

การประเมินการปนเปื้อนและศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนัก
ในส้มโอในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

EVALUATION OF HEAVY METALS CONTAMINATION AND
BIOACCUMULATION IN CITRUS MAXIMA (CITRUS MAXIMA
(BURM.) MERRILL) IN PHO PRATHAP CHANG SUB-DISTRICT,
PHO PRATHAP CHANG DISTRICT, PHICHIT PROVINCE

สุพัญญา ภิรมย์ชม สาลินี จันรักษ์ และปิยะดา วชิระวงศกร*

Suphinya Phiromchom, Salinee Junrak and Piyada Wachirawongsakorn*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์และประเมินการปนเปื้อนและศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในดินและส้มโอจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร เก็บตัวอย่างดินและส้มโอในสวนเดียวกันจากการสุ่มแปลงตัวอย่างจำนวนสายพันธุ์ละ 10 สวน รวมทั้งหมด 30 สวน (เก็บตัวอย่างดิน 3 จูกรอบทรงพุ่มส้มโอ 15 ต้นต่อสวน และตัวอย่างส้มโอเก็บ 2 ผลต่อสวน) ปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในตัวอย่างดินและส้มโอวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษา พบว่าปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีเฉลี่ยในดินสวนส้มโอทุกพันธุ์จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนด สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในส้มโอ พบว่าส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 5.83 ± 0.94 , 6.40 ± 3.56

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Faculty of Science and Technology, Pibulsongkarm Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

*corresponding author e-mail: piyada333@hotmail.com

Received: 23 February 2022; Revised: 20 May 2022; Accepted: 21 May 2022

DOI: <https://doi.org/10.14456/lsej.2022.30>

และ 9.95 ± 2.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินค่าที่ยอมรับได้ขององค์การอนามัยโลกร้อยละ 65, 55 และ 75 ตามลำดับ สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของทองแดงมีเพียงส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเกินมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ร้อยละ 25 ส่วนปริมาณการปนเปื้อนสังกะสีจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในส้มโอทุกพันธุ์ สำหรับศักยภาพการสะสมทางชีวภาพ (BAF) ของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในส้มโอนั้นมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าส้มโอทั้ง 3 พันธุ์มีความสามารถในการลำเลียงโลหะหนักดังกล่าวไปยังผลส้มโอในปริมาณต่ำ

คำสำคัญ: โลหะหนัก การปนเปื้อน การสะสมทางชีวภาพ ส้มโอ ดิน

Abstract

This study analyzed and assessed the heavy metal contaminations and bioaccumulation factors including lead, copper and zinc in soil and three citrus maxima varieties, namely Khaw-Taengkwa, Tha-Khoi and Thong-Dee in Pho Prathap Chang Sub-district, Pho Prathap Chang District, Phichit Province. Soil and Citrus maxima samples were collected in the same garden by random sampling of 10 gardens of each variety, with a total of 30 gardens (Three soil samplings under canopy were collected from 15 citrus maxima trees per garden and citrus maxima samplings were collected 2 samples per garden). Lead, copper and zinc contents in soil and citrus maxima samples were analyzed by using the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that the averages of lead copper and zinc contents in garden's soils of all citrus maxima varieties were within the soil quality standards set by the Department of Land Development. For heavy metal contaminations in citrus maximaes, lead contents in Khaw-Taengkwa, Tha-Khoi and Thong-Dee varieties were averaged 5.83 ± 0.94 , 6.40 ± 3.56 and 9.95 ± 2.84 mg/kg, exceeding the WHO permissible limits with 65%, 55% and 75%, respectively. The copper contents exceeded the standard limit only in Tha-Khoi variety with 25%. The amount of zinc contamination was within the standard limit in all citrus maxima varieties. The bio-accumulation factor (BAF) of lead, copper and zinc in all three citrus maxima varieties were less than 1, which were considered these citrus maximaes have a low ability to transport these heavy metals from the soil to accumulate in citrus maxima fruits.

Keywords: Heavy metals, Contamination, Bioaccumulation, Citrus maxima, Soil

บทนำ

ส้มโอ เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางตระกูลเดียวกับส้ม นิยมบริโภคทั้งแบบผลและผลิตภัณฑ์แปรรูป มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้ผลที่สำคัญทางเศรษฐกิจและมีศักยภาพสูงในการส่งออกไปตลาดต่างประเทศ ถึงแม้ว่าจะเป็นไม้ผลที่จะต้องใช้เวลาในการปลูกอย่างน้อย 4 ปี ถึงจะให้ผลผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ แต่มีความยั่งยืนทางด้านการตลาดกว่าไม้ผลอีกหลายชนิด และในธรรมชาติต้นส้มโอจะให้ผลผลิตได้ 2 รุ่นต่อปี ตามฤดูกาลจะเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มโอในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน สำหรับในรุ่นที่สองจะให้ผลผลิตในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน ซึ่งผลผลิตในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะมีน้อย ในขณะที่ตลาดส่งออกมีความต้องการตลอดทั้งปี (Chaireuangyote, 2017) ซึ่งส้มโอเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ทำรายได้อย่างมากแก่ประเทศไทย โดยในปี 2563 มีการส่งออกส้มโอในปริมาณถึง 20,288,096 กิโลกรัม สามารถทำรายได้ให้กับประเทศเท่ากับ 669,669,471 บาท (Office of Agricultural Economics, 2021) โดยส้มโอจัดเป็นผลไม้ที่เป็นพืชควบคุมเฉพาะอยู่ภายใต้เงื่อนไขการส่งออกสินค้าเกษตรของประเทศในการส่งออกในกลุ่มสหภาพยุโรป 28 ประเทศ ราชอาณาจักรนอร์เวย์ สมาพันธรัฐสวิส สาธารณรัฐประชาชนจีน สิงคโปร์ ญี่ปุ่น (พันธุ์ทองดี) ซึ่งปกติในการส่งออกจะมีการควบคุมสารเคมีให้ตรงตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติและภายใต้ข้อกำหนดของแต่ละประเทศ โดยส่วนใหญ่จะมีการกำหนดมาตรฐานปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit: MRLs) เอาไว้ (Department of Agriculture, 2017; Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2006)

