

การสำรวจติดตามปริมาณสารมลพิษตกค้างยาวนานบางชนิด
และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในเนื้อสัตว์และ
ผลิตภัณฑ์ประมงในประเทศไทย

Monitoring Survey of Some Persistent Organic Pollutants
(POPs) and Organochlorine Pesticide Residues
in Meat and Fishery in Thailand

วีรวุฒิ วิทยานันท์* และรัตติยากร ศรีโคตร

สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

Weerawut Wittayanant* and Rattiyakorn Srikote

Bureau of Quality and safety of food, Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health,
Tiwanond Road, Talad Khwan, Muang, Nonthaburi 11000

บทคัดย่อ

จากการที่ประเทศไทยเป็นสมาชิกภายใต้ข้อตกลงระหว่างประเทศในอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 ซึ่งอนุสัญญาดังกล่าวมีจุดมุ่งหมายในการจัดการ กำจัด ควบคุม และลดผลกระทบของสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (persistent organic pollutants, POPs) ต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ข้อมูลการสำรวจปริมาณสารมลพิษตกค้างยาวนานจึงมีความสำคัญในการใช้ประเมินความเสี่ยงผลกระทบดังกล่าว ในปี พ.ศ. 2553 สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหารจึงได้ทำการสำรวจสารมลพิษตกค้างยาวนานที่เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 8 ชนิด ได้แก่ aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, endosulfan และ lindane และสาร non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) 7 ชนิด รวมทั้งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ในเนื้อสัตว์ โดยเก็บเนื้อสัตว์ที่คนไทยนิยมนำมาบริโภค ได้แก่ เนื้อสัตว์ปีก เนื้อหมู เนื้อวัว เนื้อสัตว์น้ำและสัตว์ทะเล รวมจำนวน 73 ตัวอย่าง ในตลาดสดจาก 8 จังหวัด ที่เป็นตัวแทนจากทั้ง 4 ภาค ของประเทศไทย ตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารโดยวิธี modified AOAC official method 970.52 ใช้เครื่องมือ GC-μECD และ GC-MS ผลการตรวจวิเคราะห์ตรวจไม่พบการตกค้างของสาร PCBs 7 ชนิด ในทุกตัวอย่าง (LOD = 0.003 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่พบการตกค้างของสาร p, p'-DDE ในกลุ่ม DDT ในช่วง 0.008-0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ในตัวอย่างปลาน้ำจืด 3 ตัวอย่าง ซึ่งปริมาณการตรวจพบดังกล่าวต่ำกว่าค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (extraneous maximum

*ผู้รับผิดชอบบทความ : weerawut.w@dmssc.mail.go.th

residue limit, EMRL) ที่ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง พ.ศ. 2554 กับตรวจพบสาร endosulfan sulfate ในกลุ่ม endosulfan ปริมาณต่ำ ที่น้อยกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ในตัวอย่างปลาน้ำจืด 1 ตัวอย่าง ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัตว์ที่คนไทยบริโภคและผลิตในประเทศไทยมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารมลพิษตกค้างยาวนาน

คำสำคัญ : สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน; เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมง; สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน; สารพีซีบี

Abstract

Since 2005, Thailand has been a signatory of the Stockholm convention on persistent organic pollutants (POPs). The convention aims to manage, eliminate, control and reduce the impact of POPs on human health and environment. Therefore, POPs contamination monitoring data are necessary for the risk assessment process to identify and evaluate their adverse effects. In 2010, the survey program was conducted by Bureau of Quality and Safety of Food for the investigation of POPs including 8 pesticides (aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, endosulfan and lindane) and 7 non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) and also other 3 organochlorine pesticides residues in animal tissue. Seventy-three samples were collected from fresh markets in 8 provinces which were 4 regional parts of Thailand representatives. Various kinds of animal tissue commonly consumed by Thais such as poultry, pork, beef, freshwater fish and marine animals were equally considered as target samples. Those contaminants and residues were determined by modified AOAC official method 970.52 (GC- μ ECD and GC-MS). It was found that 7 PCBs were not detected in all samples at the limit of detection 0.003 mg/kg. Nevertheless, p, p'-DDE (DDT metabolite) was found in 3 samples of freshwater fishes in the range of 0.008-0.05 mg/kg fat. None of samples exceeded the Extraneous Maximum Residue Limit (EMRL) value (1 mg/kg fat) established by Ministry of Public Health. Moreover, the low level (<0.005 mg/kg fat) of endosulfan sulfate (endosulfan group) was detected in one sample of freshwater fish. The result indicated that animal tissue which was produced and consumed in Thailand was safe from POPs contamination.

Keywords: persistent organic pollutants; meat and fishery; organochlorine pesticides; PCBs

1. บทนำ

ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้าง

ยาวนาน (Stockholm convention on persistent organic pollutants หรือ POPs) ตั้งแต่วันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2548 ปัจจุบันมีประเทศที่ร่วมลงนาม

151 ประเทศ ประเทศที่ให้สัตยาบัน 94 ประเทศ และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เป็นผลให้ประเทศไทยต้องดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการระดับชาติ (National implementation plan, NIP/POPs) เพื่อคุ้มครองสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม สารมลพิษที่ตกค้างยาวนานมีสมบัติสะสมในสิ่งมีชีวิตและสามารถเคลื่อนย้ายไปได้ไกลในสิ่งแวดล้อม [1,2] จนถึงปัจจุบันมีการกำหนดสาร POPs รวมทั้งสิ้น 22 ชนิด ในภาคผนวก เอ ปี และซีของอนุสัญญา [3] สารเหล่านี้มีความเป็นพิษ อาทิ เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ทำให้เกิดอาการแพ้ ระบบประสาทส่วนกลางและส่วนนอกถูกทำลายและระบบการสืบพันธุ์บกพร่อง เป็นต้น [4]

