การติดตามและเฝ้าระวังการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน และโลหะหนักในไข่เป็ดไล่ทุ่งและสิ่งแวดล้อมในเขตภาคกลางของประเทศไทย

Monitoring and surveillance of organochlorine pesticide residues and heavy metals in free-grazing duck eggs and environment in central part of Thailand

สนทนา มิมะพันธุ์[1]* อนุสรณ์ อยู่เย็น[1] พนม ใสยจิตร์[1] กัญญ์พิชญา ธีระพันธ์[1]
รัชนี ทิพย์กล่อม[1] ภัทราวดี วัฒนสุนทร[1] พรรณวิมล ตันหัน[2] กาญจนา อิ่มศิลป์[2]

Sontana Mimapan[1*] Anusorn Yooyen[1] Panom Saijit[1] Kanpichaya Teerapan[1]
Ratchanee Thipklom[1] Phattarawadee Wattanasuntorn[1] Panwimol Tanhan[2] Kanjana Imslip[2]

Abstract

Background: The distribution of environmental contaminations such as pesticides (OC) and heavy metals has led to the importance of food safety and hygiene especially in regard to free grazing duck eggs. Since Thai people tend to consume duck eggs due to the enrichment as their sources of high proteins and fats. However, the consumption of duck eggs is still a question because raising ducks in the paddy fields and habitats poses a risk of OC and heavy metals contamination. Therefore, the aims of this study are to determine OC and heavy metal residues in free-grazing duck eggs and their surrounding environments and to evaluate the health risks of consuming duck eggs contaminated with OC and heavy metals in central Thailand.

Methods: Duck eggs, soil, and water samples were collected from 8 provinces in the central region. The samples included 640 duck eggs, 320 paddy soil, and 320 water. 20 types of OC were analyzed by Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS) and 11 heavy metals were analyzed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES). Then the correlation among the contamination levels of duck eggs, soil, and water was conducted. After that contamination levels of duck eggs concerning health risk (THQ) was assessed.

Results: The results showed that the highest contamination of OC (Endrin) was found in duck eggs (0.8215–3.0360 mg/kg), followed by Metoxychlor and DDT, respectively. In soil samples, the highest contamination was found in Heptachlor epoxide (0.2061–26.1740 mg/kg), followed by Aldrin and β-BHC, respectively. Besides, in water samples, the highest contamination was found in endosulfan sulfate (0.0077–0.4978 mg/kg) followed by Aldrin and Endrin ketone, respectively. In addition, the highest level of heavy metals in duck eggs, soil and water was found in Zn (40.6060-380.8650 mg/kg), followed by Fe, Cu and Mn. When assessing the health risk from duck egg consumption, the health risk factor (THQ) was less than 1, which indicates that duck eggs produced in the central region can be consumed. But the amount of consumption for health safety (ADI) must not beyond 62.87 grams per day or not more than 3 eggs per day.

Conclusions: Based on the research, it can be concluded that duck eggs, paddy soil and water in the central region of Thailand were still the sources of OC and heavy metals contamination. However, the result of health risk assessment suggested that the amount of duck egg consumption must not more than 3 eggs per day.

Keywords: Residue, Organochlorine, Heavy metals, Free-grazing duck eggs, Environment, Central part of Thailand

[1]National Institute of Animal health, Kasetklang, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900
[2]Department of Phamacology, Faculty of Veterinary Medicine, Kasertsart University, Bangkok, 10900 Thailand
*Corresponding author: Tel. 02 5798908-14 Ext 405 Fax. 02 5798919 E-mail: sontanam@dld.go.th
[1] สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติ กรมปศุสัตว์ เกษตรกลาง ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย
[2] ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900 ประเทศไทย
* ผู้เขียน/ผู้รับผิดชอบบทความ: โทรศัพท์ 0-2579-8908-14 ต่อ 405 โทรสาร 0-2579-8919 อีเมล: sontanam@dld.go.th

บทคัดย่อ

ที่มาของการศึกษา: การกระจายตัวของมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น สารกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะสาร OC และโลหะหนักก่อให้เกิดความตระหนักถึงความสำคัญด้านความปลอดภัยและสุขอนามัยทางด้านอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไข่เป็ดที่เลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง เนื่องจากคนไทยนิยมบริโภคไข่เป็ดเป็นจำนวนมาก เพราะไข่เป็ดเป็นแหล่งโปรตีนและไขมันที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย แต่การเลี้ยงเป็ดแบบไล่ทุ่งนั้น ทำให้เป็ดมีความเสี่ยงที่จะได้รับสัมผัสกับสาร OC และโลหะหนักจากอาหารที่กิน และสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัย จนส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนในไข่เป็ดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการติดตาม เฝ้าระวัง และประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและโลหะหนักในไข่เป็ดไล่ทุ่งและสิ่งแวดล้อมในเขตภาคกลางของประเทศไทย

วิธีการ: โดยทำการเลือกพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อเก็บตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำจาก 8 จังหวัดในเขตพื้นที่ภาคกลาง โดยทำการเก็บตัวอย่างไข่เป็ดไล่ทุ่งทั้งหมด 640 ฟอง ตัวอย่างดิน 320 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำ 320 ตัวอย่าง นำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ OC จำนวน 20 ชนิด โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS) และตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก 11 ชนิด โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) จากนั้นหาความสัมพันธ์ของปริมาณการปนเปื้อนในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ นำค่าปริมาณการปนเปื้อนของ OC และ โลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ดที่ได้มาทำการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (THQ) จากบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่ง

ผล: พบว่าในไข่เป็ดพบการปนเปื้อน OC ชนิด Endrin สูงที่สุด โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.8215–3.0360 mg/kg รองลงมา คือ Metoxychlor และ DDT ตามลำดับ ในตัวอย่างดินพบการปนเปื้อนของ Heptachlor epoxide สูงที่สุด โดยปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2061–26.1740 mg/kg รองลงมา คือ Aldrin และ β-BHC ตามลำดับ นอกจากนี้ในตัวอย่างน้ำพบการปนเปื้อนของ Endosulfan sulfate สูงที่สุด โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0077–0.4978 mg/kg รองลงมา คือ Aldrin และ Endrin ketone จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ พบว่าปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำพบการปนเปื้อนของ Zn สูงที่สุด โดยพบการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40.6060–380.8650 mg/kg รองลงมา คือ Fe, Cu และ Mn เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งพบว่าค่าความเสี่ยงด้านสุขภาพ (THQ) มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นว่าการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งจากฟาร์มในเขตภาคกลางสามารถบริโภคได้ แต่ต้องบริโภคในปริมาณไม่เกิน 62.87 กรัมต่อวัน หรือประมาณไม่เกิน 3 ฟองต่อวันเพื่อความปลอดภัยจากการได้รับสารปนเปื้อน OC และโลหะหนักไม่ให้เกินกับปริมาณที่สามารถรับประทานได้ต่อวัน (ADI)

