สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

Computer Assisted Instruction On Ecdysis Of Physiology of Aquatic Animal

โดย

นายสราวุธ สวัสดี

นางสาวแขวลี วิบูลย์กิจ

นางละออ อ่อนไหว

นางสาวจิราพร สอนสังเสน

RCH
SF
768
ป128

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116901
วัน,เดือน,ปี 16 ส.ค. 2554

b.12326847
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2550

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ที่มีประสิทธิภาพ โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2550 จำนวน 30 คน

ผลการวิจัยปรากฏว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 86.33/84.83 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และจากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05

ABSTRACT

The purposes of this research were to construct and find out efficiencies of Computer Assisted Instruction On Ecdysis Of Physiology of Aquatic Animal. The hypotheses of the research were set on 80/80 efficiencies criteria and the Computer Assisted Instruction learning achievement at the posttest was significantly higher than that of pretest.

The sample group in this research were the Bachelor of Science in Fisheries Science at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Chumphon Campus. The samples group consist of thirty students in the second semester of the academic year 2007.

The results of this research were found that Computer Assisted Instruction on Ecdysis Breed has efficiencies at 86.33/84.83 that were higher than standard criterion 80/80 Furthermore, the result of research showed that the test score differences between pre and post test. Learning achievement at the posttest was significantly higher than that of pretest at the.05 level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินรายได้ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการกลั่นกรองโครงการวิจัยทุกท่านที่ให้โอกาส และกรุณาให้คำแนะนำ จึงทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ ๆ ทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้ด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณพี่เพื่อน และน้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธ์ประสาทความรู้ให้แก่ตัวผู้วิจัย

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยเรื่องนี้คณะวิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และคณะวิจัยทุกท่านหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเรื่องนี้จะเป็นประโยชน์ต่ออาจารย์และนักศึกษา หรือผู้นำไปใช้ทุกท่าน

สราวุธ สวัสดีและคณะนักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....I

กิตติกรรมประกาศ.....II

สารบัญ.....III

สารบัญตาราง.....V

สารบัญภาพ.....VI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....3

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น.....4

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย.....4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6

2.1 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตพุทธศักราช 2542.....6

2.2 แผนการสอนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ 7

2.3 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....10

2.4 ความรู้เกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....12

2.5 เอกสารที่เกี่ยวกับรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง “ขบวนการลอกคราบ”.....19

2.6 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....28

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....28

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า.....28

3.3 การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ.....29

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....35

3.5 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....38
4.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....38
4.2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....39

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....40
5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....40
5.2 สมมติฐานการวิจัย.....40
5.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....40
5.4 สรุปผลการวิจัย.....41
5.5 การอภิปรายผล.....41
5.6 ข้อเสนอแนะ.....42

บรรณานุกรม.....44

ภาคผนวก.....47
ก. การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....48
ข. จุดประสงค์ เนื้อหา และข้อสอบ.....59
ค. แบบประเมินสื่อการสอน.....127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แผนการสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ แสดงลำดับขั้นความสำคัญของเนื้อหาและเวลา.....6

3.1 แสดงมาตราส่วนประมาณค่าของแบบประเมินคุณภาพสื่อเรียนการสอน.....30

3.2 แสดงเกณฑ์การจัดระดับค่าเฉลี่ยของแบบประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน.....31

3.3 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา).....31

3.4 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านการผลิตสื่อ).....32

4.1 แสดงผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....38

4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน....38

ก1 แสดงระดับค่าความยาก (P) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบจำนวน 20 ข้อ.....49

ก2 แสดงค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการทดลองขั้นปฏิบัติการ.....51

ก3 แสดงผลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วย บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ.....53

ก4 แสดงการวิเคราะห์คะแนนก่อนเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ.....55

ก5 แสดงการวิเคราะห์คะแนนหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

3.1 แผนภูมิขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในสังคมปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีบทบาทในการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง การเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีต่างๆ นี้ ต้องมีการพัฒนากำลังคนหรือทรัพยากร เพื่อให้มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ และสังคม เพราะกำลังคนเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาประเทศ การรับรู้ที่ดีจะต้องใช้สื่อที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสม เพื่อช่วยให้เกิดการเรียนรู้ ทำให้จัดกิจกรรมการเรียนการสอนบรรลุเป้าหมาย กระตุ้นความสนใจของผู้เรียน และได้มีส่วนร่วมในการเรียนการสอน ช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้มากขึ้นในเวลาที่จำกัด จำได้เร็วและ จำได้นาน

ชัยยงค์ พรหมวงค์ (2539) ได้กล่าวถึง การนำวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ มาใช้ในการสอนเพื่อช่วยให้ครูสามารถถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้เรียน และช่วยให้การเปลี่ยนพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความคงทนถาวร

กิดานันท์ มลิทอง (2540:240) ได้กล่าวถึง การนำคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ไปใช้ในวงการศึกษาว่าสามารถเอื้ออำนวยในด้านการเรียนการสอนและการบริหารงานให้ดียิ่งขึ้น

ผลการวิจัยของลัดดาวัลย์ สุขะวัลลิ (2546) พบว่า แนวโน้มการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาด้านการพัฒนาและออกแบบระบบการเรียนการสอน เน้นการออกแบบการสอนที่ยึดหลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือกับผู้เรียน ด้านการบริการสนเทศ เน้นการพัฒนาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ครอบคลุมสถานศึกษาทุกแห่ง และใช้รูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบเครือข่ายและระบบบริการรวมด้านการผลิตสื่อคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา เน้นการพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาในการเรียนการสอนให้อยู่ในวงจำกัดตามกำหนดและมาตรฐานด้านการจัดการและการบริหารการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอน เน้นความรู้ความสามารถของครูผู้สอนและเจ้าหน้าที่ในการผลิตโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากขึ้น

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2531) การนำคอมพิวเตอร์มัลติมีเดีย เข้ามาใช้ในการเรียนการสอนมีมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีลักษณะเป็นสื่อประสม สามารถสร้างแรงจูงใจ การเรียนรู้ให้กับผู้เรียนได้เป็นอย่างดี มีภาพนิ่ง ตัวอักษร ภาพเคลื่อนไหว และเสียงประกอบ ช่วยให้กระบวนการจำ และการเรียกความทรงจำดีขึ้น สร้างความคิดรวบยอดหรือสรุปเนื้อหาการเรียนรู้ ทำได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้นกว่าในอดีตที่ผ่านมา มีคุณลักษณะสำคัญ 4 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.เนื้อหาสาระที่ได้รับการเรียบเรียงขึ้นแล้วเป็นอย่างดี ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ หรือได้รับทักษะหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ตามที่ผู้สร้างกำหนดจุดประสงค์ไว้

2. การตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล คือ ลักษณะสำคัญของคอมพิวเตอร์สามารถช่วยสอนบุคคลแต่ละบุคคลที่มีความแตกต่างกันทางการเรียนรู้ ซึ่งเกิดจากบุคลิกภาพ สติปัญญา ความสนใจ พื้นฐานความรู้ที่แตกต่างกันออกไป

3. การโต้ตอบคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดี จะเอื้ออำนวยให้เกิดการโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง และตลอดเวลาทั้งบทเรียน

4. การให้ผลย้อนกลับโดยทันที ตามแนวคิดของสกินเนอร์ และผลย้อนกลับหรือการให้คำตอบโดยทันทีนี้ คือ เป็นการเสริมแรงอย่างหนึ่ง การออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะต้องมีการทดสอบ หรือประเมินความเข้าใจของผู้เรียนในเนื้อหา หรือทักษะต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ด้วย

กิดานันท์ มลิทอง. (2540) กล่าวว่า "คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการสอนที่เป็นเทคโนโลยีระดับสูง เมื่อนำคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นสื่อในการสอน จะให้การเรียนการสอนมีการโต้ตอบกันได้ในระหว่างผู้เรียนกับเครื่องคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกับการเรียนการสอนระหว่างครูกับนักเรียนที่อยู่ในห้องเรียนปกติ นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังมีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ผู้เรียนป้อนเข้าไปในทันที ซึ่งเป็นการช่วยเสริมแรงกับผู้เรียนทำให้ผู้เรียนสนุกกับการเรียนโดยไม่รู้สึกเบื่อหน่าย สร้างโปรแกรมบทเรียนในการสอน ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยนั้นโดยอาศัยแนวคิดจากทฤษฎีการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง โดยการออกแบบโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการให้สิ่งเร้ากับผู้เรียน ประเมินการตอบสนอง ให้ข้อมูลย้อนกลับเป็นการเสริมและให้ผู้เรียนเลือกสิ่งเร้าในลำดับต่อไป"

จากการศึกษาเอกสารและผลการวิจัยทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำข้อดีของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาช่วยในการสรุปบทเรียน ทั้งนี้เพราะการสรุปบทเรียนเป็นกิจกรรมที่สำคัญของกระบวนการสอน เนื่องจากการสรุปบทเรียนจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจความสำคัญของเนื้อหาหรือใจความสำคัญของบทเรียนได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ ซึ่ง วิชัย ดิสสระ (2519 : 82) สรุปไว้ว่า "เป็นการรวบรวมใจความสำคัญของเนื้อเรื่อง ซึ่งเป็นเนื้อหาหลักของบทเรียนไว้ด้วยกัน เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจบทเรียนได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ การสรุปย่อทบทวนในการเรียนการสอนจึงเป็นวิถีทางย้ำให้เกิดการเรียนรู้" นายเนตร หงษ์ไกรเลิศ. (2546) กล่าวว่า "บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนในการเรียนของนักเรียนที่มีอาการสมาธิสั้นและมีพฤติกรรมอยู่ไม่นิ่ง" ซึ่งสอดคล้องกับ วีระ ไทยพาณิชย์. (2528) กล่าวว่า "บทเรียนคอมพิวเตอร์ยังช่วยให้เด็กมีความคงทนในการจำ มากกว่าการสอนแบบปกติ" และสรัญญา เชื้อทอง (2541) ได้ทำการศึกษาผลการเรียนรู้จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเกมส์ในวิชา คณิตศาสตร์ ผลปรากฏว่า นักเรียนที่เรียนจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเกมส์ มีผลการเรียนรู้สูงกว่านักเรียนที่เรียนแบบปกติที่สอนโดยครู แต่ผลการวิจัยของสุวารี เชิงพนม (2541) ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่มีการสรุป 2 แบบ ผลปรากฏว่า นักเรียนที่เรียนจากการเรียนแบบปกติ ที่มีการสรุปท้ายบทเรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการจำไม่แตกต่างกับนักเรียนที่เรียนจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีการสรุปท้ายบทเรียน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ก่อนเรียนและหลังเรียน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" เพื่อให้นักศึกษาได้ศึกษาและทบทวนบทเรียนเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นและนำไปประยุกต์ใช้ในการทำปัญหาพิเศษ

2. บุคลากรของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร และบุคคลที่สนใจวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" สามารถศึกษาและเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร และผู้สนใจ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1. ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร จำนวน 60 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร จำนวน 30 คน ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ

3.1 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

4. เนื้อหาของวิชาที่นำมาใช้ในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีหัวข้อดังนี้

4.1 ความหมายและความสำคัญของการลอกคราบ

4.2 วงจรการลอกคราบ

4.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการลอกคราบ

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบ

4.5 ฮอร์โมนและอิทธิพลของฮอร์โมนต่อการลอกคราบ

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. เนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ที่สร้างขึ้นเป็นเนื้อหาในรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ ระดับปริญญาตรี

2. นักศึกษาที่ใช้ในการทดลองเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" จะต้องผ่านการเรียนรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ การใช้คอมพิวเตอร์

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง บทเรียนที่เรียนโดยคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Authorware ในหัวข้อเรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" เพื่อสร้างกิจกรรมในการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน โดยที่ผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง

2. ผู้เรียน หมายถึง นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

3. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง

3.1 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งวัดจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนจากบทเรียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ 80/80

80 ตัวแรก หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยของจำนวนคำตอบที่นักเรียนตอบถูกต้องมาจากการทำแบบฝึกหัดหลังบทเรียนแต่ละบทโดยคิดเป็นร้อยละ

80 ตัวหลัง หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ยของจำนวนคำตอบที่นักเรียนตอบถูกต้องมาจากการทำแบบฝึกหัดหลังบทเรียนทั้งหมดโดยคิดเป็นร้อยละ

3.2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่นักเรียนทำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามจุดประสงค์ของเนื้อหาของบทเรียน

5. ขบวนการลอกคราบ หมายถึง พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาของสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียนเพื่อการเจริญเติบโตหรือขยายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แบ่งตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตพุทธศักราช 2542 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

2.2 แผนการสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

2.3 ทฤษฎีหรือกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

2.4 ความรู้เกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.5 เอกสารที่เกี่ยวกับวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต พุทธศักราช 2542 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

