

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง โดยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรเมตรี Determination of Heavy Metals in Dried Seafood Products by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry

พุทธิดา ด้วงกลัด¹ และมาริสา อินทวงศ์^{1*}
Phutthathida Duangklat¹ and Marisa Intawongse^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยแบบเปียก และการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟสำหรับวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิคอินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรเมตรี (ICP-OES) สุ่มเก็บตัวอย่างจากตลาดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 5 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอเมือง (A1) อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2) อำเภอดอนสัก (A3) อำเภอไชยา (A4) และอำเภอดำรง (A5) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ผลการศึกษาพบว่าการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง และการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง 0.9990-0.9998 ความถูกต้องและความเที่ยงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8 และ 1.7-7.4 ตามลำดับ ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 5.1 11.1 17.3 13.5 และ 14.5 นาโนกรัมต่อกรัม และความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ได้ (LOQ) เท่ากับ 5.6 12.9 26.2 14.5 และ 15.0 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์โลหะหนักพบว่าปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.53 ± 33.31 15.33 ± 11.86 4.15 ± 5.90 และ 2.88 ± 1.92 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ สำหรับปริมาณตะกั่วในตัวอย่างทั้งหมดไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณได้ นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม (ร้อยละ 27.6-93.1)

คำสำคัญ: โลหะหนัก อินดักทีฟพลาสมา-ออปติคอลลิมิชั่นสเปกโทรเมตรี ผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

* Corresponding author e-mail: marisa@sru.ac.th

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajinstru.2024.v43i1.258284>

Received: 18 March 2023, Revised: 12 May 2023, Accepted: 16 June 2023

Abstract

This research aimed to compare the sample digestion methods i.e., wet digestion and microwave digestion for the determination of manganese (Mn), copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe) and lead (Pb) in dried seafood products by Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The samples were collected randomly from five local markets in Surat Thani Province i.e., Muang District (A1), Kanchanadit District (A2), Don Sak District (A3), Chaiya District (A4) and Tha Chang District (A5) in May 2022. The results showed that microwave digestion was the suitable method for this study. The parameters for method validation obtained correlation coefficient of the standard curve (0.9990 - 0.9998), accuracy (84.9 - 111.8%), precision (1.8 - 7.5% RSD), limits of detection (5.1, 11.1, 17.3, 13.5, and 14.5 nanogram per gram (ng/g) for Mn, Cu, Zn, Fe, and Pb, respectively), and limits of quantification (5.6, 12.9, 26.2, 14.5, and 15.0 ng/g for Mn, Cu, Zn, Fe, and Pb, respectively). The heavy metal amounts found in all dried seafood samples, in descending order were Fe > Zn > Cu > Mn with the mean concentrations of 49.53 ± 33.31 , 15.33 ± 11.86 , 4.15 ± 5.90 and 2.88 ± 1.92 milligram per kilogram (mg/kg) fresh weight, respectively. The amounts of lead were not detectable in all samples. In addition, it was found that dried shrimp and dried squid were classified as excellent sources of iron and copper (27.6 - 93.1 of daily value percentage).

Keywords: Heavy metal, Inductively coupled plasma - optical emission spectrometry, Dried seafood product

บทนำ

สุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้ มีสภาพภูมิประเทศที่หลากหลาย มีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณอ่าวไทยทั้งบริเวณที่เป็นทะเลและเกาะ เหมาะสำหรับประกอบอาชีพประมง จึงเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญ โดยเฉพาะพื้นที่อ่าวบ้านดอนซึ่งเป็นอ่าวที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ เป็นแหล่งทรัพยากรชายฝั่งที่สำคัญของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ได้แก่ อำเภอไชยา อำเภอนาตาล อำเภอพุนพิน อำเภอเมือง อำเภอกาญจนดิษฐ์ และอำเภอดอนสัก ดังนั้นจึงมีกลุ่มชาวประมงที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่งอ่าวบ้านดอนได้ทำผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแปรรูปเพื่อจำหน่าย อาหารทะเลที่นิยมนำมาแปรรูปโดยการตากแห้ง ได้แก่ ปลา กุ้ง หอย และหมึก การตากแห้งเป็นกรรมวิธีในการถนอมอาหาร ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาอาหารทะเลได้เป็นระยะเวลานานขึ้นและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปของคนไทยและประเทศแถบเอเชีย อาหารทะเลแปรรูปจึงเป็นแหล่งที่ดีของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ (Banna *et al.*, 2022) แต่ในอาหารทะเลตากแห้งนั้นอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกาย (Panebianco *et al.*, 2021; Rakib *et al.*, 2021; Hoque *et al.*, 2022) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการปล่อยของเสียหรือสารเคมีจากการทำการเกษตรหรือโรงงาน

