บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งหัวข้อในการศึกษาดังนี้

1. หอยเชอรี่
2. สารพิษฆ่าแมลงในประเทศไทย
3. พิษวิทยาของสารเคมี
4. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และสารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท
5. คลอไพรีฟอส
6. ไดคลอวอส
7. คาร์บาริล
8. เอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส
9. อาการพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท
10. การตรวจวัดระดับโคลีนเอสเทอเรส (Cholinesterase Activities)
11. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หอยเชอรี่

หอยเชอรี่ เป็นหอยฝาเดียวน้ำจืด (Freshwater Snail) หรือเรียกทั่วไปว่า Golden Apple Snail มีชื่อเรียกอื่น ๆ ได้แก่ หอยโข่งอเมริกาใต้ หอยเป๋าฮื้อน้ำจืด หอยโข่งเหลือง มีลักษณะเหมือนหอยโข่งเหลืองแต่ตัวโตกว่า มีถิ่นกำเนิดเดิมจากทวีปแอฟริกาใต้ แพร่กระจายสู่ทวีปเอเชียโดยชาวญี่ปุ่น ไต้หวัน และฟิลิปปินส์ ซึ่งนำไปเลี้ยงเป็นการค้าโดยการทำฟาร์มหอยในประเทศของตน เมื่อประชาชนไม่นิยมบริโภคจึงเลิกเลี้ยงและทิ้งฟาร์มปล่อยหอยแพร่ลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จนเกิดการระบาด ทำลายข้าวในนา และในทำนองเดียวกันก็มีคนไทยนำมาขายตามร้านตู้ปลา เพื่อเป็นหอยสวยงาม เพราะมีประโยชน์ในการกำจัดตะไคร่น้ำ บางคนนำไปเลี้ยงเป็นฟาร์มเพื่อจะนำมาเป็นอาหาร แต่ไม่มีผู้ซื้อ ทำให้ต้องปล่อยทิ้งเกิดการแพร่ระบาดต่อไป (Thaewnon-Ngiw, 2003) ในปี พ.ศ. 2538 เกิดอุทกภัยทั่วประเทศไทย ทำให้หอยเชอรี่ระบาดเข้าไปในไร่นา ครอบคลุมพื้นที่ 43 จังหวัด (อัญชลีกร โสมเกษตริน, 2542)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

หอยเชอรี่ จัดอยู่ในลำดับขั้นอนุกรมวิธานดังนี้ (Brown, 2001)

Phylum Mollusca

Class Gastropoda

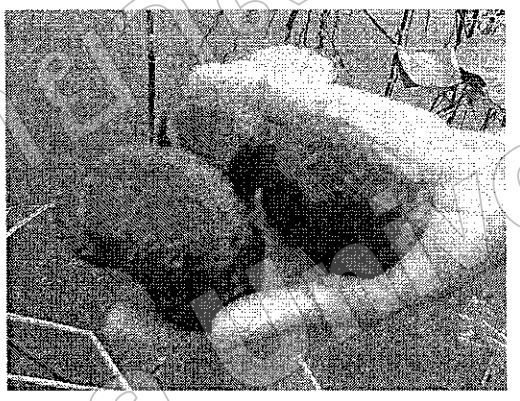
Subclass Prosobranchia

Order Mesogastropoda

Family Ampullariidae

Genus *pomacea*

ในประเทศไทยมีหอยเชอรี่หลายชนิดที่ระบาดในนาข้าว เช่น *Pomacea canaliculata* Lamark, *P. insularus* และ *Pomacea* sp.



ภาพที่ 1 หอยเชอรี่ที่พบในประเทศไทย

ลักษณะโดยทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของหอยเชอรี่ที่แยกออกจากหอยในสกุล *Pomacea* ด้วยกัน คือ เปลือกเป็นรูปกรวยกลม (Globose) หรือเกือบกลม (Subglobose) ส่วนยอด (Spire) แบนลง (Depressed Spire) มุมของร่อง (Sutur) น้อยกว่า 90 องศา ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหอยเชอรี่ที่แตกต่างจากหอยสกุลอื่น รูปร่างลักษณะหอยเชอรี่ เปลือกค่อนข้างกลมใหญ่ ผิวเรียบ สีเหลืองปนน้ำตาล มีร่องลึกเป็นเกลียววนขวา ลำตัวนุ่ม มีตา หนวด ปาก และกล้ามเนื้อที่ใช้เป็นเท้า มีส่วนฝาปิดเป็นแผ่นแข็ง ซึ่งตัวหอยสามารถหลบเข้าอยู่ในเปลือกแล้วปิดฝาเพื่อป้องกันอันตราย หอยเชอรี่มีชีวิตยืนยาวได้ 2-6 ปี และมีความสามารถในการขยายพันธุ์สูง ขนาดของเปลือกเฉลี่ยประมาณ 45-60 มิลลิเมตร ร่างกายของหอยประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน คือ เปลือก ส่วนเท้า ส่วนหัว และอวัยวะภายใน ส่วนเท้าอยู่ด้านล่างสุดของลำตัวเป็นที่รองรับส่วนหัว ซึ่งส่วนหัวอยู่ค่อนมาทางด้านหน้า มีอวัยวะภายใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ต่อออกมาจากด้านท้ายของส่วนหัว และบิดตัวเป็นเกลียวไปตามเกลียวของเปลือก หอยเคลื่อนที่โดยใช้เท้า หอยเชอรี่สามารถคืบคลานไปตามพื้นดินใต้น้ำหรือปล่อยลอยตัวตามกระแสน้ำหรือขึ้นสู่ผิวน้ำได้ หอยเชอรี่มีเพศแยก (Dioecious) โดยทั่วไป เพศผู้มักมีขนาดเล็กว่าเพศเมีย หอยเชอรี่ผสมพันธุ์ได้ตลอดปี แต่จะเจริญพันธุ์มากในช่วงฤดูฝน

ส่วนประกอบของร่างกาย (อภิชาติ ประเดิมวงศ์, 2547)

1. เปลือก (Shell)

ประกอบด้วยสารจำพวกแคลเซียม ลักษณะบางเปราะ ค่อนข้างโปร่งใส มีเกลียวนขวา (Dextral) เปลือกชั้นนอกสุด (Poriostracum) มีสารจำพวกโปรตีนเคลือบบาง ๆ ทำให้เกิดเป็นเงา ตัวหอยส่วนใหญ่อยู่ในบอดีเวิร์ล (Body Whorle) ส่วนยอดเป็นที่อยู่ของอวัยวะสืบพันธุ์ และต่อมทางเดินอาหาร (Digestive Gland) บางส่วนด้านล่างของบอดีเวิร์ลเปิดกว้างเป็นช่องเปิดเปลือก (Aperture) มีแผ่นปิดเปลือกหรือโอเพอคิวลัม (Operculum) เป็นแผ่นแข็งสีน้ำตาลเข้ม (Olive Brown) หรือสีดำรูปร่างแบบหยดน้ำ (Teardrop-Shaped Disk) จึงยืดหยุ่นได้ เพื่อปิดเปลือกได้แน่นตามขนาดช่องเปิดที่ไม่เท่ากันตลอด โอเพอคิวลัมยึดติดกับกล้ามเนื้อเท้าด้านบน ส่วนปลายของแกนกลาง (Collumella) เป็นร่องลึกเรียกว่าอัมบิลิคัส (Umbilicus)

2. เท้า (Foot)

เป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่แข็งแรง ด้านล่างเรียบ สามารถพับตามแนวยาวได้ เพื่อเก็บเข้าเปลือกด้านซ้ายครึ่งหลังของส่วนเท้ามีโอเพอคิวลัมยึดติดอยู่ ทำหน้าที่รองรับลำตัวทั้งหมด เคลื่อนที่และปิดโอเพอคิวลัมเมื่อหลบภัยหรือจำศีล

3. หัว (Head)

ส่วนหัวมักมีรูปร่างแบนทู่เป็นแผ่น ตั้งอยู่บนส่วนหน้าของเท้า ด้านท้ายต่อกับอวัยวะภายใน ตรงส่วนต่อกันจะเรียวแคบลงเรียกว่าส่วนคอ (Neck) แมนเทิลส่วนที่เป็นอิสระด้านหน้าจะล้อมรอบส่วนหัวลักษณะคล้ายกระโปรง เรียกว่า แมนทิลสเกิร์ต (Mantle Skirt) ซึ่งมีขอบนอกสุดแนบติดกับขอบของช่องเปิดเปลือก เพื่อทำหน้าที่สร้างเปลือกใหม่ มีแผ่นข้างริมฝีปาก (Labial Tentacle) ยื่นออกทางด้านข้างปากทั้งสองข้างคล้ายหนวดสั้น ๆ ส่วนปลายเรียวเล็กลงใช้รับความรู้สึก ข้างริมผีปากมีหนวด (Cephalic Tentacle) เส้นเล็กยาวข้างละหนึ่งเส้นสามารถยืดหดได้ บริเวณโคนหนวด มีตาขนาดเล็กตั้งอยู่บนก้านตา (Ocular Peduncle) ด้านข้างของหนวดมีท่อหายใจ (Respiratory Siphon) อยู่ทั้งสองด้าน ด้านซ้ายทำหน้าที่นำน้ำหรืออากาศเข้าสู่ช่องแมนเทิล (Mantle Cavity) เรียกว่าท่อหายใจเข้า (Inhalant Siphon) ด้านขวาทำหน้าที่นำน้ำหรืออากาสออกจากแมนเทิลเรียกว่าท่อหายใจออก (Exhalent Siphon)

4. อวัยวะภายใน (Visceral Mass)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อแมนเทิล ซึ่งทำหน้าที่เป็นผนังลำตัวภายในผนังลำตัว ภายในผนังลำตัวมีช่องเรียกว่า แมนเทิล ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 อวัยวะที่ใช้ในการหายใจ

หอยเชอรี่ จะมีทั้งเหงือกและปอด ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจโดยใช้อากาศ ทำให้สามารถอยู่บนบกได้บางเวลา เช่น การวางไข่ และยังมีเนื้อเยื่อที่สามารถโค้งพับเป็นหลอด และยืดหดเป็นท่อหายใจ (Respiratory Siphon) หรือไซฟอน (Siphon) ยืดยาวได้ 6-7 เซนติเมตร ใช้สำหรับหายใจเอาออกซิเจนจากอากาศ ทำให้สามารถอาศัยอยู่ได้ แม้ว่าจะไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำ หอยสามารถลอยตัวได้ในช่วงที่มีแรงดันของออกซิเจนต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของแก๊สที่อยู่ภายในปอด (วัชราภรณ์ รวมธรรม, 2545)

4.2 ระบบไหลเวียนเลือด

ประกอบด้วยช่องหัวใจ (Pericardial Cavity) อยู่ตำแหน่งด้านซ้ายบนของอวัยวะภายในมีหัวใจสองห้อง คือ เอเตรียม (Atruim) อยู่ด้านบน และเวนตริเคิล (Ventricle) อยู่ด้านล่าง เอเตรียมรับเลือดดีจากเหงือก ปอด และไตเข้าทางเส้นเลือดสามเส้น แล้วขับเลือดสู่เวนตริเคิลโดยตรง ทางด้านล่างของเวนตริเคิลมีเส้นเลือดของเอออร์ตาขนาดใหญ่ ลักษณะใส เส้นเลือดนี้แยกเป็นสองเส้นคือ เส้นเลือดเซฟาลิก เอออร์ตา (Cephalic Aorta) นำเลือดไปเลี้ยงส่วนหัวและเท้า และเส้นเลือดวิสเซอรัล เอออร์ตา (Visceral Aorta) นำเลือดไปเลี้ยงอวัยวะภายใน ซึ่งปลายทางจะเปิดออกสู่แอ่งเลือด จากนั้นเลือดที่มีคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลเข้าสู่ไตและระบบหายใจแล้วกลับเข้าสู่หัวใจ เส้นเลือดเอออร์ตาและอาร์เทอรีมีสีขาวสะท้อนแสงแวววาวเพราะมีสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่ที่ผนังหลอดเลือด (อภิชาติ ประเดิมวงศ์, 2547)

