

บทความวิจัย

การสำรวจสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนักตกค้างในผักสด
จากตลาดสดในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกกนกทิพย์ จักษ์^{1,*} Ph.D., จุฑา สารินทร์² Ph.D., สรัญญา ถีป้อม¹ วท.ด., วรวิทย์ อินทร์ชม¹ Ph.D.

Received: September 6, 2024

Revised: September 23, 2024

Accepted: September 24, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ เป็นการสำรวจการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ชาติและโลหะหนักในผักสดที่จำหน่ายในตลาดสด อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 8 แห่ง ในช่วงปี พ.ศ. 2566 ตัวอย่างผักแบ่งตามประเภทของส่วนประกอบของผักที่ใช้บริโภค ดังนี้ แครอท กระเทียม กะหล่ำดอก กะหล่ำปลี และถั่วฝักยาว ทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer และ Gas-chromatography flame photometric detector

ผลการศึกษา พบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้าง 11 ชนิด จากการวิเคราะห์ทั้งหมด 26 ชนิด ในช่วงตรวจไม่พบถึง 0.53 mg/kg นอกจากนี้ยังพบ Methamidophos และ Mevinphos ในกะหล่ำปลี และ Monocrotophos ในแครอท ซึ่งเป็นสารเคมีที่จัดอยู่ในบัญชีหมายเลข 1 วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ซึ่งถูกจัดให้เป็นวัตถุอันตรายที่ห้ามการผลิต การนำเข้า การส่งออก การนำผ่าน หรือมีไว้ในครอบครอง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการใช้สารเหล่านี้ในกระบวนการผลิตผักสดในพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ ยังพบการตกค้างของธาตุและโลหะหนัก 14 ชนิด จากการตรวจวัดทั้งหมด 26 ชนิด ในช่วงตรวจไม่พบ ถึง 9,658.43 mg/kg โดยพบโลหะหนัก 3 ชนิด พบโครเมียมและสังกะสีในกระเทียม ขณะที่พบทองแดงในกระเทียมและถั่วฝักยาว ระดับของโลหะเหล่านี้มีค่าเกินปริมาณสารตกค้างโลหะหนักในอาหารที่อนุญาตสูงสุดของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณสุขประชาชนจีน การศึกษานี้ เน้นย้ำถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการเฝ้าระวังและควบคุมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและการปนเปื้อนของโลหะหนักในผักสดอย่างเข้มงวด เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของอาหาร และเพื่อลดและป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภค

คำสำคัญ: การปนเปื้อน ตลาดสด ผักสด โลหะหนัก สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

¹ อาจารย์ สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² อาจารย์ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

* ผู้รับผิดชอบบทความ: kanokthipj@nu.ac.th

Survey of pesticide and heavy metal contamination in fresh vegetables from fresh markets in Mueang District, Phitsanulok Province

Kanokthip Juku^{1,*} Ph.D., Charoon Sarin² Ph.D., Saranya Thiphom¹ Ph.D., Worawit Intrchom¹ Ph.D.

ABSTRACT

This study investigated pesticide residues as well as elemental and heavy metal contamination in fresh vegetables sold in 8 fresh markets in Mueang District, Phitsanulok Province, in 2023. The analyzed vegetables, categorized by edible parts, included carrots, garlic, cauliflower, cabbage, and long beans, with a total of 40 samples analyzed, using an Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer and gas-chromatography flame photometric detector.

The study revealed that, among the 26 analyzed pesticides, 11 pesticides were detected, with concentrations ranging from not detected (ND) to 0.53 mg/kg. The study found the residue of Methamidophos and Mevinphos in cabbage samples and Monocrotophos in carrot samples, which are chemicals classified under Category 1 hazardous substances, Class 4, as per the Hazardous Substances Act B. E. 2535 (1992), which are prohibited for production, import, export, transit, or possession. The findings highlight the use of these pesticides in fresh vegetable production in the study area. Additionally, the study detected 14 elements and heavy metals from the 26 analyzed elements, with concentrations ranging from ND to 9,658.43 mg/kg. Three heavy metals, Chromium (Cr) and Zinc (Zn) were found in garlic samples, while Copper (Cu) was detected in garlic and long beans. The levels of these metals exceeded the maximum allowable limits for heavy metal residues in food as specified by the National Standard of the People's Republic of China. This study highlights the urgent need for vigilant monitoring and strict regulation of pesticide use and heavy metal contamination in fresh vegetables to ensure compliance with food safety standards and to mitigate and prevent risks to consumers' health.

Keywords: Contamination, Fresh markets, Fresh vegetables, Heavy metals, Pesticides

¹ Lecturer, Division of Environmental Health, Faculty of Public Health, Naresuan University

² Lecturer, Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University

* Corresponding author: kanokthipj@nu.ac.th

บทนำ

ผักเป็นพืชอาหารสำคัญที่มนุษย์บริโภคเพื่อการดำรงชีวิต มีรายงานระบุว่า การบริโภคผักจะช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคหัวใจ โรคเมรั้งทางเดินอาหาร และโรคเมรั้งชนิดอื่นๆ รวมถึงโรคหลอดเลือดสมอง โรคเบาหวาน และโรคความดันโลหิตสูงได้ (Thai Health Promotion Foundation, 2017) ประชาชนส่วนใหญ่ในปัจจุบันหันมาใส่ใจกับสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกบริโภคผักที่มีความปลอดภัยเป็นกระแสที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน (Public Relations Office, Office of the Permanent Secretary, Ministry of Public Health, 2019) ด้วยเหตุนี้ ทำให้การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพิ่มมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการในการเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของผู้บริโภค แม้กระทั่งผักพื้นบ้านก็ยังพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเกินเกณฑ์ที่ปลอดภัยถึงร้อยละ 9.6 จากจำนวน 116 ตัวอย่าง (Malasee, Toson, Lamee, & Boonkhao, 2021) นอกจากนี้ การใช้สารเคมีดังกล่าวและปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่อง อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายและปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและน้ำอีกด้วย โดยโลหะหนักมักเป็นส่วนผสมหรือปนเปื้อนอยู่ในปุ๋ยเคมีและสารเคมีที่ใช้ในการทำการเกษตร ทำให้เกิดเป็นสาเหตุหนึ่งของสารตกค้างในผักที่เกษตรกรเก็บมาจำหน่าย ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคที่บริโภคผักดังกล่าวได้รับสารพิษตกค้างในร่างกาย และเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ ได้

