

การประเมินความปลอดภัยจากการปนเปื้อนและการสะสมทางชีวภาพ ของแคดเมียมในส้มโอในจังหวัดพิจิตร

SAFETY EVALUATION ON CADMIUM CONTAMINATION AND BIOACCUMULATION IN POMELO (*CITRUS MAXIMA* (BURM.F.) MERR.) IN PHICHIT PROVINCE

วันที่รับ: 19 พฤษภาคม 2565

วันที่แก้ไข: 4 สิงหาคม 2565

วันที่ตอบรับ: 15 สิงหาคม 2565

ปิยะดา วชิระวงศกร^{1*},

สุพิญญา ภิรมย์ชม¹ และ สาลินี จันรักษ์¹

Piyada Wachirawongsakorn^{1*},

Suphinya Phiromchom¹ and Salinee Junrak¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,
Phitsanulok 65000

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



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และประเมินปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร รวมถึงประเมินค่าดัชนีมลพิษและประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ โดยเก็บตัวอย่างดินและส้มโอในสวนเดียวกันจากการสุ่มแปลงตัวอย่าง จำนวนสายพันธุ์ละ 10 สวน รวมทั้งหมด 30 สวน และเก็บตัวอย่างส้มโอ 2 ผลต่อสวน ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างดินและส้มโอวิเคราะห์โดยใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัย พบว่าการปนเปื้อนแคดเมียมในดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ย 1.28 ± 0.25 , 0.54 ± 0.15 และ 0.42 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดินที่กำหนดไว้ การปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย มีค่าเฉลี่ย 0.40 ± 0.07 , 2.32 ± 0.17 และ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ปริมาณแคดเมียมในเนื้อพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเกินค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules ส่วนการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอมีปริมาณน้อยกว่าส่วนเนื้อ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับค่าดัชนีมลพิษและ

การสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 1 มีความเป็นไปได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยจะมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมสูง ดังนั้นต้องมีความระมัดระวังในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ ในกระบวนการปลูก

คำสำคัญ: ส้มโอ, แคดเมียม, การปนเปื้อน, การสะสมทางชีวภาพ, ค่าดัชนีมลพิษ



Abstract

This study aimed to analyze and assess the contents of cadmium contamination in the soils and three pomelo varieties; namely, Kaotangkwa, Thongdee, and Thakoi varieties in the area of Pho Prathap Chang Sub-District, Pho Prathap Chang District, Phichit Province, and also examine the pollution index and bioaccumulation of cadmium in pomelos. Soil and pomelo samples were collected from the same gardens by random sampling of 10 gardens of each variety, with a total of 30 gardens. Soil samplings were collected 15 sampling sites per garden and pomelo samplings were collected 2 samples per garden. Cadmium contents in soil and pomelo samples were analyzed by using atomic absorption spectrophotometer (AAS). The results showed that cadmium contaminated soils in the pomelo gardens of Kaotangkwa, Thakoi and Thongdee varieties averaged 1.28 ± 0.25 , 0.54 ± 0.15 , and 0.42 ± 0.19 mg/kg, respectively, which did not exceed the soil quality standard of the Ministry of land development. The cadmium contaminations in Kaotangkwa, Thongdee and Thakoi pulp averaged at 0.40 ± 0.07 , 2.32 ± 0.17 , and 2.37 ± 0.34 mg/kg, respectively, which exceeded The Prevention of Food Adulteration Rules Standard. For cadmium contamination in pomelo peels were less than in pulp, which were considered not exceeded the standard. The values of pollution index and bioaccumulation factor of Thongdee and Thakoi varieties were averaged more than 1, which meant it was possible for the plants to absorb high cadmium. Therefore, agro-chemicals containing cadmium should be aware of impending use in planting process.

Keywords: Pomelo, Cadmium, Contamination, Bioaccumulation, Pollution Index



บทนำ

ส้มโอ (Pomelo, *Citrus maxima* (Burm.f.) MERR.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางตระกูลเดียวกับส้ม แหล่งกำเนิดอยู่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส้มโอจัดว่าเป็นไม้ผลเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย นิยมปลูกทางภาคตะวันตกของประเทศ ปัจจุบันส้มโอพันธุ์ที่เป็นที่นิยมปลูกทางการค้า ได้แก่ พันธุ์ทับทิมสยามปลูกมากที่จังหวัดนครศรีธรรมราช พันธุ์ทองดีเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกที่จังหวัดนครปฐม พันธุ์ขาวน้ำผึ้งและพันธุ์ขาวใหญ่นิยมปลูกที่จังหวัดสมุทรสงคราม พันธุ์ขาวพวง และพันธุ์ขาวแตงกวานิยมปลูกที่จังหวัดชัยนาท พันธุ์ท่าซ้อยเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่จังหวัดพิจิตร และพันธุ์ปัตตาเวียปลูกมากทางภาคใต้ ซึ่งส้มโอเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่ทำรายได้อย่างมากให้แก่ประเทศไทย โดยในปี 2563 มีการส่งออกส้มโอในปริมาณถึง 20,288,096 กิโลกรัม สามารถทำรายได้ให้กับประเทศเท่ากับ 669,669,471 บาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