อุตสาหกรรมลงสู่ทะเล เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำทะเล ทำให้เกิดการสะสมอยู่ในสัตว์น้ำ โลหะหนักสลายตัวได้ยากในธรรมชาติ และจะถูกสะสมไว้ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักแต่ละชนิดมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตที่ต่างกัน เช่น ตะกั่วเป็นสารก่อมะเร็งและมีพิษต่อระบบประสาทที่ทำให้การเจริญเติบโตและการเรียนรู้ช้าลงปรอททำให้เกิดผลเสียต่อระบบประสาท แคดเมียมทำให้เกิดโรคมะเร็ง เป็นต้น (Rakib *et al.*, 2021)

ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักสามารถทำได้โดยอาศัยเทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ต่าง ๆ เช่น เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-visible spectrophotometry) อะตอมมิก-แอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (atomic absorption spectrometry) อินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมา-ออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรเมทรี (inductively coupled plasma - optical emission spectrometry) และอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมาแมสสเปกโตรเมทรี (inductively coupled plasma mass spectrometry) เป็นต้น (สมชาย และคณะ, 2558; Makedonski *et al.*, 2017; Vu *et al.*, 2017; Police *et al.*, 2021) ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมาสเปกโตรเมทรีมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง มีความไววิเคราะห์ ทำให้วิเคราะห์ธาตุปริมาณน้อยได้ดี สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว เพราะตรวจวิเคราะห์ได้หลายธาตุพร้อมกันในคราวเดียว และเป็นเทคนิคที่มีสิ่งรบกวนน้อย แต่จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนการย่อยตัวอย่างที่เป็นของแข็งเพื่อทำให้องค์ประกอบของตัวอย่างเกิดการสลายตัวทำให้โลหะหนักอยู่ในรูปสารละลาย แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่าง ๆ ข้างต้น ยกเว้นกรณีที่วิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคอื่น ๆ ที่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นของแข็งได้โดยตรง การย่อยตัวอย่างจะใช้สารละลายกรดและให้ความร้อนช่วยในการสลายตัว การย่อยด้วยกรดมี 2 วิธี คือ การย่อยแบบดั้งเดิมหรือการย่อยแบบเปียกโดยใช้เตาไฟฟ้า และการใช้ระบบไมโครเวฟ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการย่อยแบบเปียกและวิธีการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ และตรวจวิเคราะห์โลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิคอินดักทีฟลิคัปเปิลพลาสมา-ออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรเมทรี เนื่องจากข้อมูลผลการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณโลหะหนักในอาหารทะเลตากแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานียังมีค่อนข้างจำกัด เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจติดตามปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ได้แก่ ปลาซีเสียด ปลาจวด ปลาหูแขก ปลากระบอก หมึกกล้วยดำ และกุ้งแห้ง จากแต่ละพื้นที่ชนิดละ 1 กิโลกรัม โดยวิธีการสุ่มจากตลาดในจังหวัดสุราษฎร์ธานี 5 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอเมือง (A1) อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2) อำเภอดอนสัก (A3) อำเภอไชยา (A4) และ อำเภอนาตาล (A5) ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 รายละเอียดดังตารางที่ 1 เตรียมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างแต่ละชนิดเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อที่รับประทานได้มาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างให้ละเอียดด้วยเครื่องบดของแข็ง เก็บใส่ถุงซิปลงไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บตัวอย่างและชนิดตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	พิกัดทางภูมิศาสตร์	ชนิดตัวอย่าง
อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี (A1)	9°03'58.9"N 99°21'41.8"E	หมึกกล้วยดำ ปลาซีเลียด กุ้งแห้ง
อำเภอกาญจนดิษฐ์ (A2)	9°08'54.1"N 99°23'21.0"E	ปลาซีเลียด ปลาจวด
อำเภอดอนสัก (A3)	9°18'47.9"N 99°41'09.9"E	ปลาทุแขก
อำเภอไชยา (A4)	9°22'33.0"N 99°16'19.0"E	ปลากระบอก หมึกกล้วยดำ
อำเภотаฉาง (A5)	9°14'52.5"N 99°11'08.4"E	ปลาทุแขก