ท่ามกลางมลสารที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม โลหะหนักเป็นสารพิษที่มีความเป็นพิษสูงต่อสิ่งมีชีวิต และโลหะหนักมีความสามารถในการสะสมอยู่ในผัก และสามารถเพิ่มปริมาณมากขึ้นได้ตามห่วงโซ่อาหาร (Kiatsayomphu & Chaiklieng, 2012) จากรายงานผลการตรวจสอบหาสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างในผักและผลไม้ ประจำปี พ.ศ. 2563 ของเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบการตกค้างของสารเคมีในพืชผักเกินค่ามาตรฐานร้อยละ 57.7 โดยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบประกอบด้วย กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต (Thailand Pesticide Alert Network, 2020) นอกจากนี้ ยังมีรายงานที่แสดงการตกค้างของโลหะหนักในผัก

เป็นจำนวนมาก พบผักที่มีการตกค้างของโลหะหนักในระดับไม่ปลอดภัยโดยที่พบมากที่สุด ได้แก่ ผักคะน้า พบสารตะกั่วร้อยละ 13.3 และสารทองแดง ร้อยละ 20.0 รองลงมา คือ ผักบุ้ง ซึ่งพบสารตะกั่ว ร้อยละ 6.7 และพบสารทองแดง ร้อยละ 13.3 (Butsaya & Panassaya, 2020) ดังนั้น หากผู้บริโภครับประทานพืชผักที่มีการสะสมของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนัก สามารถทำให้เกิดการสะสมสารพิษดังกล่าวในร่างกายตามไปด้วย (Wachirawongsakon, 2021)

จังหวัดพิษณุโลกเป็นศูนย์กลางพัฒนาการค้าของกลุ่มภาคเหนือตอนล่างทั้งทางด้านเศรษฐกิจ การค้า การบริการ และยังมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการทำการเกษตร (Phitsanulok Province, 2023) อีกทั้ง ในอำเภอเมืองมีตลาดสดจำนวนมากหลายแห่ง ที่ประชาชนในพื้นที่นิยมใช้บริการในการจัดหาวัตถุดิบโดยเฉพาะผักสดมาประกอบอาหาร ประกอบกับข้อมูลจากรายงานที่ผ่านมา พบการปนเปื้อนของสารเคมีในผักสดที่จัดจำหน่ายในตลาดสด (Insuan, Kanjanayanurak, Phansri, Wattanalai, Charoensin, & Krudkird, 2009; Sungngarm, Sakrangkul, Krongnut, Yuvasavet, Chanadee, & Hnuploy, 2020; Jinta & Wachirawongsakon, 2021) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาปริมาณการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช รวมถึงธาตุและโลหะหนักในผักสดจากตลาดสดในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก การศึกษานี้จะเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริโภคในการเลือกผักให้มีความปลอดภัย และยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเฝ้าระวังความปลอดภัยของผักสดสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการยกระดับคุณภาพและควบคุมความปลอดภัยด้านอาหาร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสำรวจปริมาณการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักสดที่จำหน่ายในตลาดสด อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อสำรวจประมาณการตกค้างของโลหะหนักในผักสดที่จำหน่ายในตลาดสด อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืช รวมถึงธาตุและโลหะหนักที่ตกค้างในผักสดที่จัดจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยเก็บตัวอย่างผักสดจากตลาดสดเทศบาลนครพิษณุโลก และตลาดสดนอกเขตเทศบาลนครพิษณุโลก โดยดำเนินการศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2566

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสุ่มตัวอย่างผักสด ทั้งหมด 5 ชนิด แบ่งตามประเภทของส่วนที่ต้องการบริโภค ประกอบด้วย แครอท (ส่วนราก) กระเทียม (ส่วนหัว) กะหล่ำดอก (ส่วนดอก) กะหล่ำปลี (ส่วนใบ) และถั่วฝักยาว (ส่วนผล) จำนวน 40 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างผักสดแต่ละชนิด จากตลาดสดในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก จำนวน 6 แห่ง และตลาดสดนอกเขตเทศบาลนครพิษณุโลก จำนวน 2 แห่ง

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การตรวจหาปริมาณการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในครั้งนี้วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas-chromatography flame photometric detector (GC-FPD) โดยวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืช 26 ชนิด ประกอบด้วย สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 18 ชนิด และสารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ 8 ชนิด สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของธาตุและโลหะหนัก 26 ชนิด วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) ดังตาราง 1

ตาราง 1 รายละเอียดและขีดจำกัดในการตรวจวัดของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ธาตุและโลหะหนักเป้าหมาย

