



การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ด้วยเทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมา แมสสเปกโตรเมตรี สำหรับการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ Determination of Heavy Metals in Cigarette Samples Using Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS): A Forensic Application

ผกาภรณ์ เหลืองทองเจริญ* และ จิติ มหาเจริญ

คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

Pakaporn Luengthongjaroen and Thiti Mahacharoen

Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

Received: February 4, 2025 | Revised: April 4, 2025 | Accepted: May 2, 2025

บทความวิจัย (Research Article)

บทคัดย่อ

ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่สามารถใช้เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อเชื่อมโยงเศษบุหรี่ที่พบในสถานที่เกิดเหตุเข้ากับยี่ห้อ การศึกษานี้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของสารหนู, แคดเมียม, โครเมียมและตะกั่ว จากตัวอย่างบุหรี่ที่จำหน่ายในประเทศ โดยใช้เทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมตรี มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับการระบุยี่ห้อบุหรี่ตามปริมาณโลหะหนัก การศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างบุหรี่ 20 ยี่ห้อ ประกอบด้วยบุหรี่ที่ผลิตในไทยและนำเข้าจากต่างประเทศ โดยใช้วิธีการย่อยด้วยกรดที่มีตัวช่วยเร่งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ผลวิจัยพบว่าปริมาณโลหะหนักในบุหรี่แต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยบุหรี่ที่นำเข้าและผลิตในประเทศแสดงให้เห็นลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการวิเคราะห์การจับกลุ่มถูกนำมาใช้เพื่อแยกแยะยี่ห้อบุหรี่ตามปริมาณโลหะหนักที่พบ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้ข้อมูลโปรไฟล์โลหะหนักในบุหรี่เพื่อการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบแหล่งที่มาของเศษบุหรี่ที่พบในสถานที่เกิดเหตุได้ ฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์นี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีค่าสำหรับสนับสนุนงานบังคับใช้กฎหมายในการสืบสวนคดีอาญา และใช้เป็นหลักฐานสำคัญในการดำเนินคดีทางกฎหมาย

คำสำคัญ: บุหรี่, โลหะหนัก, เทคนิคอินดักทีฟลีคัปเปิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมตรี (ไอซีพีเอ็มเอส)

Abstract

Heavy metals in cigarette samples can serve as forensic evidence to link cigarette fragments found at crime scenes to specific brands. This study determined the concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), and lead (Pb) in cigarette samples sold in Thailand using

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ(corresponding author), email: pakaporn.boat@gmail.com

Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). The objective was to develop a forensic database for brand identification based on metal composition. A total of 20 cigarette brands, including domestic and imported products, were analyzed following microwave-assisted acid digestion. The results revealed significant variations in heavy metal concentrations across brands, with imported domestic cigarettes exhibiting distinct elemental profiles. Statistical analyses, including ANOVA and cluster analysis, were used to differentiate brands based on their heavy metal content. The findings demonstrate the potential forensic application of heavy metal profiling in cigarette samples, allowing investigators to trace cigarette fragments found at crime scenes back to their origin. This forensic database provides a valuable tool for law enforcement in criminal investigations involving cigarette-related evidence.

Keywords: cigarette, heavy metal, Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

บทนำ

การวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ของตัวอย่างบุหรี่ได้รับความสนใจมากขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้ชิ้นส่วนบุหรี่เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ในกระบวนการสืบสวนคดีอาชญากรรมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง บุหรี่มักถูกพบในสถานที่เกิดเหตุสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญในการเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับสถานที่หรือเหตุการณ์เฉพาะได้องค์ประกอบทางเคมีของบุหรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโลหะหนัก ทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้เอกลักษณ์เฉพาะซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ อาทิ แหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ วิธีปฏิบัติทางการเกษตร และกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ต้นยาสูบสามารถดูดซับโลหะหนักจากดินและสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อแยกความแตกต่างระหว่างยี่ห้อบุหรี่และแหล่งผลิตได้ ในบรรดาโลหะหนักที่พบได้ทั่วไปในยาสูบ เช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญและมักถูกตรวจพบในการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์

เทคนิค Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นวิธีที่มีความไวและความแม่นยำสูงในการตรวจหาโลหะหนักในระดับปริมาณน้อยในตัวอย่างบุหรี่ ICP-MS ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากความสามารถในการวิเคราะห์ธาตุหลายชนิดพร้อมกันด้วยขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำมาก การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ของปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย โดยใช้เทคนิค ICP-MS

งานวิจัยนี้มีความสำคัญต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากให้แนวทางที่เป็นวัตถุวิสัยและได้รับการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์สำหรับการระบุยี่ห้อโดยอาศัยองค์ประกอบของโลหะหนัก ความสามารถในการจัดทำโปรไฟล์โลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่ ช่วยให้หน่วยงานบังคับใช้กฎหมายสามารถติดตามชิ้นส่วนบุหรี่ที่พบ

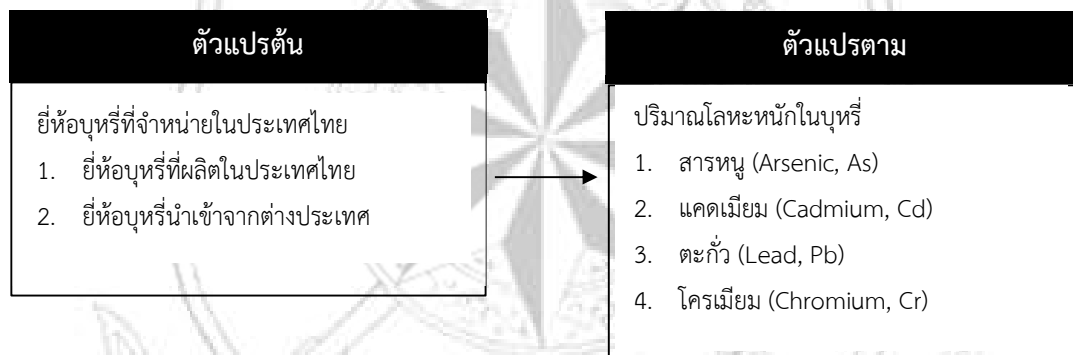


ในสถานที่เกิดเหตุไปยังยี่ห้อที่เกี่ยวข้องได้ อันเป็นการเสริมความแข็งแกร่งให้กับกระบวนการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางกฎหมาย นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังมีส่วนช่วยในการสร้างความตระหนักรู้ด้านสาธารณสุข โดยการชี้ให้เห็นถึงการมีอยู่ของโลหะหนักที่เป็นพิษในบุหรี่ยี่ห้อ

วัตถุประสงค์

- 1) ตรวจสอบวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อจำหน่ายในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคไอซีพีเอ็มเอส(ICP-MS)
- 2) ศึกษาความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรี่ยี่ห้อที่ผลิตในประเทศและบุหรี่ยี่ห้อที่นำเข้าจากต่างประเทศ
- 3) พัฒนารฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ที่บันทึกปริมาณโลหะหนักของบุหรี่ยี่ห้อสำหรับงานสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์และการบังคับใช้กฎหมาย

