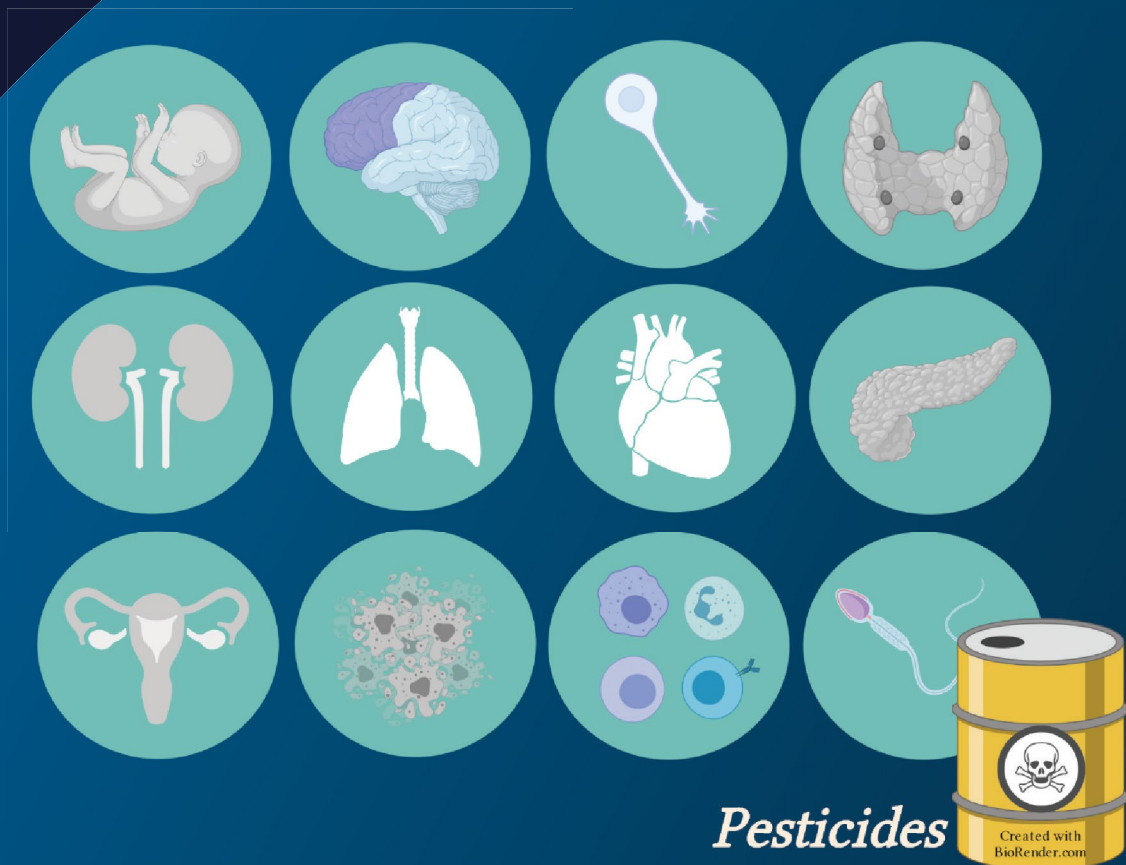


ผลกระทบ ของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ต่อระบบอวัยวะในร่างกาย

Effects of Pesticides on Organ System



รัตนา ทริพย์บำรุง
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ประวัติและผลงาน



รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา กริพย์บำระ

หน่วยงานสังกัด ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
110 ถนนอินทวิโรด ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
e-mail: ratana.sapbamrer@cmu.ac.th

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2536 - 2539 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (เกียรตินิยมอันดับ 2)
พ.ศ. 2540 - 2542 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2545 - 2549 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ทุนปริญญาเอกกาญจนาภิเษกรุ่นที่ 5 และ Short Course Research Scholarship, DAAD, Germany)

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2542 - 2543 Training Supervisor บริษัทไพรท์เอนไวรอนเมนต์ จำกัด
พ.ศ. 2543 - 2545 อาจารย์สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2549 - 2551 นักวิจัย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2551 - 2560 อาจารย์สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
พ.ศ. 2560 - 2563 อาจารย์ และรองหัวหน้าภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ. 2563 - ปัจจุบัน หัวหน้าภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Public health; Environmental health; Pesticides; Research methodology

ผลงานวิชาการ

ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่อยู่ในฐานข้อมูล Scopus จำนวน 47 ผลงาน ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ จำนวน 8 ผลงาน และผลงานการเขียนหนังสือ จำนวน 2 เรื่อง

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

- โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษกรุ่นที่ 5 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปี พ.ศ. 2545
- ทุนวิจัยองค์ความรู้ใหม่ในการสร้างนักวิจัยระดับปริญญาเอก (วปก.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปี พ.ศ. 2546
- สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข โดยได้รับทุนวิจัยชื่อโครงการ ปี พ.ศ. 2546
- Short Term Research Scholarship, German Academic Exchange Service (DAAD), Germany, ปี พ.ศ. 2548
- ทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ปี พ.ศ. 2550
- ทุนสนับสนุนการวิจัยบนแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 - 2564 จำนวน 19 ทุน (หัวหน้าโครงการวิจัย 9 ทุน และผู้ร่วมวิจัย 10 ทุน)
- ทุนสนับสนุนการวิจัยมหาวิทยาลัยพะเยา งบรายได้ ปี พ.ศ. 2553 - 2559 จำนวน 4 ทุน
- ทุนสนับสนุนการวิจัยคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2560 - 2564 จำนวน 7 ทุน
- ทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นกลาง สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีพ.ศ. 2562

**ผลกระทบ
ของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช
ต่อระบบอวัยวะในร่างกาย**

Effects of Pesticides on Organ System

รัตนา ทริพย์บำเรอ

ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ต่อระบบอวัยวะในร่างกาย

บรรณาธิการบริหาร: กรกฎ งานวงศ์พาณิชย์
ISBN (e-Book) : 978-616-398-662-7
ผู้แต่ง: รัตนา ทรัพย์บำรุง
เจ้าของและผู้จัดพิมพ์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สำนักงานบริหารงานวิจัย สำนักงานมหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์: 0 5394 3603-4
โทรสาร: 0 5394 3600
<https://cmupress.cmu.ac.th>
E-mail: cmupress.th@gmail.com

พิมพ์ครั้งแรก : มกราคม 2565
ราคา: 339 บาท

ออกแบบและจัดรูปเล่ม: สมสืบ คราฟท์

หนังสือเล่มนี้ผ่านการประเมินเพื่อตรวจสอบและรับรองการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการประเภทหนังสือหรือตำรา ซึ่งจัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เรียบร้อยแล้ว

©สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ห้ามลอกเลียนแบบ ทำซ้ำ ดัดแปลง ส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ รวมทั้งการจัดเก็บถ่ายทอไม่ว่ารูปแบบหรือวิธีการใดๆ ด้วยกระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ การถ่ายภาพ การบันทึกหรือวิธีการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

คำนิยม

ประเทศไทยถูกจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจต่าง ๆ จำนวนมาก สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ถือเป็นวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตร ที่ผลิตป้องกันโรคพืชที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตที่เป็นศัตรูพืชและพาหะนำโรค และพบว่ามีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้น สารเหล่านี้สามารถตกค้างในธรรมชาติ รวมถึงสามารถปนเปื้อนไปกับผลผลิตได้ ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์โดยตรง

หนังสือ “ผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะในร่างกาย” เล่มนี้ที่เขียนโดย รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา ทรัพย์บำรุง ได้นำเสนอผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะในร่างกาย ได้แก่ ระบบทางประสาทและสมอง ระบบทางเดินหายใจ ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์ ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ ระบบขับถ่าย รวมถึงการเกิดโรคมะเร็งในแต่ละอวัยวะ

นอกจากนี้หนังสือเล่มนี้ได้เขียนขึ้นมาจากประสบการณ์การทำงาน การสอน และการทำวิจัยจำนวนมากของผู้แต่ง และได้นำเสนอเป็นรูปแบบหนังสือที่อ่านได้ง่าย มีรูปประกอบให้เข้าใจได้ มีการใช้ภาษาที่ถูกต้อง นอกจากนั้นหนังสือเล่มนี้ยังได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาแล้ว อันเป็นการช่วยยืนยันถึงความถูกต้องทางวิชาการของหนังสือ นับว่าเป็นหนังสือวิชาการที่มีคุณค่าอีกเล่มหนึ่งที่สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่รู้สึกยินดีที่ได้มีโอกาสเป็นผู้ดำเนินการพิมพ์และจัดจำหน่าย

กรกฎ งานวงศ์พาณิชย์

บรรณาธิการบริหารสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

ปัจจุบันทุกภาคส่วนให้ความสนใจและตระหนักถึงผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะเกษตรกร ผู้บริโภค หญิงตั้งครรภ์และเด็ก ดังนั้นผู้เขียนจึงจัดทำหนังสือผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะในร่างกาย (Effects of Pesticides on Organ System) เพื่อเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกายให้แก่นักวิชาการ บุคลากรทางสาธารณสุข นักวิจัย นักศึกษาในสาขาวิชาการด้านการแพทย์และสาธารณสุข และผู้ที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีฯ

ผู้เขียนได้เรียบเรียงเนื้อหาตามผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ได้แก่ ระบบทางประสาทและสมอง ระบบทางเดินหายใจ ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์ ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ ระบบขับถ่าย รวมถึงการเกิดโรคมะเร็งในระบบอวัยวะต่างๆ ซึ่งในแต่ละบทครอบคลุมถึงการทำงานของระบบอวัยวะ การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อระบบอวัยวะ และกลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบอวัยวะ โดยผู้เขียนได้รวบรวมการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อระบบอวัยวะต่างๆ และทำการวิเคราะห์สังเคราะห์ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อระบบอวัยวะ ผู้เขียนได้สอดแทรกแนวคิดและองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยของผู้เขียนเองที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีฯ และในบทสุดท้ายของหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนได้เขียนแนวทางการลดการใช้สารเคมีฯ และลดความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีฯ ไว้ในหนังสือเล่มนี้ด้วย

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนยินดีน้อมรับข้อเสนอแนะเพื่อนำไปปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร.รัตนา ทรัพย์บำรุง

ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สารบัญ

คำนิยม	I
คำนำ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XVII
1. บทนำ	1
1. การจำแนกประเภทและชนิดของสารเคมีฯ	2
1.1 สารเคมีกำจัดแมลง	2
1.2 สารเคมีกำจัดวัชพืช	4
1.3 สารเคมีกำจัดเชื้อรา	7
1.4 สารเคมีกำจัดไร	7
1.5 สารเคมีกำจัดหนูและสัตว์ฟันแทะ	7
1.6 สารเคมีกำจัดหอยและหอยทาก	7
1.7 สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย	7
1.8 สารเคมีกลุ่มอื่นๆ	7
2. ทางเข้าของสารเคมีฯ	8
2.1 การสัมผัสสารเคมีฯ ทางผิวหนัง	8
2.2 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการรับประทาน	8
2.3 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการหายใจ	8
3. การแบ่งระดับความเป็นพิษของสารเคมีฯ	9
4. เส้นทางการสัมผัสสารเคมีฯ และกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีฯ	10
4.1 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน	10
4.2 การสัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อม	10
4.3 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการใช้ในบ้านเรือน	11
4.4 การส่งต่อสารเคมีฯ จากแม่สู่ลูกผ่านทางสายสะดือ	11
5. สถานการณ์การใช้สารเคมีฯ ทั่วโลกและประเทศไทย	11
6. ผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อระบบนิเวศน์	14
6.1 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ดิน น้ำ และอากาศ	14
6.2 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ	14
6.3 ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ	15
7. ผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อสุขภาพ	15
7.1 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน	15
7.2 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบกึ่งเรื้อรัง	16
7.3 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง	16
8. สรุป	19
9. เอกสารอ้างอิง	19
10. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	20

สารบัญ

2. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบประสาทและสมอง	21
1. บทนำ: ระบบประสาทและสมอง	22
1.1 โครงสร้างของระบบประสาท	22
1.2 เซลล์ประสาท และสารสื่อประสาท	24
2. กลไกการป้องกันสิ่งแปลกปลอม	26
3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	27
3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคและอาการแสดงทางระบบประสาท	27
3.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก	29
4. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบประสาท	31
4.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคทางระบบประสาท	31
4.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก	32
5. กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบประสาทจากการสัมผัสสารเคมีฯ	49
5.1 กลไกการเกิดโรคอัลไซเมอร์จากการสัมผัสสารเคมีฯ	49
5.2 กลไกการเกิดโรคพาร์กินสันจากการสัมผัสสารเคมีฯ	51
5.3 กลไกการเกิดโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงชนิดเอแอลเอส	54
5.4 กลไกการเกิดอาการแสดงทางระบบประสาท	55
5.5 กลไกการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก	59
6. สรุป	63
7. เอกสารอ้างอิง	64
8. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	81
3. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบทางเดินหายใจ	83
1. บทนำ: ระบบทางเดินหายใจ	84
1.1 การแบ่งระบบทางเดินหายใจตามโครงสร้าง	84
1.2 การแบ่งระบบทางเดินหายใจตามหน้าที่การทำงาน	84
2. การสะสมของสิ่งแปลกปลอม และกลไกการกำจัดสิ่งแปลกปลอม	85
2.1 การสะสมของสิ่งแปลกปลอมในระบบทางเดินหายใจ	85
2.2 กลไกการกำจัดสิ่งแปลกปลอม	85
3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	86
3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อระบบทางเดินหายใจในกลุ่มที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน	87
3.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อระบบทางเดินหายใจในกลุ่มประชากรทั่วไป	91
3.3 ผลของสารเคมีฯ ต่อระบบทางเดินหายใจในเด็ก	92

สารบัญ

4. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจ	111
4.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรกระบบทางเดินหายใจ	111
4.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจ	111
4.3 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจ ในเด็กจากการสัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์และช่วงหลังคลอด	112
5. กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจจากการสัมผัสสารเคมีฯ	115
5.1 กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจจากการสัมผัสสารเคมีฯ กําจัดแมลง	115
5.2 กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจของสารเคมีฯ กําจัดวัชพืช	120
6. สรุป	123
7. เอกสารอ้างอิง	123
8. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	131
4. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบภูมิคุ้มกัน	133
1. บทนำ: ระบบภูมิคุ้มกัน	134
1.1 ประเภทของระบบภูมิคุ้มกัน	134
1.2 ภาวะและโรคที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน	140
2. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	141
2.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อการติดเชื้อ	141
2.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์	142
2.3 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเอง	142
2.4 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคภูมิแพ้ หรืออาการแพ้	142
2.5 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคผื่นแพ้สัมผัส และโรคตุ่มน้ำพอง	142
2.6 ผลของสารเคมีฯ ต่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	143
3. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน	158
3.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อการติดเชื้อ	158
3.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะภูมิไวเกินและโรคภูมิคุ้มกันต้านตนเอง	158
3.3 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	158
4. กลไกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุ้มกันจากการสัมผัสสารเคมีฯ	160
4.1 การเกิดพิษต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยตรง	160
4.2 การรบกวนระบบต่อมไร้ท่อ	164
4.3 การจับกับโปรตีน และโปรตีนของตนเอง	169
5. สรุป	171
6. เอกสารอ้างอิง	171
7. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	178

สารบัญ

5. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบต่อมไร้ท่อ	179
1. บทนำ: ต่อมไร้ท่อ	180
1.1 ต่อมไทรอยด์	182
1.2 กลุ่มเซลล์โอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ในตับอ่อน	185
2. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	187
2.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อมไทรอยด์	187
2.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อกกลุ่มเซลล์โอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ในตับอ่อน	188
3. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อระบบต่อมไร้ท่อ	214
3.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อต่อมไทรอยด์	214
3.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อกกลุ่มเซลล์โอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ในตับอ่อน	215
4. กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบต่อมไร้ท่อจากการสัมผัสสารเคมีฯ	221
4.1 กลไกการเกิดผลกระทบต่อต่อมไทรอยด์	221
4.2 กลไกการเกิดผลกระทบต่อกลุ่มเซลล์โอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ในตับอ่อน	225
5. สรุป	232
6. เอกสารอ้างอิง	232
7. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	244
6. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบสืบพันธุ์	245
1. บทนำ: ระบบสืบพันธุ์	246
1.1 โครงสร้างของระบบสืบพันธุ์	246
1.2 การกำหนดเพศและพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์	246
1.3 ฮอโมนเพศที่สำคัญ	247
1.4 คุณภาพของอสุจิ	251
1.5 ภาวะผิดปกติของระบบสืบพันธุ์ที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสสารเคมีฯ	252
2. กลไกป้องกันและกำจัดสารพิษในระบบสืบพันธุ์	254
2.1 ตัวกั้นกลางระหว่างหลอดเลือดและหลอดสร้างตัวอสุจิ	254
2.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารพิษ	254
2.3 การซ่อมแซมดีเอ็นเอ	254
3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	255
3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อคุณภาพของอสุจิในกลุ่มประชากรชาย	255
3.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อระดับฮอโมนเพศในกลุ่มประชากรชาย	255
3.3 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดภาวะอัมพาตในเด็กผู้ชายที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	255
3.4 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดภาวะไฮโปสเปอเดียในเด็กผู้ชายที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	255
3.5 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคเยื่อบุโพรงมดลูกเจริญผิดที่ในกลุ่มประชากรหญิง	256
3.6 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดการแท้งบุตรในกลุ่มประชากรหญิงตั้งครรภ์	256