ลำดับ	ธาตุและโลหะหนัก	LOD	LOQ	สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	LOD	LOQ
1	เงิน (Ag)	1.10	3.66	Methamidophos	0.001	0.02
2	อะลูมิเนียม (Al)	0.06	0.19	Mevinphos	0.002	0.05
3	สารหนู (As)	0.01	0.03	Diazinon	0.001	0.02
4	โบรอน (B)	0.07	0.24	Dicrotophos	0.002	0.04
5	แบเรียม (Ba)	0.01	0.02	Monocrotophos	0.003	0.09
6	เบริลเลียม (Be)	1.10	3.66	Dimethoate	0.001	0.02
7	แคลเซียม (Ca)	0.21	0.70	Pirimiphos-metyl	0.001	0.03
8	แคดเมียม (Cd)	0.01	0.02	Chlorpyrifos	0.002	0.03
9	โคบอลต์ (Co)	0.01	0.02	Parathion-metyl	0.001	0.01
10	โครเมียม (Cr)	0.02	0.07	Malathion	0.008	0.02
11	ทองแดง (Cu)	0.01	0.02	Fenitrophos	0.001	0.01
12	เหล็ก (Fe)	0.04	0.15	Prothiophos	0.001	0.05
13	โพแทสเซียม (K)	0.14	0.47	Methidathion	0.001	0.03
14	แมกนีเซียม (Mg)	0.05	0.16	Profenphos	0.001	0.01
15	แมงกานีส (Mn)	0.01	0.02	Ethion	0.008	0.05
16	โมลิบดีนัม (Mo)	0.01	0.02	Triazophos	0.001	0.02
17	โซเดียม (Na)	0.12	0.41	EPN	0.001	0.01
18	นิกเกิล (Ni)	0.01	0.04	Azinphos-ethyl	0.002	0.06
19	ตะกั่ว (Pb)	0.01	0.03	Fenpropatrin	0.007	0.01
20	พลวง (Sb)	1.10	3.66	L-Cyhalothrin	0.001	0.01
21	ซีลีเนียม (Se)	0.02	0.05	Permethrin	0.001	0.01
22	ซิลิคอน (Si)	0.09	0.29	Cyflutrin	0.001	0.05
23	ไทเทเนียม (Ti)	1.10	3.66	Cypermethrin	0.002	0.02
24	ทาลเลียม (Tl)	0.00	0.00	Fenvalerate	0.001	0.05
25	วาเนเดียม (V)	1.10	3.66	Esfenvalerate	0.001	0.05
26	สังกะสี (Zn)	0.01	0.02	Dethamethrin	0.001	0.05

หมายเหตุ: LOD (Limit of detection) หมายถึง ขีดจำกัดของการตรวจวัดได้ (หน่วย mg/kg)

LOQ (Limit of quantitation) หมายถึง ขีดจำกัดการหาปริมาณ (หน่วย mg/kg)

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ลงพื้นที่สำรวจตลาดสดเทศบาลนครพิษณุโลก 6 แห่ง และนอกเขตเทศบาลนครพิษณุโลก 2 แห่ง

2. นำผลจากการลงพื้นที่สำรวจมาประชุมคณะวิจัย เพื่อวางแผนการเก็บข้อมูล

3. เก็บตัวอย่างผักสดจากตลาดสดในพื้นที่ศึกษา โดยตัวอย่างผักสด 1 ชนิด เก็บตัวอย่างจากทุกร้านที่จำหน่ายผักสดชนิดนั้นๆ ร้านละ 1 กิโลกรัม หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมารวมกันในภาชนะที่สะอาดและปราศจากการปนเปื้อน คลุกเคล้าให้เข้ากันอย่างทั่วถึง เพื่อให้ตัวอย่างที่รวมได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และทำการสุ่มขึ้นมาจากการรวมตัวอย่าง ปริมาณ 1 กิโลกรัม เพื่อเป็นตัวแทนของ 1 ตัวอย่างในการวิเคราะห์

4. บันทึกรายละเอียดของการเก็บตัวอย่าง เช่น แหล่งที่มา วันที่เก็บ ปริมาณที่เก็บ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ที่สำคัญต่อการวิเคราะห์และการสรุปผล

5. หลังจากเก็บตัวอย่างแยกใส่ถุงซิปล็อก เก็บไว้ในกล่องโฟมบรรจุน้ำแข็งปัดสนิท นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ อย่างเหมาะสมควบคุมอุณหภูมิและส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และทำการควบคุมอุณหภูมิจนกระทั่งถึงขั้นเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

6. การเตรียมตัวอย่าง หั่นตัวอย่างผักสดเป็นชิ้นเล็กๆ อย่างละเอียด ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน และสุ่มตัวอย่าง ผักและซังน้ำหนักรวม 500 กรัม สำหรับวิเคราะห์ ปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ดำเนินการเตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ด้วย Gas-chromatography flame photometric detector (GC-FPD) ตามวิธีของ Silipunyo, Hongsibsong, Phalaraksh, Laoyang, Kerdnoi, & Patarasirivong et al. (2017) นอกจากนี้ ตัวอย่างผักสด 0.2 กรัม ถูกสกัดด้วยเทคนิคสกัดด้วยไมโครเวฟ โดยเติมกรดไนตริก 9 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.0 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง จากนั้นนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 210 °C และพลังงาน 18,000 วัตต์ เป็นเวลา 35 นาที

