

การสัมผัสสารไกลโฟเสทผ่านทางการหายใจ: การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ Glyphosate Exposure through the Inhalation Route: A Systematic Review

กชกร อึ้งขึ้น¹ สุนิสา ชัยเกลี้ยง^{2*}

Kodchakorn Uengchuen¹, Sunisa Chaikleing^{2*}

¹นักศึกษาหลักสูตร วท.มหาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.ขอนแก่น

²สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.ขอนแก่น

¹Master degree student in Master of Science Program in Occupational Health and Safety,
KhonKaen University, KhonKaen, Thailand

²Department of Environmental Health, Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health,
KhonKaen University, KhonKaen, Thailand

*Corresponding author's e-mail: csunis@kku.ac.th

บทคัดย่อ

จากสถิติปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี 2554 -2560 พบว่าชนิดสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นๆ โดยสูงสุดในปี 2560 ปริมาณ 148,979 ตัน และมีปริมาณการนำเข้ามาเกือบ 7 เท่า ของสารกำจัดแมลง (Insecticide) ซึ่งในปี 2559 สารไกลโฟเสท ที่เป็นยาฆ่าหญ้ามีปริมาณนำเข้ามากที่สุดคือ 61.80 ล้าน กิโลกรัม ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าไกลโฟเสท-ไอโซพโรพิลแอมโมเนียม และพาราควอตไดคลอไรด์ เป็นอันดับที่ 1 และ 2 ในทุกปี โดยประเทศไทยมีการใช้สารไกลโฟเสทมากกว่าสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ ทำให้อาจก่อให้เกิดการสัมผัสสูงของเกษตรกรผู้ใช้สารเคมี การทบทวนวรรณกรรมอย่างมีระบบในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสัมผัสสารไกลโฟเสทของผู้ใช้สารว่ามีการศึกษาหรือไม่ อันเนื่องจากองค์การอนามัยโลกได้ประกาศให้ไกลโฟเสทเป็นสารกลุ่ม 2A หมายถึงน่าจะก่อมะเร็งในมนุษย์ซึ่งความเป็นพิษของสารไกลโฟเสทมีความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์อาจนำไปสู่การทำลาย DNA และเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ ผลการทบทวนวรรณกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศโดยใช้คำสำคัญ คือ ไกลโฟเสท การสัมผัสในมนุษย์ อากาศ ตัวชี้วัดทางชีวภาพ และความเสี่ยง พบงานวิจัยจำนวน 52 เรื่อง งานวิจัยในต่างประเทศมีการศึกษาการสัมผัสสารไกลโฟเสทจากการรับสัมผัสทางการหายใจ โดยพบความเข้มข้นสูงถึง 42.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6,212.65 ppb) และสัมผัสผ่านทางผิวหนังที่พบความเข้มข้นของสารไกลโฟเสทในปัสสาวะของเกษตรกรผู้รับสัมผัสซึ่งมีความเข้มข้นสูงถึง 233 ppb ส่วนในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการสัมผัสสารไกลโฟเสทผ่านทางการหายใจ แต่พบความเข้มข้นสารไกลโฟเสทในปัสสาวะผู้สัมผัสจากการใช้สารไกลโฟเสทของเกษตรกร ค่าเฉลี่ย $13.70 \pm 13.30 \mu\text{g}/\text{L}$ แต่ยังไม่พบการศึกษาการรับสัมผัสสารไกลโฟเสทผ่านทางการหายใจดังนั้นปัจจุบันยังไม่มีค่ามาตรฐานเกี่ยวกับการรับสัมผัสสารไกลโฟเสทในมนุษย์ทางงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยจึงเป็นประเด็นที่ควรมีการศึกษาและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพเพื่อกำหนดเป็นแนวทางด้านค่ามาตรฐานในการเฝ้าระวังต่อไป

คำสำคัญ : ไกลโฟเสท / การสัมผัส / อาชีวอนามัย/ ความเสี่ยง / ตัวชี้วัดทางชีวภาพ / ตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม

Abstract

The statistics of the quantity of imported pesticides for agriculture of year 1981-2002, found that the type of herbicide had an import quantity as the highest among all types of chemicals. The maximum quantity of 148,979 tons was reported in 2017 and imports approximately 7 times of the insecticide. In 2016, glyphosate which is the herbicide had been highest imported for 61.80 million kilogram compared to other herbicides. Thailand had the highest import of glyphosate-isopropylammonium and paraquat dichloride annually, that indicated the use of

glyphosate more than other types of pesticide, and subsequently led to high exposure from agriculture. A systematic review of literature aimed to investigate the present studies of glyphosate exposure of users. The World Health Organization has declared that glyphosate is classified as type 2A carcinogen, namely probably carcinogen to human. The toxicity of glyphosate is the reproductive system, leading to DNA damage and genetic mutation. The literatures were included by using keywords of glyphosate, human exposure, ambient air, biomarker and risk from both domestic and international research publication. There were finally 52 studies met the criteria for the studied exposure of glyphosate through inhalation route of exposure which showed the highest concentration at 42.96 µg/m³ (6,212.65 ppb) and detection in urine 233 ppb through dermal exposure of farmers. Although, in Thailand, there has not been yet studied in glyphosate exposure through the inhalation route, but detected in urine of farmers that using glyphosate at average concentrations of 13.70 ± 13.30 µg/L. So far, glyphosate exposure through inhalation has not been yet studied, presently, there is no occupational health and safety standard setting for human exposure to glyphosate during field work. It is therefore very important to develop an occupational health risk assessment with prospective investigation of inhalation exposure for setting up a guideline for occupational exposure level regulation.