โครงสร้างของหลักสูตร

จำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตร	**145**	**หน่วยกิต**
1. หมวดวิชาการศึกษาทั่วไป	**30**	**หน่วยกิต**
กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์	6	หน่วยกิต
กลุ่มวิชาภาษา	12	หน่วยกิต
บังคับเรียน	9	หน่วยกิต
เลือกเรียน	3	หน่วยกิต
กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์	6	หน่วยกิต
บังคับเรียน	2	หน่วยกิต
เลือกเรียน	4	หน่วยกิต
กลุ่มวิชามนุษยศาสตร์	6	หน่วยกิต
บังคับเรียน	2	หน่วยกิต
บังคับเลือก	2	หน่วยกิต
เลือกเรียน	2	หน่วยกิต
2. หมวดวิชาเฉพาะ	**106**	**หน่วยกิต**
กลุ่มวิชาแกนวิทยาศาสตร์	39	หน่วยกิต
กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์การประมง	27	หน่วยกิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มวิชาเฉพาะเลือก	15	หน่วยกิต
กลุ่มวิชาเฉพาะบังคับ	22	หน่วยกิต
กลุ่มวิชาฝึกงาน	3	หน่วยกิต
3. หมวดวิชาเลือกเสรี	**9**	**หน่วยกิต**
หมวดวิชาเลือกเสรี	9	หน่วยกิต

สำหรับรายวิชาวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ (Physiology of Aquatic Animal) รหัสวิชา 04083001 จัดอยู่ในกลุ่มวิชาเฉพาะบังคับ หมวดวิชาเฉพาะ จำนวน 3 หน่วยกิต 3 (2-3) บรรยาย 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และปฏิบัติ 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ผู้เรียนต้องผ่านรายวิชาบังคับก่อนคือวิชาสัตวศาสตร์ทั่วไป โดยรายวิชานี้เปิดสอนสำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงชั้นปีที่ 3 หลักสูตร 4 ปี

คำอธิบายรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ

สรีรวิทยาและการปรับสมดุลภายในร่างกายสัตว์น้ำ ความสัมพันธ์ของการทำงานในระบบต่าง ๆ ของสัตว์น้ำบางชนิด ทั้งที่มีกระดูกสันหลังและไม่มีกระดูกสันหลัง

2.2 แผนการสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

ตารางที่ 2.1 แผนการสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ แสดงลำดับขั้นความสำคัญของเนื้อหาและเวลา

รหัสวิชา	สัปดาห์	บทที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง	หมายเหตุ
04083001	1	1	บทนำ - ความหมายและความสำคัญของสรีรวิทยา - ปรัชญาทางสรีระวิทยา - วิธีการทางสรีระวิทยา	1	
	1	2	อิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีต่อสรีรวิทยาของสัตว์น้ำ - ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสรีรของสัตว์น้ำ - การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม	1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

รหัสวิชา	สัปดาห์	บทที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง	หมายเหตุ
04083001	2	3	เยื่อเซลล์และการเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อเซลล์ - ลักษณะและโครงสร้างของเยื่อเซลล์ - การเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อเซลล์ - ศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์	2	
	3	4	การรักษาดุลยภาพของร่ายกายสัตว์น้ำ - วิธีการที่สัตว์ใช้ในการรักษาดุลยภาพภายในร่างกาน - การรักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกาย - การกำจัดของเสียพวกไนโตรเจน - การควบคุมการเข้าออกของน้ำและไอออนในสัตว์น้ำ	2	
	4	5	ระบบไหลเวียนเลือด - โครงสร้าง หน้าที่ และความสำคัญของระบบไหลเวียนเลือด - องค์ประกอบ หน้าที่ และคุณสมบัติของเลือด - ระบบไหลเวียนเลือกในสัตว์น้ำแต่ละกลุ่ม	2	
	5	6	ระบบหายใจ - โครงสร้าง หน้าที่ และความสำคัญของระบบหายใจ - การขนส่งออกซิเจน - การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ - กลไกการแลกเปลี่ยนก๊าซ	2	
	6-7	7	ระบบประสาท - โครงสร้าง หน้าที่ และความสำคัญของระบบประสาท - ระบบประสาทในสัตว์น้ำแต่ละกลุ่ม	4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

รหัสวิชา	สัปดาห์	บทที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง	หมายเหตุ
04083001	6-7	7	- การเกิดคลื่นสัญญาณประสาทและการเคลื่อนที่ - ความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทและระบบอื่นๆ		
	8		สอบกลางภาค	3	
	9-10	8	การอาหาร - โครงสร้าง หน้าที่ และความสำคัญของการอาหาร - การกินอาหารและโภชนาการ - การย่อยอาหารและเมตาบอลิซึม - การขับถ่ายของเสีย	4	
	11	9	การทำงานของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนที่ - โครงสร้าง หน้าที่ และความสำคัญของระบบกล้ามเนื้อ - กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อ - ความสัมพันธ์ของระบบกล้ามเนื้อและระบบอื่น ๆ	2	
	12-13	10	ต่อมไร้ท่อและการควบคุมการสืบพันธุ์ - ความหมาย ความสำคัญ และหน้าที่ของระบบต่อมไร้ท่อ - ฮอร์โมนและความสำคัญของฮอร์โมน - รูปแบบการสืบพันธุ์ในสัตว์น้ำ - ฮอร์โมนและการควบการสืบพันธุ์ในปลา - ฮอร์โมนและการควบคุมการสืบพันธุ์ในครัสเตเชียน	4	
	14-15	11	โครงร่างกายนอกและการลอกคราบในครัสเตเชียน - โครงสร้างและหน้าที่ของเปลือก	4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

รหัสวิชา	สัปดาห์	บทที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง	หมายเหตุ
04083001	14-15	11	- ความหมายและความสำคัญของการลอกคราบ - วงจรการลอกคราบและครัสเตเชียน - ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบ - ฮอร์โมนและอิทธิพลของฮอร์โมนต่อการลอกคราบ		
	16		สอบปลายภาค	3	

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเนื้อหารายวิชาวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" มาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนขึ้น

2.3 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนควรมีการกำหนดวัตถุประสงค์ทั่วไป (Goal/Objectives) ศึกษารายละเอียดของเนื้อหา (Content specification) วิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral objective) เลือกกลยุทธ์ทางการสอนและการนำเสนอ (Teaching strategies & models of delivery) ออกแบบและลงมือสร้างบทเรียน (Design & Implementation) นำเสนอต่อผู้เรียน (Delivery) และวัดและประเมินผล (Evaluation) (วุฒิชัย ประสารสอย, 2543: 28 – 31)