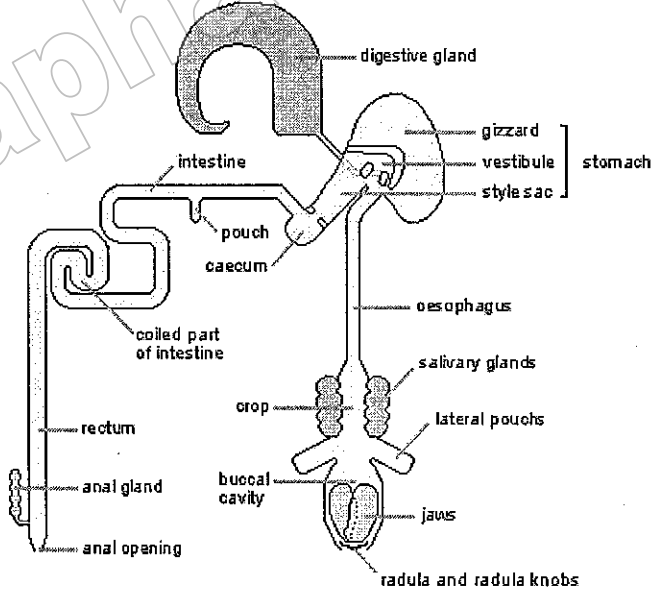
4.3 ระบบขับถ่าย

อวัยวะที่ใช้ในการขับของเสีย คือ ไต ไตส่วนหน้าอยู่กับอวัยวะภายในมีสีชมพูหรือน้ำตาลอ่อน ในขณะที่ไตส่วนท้ายอยู่ในช่องแมนเทิล มีสีน้ำตาลเข้มขนาดใหญ่กว่าชัดเจนอยู่ทางด้านซ้ายของกลุ่มอวัยวะภายใน ของเสียจากไตจะถูกกำจัดออกสู่เส้นเลือดที่ไหลผ่านไต หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังเหงือก และช่องแมนเทิลตามลำดับ ในกรณีที่หอยสามารถดำรงชีวิตแบบครึ่งบกครึ่งน้ำ ดังนั้นในช่วงที่อยู่ในน้ำจะขับของเสีย คือ แอมโมเนีย (Ammonia) ออกมาทางไต ในช่วงที่อยู่บนบก หอยจะขับยูริก(Uric Acid) ออกมาในรูปปัสสาวะแล้วจึงขับออกสู่ภายนอกร่างกาย (สุชาติ อุปถัมภ์, มาลียา เครือตาชู, เยาวลักษณ์ จิตรามวงศ์ และศิริวรรณ จันทเตมีย์, 2538)

4.4 ระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหารเริ่มจากส่วนปากที่อยู่ด้านหน้า จากช่องปากจะไปเปิดที่ช่องบักคัล (Baccal Cavity) หรือ ฟาริงส์ (Pharynx) ภายในฟาริงส์จะมีขากรรไกร และมีแรดูลา (Radula) ที่

ใช้ในการขูดและบดอาหาร ในการกินอาหารหอยจะใช้ส่วนของขากรรไกร (Jaw) กัดแล้วส่งเข้าในช่องปากและกล้ามเนื้อรอบ ๆ จะทำงานให้ส่วนของแรดูลา ซึ่งมีขนาดรูปร่างแตกต่างกันระหว่างซี่ตรงกลางและริม หอยแต่ละชนิดจะมีจำนวนแรดูลาที่ต่างกัน ใช้ในการจำแนกชนิดของหอยได้ อาหารที่ถูกบดเคี้ยวจะเคลื่อนที่จากฟาริงส์ไปสู่หลอดอาหาร เป็นส่วนที่พองออกเป็นกระเปาะซึ่งเป็นบริเวณที่อาหารมาพักชั่วคราว ก่อนที่จะเคลื่อนผ่านหลอดอาหารและไปย่อยที่กระเพาะอาหาร สำหรับกระเพาะอาหารจะเป็นส่วนของทางเดินอาหาร ที่พองออกเป็นถุง เห็นได้ชัดเจน มีสีชมพู ลักษณะเป็นรูปตัวยู (U Shape) อยู่บริเวณส่วนสุดท้ายของหลอดอาหาร ซึ่งจะอยู่บริเวณฐานของส่วนโค้งของขดหอยที่มีอวัยวะภายในบรรจุอยู่ และกระเพาะอาหารจะติดอยู่กับส่วนของ Digestive Gland กระเพาะอาหารจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นอวัยวะที่ใช้ในการบดอาหาร หรือ กิซซาร์ด (Gizzard) หรือเรียกส่วนนี้ว่า Posterior Chamber ถัดมาจะเป็นส่วนของ Vestibule หรือเรียกส่วนนี้ว่า Anterior Chamber และส่วนที่เรียกว่า ถุงสไตล์ (Style Sac) ซึ่งเป็นส่วนของกระเพาะที่หดตัว เพื่อนำอาหารให้เคลื่อนที่ไปสู่ลำไส้ นอกจากนี้จะพบส่วนที่เรียกว่า ซีคัม (Ceacum) ในบริเวณที่สิ้นสุดส่วนของ Digestive Gland ซีคัมจะผลิตของเหลวที่มีน้ำย่อย ช่วยย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร บริเวณต่อจากกระเพาะอาหารคือลำไส้ อยู่ด้านหน้ากระเพาะ ขดม้วนอยู่รอบ ๆ ส่วนท้ายของไต บริเวณส่วนท้ายของลำไส้ขยายขนาดขึ้นกลายเป็นเรคตัม (Rectum) ไปสิ้นสุดที่ขอบของแมนเทิลบริเวณเอนัส (Anus) ซึ่งเปิดออกสู่ภายนอก



ภาพที่ 2 ระบบทางเดินอาหารของหอยเชอรี่ (Ghesquiere, 2005)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4.5 ระบบประสาทและอวัยวะสัมผัส

ระบบประสาทประกอบด้วย ปมประสาท ซึ่งอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ เช่น ปมประสาทบักคัล(Buccal Ganglion) อยู่ที่ผนังด้านหลังของช่องบักคัล ปมประสาทพีดัล (Pedal Ganglion)

อวัยวะรับสัมผัส คือ ตา (Eye) หรือ วิสเซอรอล แบลดเดอร์ (Visual Bladders) เทนทาเคิล ออสฟราเดียม (Osphradium) สตาร์โทซิสต์ (Statocyte) และพบอวัยวะที่ใช้ในการสืบพันธุ์ ส่วนออสฟราเดียม เป็นอวัยวะรับสัมผัสเกี่ยวกับสารเคมี จะพบในบริเวณใกล้กับเหงือก โดยการทำงานของออสฟราเดียมนั้นจะทำงานสัมพันธ์ควบคู่กันไปกับเหงือก ออสฟราเดียมจะส่งผลต่อพฤติกรรมของหอย โดยเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ การกินอาหาร ฮอร์โมน (Hormone) พฤติกรรมในการหลบหนีศัตรู

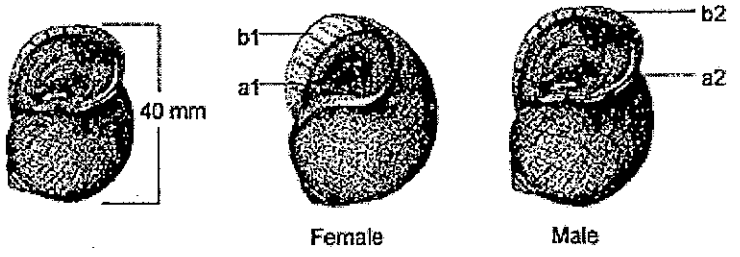
4.6 อวัยวะสืบพันธุ์

ลักษณะอวัยวะสืบพันธุ์ของหอยเพศผู้ แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ เทสทิส (Testis) และท่อฉีดน้ำเชื้อเพศผู้ (Vasdeferens), ถุงเก็บน้ำเชื้อ (Seminal Vesicle) , ต่อมลูกหมาก (Prostate Gland), เพนิส (Penis), และเพนิสชีท โดยเพนิส จะมีลักษณะเป็นท่อที่ยืดออกได้เพื่อสอดอสุจิ เข้าไปผสมกับไข่ก่อนที่ไข่จะมีการสรางเปลือก ส่วนอวัยวะสืบพันธุ์ของหอยเพศเมีย คือ รังไข่ ท่อนำไข่ สำหรับท่อนำไข่ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนต้น เป็นส่วนที่มีกำเนิดจากรังไข่โดยตรง ส่วนกลางมาจากไต และส่วนปลาย มีกำเนิดมาจากแมนเทิล หรือท่อนำไข่ แพลเลียล (Pallial Oviduct) สำหรับส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอวัยวะเป็นพิเศษ ได้แก่ ต่อมแอลบิวมิน (Albumin Gland) ต่อมสร้างสารวุ้น (Jelly Gland) หรือต่อมสร้างแคปซูล (Capsule Gland) สำหรับหอยเชอรี่จะมีต่อมสร้างเปลือก (Shell Gland) ในหอยเพศเมียด้วย

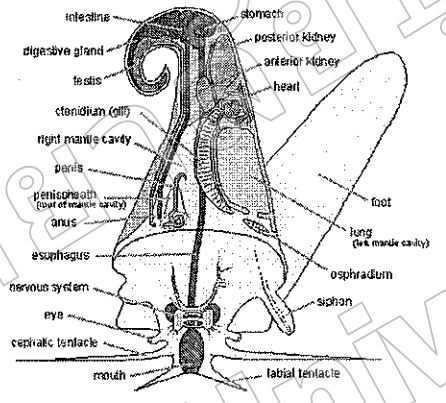
การจำแนกเพศของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่จะมีเพศแยกระหว่างเพศผู้ และเพศเมีย สามารถสังเกตได้จากความนูนมากน้อยของแผ่นโอเพอร์คิวลัม หากนูนมากเป็นหอยเพศผู้ มีอวัยวะสืบพันธุ์ (Gonad) หรือเมื่อหอยเคลื่อนตัวออกมาจากเปลือก สามารถสังเกตส่วนของช่องแมนเทิลด้านขวา จะเห็นส่วนที่เรียกว่า เพนิส ชีท (Penis Sheat) ยื่นออกมาจากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่า หอยเพศเมียจะมีฝาปิดที่เว้าเข้า (a1) ในตัวผู้จะนูนออกเล็กน้อย (a2) เปลือกหอยตัวเมียที่โตเต็มวัยแล้วจะโค้งเข้าด้านใน (b1) ในตัวผู้จะโค้งออก (b2) โดยทั่วไปหอยเพศผู้มักมีขนาดเล็กกว่าหอยเพศเมีย

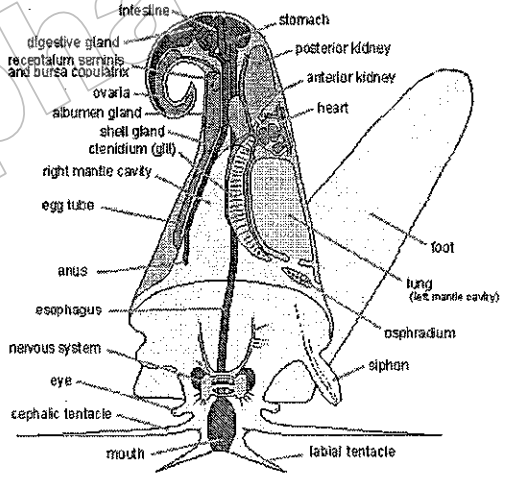
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 3 ลักษณะหอยเพศผู้ และเพศเมีย จากภายนอก (http://pestalert.applesnail.net/management_guide/pestmanament_thai.php)