Keywords : Glyphosate / Exposure / Occupational Health / Risk / Biomarker / Environmental monitoring

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ทำอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก จึงทำให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมากจากสถิติปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตร ปี 2554 -2560 พบว่าชนิดสารกำจัดวัชพืช (Herbicide) มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด รองลงมาคือ สารกำจัดแมลง (Insecticide) และสารป้องกันและกำจัดโรคพืช (Fungicide) ตามลำดับโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ซึ่งในปี 2560 มีปริมาณการนำเข้าสูงถึง 148,979 ตัน มูลค่า 13,686 ล้านบาท (กรมวิชาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ซึ่งในปี 2559 สารไกลโฟเสท ที่เป็นยาฆ่าหญ้า มีปริมาณนำเข้ามากที่สุดคือ 61.80 ล้านกิโลกรัม ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าไกลโฟเสท-ไอโซโพรพิลแอมโมเนีย และพาราควอตไดคลอไรด์ เป็นอันดับที่ 1 และ 2 ในทุกปี โดยประเทศไทยมีการใช้สารไกลโฟเสทมากกว่าสารกำจัดศัตรูพืชอื่นๆ

จากการจำแนกสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประเภทของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ ในที่นี้จะจำแนกโดยอาศัยกลุ่มเป้าหมายหรือตามชนิดของศัตรูพืช ได้แก่ สารเคมีกำจัดแมลง (Insecticide) สารกำจัดเชื้อรา (Fungicide) สารป้องกันกำจัดวัชพืช (Herbicide) สารกำจัดหนูและสัตว์ทะเล (Rodenticides) เป็นต้น ส่วนใหญ่เกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ชนิดสารป้องกันกำจัดวัชพืช (Herbicide) ซึ่งแบ่งออกได้จำแนกตามการเลือกทำลาย

เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1. สารชนิดเลือกทำลาย (Selective herbicide) โดยทำลายเฉพาะวัชพืช แต่ไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก เช่น 2, 4D กำจัดวัชพืชใบกว้างโดยไม่เป็นพิษต่อต้นข้าวที่เป็นพืชใบแคบ เป็นต้น กลุ่มที่ 2. สารชนิดไม่เลือกทำลาย (Non-selective herbicide) ทำลายวัชพืชใบแคบ ใบกว้าง หรือทุกชนิด แนะนำให้ใช้กำจัดวัชพืชในที่ที่ไม่มีการปลูกพืช หรือถ้าจะพ่นในที่ที่มีพืชขึ้นอยู่หรือ อยู่ใกล้เคียง ต้องพ่นอย่างระมัดระวัง เช่น พาราควอต (Paraquat) ไกลโฟเสท (Glyphosate) เป็นต้น สุนิสา ชายเกลี้ยง, 2557⁽¹⁾

ผู้ใช้สารเคมีมีโอกาสได้รับสัมผัสสารเคมี 3 ทางหลักๆ ได้แก่ 1. ทางปาก โดยการดื่มกินเข้าไปจากการปนเปื้อนมากับอาหารและน้ำดื่ม การใช้มือที่เปื้อนสารเคมีหยิบจับอาหารเข้าปาก หรือการกินเข้าไปโดยตรงเช่น จากความตั้งใจ (การฆ่าตัวตาย) ความเข้าใจผิดหรือความประมาท 2. ทางผิวหนัง สารเคมีสามารถดูดซึมเข้าทางผิวหนังและจะดูดซึมได้ มากยิ่งขึ้นหากมีบาดแผลที่ผิวหนัง หรือเป็นโรคผิวหนังอยู่ก่อนแล้ว นอกจากนี้แล้วสารเคมียังทำอันตรายโดยตรงต่อผิวหนังจากการสัมผัส สารเคมีโดยตรง หรือ จากการเกิดอุบัติเหตุสารเคมีกระเด็นจากการเกิดขึ้น เช่น ผ่น รอยไหม้ บวมแดง ปวดแสบปวดร้อนบริเวณที่สัมผัสสารเคมี หากสารเคมีเข้าตาก็จะเกิดอาการอย่างรุนแรง 3. ทางการหายใจ เกิดจากการสูดดมหรือหายใจเอาสารเคมีในรูปของไอ ผุ่นละออง ฟุ้ง แก๊ส เข้าไปโดยตรงหรือการสูดดมหรือในที่ทำงานที่มีสารเคมี อาการที่เกิดขึ้นจะเร็วมากเพราะเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วและ

ปริมาณที่สูง มากกว่าทางอื่น อาการเช่น หายใจไม่ออก แน่นหน้าอก เวียนศีรษะ หน้ามืด

การรับสัมผัสสารเคมีทำให้อาจก่อให้เกิดการสัมผัสสูงของผู้ใช้สารเคมีทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ คืออันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและผู้ใช้ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีที่ไม่ปลอดภัย ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ทั้งแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity) และเรื้อรัง (Chronic Toxicity) อาการแสดงเฉียบพลันมีตั้งแต่ระดับเล็กน้อยจนรุนแรงถึงแก่ชีวิต ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น ความเป็นพิษและปริมาณที่ได้รับ ส่วนอาการเรื้อรังนั้นเกิดจากการที่สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะไปสะสมในระบบต่างๆ ของร่างกายทำให้เกิดความผิดปกติและโรคต่างๆ