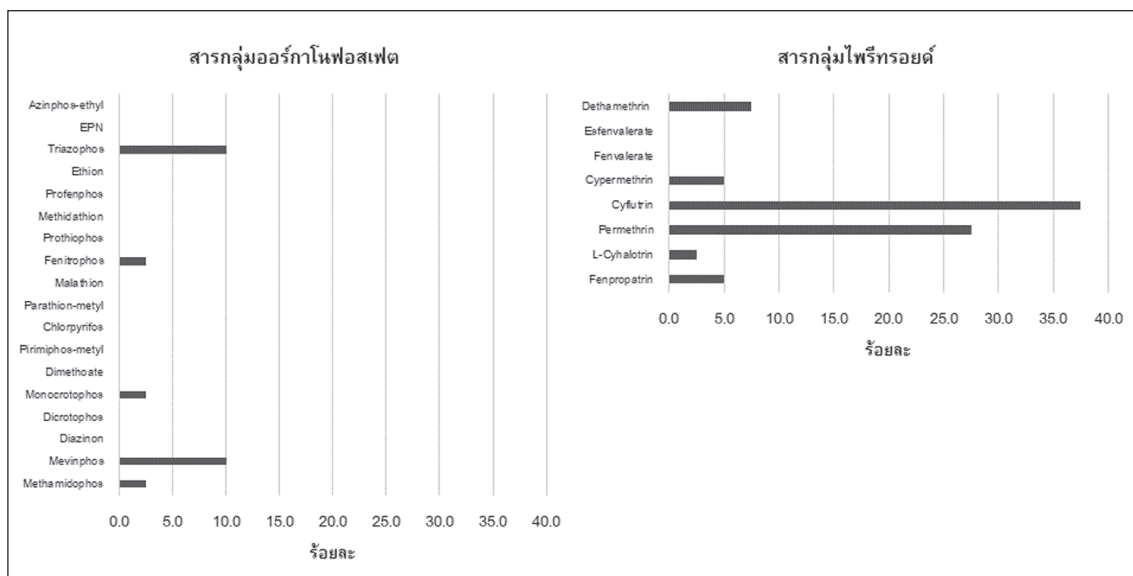
หลังจากนั้น ปลอยให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง ผสมสารละลายที่ได้กับน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง Vortex และกรองด้วยไส้กรองขนาด 0.2 ไมโครเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES) ตามวิธีการของ Kawichai, Bootdee, Sillapapiromsuk, & Janta (2022) โดยใช้แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.99% ในการวิเคราะห์ และใช้การตรวจวัดแบบแกนแนวตั้ง (Axial detection) กราฟมาตรฐานของความเข้มข้นของธาตุในการวิเคราะห์ อยู่ในช่วง 0.01-10.00 µg/mL และใช้กรดไนตริกเป็น Reagent blank

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลการปนเปื้อนและการตกค้างของสารเคมี ที่สนใจวิเคราะห์ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของปริมาณ การตกค้างสารกลุ่มเป้าหมายที่ศึกษา

ผลการวิจัย

จากการสำรวจในผักสด 5 ชนิด ได้แก่ กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก ถั่วฝักยาว แครอท และกระเทียม ที่จำหน่ายในตลาดสดในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 40 ตัวอย่าง พบว่า ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟตทั้งหมด 5 ชนิด ในตัวอย่างผักสด อย่างน้อย 1 ตัวอย่าง โดย Mevinphos และ Triazophos ถูกตรวจพบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 10.0 ขณะที่ Methamidophos Monocrotophos และ Fenitrothos พบร้อยละ 2.5 ของตัวอย่างผักสดทั้งหมด สำหรับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์ สารที่ตรวจพบมากที่สุด ได้แก่ Cyfluthrin พบร้อยละ 37.5 รองลงมา ได้แก่ Permethrin ร้อยละ 27.5 ขณะที่ตรวจพบการตกค้าง Dethamethrin Fenprothrin Cypermethrin และ L-Cyhalothrin ร้อยละ 7.5 5.0 5.0 และ 2.5 ตามลำดับ แสดงดังภาพ 1



ภาพ 1 อัตราการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (ด้านซ้าย) และกลุ่มไพรีทรอยด์ (ด้านขวา) ในตัวอย่างผักสด (n = 40)

การศึกษานี้ มุ่งเน้นไปที่การสำรวจสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างผักสด ซึ่งถูกวิเคราะห์ภายใต้ขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต พบการตกค้างของ Methamidophos ในกะหล่ำปลีที่ความเข้มข้น 0.23 mg/kg ในขณะที่ไม่พบในตัวอย่างอื่นๆ และพบการตกค้างของ Mevinphos ในกะหล่ำปลีที่ปริมาณเฉลี่ย 0.04 ± 0.03 (ความเข้มข้นต่ำสุด 0.02 mg/kg และสูงสุด 0.08 mg/kg) สำหรับตัวอย่างแครอท พบการตกค้างของ Monocrotophos ที่ระดับ 0.53 mg/kg Triazophos พบอยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.29 mg/kg สำหรับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์ ตรวจพบการตกค้างในผักหลายชนิด ระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.01-0.04 mg/kg

โดย Fenpropatrin พบการตกค้างในถั่วฝักยาว ในขณะที่ L-Cyhalothrin พบการตกค้างในแครอท สำหรับ Permethrin พบการตกค้าง ได้แก่ ถั่วฝักยาว กะหล่ำดอก กระเทียม และแครอท เช่นเดียวกับการพบการตกค้างของ Cyfluthrin ในถั่วฝักยาว กระเทียม และแครอท ในขณะที่ Cypermethrin พบในกะหล่ำดอก มีปริมาณเฉลี่ย 0.11 ± 0.14 (การตกค้างอยู่ในช่วง 0.01-0.21mg/kg) ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสารเคมีอื่นในกลุ่มเดียวกันและพบการตกค้างของ Dethamethrin ในกะหล่ำดอกและแครอท ปริมาณการตกค้างเฉลี่ยของสารกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่างผักสด แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชตกค้างในตัวอย่างผักสด (n = 8)