2. สารเคมีและเครื่องมือ

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ กรดไนตริก (nitric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (ผลิตโดยบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน) สารละลายมาตรฐานของธาตุโลหะหนัก ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน (part per million: ppm) (ผลิตโดยบริษัท AccuStandard ประเทศสหรัฐอเมริกา) แอสอาร์กอน (Ar) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 (ผลิตโดยบริษัท Praxair ประเทศไทย) และใช้น้ำปราศจากไอออน สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องย่อยไมโครเวฟ (ยี่ห้อ Berghof รุ่น Speedwave Entry ประเทศเยอรมัน) เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน (Milli-Q™ Millipore Water Purification ประเทศฝรั่งเศส) และเครื่องอินดักทีฟคัปเปิลพลาสมา-ออปติคอลอิมิซชันสเปกโตรมิเตอร์ (inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer: ICP-OES) (ยี่ห้อ Teledyne รุ่น Prodigy 7 (ผลิตโดยบริษัท Teledyne Leeman Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3. การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง

3.1 การย่อยแบบเปียก (wet digestion)

ซึ่งตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 0.5 กรัม (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) เติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อน จนได้สารละลายใสไม่มีสี นำสารละลายไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน และนำไปวัดค่าความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP-OES

3.2 การย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ (microwave digestion)

ซึ่งตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 0.3 กรัม (ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) ใส่ลงใน vessel เติมกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที แล้วจึงปิดฝาภาชนะให้สนิท นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องย่อยไมโครเวฟตามสภาวะที่ใช้ในการย่อย ดังแสดงในตารางที่ 2 นำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปกรอง

ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน และนำไปวัดค่าความเข้มแสงของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ด้วยเครื่อง ICP-OES

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ

ขั้นตอน	อุณหภูมิในการย่อย (องศาเซลเซียส)	ความดันสูงสุด (บาร์)	เวลาในการเพิ่ม ความดัน (นาทีก)	เวลาในการย่อย (นาทีก)
1	180	26	5	10
2	75	26	1	10

4. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างด้วยเทคนิค ICP-OES

นำตัวอย่างที่ได้จากการย่อยทั้ง 2 วิธี ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของเครื่อง ICP-OES ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

พารามิเตอร์ (หน่วย)	รายละเอียดหรือค่าที่ใช้
optical system	echelle polychromator
detector	CMOS (complimentary metal oxide semiconductor) 3.38 million pixels
RF power (W)	1,200
plasma gas flow (Lmin ⁻¹)	16
auxiliary gas flow (Lmin ⁻¹)	1.2
nebulizer gas flow (psi)	25.0
sample flow (mLmin ⁻¹)	1.0
number of replicates	3
wavelengths (nm)	
Mn	257.61
Cu	324.75
Zn	213.86
Fe	259.94
Pb	220.35

5. ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (limit of detection: LOD) และความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (limit of quantitation: LOQ)

นำสารละลายแบลงค์ (blank) ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างไปวัดค่าความเข้มแสงของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ตะกั่ว ทองแดง สังกะสีและเหล็กด้วยเครื่อง ICP-OES โดยทำการวิเคราะห์ 7 ซ้ำ แล้วจึงนำไปคำนวณหาความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัดและความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์จากสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{LOD} = \overline{x}_{\text{blank}} + 3\text{SD} \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = \overline{x}_{\text{blank}} + 10\text{SD} \quad (2)$$

เมื่อ $\overline{x}_{\text{blank}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้จากแบลงค์

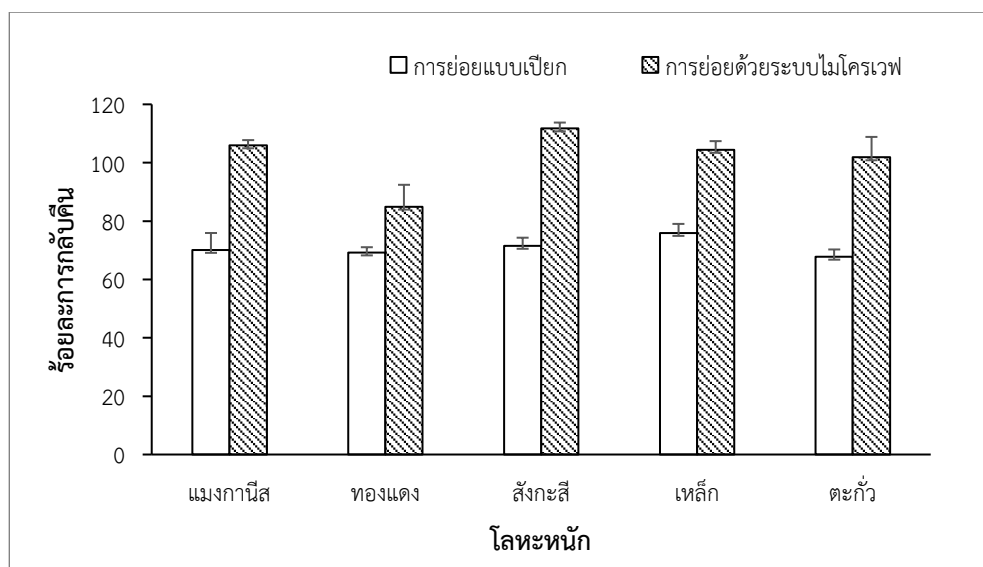
SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณที่วัดได้จากแบลงค์