สารบัญ

4. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคและการแสดงทางระบบสืบพันธุ์	256
4.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับคุณภาพพอสุจิในกลุ่มประชากรชาย	256
4.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับระดับฮอร์โมนเพศในประชากรชาย	270
4.3 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดภาวะอันพะค้ำและภาวะไฮโปสไปเดียในเด็กผู้ชาย	270
4.4 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคเยื่อบุโพรงมดลูกเจริญผิดปกติในกลุ่มประชากรหญิง	270
4.5 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดการแท้งบุตรในกลุ่มประชากรหญิงตั้งครรภ์	271
5. กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์จากการสัมผัสสารเคมีฯ	275
5.1 กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์เพศชายจากการสัมผัสสารเคมีฯ	282
5.2 กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์เพศหญิงจากการสัมผัสสารเคมีฯ	285
6. สรุป	288
7. เอกสารอ้างอิง	288
8. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	298
7. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	299
1. บทนำ: ระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	300
1.1 การทำงานของระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	300
1.2 โรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจและการแสดงที่พบความสัมพันธ์กับการสัมผัสสารเคมีฯ	300
2. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	301
2.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูง	301
2.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูงและภาวะครรภ์เป็นพิษในหญิงตั้งครรภ์	301
2.3 ผลของสารเคมีฯ ต่อค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและค่าความดันโลหิตไดแอสโตลิก	301
2.4 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	301
3. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	302
3.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูง ภาวะครรภ์เป็นพิษ และค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและไดแอสโตลิก	302
3.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่ส่งผลต่อการเกิดโรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	302
4. กลไกการเกิดพิษต่อระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจจากการสัมผัสสารเคมีฯ	312
4.1 การเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน	312
4.2 การขัดขวางการทำงานของโปรตีนคอลไนด์และการทำงานของแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด	312
4.3 การรบกวนการทำงานของโปรตีนโซเดียม	312
4.4 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส	312
5. สรุป	314
6. เอกสารอ้างอิง	314
7. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	318

สารบัญ

8. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบขับถ่าย	319
1. บทนำ: ระบบขับถ่าย	320
1.1 โครงสร้างของเนื้อไต	320
1.2 โครงสร้างของหน่วยไต	321
1.3 การผลิตน้ำปัสสาวะของหน่วยไต	322
1.4 พารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไต	325
1.5 โรคไตเรื้อรัง	327
2. กลไกป้องกันและกำจัดสารพิษในระบบขับถ่าย	328
3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	329
3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคไตเรื้อรัง	329
3.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไต	329
4. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคไตเรื้อรังและพารามิเตอร์ที่สำคัญ	330
4.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคไตเรื้อรัง	330
4.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไต	331
5. กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบขับถ่ายจากการสัมผัสสารเคมีฯ	339
5.1 กลไกการเกิดพิษต่อไตของสารพิษ	339
5.2 กลไกการเกิดพิษต่อไตของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช	340
6. สรุป	343
7. เอกสารอ้างอิง	343
8. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	346
9. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อการเกิดโรคมะเร็ง	347
1. บทนำ: โรคมะเร็ง	348
1.1 ลักษณะเด่นของเซลล์มะเร็ง	348
1.2 สาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง	348
1.3 กลไกการเกิดโรคมะเร็ง	349
2. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา	352
2.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็ง/เนื้องอกในสมองและเนื้อเยื่อประสาท	352
2.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งปอด	352
2.3 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	352
2.4 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์	354
2.5 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งระบบสืบพันธุ์	354
2.6 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งระบบทางเดินอาหาร	355
2.7 ผลของสารเคมีฯ ต่อการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่าย	356

สารบัญ

3. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็ง	392
3.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็ง/เนื้องอกในสมองและเนื้อเยื่อประสาท	392
3.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งปอด	392
3.3 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	392
3.4 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์	392
3.5 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบสืบพันธุ์	393
3.6 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบทางเดินอาหาร	395
3.7 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่าย	395
4. กลไกการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารเคมีฯ	402
4.1 การทำงานของไมโทคอนเดรียผิดปกติ	402
4.2 การเกิดความเสียหายต่อดีเอ็นเอโดยตรง	403
4.3 การเกิดปฏิกิริยาพิษเพอร์ออกซิเดชัน	404
4.4 การทำลายโปรตีนต่างๆ ภายในเซลล์	404
4.5 การยับยั้งการทำงานของโปรตีนพี 53	407
4.6 การเกิดภาวะอักเสบ	407
5. สรุป	408
6. เอกสารอ้างอิง	408
7. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	424
10. แนวทางการลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช และลดความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีฯ	425
1. การเข้าร่วมเป็นภาคีสมาชิกอนุสัญญาระหว่างประเทศ	426
1.1 อนุสัญญารอตเตอร์ดัม	426
1.2 อนุสัญญาสตอกโฮล์ม	427
2. การมีมาตรการทางกฎหมายที่ชัดเจนและเข้มงวด	427
3. การกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพสินค้าทางการเกษตร	428
4. การมีนโยบายการสร้างแรงจูงใจลดการใช้สารเคมีฯ	428
5. การส่งเสริมและสนับสนุนทางเลือกในการป้องกันศัตรูพืชโดยไม่ใช้สารเคมีฯ	428
5.1 การจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสานการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน (integrated pest management)	429
5.2 การรับรองมาตรฐานการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี	430
5.3 การรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์	431
6. การมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรที่ชัดเจน ครอบคลุม และต่อเนื่อง	435
7. การขึ้นทะเบียนใบอนุญาตผู้ใช้สารเคมีฯ	435

สารบัญ

8. การจัดตั้งกลุ่มภาคีภาคประชาชนและภาคการเกษตร	436
9. การส่งเสริมและสนับสนุนการสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล	437
10. การสร้างความตระหนักในกลุ่มผู้บริโภคและประชาชนทั่วไป	439
11. การสร้างองค์ความรู้ใหม่ผ่านกระบวนการวิจัยและพัฒนา	441
12. สรุป	441
13. เอกสารอ้างอิง	442
14. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	443
 ดัชนี (Index)	 445
ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ	467

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1	การแบ่งระดับความเป็นพิษเฉียบพลันตามองค์การอนามัยโลก	9
ตารางที่ 1-2	การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชแยกตามทวีป ปี พ.ศ. 2533 และปี พ.ศ. 2561	12
ตารางที่ 1-3	การใช้สารเคมีกำจัดแมลงแยกตามทวีป ปี พ.ศ. 2533 และปี พ.ศ. 2561	13
ตารางที่ 1-4	การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชแยกตามทวีป ปี พ.ศ. 2533 และปี พ.ศ. 2561	13
ตารางที่ 1-5	การใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราแยกตามทวีป ปี พ.ศ. 2533 และปี พ.ศ. 2561	14
ตารางที่ 1-6	อาการแสดงแบบเฉียบพลันจากการสัมผัสสารเคมีฯ	16
ตารางที่ 2-1	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคอัลไซเมอร์	33
ตารางที่ 2-2	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคพาร์กินสัน	34
ตารางที่ 2-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงชนิดเอแอลเอส	39
ตารางที่ 2-4	ความสัมพันธ์ของการสัมผัสสารเคมีฯ กับการเกิดอาการแสดงทางระบบประสาท	40
ตารางที่ 2-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคสมาธิสั้นในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	41
ตารางที่ 2-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคสมาธิสั้นในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงหลังคลอด	41
ตารางที่ 2-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคออทิสติกในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	42
ตารางที่ 2-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการพัฒนาการล่าช้าของทารก 0-1 ปี	43
ตารางที่ 2-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการพัฒนาการล่าช้าของเด็กอายุ 2-5 ปี	44
ตารางที่ 2-10	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการพัฒนาการล่าช้าของเด็กอายุ 6-15 ปี	45
ตารางที่ 2-11	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคทางระบบประสาท	47
ตารางที่ 2-12	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติและพัฒนาการล่าช้าในเด็ก	48
ตารางที่ 3-1	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคหอบหืดในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	95
ตารางที่ 3-2	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	97
ตารางที่ 3-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังและการอุดกั้นทางเดินหายใจในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	99
ตารางที่ 3-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคจมูกอักเสบในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	100
ตารางที่ 3-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการหายใจมีเสียงหวีดในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	101
ตารางที่ 3-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการไอในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	104
ตารางที่ 3-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการหายใจลำบากในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	105
ตารางที่ 3-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการมีเสมหะในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	105

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการเจ็บหน้าอกในเกษตรกรและผู้ทำงานสัมผัสสารเคมีฯ	106
ตารางที่ 3-10	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจในประชากรทั่วไป	107
ตารางที่ 3-11	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจในประชากรทั่วไป	107
ตารางที่ 3-12	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	108
ตารางที่ 3-13	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	109
ตารางที่ 3-14	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงหลังคลอด	109
ตารางที่ 3-15	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงหลังคลอด	110
ตารางที่ 3-16	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ	113
ตารางที่ 3-17	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจ	114
ตารางที่ 3-18	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคและอาการระบบทางเดินหายใจในเด็กที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์และช่วงหลังคลอด	115
ตารางที่ 4-1	ประเภทของระบบภูมิคุ้มกันแต่กำเนิดและหน้าที่ในการป้องกันกำจัดสิ่งแปลกปลอม	135
ตารางที่ 4-2	ประเภทของระบบภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นหลังกำเนิดและหน้าที่ในการป้องกันกำจัดสิ่งแปลกปลอม	137
ตารางที่ 4-3	หน้าที่ของสารไซโตไคน์ที่สำคัญ	138
ตารางที่ 4-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ	145
ตารางที่ 4-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการอักเสบของหูชั้นกลาง	145
ตารางที่ 4-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์	146
ตารางที่ 4-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเอง	147
ตารางที่ 4-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคภูมิแพ้หรืออาการแพ้	148
ตารางที่ 4-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคผื่นแพ้สัมผัสและโรคตุ่มน้ำพอง	148
ตารางที่ 4-10	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ	149
ตารางที่ 4-11	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะจากกระแสเลือดหรือสารคัดหลั่ง	151
ตารางที่ 4-12	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะจากเซลล์	152
ตารางที่ 4-13	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าไซโตไคน์	156
ตารางที่ 4-14	สรุปชนิดสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจและการอักเสบของหูชั้นกลาง	159
ตารางที่ 4-15	สรุปชนิดสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดภาวะภูมิไวเกินและโรคภูมิคุ้มกันต้านตนเอง	159
ตารางที่ 4-16	สรุปชนิดสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	160

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5-1	ชนิดของต่อมไร้ท่อ และฮอร์โมนหรือสารเคมีที่ผลิตขึ้น	180
ตารางที่ 5-2	เกณฑ์วินิจฉัยภาวะขาดฮอร์โมนไทรอยด์และภาวะฮอร์โมนไทรอยด์เกิน	185
ตารางที่ 5-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับภาวะขาดฮอร์โมนไทรอยด์	190
ตารางที่ 5-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับภาวะฮอร์โมนไทรอยด์เกิน	193
ตารางที่ 5-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในหญิงตั้งครรภ์	194
ตารางที่ 5-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในทารกที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	195
ตารางที่ 5-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในเด็ก	199
ตารางที่ 5-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในประชากรที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงานและสิ่งแวดล้อม	200
ตารางที่ 5-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคเบาหวาน	205
ตารางที่ 5-10	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวาน	211
ตารางที่ 5-11	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะขาดฮอร์โมนไทรอยด์	217
ตารางที่ 5-12	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในหญิงตั้งครรภ์และทารกที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	218
ตารางที่ 5-13	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับค่าฮอร์โมนไทรอยด์ในประชากรที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงานและสิ่งแวดล้อม	219
ตารางที่ 5-14	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเบาหวาน	220
ตารางที่ 5-15	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโรคเบาหวาน	221
ตารางที่ 6-1	ค่าปกติของฮอร์โมนเพศในเลือด	250
ตารางที่ 6-2	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติของอสุจิในกลุ่มประชากรชายที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน	257
ตารางที่ 6-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติของอสุจิในกลุ่มประชากรชายที่สัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อม	259
ตารางที่ 6-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศในกลุ่มประชากรชายที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน	262
ตารางที่ 6-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศในกลุ่มประชากรชายที่สัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อม	263
ตารางที่ 6-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดภาวะอ้วนในเด็กผู้ชายที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	265
ตารางที่ 6-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดภาวะไฮโปสเปอเดียในเด็กผู้ชายที่สัมผัสสารเคมีฯ ในช่วงตั้งครรภ์	266
ตารางที่ 6-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคเยื่อโพรงมดลูกเจริญผิดที่	268
ตารางที่ 6-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดการแท้งบุตร	269
ตารางที่ 6-10	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของอสุจิในกลุ่มประชากรชาย	272

สารบัญตาราง

ตารางที่ 6-11	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับฮอริโมนเพศในกลุ่มประชากรชาย	273
ตารางที่ 6-12	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะอันวะค้ำและภาวะไฮโปสไปเดียในเด็กผู้ชาย	274
ตารางที่ 6-13	ชนิดของสารเคมีก่าจัดแมลงที่จัดเป็นสารเคมีก่อวาระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์	276
ตารางที่ 6-14	ชนิดของสารเคมีก่าจัดวัชพืชที่จัดเป็นสารเคมีก่อวาระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์	279
ตารางที่ 6-15	ชนิดของสารเคมีก่าจัดเชื้อราที่จัดเป็นสารเคมีก่อวาระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์	280
ตารางที่ 6-16	ชนิดของสารเคมีก่าจัดไรและปลวกที่จัดเป็นสารเคมีก่อวาระบบต่อมไร้ท่อ และระบบสืบพันธุ์	281
ตารางที่ 7-1	ชนิดของสารเคมีที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคความดันโลหิตสูง	304
ตารางที่ 7-2	ชนิดของสารเคมีที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคความดันโลหิตสูงและภาวะครรภ์เป็นพิษในหญิงตั้งครรภ์	305
ตารางที่ 7-3	ชนิดของสารเคมีที่สัมพันธ์กับค่าความดันโลหิตซิสโตลิก	306
ตารางที่ 7-4	ชนิดของสารเคมีที่สัมพันธ์กับค่าความดันโลหิตไดแอสโตลิก	307
ตารางที่ 7-5	ชนิดของสารเคมีที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	308
ตารางที่ 7-6	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคความดันโลหิตสูง ภาวะครรภ์เป็นพิษ และค่าความดันโลหิตซิสโตลิกและไดแอสโตลิก	311
ตารางที่ 7-7	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับโรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	311
ตารางที่ 8-1	การคำนวณอัตราการกรองของไตตามสมการ 2009 Chronic kidney disease epidemiology collaboration equation (CKD-EPI)	326
ตารางที่ 8-2	การแบ่งระยะของโรคไตเรื้อรัง	328
ตารางที่ 8-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคไตเรื้อรังในกลุ่มประชากรที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน	332
ตารางที่ 8-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคไตเรื้อรังในกลุ่มประชากรที่สัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อม	333
ตารางที่ 8-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าแอลบูมินในปัสสาวะ	334
ตารางที่ 8-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าครีเอตินิน	335
ตารางที่ 8-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับอัตราการกรองของไต	336
ตารางที่ 8-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับค่าบิลิรูบินในโตรเจน	337
ตารางที่ 8-9	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคไตเรื้อรัง	338
ตารางที่ 8-10	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไต	338
ตารางที่ 9-1	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งสมองและเนื้องอกในสมองในผู้ใหญ่	357
ตารางที่ 9-2	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งสมองและเนื้องอกในสมองในเด็ก	358
ตารางที่ 9-3	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเนื้อเยื่อประสาท	359
ตารางที่ 9-4	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งปอด	360