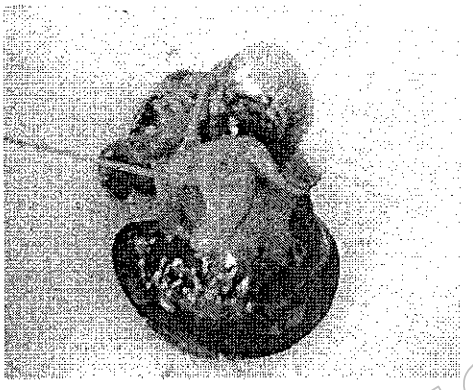
ภาพที่ 4 อวัยวะภายในส่วนต่าง ๆ ของหอยเชอรี่เพศผู้ (Ghesquiere, 2005)



ภาพที่ 5 อวัยวะภายในส่วนต่าง ๆ ของหอยเชอรี่เพศเมีย (Ghesquiere, 2005)

หรือดูจากลักษณะของแผ่นโอเพอร์คิวลัมจะพบว่า หอยเพศผู้จะมีลักษณะค่อนข้างกลมกว่าหอยเพศเมีย หรือเมื่อหอยเคลื่อนตัวออกมาจากเปลือก สามารถสังเกตส่วนของช่องแมนเทิลด้านขวา จะเห็นส่วนที่เรียกว่า เพนิส ชีท ยื่นออกมา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 6 ลักษณะภายในของหอยเพศผู้

แต่อย่างไรก็ตามในหอยสกุลนี้ ได้มีการสำรวจศึกษาว่าเป็นหอยกลุ่มที่สามารถเปลี่ยนแปลงเพศได้เช่นกัน โดยหอยเพศผู้สามารถเปลี่ยนเป็นหอยเพศเมีย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นได้ขณะที่หอยมีการจำศีล หรือมีสภาวะสิ่งแวดล้อมกระตุ้น นอกจากนั้นยังเป็นหอยจำพวก Protandrous Animals กล่าวคือ ช่วงที่ยังมีอายุน้อยจะเป็นเพศผู้ เมื่อโตขึ้นหอยจะสร้างไข่เพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่อโตขึ้นจะกลายเป็นเพศเมียทั้งหมด (บพิธ จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์, 2547)

แหล่งที่อยู่อาศัย

หอยเชอรี่สามารถอยู่ได้ในแหล่งน้ำทั่วไปแม่น้ำลำธาร ไม่ว่าจะเป็นคลอง หนอง บึง หรือในนาข้าว ส่วนมากหอยเชอรี่กระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งน้ำ ที่มีพื้นที่ไม่มากนัก และมีร่มเงาของต้นไม้ขนาดใหญ่ และต้นพืชขนาดเล็ก (Keawjam, Poonswad, Upatham, & Banpavichit, 1993)

แหล่งน้ำที่มีสภาพเน่าเสียหอยเชอรี่ก็สามารถมีชีวิตอยู่ได้ แต่อาจเจริญเติบโตได้ไม่ดีหรือออกไข่ได้น้อยกว่าปกติ หอยเชอรี่เป็นหอยที่ไม่ชอบอยู่บริเวณที่มีน้ำสูงมากนัก หอยวงศ์นี้จะชอบบริเวณแหล่งน้ำที่มีแคลเซียมอยู่มาก เพราะถ้าความเข้มข้นของแคลเซียมมีไม่มากพอ หอยจะไม่สามารถสร้างเปลือกหรือทำให้เปลือกเปราะบางได้ (วัชราภรณ์ รวมธรรม, 2545)

การกินอาหารของหอยเชอรี่

หอยเชอรี่เป็นสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหารได้หลายชนิดรวมทั้งพืชน้ำที่เป็นวัชพืช สมทรง สิทธิ (2531) กล่าวว่า หอยเชอรี่ ชอบกินใบอ่อนของพืชน้ำได้เกือบทุกชนิดที่มีลักษณะใบอ่อนนิ่ม เช่น แหน แหนแดง จอก จอกหูหนู ไข่น้ำ ผักบุ้ง ผักกระเฉด สาหร่ายต่าง ๆ ยอดอ่อนผักตบชวา ต้นกล้าข้าว ต้นหญ้าที่อยู่ริมน้ำ รวมทั้งซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยอยู่ในน้ำใกล้ตัวหอย และสามารถกินได้รวดเร็วเฉลี่ยวันละร้อยละ 50 ของน้ำหนักตัว และกินได้ตลอด 24 ชั่วโมง (กัณชลี จงรักวิทย์, 2546)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การเจริญเติบโต (สมทรง สิทธิ, 2531)

หลังจากวางไข่ 7-10 วัน หอยจะฟักเป็นตัวโดยที่หอยที่ออกจากไข่ใหม่ จะหล่นลงสู่น้ำ มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1.4 มิลลิเมตร มีเปลือกบางมาก และสามารถมองเห็นอวัยวะภายในได้ชัดเจน รูปร่างเหมือนตัวเต็มวัยทุกอย่าง เพียงแต่มีขนาดเล็กกว่า เพราะหอยชนิดนี้จะไม่มีระยะที่เป็นตัวอ่อน เนื่องจากระยะที่เป็นตัวอ่อนจะมีการเจริญและเปลี่ยนแปลงในขณะที่มีการเจริญอยู่ภายในรังไข่จนกระทั่งเจริญเป็นตัวหอย ซึ่งมีรูปร่างเหมือนตัวเต็มวัยทุกอย่าง จึงฟักออกจากไข่ ตัวหอยจะหล่นลงสู่แหล่งน้ำและเจริญเติบโตอยู่ในแหล่งน้ำ จนกระทั่งถึงวัยสืบพันธุ์ภายในเวลา 3 เดือน การเจริญเติบโตของลูกหอย จะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับอาหารในแหล่งน้ำนั้น ๆ ว่าอุดมสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าอาหารมีความอุดมสมบูรณ์มากก็จะทำให้หอยเจริญถึงวัยสืบพันธุ์ภายในเวลา 3 เดือน แต่ถ้าอาหารไม่อุดมสมบูรณ์ การเจริญถึงวัยสืบพันธุ์จะใช้เวลานานกว่า 3 เดือนหรืออาจทำให้การเจริญหยุดชะงักไป หอยที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถวางไข่ได้ คือ น้ำหนักประมาณ 5 กรัม ความกว้างของเปลือกประมาณ 2.5 เซนติเมตร (สันทนา ดวงสวัสดิ์, 2530) การวางไข่ของหอยเชอรี่ สามารถวางไข่ได้ตลอดปี ถ้าอาหารสมบูรณ์และอุณหภูมิเหมาะสม ซึ่งการเจริญของหอยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำด้วย อุณหภูมิที่หอยจะเจริญได้ต้องไม่น้อยกว่า 21 องศาเซลเซียส แต่บางครั้งหอยอาจอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 15-16 องศาเซลเซียสได้ แต่ต้องเป็นช่วงสั้น ๆ

สารพิษฆ่าแมลงในประเทศไทยและพิษวิทยา

สารพิษฆ่าแมลง คือ สารเคมีที่ใช้กำจัดหรือควบคุมแมลง สารพิษฆ่าแมลงอาจฆ่าแมลงได้ด้วยการสัมผัสตัวแมลง หรือฆ่าเมื่อแมลงกินสารพิษนั้นเข้าไป สารพิษฆ่าแมลงบางชนิด สามารถฆ่าแมลงได้ด้วยการสัมผัสและด้วยการกินสารพิษนั้นโดยตรงหรือโดยอ้อม เช่น สารพิษฆ่าแมลงที่ใช้ รด ฉีดพ่นพืช ฉีดพ่นสัตว์เลี้ยง หรือให้สัตว์เลี้ยงกิน

สารสังเคราะห์ฆ่าแมลง

เป็นสารฆ่าศัตรูพืชกลุ่มใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจของประเทศและก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากพิษ สารสังเคราะห์ฆ่าแมลงแบ่งตามสูตรโครงสร้างและกลวิธานการออกฤทธิ์ ได้ดังนี้

1. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate Insecticide)
2. สารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท (Carbamate Insecticide)
3. สารฆ่าแมลงกลุ่มคลอรีนอินทรีย์ (Organochlorine Insecticide)
4. สารฆ่าแมลงกลุ่มอื่น อาทิ สารฆ่าแมลงซึ่งเป็นสารสังเคราะห์เลียนแบบสารเคมีจากพืชธรรมชาติ เช่น สารฆ่าแมลงกลุ่มพัยรีทรอยด์, สารรมควันฆ่าแมลง และสารฆ่าแมลงกลุ่มเบ็ดเตล็ดอื่น ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ซึ่งสารฆ่าแมลงที่มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวางและมีปริมาณนำเข้าในประเทศไทยจำนวนมาก โดยรายงานการสรุปการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร ปี พ.ศ. 2547 มีการนำเข้าวัตถุอันตราย ประเภท สารกำจัดแมลง ปริมาณ 16,731,359.37 กิโลกรัม ปริมาณสารสำคัญ 8,371,851.32 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 2,834,667096.71 บาท ซึ่งส่วนมากจะเป็นสารฆ่าแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และสารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท (กองควบคุมวัตถุมีพิษ, 2547)

วันทนีย์ วัฒนาสุรกิตต์ (2005) กล่าวว่า ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรกว่าครึ่งประเทศ (34 ล้านคน) คิดเป็นร้อยละ 55.7 ของประชากรทั้งประเทศ ซึ่งองค์การอนามัยโลก รายงานว่า ปี พ.ศ. 2544 มีผู้ป่วยจากยาฆ่าแมลงทั่วโลกอยู่เกือบ 69,000 ราย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เกษตรกรไทยใช้สารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชมากและบ่อยครั้งในชีวิตประจำวันจนเกิดความเคยชินไม่ระวังในการใช้มีโอกาสพบสารพิษจากสารป้องกัน และกำจัดแมลงศัตรูพืชในบ้าน นอกบ้าน และพืชผลทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรมีโอกาส สะสมสารพิษทีละน้อยในเวลานาน ทำให้มีเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสต่ำ ยับยั้งการทำงานของระบบประสาท เป็นสาเหตุให้เจ็บป่วยได้

พิษวิทยาของสารเคมี (Toxicological Effects)

1. ทางเข้าสู่ร่างกาย (Routes of Exposure) ทางการกิน การสัมผัส และการหายใจ
2. อันตรายเฉียบพลัน (Acute Effects)

2.1 การสัมผัสผิวหนัง มีผลระคายเคืองผิวหนัง ตั้งแต่ระคายเคืองปานกลางไปจนถึงการเกิดแผลไหม้ พบว่า คาร์บาริล สามารถถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้อย่างช้า ๆ ทำให้มีอาการแพ้พิษสารกำจัดศัตรูพืช

2.2 การสัมผัสตา มีผลระคายเคืองปานกลาง

2.3 การหายใจ โดยทั่วไปแล้วการระเหยเป็นไอของคาร์บาริลจะค่อนข้างต่ำ แต่การสัมผัสทางการหายใจมักจะเกิดจากละอองไอของสารเคมีที่ใช้ขณะฉีดพ่น แต่ยังไม่มีผลอันตรายที่ร้ายแรงจากการสัมผัสทางการหายใจเว้นแต่ตรวจพบระดับของเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสในเลือด

2.4 การกินกลืน สารเคมีที่เข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดการรบกวนการทำงานของระบบประสาท โดยไปยับยั้งเอนไซม์คลอรีนเอสเทอเรส ซึ่งนำไปสู่อาการแพ้พิษสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมท โดยจะมีอาการเหงื่อ และน้ำลายออกมาก น้ำตาไหล การประสานการทำงานของกล้ามเนื้อเสีย หายใจลำบาก ท้องเป็นตะคริว อาเจียน ท้องร่วง ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อสั่น แต่ยังไม่มีรายงานการเสียชีวิตจากผลการสัมผัสทางการประกอบอาชีพ แต่จะมีรายงานการเสียชีวิตมาจากการ

ฆ่าตัวตาย (http://www.anamai.moph.go.th/chemnet/data_1.asp?offset=81) จากการได้รับสัมผัสสาร

