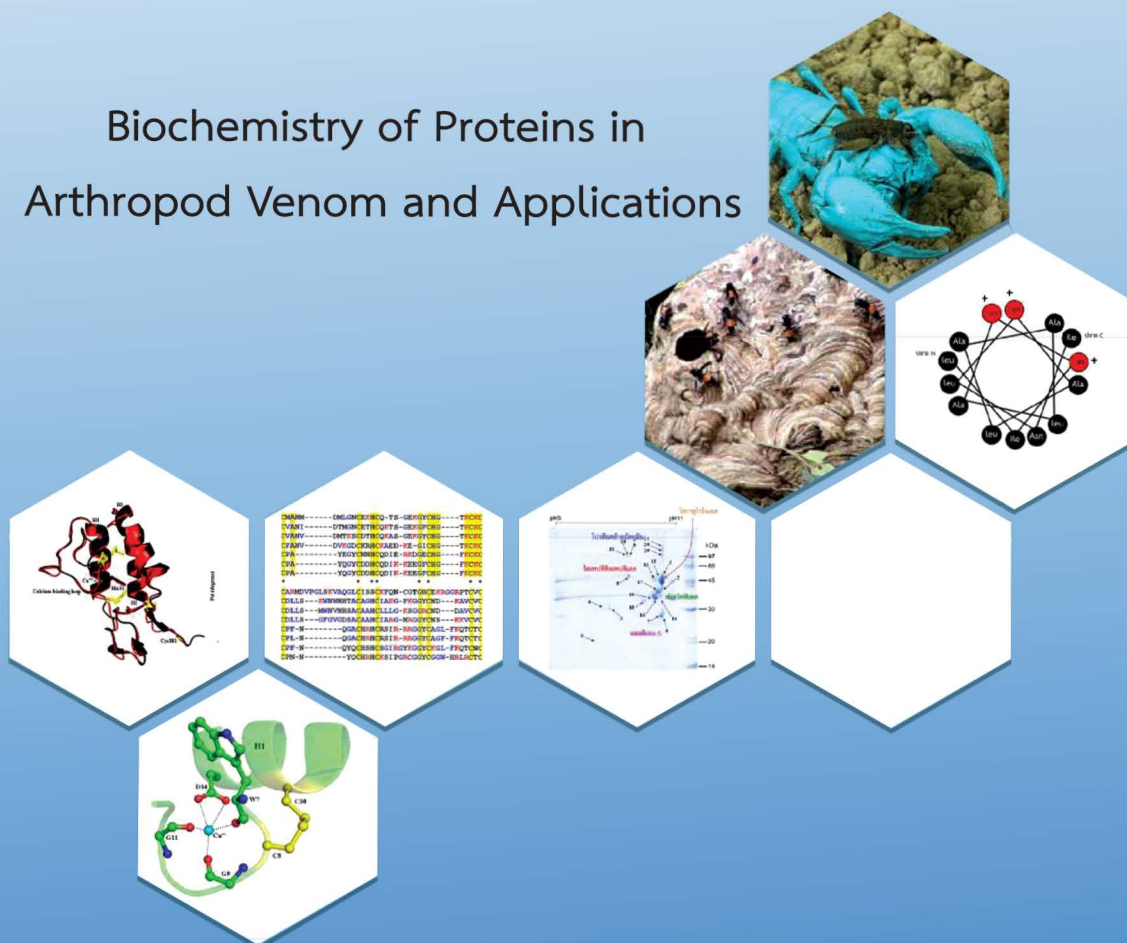




ชีวเคมีของโปรตีนในน้ำพิษของสัตว์พิษในฟาร์ม สัตว์ขาปล้อง (อาร์โทรพอด) และการประยุกต์ใช้

Biochemistry of Proteins in Arthropod Venom and Applications



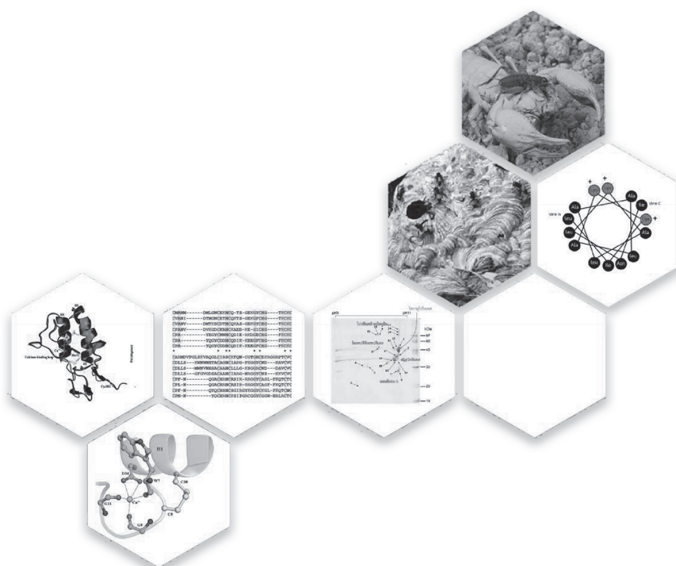
ศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ ดาดวง
สาขาวิชาเภสัชเวทและพิษวิทยา
คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Professor Dr.Sakda Daduang
Division of Pharmacognosy and Toxicology
Faculty of Pharmaceutical Sciences
Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

ISBN 978-616-438-687-7

ชีวเคมีของโปรตีนในน้ำพิษของสัตว์พิษในฟิลัม สัตว์ขาปล้อง (อาร์โทรพอด) และการประยุกต์ใช้

Biochemistry of Proteins in Arthropod Venom and Applications



ศาสตราจารย์ ดร.ศักดา ดาดวง
สาขาวิชาเภสัชเวชและพิษวิทยา
คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Professor Dr.Sakda Daduang
Division of Pharmacognosy and Toxicology
Faculty of Pharmaceutical Sciences
Khon Kaen University

ISBN 978-616-438-687-7

ชีวเคมีของโปรตีนในน้ำพิษของสัตว์พิษ
ในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง (อาร์โทรพอด) และการประยุกต์ใช้
ศาสตราจารย์ ดร.ศักดา ดาดวง

ศักดา ดาดวง.

ชีวเคมีของโปรตีนในน้ำพิษของสัตว์พิษในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง (อาร์โทรพอด) และการประยุกต์ใช้.
พิมพ์ครั้งที่ 2. -- ขอนแก่น : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2565.

188 หน้า.

1. อาร์โทรพอด. 2. พิษสัตว์. 3. ชีวเคมี I. ชื่อเรื่อง.

572

ISBN 978-616-438-687-7

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ห้ามกระทำการคัดลอก หรือทำซ้ำ

ไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของหนังสือเล่มนี้

ด้วยวิธีการใด ๆ โดยมีได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียน

หนังสือ ชีวเคมีของโปรตีนในน้ำพิษของสัตว์พิษในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง (อาร์โทรพอด)
และการประยุกต์ใช้
ผู้เขียน ศาสตราจารย์ ดร.ศักดา ดาดวง
จำนวน 188 หน้า
ราคา 860 บาท
พิมพ์ที่ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
วงเวียนสะพานขาว 123 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ 043-009700 ต่อ 44770, 043 202100 มือถือ 099 4655115

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 100 เล่ม พฤษภาคม 2561

พิมพ์ครั้งที่ 2 จำนวน 100 เล่ม มกราคม 2565

ติดต่อผู้เขียนทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ sakdad@kku.ac.th

ขอขอบพระคุณ ขอขอบคุณ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศูนย์วิจัยโปรตีนและโปรตีโอมิกส์เพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม (ศปพ.) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ฝ่ายนักเรียนทุนรัฐบาล กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฝ่ายวิชาการ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

The Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)

ศ.ดร.สมปอง คล้ายหนองสรวง ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศ.ดร.อรุณรัตน์ ฉวีราช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.จุรีรัตน์ ดาดวง กลุ่มวิชาเคมีคลินิก คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร.รินา ภัทรमानนท์ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.นิศาชล แจ่มพรมมา หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คุณยศพงษ์ เต็มศิริพงษ์ บริษัท ศรีราชาโมด้า จำกัด

และผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณาจารย์ บัณฑิต มหาบัณฑิต บัณฑิต

และนักศึกษา

ผศ.ดร.นันทวัน เอื้อวงศ์กุล

ผศ.ดร.โสภิตา สุขประเสริฐ

ดร.มูจลินท์ เหมือนจันทร์

ดร.ณัฐพร คีนดี

ดร.สุภาวดี ปาพาทนันทน์

ดร.ประเพ็ญพัทธ์ศิริ รัชชา

ดร.สายใจ ปอสูงเนิน

ดร.หทัยรัตน์ ศรีสงค์

ดร.รักษมนต์ อุบนบาล

ดร.วิชาน เตียเจริญ

ดร.พรสวรรค์ คำทอง

Dr.Rima Erviana

นายธีระวัฒน์ นามนไสย์

นายวิระพงษ์ คันธะมาลา

นายปิยพันธ์ จันทร์ปาน

นายยุทธการ แสงกุล

นางสาวศิริพร โนนเขว

นายธีระวัฒน์ ดอบุตร

นางสาวอุไรรัตน์ มุ่งมลศิลป์

สมาชิกศูนย์วิจัยโปรตีนและโปรตีโอมิกส์
เพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม (ศปพ.)

ขอบคุณครอบครัวและลูก ๆ

สำหรับกำลังใจ

ภาพโดย

น.ส.พรสวรรค์ คำทอง

นายธีระวัฒน์ ดอบุตร

ออกแบบปก

นทพ.มานะ กระแสโสม

น.ส.ลลิตา วัฒนสันติพงศ์

Oversea Collaborations

Professor P. Gopalakrishnakone

Department of Anatomy&Venom and Toxin Research
Programme, National University of Singapore, Singapore

Professor Jan Tytgat

Laboratory of Toxicology, University of Leuven,
Leuven, Belgium

Professor Andreas L. Lopata

School of Pharmacy and Molecular Science,
Molecular Immunology Group Director: Centre for
Biodiscovery & Molecular Development of Therapeutics
James Cook University, Townsville, Australia

Professor Michiyuki Matsuda

Laboratory of Bioimaging and Cell Signaling, Graduate
School of Medicine, Kyoto University, Kyoto, Japan

Professor Alain Marty

Laboratory for Biosystems and Chemical Engineering, INSA
Toulouse, Toulouse, France

Professor Alan Harvey

Strathclyde Institute of Pharmacy and Biomedical Sciences,
University of Strathclyde, Scotland, UK
An Editor-in-Chief of the journal Toxicon

อาลัยแต่

ผศ.ดร.ธาริณี อัครวิเชียร ผู้ล่วงลับ

ดร.ปรุพท์กรณ์ อินทร์คำน้อย ผู้ล่วงลับ

....ความดีของหนังสือเล่มนี้

อุทิศแด่

สัตว์พิษทุกตัวบนโลกนี้ ที่ได้อุทิศน้ำพิษและชีวิต

เพื่องานวิจัยด้านน้ำพิษสัตว์....