หนึ่งในพันธะสัญญาที่ประเทศไทยต้องปฏิบัติตามข้อบังคับของอนุสัญญา คือ การสนับสนุนให้มีการทําวิจัยเรื่องผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากสาร POPs ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ โดยในระดับนานาชาติมีรายงานการตรวจติดตามสาร POPs ในสารคัดหลั่งจากร่างกายมนุษย์ ได้แก่ ซีรัม [5] และน้ำนมมารดา [6] ในเกาหลีใต้ ในอาหารและผลิตภัณฑ์ เช่น นมโคในแมกซิโก [7] อาหารชนิดต่าง ๆ ในสเปน [8] เนื้อสัตว์ในกานา [9] และโปแลนด์ [10] เป็นต้น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร ในฐานะหน่วยงานหลักตามแผน NIP/POPs ในการติดตามตรวจสอบสาร POPs ประเภทสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ตกค้างในผลิตผลทางการเกษตร ผลิตภัณฑ์อาหาร และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องทำการสำรวจติดตามสารมลพิษตกค้างยาวนานที่เป็นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช 8 ชนิด ได้แก่ aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, endosulfan และ lindane สาร polychlorinated biphenyls (PCBs) ชนิดที่เป็น non dioxin-like 7 ชนิด ได้แก่

PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 และ PCB180 รวมทั้งสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ได้แก่ dicofol, methoxychlor และ tetradifon ในเนื้อสัตว์ที่ประชาชนไทยนิยมนำมาบริโภคและมีจำหน่ายในปี พ.ศ. 2553

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจติดตามปริมาณสาร POPs ที่ตกค้างในห่วงโซ่อาหารและสะสมอยู่ในไขมันของเนื้อสัตว์ที่ประชาชนไทยจะได้รับสัมผัสทางการรับประทาน ผลของการวิจัยที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและทราบสถานการณ์การตกค้าง รวมถึงยังสามารถนำมาทำการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) แล้วยื่นส่งค่าที่ได้เข้าสู่กระบวนการพิจารณาค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (Maximum residue limit, MRL) และค่าปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (Extraneous maximum residue limit, EMRL) ของคณะกรรมการอาหารระหว่างประเทศ (CODEX) ได้อีกด้วย และยังใช้เป็นข้อมูลให้แก่กรมควบคุมมลพิษที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่ประสานงานและติดตามการดำเนินงานให้เป็นไปตามแผนจัดการระดับชาติและจัดทำรายงานประจำปีเสนอต่อรัฐบาลและองค์กรภาคีสมาชิกอนุสัญญาสตอกโฮล์มต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สารเคมีและสารมาตรฐาน

2.1.1 สารเคมี : acetone (AR), acetonitrile (AR) และ n-hexane (PG) ของ J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา aluminium oxide (AR) 70-230 mesh for column chromatography ของ Merck ประเทศเยอรมนี, sodium chloride (AR) (เตรียม saturated sodium chloride

solution) และ sodium sulfate anhydrous granular (AR) (เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 3 ชั่วโมง แล้วเก็บในภาชนะแก้วสีชาปิดสนิท), น้ำกลั่นหรือน้ำ reverse osmosis (RO) Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.2 สารมาตรฐาน : สาร organo-chlorine compounds จำนวน 20 สาร ได้แก่ aldrin, α -BHC, α -chlordane, γ -chlordane, oxy-chlordane, p, p'-DDE, p, p'-TDE, p, p'-DDT, dicofol, dieldrin, endrin, α -endosulfan, β -endosulfan, endosulfan sulfate, heptachlor, heptachlor epoxide, hexachlorobenzene, lindane, methoxychlor และ tetradifon สาร polychlorinated biphenyls (PCBs) ชนิด non dioxin-like จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 และ PCB 180 สารทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์ของ Dr. Ehrenstorfer บริษัท Dr. Ehrenstorfer GmbH ประเทศเยอรมนี

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องชั่ง 3 ตำแหน่ง Sartorius LP620S สำหรับชั่งตัวอย่าง, เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง Sartorius MC210S สำหรับชั่งสารมาตรฐาน, เครื่องบดป่นอาหาร, homogenizer Ultra Turrax, hot air oven, muffle furnace, rotary evaporator บริษัท Büchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์, water bath อุณหภูมิ น้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยระบบน้ำหล่อเย็นหมุนเวียนอุณหภูมิต่ำกว่า -15 องศาเซลเซียส บริษัท Fisher Electron Cooperation, shaker, Büchner funnel, ถ้วย porcelain ขนาด 13.5 เซนติเมตร, chromatographic column, 10 mm id x 500 mm สำหรับ aluminium oxide (alumina), Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร, round-bottomed flask ขนาด 250 และ 500 มิลลิลิตร,

separatory funnel ขนาด 125 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร, suction flask 1 ลิตร, GC- μ ECD : Agilent Technologies 6890N, column : DB-5MS, 30 m, 0.25 mm id, 0.25 μ m film thickness, GC-MS : Agilent Technologies 6890N-5973 Inert, column : DB-35ms, 30 m, 0.32 mm id, 0.25 μ m film thickness