การที่สารฆ่าศัตรูพืชจะแสดงอันตรายได้ต้องผ่านเข้าร่างกายไปยังตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาโดยมีปริมาณพอเพียงในการรวมกับชีวสารเป้าหมาย

การเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านผิวหนังของคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการละลายในไขมัน ดังนั้น ตัวทำละลายที่ใช้ในสูตรตำรับอาจช่วยให้การผ่านของสารฆ่าศัตรูพืชดีขึ้น สารจะผ่านจากด้านที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำ

ตรัย วงษ์ศิริ (2545) กล่าวว่า การรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายของหอยนั้น อาจได้รับผ่านทางกระแสเลือด โดยสารพิษนั้นจะแพร่เข้าสู่ร่างกาย ผ่านทางผิวหนังหรือลำตัว ขณะที่หอยมีการปิดเปิดฝาปิดเปลือก การรับสารพิษอีกทางของหอยนั้น คือ รับผ่านทางกิน หรือผ่านทางการหายใจ โดยสารพิษจะซึมผ่านระบบทางเดินอาหารหรือระบบทางเดินหายใจนั่นเอง จากการศึกษาถึงการตอบสนองของหอยเมื่อได้รับสารพิษ ในช่วงแรก หอยจะสร้างและขับสารเมือกออกมามากมายเพื่อลดการระคายเคือง หรือเพื่อเจือจางปริมาณสารพิษลง ในเวลาต่อมาหากสารพิษเหล่านั้นยังคงอยู่ก็จะเริ่มทำลายเซลล์หรือเนื้อเยื่อ

3. ปัจจัยที่ส่งผลให้สารฆ่าแมลงเข้าสู่ร่างกาย (พาลาภ สิงหเสนีย์, 2540)

3.1 ระยะเวลา การสัมผัสสารฆ่าแมลงเป็นเวลานาน โอกาสเสี่ยงอันตรายจะสูงขึ้น

3.2 สูตรตำรับ และปริมาณสารออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงตัวทำละลายหรือสารลดแรงตึงผิว อาจทำให้มีการดูดซึมสารมากขึ้น รูปแบบที่เป็นผงเม็ดขนาดใหญ่จะปลอดภัยกว่าผงที่มีขนาดเล็ก สารฆ่าศัตรูพืชที่มีสูตรออกฤทธิ์ความเข้มข้นสูงจะมีโอกาสการเกิดอันตรายได้มาก สารฆ่าศัตรูพืชในรูปสารละลายจะทำให้การดูดซึมผ่านผิวหนังเกิดขึ้นมากกว่ารูปแบบที่เป็นผง

3.3 การใช้วิธีฉีดพ่นที่แตกต่างกันโอกาสฟุ้งกระจายจะต่างกัน ลมทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารฆ่าศัตรูพืชต่างกันออกไป การฉีดพ่นใต้ลมจะทำให้ลมพัดสารฆ่าศัตรูพืชเข้าสู่ผู้ฉีดพ่น

3.4 ลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการฉีดพ่นมีส่วนทำให้เกิดการสัมผัสมากน้อยต่างกัน

3.5 อุณหภูมิในสภาพอากาศร้อน การดูดซึมสารฆ่าศัตรูพืชมักเกิดได้เร็วกว่า

3.6 ความชื้นในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงจะมีการดูดซึมสารฆ่าแมลงได้ดีขึ้น แม้ว่าจะทำให้ละอองฟุ้งกระจายน้อยลง

สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท

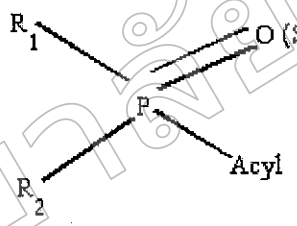
1. สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตทั้งหมดเป็นเอสเทอร์ ของกรดฟอสฟอริค (Phosphoric Acid, H_3PO_4) จึงถูกเรียกว่า ออร์กาโนฟอสเฟต หรือ ฟอสฟอรัสเอสเทอร์ (Phosphorus Esters) สารฆ่าแมลงกลุ่มนี้นับว่าเป็นกลุ่มใหญ่มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ

1.1 โดยทั่วไปมีพิษเฉียบพลันต่อมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลัง

1.2 มีการตกค้างสั้น (Non-Persistent)

จากการมีคุณสมบัติการตกค้างสั้น ดังนั้นต้องมีการฉีดพ่นซ้ำในการควบคุมแมลงศัตรูพืช สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีสูตรโครงสร้างทั่วไป (General Structure) ดังนี้



ภาพที่ 7 สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

R1 และ R2 อาจเป็น Alkoxy, Alkyl หรือ Amino Group Acyl เป็น Anion ของกรดอินทรีย์หรือ อนินทรีย์ เช่น Fluorine, Cyanate, Thiocyanate หรือ กรดอื่น ๆ

ตัวอย่างของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและรับดับพิษ เช่น พาราไธออน (I^a), ไดอาซีนอน (I^i), มาลาไธออน (III), ไดคลอวอส (I^b), เฟนิโทรไธออน (II), คลอรีฟอสเมธิย์ล (III), เฟนไธออน (I^b) และโปรมีฟอส (III)

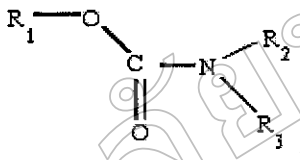
สารฆ่าแมลงกลุ่มกลุ่มนี้จะมี O, C, S และ N เกาะกับ P อะตอมในโมเลกุล จากคุณสมบัติที่สำคัญของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตที่มีการตกค้างสั้น ทำให้ถูกนำเข้ามาใช้ทดแทนสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลไกการออกฤทธิ์ของสารกลุ่มนี้ คือ ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส เมื่อเอนไซม์ถูกจับด้วยโมเลกุลสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต เอนไซม์นั้นอยู่ในรูปที่เรียกว่า Phosphorylated Enzyme อย่างไรก็ตาม การจับดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาได้ ผลการยับยั้งเอนไซม์ชนิดนี้ทำให้มีการสะสมของสารอะซิทิลโคลีนบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท (Neuron Junction) หรือที่เรียกว่าบริเวณซินแนบส์ (Synapse) หรือระหว่างเซลล์ประสาทกับกล้ามเนื้อ (N/ Muscle Junction) ส่งผลให้กล้ามเนื้อสั่นและชักกระตุกรุนแรง ทำให้แมลงอัมพาต และตายในที่สุด

2. สารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท

สารกลุ่มคาร์บาเมทเป็นสารสังเคราะห์จากสารอนุพันธ์ (Derivatives) ของสาร Physostigmine สารดังกล่าวเป็นสารอัลคาลอยด์ (Alkaloid) ที่สกัดมาจากพืช Calabar Bean

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Physostigma Venenosum) ต่อมามีการสังเคราะห์สาร Prostigmine ซึ่งเป็นสาร Analogue ของ Physostigmine สารกลุ่มนี้มีการออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงเหมือนสารกลุ่ม ออร์กาโนฟอสเฟต สารกลุ่มคาร์บาเมทเป็นเอสเทอร์ของกรดคาร์บามิค (Carbamic Acid) โดยทั่วไปมีการตกค้างสั้น สามารถออกฤทธิ์ในการควบคุมแมลงได้กว้างขวาง (Broad-Spectrum) มีคุณสมบัติเป็นทั้งสารฆ่าแมลง สารฆ่าไร สารฆ่าไส้เดือนฝอย และสารฆ่าหอย นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าวัชพืช และสารฆ่าเชื้อราได้ด้วย เช่น สารกลุ่ม Thiocarbamate และ Dithiocarbamate



ภาพที่ 8 สูตรโครงสร้างทั่วไปของสารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมท

R1 และ R2 คือ Hydrogen, Methyl, Ethyl, Propyl หรือ Alkyl R3 คือ Phenol, Naphthalene หรือ Cyclic Hydrocarbon Ring (อรัญ งามผ่องใส และสุนทร พิพิธ, 2547)

ตัวอย่างของสารฆ่าแมลงกลุ่มคาร์บาเมทและระดับพิษ เช่น อัลดิคาร์บ (I[a]), เบนดิโอคาร์บ (II), โพรพอกเซอร์ (II), เมโธมิล (I[b]), คาร์บาริล (II) และ เฟนธิโอคาร์บ (III)

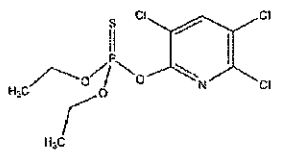
คลอไพรีฟอส (Chlorpyrifos)

ชื่อทางการค้า: โบรดาน, เดก้า, Apavap, Benfos, Derriban

ชื่อทางเคมี: Phosphorothioic Acid , *O*, *O*-Diethyl *O*-(3,5,6-Trichloro-2-Pyridinyl) Phosphorothioate

สูตรโมเลกุล: $C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$

สูตรโครงสร้าง:



ภาพที่ 9 สูตรโครงสร้างของคลอไพรีฟอส

ชื่อวงศ์: ออร์กาโนฟอสเฟต

มวลโมเลกุล: 350.58

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

CAS No: 2921-88-2

การใช้ประโยชน์: ใช้กำจัดแมลงได้หลายชนิด

ลักษณะสีและกลิ่น: ผลึกสีขาวปนน้ำตาล มีกลิ่นกำมะถันอ่อน ๆ

จุดหลอมเหลว: 41.5-44 องศาเซลเซียส

ความดันไอ: 1.87 x 10^{-3} มิลลิเมตรปรอท ที่ 25 องศาเซลเซียส

ความสามารถในการละลายน้ำ: 2 มิลลิกรัม/ ลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

การละลายในตัวทำละลายอื่น: เบนซีน (Benzenes), อะซิโตน (Acetone), คลอโรฟอร์ม (Chloroforms) และเมทธานอล (Methanols)

การใช้คลอไพรีฟอสในประเทศไทย

คลอไพริฟอส อีซี (EC) อัตราสารออกฤทธิ์ 0.4 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ = ชื่อทางการค้า ลอรัสแมน อัตรา 1.33 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ (6.25 ไร่) ในการกำจัดแมลงในนาข้าว, ชนิด 20% อีซี ใช้อัตรา 25-90 กรัม ผสมกับน้ำ 20 ลิตร ผสมกวนน้ำให้เข้ากันดีฉีดพ่นให้ทั่วต้นพืช นอกจากนั้นยังมีการใช้คลอไพรีฟอส 40 อีซีในการกำจัดปลวกใต้ดินอีกด้วย

ความเป็นพิษของคลอไพรีฟอสต่อสัตว์ชนิดอื่น (Ecological Effect)

พบว่า มีพิษตั้งแต่ระดับปานกลางถึงระดับสูงใน ค่า LD_{50} ในนกขนาดใหญ่ 8.41 มิลลิกรัมต่อลิตร, 112 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในเป็ด, 32 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมในไก่ นอกจากนั้นยังมีความเป็นพิษสูงมากในปลาน้ำจืดและสัตว์น้ำจำพวกไม่มีกระดูกสันหลังและสัตว์ทะเลโดยคลอไพรีฟอสเข้มข้นเพียง 0.01- 0.02 ปอนด์ต่อเอเคอร์ อาจเป็นสาเหตุทำให้ปลาตาย ความเป็นพิษของคลอไพรีฟอสยังมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำอีกด้วย อีกทั้งมีความเป็นพิษสูงมากต่อผึ้ง

การเปลี่ยนแปลงในสิ่งแวดล้อม (Environmental Fate)

คลอไพรีฟอสมีฤทธิ์ตกค้างปานกลางขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม อาจจะมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตในระดับที่ต่ำ

การสลายตัวในดิน (Breakdown in Soil)

คลอไพรีฟอสมีความคงทนในดินในระดับปานกลางและจับจับอนุภาคของดินอย่างแข็งแรง ค่าครึ่งชีวิต (Half-Life) ในดินมีค่าระหว่าง 60-120 วัน บางครั้งอาจพบตั้งแต่ 2 สัปดาห์จนถึงมากกว่า 1 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและสภาวะอื่น ๆ เช่น pH, แสงอุลตร้าไวโอเลต, การย่อยสลายทางเคมี (Chemical Hydrolysis) หรือพวกจุลชีพในดิน (Soil Microbes)