คำนำ

ตัวผู้เขียนเอง ดำรงชีวิตในยุคแห่งการเปลี่ยนแปลงในทุกด้าน ตั้งแต่ถือกำเนิดจนกระทั่งปัจจุบัน ประชากรเพิ่มมากขึ้นกว่า 5 เท่า ในเวลาไม่กี่สิบปี ได้รับประสบการณ์ในการดำเนินชีวิตทุกรูปแบบ จากบ้านเกิดที่จังหวัดศรีสะเกษ ได้ไปศึกษาที่คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อสำเร็จวิชาชีพเภสัชกรแล้ว ได้รับโอกาสให้ไปศึกษาในต่างประเทศด้วยทุนรัฐบาลไทย ที่กรุงมาอย่างยังต่อการเรียนและการดำเนินชีวิตในต่างแดน ชลุกอยู่กับศาสตราจารย์ชาวญี่ปุ่นผู้เชี่ยวชาญด้านชีวเคมีเชิงลึก ที่มีแนวคิดและวิธีการเรียนการสอนและการทำงานวิจัยในรูปแบบของผู้คนสมัยหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จึงหนักหนาสาหัสและเข้มงวดมากสำหรับผู้เขียนซึ่งมาจากแหล่งต่างวัฒนธรรมและแนวคิด ในขณะนั้น ไม่ได้คิดอะไรมาก พยายามสั่งสมประสบการณ์ในทุกด้านให้ได้มากที่สุด เพื่อการสำเร็จการศึกษาอันเป็นเรื่องเฉพาะหน้า ต่อเมื่อสำเร็จการศึกษากลับมาบรรจุเข้าทำงานในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นขุมกำลังด้านการศึกษาของถิ่นอีสาน จึงตระหนักได้ว่า ทรัพยากรธรรมชาติของเรากำลังลดลงอย่างรวดเร็ว ป่าลดลงไปมาก พืชและสัตว์ที่เคยพบเจอ ดาษต้นในสมัยก่อนกลับหายาก บางสิ่งเป็นสินค้าที่สามารถนำมาซื้อขายกันในราคาแพงอย่างเหลือเชื่อ แนวคิดในการศึกษาทรัพยากรธรรมชาติของผู้เขียนจึงได้ปรากฏเด่นชัดขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งใจที่จะใช้ความคิด ความรู้ความสามารถ และเทคนิคทั้งปวงที่ได้ฝึกฝนมาจากความเข้มงวดนั้น มาใช้เพื่อศึกษาทรัพยากรที่มีในท้องถิ่น แล้วจะศึกษาอะไรดีเล่า ทรัพยากรของเรามีหลากหลายชนิด ในเวลานั้น จะศึกษาอะไรก็ล้วนน่าสนใจ กอรปกับทุกชนิดกำลังลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว คำตอบคือหากจะนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตได้ สิ่งนั้นก็น่าจะมีคุณสมบัติอันพิถีพิถัน หรือมีฤทธิ์สูงมาก ๆ ในเบื้องต้น เมื่อผ่านกระบวนการต่าง ๆ คุณสมบัติเหล่านั้นก็อาจสูญเสียบ้าง แต่ก็น่าจะยังมีดีเหลืออยู่ให้ใช้ได้ไม่มากนักน้อย ในอีกทางหนึ่ง หากศึกษาทรัพยากรที่มีฤทธิ์ก้ำกึ่ง เมื่อผ่านกระบวนการไปแล้ว โอกาสจะใช้งานได้ อาจไม่สูงนัก เพราะอาจไม่เหลือคุณสมบัติใด ๆ ที่สูงพอ ดังนั้น คำตอบหนึ่งก็คือ น้ำพิษจากสัตว์พิษนี้เอง น้ำพิษเป็นของเหลวจากสิ่งมีชีวิตที่มีองค์ประกอบหลากหลาย มีฤทธิ์รุนแรง แต่น้ำพิษมีข้อมูลค่อนข้างมาก แต่ที่ยังขาดอยู่คือ งานวิจัยเรื่องน้ำพิษจากสัตว์พิษในฟาร์มสัตว์ขาล้าง เหล่าแมงและแมลงพิษและอื่น ๆ เหล่านี้ปลดปล่อยน้ำพิษเพียงน้อยนิด ก็สามารถก่ออาการเจ็บปวดทรมานแสนสาหัสให้กับมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นได้ ด้วยหวังว่า จับปลัดจับผลู ด้วยอนาคตอันยาวไกล คงมีอย่างน้อย 1-2 ชนิดขององค์ประกอบในน้ำพิษที่อาจพัฒนาประยุกต์ให้ใช้งานได้

ด้วยเหตุนี้ งานด้านน้ำพิษสัตว์จึงได้เริ่มต้นขึ้น ด้วยการศึกษาอย่างยาวนานเกือบ 20 ปี สั่งสมความเชี่ยวชาญ ทั้งในเชิงองค์ความรู้ และเชิงเทคนิค มีผลงานเชิงประจักษ์ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ด้วยการสนับสนุนจากผู้ร่วมวิจัย ผู้มีอุปการะคุณ รวมถึงด้านงบประมาณจากหน่วยงานผู้ให้ทุนอย่างต่อเนื่อง ช่วยให้องค์ความรู้ด้านนี้ได้รับการศึกษา สร้างสรรค์ และบันทึกไว้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถสร้างงานวิจัย เครือข่ายวิจัย ทายาทวิจัยเพื่อการสืบทอด รวมทั้งมุ่งไปสู่การดำเนินการเพื่อการประยุกต์ใช้อีกด้วย

มาบัดนี้ แนวคิด องค์ความรู้ และการประยุกต์ใช้ ในเรื่องน้ำพิษสัตว์จากสัตว์พิษ ได้ถูกถ่ายทอดมาอยู่ในหนังสือเล่มนี้อย่างหมดเปลือก หวังเพื่อรวบรวมงานด้านนี้ ทั้งที่ได้ศึกษาวิจัยมาด้วยตนเอง และได้จากการค้นคว้าข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วทั้งในและต่างประเทศ ให้อยู่ในหนังสือเล่มเดียวอย่างสมบูรณ์และรอบด้านที่สุดเท่าที่จะทำได้ อันจะเป็นประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติไม่มากนักน้อย

ด้วยความปรารถนาดีเป็นที่สุด

ศักดา ดาดวง

พฤษภาคม 2561

สารบัญเนื้อหา

บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเรื่องสัตว์พิษในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง	1
1-1 ความสำคัญของสัตว์ขาปล้อง	1
1-2 โครงสร้างและรูปร่างของสัตว์ขาปล้อง	1
1-3 การเปลี่ยนสัณฐาน	2
1-4 สัตว์พิษในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง	3
1-5 แมงป่อง	3
1-6 สัตว์พิษอันดับไฮเมนอพเทรา	5
1-7 ตะขาบ	9
1-8 วิธีการรีดน้ำพิษของสัตว์พิษในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง	10
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 1	10
 บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานเรื่องสัตว์พิษและน้ำพิษ	 13
2-1 ข้อสังเกตเกี่ยวกับสัตว์พิษ และสัตว์มีพิษ	13
2-2 ปัจจัยการเกิดอันตรายจากสัตว์พิษ	15
2-3 ความรุนแรง และปัจจัยที่ส่งผลต่อความรุนแรงของน้ำพิษ	15
2-4 อาการและความรุนแรงของอาการเมื่อได้รับน้ำพิษ	17
2-5 การรักษาเมื่อได้รับน้ำพิษ	20
2-6 สมุนไพรต้านพิษแมลงสัตว์กัดต่อย	22
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 2	25
 บทที่ 3 องค์ประกอบของน้ำพิษสัตว์ขาปล้อง	 27
3-1 ประโยชน์ของการศึกษาองค์ประกอบในน้ำพิษ	27
3-2 ฤทธิ์ขององค์ประกอบในน้ำพิษ	28
3-3 องค์ประกอบในน้ำพิษ	28
3-4 องค์ประกอบในน้ำพิษสัตว์อันดับไฮเมนอพเทรา	33
3-5 คุณสมบัติขององค์ประกอบเฉพาะที่สำคัญ	34
3-6 องค์ประกอบออกฤทธิ์เฉพาะ	39
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 3	40
 บทที่ 4 องค์ประกอบโปรตีนและเอนไซม์ในน้ำพิษ	 43
4-1 เทคนิคการหาองค์ประกอบของโปรตีนและเอนไซม์ในน้ำพิษ	43
4-2 รูปแบบโปรตีนโอมิกส์ของน้ำพิษแมงป่อง	47
4-3 รูปแบบโปรตีนโอมิกส์ของน้ำพิษตะขาบ	49
4-4 รูปแบบโปรตีนโอมิกส์ของน้ำพิษสัตว์กลุ่มต่อแตน	51
4-5 รูปแบบโปรตีนโอมิกส์ของน้ำพิษมดคันไฟ	53

4-6 รายละเอียดของโปรตีนและเอนไซม์ที่จำแนกได้จากน้ำพิษสัตว์	55
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 4	58

บทที่ 5 เอนไซม์ฟอสโฟลิเฟส 61

5-1 ชนิดของเอนไซม์ฟอสโฟลิเฟส	61
5-2 บทบาทของเอนไซม์ฟอสโฟลิเฟสในน้ำพิษสัตว์	63
5-3 เอนไซม์ฟอสโฟลิเฟสเอ-1	63
5-4 โครงสร้างปฐมภูมิของเอนไซม์ฟอสโฟลิเฟสเอ-1	63
5-5 บทบาทและหน้าที่ของบ่วงปีตา-5 บ่วงปีตา-9 และโดเมนฝาครอบ	69
5-6 แบบจำลองโฮโมโลยีของเอนไซม์ฟอสโฟลิเฟสเอ-1	69
5-7 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ฟอสโฟลิเฟสเอ-1	70
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 5	71

บทที่ 6 เอนไซม์ไฮยาลูโรเนส 73

6-1 คุณสมบัติเบื้องต้นของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสและกรดไฮยาลูโรนิก	73
6-2 บทบาทของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสในน้ำพิษสัตว์ในฟิล์มสัตว์ขาปล้อง	77
6-3 เอนไซม์ไฮยาลูโรเนสในน้ำพิษสัตว์	78
6-4 ตัวแทนโครงสร้างสามมิติของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสในน้ำพิษสัตว์	83
6-5 การทำงานของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนส	83
6-6 การประยุกต์ใช้เอนไซม์ไฮยาลูโรเนส	85
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 6	86

บทที่ 7 เพปไทด์ต้านจุลินทรีย์ 89

7-1 โครงสร้างระดับโมเลกุลของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	89
7-2 โครงสร้างสามมิติของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	92
7-3 กลไกการออกฤทธิ์ของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	93
7-4 ฤทธิ์และคุณสมบัติของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์ที่สำคัญ	96
7-5 อินทรอน (intron) ของยีนในตระกูลสคอร์พิน	108
7-6 การโคลนยีนและการเพิ่มจำนวนเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์ในอีคอไล	112
7-7 การประยุกต์ใช้เพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	114
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 7	115

บทที่ 8 เพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม 117

8-1 ช่องผ่านไอออนโซเดียม	117
8-2 ชนิดของช่องผ่านไอออนโซเดียม แบ่งตามหน่วยย่อยแอลฟา	118
8-3 เพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	118
8-4 ประเภทของเพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	120

8-5 การจัดแบ่งกลุ่มของเพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	120
8-6 การตรวจฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียมด้วยเทคนิคสรีรวิทยาไฟฟ้า	121
8-7 โครงสร้างระดับโมเลกุลของเพปไทด์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	123
8-8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่	127
8-9 การโคลนยีนของเพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	128
8-10 การประยุกต์ใช้เพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	128
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 8	129