จังหวัดพิจิตรเป็นจังหวัดหนึ่งที่ตั้งอยู่ทางภาคกลางตอนบนระหว่างจังหวัดนครสวรรค์ กับจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ประมาณ 4,531 ตารางกิโลเมตร สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำที่สำคัญ 3 สาย คือ แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำพิจิตร (จังหวัดพิจิตร, 2555) โดยสภาพพื้นที่ 2 ผังตัวเมืองอยู่ริมฝั่งแม่น้ำมีการปลูกส้มโอมากที่สุด เนื่องจากคุณภาพของน้ำดีเหมาะสมกับการนำมาใช้ในสวนผลไม้ รวมถึงอุณหภูมิ แสงแดด ปริมาณน้ำฝนที่มีความเหมาะสม ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญของการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ผลผลิตส้มโอได้ถูกนำไปขายทั้งในประเทศและส่งออกต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จังหวัดพิจิตรเองมีชื่อเสียงเรื่องของส้มโอ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าซ้อย และพันธุ์ขาวแตงกวา มีพื้นที่ปลูกส้มโอรวมมากถึง 12,000 ไร่ และมีจำนวนผลผลิตมากพอที่จะขายป้อนตลาดส่งออกโดยเฉพาะตลาดประเทศจีนที่มีความต้องการส้มโอจากประเทศไทยเป็นจำนวนมากและราคารับซื้อจากสวนเกษตรกรค่อนข้างดีกว่าราคาซื้อขายในประเทศ โดยเฉพาะส้มโอของอำเภอโพธิ์ประทับช้าง ปัจจุบันถือว่าเป็นแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย (ทวีศักดิ์ชัยเรืองยศ, 2560) ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรในพื้นที่ปีละไม่ต่ำกว่า 600 ล้านบาท (วิฑูร ไตรยุทธรงค์, 2563) เพื่อให้ได้ผลผลิตส้มโอที่ดีพร้อมทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจึงต้องมีการดูแลส้มโออย่างตลอดกระบวนการเพาะปลูก โดยทั่วไปจะมีการใส่ปุ๋ยคอกผสมกับปุ๋ยเคมีเพื่อบำรุงต้น บำรุงผล และเพื่อเพิ่มความหวาน และใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพื่อดูแลรักษาไม่ให้แมลงเข้าทำลายผลก่อนการเก็บเกี่ยว เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดแมลงจากกระบวนการเพาะปลูก อาจทำให้ดินและผลส้มโอมีการปนเปื้อนด้วยโลหะหนักหรือสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ทั้งนี้ได้มีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าการใช้สารเคมีทางการเกษตรสามารถส่งผลทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดินและในผลผลิตได้ โดยเฉพาะแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินสามารถเพิ่มขึ้นได้จากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต (Lugon-Moulin et al., 2006)

ซึ่งหากมีการสะสมในดินก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินและสามารถถ่ายทอดไปยังผลผลิตได้ อันจะนำไปสู่ผลกระทบในด้านการส่งออก รวมถึงความเสี่ยงสุขภาพของกลุ่มผู้บริโภค เนื่องจากความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรังซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ทำให้เกิดโรคพิษแคดเมียม หรือโรคอิไต อิไต อาการเรื้อรังจะทำลายกระดูก ปวดกระดูก ทำลายปอด ตับและไต เป็นโรคโลหิตจาง และเป็นสารก่อมะเร็งได้ (เขมชิต ธนาภิชาญเจริญ และคนอื่น ๆ, 2551)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์และประเมินการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอในสวนส้มโอพันธุ์ทองดี พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ขาวแตงกวา รวมถึงการประเมินดัชนีมลพิษและการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในผลส้มโอทั้ง 3 พันธุ์ดังกล่าว ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ซึ่งผลจากการศึกษารั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อวางแผนงานในการช่วยลดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ ควบคุมปริมาณการใช้สารเคมีให้มีความเหมาะสม ลดความเสี่ยงของสุขภาพต่อผู้บริโภค และยืนยันคุณภาพของส้มโอส่งออกที่ผลิตจากพื้นที่อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร ต่อไป



วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์และประเมินปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร
2. เพื่อประเมินค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและผลส้มโอในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในผลส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดีที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา



วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินในสวนส้มโอ ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร แบ่งตามจำนวนพันธุ์ที่นิยมปลูก 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี จำนวนพันธุ์ละ 10 สวน รวมสวนตัวอย่างทั้งหมด 30 สวน การสุ่มเก็บตัวอย่างดินรอบทรงพุ่มต้นละ 3 จุด จำนวน 15 ต้น กระจายจนทั่วแปลง เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินทั้งหมดมาคลุกเคล้ารวมกัน กองดินให้เป็น

รูปฟาสีแล้วแบ่งแยกเป็น 4 ส่วน แล้วทำการเก็บตัวอย่างดินจากกองดินนี้เพียง 1 ส่วน ให้ได้ดินหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติกเขียนรายละเอียดติดไว้ แล้วนำไปวิเคราะห์ (ปิยะดา วชิระวงศกร และคนอื่น ๆ, 2564)

1.2 การเก็บตัวอย่างส้มโอ

การเก็บตัวอย่างส้มโอ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย จากสวนส้มโอทั้ง 3 สวน สวนละ 2 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 60 ตัวอย่าง โดยจะเก็บส้มโอในระยะที่มีความสุก ร้อยละ 70-90 หรือพร้อมสำหรับการเก็บเพื่อนำมาจำหน่าย โดยงานวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างส้มโอในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

2. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม

2.1 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในดิน

อบดินให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดดินด้วยครกกระเบื้อง แล้วร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 mesh ในการเตรียมตัวอย่างดินก่อนนำไปวิเคราะห์โลหะหนัก ย่อยตัวอย่างดินโดยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในอัตราส่วน 3:1 มิลลิลิตร และหยดกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 1 หยด (พรณิภา แต้มดี และปิยะดา วชิระวงศกร, 2564) นำไปใส่ในเครื่อง High Performance Microwave Digestion System ยี่ห้อ Milestone รุ่น ETHOS UP ประเทศอิตาลี ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นสีใส ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยกรดไนตริก 1 เปอร์เซ็นต์ กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer: AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในส้มโอ

นำตัวอย่างส้มโอมาล้างและปอกเปลือกโดยจะแยกส่วนของเนื้อและเปลือก ล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนสะอาด นำตัวอย่างที่ทำความสะดวกแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดเนื้อส้มโอและเปลือกให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 mesh ชั่งตัวอย่างส้มโอที่เตรียมไว้ในแต่ละส่วน จำนวน 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 เปอร์เซ็นต์ กรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 42 (ศิริวรรณ จินตา

และปิยะดา วชิระวงศกร, 2564) แล้วนำไปวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น AA-6200 ประเทศญี่ปุ่น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก

3. การประเมินดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและส้มโอ

ดัชนีมลพิษ (Pollution Index: PI) ในการศึกษานี้จะแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในดินและส้มโอที่ได้รับการรับรองความปลอดภัยในเชิงมลพิษตามมาตรฐานการกำกับดูแลของหน่วยงานระหว่างประเทศ เช่น องค์การอนามัยโลก และสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา รัฐบาลกลางสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของประเทศไนจีเรีย (FEPA) (U.S.-Environmental Protection Agency, 1999; Jamali et al., 2007) โดยค่า $PI > 1$ หมายถึงดินหรือพืชมีการปนเปื้อนโลหะหนักสูงกว่าค่ามาตรฐาน แต่ในทางกลับกัน เมื่อค่า $PI < 1$ แสดงถึงดินหรือพืชมีการปนเปื้อนโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐาน และค่า PI เท่ากับ 1 แสดงถึงอยู่ในสถานะวิกฤต ซึ่งทำให้เห็นถึงความสามารถในการเป็นตัวชี้วัดหรือใช้ในการติดตามตรวจสอบที่สำคัญในทางสิ่งแวดล้อม (Chukwuma, 1994) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) (Chukwuma, 1994) และ (2) (Liang et al., 2011) ดังต่อไปนี้

$$PI_{indi} = \frac{C_{soil \text{ or } plant}}{C_{standard}} \quad (1)$$

$$PI_{soil/pomelo} = \sqrt{\frac{(average PI)^2 + (maximum PI)^2}{2}} \quad (2)$$

โดยที่

PI_{indi}	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่าง
$C_{soil \text{ or } plant}$	หมายถึง ปริมาณโลหะหนักในดินหรือส้มโอ
$C_{standard}$	หมายถึง ค่ามาตรฐานของแคดเมียมที่สามารถยอมรับได้
$P_{soil/pomelo}$	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษของดินหรือส้มโอ ณ ที่หนึ่งในภาพรวม
$average PI$	หมายถึง ค่าเฉลี่ยของ P_{indi}
$maximum PI$	หมายถึง ค่าดัชนีมลพิษที่มีค่าสูงสุด

4. การประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ

การสะสมทางชีวภาพ (Bioaccumulation Factors: BAF) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของพืชในการดูดซับแคดเมียมจากดินที่เจริญเติบโต โดยจะนำค่าความเข้มข้นของแคดเมียมในผลมะม่วงต่ออัตราส่วนของความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่เจริญเติบโต โดยค่า BAF สามารถนำมาประเมินการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอได้ โดยส้มโอที่มีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมสูงจะต้องมีค่า BAF มากกว่า 1 แต่ถ้ามีค่า BAF น้อยกว่า 1 แสดงว่าส้มโอมีความสามารถในการดูดซับแคดเมียมได้น้อย จึงสามารถนำมาบริโภคได้ (Fitz & Wenzel, 2002) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$BAF = \frac{\text{Concentration of cadmium in plants}}{\text{Concentration of cadmium in soil}} \quad (3)$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินผลของข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics 23 ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ผลการวิจัย

1. การปนเปื้อนแคดเมียมในดินของสวนส้มโอ

ปริมาณแคดเมียมในดินของสวนส้มโอในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีค่าอยู่ในช่วงตรวจไม่พบ (Non detected: ND) –2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมในดินแบ่งแยกตามชนิดพันธุ์ พบว่าดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนของแคดเมียมเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 0.50–2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา ได้แก่ ดินในสวนส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.54 ± 0.15 (อยู่ในช่วง ND–1.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.42 ± 0.19 (อยู่ในช่วง ND–1.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างจากดินในสวนส้มโอพันธุ์ท่าข่อย และพันธุ์ทองดี อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมในดินของสวนส้มโอกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย และเกษตรกรรมที่กำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 1.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564) นั้น พบว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 99.99 (ตาราง 1 และภาพ 1)

2. การปนเปื้อนแคดเมียมในส้มโอ

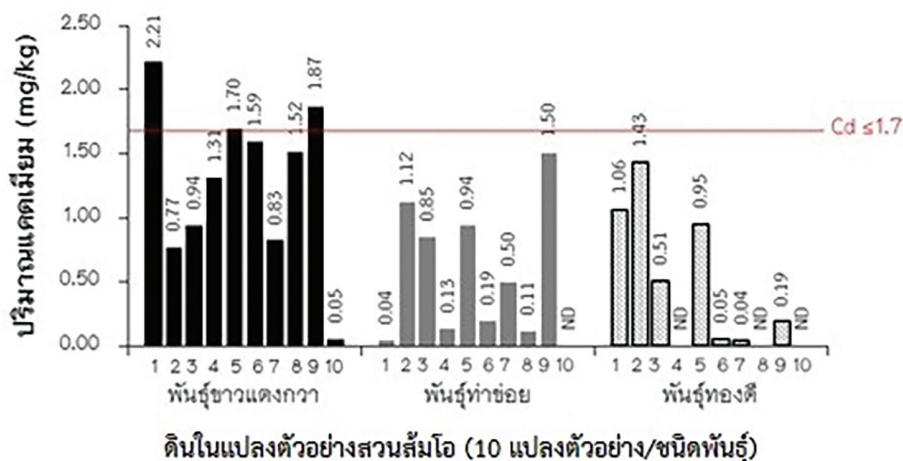
ปริมาณการสะสมแคดเมียมในส้มโอแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดพันธุ์ โดยมีการสะสมแคดเมียมในเนื้อส้มโอมากกว่าเปลือกส้มโอ สำหรับการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ่วยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 1.39–3.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 0.82–3.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ 0.40 ± 0.07 มิลลิกรัม (อยู่ในช่วง 0.11–0.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมในเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ่วยมีค่าแตกต่างจากส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติจากพันธุ์ทองดี เมื่อพิจารณาปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเท่ากับ 0.25 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND–1.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ซึ่งมีค่าสูงกว่าในส้มโอพันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าซ่วยอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยเปลือกส้มโอพันธุ์ทองดีมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง ND–0.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และไม่พบการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอพันธุ์ท่าซ่วย (ภาพ 2-3) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อและเปลือกของส้มโอกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules (2004) ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมในผลไม้ได้ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าซ่วย มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 85 และ 95 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ตามลำดับ (ตาราง 1)