การสลายตัวในน้ำ (Breakdown in Water)

คลอไพรีฟอส จะเกาติดกับตะกอนแขวนลอยในน้ำ ทำให้ความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็ว การสลายตัวของคลอไพรีฟอสในที่มีแสงมีค่าครึ่งชีวิต 3-4 สัปดาห์ ในน้ำที่ pH7 และ ที่ 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าครึ่งชีวิต 35-78 วัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

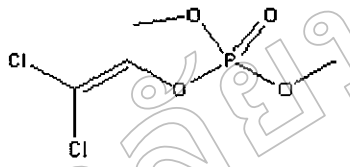
ไดคลอวอส (Dichlorvos)

ชื่อทางการค้า: เดเดวัน 50 อีซี, ไดทาฟอส

ชื่อทางเคมี: 2, 2 - Dichlorovinyl Dimethyl Phosphate , DDVP; O, O-Dimethyl-O-2, 2-Dichlorovinyl Phosphate

สูตรโมเลกุล: $C_4H_7Cl_2O_4P$

สูตรโครงสร้าง:



ภาพที่ 10 สูตรโครงสร้างของไดคลอวอส

ชื่อวงศ์: ออร์กาโนฟอสเฟต

มวลโมเลกุล: 220.98

CAS No: 62-73-7

การใช้ประโยชน์: ใช้ในการระงับ ป้องกัน ควบคุม ไล่ กำจัดแมลงและสัตว์อื่น

ลักษณะสีและกลิ่น: ของเหลว ใสไม่มีสี ถึงเหลืองอำพัน มีกลิ่นเฉพาะตัว

จุดเดือด: 74 องศาเซลเซียส ที่ 1 mmHg

ความถ่วงจำเพาะ: 1.415

ความดันไอ: 0.01 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส

ความสามารถในการละลายน้ำ: 10 กรัม/ ลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

การละลายในตัวทำละลายอื่น: ไดคลอโรมีเทน, 2-โพรพานอล, โทลูอีน , เอทธานอล, คลอโรฟอร์ม และอะซิโตน

การใช้ไดคลอวอสในประเทศไทย

โดยทั่วไปสารตัวนี้เหมาะกับการใช้กำจัดแมลงในโรงเก็บ โรงเพาะ และคอกสัตว์ ไม่เหมาะกับการฉีดพ่นในที่โล่งแจ้ง เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อระเหยสู่อากาศ หรือปล่อยลงน้ำ สามารถย่อยสลายได้โดยจุลชีพ มีความเป็นไปได้ที่จะให้เกิดโรงมะเร็งในคน นอกจากนั้นในสวนส้มจะใช้ผสมน้ำ 10 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร ฉีดเข้าไปในรูที่หนอนเจาะลำต้น แล้วเอาดินเหนียวหรือดินน้ำมันอุดรูไว้

นอกจากนั้นยังพบว่า สารกำจัดแมลงในบ้านเรือนที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น ชิลด์ท้อกซ์ เชลล์ไดร้ท์ ไบกอนเขียว ฯลฯ ใช้สารไดคลอวอสเป็นสารสำคัญอีกด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความเป็นพิษของไดคลอวอสต่อสัตว์ชนิดอื่น

ไดคลอวอสมีความเป็นพิษสูงในนก รวมทั้งในเป็ดและไก่ โดยค่า LD 50 ของนกที่ได้รับสารไดคลอวอส มีค่า 12 mg/ kg ค่า LC_{50} ที่ 96 ชั่วโมง ในปลาเล็กที่อยู่กันเป็นฝูงมีค่า 11.6 mg/ l, ในปลาบลูกิว มีค่า 0.9 mg/ l, ในกุ้ง มีค่า 0.004 ppm นอกจากนั้นยังไม่มีการพบการสะสมในปลาและมีความเป็นพิษต่อผึ้ง

การสลายตัวในดิน

ไดคลอวอสนั้นไม่เกาะติดกับอนุภาคดิน จึงมีการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ค่าครึ่งชีวิตของไดคลอวอสที่ pH 9.1 ประมาณ 4.5 ชั่วโมง ที่ pH 1 จะมีค่าครึ่งชีวิต ที่ 50 ชั่วโมง

การสลายตัวในน้ำ

ไดคลอวอสจะไม่จับกับตะกอนในน้ำ และเกิดการสลายตัวโดยการไฮโดรไลซีส ซึ่งจะมีค่าครึ่งชีวิต ประมาณ 4 วัน ในแม่น้ำ นอกจากนั้นค่าครึ่งชีวิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยที่การไฮโดรไลซีสที่ pH=4 จะช้า และจะเร็วที่ pH=9 นอกจากนั้น ค่าครึ่งชีวิตของไดคลอวอสโดยการระเหย ในแม่น้ำหรือบ่อน้ำ อยู่ที่ประมาณ 57 วันจนถึง มากกว่า 400 วัน

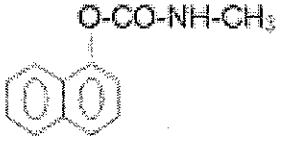
คาร์บาริล (Carbaryl)

ชื่อทางการค้า: เซวิน 85

ชื่อทางเคมี: 1-Naphthyl Methyl Carbamate

สูตรทางเคมี: $C_{12}H_{11}NO_2$ หรือ $CH_3NHCOOC_{10}H_7$

สูตรโครงสร้าง:



ภาพที่ 11 สูตรโครงสร้างของคาร์บาริล

มวลโมเลกุล: 201

การใช้ประโยชน์: ใช้เป็นสารกำจัดแมลงสำหรับพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับข้าวโพดและถั่วเหลือง ใช้เป็นสารกำจัดแมลงในบ้านเรือนทั้งในสนามหญ้า สวนดอกไม้และกำจัดหมัดและเห็บให้สัตว์เลี้ยง

ลักษณะสีและกลิ่น: เป็นผลึกแข็ง สีเทาหรือสีขาวออกเทา ไม่มีกลิ่น เป็นสารที่สามารถสลายตัวเอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จุดหลอมเหลว: 142 - 145 องศาเซลเซียส (288 - 293 องศาฟาเรนไฮต์)

ความดันไอ: ต่ำมาก (น้อยกว่า 0.005 มิลลิเมตรปรอท ที่ 20 องศาเซลเซียส)

ความสามารถในการละลายน้ำ: ละลายน้ำได้น้อย, 113 ppm ที่ 22 องศาเซลเซียส และ 40 ppm ที่ 30 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้ปานกลางในน้ำมันปิโตรเลียม ไดเมทธิลฟอร์เอไมด์ อะซิโตน ไอโซโพโรน (Isophorone) ไซโคลเฮกซาโนน และละลายได้ดีในเอทธานอล ปิโตรเลียมอีเธอร์ ไดเอทธิลอีเธอร์ คลอโรฟอร์ม ไดเมทธิลซัลฟอกไซด์

การใช้คาร์บาริลในประเทศไทย

สารเคมีกำจัดแมลง คาร์บาริล ชนิดผงละลายน้ำ ในอัตราสารออกฤทธิ์ 0.75 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ หรือชื่อการค้าว่า เซวิน ในอัตรา 0.88 ลิตร ต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ (6.25 ไร่)

การสลายตัวในดิน

คาร์บาริลมีความทนทานในดินต่ำ การสลายตัวของคาร์บาริลขึ้นกับแสงและการทำงานของแบคทีเรีย โดยที่คาร์บาริลในดินร่วนมีค่าครึ่งชีวิต 7- 14 วัน และในดินเหนียวมีค่าครึ่งชีวิต 14-28 วัน

การสลายตัวในน้ำ

ที่ผิวน้ำ คาร์บาริลจะสลายตัวโดยแบคทีเรีย และกระบวนการไฮโดรไลซีสซึ่งจะเกิดเร็วมากในช่วงฤดูร้อน โดยค่าครึ่งชีวิตของคาร์บาริล อยู่ที่ 10 วัน ซึ่งค่าครึ่งชีวิตของคาร์บาริลนั้นจะแปรผันซึ่งขึ้นอยู่กับ ค่า pH ในน้ำด้วย

ความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อสัตว์น้ำชนิดอื่น

ชวลิต เข็มพรหมมา (2529)ได้ศึกษาค้นคว้าถึงความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อสัตว์น้ำชนิดอื่นพบว่า เมื่อปลาหมอเทศ *Tilapia mossambica* (ขนาดความยาว 10-18 cm น้ำหนัก 8-12 g) อยู่ในน้ำที่มีคาร์บาริล 10 mg/ l (ค่า 48-h LC_{50}) จะทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่เหงือก ตับ สมอง ไต กล้ามเนื้อ และลำไส้ของปลาต่ำลง โดยผลนี้จะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงที่ตับ เหงือก และสมองตามลำดับ การใช้คาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้น 32.5 mg/ l ต่อปลาแขยงข้างลาย (*Mystus vittatus*, Bloch) พบว่า ทำให้ปลาตายหมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง และได้ค่า 72-h LC_{50} เท่ากับ 17.5 mg/ l สำหรับความเข้มข้นของคาร์บาริลที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12.5 mg/ l นั้น จะไมมีผลทำให้ปลาตายภายในเวลา 72 ชั่วโมง แต่จะมีผลทำให้ปลาว่ายน้ำไปมาอย่างรวดเร็วในลักษณะกระวนกระวาย กระพุ้งแก้ม ปิด-เปิด เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการให้คาร์บาริลที่ระดับควมเข้มข้น 12.5 mg/ l ต่อปลาตลอดเวลา 27 วัน จะมีผลทำให้อัตราการกินอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลงด้วย

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในแหล่งน้ำ (ชวลิต เข็มพรหมมา, 2529)

โดยทั่วไปแล้ว สารเคมีกำจัดศัตรูพืช สามารถกระจายลงสู่แหล่งน้ำได้หลายทางด้วยกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. การฉีดพ่น หรือใส่ลงไปในน้ำโดยตรงเพื่อควบคุมตัวอ่อนของยุง หรือแมลงศัตรูสัตว์น้ำ

2. การฉีดพ่นหรือใช้ตามพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำเช่นบริเวณป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม แล้วสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกระจายลงสู่แหล่งน้ำ

3. เกิดจากการชะล้างของน้ำไหลบ่าหน้าดิน จากบริเวณที่มีการใช้สารเคมี กำจัดศัตรูพืช เช่น จากแหล่งเกษตรกรรมลงสู่แหล่งน้ำ

4. จากการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิต หรือ ใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในขบวนการผลิตลงสู่แหล่งน้ำ

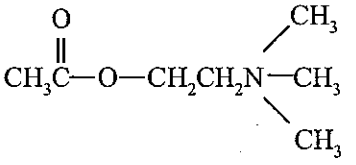
5. เกิดจากฝนตกลงมาพาเอาฝุ่นละอองที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชลงสู่แหล่งน้ำ

เอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase(AChE)) (พาลาภ สิงหเสนีย์, 2542)

เป็นเอนไซม์ที่กระตุ้นไฮโดรไลซีส ของอะซิทิลโคลีน เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบประสาทในร่างกาย

1. สารสื่อประสาทอะซิทิลโคลีน (acetylcholine; ACh)