บทที่ 9 เพปไทด์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม 131

9-1 ชนิดของช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม	131
9-2 โครงสร้างปฐมภูมิของเพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม	132
9-3 เป้าหมายของเพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม	136
9-4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโครงสร้างสามมิติและหน้าที่	136
9-5 ตัวอย่างการตรวจฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมด้วยเทคนิคสรีรวิทยาไฟฟ้า	137
9-6 การประยุกต์ใช้เพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม	139
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 9	140

บทที่ 10 มาสโทพาราน 141

10-1 โครงสร้างของมาสโทพาราน	141
10-2 คุณสมบัติทางชีวภาพของมาสโทพาราน	142
10-3 ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของมาสโทพาราน	143
10-4 ฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งของมาสโทพารานและอนุพันธ์	143
10-5 มาสโทพารานในวิถีสัญญาณเซลล์โดยผ่านโปรตีนจี	145
10-6 ฤทธิ์กระตุ้นการสร้างยอดแหลมใยประสาท	145
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 10	146

บทที่ 11 แอนติเจน-5 149

11-1 โครงสร้างปฐมภูมิของแอนติเจน-5	149
11-2 โครงสร้างสามมิติของแอนติเจน-5	149
11-3 ฤทธิ์ของโปรตีนในตระกูลแอนติเจน-5	150
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 11	151

บทที่ 12 บทสรุป วิเคราะห์ และอนาคตของงานวิจัยน้ำพิษ 153

12-1 สถานการณ์การใช้ประโยชน์ทรัพยากรทางชีวภาพในประเทศไทย	153
12-2 หลักสังเกตเพื่อการพัฒนาใช้ประโยชน์ทรัพยากรทางชีวภาพจากธรรมชาติ	154
12-3 คุณค่าของทรัพยากรอย่างหนึ่งของชาติ: น้ำพิษของสัตว์พิษ	154
12-4 แนวคิดเพื่อการประยุกต์ใช้อย่างยั่งยืน	155

12-5 แนวทางและวิธีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรทางชีวภาพกลุ่มโปรตีน เพปไทด์ และเอนไซม์ที่มีต้นกำเนิดจากน้ำพิษของสัตว์พิษ	157
12-6 ปัญหาของการใช้ประโยชน์โปรตีนและเอนไซม์จากน้ำพิษสัตว์	160
12-7 แนวทางการประยุกต์เพื่อการใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย	162
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 12	162

ดัชนี	163
ปัจจัยมลพิษ	183
ประวัติผู้เขียน	185

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1-1 สันฐานวิทยาโดยทั่วไปของสัตว์ขาปล้อง	2
รูปที่ 1-2 สันฐานวิทยาของแมงป่องข้าง	5
รูปที่ 1-3 ที่อยู่อาศัยของตัวต่อ	6
รูปที่ 1-4 สันฐานวิทยาของสัตว์ประเภทต่อ	7
รูปที่ 1-5 สันฐานวิทยาของต่อมน้ำพิษของสัตว์พิษในอันดับไฮเมนอปเทรา	7
รูปที่ 1-6 สันฐานวิทยาของมดคันไฟไทย	8
รูปที่ 1-7 ต่อมน้ำพิษและเหล็กในของมดคันไฟไทย	8
รูปที่ 1-8 สันฐานวิทยาของตะขาบ	9
รูปที่ 4-1 หลักการของเทคนิคโปรตีนโอมิคส์โดยใช้แมสสเปกโตรเมตรีเป็นพื้นฐาน	46
รูปที่ 4-2 ร้อยละของชนิดโปรตีนที่จำแนกได้จากรูปแบบโปรตีนโอมิคส์ของน้ำพิษแมงป่องเอเชียตะวันออก หรือแมงป่องจีน (<i>Mesobuthus martensii</i>)	48
รูปที่ 4-3 รูปแบบโปรตีนโอมิคส์ของน้ำพิษแมงป่องข้าง (<i>Heterometrus laoticus</i>)	49
รูปที่ 4-4 รูปแบบโปรตีนโอมิคส์ของน้ำพิษตะขาบ (<i>Scolopendra subspinipes dehaani</i>)	50
รูปที่ 4-5 รูปแบบโปรตีนโอมิคส์ของน้ำพิษต่อหัวเสือ (<i>Vespa affinis</i>) และต่อหลุม (<i>V. tropica</i>)	52
รูปที่ 4-6 รูปแบบองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำพิษมดคันไฟ	54
รูปที่ 4-7 โครงสร้างปฐมภูมิและโครงสร้างสามมิติของเฮเทอโรมที่อกซินต้นต่อ	57
รูปที่ 5-1 ตำแหน่งการเร่งการตัดของฟอสโฟลิเฟส	61
รูปที่ 5-2 โครงสร้างของฟอสโฟลิพิด	62
รูปที่ 5-3 ลำดับนิวคลีโอไทด์และลำดับกรดอะมิโนของฟอสโฟลิเฟสเอ-1 ในน้ำพิษต่อหัวเสือ (<i>Vespa affinis</i>)	65
รูปที่ 5-4 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของเอนไซม์ในกลุ่มลิเฟสและฟอสโฟลิเฟส	67
รูปที่ 5-5 พันธะไดซัลไฟด์ของฟอสโฟลิเฟสเอ-1 ในน้ำพิษต่อหัวเสือ (<i>Vespa affinis</i>)	68
รูปที่ 5-6 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของบ่งปีตา-5 บ่งปีตา-9 และโดเมนฝาครอบ	68
รูปที่ 5-7 แบบจำลองโฮโมโลยีของฟอสโฟลิเฟสเอ-1 จากน้ำพิษต่อหัวเสือ (<i>Vespa affinis</i>)	70

รูปที่ 6-1 โครงสร้างของกรดไฮยาลูโรนิก	74
รูปที่ 6-2 โครงสร้างเมทริกซ์ภายนอกเซลล์	75
รูปที่ 6-3 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสจากน้ำพิษของสัตว์พิษ	81
รูปที่ 6-4 การสร้างพันธะไดซัลไฟด์บนโมเลกุลของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสจากน้ำพิษต่อหลุม (<i>Vespa tropica</i>)	82
รูปที่ 6-5 โครงสร้างสามมิติของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนส	84
รูปที่ 6-6 การตรวจการทำงานของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนส	84
รูปที่ 7-1 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนและเพปไทด์ต้านแบคทีเรียจากน้ำพิษสัตว์ เพปไทด์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมและเพปไทด์ที่เกี่ยวข้อง	91
รูปที่ 7-2 กราฟแสดงระดับพลังงานอิสระของกิบส์ของหน่วยกรดอะมิโน	92
รูปที่ 7-3 แบบจำลองโมเลกุลในอุดมคติของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	94
รูปที่ 7-4 สมมุติฐานกลไกการออกฤทธิ์ของเพปไทด์ต้านจุลินทรีย์	96
รูปที่ 7-5 แมงป่องจักรพรรดิ (<i>Pandinus imperator</i>)	99
รูปที่ 7-6 ลำดับนิวคลีโอไทด์และลำดับกรดอะมิโนของสคอร์พิน	99
รูปที่ 7-7 แมงป่องนักขุดแห่งแอฟริกา (<i>Opisthophthalmus carinatus</i>)	100
รูปที่ 7-8 ลำดับนิวคลีโอไทด์และลำดับกรดอะมิโนของยีนและเพปไทด์โอพิสคอร์พิน	102
รูปที่ 7-9 โครงสร้างสามมิติของเพปไทด์โอพิสคอร์พิน	104
รูปที่ 7-10 แมงป่องช้าง (<i>Heterometrus laoticus</i>)	104
รูปที่ 7-11 ลำดับนิวคลีโอไทด์และลำดับกรดอะมิโนของยีนและเพปไทด์เฮเทอโรสคอร์พิน-1	106
รูปที่ 7-12 โครงสร้างทุติยภูมิและโครงสร้างสามมิติของเพปไทด์เฮเทอโรสคอร์พิน	107
รูปที่ 7-13 แผนภูมิแสดงยีนเฮเทอโรสคอร์พินและยีนโอพิสคอร์พิน	109
รูปที่ 7-14 การจัดเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนเฮเทอโรสคอร์พินและโอพิสคอร์พิน เมื่อเปรียบเทียบกันเฉพาะลำดับที่ปลาย 3' ของอินทรอน-1 และบริเวณไม่แปลรหัส	109
รูปที่ 7-15 การจัดเรียงลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีนเฮเทอโรสคอร์พินและโอพิสคอร์พิน เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะอินทรอน-2	110
รูปที่ 7-16 การออกแบบไพรเมอร์สำหรับปฏิกิริยาพีซีอาร์ เพื่อการเพิ่มจำนวนยีน เฮเทอโรสคอร์พิน	113
รูปที่ 7-17 คอนสตรัคชันของยีนเฮเทอโรสคอร์พิน	113
รูปที่ 8-1 โครงสร้างของช่องผ่านไอออนโซเดียม	118
รูปที่ 8-2 การจำลองผลได้จากการทดสอบการยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียมของ เพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	122
รูปที่ 8-3 ตัวอย่างของการตรวจฤทธิ์ทางสรีรวิทยาไฟฟ้าของเพปไทด์ ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	122
รูปที่ 8-4 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของเพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	125
รูปที่ 8-5 ลำดับนิวคลีโอไทด์บนเส้นดีเอ็นเอจีโนม และลำดับกรดอะมิโนอนุมานของ เพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	126
รูปที่ 8-6 อินทรอนของเพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	126
รูปที่ 8-7 ตัวอย่างโครงสร้างสามมิติของเพปไทด์ออกฤทธิ์ต่อช่องผ่านไอออนโซเดียม	127

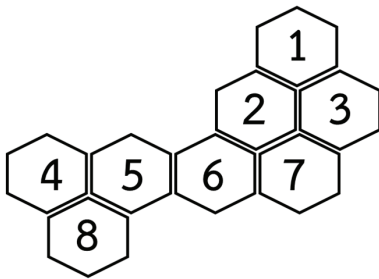
รูปที่ 8-8 แผนภูมิแสดงโครงสร้างยื่นของเพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโซเดียม	128
รูปที่ 9-1 โครงสร้างของช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมชนิดโวลเทจเกต	133
รูปที่ 9-2 การจัดเรียงลำดับกรดอะมิโนของเพปไทด์ออกฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม	135
รูปที่ 9-3 โครงสร้างสามมิติของคาร์โบบอกซิน	136
รูปที่ 9-4 ฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมของเพปไทด์ Ts6 จาก น้ำพิษแมงป่องบราซิลสีเหลือง (<i>Tityus serrulatus</i>)	138
รูปที่ 9-5 ฤทธิ์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมของเพปไทด์ Ts7 จาก น้ำพิษแมงป่องบราซิลสีเหลือง (<i>Tityus serrulatus</i>)	139
รูปที่ 10-1 โครงสร้างและการก่อเกลียวแอลฟาของมาสโทพาราน	142
รูปที่ 10-2 โครงสร้างทางเคมีของกรดแอลฟาอะมิโนโอโซบิวไทริก	144
รูปที่ 10-3 การทำงานของมาสโทพารานในวิถีสัญญาณเซลล์	146
รูปที่ 11-1 การเปรียบเทียบลำดับกรดอะมิโนของโปรตีนในตระกูลแอนติเจน-5	150
รูปที่ 11-2 โครงสร้างสามมิติของ poly p 5	151
รูปที่ 12-1 แผนภูมิภาพรวมของงานวิจัยน้ำพิษของสัตว์พิษ	156
รูปที่ 12-2 ขึ้นบันได 20 ปี ของงานวิจัยองค์ประกอบในน้ำพิษของสัตว์พิษ	156
รูปที่ 12-3 แผนภูมิของการศึกษาโปรตีนและเอนไซม์จากน้ำพิษของสัตว์พิษ	157
รูปที่ 12-4 ตัวอย่างฐานข้อมูลและเว็บไซต์เพื่อการเก็บรักษา เผยแพร่ และเข้าถึงข้อมูล	158-159