สารไกลโฟเสทรับสัมผัสได้โดยสัมผัสด้วยมือ เข้าตา หรือสูดหายใจ ระหว่างการใช้งานกลืนสารโดยไม่ตั้งใจ เพราะไม่ได้ล้างมือก่อนกินหรือสูดสัมผัสกับต้นพืชที่ยังเปียกชื้นจากการฉีดสารไกลโฟเสท แม้สารไกลโฟเสทที่บริสุทธิ์จะมีความเป็นพิษ (Toxicity) ต่ำ แต่ส่วนใหญ่จะมีการผสมสารอื่นเข้าไปเพื่อให้ไกลโฟเสทสามารถซึมเข้าสู่ต้นพืชได้ สารเหล่านี้จึงทำให้เกิดความเป็นพิษมากขึ้น โดยอาการที่เกิดขึ้น ได้แก่ ตาหรือผิวหนังระคายเคืองจุกและคอระคายเคือง กรณีสูดหายใจเข้าไปมีน้ำลายมากขึ้น ปากและคอไหม้ กรณีกลืนเข้าไป คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย เสียชีวิต (กรณีที่ตั้งใจกลืนสารนี้เพื่อฆ่าตัวตาย) เช่นเดียวกับมนุษย์ สัตว์ก็มีความเสี่ยงหากได้สัมผัสหรือกินพืชขณะที่เปียกชื้นหลังการฉีดพ่นสาร โดยอาจทำให้สัตว์มีอาการน้ำลายไหลย่อย อาเจียนท้องเสีย เบื่ออาหารและเชื่องซึม โดยปกติสารไกลโฟเสทที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะถูกขับออกทางปัสสาวะและอุจจาระ แต่หากได้รับสารในปริมาณที่มากหรือการได้รับพิษสะสมมากๆ ก็สามารถทำลายร่างกายของเราแบบองค์รวม โดยเฉพาะโรคทางระบบประสาทส่วนกลาง เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรง พาร์กินสัน หรือแม้แต่ อัลไซเมอร์ ภาวะออดิสติก นอกจากนี้องค์การอนามัยโลกยังได้แถลงผลการวิจัยและประกาศให้สารกำจัดศัตรูพืชไกลโฟเสทอยู่ในกลุ่มสารเคมีที่อาจก่อมะเร็ง สารกลุ่ม 2A หมายถึงน่าจะก่อมะเร็งในมนุษย์ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานเกี่ยวกับการรับสัมผัสสารไกลโฟเสทในมนุษย์ทางงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยจะเห็นว่าสารไกลโฟเสทมีความเป็นพิษต่อทั้งมนุษย์และสัตว์จากการได้รับสัมผัส ดังนั้นจึงสนใจว่ามีการศึกษาการสัมผัสสารไกลโฟเสทของผู้ใช้สารว่ามีการศึกษาหรือไม่

วิธีการศึกษา

เป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสสารไกลโฟเสทผ่านการตรวจวัดทางชีวภาพ การตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษของสารไกลโฟเสท ทั้งในประเทศและต่างประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2018 จากทั้งหมด 52 เรื่อง โดยสืบค้นด้วยคอมพิวเตอร์ จากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทยผ่านทางระบบข้อมูลที่มีบริการในห้องสมุดและทำการสืบค้นจากอินเทอร์เน็ตโดยแหล่งสืบค้นข้อมูลคือ PubMed, Scimedirect และ Google scholar และวิเคราะห์ข้อมูลแบบพรรณนาจำแนกตามประเด็นของเนื้อหาและสรุปออกมาในเชิงการบรรยาย

เกณฑ์การคัดเลือกงานวิจัยเข้า

1. งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการรับสัมผัสสารไกลโฟเสท ผ่านการตรวจวัดทางชีวภาพ การตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษของสารไกลโฟเสททั้งในประเทศและต่างประเทศ
2. รายงานวิจัยที่ศึกษาในประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่และไม่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ และเป็นรายงานการวิจัยตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 - 2561 (ค.ศ. 2000-2018)
3. กำหนดคำสำคัญที่ใช้ในการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบที่เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังนี้ ความเป็นพิษ ไกลโฟเสท, ตัวชี้วัดทางชีวภาพ, ตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อม, การประเมินการสัมผัส, ความเสี่ยง, glyphosate toxicity, biomarker, environmental monitoring, ambient air, human exposure, urine, biomarker, risk

ผลการทบทวนวรรณกรรม

1. การตรวจวัดทางชีวภาพ

วิสันติเลาหุดมโชค⁽²⁾ กล่าวว่า การประเมินการสัมผัสทางด้านชีวภาพ (biological Monitoring) เป็นวิธีการทางตรงที่มักใช้ประเมินระดับสารเคมีหนึ่งๆ ที่ได้รับเข้าสู่ร่างกาย โดยเก็บตัวอย่างทางชีวภาพที่ใช้เป็นตัวชี้วัด (biomarkers) เพื่อทำการวิเคราะห์ระดับสารเคมีนั้นๆ (parent compounds) สารที่เป็นอนุพันธ์ (Metabolite) หรือสารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทางชีวเคมีในร่างกาย (reaction products) ทั้งนี้ สิ่งสำคัญคือ จะต้องพิจารณาถึง ห้วงระยะเวลาการสัมผัส (exposure Window) ที่ตัวอย่างทางชีวภาพนั้นๆ สามารถใช้เป็นตัวแทนได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านเทคโนโลยีในการตรวจ ความยุ่งยาก ความเที่ยงตรงแม่นยำ