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการเตรียมตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้ง 2 วิธี ได้แก่ การย่อยแบบเปียก และการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่วในตัวอย่างด้วยเทคนิค ICP-OES ผลการศึกษาพบว่าการเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟมีค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery) ของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว เท่ากับ 105.9 84.9 111.8 104.4 และ 101.8 ตามลำดับ และค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% relative standard deviation: RSD) เท่ากับ 1.8 7.5 2.0 3.0 และ 7.0 ตามลำดับ ส่วนการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีย่อยแบบเปียกมีค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว เท่ากับ 70.1 69.2 71.5 75.9 และ 67.8 ตามลำดับ และค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 5.8 1.8 2.8 3.1 และ 2.5 ตามลำดับ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ค่าร้อยละการกลับคืนของโลหะหนักที่ได้จากเตรียมตัวอย่าง 2 วิธี

ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์โดยวิธีการย่อยตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟตามด้วยการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเทคนิค ICP-OES พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของกราฟมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วง 0.9990-0.9998 ความถูกต้องและความเที่ยงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8 และ 1.7-7.4 ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด เท่ากับ 5.1 11.1 17.3 13.5 และ 14.5 นาโนกรัมต่อกรัม และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ เท่ากับ 5.6 12.9 26.2 14.5 และ 15.0 นาโนกรัมต่อกรัม สำหรับโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างโดยเทคนิค ICP-OES

ธาตุโลหะหนัก	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ร้อยละการกลับคืน	ร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์	ความเข้มข้นต่ำสุดของการตรวจวัด (นาโนกรัมต่อกรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์ (นาโนกรัมต่อกรัม)
แมงกานีส	0.9990	105.9	1.7	5.1	5.6
ทองแดง	0.9996	84.9	2.4	11.1	12.9
สังกะสี	0.9995	111.8	2.7	17.3	26.2
เหล็ก	0.9994	104.4	6.7	13.5	14.5
ตะกั่ว	0.9998	101.8	7.4	14.5	15.0

เมื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยระบบไมโครเวฟ และนำตัวอย่างที่ย่อยได้ไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งด้วยเทคนิค ICP-OES ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บ ตัวอย่าง	ชนิด ตัวอย่าง	ปริมาณโลหะหลัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด)				
		แมงกานีส	ทองแดง	สังกะสี	เหล็ก	ตะกั่ว
A1	หมึกกล้วยดำ	6.36±0.52	4.51±0.29	29.72±2.25	91.82±2.19	ND
	ปลาซีเลีย	4.40±0.65	0.70±0.12	12.09±1.63	32.57±0.40	ND
	กุ้งแห้ง	4.66±0.55	15.25±0.21	26.64±0.39	95.44±8.49	ND
A2	ปลาซีเลีย	1.68±0.27	0.36±0.08	5.45±0.62	24.53±2.28	ND
	ปลาจวด	1.09±0.07	0.16±0.02	4.50±0.44	10.68±1.13	ND
A3	ปลาทุแขก	1.06±0.14	0.71±0.08	7.06±0.79	28.74±2.61	ND
A4	ปลากะบอก	1.91±0.05	0.43±0.08	6.39±1.05	29.70±1.28	ND
	หมึกกล้วยดำ	3.99±0.36	14.56±1.52	37.58±3.56	98.96±10.49	ND
A5	ปลาทุแขก	0.82±0.02	0.67±0.03	8.57±0.61	33.35±1.17	ND
ค่าสูงสุด		6.93	16.23	41.24	109.21	ND
ค่าต่ำสุด		0.80	0.14	4.16	9.37	ND
ค่าเฉลี่ย		2.88±1.92	4.15±5.90	15.33±11.86	49.53±33.31	ND

หมายเหตุ: - ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD, n = 3)

- ND ไม่สามารถตรวจพบได้ (มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดของปริมาณที่วิเคราะห์)

การอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES จากการเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่าง 2 วิธี ได้แก่ การย่อยแบบเปียกและการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟ พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟมีประสิทธิภาพมากกว่าการย่อยแบบเปียก โดยมีความถูกต้องของการวิเคราะห์ซึ่งแสดงได้จากค่าร้อยละการกลับคืนของทุกธาตุของโลหะหนัก (มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 84.9-111.8) ซึ่งสูงกว่าการย่อยแบบเปียก (มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 67.8-75.9) และมีค่าความเที่ยงซึ่งแสดงได้จากค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งการย่อยทั้ง 2 วิธี ให้ค่าความเที่ยงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 1.8-7.5 ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้การย่อยด้วยระบบไมโครเวฟในการเตรียมตัวอย่าง ที่ผ่านมามีการนำการย่อยด้วยระบบไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลชนิดต่าง ๆ (Copat *et al.*, 2013; Yu, *et al.*, 2020; Arthur *et al.*, 2021; Panebianco *et al.*, 2021; Police *et al.*, 2021) เนื่องจากมีความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ มีความสะดวกและรวดเร็ว ไม่ทำให้เกิดการสูญหายไปของธาตุที่ระเหยเป็นไอได้เนื่องจากทำในระบบปิด นอกจากนี้ยังช่วยลดการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในการวิเคราะห์ เนื่องจากการใช้ปริมาณกรดน้อยลง

จากผลการศึกษาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เหล็ก และตะกั่ว ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 49.53 15.33 4.15 และ 2.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของ น้ำหนักสด ตามลำดับ และไม่สามารถตรวจพบปริมาณตะกั่วในทุกตัวอย่าง

ปริมาณเฉลี่ยของเหล็กในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 10.68-98.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 42.53-147.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่ามีปริมาณเหล็กสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอไชยา: A4) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) ซึ่งผลที่ได้นี้มีปริมาณเหล็กในปลาตากแห้งน้อยกว่าที่ได้จากการศึกษาใน ปลาทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีปริมาณเหล็กอยู่ในช่วง 36.04-160.18 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) และมีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาในตัวอย่างปลาตากแห้ง 10 ชนิดที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 133.5-203.0 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) ในทางตรงกันข้ามปริมาณเหล็กในปลาตากแห้งจาก งานวิจัยนี้มีปริมาณมากกว่าผลของการศึกษาในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วง 3.82-36.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) นอกจากนี้เมื่อ เปรียบเทียบกับผลการศึกษาในสัตว์น้ำที่ไม่ได้แปรรูปโดยการตากแห้งหรืออบ พบว่าปริมาณเหล็กใน งานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับปริมาณเหล็กในปลา 5 ชนิดที่เก็บตัวอย่างจากประเทศโปรตุเกส ซึ่งมีค่า 5.98-26.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Pinto *et al.*, 2022) และผลการศึกษาในตัวอย่าง ปลา 10 ชนิดที่ได้จากแม่น้ำในประเทศจีน ซึ่งมีค่า 5.528-20.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Cai *et al.*, 2017) นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 91.82-98.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีค่ามากกว่าตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.714-78.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

ปริมาณเฉลี่ยของสังกะสีในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 4.50-37.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 17.91-46.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดย พบว่ามีปริมาณสังกะสีสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอไชยา: A4) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) ซึ่งผลที่ได้นี้มีปริมาณสังกะสีในปลาตากแห้งทุกชนิดมากกว่าในตัวอย่าง ปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบ ซึ่งมีค่า 0.46-2.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ในทางตรงกันข้ามปริมาณสังกะสีที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาใน ตัวอย่างปลาตากแห้ง 10 ชนิดที่เก็บตัวอย่างจากประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 35.5-68.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) รวมทั้งผลของตัวอย่างปลาทะเลตากแห้ง อีก 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 16.95-46.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) และผลที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณสังกะสีสอดคล้องกับรายงานที่ศึกษา ในสัตว์น้ำที่ยังไม่แปรรูป (ปลา 10 ชนิด หมึก 4 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด) บริเวณชายฝั่งสงขลา ซึ่งมีค่าอยู่ ในช่วง 4.077-16.226 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (สมชาย และคณะ, 2558) และผลการศึกษา ในสัตว์ทะเลที่เก็บตัวอย่างจากอ่าวปัตตานี พบว่าในปลา 4 ชนิด (ปลากะบอก ปลาริวกิว ปลาตุ๊กทะเล และปลาตะกรับ) มีปริมาณสังกะสี 3-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด แต่ในทางตรงข้ามพบว่า

ในกุ้ง 2 ชนิด (กุ้งแชบ๊วยและกุ้งกุลาดำ) มีปริมาณสังกะสี 12-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ซึ่งสูงกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ (Tanhan *et al.*, 2023) และปริมาณสังกะสีในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 29.723-37.582 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีค่ามากกว่าตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 1.329-23.657 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