สารกำจัดศัตรูพืช		ค่าปริมาณเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mg/kg)				
		ถั่วฝักยาว	กะหล่ำปลี	กะหล่ำดอก	กระเทียม	แครอท
กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต	Methamidophos	ND	0.23 $\pm$ 0.00	ND	ND	ND
	Mevinphos	ND	0.04 $\pm$ 0.03	ND	ND	ND
	Monocrotophos	ND	ND	ND	ND	0.53 $\pm$ 0.00
	Fenitrophos	ND	ND	0.01 $\pm$ 0.00	ND	ND
	Triazophos	ND	ND	ND	ND	0.16 $\pm$ 0.12
สารกลุ่มไพรีทรอยด์	Fenpropatrin	0.01 $\pm$ 0.00	ND	ND	ND	ND
	L-Cyhalothrin	ND	ND	ND	ND	0.01 $\pm$ 0.00
	Permethrin	0.01 $\pm$ 0.00	ND	0.02 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01
	Cyflutrin	0.01 $\pm$ 0.00	ND	ND	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01
	Cypermethrin	ND	ND	0.11 $\pm$ 0.14	ND	ND
	Dethamethrin	ND	ND	0.03 $\pm$ 0.00	ND	0.02 $\pm$ 0.00

หมายเหตุ: ND = Not detected

สำหรับธาตุและโลหะหนักที่ตรวจวัด พบว่า มีธาตุและโลหะหนัก 14 ชนิดจากทั้งหมด ที่ตรวจพบอย่างน้อย 1 ตัวอย่างผักสด ประกอบด้วย อะลูมิเนียม (Al) โบรอน (B) แบเรียม (Ba) แคลเซียม (Ca) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) โซเดียม (Na) นิกเกิล (Ni) ซิลิคอน (Si) และ สังกะสี (Zn) โดยแสดงดังภาพ 2 นอกจากนี้ ธาตุและโลหะหนัก 12 ชนิด ไม่สามารถตรวจพบได้ (ND: Not detected) ภายใต้อัตราการตรวจวัด (LOD:

Limit of detection) ที่กำหนดในการศึกษา ประกอบด้วย เงิน (Ag) สารหนู (As) เบริลเลียม (Be) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) โมลิบดีนัม (Mo) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) ซีลีเนียม (Se) ไทเทเนียม (Ti) ทังสเตียม (Ta) และ วาเนเดียม (V) โดยตรวจพบร้อยละ 100.0 ได้แก่ Al B Ca Fe K Mg Na Si และ Zn ส่วน Ba มีการตรวจพบร้อยละ 80.0 Cr และ Ni มีการตรวจพบต่ำกว่าร้อยละ 10.0

ตาราง 3 ร้อยละการปนเปื้อนธาตุและโลหะหนักในตัวอย่างผักสด (n = 40)

ชนิดผัก	ธาตุและโลหะหนัก													
	Al	B	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Si	Zn
กะหล่ำปลี	20.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	0.0	20.0	20.0
กะหล่ำดอก	20.0	20.0	2.5	20.0	0.0	2.5	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	0.0	20.0	20.0
ถั่วฝักยาว	20.0	20.0	7.5	20.0	0.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	5.0	20.0	20.0
แครอท	20.0	20.0	2.5	20.0	0.0	2.5	20.0	20.0	20.0	17.5	20.0	0.0	20.0	20.0
กระเทียม	20.0	20.0	7.5	20.0	2.5	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	2.5	20.0	20.0

จากธาตุและโลหะหนัก 14 ชนิดที่ตรวจพบ ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนัก พบว่า มีความแตกต่างกันในผักแต่ละชนิด แร่ธาตุที่พบมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แคลเซียม (Ca) พบมากที่สุดในกระเทียม ($4,780.93 \pm 639.64$ mg/kg) และถั่วฝักยาว ($4,195.84 \pm 810.21$ mg/kg) โดยพบในปริมาณสูงในผักทุกชนิดที่ทำการสำรวจ รองลงมา คือ โพแทสเซียม (K) พบมากในกระเทียม ($4,298.98 \pm 154.71$ mg/kg) และกะหล่ำดอก ($2,538.66 \pm 736.77$ mg/kg) ตามด้วย แมกนีเซียม (Mg) พบมากในถั่วฝักยาว ($3,205.47 \pm 516.52$ mg/kg) และกระเทียม ($2,664.02 \pm 154.88$ mg/kg) นอกจากนี้ แร่ธาตุที่พบน้อยที่สุด

ได้แก่ แบเรียม (Ba) พบในปริมาณน้อยในกะหล่ำดอก (0.02 ± 0.00 mg/kg) ถั่วฝักยาว (15.46 ± 8.93 mg/kg) แครอท (1.14 ± 0.00 mg/kg) และกระเทียม (1.30 ± 1.93 mg/kg) ส่วนโครเมียม (Cr) ไม่พบในผักเกือบทุกชนิดที่ทำการสำรวจ ยกเว้นกระเทียมที่พบปริมาณน้อย (16.12 ± 0.00 mg/kg) และนิกเกิล (Ni) ไม่พบในกะหล่ำปลีกะหล่ำดอก และแครอท (ND) แต่พบในปริมาณน้อยในถั่วฝักยาว (3.22 ± 0.59 mg/kg) และกระเทียม (12.42 ± 0.00 mg/kg) รายละเอียดค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแร่ธาตุและโลหะหนักที่ตรวจพบแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณ (Mean $\pm$ S.D.) แร่ธาตุและโลหะหนัก (mg/kg) ที่พบปนเปื้อนในตัวอย่างผักสด (n = 8)