ค่าใช้จ่าย/ความคุ้มค่า และการตรวจนั้นจะต้องไม่เป็นอันตรายหรือไม่ละเมิดต่อร่างกายของ ผู้ปฏิบัติงานมากจนเกินไป

อำนาจ พัวพลเทพ⁽³⁾ ให้ความหมายของการตรวจวัดทางชีวภาพว่า หมายถึง ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ หมายถึงสารเคมีในรูปสารตั้งต้น (parent compound) สารอนุพันธ์ (metabolite) ตลอดจนสารที่เกิดจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีในร่างกาย (reaction products) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้จากตัวอย่าง biological fluid ของร่างกาย เช่น เลือด ปัสสาวะ และ น้ำนม เป็นต้น ซึ่งสามารถ นำมาใช้เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงการได้รับสารเคมีนั้นๆ จากสภาวะ แวดล้อมเข้าสู่ร่างกายได้ โดยสารดังกล่าวข้างต้นจะต้องมีที่มาจาก การได้รับเข้าสู่ร่างกายเท่านั้น โดยไม่รวมถึงสารที่เกิดจากการ ปนเปื้อนหรือสัมผัสภายนอก

วิวัฒน์ เอกบูรณวัฒน์⁽⁴⁾ ให้ความหมายของการตรวจวัดทางชีวภาพว่า หมายถึง การตรวจ biomarker นั้น ทำเพื่อดูว่าพนักงานมีการสัมผัส (exposure) กับ สารเคมี แล้วดูดซึมเข้าไปในร่างกายหรือไม่มากนักน้อยเพียงใด (biological monitoring) ศิริลักษณ์ วงษ์วิจิตรสุข⁽⁵⁾ ให้ความหมายของการตรวจวัดทางชีวภาพว่า หมายถึง biomarkers เช่น biological monitoring, biomonitoring คำเหล่านี้จะมีความหมายใกล้เคียงกันหรืออาจใช้แทนกันได้ แต่ในงานที่เกี่ยวข้องกับสารที่เกิดขึ้น ในร่างกาย เรามักจะใช้คำว่า biomarkers ซึ่งจะมี ความเฉพาะเจาะจงในการเป็นตัวชี้วัดทางสุขภาพ มากกว่าตัวอื่นๆ โดย biomarkers เรียกเป็น ภาษาไทยก็คือ “ตัวชี้วัดทางชีวภาพ” เป็นคำที่ย่อมาจาก “biological markers” ซึ่งมีความหมายว่า ตัวบ่งชี้หรือตัวชี้วัด หรือเป็นสัญญาณของเหตุ ที่จะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต และยังหมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสัมผัสสารกับสุขภาพที่ผิดปกติ โดยทั่วไปตัวชี้วัดทางชีวภาพ

สรุป ได้ว่าการตรวจวัดทางชีวภาพเป็นการตรวจวัดโดยใช้ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ ที่เรียกว่า biomarkers ซึ่งตรวจได้จาก เลือด ปัสสาวะ และน้ำนม เป็นต้นของมนุษย์และสัตว์ เพื่อประเมินการรับสัมผัสสารเคมีชนิดต่างๆ ที่ร่างกายได้รับ

2. การตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม

การตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม หมายถึง ตรวจวัดสารเคมีในสิ่งแวดล้อมการทำงาน (environmental monitoring) เช่น การตรวจอากาศ การตรวจน้ำ การตรวจดิน เป็นต้น เพื่อใช้ในการประเมินการสัมผัสสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย จากสิ่งแวดล้อม

3. ความเป็นพิษสารไกลโฟเสท

Kwiatkowska et al.⁽⁶⁾ พบว่า glyphosate อาจนำไปสู่การทำลาย DNA ใน leucocytes ของมนุษย์ เช่น PBMCs และ DNA methylation หรือการยับยั้งการแสดงออกของยีนในมนุษย์

และเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมในเซลล์สัตว์ด้วย (ศึกษาแบบ vitro study)

Beuret et al.⁽⁷⁾ จากการศึกษาในหนูพบว่า การเพิ่ม lipid peroxidation ที่เกิดจากการได้รับ glyphosate ผ่านทางปาก ทำให้ antioxidant ทำงานหนักเกินไปของแม่และทารกในครรภ์ ซึ่ง lipoperoxidation นี้มีศักยภาพให้เกิด oxidative stress ในทารกในครรภ์สูงขึ้น

Krüger et al.⁽⁸⁾ พบความสัมพันธ์ระหว่าง glyphosate และ blood serum parameter CK (R=0.135), Se (R=-0.188), Co (R=-0.403) และ Zn (R=0.175) ซึ่งมันอธิบายว่า glyphosate เป็นพิษต่อ dairy cow

Walsh et al.⁽⁹⁾ Roundup ยับยั้ง dibutyl [(Bu)₂]cAMP การกระตุ้นการผลิต progesterone ที่สร้าง ในเซลล์ MA-10 โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ลูตาร และ ยับยั้ง steroidogenesis จากสัตว์ทดลอง

Samsel & Seneff⁽¹⁰⁾ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ไกลโฟเสทยังยับยั้ง cytochrome P450 (CYP) enzymes ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มองไปถึงความเป็นพิษของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และไกลโฟเสทอาจก่อให้เกิดโรค obesity, depression, ADHD, autism, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, ALS, multiple sclerosis, cancer, cachexia, infertility, และพัฒนา malformations