จังหวัดพิจิตรปลูกส้มโอเพื่อขายในประเทศและส่งออกต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี โดยจังหวัดพิจิตรมีส้มโอ 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าฮ้อย และพันธุ์ขาวแตงกวามีพื้นที่ปลูกส้มโอรวมมากถึง 12,000 ไร่ และมีจำนวนผลผลิตมากพอที่จะขายป้อนตลาดส่งออก โดยเฉพาะตลาดประเทศจีนที่มีความต้องการส้มโอจากประเทศไทยเป็นจำนวนมาก และราคาซื้อจากสวนเกษตรกรค่อนข้างดีกว่าราคาซื้อขายในประเทศ โดยเฉพาะส้มโอของอำเภอโพธิ์ประทับช้าง ปัจจุบันถือว่าเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย (Chaireuangyote, 2017) ในการจำหน่ายภายในประเทศหรือส่งออกส้มโอต้องมีการคัดคุณภาพของส้มโอให้มีคุณภาพที่ดีเพื่อให้เป็นที่ต้องการของตลาด เกษตรกรจึงต้องมีการดูแลสวนส้มโอโดยการใส่ปุ๋ยบำรุง ปุ๋ยเคมี และปุ๋ยคอกเพื่อเร่งการเจริญเติบโต ช่วยทำให้ส้มโอฟื้นตัวจากการออกผลเร็วขึ้น ช่วยให้มีการสร้างดอก และมีการเจริญเติบโตของผลดีขึ้น ช่วยให้ผลของส้มโอมีคุณภาพดี หรือทำให้ต้นส้มโอที่มีสภาพเสื่อมโทรมมาก ๆ จากการที่มึน้ำท่วม ซึ่งการใส่ปุ๋ยทางใบเสริมก็จะช่วยให้การฟื้นตัวของต้นส้มโอเร็วขึ้น รวมทั้งมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและแมลง เนื่องจากในพื้นที่สวนส้มโอก็จะมีปัญหาจากวัชพืชและแมลงที่เข้ามารบกวน ถ้ามีจำนวนมากก็จะก่อให้เกิดผลเสียหาย เพราะนอกจากจะแย่งน้ำและอาหารแล้วยังเป็นแหล่งสะสมโรคและแมลงอีกด้วย เกษตรกรจึงต้องคอยควบคุมไม่ให้มีแมลงเข้าไป