แร่ธาตุ และ โลหะหนัก	ค่าปริมาณเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mg/kg)				
	กะหล่ำปลี	กะหล่ำดอก	ถั่วฝักยาว	แครอท	กระเทียม
Al	8.59 $\pm$ 3.62	25.21 $\pm$ 19.69	51.73 $\pm$ 28.00	8.91 $\pm$ 4.96	15.83 $\pm$ 6.17
B	8.72 $\pm$ 1.84	10.79 $\pm$ 4.48	16.91 $\pm$ 3.86	10.76 $\pm$ 4.33	18.86 $\pm$ 2.23
Ba	ND	0.02 $\pm$ 0.00	15.46 $\pm$ 8.93	1.14 $\pm$ 0.00	3.46 $\pm$ 1.36
Ca	4121.00 $\pm$ 677.85	2705.92 $\pm$ 1399.26	4195.84 $\pm$ 810.21	2430.46 $\pm$ 893.59	4780.93 $\pm$ 639.64
Cu	ND	0.18 $\pm$ 0.00	7.31 $\pm$ 3.03	0.24 $\pm$ 0.00	7.63 $\pm$ 2.03
Cr	ND	ND	ND	ND	16.12 $\pm$ 0.00
Fe	20.07 $\pm$ 3.95	50.30 $\pm$ 25.36	89.43 $\pm$ 26.06	10.77 $\pm$ 5.31	121.05 $\pm$ 66.41
K	1693.87 $\pm$ 174.32	2538.66 $\pm$ 736.77	1854.82 $\pm$ 313.27	2347.00 $\pm$ 333.45	4298.98 $\pm$ 154.71
Mg	1364.17 $\pm$ 130.42	1318.26 $\pm$ 547.67	3205.47 $\pm$ 516.52	1024.55 $\pm$ 415.44	2664.08 $\pm$ 154.88
Mn	28.89 $\pm$ 18.66	8.27 $\pm$ 8.09	106.72 $\pm$ 67.31	13.40 $\pm$ 12.35	22.54 $\pm$ 2.38
Na	757.02 $\pm$ 173.60	1020.57 $\pm$ 443.21	304.96 $\pm$ 132.56	6140.14 $\pm$ 2838.03	781.42 $\pm$ 292.64
Ni	ND	ND	3.22 $\pm$ 0.59	ND	12.42 $\pm$ 0.00
Si	70.84 $\pm$ 25.08	117.32 $\pm$ 92.46	966.63 $\pm$ 291.54	82.08 $\pm$ 33.12	142.33 $\pm$ 28.86
Zn	16.43 $\pm$ 3.03	20.93 $\pm$ 9.24	46.78 $\pm$ 13.96	10.29 $\pm$ 7.06	67.17 $\pm$ 18.33

หมายเหตุ: ND = Not detected

สรุปและอภิปรายผล

การสำรวจสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนักตกค้างในตัวอย่างผักสดที่จำหน่ายในตลาดสด 8 แห่งของอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวนทั้งหมด 40 ตัวอย่าง ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 11 ชนิด จาก 26 ชนิด โดย Methamidophos เป็นสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ที่พบในปริมาณสูงที่สุด 0.23 mg/kg ในตัวอย่างกะหล่ำปลี ซึ่งสารเคมีดังกล่าว เป็นสารเคมีลำดับที่ 60 ของบัญชีหมายเลข 1 วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 และที่แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2551 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข เลขที่ 387 พ.ศ. 2560 เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง ซึ่งวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ที่ถูกกำหนดให้เป็นวัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออก การนำผ่าน หรือ มีไว้ในครอบครอง (Ministry of Public Health, 2017) นอกจากนี้ ยังตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 4 อื่นๆ ได้แก่ Mevinphos ใน

กะหล่ำปลี และ Monocrotophos ในแครอทโดยสารดังกล่าว เป็นวัตถุอันตรายที่ห้ามใช้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องบัญชีวัตถุอันตราย พ.ศ. 2538 เนื่องจาก Monocrotophos มีพิษเฉียบพลันสูง และพบการตกค้างในผลผลิตการเกษตรในปริมาณสูงเกินค่าปลอดภัย รวมถึง Mevinphos มีพิษเฉียบพลันสูงเช่นเดียวกัน มีผลบังคับห้ามใช้เมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2543 ในขณะที่ Methamidophos มีพิษเฉียบพลันสูงและมักพบสารพิษตกค้างในสินค้าเกษตรเสมอ มีผลกระทบต่อการใช้บริโภคและการส่งออก ถูกห้ามใช้ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2546 (Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2022) ขณะเดียวกันยังตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ ที่ถูกกำหนดปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum residue limits) ในมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 9002-2559) แต่พบค่าที่ยังอยู่ในมาตรฐาน ได้แก่

Cypermethrin และ Deltamethrin ในกะหล่ำดอก (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2016)