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ทบทวนวรรณกรรม

1) โลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อ

โลหะหนัก อาทิเช่น สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) เป็นสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ (Balali-Mood, 2021) โลหะเหล่านี้สามารถสะสมในต้นยาสูบผ่านการปนเปื้อนทางดิน น้ำ และมลพิษทางอากาศ และในที่สุดจะถูกถ่ายโอนไปยังบุหรี่ยี่ห้อและถูกสูดดมโดยผู้สูบบุหรี่ (Caruso, 2014) การตรวจพบโลหะเหล่านี้ในบุหรี่ยี่ห้อเป็นผลมาจากกระบวนการสะสมทางชีวภาพในต้นยาสูบ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณสารอินทรีย์ และการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (Uwiringiyimana, 2023) งานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าบุหรี่ยี่ห้อทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมสารเคมี โดยมีองค์ประกอบของโลหะหนักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์และสภาพการเพาะปลูก (Regassa, 2016)

2) การปนเปื้อนโลหะหนักในการเพาะปลูกยาสูบ

ต้นยาสูบดูดซับโลหะหนักส่วนใหญ่ผ่านทางราก ซึ่งเป็นกระบวนการที่ถูกควบคุมโดยเคมีของดินและสรีรวิทยาของพืช (Rehman, 2019) การศึกษาพบว่าดินที่มีความเป็นกรดสูง ช่วยเพิ่มการละลายของโลหะหนัก ส่งผลให้พืชดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น (Uchimiya, 2020) ในพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางอุตสาหกรรมหรือมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างกว้างขวาง ใบยาสูบมักมีปริมาณตะกั่ว แคดเมียม และสารหนูที่สูงขึ้น (Yu, 2021) (Rahman, 2019) นอกจากนี้ สายพันธุ์ยาสูบบางชนิดมีแนวโน้มของการสะสมโลหะหนักที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลต่อโปรไฟล์โลหะหนักของบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ (Kozak, 2023)

3) การประยุกต์ใช้ ICP-MS ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

ICP-MS ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในด้านความไวและความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์โลหะหนักปริมาณน้อย เทคนิคนี้มีข้อได้เปรียบอย่างยิ่งในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสามารถตรวจวัดในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) (Van Acker, 2023) ICP-MS สามารถวิเคราะห์ธาตุหลายชนิดพร้อมกัน ทำให้เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการระบุโปรไฟล์โลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อ (He, 2015) เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อกำหนดโปรไฟล์ทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเฉพาะ (Stephens, 2017)

4) การประยุกต์ใช้โปรไฟล์โลหะหนักในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์

ความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อที่มีความน่าสนใจสำหรับการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของโลหะหนักในชิ้นส่วนบุหรี่ยี่ห้อที่พบในสถานที่เกิดเหตุ ผู้เชี่ยวชาญทางนิติวิทยาศาสตร์สามารถเชื่อมโยงหลักฐานกับยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อเฉพาะและแม้แต่มารุ่นการผลิตได้ (Chakraborty, 2024) เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อสร้างความเชื่อมโยงระหว่างผู้ต้องสงสัยและสถานที่เกิดเหตุผ่านการวิเคราะห์กันบุหรี่ยี่ห้อ (Hasan, 2023) นอกจากนี้ เครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA และการวิเคราะห์กลุ่ม ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแยกความแตกต่างระหว่างยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อตามลักษณะเฉพาะของโลหะหนัก ซึ่งเพิ่มความน่าเชื่อถือของการเปรียบเทียบทางนิติวิทยาศาสตร์ (Rehman A. U., 2014)

5) การพัฒนาฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ของโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อ

การจัดทำฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยข้อมูลองค์ประกอบโลหะหนักของบุหรี่ยี่ห้อแต่ละยี่ห้อมีความสำคัญต่อการสืบสวนคดีอาชญากรรม ฐานข้อมูลดังกล่าวช่วยให้หน่วยงานบังคับใช้กฎหมายสามารถติดตามชิ้นส่วนบุหรี่ยี่ห้อที่ไปยังแหล่งที่มา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสืบสวนคดีที่เกี่ยวข้องกับการลักลอบนำเข้า การปลอมแปลง และการค้าผิดกฎหมาย (Hasan, 2023) การบูรณาการข้อมูลจาก ICP-MS เข้ากับการสร้างแบบจำลองทางสถิติช่วยเพิ่มศักยภาพในการแยกแยะของการวิเคราะห์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ทำให้ฐานข้อมูลดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการสืบสวนที่อ้างอิงหลักฐาน (Huang, 2021)

6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปนเปื้อนโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการสูบบุหรี่และมลพิษทางสิ่งแวดล้อม งานวิจัยหลายชิ้นได้ตรวจสอบการมีอยู่ของสารหนู (As), แคดเมียม (Cd), โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ในบุหรี่ยี่ห้อ โดยเน้นถึงความแตกต่างที่เกิดจากแหล่งที่มาทางภูมิศาสตร์และวิธีการเกษตร ตัวอย่างเช่น Ashraf (2012) ได้ศึกษาปริมาณของโลหะหนักในยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อที่



จำหน่ายในประเทศซาอุดีอาระเบีย และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างบุหรี่ยี่ห้อ ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างในการเพาะปลูกยาสูบ การปนเปื้อนของดิน และวิธีการแปรรูป ในทำนองเดียวกัน Caruso *et al.* (2014) ได้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อที่เก็บจากผู้สูบบุหรี่ยี่ห้อที่เป็นผู้ใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการสำรวจของสำนักงานควบคุมยาสูบระหว่างประเทศ (ITC) การศึกษานี้เน้นถึงการมีอยู่ของโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อและพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างบุหรี่ยี่ห้อซึ่งน่าจะเกิดจากแหล่งที่มาของยาสูบและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

เทคนิค ICP-MS ได้กลายเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสำหรับการตรวจหาและวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ความไวสูง ความแม่นยำ และความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ธาตุหลายชนิดพร้อมกัน ทำให้เทคนิคนี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์บุหรี่ยี่ห้อที่ศึกษา โดย He *et al.* (2015) ได้วิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ในบุหรี่ยี่ห้อที่ขุดได้ในสหรัฐอเมริกา โดยใช้ ICP-MS เพื่อประเมินปริมาณโลหะหนักและเปรียบเทียบบุหรี่ยี่ห้อกับบุหรี่ยี่ห้อแท้ และ Brima (2016) ได้วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักใน Shamma ซึ่งเป็นยาสูบไร้ควันชนิดหนึ่งในประเทศซาอุดีอาระเบีย ด้วย ICP-MS โดยวิเคราะห์โลหะ 11 ชนิด (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni, Pb, Zn) งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า ICP-MS สามารถตรวจจับปริมาณโลหะหนักในระดับปริมาณน้อยมากได้ ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อและหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เก็บรวบรวมจากสถานที่เกิดเหตุ

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อเพื่อวัตถุประสงค์ทางนิติวิทยาศาสตร์ได้รับการศึกษาในงานวิจัยหลายชิ้น ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อตามองค์ประกอบทางเคมีของโลหะหนักได้พิสูจน์แล้วว่ามีความสำคัญในงานสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ Chakraborty (2024) ได้เน้นถึงศักยภาพของการสร้างโปรไฟล์โลหะในการเชื่อมโยงหลักฐานบุหรี่ยี่ห้อหรือเถ้าบุหรี่ยี่ห้อที่พบในสถานที่เกิดเหตุกับยี่ห้อเฉพาะ แยกแยะผลิตภัณฑ์ปลอม และช่วยในการสืบสวนคดีอาชญากรรม โดยใช้วิธีการทางสถิติ เช่น การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) เพื่อจำแนกยี่ห้อตามโปรไฟล์ทางเคมีที่เป็นเอกลักษณ์ โดยเน้นถึงการประยุกต์ใช้ในพิษวิทยาทางนิติวิทยาศาสตร์และการวิเคราะห์สถานที่เกิดเหตุ