ทำลายผลก่อนการเก็บเกี่ยว และวัชพืชที่มากเกินไป ซึ่ง Wanasiri (2018) รายงานว่าเกษตรกรชาวสวนส้มโอมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมีมากในช่วงออกดอก โดยใส่ปุ๋ยตั้งแต่เริ่มปลูกต่อมาใส่ทุกเดือนหรือ 2 เดือน ใช้ปุ๋ยแบบที่เคยใช้หรือใช้ตาม ๆ กัน ทั้งปุ๋ยเคมีและชีวภาพ เมื่อต้นส้มโอมีอายุได้ 4 ปี ใกล้จะออกดอก จะพ่นสารเคมีทุกอาทิตย์ ดังนั้นดินจึงมีโอกาสดังนี้ได้รับผลข้างเคียงจากการที่เกษตรกรใช้สารเคมีทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดศัตรูพืชซึ่งมักจะมีส่วนผสมของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น ซึ่งจัดเป็นกลุ่มธาตุโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ไม่สลายตัวในกระบวนการทางธรรมชาติ มีความเสถียร และสามารถสะสมอยู่ในอากาศ ดิน และแหล่งน้ำทำให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ รวมถึงสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิตและส่งผลกระทบต่อ (Sitlaothavorn, 2021) ทั้งนี้ ที่ผ่านมา Jantarote & Panmart (2013) ได้มีการศึกษาโลหะหนักในดินสวนผลไม้ที่ไม่ใช้สารเคมีและใช้สารเคมี ได้แก่ ส้มโอ ลิ้นจี่ และมะพร้าว ในพื้นที่ตำบลบางนางลี่ อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสงคราม พบว่าสวนผลไม้ที่มีการใช้สารเคมีมีการปนเปื้อนแคดเมียม ทองแดง แมงกานีส ตะกั่ว และสังกะสี เฉลี่ยเท่ากับ 1.13 ± 0.26 , 8.00 ± 1.05 , 332.91 ± 42.42 , 13.16 ± 2.01 และ 37.41 ± 3.20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียม แมงกานีส และตะกั่วในดินของสวนผลไม้ที่ใช้สารเคมีมากกว่าสวนที่ไม่ใช้สารเคมีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่งการใช้สารเคมีทางการเกษตรต่อเนื่องสามารถส่งผลทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดินและผลผลิตได้ (Prabagara et al., 2021) ซึ่งหากร่างกายมีการสะสมโลหะหนักในปริมาณที่สูงก็สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ เช่น ตะกั่วสามารถยึดกับเม็ดเลือดแดงและแพร่กระจายไปตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกายทำให้เกิดภาวะผิดปกติโดยอวัยวะที่มักถูกทำลายโดยตะกั่ว ได้แก่ กระดูก สมอง ไต และต่อมไทรอยด์ ทำให้อวัยวะอ่อนเพลีย เวียนศีรษะ อาเจียน เกิดโรคโลหิตจาง กระดูกผุกระดูกอ่อน สมองบวม และไตวาย เป็นต้น สำหรับสังกะสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดการสะสมบริเวณไตและตับ ทำให้ตับและไตล้มเหลว เกิดโรคโลหิตจาง ไคโรโมโซมผิดปกติ และเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ส่วนทองแดงหากมีการสะสมในร่างกายมากกว่า 100 มิลลิกรัมก็จะทำให้อวัยวะอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ชูบผอม อาเจียน ทำลายตับ เป็นต้น (Suwanaruang, 2020)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและผลส้มโอ รวมถึงประเมินศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพของส้มโอ 3 สายพันธุ์ที่มีชื่อเสียง ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการเพาะปลูกส้มโอ อันจะนำไปสู่การลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและส้มโอ นอกจากนี้ ผลการศึกษาสามารถช่วยยืนยันคุณภาพความปลอดภัยของส้มโอและสามารถสร้างความเชื่อมั่นให้แก่

ผู้บริโภครวมถึงยังใช้เป็นแนวทางในการลดความเสี่ยงของสุขภาพต่อผู้บริโภคให้สัมผัสที่ผลิตจากพื้นที่อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในสวนส้มโอที่นิยมปลูกในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร จำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี จำนวนพันธุ์ละ 10 สวน รวมทั้งหมด 30 สวน สุ่มเก็บตัวอย่างดินรอบทรงพุ่มต้นละ 3 จุด จำนวน 15 ต้น กระจายจนทั่วแปลง เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินทั้งหมดมาคลุกเคล้ารวมกัน กองดินให้เป็นรูปผาซีแล้วแบ่งแยกเป็น 4 ส่วน แล้วทำการเก็บตัวอย่างดินจากกองดินนี้เพียง 1 ส่วนให้ได้ดินหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติกเขียนรายละเอียดติดไว้แล้วนำไปวิเคราะห์ (Wachirawongsakorn et al., 2021)

1.2 การเก็บตัวอย่างส้มโอ

การเก็บตัวอย่างส้มโอทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย พันธุ์ละ 10 สวน จำนวนสวนละ 2 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างส้มโอทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง โดยจะเก็บส้มโอในระยะที่มีความสุกร้อยละ 70-90 หรือพร้อมสำหรับการเก็บเพื่อนำมาจำหน่าย งานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างส้มโอในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

2. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์โลหะหนัก

2.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์โลหะหนักในดิน

อบให้ดินตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดดินด้วยครกกระเบื้อง แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mesh เตรียมตัวอย่างดินก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ดำเนินการย่อยตัวอย่างดินโดยการเติมกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก ในอัตราส่วน 3:1 และหยดกรดไฮโดรฟลูออริก 1 หยด จากนั้นนำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave Digestion ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร (Tamdee & Wachirawongsakorn, 2021) แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น

2.2 การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนักในส้มโอ

นำตัวอย่างส้มโอมาล้างและปอกเปลือกโดยจะนำมาวิเคราะห์เพียงส่วนของเนื้อล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด นำตัวอย่างที่ทำความสะอาดแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดเนื้อส้มโอให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน

ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 mesh ซึ่งตัวอย่างสั่มโอที่เตรียมไว้จำนวน 0.25 กรัม นำตัวอย่างใส่ Vessel แล้วเติมกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปย่อยด้วยเครื่อง Microwave digestion ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จนสารละลายใส ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 1% กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 (Jinta & Wachirawongsakorn, 2021) แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

3. การประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในสั่มโอ

การสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation Factors: BAF) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของพืชในการดูดซับโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี จากดินที่เจริญเติบโต โดยจะนำค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในผลสั่มโอต่ออัตราส่วนของความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในดินที่เจริญเติบโต ดังสมการต่อไปนี้ (Jinta & Wachirawongsakorn, 2021)

$$\text{BAF Lead} = \frac{\text{concentration of lead in Plants}}{\text{concentration of lead in soil}}$$

$$\text{BAF Copper} = \frac{\text{concentration of copper in Plants}}{\text{concentration of copper in soil}}$$

$$\text{BAF Zinc} = \frac{\text{concentration of zinc in Plants}}{\text{concentration of zinc in soil}}$$