สารบัญตาราง

ตารางที่ 9-5	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบสร้างเม็ดเลือดและน้ำเหลือง	362
ตารางที่ 9-6	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวในผู้ใหญ่	363
ตารางที่ 9-7	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวในเด็ก	365
ตารางที่ 9-8	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดมัยอีโลมา	368
ตารางที่ 9-9	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งต่อมน้ำเหลือง	369
ตารางที่ 9-10	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งต่อมไทรอยด์	377
ตารางที่ 9-11	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบสืบพันธุ์เพศชาย	377
ตารางที่ 9-12	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบสืบพันธุ์เพศหญิง	383
ตารางที่ 9-13	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเต้านม	383
ตารางที่ 9-14	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร	386
ตารางที่ 9-15	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่ายปัสสาวะ	388
ตารางที่ 9-16	ชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่ายอุจจาระ	390
ตารางที่ 9-17	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็ง/เนื้องอกในระบบประสาทและสมอง	397
ตารางที่ 9-18	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งปอด	397
ตารางที่ 9-19	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน	398
ตารางที่ 9-20	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบสืบพันธุ์เพศชาย	398
ตารางที่ 9-21	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งเต้านม	400
ตารางที่ 9-22	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบทางเดินอาหาร	400
ตารางที่ 9-23	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่ายปัสสาวะ	401
ตารางที่ 9-24	สรุปชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งระบบขับถ่ายอุจจาระ	401
ตารางที่ 10-1	การจัดประเภทผลผลิตทางการเกษตร	434

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1-1	ประเภทของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช	2
ภาพที่ 1-2	ประเภทและชนิดของสารเคมีกำจัดแมลง	5
ภาพที่ 1-3	สัดส่วนการใช้สารเคมีฯ ในแต่ละทวีป	13
ภาพที่ 1-4	วัฏจักรของสารเคมีฯ ในระบบนิเวศน์	15
ภาพที่ 1-5	ผลของสารเคมีฯ ต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง	18
ภาพที่ 2-1	โครงสร้างของระบบประสาท	23
ภาพที่ 2-2	หน้าที่ของสมองในส่วนต่างๆ	24
ภาพที่ 2-3	การทำงานของเซลล์ประสาท	25
ภาพที่ 2-4	กลไกการเกิดโรคอัลไซเมอร์จากการสัมผัสสารเคมีฯ	51
ภาพที่ 2-5	กลไกการเกิดโรคพาร์กินสันจากการสัมผัสสารเคมีฯ	54
ภาพที่ 2-6	กลไกการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็กจากการสัมผัสสารเคมีฯ	63
ภาพที่ 3-1	ตำแหน่งและขนาดอนุภาคของสิ่งแปลกปลอมที่สามารถสะสมในระบบทางเดินหายใจ	85
ภาพที่ 3-2	กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจของสารเคมีกำจัดแมลง	119
ภาพที่ 3-3	กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจของสารเคมีกำจัดวัชพืช	122
ภาพที่ 4-1	ระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะ	137
ภาพที่ 4-2	ภูมิคุ้มกันที่เกิดขึ้นหลังกำเนิด	138
ภาพที่ 4-3	กลไกการเกิดพิษของสารเคมีฯ ต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยตรงโดยผ่านกลไกการเกิดภาวะเครียดออกซิเดชันและกลไกที่เกี่ยวข้อง	167
ภาพที่ 4-4	กลไกการเกิดพิษของสารเคมีฯ ต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยตรง	168
ภาพที่ 4-5	กลไกการเกิดพิษของสารเคมีฯ ต่อระบบภูมิคุ้มกัน	169
ภาพที่ 4-6	กลไกการเกิดพิษของสารเคมีฯ ต่อระบบภูมิคุ้มกัน	170
ภาพที่ 5-1	กลไกการสร้างและหลั่งฮอร์โมนไทรอยด์	182
ภาพที่ 5-2	กลไกการรบกวนต่อมไทรอยด์ของสารเคมีฯ	224
ภาพที่ 5-3	กรดไขมันอิสระและเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการส่งสัญญาณอินซูลิน	227
ภาพที่ 5-4	กลไกการเกิดผลกระทบต่อกลุ่มเซลล์โอเลตส์ออฟแลงเกอร์ฮานส์ในตับอ่อน	231
ภาพที่ 6-1	กลไกการทำงานของฮอร์โมนเพศชาย	249
ภาพที่ 6-2	กลไกการทำงานของฮอร์โมนเพศหญิง	250
ภาพที่ 6-3	กลไกการสังเคราะห์ฮอร์โมนเพศ	251
ภาพที่ 6-4	กลไกการรบกวนฮอร์โมนในร่างกายของสารเคมีก่อรบกวนระบบต่อมไร้ท่อ	275
ภาพที่ 6-5	การออกฤทธิ์เสริมและต้านของสารเคมีก่อรบกวนการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ	276
ภาพที่ 6-6	กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์เพศชายจากการสัมผัสสารเคมีฯ	284
ภาพที่ 6-7	กลไกการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์เพศหญิงจากการสัมผัสสารเคมีฯ	286
ภาพที่ 6-8	กลไกการเกิดเยื่อบุโพรงมดลูกเจริญผิดที่จากการสัมผัสสารเคมีฯ	287
ภาพที่ 7-1	กลไกการพิษของสารเคมีฯ ต่อระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ	313
ภาพที่ 8-1	โครงสร้างของเนื้อไต	321

สารบัญภาพ

ภาพที่ 8-2	โครงสร้างของหน่วยไต	322
ภาพที่ 8-3	กลไกการดูดซึมกลับและขับของเสียของไต	325
ภาพที่ 8-4	กลไกการเกิดพิษต่อไตของสารพาราควอตและไดควอต	342
ภาพที่ 9-1	ลักษณะเด่นของเซลล์มะเร็ง	349
ภาพที่ 9-2	กลไกการเกิดโรคมะเร็ง	351
ภาพที่ 9-3	กลไกการเกิดโรคมะเร็งจากการสัมผัสสารเคมีฯ	405
ภาพที่ 9-4	กลไกการสร้างพลังงานและการเกิดอนุมูลอิสระในไมโทคอนเดรีย	406
ภาพที่ 9-5	การเกิดกระบวนการลิพิดเพอร์ออกซิเดชัน	406
ภาพที่ 10-1	แนวทางการลดการใช้สารเคมีฯ และความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีฯ อย่างยั่งยืน	426
ภาพที่ 10-2	หลักการป้องกันศัตรูพืชตามหลักการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน	430
ภาพที่ 10-3	ชุดป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้นจากผ้าฝ้ายชุบสารละลายชันสน	438
ภาพที่ 10-4	ชนิดของหน้ากากที่เกษตรกรไทยนิยมใช้และหาได้ตามท้องตลาด	440



บทที่ 1

บทนำ

(Introduction)

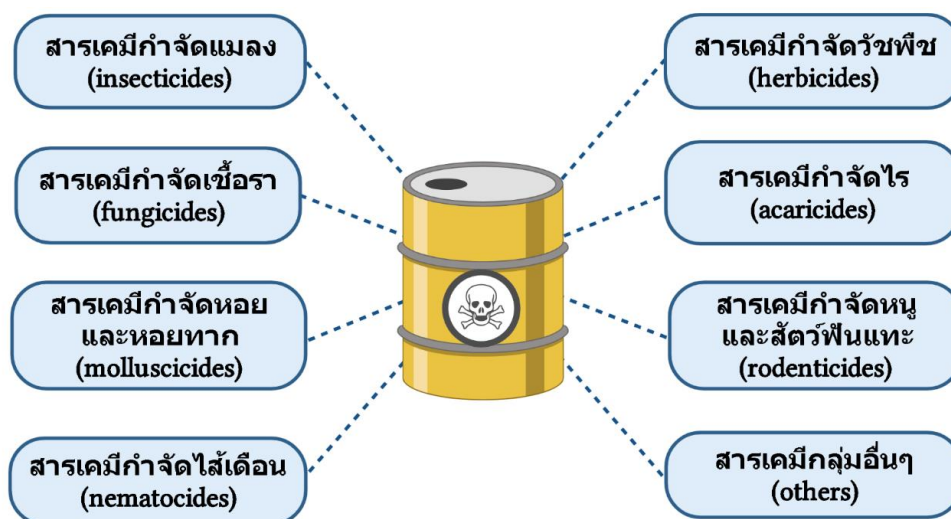
1. การจำแนกประเภทและชนิดของสารเคมี
 - 1.1 สารเคมีกำจัดแมลง
 - 1.2 สารเคมีกำจัดวัชพืช
 - 1.3 สารเคมีกำจัดเชื้อรา
 - 1.4 สารเคมีกำจัดไร
 - 1.5 สารเคมีกำจัดหุและสัตว์ฟันแทะ
 - 1.6 สารเคมีกำจัดหอยและหอยทาก
 - 1.7 สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย
 - 1.8 สารเคมีกลุ่มอื่นๆ
2. ทางเข้าของสารเคมี
 - 2.1 การสัมผัสสารเคมีฯ ทางผิวหนัง
 - 2.2 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการรับประทาน
 - 2.3 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการหายใจ
3. การแบ่งระดับความเป็นพิษของสารเคมีฯ
4. เส้นทางการสัมผัสสารเคมีฯ และกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีฯ
 - 4.1 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน
 - 4.2 การสัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อม
 - 4.3 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการใช้ในบ้านเรือน
 - 4.4 การส่งต่อสารเคมีฯ จากแม่สู่ลูกผ่านทางสายสะดือ
5. สถานการณ์การใช้สารเคมีฯ ทั่วโลกและประเทศไทย
6. ผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อระบบนิเวศน์
 - 6.1 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ดิน น้ำ และอากาศ
 - 6.2 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ
 - 6.3 ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ
7. ผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อสุขภาพ
 - 7.1 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน
 - 7.2 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบกึ่งเรื้อรัง
 - 7.3 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง
8. สรุป
9. เอกสารอ้างอิง
10. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ

1. การจำแนกประเภทและชนิดของสารเคมี

สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นสารเคมีที่มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในผลิตผลทางการเกษตร เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ลดต้นทุนการผลิตทั้งเงิน เวลาและแรงงานในการกำจัดศัตรูพืช และยังใช้เพื่อควบคุมวัชพืชในพื้นที่เกษตรกรรม นอกจากนี้สารเคมีฯ ยังใช้ในการสาธารณสุขและใช้ในบ้านเรือนเพื่อใช้ควบคุมแมลงพาหะนำโรคต่างๆ

การจำแนกประเภทและชนิดของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชตามเป้าหมายการกำจัดศัตรูพืชสามารถจำแนกได้ 8 ประเภทหลักดังนี้ (ภาพที่ 1-1) (Yadav & Devi, 2017; Akashe et al., 2018; รัตนา ททรัพย์บำเรอ, 2557)

(หมายเหตุ: เพื่อให้เนื้อหาในหนังสือมีความกระชับมากขึ้น ผู้เขียนขอใช้คำว่า สารเคมีฯ แทนคำว่า สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช)



ภาพที่ 1-1 ประเภทของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

จัดทำโดย: รัตนา ททรัพย์บำเรอ, ออกแบบโดย: BioRender.com

1.1 สารเคมีกำจัดแมลง

สารเคมีกำจัดแมลง (insecticides) เป็นสารเคมีกำจัดแมลง สัตว์ขาปล้องและสัตว์มีปีก ซึ่งรวมถึงยุงด้วย โดยออกฤทธิ์รบกวนการเจริญเติบโตและการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของแมลง ทำให้แมลงตายในที่สุด สารเคมีกำจัดแมลงถูกนำมาใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในผลิตผลทางการเกษตร และกำจัดยุงและแมลงพาหะภายในบ้านเรือนและงานสาธารณสุขเพื่อป้องกันโรคต่างๆ เช่น โรคไข้เลือดออก โรคไข้มาลาเรีย และไข้สมองอักเสบ ซึ่งชนิดของสารเคมีกำจัดแมลงที่สำคัญมีดังนี้ (ภาพที่ 1-2)

1.1.1 สารอินทรีย์จากธรรมชาติ

1.1.1.1 สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่ผลิตจากพืช โดยสารเคมีที่สำคัญคือ สารไพรีทริน (pyrethrins) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ผลิตจากดอกไม้ตระกูลเบญจมาศ โดยออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของ

แมลงทำให้แมลงตายทันทีเมื่อสัมผัสสารเคมีดังกล่าว เนื่องจากสารเคมีดังกล่าวสลายตัวค่อนข้างไวเมื่อถูกแสงแดดหรือความร้อนจึงทำให้ตกค้างในสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อย

1.1.1.2 สารอินทรีย์จากธรรมชาติที่ผลิตจากมิเนอร์อัลอยล์ (mineral oil) โดยสารเคมีที่สำคัญคือ สารน้ำมันปิโตรเลียม (petroleum oil) ซึ่งออกฤทธิ์ต่อไขของแมลง โดยน้ำมันปิโตรเลียมจะสามารถซึมผ่านเข้าไปในไขของแมลงและทำให้เกิดการตกตะกอนของของเหลวภายในเซลล์ ขัดขวางการรักษาสมดุลน้ำภายในเซลล์ และทำให้เกิดความผิดปกติของการแลกเปลี่ยนแก๊สภายในไขและภายนอกไข สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ต่อแมลงตัวเต็มวัย น้ำมันปิโตรเลียมจะไปขัดขวางทางเดินหายใจของแมลง และสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวแมลง ทำให้โครงสร้างของเนื้อเยื่อในตัวแมลงถูกทำลายและตายในที่สุด (Smith, 1952)

1.1.2 สารเคมีสังเคราะห์จากสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถจำแนกตามองค์ประกอบของสารเคมีฯ ได้ดังนี้

1.1.2.1 สารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorines) เป็นสารเคมีที่มีอะตอมของคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์กลุ่มแรกที่ใช้ในการกำจัดแมลงในภาคการเกษตร และงานสาธารณสุข โดยจะออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง ทำให้แมลงเป็นอัมพาตและตายในที่สุด เนื่องจากสารเคมีกลุ่มดังกล่าวตกค้างในสิ่งแวดล้อมและร่างกายได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงมีการยกเลิกการใช้ทั้งภาคการเกษตรและสาธารณสุขในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทย อย่างไรก็ตาม สารเคมีกลุ่มดังกล่าวยังสามารถตรวจพบในสิ่งแวดล้อมและร่างกายมนุษย์ได้ถึงแม้ว่าจะมีการยกเลิกการใช้เป็นระยะเวลานานแล้วก็ตาม ซึ่งสารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารดีดีที (DDT) เฮปทาคลอร์ (heptachlor) เอนโดซัลแฟน (endosulfan) คลอร์เดน (chlordane) แอลดริน (aldrin) ดีลดริน (dieldrin) เอนดริน (endrin) ไมเร็กซ์ (mirex) เฮกซะคลอโรเบนซีน (hexachlorobenzene, HCB) เฮกซะคลอโรไซโคล เฮกเซน (hexachlorocyclohexane, HCH) ลินเดน (lindane) เพนตาคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol) ทอกซาฟีน (toxaphene) และไดโคฟอล (dicofol)

1.1.2.2 สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphates) เป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ซึ่งสารเคมีกลุ่มนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายทางการเกษตร เนื่องจากสามารถสลายตัวได้ไวกว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน ดังนั้นจึงตกค้างในสิ่งแวดล้อมและร่างกายมนุษย์น้อยกว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารเคมีดังกล่าวออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง โดยไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (acetylcholinesterase) ทำให้เกิดการคั่งของสารสื่อประสาทอะซิติลโคลีน (acetylcholine) ส่งผลต่อการส่งสัญญาณประสาท ทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อของแมลงผิดปกติ เป็นอัมพาต และตายในที่สุด สารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารคลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) ไดคลอร์วอส (dichlorvos) มาลาไทออน

(malathion) พาราไทออน (parathion) เมวินฟอส (mevinphos) เทอร์บูฟอส (terbufos) คูมาฟอส (coumaphos) แฟมเฟอร์ (famphur) โฟเรต (phorate) และไดอะซินอน (diazinon)