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ขนาดทำให้ตายครึ่งหนึ่งของสารพิษหรือน้ำพิษเมื่อให้กับหนูทดลอง	16
ตารางที่ 2-2 ชนิดของพิษในตำราสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ต้านต่อพิษงูและพิษแมลงสัตว์กัดต่อย	23
ตารางที่ 3-1 โปรตีนหรือเพปไทด์จากน้ำพิษสัตว์ที่ได้รับการพัฒนาใช้ประโยชน์	29
ตารางที่ 3-2 ฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างซับซ้อนขององค์ประกอบชนิดต่าง ๆ ที่มีในน้ำพิษหอยเต้าปูน (<i>Conus</i> sp.)	32
ตารางที่ 3-3 โปรตีนและเพปไทด์ที่พบในน้ำพิษผึ้งและต่อ	34
ตารางที่ 4-1 ชนิดของโปรตีนที่จำแนกได้จากรูปแบบโปรตีนโอมิกส์ของน้ำพิษตะขาบ	50
ตารางที่ 5-1 ฟอสโฟลิเพสเอ-1 ที่พบในน้ำพิษของสัตว์กลุ่มไฮเมนอพเทรา	64
ตารางที่ 6-1 มวลโมเลกุลและค่าพีไอของพหุเมหะของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนส จากน้ำพิษของสัตว์พิษอันดับไฮเมนอพเทรา	77
ตารางที่ 6-2 ฤทธิ์การทำลายล้างของแอนติบอดีที่จำเพาะต่อเอนไซม์ไฮยาลูโรเนส จากน้ำพิษต่อหลุม (<i>Vespa tropica</i>)	78
ตารางที่ 6-3 การเกิดไกลโคซิเลชันชนิดเอ็นทีหมู่ข้างอะมิโนของกรดอะมิโนชนิดแอสพาราจีน ของเอนไซม์ไฮยาลูโรเนสจากน้ำพิษของสัตว์พิษ	82
ตารางที่ 7-1 จำนวนประจุสุทธิของฟอสโฟลิพิดชนิดต่าง ๆ	94
ตารางที่ 7-2 ร้อยละความคล้ายของลำดับนิวคลีโอไทด์ของอินทรอน-2 ของ ยีนเฮเทอโรสคอร์พินกับโอฟิสคอร์พิน	111

ตารางที่ 7-3	ไพรมอร์เดินหน้าและไพรมอร์ย้อนกลับเพื่อการเพิ่มจำนวนยีนเฮเทอโรสคอร์พิน ด้วยเทคนิคพีซีอาร์ โดยใช้ดีเอ็นเอจีโนมเป็นแม่แบบ	112
ตารางที่ 8-1	ชนิดของช่องผ่านไอออนโซเดียม	119
ตารางที่ 8-2	อาการผิดปกติทางพันธุกรรมจากการกลายของยีนช่องผ่านไอออนโซเดียม	129
ตารางที่ 9-1	ตัวอย่างช่องผ่านไอออนโพแทสเซียมชนิดโวลเตจเกต รวมทั้งการแสดงออกในเนื้อเยื่อต่าง ๆ	134
ตารางที่ 9-2	โอกาสของการพัฒนาเพปไทด์ยับยั้งช่องผ่านไอออนโพแทสเซียม ในการรักษาอาการผิดปกติ	140
ตารางที่ 10-1	ลำดับกรดอะมิโนและฤทธิ์ของมาสโทพารานและอนุพันธ์	144

จากปกหน้า



1. แมงป่องทุกชนิดเรืองแสงภายใต้แสงเหนือม่วงความยาวคลื่นยาว เรื่องราวของแมงป่องและน้ำพิษ แมงป่องสามารถติดตามอ่านได้ทั้งเล่ม
2. ต่อหัวเสือ ทำรังบนต้นไม้ นับเป็นสัตว์พิษที่มีอันตรายอย่างยิ่ง น้ำพิษมีความหลากหลายทั้งองค์ประกอบและคุณสมบัติ รายละเอียดติดตามได้ในเนื้อหาตลอดทั้งเล่ม
3. โครงสร้างเกลียวแอลฟา นับเป็นโครงสร้างทุติยภูมิที่สำคัญต่อฤทธิ์ของเพปไทด์ ทั้งฤทธิ์ด้านจุลินทรีย์ และฤทธิ์อื่น ๆ รายละเอียดสามารถติดตามได้ในหน้า 93 และ 142
4. และ 8. โครงสร้างสามมิติของโปรตีนสามารถคาดเดาได้จากการจำลองโฮโมโลยีจากลำดับกรดอะมิโนที่ค้นพบหรือสืบค้นได้ ด้วยซอฟต์แวร์ที่สามารถเข้าถึงได้ไม่ยาก รายละเอียดดูได้จากรูปสามมิติของโปรตีนที่คาดเดาไว้อย่างหลากหลายในหน้า 57, 70, 84, 107 เป็นต้น
5. โครงสร้างปฐมภูมิ (ลำดับกรดอะมิโน) ของพอลิเพปไทด์ชนิดต่าง ๆ ที่ค้นพบหรือสืบค้นได้ ถูกนำมาจัดเรียงเพื่อศึกษาความเหมือน ความคล้าย คุณสมบัติเชิงโครงสร้างอย่างหลากหลาย ดังรายละเอียดในหน้า 67, 81, 91 เป็นต้น
6. อิเล็กโทรโฟรีซิสพอลิอะคริลาไมด์เจลแบบสองมิติ เป็นเทคนิคย่อยของเทคนิคโปรตีนโอมิกส์โดยใช้แมสสเปกโตรเมตรีเป็นพื้นฐาน โปรตีนแต่ละจุด สามารถนำไปจำแนกชนิดได้ในที่สุด ติดตามได้ในหน้า 44 เป็นต้นไป
7. อนาคตของสัตว์พิษ และงานวิจัยด้านพิษสัตว์ ยังเป็นช่องว่างที่ไม่มีใครสามารถให้คำตอบได้ชัดเจนนัก รายละเอียดติดตามได้ในบทที่ 12

1

ความรู้พื้นฐานเรื่องสัตว์พิษในไฟลัมสัตว์ขาปล้อง Venomous Arthropod: Basic Information

สัตว์ขาปล้อง (arthropod) เป็นชื่อของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในไฟลัมอาร์โทรพoda (phylum Arthropoda) ซึ่งเป็นไฟลัมที่มีจำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิตมากที่สุดหลายแสนชนิด (species) หรือสัตว์ในอาณาจักรสัตว์กว่าร้อยละ 80 อยู่ในไฟลัมนี้ ส่วนใหญ่เป็นแมลง นอกจากนี้มี แมง ไร ตะขาบ กิ้งกือ กุ้ง ปู เป็นต้น พบการกระจายตัวของสัตว์ขาปล้อง ในเกือบทุกรูปแบบของภูมิอากาศและธรณีวิทยา ทั้งในน้ำ บนบก หรือแม้แต่บินได้ในอากาศ ด้วยการปรับตัวทางวิวัฒนาการอย่างหลากหลาย

ลักษณะสำคัญทางกายวิภาคศาสตร์ของสัตว์ในไฟลัมนี้คือ การมีเปลือกแข็งเป็นปล้อง ๆ ห่อหุ้มนอกร่างกาย ซึ่งองค์ประกอบหลักของเปลือกแข็ง คือ ไคติน (chitin) เกาะตัวอยู่กับโปรตีน ร่างกายแบ่งได้ออกเป็นส่วน (segment) และแต่ละส่วนจะมียางค์ (appendage) ซึ่งเป็นข้อปล้องยื่นออกมา 1 คู่ จึงได้ชื่อว่า arthropod ซึ่งในภาษาไทย ราชบัณฑิตยสถานกำหนดให้ใช้คำว่า “สัตว์ขาปล้อง” สัตว์ขาปล้องเป็นสัตว์ขนาดเล็ก แมงปู กุ้ง แมลงและแมงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดก็มีน้ำหนักตัวในหลักกรัมเท่านั้น

1-1 ความสำคัญของสัตว์ขาปล้อง

สัตว์ขาปล้องมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อมนุษย์ สัตว์ขาปล้องขนาดใหญ่ เช่น กุ้ง ลอบสเตอร์ และปู เป็นอาหารเลิศรสของผู้คนทั่วโลก สัตว์ขาปล้องไฟลัมย่อยครัสเตเชียขนาดเล็กเช่น โคพีพอด (copepod) ไรน้ำ เคย (กุ้งตัวเล็ก) นับเป็นสิ่งมีชีวิตในช่วงล่าง ๆ ของห่วงโซ่อาหาร แม้สัตว์ขาปล้องจำนวนมากจะได้ชื่อว่าเป็นศัตรูพืช เป็นปัญหากับพืชเศรษฐกิจ ผลผลิตทางการเกษตรและการทำไม้ แต่ก็มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อสิริกรรม รวบรวมในสามของพืชประเภทไม้ดอก ต้องการแมลงเพื่อช่วยผสมเกสร รวมทั้งบางชนิดยังจำเป็นต่อการสร้างฮิวมัสให้กับดินเพื่อการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย

ภัยจากสัตว์ขาปล้องที่ต้องกล่าวถึงในทุกตำราหรือบทความ ก็คือ อาการจากการได้รับน้ำพิษภายหลังการตอมหรือกัดของสัตว์พิษในไฟลัมนี้ บางชนิดก่ออาการเจ็บปวดทรมาน บางชนิดก่ออันตรายถึงชีวิต นอกจากนี้ ก็มีอันตรายจากการเป็นพาหะนำโรค หลัก ๆ ก็ได้แก่ ไข้มาลาเรีย ไข้เหลือง ไข้เลือดออก โรคเท้าช้าง โดยเฉพาะกาฬโรค ซึ่งนำโรคโดยเห็บหนู ก็เคยก่อโศกนาฏกรรมให้กับยุโรปมาแล้วในอดีต

1-2 โครงสร้างและรูปร่างของสัตว์ขาปล้อง

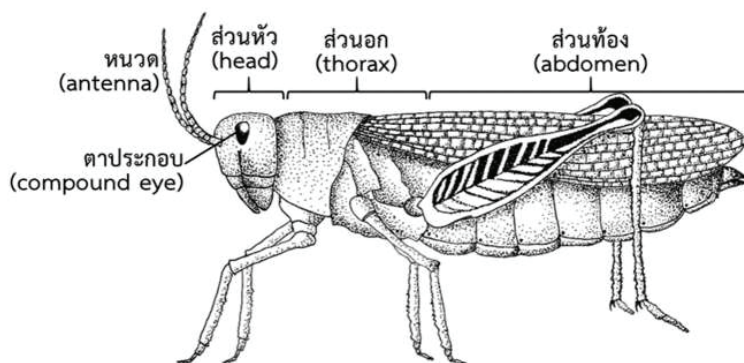
สัตว์ขาปล้องจะมีลักษณะของลำตัวเป็นปล้อง ๆ บางจำพวกนั้นสามารถแยกส่วนต่าง ๆ ของร่างกายออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนหัว (head) ส่วนอก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen) (รูปที่ 1-1) แต่ก็มีสัตว์ขาปล้องบางจำพวกที่มีส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพียงแค่ 2 ส่วน คือ มีส่วนหัวกับส่วนอกติดกัน และมีส่วนท้อง สัตว์ขาปล้องมีอวัยวะรับความรู้สึกที่ดี เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างรวดเร็ว และหาอาหารได้อย่างง่ายดาย จึงสามารถอาศัยอยู่เกือบทุกแห่งของโลก