2.3 ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเนื้อสัตว์จากตลาดสดที่เป็นตัวแทนของ 4 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ จำนวน 8 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ พิษณุโลก ขอนแก่น นครราชสีมา ชลบุรี กรุงเทพมหานคร สงขลา และตรัง ในปี พ.ศ. 2553 โดยศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ประจำจังหวัด ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะเป็นการรวมกันของเนื้อสัตว์ชนิดนั้น ๆ ในแต่ละจังหวัด ในลักษณะของตะกร้าจ่ายตลาด (market basket) จำนวน 73 ตัวอย่าง เป็นปลาน้ำจืด 23 ตัวอย่าง ได้แก่ ปลาช่อน ปลานิล และปลาดุก ปลาทะเล 8 ตัวอย่าง ได้แก่ ปลาแดงจากเชียงใหม่ ปลาข้างเหลืองจากพิษณุโลก ปลาน้ำดอกไม้จากขอนแก่น ปลาสำลีจากนครราชสีมา ปลาหูจากชลบุรี กรุงเทพมหานคร และตรัง ปลาอินทรีจากสงขลา เนื้อหมู 8 ตัวอย่าง เนื้อวัว 7 ตัวอย่าง เนื้อไก่ 8 ตัวอย่าง หมึก 7 ตัวอย่าง กุ้งกุลาดำ 8 ตัวอย่าง และหอยแมลงภู่ 4 ตัวอย่าง เนื้อสัตว์จะถูกเก็บรักษาในถุงพลาสติกที่แช่น้ำแข็ง แล้วส่งมาทำการเตรียมตัวอย่างที่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ภายใน 12 ชั่วโมง เอาเฉพาะเนื้อตัวอย่างส่วนที่รับประทานได้ บดผสมเนื้อสัตว์น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ด้วยเครื่องบดป่นอาหารให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งแบ่งตัวอย่างตัวอย่างละ 10 กรัม เพื่อเป็น analytical portions และตัวอย่างสำหรับควบคุมคุณภาพผลการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่ชั่งแบ่งแล้ว จะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -15 องศาเซลเซียส รอทำการวิเคราะห์ต่อไป

2.4 วิธีวิเคราะห์

ใช้วิธีตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสาร โดยวิธี modified AOAC official method 970.52 ของรติยากร และวิชาดา [11] ที่ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์แล้ว โดยมีค่าความแม่นยำ (accuracy) แสดงด้วย % recovery และความเที่ยง (precision) แสดงด้วย HORRAT ในช่วง 84-117 % และ 0.1-1.2 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงยอมรับ และเมื่อทดสอบความถูกต้อง (trueness) ของวิธีโดยการวิเคราะห์หั่วสตูดอริง BCR-430 ที่มีการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนในไขมันหมู พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น เป็นวิธีวิเคราะห์แบบ multi-residues method โดยสกัดไขมันจากเนื้อสัตว์ 10 กรัม โดยการเติม sodium sulfate anhydrous ประมาณ 10 กรัม หรือจนกว่าจะเป็นผงร่วนเพื่อดึงน้ำออกจากตัวอย่าง แล้วเติม n-hexane 150 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วย homogenizer นาน 2 นาที กรองผ่านกระดาษกรอง และ Büchner funnel สกัดเนื้อตัวอย่างซ้ำ 2 ครั้ง แล้วนำ filtrate ที่สกัดได้ไประเหย n-hexane ออกจนหมดเพื่อหาน้ำหนักไขมันในตัวอย่าง แล้วนำไขมันที่ได้มาสกัดสาร POPs และสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในตัวอย่างเนื้อสัตว์ออกโดยละลายไขมันที่ได้ใน n-hexane 13 มิลลิลิตร และสกัดต่อด้วย acetonitrile ที่อิ่มตัวใน n-hexane ปริมาณ 30 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง แล้วนำชั้น acetonitrile ที่ได้มาผ่านขั้นตอนการขจัดไขมันออกด้วยการทำ liquid-liquid partition ด้วยการเติม n-hexane 100 มิลลิลิตร ตามด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเกลืออิ่มตัว 40 มิลลิลิตร ทำการสกัดซ้ำด้วย n-hexane อีก 1 ครั้ง กรองผ่าน sodium sulfate anhydrous นำไประเหยลดปริมาตรและปรับด้วย

n-hexane เป็น 10 มิลลิลิตร แล้วทำให้บริสุทธิ์ด้วย alumina column โดยใช้ n-hexane ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เป็นตัวชะ ระเหยแห้งแล้วปรับปริมาตรเป็น 5 มิลลิลิตร ได้ความเข้มข้นตัวอย่าง 2 กรัมต่อมิลลิลิตร แล้วฉีดเข้าเครื่องมือ GC- μ ECD และ/หรือ GC-MS

2.5 การตรวจวัดชนิดและปริมาณด้วยเครื่อง

GC- μ ECD และ GC-MS

2.5.1 สภาวะเครื่อง GC- μ ECD : Agilent

6890N

Analytical column	DB-5MS, 30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m
Inlet	250°C, splitless mode
Oven program	80 °C (1.0 min), 15 °C/min to 180 °C, 3 °C/min to 205 °C (5 min), 40 °C/min to 260 °C (20 min)
Detector	300 °C
Flow rate	Helium (constant flow) 1.5 mL/min, nitrogen (make up) 60 mL/min
Injection volume	1 μ L