แม้ว่างานวิจัยที่มีอยู่จะมีส่วนสำคัญต่อความเข้าใจเกี่ยวกับการปนเปื้อนโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อ แต่ยังคงมีช่องว่างหลายประการ งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่ผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าการประยุกต์ใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่จำกัดเกี่ยวกับบุหรี่ยี่ห้อที่จำหน่ายในประเทศไทย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในวิธีการเพาะปลูกยาสูบและกระบวนการผลิตอาจส่งผลต่อปริมาณโลหะหนัก การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อแก้ไขช่องว่างเหล่านี้ โดยการวิเคราะห์โปรไฟล์โลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อที่มีจำหน่ายในประเทศไทยอย่างเป็นระบบ การพัฒนาฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์ และการประเมินความเหมาะสมของฐานข้อมูลดังกล่าว

ระเบียบวิธีวิจัย

1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง



(1) ประชากรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อทั้งหมดที่จำหน่ายอย่างถูกกฎหมายในประเทศไทย ซึ่งได้ลงทะเบียนจำหน่ายกับกรมสรรพสามิตทั้งบุหรี่ยี่ห้อที่ผลิตในประเทศไทยและนำเข้าจากต่างประเทศ

(2) กลุ่มตัวอย่าง การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อทั้งหมด 20 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักตามแหล่งผลิตบุหรี่ยี่ห้อ ดังนี้ บุหรี่ยี่ห้อที่ผลิตในประเทศไทย จำนวน 10 ตัวอย่างจาก 10 ยี่ห้อ ที่ผลิตโดยโรงงานยาสูบ (RIS) กระทรวงการคลัง และบุหรี่ยี่ห้อนำเข้าจากต่างประเทศ จำนวน 10 ตัวอย่างจาก 10 ยี่ห้อที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2) การเก็บตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อ

บุหรี่ยี่ห้อที่ผลิตในประเทศไทย ซื้อตัวอย่าง 1 ตัวอย่างจากแต่ละยี่ห้อในประเทศที่เลือก 10 ยี่ห้อ บุหรี่ยี่ห้อที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซื้อตัวอย่าง 1 ตัวอย่างจากแต่ละยี่ห้อนำเข้าที่เลือก 10 ยี่ห้อ แสดงดังตารางที่ 1 ตัวอย่างเหล่านี้จะถูกซื้อจากร้านค้าปลีกต่างๆ รวมถึงร้านขายของชำ ร้านสะดวกซื้อ และร้านขายบุหรี่ยี่ห้อเฉพาะ

ตารางที่ 1 ยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อที่จำหน่ายในประเทศไทย

ตัวอย่างที่	ชื่อยี่ห้อ (Brand Name)	ประเทศแหล่งผลิต (Manufacturer)	แหล่งที่มา (Source)
1	TH 1-90	ประเทศไทย	ผลิตในประเทศ
2	TH 1-S90	ประเทศไทย	
3	TH 1-S7.1	ประเทศไทย	
4	TH 2-90	ประเทศไทย	
5	TH 3-90	ประเทศไทย	
6	TH 4-R	ประเทศไทย	
7	TH 4-R7.1	ประเทศไทย	
8	TH 5-R	ประเทศไทย	
9	TH 6-R	ประเทศไทย	
10	TH 6-G7.1	ประเทศไทย	
11	FP 1-Y	ประเทศฟิลิปปินส์	นำเข้าจากต่างประเทศ
12	FP 1-B	ประเทศฟิลิปปินส์	
13	FP 2-AX	ประเทศฟิลิปปินส์	
14	FP 2-R	ประเทศฟิลิปปินส์	
15	FP 3-R7.1	ประเทศฟิลิปปินส์	
16	FP 3-R	ประเทศฟิลิปปินส์	
17	FP 3-TX	ประเทศฟิลิปปินส์	
18	FP 4-5.0	ประเทศอินโดนีเซีย	
19	FP 4-7	ประเทศอินโดนีเซีย	
20	FP 5-G	ประเทศฟิลิปปินส์	

3) เครื่องมือการวิจัย



การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis) โดยอาศัยหลักการของอะตอมมิกสเปกโทรสโกปี (Atomic spectroscopy) ซึ่งเครื่อง ICP-MS มีค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) หรือปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ทดสอบ (Wang, 2021) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าขีดจำกัดในการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และค่าขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) ของสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว

โลหะหนัก	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
สารหนู (As)	0.00250	0.00832
แคดเมียม (Cd)	0.0000662	0.000221
โครเมียม (Cr)	0.00521	0.0174
ตะกั่ว (Pb)	0.000949	0.00317

4) การเตรียมตัวอย่างบุนทรีย์ให้อยู่ในรูปสารละลายโดยวิธีการย่อยด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave digestion)

ในการศึกษานี้ใช้เฉพาะส่วนยาสูบในการวิเคราะห์เท่านั้น ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างยาสูบของบุนทรีย์ประมาณ 0.1 กรัม เติมกรดผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้น (HNO₃, 68%) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl, 36%) ในอัตราส่วน 3:1 ปั่นให้ส่วนผสมทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปเข้าเครื่อง Microwave digestion เมื่อผ่านกระบวนการย่อยด้วยไมโครเวฟเสร็จสิ้น นำสารละลายมารองตะกอนที่เหลืออกด้วยกระดาษกรอง แล้วปรับปริมาตรตัวอย่างที่ย่อยแล้วด้วยสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 5% ในน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูง (Ultrapure Water) แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS ต่อไป

5) การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับกราฟมาตรฐาน

ทำการศึกษากฎมาตรฐานเพื่อใช้คำนวณปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุนทรีย์ โดยเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานของสารหนู, แคดเมียม, โครเมียมและตะกั่ว ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

สารละลายมาตรฐานสารหนู (As) ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 5 mg/L

สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Cd) ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 5 mg/L

สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr) ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 5 mg/L

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb) ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 5 mg/L

6) การทดสอบความเป็นเส้นตรงและช่วงของการวิเคราะห์ (Linearity and Range)

ทำการฉีดสารละลายมาตรฐานสารหนู, แคดเมียม, โครเมียมและตะกั่ว ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 และ 5 mg/L เข้าเครื่อง ICP-MS โดยฉีดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของสัญญาณของแต่ละความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐานของแต่ละสารละลายมาตรฐาน เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเข้มข้นกับค่าความหนาแน่นของสัญญาณ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรง มีเกณฑ์การยอมรับไม่ควรต่ำกว่า 0.995

7) การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

นำตัวอย่างบุหรีที่ผ่านการย่อยด้วย Microwave digestion ไปวัดค่าปริมาณโลหะหนัก ด้วยเทคนิค ICP-MS ข้อมูลการวิเคราะห์ทั้งหมดได้รับและประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล

8) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

(1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ข้อมูลปริมาณโลหะหนัก (สารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว) ในบุหรี 20 ตัวอย่างจาก 20 ยี่ห้อ แสดงเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

(2) สถิติอนุมาน (Inferential statistics) ผู้วิจัยจะทำการทดสอบสมมติฐานของการวิจัย โดยใช้ซอฟต์แวร์ SPSS เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนัก (สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS ในบุหรีที่จำหน่ายในประเทศไทย จำนวน 20 ยี่ห้อ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance, ANOVA) และทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) เพื่อตรวจสอบว่ายี่ห้อใดมีความแตกต่างกัน โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ใช้วิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรีที่ผลิตในประเทศและบุหรีที่นำเข้า ด้วยสถิติ Independent Sample Statistics (t-test) สำหรับการทดสอบความสามารถในการจำแนกยี่ห้อบุหรีโดยใช้ปริมาณโลหะหนัก ด้วยสถิติการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้วยเทคนิคการแบ่งกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical cluster analysis) ใช้เกณฑ์การรวมกลุ่มแบบ Ward Linkage (Ward's method) เพื่อพิจารณาเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม และทำการการวิเคราะห์การจำแนกประเภท (Discriminant Analysis) สร้างสมการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม โดยใช้วิธีแบบขั้นตอน (Stepwise Method) เมื่อได้สมการจำแนกกลุ่มแล้ว ทำการทดสอบนัยสำคัญของสมการที่ได้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการว่ามีอำนาจในการจำแนกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิจัย

1) การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี

ผลการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี โดยใช้เทคนิค ICP-MS ในบุหรี 20 ยี่ห้อ จำนวน 20 ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ($n=3$) แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า สามารถตรวจพบปริมาณสารหนู, แคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว ในบุหรีทุกตัวอย่าง โดยข้อมูลปริมาณโลหะหนักแสดงดังภาพที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างบุหรีทั้งหมด พบว่า โครเมียมถูกตรวจพบว่ามีปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 2.23 ± 0.70 mg/kg รองลงมาคือ แคดเมียม (1.39 ± 0.34 mg/kg) ถัดมาคือ ตะกั่ว (1.02 ± 0.42 mg/kg) และปริมาณโลหะหนักที่พบน้อยที่สุด คือ สารหนู (0.26 ± 0.14 mg/kg)

เมื่อจำแนกตามแหล่งที่มาของบุหรี พบว่า บุหรีที่ผลิตในประเทศไทยตรวจพบสารหนูปริมาณ 0.22 ± 0.04 mg/kg แคดเมียมปริมาณ 1.37 ± 0.11 mg/kg โครเมียมปริมาณ 2.51 ± 0.81 mg/kg และตรวจพบ

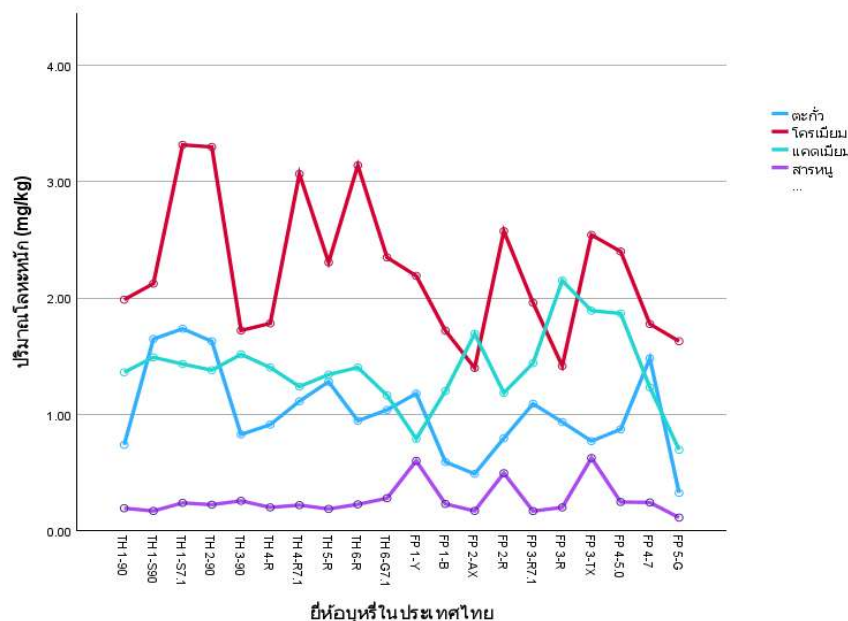


ตะกั่วปริมาณ 1.19 ± 0.42 mg/kg สำหรับบุหรี่ยี่ห้อต่างจากต่างประเทศตรวจพบสารหนูปริมาณ 0.31 ± 0.19 mg/kg แคดเมียมปริมาณ 1.41 ± 0.48 mg/kg โครเมียมปริมาณ 0.31 ± 0.19 mg/kg และตรวจพบตะกั่วปริมาณ 0.85 ± 0.36 mg/kg

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนัก (สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว) ในบุหรี่ยี่ห้อจำหน่ายในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS

แหล่งผลิต	ยี่ห้อบุหรี่	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อจำหน่ายในประเทศไทย $\pm$ SD (mg/kg)			
		สารหนู	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
บุหรี่ยี่ห้อผลิตในประเทศไทย	TH 1-90	0.19 ± 0.02	1.36 ± 0.02	1.99 ± 0.12	0.74 ± 0.01
	TH 1-S90	0.17 ± 0.01	1.49 ± 0.05	2.12 ± 0.07	1.65 ± 0.16
	TH 1-S7.1	0.24 ± 0.05	1.43 ± 0.02	3.32 ± 0.58	1.74 ± 0.37
	TH 2-90	0.22 ± 0.00	1.38 ± 0.08	3.30 ± 1.90	1.63 ± 0.23
	TH 3-90	0.26 ± 0.01	1.51 ± 0.02	1.72 ± 0.03	0.83 ± 0.00
	TH 4-R	0.20 ± 0.02	1.40 ± 0.04	1.78 ± 0.13	0.91 ± 0.29
	TH 4-R7.1	0.22 ± 0.01	1.24 ± 0.08	3.07 ± 0.13	1.11 ± 0.43
	TH 5-R	0.19 ± 0.00	1.34 ± 0.03	2.31 ± 0.06	1.28 ± 0.42
	TH 6-R	0.22 ± 0.00	1.40 ± 0.02	3.14 ± 0.08	0.94 ± 0.06
	TH 6-G7.1	0.28 ± 0.07	1.16 ± 0.01	2.35 ± 0.09	1.04 ± 0.26
	Mean	0.22 ± 0.04	1.37 ± 0.11	2.51 ± 0.81	1.19 ± 0.42
	MAX	0.28 ± 0.07	1.51 ± 0.02	3.32 ± 0.58	1.74 ± 0.37
	MIN	0.17 ± 0.01	1.16 ± 0.01	1.72 ± 0.03	0.74 ± 0.01
บุหรี่ยี่ห้อนำเข้าจากต่างประเทศ	FP 1-Y	0.60 ± 0.08	0.79 ± 0.02	2.19 ± 0.12	1.18 ± 0.14
	FP 1-B	0.23 ± 0.05	1.20 ± 0.11	1.72 ± 0.23	0.59 ± 0.09
	FP 2-AX	0.17 ± 0.00	1.69 ± 0.16	1.40 ± 0.07	0.49 ± 0.06
	FP 2-R	0.49 ± 0.00	1.18 ± 0.10	2.57 ± 0.09	0.79 ± 0.12
	FP 3-R7.1	0.17 ± 0.00	1.44 ± 0.12	1.96 ± 0.07	1.09 ± 0.11
	FP 3-R	0.20 ± 0.02	2.15 ± 0.21	1.41 ± 0.13	0.93 ± 0.04
	FP 3-TX	0.62 ± 0.03	1.89 ± 0.15	2.54 ± 0.12	0.77 ± 0.02
	FP 4-5.0	0.25 ± 0.01	1.87 ± 0.12	2.40 ± 0.10	0.87 ± 0.03
	FP 4-7	0.24 ± 0.04	1.23 ± 0.06	1.78 ± 0.03	1.48 ± 0.43
	FP 5-G	0.11 ± 0.00	0.69 ± 0.02	1.63 ± 0.06	0.32 ± 0.02
	Mean	0.31 ± 0.19	1.41 ± 0.48	0.31 ± 0.19	0.85 ± 0.36

