ

ซึ่งข้อมูลและหัวข้อทุกอย่างต้องมีการเก็บรักษาเป็นความลับ โดยใช้วิธี ดังต่อไปนี้

- แบบสำรวจจากแบบสอบถาม โดยเป็นการกรอกแบบสอบถามตัวต่อตัว เฉพาะคนที่ มีอายุ 15 ปีขึ้นไป อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาระยะเวลา 5 ปีขึ้นไป มีความสมัครใจที่จะทำการตอบแบบสอบถาม ทำการเก็บข้อมูลในเวลากลางวัน

- การเก็บตัวอย่างเลือดและการตรวจหาสารตะกั่วในเลือด ตัวอย่างเลือดถูกเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C และนำมาวิเคราะห์ภายใน 7 วันตามวิธีการที่รายงานโดย Yun และคณะ^[14]

2.4.5 มีการวิเคราะห์ปัญหาโลหะหนักในดินทางภูมิศาสตร์ร่วมด้วย

ได้ใช้ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นวิเคราะห์แบบสอบถาม

2.4.6 การนำเสนอผลการวิจัย

ในการศึกษาลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เช่น ลองติจูด แลตติจูด อุณหภูมิ มีการตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในดินที่อยู่บริเวณแม่น้ำ คูรายงานโลหะหนักที่ปนเปื้อนในอืดทั้งภาษาอังกฤษและภาษาจีน รวมถึงงานวิจัยที่ไม่ได้ลงตีพิมพ์ด้วย ซึ่งจะพบว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินหลัก ๆ คือ ตะกั่ว, แคดเมียม, สารหนู, สังกะสี และทองแดง ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่ทำเกษตรนั้นได้นำเสนอในรูปแบบตาราง มีการเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละตัวที่พบในตัวอย่างกับค่ามาตรฐานแห่งชาติจากปริมาณที่เข้มข้นมากไปหาปริมาณที่เข้มข้นน้อย ใช้การสำรวจสุขภาพช่วยในเรื่องการรายงานผลประกอบ เช่น ปริมาณตะกั่วในเลือดของประชากรที่สำรวจ และความชุกของโรคเรื้อรังในกลุ่มประชากรที่สำรวจ

2.4.7 การอภิปราย

ใช้แนวทางที่ WHO กำหนดค่าโลหะหนักแต่ละตัว คือ ตะกั่ว, แคดเมียมทองแดงสังกะสี (20, 0.3, 4 และ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) มีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษโลหะหนักกับสุขภาพของที่อยู่อาศัยร่วมด้วย

2.4.8 สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าเด็กมีผลกระทบมากกว่าผู้ใหญ่หากสัมผัสดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักเป็นพิษ และผู้ใหญ่ได้รับผลกระทบจากการบริโภคผักที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักมากกว่าเด็ก มีการเฝ้าระวังติดตามและใช้งานวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับหน่วยงานในพื้นที่ที่เกี่ยวข้องประเมินผลกระทบของมลพิษโลหะหนักในพื้นที่ทำการเกษตร และวางแผนดูแลปรับปรุงสุขภาพของคนในท้องถิ่น

กล่าวโดยสรุป คือ กระบวนการตรวจหาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในดินไม่ว่าด้วยเครื่องมือใด มีประโยชน์ในการที่จะวางแผนจัดการกับปัญหามลพิษที่ปนเปื้อนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต หากแต่วิธีการตรวจสุขภาพวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในมนุษย์เพื่อวางแผนในการรับมือและป้องกันกับภัยรอบตัวที่สามารถหลีกเลี่ยงได้และภัยที่แฝงมาซึ่งไม่อาจหลีกเลี่ยงได้นั้น ก็ต้องมีวิธีในการจัดการกับปัญหาที่จะเกิดกับสุขภาพ อย่างไรก็ตามการเฝ้าระวังติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่การเกษตรมีความจำเป็นต้องทำอย่างต่อเนื่องนอกเหนือจากการประเมินผลกระทบด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 รูปแบบงานวิจัย

งานศึกษาค้นคว้าอิสระเรื่องการสำรวจนำร่องของระดับโลหะหนักในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนประเภทสารหนู, แคดเมียม, ปรอท และตะกั่ว ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายซึ่งวางขายในร้านเกษตรและร้านขายต้นไม้ทั่วไปในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้จากการสำรวจดินผสมพร้อมปลูกในร้านเกษตรและร้านจำหน่ายต้นไม้ที่มีรายชื่อบนอินเทอร์เน็ตในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ทั้งหมด 12 ร้าน มีดิน 5 ชนิด ได้แก่ ดินก้ามปู, ดินขุยมะพร้าว, ดินขุยไผ่, ดินดำ และดินมูลไส้เดือน ซึ่งเป็นดินผสมพร้อมปลูกสำหรับพืชผักอายุสั้น (ไม่รวมถึงดินผสมพร้อมปลูกสำหรับไม้ดอกไม้ประดับ, ไม้ยืนต้น และดินพืชมอส) ผลสำรวจดินผสมพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายชนิดดินผสมใบก้ามปูเป็นดินที่ได้รับความนิยมในการนำไปปลูกพืชผักมากที่สุด เพราะมีไนโตรเจนสูงเหมาะสำหรับปลูกผักใบเขียวมีแหล่งที่มาของดินจากหลายจังหวัด ในจำนวน 9 ยี่ห้อ ทั้งนี้ผู้วิจัยทำการกำหนดกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงเป็นดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง ได้มาทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ดินดีเมืองระยอง, ดินน้องพล และดินน้องอาร์ม โดยนำส่งห้องปฏิบัติการยี่ห้อละ 3 ถุง เพื่อตรวจซ้ำ 3 ในการหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3.1 รายงานผลสำรวจดินผสมพร้อมปลูกบรรจุถุงจำหน่ายตามร้านเกษตรและร้านขายต้นไม้ในอำเภอ บ้านฉาง จังหวัดระยอง

ชื่อร้าน	ชนิดของดิน	แหล่งที่ผลิต	ชื่อยี่ห้อ
1. ร้านแมกไม้ชายกลาง	ดินก้ามปู	ลพบุรี	ดินสองพี่น้อง
	ดินขุยมะพร้าว	ระยอง	ดินน้องพล
2. ต้องตาการ์เด็น	ดินมูลไส้เดือน	ชลบุรี	รถไฟ
	ดินก้ามปู	ลพบุรี	ดินน้องตุลย์
	ดินดำ	ลพบุรี	น้องพิมพ์
3. ร้านขายต้นไม้และอุปกรณ์ตกแต่งสวน	ดินขุยมะพร้าว	ระยอง	ดินน้องฮารีย์
4. ร้านสมบัติพันธุ์ไม้	ดินก้ามปู	ลพบุรี	ดินจิตติพัฒน์
	ดินก้ามปู	ลพบุรี	J.P เจริญทรัพย์
	<u>ดินก้ามปู</u>	<u>ระยอง</u>	<u>ดินดีเมืองระยอง</u>
	ดินดำ	ระยอง	ดินน้องพล
5. ร้านต้นไม้วิทยากรเด็น	<u>ดินก้ามปู</u>	<u>ระยอง</u>	<u>ดินน้องพล</u>
6. ต้นไม้และอุปกรณ์บ้านคุณ	ดินขุยมะพร้าว	ระยอง	ดินน้องดา
	<u>ดินก้ามปู</u>	<u>ระยอง</u>	<u>ดินน้องอาร์ม</u>
7. ปู่จ๋า ขายต้นไม้	ดินดำ	ชลบุรี	น้องพิมพ์
	ดินก้ามปู	ลพบุรี	น้องตุลย์
	ดินก้ามปู	ลพบุรี	ดินสองพี่น้อง
	ดินขุยไผ่	ลพบุรี	ดินสองพี่น้อง
8. D.I.Y Garden shop	ดินก้ามปู	ระยอง	ดินน้องพล
	ดินขุยมะพร้าว	ระยอง	ดินน้องพล
9. สาครพันธุ์ไม้	ดินขุยมะพร้าว	ชลบุรี	ธนูอินทร์ดินผสม
10. ศิลาดลหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา	ดินก้ามปู	ระยอง	ดินน้องอาร์ม
11. ละเมียดการเกษตร	ดินก้ามปู	ลพบุรี	น้องเบียร์91
	ดินดำ	ระยอง	ทองคูตี
	ดินขุยไผ่	ลพบุรี	น้องเบียร์91
12. Mega Home Banchang	ดินก้ามปู	อยุธยา	ช่าง 5 ดาว
	ดินขุยมะพร้าว	อยุธยา	ช่าง 5 ดาว

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บตัวอย่างดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกรวมที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยองจากร้านเกษตรและร้านจำหน่ายต้นไม้ในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง โดยผู้วิจัยลงพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูลบันทึกลงตาราง และเก็บตัวอย่างดินโดยซื้อดินผสมใบก้ามปูที่บรรจุถุงจำหน่ายทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ดินดีเมืองระยอง, ดินน้องพล และดินน้องอาร์ม ยี่ห้อละ 3 ถุง เพื่อทำการทดสอบตัวอย่างที่มาจากแหล่งเดียวกันซ้ำ 3 โดยนำส่งทั้งถุงมิได้มีการเปิดบรรจุภัณฑ์ตามวิธีนำส่งตัวอย่างของทางห้องปฏิบัติการด้วยตัวเอง เพื่อควบคุมสิ่งรบกวนอันอาจเกิดขึ้นได้ขณะนำส่งไป ณ ห้องปฏิบัติการบริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขา ฉะเชิงเทรา เพื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิคแบบ Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS/OES) ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐานสากลจากหน่วยงานรัฐและภาคเอกชนมีการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มากกว่า 1,000 รายการทดสอบ สามารถรองรับงานทดสอบได้มากกว่า 400,000 ตัวอย่างต่อปี สามารถให้บริการด้านการตรวจวิเคราะห์มาตรฐานสินค้าให้กับกลุ่มผู้ส่งออก กลุ่มผู้ประกอบการกลุ่มธุรกิจเกษตร SMEs OTOP วิสาหกิจชุมชน โดยใช้ระยะเวลาสำหรับขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารโลหะหนักในตัวอย่างประมาณ 10 – 12 วัน เมื่อได้รับใบรายงานผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยจะนำมาวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลผลการวิจัยในลำดับต่อไป

3.4 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 จากรายชื่อร้านเกษตรและร้านขายต้นไม้ในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ที่มีอยู่บนอินเทอร์เน็ต 34 ร้าน ลงพื้นที่ทำการสำรวจร้านตามรายชื่อ, ชนิดของดิน, ยี่ห้อ และแหล่งที่มาจัดการบันทึกข้อมูลได้ 12 ร้าน โดยมีหลักการคัดออก ดังนี้

- ร้านที่ไม่ได้มีการจำหน่ายดินผสมพร้อมปลูกรวมจำหน่าย
- ร้านเดียวกันแต่ใช้ชื่อต่างกัน
- ร้านที่ปิดกิจการชั่วคราว
- ร้านที่เลิกกิจการ
- ร้านที่ไม่มีอยู่จริง

3.4.2 เลือกดินผสมพร้อมปลูกรวมบรรจุจำหน่ายแบบเจาะจง โดยเลือกดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกรวมบรรจุจำหน่าย ราคาถุงละ 20 – 25 บาท เป็นดินสำหรับปลูกผัก แหล่งผลิตในจังหวัดระยอง

3.4.3 เก็บตัวอย่างดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกรวมบรรจุจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง โดยเก็บตัวอย่างจากการซื้อดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกรวมทั้งถุงได้ 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อดินดีเมืองระยอง,

ดินนึ่งพล และดินนึ่งอาร์ม ยี่ห้อละ 3 ถุง เพื่อทำการทดสอบตัวอย่างที่มาจากแหล่งเดียวกันซ้ำ 3 เปรียบเทียบผลและหาค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักประเภทสารหนู, แคดเมียม, โปรท และตะกั่ว

3.4.4 นำตัวอย่างดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลุก ทั้งหมด 9 ถุง ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขา ฉะเชิงเทรา โดยไม่มีการเปิดบรรจุภัณฑ์ด้วยตนเอง

3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาณโลหะหนัก^[15]

ในส่วนนี้ทางห้องปฏิบัติการจะเป็นผู้เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาณโลหะหนัก ซึ่งทางห้องปฏิบัติการให้ข้อมูลเบื้องต้นแต่ละขั้นตอนไว้พอสังเขป โดยรายละเอียดในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการผู้วิจัยได้แนบไว้ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดิน เพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่ดี โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง เพื่อให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีขนาด 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร โดยใช้อุปกรณ์ต่อไปนี้

1. เครื่องบดตัวอย่างดิน
2. ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร (10 เมช)
3. ตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร (35 เมช)
4. ถาดอลูมิเนียมหรือสแตนเลส
5. ถุงพลาสติกหรือกระดาษสีน้ำตาล

3.6 วิธีการ

3.6.1 นำตัวอย่างดินที่ได้รับมาทั้งหมดประมาณ 1 กิโลกรัม มาผึ่งลมให้แห้ง (Air dry) ประมาณ 2 – 7 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น โดยเกลี่ยดินให้กระจายทั่วภาชนะที่รองด้วยกระดาษสีน้ำตาล และทำการผึ่งในห้องที่สะอาดไม่มีฝุ่นคลุ้งหรือสารเคมีและสิ่งต่าง ๆ ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ เช่น ฝุ่น หรือยาฆ่าแมลง เป็นต้น

3.6.2 เลือกเศษวัสดุอื่น ๆ เช่น เศษพืช กรวด หิน ที่ติดมากับตัวอย่างดินออกให้หมด

3.6.3 เมื่อดินแห้ง บดตัวอย่างดินด้วยเครื่องบดดิน แล้วทำการร่อนดินด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนของดินที่ค้างบนตะแกรงร่อนก็ให้นำไปบดต่ออีกจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนได้หมด

3.6.4 นำตัวอย่างดินขนาด 2 มิลลิเมตร ร่อนดินด้วยตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร ส่วนของดินที่ค้างบนตะแกรงร่อนก็ให้นำไปบดต่ออีกจนสามารถผ่านตะแกรงร่อนได้หมด

3.6.5 นำตัวอย่างดินที่มีขนาด 0.5 ไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดินตามลำดับ

ขั้นตอนในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนนี้ จัดทำเพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลายตัวอย่างตะกอน ภายใน closed vessel (ระบบปิด) ด้วยสารละลายกรด และให้พลังงานความร้อนที่สร้างจากคลื่นไมโครเวฟ, เหมาะสำหรับนำตะกอนไปตรวจสอบโมเลกุลของโลหะด้วยเทคนิคด้าน Spectroscopy



ภาพที่ 3.1 เครื่อง Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS)

ที่มา: ห้องปฏิบัติการ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขา ฉะเชิงเทรา

เครื่องมือสำหรับให้กำเนิดพลังงานคลื่นไมโครเวฟ

Milestone ETHOS labstation with easyWAVE หรือ easyCONTROL software
HPR1000/10S high pressure segmented rotor (ตัวหมุนที่สร้างภาวะแรงดันสูง)

จำนวนตัวอย่างกาก หรือ ตะกอน

0.5 กรัม

น้ำยาเคมี (สารละลาย)

กรดไฮโดรคลอริก (HCL) จำนวน 9 มิลลิลิตร, กรดไนตริก (HNO₃) ความเข้มข้น 65% จำนวน 3 มิลลิลิตร

ขั้นตอน

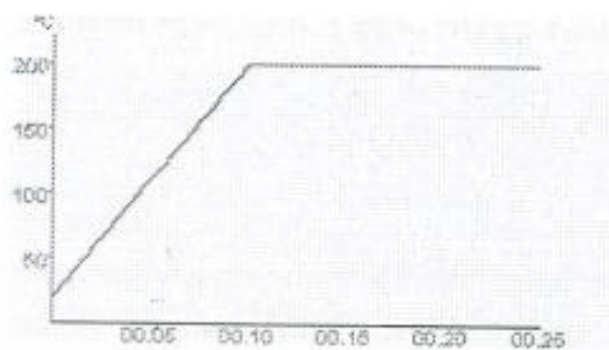
1. วางหลอดบรรจุตัวอย่างชนิด TFM ลงบนเครื่องชั่ง, กดเพื่อให้ค่าเริ่มต้นเป็น 0 ก่อนการชั่งน้ำหนักตัวอย่างลงในหลอดบรรจุตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักตัวอย่างตะกอน
2. นำหลอดบรรจุตัวอย่างชนิด TFM ใส่ในปลอกป้องกันหลอดบรรจุตัวอย่างชนิด
3. เติมสารละลายกรด; ถ้ามีเศษตัวอย่างตะกอนติดอยู่ที่ผนังด้านในของหลอดบรรจุตัวอย่างชนิด TFM ให้หยดสารละลายกรดทีละหยด เพื่อให้ตะกอนเปียก จากนั้น หมุนเบา ๆ ให้ตะกอนและสารละลายกรดกลายเป็นเนื้อเดียวกัน
4. ปิดหลอดบรรจุตัวอย่าง, ใส่เข้าไปในภาชนะใส่หลอดบรรจุตัวอย่าง (rotor segment) และไขให้แน่นด้วยประแจ
5. ใส่ภาชนะใส่หลอดบรรจุตัวอย่าง (rotor segment) ลงในช่องไมโครเวฟ และเชื่อมต่อเข้ากับตัววัดอุณหภูมิ
6. เปิดโปรแกรมคลื่นไมโครเวฟ และปล่อยให้ทำงานจนเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างความร้อน
7. เป่าภาชนะใส่หลอดบรรจุตัวอย่างด้วยอากาศ (rotor) หรือ น้ำ เพื่อให้ภาชนะใส่หลอดบรรจุตัวอย่าง (rotor) เย็น, ทำลงจนสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิห้อง)
8. เปิดหลอดบรรจุตัวอย่างและ ใส่สารละลายลงขวดแก้ว (flask) ที่ทำเครื่องหมายไว้

โปรแกรมคลื่นไมโครเวฟ

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลำดับขั้นตอนโปรแกรมคลื่นไมโครเวฟ

ขั้นตอน	เวลา	อุณหภูมิ	กำลังคลื่นไมโครเวฟ
1	10 นาที	200 องศาเซลเซียส	สูงถึง 1,000 วัตต์
2	15 นาที	200 องศาเซลเซียส	สูงถึง 1,000 วัตต์

ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิ

ที่มา: คู่มือ Milestone Microwave Laboratory System หน้า 1 of 1 Rev. 03_04

หมายเหตุ. *ใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟได้สูงถึง 500 วัตต์ ในกรณีที่ทำกับ vessel จำนวน 3 vessels หรือ น้อยกว่า พร้อม ๆ กัน

ขั้นตอนดังกล่าวนี้เป็นเพียงแนวทาง และสามารถปรับเปลี่ยน หรือ เปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ผลการย่อยสลายตะกอนเป็นไปตามความต้องการ

สวมอุปกรณ์ป้องกันมือ, ดวงตา หรือร่างกายเสมอ เมื่อปฏิบัติงานกับระบบไมโครเวฟ

3.7 การนำเสนอผลการวิจัย

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ผู้วิจัยจะนำเสนอผลรายงานการตรวจวิเคราะห์หาค่าปริมาณโลหะหนักที่อาจพบในปริมาณแตกต่างกันในรูปแบบตาราง เพื่อแสดงค่าปริมาณของโลหะหนักแต่ละชนิดใน 3 ตัวอย่างเพื่อให้เห็นได้อย่างชัดเจน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (As) แคดเมียม (Cd)ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนในดินจากร้านจำหน่ายดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง จำนวน 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ดินดีเมืองระยอง, ดินน้องพล และดินน้องอาร์ม มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การปนเปื้อนของสารตะกั่ว (Pb) ในดิน