ตาราง 1 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในดินและส้มโอ ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

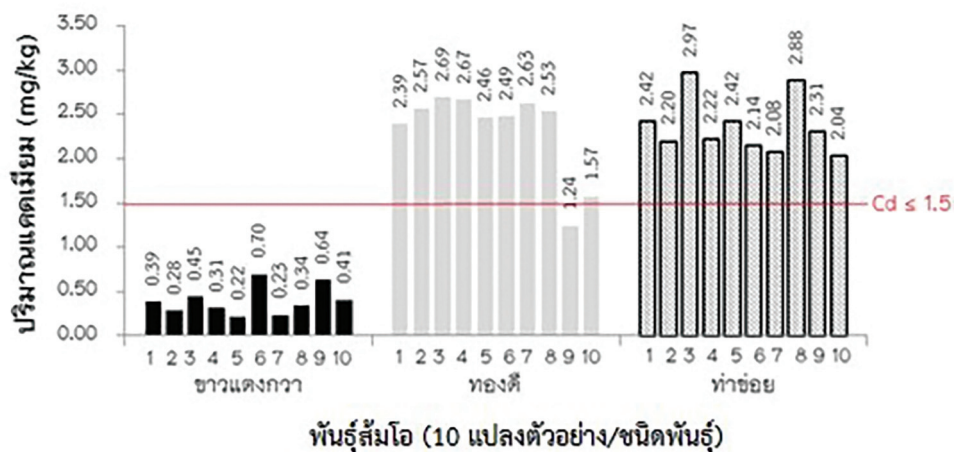
สายพันธุ์ส้มโอ	ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ดินสวนส้มโอ	เนื้อส้มโอ	เปลือกส้มโอ
พันธุ์ขาวแตงกวา	1.28 ± 0.25 ^a (0.50–2.21)	0.40 ± 0.07 ^a (0.11–0.85)	0.25 ± 0.13 ^a (ND–1.78)
%ผ่านมาตรฐาน	99.99	100	99.99
พันธุ์ท่าข่อย	0.54 ± 0.15 ^b (ND–1.50)	2.37 ± 0.34 ^b (1.39–3.10)	ND ^b (ND)
%ผ่านมาตรฐาน	100	5	100
พันธุ์ทองดี	0.42 ± 0.19 ^b (ND–1.43)	2.32 ± 0.17 ^b (0.82–3.24)	0.06 ± 0.02 ^b (ND–0.35)
%ผ่านมาตรฐาน	100	15	100
มาตรฐานแคดเมียม	≤ 1.7*	≤ 1.5**	≤ 1.5**
ผ่านมาตรฐานรวม	99.99%	40%	99.99%

หมายเหตุ: ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกัน (a, b) แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ส้มโอ, ND = ตรวจไม่พบ

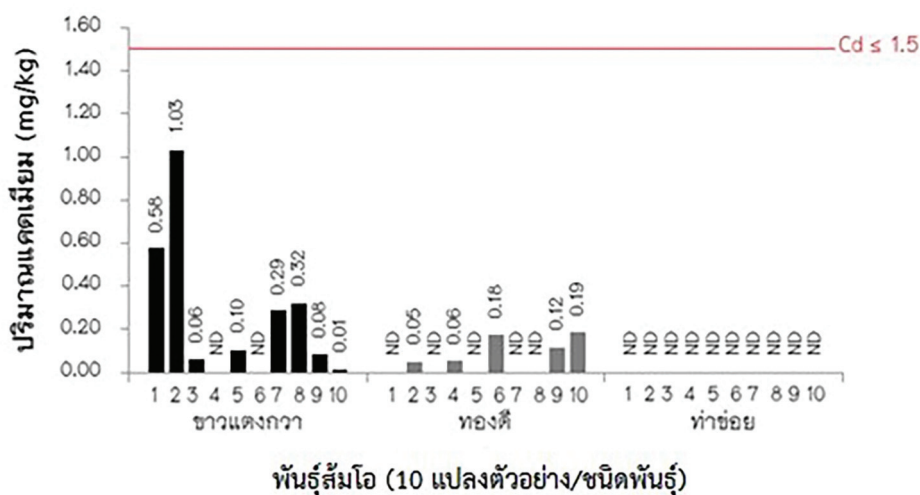
(กรมพัฒนาที่ดิน, 2564; The Prevention of Food Adulteration Act & Rules, 2004)



ภาพ 1 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเฉลี่ยในดินของสวนส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่างในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร



ภาพ 2 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่าง
ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร



ภาพ 3 ปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเปลือกส้มโอ 3 สายพันธุ์ จำนวน 30 แปลงตัวอย่าง
ในตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

3. การประเมินดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินและส้มโอ

ดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินบนพื้นที่สวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.52 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.29–1.30) รองลงมา ได้แก่ ดินพันธุ์ท่าช้อย และทองดี มีค่าเท่ากับ 0.94 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0–0.88) และ 0.88 (ดัชนีมลพิษของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0–0.84) ตามลำดับ โดยดัชนีมลพิษของแคดเมียม

ในดินสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาส่งกว่าพันธุ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ถือได้ว่ามีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงกว่ามาตรฐานสามารถก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับค่าดัชนีมลพิษในเนื้อส้มโอแต่ละตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วง 0.15–1.98 โดยเมื่อพิจารณาค่าดัชนีมลพิษของส้มโอแต่ละพันธุ์ พบว่าดัชนีมลพิษของเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและท่าข่อยมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งจัดว่ามีค่าเกินมาตรฐานที่ดัชนีมลพิษกำหนดไว้โดยมีค่าเท่ากับ 2.37 และ 2.53 ตามลำดับ ในขณะที่ส่วนของเปลือกส้มโอมีเพียงพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีค่าดัชนีมลพิษมากกว่า 1 (ตาราง 2)

4. การประเมินศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ

การสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอมีค่าอยู่ในช่วง 0–26.18 โดยค่าการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมเฉลี่ยของส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีค่าสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ พันธุ์ทองดี และพันธุ์ขาวแตงกวา โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.43, 3.00 และ 0.35 ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากค่าดังกล่าวสามารถบ่งชี้ได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเป็นพันธุ์ส้มโอที่มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1 (ตาราง 2)