จากค่า BAF ข้างต้น สามารถนำมาประเมินศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในสั่มโอได้ โดยพืชที่มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดสูงจะต้องมีค่า BAF มากกว่า 1 แต่ถ้ามีค่า BAF น้อยกว่า 1 แสดงว่าพืชมีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักแต่ละชนิดได้น้อย จึงสามารถนำมาบริโภคได้ (Fitz & Wenzel, 2002)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและสั่มโอ รวมถึงค่าศักยภาพการสะสมโลหะหนักทางชีวภาพ ใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนโลหะหนักในดิน

ปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในดินของสวนส้มโอทั้ง 3 พันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.04-40.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดไว้ทั้งหมด (≤ 55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) การปนเปื้อนตะกั่วสูงที่สุดในดินของสวนส้มโอพันธุ์ทองดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.13 ± 3.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 14.88-40.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ดินสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และดินสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย มีค่าเฉลี่ยของปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วเท่ากับ 25.55 ± 5.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 0.10-39.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 9.14 ± 1.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 0.04-26.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ โดยดินของสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อยมีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วน้อยกว่าดินของส้มโอสายพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

การปนเปื้อนทองแดงในดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณทองแดงสูงกว่าดินของสวนส้มโอพันธุ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.27 ± 2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 7.98-15.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ดินสวนส้มโอพันธุ์ทองดี และดินสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย ปริมาณการปนเปื้อนทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 8.66 ± 2.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 3.09-13.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 8.04 ± 1.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 4.86-14.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ปริมาณทองแดงดังกล่าวจัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดไว้ทั้งหมด (≤ 41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

สำหรับปริมาณการปนเปื้อนสังกะสีในดินของสวนส้มโอแต่ละพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 26.29-64.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดไว้ทั้งหมด (≤ 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โดยดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าสังกะสีเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 42.82 ± 3.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 34.43-54.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ดินของสวนส้มโอพันธุ์ทองดี และดินของสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย โดยมีค่าเฉลี่ยของสังกะสีเท่ากับ 40.97 ± 4.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 29.91-56.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 40.04 ± 5.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 26.29-64.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 (Table 1)

2. การปนเปื้อนโลหะหนักในส้มโอ

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วมีการปนเปื้อนสูงที่สุดในส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ย 9.95 ± 2.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 1.53-19.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย และส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา โดยมีค่าเฉลี่ย 6.40 ± 3.56 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ND-24.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 5.83 ± 0.94 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ND-16.01 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม) ตามลำดับ โดยส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาและส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่ว น้อยกว่าส้มโอสายพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ องค์การอนามัยโลกที่กำหนดให้มีปริมาณตะกั่วในผลไม้ได้ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเกินมาตรฐานร้อยละ 75 55 และ 65 ตามลำดับ

ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงมีการปนเปื้อนในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 6.30 ± 3.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND-18.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ND-1.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.31 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ND-2.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ โดยส้มโอส้มโอสายพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณการปนเปื้อนทองแดงสูงกว่า พันธุ์ขาวแตงกวาและส้มโอพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า มาตรฐานของ WHO, 1994 ที่กำหนดให้มีปริมาณทองแดงในส้มโอได้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม พบว่าส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และพันธุ์ทองดี มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงไม่เกิน มาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเกินมาตรฐานที่ได้ กำหนดไว้ ร้อยละ 25

ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีปนเปื้อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 5.60 ± 1.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 3.08-9.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ย 5.05 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (2.49-6.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 4.38 ± 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (2.45-6.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ โดยปริมาณการปนเปื้อนสังกะสีในส้มโอไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules, 2004 ที่กำหนดให้มีปริมาณสังกะสีในผลไม้ได้ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าส้มโอทุกพันธุ์ มีปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Heavy metal concentrations of soil and citrus maxima in Pho Prathap Chang Sub-district, Pho Prathap Chang District, Phichit Province

Citrus Maxima Variety	Heavy Metal Contamination (mg/kg)					
	Pb		Cu		Zn	
	Soil	Citrus maxima	Soil	Citrus maxima	Soil	Citrus Maxima
Khaw-Taengkwa	25.55 ± 5.34^a (0.10-39.60)	5.83 ± 0.94^a (ND-16.01)	12.27 ± 2.06^a (7.98-15.77)	0.56 ± 0.15^a (ND-1.74)	42.82 ± 3.58^a (34.43-54.34)	5.05 ± 0.25^a (2.49-6.97)
<MAC (%)	100	35	100	100	100	100
Tha-Khoi	9.14 ± 1.19^b (0.04-26.74)	6.40 ± 3.56^a (ND-24.40)	8.04 ± 1.37^b (4.86-14.66)	6.30 ± 3.74^b (ND-18.87)	40.04 ± 5.80^a (26.29-64.91)	5.60 ± 1.12^a (3.08-9.13)
<MAC (%)	100	45	100	75	100	100

Table 1 Heavy metal concentrations of soil and citrus maxima in Pho Prathap Chang Sub-district, Pho Prathap Chang District, Phichit Province (cont.)