ปริมาณความเข้มข้นของของโลหะหนักประเภท สารตะกั่ว (Pb) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่า ดินดีเมืองระยอง มีปริมาณสารตะกั่วมากที่สุดคือ 7.285 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินน้องอาร์ม มีปริมาณสารตะกั่ว 4.011 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล มีปริมาณสารตะกั่ว 3.106 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในดินได้ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อมีปริมาณสารตะกั่วไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนในดินผสม ใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ยี่ห้อที่ศึกษา	ปริมาณโลหะหนักประเภทสารตะกั่ว (mg/kg)			
	ถุงที่ 1	ถุงที่ 2	ถุงที่ 3	เฉลี่ยรวม
ดินดี เมืองระยอง	6.873	7.226	7.756	7.285
ดินน้องพล	3.084	3.601	2.634	3.106
ดินน้องอาร์ม	3.690	3.698	4.647	4.011

หมายเหตุ. * ค่ามาตรฐานปริมาณสารตะกั่วในดินไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.2 การปนเปื้อนของสารหนู (As) ในดิน

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (As) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารหนู (As) มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่า ดินดีเมืองระยอง มีปริมาณสารหนู มากที่สุด คือ 1.556 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินน้องอาร์ม มีปริมาณสารหนู 1.326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล มีปริมาณสารหนู <1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โลหะหนักในดินตามประกาศสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณสารหนู (As) ในดินได้ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารหนู (As) ไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารหนู (As) ที่ปนเปื้อนในดินผสม ใบก้ามปูพร้อมปลวก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ยี่ห้อที่ศึกษา	ปริมาณโลหะหนักประเภทสารหนู (mg/kg)			
	ถุงที่ 1	ถุงที่ 2	ถุงที่ 3	เฉลี่ยรวม
ดินดี เมืองระยอง	1.111	1.762	1.795	1.556
ดินน้องพล	<1.000	<1.000	<1.000	<1.000
ดินน้องอาร์ม	1.274	1.197	1.507	1.326

หมายเหตุ. * ค่ามาตรฐานปริมาณสารหนูในดินไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.3 การปนเปื้อนของสารแคดเมียม (Cd) ในดิน

ปริมาณความเข้มข้นของของโลหะหนักประเภท แคดเมียม (Cd) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลวกทั้ง 3 ยี่ห้อ ไม่มีปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน Not Detect ซึ่งไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดินได้ไม่เกิน 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่าดินทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณแคดเมียม (Cd) ไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารแคดเมียม (Cd) ที่ปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ยี่ห้อที่ศึกษา	ปริมาณโลหะหนักประเภทแคดเมียม (mg/kg)			
	ถุงที่ 1	ถุงที่ 2	ถุงที่ 3	เฉลี่ยรวม
ดินดี เมืองระยอง	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect
ดินน้องพล	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect
ดินน้องอาร์ม	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect

หมายเหตุ. * ค่ามาตรฐานปริมาณสารแคดเมียมในดินไม่เกิน 67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.4 การปนเปื้อนของสารปรอท (Hg) ในดิน

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารปรอท (Hg) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ ไม่มีปริมาณสารปรอท (Hg) ในดิน Not Detect ซึ่งไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โลหะหนักในดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณสารปรอท (Hg) ในดินได้ไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่าดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารปรอท (Hg) ไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภทสารปรอท (Hg) ที่ปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก 3 ยี่ห้อ มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายที่อำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

ยี่ห้อที่ศึกษา	ปริมาณโลหะหนักประเภทสารปรอท (mg/kg)			
	ถุงที่ 1	ถุงที่ 2	ถุงที่ 3	เฉลี่ยรวม
ดินดี เมืองระยอง	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect
ดินน้องพล	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect
ดินน้องอาร์ม	Not Detect	Not Detect	Not Detect	Not Detect

หมายเหตุ. * ค่ามาตรฐานปริมาณสารปรอทในดินไม่เกิน 22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาหาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปู พร้อมปลูกบรรจุงู ซึ่งมีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง สามารถสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผล

ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (As), แคดเมียม (Cd),ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูก จำนวน 3 ยี่ห้อ ที่จำหน่ายในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ได้แก่ ดินดีเมืองระยอง, ดินน้องพล และดินน้องอาร์ม พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของของโลหะหนักประเภท สารตะกั่ว (Pb) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่า ดินดีเมืองระยอง มีปริมาณสารตะกั่วมากที่สุด คือ 7.285 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินร้านน้องอาร์ม มีปริมาณสารตะกั่ว 4.011 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล มีปริมาณสารตะกั่ว 3.106 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักในดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในดินได้ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารตะกั่วไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (As) ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณ

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (As) ในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารหนู (As) มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพบว่า ดินดีเมืองระยอง มีปริมาณสารหนู มากที่สุด คือ 1.556 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินร้านน้องอาร์ม มีปริมาณสารหนู 1.326 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และน้อยที่สุดคือ ดินน้องพล มีปริมาณสารหนู <1.000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โลหะหนักในดินตามประกาศสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ที่กำหนดให้มีปริมาณสารหนู (As) ในดินได้ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อ มี

ปริมาณสารหนู (As) ไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ปริมาณความเข้มข้นของของโลหะหนักประเภท แคดเมียม (Cd) ทั้ง 3 ยี่ห้อ ไม่มีปริมาณแคดเมียม (Cd) ในดิน Not Detect ซึ่งไม่แตกต่างกัน และไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ปริมาณความเข้มข้นของของโลหะหนักประเภท สารปรอท (Hg) ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณสารปรอท (Hg) ในดิน Not Detect ซึ่งไม่แตกต่างกัน และไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

5.2 อภิปรายผล

ปริมาณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักประเภท สารหนู (AS), แคดเมียม (Cd), ปรอท (Hg) และตะกั่ว (Pb) ที่ปนเปื้อนในดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกที่ผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ผลการวิจัยพบว่า ดินทั้ง 3 ยี่ห้อ มีปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐาน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดินประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564 ผลการวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยที่การแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และบริเวณข้างเคียง^[2] พบค่าโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงประเภทแคดเมียม ตะกั่ว ส่วนงานวิจัยการกระจายเชิงพื้นที่และการประเมินความเสี่ยงของสารหนู, แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และสังกะสี ในดินชั้นบนที่จังหวัดระยอง^[3] พบเจอโลหะหนักเหล่านี้เกินค่ามาตรฐานโลหะหนัก^[4] หากมาพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าดินในประเทศไทยยังมีค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานที่อ้างอิงในดินต่างประเทศ ทั้งในยุโรป อเมริกา และเอเชียกำหนด อย่างไรก็ตาม การปนเปื้อนโลหะหนักที่เกินจากค่าพื้นฐานอาจเกิดได้จากการปนเปื้อนในน้ำที่ใช้ในระบบชลประทาน จากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การทิ้งกากสารอันตราย มลพิษจากอุตสาหกรรม การใช้ปุ๋ยเคมี รวมทั้งกิจกรรมที่รบกวนชั้นดินที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยโลหะหนักออกจากชั้นธรณีวิทยา เช่น กิจกรรมเหมืองแร่และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจและจัดทำค่าพื้นฐาน ทำให้ประเทศไทยสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนเบื้องต้นในพื้นที่ ถ้ามีการปนเปื้อนเกินค่าพื้นฐานดังกล่าว อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมลพิษในพื้นที่ จะต้องมีการตรวจสอบการปนเปื้อนอย่างละเอียด มีการจัดการเพื่อลดสาเหตุของปัญหา เปลี่ยนชนิดพืชที่เพาะปลูก และตัดวงจรการปนเปื้อนสู่ห่วงโซ่อาหาร^[16] และจากการวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินและพืชผักสวนครัวกับสุขภาพของประชาชนรอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน^[17] ที่พบว่า ในระยะ 1 กิโลเมตร พบการปนเปื้อนของตะกั่วในจุดที่ 2 และ 3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ และที่ระยะ 5 กิโลเมตร พบการปนเปื้อนของตะกั่วในจุดที่ 4, 5 และ 6 โดยมีค่าเท่ากับ 3.30, 1.50 และ 3.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างดินที่ตรวจพบตะกั่วมีค่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย ในขณะที่ระยะควบคุม 38 กิโลเมตร และไม่พบการปนเปื้อนของตะกั่วในดิน นอกจากนี้สอดคล้องกับการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักและการจัดการขยะอันตราย^[18] โดยการมีส่วนร่วมของชุมชนองค์การบริหารส่วนตำบลโคกสะอาด อำเภอเมืองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า การปนเปื้อนของปริมาณตะกั่วอยู่ระหว่างไม่สามารถตรวจพบ -720 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณปรอท อยู่ระหว่าง 0.03 - 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณทองแดงอยู่ระหว่าง 3.3 - 999.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณแคดเมียม อยู่ระหว่าง ไม่สามารถตรวจพบ -2.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการศึกษาปริมาณโลหะหนักสะสมในดินที่ทำเกษตรเคมีในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง^[19] ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างในดินที่ทำเกษตรเคมีในพื้นที่สวนยางพารา สวนเงาะ และนาข้าว พบว่า โลหะหนักประเภทสารตะกั่วมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน และการศึกษาการประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดในดินนาข้าวของจังหวัดสุโขทัย^[20] พบว่า ดินนาข้าวมีการปนเปื้อนเหล็กเฉลี่ยมากที่สุด $3,576.35 + 1,325.13$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $961.88 - 6,689.38$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา ได้แก่ สังกะสีเฉลี่ย $30.78 + 10.27$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $7.55 - 74.10$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตะกั่วเฉลี่ย $15.49 - 18.97$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND - 34.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และทองแดงเฉลี่ย $15.29 + 5.84$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $3.10 - 30.03$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ในขณะที่ตรวจไม่พบปริมาณแคดเมียมในดินนาข้าวในทุกพื้นที่ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในดินนาข้าวดังกล่าวไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่ามลพิษทางโลหะจะแผ่ขยายออกไปในอากาศ แต่โลหะหนักเหล่านี้นอกจากสามารถปนเปื้อนในดินแล้วแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการเพาะปลูกเป็นอีกองค์ประกอบทางการปนเปื้อนโลหะหนักเข้าสู่พืชผักต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน โลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับดินในการเกษตรมีผลต่อการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในพืชได้^[9] เมื่อพืชดูดซึมสะสมไว้ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของพืชในปริมาณมากเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดสามารถส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อนำพืชผักมาบริโภคต่อเนื่องเป็นเวลานานเช่นเดียวกับการได้รับสารเคมีตกค้างจากยาปรับศัตรูพืช^[10] โลหะหนักประเภทสารหนู แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว จัดอยู่ในกลุ่มที่เป็นพิษสูง ซึ่งทราบกันดีว่าส่งผลเสียหายต่อเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ รวมถึงระบบการทำงานของร่างกายแม้ได้รับการสัมผัสในปริมาณน้อยก็ตาม ทั้งนี้ โลหะหนักจำพวกมีพิษหากมีการสะสมในร่างกาย ส่งผลกระทบต่อสุขภาพรวมถึงความผิดปกติตั้งแต่ระดับเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ ระบบการทำงานของร่างกายต่าง ๆ เช่น ระบบการควบคุมการทรงตัว ระบบประสาท ระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินหายใจ ระบบการหมุนเวียนของเลือด ระบบหัวใจ ระบบสืบพันธุ์จนถึงระบบภูมิคุ้มกัน มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต

5.3 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าโดยภาพรวมแล้วดินผสมใบก้ามปูพร้อมปลูกรบรจูดงจำหน่ายที่มีแหล่งผลิตในจังหวัดระยอง วางจำหน่ายในร้านเกษตรและร้านจำหน่ายต้นไม้ในอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง ตรวจพบค่าปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนด แต่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเป็นฐานข้อมูลและสามารถติดตามเฝ้าระวังได้อย่างครอบคลุม เช่น

1. ควรศึกษาแหล่งที่มาของดินที่นำมาเป็นส่วนผสมผลิตดินพร้อมปลูกรบรจูดงจำหน่าย และการบรจูดงจำหน่ายในแต่ละครั้งที่ผลิต เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก
2. ควรศึกษาแหล่งที่มาของดินที่นำมาเป็นส่วนผสมผลิตดินพร้อมปลูกรบรจูดงจำหน่าย เปรียบเทียบในแต่ละฤดูกาลผลิต
3. ควรสำรวจหาค่าปริมาณโลหะหนักประเภทสารอื่นปนเปื้อนในดินผสมพร้อมปลูก
4. ควรสำรวจหาค่าปริมาณโลหะหนักในดินผสมพร้อมปลูกแต่ละชนิดในหลายพื้นที่ที่มีการผลิต



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

1. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. การประเมินความเสี่ยงในการรับสัมผัสสารอินทรีย์อันตรายอุบัติใหม่ของประชาชนจากแหล่งน้ำสำหรับอุปโภคบริโภคบริเวณพื้นที่เขตควบคุมมลพิษ จังหวัดระยอง. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม; 2562.
2. พรพรรณ ศิลารัตน์. การแพร่กระจายของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง และบริเวณข้างเคียง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 4-7 กุมภาพันธ์ 2557; กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2557. หน้า 262-9.
3. Simasuwannarong B, Satapanajaru T, Khuntong S, Pengthamkeerati P. Spatial distribution and risk assessment of As, Cd, Cu, Pb, and Zn in topsoil at Rayong Province, Thailand. *Water Air Soil Pollut* 2012;223(5):1931-43.
4. พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. โลหะหนัก: ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม [อินเทอร์เน็ต]. 2549 [เข้าถึงเมื่อ 3 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mnre.go.th/reo13/th/news/detail/9211#:~:text=โลหะหนักจัดอยู่ใน,ตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน>
5. Rai PK, Lee SS, Zhang M, Tsang YF, Kim KH. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management. *Environ Int* 2019;125:365-85.
6. คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2564.
7. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 137 ตอนพิเศษ 118 ง; 2563.
8. ดินปลูกจากใบก้ามปู: ใช้ประโยชน์ได้มากมายจากต้นก้ามปู [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ท.). [เข้าถึงเมื่อ 8 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaischool1.in.th/_files_school/20103683/data/20103683_1_20201209-111556.pdf
9. Smiljanić S, Tomić NT, Perušić M, Vasiljević L, Pelemiš S. The main sources of heavy metals in the soil and pathways intake. In: Beribaka M, editor. 6th International Congress on Engineering, Environment and Materials in Processing Industry; 2019 Mar 11-13; Jahorina, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina. Zvornik: University of East Sarajevo Faculty of Technology Zvornik; 2019. p. 453-65.

10. Marković M, Cupać S, Durović R, Milinović J, Kljajić P. Assessment of heavy metal and pesticide levels in soil and plant products from agricultural area of Belgrade, Serbia. *Arch Environ Contam Toxicol* 2010; 58(2): 341-51.
11. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. In: Luch A, editor. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. (Experientia. Supplementum ed., vol. 101). Basel: Springer Basel; 2012;101. p. 133-64.
12. Intawongse M, Dean JR. Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. *Food Addit Contam* 2006; 23(1): 36-48.
13. He L, Hu W, Wang X, Liu Y, Jiang Y, Meng Y, et al. Analysis of heavy metal contamination of agricultural soils and related effect on population health—a case study for East River Basin in China. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(6):1-14.
14. Yun J, Rocic P, Pung YF, Belmadani S, Carrao ACR, Ohanyan V, Chilian WM. Redox-dependent mechanisms in coronary collateral growth: the “redox window” hypothesis. *Antioxid Redox Signal* 2009;11(8):1961-74.
15. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. คู่มือวิธีวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร; 2553.
16. กองแผนงานกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดิน ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560-2564). กรุงเทพฯ: กองแผนงานกรมพัฒนาที่ดิน; 2559.
17. ศรสวรรค์ วิจิตร. ความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหนักในดินและพืชผักสวนครัว กับสุขภาพของประชาชนรอบนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จังหวัดลำพูน [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2560.
18. ชมพู่ เหนือศรี, นุกุล กุดแกลง, พิทักษ์ นาสมใจ, ปิยะ โมคมูล, เชิดชัย สมบัติโยธา. การปนเปื้อนของโลหะหนักและการจัดการขยะอันตรายโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนองค์การบริหารส่วนตำบลโลกสะอาด อำเภอเมืองชัย จังหวัดกาฬสินธุ์. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; 2561.

19. วรรณศักดิ์ สุขสง, รวี จันทรัตน์, สรพงศ์ เบญจศรี, วิชุดา กล้าเวช. ปริมาณโลหะหนักสะสมในดินที่ทำการเกษตรเคมีในอำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. ใน: สมบัติ ชินะวงศ์, บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10; 25 พฤศจิกายน 2556; อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556. หน้า 248-55.
20. นุชจรี ท้ายสนิท, ปิยะดา วชิระวงศกร. การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักบางชนิดในดินนาข้าวของจังหวัดสุโขทัย. วารสาร PSRU Journal of Science and Technology 2564;6(1):99-108.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีตรวจวิเคราะห์สารอินทรีย์



METHOD 3052

MICROWAVE ASSISTED ACID DIGESTION OF SILICEOUS AND ORGANICALLY BASED MATRICES

1.0 SCOPE AND APPLICATION

1.1 This method is applicable to the microwave assisted acid digestion of siliceous matrices, and organic matrices and other complex matrices. If a total decomposition analysis (relative to the target analyte list) is required, the following matrices can be digested: ashes, biological tissues, oils, oil contaminated soils, sediments, sludges, and soils. This method is applicable for the following elements:

Aluminum	Cadmium	Iron	Molybdenum	Sodium
Antimony	Calcium	Lead	Nickel	Strontium
Arsenic	Chromium	Magnesium	Potassium	Thallium
Boron	Cobalt	Manganese	Selenium	Vanadium
Barium	Copper	Mercury	Silver	Zinc
Beryllium				

Other elements and matrices may be analyzed by this method if performance is demonstrated for the analyte of interest, in the matrices of interest, at the concentration levels of interest (see Sec. 8.0).

Note: This technique is not appropriate for regulatory applications that require the use of leachate preparations (i.e., Method 3050, Method 3051, Method 1311, Method 1312, Method 1310, Method 1320, Method 1330, Method 3031, Method 3040). This method is appropriate for those applications requiring a total decomposition for research purposes (i.e., geological studies, mass balances, analysis of Standard Reference Materials) or in response to a regulation that requires total sample decomposition.

1.2 This method is provided as a rapid multi-element, microwave assisted acid digestion prior to analysis protocol so that decisions can be made about the site or material. Digests and alternative procedures produced by the method are suitable for analysis by flame atomic absorption spectrometry (FLAA), cold vapor atomic absorption spectrometry (CVAA), graphite furnace atomic absorption spectrometry (GFAA), inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and other analytical elemental analysis techniques where applicable. Due to the rapid advances in microwave technology, consult your manufacturer's recommended instructions for guidance on their microwave digestion system and refer to this manual's "Disclaimer" when conducting analyses using Method 3052.

1.3 The goal of this method is total sample decomposition and with judicious choice of acid combinations this is achievable for most matrices (see Sec. 3.2). Selection of reagents which give the highest recoveries for the target analytes is considered the optimum method condition.

2.0 SUMMARY OF METHOD

2.1 A representative sample of up to 0.5 g is digested in 9 mL of concentrated nitric acid and usually 3 mL hydrofluoric acid for 15 minutes using microwave heating with a suitable laboratory microwave system. The method has several additional alternative acid and reagent combinations including hydrochloric acid and hydrogen peroxide. The method has provisions for scaling up the sample size to a maximum of 1.0 g. The sample and acid are placed in suitably inert polymeric microwave vessels. The vessel is sealed and heated in the microwave system. The temperature profile is specified to permit specific reactions and incorporates reaching 180 ± 5 °C in approximately less than 5.5 minutes and remaining at 180 ± 5 °C for 9.5 minutes for the completion of specific reactions (Ref. 1, 2, 3, 4). After cooling, the vessel contents may be filtered, centrifuged, or allowed to settle and then decanted, diluted to volume, and analyzed by the appropriate SW-846 method.