2.5.2 สภาวะเครื่อง GC-MS : Agilent

6890N MS 5973

Analytical column	DB-35MS, 30 m x 0.32 mm x 0.25 μ m
Inlet	250 °C, splitless mode
Oven program	70 °C (1 min), 50 °C/min to 250 °C (14 min), post-run 2 min at 260 °C
Detector	MSD transfer line 280 °C

Flow rate	Helium, constant pressure 4.2 psi
MSD parameter	MS quadrupole temperature 150 °C MS source temperature 230 °C Ionisation mode : Electron Impact (EI)
Injection volume	1 µl

0.64, 0.20, 0.91, 0.46, 0.31, 0.64, 0.03, 0.04 และ 0.07 กรัม ตามลำดับ มีความแตกต่างของปริมาณไขมันที่สกัดได้ในแต่ละชนิดของเนื้อสัตว์และแหล่งที่มาของเนื้อสัตว์ ปริมาณไขมันที่สกัดได้จะถูกนำมาใช้คำนวณหาปริมาณสารตกค้างต่อกิโลกรัมไขมันเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ปนเปื้อนจากสาเหตุที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ (Extraneous maximum residue limit, EMRL) ในขณะที่การวิเคราะห์โดยใช้การสกัดด้วยไมโครเวฟ [12,13] นั้นจำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการหาปริมาณไขมันในตัวอย่างก่อนจึงจะสามารถรายงานผลได้วิธีที่ใช้นี้จึงมีความเหมาะสมกว่า ทั้งนี้การสุ่มเก็บตัวอย่างโดยอาศัยความร่วมมือของศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ของจังหวัดต่าง ๆ ทางศูนย์ฯ ไม่สามารถจัดหาตัวอย่างบางชนิดได้ และการขนส่งจะส่งผลกระทบต่อถึงคุณภาพของตัวอย่าง จึงทำให้ขาดตัวอย่างบางชนิดจากบางจังหวัดตามที่ระบุในตารางที่ 1

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการวิจัย

จากขั้นตอนการสกัดไขมันด้วย n-hexane ออกจากตัวอย่างเนื้อสัตว์ได้ปริมาณไขมันต่อเนื้อสัตว์ 10 กรัม ดังตารางที่ 1 โดยปลานิล ปลาดุก ปลาช่อน ปลาทะเล เนื้อหมู เนื้อวัว เนื้อไก่ กุ้ง หมึก และหอย จำนวนทั้งสิ้น 73 ตัวอย่าง มีไขมันเฉลี่ย 0.18, 1.33, 0.25, 0.61, 0.55, 0.22, 1.13, 0.09, 0.08 และ 0.16 กรัม ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 0.11,

ตารางที่ 1 ปริมาณไขมัน (กรัม) ที่สกัดได้จากเนื้อสัตว์ 10 กรัม

ที่มา	ปริมาณไขมัน (กรัม/ตัวอย่าง 10 กรัม)									
	ปลานิล	ปลาดุก	ปลาช่อน	ปลาทะเล	เนื้อหมู	เนื้อวัว	เนื้อไก่	กุ้ง	หมึก	หอย
เชียงใหม่	0.25	1.65	0.17	2.26	1.15	0.20	0.23	0.10	0.09	0.21
พิษณุโลก	0.04	0.60	0.22	0.16	1.24	0.05	1.13	0.13	0.04	-
ขอนแก่น	0.29	0.51	0.08	0.02	0.17	0.10	1.39	0.12	0.12	-
นครราชสีมา	0.08	1.72	0.58	1.90	0.27	0.06	0.59	0.05	0.06	0.06
ชลบุรี	0.30	1.16	0.10	0.25	0.12	0.10	1.44	0.11	0.05	0.20
กรุงเทพฯ	0.26	1.53	0.12	0.11	0.87	0.90	2.32	0.09	0.07	0.15
สงขลา	0.11	1.03	0.51	0.02	0.30	0.10	0.75	0.09	-	-
ตรัง	0.11	2.43	-	0.17	0.27	-	1.17	0.06	0.14	-
Mean	0.18	1.33	0.25	0.61	0.55	0.22	1.13	0.09	0.08	0.16
SD	0.11	0.64	0.20	0.91	0.46	0.31	0.64	0.03	0.04	0.07

ผลการตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 20 ชนิด ได้แก่ aldrin, α -BHC, α -chlordane, γ -chlordane, oxy-chlordane, p, p'-DDE, p, p'-TDE, p, p'-DDT, dicofol, dieldrin, endrin, α -endosulfan, β -endosulfan, endosulfan sulfate, heptachlor, heptachlor epoxide, hexachlorobenzene, γ -BHC (lindane), methoxychlor และ tetradifon และสาร

polychlorinated biphenyls (PCBs) ชนิด non dioxin-like PCBs จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 และ PCB 180 ตรวจวัดชนิดของสารมาตรฐานด้วยเครื่อง GC- μ ECD ให้ค่า retention time (RT) ดังตารางที่ 2 พบว่าสามารถแยกพีคและวินิจฉัยสารมาตรฐานทั้ง 27 ชนิด โดยใช้เวลาวิเคราะห์ทั้งสิ้น 35 นาที