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง ความสามารถของบทเรียนในการสร้างผลสัมฤทธิ์ให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์ถึงระดับที่คาดหวังไว้และครอบคลุมความเชื่อถือได้ (Reliability) ความพร้อมที่จะใช้งาน (Availability) ความมั่นคงปลอดภัย (Security) และความถูกต้องสมบูรณ์ (Integrity) (วุฒิชัย ประสารสอย, 2543: 39-43)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วุฒิชัย ประสารสอย (2543: 10) กล่าวว่า บทเรียนที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หรือ Computer-assisted นั้น อาจใช้หรือไม่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหลักก็ได้ กล่าวคือ อาจใช้ในลักษณะ "ช่วยครูสอน" (Adjunct) หรือใช้ "สอนแทนครู" (Primary) หรือใช้ฝึกอบรมเป็นรายบุคคล ขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือโครงสร้างของเนื้อหาของบทเรียน เทคนิควิธีการในการนำเสนอบทเรียน ตลอดจนแบบแผนในการวัดและประเมินผล

ศักดิ์ เพรสคอทท์ (2539: 386) ให้ความหมายของคำว่า "คอมพิวเตอร์ช่วยสอน" ว่า หมายถึง บทเรียนที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหรือช่องทางในการนำเสนอเนื้อหา ซึ่งอาจจะเป็นกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยเป็นการรวมศักยภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์และโครงสร้างที่พึงประสงค์ของบทเรียนแบบโปรแกรมเข้าไว้ด้วยกัน ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะได้รับการออกแบบเพื่อมุ่งให้ผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาด้วยตนเอง

ถนอมพร เลาหจรัสแสง (2541:7) ให้ความหมายของคำว่า "คอมพิวเตอร์ช่วยสอน" ว่า หมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสมอันได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียนหรือองค์ความรู้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับความจริงในห้องเรียนมากที่สุด

สื่อ (Media) เป็นตัวกลางที่ช่วยถ่ายทอดเรื่องราว ข่าวสาร ความรู้เหตุการณ์ แนวความคิด สถานการณ์ ฯลฯ ที่ผู้ส่งสารต้องการส่งไปยังผู้รับสารสื่อการสอน (Instruction Media) เป็นตัวกลางที่ช่วยนำ และถ่ายทอดความรู้จากผู้สอนหรือแหล่งความรู้ไปยังผู้เรียน เพื่อให้การเรียนการสอน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์

นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction หรือ CAI)ไว้ ดังนี้

บูรณะ สมชัย (2542:14) อรนุช ลิมตศิริ (2544: 200) ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาหจรัสแสง (2541: 7) อำนวย เดชชัยศรี (2542: 112-117) และวุฒิชัย ประสารสอย (2543: 30) ให้ความหมายของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยสรุป บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหมายถึง เนื้อหาวิชาที่ได้นำไปพัฒนาอย่างเป็นระบบในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในลักษณะสื่อประสมเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทบทวนได้ด้วยตนเองเพื่อตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสื่อช่วยถ่ายทอดความรู้เนื้อหาวิชานั้นแทนครูผู้สอน พร้อมทั้งประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผลย้อนกลับ และสามารถโต้ตอบหรือมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนได้ ซึ่งถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาหจรัสแสง (2541: 8-11) และบูรณะ สมชัย (2542: 23 -30) กล่าวถึงลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สำคัญ ดังนี้

สารสนเทศ (Information) หมายถึง เนื้อหาสาระ (Content) ที่ถูกเรียบเรียงอย่างดี ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้หรือทักษะตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individualization) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นสื่อการเรียนการสอนรายบุคคลประเภทหนึ่ง ซึ่งตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล ผู้เรียนมีอิสระในการควบคุมการเรียนได้เอง

การมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ต้องมีการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับบทเรียนอย่างต่อเนื่องและตลอดทั้งบทเรียน

การให้ผลย้อนกลับในทันที (Immediate Feedback) การให้ผลย้อนกลับเป็นวิธีที่ให้ผู้เรียนทดสอบหรือประเมินความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียน ช่วยให้ผู้เรียนตรวจสอบการเรียนของตนได้ การให้ผลย้อนกลับในทันที ถือได้ว่าเป็นจุดเด่นของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเมื่อเทียบกับสื่อชนิดอื่นๆ

สรุปจากเอกสารและงานวิจัย คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง สื่อกลางในการถ่ายทอดข่าวสาร เนื้อหาความรู้ โดยใช้สื่อหลาย ๆ ชนิด ที่เป็นสื่อดั้งเดิมมาผสมผสานกันเป็นชุดการเรียนหรือบทเรียนโปรแกรมที่ใช้ทั้งเอกสารสิ่งพิมพ์, ภาพสไลด์, เสียงจากเทป, ภาพถ่าย, ของจริง และวีดีทัศน์ ตั้งแต่สองชนิดมาเป็นสื่อถ่ายทอดเนื้อหาไปยังผู้เรียน ตามหลักการทางเทคโนโลยีทางการศึกษา นอกจากนี้ การนำคอมพิวเตอร์มาใช้ประกอบการเรียนการสอน หรือ เป็นเครื่องมือของครูที่ใช้สอนในเนื้อหาต่างๆ โดยผู้เรียนสามารถศึกษาด้วยตนเอง หรือเป็นกลุ่ม ซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะให้ทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงบรรยาย ประกอบกันเป็นเรื่องราวโดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมระบบและแสดงเนื้อหาบนจอภาพ

2.4 ความรู้เกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

องค์ประกอบของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

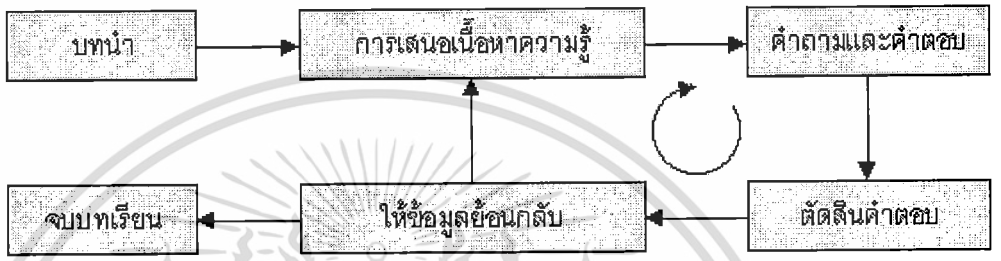
จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัย สรุปได้ว่า องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์มัลติมีเดีย คือ การนำสื่อหลากหลายชนิดที่นำมาใช้เพื่อการศึกษาผ่านทางจอภาพคอมพิวเตอร์ เช่น ตัวอักษร ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ นำมาผสมผสานกับหลักการเชื่อมโยงแบบปฏิสัมพันธ์เพื่อให้บทเรียนคอมพิวเตอร์มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