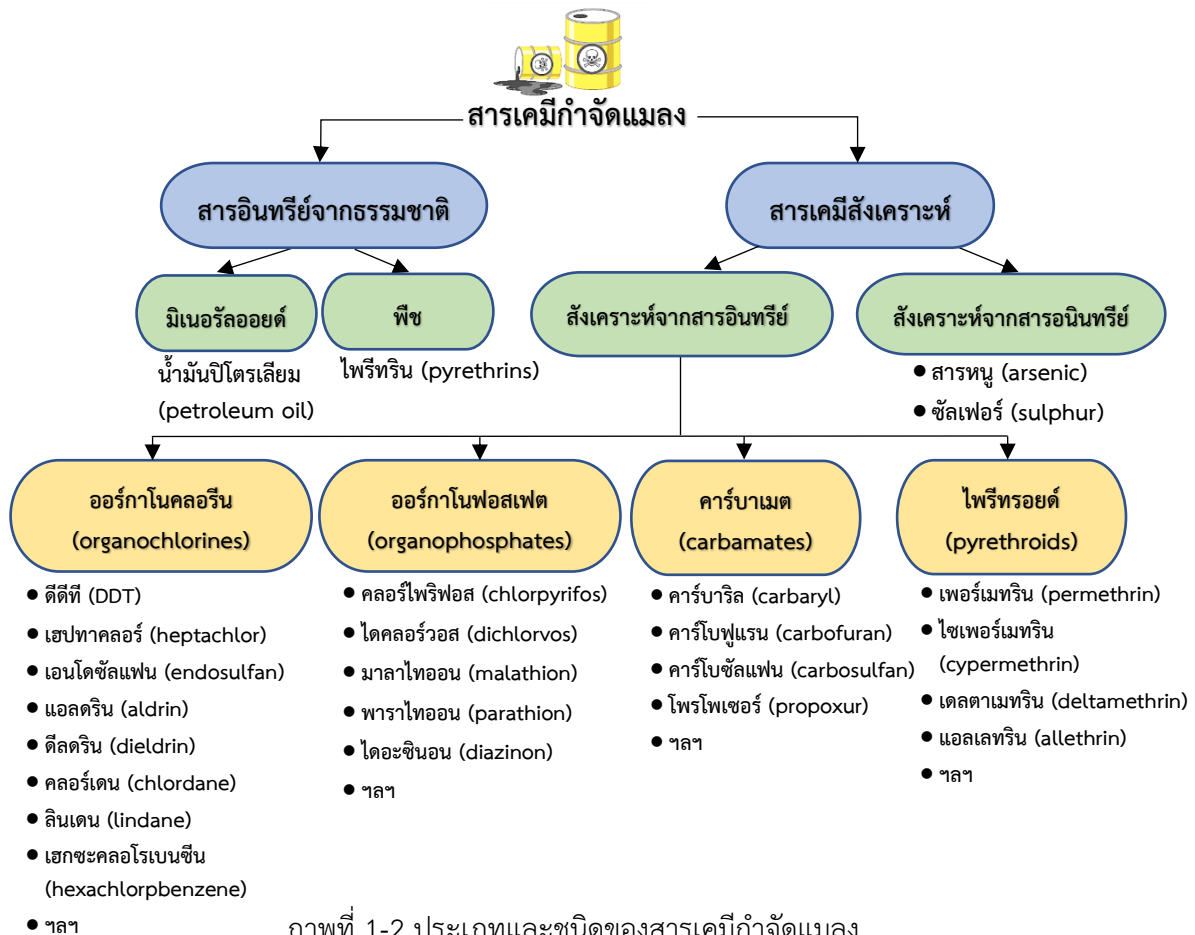
1.1.2.3 สารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต (carbamates) เป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็น เอสเตอร์ของกรดคาร์บาเมก (carbamic acid) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งโครงสร้างค่อนข้างคล้ายคลึงกับ โครงสร้างของสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต ทำให้กลไกออกฤทธิ์ต่อแมลงคล้ายคลึงกับสารเคมีกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟต กล่าวคือสารเคมีฯ ส่งผลต่อการส่งสัญญาณประสาท ทำให้การทำงานของกล้ามเนื้อ ของแมลงผิดปกติ เป็นอัมพาต และตายในที่สุด สารเคมีกลุ่มดังกล่าวสามารถสลายตัวได้ดีในสิ่งแวดล้อม จึงเกิดตกค้างในสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีนและออร์กาโนฟอสเฟต สารเคมีที่ สำคัญได้แก่ สารคาร์บาริล (carbaryl) คาร์โบฟูแรน (carbofuran) คาร์โบซัลแฟน (carbosulfan) และ โพรโพเซอร์ (propoxur)

1.1.2.4 สารเคมีกลุ่มไพรีทรอยด์ (pyrethroids) เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์มาจากสาร ไพรีทริน ทำให้สามารถออกฤทธิ์กำจัดแมลงได้ยาวนานกว่าสารไพรีทริน สารเคมีกลุ่มนี้สามารถสลายตัว ได้ไวเมื่อถูกแสงแดดหรือความร้อน ดังนั้นจึงตกค้างในสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต ซึ่งสารเคมีฯ ดังกล่าวออกฤทธิ์ต่อระบบ ประสาทของแมลง โดยไปรบกวนการทำงานของประตูโซเดียม (voltage-gated sodium channel) ใน ระบบประสาทของแมลง สารเคมีฯ กลุ่มนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายในงานสาธารณสุขเพื่อควบคุมยุง พาหะนำโรคไข้มาลาเรียและโรคไข้เลือดออก และนิยมใช้ในบ้านเรือนเพื่อกำจัดยุงและแมลงต่างๆ ซึ่ง สารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารเพอร์เมทริน (permethrin) ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin) เดลตาเมทริน (deltamethrin) ไซฟลูทริน (cyfluthrin) และแอลเลทริน (allethrin) (Soderlund, 2012)

1.1.3 สารเคมีที่สังเคราะห์จากสารอนินทรีย์ ได้แก่ สารหนู (arsenic) และซัลเฟอร์ (sulphur)

1.2 สารเคมีกำจัดวัชพืช

สารเคมีกำจัดวัชพืช (herbicides) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช ซึ่งมีการ ใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ในภาคการเกษตรเนื่องจากประหยัดเวลาและเงินมากกว่าการใช้แรงงานคน จากการ วิจัยของ Polyiem และคณะ (2017) พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดวัชพืชในปัสสาวะของประชาชนที่ อาศัยอยู่ในภาคเหนือตอนบนร้อยละ 48 ของตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมด สารเคมีกำจัดวัชพืชมีทั้งชนิด เลือกทำลาย (selective) เช่น สาร 2,4-ดี (2,4-D) โดยจะทำลายเฉพาะวัชพืชใบกว้างและชนิดไม่เลือก ทำลาย (non-selective) เช่น สารพาราควอต (paraquat) และไกลโฟเสต (glyphosate) โดยจะ ทำลายวัชพืชทุกชนิด หากแบ่งชนิดของสารเคมีกำจัดวัชพืชตามกลไกการออกฤทธิ์ต่อวัชพืชจะสามารถ แบ่งได้ดังนี้ (Ecobichon, 1996; Gunsolus & Curran, 1999; Schmidt, 1997)



ภาพที่ 1-2 ประเภทและชนิดของสารเคมีกำจัดแมลง

ดัดแปลงจาก Akashe et al., 2018, ออกแบบโดย BioRender.com

1.2.1 สารเคมีที่ออกฤทธิ์รบกวนความสมดุลย์ของพืช ได้แก่

- 1.2.1.1 สารเคมีกลุ่มฟีนอกซี (phenoxy compounds) เช่น สาร 2,4-ดี, 2,4-ดีบี (2,4-DB) 2,4,5-ที (2,4,5-T), 2,4,5-ทีพี (2,4,5-TP) เมโคพรอป (mecoprop) เอ็มซีพีเอ (2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid, MCPA) และไดคลอร์พรอป (dichlorprop)
- 1.2.1.2 สารเคมีกลุ่มอิมิดาโซลิโนน (imidazolinones) เช่น สารอิมาเซทาเพอร์ (imazethapyr) และอิมาซากวิน (imazaquin)
- 1.2.1.3 สารเคมีกลุ่มเบนโซอิกแอซิด (benzoic acid) เช่น สารไดแคมบา (dicamba)
- 1.2.1.4 สารเคมีกลุ่มไพรีดีน (pyridines) เช่น สารพิโคลราม (picloram) ไตรโคลเพอร์ (triclopyr) และฟลูอัสแนม (fluazinam)

1.2.2 สารเคมีที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรดอะมิโน ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเจริญเติบโตของวัชพืช ได้แก่

- 1.2.2.1 สารเคมีกลุ่มฟอสโฟโนไกลซีน (phosphonoglycines) เช่น สารไกลโฟเสต

1.2.2.2 สารเคมีกลุ่มซัลโฟนิลยูเรีย (sulfonylurea) เช่น สารคลอริมูรอน-เอทิล (chlorimuron-ethyl)

1.2.3 สารเคมีที่ออกฤทธิ์ทำลายเนื้อเยื่อของวัชพืช โดยทำให้เซลล์เนื้อเยื่อแตกสลาย

1.2.3.1 สารเคมีกลุ่มไบไพริดีล (bipyridyls) เช่น สารพาราควอต

1.2.3.2 สารเคมีกลุ่มไดโนโตรพีนอล เช่น สารไดโนเซบ (dinoseb) และดีเอ็นไอซี (DNOC)

1.2.4 สารเคมีที่ยับยั้งการสังเคราะห์ไขมันที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อของวัชพืช ได้แก่

1.2.4.1 สารเคมีกลุ่มอาริลออกซีฟีนอกซีโพรพิโอเนต (aryloxyphenoxypropionates) เช่น สารควิซาโลฟอป (quizalofop) และเฟโนซาพรอป (fenoxaprop)

1.2.4.2 สารเคมีกลุ่มไทโอคาร์บาเมต (thiocarbamates) เช่น สารอีพีทีซี (EPTC) เบนไทโอคาร์บ (benthiocarb) และโมลีนต (molinate)

1.2.4.3 สารเคมีกลุ่มฟอสโฟโรไดไทโอเอต (phosphorodithioates) เช่น สารเบนซูลด์ (bensulide)

1.2.5 สารเคมีที่ออกฤทธิ์รบกวนการเจริญเติบโตของรากหรือลำต้นของวัชพืช ได้แก่

1.2.5.1 สารเคมีกลุ่มอะนิลีน (anilines) เช่น สารเพนดิเมทาลิน (pendimethalin) บูทราลิน (butralin) เมโทลาคลอร์ (metolachlor) และไตรฟลูราลิน (trifluralin)

1.2.5.2 สารเคมีกลุ่มอะซีตานิลด์ (acetanilides) เช่น สารอะลาคลอร์ (alachlor) บิวทาคลอร์ (butachlor) และอะซีโทคลอร์ (acetochlor)

1.2.6 สารเคมีที่ออกฤทธิ์ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงของวัชพืช ได้แก่

1.2.6.1 สารเคมีกลุ่มไตรอะซีน (triazines) เช่น สารอะเมทรีน (ametryn) อะทราซีน (atrazine) มาทริบูซีน (matribuzin) เมทริบูซีน (metribuzin) ซิมาซีน (simazine) และไซยานาซีน (cyanazine)

1.2.6.2 สารเคมีกลุ่มไตรอะโซล (triazoles) เช่น สารอะมิโทรล (amitrole)

1.2.6.3 สารเคมีกลุ่มยูเรีย (urea) เช่น สารไดยูรอน (diuron) และลินยูรอน (linuron)

1.2.6.4 สารเคมีกลุ่มเอไมด์ (amides) เช่น โพรพานิล (propanil)

1.2.6.5 สารเคมีกลุ่มเบนโซไทอะไดอะซีนอน (benzothiadiazinones) เช่น สารเบนทาซอน (bentazon)

1.2.6.6 สารเคมีกลุ่มฟีนิลไพริดาซีน (phenylpyridazines) เช่น สารไพริเดต (pyridate)

1.3 สารเคมีกำจัดเชื้อรา

สารเคมีกำจัดเชื้อรา (fungicides) เป็นสารเคมีที่สามารถยับยั้งการสร้างผนังเซลล์ของเชื้อราในพืช ทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งกลุ่มของสารเคมีกำจัดเชื้อราที่สำคัญได้แก่

1.3.1 สารเคมีกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates) ได้แก่ สารไซแรม (ziram) มาเนบ (maneb) แมนโคเซบ (mancozeb) แคปแทน (captan) เฟอร์แบม (ferbam) และไทแรม (thiram)

1.3.2 สารเคมีกลุ่มเพนตะคลอโรฟีนอล (pentachlorophenol)

1.3.3 สารเคมีกลุ่มเฮกซะคลอโรเบนซีน (hexachlorobenzene)

1.3.4 สารเคมีกลุ่มเมทิลเมอร์คิวรี (methyl mercury)

1.4 สารเคมีกำจัดไร

สารเคมีกำจัดไร (acaricides) เป็นสารเคมีที่ใช้กำจัดไรในพืชและสัตว์ สารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารดีดีที ไดโคฟอล คลอร์ไพริฟอส เพอร์เมทริน และไบเฟนาเซต (bifenazate)

1.5 สารเคมีกำจัดหนูและสัตว์ฟันแทะ

สารเคมีกำจัดหนูและสัตว์ฟันแทะ (rodenticides) เป็นสารเคมีที่ใช้กำจัดหนูและสัตว์ฟันแทะ โดยเฉพาะในไร่ข้าวโพดและนาข้าว สารเคมีที่สำคัญ ได้แก่ สารวาฟาริน (warfarin) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการแข็งตัวของเลือด

1.6 สารเคมีกำจัดหอยและหอยทาก

สารเคมีกำจัดหอยและหอยทาก (molluscicides) เป็นสารเคมีที่ใช้กำจัดหอยและหอยทากซึ่งพบมากในนาข้าว สารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารเมทัลดีไฮด์ (metaldehyde) และไทอะดีคาร์บ (thiadicarb)

1.7 สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย

สารเคมีกำจัดไส้เดือนฝอย (nematocides) เป็นสารเคมีที่ใช้กำจัดไส้เดือนฝอยในพืชต่างๆ สารเคมีที่สำคัญได้แก่ สารแอลดีคาร์บ (aldicarb) คาร์โบฟูแรน คลอร์ไพริฟอส และเมทิลโบรไมด์ (methyl bromide)

1.8 สารเคมีกลุ่มอื่นๆ

สารเคมีกลุ่มอื่นๆ ได้แก่ สารควบคุมการเจริญเติบโตของแมลง (insect growth regulators) สารเคมีกำจัดปลวก (termicides) สารเคมีกำจัดสาหร่าย (algicides) สารเคมีกำจัดนก (avicides) และสารเคมีกำจัดปลา (piscicides)

2. ทางเข้าของสารเคมี

สารเคมี สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางหลัก ดังนี้ (Kim et al., 2017; Damalas & Koutroubas, 2016; Dedek, 1982)

2.1 การสัมผัสสารเคมี ทางผิวหนัง: การสัมผัสสารเคมี ทางผิวหนังอาจเกิดได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งในกลุ่มที่สัมผัสสารเคมี จากการทำงานและสิ่งแวดล้อม การสัมผัสสารเคมี ทางผิวหนังมักเกิดจากการสัมผัสสารเคมี ที่อยู่ในสถานะของเหลว แก๊ส และของแข็งที่มีขนาดเล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าทางผิวหนังได้ ซึ่งระดับความเป็นพิษของสารเคมี ที่เข้าทางผิวหนัง ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นพิษของสารเคมี ต่อผิวหนัง ระยะเวลาการสัมผัส สถานะของสารเคมี และส่วนของร่างกายที่สัมผัส จากการทบทวนวรรณกรรมของ Taneepanichskul และคณะ (2014) พบว่าการสัมผัสสารเคมี ทางผิวหนังสัมพันธ์กับระดับเมแทบอลิต์ของสารเคมี ที่ตกค้างในปัสสาวะของเกษตรกร ซึ่งการสัมผัสสารเคมี ทางผิวหนังอาจเกิดจาก

(1) การสัมผัสสารเคมี ขณะผสม ฉีดพ่น หรือกำจัดสารเคมี โดยไม่ได้สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสม

(2) การเก็บเกี่ยว ตัดแต่ง หรือบรรจุผลผลิตทางการเกษตรที่มีสารเคมี ตกค้าง

(3) การล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ฉีดพ่นสารเคมี

(4) การสัมผัสสารเคมี จากการใช้ในบ้านเรือน

2.2 การสัมผัสสารเคมี จากการรับประทาน: การสัมผัสสารเคมี จากการรับประทาน อาจเกิดได้โดยตั้งใจ และโดยไม่ได้ตั้งใจ เมื่อสารเคมี เข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมบริเวณลำไส้เล็กเป็นหลัก และกระจายไปยังกระแสเลือด การสัมผัสสารเคมี โดยตั้งใจมักเกิดจากการตั้งใจนำสารเคมี เพื่อใช้ในการฆ่าตัวตายหรือฆาตกรรม ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายอย่างรุนแรง สำหรับการสัมผัสสารเคมี โดยไม่ได้ตั้งใจ มักเกิดจาก

(1) การปนเปื้อนสารเคมี บริเวณมือและเข้าสู่ปาก (hand-to-mouth contact)

(2) การรับประทานอาหารและเครื่องดื่มในช่วงที่ผสมหรือฉีดพ่นสารเคมี

(3) การรับประทานหรือดื่มสารเคมี โดยไม่ได้ตั้งใจ โดยเฉพาะในเด็ก

(4) การปนเปื้อนของสารเคมี ในผลผลิตทางการเกษตร

2.3 การสัมผัสสารเคมี จากการหายใจ: การสัมผัสสารเคมี จากการหายใจมักเกิดจากการสัมผัสสารเคมี ที่อยู่ในสถานะแก๊ส ของแข็งขนาดเล็ก และละอองของเหลว ซึ่งส่งผลกระทบต่อจมูก คอหอย และเนื้อเยื่อปอด การสัมผัสสารเคมี มักเกิดจาก