3.0 INTERFERENCES

3.1 Gaseous digestion reaction products, very reactive, or volatile materials that may create high pressures when heated and may cause venting of the vessels with potential loss of sample and analytes. The complete decomposition of either carbonates, or carbon based samples, may cause enough pressure to vent the vessel if the sample size is greater than 0.25 g. Variations of the method due to very reactive materials are specifically addressed in sections 7.3.4 and 7.3.6.1.

3.2 Most samples will be totally dissolved by this method with judicious choice of the acid combinations. A few refractory sample matrix compounds, such as TiO_2 , alumina, and other oxides may not be totally dissolved and in some cases may sequester target analyte elements.

3.3 The use of several digestion reagents that are necessary to either completely decompose the matrix or to stabilize specific elements may limit the use of specific analytical instrumentation methods. Hydrochloric acid is known to interfere with some instrumental analysis methods such as flame atomic absorption (FLAA) and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The presence of hydrochloric acid may be problematic for graphite furnace atomic absorption (GFAA) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Hydrofluoric acid, which is capable of dissolving silicates, may require the removal of excess hydrofluoric acid or the use of specialized non-glass components during instrumental analysis. Method 3052 enables the analyst to select other decomposition reagents that may also cause problems with instrumental analyses necessitating matrix matching of standards to account for viscosity and chemical differences.

4.0 APPARATUS AND MATERIALS

4.1 Microwave apparatus requirements.

4.1.1 The temperature performance requirements necessitate the microwave decomposition system sense the temperature to within ± 2.5 °C and automatically adjust the microwave field output power within 2 seconds of sensing. Temperature sensors should be accurate to ± 2 °C (including the final reaction temperature of 180 °C). Temperature feedback control provides the primary control performance mechanism for the method. Due to the flexibility in the reagents used to achieve total analysis, temperature feedback control is necessary for reproducible microwave heating.

Alternatively, for a specific set of reagent(s) combination(s), quantity, and specific vessel type, a calibration control mechanism can be developed similar to previous microwave methods (see Method 3051). Through calibration of the microwave power, vessel load and heat loss, the reaction temperature profile described in Section 7.3.6 can be reproduced. The calibration settings are specific for the number and type of vessel used and for the microwave system in addition to the variation in reagent combinations. Therefore no specific calibration settings are provided in this method. These settings may be developed by using temperature monitoring equipment for each specific set of equipment and reagent combination. They may only be used if not altered as previously described in other methods such as 3051 and 3015. In this circumstance, the microwave system provides programmable power which can be programmed to within ± 12 W of the required power. Typical systems provide a nominal 600 W to 1200 W of power (Ref. 1, 2, 5). Calibration control provides backward compatibility with older laboratory microwave systems without temperature monitoring or feedback control and with lower cost microwave systems for some repetitive analyses. Older lower pressure vessels may not be compatible.

4.1.2 The temperature measurement system should be periodically calibrated at an elevated temperature. Pour silicon oil (a high temperature oil) into a beaker and adequately stirred to ensure a homogeneous temperature. Place the microwave temperature sensor and a calibrated external temperature measurement sensor into the beaker. Heat the beaker to a constant temperature of $180 \pm 5^\circ\text{C}$. Measure the temperature with both sensors. If the measured temperatures vary by more than $1 - 2^\circ\text{C}$, the microwave temperature measurement system needs to be calibrated. Consult the microwave manufacturer's instructions about the specific temperature sensor calibration procedure.

CAUTION: The use of microwave equipment with temperature feedback control is required to control the unfamiliar reactions of unique or untested reagent combinations of unknown samples. These tests may require additional vessel requirements such as increased pressure capabilities.

4.1.3 The microwave unit cavity is corrosion resistant and well ventilated. All electronics are protected against corrosion for safe operation.

CAUTION: There are many safety and operational recommendations specific to the model and manufacturer of the microwave equipment used in individual laboratories. A listing of these specific suggestions is beyond the scope of this method and require the analyst to consult the specific equipment manual, manufacturer, and literature for proper and safe operation of the microwave equipment and vessels.

4.1.4 The method requires essentially microwave transparent and reagent resistant suitably inert polymeric materials (examples are PFA or TFM suitably inert polymeric polymers) to contain acids and samples. For higher pressure capabilities the vessel may be contained within layers of different microwave transparent materials for strength, durability, and safety. The vessels internal volume should be at least 45 mL, capable of withstanding pressures of at least 30 atm (30 bar or 435 psi), and capable of controlled pressure relief. These specifications are to provide an appropriate, safe, and durable reaction vessel of which there are many adequate designs by many suppliers.

CAUTION: The outer layers of vessels are frequently not as acid or reagent resistant as the liner material and must not be chemically degraded or physically damaged to retain the performance and safety required. Routine examination of the vessel materials may be required to ensure their safe use.

CAUTION: The second safety concern relates to the use of sealed containers without pressure relief devices. Temperature is the important variable controlling the reaction. Pressure is needed to attain elevated temperatures, but must be safely contained. However, many digestion vessels constructed from certain suitably inert polymeric materials may crack, burst, or explode in the unit under certain pressures. Only suitably inert polymeric (such as PFA or TFM and others) containers with pressure relief mechanisms or containers with suitably inert polymeric liners and pressure relief mechanisms are considered acceptable.

Users are therefore advised not to use domestic (kitchen) type microwave ovens or to use inappropriate sealed containers without pressure relief for microwave acid digestions by this method. Use of laboratory-grade microwave equipment is required to prevent safety hazards. For further details, consult Reference 3 and 6.

4.1.5 A rotating turntable is employed to insure homogeneous distribution of microwave radiation within most systems (Ref. 1). The speed of the turntable should be a minimum of 3 rpm.

CAUTION: Laboratories should not use domestic (kitchen) type microwave ovens for this method. There are several significant safety issues. First, when an acid such as nitric is used to effect sample digestion in microwave units in open vessel(s), or sealed vessels equipment, there is the potential for the acid gas vapor released to corrode the safety devices that prevent the microwave magnetron from shutting off when the door is opened. This can result in operator exposure to microwave energy. Use of a system with isolated and corrosion resistant safety devices prevents this from occurring.

4.2 Volumetric ware, volumetric flasks, and graduated cylinders, 50 and 100 mL capacity or equivalent.

4.3 Filter paper, qualitative or equivalent.

4.4 Filter funnel, polypropylene, polyethylene or equivalent.

4.5 Analytical balance, of appropriate capacity, with a ± 0.0001 g or appropriate precision for the weighing of the sample. Optionally, the vessel with sample and reagents may be weighed, with an appropriate precision balance, before and after microwave processing to evaluate the seal integrity in some vessel types.

5.0 REAGENTS

5.1 All reagents should be of appropriate purity or high purity (acids for example, should be sub-boiling distilled where possible) to minimize the blank levels due to elemental contamination. All references to water in the method refer to reagent water (Ref. 7). Other reagent grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficient purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination. If the purity of a reagent is questionable, analyze the reagent to determine the level of impurities. The reagent blank must be less than the MDL in order to be used.

6.0 SAMPLE COLLECTION, PRESERVATION, AND HANDLING

6.1 All samples must have been collected using a sampling plan that addresses the considerations discussed in Chapter Nine of this manual.

6.2 All sample containers must be prewashed with detergents, acids, and water. Plastic and glass containers are both suitable. See Chapter Three, Sec. 3.1.3 of this manual, for further information.

6.3 Refer to Chapter Three for the appropriate holding times and storage conditions.

7.0 PROCEDURE

7.1 Temperature control of closed vessel microwave instruments provides the main feedback control performance mechanism for the method. Control requires a temperature sensor in one or more vessels during the entire decomposition. The microwave decomposition system should sense the temperature to within ± 2.5 °C and permit adjustment of the microwave output power within 2 seconds.

7.2 All digestion vessels and volumetric ware must be carefully acid washed and rinsed with reagent water. When switching between high concentration samples and low concentration samples, all digestion vessels (fluoropolymer liners only) should be cleaned by leaching with hot (1:1) hydrochloric acid (greater than 80°C, but less than boiling) for a minimum of two hours followed with hot (1:1) nitric acid (greater than 80°C, but less than boiling) for a minimum of two hours and rinsed with reagent water and dried in a clean environment. This cleaning procedure should also be used whenever the prior use of the digestion vessels is unknown or cross contamination from vessels is suspected. Polymeric or glass volumetric ware (not used with HF) and storage containers should be cleaned by leaching with more dilute acids (approximately 10% V/V) appropriate for the specific plastics used and then rinsed with reagent water and dried in a clean environment. To avoid precipitation of silver, ensure that all HCl has been rinsed from the vessels.

7.3 Sample Digestion

7.3.1 Weigh a well-mixed sample to the nearest 0.001 g into an appropriate vessel equipped with a pressure relief mechanism. For soils, ash, sediments, sludges, and siliceous wastes, initially use no more than 0.5 g. For oil or oil contaminated soils, initially use no more than 0.25 g.

7.3.2 Add 9 ± 0.1 mL concentrated nitric acid and 3 ± 0.1 mL concentrated hydrofluoric acid to the vessel in a fume hood. If the approximate silicon dioxide content of the sample is known, the quantity of hydrofluoric acid may be varied from 0 to 5 mL for stoichiometric reasons. Samples with higher concentrations of silicon dioxide ($> 70\%$) may require higher concentrations of hydrofluoric acid (> 3 mL HF). Alternatively samples with lower concentrations of silicon dioxide ($< 10\%$ to 0%) may require much less hydrofluoric acid (0.5 mL to 0 mL). Examples are presented in Table 1, 2, 3, and 6. Acid digestion reagent combinations used in the analysis of several matrices, listed in Table 7, provide guidance for the development of new matrix decomposition procedures.