สรุป: จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ไข่เป็ดไล่ทุ่ง ดิน และน้ำในนาข้าวที่ใช้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่ง ยังคงพบการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนัก อย่างไรก็ตามผลการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งในปริมาณไม่เกิน 3 ฟองต่อวัน ยังคงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

คำสำคัญ การปนเปื้อน ออร์กาโนคลอรีน โลหะหนัก ไข่เป็ดไล่ทุ่ง สิ่งแวดล้อม ภาคกลางของประเทศไทย

บทนำ

จากรายงานขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ปี 2001 พบว่าในโลกมีสารเคมีที่มนุษย์ผลิตขึ้นมากกว่า 6 ล้านชนิด ประมาณร้อยละ 10 ของจำนวนสารเคมีทั้งหมดเป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน และยังมีสารเคมีที่เกิดขึ้นใหม่อีกปีละ 1,000 ชนิด ในจำนวนนี้เป็นสารเคมีประเภท สารกำจัดแมลงมากกว่า 250 ชนิด และ สารกำจัดวัชพืช มากถึง 150 ชนิด

สารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine, OC) เป็นสารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารกำจัดแมลงที่มีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และ

สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก (Jayaraj *et al*., 2016) เนื่องจาก OC เป็นสารที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารที่มีความคงทนสูง (Persistent Organic Pollutants, POPs) จึงทำให้มีการตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน (Tzanetou and Kalasari, 2022) และยังละลายได้ดีในไขมัน (Jayaraj *et al*., 2016) ความเป็นพิษของ OC ขึ้นอยู่กับปริมาณที่สัตว์และคนได้รับ โดยเมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับ OC เข้าสู่ร่างกายจะไปมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยระบบทางเดินหายใจจะได้รับผลกระทบมากกว่าระบบทางเดินอาหาร (Briz *et al.,* 2011) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความผิดปกติต่อระบบต่อมไทรอยด์ซึ่งเป็นตัวสร้างฮอร์โมนหลายชนิดที่สำคัญต่อการทำงานของร่างกาย และยังมีรายงานอีกว่าการได้รับ OC ทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งปอดและมะเร็งกระเพาะอาหารได้อีกด้วย (Wolf *et al*., 1993)

นอกจาก OC แล้ว โลหะหนักก็เป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ต้องให้ความกังวลกับการปนเปื้อนในอาหารจากสิ่งแวดล้อม โดยโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกายหากได้รับในปริมาณเล็กน้อย (trace elements) แต่หากได้รับมากเกินไปอาจเป็นอันตรายได้ เช่น ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) และโลหะหนักบางชนิดมีความเป็นพิษต่อร่างกายและถูกจัดให้ขึ้นบัญชีดำเนื่องจากมีพิษร้ายแรงมากต่อคน เช่น ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) และแคดเมียม (Cd) เป็นต้น (Hassaan *et al*., 2016) ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเรื่องการปนเปื้อนของโลหะหนักในอาหารและสิ่งแวดล้อมที่เข้าไปปนอยู่ในน้ำและดินมากขึ้นเนื่องจากเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของคน (Real *et al.,* 2017; Xiao *et al*., 2017) พบว่ามีการปนเปื้อนโลหะหนักในบริเวณที่เพาะปลูกข้าว เนื่องจากมีแหล่งอุตสาหกรรมในบริเวณใกล้เคียง มีการทิ้งของเสียจากโรงงานลงสู่ดินและน้ำ การปนเปื้อนจากน้ำมัน รวมถึงมีการใช้ปุ๋ยเคมีหรือมูลสัตว์ รวมทั้งยาฆ่าแมลงที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ประเทศไทยมีรายงานการใช้สารประกอบคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) เพื่อกำจัดหอยเชอรี่ที่ระบาดในนาข้าว จึงทำให้พบการตกค้างของทองแดงในปริมาณสูงในน้ำที่ปล่อยออกมาจากบริเวณเพาะปลูกข้าว บริเวณบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ (Dummee *et al.,* 2012) ส่งผลให้เกิดการตกค้างในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้ยังมีการรายงานการตรวจพบโลหะหนักที่ตกค้างในไข่เป็ดในเขตจังหวัดสุพรรณบุรี โดยปริมาณของ เหล็ก (Fe) ที่ตรวจพบ คือ 670 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่อาจส่งผลต่อสุขภาพจากการบริโภคได้ (Tanhan *et al*., 2014)

การทำนาและการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งในประเทศไทยเป็นอาชีพที่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมากในลักษณะการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยเกษตรกรจะปล่อยเป็ดในทุ่งนาเพื่อให้ได้กินเมล็ดข้าวและหอยเชอรี่ที่เป็นแหล่งอาหารธรรมชาติ หากพื้นที่ที่ใช้เลี้ยงและอาหารนั้นมีการปนเปื้อนของสารพิษ ทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและตกค้างในไข่เป็ดได้ เนื่องจากเป็ดไล่ทุ่งมีการสัมผัสดินและน้ำที่ปนเปื้อนสารเหล่านี้อยู่ ด้วยเหตุที่ไข่เป็ดมีประโยชน์ต่อร่างกายเนื่องจากอุดมไปด้วยสารอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ คนไทยจึงนิยมบริโภคและแปรรูปไข่เป็ด อีกทั้งในปัจจุบันประชาชนได้ตระหนักถึงอันตรายจากการปนเปื้อนของสารพิษในอาหาร ดังนั้นการตรวจหาการตกค้างของ OC และโลหะหนักในไข่เป็ดไล่ทุ่งจึงมีความสำคัญทางความปลอดภัยด้านอาหาร (food safety) เพื่อให้สามารถป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการบริโภคไข่เป็ดที่มีการปนเปื้อนรวมถึงเป็นการส่งเสริมการบริโภคไข่เป็ดภายในประเทศ มีรายงานการตรวจพบสารเคมี OC ในไข่เป็ดไล่ทุ่งจากประเทศจีน โดยพบสาร Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) อยู่ในช่วง 100–730 ng/kg (Xu *et al*., 2015) ทั้งนี้ในประเทศไทยมีรายงานการผลิตไข่เป็ดสูงเป็นอันดับ 2 (6.5%) ของโลกรองจากจีน (80.8%) (Huang and Lin, 2011) และมีรายงานการตรวจพบสารเคมีกลุ่ม OC ในไข่เป็ดในจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งแม้พบในปริมาณต่ำ แต่สามารถส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (Ketyam *et al*., 2016) การศึกษาครั้งนี้เลือกเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเป็นบริเวณเพาะปลูกข้าวที่สำคัญของประเทศ และมีความอุดมสมบูรณ์ของอาหารและแหล่งน้ำสำหรับใช้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่ง ซึ่งการตรวจสอบการปนเปื้อนของสารพิษดังกล่าวในไข่เป็ดไล่ทุ่งและสิ่งแวดล้อมจากบริเวณดังกล่าว จะเป็นข้อมูลที่สำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งสามารถใช้ส่งเสริมการบริโภคไข่เป็ดทั้งในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการติดตาม เฝ้าระวัง และประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการปนเปื้อนของ

สารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและโลหะหนักในไข่เป็ดไล่ทุ่งและสิ่งแวดล้อมในเขตภาคกลางของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

เลือกพื้นที่ปลูกข้าวเพื่อเก็บตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำจาก 8 จังหวัดในเขตพื้นที่ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง ลพบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท และ สระบุรี (ภาพที่ 1)

ประชากรและตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

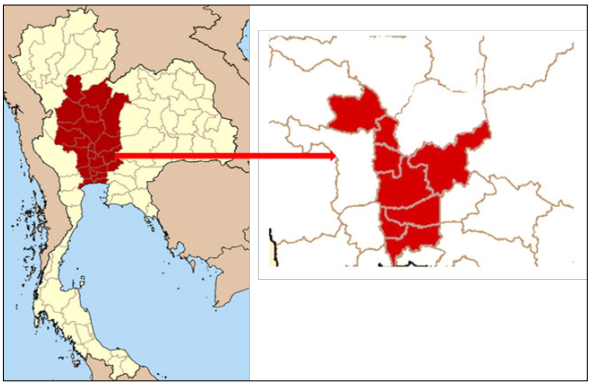
ประชากรที่ใช้ในการศึกษาเป็นประชากรเป็ดไล่ทุ่งพันธุ์กากีแคมเบลอายุระหว่าง 6 เดือน ถึง 2 ปี ที่เลี้ยงในแปลงนาของเกษตรกร ใน 8 จังหวัดภาคกลางของประเทศไทย โดยทั้ง 8 จังหวัดมีจำนวนประชากรเป็ดไล่ทุ่งทั้งสิ้น 1,628,385 ตัว (ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, 2557) ทำการเก็บตัวอย่างไข่เป็ดไล่ทุ่งทั้งหมด 640 ฟอง โดยแบ่งเป็นจังหวัดละ 4 ฟาร์ม ฟาร์มละ 20 ฟอง จำนวนตัวอย่างที่ได้มาจากการคำนวณตามสูตรของ Yamane (1967) ร่วมกับวิธีการสุ่มแบบง่าย (Whittemore, 1997)

ตัวอย่างดิน และน้ำ สุ่มเก็บตัวอย่างดิน และน้ำในบริเวณพื้นที่เลี้ยงเป็ด 8 จังหวัด จังหวัดละ 4 ฟาร์ม ฟาร์มละ 10 ตัวอย่าง รวมเป็นตัวอย่างดิน 320 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำ 320 ตัวอย่าง การสุ่มตัวอย่างจะทำการสุ่มตามหลักของการเก็บตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม (Allen, 1989) รายละเอียดของตัวอย่างใช้ในการศึกษาดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ จะทำการสกัดโดยใช้วิธี Liquid-liquid extraction โดยทำการชั่งตัวอย่างดินจำนวน 20 g เติม Ethyl acetate 75 ml เขย่าด้วย shaker ที่ความเร็วรอบ 2,100 g/min นาน 5 h กรองผ่าน Na_2SO_4 ลดปริมาตรด้วย Acetronitrile 2 ml แล้วทำการตรวจวิเคราะห์หาการตกค้างของสารกำจัดแมลง OC 20 ชนิด ได้แก่ α-BHC, γ-BHC, β-BHC, δ-BHC, Heptachlor, Aldrin, Heptachlor epoxide, γ-chlordane, Endosulfan I, α-chlordane, DDE, Dieldrin, Endrin, Endosulfan II, DDD, Endrin aldehyde, DDT, Endosulfan sulfate, Metoxychlor และ Endrin ketone ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC-MS) ยี่ห้อ Agilent รุ่น MSD 5973 ควบคุมสภาวะการทำงานของเครื่องดังนี้ Mode pulse spitless, SIM mode column DB5-MS capillary, 30 m x 0.25 mm id, 0.25 µm film thickness, injector 230 °C MS Transfer Line 280 °C, MS Quad temperature 150 °C, Ms source 230 °C Oven program 100 °C (1 min) อัตรา 15 °C/min 180 °C (1 min) อัตรา 3 °C/min 200 °C (0 min) อัตรา 1 °C/min 210 °C (0 min) อัตรา 15 °C/min 29 °C (5 min) Carrier gas helium flow 1.4 ml/min Injection volume 1 µl (Birich *et al.*, 2020)

การตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก จะทำการสกัดตัวอย่างไข่เป็ดตามวิธีของ Stahr (1999) ส่วนตัวอย่างดิน



ภาพที่1 แผนที่จังหวัดในเขตภาคกลางจำนวนทั้งหมด 21 จังหวัด (ซ้าย) แต่พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษามีทั้งหมด 8 จังหวัด (ขวา)

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรและตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