เป็นสารสื่อประสาทที่สำคัญในการทำงานของระบบประสาทโคลีเนอร์จิค



ภาพที่ 12 สูตรโครงสร้างของอะซิทิลโคลีน

2. กลวิธานการออกฤทธิ์

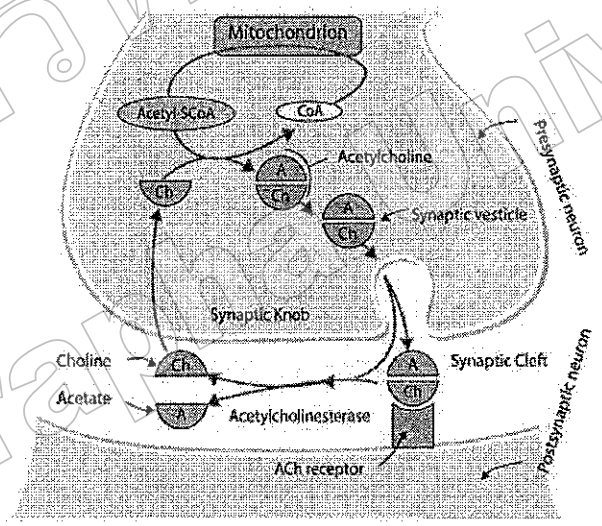
การส่งผ่านกระแสประสาทที่มีการหลั่งสารสื่อประสาทอะซิทิลโคลีนเรียกว่าการส่งผ่านแบบโคลีเนอร์จิค (Cholinergic Transmission) ซึ่งพบโดยทั่วไปทั้งในระบบประสาทส่วนกลางและในระบบประสาทส่วนปลายที่บริเวณปมประสาท ที่ปลายประสาทบริเวณหลังปมประสาทของระบบประสาทพาราซิมพาเธติค (Parasympathetic Postganglionic Nerve Ending) และปลายประสาทหลังปมประสาทของระบบประสาทซิมปาเธติค (Sympathetic Postganglionic Nerve

Ending) ที่ต่อมเหงื่อและต่อมอะดรีนัล อันเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพิษจากสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต

ส่วนการส่งผ่านประสาทที่มีการหลั่งสารสื่อประสาทนอร์อีพิเนฟรีนเรียกว่า การส่งผ่านแบบอะดรีเนอร์จิค (Adrenergic Transmission) ซึ่งจะพบที่ปลายประสาทหลังปมประสาทของระบบประสาทซิมพาเธติค ยกเว้นที่ต่อมเหงื่อและต่อมอะดรีนัล

3. การสร้างและเก็บอะซิทิลโคลีน

ร่างกายจะสร้างอะซิทิลโคลีนจากโคลีน (Choline) และโคเอนไซม์ เอ (Acetyl co A) โดยอาศัยเอนไซม์โคลีนอะซิทิลทรานสเฟอเรส (Choline Acetyltransferase) เมื่อมีการสร้างอะซิทิลโคเอนไซม์ เอ โดยไมโตคอนเดรียและมีการนำโคลีนออกจากนอกเซลล์เข้าสู่เซลล์โดยกระบวนการขนส่งกัมมันต์ (Active Transport) ก็จะเกิดการสร้างอะซิทิลโคลีนขึ้นในไซโตพลาสซึม หลังจากนั้นอะซิทิลโคลีนที่สร้างขึ้นจะถูกนำเข้าไปเก็บไว้ในถุงซึ่งจะพบมีอยู่อย่างหนาแน่นที่บริเวณปลายประสาทโคลิเนอร์จิค



ภาพที่ 13 การส่งผ่านกระแสประสาทของอะซิทิลโคลี (www.frca.co.uk/images/acetylcholine.jpg)

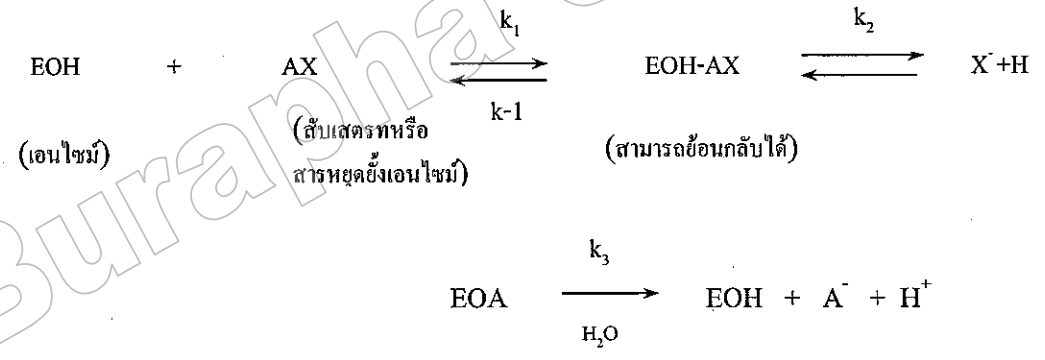
4. การหลั่งอะซิทิลโคลีน

เมื่อศักย์ไฟฟ้า (Action Potential) ขณะทำงานมาถึงปลายประสาทโคลิเนอร์จิค จะทำให้เกิดประจุแคลเซียม (Ca^{+}) เข้าสู่เซลล์และส่งผลให้เกิดกระบวนการเอกโซศัยโตสิส (Exocytosis) กล่าวคือถุง (Synaptic Vesicle) ที่มีอะซิทิลโคลีนบรรจุอยู่จะเคลื่อนเข้ามาชิดกับผนังของปลายประสาทแล้วผนังของถุงกับผนังของปลายประสาท แล้วผนังของถุงกับผนังของปลายประสาทจะเชื่อมเข้าด้วยกันจน ในที่สุดผนังส่วนที่อยู่ริมนอกจะแตกออก และปล่อยอะซิทิลโคลีนออกมาที่

บริเวณต่อเชื่อม หลังจากนั้นอะซิทิลโคลีนที่ถูกปล่อยออกมาจะเข้าไปจับตัวกับตัวรับโคลิเนอร์จิคที่ผิวของเซลล์ประสาทหลังจุดต่อเชื่อม (Postsynaptic Neuron) ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานส่งต่อไปยังอวัยวะเป้าหมายได้ นอกจากนี้อะซิทิลโคลีนอาจถูกทำลายโดยเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ซึ่งพบทั้งที่เซลล์ประสาทก่อนและหลังจุดต่อเชื่อมทำให้หมดฤทธิ์ได้อย่างรวดเร็ว

5. การยับยั้งเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส (Acetylcholinesterase Inhibition)

การยับยั้งเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสโดยตัวยับยั้งต่างๆ ได้แก่ สารกลุ่มคาร์บาเมทยับยั้งแบบหวนกลับได้ (Reversible Inhibition) สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตยับยั้งแบบหวนกลับไม่ได้ (Irreversible Inhibition) เนื่องจากเกิดพันธะเอนไซม์ที่แข็งแรงระหว่างสารกับบริเวณ Esteratic Site ของเอนไซม์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัวมาก จนเอนไซม์ไม่สามารถหลุดเป็นอิสระและทำงานต่อไปตามปรกติได้ นอกจากนี้ยังอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์ต่อไปอีกที่เรียกว่า ภาวะชราภาพ (Aging) เกิดเป็นสารใหม่ที่มีความคงตัวมากขึ้นและไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สารฆ่าแมลงกลุ่มออร์โนฟอสเฟตและคาร์บาเมท จะออกฤทธิ์โดยไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ทำให้เกิดการสะสมของอะซิทิลโคลีนที่จุดเชื่อมต่อของเส้นประสาท ดังนั้นจึงทำให้เกิดอาการกระตุ้นปลายประสาทเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในกรณีรุนแรงจะทำให้สิ่งมีชีวิตเสียชีวิตได้ (พาลาภ สิงหเสนีย์, 2542)



ภาพที่ 14 ปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และสารหยุดยั้งเอนไซม์ เช่น สารฆ่าแมลงสูตรโครงสร้างคาร์บาเมทและฟอสเฟตอินทรีย์ (Eto, 1977)

อาการพิษของสารฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท

อาการพิษเฉียบพลัน (Acute)

1. อาการแบบมัสคารินิค (Muscarinic Signs and Symptoms)

จุดรับสัมผัสมัสคารินิค (Muscarinic Receptors) สำหรับอะซิทิลโคลีนพบส่วนใหญ่ที่กล้ามเนื้อเรียบหัวใจและต่อมมีท่อ อาการที่เกิดขึ้นในระยะแรกคือ เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน น้ำตาไหล เหงื่อออก ม่านตาหดตัว ถ่ายอุจจาระและปัสสาวะโดยกลั้นไม่อยู่ หลอดลมหดเกร็ง และเสมหะมาก

2. อาการแบบนิโคตินิค (Nicotinic Sign and Symptoms)

อาการพิษแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมของอะเซทิลโคลีนที่ปลายประสาทมอเตอร์และที่จุดเชื่อมต่อของระบบประสาทเสรี อาการที่เกิดขึ้นคือ กล้ามเนื้อที่หน้า หนังตา ลิ้น ถ้าอาการรุนแรงขึ้นจะพบว่า กระตุกมากขึ้นทั่วร่างกาย ต่อมาจะมีอาการอ่อนเปลี้ยของกล้ามเนื้อทั่วไป และเกิดเป็นอัมพาตของกล้ามเนื้อในที่สุด

3. อาการผิดปรกติของระบบประสาทส่วนกลาง

ได้แก่ มึนศีรษะปวดศีรษะงง และกระสับกระส่าย ตื่นตกใจง่าย อารมณ์พลุ่งพล่าน ถ้าอาการมากอาจชักและหมดสติได้ ถ้าผู้ป่วยมีอาการมากอาจถึงตายได้ เนื่องจากการหายใจล้มเหลว (Respiratory Failure) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากหลอดลมตีบตัน กล้ามเนื้อการหายใจเป็นอัมพาต และศูนย์ควบคุมการหายใจในสมองหยุดการทำงานในรายที่มีอาการไม่รุนแรงนัก อาการจะดีขึ้นใน 2- 3 วัน แต่จะอ่อนเพลีย ไม่มีแรงเป็นเวลานาน ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะฟื้นตัวภายใน 24-48 ชั่วโมง แต่ถ้าได้รับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตชนิดฤทธิ์นาน (Long-Acting) อาจทำให้เกิดพิษนานเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน

พิษเรื้อรัง (Chronic)

ที่เกิดจากสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท พบได้ไม่บ่อย ได้แก่

1. Delayed Psychopathlogic-Neurologiclestion มีอาการแสดงแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ส่วนใหญ่จะพบว่า ระบบประสาทบางส่วนถูกทำลายอย่างถาวร ทำให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร ระบบหัวใจและหลอดเลือด เป็นหมัน ดื้อยาหลายชนิดและแก่ก่อนวัยอันสมควร อีกกลุ่มหนึ่งนอกจากจะพบอาการดังกล่าวข้างต้นแล้วยังพบอาการผิดปรกติทางจิตด้วย ได้แก่ อาการซึมเศร้า อาการเหล่านี้จะค่อย ๆเกิดภายในระยะเวลา 5- 10 ปี

2. Intermediate Syndrome เป็นอาการผิดปรกติทางระบบประสาทที่พบได้ภายใน 24- 96 ชั่วโมง หลังจากได้รับสาร อาการเริ่มแรกคือกล้ามเนื้ออ่อนแรงโดยเฉพาะกล้ามเนื้อแขนและขา และกล้ามเนื้อเกี่ยวกับการหายใจ อาการดังกล่าวนี้จะเหมือนกับการได้รับพิษฉับพลัน ดังนั้นผู้ป่วยควรได้รับการรักษาเช่นเดียวกับการได้รับพิษฉับพลันเช่นกัน (พาลาภ สิงหเสนีย์, 2542)

กลไกการยับยั้งโคลีนเอสเทอเรสโดยสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท

สารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท มีกลไกการเกิดพิษที่คล้ายกันมากคือ ยับยั้งการทำงานของ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ซึ่งเป็นเอนไซม์ในพลาสมาทำหน้าที่ในการ