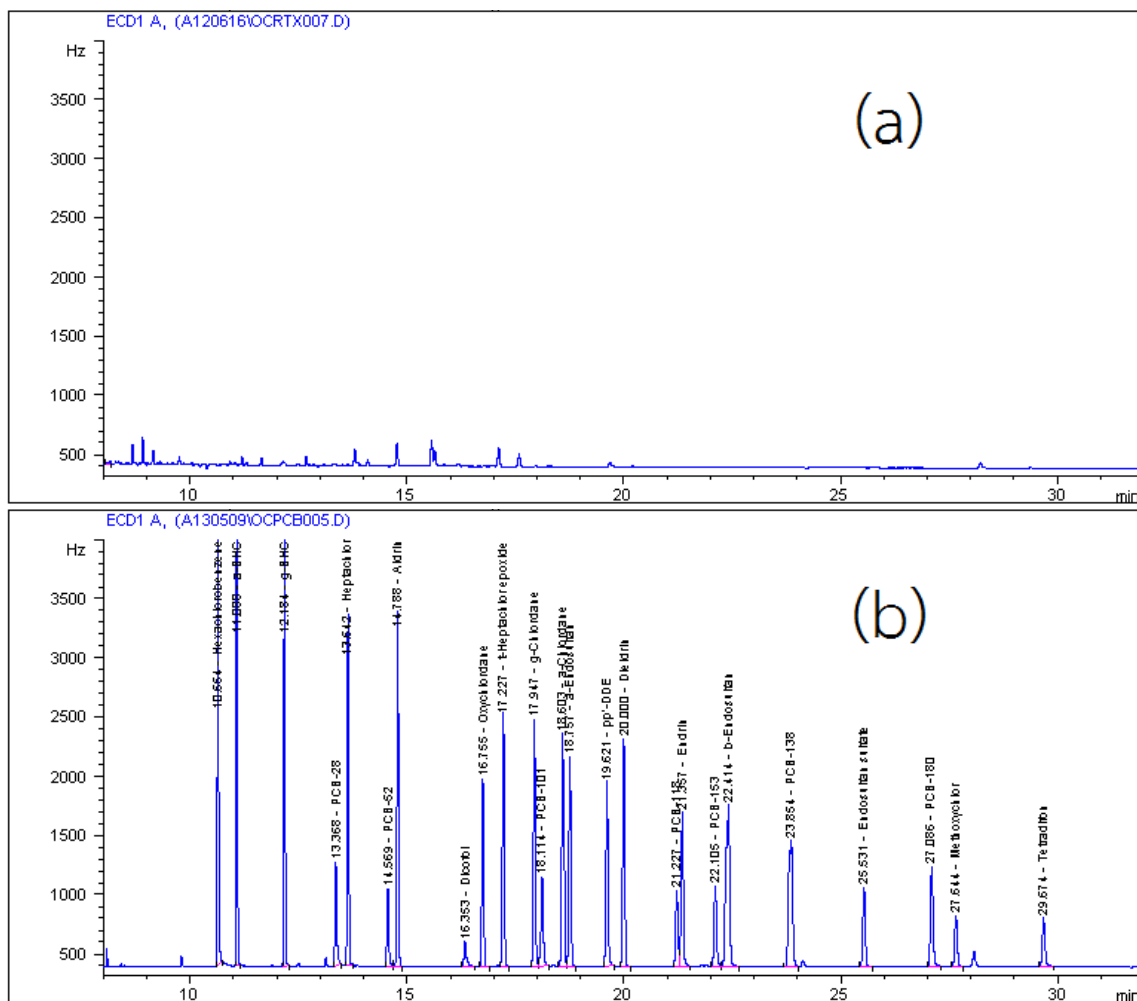
ตารางที่ 2 ค่า retention time (RT) (นาที) ของสารมาตรฐานชนิดต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือ GC- μ ECD

ชนิดสารมาตรฐาน	Retention time (นาที)	ชนิดสารมาตรฐาน	Retention time (นาที)
hexachlorobenzene	10.65	β -endosulfan ^(d)	22.20
α -BHC ^(e)	11.08	p, p'-TDE ^(b)	22.41
γ -BHC (lindane) ^(e)	12.18	p, p'-DDT ^(b)	23.96
heptachlor ^(c)	13.64	endosulfan sulfate ^(d)	25.53
aldrin	14.79	methoxychlor*	27.64
dicofol*	16.35	tetradifon*	29.67
oxy-chlordane ^(a)	16.76	PCB 28	13.37
t-heptachlor epoxide ^(c)	17.23	PCB 52	14.57
γ -chlordane ^(a)	17.95	PCB 101	18.11
α -chlordane ^(a)	18.60	PCB 118	21.23
α -endosulfan ^(d)	18.76	PCB 153	22.11
p, p'-DDE ^(b)	19.62	PCB 138	23.80
dieldrin	20.00	PCB 180	27.08
endrin	21.38		

*สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนอื่น ๆ ที่ไม่เป็นสาร POPs, (a) chlordane และอนุพันธ์, (b) DDT และอนุพันธ์, (c) heptachlor และอนุพันธ์, (d) endosulfan และอนุพันธ์ และ (e) lindane และอนุพันธ์

ผลการตรวจวิเคราะห์ตรวจไม่พบการตกค้างของสาร PCBs 7 ชนิด ในทุกตัวอย่างเมื่อขีดจำกัดของการตรวจพบ (limit of detection, LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) คือ 0.003 และ 0.01 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยที่สหภาพยุโรปได้กำหนดค่า MRL ของสาร PCBs ในอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกัน และกำหนดว่าเป็นผลรวมของสาร PCBs 6 ชนิด ได้แก่ PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153 และ PCB 180 แต่ตรวจพบการตกค้างของสาร p, p'-