ปริมาณเฉลี่ยของทองแดงในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.16-15.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 0.62-19.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าปริมาณทองแดงสูงสุดในกุ้งแห้ง (พื้นที่อำเภอเมือง: A1) และต่ำสุดในปลาจวด (พื้นที่อำเภอกาญจนดิษฐ์: A2) โดยพบว่าปริมาณทองแดงในตัวอย่างปลาตากแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากตัวอย่างปลาทะเลตากแห้ง 6 ชนิด ในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Kar *et al.*, 2020) แต่มีค่าน้อยกว่าในตัวอย่างปลาตากแห้งที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.2-63.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) และมีปริมาณมากกว่าผลของการศึกษาในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งอยู่ในช่วง ND-0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ในขณะที่ปริมาณทองแดงในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 4.51-14.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีปริมาณใกล้เคียงกันกับตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.900-17.389 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018) ผลการศึกษาปริมาณทองแดงในสัตว์ทะเลที่ได้จากบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง พบว่าในตัวอย่างปลา 24 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด มีปริมาณทองแดงน้อยกว่า 0.022-11.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ในขณะที่ปริมาณทองแดงที่พบในกุ้งและหมึกอยู่ในช่วง 3.96-478 และ 0.34-506 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ (แววตาและคณะ, 2557)

ปริมาณเฉลี่ยของแมงกานีสในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.82-6.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (คิดเป็น 3.30-7.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง) โดยพบว่าปริมาณแมงกานีสสูงสุดในหมึกกล้วยดำ (พื้นที่อำเภอเมือง: A1) และต่ำสุดในปลาหูแขก (พื้นที่อำเภอท่าฉาง: A5) โดยพบว่าปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างปลาที่ได้จากงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับตัวอย่างปลาตากแห้งที่เป็นที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.32-9.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*, 2021) แต่มีปริมาณมากกว่าตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้งโดยใช้เตาอบที่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-3.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) ปริมาณแมงกานีสในหมึกแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้ (เท่ากับ 3.99-6.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด) มีปริมาณสอดคล้องกันกับตัวอย่างหมึกที่ได้จากประเทศจีน ซึ่งมีค่า 0.109-6.358 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Jiao *et al.*, 2018)

สำหรับปริมาณตะกั่วซึ่งมีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ในทุกตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ แต่มีรายงานผลการศึกษาในปลาตากแห้งที่นิยมบริโภคในประเทศบังคลาเทศ พบว่ามีปริมาณตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในช่วง ND-0.136 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักสด (Hoque *et al.*, 2022) และการศึกษาในตัวอย่างปลาตากแห้งในประเทศบังคลาเทศ โดยผู้วิจัยอีกคณะหนึ่ง พบว่ามีปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.001-0.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Rakib *et al.*,

2021) และพบว่ามีตะกั่วอยู่ในตัวอย่างปลารมควันที่อบแห้ง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง ND-1.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (Arthur *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการศึกษาในสัตว์น้ำที่เก็บตัวอย่างจากทะเลสาบสงขลา พบว่าในกุ้ง 5 ชนิด มีปริมาณตะกั่ว 0.04-0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในปลา 38 ชนิด มีปริมาณตะกั่ว 0.04-0.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (สุตขญา และคณะ, 2560) และมีคณะผู้วิจัยได้รายงานผลการศึกษาการปนเปื้อนของตะกั่วในสัตว์น้ำทะเล (ปลา 16 ชนิด หมึก 4 ชนิด และกุ้ง 2 ชนิด) ที่ได้จากสะพานปลาและท่าเทียบเรือในจังหวัดต่าง ๆ จำนวน 33 แห่ง 18 จังหวัดในภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ พบว่าปริมาณตะกั่วที่พบสูงสุดในปลาแต่ละชนิดคือ 0.013-0.046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปลาหูฉลามมีปริมาณตะกั่วสูงสุดคือ 0.046 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วที่พบในหมึกอยู่ในช่วง 0.029-0.082 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกุ้งมีปริมาณตะกั่วน้อยกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รัชดา และวลัย, 2557)

เมื่อพิจารณาปริมาณแร่ธาตุทั้งหมดที่มีในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งเปรียบเทียบกับปริมาณที่แนะนำให้ได้รับจากการบริโภคต่อวัน (US FDA, 2022) โดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันต่อหน่วยบริโภค ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม (ร้อยละ 27.6-93.1) ในขณะที่ปริมาณสังกะสีในตัวอย่างหมึกกล้วยดำและกุ้งแห้งมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 13.3-18.8) ปริมาณเหล็กในตัวอย่างปลาซีเสียดและปลาหูฉลามมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 10.0-10.2) และปริมาณแมงกานีสในตัวอย่างหมึกกล้วยดำ ปลาซีเสียดและกุ้งแห้งมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 10.5-15.2) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหมึกกล้วยดำ และกุ้งแห้งจัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่สำคัญทั้ง 4 ชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ธาตุเหล็กและทองแดง สำหรับปลาซีเสียดที่ได้จากพื้นที่อำเภอเมือง (A1) จัดได้ว่าเป็นแหล่งที่ดีของแร่ธาตุเหล็กและแมงกานีส