Richard et al.⁽¹¹⁾ พบว่าไกลโฟเสทรบกวนกิจกรรม aro-matase และระดับ mRNA และยังมีพิษต่อเซลล์ JEG3 ของคนที่ตั้งครรภ์ภายใน 18 ชั่วโมง

George et al.⁽¹²⁾ จากการศึกษาบนผิวหนังของหนูพบว่า Glyphosate ช่วย promoting DMBA-initiated mouse skin cells ซึ่งส่งเสริมให้เกิดเนื้องอก

4. การสัมผัสสารไกลโฟเสท

Acquavella et al.⁽¹³⁾ การประเมินการสัมผัสสารไกลโฟเสทของเกษตรกรและครอบครัวของเกษตรกร ผลพบตรวจสารไกลโฟเสทตกค้างในปัสสาวะ พบความเข้มข้นสูงสุดถึง 223 ppb เชื่อมกับการใช้ถุงมือยางขณะใช้สารไกลโฟเสทพบว่าเกษตรกรที่ใช้ถุงมือยางมีสารไกลโฟเสทตกค้างน้อยกว่าเกษตรกรที่ไม่ใส่ และมีการกล่าวถึงการได้รับสัมผัสสารไกลโฟเสทของเกษตรกรทางผิวหนังขณะผสมสารด้วย

Krüger et al.⁽¹⁴⁾ พบว่า Glyphosate ตกค้างในอวัยวะและเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน โดยพบความเข้มข้นสูงที่ปอด 0.4-80 µg/ml และหัวใจ 0.15-80 mg/ml และพบความเข้มข้นต่ำที่กล้ามเนื้อ 4.4-6.4 µg/g จากการศึกษาใน Danish piglets จากการสัมผัสจากการกิน

Morshed et al.⁽¹⁵⁾ พบสารไกลโฟเสทที่ตกค้างในบรรยากาศในระดับหายใจความเข้มข้น 42.96 µg/m³ โดยศึกษาในเกษตรกรผู้ฉีดพ่นสารไกลโฟเสท โดยใช้วิธี passive and active sampling โดยผลการศึกษาพบ สารไกลโฟเสทตกค้างหลังการฉีดพ่นในบรรยากาศและเกษตรกรได้รับโดยการหายใจเข้าไป

Anadón et al.⁽¹⁶⁾ พบว่า ความเป็นพิษสารไกลโฟเสทจากการฉีดเข้าเส้นเลือดดำและเมื่อได้รับสารไกลโฟเสททางปากในหนูทดลองได้ค่าครึ่งชีวิตที่กำจัดออกทางเลือด 9.99 ชั่วโมงหลังฉีดสารเข้าเส้นเลือดดำ และ 14.38 ชั่วโมงจากการกิน ดังนั้น การได้รับสารไกลโฟเสททางปากจะดูดซึมได้ไม่ดีเท่าการฉีดเข้าเส้นเลือด

ภัทรรัตน์ เทียมเก่า⁽¹⁷⁾ พบว่าไกลโฟเสทเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช มนุษย์จะได้รับไกลโฟเสทจากการใช้ อย่างไม่ถูกวิธี หรือไม่ระมัดระวังในขณะที่ใช้สารเคมีฉีดพ่นเพื่อกำจัดวัชพืช โดยพิษต่อมนุษย์นั้นสามารถก่อให้เกิด ความผิดปกติได้หลายอย่าง โดยเฉพาะก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์สืบพันธุ์และการพัฒนาของตัวอ่อน

Krüger et al.⁽¹⁸⁾ พบค่า R² ของ cattle urines=0.96, human urines=0.87, rabbit urines=0.97 และ tissues=0.96

ซึ่งเป็น correlation coefficients ระหว่าง ELISA และ GC-MSMS สารไกลโฟเสทตกค้างในมนุษย์หรือสัตว์ผ่านการกินและขับถ่ายออกทางปัสสาวะ

Knudsen et al.⁽¹⁹⁾ พบว่า ในประเทศเดนมาร์ก พบ Glyphosate ในปัสสาวะความเข้มข้นประมาณ 1 ng/mL ในเด็ก และแม่ที่สัมผัสสารเคมีเดียวกัน

Silva et al.⁽²⁰⁾ พบระดับ glyphosate และ AMPA สูงในดินของเกษตรกร แต่ความเสี่ยงอาจมาจากน้ำ และอากาศที่มนุษย์สัมผัสได้โดยการหายใจ

Primost et al.⁽²¹⁾ ในประเทศ Argentina พบไกลโฟเสท 1 mg ต่อ kg ดิน ทุกๆ การฉีด 5 ครั้งตกค้างในดินจากการฉีดพ่นของเกษตรกร

Conrad et al.⁽²²⁾ พบว่าGlyphosate 127 (31.8%) และ AMPA 160 (40.1%) ปนเปื้อนจากตัวอย่างปัสสาวะ 399 ตัวอย่างของคนในเมือง Greifswald ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า LOQ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษของสารไกลโฟเสท ผลการศึกษาระหว่างปี ค.ศ. 2000-2017