แหล่งผลิต	ยี่ห้อบุหรี่	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ที่จำหน่ายในประเทศไทย $\pm$ SD (mg/kg)			
		สารหนู	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
	MAX	0.62 $\pm$ 0.03	2.15 $\pm$ 0.21	2.57 $\pm$ 0.09	1.48 $\pm$ 0.43
	MIN	0.11 $\pm$ 0.00	0.69 $\pm$ 0.02	1.40 $\pm$ 0.07	0.32 $\pm$ 0.02
	Mean	0.26 $\pm$ 0.14	1.39 $\pm$ 0.34	2.23 $\pm$ 0.70	1.02 $\pm$ 0.42
	MAX	0.62 $\pm$ 0.03	2.15 $\pm$ 0.21	3.32 $\pm$ 0.58	1.74 $\pm$ 0.37
	MIN	0.11 $\pm$ 0.00	0.69 $\pm$ 0.02	1.40 $\pm$ 0.07	0.32 $\pm$ 0.02



ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว) ในบุหรี่ที่จำหน่ายในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS

2) การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด คือ ปริมาณสารหนู ($F=57.346$, $p < 0.001$) ปริมาณแคดเมียม ($F=41.828$, $p < 0.001$) ปริมาณโครเมียม ($F=5.243$, $p < 0.001$) และปริมาณตะกั่ว ($F=9.110$, $p < 0.001$) มีความแตกต่างกันระหว่างบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโลหะหนัก (สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม และตะกั่ว) ระหว่างบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ จำนวน 20 ยี่ห้อ

ชนิดโลหะหนัก		SS	df	MS	F	Sig.
สารหนู	ระหว่างกลุ่ม	1.121	19	.059	57.346	<.001
	ภายในกลุ่ม	.041	40	.001		
	รวม	1.162	59			



ชนิดโลหะหนัก		SS	df	MS	F	Sig.
แคดเมียม	ระหว่างกลุ่ม	6.609	19	.348	41.828	<.001
	ภายในกลุ่ม	.333	40	.008		
	รวม	6.942	59			
โครเมียม	ระหว่างกลุ่ม	20.723	19	1.091	5.243	<.001
	ภายในกลุ่ม	8.321	40	.208		
	รวม	29.044	59			
ตะกั่ว	ระหว่างกลุ่ม	8.474	19	.446	9.110	<.001
	ภายในกลุ่ม	1.958	40			
	รวม	10.432	59			

เมื่อทำการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) เพื่อตรวจสอบว่ายี่ห้อใดมีความแตกต่างกัน โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) ใช้วิธี Turkey's Honestly Significant Different (HSD) เมื่อจำแนกตามประเภทโลหะหนัก พบว่า ยี่ห้อ FP 1-Y และ FP 3-TX มีปริมาณสารหนูสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากยี่ห้ออื่นๆ ส่วนใหญ่ ยี่ห้อ FP 5-G มีปริมาณสารหนูต่ำที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากยี่ห้ออื่นๆ ส่วนใหญ่ ยี่ห้อ FP 3-TX และ FP 1-Y มีปริมาณแคดเมียมสูงสุดซึ่งแตกต่างจากยี่ห้ออื่นๆ ส่วนใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ ยี่ห้อ FP 5-G มีปริมาณแคดเมียมต่ำสุดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากยี่ห้ออื่นๆ เกือบทั้งหมด ยี่ห้อ FP 3-TX มีปริมาณโครเมียมสูงสุดในบรรดาบุหรีทุกยี่ห้อ ยี่ห้อ FP 5-G มีปริมาณโครเมียมที่ต่ำที่สุดแตกต่างจากบุหรียี่ห้ออื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ยี่ห้อ FP 3-TX มีปริมาณตะกั่วสูงสุดในบรรดาบุหรีทุกยี่ห้อ ยี่ห้อ FP 5-G มีปริมาณตะกั่วต่ำสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากบุหรียี่ห้ออื่นๆ ส่วนใหญ่

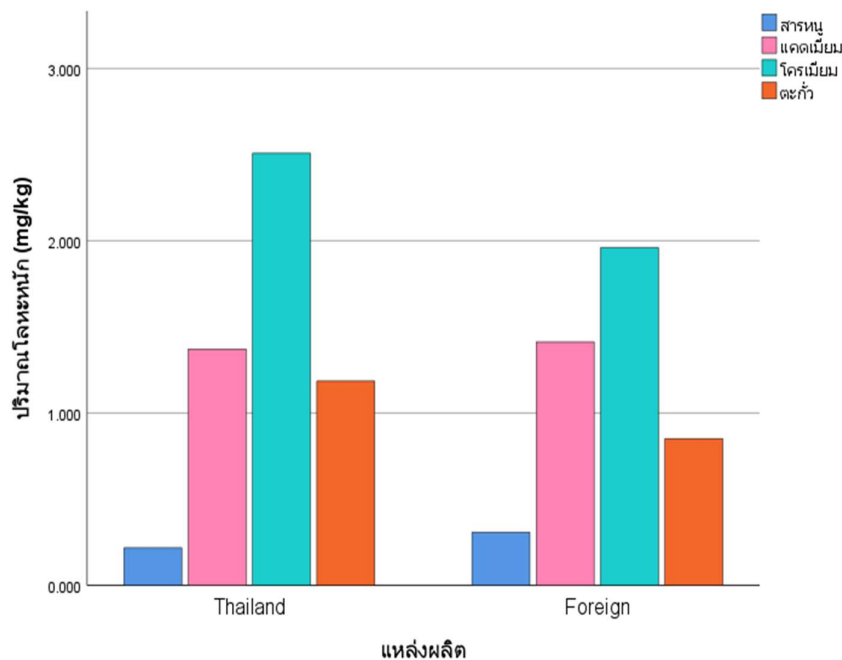
3) การเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรีที่ผลิตในประเทศและบุหรีที่นำเข้าจากต่างประเทศ