ตารางที่ 6 ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันของแร่ธาตุแมงกานีส ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง

พื้นที่เก็บตัวอย่าง	ชนิดตัวอย่าง	ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันต่อ 1 หน่วยบริโภคของแร่ธาตุ*			
		แมงกานีส	ทองแดง	สังกะสี	เหล็ก
A1	หมึกกล้วยดำ	15.2 ^b	27.6 ^a	14.9 ^b	28.1 ^a
	ปลาซีเสียด	10.5 ^b	4.3	6.0	10.0 ^b
	กุ้งแห้ง	11.2 ^b	93.1 ^a	13.3 ^b	29.2 ^a
A2	ปลาซีเสียด	4.0	2.2	2.7	7.5
	ปลาจวด	2.6	0.9	2.2	3.3
A3	ปลาหูฉลาม	2.5	4.3	3.5	8.8
A4	ปลากระบอก	4.6	2.6	3.2	9.1
	หมึกกล้วยดำ	9.5	89.0 ^a	18.8 ^b	30.2 ^a
A5	ปลาหูฉลาม	2.0	4.1	4.3	10.2 ^b
ปริมาณที่แนะนำต่อวัน (มิลลิกรัม)		2.3	0.9	11	18

- หมายเหตุ: - * ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน คำนวณได้จากปริมาณแร่ธาตุที่มีในตัวอย่างต่อปริมาณที่แนะนำต่อวัน $\times 100$ เมื่อกำหนดให้ 1 หน่วยบริโภคของอาหารทะเลตากแห้ง เท่ากับ 55 กรัม น้ำหนักสด (US FDA, 2018)
- a แหล่งของแร่ธาตุในอาหารที่จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม (มีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันมากกว่าหรือเท่ากับ 20)
 - b แหล่งของแร่ธาตุในอาหารที่จัดอยู่ในระดับดี (มีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน 10-19)

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งโดยเทคนิค ICP-OES และพบว่าการใช้ระบบไมโครเวฟเป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม และได้แสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์นี้ หลังจากนั้นจึงนำวิธีการวิเคราะห์เพื่อไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวอย่างอาหารทะเลตากแห้งเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส สำหรับปริมาณตะกั่วในตัวอย่างทั้งหมดไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณได้ นอกจากนี้พบว่าปริมาณเหล็กและทองแดงในตัวอย่างกุ้งแห้งและหมึกกล้วยดำมีค่าร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวันอยู่ในระดับดีเยี่ยม ผลจากการวิจัยนี้มีประโยชน์กับประชาชนในท้องถิ่นเกี่ยวกับการเลือกบริโภคอาหารที่มีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจติดตามปริมาณโลหะหนักในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง อย่างไรก็ตามควรมีงานวิจัยเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลตากแห้ง เช่น แร่ธาตุหลักและแร่ธาตุรองชนิดอื่น ๆ วิตามิน และกรดไขมัน นอกจากนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคควรมีการตรวจติดตามปริมาณยาฆ่าแมลงตกค้างซึ่งอาจมีการใช้เพื่อป้องกันแมลงรบกวนทั้งในขั้นตอนการตาก การเก็บรักษา และการวางจำหน่ายตามแผงในตลาด

เอกสารอ้างอิง

- รัชดา อิทธิพงษ์ และวลัย คลีฉายา. (2557). การปนเปื้อนโลหะหนักในสัตว์น้ำจากสะพานปลาท่าเทียบเรือ. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2557*. กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, กรมประมง.
- แววตา ทองระอา ฉลวย มุสิกะ วันชัย วงสุดาวรรณ และอาวุธ หมั่นหาผล. (2557). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการได้รับโลหะหนักจากการบริโภคอาหารทะเลบริเวณชายฝั่งนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19(2), 39-54.
- สมชาย วิบุญพันธ์ อิดารัตน์ คงชัย อุทิศ โชติธรรมโม และพิมพ์วิมล อินทร์แก้ว. (2558). ศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์น้ำและแหล่งประมงบริเวณชายฝั่งจังหวัดสงขลา ปี 2554. *เอกสารวิชาการฉบับที่ 4/2558*. กองวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, กรมประมง.
- สุดชญา ศรประสิทธิ์ กิ่งแก้ว กาญจนรัตน์ และอริญญา อัครอารีย์. (2560). การประเมินความเสี่ยงโลหะหนักในปลาและกุ้งจากทะเลสาบสงขลาต่อคนไทย. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 59(2), 115-127.