ทั้งนี้ การตรวจหาปริมาณการปนเปื้อนของธาตุและโลหะหนัก 26 ชนิด สามารถตรวจพบด้วยขีดจำกัดของการตรวจวัดได้น้อย 1 ตัวอย่าง จำนวน 14 ชนิด สำหรับมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อนของประเทศไทย ได้มีการปรับปรุงใหม่ในประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ซึ่งได้กำหนดค่าปริมาณสูงสุดของโลหะหนัก 5 ตัว จากเดิมที่จะมีการกำหนดค่าของสังกะสีและทองแดงด้วย จึงได้นำผลการศึกษาเทียบค่ามาตรฐานในต่างประเทศที่มีลักษณะการบริโภควิถีชีวิตและวัฒนธรรมใกล้เคียงกันเพิ่มเติม เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงสถานการณ์การปนเปื้อนที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และเมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักตกค้างในอาหารที่อนุญาตสูงสุดของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณสุขประชาชนจีน (National Food Institute, 2023) มีธาตุ 3 ชนิด ที่ตรวจพบในตัวอย่างผักที่มีเกณฑ์ระบุในมาตรฐาน ได้แก่ โครเมียม (Cr) พบในตัวอย่าง กระเทียม จำนวน 1 ตัวอย่าง ที่ความเข้มข้น 16.12 mg/kg ในขณะที่มาตรฐานกำหนดอนุญาตในผักสด ไม่เกิน 0.5 mg/kg (GB 14961-94) โดยภาวะพิษโครเมียมสามารถเกิดได้ทั้งในลักษณะเฉียบพลัน และเรื้อรัง รวมถึงโครเมียมในรูป Hexavalent chromium ยังเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (Human carcinogen) อีกด้วย (Ramathibodi Poison Center, Faculty of Medicine Ramathibodi Mahidol University, 2001) ขณะเดียวกันตรวจพบ สังกะสี (Zn) ในตัวอย่างกระเทียมทุกตัวอย่างในช่วงความเข้มข้น 43.89-98.40 mg/kg (ค่าเฉลี่ย 67.17 ± 18.33) ซึ่งมาตรฐานปริมาณโลหะหนักตกค้างในอาหารที่อนุญาตสูงสุดของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณสุขประชาชนจีน กำหนดอนุญาตในผักสด ไม่เกิน 20 mg/kg (GB 13106-91) ทั้งนี้แม้ว่า สังกะสี จะเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อย แต่หากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดการสะสมและมีผลกระทบได้ ความเป็นพิษเมื่อได้รับในปริมาณมาก ได้แก่ มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องส่วนบน อ่อนเพลีย เป็นต้น (Fosmire, 1990) และที่น่าสนใจคือ ตรวจพบทองแดง (Cu)

ในตัวอย่างกระเทียม และถั่วฝักยาวทุกตัวอย่าง ในช่วงความเข้มข้น 4.51-10.17 (ค่าเฉลี่ย 7.63 ± 2.03) และ 0.47-10.16 (ค่าเฉลี่ย 7.31 ± 3.03) ตามลำดับ ในขณะที่มาตรฐานกำหนดอนุญาตในผักสด ไม่เกิน 10 mg/kg (GB 15199-94) โดยหากร่างกายสะสมทองแดงในปริมาณมาก อาจทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร อาเจียน เม็ดเลือดแดงแตกตัว ทำลายตับ และยับยั้งการทำงานของตับ (Suwanaruang, 2019)

จากผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า สอดคล้องกับเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (Thai-PAN) ที่รายงานว่าพบการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแครอท และถั่วฝักยาวเกินค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum residue limits: MRL) ของกระทรวงสาธารณสุข ที่จำหน่ายในตลาดในประเทศไทย ร้อยละ 19.0 และร้อยละ 44.0 ตามลำดับ (Thailand Pesticide Alert Network, 2020) และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Jareerat & Juksu (2022) ในการศึกษาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักไฮโดรโปนิกส์ ได้แก่ เรดโอ๊ค กรีนโอ๊ค กรีนคอส และเรดคอส ที่จัดจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ที่พบการตกค้างของร้อยละ 37.5 ของตัวอย่างทั้งหมด สะท้อนถึงมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในกระบวนการผลิต และเมื่อมาถึงผู้บริโภคยังมีส่วนที่ตกค้างและอาจเป็นปัญหาต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ในอนาคต นอกจากนี้ สอดคล้องกับผลการรายงานของ Jinta & Wachirawongsakorn (2021) ที่มีการประเมินโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผักเศรษฐกิจในตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก แม้ว่าจะศึกษาในตัวอย่างผักต่างชนิดกัน แต่พบการปนเปื้อนของสังกะสีและทองแดงในตัวอย่างผัก พบความเข้มข้นของสังกะสีในช่วง 3.81-60.63 mg/kg เมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักตกค้างในอาหารที่อนุญาตสูงสุดของมาตรฐานแห่งชาติสาธารณสุขประชาชนจีน พบว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่ปริมาณสังกะสีตกค้างในอาหารเกินค่าที่อนุญาตสูงสุด ตามมาตรฐานแห่งชาติสาธารณสุขประชาชนจีน ที่กำหนดไว้ค่าสูงสุดในผักสด 20 mg/kg (Food intelligence center, 2004) ในขณะที่ทองแดง (Cu) ตรวจพบความเข้มข้นในช่วง 1.79-14.56 mg/kg ซึ่งส่วนใหญ่ไม่เกินค่ามาตรฐานปริมาณทองแดงตกค้าง

ในอาหารที่อนุญาตสูงสุด ตามมาตรฐานแห่งสาธารณสุขรัฐประชาชนจีน ที่กำหนดไว้ค่าสูงสุดในผักสด 10 mg/kg (Food intelligence center, 2004) ดังนั้น ควรมีการเฝ้าระวังและการควบคุมการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรอย่างเข้มงวด และการทบทวนมาตรการในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในผักที่มีการตกค้างสูง เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนักในผักสดที่จำหน่ายในตลาดสดในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนและกำหนดมาตรการควบคุมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในภาคเกษตรกรรม หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถใช้ข้อมูลนี้เพื่อเฝ้าระวังและปรับปรุงนโยบายด้านความปลอดภัยทางอาหาร

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรขยายขอบเขตการศึกษาไปยังพื้นที่อื่นๆ เพื่อประเมินการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและโลหะหนักในผักสดจากแหล่งผลิตและตลาดอื่นๆ ทั่วประเทศ นอกจากนี้ ควรศึกษาผลกระทบระยะยาวของการบริโภคผักสดที่มีการปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนักที่พบในงานวิจัยนี้ต่อสุขภาพของผู้บริโภค รวมทั้งการวิจัยเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนของสารเคมีและโลหะหนักในระบบการผลิตผัก เช่น ประเภทของดิน สภาพภูมิอากาศ และวิธีการเพาะปลูก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวรประจำปี 2566