Citrus Maxima Variety	Heavy Metal Contamination (mg/kg)					
	Pb		Cu		Zn	
	Soil	Citrus maxima	Soil	Citrus maxima	Soil	Citrus Maxima
Thong-Dee	26.13±3.37 ^a (14.88-40.30)	9.95±2.84 ^b (1.53-19.47)	8.66±2.72 ^b (3.09-13.21)	0.31±0.25 ^a (ND-2.81)	40.97±4.28 ^a (29.91-56.01)	4.38±0.53 ^a (2.45-6.41)
<MAC (%)	100	25	100	100	100	100
MAC	≤55*	≤2**	≤41*	≤10**	≤90*	≤50***
Overview (<MAC)	100%	35%	100%	91.67%	100%	100%

Remark ND: Non-detected, MAC: maximum allowable concentration (mg/kg),

Mean followed by different letters in each row are significantly different (P<0.05)

* (Land Development Department, 2011), ** (WHO, 1996),

*** (The Prevention of Food Adulteration Act & Rules, 2004)

3. การประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในส้มโอ

การสะสมทางชีวภาพของตะกั่วในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 0.50 ± 0.38 (อยู่ในช่วง ND-1.32) รองลงมาคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี และส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ย 0.41 ± 0.19 (อยู่ในช่วง 0.09-0.68) และ 0.24 ± 0.18 (อยู่ในช่วง 0.05-0.68) ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการสะสมทางชีวภาพของตะกั่วในส้มโอทุกพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีการสะสมทางชีวภาพของทองแดงสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 0.94 ± 0.72 (อยู่ในช่วง 0.24-2.05) รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ย 0.05 ± 0.04 (อยู่ในช่วง ND-0.10) และ 0.03 ± 0.03 (อยู่ในช่วง ND-0.11) ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการสะสมทางชีวภาพของทองแดงในส้มโอพันธุ์ท่าข่อยสูงกว่าส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาและพันธุ์ทองดีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การสะสมทางชีวภาพของสังกะสีในส้มโอพันธุ์ทองดีมีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 0.64 ± 0.06 (อยู่ในช่วง 0.55-0.72) รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ย 0.56 ± 0.06 (อยู่ในช่วง 0.46-0.68) และ 0.12 ± 0.03 (อยู่ในช่วง 0.07-0.16) ตามลำดับ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการสะสมทางชีวภาพของสังกะสีในส้มโอพันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อยสูงกว่าส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ซึ่งค่าการสะสมทางชีวภาพดังกล่าวจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าส้มโอเป็นพืชที่สะสมตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในปริมาณต่ำ เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพน้อยกว่า 1 ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1 (Table 2 and Figure 1)

Table 2 The bioaccumulation factor of three citrus maxima varieties growth in area of Pho Prathap Chang Sub-district, Pho Prathap Chang District, Phichit Province

Citrus maxima variety	Bio-Accumulation Factor (BAF)		
	Pb	Cu	Zn
Khaw-Taengkwa	0.24 ± 0.18^b (0.05-0.68)	0.05 ± 0.04^a (ND-0.10)	0.12 ± 0.03^b (0.07-0.16)
Tha-Khoi	0.50 ± 0.38^a (ND-1.32)	0.94 ± 0.72^b (0.24-2.05)	0.56 ± 0.06^a (0.46-0.68)
Thong-Dee	0.41 ± 0.19^a (0.09-0.68)	0.03 ± 0.03^a (ND-0.11)	0.64 ± 0.06^a (0.55-0.72)

Remark Mean followed by different letters in each row are significantly different ($P < 0.05$)

BAF < 1 were considered the citrus maxima has low ability to transport heavy metals from the soil to accumulate in citrus maxima fruits

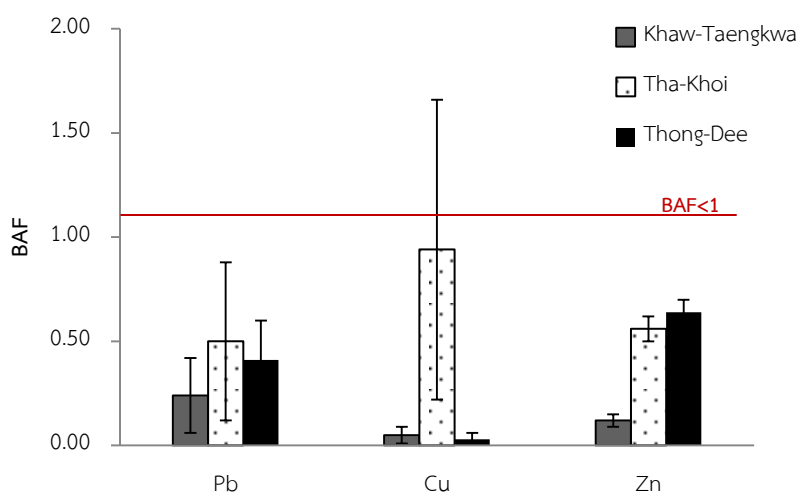


Figure 1 The bioaccumulation factor of Pb, Cu and Zn in three citrus maxima varieties