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปริมาณสารหนู โครเมียม และตะกั่วในบุหรีที่ผลิตในประเทศและบุหรีที่นำเข้าจากต่างประเทศมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยบุหรีนำเข้ามีปริมาณสารหนูสูงกว่าบุหรีที่ผลิตในประเทศอย่างมีนัยสำคัญ ($t(31.77)=-2.59, p=0.007$) ในขณะที่บุหรีที่ผลิตในประเทศมีปริมาณโครเมียม ($t(44.76)=3.27, p=0.001$) และตะกั่ว ($t(58)=3.33, p<0.001$) สูงกว่าบุหรีนำเข้าอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแคดเมียม ($t(32.060)=-0.46, p=0.323$) ของบุหรีที่ผลิตในประเทศและบุหรีที่นำเข้าจากต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 5 และภาพที่ 3

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรีที่ผลิตในประเทศและบุหรีที่นำเข้า

ชนิดโลหะหนัก	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก $\pm$ SD (mg/kg)		t-value	df	p-value
	บุหรีที่ผลิตในประเทศ	บุหรีนำเข้า			
สารหนู	0.22 $\pm$ 0.04	0.31 $\pm$ 0.19	-2.59	31.77	0.007
แคดเมียม	1.37 $\pm$ 0.11	1.41 $\pm$ 0.48	-0.46	32.06	0.323

โครเมียม	2.51 $\pm$ 0.81	1.96 $\pm$ 0.44	3.27	44.76	0.001
ตะกั่ว	1.19 $\pm$ 0.42	0.85 $\pm$ 0.36	3.33	58	<0.001



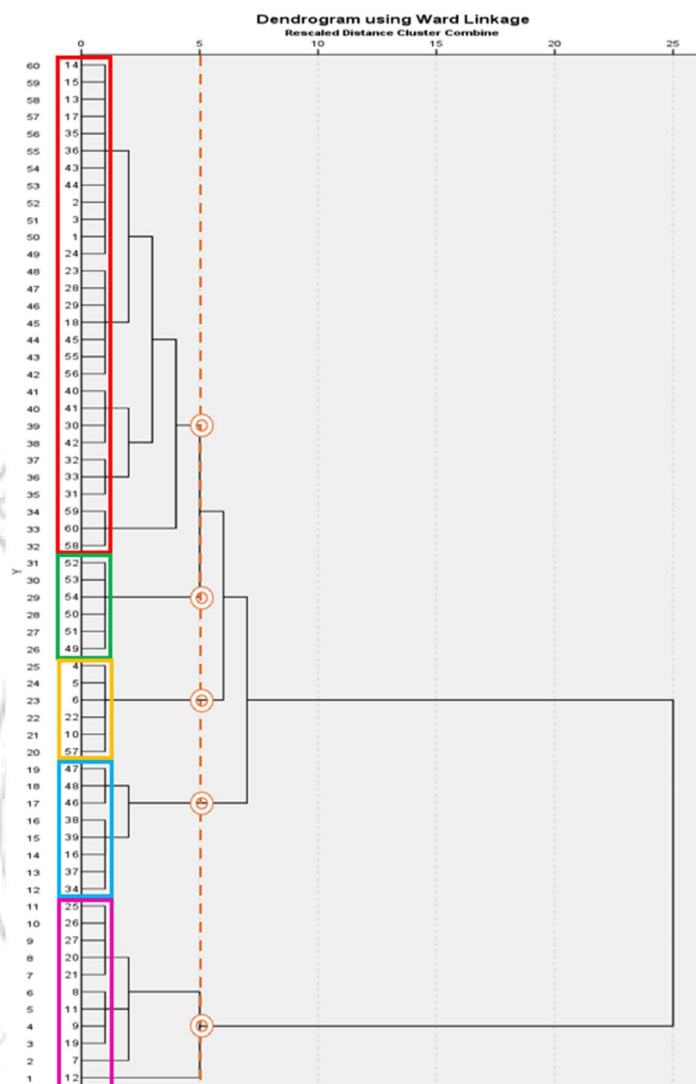
ภาพที่ 3 กราฟแสดงความแตกต่างของปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อที่ผลิตในประเทศไทยและบุหรี่ยี่ห้อนำเข้า

4) การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis)

การพิจารณาเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมของยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อตามปริมาณโลหะหนัก โดยใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มแสดงผลด้วยตาราง Agglomeration Schedule แล้วนำข้อมูลมาสร้างกราฟ Dendrogram ซึ่งแสดงลำดับขั้นของการจัดกลุ่ม ดังภาพที่ 4 เมื่อทำการตัดกราฟ Dendrogram ด้วยเส้นตัด (Cutting line) พบว่า สามารถแบ่งยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อออกเป็น 5 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อมีค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิด ดังตารางที่ 6

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระในการจำแนกกลุ่มยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อ พบว่าตัวแปรจำแนกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งหมด 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปรมีความเหมาะสมในการจำแนกกลุ่มยี่ห้อบุหรี่ยี่ห้อ ออกเป็น 5 กลุ่มที่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การพยากรณ์ (Eigenvalue) และ ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคัล (Canonical Correlation) ซึ่งสามารถสร้างสมการจำแนก (Discriminant Function) จำนวน 4 สมการ โดยสมการที่ 1 มีค่า Canonical Correlation เท่ากับ 0.88 มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 3.40 เมื่อนำค่า Canonical Correlation มายกกำลังสอง จะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าตัวแปรในสมการจำแนกกลุ่ม สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ร้อยละเท่าไร ซึ่งกรณีนี้อธิบายได้ $(0.88)^2$ เท่ากับ 77.44% ซึ่งบ่งชี้ว่าสมการจำแนกนี้มีความสำคัญที่สุดสำหรับการแยกกลุ่ม



ภาพที่ 4 Dendrogram Graph แสดงลำดับขั้นของการจัดกลุ่ม เมื่อทำการตัดกราฟ Dendrogram ด้วยเส้นตัด (Cutting line) สามารถแบ่งกลุ่มย่อยห่อหุ้มหรือออกได้เป็น 5 กลุ่ม

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก $\pm$ SD (mg/kg) ของกลุ่มย่อยห่อหุ้มหรือออกได้เป็น 5 กลุ่ม

กลุ่มที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก $\pm$ SD (mg/kg)			
	สารหนู	แคดเมียม	โครเมียม	ตะกั่ว
1	0.28 $\pm$ 0.15	1.19 $\pm$ 0.27	2.02 $\pm$ 0.31	0.90 $\pm$ 0.30
2	0.44 $\pm$ 0.21	1.88 $\pm$ 0.12	2.47 $\pm$ 0.13	0.82 $\pm$ 0.06
3	0.20 $\pm$ 0.05	1.42 $\pm$ 0.10	1.99 $\pm$ 0.35	1.74 $\pm$ 0.16
4	0.18 $\pm$ 0.02	1.79 $\pm$ 0.36	1.45 $\pm$ 0.12	0.67 $\pm$ 0.22
5	0.26 $\pm$ 0.14	1.39 $\pm$ 0.34	2.23 $\pm$ 0.70	1.02 $\pm$ 0.42

4) การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)

สมการที่ 2 มีค่า Canonical Correlation เท่ากับ 0.82 และมีค่า Eigenvalue เท่ากับ 1.96 ตัวแปรในสมการที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ 67.24%

สมการที่ 3 มีค่า Canonical Correlation เท่ากับ 0.63 และมีค่า Eigenvalue เท่ากับ 0.67 ตัวแปรในสมการที่ 3 สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ 39.69%