ตาราง 2 ค่าดัชนีมลพิษและค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมของส้มโอ 3 พันธุ์ในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร

พันธุ์ส้มโอ	ดัชนีมลพิษของแคดเมียม (PI) ($PI_{indi} = \text{ต่ำสุด-สูงสุด}$)			BAF
	ดิน	ส้มโอ	เปลือกส้มโอ	
ขาวแตงกวา	1.52 ($PI_{indi} = 0.29\text{--}1.30$)	0.54 ($PI_{indi} = 0.15\text{--}0.47$)	1.06 ($PI_{indi} = 0\text{--}1.03$)	0.35 ± 0.20^c (0.13–0.48)
ทองดี	0.88 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.84$)	2.37 ($PI_{indi} = 0.83\text{--}1.79$)	0.20 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.19$)	3.00 ± 2.66^b (0–6.53)
ท่าข่อย	0.94 ($PI_{indi} = 0\text{--}0.88$)	2.53 ($PI_{indi} = 1.36\text{--}1.98$)	0 ($PI_{indi} = 0$)	7.43 ± 8.37^a (0–26.18)

หมายเหตุ: PI คือ ดัชนีมลพิษของดิน/ส้มโอแต่ละพันธุ์, PI_{indi} คือ ค่าดัชนีมลพิษของตัวอย่างที่มีค่าต่ำสุด–สูงสุด

ตัวอักษรยกกำลังที่แตกต่างกัน (a, b, c) แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกันระหว่างสายพันธุ์ส้มโอ



อภิปรายผลการวิจัย

ดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย และพันธุ์ทองดี ของพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในดินอยู่ในช่วง ND-2.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีการปนเปื้อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.28 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ ดินสวนส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย และดินสวนส้มโอพันธุ์ทองดี มีค่าเฉลี่ยของแคดเมียมเท่ากับ 0.54 ± 0.15 และ 0.42 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ตัวอย่างดินในสวนส้มโอเกือบทั้งหมดมีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กรมพัฒนาที่ดินกำหนด (≤ 1.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ร้อยละ 99.99) การปนเปื้อนแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันนั้นมีหลายสาเหตุ โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2564) รายงานว่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน นอกจากนั้นโลหะหนักในดินอาจมาจากการใช้น้ำในระบบชลประทาน สารหรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใส่ลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก วัสดุปรับปรุงดิน และสารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ในดินสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณแคดเมียมสูงกว่าดินในสวนส้มโอนิดอื่น ซึ่งความแตกต่างของการปนเปื้อนแคดเมียมในแต่ละพื้นที่อาจจะเกิดมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน น้ำที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก ระดับความเป็นมลพิษของดิน การใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (Rahimzadeh & Rastegar, 2017) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรนนท์ วรรณศิริ (2561) ที่พบว่าเกษตรกรชาวสวนส้มโอในอำเภอนครชัยศรีใช้ปุ๋ยและสารเคมีมากในช่วงออกดอก โดยใส่ปุ๋ยตั้งแต่เริ่มปลูก ต่อมาใส่ทุกเดือนหรือ 2 เดือน ใช้ปุ๋ยแบบที่เคยใช้หรือใช้ตาม ๆ กัน ทั้งปุ๋ยเคมีและชีวภาพ เมื่อต้นส้มโอมีอายุได้ 4 ปี ใกล้จะออกดอกจะพ่นสารเคมีทุกอาทิตย์ แม้สาเหตุการปนเปื้อนแคดเมียมอาจมีหลายสาเหตุ แต่ปัจจัยหลักที่สำคัญ นั่นคือดินที่ปนเปื้อนมีผลต่อการสะสมของแคดเมียมในพืชที่ปลูกในพื้นที่นั้นด้วย (เพชรกวินท์ เนื่องสมศรี, 2561)

สำหรับปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ โดยส้มโอพันธุ์ท่าซ้อยมีความแตกต่างกับพันธุ์ขาวแตงกวาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยพันธุ์ท่าซ้อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมปนเปื้อนสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.37 ± 0.34 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (อยู่ในช่วง 1.39–3.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา ได้แก่ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 ± 0.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.40 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณแคดเมียมในส่วนเนื้อส้มโอมีมากกว่าในส่วนของเปลือกส้มโออย่างมีนัยสำคัญ โดยเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมเท่ากับ 0.25 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมา คือ เปลือกส้มโอพันธุ์ทองดี และเปลือกส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