จังหวัด	ชนิด/ จำนวนตัวอย่าง		
	ไข่เป็ดไล่ทุ่ง	ดิน	น้ำ
กรุงเทพมหานคร	80	40	40
พระนครศรีอยุธยา	80	40	40
อ่างทอง	80	40	40
ลพบุรี	80	40	40
ชัยนาท	80	40	40
สระบุรี	80	40	40
สิงห์บุรี	80	40	40
ปทุมธานี	80	40	40
รวม	640	320	320

และน้ำจะนำมาสกัดตามวิธีมาตรฐานของ United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2000) โดยจะนำตัวอย่างที่ได้เติมสารตามวิธีข้างต้น ทำการย่อยบน hot plate ระวังไม่ให้สารละลายเดือด ย่อยจนสารละลายเหลือปริมาตร 10–20 ml ยกลงจากเตาทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรตัวอย่างให้ได้ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 11 ชนิดได้แก่ As, Cd, โคบอลต์ (Co), โครเมียม (Cr), Cu, Fe, แมงกานีส (Mn), โมลิบดีนัม (Mo), Pb, นิกเกิล (Ni) และ Zn ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Optima 2100 ตามวิธีของ McBride (2011)

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (Method validation)

ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และ ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) ของการตรวจวัดจะใช้การดูจากค่า Signal to Noise (S/N ratio) โดยค่า LOD จะใช้ค่า S/N ratio ที่ 3:1 ส่วนค่า LOQ จะใช้ S/N ratio ที่ 10:1 ในการทดสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยง (Health risk assessment)

การประเมินความเสี่ยงจากได้รับสาร OC และโลหะหนักจะใช้การประเมินจากค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสสาร (Target hazard quotient, THQ) แต่รายละเอียดในการคำนวณทั้ง 2 กลุ่มนี้จะมีรายละเอียดและการคำนวณที่แตกต่างกัน ดังนี้

การหาค่า THQ (OC) จะประเมินความเสี่ยงโดยอ้างอิงจากค่าระดับความเสี่ยงจาก FAO/WHO (2010) ตามสมการ

$$\text{Target hazard quotient (THQ)} = \frac{\text{EDI}}{\text{ADI}} \times 100\%$$

โดยที่

Exposure daily intake (EDI) คือ ค่าการสัมผัส (mg/kg/day.)

Acceptable daily intake (ADI) คือ ปริมาณสารที่ร่างกายสามารถรับได้ (mg/kg/day)

ส่วนการหาค่า THQ (โลหะหนัก) จะประเมินความเสี่ยงโดยอ้างอิงระดับความเสี่ยงจาก USEPA (2000) ตามสมการ

$$\text{Target hazard quotient (THQ)} = \frac{\text{EFxEDxFIRxC}}{\text{RFDxWABxTA}} \times 10^{-3}$$

โดยที่

Exposure frequency (EF) คือ ความถี่ในการบริโภค (365 days/year)

Exposure duration (ED) คือ ระยะเวลาการบริโภคกำหนดให้เป็น 70 years

Food ingestion rate (FIR) คือ อัตราการบริโภคต่อครั้ง (62.87 g/person/time)

Metal concentration (C) คือ ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบ (mg/kg)

Oral reference dose (RFD) คือ ปริมาณการบริโภคอ้างอิง (mg/kg/day)

Average body weight (WAB) คือ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวของประชาชนในประชากรไทย (60 kg)

Averaging exposure time for non-carcinogens (TA) คือ ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ไม่ทำให้เกิดมะเร็ง

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การนำเสนอข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนักจะรายงานในรูปแบบค่าเฉลี่ย ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณของ OC และโลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ จะทำการทดสอบโดยการหาค่าความสัมพันธ์โดยใช้สถิติ Pearson's correlation โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.05