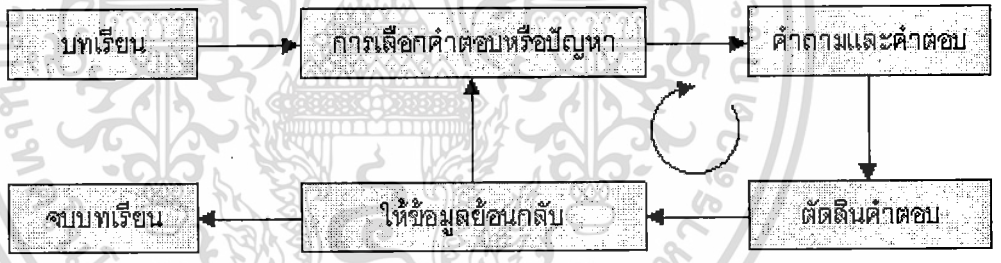
รูปแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แบ่งตามลักษณะการเสนอเนื้อหาได้ 4 ลักษณะ คือ

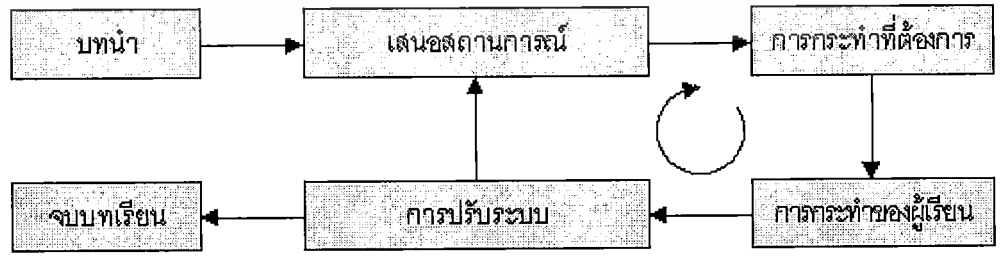
1. บทเรียนชนิดโปรแกรมการสอนเนื้อหารายละเอียด (Tutorial Instruction) บทเรียนนี้มีลักษณะเป็นกิจกรรมเสนอเนื้อหาโดยจะเริ่มจากบทนำซึ่งเป็นการกำหนดจุดประสงค์ของบทเรียน หลังจากนั้นเสนอเนื้อหาโดยให้ความรู้แก่ผู้เรียนตามที่ผู้ออกแบบบทเรียนกำหนดไว้ และมีคำถามเพื่อให้ผู้เรียนตอบ โปรแกรมในบทเรียนจะประเมินผลคำตอบของผู้เรียนทันที ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะมีลักษณะวนซ้ำเพื่อให้ข้อมูลย้อนกลับจนจบบทเรียนดังแผนภูมิ



2. บทเรียนชนิดโปรแกรมการฝึกทักษะ (Drill and Practice) บทเรียนชนิดนี้จะมีลักษณะให้ผู้เรียนฝึกทักษะหรือฝึกปฏิบัติเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยเฉพาะดังแผนภูมิ



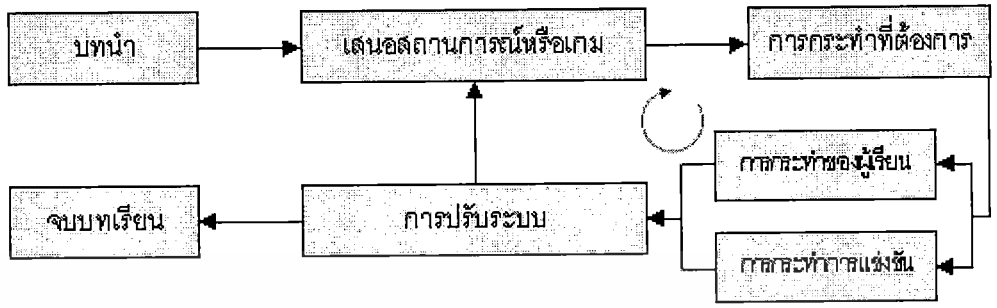
3. บทเรียนชนิดโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) มีลักษณะเป็นแบบจำลองเพื่อฝึกทักษะและการเรียนรู้ใกล้เคียงกับความจริง ผู้เรียนไม่ต้องเสี่ยงภัย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยดังแผนภูมิ



4. บทเรียนชนิดโปรแกรมเกมส์การศึกษา (Education Game) มีลักษณะเป็นการกำหนดเหตุการณ์วิธีการ และกฎเกณฑ์ ให้ผู้เรียนเลือกเล่นและแข่งขัน การเล่นเกมส์จะเล่นคนเดียวหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายคนก็ได้ การแข่งขันโดยการเล่นเกม จะช่วยกระตุ้นให้ผู้เล่นมีการติดตาม ถ้าหากเกมดังกล่าวมีความรู้สอดแทรกก็จะเป็นประโยชน์ดีมาก แต่การออกแบบบทเรียนชนิดเกมการศึกษาค่อนข้างทำได้ยากดังแผนภูมิ



นอกจากการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนในลักษณะการเสนอเนื้อหาดังกล่าวแล้ว ยังมีลักษณะอื่น ๆ อีก เช่น ใช้เพื่อเป็นบทสนทนาการสาธิต การสืบสวนสอบสวน การแก้ปัญหา การทดสอบ เป็นต้น สำหรับลักษณะการเสนอเนื้อหาในโปรแกรมการสอนรายละเอียด (Tutorial Instruction) หน่วยศึกษานิเทศก์สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชน กำลังวิจัยและพัฒนาเพื่อหาแนวการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และหารูปแบบการสอนวิชาคอมพิวเตอร์ตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย คาดว่าอีกไม่นาน คงได้ขยายผลในลักษณะการฝึกอบรม หรือเป็นข้อมูลสารสนเทศ บริการให้แก่โรงเรียนเอกชนส่วนกลางและส่วนภูมิภาคต่อไป

การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีขั้นตอนในการนำเสนอเนื้อหาเช่นเดียวกับการสอนแบบโปรแกรม การสร้างบทเรียนจึงใช้วิธีเดียวกันกับการสร้างบทเรียนโปรแกรม โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จ เพื่อเป็นคำสั่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานตามเนื้อหาที่ผู้เขียนโปรแกรมออกแบบ ดังนั้น ในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จึงต้องอาศัยพื้นฐานทางทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อเข้าใจผู้เรียนแต่ละระดับและเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ฉะนั้นการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดเนื้อหาวิชาและระดับชั้น โดยผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์ว่าเนื้อหาวิชานั้นจะต้องไม่เปลี่ยนแปลงบ่อย ไม่ซ้ำกับใคร เพื่อคุ้มค่าการลงทุนและสามารถช่วยลดเวลาเรียนของผู้เรียนได้

- การกำหนดวัตถุประสงค์ จะเป็นแนวทางแก่ผู้ออกแบบบทเรียน เพื่อทราบว่าผู้เรียนหลังจากเรียนจบแล้วจะบรรลุตามวัตถุประสงค์มากน้อยแค่ไหน การกำหนดวัตถุประสงค์จึงกำหนดได้ทั่วไปและเชิงพฤติกรรม สำหรับการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมต้องคำนึงถึง

- ผู้เรียน (Audience) ว่ามีพื้นฐานความรู้แค่ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พฤติกรรม (Behavior) เป็นการคาดหวังเพื่อที่จะให้ผู้เรียนบรรลุเป้าหมาย การวัดพฤติกรรมทำได้โดยสังเกต คำนวณ นับแยกแยะ แต่งประโยค

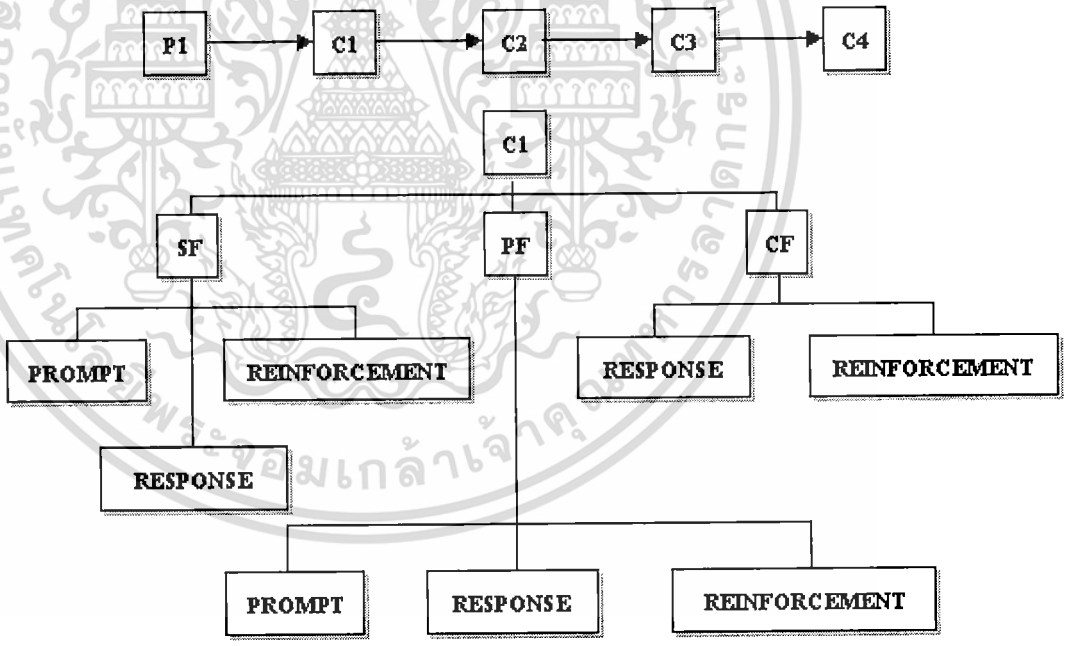
- เงื่อนไข (Condition) เป็นการกำหนดสภาวะที่พฤติกรรมของผู้เรียนจะเกิดขึ้น เช่น เมื่อนักเรียนดูภาพแล้วจะต้องวาดภาพนั้นส่งครู เป็นต้น ปริมาณ (Degree) เป็นการกำหนดมาตรฐานที่ยอมรับว่าผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์แล้ว เช่น อ่านคำควบกล้ำได้ถูกต้อง 20 คำ จาก 25 คำ เป็นต้น

- การวิเคราะห์เนื้อหา เป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยต้องย่อยเนื้อหาเป็นเนื้อหาเล็ก ๆ มีการเรียงลำดับจากง่ายไปหายาก มีการวิเคราะห์ภารกิจ (Task analysis) ว่าจะเริ่มต้นตรงไหนและดำเนินการไปทางใด

- การสร้างแบบทดสอบ ต้องสร้างแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบทดสอบนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีประสิทธิภาพมากน้อยประการใด

- การเขียนบทเรียน ก่อนเขียนบทเรียนต้องกำหนดโครงสร้างเพื่อให้ได้รูปร่างของบทเรียนเสียก่อน คือ จะทราบว่าต้องประกอบด้วยอะไรบ้าง มีสัดส่วนอย่างไร บทเรียนจึงจะมีขั้นตอนที่ดี

แผนภาพแสดงส่วนประกอบของบทเรียนโปรแกรม



P1 = บทเรียนโปรแกรม

C1 = เนื้อหาย่อยที่ 1

ส่วนเนื้อหาย่อยที่ 2, 3, 4 ก็จะแยกย่อยออกมาเหมือนเนื้อหาย่อยที่ 1

เทคนิคการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียชนิดเสนอเนื้อหา (Tutorial)คือ

- การสร้างตัวอักษรต้องมีขนาดเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปแบบตัวอักษร การสื่อความหมาย งานประณีตมีศิลปะ
- สี ใช้หลักการที่ได้จากผลการวิจัย เพื่อส่งผลถึงการรับรู้การเรียนรู้
- เสียง ควรเป็นเสียงที่ทำให้ผู้เรียนมีปฏิกิริยาต้องการตอบสนองสอดคล้องกับเนื้อหา
- แสง ช่วยเน้นความแตกต่างจุดสนใจ

การสร้างบทเรียนในแนวการนำเสนอเนื้อหาให้สอดคล้องกับรูปแบบการสอน 9 ขั้น ของ Gagne จะต้องเน้น

1. การเร้าความสนใจ (Gain Attention) เป็นการสร้างบทเริ่มต้นของกิจกรรมที่เรียนนั่นเอง โดยผู้เรียนสนใจเนื้อหาบนจอภาพไม่ใช่พะวงอยู่ที่แป้นพิมพ์