(1) การสัมผัสสารเคมี ขณะผสมและฉีดพ่นสารเคมี โดยช่วงฉีดพ่นสารเคมี โดยไม่ได้สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสม

(2) การเก็บเกี่ยว ตัดแต่ง หรือบรรจุผลผลิตทางการเกษตรที่มีสารเคมี ตกค้าง

(3) การอาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมที่อาจมีสารเคมีฯ ปลิวมายังบริเวณที่อยู่อาศัย

สารเคมีฯ ในสถานะแก๊สมีโอกาสเข้าสู่ทางเดินหายใจได้สูงกว่าสารเคมีฯ ในสถานะอื่น สำหรับสารเคมีฯ ในสถานะของเหลว หากสารเคมีฯ มีขนาดละอองยิ่งเล็กก็ยิ่งมีโอกาสที่จะเข้าสู่ทางเดินหายใจได้มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งขนาดละอองที่เล็กมักเกิดจากเครื่องพ่นสารเคมีฯ ที่ใช้แรงดันสูง ยิ่งไปกว่านั้นหากพ่นสารเคมีฯ ในสถานที่ปิด จะเพิ่มโอกาสในการสัมผัสสารเคมีฯ มากขึ้นเช่นกัน

3. การแบ่งระดับความเป็นพิษของสารเคมีฯ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) (2019) ได้แบ่งระดับความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสารเคมีฯ ไว้ 4 ประเภท ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 การแบ่งระดับความเป็นพิษเฉียบพลันตามองค์การอนามัยโลก

ระดับ	ความเป็นพิษ	ขนาดมรณะ 50 (lethal dose 50, LD 50) สำหรับหนูทดลอง (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว)		ยกตัวอย่างชนิดสารเคมีฯ
		ทางปาก	ทางผิวหนัง	
		(oral)	(dermal)	
Ia	ความเป็นพิษสูงมาก (extremely hazardous)	<5	<50	แอลดีคาร์บ เฮกซะคลอโรเบนซีน พาราไทออน โฟเรต เทอร์บูพอส เมวินฟอส แคปทาพอล ซัลโฟเทป ฯลฯ
Ib	ความเป็นพิษสูง (highly hazardous)	5-50	50-200	คูมาฟอส ไซฟลูทริน ไดคลอร์วอส คาร์โบฟูแรน แฟมเฟอร์ ไซเพอร์เมทริน ฯลฯ
II	ความเป็นพิษปานกลาง (moderately hazardous)	50-2,000	200-2,000	อะลาคลอร์ แอลเลทริน คาร์โบซัลแฟน คลอร์เดน ไซยานาซีน ไซเพอร์เมทริน ไดอะซินนอน ไซแรม ฯลฯ
III	ความเป็นพิษน้อย (slightly hazardous)	>2,000	>2,000	อะซีโทคลอร์ บิวทาคลอร์ คลอริมูรอน คลอร์ไพริฟอส ไดยูรอน ไกลโฟเสต ฯลฯ
U	ไม่น่าจะมีพิษเฉียบพลัน (unlikely to present acute hazard)	>5,000	>5,000	อะมิโทริล ซิมาซีน แคปแทน อีมาเซทาเพอร์ อีมาซาควิน มาเนบ พิโคลแรม ฯลฯ

หมายเหตุ: ขนาดมรณะ 50 (lethal dose 50, LD 50) หมายถึง ขนาดหรือปริมาณสารเคมีฯ ที่ทำให้สัตว์ทดลองที่ใช้ทดสอบตายไปร้อยละ 50 ของจำนวนสัตว์ทดลองทั้งหมด

ดัดแปลงจาก World Health Organization (WHO), 2019, Available online:

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662>

4. เส้นทางการสัมผัสสารเคมี และกลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมี

การสัมผัสสารเคมี สามารถเกิดจากการสัมผัสใน 4 แหล่งหลักดังนี้

4.1 การสัมผัสสารเคมี จากการทำงาน

การสัมผัสสารเคมี จากการทำงานเป็นเส้นทางหลักที่ทำให้เกิดการสัมผัสสารเคมี ในปริมาณและความเข้มข้นที่สูง มักเกิดในกลุ่มเกษตรกรหรือกลุ่มที่ทำงานในโรงงานผลิตสารเคมี ที่มีการใช้สารเคมีแบบไม่ถูกต้อง เช่น การผสมสารเคมี เกินกว่าที่ฉลากกำหนด การใช้สารเคมี ที่มีความอันตรายสูงต่อสุขภาพ การไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะใช้สารเคมี หรือสัมผัสผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ปนเปื้อนสารเคมี การรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำในช่วงผสมหรือฉีดพ่นสารเคมี ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง (Sapbamrer, 2018; Damalas & koutroubas, 2016; รัตนา ทรัพย์บำเรอ และคณะ, 2561)

4.2 การสัมผัสสารเคมี จากสิ่งแวดล้อม

การสัมผัสสารเคมี จากสิ่งแวดล้อมเกิดจากการสัมผัสสารเคมี ที่ปนเปื้อนในอาหาร น้ำ อากาศ และดิน ซึ่งมักเกิดจาก

- (1) การรับประทานผลิตผลทางการเกษตรที่มีสารเคมี ตกค้างอันเนื่องมาจากการใช้สารเคมี ในปริมาณมาก หรือการเก็บเกี่ยวผลิตผลทางการเกษตรก่อนระยะเวลาที่กำหนด
- (2) การรับประทานเนื้อสัตว์ที่มีสารเคมี ตกค้าง ซึ่งสารเคมี สามารถสะสมในร่างกายของสัตว์ต่างๆ ได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมี ส่วนมากเป็นสารที่ละลายในไขมัน (lipophilic chemicals) ดังนั้นเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสัตว์แล้ว จะไปสะสมในชั้นไขมันของสัตว์ เมื่อรับประทานเนื้อสัตว์เหล่านั้นก็จะได้รับสารเคมี ที่ตกค้างในเนื้อสัตว์เหล่านั้นด้วย
- (3) การดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนสารเคมี โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรม เมื่อมีการใช้สารเคมี ในพื้นที่เกษตรกรรมจะเกิดการตกค้างในดิน และถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน
- (4) การหายใจเอาอากาศที่มีสารเคมี ตกค้าง ซึ่งมักจะเกิดในพื้นที่เกษตรกรรม
- (5) การสัมผัสดินที่มีสารเคมี ตกค้าง ซึ่งมักจะเกิดในพื้นที่เกษตรกรรม และนำสารเคมี ที่ติดมากับรองเท้าและเสื้อผ้ากลับมาที่บ้าน (take-home exposure)

กลุ่มประชากรที่เสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมี จากสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผู้บริโภค และประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะเด็กในทุกช่วงวัยมีโอกาสเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมี และเกิดผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าผู้ใหญ่ โดยทารกแรกเกิดอาจสัมผัสสารเคมี จากการดื่มน้ำนมมารดาที่ปนเปื้อนสารเคมี เด็กวัยหัดเดินอาจสัมผัสสารเคมี จากพฤติกรรมการคลาน และชอบหยิบจับสิ่งของเข้าปาก ทำให้มีโอกาสสูงที่สารเคมี จะเข้าสู่ร่างกาย สำหรับเด็กก่อนวัยเรียนหรือเด็กวัยเรียนที่อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมอาจติดตามผู้ปกครองไปในพื้นที่เกษตรกรรมหรือไปวิ่งเล่นในพื้นที่เกษตรกรรมก็จะเพิ่ม

โอกาสเสี่ยงที่สารเคมีฯ จะเข้าสู่ร่างกาย ประกอบกับกลไกการกำจัดสารพิษในร่างกายของเด็ก โดยเฉพาะเด็กทารกยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อสารเคมีฯ เข้าสู่ร่างกายอาจทำให้เกิดผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาพได้ (Roberts et al., 2012; Sapbamrer et al., 2020; Sapbamrer, 2018; Pascale & Laborde, 2020)

4.3 การสัมผัสสารเคมีฯ จากการใช้ในบ้านเรือน

การสัมผัสสารเคมีฯ จากการใช้ในบ้านเรือนเกิดจากการใช้สารเคมีกำจัดยุง แมลง แมลงสาบ หนู และปลวกภายในบ้านเรือน ทำให้สารเคมีฯ ตกค้างภายในบ้าน และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของสมาชิกภายในบ้าน โดยเฉพาะเด็ก (Rudant et al., 2007)

4.4 การส่งต่อสารเคมีฯ จากแม่สู่ลูกผ่านทางสายสะดือ

สารเคมีฯ ส่วนใหญ่เป็นสารที่ละลายในไขมัน ดังนั้นจะสามารถผ่านตัวกั้นกลางระหว่างเลือดและสมอง (blood-brain barrier) และส่งต่อสารเคมีฯ ไปยังทารกในครรภ์ ดังนั้นหากหญิงตั้งครรภ์มีสารเคมีฯ ตกค้างในร่างกายสูงเท่าใดก็จะสามารถส่งผ่านไปสู่ทารกในครรภ์ได้มากขึ้นเท่านั้น เด็กที่มารดาเป็นเกษตรกร หรืออยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมก็จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการได้รับสารเคมีฯ มากกว่ากลุ่มอื่นๆ (Sapbamrer, 2019; Sapbamrer et al., 2008)

5. สถานการณ์การใช้สารเคมีฯ ทั่วโลกและประเทศไทย

ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา สถานการณ์การใช้สารเคมีฯ ทั่วโลกมีการใช้เพิ่มขึ้นร้อยละ 44.2 ซึ่งจากฐานข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of United Nations, FAO) (2021) พบว่าในปี พ.ศ.2561 ทั่วโลกมีการใช้สารเคมีฯ ในปริมาณสี่ล้านกว่าตัน และปริมาณการใช้สารเคมีฯ ต่อพื้นที่โดยเฉลี่ย 2.63 กิโลกรัม/เฮกแตร์ เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีฯ แยกตามทวีปพบว่าทวีปเอเชียมีสัดส่วนการใช้สารเคมีฯ สูงที่สุด (ร้อยละ 52.4) รองลงมาคือทวีปอเมริกา (ร้อยละ 32.3) และทวีปยุโรป (ร้อยละ 11.6) ตามลำดับ โดยประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการใช้สารเคมีฯ มากที่สุด รองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศอาร์เจนตินา ตามลำดับ (FAO, 2021, Sharma et al., 2019) (ตารางที่ 1-2 และภาพที่ 1-3)

เมื่อพิจารณาตามประเภทของสารเคมีฯ ที่นิยมใช้ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมาพบว่า (ตารางที่ 1-3 – ตารางที่ 1-5)

(1) ทั่วโลกมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.3 โดยในปี พ.ศ.2561 มีการใช้สารเคมีฯ ในปริมาณ 400,266 ตัน เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีกำจัดแมลงแยกตามทวีปพบว่า ทวีปอเมริกาใช้สารเคมีกำจัดแมลงในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือทวีปเอเชีย และทวีปยุโรป ตามลำดับ

(2) ทัวโลกมีการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชเพิ่มขึ้นร้อยละ 51.5 โดยในปี พ.ศ.2561 มีการใช้สารเคมีฯ ในปริมาณ 1,216,330 ตัน เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชแยกตามทวีปพบว่า ทวีปอเมริกาใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือทวีปยุโรป และทวีปเอเชีย ตามลำดับ

(3) ทัวโลกมีการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราเพิ่มขึ้นร้อยละ 25.8 โดยในปี พ.ศ.2561 มีการใช้สารเคมีฯ ในปริมาณ 530,095 ตัน เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราแยกตามทวีปพบว่า ทวีปยุโรปใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือทวีปอเมริกา และทวีปเอเชีย ตามลำดับ

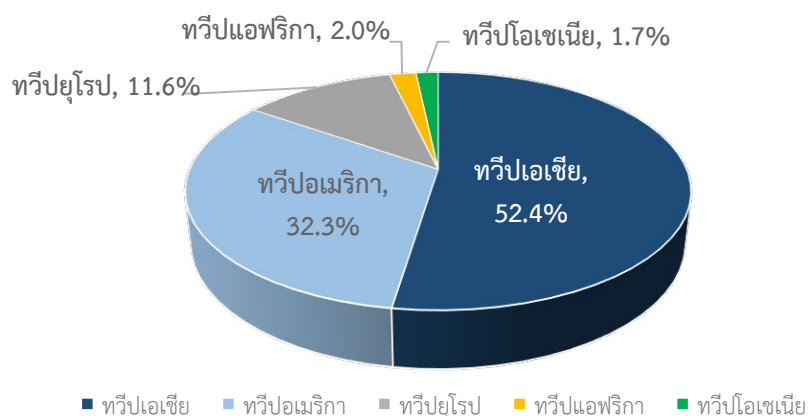
สำหรับประเทศไทยในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา การใช้สารเคมี ฯ เพิ่มขึ้นร้อยละ 95.1 และปริมาณการใช้สารเคมีฯ ต่อพื้นที่โดยเฉลี่ย 1.66 กิโลกรัม/เฮกแตร์ เมื่อพิจารณาการใช้สารเคมีฯ แยกตามประเภทของสารเคมีฯ ประเทศไทยมีการใช้สารเคมีกำจัดแมลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 85.5 สารเคมีกำจัดวัชพืชร้อยละ 33.8 และสารเคมีกำจัดเชื้อราร้อยละ 11.7 การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและสารเคมีกำจัดเชื้อราจะแปรผันในแต่ละปีขึ้นอยู่กับภาระระบาดของแมลงและโรคพืชที่พบ สำหรับการควบคุมวัชพืช โดยปกติมีวิธีการกำจัดวัชพืช 3 วิธีหลักคือ การตัดถาง การเผา และการใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้วิธีเผาเนื่องจากประหยัดเวลา เงิน และแรงงานเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ภาครัฐของประเทศไทยประสบปัญหาหมอกควันอันเนื่องมาจากการเผา ดังนั้นภาครัฐจึงมีมาตรการลดการเผา ทำให้เกษตรกรหันมาใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชแทนการเผามากขึ้น (Food and Agriculture Organization of United Nations, 2021, Sapbamrer, 2018)

ตารางที่ 1-2 การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชแยกตามทวีป ปีพ.ศ.2533 และปี พ.ศ.2561

ทวีป	ปริมาณการใช้สารเคมีฯ (ตัน)			ปริมาณการใช้สารเคมีฯ ต่อพื้นที่ (กิโลกรัม/เฮกแตร์)		
	พ.ศ.2533	พ.ศ.2561	ร้อยละการเพิ่มขึ้น (%)	พ.ศ.2533	พ.ศ.2561	ร้อยละการเพิ่มขึ้น (%)
ทัวโลก	2,299,979	4,122,334	44.2	1.55	2.63	41.1
ทวีปเอเชีย	1,108,398	2,161,869	48.7	2.14	3.67	41.7
ทวีปอเมริกา	613,237	1,329,563	53.9	1.63	3.52	53.7
ทวีปยุโรป	490,495	478,329	-2.5	1.34	1.66	19.3
ทวีปแอฟริกา	65,943	82,851	20.4	0.32	0.3	-6.7
ทวีปโอเชียเนีย	21,909	69,725	68.6	1.03	2.08	50.5
ประเทศไทย	18,849	382,287	95.1	0.91	1.66	45.2

ที่มา: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2021,

Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>



ที่มา: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2021,

Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>

ภาพที่ 1-3 สัดส่วนการใช้สารเคมีฯ ในแต่ละทวีป

จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย BioRender.com

ตารางที่ 1-3 การใช้สารเคมีกำจัดแมลงแยกตามทวีป ปีพ.ศ.2533 และปี พ.ศ.2561

ทวีป	พ.ศ.2533	พ.ศ.2561	ร้อยละการเพิ่มขึ้น (%)
ทั่วโลก	395,073	400,266	1.3
ทวีปอเมริกา	136,262	179,641	24.1
ทวีปเอเชีย	116,131	165,701	29.9
ทวีปยุโรป	76,092	63,911	- 19.1
ทวีปแอฟริกา	22,345	25,656	12.9
ทวีปโอเชียเนีย	4,673	14,927	68.7
ประเทศไทย	5,518	31,601	82.5

ที่มา: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2021

Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>

ตารางที่ 1-4 การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชแยกตามทวีป ปีพ.ศ.2533 และปี พ.ศ.2561