โครงสร้างและรูปร่างของสัตว์ขาปล้องพัฒนาขึ้นมาในขั้นตอนของวิวัฒนาการด้วยลักษณะเฉพาะตน ที่ไม่อาจเทียบกันได้เลยกับสัตว์เลื้อยคลานด้วยนม หรืออื่น ๆ ด้วยเปลือกแข็งอินทรีย์มีชีวิตที่ทำหน้าที่ทั้งการปกป้องและด้วยการทำงานร่วมกับกล้ามเนื้อ ช่วยให้การเคลื่อนไหวเต็มไปด้วยประสิทธิภาพ เปลือกหุ้มชั้นนอกสุดคือชั้น เอพิคิวทิเคิล (epicuticle) เป็นชั้นโปรตีนบาง ๆ ขยับเข้ามาภายในเป็นชั้นโปรคิวทิเคิล (procuticle) ซึ่งเป็น

ชั้นโปรตีนหนากว่า ประกอบไปด้วยโปรตีนและไคติน ในสัตว์ขาปล้องซึ่งอาศัยอยู่บนบก เช่น แมลงทั้งหลาย และแมงมุม ที่ชั้นเอพิคิวทิเคิล จะมีซีซีงเคลือบอยู่ เพื่อลดการสูญเสียน้ำ

ในชั้นโพรคิวทิเคิล จะประกอบด้วยส่วนนอกคือ เอ็กโซคิวทิเคิล (exocuticle) และส่วนในคือ เอนโดคิวทิเคิล (endocuticle) พบว่า เอ็กโซคิวทิเคิลมีการเชื่อมข้าม (crosslink) ของสายโปรตีนไคติน เรียกว่า แทนนิง (tanning) ซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของเปลือกหุ้ม สัตว์ในไฟลัมนี้ จึงมีความแข็งแรงของเปลือกหุ้มแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความหนาของเอ็กโซคิวทิเคิล และระดับของแทนนิง ยังมีการเชื่อมข้ามกันมากเพียงใด โครงสร้างก็ยิ่งแข็งแรงมาก และในสัตว์ขาปล้องบางชนิดจะเสริมความแข็งแรงของเปลือกนอกด้วยหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนตอีกด้วย

สิ่งที่น่าสนใจในวิวัฒนาการสำหรับการแก้ปัญหาโครงสร้างที่ห่อหุ้มตัวสัตว์ขาปล้อง ซึ่งมีความแข็งแรงราวกับเกราะเหล็กหุ้มลำตัว คอยขัดขวางการเจริญเติบโตและการขยายตัวเพื่อเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว แต่สัตว์ขาปล้องสามารถแก้ปัญหาเรื่องการขยายขนาดร่างกายขณะเจริญเติบโตได้ด้วยการลอกคราบ (molting) โดยการสลัดเอาเปลือกหุ้มเก่าทิ้งไปเมื่อครบระยะเวลาได้อย่างง่ายดาย โดยที่เซลล์ภายใต้เปลือกหุ้มสามารถหลั่งเอนไซม์ เพื่อเร่งการย่อยสลายส่วนฐานของเปลือกหุ้มอันเก่าให้หลุดออกรวากับถอดเสื้อเกราะ แล้วสร้างเปลือกหุ้มชั้นใหม่ภายใต้เปลือกหุ้มชั้นเก่าได้อย่างสมบูรณ์แบบ



รูปที่ 1-1 สันฐานวิทยาโดยทั่วไปของสัตว์ขาปล้อง พบว่ามี 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนหัว (head) ส่วนอก (thorax) และส่วนท้อง (abdomen)

1-3 การเปลี่ยนสัณฐาน

การเปลี่ยนสัณฐาน (metamorphosis) เป็นพัฒนาการทางชีววิทยาของร่างกายสัตว์ชนิดนั้น ตั้งแต่เกิดหรือภายหลังการฟักออกจากไข่ จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของร่างกาย ทั้งการเจริญเติบโต พัฒนาการ และพฤติกรรมการดำรงชีวิต สำหรับสัตว์ขาปล้อง มีการเปลี่ยนสัณฐานเป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนสัณฐานเป็นลำดับขั้น (gradual metamorphosis) มีการเปลี่ยนแปลงทีละน้อย จากไข่ (egg) เป็นตัวอ่อน (nymph) และตัวเต็มวัย (adult) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ค่อยเด่นชัด ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยมักมีสัณฐานเหมือนกัน ยกเว้นบางลักษณะ เช่น ปีก สี อวัยวะสืบพันธุ์ สัตว์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แมลงสาบ ตั๊กแตน จิ้งหรีด เหย็บ หิด ไรไก่ ปลวก มวน แมงป่อง ตะขาบ เป็นต้น

2. การเปลี่ยนสัณฐานแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete metamorphosis) มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ขั้นตอนคือ จากไข่ (egg) เป็นตัวอ่อน (naiad) และตัวเต็มวัย (adult) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดทั้งขนาด

พัฒนาการ และพฤติกรรม ตัวอย่างเช่น ตัวอ่อนไม่มีปีก อาศัยอยู่ในน้ำ ใช้เหงือกในการหายใจ แต่ตัวเต็มวัยมีปีก อาศัยอยู่บนบก ใช้ท่อลมในการหายใจ สัตว์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แมลงปอ ชีปะขาว เป็นต้น

3. การเปลี่ยนสัณฐานแบบสมบูรณ์ (complete metamorphosis) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดทั้งขนาด พัฒนาการ และพฤติกรรม ครบทั้ง 4 ขั้นตอน คือ จากไข่ (egg) เป็นตัวหนอน (larva) ดักแด้ (pupa) และตัวเต็มวัย (adult) สัตว์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ผีเสื้อ ตั๊กแตน ผีเสื้อ ยุง แมลงวัน มด แมลงหวี่ เป็นต้น

1-4 สัตว์พิษในฟาร์มสัตว์ขาปล้อง

สัตว์ขาปล้องมีวิวัฒนาการไปอย่างหลากหลาย และมีจำนวนหนึ่ง มีพัฒนาการให้มีการสร้างน้ำพิษเพื่อการอยู่รอด วิวัฒนาการดังกล่าว นับเป็นวิวัฒนาการขั้นสูง เนื่องจากน้ำพิษมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน หากเปรียบกับสัตว์เลื้อยคลาน ภูษิกก็จัดได้ว่าเป็นสัตว์ที่มีวิวัฒนาการสูงสุดในบรรดาสัตว์เลื้อยคลานทั้งหลาย สัตว์พิษในฟาร์มสัตว์ขาปล้องมีจำนวนมาก แต่จะขอกล่าวถึงเฉพาะกลุ่มที่มีการศึกษากันมาก ได้แก่ แมงป่อง ตะขาบ ต่อหัวเสือ ต่อหลุม และมดคันไฟ

1-5 แมงป่อง

1-5-1 ลักษณะทั่วไปของแมงป่อง

แมงป่องเป็นสัตว์ขาปล้องอยู่ในอันดับ (order) Scorpiones หรือ Scorpionida มี 9 วงศ์ (family) จำนวนราว 1500 ชนิด (species) จัดเป็นสัตว์ประเภทแมง (arachnid) แมงป่องเป็นสัตว์พิษที่มีมาตั้งแต่ครั้งยุคดึกดำบรรพ์ ยืนยันได้จากการค้นพบฟอสซิลของแมงป่องที่มีอายุถึง 440 ล้านปี เป็นแมงที่เก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่งแทบไม่เปลี่ยนแปลงด้านสัณฐานวิทยาตลอดระยะเวลานับหลายร้อยล้านปี สามารถปรับตัวได้ง่าย จึงสามารถอาศัยอยู่ได้ในแทบทุกสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นเขตหนาว เขตอบอุ่น เขตกึ่งร้อน หรือเขตร้อน และแทบทุกสภาพภูมิประเทศ เช่น ป่าดิบชื้น ภูเขาสูง ทะเลทราย ทะเลทราย หรือในป่าดิบชื้น จึงพบในผืนแผ่นดินทุกทวีป ยกเว้นกรีนแลนด์ และแอนตาร์กติก แมงป่องโดยทั่วไปออกหากินในเวลากลางคืน และทุกชนิดพบการเรืองแสงของผิวหนังเมื่ออยู่ภายใต้แสงอุตราไวโอเล็ตชนิดความยาวคลื่นยาว (long wavelength UV)

แมงป่องนับว่าเป็นสัตว์ขาปล้องบนบกที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีขนาดโดยเฉลี่ย 6 เซนติเมตร หรือ 2.5 นิ้ว เพศผู้และเพศเมียแยกจากกันโดยยาก แม้ว่าบางชนิด (species) ตัวผู้จะมีรูปร่างพอมเพรียวกว่า และมีหางยาวกว่าเพศเมีย แมงป่องส่วนใหญ่ที่พบในเขตทะเลทราย และเขตแห้งแล้งต่าง ๆ มักจะมีลำตัวสีเหลือง หรือน้ำตาลอ่อน แต่ที่พบในป่าชื้นหรือภูเขา ส่วนใหญ่จะมีสีดำหรือน้ำตาล ด้านสัณฐานวิทยา แมงป่องมีรูปร่างในแนวยาวมากกว่าแนวกว้าง ร่างกายแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนหัวและหน้าอกอยู่รวมกันเรียกว่า โปรโซมา (prosoma) ส่วนถัดมาคือ มีโซโซมา (mesosoma) และส่วนหางเรียวยาว เรียกว่า เมตาโซมา (metasoma) ในส่วนโปรโซมามีก้ามใหญ่ (pedipalps หรือ pincers) ใช้จับเหยื่อ (รูปที่ 1-2ก) ส่วนเมตาโซมามีหางเป็นข้อปล้อง โค้งยาว อยู่ตรงส่วนหลังของร่างกาย ส่วนปลายหางมีเหล็กใน (stinging apparatus หรือ stinger) ซึ่งเชื่อมต่อกับต่อมน้ำพิษ

แมงป่องที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาแมงป่องทั้งหลาย คือ แมงป่องจักรพรรดิ (emperor scorpion) (*Pandinus imperator*) พบในแถบสาธารณรัฐกินี ทางตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปแอฟริกา มีขนาดตั้งแต่ปลายหัวจรดปลายหาง 18 เซนติเมตร หรือ 7 นิ้ว และมีน้ำหนักตัว 60 กรัม

แมงป่องชนิดที่มีพิษร้ายแรงมีราว 50 ชนิด บางชนิดมีพิษรุนแรงมาก เช่น แมงป่องในสกุล (genus) *Centruroides* พบในรัฐออริโซนา สหรัฐอเมริกา และเม็กซิโก พิษของมันสามารถทำให้เด็กและผู้สูงอายุที่ถูกต้องเสียชีวิตได้ แมงป่องที่มีพิษรุนแรงสกุลอื่น ได้แก่ สกุล *Tityus* ในบราซิล และสกุล *Androctonus* ในทะเลทรายสะฮารา เป็นต้น