การศึกษา, ปี	ลักษณะการศึกษา	ผลการศึกษา
Kwiatkowska et al. ⁽⁶⁾ , 2017	ศึกษาแบบ vitro study	Glyphosate อาจนำไปสู่การทำลาย DNA ใน leucocytes ของมนุษย์ เช่น PBMCs และ DNA methylation หรือการยับยั้งการแสดงออกของยีนในมนุษย์ และเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมในเซลล์สัตว์ด้วย
Beuret et al. ⁽⁷⁾ , 2005	ศึกษาในหนูทดลอง	พบว่าการเพิ่ม lipid peroxidation ที่เกิดจากการได้รับ glyphosate ผ่านทางปาก ทำให้ antioxidant ทำงานหนักเกินไปของแม่และทารกในครรภ์ ซึ่ง lipoperoxidation นี้มีศักยภาพให้เกิด oxidative stress ในทารกในครรภ์สูงขึ้น
Krüger et al. ⁽⁸⁾ , 2014	ศึกษาใน dairy cow	พบความสัมพันธ์ระหว่าง glyphosate และ บาง blood serum parameter CK (R=0.135), Se (R=-0.188), Co (R=-0.403) และ Zn (R=0.175) ซึ่งมันอธิบายว่า glyphosate เป็นพิษต่อ dairy cow
Walsh et al. ⁽⁹⁾ , 2000	ศึกษาในสัตว์ทดลอง	Roundup ยับยั้ง dibutyl[(Bu) ₂]cAMP การกระตุ้นการผลิต progesterone ที่สร้าง ในเซลล์ MA-10 โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ลูตาร์ และ ยับยั้ง steroidogenesis จากสัตว์ทดลอง

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษของสารไกลโฟเสท ผลการศึกษาระหว่างปี ค.ศ. 2000-2017 (ต่อ)

การศึกษา, ปี	ลักษณะการศึกษา	ผลการศึกษา
Samsel&Seneff ⁽¹⁰⁾ , 2013	งานทบทวนวรรณกรรม	ไกลโฟเสทยังยั้ง cytochrome P450 (CYP) enzymes ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มองไปถึงความเป็นพิษของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และไกลโฟเสทอาจก่อให้เกิดโรค obesity, depression, ADHD, autism, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, ALS, multiple sclerosis, cancer, cachexia, infertility, และ พัฒนา malformations
Richard et al. ⁽¹¹⁾ , 2005	การทดลองในห้องปฏิบัติการ	ไกลโฟเสท รบกวนกิจกรรม aromatase และระดับ mRNA และยังมีพิษต่อเซลล์ JEG3 ของคนที่ตั้งครรภ์ภายใน 18 ชั่วโมง
George et al. ⁽¹²⁾ , 2010	การศึกษานับผิวหนังของหนูทดลอง	Glyphosate ช่วย promoting DMBA-initiated mouse skin cells ซึ่งส่งเสริมให้เกิดเนื้องอก

ตารางที่ 2 การรับสัมผัสสารไกลโฟเสทการศึกษาระหว่างปี ค.ศ. 2004 – 2017

การศึกษา, ปี	เส้นทางการรับสัมผัส	ผลการศึกษา
Acquavella et al. ⁽¹³⁾ , 2004	การใช้สารเคมี ทางผิวหนัง และปนเปื้อนจากการกิน	การประเมินการสัมผัสสารไกลโฟเสทของเกษตรกรและครอบครัวของเกษตรกร ผลพบตรวจสารไกลโฟเสทตกค้างในปัสสาวะ เชื่อมกับการใช้ถุงมือยางขณะใช้สารไกลโฟเสทพบว่าเกษตรกรที่ใช้ถุงมือยางมีสารไกลโฟเสทตกค้างน้อยกว่าเกษตรกรที่ไม่ใส่ และมีการกล่าวถึงการได้รับสัมผัสสารไกลโฟเสทของเกษตรกรทางผิวหนังขณะผสมสารด้วย
Krüger et al. ⁽¹⁴⁾ , 2014	ทางการกิน	Glyphosate ตกค้างในอวัยวะและเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน โดยพบความเข้มข้นสูงที่ปอด 0.4-80 µg/ml และหัวใจ 0.15-80 mg/ml และพบความเข้มข้นต่ำที่กล้ามเนื้อ 4.4-6.4 µg/g จากการศึกษาใน Danish piglets ด้วยวิธี ELISA
Morshed et al. ⁽¹⁵⁾ , 2011	ทางการหายใจ	เป็นการศึกษาสารไกลโฟเสทที่ตกค้างในบรรยากาศ โดยศึกษาในเกษตรกรผู้ฉีดพ่นสารไกลโฟเสท โดยใช้วิธี passive and active sampling โดยผลการศึกษาพบ สารไกลโฟเสทตกค้างหลังการฉีดพ่นในบรรยากาศและเกษตรกรได้รับโดยการหายใจเข้าไป
Anadón et al. ⁽¹⁶⁾ , 2009	ทางการกินและการฉีดเข้าเส้นเลือด	ความเป็นพิษสารไกลโฟเสทจากการฉีดเข้าเส้นเลือดดำและเมื่อได้รับสารไกลโฟเสททางปากในหนูทดลองได้ค่าครึ่งชีวิตที่กำจัดออกทางเลือด 9.99 ชั่วโมงหลังฉีดสารเข้าเส้นเลือดดำ และ 14.38 ชั่วโมงจากการกิน ดังนั้นการได้รับสารไกลโฟเสททางปากจะดูดซึมได้ไม่ดีเท่าการฉีดเข้าเส้นเลือด