อภิปรายผล

สวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย และพันธุ์ทองดี ของพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในดินสวนส้มโอแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน โดยดินมีการปนเปื้อนสังกะสีในปริมาณสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.82 ± 3.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 34.43-54.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ตะกั่ว และทองแดง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.13 ± 3.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 14.88-40.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 12.27 ± 2.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 7.98-15.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักดังกล่าวกับค่ามาตรฐานดินของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าดินในสวนส้มโอทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตาม เป็นไปได้ว่าอาจมีแนวโน้มการสะสมโลหะหนักในดินเพิ่มมากขึ้นได้ โดยสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน ได้ศึกษาและประเมินการสะสมของโลหะหนักในดินสวนส้มอายุ 3, 6 และ 9 ปี บริเวณสวนส้มทุ่งรังสิต อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี พบว่าปริมาณการสะสมทองแดงและสังกะสีมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะทองแดงที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีระดับสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากมีการใช้สารคอปเปอร์ออกไซด์คลอไรด์ ซึ่งมีทองแดงเป็นส่วนประกอบในการกำจัดเชื้อราโดยพ่นต้นส้ม พร้อมกันนี้ได้มีการเสนอแนะแนวทางการจัดการดินที่ดี โดยมุ่งยกระดับ pH ของดินให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นส้ม การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน ตลอดจนการให้ธาตุอาหารพืชที่เพียงพอแก่ต้นส้ม จะเป็นช่องทางสำคัญสำหรับช่วยลดค่าความเป็นพิษของโลหะหนักในสวนส้มให้ปรับตัวลดลงได้ (Office of Science for Land Development, 2022) ซึ่งอาจจะใช้แนวทางดังกล่าวมาปรับใช้ในการลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินของสวนส้มโอได้ ทั้งนี้ที่ผ่านมาการติดตามตรวจสอบปริมาณโลหะหนักในดินสวนส้มโอยังมีจำนวนน้อย อาจเป็นเพราะส้มโอเป็นผลไม้เฉพาะถิ่น การปลูกยังไม่กระจายแพร่หลาย ดังเช่น ผลไม้เศรษฐกิจชนิดอื่น อาจเป็นผลทำให้ความสนใจในการศึกษาด้านนี้น้อย แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในสวนผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น Cheng et al. (2015) ที่ได้ศึกษาและตรวจสอบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินของส้มไร้เมล็ดของมณฑลซินเจียง ประเทศจีนพบว่าความเข้มข้นของตะกั่วในดินสวนส้มไร้เมล็ดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.040 ± 0.010 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยด้านอาหารแห่งชาติของจีนที่กำหนดไว้ ในขณะที่สวนผลไม้ในประเทศไทยได้มี Chantharot & Panmat (2013) ตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนทองแดง ตะกั่ว และสังกะสีในดินบริเวณสวนผลไม้ ได้แก่ ส้มโอ ลิ้นจี่ และมะพร้าว ในพื้นที่ตำบลบางนางลี่ อำเภอมะปวย จังหวัดสมุทรสงคราม สำหรับสวนที่ไม่ใช้สารเคมีจำนวน 30 สวน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.60, 29.87 และ 21.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนสวนที่ใช้สารเคมีจำนวน 30 สวน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.00, 13.16 และ 37.41 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มการปนเปื้อนของโลหะหนักในสวนผลไม้ที่ไม่ใช้สารเคมีทางการเกษตรมีความสอดคล้องกับสวนส้มโอทั้ง 3 พันธุ์ในจังหวัดพิจิตร โดยมีปริมาณการปนเปื้อนสังกะสี > ตะกั่ว > ทองแดง และมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งเห็นได้ว่าการใช้สารเคมีทางการเกษตรส่งผลทำให้โลหะหนักมีค่าสูงขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Prabagara et al. (2021) ที่พบว่าการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการปลูกองุ่นอาจเป็นสาเหตุทำให้ระดับการปนเปื้อนในดินสูงขึ้น โดยจากการประเมินการปนเปื้อนของตะกั่วและทองแดงในดินมีส่วนทำให้สิ่งแวดล้อมและดินมีความเสื่อมโทรมสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลงอย่างต่อเนื่องในพื้นที่

สำหรับการปนเปื้อนโลหะหนักในส้มโอมีปริมาณตะกั่วสูงที่สุดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.95 ± 2.84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $1.53-19.47$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ ทองแดง และสังกะสี ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.30 ± 3.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $ND-18.87$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 5.60 ± 1.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง $3.08-9.13$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ โดยส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีมีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเกินค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดร้อยละ 65 55 และ 75 ตามลำดับ ปริมาณการปนเปื้อนของทองแดงในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และพันธุ์ทองดีมีค่าเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเกินมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ร้อยละ 25 และการปนเปื้อนของสังกะสีในส้มโอทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ Czech et al. (2020, 2021) พบว่าส้มโอที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ตในประเทศโปแลนด์มีการสะสมของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในส้มโอ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.67 ± 0.059 0.10 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าส้มโอในที่ปลูกในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณการปนเปื้อนตะกั่ว>ทองแดง>สังกะสี เช่นเดียวกับการศึกษาส้มโอในโปแลนด์ แต่จะเห็นได้ว่าการปนเปื้อนสูงกว่าส้มโอในซูเปอร์มาร์เก็ตประเทศโปแลนด์ อาจจะเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน น้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทำให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในผลส้มโอ (Wannasiri, 2018) นอกจากนี้ lanthaisong et al. (2018) พบว่าปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียจากดินที่ปลูก จะติดไปกับผลส้มโอพันธุ์ทองดีจำนวน 1 กิโลกรัม นั้นแสดงให้เห็นว่าธาตุต่าง ๆ ที่สะสมในดินสามารถถูกดูดซับไปสะสมในผลส้มโอได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นหากในดินมีการปนเปื้อนโลหะหนักในปริมาณสูงก็เป็นผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะหนักในผลส้มโอได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภค เกษตรกรควรให้ความสำคัญในการเพาะปลูก ลดการใช้สารเคมี สารกำจัดศัตรูพืช และยาฆ่าแมลง หรือควรใช้ปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดการก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้บริโภค