1-5-2 ต่อมน้ำพิษของแมงป่อง

ต่อมน้ำพิษ (venom gland) ของแมงป่องอยู่ที่ส่วนปลายหางที่เรียกว่า ปล้องพิษ (telson) มีลักษณะพองกลมปลายเรียวแหลม มีรูปร่างคล้ายกับพระจันทร์เสี้ยว หรือหยดน้ำกลับหัว (รูปที่ 1-2ข) พบมีเส้นขน (hair) เล็กๆ จำนวนมากมายที่ปล้องพิษ เพื่อรับความเคลื่อนไหวของอากาศ ภายในปล้องพิษมีต่อมน้ำพิษ 2 ต่อม แต่ละต่อมมีท่อน้ำพิษ (venom duct) ซึ่งจะนำน้ำพิษ (venom) ผ่านทางรูของต่อมน้ำพิษไปยังเหล็กใน (stinging apparatus หรือ stinger) ซึ่งอยู่ที่ปลายสุดของปล้องพิษ

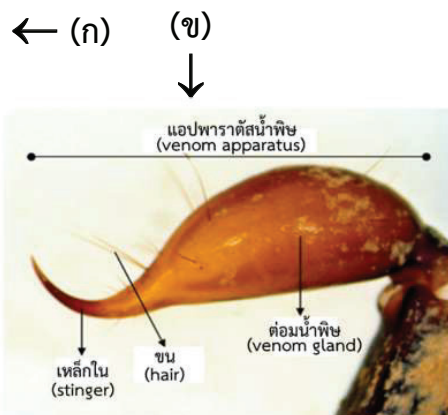
1-5-3 แมงป่องในประเทศไทย

ในประเทศไทย แมงป่องที่พบบ่อยมากที่สุด คือ แมงป่องในอันดับ Scorpiones (หรือ Scorpionida) วงศ์ Scorpionidae สกุล *Heterometrus* ได้แก่ แมงป่องข้าง (*H. laoticus*) พบทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย และแมงป่องข้างก้ามยาว (*H. longimanus*) และแมงป่อง (*H. cinnamoni*) ในแหลมมลายู แมงป่องในสกุลนี้มีขนาดใหญ่ ร่างกายมีสีดำสนิท ขนาด 9-12 เซนติเมตร น้ำหนักตัว 10-12 กรัม มีอายุ 3-5 ปี และแยกชนิด (species) จากกันได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีแมงป่องที่อยู่ในวงศ์ Buthidae สกุล *Isometrus* มักพบตามบ้านเรือน ชอบตัวตามร่องไม้ เปลือกไม้ มีสีน้ำตาลอ่อน และมีลายดำหรือน้ำตาลคด จึงเรียกว่าแมงป่องลาย (striped scorpion) ยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร

แมงป่องข้างก้ามยาว (*H. longimanus*) นับเป็นแมงป่องในสกุล *Heterometrus* ชนิดแรกที่ได้รับ ความสนใจในการศึกษาในเรื่องน้ำพิษ โดยศาสตราจารย์โกปาลาคริชนาโคน พอนนาพาลาม (Professor Gopalakrishnakone Ponnampalam) หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อย่อว่า “โพรเฟสเซอร์โกปาล” แห่งภาควิชา กายวิภาคศาสตร์และโปรแกรมวิจัยน้ำพิษและสารพิษ คณะแพทยศาสตร์แห่งยงลูลิน (Yong Loo Lin) มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ผลงานของท่านมีการตีพิมพ์มากมายเกี่ยวกับน้ำพิษแมงป่องชนิดนี้

แมงป่องข้างเป็นสัตว์มีเปลือกแข็งหุ้ม ลำตัวเรียว มีขาจำนวน 4 คู่ และก้ามใหญ่ (pedipalps) 1 คู่ บน ส่วนโพโซมา มีตาบนหัวหนึ่งคู่ และตาข้างอีก 3 คู่ ตรงปากมีก้ามเล็ก (chelicera) 1 คู่ ส่วนมีโซโซมา (รูปที่ 1-2ก) ประกอบด้วยปล้อง 7 ปล้อง ด้านหน้าท้องมีอวัยวะสำคัญคือช่องสืบพันธุ์ (genital operculum) และมี อวัยวะที่เรียกว่าเพกไทน์ (pectines) หรือเพกเท็น (pectens) 1 คู่ มีรูปร่างคล้ายหวี ทำหน้าที่รับความรู้สึกจาก การสั่นของพื้นดิน ส่วนเมตาโซมาประกอบด้วยปล้อง 5 ปล้องกับปล้องพิษ บรรจุต่อมน้ำพิษ มีเข็มที่ใช้ต่อ ยเรียกว่า เข็มพิษ หรือเหล็กใน

แม้ว่าแมงป่องมีตาหลายคู่ แต่มีประสิทธิภาพการมองเห็นต่ำมาก และไม่ไวพอจะรับแสงกระพริบได้ เช่น แสงแฟลชจากกล้องถ่ายรูป และต้องใช้เวลานานในการปรับตัวให้ตอบสนองต่อแสง สังเกตได้เมื่อนำถูกนำ ออกจากที่มืด ต้องใช้เวลาไม่นานที่จึงจะเริ่มเคลื่อนไหว ข้อต่อของขาได้ถูกทดแทนด้วยสิ่งอื่น ซึ่งพบว่า หัวตัวแมงป่องปกคลุมด้วยเส้นขนนับไม่ถ้วน โดยเฉพาะบริเวณปล้องพิษ ขนเหล่านี้รับรู้ความรู้สึกจากการ เคลื่อนไหวของอากาศ ทำให้แมงป่องไวต่อเสียง และตอบสนองอย่างรวดเร็ว กล่าวคือจะชูหางขึ้นขึ้นทันทีเมื่อมี เสียง มีการเคลื่อนไหวของสิ่งรอบตัว มีเหยื่อหรือศัตรูเข้ามาใกล้



รูปที่ 1-2 สัณฐานวิทยาของแมงป่องข้าง (ก) สัณฐานวิทยากายนอกของแมงป่องข้าง (ข) สัณฐานวิทยาของ ป้องพิษของแมงป่อง ซึ่งภายในมีต่อมน้ำพิษและน้ำพิษ เชื่อมต่ออยู่กับเข็มพิษหรือเหล็กใน (ด้กดา ดาตวง และ นันทวัน เอื้อวงศ์กุล, 2547; Yigit และ Benli, 2010)

1-6 สัตว์พิษอันดับไฮเมนอพเทรา

ไฮเมนอพเทราเป็นชื่ออันดับ (order Hymenoptera) ของสัตว์กลุ่มผึ้ง ต่อ แตน และมด มีราว 150,000 ชนิดที่ยังพบได้ในปัจจุบัน และเป็นสัตว์พิษอยู่ในหลักกราวร้อยละ 10 ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะชนิดที่มี พิษร้ายแรงที่เป็นที่รู้จักกันดีในประเทศไทย ได้แก่ ต่อหัวเสือ ต่อหลุม และมดคันไฟ

1-6-1 ต่อหัวเสือ (*Vespa affinis*) และต่อหลุม (*V. tropica*)

1-6-1-1 ลักษณะทั่วไป

ต่อสกุล *Vespa* ที่พบในประเทศไทย มีหลายชนิด มีชื่อเรียกหลากหลาย เช่น ต่อหัวเสือ ต่อรัง ต่อหลุม ต่อขวด ต่อหลุม เป็นต้น ส่วนในภาษาอังกฤษใช้คำว่า hornet หรือ social wasp เป็นแมลงสังคมขนาดใหญ่ อยู่รวมกันเป็นฝูง เป็นแมลงที่มีวิวัฒนาการสูงเช่นเดียวกับผึ้ง ทำรังอยู่ตามชายคาบ้านเรือน บนต้นไม้ หรือใต้ดิน ก็แล้วแต่ชนิด (รูปที่ 1-3) โดยใช้เศษไม้และวัสดุอื่นๆ เช่น ขี้วัว หรือขี้ควาย เป็นต้น ผสมกับน้ำลายของตัวเอง แล้วใช้กรรมช่วยบดจนละเอียด จากนั้น จึงนำวัสดุที่มีส่วนผสมเหล่านั้นไปสร้างรังที่มีรูกลวง ในขั้นเริ่มต้น ตัวต่อนางพญาจะสร้างรังเพียงลำพัง รังของต่อหัวเสียมักอยู่ตามกิ่งไม้ หรือชายคาบ้าน ส่วนรังของต่อหลุมนั้น สร้างอยู่ในโพรงใต้ดิน (รูปที่ 1-3) รังที่ต่อนางพญาสร้างจะมีลักษณะคล้ายคนโทคว่ำ หรือขวดคว่ำ เรียกว่า รังนางพญา (queen nest) ภายในรังนางพญาประกอบด้วยชั้น (comb) เพียงชั้นเดียว ซึ่งเกิดจากช่องเซลล์ รูปหกเหลี่ยม ประมาณ 15-20 เซลล์เรียงต่อกันเป็นวง ต่อนางพญาต้องทำหน้าที่ทุกอย่างคือ วางไข่ หาอาหาร ดูแลตัวอ่อน ป้องกันรัง รวมทั้งซ่อมแซมรัง เมื่อตัวอ่อนเจริญออกเป็นตัวจะกลายเป็นต่องาน แล้วรับภาระต่าง ๆ จากนางพญา ต่อนางพญาจะทำหน้าที่อย่างเดียว คือวางไข่ ต่องานจะทำหน้าที่ขยายรัง โดยการเพิ่มจำนวนชั้น ให้มากขึ้น ในระยะสุดท้ายก่อนที่จะทิ้งรัง ต่อนางพญาจะบังคับให้ตัวอ่อน เป็นต่อตัวผู้เพื่อไว้ผสมพันธุ์กับ ต่อนางพญาตัวใหม่ที่จะเกิดขึ้น

เมื่อรังต่อหัวเสือขยายใหญ่ขึ้น จะมีลักษณะเด่น ตรงที่เปลือกหุ้มมีรูกลวงหลายรู ในรังบางครั้งมี สมาชิกถึงกว่า 5,000 ตัว รังต่อหัวเสียมักมีทางเข้า-ออก เพียงทางเดียว และมีต่องานคอยเฝ้ายามตลอดเวลา ใน

ระยะนี้ภายในรัง จะประกอบไปด้วยช่องเซลล์รูปหกเหลี่ยมเรียงต่อเนื่องกันเป็นวงคล้ายจานบินซ้อนกันเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีแกนยึดติดกับชั้นอื่น ชั้นบนสุดคือชั้นที่นางพญาสร้างไว้แต่เดิม และในแต่ละเซลล์มีไข่ ตัวอ่อน และดักแด้ อยู่กันเต็มช่องเซลล์



รูปที่ 1-3 ที่อยู่อาศัยของตัวต่อ (ก และ ข) รังของต่อหัวเสือแขวนบนต้นไม้ (ค) รังของต่อหลุมอยู่ในโพรงใต้ดิน รูปแสดงปากทางเข้ารังของต่อหลุม (ง และ จ) แสดงช่องเซลล์รูปหกเหลี่ยมภายในรังต่อหัวเสือ สำหรับการวางไข่ ดูแลดักแด้ และเลี้ยงตัวอ่อน