ตารางที่ 2 การรับสัมผัสสารไกลโฟเสตการศึกษาระหว่างปี ค.ศ. 2004 – 2017 (ต่อ)

การศึกษา, ปี	เส้นทางการรับสัมผัส	ผลการศึกษา
ภัทรรัตน์ เทียมเก่า ⁽¹⁷⁾ , มปป	การใช้สารเคมี ทาง ผิวหนัง และทางการ หายใจ	ไกลโฟเสตเป็นพิษต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช มนุษย์จะได้รับไกลโฟเสตจากการใช้ อย่างไม่ถูกวิธีหรือไม่ระมัดระวังในขณะที่ใช้สารเคมีฉีดพ่นเพื่อกำจัดวัชพืช โดยพิษต่อมนุษย์นั้นสามารถก่อให้เกิด ความผิดปกติได้หลายอย่าง โดยเฉพาะก่อให้เกิดความผิดปกติของเซลล์สืบพันธุ์และการพัฒนาของตัวอ่อน
Krüger et al. ⁽¹⁸⁾ , 2014	ทางการกิน	Glyphosate ตกค้างในอวัยวะและเนื้อเยื่อที่แตกต่างกัน โดยพบความเข้มข้นสูงที่ปอด 0.4-80 µg/ml และหัวใจ 0.15-80 mg/ml และพบความเข้มข้นต่ำที่กล้ามเนื้อ 4.4-6.4 µg/g จากการศึกษาใน Danish piglets ด้วยวิธี ELISA
Knudsen et al. (19), 2017	Environmental exposure	ในประเทศเดนมาร์ก พบ Glyphosate ในปัสสาวะความเข้มข้นประมาณ 1 ng/mL ในเด็กและแม่ที่สัมผัสสารเคมีเดียวกัน
Silva et al. (20), 2018	ทางการหายใจ	พบระดับ glyphosate และ AMPA สูงในดินของเกษตรกร แต่ความเสี่ยงอาจมาจากน้ำ และอากาศ ที่มนุษย์สัมผัสได้โดยการหายใจ
Primost et al. (21), 2017	Environmental exposure	ในประเทศ Argentina พบไกลโฟเสต 1 mg ต่อ kg ดิน ทุกๆการฉีด 5 ครั้งตกค้างในดินจากการฉีดพ่นของเกษตรกร
Conrad et al. (22), 2017	Environmental exposure	พบ Glyphosate 127 (31.8%) และ AMPA 160 (40.1%) ปนเปื้อนจากตัวอย่างปัสสาวะ 399 ตัวอย่างของคนในเมือง Greifswald ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า LOQ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษางานวิจัย ทบทวนอย่างเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสสารไกลโฟเสต ผ่านการตรวจวัดทางชีวภาพ การตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษของสารไกลโฟเสต ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000-2018 ทั้งหมด 52 เรื่อง เป็นงานวิจัยที่ศึกษาในประเทศไทย จำนวน 2 เรื่อง นอกนั้นเป็นงานวิจัยที่ศึกษาในต่างประเทศ ทั้งหมดผลการศึกษาวิจัยพบว่าสารไกลโฟเสตเป็นสารเคมีกำจัดวัชพืชที่มีปริมาณการนำเข้าและการใช้เป็นลำดับต้นๆ ของประเทศไทย และมีผลกระทบต่อสิ่งไม่มีชีวิตนั่นคือสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ดิน น้ำและอากาศ เป็นต้น และส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์และสัตว์ ทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง จากการศึกษาความเป็นพิษของสารไกลโฟเสตพบว่าไกลโฟเสตมีพิษต่อมนุษย์และสัตว์ทดลอง โดยทำให้เกิดการทำลาย DNA ยับยั้งการแสดงออกของยีน เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม เนื่องจาก ยับยั้ง cytochrome P450

(CYP) enzymes ทำให้เกิดโรค obesity, depression, ADHD, autism, Alzheimer's disease, Parkinson's disease, ALS, multiple sclerosis, cancer, cachexia, infertility และ พัฒนา malformations ได้ และมีศักยภาพให้เกิด oxidative stress ทำให้เกิดอันตรายของทารกในครรภ์ได้ จากการที่มนุษย์และสัตว์ได้รับสัมผัสสารไกลโฟเสต ผ่านทางการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และการหายใจโดยศึกษาการการตรวจวัดการสัมผัสทางชีวภาพ และการตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม ตามวัตถุประสงค์การศึกษา ในครั้งนี้เพื่อศึกษาการสัมผัสสารไกลโฟเสตของผู้ใช้สารว่ามี การศึกษาหรือไม่ พบว่าจากการตรวจวัดทางชีวภาพ โดยใช้ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพได้แก่ ปัสสาวะ ความเข้มข้นสูงสุด พบความเข้มข้นสูงสุดถึง 223 ppb จากการสัมผัสโดยการใช้ นอกจากนี้ยังมีการตกค้างของสารไกลโฟเสตที่ อวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ ได้แก่ ปอด หัวใจและกล้ามเนื้อ จากการรับสัมผัสทางการกิน และพบความเข้มข้นของสารไกลโฟเสตที่ตกค้างในบรรยากาศ จากการตรวจวัดที่ระดับหายใจความเข้มข้น 42.96 µg/m³