ทวีป	พ.ศ.2533	พ.ศ.2561	ร้อยละการเพิ่มขึ้น (%)
ทั่วโลก	590,301	1,216,330	51.5
ทวีปอเมริกา	303,794	831,699	63.5
ทวีปยุโรป	171,831	183,387	6.3
ทวีปเอเชีย	86,341	129,407	33.3
ทวีปโอเชียเนีย	14,572	47,259	69.2
ทวีปแอฟริกา	13,763	24,578	44.0
ประเทศไทย	9,058	13,686	33.8

ที่มา: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2021,

Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>

ตารางที่ 1-5 การใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราแยกตามทวีป ปี พ.ศ.2533 และปี พ.ศ.2561

ทวีป	พ.ศ.2533	พ.ศ.2561	ร้อยละการเพิ่มขึ้น (%)
ทั่วโลก	393,567	530,095	25.8
ทวีปยุโรป	206,784	197,547	-4.7
ทวีปอเมริกา	75,693	185,986	59.3
ทวีปเอเชีย	87,617	116,327	24.7
ทวีปแอฟริกา	21,233	24,360	12.8
ทวีปโอเชียเนีย	2,237	5,875	61.9
ประเทศไทย	3,990	4,517	11.7

ที่มา: Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), 2021,
Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>

6. ผลกระทบของสารเคมีฯ ต่อระบบนิเวศน์

6.1 ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ดิน น้ำ และอากาศ

เมื่อมีการใช้สารเคมีฯ เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะการใช้สารเคมีฯ ในภาคการเกษตรจะทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีฯ ในดิน ทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมสารเคมีฯ โดยโครงสร้างของดินสามารถดูดซับสารเคมีฯ เอาไว้ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถปลดปล่อยสารเคมีฯ ที่สะสมเอาไว้ไปสู่พืช บรรยากาศ และน้ำใต้ดิน นอกจากนี้สารเคมีฯ ในดินอาจถูกชะล้าง (run off) ลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรืออาจเกิดจากการใช้สารเคมีฯ เพื่อใช้ควบคุมวัชพืช หรือศัตรูพืชในน้ำโดยตรง ซึ่งสารเคมีฯ จะตกค้างในน้ำ และตะกอนดิน สารเคมีฯ ในน้ำผิวดินยังสามารถซึมผ่านลงสู่ น้ำใต้ดิน ในขณะเดียวกัน สารเคมีในน้ำใต้ดินก็สามารถเคลื่อนที่ไปสู่ น้ำผิวดินได้เช่นกัน สารเคมีฯ ในน้ำผิวดินยังสามารถแพร่กระจายไปยังบรรยากาศเมื่อน้ำผิวดินเกิดการระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่บรรยากาศ สำหรับการสะสมของสารเคมีฯ ในบรรยากาศเกิดจากละอองสารเคมีฯ ที่เกิดจากการฉีดพ่นสารเคมีฯ ในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก และอาจเกิดการระเหยของสารเคมีฯ จากดิน พืชและแหล่งน้ำผิวดินไปยังบรรยากาศ

การสะสมและการเคลื่อนที่ของสารเคมีฯ ในระบบนิเวศน์น้ำ ดิน และอากาศส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งบนบก และในน้ำ การตกค้างของสารเคมีฯ ในน้ำผิวดินส่งผลต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำต่างๆ เช่น ปลา กุ้ง หอย กบ ฯลฯ สำหรับการตกค้างของสารเคมีฯ ในดินส่งผลต่อพืช ผลผลิตทางการเกษตร และสัตว์ที่อาศัยอยู่บนบก ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้งบนบกและในน้ำหลายชนิดเป็นแหล่งอาหารสำคัญของมนุษย์ (ภาพที่ 1-4) (Yadav & Devi, 2017; Tudi et al., 2021, Sharma et al., 2019; Kim et al., 2017)

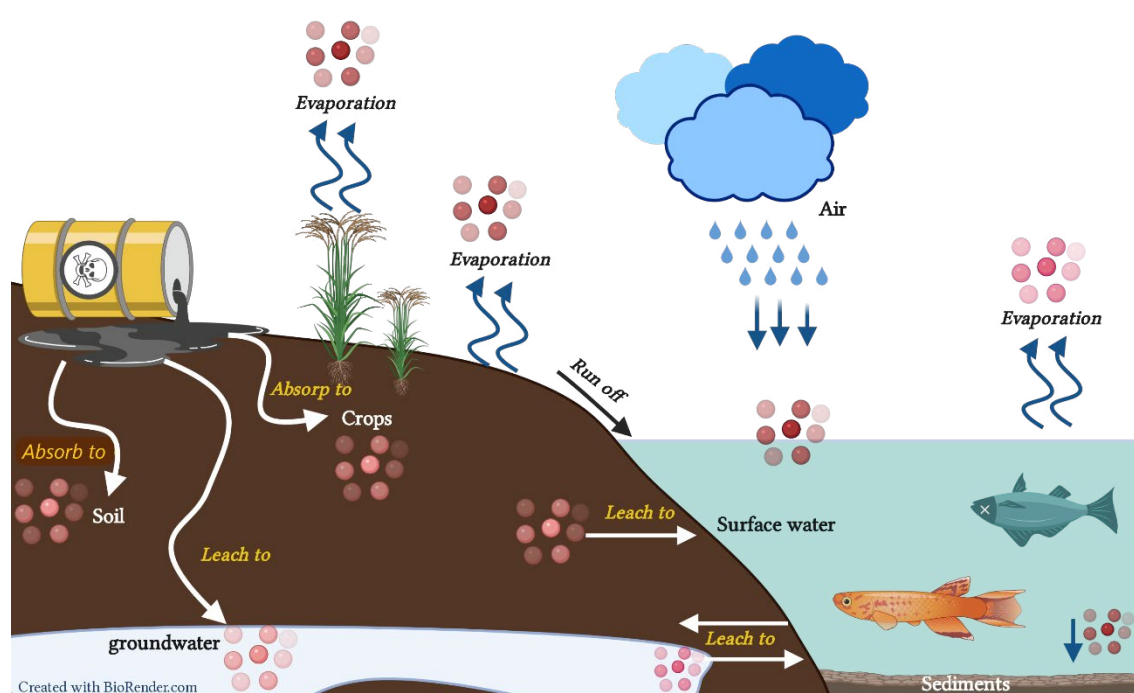
6.2 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

นอกจากสารเคมีกำจัดแมลงจะเกิดผลกระทบต่อศัตรูพืชที่ต้องการกำจัดแล้ว ยังสามารถเกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่ไม่ใช่เป้าหมายด้วย (non-target organism) เช่น ไล่เดือน ตัวห้ำ และแมลงที่ทำหน้าที่ผสมเกสร (เช่น ผึ้ง เต่าทอง) โดยปกติไล่เดือนจะช่วยในการปรับโครงสร้างของดินให้มี

ความเหมาะสมต่อการเกษตร ตัวช่วยในการกำจัดการปนเปื้อนในธรรมชาติ และแมลงที่ทำหน้าที่ผสมเกสร ช่วยในการสืบพันธุ์ของพืช ดังนั้นการใช้สารเคมี อาจทำให้สิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่เป้าหมายถูกกำจัดไปด้วย (Yadav & Devi, 2017; Tudi et al., 2021)

6.3 ผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ

การมีสิ่งมีชีวิตหลากหลายพันธุ์ในสิ่งแวดล้อมและความสมดุลกันระหว่างผู้ล่าและผู้ถูกล่าจะทำให้เกิดความสมดุลทางธรรมชาติ ศัตรูพืชบางชนิดอาจมีประโยชน์ในการควบคุมหรือกำจัดศัตรูพืชอีกชนิดได้ ดังนั้นการใช้สารเคมี เพื่อกำจัดศัตรูพืชบางชนิดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลในสิ่งแวดล้อม และเกิดการรบกวนห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศนี้ได้ (Yadav & Devi, 2017; Tudi et al., 2021)



วงจรการสะสมและการเคลื่อนที่ของสารเคมี ในระบบนิเวศน้ำ ดิน และอากาศส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งบนบกและในน้ำ รวมถึงมนุษย์ด้วย

ภาพที่ 1-4 วัฏจักรของสารเคมี ในระบบนิเวศ

จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย: BioRender.com

7. ผลกระทบของสารเคมี ต่อสุขภาพ

การสัมผัสสารเคมี ส่งผลต่อสุขภาพ ซึ่งสามารถเกิดผลกระทบต่อสุขภาพใน 3 ระดับดังนี้

7.1 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (acute effect) เป็นผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสสารเคมี ทางใดทางหนึ่งเพียงครั้งเดียว และทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพภายใน 24 ชั่วโมงหลังการสัมผัส ซึ่งอาจเกิดจากการสัมผัสโดยการตั้งใจ เช่น การฆ่าตัวตาย หรือฆาตกรรม หรือเกิดจากการสัมผัสจากการทำงานโดยสัมผัสในปริมาณมาก หรือสัมผัสสารเคมี ที่มีพิษสูง ซึ่งอาการที่พบมีตั้งแต่

อาการเล็กน้อย ปานกลาง และอาการรุนแรงจนทำให้เสียชีวิต (Damalas & Koutrobas, 2016; Yadav & Devi, 2017) (ตารางที่ 1-6)

ตารางที่ 1-6 อาการแสดงแบบเฉียบพลันจากการสัมผัสสารเคมีฯ

อาการเล็กน้อย	อาการปานกลาง	อาการรุนแรง
มีอาการใดอาการหนึ่งดังนี้	อาการเล็กน้อยอาการใด	มีอาการใดอาการหนึ่งดังนี้
● ระคายเคืองจมูก ● ทางเดินหายใจและผิวหนัง ● ปวดศีรษะ ● กระหายน้ำ ● เบื่ออาหาร ● มึนงง ● ท้องเสีย ● เหงื่อออกมาก ● เมื่อยล้า ● อ่อนเพลีย ● หงุดหงิด ● นอนไม่หลับ	อาการหนึ่ง ร่วมกับ ● อาเจียน ● น้ำลายไหลมาก ● ไอ ● เจ็บหน้าอก ● ตะคริวที่ท้อง ● ตาพร่ามัว ● ชีพจรเต้นเร็ว ● หายใจถี่ ● ตัวสั่น ● กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน	● หมดสติ ● โคมา ● เสียชีวิต

ดัดแปลงจาก Yadav & Devi, 2017

7.2 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบกึ่งเรื้อรัง (subchronic effect) เป็นผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสสารเคมีฯ ทางใดทางหนึ่งโดยเกิดจากการสัมผัสซ้ำเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะเวลาหลายสัปดาห์หรือหลายเดือน อาจเกิดจากการสัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงานและสิ่งแวดล้อม (Damalas & Koutrobas, 2016)

7.3 ผลกระทบต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง (chronic effect) เป็นผลกระทบทางสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสสารเคมีฯ ทางใดทางหนึ่งโดยเกิดจากการสัมผัสซ้ำเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะเวลา 1 ปี หรือมากกว่า ซึ่งเกิดจากการสัมผัสสารเคมีฯ จากสิ่งแวดล้อมผ่านตัวกลางต่างๆ เช่น อาหาร น้ำ อากาศ และดิน การสัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงานก็สามารถทำให้เกิดพิษแบบเรื้อรังได้เช่นกัน (Mostafalou & Abdollahi, 2017; Kim et al., 2017; Damalas & Koutrobas, 2016; Yadav & Devi, 2017) ซึ่งในหนังสือเล่มนี้ได้เรียบเรียงผลของการสัมผัสสารเคมีฯ ต่อสุขภาพแบบเรื้อรังในระบบอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ดังนี้ (ภาพที่ 1-5)

7.3.1 ผลต่อระบบประสาทและสมอง: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) โรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงชนิดเอแอลเอส (amyotrophic lateral sclerosis) และอาการแสดงทางระบบประสาท นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติและพัฒนาการล่าช้าในเด็ก ได้แก่ โรคสมาธิสั้น (attention deficit hyperactivity disorder) โรคออทิสติก (autism) และพัฒนาการล่าช้า (neurodevelopmental disorder)

7.3.2 ผลต่อระบบทางเดินหายใจ: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดโรคหอบหืด (asthma) โรคทางเดินหายใจอุดกั้น (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (chronic bronchitis) โรคจมูกอักเสบ (rhinitis) และอาการแสดงทางระบบทางเดินหายใจ เช่น ไอ หายใจมีเสียงหวีด และมีเสมหะ

7.3.3 ผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการติดเชื้อ การอักเสบของหูชั้นกลาง (otitis media) โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ (rheumatoid arthritis) โรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเอง (Systemic Lupus Erythematosus, SLE) โรคภูมิแพ้หรืออาการแพ้ (allergy) โรคผื่นแพ้สัมผัส (contact dermatitis) โรคตุ่มน้ำพอง (pemphigus) และพาราไมเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน

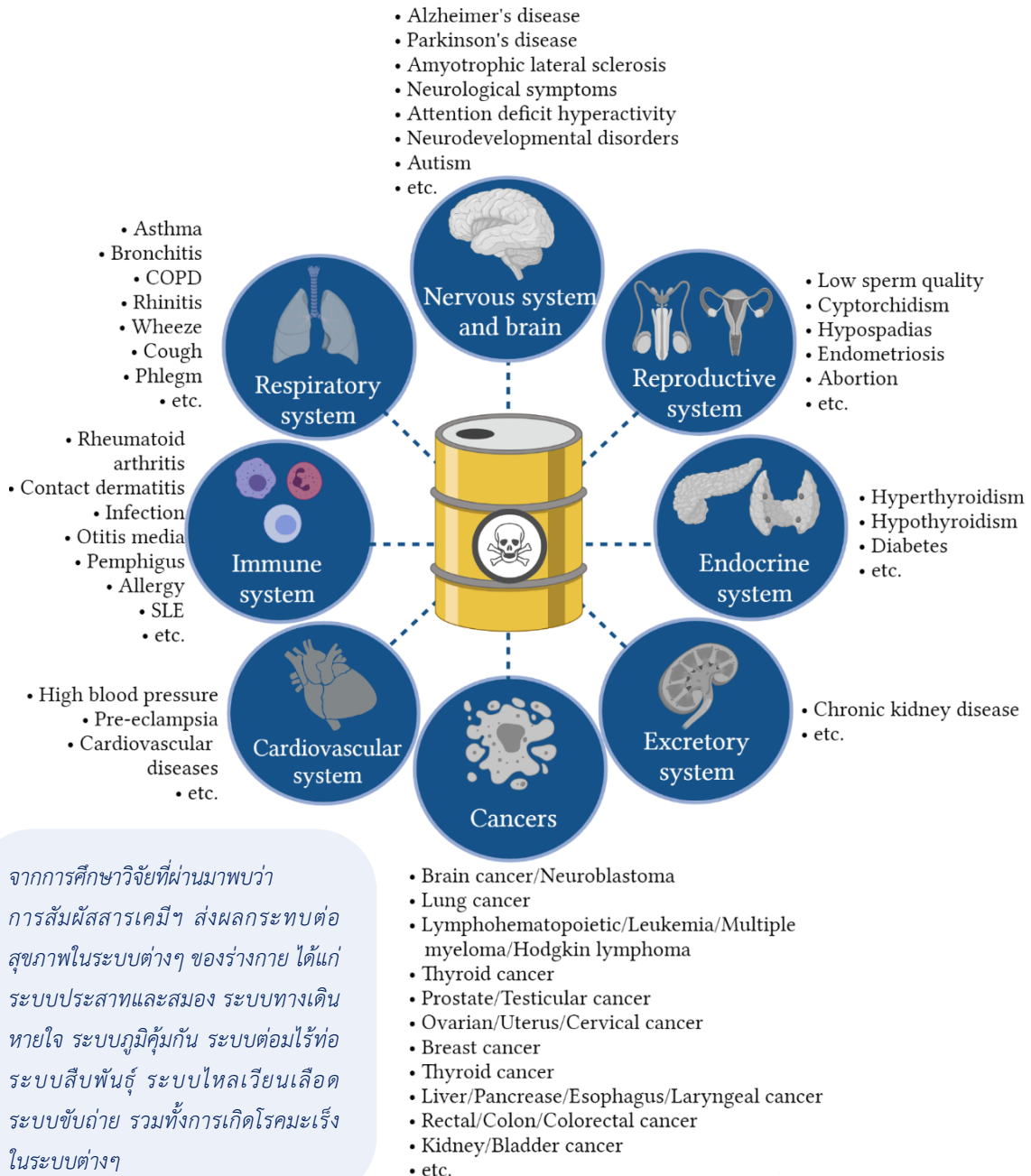
7.3.4 ผลต่อระบบต่อมไร้ท่อ: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดภาวะขาดฮอร์โมนไทรอยด์ (hypothyroidism) ภาวะฮอร์โมนไทรอยด์เกิน (hyperthyroidism) โรคเบาหวาน (diabetes) และพาราไมเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโรคไทรอยด์ และโรคเบาหวาน