เอกสารอ้างอิง

- Butsaya, S., & Panassaya, Y. (2020). *Heavy metal residues in vegetables at fresh markets in Bang Yi Khan Subdistrict, Bang Phlat District, Bangkok*. Thesis of Bachelor of Science, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2022). *Agricultural hazardous substances declared as type 4 hazardous substances*. Retrieved August 30, 2024, from https://www.doa.go.th/ard/?page_id=67 (in Thai)
- Food intelligence center (2004). *Maximum residue limits in food*. Retrieved August 30, 2024, from https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/CN_662.pdf (in Thai)
- Fosmire, G.J. (1990). Zinc toxicity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51(2), 225-227.
- Insuan, W., Kanjanayanurak, D., Phansri, N., Wattanalai, R., Charoensin, S., & Krudkird. (2009). A study on pesticide contamination (Organophosphate and carbamate groups) in vegetables and fruits. *Research Exhibition: On the research path of Kasetsart University in the National Agriculture Day 2009*. N.P. (in Thai)
- Jareerat, N., & Juksu, K. (2022). Pesticide residues in hydroponic vegetables retailed in Mueang District, Phitsanulok Province. *Journal of Public Health Naresuan University*, 4(1), 48-60. (in Thai)

- Jinta, S., & Wachirawongsakom, P. (2021). Evaluation heavy metals contaminated of economic vegetables: Case study in Bueng Phra Sub-District, Muang District, Phitsanulok. *PSRU Journal of Science and Technology*, 6(1), 28-38. (in Thai)
- Kawichai, S., Bootdee, S., Sillapapiromsuk, S., & Janta, R. (2022). Epidemiological study on health risk assessment of exposure to pm 2.5-bound toxic metals in the industrial metropolitan of Rayong, Thailand. *Sustainability*, 14, 15368. (in Thai)
- Kiatsayomphu, S., & Chaiklieng, S. (2012). Health risk assessment on the consumption of lead-contaminated aquatic animals from fishery resource in the overflow marsh. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 17(4), 671-686. (in Thai)
- Malasee, J., Toson, R., Lamee, S., & BoonKhao, L. (2021). Pesticide residues in local vegetables at Bungwai Subdistrict, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province. *Journal of Safety and Health*, 14(2), 208-218. (in Thai)
- Ministry of Public Health. (2017). *Hazardous substances act B.E. 2535 and its amendments B. E. 2551, Annexed to the Ministry of Public Health Notification No. 387 B. E. 2560 on Food containing pesticide residues*. Retrieved September 7, 2021, from https://exfood.fda.moph.go.th/law/data/compilation/Compi_387.pdf (in Thai)
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2016). *Pesticide residues: Maximum residue limits*. Retrieved August 30, 2024, from <https://www.acfs.go.th/standard/download/MAXIMUM-RESIDUE-LIMITS.pdf> (in Thai)
- National Food Institute. (2023). *Maximum levels of heavy metal residues in food*. Retrieved September 1, 2024, from https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/CN_662.pdf (in Thai)
- Phitsanulok Province. (December, 2023) *Phitsanulok Province development goals for 20 years, 2023-2042. (Revised Edition)*. Retrieved December 30, 2023, from <https://www.phitsanulok.go.th/strategy/plan20years.pdf?1> (in Thai)
- Public Relations Office, Office of the Permanent Secretary, Ministry of Public Health. (November 1, 2019). *The government pharmaceutical organization (GPO) cares about public health and ensures safety from chemical hazards by producing insecticide testing kits for consumer safety*. Retrieved August 12, 2020, from <https://pr.moph.go.th/?url=pr/detail/2/02/133913> (in Thai)
- Ramathibodi Poison Center, Faculty of Medicine Ramathibodi Mahidol University (2001). *Chromium*. Retrieved September 1, 2024, from https://www.rama.mahidol.ac.th/poisoncenter/th/bulletin/bul_01/v9n4/Chromium (in Thai)
- Sasananant, C. (2012). *Determination of heavy metals in homegrown vegetables*. Thesis of Bachelor of Science, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Silipunyo, T., Hongsibsong, S., Phalaraksh, C., Laoyang, S., Kerdnoi, T., Patarasiriwong, V., & Prapamontol, T. (2017). Determination of organophosphate pesticides residues in fruits, vegetables and health risk assessment among consumers in Chiang Mai Province, Northern Thailand. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 11(1), 20-27. (in Thai)

- Sungngarm, S., Sakrangkul, K., Krongnut, L., Yuvasavet, K., Chanadee, A., & Hnuploy, K. (2020). Contamination of organophosphate and carbamate residues and methods of washing fresh vegetables in market, Surat Thani Province: A case study of Pho Wai fresh market. *Journal of Health Science, Thaksin University*, 2(1), 1-8. (in Thai)
- Suwanaruang, T. (2019). Heavy metal contaminated in environments and health effects. *Research and Development Health System Journal*, 13(1), 76-82. (in Thai)
- Thai Health Promotion Foundation, (2017). *Why do we need to eat at least 400 grams of vegetables and fruits*. Retrieved July 27, 2020, from www.thaihealth.or.th. (in Thai)
- Thailand Pesticide Alert Network. (2020, December 7). *Thai pan's 2020 random vegetable test results reinforce that hydroponics vegetables are not safer*. Retrieved September 7, 2021, from <https://thaipan.org/action/2302>. (in Thai)
- Wachirawongsakon, P., Ninsonti, T., Aykam, M., Phueakchaona, K., Chueygratok, T., & Jantakun, O. (2021). Safety evaluation on cd-bioaccumulation of exported mango in Phitsanulok. *Thai Journal of Toxicology*, 36(1), 1-17 (in Thai)