7.3.3 The addition of other reagents with the original acids prior to digestion may permit more complete oxidation of organic sample constituents, address specific decomposition chemistry requirements, or address specific elemental stability and solubility problems.

The addition of 2 ± 2 mL concentrated hydrochloric acid to the nitric and hydrofluoric acids is appropriate for the stabilization of Ag, Ba, and Sb and high concentrations of Fe and Al in solution. The amount of HCl needed will vary depending on the matrix and the concentration of the analytes. The addition of hydrochloric acid may; however, limit the techniques or increase the difficulties of analysis. Examples are presented in Table 4.

The addition of hydrogen peroxide (30%) in small or catalytic quantities (such as 0.1 to 2 mL) may aid in the complete oxidation of organic matter.

The addition of water (double deionized) may (0 to 5 mL) improve the solubility of minerals and prevent temperature spikes due to exothermic reactions.

NOTE: Supporting documentation for the chemistry of this method has been prepared in chapters 2 and 3 of reference 3. It provides additional guidance and documentation of appropriate reagent, matrix and analyte combinations that can be employed in this method.

CAUTION: Only one acid mixture or quantity may be used in a single batch in the microwave to insure consistent reaction conditions between all vessels and monitored conditions. This limitation is due to the current practice of monitoring a representative vessel and applying a uniform microwave field to reproduce these reaction conditions within a group of vessels being simultaneously heated.

CAUTION: Toxic nitrogen oxide(s), hydrogen fluoride, and toxic chlorine (from the addition of hydrochloric acid) fumes are usually produced during digestion. Therefore, all steps involving open or the opening of microwave vessels must be performed in a properly operating fume ventilation system.

CAUTION: The analyst should wear protective gloves and face protection and must not at any time permit a solution containing hydrofluoric acid to come in contact with skin or lungs.

CAUTION: The addition of hydrochloric acid must be from concentrated hydrochloric acid and not from a premixed combination of acids as a buildup of toxic chlorine and possibly other gases will result from a premixed acid solution. This will over pressurize the vessel due to the release of these gases from solution upon heating. The gas effect is greatly lessened by following this suggestion.

CAUTION: When digesting samples containing volatile or easily oxidized organic compounds, initially weigh no more than 0.10 g and observe the reaction before capping the vessel. If a vigorous reaction occurs, allow the reaction to cease before capping the vessel. If no appreciable reaction occurs, a sample weight up to 0.25 g can be used.

CAUTION: The addition of hydrogen peroxide should only be done when the reactive components of the sample are known. Hydrogen peroxide may react rapidly and violently on easily oxidizable materials and should not be added if the sample may contain large quantities of easily oxidizable organic constituents.

7.3.4 The analyst should be aware of the potential for a vigorous reaction. If a vigorous reaction occurs upon the initial addition of reagent or the sample is suspected of containing easily oxidizable materials, allow the sample to predigest in the uncapped digestion vessel. Heat may be added in this step for safety considerations (for example the rapid release of carbon dioxide from carbonates, easily oxidized organic matter, etc.). Once the initial reaction has ceased, the sample may continue through the digestion procedure.

7.3.5 Seal the vessel according to the manufacturer's directions. Properly place the vessel in the microwave system according to the manufacturer's recommended specifications and connect appropriate temperature and pressure sensors to vessels according to manufacturer's specifications.

7.3.6 This method is a performance based method, designed to achieve or approach total decomposition of the sample through achieving specific reaction conditions. The temperature of each sample should rise to 180 ± 5 °C in approximately 5.5 minutes and remain at 180 ± 5 °C for 9.5 minutes. The temperature-time and pressure-time profile are given for a standard soil sample in Figure 1. The number of samples simultaneously digested is dependent on the analyst. The number may range from 1 to the maximum number of vessels that the microwave units magnetron can heat according to the manufacturer's or literature specifications (the number will depend on the power of the unit, the quantity and combination of reagents, and the heat loss from the vessels).

The pressure should peak between 5 and 15 minutes for most samples (Ref. 2, 3, 5). If the pressure exceeds the pressure limits of the vessel, the pressure will be reduced by the relief mechanism of the vessel.

The total decomposition of some components of a matrix may require or the reaction kinetics are dramatically improved with higher reaction temperatures. If microwave digestion systems and/or vessels are capable of achieving higher temperatures and pressures, the minimum digestion time of 9.5 minutes at a temperature of at least 180 ± 5 °C is an appropriate

alternative. This change will permit the use of pressure systems if the analysis verifies that 180°C is the minimum temperature maintained by these control systems.

7.3.6.1 For reactive substances, the heating profile may be altered for safety purposes. The decomposition is primarily controlled by maintaining the reagents at $180 \pm 5^\circ\text{C}$ for 9.5 minutes, therefore the time it takes to heat the samples to $180 \pm 5^\circ\text{C}$ is not critical. The samples may be heated at a slower rate to prevent potential uncontrollable exothermic reactions. The time to reach $180 \pm 5^\circ\text{C}$ may be increased to 10 minutes provided that $180 \pm 5^\circ\text{C}$ is subsequently maintained for 9.5 minutes. Decomposition profiles are presented in Figures 1 and 2. The extreme difference in pressure is due to the gaseous digestion products.

7.3.6.2 Calibration control is applicable in reproducing this method provided the power in watts versus time parameters are determined to reproduce the specifications listed in 7.3.6. The calibration settings will be specific to the quantity and combination of reagents, quantity of vessels, and heat loss characteristics of the vessels (Ref 1). If calibration control is being used, any vessels containing acids for analytical blank purposes are counted as sample vessels and when fewer than the recommended number of samples are to be digested, the remaining vessels should be filled with the same acid mixture to achieve the full complement of vessels. This provides an energy balance, since the microwave power absorbed is proportional to the total absorbed mass in the cavity (Ref. 1). Irradiate each group of vessels using the predetermined calibration settings. (Different vessel types should not be mixed).

7.3.6.3 Pressure control for a specific matrix is applicable if instrument conditions are established using temperature control. Because each matrix will have a different reaction profile, performance using temperature control must be developed for every specific matrix type prior to use of the pressure control system.

7.3.7 At the end of the microwave program, allow the vessels to cool for a minimum of 5 minutes before removing them from the microwave system. When the vessels have cooled to near room temperature, determine if the microwave vessels have maintained a seal throughout the digestion. Due to the wide variability of vessel designs, a single procedure is not appropriate. For vessels that are sealed as discrete separate entities, the vessel weight may be taken before and after digestion to evaluate seal integrity. If the weight loss of sample exceeds 1% of the weight of the sample and reagents, then the sample is considered compromised. For vessels with burst disks, a careful visual inspection of the disk may identify compromised vessels. For vessels with resealing pressure relief mechanisms, an auditory or sometimes a physical sign indicates a vessel has vented.

7.3.8 Complete the preparation of the sample by carefully uncapping and venting each vessel in a fume hood. Vent the vessels using the procedure recommended by the vessel manufacturer. Transfer the sample to an acid-cleaned bottle. If the digested sample contains particulates which may clog nebulizers or interfere with injection of the sample into the instrument, the sample may be centrifuged, allowed to settle, or filtered.

7.3.8.1 Centrifugation: Centrifugation at 2,000 - 3,000 rpm for 10 minutes is usually sufficient to clear the supernatant.

7.3.8.2 Settling: If undissolved material remains such as TiO_2 , or other refractory oxides, allow the sample to stand until the supernatant is clear. Allowing a sample to stand overnight will usually accomplish this. If it does not, centrifuge or filter the sample.

7.3.8.3 Filtering: If necessary, the filtering apparatus must be thoroughly cleaned and prerinsed with dilute (approximately 10% V/V) nitric acid. Filter the sample through qualitative filter paper into a second acid-cleaned container.

7.3.9 If the hydrofluoric acid concentration is a consideration in the analysis technique such as with ICP methods, boric acid may be added to permit the complexation of fluoride to protect the quartz plasma torch. The amount of acid added may be varied, depending on the equipment and the analysis procedure. If this option is used, alterations in the measurement procedure to adjust for the boric acid and any bias it may cause are necessary. This addition will prevent the measurement of boron as one of the elemental constituents in the sample. Alternatively, a hydrofluoric acid resistant ICP torch may be used and the addition of boric acid would be unnecessary for this analytical configuration. All major manufacturers have hydrofluoric resistant components available for the analysis of solutions containing hydrofluoric acid.

CAUTION: The traditional use of concentrated solutions of boric acid can cause problems by turning the digestion solution cloudy or result in a high salt content solution interfering with some analysis techniques. Dilute solutions of boric acid or other methods of neutralization or reagent elimination are appropriate to avoid problems with HF and the glass sample introduction devices of analytical instrumentation. Gentle heating often serves to clear cloudy solutions. Matrix matching of samples and standards will eliminate viscosity differences.

7.3.10 The removal or reduction of the quantity of the hydrochloric and hydrofluoric acids prior to analysis may be desirable. The chemistry and volatility of the analytes of interest should be considered and evaluated when using this alternative. Evaporation to near dryness in a controlled environment with controlled pure gas and neutralizing and collection of exhaust interactions is an alternative where appropriate. This manipulation may be performed in the microwave system, if the system is capable of this function, or external to the microwave system in more common apparatus(s). This option must be tested and validated to determine analyte retention and loss and should be accompanied by equipment validation possibly using the standard addition method and standard reference materials. This alternative may be used to alter either the acid concentration and/or acid composition. Note: The final solution typically requires nitric acid to maintain appropriate sample solution acidity and stability of the elements. Commonly, a 2% (v/v) nitric acid concentration is desirable. Examples of analysis performed with and without removal of the hydrofluoric acid are presented in Table 5. Waste minimization techniques should be used to capture reagent

fumes. This procedure should be tested and validated in the apparatus and on standards before using on unknown samples.

7.3.11 Transfer or decant the sample into volumetric ware and dilute the digest to a known volume. The digest is now ready for analysis for elements of interest using appropriate elemental analysis techniques and/or SW-846 methods.