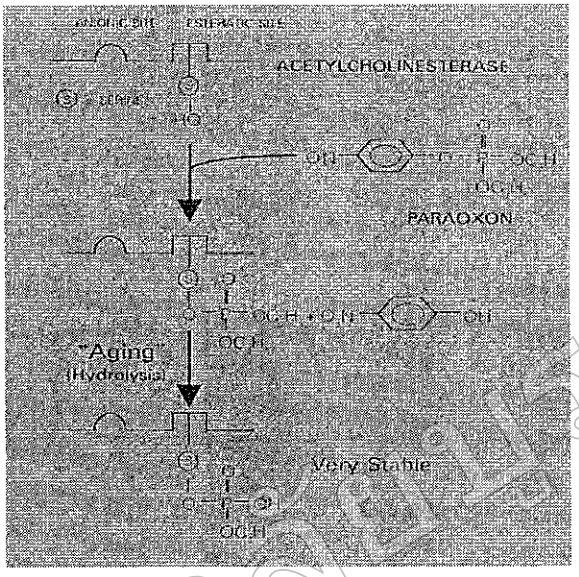
ทำลาย อะซิทิลโคลีน ผลจากการยับยั้งการทำงานดังกล่าว ทำให้เกิดการคั่งของอะซิทิลโคลีน ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบประสาทอัตโนมัติและในสมอง

ความแตกต่างที่สำคัญของออร์กาโนฟอสเฟต และ คาร์บาเมทในกลไกการเกิดพิษ คือ ออร์การ์โนฟอสเฟต เช่น พาราไธออน(พาราไธออน) จะยับยั้งการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส แบบถาวร (Irreversible Process) โดยมีขบวนการที่เรียกว่า เอจจิ้ง (Aging) เกิดตามมาภายหลัง กล่าวคือ เมื่อออร์กาโนฟอสเฟตจับกับเอนไซม์แล้วจะเป็นสารเชิงซ้อน (Complex) ซึ่งเมื่อทิ้งไว้นาน ๆ สารเชิงซ้อนนี้จะค่อย ๆ ละลายน้ำและถูกไฮโดรไลซิส ทำให้สูญเสียหมู่ อัลคิล ไป 1 ตัว ซึ่งการสูญเสียนี้ จะทำให้สารเชิงซ้อน มีความคงทนมาก ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีก และที่เรียกว่า “เอจจิ้ง” นั้นเพราะ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ที่ถูกจับไว้เป็นเสมือนเอนไซม์ที่ตายไปแล้วไม่สามารถทำลาย อะซิทิลโคลีน ดังนั้นการยับยั้งเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสโดยตัวยับยั้งต่าง ๆ ทำให้เกิดการสะสมของ อะซิทิลโคลีนที่จุดเชื่อมต่อของเส้นประสาท จึงทำให้เกิดอาการกระตุ้นที่ปลายประสาทเพิ่มขึ้น ในกรณีรุนแรงอาจทำให้สิ่งมีชีวิตเสียชีวิตได้ (สมิง เก่าเจริญ และยุพา ลีลาพฤทธิ์, 2538)

จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าพาราออกซอน (Paraoxon) ซึ่งเป็นแอคทีฟเมทาบอไลท์ (Active Metabolite) ของ พาราไธออน จะเข้าทำปฏิกิริยากับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส โดยการจับกับ Sarine ที่ Active Center ของอะซิทิลโคลีนเกิดเป็น Complex ซึ่งถ้าทิ้งไว้ต่อไปจะเกิดไฮโดรไลซีสของขบวนการ “Aging” Complex ที่เกิดจะขึ้นนั้นมีความคงทนมาก ในที่สุดการจับจะเป็นแบบ Irreversible ดังนั้นเอนไซม์ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส จึงไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีก

ส่วนคาร์บาเมทนั้นจะยับยั้ง อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส แบบชั่วคราว (Reversible Process) และไม่มีขบวนการ “Aging” เกิดขึ้นไม่ว่าจะปล่อยทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานเท่าไรก็ตาม ดังนั้นระยะเวลาที่ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ถูกยับยั้งการทำงานด้วยคาร์บาเมทจึงสั้นกว่าการถูกยับยั้งด้วยออร์กาโนฟอสเฟต

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 15 กลไกการเป็นพิษของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและขบวนการ "เอจจิ้ง" จะเกิดหลังจากเอนไซม์ถูกกลุ่มฟอสเฟตจับไว้แล้ว (สมิง เก่าเจริญ และยุพา ลีลาพฤทธิ์, 2538)

การตรวจวัดระดับโคลีนเอสเทอเรส (Cholinesterase)

โคลีนเอสเทอเรสในร่างกายที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ

1. ชนิดที่พบในเม็ดเลือดแดงและเนื้อเยื่อระบบประสาท เรียกว่า อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสซึ่งมีหน้าที่ในการไฮโดรไลซ์ อะซิทิลโคลีน

2. ชนิดที่พบในพลาสมาและเนื้อเยื่อนอกระบบประสาทเรียกว่า บิวทาริล (ซูโด) โคลีนเอสเทอเรส (Butyry (Pseudo) Cholinesterase) ซึ่งมีบทบาทในการ ไฮโดรไลซ์ ซัคซินิลโคลีน (Succinylcholine) แต่ยังไม่ทราบหน้าที่ต่อร่างกายที่ชัดเจน

พลาสมาซูโดโคลีนเอสเทอเรส (Plasma Pseudocholinesterase) เป็นดัชนีที่มีความไวมากกว่า คือ มีระดับลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลาสมาโคลีนเอสเทอเรส (Plasma Cholinesterase) กับระยะเวลาของการเป็นพิษนั้นไม่ดีเท่าใดนักโดยเฉพาะถ้ามีการตรวจวัดที่ห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกันที่ต่างกัน ในผู้ป่วยส่วนใหญ่ระดับการทำงานของโคลีนเอสเทอเรสมักสัมพันธ์กับความรุนแรงของการเป็นพิษ ในผู้ป่วยที่มีอาการรุนแรงมากมักตรวจพบว่า มีระดับการออกฤทธิ์ของเอนไซม์ต่ำกว่า 10% ของที่มีอยู่ในภาวะปกติของผู้ป่วยรายนั้น ในรายที่มีภาวะเป็นพิษเป็นกลาง ระดับมักจะอยู่ประมาณ 10-20% ในรายที่มีอาการเป็นพิษน้อยระดับมักอยู่ประมาณ 20-50% และถ้าระดับอะซิทิลโคลีนสูงกว่า 50% ผู้ป่วยมักไม่มีอาการ อย่างไรก็ตามได้มีการพิสูจน์แล้วว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ใช้ได้เฉพาะระยะเริ่มต้นของการได้รับพิษเฉียบพลันเท่านั้น (สมิง เก่าเจริญ และยุพา, 2538)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในเกษตรกรที่ได้ตรวจรับสารพิษพวกนี้จากการใช้ยาฆ่าแมลงได้มีการทำการตรวจวัดปริมาณอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ที่ลดลง จากการยับยั้งการทำงานของออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท โดยการตรวจโคลีนเอสเทอเรส ในเลือดซึ่งมีวิธีการตรวจอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ก็มีวิธีที่ประหยัดและรวดเร็ว คือการฉายรังสี โดยใช้ อะซิทิลโคลีน ผลสุดท้ายได้ C^{14} O_2 ซึ่งจะตรวจวัดปริมาณได้โซเดียมไบคาร์บอเนท C^{14} ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกที่ถูกปล่อยออกมาจากการไฮโดรไลซีสของอะซิทิลโคลีนกับเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส ซึ่งตรวจวัดปริมาณได้โดย Liquid Scintillatiuon Counter นอกจากนั้นยังมีการตรวจ เลือดโดยวิธีแก๊สโครมาโตรกราฟี (Gas Chromatography) ซึ่งเป็นวิธีที่รวดเร็ว ในการวิเคราะห์ระดับโคลีนเอสเทอเรสในเลือดมนุษย์ พบว่าสามารถตรวจ หาโคลีนเอสเทอเรสที่มีปริมาณน้อยในเลือดได้ (สุนทรี พงษ์จิวานิช, 2526) นอกจากนั้นยังมีการตรวจระดับความเป็นพิษของสารตกค้างในผักผลไม้โดยการใช้ชุดตรวจหาสารฆ่าแมลง "จีที"โดยใช้หลักการของ Cholinesterase Inhibition Technique โดยจะยอมให้มีปริมาณที่ตกค้างในผักไม่เกินค่าที่มีผลทำให้เอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงร้อยละ 50 และการใช้กระดาษทดสอบพิเศษ (อ.30-001) ของกระทรวงสาธารณสุข (พิไลลักษณ์ พลพิลา, 2548)

ในการศึกษา การทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสในสัตว์น้ำ จะสามารถตรวจพบได้ที่กล้ามเนื้อและสมองปลากล้ามเนื้อเปิดปิดฝาและเหงือกของหอย และกล้ามเนื้อท้องของกุ้ง โดยจะพบสูงมากในสมอง กล้ามเนื้อปลา และกล้ามเนื้อกุ้ง ส่วนหอย จะมี ระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ค่อนข้างต่ำ (วิภา ตั้งนิพนธ์, 2541)

ในการหาระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส จะใช้วิธีของ Ellman, Courtney, Andrea and Featherstone (1961) โดยใช้ Acetylthiocholine Iodine (ACTC) เป็นสับสเตรท ซึ่งจะได้ Thiocholine และเมื่อไปทำปฏิกิริยากับ Dithiobisnitrobenzoate (DTNB) จะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นแล้วเอาไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrometer ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร ดังสมการ

$$\text{Acetylthiocholine} \xrightarrow{\text{AChE}} \text{Thiocholine} + \text{Acetic Acid}$$

$$\text{Thiocholine} + \text{DTNB} \longrightarrow \text{TNB (สีเหลือง (412 nm))}$$

การใช้อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสเป็นดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในสภาพแวดล้อม

วันทนีย์ วัฒนาสุรกิตต์ (2005) กล่าวว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรกว่าครึ่งประเทศ (34 ล้านคน) คิดเป็นร้อยละ 55.7 ของประชากรทั้งประเทศ ซึ่งองค์การอนามัยโลก รายงานว่าปี พ.ศ. 2544 มีผู้ป่วยจากยาฆ่าแมลงทั่วโลกอยู่เกือบ 69,000 ราย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เกษตรกรไทยใช้สารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชมากและบ่อยครั้ง

ในชีวิต ประจำวันจนเกิดความเคยชินไม่ระวังในการใช้มีโอกาสพบสารพิษจากสารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชในบ้าน นอกบ้านและพืชผลทางการเกษตร ทำให้เกษตรกรมีโอกาส สะสมสารพิษทีละน้อยในเวลานาน ทำให้มีเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรสต่ำ ยับยั้งการทำงานของระบบประสาท เป็นสาเหตุให้เจ็บป่วยได้

การศึกษาการยับยั้งของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสใน นั้นเป็นวิธีที่สามารถใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท โดยเมื่อสัตว์ได้รับสารพิษโดยสารทั้งสองกลุ่มนี้ กลไกการออกฤทธิ์ของสารกลุ่มนี้ คือ ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ทำให้ปริมาณของ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ลงลง ตามปริมาณหรือความเข้มข้นที่ได้รับ ซึ่งจากการ ศึกษาที่เกิดขึ้น ทำให้มีการนำเอา อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ไปใช้ในการตรวจติดตามทางสิ่งแวดล้อม (Peakall, 1992) โดยจำเป็นต้องเข้าใจในหน้าที่ทางกายภาพและทางเคมี รวมถึงปัจจัยต่าง ๆที่มีผลต่อการยับยั้งอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในสัตว์แต่ละชนิดก่อน จึงจะสามารถนำเอา อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ไปใช้ในการตรวจติดตามทางสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ในการปนเปื้อนของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมทได้ ซึ่งเราสามารถตรวจพบได้ทั้งในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น ปู กุ้ง หอยหรือสัตว์อื่น ๆ ดังเช่นการทดลองของ Dellali, Barelli, Romeo, and Aissa (2001) ได้ศึกษาการใช้อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในการใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนของสารประกอบจำพวกออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมท โดยใช้ หอย 2 ชนิด คือ Mediterranean Clams (*Ruditapes decassatus*) และ Mussels (*Mylilus galloprovincialis*) โดยเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1 เดือน เป็นเวลา 1 ปี โดย Mediterranean Clams จะเก็บ 3 สถานี คือ Menzel Jemil (J), Menzel Abderrahmen (A), Faroua (F) พบว่า Clams ที่สถานี A แสดง อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ต่ำสุดในทุก ๆ เดือน เนื่องจากเป็นจุดปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด นอกจากนั้นยังมีรายงานว่า ในแหล่งน้ำนั้น มีการปนเปื้อน โลหะหนักบางชนิดอยู่ด้วย ส่วนในสถานี F ซึ่งเป็นแหล่งเกษตรกรรม ระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ลดลงในช่วงหลังจากฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่ทำการเกษตร ในสถานี J แสดงระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส สูงสุด ซึ่งอาจจะตีความหมายได้ว่า ที่สถานี J นั้นได้รับผลกระทบจากมลพิษน้อย เมื่อทดสอบโดยใช้ Mussel ซึ่งมี 2 สถานี คือ J และ C (Baiedes Carrières) ซึ่งเป็นช่องแคบระหว่าง Lagoon กับ Mediterranean และยังเป็นจุดปล่อยน้ำทิ้งจากในเมือง โดยเฉพาะพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากการเดินเรือ พบว่าค่า อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ของ Mussel ใน C มีค่าต่ำกว่า J ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า การลดลงของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในแต่ละสถานี ทั้ง 2 สปีชีร์ มีผลเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมเป็นพิษ