7.3.5 ผลต่อระบบสืบพันธุ์: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดภาวะอวัยวะเพศชาย (cryptorchidism) ภาวะรูเปิดท่อปัสสาวะต่ำกว่าปกติหรือภาวะไฮโปสเปเดีย (hypospadias) ภาวะเยื่อบุโพรงมดลูกเจริญผิดที่ (endometriosis) การแท้งบุตร (abortion) คุณภาพของอสุจิ และพาราไมเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเพศ

7.3.6 ผลต่อระบบไหลเวียนเลือด: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดโรคความดันโลหิตสูง (high blood pressure) ภาวะครรภ์เป็นพิษ (pre-eclampsia) และโรคระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจ (cardiovascular diseases)

7.3.7 ผลต่อระบบขับถ่าย: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดโรคไตเรื้อรัง (chronic kidney disease, CKD) และค่าพาราไมเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไต

7.3.8 ผลต่อการเกิดโรคเมเร็ง: จากการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาพบว่าการสัมผัสสารเคมีฯ สัมพันธ์กับการเกิดโรคเมเร็ง/เนื้องอกในสมองและเนื้อเยื่อประสาท โรคเมเร็งปอด โรคเมเร็งที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โรคเมเร็งต่อมไทรอยด์ โรคเมเร็งระบบสืบพันธุ์ โรคเมเร็งระบบทางเดินอาหาร และโรคเมเร็งระบบขับถ่าย



ภาพที่ 1-5 ผลของสารเคมีฯ ต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

หมายเหตุ: COPD หมายถึง โรคทางเดินหายใจอุดกั้น (chronic obstructive pulmonary disease); SLE หมายถึง โรคแพ้ภูมิคุ้มกันตนเอง (Systemic Lupus Erythematosus)
จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย: BioRender.com

ผลกระทบของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชต่อระบบอวัยวะในร่างกาย

8. สรุป

ปัจจุบันสถานการณ์การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชทั่วโลกมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ดิน น้ำ และอากาศ ความหลากหลายทางชีวภาพ และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมนุษย์ กลุ่มประชากรที่ได้รับผลกระทบต่อสุขภาพมากที่สุดคือเกษตรกรและกลุ่มที่สัมผัสสารเคมีฯ จากการประกอบอาชีพ อย่างไรก็ตามประชาชนทั่วไป ผู้บริโภค และเด็กก็มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน การสัมผัสสารเคมีฯ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลัน แบบกึ่งเรื้อรังและแบบเรื้อรัง ซึ่งการสัมผัสสารเคมีฯ ต่อสุขภาพแบบเรื้อรังในระบบต่างๆ ของร่างกายจะกล่าวในบทต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

- Akashe, M. M., Pawade, U. V., Nikam, A. V., et al. (2018). Classification of pesticides: a review. *Int J Res Ayurveda Pharm*, 9(4), 144-150.
- Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2016). Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention. *Toxics*, 4(1).
- Dedek, W. (1982). Routes of entry and wards during exposure to pesticides. *Stud Environ Sci*, 18, 187-197.
- Ecobichon, D.J. (2018). Chapter 22 Toxic effects of pesticides. In C. Klaassen (Ed.), Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. 9th edition (pp.763-810). USA: McGraw-Hill.
- Food and Agriculture Organization of United Nations. (2021). Pesticides use, FOSTAT. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata> (accessed 31 May 2021).
- Gunsolus, J.L., & Curran, W.S. (1999). Herbicide mode of action and injury symptoms. Available online: <http://www.extension.umn.edu/Documents/D/C/DC3832.html> (accessed 31 May 2021).
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Sci Total Environ*, 575, 525-535.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2017). Pesticides: an update of human exposure and toxicity. *Arch Toxicol*, 91(2), 549-599. doi:10.1007/s00204-016-1849-x
- Pascale, A., & Laborde, A. (2020). Impact of pesticide exposure in childhood. *Rev Environ Health*, 35(3), 221-227.
- Roberts, J. R., Karr, C. J., & Council On Environmental, H. (2012). Pesticide exposure in children. *Pediatrics*, 130(6), e1765-1788.
- Rudant, J., Menegaux, F., Leverger, G., et al. (2007). Household exposure to pesticides and risk of childhood hematopoietic malignancies: The ESCALE study (SFCE). *Environ Health Perspect*, 115(12), 1787-1793.
- Schmidt, R.R. (1997). HRAC Classification of herbicides according to mode of action. Available online: <http://www.plant protection.org/HRAC/MOA.html> (accessed 31 May 2021).
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., et al. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl Sci*, 1, 1,446.
- Smith, E.H. (1952). Chapter 1 Tree spray oils, Agricultural applications of petroleum products. *Adv Chem*, 7, 3-11

- Soderlund, D. M. (2012). Molecular mechanisms of pyrethroid insecticide neurotoxicity: recent advances. *Arch Toxicol*, 86(2), 165-181.
- Taneepanichskul, N., Norkaew, S., Siriwong, W., Siripattanakul-Ratpukdi, S., Maldonado Perez, H. L., & Robson, M. G. (2014). Organophosphate pesticide exposure and dialkyl phosphate urinary metabolites among chili farmers in northeastern Thailand. *Rocz Panstw Zakl Hig*, 65(4), 291-299.
- Tudi, m., Ruan, H. D., Wang, L., et al. (2021) Agricultural developmental, pesticide application and its impact on the environment. *Int J Environ Res Public Health*, 18, 1,112.
- World Health Organization. (2019). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2019. Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662> (accessed 31 May 2021).
- Yadav, I.C. & Devi, N.L. (2017). Chapter 7 Pesticides classification and its impact on human and environment. In A. Kumar et al. (Ed.), *Environmental Sciences and Engineering*. Vol.6 (99.140-158). USA: Studium Press LLC.
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. ศัพท์บัญญัติสำนักงานราชบัณฑิตยสภา. Available online: <https://coined-word.orst.go.th/> (accessed 13 October 2021).

10. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ

- Polyiem, W., Hongsibsong, S., Chantara S., Kerdnoi T., Patarasiriwong V., Prapamontol T., & Sapbamrer R. (2017). Determination and assessment of glyphosate exposure among farmers from northern part of Thailand. *J Pharmacol Toxicol*, 12(2): 97-102.
- Sapbamrer, R. (2018). Pesticide use, poisoning, and knowledge and unsafe occupational practices in Thailand. *New Solut*, 28(2), 283-302.
- Sapbamrer, R., & Hongsibsong, S. (2019). Effects of prenatal and postnatal exposure to organophosphate pesticides on child neurodevelopment in different age groups: a systematic review. *Environ Sci Pollut Res Int*, 26(18), 18267-18290.
- Sapbamrer, R., Hongsibsong, S., & Khacha-Ananda, S. (2020). Urinary organophosphate metabolites and oxidative stress in children living in agricultural and urban communities. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27(20), 25715-25726.
- Sapbamrer, R., Prapamontol, T., Prakobvitayakit, O., Vaneesorn, Y., Mangklabruks, A., & Hock, B. (2008). Placental transfer of DDT in mother-infant pairs from Northern Thailand. *J Environ Sci Health B*, 43(6), 484-489.
- รัตนา ทรัพย์บำเรอ. (2557). สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและผลกระทบต่อสุขภาพ. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรี้นติ้ง เฮ้าส์.
- รัตนา ทรัพย์บำเรอ, สุรัตน์ หงษ์สิบสอง, นลิน สีทธิธูรณ์. (2561). การศึกษาผลกระทบทางสุขภาพจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช: กรณีศึกษาในเกษตรกรปลูกกระเทียม จังหวัดพะเยา. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 26(1), 20-31.

ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช ต่อระบบประสาทและสมอง

(Effects of Pesticides on Nervous System and Brain)

1. บทนำ: ระบบประสาทและสมอง
 - 1.1 โครงสร้างของระบบประสาท
 - 1.2 เซลล์ประสาท และสารสื่อประสาท
2. กลไกการป้องกันสิ่งแปลกปลอม
3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา
 - 3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคและอาการแสดงทางระบบประสาท
 - 3.2 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก
4. ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบประสาท
 - 4.1 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคทางระบบประสาท
 - 4.2 ประเภทและชนิดของสารเคมีฯ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก
5. กลไกการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบประสาทจากการสัมผัสสารเคมีฯ
 - 5.1 กลไกการเกิดโรคอัลไซเมอร์
 - 5.2 กลไกการเกิดโรคพาร์กินสัน
 - 5.3 กลไกการเกิดโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงเอแอลเอส
 - 5.4 กลไกการเกิดอาการแสดงทางระบบประสาท
 - 5.5 กลไกการเกิดโรคทางพัฒนาการผิดปกติ และพัฒนาการล่าช้าในเด็ก
6. สรุป
7. เอกสารอ้างอิง
8. ผลงานวิชาการของผู้เขียนที่ใช้ประกอบการเขียนหนังสือ

1. บทนำ: ระบบประสาทและสมอง

ระบบประสาทเป็นศูนย์กลางการควบคุมการทำงานและพฤติกรรมของร่างกายในการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นหรือสิ่งเร้า โดยมี (1) ระบบรับข้อมูล ทำหน้าที่รับสิ่งกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อม; (2) ระบบประมวลผลข้อมูลจากระบบประสาทส่วนกลาง เรียนรู้ และจดจำสิ่งกระตุ้น; และ (3) ระบบตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้น ทำหน้าที่สั่งการจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังอวัยวะเป้าหมายผ่านระบบประสาทส่วนปลาย

1.1 โครงสร้างของระบบประสาท

โครงสร้างของระบบประสาทสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ (ภาพที่ 2-1)

1.1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) ซึ่งประกอบด้วยสมอง (brain) และไขสันหลัง (spinal cord) ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการควบคุมการทำงานของร่างกายให้ทำงานไปพร้อมกันทั้งด้านกลไกและเคมี โดยสมองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) สมองส่วนหน้า ประกอบด้วยซีรีบรัม (cerebrum) ทาลามัส (thalamus) และไฮโปทาลามัส (hypothalamus) (2) สมองส่วนกลาง ทำหน้าที่รับส่งกระแสประสาทระหว่างส่วนหน้าและส่วนท้าย และควบคุมการมองเห็น และ (3) สมองส่วนท้าย ประกอบด้วยซีรีเบลลัม (cerebellum) พอนส์ (pons) และเมดัลลาออบลองกาตา (medulla oblongata) โดยแต่ละส่วนทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของร่างกายแตกต่างกันไป (ภาพที่ 2-2) สำหรับไขสันหลัง เป็นเนื้อเยื่อประสาทต่อจากสมองจนถึงบริเวณก้นกบอยู่ในโพรงกระดูกและมีลักษณะรูปทรงกระบอกที่มีเยื่อหุ้มไขสันหลังหุ้มอยู่ โดยมีเนื้อสีขาว (white matter) ด้านนอกซึ่งไม่มีเซลล์ประสาท และมีสีเทาด้านใน (grey matter) ซึ่งมีเซลล์ประสาทจำนวนมาก

1.1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral nervous system) ประกอบด้วยเส้นประสาทสมองจำนวน 12 คู่ และเส้นประสาทไขสันหลังจำนวน 31 คู่ ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลจากระบบประสาทส่วนกลางและนำกระแสประสาทสั่งการจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังหน่วยรับความรู้สึกและอวัยวะสัมผัส ซึ่งรวมถึงเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย เมื่อจำแนกตามระบบการทำงานของระบบประสาทส่วนปลายสามารถจำแนกได้ 2 ระบบ ดังนี้

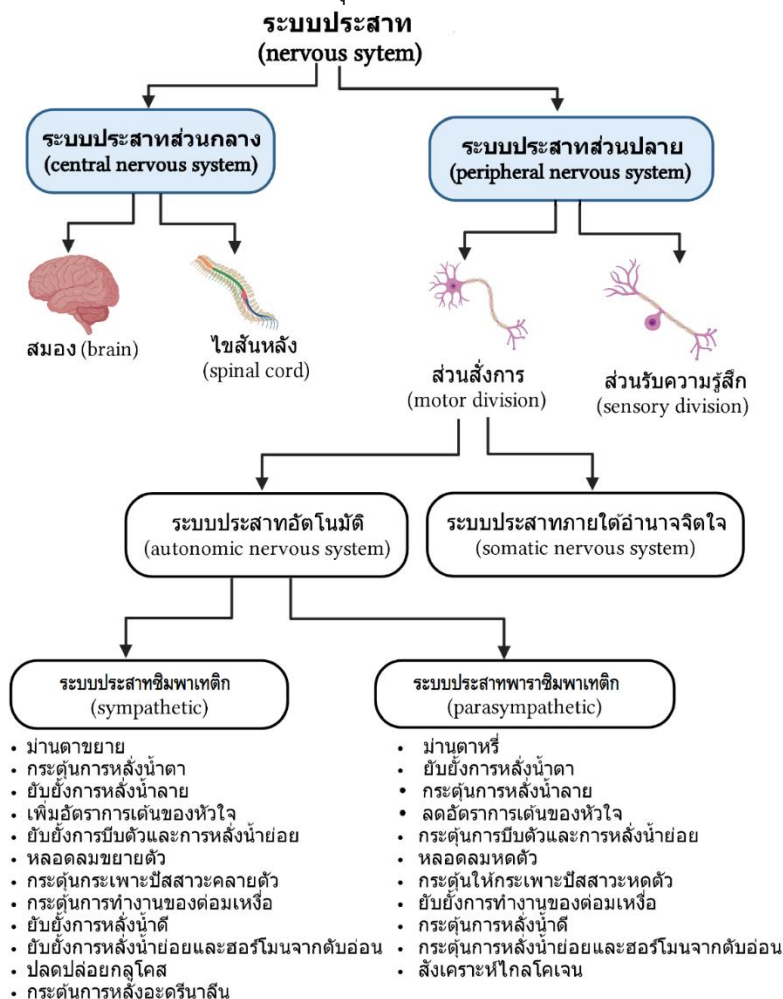
1.1.2.1 ระบบประสาทที่สามารถควบคุมได้ หรือระบบประสาทภายใต้อำนาจจิตใจ (somatic nervous system) เป็นระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อที่บังคับได้ เช่น แขน ขา กล้ามเนื้อใบหน้า ฯลฯ เมื่อได้รับสิ่งกระตุ้น เซลล์ประสาทรับความรู้สึกรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองเพื่อประมวลผลและสั่งการไปยังหน่วยปฏิบัติงานกล้ามเนื้อลาย

1.1.2.2 ระบบประสาทอัตโนมัติ หรือระบบประสาทนอกอำนาจจิตใจ หรือระบบประสาทอิสระ (autonomic nervous system) เป็นระบบประสาทที่ศูนย์กลางควบคุมอยู่ในสมองและไขสันหลัง เมื่ออวัยวะสัมผัสได้รับสิ่งกระตุ้น กระแสประสาทจากระบบประสาทส่วนกลางจะส่งไปยังกล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่างๆ ซึ่งอยู่นอกอำนาจการควบคุมของจิตใจ ระบบประสาทอัตโนมัติทำหน้าที่หลักในการปรับสมดุลการทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย อาทิเช่น ระบบทางเดินหายใจ, ระบบไหลเวียนเลือด, ระบบย่อยอาหาร และระบบสืบพันธุ์ เมื่อพิจารณาจากระบบประสาทตาม

หน้าที่ระบบประสาทอัตโนมัติจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้ (Ludwig et al., 2020; Maldonado & Alsayouri, 2020; Ottoson, 1983)