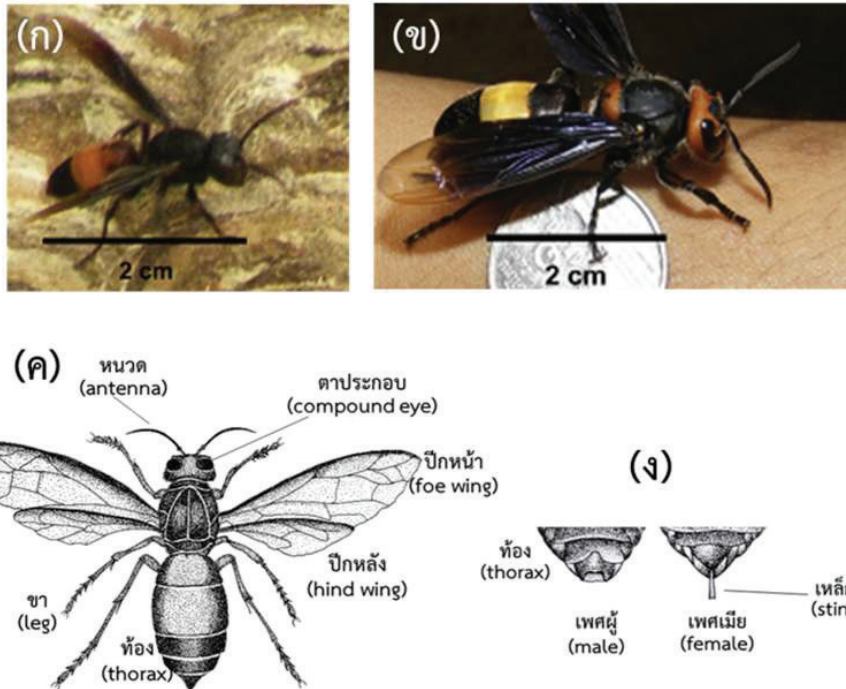
1-6-1-2 สันฐานวิทยา

ต่อหัวเสือมีขนาดลำตัวยาวราว 2 เซนติเมตร ส่วนต่อหลุมมีขนาดใหญ่กว่า ราว 3 เซนติเมตร ต่อทั้งสองชนิดมีสันฐานวิทยาเหมือนกับแมลงในกลุ่มอื่น ๆ (รูปที่ 1-4) คือสามารถแบ่งลำตัวออกได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนหัว ส่วนอก และส่วนท้อง ส่วนหัวจะประกอบไปด้วย ทนวด ตาเดี่ยว และตาธรรม ในส่วนอกจะมีปีกหน้าและปีกหลังอย่างละ 1 คู่ ขาของต่อหัวเสือมีทั้งหมด 3 คู่ ในส่วนของปล้องท้อง สำหรับปล้องที่ 1 และ 2 จะมีสี่เหลี่ยมป็นสาม ปล้องของต่อหลุมมีแถบใหญ่กว่าต่อหัวเสือ ปล้องท้องของต่อเพศผู้จะมีทั้งหมด 7 ปล้อง ส่วนเพศเมียจะมี 6 ปล้อง และเพศเมียจะมีเหล็กในซ่อนในปล้องสุดท้าย เดิมเป็นท่อวางไข่ (oviduct) แต่พัฒนาเป็นท่อน้ำพิษ (venom duct) เพื่อการฉีดน้ำพิษและเหล็กใน การแทงเหล็กในของตัวต่อจะต่างจากผึ้งคือ เมื่อแทงเหล็กในและฉีดน้ำพิษแล้ว จะไม่ทิ้งเหล็กในไว้กับเหยื่อ

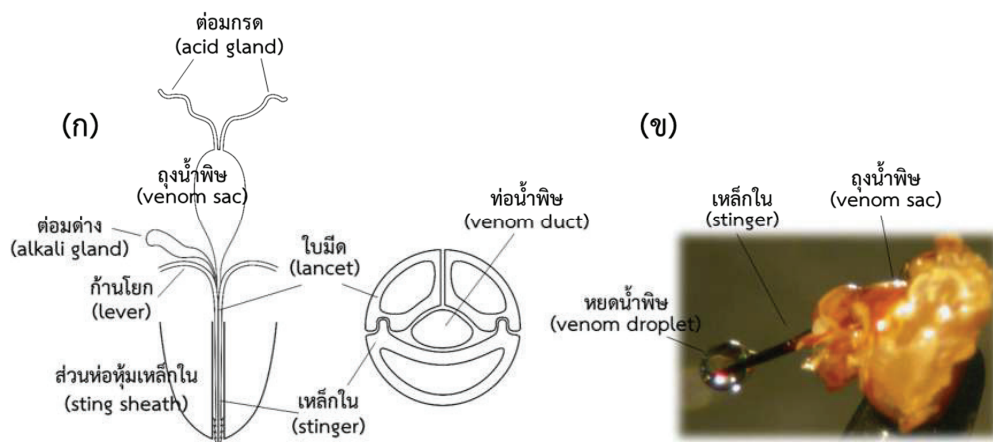
1-6-1-3 ท่อน้ำพิษ

ท่อน้ำพิษและเหล็กในของตัวต่อจะอยู่บริเวณปลายสุดของส่วนท้อง ท่อน้ำพิษจะเชื่อมต่อกับเหล็กใน (รูปที่ 1-5) ท่อน้ำพิษประกอบด้วยต่อมกรด (acid gland) และต่อมด่าง (alkali gland) ซึ่งมีช่องเปิดตรงส่วนต้นของเหล็กใน สำหรับเหล็กในประกอบขึ้นจากแท่งไคติน (chitin) 3 แท่งอยู่แยกกัน ซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ พบว่า แท่งไคติน 2 แท่ง มีลักษณะคล้ายกับใบมีดมีหนามแหลม แต่มีแท่งไคตินหนึ่งแท่ง ที่ทำหน้าที่เป็นเหล็กใน จะเป็นแท่งเรียบ ๆ ประกบกับอีก 2 แท่ง ประกอบกันขึ้นเป็นช่องว่างของท่อน้ำพิษ พบว่า ในสภาพปกติ แท่งทั้งสามจะอยู่ถนัดลึกเข้าไปในฐานของเหล็กใน จนชิดกับก้านที่คล้ายคันโยก (lever) และเมื่อเวลาจะ

ปลดปล่อยน้ำพิษ แท่งคันโยกจะเลื่อนขึ้นลง บังคับให้แท่งทั้งสามเคลื่อนที่ขึ้นลงตามไปด้วย มีลักษณะคล้ายกับการเคลื่อนที่ของไข่มด



รูปที่ 1-4 สัณฐานวิทยาของต่อ (ก) ต่อหัวเสื่อ (ข) ต่อหลุม (ค) สัณฐานวิทยาของตัวต่อ (ง) แสดงปลายของส่วนท้องที่ต่างกันของเพศผู้และเพศเมีย พบว่า เฉพาะเพศเมียที่จะมีเหล็กใน ซึ่งพัฒนามาจากท่อวางไข่ (oviduct) (Rungsa และคณะ, 2016)

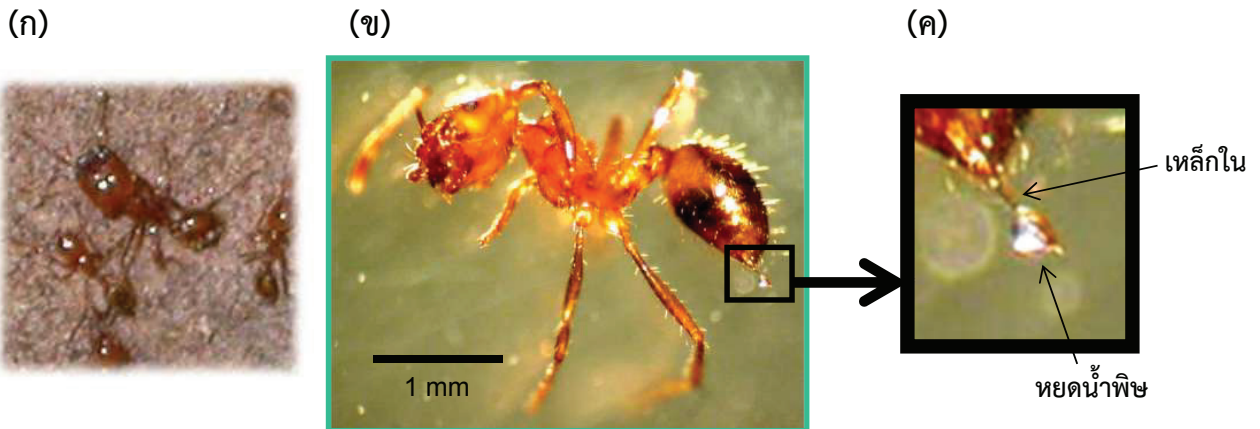


รูปที่ 1-5 สัณฐานวิทยาของต่อมน้ำพิษของสัตว์พิษในอันดับไฮเมนอปเทรา (Hymenoptera) (ก) โครงสร้างของถุงเก็บน้ำพิษและท่อน้ำพิษ ซึ่งเปิดออกทางปลายของเหล็กใน (ข) หยดน้ำพิษจากต่อมน้ำพิษซึ่งถูกหลั่งมาที่ปลายเหล็กใน (Rungsa และคณะ, 2016)

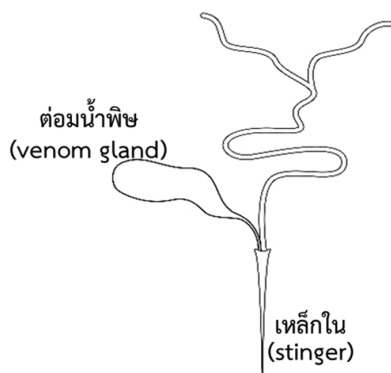
1-6-2 มดคันไฟ

มดคันไฟไทย (tropical fire ant) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Solenopsis geminata* เป็นชนิดหนึ่งของมดคันไฟ (*Solenopsis* sp.) ลำตัวมีสีน้ำตาลแดง หรือส้มแดง (รูปที่ 1-6) มดงานมีขนาด 3 ถึง 5 มิลลิเมตร มีเส้นขนเล็ก ๆ ทั่วร่างกาย สันฐานวิทยาจะคล้ายกับแมลงทั่วไปคือ มี 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัว ออก และท้อง มีขา 3 คู่ และหนวด 1 คู่ มดคันไฟมีหนวด 12 เส้น ปากเป็นแบบกัดดูด เอวขอด มีปุ่มตรงเอว 2 ปุ่ม ส่วนท้องมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลดำ ขนาด 1.5 ถึง 2.0 มิลลิเมตร

ต่อมน้ำพิษของมดคันไฟ ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเส้นยาว ประกอบขึ้นจากเซลล์ต่อม (glandular cell) ทอดยาวอยู่ในช่องท้อง ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างองค์ประกอบในน้ำพิษ ส่วนนี้จะต่ออยู่กับส่วนที่ 2 ซึ่งมีลักษณะบวมพอง ขดม้วนแทรกอยู่ภายในถุงน้ำพิษ (venom sac) (รูปที่ 1-7) น้ำพิษจะผ่านทางท่อที่ซับซ้อนเพื่อเก็บในถุงน้ำพิษ ปริมาณน้ำพิษในถุงน้ำพิษ มีปริมาตรเพียงราว 20-40 นาโนลิตร¹ ซึ่งก็ขึ้นกับขนาดของตัวมดงาน น้ำพิษถูกปลดปล่อยไปยังเหล็กในผ่านท่อน้ำพิษขณะกัดต่อยเหยื่อหรือศัตรู



รูปที่ 1-6 สันฐานวิทยาของมดคันไฟไทย (ก) มดงานและมดทหาร (ข) รูปร่างของมดคันไฟไทย (ค) เหล็กในที่ต่อกับต่อมน้ำพิษและหยดน้ำพิษ (Sukprasert และคณะ, 2012)