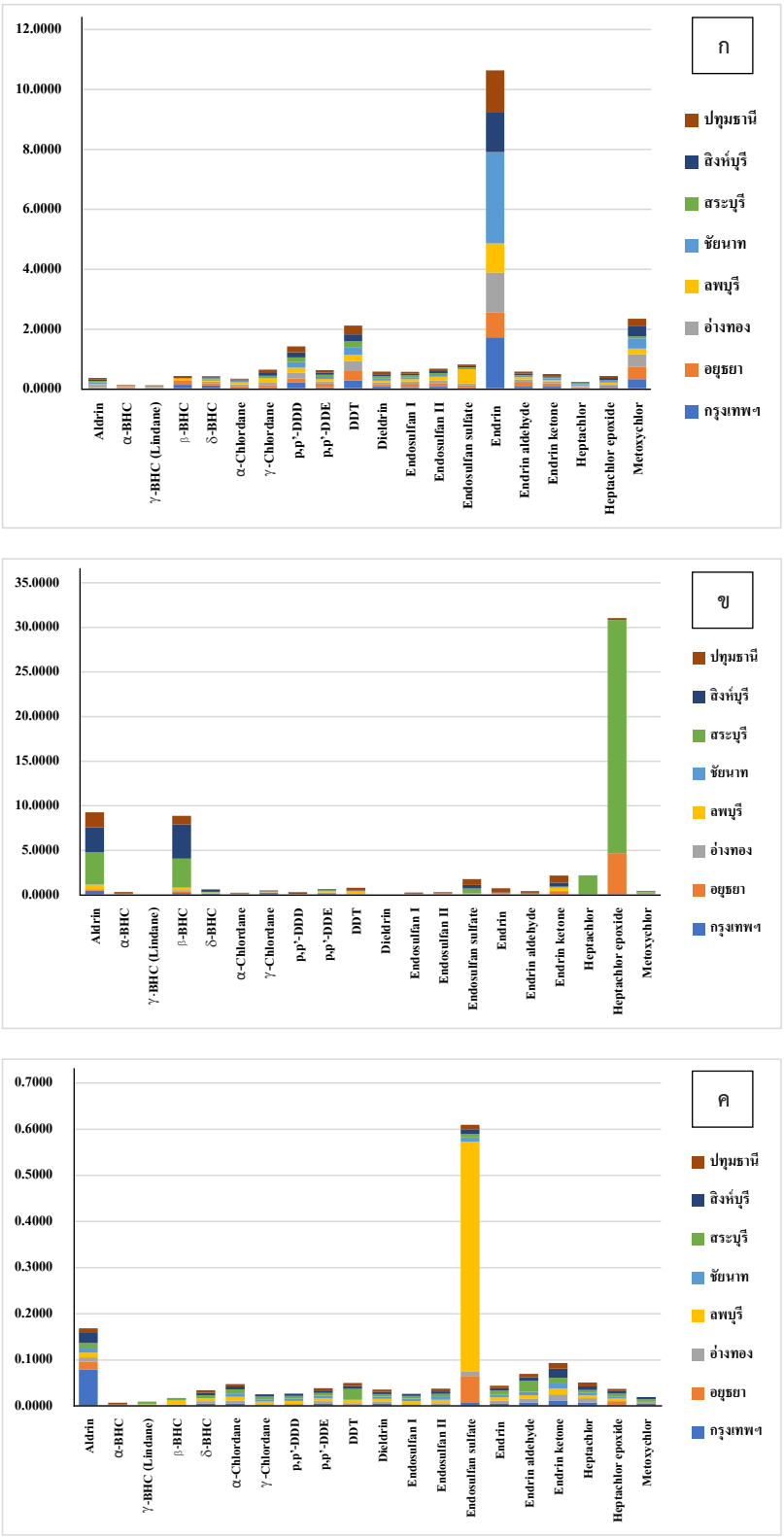
ผลและวิจารณ์

การควบคุมคุณภาพของผลการทดสอบ

LOD ของ OC ของการศึกษานี้ คือ อยู่ในช่วง 0.01-0.03 µg/kg ส่วน LOQ ของการตรวจวัดของ OC คือ 0.05-0.09 µg/kg ในขณะที่ LOD ของโลหะหนัก คือ 0.5-0.8 µg/kg และ LOQ ของโลหะหนัก คือ 1.0–3.5 µg/kg

ปริมาณการปนเปื้อนของ OC ในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำในพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของ OC ในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ พบว่าปริมาณการตกค้างของ OC ในตัวอย่างไข่เป็ดพบการปนเปื้อนของ Endrin สูงที่สุด โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.8215–3.0360 mg/kg รองลงมา คือ Metoxychlor และ DDT โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0643–0.4216 mg/kg และ 0.2090–0.3325 mg/kg ตามลำดับ โดยจังหวัดที่พบการปนเปื้อนของสารทั้ง 3 ชนิดนี้มากที่สุด คือ จังหวัดชัยนาท รองลงมา คือ จังหวัดอ่างทอง และปทุมธานี ตามลำดับ (ภาพที่ 1 ก) ในตัวอย่างดินพบการปนเปื้อนของ Heptachlor epoxide สูงที่สุด โดยปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.2061–26.1740 mg/kg รองลงมา คือ Aldrin และ β-BHC โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0078–3.6363 mg/kg และ 0.0047–3.2539 mg/kg ตามลำดับ จังหวัดที่มีการปนเปื้อนของสาร 3 ชนิดนี้สูงสุด คือ จังหวัดสระบุรี รองลงมา คือ จังหวัดสิงห์บุรี และ จังหวัดปทุมธานี ตามลำดับ (ภาพที่ 1 ข) นอกจากนี้เมื่อทำการตรวจการปนเปื้อนของ OC ในตัวอย่างน้ำที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาพบการปนเปื้อนของ Endosulfan sulfate สูงที่สุด โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0077–0.4978 mg/kg รองลงมา คือ Aldrin และ Endrin ketone โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0087–0.0798 mg/kg และ 0.0020–0.0193 mg/kg ตามลำดับ จังหวัดที่พบการปนเปื้อนของสาร 3 ชนิดนี้สูงสุด คือ จังหวัดลพบุรี รองลงมา คือจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ตามลำดับ (ภาพที่ 1 ค) จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การใช้สารกำจัดแมลงกลุ่ม OC ในนาข้าวไม่ได้มีผลกระทบเฉพาะแต่ตัวเกษตรกรผู้ใช้เองเท่านั้น ยังพบการตกค้างในดิน และน้ำอีกด้วย โดยการแพร่กระจายของ OC ในแหล่งน้ำนั้นจะเป็นแหล่งสุดท้ายของการรองรับการตกค้างของ OC และถ่ายทอดไปสู่สิ่งมีชีวิตที่อาศัยหรือใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้น (Edwards, 1997) มีการศึกษาความเข้มข้นของสาร OC ในน้ำและปลาในแม่น้ำของรัฐ Edo ประเทศไนจีเรีย โดย Lindane, Aldrin, pp-DDE, op-DDD, op-DDT และ pp-DDT ถูกตรวจพบทุกแหล่งน้ำ และถูกตรวจพบในเนื้อปลาด้วยเช่นกัน (Ize-lyamu and Egwakhide, 2007) นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาการตกค้างของ OC ชนิด Endosulfan ในแหล่งน้ำเกษตรกรรมทางภาคเหนือของประเทศไทย พบว่าปริมาณการปนเปื้อนของ Endosulfan พบปริมาณการปนเปื้อนสูงกว่าค่า regulatory limit ในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น (Sangchan *et al*., 2013) สำหรับการตกค้างของสาร OC ในไข่เป็ดได้มีการศึกษาการตกค้างของ OC ชนิด Endosulfan ในเป็ดไล่ทุ่งที่เลี้ยงในจังหวัดสุพรรณบุรี ผลการศึกษาพบการตกค้างของ OC ชนิด Endosulfan sulfate ซึ่งพบการปนเปื้อนในไข่แดงมากกว่าไข่ขาว ปริมาณการปนเปื้อนที่พบในไข่แดงพบการปนเปื้อน 6.73 ng/g ส่วนในไข่ขาวพบการปนเปื้อน 4.78 ng/g ตามลำดับ (Ketyam *et al*., 2016)