จากการสัมผัสผ่านทางหายใจ

จากการศึกษาการรับสัมผัสสารไกลโฟเสททั้งในประเทศไทยและต่างประเทศจะพบการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย โดยในประเทศไทย ยังไม่ได้มีการศึกษาการรับสัมผัสสารไกลโฟเสททางการหายใจ รวมถึงในปัจจุบันยังไม่มีหน่วยงานหรือกฎหมายใด ได้กำหนดค่ามาตรฐานของการรับสัมผัสสารไกลโฟเสทในมนุษย์ ทางงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่าควรมีการศึกษาและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพเพื่อกำหนดเป็นแนวทางด้านค่ามาตรฐานในการเฝ้าระวังทางด้านสุขภาพจากการรับสัมผัสทางการหายใจในมนุษย์เพิ่มมากขึ้น เพื่อประโยชน์ในการเฝ้าระวังทางด้านสุขภาพของมนุษย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สุนิสา ชายเกลี้ยง. พิษวิทยาสาธารณสุข (Toxicology in Public Health). พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2557.
2. วิสันติ เลหาอุดมโชค. การประเมินการสัมผัส (Exposure Assessment) ด้านอาชีวอนามัย ตอนที่ ๓ การประเมินการสัมผัสทางชีวภาพ. Available at www.oshthai.org/attachments/article/133/133.pdf, May 1, 2018.
3. อำนาจ พัวพลเทพ. ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ (biomarkers) สำหรับการประเมินความเสี่ยงของการสัมผัสสารพิษจากเชื้อรา. Available at thaimycotoxin.org/wp-content/uploads/2016/09/biomarkers_290816.pdf, May 1, 2018.
4. วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ Biomarkers. Available at www.summacheeva.org/index_slide.htm, May 1, 2018.
5. ศิริลักษณ์ วงษ์วิจิตสุข. Biomarkers กับบทบาทที่สำคัญในงานอาชีวอนามัยและความปลอดภัย The role of Biomarkers in Occupational Health. วารสาร มฉก. วิชาการ 2552, 12 (24): 89-99.
6. Kwiatkowska M, Reszka E, Wozniak K, Jabłonska E, Michałowicz J & Bukowska B. DNA damage and methylation induced by glyphosate in human peripheral blood mononuclear cells (in vitro study). Food and Chemical Toxicology 2017; 105: 93-98.
7. Beuret JC, Zirulnik F & Giménez SM. Effect of the herbicide glyphosate on liver lipoperoxidation in pregnant rats and their fetuses. Reproductive Toxicology

2005; 19: 501-504.

8. Krüger M, Schrödl W, Neuhaus J & Shehata AA. Field Investigations of Glyphosate in Urine of Danish Dairy Cows. J Environ Anal Toxicol 2013; 3 (5): 1-7.
9. Walsh PL, McCormick C, Martin C & Stocco MD. Roundup Inhibits Steroidogenesis by Disrupting Steroidogenic Acute Regulatory (StAR) Protein Expression. Environmental Health Perspectives 2000; 108 (8): 769- 776.
10. Samsel A & Seneff S. Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases. Entropy 2013; 15: 1416-1463.
11. Richard S, Moslemi S, Sipahutar H, Benachour N & Seralini GE. Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase. Environmental Health Perspectives 2005; 113 (6): 716- 720.
12. George J, Prasad S, Mahmood Z & Shukla Y. Studies on glyphosate-induced carcinogenicity in mouse skin: A proteomic approach. JOURNAL OF PROTEOMICS 2010; 73: 951 – 964.
13. Acquavella FJ, Alexander HB, Mandel SJ, Gustin C, Baker B, Chapman P & Bleeke M. Glyphosate Biomonitoring for Farmers and Their Families: Results from the Farm Family Exposure Study. Environmental Health Perspectives 2004; 112 (3): 321-326.
14. Krüger M, Schledorn P, Schrödl W, Hoppe HW, Lutz W & Shehata AA. Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans. J Environ Anal Toxicol 2014; 4 (2): 1-5.
15. Morshed M. Md, Omar D, Mohamad BR & Wahed B. Abd. S. African Journal of Agricultural Research 2011; 6 (17): 4010-4018.
16. Anadón A, Martínez-Larranaga, MR, Martínez MA, Castellano VJ, Martínez M, Martín MT, et al. Toxicokinetics of glyphosate and its metabolite aminomethylphosphonic acid in rats. Toxicology Letters 2009; 190: 91-95.
17. ภัทรรัตน์ เทียมเก่า. ความเป็นพิษของไกลโฟเสทและการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า ม.ป.ป;

32 (3): 71 – 79.

18. Krüger M, Schledorn P, Schrödl W, Hoppe HW, Lutz W & Shehata AA. Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans. *J Environ Anal Toxicol* 2014; 4 (2): 1-5.

19. Knudsen EL, Hansen WP, Mizrak S, Hansen KH, Mørck AT, Nielsen F, et al. Biomonitoring of Danish school children and mothers including biomarkers of PBDE and glyphosate. *Rev Environ Health* 2017; 32 (3): 279–290.

20. Silva V, et al. Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of the Total*

Environment 2018; 621: 1352–1359.

21. Primost JE, Marino D J.G., Aparicio VC, Costa JL & Carriquiriborde P. Glyphosate and AMPA, “pseudo-persistent” pollutants under realworld agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution* 2017; 229: 771-779.

22. Conrad A, Schröter-Kermani C, Hoppe HW, Rütther Maria, Pieper S & Kolossa-Gehring M. Glyphosate in German adults – Time trend (2001 to 2015) of human exposure to a widely used herbicide. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2017; 220: 8–16.