รูปที่ 1 (a) ตัวอย่างเนื้อหมูที่เป็น Blank (b) ผลการตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นสารมลพิษตกค้างยาวนาน 8 ชนิด สาร non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs) 7 ชนิด และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ด้วยเครื่อง GC- μ ECD ความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

DDE ซึ่งเป็นอนุพันธ์ในกลุ่ม DDT ในตัวอย่างปลาน้ำจืด 3 ตัวอย่าง คือ ปลาช่อนจากชลบุรี ปลาดุกจากตรัง และปลาดุกจากขอนแก่น ปริมาณ 0.05, 0.008 และ 0.014 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ตามลำดับ เมื่อขีดจำกัดของการตรวจพบ (limit of detection, LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) คือ 0.002 และ 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการตรวจพบดังกล่าว

ต่ำกว่าค่า EMRL ที่ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง พ.ศ. 2554 กับตรวจพบสาร endosulfan sulfate ซึ่งเป็นอนุพันธ์ในกลุ่ม endosulfan ในปริมาณต่ำที่น้อยกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ในตัวอย่างปลาช่อนจากนครราชสีมา 1 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (limit of detection, LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) ของสารแต่ละชนิดในเนื้อสัตว์

สาร	ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) (mg/kg)	ขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ) (mg/kg)
1. สาร polychlorinated biphenyls (PCBs) ชนิดที่เป็น non dioxin-like	0.003	0.01
2. สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่ม organochlorine	0.002	0.005

ตารางที่ 4 ตัวอย่างที่ตรวจพบสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและสาร POPs

ที่มา	ชนิดตัวอย่าง	ปริมาณไขมัน (กรัม) ต่อ ตัวอย่าง 10 กรัม	สารที่ตรวจพบ	ปริมาณสารที่ตรวจพบ (µg/g fat)
ชลบุรี	ปลาช่อน	0.10	p, p'-DDE	0.050
นครราชสีมา	ปลาช่อน	0.58	endosulfan sulfate	น้อยกว่า 0.005
ตรัง	ปลาดุก	2.43	p, p'-DDE	0.008
ขอนแก่น	ปลาดุก	0.51	p, p'-DDE	0.014

มีการตรวจยืนยันชนิดสารที่ตรวจพบอีกครั้งด้วยเครื่องมือ GC-MS ในกรณีที่ตรวจพบการตกค้างของสาร POPs จากเครื่อง GC-µECD เนื่องจากการพบพีคที่มี RT เท่ากับสารมาตรฐานอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ ทั้งในกรณีที่เป็นพีครบกวนจากเนื้อตัวอย่างเองและอาจเป็นสารเคมีชนิดอื่นที่มีค่า RT เท่ากัน ซึ่งอาจทำให้มีโอกาสรายงานผลผิดพลาดได้

การตรวจยืนยันนี้จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือเพราะเป็นการตรวจยืนยันโดยอาศัยสัดส่วนที่จำเพาะของ fragmentation ions ที่เกิดจากการแตกตัวของสาร p,p'-DDE และสาร endosulfan sulfate แล้วตรวจวัด quantified และ confirmed ions ตามแต่ละชนิดของสารด้วยเครื่องมือ GC-MS ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 fragmentation ions ของสาร p, p'-DDE และสาร endosulfansulfate จากเครื่อง GC-MS

ชนิดสาร	quantified ion target (m/z)	confirmed ions (Q1) (m/z)	confirmed ions (Q2) (m/z)
p, p'-DDE	246	318	248
endosulfan sulfate	272	274	229

นอกจากนี้เพื่อเป็นการประกันคุณภาพการวิเคราะห์ยังได้ทำการควบคุมคุณภาพภายใน (internal quality control) โดยทดสอบการกลับคืน (recovery) เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ในการวัดปริมาณสารที่มีอยู่ทั้งหมด โดยการเติมสารมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงในตัวอย่างทุกชนิดที่ทำการวิเคราะห์ชนิดละ 1 ตัวอย่าง หรือจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละสิบของตัวอย่าง คำนวณค่า recovery ของสารส่วนที่เติมลงไป พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงของเกณฑ์ยอมรับระหว่าง 70-120 % ตามมาตรฐานของ CODEX ในทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ และได้ทำการทำซ้ำ (duplicate) ในตัวอย่างทุกชนิดที่ทำการวิเคราะห์ชนิดละ 1 ตัวอย่าง หรือจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละสิบของตัวอย่างเช่นกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ของทั้งสองตัวอย่างที่ทดสอบ (% RPD < 25 %) ทำการควบคุมคุณภาพภายนอก (external quality control) โดยการเข้าร่วมการทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการ (PT participation) กับองค์กร FAPAS® ของประเทศอังกฤษ ซึ่งผลเป็นที่น่าพอใจโดยมีค่า Z น้อยกว่า 2

3.2 วิจัยารณ์

วิธีวิเคราะห์ที่ใช้เป็นแบบ multi-residues method ที่สามารถทำการวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและสาร POPs ทั้ง 27 ชนิด ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในครั้งเดียว ปริมาณไขมันที่สกัดได้จากปลานิล ปลาตูก ปลาช่อน ปลาทะเล เนื้อหมู เนื้อวัว เนื้อไก่ กุ้ง หมึก และหอย เกลี้ย คือ 0.18, 1.33, 0.25, 0.61, 0.55, 0.22, 1.13, 0.09, 0.08 และ 0.16 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไขมันจากตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย จัดทำโดยกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข [14] ที่แสดงไว้ที่ NC, 0.24,