นอกจากนี้ จากการประเมินศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพ (BAF) ของโลหะหนักใน ส้มโอที่พบว่ามีความ BAF ของทองแดงมีค่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.94 ± 0.72 (อยู่ในช่วง 0.24-2.05) รองลงมา คือสังกะสี และตะกั่ว ซึ่งมีค่า BAF เฉลี่ยเท่ากับ 0.64 ± 0.06 (อยู่ในช่วง 0.46-0.68) และ 0.50 ± 0.38 (อยู่ในช่วง ND-1.32) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่า BAF ในภาพรวมยังเห็นได้ว่ายังจัดอยู่ในเกณฑ์ที่บ่งชี้ได้ว่าส้มโอเป็นพืชที่สะสมตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในปริมาณต่ำ เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพน้อยกว่า 1 ซึ่งมีความสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Yaqub et al. (2021) ที่พบว่าการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในพืชมีค่าน้อยมาก โดย Sirichamorn et al. (2017) กล่าวว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับศักยภาพของพืชต่อการดูดซับและ สะสมโลหะหนักมีหลายประการ ทั้งปัจจัยภายนอกที่มาจากลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ของดินที่พืชเจริญเติบโตอยู่ เช่น เนื้อดิน ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณจุลินทรีย์ในดิน และปัจจัยจากภายในพืชเอง ซึ่งพืชแต่ละชนิดก็มีการปรับตัวเพื่อให้อยู่รอดในสภาวะปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านั้นแตกต่างกัน บางชนิดมีการสะสมไว้ในต้น บางชนิดมีการกำจัดออกด้วยวิธีการต่าง ๆ และการศึกษาของ Inparnam (2015) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายโลหะหนักสู่พืช ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่โลหะตะกั่วในดิน เมื่อดินอยู่ในสภาพที่เป็นกรด ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในดินจะมีการแข่งขันกับโลหะหนักในดินส่งผลให้ ความสามารถในการดูดซับตะกั่วของดินต่ำลง และเป็นการเพิ่มการเคลื่อนที่ของโลหะหนัก ลักษณะ ของดิน ความสามารถในการดูดซับสังกะสีของดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีของดิน

สรุปผลการวิจัย

การปนเปื้อนตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในตัวอย่างดินของสวนส้มโออยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานกำหนดไว้ทั้งหมด สำหรับปริมาณการปนเปื้อนตะกั่วในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ส้มโอพันธุ์ ทำข่อย และส้มโอพันธุ์ทองดี เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (≤ 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วเกินมาตรฐานร้อยละ 75, 55 และ 65 ตามลำดับ ส่วนปริมาณทองแดงพบสูงที่สุดในส้มโอพันธุ์ทำข่อย รองลงมา คือ ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และส้มโอพันธุ์ทองดี โดยส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา และพันธุ์ทองดี มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดง ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนส้มโอพันธุ์ทำข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเกินมาตรฐาน ที่ได้กำหนดไว้ร้อยละ 25 และปริมาณการปนเปื้อนสังกะสีของส้มโอทุกพันธุ์ไม่เกินมาตรฐานที่ กำหนดไว้ สำหรับค่าศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในส้มโอ ทั้ง 3 พันธุ์ยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ($BAF < 1$) ไม่เป็นอันตรายหากปลูกเพื่อการนำมาบริโภค แต่อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าการปนเปื้อนของส้มโอบางส่วนที่เกินมาตรฐาน ดังนั้นเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอควรให้ความ ระวังระมัดระวังในกระบวนการปลูกจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีไม่ว่าจะเป็น การบำรุง