2. บอกวัตถุประสงค์ (Specify Objective) จะช่วยให้ผู้เรียนรู้ล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหาและรู้เค้าโครงของเนื้อหาอีกด้วย เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนโดยผู้เรียนจะสามารถผสมผสานแนวคิดในรายละเอียดหรือส่วนย่อยของเนื้อหาให้สอดคล้องและสัมพันธ์กับเนื้อหาในส่วนใหญ่ได้ ซึ่งจะมีผลทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3. ทบทวนความรู้เดิม (Activate Prior Knowledge) ไม่จำเป็นต้องทำแบบทดสอบเสมอไป แต่จะใช้วิธีการประเมินความรู้เดิมของผู้เรียนในรูปแบบต่าง ๆ ก็ได้ เช่น พูดคุย ซักถาม เป็นต้น

4. การเสนอเนื้อหาใหม่ (Present New Information) การเสนอภาพที่เกี่ยวกับเนื้อหาประกอบคำพูดที่สั้น ง่าย ได้ใจความชัดเจน จะเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนการสอนด้วยคอมพิวเตอร์ การอาศัยภาพประกอบจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาง่ายขึ้น และมีความคงทนในการจดจำได้ดีกว่าการใช้คำพูดหรืออ่านเพียงอย่างเดียว

5. ชี้แนวทางการเรียนรู้ (Guided Learning) หน้าที่ของผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะพยายามใช้เทคนิคในการกระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในการศึกษาโดยเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่

6. กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Responses) หลายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ต่างก็มีความสอดคล้องในลักษณะสิ่งเร้ากับการตอบสนอง ในแง่ของการเรียน ผู้เรียนควรมีโอกาสร่วมกันคิดและร่วมกันฝึกปฏิบัติให้เกิดทักษะ

7. ให้ข้อมูลย้อนกลับ (Provide Feedback) เป็นการช่วยเร้าความสนใจและเป็นการบอกว่าขณะนั้นผู้เรียนอยู่จุดไหน ห่างจากเป้าหมายเพียงใด

8. ทดสอบความรู้ (Assess Performance) จะเห็นการทดสอบก่อนเรียนระหว่างเรียนช่วงท้ายของบทเรียนเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อวัดค่าผู้เรียนผ่านเกณฑ์ต่ำสุดเท่าใด เพื่อจะได้เตรียมตัวในโอกาสต่อไป

9. การจำและนำไปใช้ (Promote Retention and Transfer) เป็นขั้นตอนของการสรุปเฉพาะประเด็นสำคัญรวมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนหรือซักถามปัญหาก่อนจบบทเรียน (อำนวย เดชชัยศรี.2542:112-117)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แฮทฟิลด์และบิตเตอร์ (Hatfield and Bitter, 1994) ได้กล่าวถึงคุณค่าของมัลติมีเดียที่ใช้ในการเรียนการสอนไว้ ดังนี้

1. ส่งเสริมการเรียนด้วยตนเองแบบเชิงรุก (Active) กับแบบสื่อนำเสนอการสอนแบบเชิงรับ (Passive)

2. สามารถเป็นแบบจำลองการนำเสนอหรือตัวอย่างที่เป็นแบบฝึก และการสอนที่ไม่มีแบบฝึก

3. มีภาพประกอบและมีปฏิสัมพันธ์เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น

4. เป็นสื่อที่สามารถพัฒนาการตัดสินใจและการแก้ไขปัญหาของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. จัดการด้านเวลาในการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการเรียนน้อย

งานวิจัยในประเทศ

ลัดดาวัลย์ สุขะวัลลิ (บทคัดย่อ.2546) กล่าวว่า แนวโน้มการใช้คอมพิวเตอร์ เพื่อการศึกษาด้านการพัฒนาและออกแบบระบบการเรียนการสอน เน้นการออกแบบการสอนที่ยึดหลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือกับผู้เรียน ด้านการบริการสนเทศ เน้นการพัฒนาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ครอบคลุมสถานศึกษาทุกแห่ง และใช้รูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบเครือข่ายและระบบบริการรวมด้านการผลิตสื่อคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา และคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะช่วยพัฒนาระบบการเรียนการสอนให้ชัดเจนยิ่งขึ้นผู้เรียนมีความรู้สึกเหมือนเข้าไปอยู่ในสถานจริง ด้านระบบการเรียนการสอน โดยใช้สื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เน้นการให้ห้องสมุดของสถานศึกษาเปลี่ยนรูปแบบจากห้องสมุดที่มีหนังสือไว้บริการเปลี่ยนมาเป็นให้บริการหนังสือที่อยู่ ในรูปของสื่อคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมากขึ้น ด้านการประเมินคุณภาพ ประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดจากคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เน้นให้ผู้เรียนแก้ปัญหาได้อย่างมีระบบ ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์ และด้านความคิดเห็น เจตคติของผู้เรียนต่อการเรียนการสอน เน้นให้นักเรียนสามารถนำไปประกอบอาชีพได้ในอนาคต

เสาวคนธ์ อุ่นยนต์. (บทคัดย่อ.2541) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดียมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าวิธีการสอนแบบปกติ

จันทราทิพย์ ขวัญเมือง (บทคัดย่อ.2540) กล่าวว่า นักเรียนนายสิบที่เรียนจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ให้รายละเอียดเนื้อหาสรุปในกรอบการสอนและให้รายละเอียดเพิ่มเติมบางอย่างนอกกรอบสอน มีผลการเรียนรู้สูงกว่านักเรียนนายสิบที่เรียนจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ให้รายละเอียดเนื้อหาทั้งหมดในกรอบการสอน

116901

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุขเกษม อุยโต (บทคัดย่อ.2540) กล่าวว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาประวัติการถ่ายภาพที่พัฒนาขึ้นมามีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 91.83/91.11 สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องช่วยสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทับทิมทอง กอบัวแก้ว (บทคัดย่อ.2541) จากผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระบบมัลติมีเดียที่สร้างขึ้น และมีความคงทนทางการเรียน มีค่าสูงขึ้น

ศุภวิทย์ สงคง (บทคัดย่อ.2546) จากผลการวิจัยพบว่า เจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของนักเรียน ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สูงกว่าเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมก่อนเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สรุปงานวิจัยในประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีประสิทธิภาพนั้น ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทบทวนได้ด้วยตนเอง เพื่อตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นสื่อช่วยถ่ายทอดความรู้เนื้อหาวิชานั้นแทนครูผู้สอน พร้อมทั้งประเมิน ให้ผลย้อนกลับ และสามารถโต้ตอบหรือมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนได้