0.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และไม่พบการปนเปื้อน ตามลำดับ ในขณะที่ เช็ก และคนอื่น ๆ (Czech et al., 2021) พบว่า ส้มโอที่สำรวจจากซูเปอร์มาร์เก็ตในประเทศโปแลนด์ มีการสะสมของแคดเมียมในเปลือกส้มโอกมากกว่าส่วนเนื้อของส้มโอ โดยมีปริมาณแคดเมียมเฉลี่ยในส่วนเปลือกเท่ากับ 0.136 ± 0.015 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในเนื้อส้มโอมีค่าเท่ากับ 0.039 ± 0.007 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณแคดเมียมที่สะสมในเปลือกส้มโอมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจพบในส้มโอในจังหวัดพิจิตรนี้ แต่ส่วนของเนื้อส้มโอนั้นมีการปนเปื้อนแคดเมียมที่น้อยกว่ามาก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Rules พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (≤ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อย มีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ร้อยละ 85 และ 95 ตามลำดับ ซึ่งการปนเปื้อนแคดเมียมที่เกินมาตรฐานนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคได้ เช่น ส่งผลทำให้กระดูกเปราะแตกง่าย อาเจียนรุนแรง ปวดท้อง ทำให้ระบบสืบพันธุ์เกิดความผิดปกติ ระบบประสาทส่วนกลางเกิดความเสียหาย และยังสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1990; Assunção et al., 2003) สำหรับประเทศไทยส้มโอถูกจัดให้เป็นผลไม้ประเภทสินค้าที่ผู้ส่งออกต้องมีหนังสือรับรองสารตกค้างจากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ไปแสดงต่อกรมศุลกากรประกอบพิธีการส่งออกไปนอกราชอาณาจักร (กรมวิชาการเกษตร, 2560) โดยแคดเมียมยังไม่มีมาตรฐานการส่งออกในส้มโอ แต่พบในผักและผลไม้แปรรูป ซึ่งส่วนมากจะเป็นการปนเปื้อนจากวัตถุดิบที่ใช้หรือจากภาชนะบรรจุ (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป, 2563) อย่างไรก็ตาม หากผลผลิตส้มโอมีปริมาณการสะสมแคดเมียมสูง อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่นิยมบริโภคส้มโออย่างต่อเนื่องได้ ถึงแม้โลหะหนักไม่ได้ถูกระบุเป็นค่ามาตรฐาน GAP ของการส่งออกผลไม้ไทย แต่เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ และมาตรฐานการส่งออกผลไม้ไทยในอนาคตที่อาจมีการเพิ่มมาตรฐานโลหะหนักในการส่งออกเพื่อนำไปสู่การผลิตส้มโอที่มีคุณภาพเพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้ความแตกต่างของการปนเปื้อนแคดเมียมในแต่ละพื้นที่อาจจะเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน น้ำที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก ระดับความเป็นมลพิษของดินการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (สิทธิชัย อินทร์ปนาม, 2558) อย่างไรก็ตามการปนเปื้อนของแคดเมียมในส้มโอแต่ละสายพันธุ์ก็มีความแตกต่างกัน ด้วยพืชแต่ละชนิดจะมีการสะสมของโลหะหนักที่แตกต่างกันเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับและความต้องการโลหะหนักที่แตกต่างกัน รวมไปถึงความทนทานต่อโลหะหนักที่แตกต่างกันด้วย (ยศเวท สิริจามร และคนอื่น ๆ, 2560)

ดัชนีมลพิษของแคดเมียมในดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา พันธุ์ท่าซ้อย และ พันธุ์ทองดี มีค่าเท่ากับ 1.52, 0.94 และ 0.88 ตามลำดับ ส่วนดัชนีมลพิษของแคดเมียม ในเนื้อส้มโอมีค่าเท่ากับ 0.54, 2.53 และ 2.37 ตามลำดับ ในขณะที่ดัชนีมลพิษของแคดเมียม ในเปลือกส้มโอมีค่าเท่ากับ 1.06, 0.20 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินในสวนส้มโอ ของพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมมากกว่า 1 ซึ่งจัดว่าอยู่ในสภาวะมลพิษ แต่ในทางกลับกันส่วนเนื้อของพันธุ์ขาวแตงกวาจัดว่ายังไม่เป็นมลพิษ ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าศักยภาพการสะสมแคดเมียมในส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีศักยภาพในการเคลื่อนที่ของแคดเมียมจากดินไปสะสมในเนื้อส้มโอ ได้ต่ำ จัดว่าเป็นพันธุ์ที่สามารถปลูกเพื่อการบริโภคได้อย่างปลอดภัย ในขณะที่ดินในสวนส้มโอ ของพันธุ์ท่าซ้อยและพันธุ์ทองดีมีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมต่ำกว่า 1 จัดว่าอยู่ในระดับ ที่ยอมรับได้ แต่ดัชนีมลพิษในส่วนเนื้อนั้นกลับพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ค่า BAF ของส้มโอทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 และ 7.43 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าศักยภาพในการสะสมแคดเมียมมากกว่า 1 นั้นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ว่าส้มโอ ทั้งสองพันธุ์นี้มีแนวโน้มจะเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง โดยเรซวานีและซาฟาเรียน (Rezvani & Zaefarian, 2011) ได้สรุปว่า *Aeluropus littoralis* ซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้ในประเทศอิหร่านมีค่าการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีการศึกษา เกี่ยวกับดัชนีมลพิษและศักยภาพในการสะสมทางชีวภาพของแคดเมียมในส้มโอ แต่ได้มีรายงาน วิจัยว่ามีการนำใบของส้มโอมาทำเป็นสารดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับตะกั่วในน้ำ (Lim et al., 2019) หรือใช้ส่วนของเปลือกส้มโอมาเป็นสารดูดซับทางธรรมชาติในการดูดซับแคดเมียม และตะกั่ว (Dinh et al., 2020) ทั้งนี้ การที่ส้มโอแต่ละพันธุ์มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียม ที่ต่างกันนั้นประกอบด้วยหลายปัจจัย โดยยศเวท สิริจามร และคนอื่น ๆ (2560) กล่าวว่า พืชถึงแม้จะอยู่ในวงศ์เดียวกัน หรือแม้แต่จะเป็นพืชชนิดเดียวกัน หากแต่ขึ้นในสภาวะแวดล้อม ที่แตกต่างกัน เช่น คุณสมบัติของดิน ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เป็นต้น ก็อาจจะส่งผลทำให้ ศักยภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักที่แตกต่างกันได้

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอต้องระมัดระวังเรื่องการใช้สารเคมี ปุ๋ย และ ยาฆ่าแมลงอันเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและส้มโอที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น เช่น น้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรที่อาจมีการปนเปื้อนสารเคมี ร่วมด้วย ดังนั้น ทางภาครัฐโดยเฉพาะองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เกษตรตำบล ควรเข้ามามี ส่วนช่วยผลักดันให้เกิดนโยบายการรวมกลุ่มเพื่อทำเกษตรปลอดภัย เกษตรอินทรีย์หรือ เกษตรปลอดภัย การลดการใช้สารเคมีและให้ความช่วยเหลือในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น

การให้ความรู้เกษตรกรเกี่ยวกับความสำคัญของการลดการใช้สารเคมี การสร้างความร่วมมือ และการมีส่วนร่วมของชุมชน ตลอดจนส่งเสริมให้ผลผลิตส้มโออำเภอโพธิ์ประทับช้างได้รับมาตรฐาน GAP คือแนวทางในการทำการเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและปลอดภัย ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยขบวนการผลิตจะต้องปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค ปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมีไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดความยั่งยืนทางการเกษตรต่อไป (กรมวิชาการเกษตร, 2561)



สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การปนเปื้อนแคดเมียมในตัวอย่างดินของสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาเกือบทั้งหมดในพื้นที่ตำบลโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพธิ์ประทับช้าง จังหวัดพิจิตร มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ มีเพียงดินในสวนส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวาที่มีเพียงร้อยละ 0.01 เท่านั้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับปริมาณการปนเปื้อนแคดเมียมในผลส้มโอ จะเห็นว่ามีการปนเปื้อนแคดเมียมในเนื้อส้มโอกมากกว่าในส่วนเปลือกส้มโอ โดยส่วนของเนื้อส้มโอพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมปนเปื้อนสูงที่สุด รองลงมา คือ เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา ส่วนของเปลือกส้มโอจะมีปริมาณแคดเมียมสูงที่สุดในพันธุ์ขาวแตงกวา รองลงมา คือ พันธุ์ทองดี และพันธุ์ท่าข่อย ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ The Prevention of Food Adulteration Act & Rules ที่กำหนดให้มีปริมาณแคดเมียมในผลไม้ได้ไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าเปลือกส้มโอทุกชนิด และเนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวามีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ร้อยละ 85 และ 95 ตามลำดับ ดินในสวนส้มโอของพันธุ์ขาวแตงกวามีค่าดัชนีมลพิษของแคดเมียมมากกว่า 1 ซึ่งจัดว่าอยู่ในสภาวะมลพิษ แต่ในทางกลับกันส่วนเนื้อของพันธุ์ขาวแตงกวาจัดว่ายังไม่เป็นมลพิษ ในขณะที่ดัชนีมลพิษของเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งจัดว่ามีค่าเกินมาตรฐานที่ดัชนีมลพิษกำหนดไว้ รวมถึงส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยเป็นพันธุ์ส้มโอที่มีศักยภาพในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพมากกว่า 1

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. มีความเป็นไปได้ว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยมีแนวโน้มจะเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง เกษตรกรผู้ปลูกส้มโอจึงควรให้ความระมัดระวังในกระบวนการปลูกจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ อันเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนแคดเมียมในดินและผลส้มโอ

ให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นได้ รวมถึงมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น น้ำจากแหล่งน้ำทางการเกษตรที่อาจมีการปนเปื้อนสารเคมีร่วมด้วย ดังนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการปลูกเป็นแบบอินทรีย์หรือตามมาตรฐาน GAP จะสามารถช่วยให้เกิดการสะสมแคดเมียมในผลผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยได้

2. อาจมีการใช้ส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์ท่าข่อยไปใช้เป็นพืชในการบำบัดดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมได้ เนื่องจากมีค่าศักยภาพการสะสมทางชีวภาพสูง

3. เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรหรือผู้ที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมการเกษตรในเชิงพื้นที่ ควรมีการนำข้อมูลเหล่านี้ไปถ่ายทอดและให้ความรู้แก่เกษตรกรในการผลิตส้มโอ เพื่อให้เกษตรกรได้ทราบว่าในกระบวนการผลิตที่มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรจำนวนมากนั้นสามารถทำให้เกิดการสะสมสารพิษในดินและผลผลิต อันจะนำไปสู่ผลกระทบในด้านการส่งออกและสุขภาพของผู้บริโภคได้ พร้อมทั้งแนะนำการผลิตส้มโอในแนวทางที่สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรและทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพปลอดภัยแก่เกษตรกร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาศักยภาพการสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ในส้มโอพันธุ์ต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง แมงกานีส โครเมียม หรืออาร์ซีนิก เป็นต้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการลดการปนเปื้อนโลหะหนักในผลผลิตส้มโอ รวมถึงนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้เป็นพืชในการบำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนโลหะหนักได้

2. จากในการศึกษานี้ทำให้ทราบว่าส้มโอมีแนวโน้มการสะสมแคดเมียมในปริมาณสูง (Cd-hyperaccumulator) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีการศึกษาการใช้ส้มโอในการบำบัดหรือดูดซับโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ในดินได้ แต่อย่างไรก็ตาม ส้มโอเป็นพืชยืนต้นที่ใช้ระยะการปลูกนานอาจส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในการทดลอง

3. เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ที่ดินสำหรับทำสวนส้มโอให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพต่อไปอย่างยั่งยืน ควรมีการให้เกษตรกรมีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัย โดยการร่วมในการศึกษาความสัมพันธ์ในการใช้สารเคมีทางการเกษตรและปุ๋ยเคมีกับคุณภาพของดิน ซึ่งเกษตรกรสามารถมีส่วนร่วมในการเก็บข้อมูลการใช้สารเคมีในแต่ละรอบการปลูก พร้อมกับการเก็บตัวอย่างดินในแต่ละช่วงเวลาของรอบการผลิตเพื่อนำมาศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน เพื่อให้เป็นข้อมูลนำไปแก้ไขปัญาและพัฒนาคุณภาพของดิน รวมถึงวางแผนแนวทางในการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพื่อลดการปนเปื้อนสารพิษในดินได้ต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2564). *ดินปนเปื้อน*. สืบค้น 1 พฤศจิกายน 2564, จาก https://www.ddd.go.th/Web_Soil/polluted.htm
- กรมวิชาการเกษตร. (2560). *การจัดทะเบียนผู้ส่งออก และกฎ ระเบียบ และเงื่อนไขการส่งออกสินค้าเกษตร ออกนอกราชอาณาจักร*. นนทบุรี : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- _____. (2561). *Good Agricultural Practice/GAP*. สืบค้น 2 มีนาคม 2565, จาก <http://www.foodnetwork solution.com/wiki/word/1637/good-agricultural-practice-gap>.
- เชมชิต ธนาภิชาตเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์, และสุรัชย์ ศิลาภรณ์โชติ. (2551). *ประโยชน์และความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียม*. สืบค้น 20 ธันวาคม 2564, จาก https://www.dss.go.th/images/st-article/cp_4_2551_Cadmium.pdf
- จังหวัดพิจิตร. (2555, 9 พฤศจิกายน). *ภูมิประเทศจังหวัดพิจิตร*. สืบค้น 2 มีนาคม 2564, จาก <http://www.phichit.go.th/phichit/index.php/about/place>
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2560, 2 พฤษภาคม). *ผลิตส้มโอขาวแตงกวาให้ได้คุณภาพ สร้างรายได้ดีหลักแสนถึงหลักล้าน ตลาดนิยมบริโภค ผิวไม่สวยก็ยังขายได้ดีในประเทศ*. สืบค้น 28 ธันวาคม 2563, จาก https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_17908
- ธีรนนท์ วรรณศิริ. (2561). ประสพการณ์การใช้สารเคมีของเกษตรกรชาวสวนส้มโอจังหวัดนครปฐม. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 13(1), 199–209.
- ปิยะดา วชิระวงศกร, เทียมจันทร์ นิลสนธิ, มุกตาภา อ้ายคำ, เกสรา เผือกขาวนา, ธมนวรรณ ฉวยกระโทก, และอรอนงค์ จันทคุณ. (2564). การประเมินความปลอดภัยจากการสะสมแคดเมียมของมะม่วงส่งออกในจังหวัดพิษณุโลก. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 36(1), 1–17.
- พรธัญญา แต้มดี และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การปนเปื้อนโลหะหนักในดินของพื้นที่ผลิตผักเศรษฐกิจในจังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(2), 98–108.
- เพชรกวินท์ เนื่องสมศรี. (2561). *อันตรายภายในดิน*. สืบค้น 2 มีนาคม 2565, จาก <https://www.nsm.or.th/nsm/th/node/6303>
- ยศเวท สิริจามร, ปราบธนา เผือกวิไล, และณิมนารักษ์ อยู่คงแก้ว. (2560). ศักยภาพในการดูดซับและสะสมโลหะหนักของพืชล้มลุกชนิดเด่นบริเวณพื้นที่รอบเหมืองแร่ทองคำ จังหวัดพิจิตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(1), 110–123.