- Arthur, W., Asiamah, E., Dowuona, J., Crabbe, G. and Kortei, N.K. (2021). Concentration of heavy metals and its risk assessments on *Pseudotolithus senegalensis*, *Sciaenops ocellatus* and *Chloroscombrus chrysurus* smoked on different ovens. *Scientific African*, 13, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00953>.
- Banna, H.A., Zaber, A.A., Rahman, N., Siddique, A.M., Siddique, M.A.B., Hagan, J.E., Rifat, M.A., Nasiah-Asamoah, C.N.A., Seidu, A., Ahinkorah, B.O. and Khan, M.S.I. (2022). Nutritional value of dry fish in Bangladesh and its potential contribution to addressing malnutrition: A narrative review. *Fishes*, 7(5), doi: <https://doi.org/10.3390/fishes7050240>.
- Cai, S.W., Ni, Z.H., Liu, B. and Fan, L.L. (2017). Metal concentrations and health risk assessment in the muscle of ten commercial fish species from the Chishui river, China. *International Journal of Environmental Research*, 11, 125-132, doi: <http://doi.org/10.1007/s41742-017-0013-7>.
- Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M. (2013). Heavy metal concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: Consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 33-37, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.038>.
- Hoque, S., Tamanna, F., Hasan, M., Banna, H.A., Mondal, P., Prodhan, M.D.H., Rahman, Z. and Brakel, M.L. (2022). Probabilistic public health risk associated with pesticides and heavy metal exposure through consumption of common dried fish in coastal regions of Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(14), 20112-20127, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17127-9>.
- Jiao, Y., Chen, J., Li, W., Liu, Y., Xin, C. and Yang, L. (2018). Trace element concentrations in squids consumed in Shandong province, China and their associated risks to the human health. *Marine Pollution Bulletin*, 128, 267-274, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.038>.
- Kar, M., Hoq, E., Islam, S., Islam, M., Meghla, N.T., Suravi, S. and Kabir, H. (2020). Monitoring of proximate composition, heavy metal concentrations and pesticide residues in marine dried fish available in the coastal region of Bangladesh. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 3(2), 30-41, doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.03023>.
- Makedonski, L., Peycheva, K. and Stancheva, M. (2017). Determination of heavy metals in selected black sea fish species. *Food Control*, 72, 313-318, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.024>.

- Panebianco, F., Nava, V., Giaratana, F., Gervasi, T. and Cicero, N. (2021). Assessment of heavy- and semi-metals contamination in edible seaweed and dried fish sold in ethnic food stores on the Italian market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 104(9), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104150>.
- Pinto, F.R., Duarte, A.M., Silva, F., Barroso, S., Mendes, S., Pinto, E., Almeida, A., Sequeira, V., Vieira, A.R., Gordo, L.S. and Gil, M.M (2022). Annual variations in the mineral element content of five fish species from the Portuguese coast. *Food Research International*, 158, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111482>.
- Police, S., Maity, S., Chaudhary, D.K., Dusane, C.K., Sahu, S.K. and Kumar, A.V. (2021). Estimation of trace and toxic metals in marine biota and associated health risk assessment in Thane Creek, Mumbai, India. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3(1), 234-240, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.07.002>.
- Rakib, R.J., Jolly, Y.N., Enyoh, C.E., Khandaker, M.U., Hossain, M.B., Akther, S., Alsubaie, A., Almalki, A.S.A. and Bradley, D.A. (2021). Levels and health risk assessment of heavy metals in dried fish consumed in Bangladesh. *Scientific Reports*, 11(1), doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93989-w>.
- Tanhan, P., Lansubsakul, N., Phaochoosak, N., Sirinupong, P., Yeesin, P. and Imsilp, K. (2023). Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Toxics*, 11(1), doi: <https://doi.org/10.3390/toxics11010018>.
- US FDA. (2018). *Food labeling: serving sizes of foods that can reasonably be consumed at one eating occasion; dual-column labeling; updating, modifying, and establishing certain reference amounts customarily consumed; serving size for breath mints; and technical amendments*. Retrieved 1 December 2022, from: <https://www.fda.gov/media/111144/download>.
- US FDA. (2022). *Daily value on the new nutrition and supplement facts labels*. Retrieved 1 December 2022, from: <https://www.fda.gov/food/new-nutrition-facts-label/daily-value-new-nutrition-and-supplement-facts-labels>.
- Vu, C.T., Lin, C., Yeh, G. and Villanueva, M.C. (2017). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in Taiwan: assessment and possible human health implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 19422-19434, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9590-4>.
- Yu, B., Wang, X., Dong, K.F., Xiao, G. and Ma, D. (2020). Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China. *Marine Pollution Bulletin*, 159, doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111505>.