และสมการที่ 4 มีค่า Canonical Correlation เท่ากับ 0.42 และมีค่า Eigenvalue เท่ากับ 0.21 ตัวแปรในสมการที่ 2 สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ 17.64%

ผลการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสมการจำแนกที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 4 สมการ ด้วยการทดสอบ Wilks' Lambda เมื่อพิจารณาที่ค่าความมีนัยสำคัญ (Sig.) พบว่า สมการจำแนกทั้ง 4 สมการ มีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. < 0.05) แสดงว่า สมการที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสามารถจำแนกยี่ห้อหรือออกเป็น 5 กลุ่ม

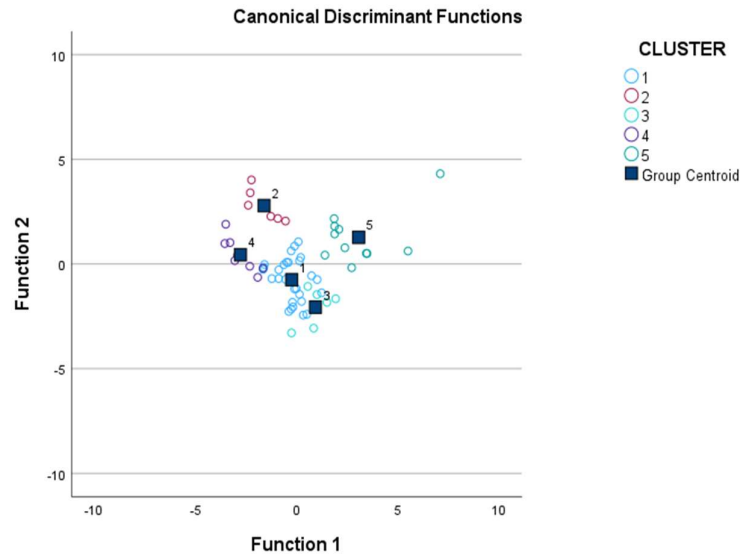
การสร้างสมการจำแนกกลุ่มจากค่าสัมประสิทธิ์โครงสร้าง (Structure Matrix) หรือค่าน้ำหนัก (Loading) มาใช้ในการคำนวณคะแนนจำแนก (Discriminant Score) เนื่องจากสมการที่ 1 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเป็นสมการจำแนกกลุ่ม จึงนำมาแสดงด้วยแผนภาพการกระจายดังภาพที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนกของแต่ละกลุ่มอยู่ห่างกันชัดเจน แสดงว่าสมการจำแนกที่ 1 จำแนกยี่ห้อหรือทั้ง 5 กลุ่มได้ดี

การตรวจสอบและพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจำแนกกลุ่ม โดยเปรียบเทียบกลุ่มที่แบ่งไว้เดิม (Original) กับการแบ่งกลุ่มที่ได้จากการทำนายจากสมการ (Predicted Group Membership) พบว่า กลุ่มที่ 1 เดิมมี 29 cases แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มพบว่า ทำนายได้ถูกต้อง 25 cases คิดเป็น 86.21% (25 ใน 29) กลุ่มที่ 2 เดิมมี 6 cases เมื่อทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องทั้งหมด คิดเป็น 100% กลุ่มที่ 3 เดิมมี 6 cases เมื่อทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องทั้งหมด คิดเป็น 100% กลุ่มที่ 4 เดิมมี 8 cases เมื่อทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 7 cases คิดเป็น 87.50% ส่วนในกลุ่มที่ 5 เดิมมี 11 cases เมื่อทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องทั้งหมด คิดเป็น 100% เมื่อคิดรวมทั้งหมดทั้ง 60 cases พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องคิดเป็น 91.67%

การพิจารณาการทำนายความเป็นสมาชิกกลุ่มจากสมการจำแนก โดยการแทนค่า V (ค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าน้ำหนัก) และค่าที่วัดได้จากตัวแปร สารหนู แคลเมียม โครเมียม และตะกั่ว ของหน่วยวิเคราะห์นั้นจากสมการ (สมการในรูปข้อมูลเดิม) ดังนี้

$$Y' = -2.188 - 3.862 (\text{สารหนู}) - 2.239 (\text{แคลเมียม}) + 2.044 (\text{โครเมียม}) + 1.724 (\text{ตะกั่ว})$$

ค่า Y' ของแต่ละหน่วยวิเคราะห์ก็คือคะแนนจำแนก (Discriminant Score) เมื่อนำเอาคะแนนจำแนกนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนก (Group Centroids) ของแต่ละกลุ่ม ถ้าคะแนนจำแนกมีค่าใกล้ค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนกของกลุ่มใด ก็มีโอกาสน่าจะเป็น (Probability) ในการเป็นสมาชิกของกลุ่มนั้นมาก ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ได้ค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนก (Group Centroids) กลุ่มที่ 1 เท่ากับ -0.248 กลุ่มที่ 2 เท่ากับ -1.615 กลุ่มที่ 3 เท่ากับ 0.921 กลุ่มที่ 4 เท่ากับ -2.778 และกลุ่มที่ 5 เท่ากับ 3.054



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนก (Group Centroids) และแผนภาพการกระจายของยี่ห้อบุหรี่ในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5

อภิปรายผล

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่ โดยใช้เทคนิค ICP-MS ตรวจพบสารหนู แคดเมียม โครเมียม และตะกั่วในบุหรี่ทุกยี่ห้อที่นำมาทดสอบ ผลลัพธ์เหล่านี้สอดคล้องกับการศึกษาของหน่วยงานควบคุมการบริโภคยาสูบของประเทศสหรัฐอเมริกา International Tobacco Control (ITC) ที่สนับสนุนว่าสามารถตรวจพบโลหะหนักในบุหรี่ได้ ไม่ว่าบุหรี่ยี่ห้อนั้นจะมาจากแหล่งผลิตใด (Rosalie V. Caruso, 2014)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณโลหะหนักระหว่างบุหรี่ยี่ห้อต่างๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) ข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ว่าโปรไฟล์โลหะหนักในบุหรี่ยี่ห้อเฉพาะและสามารถใช้เป็นเครื่องมือทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Somita Chakraborty ที่รายงานว่า ปริมาณโลหะหนักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างบุหรี่ยี่ห้อแต่ละยี่ห้อเนื่องจากความแตกต่างของปัจจัยแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ องค์ประกอบของดิน และกระบวนการผลิตบุหรี่ ในบทวิจารณ์ของการศึกษานี้ยังเน้นย้ำว่า การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามารถช่วยระบุยี่ห้อบุหรี่ได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ (Chakraborty, 2024)

การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) สนับสนุนความเป็นไปได้ในการจำแนกประเภทบุหรี่ตามปริมาณโลหะหนัก ซึ่งการค้นพบนี้สอดคล้องกับการศึกษาการแยกความแตกต่างระหว่างยาสูบที่ผิดกฎหมายและถูกกฎหมายของ William Edryd Stephens ซึ่งสนับสนุนว่า การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามารถระบุยี่ห้อบุหรี่ได้อย่างเฉพาะเจาะจงและสามารถตรวจจับผลิตภัณฑ์ปลอมได้ ทำให้โปรไฟล์โลหะเป็นเครื่องมือทางนิติวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสนับสนุนที่ว่า ICP-MS เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักที่มีปริมาณน้อยมากในตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (Stephens, 2017)