- วิฑูร ไตรยุทธรงค์. (2563, 5 กรกฎาคม). สัมโอพันธุ์ทำข่อยพิจิตรดีตลาดส่งออกกว่า 600 ล้านบาทต่อปี. สืบค้น 11 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.thethaipress.com/2020/12584/>
- ศิริวรรณ จินตา และปิยะดา วชิระวงศกร. (2564). การประเมินปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักเศรษฐกิจ: กรณีศึกษาในตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 28–38.
- สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรต่างประเทศ ประจำสหภาพยุโรป. (2563). *ข่าวสารด้านการเกษตร สหภาพยุโรป: กฎระเบียบและเงื่อนไขในการส่งออก ผัก/ผลไม้แปรรูปไปยังสหภาพยุโรป*. สืบค้น 8 มีนาคม 2564, จาก https://appdb.tisi.go.th/tis_devs/regulate/eu/pdf/Import_Regulation_EU.pdf
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2564). *สถิติการส่งออก (Export)*. สืบค้น 8 มีนาคม 2564, จาก 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
- สิทธิชัย อินทร์ปนาม. (2558). *รูปของโลหะหนักตามความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่สกัดด้วยวิธี sequential extraction* (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยนเรศวร. https://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2558/nre_2558_027_Abstract.pdf
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1990). *Toxicological profile for lead*. U.S. Department of Health and Human Services.
- Assunção, A. G. L., Bookum, W. M., Nelissen, H. J. M., Vooijs, R., Schat, H., & Ernst, W. H. O. (2003). Differential metal-specific tolerance and accumulation patterns among *Thlaspi caerulescens* populations originating from different soil types. *New Phytologist*, 159(2), 411–419. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00819.x>
- Chukwuma, Chrysanthus, Sr. (1994). Evaluating baseline data for lead (Pb) and cadmium (Cd) in rice, yam, cassava, and guinea grass from cultivated soils in Nigeria. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 45(1–2), 45–56. <https://doi.org/10.1080/02772249409358069>
- Czech, A., Malik, A., Sosnowska, B., & Domaradzki, P. (2021). Bioactive substances, heavy metals, and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6662259>

- Dinh, V.-P., Xuan, T. D., Hung, N. Q., Luu, T.-T., Do, T.-T.-T., Nguyen, T. D., Nguyen, V.-D., Anh, T. T. K., & Tran, N. Q. (2020). Primary biosorption mechanism of lead (II) and cadmium (II) cations from aqueous solution by pomelo (*Citrus maxima*) fruit peels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 63504–63515. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10176-6>
- Fitz, W. J. & Wenzel, W. W. (2002). Arsenic transformations in the soil–rhizosphere–plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology*, 99(3), 259–278. [https://doi.org/10.1016/S0168-1656\(02\)00218-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00218-3)
- Jamali, M. K., Kazi, T. G., & Arian, M. B. (2007). Determination of pollution indices. *Environmental pollution handbook* (pp. 209–218). China.
- Liang, J., Chen, C., Song, X., Han, Y., & Liang, Z. (2011). Assessment of heavy metal pollution in soil and plants from Dunhua sewage irrigation area. *International Journal of Electrochemical Science*, 6(1), 5314–5324.
- Lim, L. B. L., Priyantha, N., Lu, Y. C., & Zaidi, N. A. H. M. (2019). Adsorption of heavy metal lead using *Citrus grandis* (pomelo) leaves as low-cost adsorbent. *Desalination and Water Treatment*, 166, 44–52. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24620>
- Lugon-Moulin, N., Ryan, L., Donini, P., & Rossi, L. (2006). Cadmium content of phosphate fertilizers used for tobacco production. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 151–155. <https://doi.org/10.1051/agro:2006010>
- Rahimzadeh, M. & Rastegar, S. (2017). Heavy metals residue in cultivated mango samples from Iran. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 4, 29–31.
- Rezvani, M. & Zaefarian, F. (2011). Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aeluropus littoralis*. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 2(4), 114–119.
- The Prevention of Food Adulteration Act & Rules*. (2004). Retrieved on March 6, 2022, from <https://fssai.gov.in/upload/uploadfiles/files/pfa-acts-and-rules.pdf>
- U.S.-Environmental Protection Agency. (1999). *Integrated Risk Information System (IRIS) on Cadmium*. Office of Research and Development National Center for Environmental Assessment.