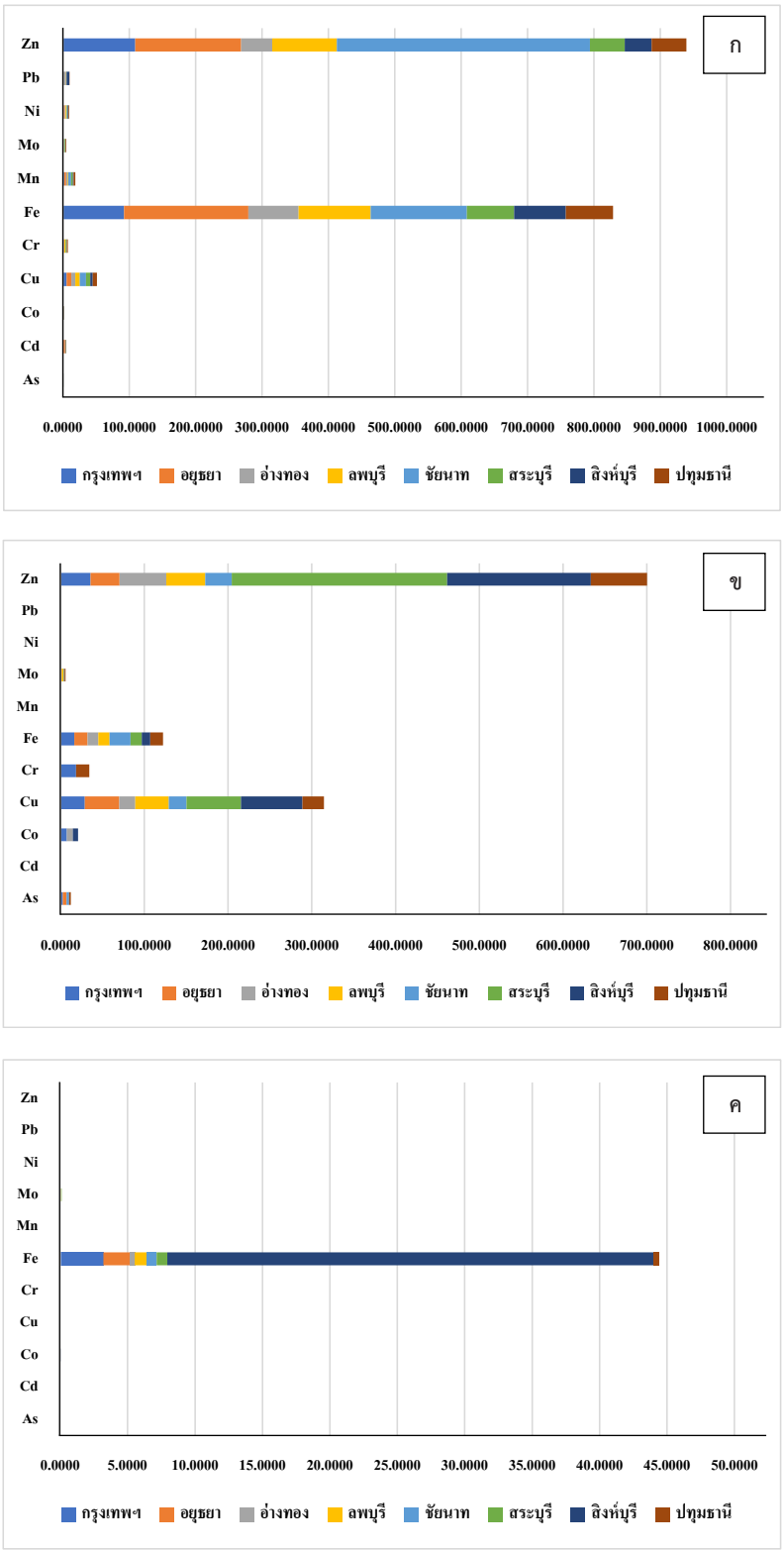


ภาพที่ 1 ชนิดและปริมาณเฉลี่ย (mg/kg) ของ OC ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาทั้ง 8 จังหวัด (ก) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของ OC ที่ตรวจพบในตัวอย่างไข่เป็ด (ข) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของ OC ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินจากนาข้าว (ค) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของ OC ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ

ปริมาณการตกค้างของโลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในตัวอย่างไข่เป็ด ดิน และน้ำพบการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อร่างกายและโลหะหนักที่เป็นพิษต่อร่างกาย โดยในตัวอย่างไข่เป็ดพบการปนเปื้อน Zn สูงที่สุด โดยพบการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40.6060–380.8650 mg/kg รองลงมา คือ Fe, Cu และ Mn โดยพบการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.5200–187.1190 mg/kg, 3.5150–7.2535 mg/kg และ 1.2766–4.2300 mg/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ คือ Pb, Cd และ As อีกด้วย โดยปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.1490–4.8370 mg/kg, 0.0095–3.4810 mg/kg และ 0.0090–0.3190 mg/kg ตามลำดับ จังหวัดที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ดไล่ทุ่งสูงที่สุด คือ จังหวัดชัยนาท รองลงมา คือ จังหวัดอ่างทอง และ จังหวัดลพบุรี ในตัวอย่างดินพบการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิด Zn สูงที่สุด รองลงมา คือ Cu และ Fe ปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยของ Zn ในตัวอย่างดินอยู่ในช่วง 31.6500–257.1500 mg/kg ในขณะที่ปริมาณการปนเปื้อนของ Cu และ Fe ที่ตรวจพบในตัวอย่างดินพบการปนเปื้อนอยู่ในช่วง 18.8350–73.3650 mg/kg และ 10.1750–25.2853 mg/kg ตามลำดับ ส่วนโลหะหนักที่มีความเป็นพิษนั้นในตัวอย่างดินตรวจพบ As เพียงชนิดเดียวที่มีปริมาณสูงและเกินค่า LOQ ที่กำหนด โดยพบปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.13500–4.2650 mg/kg ส่วนสารอื่น ๆ พบในปริมาณที่ต่ำมากจนถึงตรวจไม่พบ จังหวัดที่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างดินสูงสุด คือ จังหวัดสิงห์บุรี รองลงมาคือ จังหวัดสระบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ตามลำดับ การตรวจการปนเปื้อนของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ พบการปนเปื้อนของ Fe เพียงชนิดเดียว โดยปริมาณการปนเปื้อนเฉลี่ยที่พบอยู่ในช่วง 0.3560–36.0755 mg/kg โดยพบการปนเปื้อนสูงที่สุดที่จังหวัดสิงห์บุรี รองลงมา คือ กรุงเทพมหานคร และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ตามลำดับ