7.3.12 Sample size may be scaled-up from 0.1, 0.25, or 0.5 g to 1.0 g through a series of 0.2g sample size increments. Scale-up can produce different reaction conditions and/or produce increasing gaseous reaction products. Increases in sample size may not require alteration of the acid quantity or combination, but other reagents may be added to permit a more complete decomposition and oxidation of organic and other sample constituents where necessary (such as increasing the HF for the complete destruction of silicates). Each step of the scale-up must demonstrate safe operation before continuing.

7.4 Calculations: The concentrations determined are to be reported on the basis of the actual weight of the original sample.

7.5 Calibration of Microwave Equipment

NOTE: If the microwave unit uses temperature feedback control to follow performance specifications of the method, then the calibration procedure will not be necessary.

7.5.1 Calibration is the normalization and reproduction of a microwave field strength to permit reagent and energy coupling in a predictable and reproducible manner. It balances reagent heating and heat loss from the vessels and is equipment dependent due to the heat retention and loss characteristics of the specific vessel. Available power is evaluated to permit the microwave field output in watts to be transferred from one microwave system to another.

Use of calibration to control this reaction requires balancing output power, coupled energy, and heat loss to reproduce the temperature heating profile in section 7.3.6. The conditions for each acid mixture and each batch containing the same specified number of vessels must be determined individually. Only identical acid mixtures and vessel models and specified numbers of vessels may be used in a given batch.

7.5.2 For cavity type microwave equipment, this is accomplished by measuring the temperature rise in 1 kg of water exposed to microwave radiation for a fixed period of time. The analyst can relate power in watts to the partial power setting of the system. The calibration format required for laboratory microwave systems depends on the type of electronic system used by the manufacturer to provide partial microwave power. Few systems have an accurate and precise linear relationship between percent power settings and absorbed power. Where linear circuits have been utilized, the calibration curve can be determined by a three-point calibration method (7.5.4), otherwise, the analyst must use the multiple point calibration method (7.5.3).

7.5.3 The multiple point calibration involves the measurement of absorbed power over a large range of power settings. Typically, for a 600 W unit, the following power settings are measured; 100, 99, 98, 97, 95, 90, 80, 70, 60, 50, and 40% using the procedure described in section 7.5.5. This data is clustered about the customary working power ranges. Nonlinearity has been encountered at the upper end of the calibration. If the system's electronics are known to have nonlinear deviations in any region of proportional power control, it will be necessary to make a set of measurements that bracket the power to be used. The final calibration point should be at the partial power setting that will be used in the test. This setting should be checked periodically to evaluate the integrity of the calibration. If a significant change is detected (± 10 W), then the entire calibration should be reevaluated.

7.5.4 The three-point calibration involves the measurement of absorbed power at three different power settings. Measure the power at 100% and 50% using the procedure described in section 7.5.5. From the 2-point line calculate the power setting corresponding to the required power in watts specified in the procedure. Measure the absorbed power at that partial power setting. If the measured absorbed power does not correspond to the specified power within ± 10 W, use the multiple point calibration in 7.5.3. This point should also be used to periodically verify the integrity of the calibration.

7.5.5 Equilibrate a large volume of water to room temperature (23 ± 2 °C). One kg of reagent water is weighed ($1,000.0 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$) into a suitably inert polymeric beaker or a beaker made of some other material that does not significantly absorb microwave energy (glass absorbs microwave energy and is not recommended). The initial temperature of the water should be 23 ± 2 °C measured to ± 0.05 °C. The covered beaker is circulated continuously (in the normal sample path) through the microwave field for 2 minutes at the desired partial power setting with the system's exhaust fan on maximum (as it will be during normal operation). The beaker is removed and the water vigorously stirred. Use a magnetic stirring bar inserted immediately after microwave irradiation and record the maximum temperature within the first 30 seconds to ± 0.05 °C. Use a new sample for each additional measurement. If the water is reused, both the water and the beaker must have returned to 23 ± 2 °C. Three measurements at each power setting should be made.

The absorbed power is determined by the following relationship:

$$\text{Equation 1} \quad P = \frac{K C_p m \Delta T}{t}$$

Where:

- P = the apparent power absorbed by the sample in watts (W, W = joule sec⁻¹)
 K = the conversion factor for thermochemical calories_sec⁻¹ to watts (which equals 4.184)
 C_p = the heat capacity, thermal capacity, or specific heat (cal g⁻¹ °C⁻¹) of water

m	=	the mass of the water sample in grams (g)
ΔT	=	the final temperature minus the initial temperature ($^{\circ}\text{C}$)
t	=	the time in seconds (s)

Using the experimental conditions of 2 minutes and 1 kg of distilled water (heat capacity at 25 $^{\circ}\text{C}$ is 0.9997 cal g^{-1} $^{\circ}\text{C}^{-1}$) the calibration equation simplifies to:

$$P = 34.86 \Delta T$$

NOTE: Stable line voltage is necessary for accurate and reproducible calibration and operation. The line voltage should be within manufacturer's specification, and during measurement and operation should not vary by more than ± 5 V. Electronic components in most microwave units are matched to the system's function and output. When any part of the high voltage circuit, power source, or control components in the system have been serviced or replaced, it will be necessary to recheck the system's calibration. If the power output has changed significantly (± 10 W), then the entire calibration should be reevaluated.

8.0 QUALITY CONTROL

8.1 All quality control data must be maintained and available for reference or inspection for a period determined by all involved parties based on program or project requirements. This method is restricted to use by, or under supervision of, experienced analysts. Refer to the appropriate section of Chapter One for additional quality control guidance.

8.2 Duplicate samples should be processed on a routine basis. A duplicate sample is a sample brought through the whole sample preparation and analytical process. A duplicate sample should be processed with each analytical batch or every 20 samples, whichever is the greater number. A duplicate sample should be prepared for each matrix type (i.e., soil, sludge, etc.).

8.3 Spiked samples and/or standard reference materials should be included with each group of samples processed or every 20 samples, whichever is the greater number. A spiked sample should also be included whenever a new sample matrix is being analyzed.

8.4 Blank samples should be prepared using the same reagents and quantities used in sample preparation, placed in vessels of the same type, and processed with the samples.

9.0 METHOD PERFORMANCE

9.1 Precision: Precision data for Method 3052 are presented in the tables of this method. Tables 1 through 6 provide a summary of total elemental analysis.

9.2 The performance criteria are provided as an example in Figure 1. The temperature profile will be within ± 5 $^{\circ}\text{C}$ of the mean of the temperature profile, but the pressure curve will vary depending on the acid mixture and gaseous digestion products and the thermal insulating properties of the vessel. Figure 2 provides criteria for the digestion of an oil sample.

10.0 REFERENCES

1. Introduction to Microwave Sample Preparation: Theory and Practice, Kingston, H. M. and Jassie, L. B., Eds.; ACS Professional Reference Book Series; American Chemical Society: Washington, DC, 1988.
2. Kingston, H. M., Walter, P. J., Comparison of Microwave Versus Conventional Dissolution for Environmental Applications, Spectroscopy, Vol. 7 No. 9,20-27,1992.
3. Kingston, H. M., Haswell, S, Microwave Enhanced Chemistry, ACS Professional Reference Book Series; American Chemical Society: Washington, DC, 1997.
4. Kingston, H. M.; Walter, P. J.; Lorentzen, E. M. L.; Lusnak, G. P. Report to NIST Office of Standard Reference Materials, The Performance of Leaching Studies on Soil SRMs 2710 and 2711, Duquesne University, Pittsburgh, PA, 1994.
5. Kingston, H. M. EPA IAG #DWI-393254-01-0 January 1-March 31, 1988, quarterly Report.
6. Kingston, H. M. and Jassie, L. B., "Safety Guidelines for Microwave Systems in the Analytical Laboratory". In Introduction to Microwave Acid Decomposition: Theory and Practice; Kingston, H. M. and Jassie, L. B., eds.; ACS Professional Reference Book Series; American Chemical Society: Washington, DC, 1988.
7. 1985 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"; ASTM, Philadelphia, PA, 1985, D1193-77.
8. Kingston, H. M.; Walter, P. J.; Link, D. D. Validation Study and Unpublished Data, Duquesne University, Pittsburgh, PA, 1995.

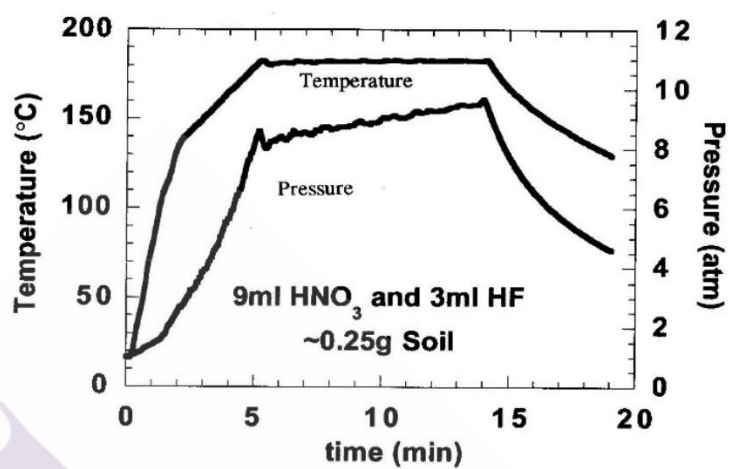


FIGURE 1. TYPICAL REACTION PROFILE FOR THE DIGESTION OF A SOIL (REF. 4 AND 8)