บทสรุป

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของเทคนิค ICP-MS ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการระบุและแยกแยะความแตกต่างของยี่ห้อบุหรี่จากปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบ ซึ่งความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) และตะกั่ว (Pb) ในยี่ห้อบุหรี่ต่าง ๆ ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของข้อมูลนี้ในการเป็นเครื่องมือทางนิติวิทยาศาสตร์ที่มีคุณค่าสำหรับหน่วยงานบังคับใช้กฎหมายในการสืบสวนคดีที่พบเศษบุหรี่ในสถานที่เกิดเหตุ

การสร้างฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับโปรไฟล์โลหะหนักในการศึกษานี้ได้นำเสนอแนวทางที่เป็นระบบเพื่อเชื่อมโยงพยานหลักฐานบุหรี่ยี่ห้อเฉพาะ ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการแยกแยะระหว่างบุหรี่ที่ผลิตในประเทศและนำเข้าจากต่างประเทศโดยใช้การวิเคราะห์โปรไฟล์โลหะหนัก ยังช่วยเพิ่มศักยภาพของเทคนิคนี้ในการประยุกต์ใช้ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังมีส่วนสนับสนุนการพัฒนาสาขานิติวิทยาศาสตร์ในภาพรวม โดยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิค ICP-MS ในฐานะที่เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความไวและความแม่นยำสูง ผลการศึกษานี้ไม่เพียงสนับสนุนการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ แต่ยังสร้างความตระหนักเกี่ยวกับการมีอยู่ของโลหะหนักที่เป็นพิษในบุหรี่ ซึ่งสะท้อนถึงประเด็นที่อาจเกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชาชนอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรรวบรวมตัวอย่างบุหรี่ยี่ห้อที่หลากหลายมากขึ้นและมีจำนวนมากขึ้น ทั้งในแง่ของยี่ห้อที่ถูกกฎหมาย ยี่ห้อปลอมแปลง และผลิตภัณฑ์ที่ผิดกฎหมาย เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของฐานข้อมูลทางนิติวิทยาศาสตร์และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์
- 2) ควรศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อมต่อปริมาณโลหะหนักในบุหรี่ สามารถช่วยปรับปรุงการตีความทางนิติวิทยาศาสตร์และการสร้างโปรไฟล์ในระดับภูมิภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) ควรทำการศึกษาระยะยาวเพื่อประเมินว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือรายปีในกระบวนการเพาะปลูกยาสูบและการผลิตบุหรี่ส่งผลต่อองค์ประกอบโลหะหนักในยี่ห้อบุหรี่หรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- Eid I Brima. (2016). Determination of metal levels in shamma (smokeless tobacco) with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in Najran, Saudi Arabia. Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP, 17(10), 4761.
- Ernest and Gao, Jianing and Zhang, Dan and Biswash, Md Romel and Shi, Yang-xiao-xiao Uwiringiyimana. (2023). Bioaccumulation and translocation of Hg and Cr by tobacco in Sichuan Province, China: understanding the influence of soil pH. Environmental Monitoring and Assessment, 195(10), 1193.



- Girma and Chandravanshi, Bhagwan Singh Regassa. (2016). Levels of heavy metals in the raw and processed Ethiopian tobacco leaves. SpringerPlus, 5, 1-9.
- Katarzyna and Antosiewicz, Danuta Maria Kozak. (2023). Tobacco as an efficient metal accumulator. Biometals, 36(2), 351-370.
- Mahdi and Naseri, Kobra and Tahergorabi, Zoya and Khazdair, Mohammad Reza and Sadeghi, Mahmood Balali-Mood. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. Frontiers in pharmacology, 12, 643972.
- Mehedi and Hossain, Md Moazzem and Abrarin, Shaifa and Kormoker, Tapos and Billah, Md Masum and Bhuiyan, Md Khurshid Alam and Akbor, Md Ahedul and Salam, Sayed MA and Khan, Rahat and Naher, Kamrun and others Hasan. (2023). Heavy metals in popularly sold branded cigarettes in Bangladesh and associated health hazards from inhalation exposure. Environmental Science and Pollution Research, 30(45), 100828-100844.
- Minori and Bannon, Desmond and Nakanishi, Hiromi and McBride, Murray B and Williams, Marc A and Yoshihara, Toshihiro Uchimiya. (2020). Chemical speciation, plant uptake, and toxicity of heavy metals in agricultural soils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 68(46), 12856-12869.
- Muhammad Zia Ur and Rizwan, Muhammad and Sohail, Muhammad Irfan and Ali, Shafaqat and Waris, Aisha A and Khalid, Hinnan and Naeem, Asif and Ahmad, Hamaad Raza and Rauf, Arslan Rehman. (2019). Opportunities and challenges in the remediation of metal-contaminated soils by using tobacco (*Nicotiana tabacum* L.): a critical review. Environmental Science and Pollution Research, 26, 18053-18070.
- Rehman, Atiq Ur and Khan, M Nasiruddin and Sarwar, Anila and Bhutto, Sadaf. (2014). Physicochemical analysis of different cigarettes brands available in Pakistan. Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry, 15(2), 26.
- Rosalie V and O'Connor, Richard J and Stephens, W Edryd and Cummings, K Michael and Fong, Geoffrey T Caruso. (2014). Toxic metal concentrations in cigarettes obtained from US smokers in 2009: results from the International Tobacco Control (ITC) United States survey cohort. International journal of environmental research and public health, 11(1), 202-217.
- Somita Chakraborty. (2024). A Review on Chemical Composition and Forensic Analysis of Tobacco and Ash in Cigarettes and Bidis. Innovation and Integrative Research Center Journal, 2(6), 165-183.



- Van Acker, Thibaut and Theiner, Sarah and Bolea-Fernandez, Eduardo and Vanhaecke, Frank and Koellensperger, Gunda. (2023). Inductively coupled plasma mass spectrometry. *Nature Reviews Methods Primers*, 3(1), 52.
- Wang, Yan and Yuan, Xiaoxuan and Liu, Linan and Ma, Junmei and Fan, Sufang and Zhang, Yan and Li, Qiang. (2021) Multielement Principal Component Analysis and Origin Traceability of Rice Based on ICP-MS/MS. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 5536241
- William Edryd Stephens. (2017). Chemometric and trace element profiling methodologies for authenticating, crossmatching and constraining the provenance of illicit tobacco products. *Tobacco Control*, 26(5), 502-508.
- Xiaona and Zhou, Hanjun and Ye, Xiefeng and Wang, Hongliang Yu. (2021). From hazardous agriculture waste to hazardous metal scavenger: Tobacco stalk biochar-mediated sequestration of Cd leads to enhanced tobacco productivity. *Journal of Hazardous Materials*, 413, 125303.
- Yi and von Lampe, Klaus and Wood, Laura and Kurti, Marin He. (2015). Investigation of lead and cadmium in counterfeit cigarettes seized in the United States. *Food and Chemical Toxicology*, 81, 40-45.
- Yue and Du, Guorong and Ma, Yanjun and Zhou, Jun Huang. (2021). Predicting heavy metals in dark sun-cured tobacco by near-infrared spectroscopy modeling based on the optimized variable selections. *Industrial Crops and Products*, 172, 114003.
- Zeeshanur and Singh, Ved Pal Rahman. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-21.