จากผลการศึกษาพบว่า การปนเปื้อนของโลหะหนักในไข่เป็ด ดิน และน้ำ นั้นมีทั้งโลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย และโลหะหนักที่มีความเป็นพิษ โดยโลหะหนักที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ Mn, Fe, Cu และ Zn เป็นต้น ส่วนโละหะหนักที่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น Hg, Pb, Cd และ As (Extreme health USA, 2005) โลหะหนักเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ โดยอาจมาจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือการใช้ปุ๋ยหรือยากำจัดศัตรูพืชในการทำเกษตรกรรมแล้วถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Guevara-Riba *et al*., 2004) หากไม่มีการจัดการที่ดีจะทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ (Ahmed *et al*., 2015; Kibria *et al*., 2016; Proshad *et al*., 2020)

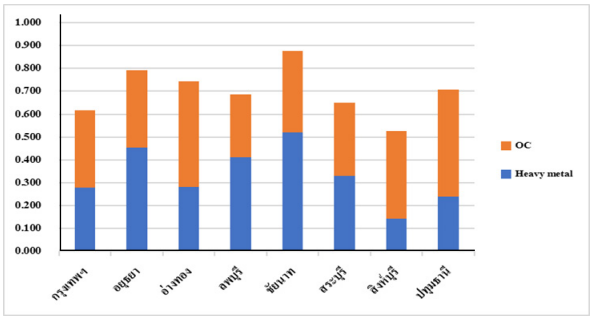


ภาพที่ 2 ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาทั้ง 8 จังหวัด (ก) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างไข่เป็ด (ข) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างดินจากนาข้าว (ค) ชนิดและปริมาณเฉลี่ยของโลหะหนักที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ

นำข้อมูลปริมาณการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนักที่ตรวจพบในไข่เป็ด ดิน และน้ำมาหาความสัมพันธ์โดยใช้ Pearson's correlation โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ p=0.05 พบว่า ค่าสารที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างไข่เป็ด ดิน และน้ำ คือ Endosulfan sulfate, β-BHC, Zn, Fe และ Cu โดยมีค่า r= 0.9870, 0.8750, 0.9650, 0.9750 และ 0.9980 ตามลำดับ ซึ่งชนิด OC และโลหะหนักที่พบในตัวอย่างดินและน้ำอาจมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตร ซึ่งการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนักในตัวอย่างดินและน้ำนั้นส่งผลให้พบการปนเปื้อนและตกค้างในไข่เป็ดได้ เนื่องจากเป็ดจะได้รับสาร OC และโลหะหนักจากการกินอาหารและดื่มน้ำจากพื้นที่นั้น

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดที่มีการปนเปื้อน OC และ โลหะหนัก

การวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงจากการบริโภคไข่เป็ดโดยนำผลที่ได้จากการศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของสาร OC และโลหะหนักในตัวอย่างไข่เป็ดมาคำนวณหาค่า THQ พบว่า ผลการประเมินความเสี่ยงจากการบริโภคไข่เป็ดที่มีการปนเปื้อน OC และ โลหะหนัก มีค่า THQ ไม่เกิน 1 โดยค่า THQ เฉลี่ยของ OC ในตัวอย่างไข่เป็ดที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาจำนวน 8 จังหวัดอยู่ในช่วง 0.2738–0.4707 ส่วนค่า THQ เฉลี่ยของโลหะหนักอยู่ในช่วง 0.1420–0.5204 (ภาพที่ 3) ซึ่งผลการศึกษาสามารถกล่าวได้ว่าการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 8 จังหวัด ไม่ทำให้เกิดความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร OC และ โลหะหนักที่ปนเปื้อน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้โดย FAO/ WHO (2010) ดังนั้น การบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งจากฟาร์มในเขตภาคกลางยังมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค แต่ต้องบริโภคในปริมาณไม่เกิน 62.87 กรัมต่อวัน หรือประมาณไม่เกิน 3 ฟองต่อวัน เพื่อความปลอดภัยจากการได้รับสารปนเปื้อน OC และโลหะหนักเพื่อให้ไม่เกินกับปริมาณที่สามารถรับประทานได้ต่อวัน (ADI)



ภาพที่ 3 ค่า Target hazard quotient (THQ) เฉลี่ย ของการบริโภคไข่เป็ดที่มีการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนักในเขตภาคกลางของประเทศไทย

สรุป และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ไข่เป็ดไล่ทุ่ง ดิน และน้ำในนาข้าวที่ใช้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่ง ยังคงพบการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนัก อย่างไรก็ตามผลการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งในปริมาณไม่เกิน 3 ฟองต่อวัน ยังคงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค นอกจากนี้ยังพบว่าดินในนาข้าวเป็นแหล่งสำคัญที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของ OC และโลหะหนักในน้ำดื่มที่ใช้เลี้ยงเป็ด รวมถึงส่งผลต่อการปนเปื้อนในไข่เป็ดไล่ทุ่งด้วย ดังนั้นถ้ามีการตรวจติดตามและเฝ้าระวังการปนเปื้อนของสารดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง รวมถึงมีการจัดการสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งให้ดีขึ้นและเป็นระบบจะช่วยลดการสัมผัส OC และโลหะหนักสำหรับเป็ดได้เป็นอย่างดี รวมถึงลดความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดไล่ทุ่งของผู้บริโภคได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการบริโภคไข่เป็ดบริเวณพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน และโลหะหนักในเขตภาคกลางของประเทศไทยสำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากปศุสัตว์จังหวัดทั้ง 8 จังหวัดที่คอยอำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง และต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการพิษวิทยาและชีวเคมี สถาบันสุขภาพสัตว์แห่งชาติที่ให้ความร่วมมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์. 2557. ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ด รายเขตปศุสัตว์และรายภาค ปี 2557. [Online]. Available: https://ict.dld.go.th/webnew/images/stories/stat_web/yearly/2557/book2557/07.pdf. [17 พฤษภาคม 2558].

Ahmed, M.K., Baki, M.A., Islam, M.S. 2015. Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shell fish collected from the river Buriganga, Bangladesh. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (20): 15880–15890. doi: 10.1007/s11356-015-4813-z.

Allen, S.E. 1989. Chemical Analysis of Ecological Materials. 2nd Edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK. 368 p.p.

Birich, B., Hajjaji, S.E., Ghandi, M., Daoud, N.A., Badrane, N. and Bencheikh, R.S. 2020. A simple method of detection of 15 organochlorine pesticides in human plasma using gas chromatography. *Chem Data Collect*. 30 (1): 1-16. doi: 10.1016/ j.cdc.2020.100562.