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

McHenery, Linley-Adams, Moore, Rodger and Davies (1997) ศึกษาผลกระทบของไดคลอวอสต่อระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในเหงือกของ Mussel (*Mytilus edulis* L.) พบว่า ที่ความเข้มข้น 3.6 µg/ l อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ลดลง 50% ที่ 24 ชั่วโมงและค่าการลดลงของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส โดยมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของไดคลอวอส เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส จะลดลง

Mora et al. (2000) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเป็นพิษของคาร์บาริล และผลต่ออะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในหอย *Pomacea patula* ซึ่งเป็นหอยฝาเดียวน้ำจืดในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ค่า LC 50 ที่ 96 ชั่วโมง มีค่า 14.6 µg/ ml โดยอวัยวะที่ดีที่สุดในการบ่งบอกความเข้มข้นของคาร์บาริล คือ Digestive Gland แล้ววัดในระดับ 0.1 ของ LC_{50}ที่ 96 ชั่วโมง มีค่า 1.46 µg/ ml ในเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า มีการยับยั้ง อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ที่ Digetive Gland ถึง 76% เมื่อเนื้อเยื่อมีระดับของคาร์บาริล 3.2 µg/ g เมื่อนำมาแช่ในน้ำสะอาดพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ระดับอะซิทิลโคลีน เอสเทอเรส ยังไม่กลับสู่สภาพเดียวกลับกลุ่มควบคุม ซึ่งอาจเป็นผลจากความเป็นพิษของคาร์บาริล

Doran, Cope, Rada, and Sandheinrich (2001) ศึกษาการยับยั้ง อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ใน Threeridge Mussel (*Amblema plicata*) โดยคลอไพรีฟอสที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.6 และ 1.2 mg/ l ที่ 12,24 และ 96 ชั่วโมง พบว่า หลังจาก 12 , 24 ชั่วโมง ค่าอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ใน Mussel ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แต่หลังจาก 96 ชั่วโมง พบว่าค่า อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส แตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ P=0.01 ส่วน Tabche et al (2001) ศึกษาในหอยฝาเดียว *Stagnicola* sp. ที่ได้รับสารมาลาไธออน 0.06 ppm เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า ตรวจพบสารมาลาไธออนในร่างกายหอยอย่างรวดเร็วโดยสูงสุดที่ 36 ชั่วโมง เมื่อศึกษาถึงการทำงานของ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส พบว่าในเวลา 0- 24 ชั่วโมง การทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส เพิ่มขึ้น หลังจาก 24 ชั่วโมงจะลดลงอย่างรวดเร็ว โดยต่ำสุดที่ 72 ชั่วโมง มีค่า 1.5 nmol/ min/ mg protein

Demiens, His, Quiniou, and Roméo (2004) ศึกษาดัชนีชี้วัดในธรรมชาติโดยการใช้หอยนางรมวัยอ่อน ในสภาวะที่อุณหภูมิและความเค็มแตกต่างกัน โดยสัมผัสกับ คาร์โบฟูราน 100 และ 1000 µg/ l และมาลาไธออน 100 และ 300 µg/ l พบว่าความเค็มมีผลต่อการลดลงของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส แต่อุณหภูมิ 20°C และ 25°C ไม่มีผลต่อการลดลงของ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส

Farrari, Venturino, and Ana (2004) ศึกษาการยับยั้งเอนไซม์โคลีนเอสเทอเรส และการฟื้นตัวของเอนไซม์หลังจากที่ได้รับพิษจากอะซินฟอสเมทธิล, พาราไธออน; ออร์กาโนฟอสเฟต และ คาร์บาริล; คาร์บาเมท ในปลาทอง (*Carassius auratus*) โดยใช้ความเข้มของสารต่าง ๆ กันดังนี้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

อะซินฟอสเมทธิล (99%) 3.0, 4.0, 5.5,7.0 และ 9.0 mg/ l , พาราไธออน (99%) 2.5, 5.0, 6.0, 6.6, 7.3 และ 8.00 mg/ l คาร์บาริล (99%) 9.0, 11.0, 14.0, 17.0 และ 21.0 mg/ l ผสมลงในน้ำแล้วเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง พบว่า อะซินฟอสเมทธิล ที่ 24 ชั่วโมงแรกยับยั้ง 77% และที่ 96 ชั่วโมงต่อมามีการยับยั้งถึง 90% พาราไธออน ที่ 24 ชั่วโมงแรกยับยั้ง 90% และที่ 96 ชั่วโมงต่อมามีการยับยั้งถึง 95% ส่วนคาร์บาริลมีการยับยั้งประมาณ 72% - 73% ระหว่าง 24 และ 96 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบระยะ การฟื้นตัวของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส พบว่า คาร์บาริล ใช้ระยะเวลาการฟื้นตัวประมาณ 1 สัปดาห์โดยที่ อะซินฟอสเมทธิล,พาราไธออน ใช้เวลามากกว่า 5 สัปดาห์

Colombo, Orsi, and Bonfanti (2005) ศึกษาการยับยั้งอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส โดยคลอไพรีฟอส ในตัวอ่อนของลูกอ๊อด (*Xenpus laevis*) โดยทำการศึกษาที่ความเข้มข้น 100, 250 และ 3000 µg/ l โดยใช้ตัวอ่อนในระยะ Blastula จนถึง Stage 47 (8 h Postfertilization, p.f.-120 h p.f.) วัดทุก ๆ 24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง พบว่า ในกลุ่มควบคุม ระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระยะ 120 ชั่วโมงหลังจากปฏิสนธิ ตัวอ่อนของลูกอ๊อดมีพัฒนาการอย่างรวดเร็วแต่เมื่อทำการทดลองกับคลอไพรีฟอส ที่ ความเข้มข้น 100, 250 และ 3000 µg/ l พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อดูลักษณะเนื้อเยื่อพบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ลดลง เนื้อเยื่อของตัวอ่อนของลูกอ๊อดถูกทำลายโดยเกิดการบวมและทำให้เนื้อเยื่อเสียสภาพ

Pfeifer, Schiedex, and Dippner (2005) ทำการศึกษาผลของศึกษาผลของฤดูกาลที่มีผล ที่มีผลต่อระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ในหอยแมลงภู่ เพื่อเป็นข้อมูลในการใช้หอยแมลงภู่ (*Mytilus* sp.) เป็น Biomarker โดยทำการศึกษาในทะเล Baltic ซึ่งฤดูกาลสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และความเค็มของน้ำทะเล ในการทดลอง การตรวจวัดระดับการทำงานของ อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ใช้อวัยวะส่วนของเหงือกของหอยแมลงภู่ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001) และเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นระดับการทำงานของอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) นอกจากการเปลี่ยนแปลงของฤดูแล้วนั้นยังขึ้นกับกิจกรรมทางการเกษตรในแต่ละฤดูของแหล่งที่ทำการทดลองด้วยโดยพบว่าในช่วงฤดูที่มีการทำการเกษตรกันมากทำที่ให้ค่าของสารปราบศัตรูพืชมีความเข้มข้นสูง

Mora, Michel, and Narbonne (1999) ทำการศึกษาเพื่อหา ค่า pH , อุณหภูมิ และสับสเตรทที่เหมาะสมสำหรับการประเมินโคลีนเอสเทอเรส เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดในสิ่งแวดล้อม ในหอย 2 ชนิด คือ Spanish Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) และ Asiatic Clam (*Corbicula fluminea*) ในการศึกษาผลของอุณหภูมิและ pH ต่อระดับโคลีนเอสเทอเรส พบว่า มีค่าสูงสุดที่

อุณหภูมิ 38 และ45 องศาเซลเซียสตามลำดับ และระดับโคลีนเอสเทอเรสสูงสุดที่ pH 7.2-9.2 ในหอย Spanish Mussel และ 8.0-9.2 ในหอย Asiatic Clam ในการศึกษาซับสเตรท 3 ชนิดคือ อะซิทิลไทโอโคลีน (ASCh, Acetylcholine), โพรไพโอนิลไทโอโคลีน (PSCh, Propionylthiocholine), บิวทาริลไทโอโคลีน (BSCh, Butyrylthiocholine) พบว่า การใช้สับสเตรทชนิดโพรไพโอนิลไทโอโคลีน พบระดับโคลีนเอสเทอเรสสูงมากในหอย Spanish Mussel และสับสเตรทชนิดอะซิทิลไทโอโคลีน พบระดับโคลีนเอสเทอเรสสูงมากในหอยชนิด Asiatic Clam

Bris et al. (1995) ศึกษาผลของไดคลอวอส ต่อหอยเศรษฐกิจ 2 ชนิดคือ Manila Clam และ Japanese Oyster โดยเลี้ยงหอยทั้ง 2 ชนิดในน้ำที่มีไดคลอวอส เข้มข้น 0.1 และ1 mg/l เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และหลังจากนั้นนำมาเลี้ยงในน้ำสะอาดต่อจนครบเวลา 48 ชั่วโมง โดยมีการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ ที่ 0, 2, 4, 8, 10, 12, 18, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ฝาของหอยเปิดออกหมดทุกตัว เนื่องจากกล้ามเนื้อมีการคลายตัว ใน Japanese Oyster ที่เลี้ยงในน้ำที่มีไดคลอวอส 1 mg/l มีการลดลงของระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสอย่างรวดเร็ว โดยต่ำสุดที่ 24 ชั่วโมง มีการยับยั้งถึง 87 เปอร์เซ็นต์ และมีการยับยั้งคงที่ที่ 68 เปอร์เซ็นต์ จนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนในไดคลอวอส 0.1 mg/l ระดับอะซิทิลโคลีนเอาเทอเรสลดลงต่ำสุดที่ 6 ชั่วโมง มีการยับยั้งอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส 83 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการยับยั้งอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส 45 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใน Manila Clam ที่ไดคลอวอส 1 mg/l ระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสลดลงช้ากว่าใน Japanese Oyster โดยพบต่ำสุดที่ 10 ชั่วโมง มีการยับยั้ง 64 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการยับยั้ง 27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ 0.1mg/l มีระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสลดลงอย่างช้า ๆ ต่ำสุดในชั่วโมงที่ 8 ซึ่งมีการยับยั้ง 42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการฟื้นตัวของระดับอะซิทิลโคลีนเอสเทอเรส ใน Manila Clam มีการฟื้นตัวได้เร็วกว่าใน Japanese Oyster โดยอาจบอกได้ว่าใน Manila Clam น่าจะมีความทนต่อ ไดคลอวอสมากกว่าใน Japanese Oyster

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University