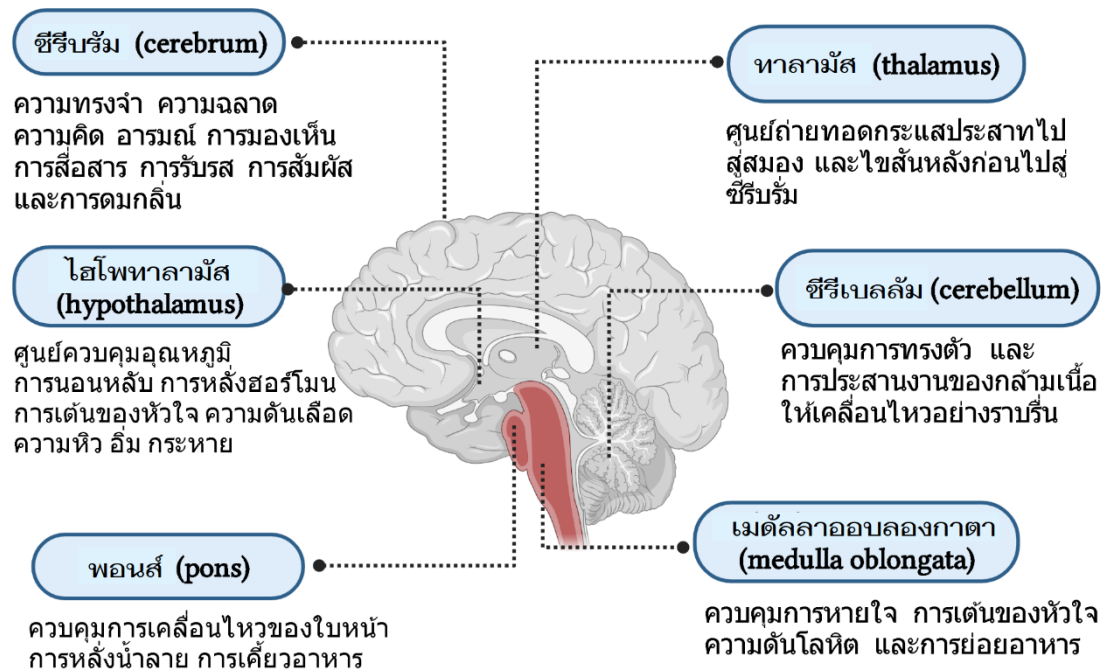
(1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system) เซลล์ประสาทดังกล่าวอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งระบบนี้จะทำงานเมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะกดดัน เคร่งเครียด หรือตกใจ โดยทำให้ม่านตาขยาย กระตุ้นให้หลั่งน้ำตามากขึ้น ยับยั้งการหลั่งน้ำลาย หัวใจเต้นเร็วขึ้น ยับยั้งการบีบตัวและหลั่งน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร หลอดลมขยายตัว กระตุ้นให้ต่อมหมวกไตหลั่งอะดรีนาลิน และกระตุ้นให้กระเพาะปัสสาวะคลายตัว

(2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system) เป็นระบบประสาทที่ทำงานในสภาวะผ่อนคลายของร่างกาย ซึ่งจะทำงานตรงกันข้ามกับระบบประสาทซิมพาเทติก โดยทำงานควบคุมกับระบบประสาทซิมพาเทติกเพื่อให้ร่างกายกลับสู่ภาวะปกติ ทำให้ม่านตาหดตัว ควบคุมการหลั่งน้ำตาให้ปกติ กระตุ้นการหลั่งน้ำลาย หัวใจเต้นช้าลง หลอดลมหดตัว กระตุ้นกระเพาะอาหารบีบตัวและหลั่งน้ำย่อยมากขึ้น และกระตุ้นให้กระเพาะปัสสาวะหดตัว



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของระบบประสาท

จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย: BioRender.com



ภาพที่ 2-2 หน้าที่ของสมองในส่วนต่างๆ

จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย: BioRender.com

1.2 เซลล์ประสาท และสารสื่อประสาท

1.2.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาท (neuron) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของระบบประสาท ทำหน้าที่ส่งสัญญาณประสาท โดยเซลล์ประสาทประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ ดังนี้ (Ludwig et al., 2020; Kandel et al., 2000; Ottoson, 1983) (ภาพที่ 2-3)

(1) ตัวเซลล์ประสาท (cell body/soma) ประกอบด้วย นิวเคลียส (nucleus) ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และภายในไซโตพลาสซึมมีออร์แกเนลล์ต่างๆ รวมถึงไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ซึ่งทำหน้าที่สร้างพลังงานและสังเคราะห์โปรตีนเป็นสารสื่อประสาท

(2) เดนไดรต์ (dendrite) เป็นใยประสาทที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ตัวเซลล์ประสาท

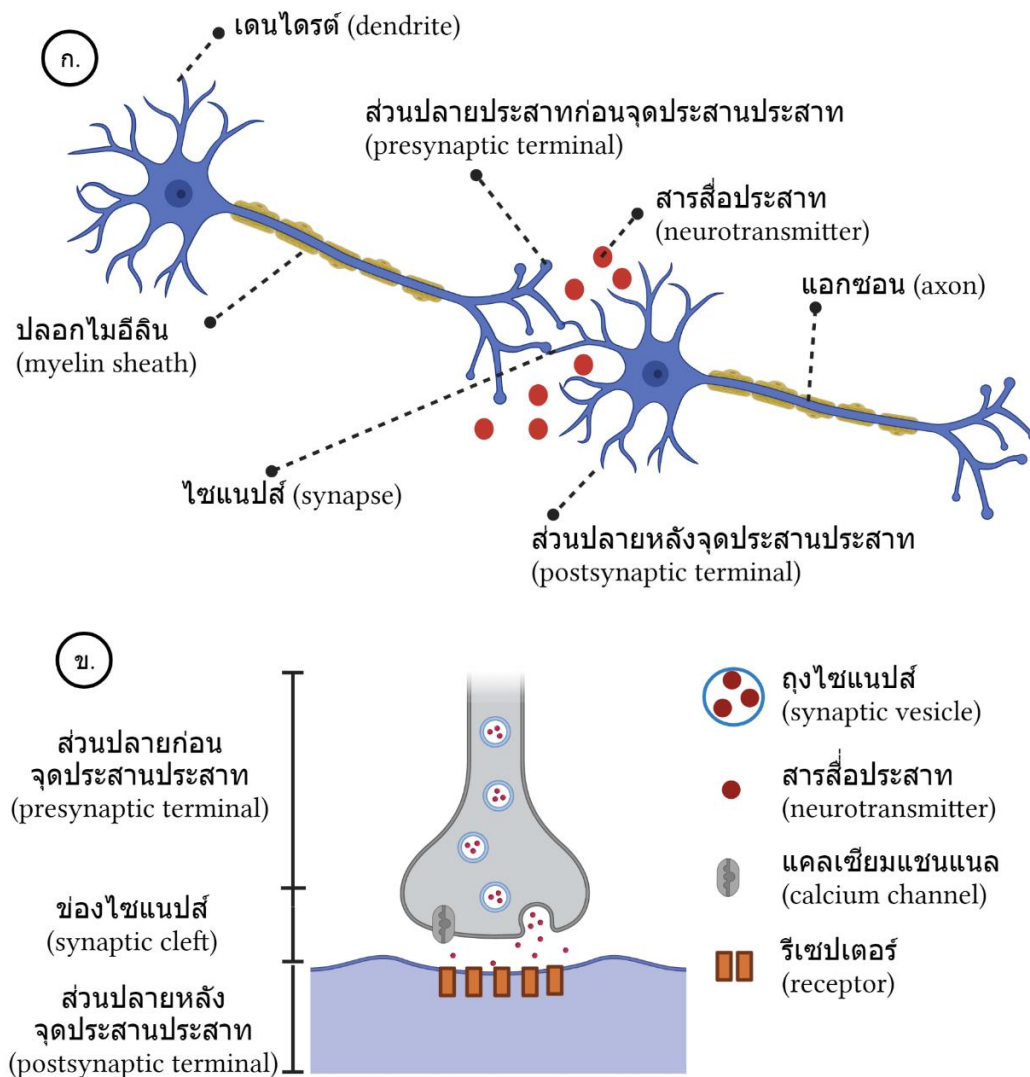
(3) แอกซอน (axon) เป็นใยประสาทที่ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ประสาท โดยแอกซอนจะถูกพันด้วยปลอกไมอีลิน (myelin sheath) ซึ่งถูกสร้างจากเซลล์เกลีย (glial cell) 2 ชนิด คือ เซลล์ชวานน์ (Schwann cell) และโอลิโกเดนโดรไซต์ (oligodendrocyte) โดยปลอกไมอีลินเป็นสารประกอบไขมันซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้น

(4) ส่วนปลายประสาทก่อนจุดประสานประสาท (presynaptic terminal)

1.2.2 การทำงานของเซลล์ประสาท

การทำงานของเซลล์ประสาทเริ่มจากเดนไดรต์รับกระแสประสาทจากส่วนปลายประสาทก่อนจุดประสานประสาทจากเซลล์อื่น จากนั้นเกิดการส่งกระแสประสาทไปยังแอกซอนในรูปแบบความต่างศักย์

ของไฟฟ้าไปจนปลายสุดของแอกซอน ซึ่งส่วนปลายของแอกซอนจะมีลักษณะแตกออกเป็นกิ่งก้านสาขา โดยเรียกส่วนนี้ว่า “ส่วนปลายประสาทก่อนจุดประสานประสาท (presynaptic terminal)” และเกิดการหลั่งสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ไปยังเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่งหรือเซลล์กล้ามเนื้อ โดยหลังบริเวณจุดประสานเซลล์ถัดไป ซึ่งเรียกว่า “จุดประสานประสาทหรือไซแนปส์ (synapse)” (Caire et al., 2020; Hormuzdi et al., 2004)



ภาพที่ 2-3 การทำงานของเซลล์ประสาท

(ก) การส่งกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์ประสาทหนึ่ง

(ข) ภาพขยายการส่งสารสื่อประสาทบริเวณช่องไซแนปส์

จัดทำโดย: รัตนา ทรัพย์บำรุง, ออกแบบโดย: BioRender.com

1.2.3 สารสื่อประสาท

สารสื่อประสาทเป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง เมื่อมีการส่งกระแสประสาท สารสื่อประสาทจะถูกนำเข้าสู่เซลล์ทางประตู

ไอออน (ion channel) ที่อยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเดนไดรต์ จากนั้นจะถูกบรรจุในลักษณะถุงที่เรียกว่า “ไซแนปติกเวสิเคิล (synaptic vesicle)” และเคลื่อนที่ไปจนถึงส่วนปลายประสาทก่อนจุดประสานประสาทของแอกซอนเพื่อส่งสารสื่อประสาทไปยังเซลล์ประสาทอื่นต่อไป

สารสื่อประสาทที่สำคัญของร่างกาย มีดังนี้ (Jewett & Sharma, 2020; Sheffler et al., 2020; Trang & Khandhar, 2020)

(1) อะซิติลโคลีน (acetylcholine) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อ ความคิด การเรียนรู้ และความจำ หากมีสารนี้ในร่างกายมากเกินไปอาจส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ และสัมพันธ์กับการเกิดโรคอัลไซเมอร์

(2) โดพามีน (dopamine) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว การเรียนรู้ สมาธิ ความพึงพอใจ ความสุข และแรงบันดาลใจ หากมีสารนี้ในร่างกายมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดโรคจิตเภท หากมีสารนี้ในร่างกายน้อยเกินไปอาจส่งผลทำให้เกิดอาการสั่น และสัมพันธ์กับการเกิดโรคพาร์กินสัน

(3) แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด หรือกาบา (gamma-aminobutyric acid, GABA) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับความสงบ ความผ่อนคลาย และมีสมาธิ หากมีสารนี้ในร่างกายน้อยเกินไปอาจส่งผลทำให้เกิดอาการสั่น นอนไม่หลับ และวิตกกังวล

(4) เซโรโทนิน (serotonin) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับอารมณ์ การนอนหลับ การย่อยอาหาร และวงจรชีวิต หากมีสารนี้ในร่างกายน้อยเกินไปอาจส่งผลทำให้เกิดโรคซึมเศร้า

(5) นอร์อีพิเนฟริน (norepinephrine) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการตื่นตัว และความสนใจ หากมีสารนี้ในร่างกายน้อยเกินไปอาจส่งผลทำให้เกิดโรคซึมเศร้า

(6) อะดรีนาลีน (adrenaline) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการเอาชีวิตรอดในภาวะกดดันและคับขัน ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจและการไหลเวียนเลือดมากขึ้น

(7) นอร์อะดรีนาลีน (noradrenaline) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับภาวะเครียดและสมาธิ

(8) กลูตาเมต (glutamate) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับความจำ การเรียนรู้ และพัฒนาการ หากมีสารนี้ในร่างกายมากเกินไปส่งผลทำให้เกิดโรคไมเกรนและโรคลมชัก

(9) เอ็นดอร์ฟิน (endorphin) เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับความสุขและการลดความเจ็บปวด ซึ่งจะหลั่งสารนี้เมื่อออกกำลังกายหรือมีอาการตื่นเต้น

สารสื่อประสาทที่มีความเกี่ยวข้องกับการสัมผัสสารเคมี ได้แก่ อะซิติลโคลีน โดพามีน แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด และเซโรโทนิน

2. กลไกการป้องกันสิ่งแปลกปลอม

ตัวกั้นกลางระหว่างเลือดและสมอง (blood-brain barrier) เป็นเยื่อที่แยกระบบไหลเวียนเลือดออกจากสมอง ซึ่งตัวกั้นนี้ทำหน้าที่สำคัญเป็นเยื่อเลือกให้สารบางอย่างผ่านเข้าสู่สมองได้ เป็นกลไกสำคัญในการป้องกันสารพิษหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่สมองโดยยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าสู่สมองโดยไม่ใช้

พลังงาน (อย่างเช่น น้ำ แก๊สบางชนิด และสารโมเลกุลที่ละลายในลิพิด) และยังมีระบบยอมให้สารบางอย่างผ่านเข้าสู่สมองโดยใช้พลังงาน (เช่น กลูโคสและกรดอะมิโน)

กลไกสำคัญในการกั้นสารพิษหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่สมองคือ เซลล์เยื่อบุโพรง (endothelial cell) ในระบบประสาทส่วนกลางที่มีการจัดเรียงตัวแน่น และจะยึดติดกันด้วยไทต์จังก์ชัน (tight junction) ทำให้ไม่มีช่องว่างตามรอยต่อระหว่างเซลล์เยื่อบุโพรง เป็นเหตุให้สารต่างๆ ผ่านไปในสมองได้ยากขึ้น นอกจากนี้ ป्लอกไมอีลินที่ห่อหุ้มแอกซอนก็ทำหน้าที่ให้กระแสน้ำประสาทเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้นและสามารถทำงานเป็นปกติ อย่างไรก็ตาม สารเคมีฯ บางชนิดอาจส่งผลต่อการสร้างปลอกไมอีลิน ซึ่งสมองและปลอกไมอีลินจะถูกพัฒนาตั้งแต่ทารกอยู่ในครรภ์มารดา และพัฒนามาเรื่อยๆ ในช่วงวัยเด็ก ดังนั้น หากได้รับสารเคมีฯ ในช่วงที่สมองยังพัฒนาไม่เต็มที่อาจส่งผลต่อระบบประสาทและการพัฒนาการของเด็ก

สารเคมีฯ หลายชนิดมีคุณสมบัติละลายในไขมัน (lipophilic chemicals) เมื่อสารเคมีฯ ที่มีคุณสมบัติละลายในไขมันเข้าสู่ร่างกายแล้วจะสะสมในชั้นไขมันเป็นเวลานาน และกำจัดออกจากร่างกายได้ยากมาก สารเคมีฯ ดังกล่าวยังสามารถผ่านตัวกั้นกลางระหว่างเลือดและสมองและสามารถผ่านตัวกั้นรก (placenta barrier) เป็นผลทำให้สารเคมีฯ ดังกล่าวส่งต่อจากมารดาไปสู่ทารกในครรภ์ได้ (Obermeier et al., 2013; Zeliger, 2013; Ecobichon, 2018)

3. การศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยา

3.1 ผลของสารเคมีฯ ต่อโรคและอาการแสดงทางระบบประสาท

จากหลักฐานทางระบาดวิทยาพบความสัมพันธ์ของการสัมผัสสารเคมีฯ กับการเกิดโรคและอาการแสดงทางระบบประสาททั้งจากการสัมผัสสารเคมีฯ จากการทำงาน และจากสิ่งแวดล้อม ดังนี้

3.1.1 โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease)

กลุ่มที่สัมผัสสารเคมีฯ มีความเสี่ยงหรือต่อการเกิดโรคอัลไซเมอร์อยู่ในช่วง 1.53-4.18 เท่าของกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารเคมีฯ เมื่อพิจารณาตามประเภทของสารเคมีฯ พบว่าชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคอัลไซเมอร์คือ สารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (organochlorines) และสารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphates) โดยชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์ในระดับสูงที่สุดคือ สารดีดีอี (DDE) ซึ่งจัดเป็นสารเคมีกลุ่มออร์กาโนคลอรีน (odds ratio (OR)=4.18, 95%CI=2.54-5.82) และพบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคจากการสัมผัสสารเคมีฯ ทั้งจากการทำงานและจากสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 2-1)

3.1.2 โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease)

กลุ่มที่สัมผัสสารเคมีฯ มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคพาร์กินสันอยู่ในช่วง 1.29-17.12 เท่าของกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารเคมีฯ เมื่อพิจารณาตามประเภทของสารเคมีฯ พบว่าชนิดของสารเคมีฯ ที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคพาร์กินสันสูงที่สุดคือ สารโรทีโนน (rotenone) (OR=10.9, 95%CI=2.5-84) สารเคมีกำจัดวัชพืชที่พบความสัมพันธ์กับการเกิดโรคพาร์กินสันสูงที่สุด คือ สารพาราควอต (paraquat) (OR=11.1, 95%CI=3.0-44.6) สารเคมีกำจัดเชื้อราที่พบความสัมพันธ์กับการเกิด