0.38, 0.31, 0.33, 0.48, 0.97, 0.13, 0.07 และ 0.09 ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณไขมันที่ได้จากสัตว์น้ำอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ปลา คือ กุ้ง หมึก และหอยมีค่าต่ำ เนื้อสัตว์ที่มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือเนื้อไก่ สามารถตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและสาร POPs ทั้ง 27 ชนิด ในเนื้อสัตว์ทุกชนิดได้โดยไม่มีพีคบรบกวนกเว้นหอยที่มีพีคบรบกวนมากจนไม่สามารถแยกพีคของสารมาตรฐานออกจากพีคของเนื้อตัวอย่างได้ จึงไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ในตัวอย่างหอย 4 ตัวอย่าง ได้ สาร PCBs ที่เดิมใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุในหม้อแปลงเพื่อเป็นฉนวนและตัวเก็บประจุไฟฟ้า หลังจากมีมาตรการการเลิกใช้ของอนุสัญญา เมื่อปี พ.ศ. 2547 จึงทำให้ตรวจไม่พบการตกค้างของสาร PCBs ชนิด non dioxin-like 7 ชนิด ในทุกตัวอย่างแต่พบการตกค้างของสาร p,p'-DDE สารอนุพันธ์ในกลุ่ม DDT ในช่วง 0.008-0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ในตัวอย่างปลาน้ำจืด 3 ตัวอย่าง ปริมาณการตรวจพบดังกล่าวต่ำกว่าค่า EMRL ที่ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง อาหารที่มีสารพิษตกค้าง พ.ศ. 2554 ทั้งนี้สาร DDT ถูกจัดให้อยู่ในภาคผนวก บี ที่ต้องจำกัดการใช้งานในการควบคุมจำนวนยุงเพื่อประโยชน์ทางสาธารณสุขจึงยังคงตรวจพบการตกค้างในเนื้อเยื่อสัตว์ในรูปของเมตาบอไลต์ และตรวจพบเฉพาะในปลาน้ำจืดคือปลาตูกและปลาช่อนเนื่องจากเป็นปลาที่มีปริมาณไขมันสูงและสาร POPs สามารถละลายได้ดีและสะสมในไขมันของสิ่งมีชีวิต แต่ตรวจไม่พบในสัตว์ทะเลเพราะทะเลจัดว่ามีระยะห่างจากแหล่งการใช้งานของ DDT ระบบห่วงโซ่อาหารและการถ่ายทอดทางสิ่งแวดล้อมที่ห่างไกลทำให้เนื้อสัตว์ปีกและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมปลอดภัยจากสาร POPs เช่นเดียวกัน ตรวจพบสาร endosulfan sulfate ถึงแม้จะมีการยกเลิกการใช้งานแล้วก็ตาม แต่พบในปริมาณต่ำที่น้อยกว่า 0.005

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมันในตัวอย่างปลาน้ำจืด 1 ตัวอย่าง แต่ยังไม่มีการกำหนดค่า EMRL ของ endosulfan ในประเทศไทย และ CODEX ก็ยังไม่ได้ระบุค่า MRL ของ endosulfan ในเนื้อสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์เช่นกัน เนื่องจากเพิ่งมีการบรรจุสาร technical endosulfan เป็นสาร POPs ชนิดใหม่เพิ่มเติมในภาคผนวกเอ เมื่อปี พ.ศ. 2554 เท่านั้น จากการศึกษาโดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหารที่ระบุว่ามีการตกค้างของสาร endosulfan ในน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งในขณะนั้นยังมีการอนุญาตให้ใช้งานอยู่ จึงทำให้กล่าวได้ว่ายังมีการตกค้างของสารดังกล่าวอยู่ในสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหาร และตรวจพบได้ในเนื้อสัตว์น้ำดังกล่าว ทั้งนี้ปริมาณสาร POPs ที่ตรวจพบที่ต่ำกว่าค่า EMRL เป็นปริมาณที่เชื่อถือได้เนื่องจากใช้วิธีที่เป็นวิธีมาตรฐานผ่านการทดสอบความถูกต้องของวิธีโดยคณะผู้วิจัยและมีรายงานคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการตรวจวิเคราะห์ที่ได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว รวมถึงทุกระบวนการวิเคราะห์ได้มีการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนทั้งภายนอกและภายในด้วย

ความปลอดภัยจากการได้รับสัมผัสทางการบริโภคพิจารณาได้สองกรณี คือ ประการแรก เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการตกค้างของสาร DDT ในตัวอย่างปลาน้ำจืดที่ตรวจพบในช่วง 0.008-0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน กับค่า EMRL ที่ 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน พบว่ายังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และประการต่อมา พิจารณาจากค่า acceptable daily intake (ADI) โดย CODEX ได้กำหนดค่า ADI ของ DDT ไว้ที่ 0.01 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เมื่อนำค่าการตกค้างของ DDT สูงสุดที่พบในปลาช่อนจากจังหวัดชลบุรี 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมไขมัน และมีไขมันร้อยละ 0.01 หาค่าการบริโภคสัตว์น้ำของไทยเฉลี่ยเป็น 30 กิโลกรัมต่อคนต่อปี [15] หรือวันละ 82