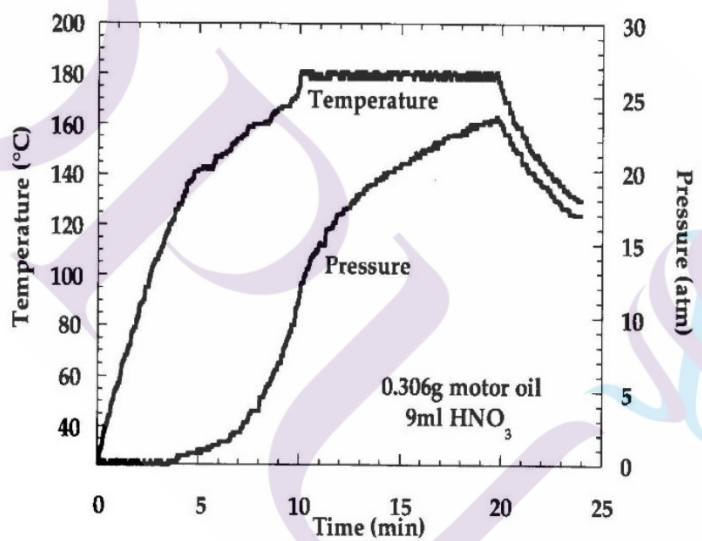


FIGURE 2. TYPICAL REACTION PROFILE FOR THE DIGESTION OF AN OIL (REF. 8)

TABLE 1
ANALYSIS OF NIST SRM 2704 (COMPILATION OF REFS. 2 AND 3)^a
BUFFALO RIVER SEDIMENT

Element	Analyzed ($\mu\text{g/g}$)	Certified ($\mu\text{g/g}$)
Arsenic (n=4)	23.4 \pm 2.6	23.4 \pm 0.8
Cadmium (n=6)	3.5 \pm 1.2	3.45 \pm 0.22
Chromium (n=6)	132.9 \pm 1.3	135 \pm 5
Copper (n=6)	98.0 \pm 4.2	98.6 \pm 5.0
Lead (n=6)	155 \pm 9.2	161 \pm 17
Mercury (n=4)	1.49 \pm 0.14	1.44 \pm 0.07
Nickel (n=6)	43.6 \pm 3.9	44.1 \pm 3.0
Phosphorus (n=4)	1.016 \pm 0.016 mg/g	0.998 \pm 0.028 mg/g
Selenium (n=4)	1.13 \pm 0.9	(1.1)
Sulfur (n=4)	3.56 \pm 0.16	-----
Thallium (n=4)	1.15 \pm 0.22	1.2 \pm 0.2
Uranium (n=4)	2.97 \pm 0.04	3.13 \pm 0.13
Zinc (n=6)	441.9 \pm 0.8	438 \pm 12

^a Digestion with 9 mL HNO₃ and 4 mL HF. Temperature and pressure conditions are as described in Section 7.3.6 of this method and similar to Figure 1. Data reported with 95% confidence intervals.

TABLE 2
ANALYSIS OF NIST SRM 2710 (REFS. 4 AND 3)^a
MONTANA SOIL: HIGHLY ELEVATED TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS (n=6)

Element	Analyzed (µg/g)	Certified (µg/g)
Antimony	39.3 ± 0.9 ^b	38.4 ± 3.0
Cadmium	21.9 ± 0.7 ^a	21.8 ± 0.2
Chromium	34.0 ± 3.2 ^b	(39)
Copper	2902 ± 83 ^a	2950 ± 130
Lead	5425 ± 251 ^a	5532 ± 80
Nickel	13.5 ± 1.0 ^a	14.3 ± 1.0
Silver	36.6 ± 0.5 ^b	35.3 ± 1.5
Zinc	7007 ± 111 ^a	6952 ± 91

^a Digestion with either a. 9 mL HNO₃ and 4 mL HF or b. 9 mL HNO₃, 3 mL HF, & 2 mL HCl. Temperature and pressure conditions are as described in Sec. 7.3.6 of this method and similar to Figure 1. Data reported with 95% confidence intervals.

TABLE 3
NIST SRM 2711 (REFS. 4 AND 3)
MONTANA SOIL: MODERATELY ELEVATED TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS (n=6)

Element	Analyzed (µg/g)	Certified (µg/g)
Cadmium	40.5 ± 1.0	41.70 ± 0.25
Chromium	45.5 ± 1.0	(47)
Copper	106.8 ± 3.4	114 ± 2
Lead	1161 ± 49	1162 ± 31
Nickel	19.6 ± 0.9	20.6 ± 1.1
Silver	4.3 ± 1.0	4.63 ± 0.39
Zinc	342 ± 9.4	350.4 ± 4.8

^a Digestion with 9 mL HNO₃ and 4 mL HF. Temperature and pressure conditions are as described in Sec. 7.3.6 of this method and similar to Figure 1. Data reported with 95% confidence intervals.

TABLE 4
STABILIZATION AND RECOVERY OF ELEMENTS WITH HCl (REF. 3)^a NIST SRM 2710
MONTANA SOIL: HIGHLY ELEVATED TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS (n=6)

Element	HNO ₃ & HF (µg/g)	HNO ₃ , HF & HCl (µg/g)	Certified (µg/g)
Antimony	33.1 ± 2.1	39.3 ± 0.9	38.4 ± 3.0
Silver	10.6 ± 4.5	36.6 ± 0.5	35.3 ± 1.5

^a HNO₃ and HF - Digestion used 9 mL and 3 mL, respectively.
HNO₃, HF, and HCl - Digestion used 9 mL, 3 mL, and 2 mL respectively. Temperature and pressure conditions are as described in Sec. 7.3.6 of this method and similar to Figure 1. Data reported with 95% confidence intervals.

TABLE 5
FUMING OFF HYDROFLUORIC ACID WITH MICROWAVE EVAPORATION SYSTEM (REF 3)^a
MONTANA SOIL: HIGHLY ELEVATED TRACE ELEMENT CONCENTRATIONS (n=4)

Element	Direct (µg/g)	Fumed (µg/g)	Certified (µg/g)
Antimony	39.3 ± 0.9	39.4 ± 0.9	38.4 ± 3.0
Cadmium	21.9 ± 0.7	23.3 ± 1.6	21.8 ± 0.2
Chromium	34.0 ± 3.2	32.4 ± 0.4	(39)
Copper	2902 ± 83	2870 ± 150	2950 ± 130
Lead	5425 ± 251	5502 ± 106	5532 ± 80
Nickel	13.5 ± 1.0	13.5 ± 0.8	14.3 ± 1.0
Silver	36.6 ± 0.5	38.9 ± 1.1	35.3 ± 1.5
Zinc	7007 ± 111	3992 ± 132	6952 ± 91

^a Direct - Digestion used 9 mL HNO₃ and 3 mL HCl or 9 mL HNO₃, 3 mL HF, and 2 mL HCl
Fumed - Digestion used 9 mL HNO₃ and 3 mL HCl followed by the removal of the HF.
Temperature and pressure conditions are as described in 7.3.6 of the method and similar to Figure 1. The digest solution was fumed in a microwave system under vacuum to ~1 mL and 3 mL HCl added. The digest solution was fumed to ~1 mL and 3 mL HNO₃ was added. The solution was fumed for a final step to ~1 mL and quantitatively transferred and diluted to final volume. Data reported with 95% confidence intervals.

TABLE 6
ANALYSIS OF NIST SRM 1084A (REF. 8) ^a
WEAR METALS IN OIL (100 ppm) (n=4)

Element	Analyzed ($\mu\text{g/g}$)	Certified ($\mu\text{g/g}$)
Chromium	98.1 \pm 1.1	98.3 \pm 0.8
Copper	1.2.4 \pm 2.4	100.0 \pm 1.9
Lead	99.2 \pm 2.3	101.1 \pm 1.3
Nickel	99.2 \pm 2.4	99.7 \pm 1.6
Silver	102.7 \pm 2.2	101.4 \pm 1.5

^a Digestion with 9 mL HNO₃ and 0.5 mL HF. Temperature and pressure conditions are as described in Sec. 7.3.6 of this method and similar to Figure 2. Data reported with 95% confidence intervals.

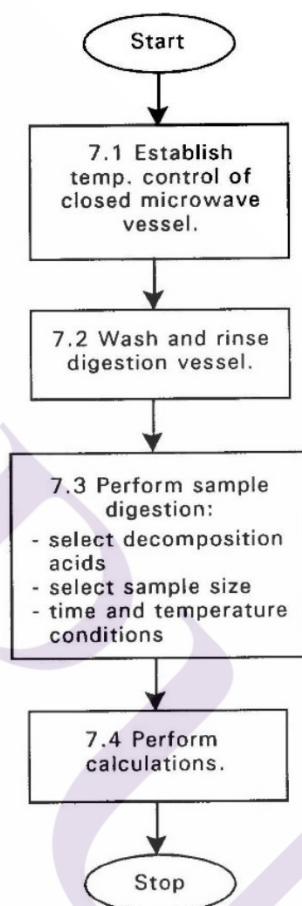


TABLE 7
DIGESTION PARAMETERS USED IN THE ANALYSIS OF SEVERAL MATRICES
BY METHOD 3052

Matrix	HNO ₃	HF	HCl
Soil			
NIST SRM 2710 Highly Contaminated Montana Soil	9 mL	3 mL	0-2*mL
NIST SRM 2711 Moderately Contaminated Montana Soil	9	3	0-2*
Sediment			
NIST SRM 2704 Buffalo River Sediment	9	3	0-2*
Biological			
NIST SRM 1566a Oyster Tissue	9	0	0
NIST SRM 1577a Bovine Liver	9	0	0
Botanical			
NIST SRM 1515 Apple Leaves	9	0	0
NIST SRM 1547 Peach Leaves	9	0	0
NIST SRM 1572 Citrus Leaves	9	0.5	0
Waste Oil			
NIST SRM 1084a Wear-Metals in Lubricating Oil	9	0.5	0-2*

* HCl is added to stabilize elements such as Ag and Sb when they are analyzed.

METHOD 3052
MICROWAVE ASSISTED ACID DIGESTION OF SILICEOUS AND ORGANICALLY BASED
MATRICES





ภาคผนวก ข
ใบรับรองห้องปฏิบัติการ



ได้รับการรับรองมาตรฐานสากลจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชน



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

กฤษณวรรณ อธิงาม

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี บริหารธุรกิจบัณฑิต (บธ.บ.)

สาขา การจัดการ

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี

จบปีการศึกษา 2540

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ธุรกิจส่วนตัว