ลงดินหรือฉีดพ่นทางใบอันเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและผลส้มโอให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นได้ รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น น้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรที่อาจมีการปนเปื้อนสารเคมีร่วมด้วย ซึ่งสามารถส่งผลกระทบทำให้คุณภาพดินเสื่อมโทรมได้ในอนาคต และอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่นิยมบริโภคด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ปฏิบัติการเครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมีในการดำเนินวิจัย และขอบคุณนายจรูญ จันรักษ์ ที่ช่วยประสานงานกับเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอในพื้นที่ให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินการเก็บตัวอย่างจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Chaireuangyote T. Produce quality khawtaengkwa, make a good income from hundreds of thousands to millions, popular consumption in market, the skin naturally's not beautiful but it still sells well in the country, 2017. Available at: https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_17908. Accessed December 28, 2021.
- Chantharot C, Panmat M. Study on heavy metal content of sediments in orchards soil of Nangli Sub-district, Amphawa District, Samut Songkhram Province. Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University; 2013.
- Cheng J, Ding C, Li X, Zhang T, Wang X. Heavy metals in navel orange orchards of xinfeng countya their transfer from soils to navel oranges. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2015;122(1): 153-158.
- Czech A, Malik A, Sosnowska B, Domaradzki P. Bioactive substances, heavy metals and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. *International Journal of Food Science* 2021:DOI: 101155/2021/6662259.
- Czech A, Zarycka E, Yanovych D, Zasadna Z, Grzegorzcyk I, Kłys S. Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. *Biological Trace Element Research* 2020;193(2):555-563.
- Department of Agriculture. Exporter registration, rules and regulations and conditions for exporting agricultural products out of the Kingdom, Nontaburi: The Agriculture Co-operative Federation of Thailand, Ltd. (ACFT); 2017.
- Fitz WJ, Wenzel WW. Arsenic transformations in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology* 2002;99(3):259-278.

- Ianthaisong N, Nampila R, Meetha S, Isarangkool Na Ayuttaya S, Yangyuen P, Techawongstien S. Effect of Fertilizer Management Based on Crop Removal on Fruit Quality of Pummelo (*Citrus Grandis* (L.) Osbeck) CV. Manee-Esan. *Khon Kaen Agriculture Journal* 2018;46(3):459-468.
- Inparnam S. Heavy metal fractions in sandy loam soil at different concentrations of metal by sequential extraction method. Bachelor of Science (Natural Resources and Environment), Naresuan University; 2015.
- Jinta S, Wachirawongsakorn P. Evaluation heavy metals contaminated of economic vegetables: Case study in Buengphra Sub-District, Muang District, Phitsanulok. *PSRU Journal of Science and Technology* 2021;6(1):28-38.
- Land Development Department. Manual for soil chemical analysis, 2011. Available at: <https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf>. Accessed March, 6, 2022.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. Thai agricultural commodity and food standard TACFS 9007-2005, 2006. Available at: https://www.acfs.go.th/standard/download/food_safety_thai.pdf. Accessed June, 18, 2022.
- Office of Agricultural Economics. Export Statistics, 2021. Available at: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=5032&wf_search=&WF_SEARCH=Y. Accessed March 8, 2021.
- Office of Science for Land Development. “Som Khiao Damnoen” Popular Fruit in Nong Suea District, 2022. Available at: https://www.technologychaoban.com/bulletnewstoday/article_90379?fbclid=IwAR2mRBRjRTqnLbJQTHcd8fkU5tyUIVvcxPjoVIG9m1dtH_wLfM-uUDpz>ToM. Accessed March 16, 2022.
- Prabagara S, Dharmadasa RM, Lintha A, Thuraisingam S, Prabagard J. Accumulation of heavy metals in grape fruit, leaves, soil and water: a study of influential factors and evaluating ecological risks in Jaffna, Sri Lanka. *Environmental and Sustainability Indicators* 2021; 12(1):DOI: 10.1016/2021/100147.
- Sirichamorn Y, Phuekvilai P, Yookongkaew N. Potential of heavy metal uptake and accumulation in dominant herbaceous plants around gold mine areas in Pichit Province. *Thai Science and Technology Journal* 2017;25(1):110-123.
- Sitlaothavorn K. Heavy Metal is Closer Your Every Day Life than You Think, 2021. Available at: <https://www.scispec.co.th/learning/index.php/blog/elemental/2018-11-06-10-11-23>. Accessed December 28, 2021.
- Suwanaruang T. Heavy metal contaminated in environments and health effects. *Research and Development Health System Journal* 2020;13(1):76-82.
- Tamdee P, Wachirawongsakorn P. Heavy metal contamination in soil of economic vegetable producing areas in Phitsanulok Province. *PSRU Journal of Science and Technology* 2021; 6(2):98-108.

- The Prevention of Food Adulteration Act & Rules. The prevention of food adulteration act & rules, 2004. Available at: <https://fssai.gov.in/upload/uploadfiles/files/pfa-acts-and-rules.pdf>. Accessed March 6, 2022.
- Wachirawongsakorn P, Nilsonthi T, Aykam M, Phueakchaona K, Chueygratok T, Jantakun O. Safety evaluation on cd-bioaccumulation of exported mango in Phitsanulok. *Thai Journal of Toxicology* 2021;36(1):1-17.
- Wanasiri T. Experiences in chemical using of farmers in pomelo garden of Nakhon Pathom Province. *VRU Research and Development Journal Science and Technology* 2018;13(1):199-209.
- Wannasiri T. Experience in chemical using of farmers in pomelo garden of Nakhon Pathom Province. *VRU Research and Development Journal Science and Technology* 2018;13(1):199-209.
- WHO. WHO permissible limits for heavy metals in plant and soil, 1996. Available at: <https://www.Omicsonline.org/articles-images/2161-0525-5-334-t011.html>. Accessed March 6, 2022.
- Yaqub G, Khan A, Zishan Ahmad M, Irshad U. Determination of concentration of heavy metals in fruits, vegetables, groundwater, and soil samples of the cement industry and nearby communities and assessment of associated health risks. *Journal of Food Quality* 2021; 3354867. <https://doi.org/10.1155/2021/3354867>.