กรัม และเมื่อกำหนดน้ำหนักตัวของประชากรไทยเป็น 50 กิโลกรัม คนไทยจะได้รับสารพิษจากการบริโภคคิดเป็น 8.2×10^{-9} มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าค่า ADI มาก เมื่อได้พิจารณาทั้งสองกรณีแล้วพบว่าเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมงที่คนไทยบริโภคปลอดภัยจากสารมลพิษตกค้างยาวนาน

4. สรุป

ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ประมงที่คนไทยบริโภคและผลิตในประเทศไทยมีความปลอดภัยจากการปนเปื้อนของสารมลพิษตกค้างยาวนานเนื่องจากปริมาณสารที่ตรวจพบไม่เกินค่ามาตรฐาน และมีความเสี่ยงของการได้รับสารที่ทำการวิเคราะห์ในเนื้อสัตว์ต่ำ มาตรการต่าง ๆ ที่ประชาคมโลกร่วมกันจัดทำขึ้นในอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนานนั้นกำลังส่งผลในเชิงบวกต่อการประเมินความมีประสิทธิภาพของอนุสัญญาฯ (effectiveness evaluation) และสามารถใช้เป็นรายงานผลการติดตามตรวจสอบสาร POPs ในของประเทศตามแนวทางใน (global monitoring plan, GMP) เสนอต่อที่ประชุมภาคีสมาชิกอนุสัญญาฯ (conference of the parties, COP) เพื่อพิจารณาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางกนกพร อธิสุข ผู้เชี่ยวชาญด้านมาตรฐานของอาหาร และนางวิชาติดา จงมีวาสนา นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ชำนาญการพิเศษ ที่ให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย และศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สำหรับความช่วยเหลือในการจัดเก็บตัวอย่าง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, อนุสัญญาสตอกโฮล์ม, แหล่งที่มา : <http://www.l3nr.org/posts/198523>, 28 กรกฎาคม 2557.
- [2] อนุสัญญาสตอกโฮล์ม, แหล่งที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_pops.htm, 28 กรกฎาคม 2557.
- [3] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556, อนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน (ฉบับปรับปรุงแก้ไข พ.ศ. 2554), บริษัท บีทีเอส เพรส จำกัด, กรุงเทพฯ, 120 น., แปลจาก Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutant (POPs) as amended in 2011.
- [4] Zhou, H., Wu, H., Liao, C., Diao, X., Zhen, J., Chen, L. and Xue, Q., 2010, Toxicology mechanism of the persistent organic pollutants (POPs) in fish Through AhR pathway, Toxicol Mech. Methods 20: 279-86.
- [5] Kim, M., Song, N.R., Hong, J., Lee, J. and Pyo, H., 2013, Quantitative analysis of organochlorine pesticides in human serum using headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry, Chemosphere Mar 19 pii: S0045-6535(13)00360-3.
- [6] Kim, D., Ryu, H.Y., Lee, J.H., Lee, J.H., Lee, Y.J., Kim, H.K., Jang, D.D., Kim, H.S. and Yoon, H.S., 2013, Organochlorine pesticide and polychlorinated biphenyls in Korean human milk: Contamination levels and infant risk assessment, J. Environ. Sci. Health B. 48: 243-250.
- [7] Pérez, J.J., León, S.V., Gutiérrez, R., López, Y., Faure, R. and Escobar, A., 2012, Polychlorinated biphenyls (PCBs) residues in milk from an agroindustrial zone of Tuxpan, Veracruz, Mexico, Chemosphere Oct 89: 404-408.
- [8] Bordajandi, L.R., Gmez, G., Abad, E., Rivera, J., fernndez-Bastn, M.M., Blasco, J. and Gonzlez, M.J., 2009, Survey of persistent organochlorine contaminant (PCBs, PCDD/Fs and PAHs), heavy metals (Cu, Cd, Zn, Pb and Hg), and arsenic in food samples from Huelva (Spain): Levels and health implications, J. Agric. Food Chem. 52: 992-1001.
- [9] Darko, G. and Acquah, S.O., Level of organochlorine pesticides residues in meat, Int. J. Environ. Sci. Tech. 4: 524-524.
- [10] Piskorska-Pliszczynska, J., Maszewski, S., Warenik-Bany, M., Mikolajczyk, S. and Goraj, L., 2012, Survey of persistent organochlorine contaminants (PCDD, PCDF and PCB) in fish collected from the Polish Baltic fishing areas, Sci. World J. 2012: Article ID 973292.
- [11] รัตยากร ศรีโคตร และวิชาดา จงมีวาสนาการ, 2553, พัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนคลอรีน 18 ชนิด ในเนื้อเยื่อสัตว์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี, ว.กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 52(1-2): 15-29.

- [12] Hummert, K., Vetter, W. and Luckas, B., 1996, Fast and Effective Sample preparation for determination of organochlorine compounds in fatty tissue of marine mammals using microwave, *Chromatographia* 42: 300-304.
- [13] Therdtteppitak, A. and Yammeng, K., 2003, Determination of organochlorine pesticides in commercial fish by gas chromatography with electron capture detector and confirmation by gas chromatography-mass spectrometry, *Sci. Asia* 29: 127-134.
- [14] กองโภชนาการ, 2545, ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย (ISBN 974-515-295-1), กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- [15] อำพร เลาวพงษ์ และ Masahiro Yamao, 2550, การบริโภคสัตว์น้ำ กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร, กลุ่มวิเคราะห์การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ กรมประมง.