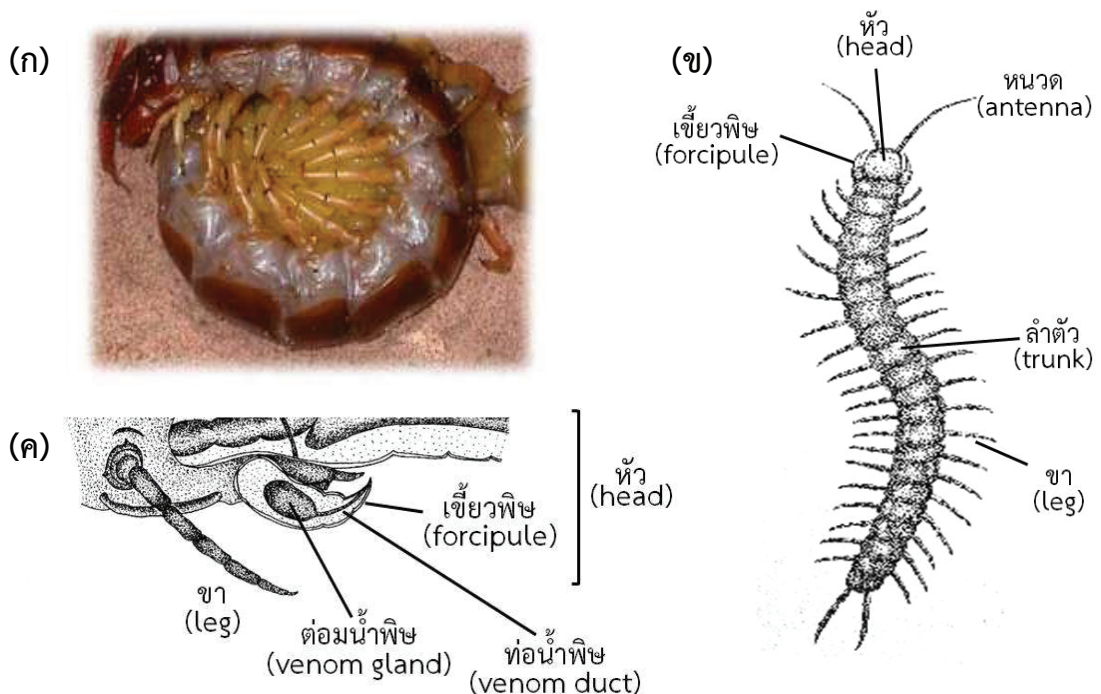
รูปที่ 1-7 ต่อมน้ำพิษและเหล็กในของมดคันไฟไทย

¹ 1 นาโนลิตร = 10^{-9} ลิตร

1-7 ตะขาบ

ตะขาบพบได้ทั่วไปในเขตร้อนชื้น มีหลายขนาด ส่วนใหญ่มีความยาวลำตัวตั้งแต่ 3 ถึง 8 เซนติเมตร ลำตัวแบนราบ มีปล้อง 15 ถึง 100 ปล้อง (รูปที่ 1-8) แต่ละปล้องมีขา 1 คู่ พบว่าส่วนหัวแยกจากส่วนลำตัวอย่างชัดเจน ตะขาบมีหนวด (antenna) 1 คู่ และเขี้ยวพิษ (forcipules หรือ poison claws) 1 คู่ ซึ่งดัดแปลงมาจากปล้องแรกของลำตัว ปล้องสุดท้ายแข็งแรงและหนาตัวขึ้นกว่าปล้องอื่น ๆ และมีขาที่พัฒนาไปเป็น “หาง” ไว้คอยปกป้องตนเองจากผู้ล่า ตะขาบชอบซ่อนอยู่ในที่เย็นชื้น เช่น ใต้โซดหิน ออกหาเหยื่อในเวลากลางคืน กินแมลงเป็นอาหาร ตะขาบจะวางไข่ในที่ชื้นหรือดินพีซ ต้นหญ้า มีอายุขัย 3 ถึง 5 ปี ขยายขนาดลำตัวด้วยการลอกคราบนับสิบครั้ง

เขี้ยวพิษของตะขาบอยู่ที่ปล้องแรก เมื่อกัดต่อย จะทิ้งบาดแผลเป็นรอยเขี้ยวสองรอย คล้ายจำเริญขนาดเล็ก เมื่อกัดจะปล่อยน้ำพิษจากต่อมน้ำพิษ ซึ่งเชื่อมต่อกับเขี้ยวพิษ ต่อมน้ำพิษมีรูปร่างคล้ายลูกแพร์ (pear-shaped) หรือไต (รูปที่ 1-8ค) โดยมีท่อน้ำพิษเชื่อมต่อกับต่อมน้ำพิษและเปิดออกที่ปลายเขี้ยวพิษ เชื่อว่าเขี้ยวพิษมีพัฒนาการมาจากอวัยวะสำหรับเดิน (walking appendage) ส่วนต่อมน้ำพิษก็ได้รับการพัฒนาขึ้นจากการแทรกตัวของผิวหนังชั้นนอกเข้าสู่ภายในร่างกาย



รูปที่ 1-8 สัณฐานวิทยาของตะขาบ (ก) ตัวตะขาบ แสดงรูปตะขาบตัวเมียกำลังกกไข่เพื่อฟักตัวอ่อน (ข) อวัยวะต่าง ๆ ของตะขาบ (ค) แสดงเฉพาะส่วนหัว เน้นให้เห็นหนวด (antenna) เขี้ยวพิษ (poison claws หรือ forcipules) และต่อมน้ำพิษ (venom gland) ที่ส่วนหัวของตะขาบ

1-8 วิธีการรีดน้ำพิษของสัตว์พิษในฟาร์มสัตว์ขาปล้อง

จากคุณลักษณะที่ต่างกันของสัตว์พิษในฟาร์มสัตว์ขาปล้อง ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้าง รูปร่าง ขนาด และลักษณะของต่อมน้ำพิษ ทำให้วิธีการรีดน้ำพิษของสัตว์ในกลุ่มนี้ แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการรีดน้ำพิษของสัตว์ในฟาร์มสัตว์ขาปล้อง 2 ชนิด คือขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

สำหรับสัตว์ขาปล้องที่มีน้ำพิษขนาดใหญ่ ได้แก่ แมงป่อง ตะขาบและแมงมุม ต่อมน้ำพิษจะเชื่อมต่อกับต่อมน้ำพิษ ซึ่งจะนำน้ำพิษไปยังเหล็กใน น้ำพิษนั้นจะถูกปลดปล่อยผ่านทางช่องเปิดของต่อมน้ำพิษไปยังเหล็กใน สำหรับวิธีการรีดน้ำพิษของสัตว์พิษกลุ่มนี้ มักจะใช้วิธีการกระตุ้นไฟฟ้า (electrostimulation) ซึ่งมีขั้นตอนเริ่มจากการทำให้สัตว์พิษสงบ ไม่ตื่นรน ด้วยการช็อคด้วยความเย็น (cold shock) จากนั้นนำไปจับหรือบังคับให้อยู่นิ่ง แล้วกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่าความต่างศักย์ และความถี่ของการกระตุ้น แตกต่างกันไปตามแต่ขนาดของสัตว์พิษ สำหรับแมงป่องจะกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าสลับที่ส่วนหางก่อนถึงปล้องพิษ สำหรับตะขาบ จะใช้การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงที่ตำแหน่งเขี้ยวพิษ สัตว์ทั้งสองชนิด สามารถกระตุ้นด้วยความต่างศักย์ 100 โวลต์ ใช้เวลาสั้น ๆ เช่น 1 มิลลิวินาที ด้วยความถี่ต่ำ ๆ เช่น ความถี่ 10 เฮิร์ตซ์ (Uawonggul และคณะ, 2007; Meunchan และคณะ, 2016) แต่ถ้าใช้ความถี่สูงขึ้น เช่น 60 เฮิร์ตซ์ ก็ต้องใช้เวลานานลง เช่น 200-250 ไมโครวินาที เป็นต้น ส่วนแมงมุมนั้นจะปลดปล่อยน้ำพิษได้ดี เมื่อทำการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับบริเวณตำแหน่งส่วนฐานของเขี้ยวพิษ (chelicerae) โดยใช้ความต่างศักย์ 5-10 โวลต์ ด้วยความถี่ต่ำมาก ๆ ราว 1 เฮิร์ตซ์ ด้วยเวลา 200 มิลลิวินาที (Garb, 2014) ในขณะทำการกระตุ้นไฟฟ้า สัตว์พิษจะปลดปล่อยน้ำพิษ ข้อดีของการรีดน้ำพิษด้วยวิธีนี้ก็คือ สัตว์พิษหลังถูกรีดน้ำพิษ จะยังคงมีชีวิตอยู่ สามารถนำกลับไปเลี้ยงเพื่อใช้รีดน้ำพิษได้ซ้ำอีกหลายครั้ง

สำหรับสัตว์ขาปล้องมีน้ำพิษขนาดเล็ก เช่น ต่อหัวเสือ ต่อหลุม มดคันไฟ เป็นต้น สัตว์พิษกลุ่มนี้มีต่อมน้ำพิษเชื่อมอยู่กับเหล็กใน อยู่บริเวณปลายสุดของส่วนท้อง การรีดหรือเก็บน้ำพิษมักจะใช้วิธีเก็บโดยตรงจากต่อมน้ำพิษ โดยการช็อคด้วยความเย็นจัด เมื่อตัวสัตว์แข็งง่ายต่อการจับต้อง จากนั้นก็ดึงเอาเหล็กในในต่อมน้ำพิษก็จะหลุดตามมาด้วย เมื่อบีบต่อมน้ำพิษซึ่งมีเหล็กในติดอยู่นี้ จะได้หยดน้ำพิษที่ปลายเหล็กใน (รูปที่ 1-5ข) เก็บน้ำพิษในสารละลายที่เหมาะสม หรืออาจเก็บทั้งต่อมน้ำพิษเลยก็ได้ (Rungsa และคณะ, 2016) สัตว์พิษที่ถูกรีดน้ำพิษด้วยวิธีนี้ จะไม่รอดชีวิต ไม่สามารถนำกลับไปเลี้ยงและรีดน้ำพิษได้อีก

บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง บทที่ 1

ศักดิ์ดา ดาดวง และ นันทวัน เอื้อวงศ์กุล (2547) **แมงป่องช้าง**. บริษัท โรงพิมพ์กรุงเทพ (1984) จำกัด. กรุงเทพฯ.

ศิริณี พูนไชยศรี (2531) **อนุกรมวิธานและชีววิทยาของต่อหัวเสือ *Vespa affinis* (Linneaus)**. ใน: ชาญ โพนบุญกุล บรรณาธิการ. พิษจากพืช สัตว์ และจุลชีพ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

ศิริณี พูนไชยศรี (2540) ต่อหัวเสือ งานวิจัยสัตว์มีพิษของนักวิจัยไทย. **สารคดี** 143:148-60.

Abe T, Sugita M, Fugigura T, Hiyoshi J, Akasu M (2000) Giant hornet (*Vespa mandarinia*) venomous phospholipase: The purification, characterization and inhibitory properties by biscoclaurine alkaloids. **Toxicon** 38:1803-16.

Chewn-Lang Ho, Yah-Luen Lin, Shu-Fen Li (1999) Three toxins with phospholipase activity isolated from the yellow-legged hornet (*Vespa verutina*) venom. **Toxicon** 37:1015-24.