Briz, V., Molina, J.M., Redondo, S.S., Fernandez, M.F., Grimalt, J.O., Olea, N., Farre, E.R. and Sunol, C. 2011. Differential estrogenic effects of persistence organochlorine pesticides dieldrin, endosulfan and lindane in primary neuronal cultures. *Toxico. Sci.* 120 (2): 413-427. doi: 10.1093/toxsci/kfr019.

Dummee, V., Kruatrachue, M., Trinachartvanit, W., Tanhan, P., Pokethitiyook, P. and Damrongphol, P. 2012. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments, aquatic plant and histopathological effects on the golden apple snail in Beung Boraphet reservoir, Thailand. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 86: 204-212.

Edwards, C.A. 1997. Nature and Origins of Pollution of Aquatic Systems by Pesticides. *Pesticides in Aquatic Environments.* 11–38. doi:10.1007/978-1-4684-2868-1_2.

Extreme health USA. 2005. Toxic heavy metals: sources and specific effect. [Online]. Available: http://www.extremehealthusa.com/source.himl. Accessed May 15, 2022.

Food and Agriculture Organization of The United Nation (FAO). 2001. Guidelines on Good Practice for Ground Application of Pesticides. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations. FAO. Italy. 42 p.

FAO/WHO. 2010. FAO/WHO meeting on pesticide residues: pesticide residues in food 2010. Report of the joint meeting of the FAO panel of experts on pesticide residues in food and the environment ant the WHO core assessment group on pesticide residues. FAO. Italy. 601 p.

Guevara-Riba, A., Sahuquillo, A., Rubio R. and Rauret, G. 2004. Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona, Spain. *Science of the Total Environment.* 321 (1-3): 241-255. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2003.08.021.

Hassaan, M.A., Nemr, A.E. and Madkour, F.F. 2016. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk. *American Journal of Water Science and Engineering*.2(3):14-19.doi:10.11648/j.ajwse.20160203.11.

Huang, J.F. and Lin, C.C. 2011. 21-Production, composition, and quality of duck eggs. In: Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products. Edited by Y. Nys, M. Bain and F.V. Immerseel. Woodhead Publishing. Page 487-508.

Ize-lyamu, O.K. and Egwakhide, P.A. 2007. Concentrations of residues from organochlorine pesticide in water and fish from some rivers in Edo State Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*. 2 (9): 237-241. doi: 10.5897/ IJPS.9000141.

Jayaraj, R., Megha, P. and Sreedev, P. 2016. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdiscip. Toxicol*. 9 (3-4): 90–100. doi: 10.1515/intox-2016-0012.

Ketyam, B., Imsilp, K., Poapolathep, A., Poapolthep, S., Jermnark, U., Phaochoosak, N. and Tanhan, P. 2016. Health risk associated with the consumption of duck egg containing endosulfan residues. *Environ. Monit. Assess*. 188 (1): 1-13. doi: 10.1007/s10661-016-5268-5.

Kibria, G., Hossain, M.N. Mallick, D., Lau, T.C. and Wu, R. 2016. Monitoring of metal pollution in waterways across Bangladesh and ecological and public health implications of pollution. *Chemosphere*. 165 (1): 1-9. doi: 10.1016 /j. chemosphere.2016.08.121.

McBride, M.B. 2011. A comparison of reliability of soil Cd determination by standard spectrometric methods. *J. Environ. Qual*. 40 (6): 1863-1869. doi: 10.2134/jeq 2011.0096.

Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M.S. and Chandra, K. 2020. Potential health risk of heavy metals via consumption of rice and vegetables grows in the industrial areas of Bangladesh. *Human and Ecological Risk Assessment.* 26 (4): 921–943. doi:10.1080/10807039.2018.1546114.

Real, I.S., Azam, H.M. and Majed, N. 2017. Consumption of heavy metal contaminated foods and associated risks in Bangladesh. *Environ. Monit. Assess*. 189 (12): 651–665. doi: 10. 1007/s10661-017-6362-z.

Sangchan, W., Bannwarth, M., Ingwersen, J., Hugenschmidt, C., Schwadorf, K., Thavornyutikarn, P., Pansombat, K. and

Streck, T. 2013. Monitoring and risk assessment of pesticides in a tropical river of an agricultural watershed in northern Thailand. *Environ. Monit. Assess.* 186 (2): 1083–1099. doi: 10.1007/ s10661-013-3440-8.

Stahr, H.M. 1999. Analytical Methods in Toxicology. Iowa state university research foundation. p. 69–71.

Tanhan, P., Imsilp, K., Khidkhan, K., Kruatrachue, M. and Trinachartvanit, W. 2014. Essential metals levels in duck eggs and estimation of human health risk from egg consumption. *18th Federation of Asian Veterinary Association Congress.* Marina Bay Sands, Singapore.

Tzanetou, E.N. and Kalasali, H. 2022. A Comprehensive Review of Organochlorine Pesticide Monitoring in Agricultural Soils: The Silent Threat of a Conventional Agricultural Past. Agriculture. 12 (5): 1-65. doi: 10.3390/agriculture12050728.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2000. Organochlorine pesticides by gas chromatography. *Method 8081B. Revision 2, 2000.* 57 p. http://epa.gov/sw. 846/pdfs/8081b_ivb.pdf.

Whittemore, A.S. 1997. Multistage Sampling Designs and Estimating Equations. *J. R. Statist. Soc. B.* 59 (3): 589-602. doi: https://www.jstor.org/stable/2346011.

Wolff, M.S., Toniolo, P. G., Lee, E. W., Rivera, M. and Dubin, N. 1993. Blood level of organochlorine residues and risk of breast cancer. *J. Nati. Cancer Inst*. 85 (8): 648-652. doi: 10.1093/jnci/85.8.648.

Xiao, R., Wang, S., li, R., Wang, J.J. and Zhang, Z. 2017. Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 147 (1): 17-24. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.03.002.

Xu, M., Qiu, Y., Bignert, A., Zhou, Y., Zhu, Z. and Zhao, J. 2015. Organochlorines in free-range hen and duck eggs from Shunghai: occurrence and risk assessment. *Environ Sci. Pollt. Res. Int.* 22 (3): 1742–1749.

Yamane, T. 1967. Statistics: An introductory analysis: Harper and Row. New York, USA. p.1-2.