งานวิจัยในต่างประเทศ

ซิคเลอร์ (Sickler. 1988 : 3045-A) วิจัยพบว่า การให้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ให้ข้อมูลป้อนกลับ มีผลสัมฤทธิ์สูงกว่าการสอนแบบบรรยาย

โคลลินส์ (Colhins. 1985 : 3601-A) พบว่า การเรียนโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีการให้ข้อมูลป้อนกลับ 2 กลุ่ม คือป้อนกลับที่ให้เฉพาะคำตอบที่ถูก และป้อนกลับแบบให้คำอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติม มีผลต่อการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจ หรือการตอบสนองที่น่าสนใจ จะมีผลต่อการเรียนรู้มากขึ้น

นูแนน (Noonan. 1984 : 131-A)ได้ให้สภาพของการให้ข้อมูลป้อนกลับแตกต่างกัน 6 แบบ คือ 1. บอกคำตอบที่ถูกทันที 2. บอกคำตอบที่ถูกในคำถามถัดไป 3. บอกคำตอบที่ถูกพร้อมคำอธิบายทันที 4. บอกคำตอบที่ถูกพร้อมอธิบายในคำถามถัดไป 5. บอกผลว่า ผิดทันที และ 6. บอกผลว่าผิด พร้อมอธิบายคำตอบทันทีผลปรากฏว่าการบอกคำถามที่ถูกต้อง มีผลต่อการเรียนรู้มากกว่าการบอกผลว่าผิด

โอทส์ (Oates. 1983 : 2822-A); แซมสัน (Sampson. 1983 : 2822-A) ได้ทดลองนำคอมพิวเตอร์ใช้กับระดับอุดมศึกษาในการสอนทักษะพื้นฐานในการเขียนข่าวของนักศึกษาวารสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศาสตร์ และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาแนะแนว เปรียบเทียบกับการสอนด้วยครู ปรากฏว่า ทั้งสองเรื่องสนับสนุนการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สรุปงานวิจัยจากต่างประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยจากต่างประเทศ พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดีย มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการสอนแบบบรรยาย ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และมีความคงทนต่อการเรียนรู้สูงกว่าการสอนแบบบรรยาย

2.5 เอกสารที่เกี่ยวกับรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อ ง "ขบวนการลอกคราบ"

วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ (Physiology of Aquatic Animal) : ขบวนการลอกคราบ (ecdysis)

วัตถุประสงค์ :

1. เพื่อให้นักศึกษาทราบถึงบทบาท หน้าที่ และความสำคัญ ของการลอกคราบต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของอวัยวะต่าง ๆ ในสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียน

2. เพื่อให้นักศึกษาทราบถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาในระหว่างการลอกคราบของสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียน โดยเฉพาะกุ้งและปู

3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำความรู้ของการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาเกี่ยวกับการลอกคราบไปปรับใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ขบวนการลอกคราบ (ecdysis)

ขบวนการลอกคราบ (ecdysis) เป็นพฤติกรรมเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของสัตว์ที่อยู่ในไฟลัมอาร์โทรโปดา และเห็นได้ชัดเจนในสัตว์น้ำจำพวกครัสเตเชียน (กุ้ง ปู กั้ง) เนื่องจากสัตว์น้ำในกลุ่มนี้มีโครงสร้างภายนอก (เปลือก) แข็ง จึงเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโต ถึงแม้ว่าการมีโครงสร้างภายนอกแข็งจะมีประโยชน์ต่อการป้องกันตัวเองจากการสูญเสียน้ำ เกลือแร่ และเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อในร่างกายก็ตาม

แต่เดิมเข้าใจกันว่าการลอกคราบเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวเท่านั้น แต่ความเป็นจริงแล้วขบวนการลอกคราบเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดชีวิต เริ่มจากการสะสมพลังงาน แร่ธาตุต่าง ๆ สะสมน้ำไว้ในตัวเพื่อสลัดเปลือกเก่าทิ้ง และขยายตัวออก ขับน้ำออกบางส่วนเพื่อปรับปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ภายในตัวให้เข้าสู่ระดับเดิม แล้วเริ่มสะสมอาหารไว้เพื่อการลอกคราบในคราวต่อไป

นิยามและความหมาย

ขบวนการลอกคราบ มีคำศัพท์ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 คำ คือ molting และ ecdysis คำว่า molting หมายถึง ระยะที่สัตว์กำลังสลัดเปลือกเก่าออกจากตัวเพื่อสร้างเปลือกใหม่ เป็นปรากฏการณ์สั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้น เป็นช่วงเวลาที่วิกฤติมาก และสัตว์อาจจะตายในช่วงนี้ได้ ส่วนคำว่า ecdysis หมายถึง ขบวนการลอกคราบ ซึ่งจะมีระยะเวลาแตกต่างกันในครัสเตเชียนแต่ละชนิด เช่น กุ้งในวงศ์ Penaeidae ที่มีระยะวัยอ่อน (larvae) ที่สมบูรณ์นั้น มีระยะเวลาการลอกคราบดังนี้

ระยะ nauplius ที่ 1-6 ใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน เฉลี่ย 8-12 ชั่วโมงต่อการลอกคราบ 1 ครั้ง

ระยะ zoea ที่ 1-3 ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน เฉลี่ย 24-32 ชั่วโมงต่อการลอกคราบ 1 ครั้ง

ระยะ mysis ที่ 1-3 ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน เฉลี่ย 24-32 ชั่วโมงต่อการลอกคราบ 1 ครั้ง

ระยะ postlarva ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1-2 วันต่อการลอกคราบ 1 ครั้ง

ขบวนการลอกคราบ หมายถึง พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยาของสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียนเพื่อการเจริญเติบโตหรือขยายขนาด

โครงร่างและส่วนประกอบของเปลือก

โครงร่างภายนอก (exoskeleton) หรือสิ่งห่อหุ้มร่างกาย (integument) ของครัสเตเชียนเป็นเปลือก (shell) ที่มีลักษณะแข็ง เนื่องจากมี cuticle ที่มี chitin เป็นองค์ประกอบ cuticle ถูกสร้างมาจากชั้น epidermis มีสารประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ

- chitin เป็นสาร polysaccharide คล้ายกับ cellulose แต่มีไนโตรเจนอยู่ในโครงสร้างด้วย โครงสร้างทางเคมีเป็น N-acetyl-D-glucosamine มีสมบัติที่ไม่ละลายในน้ำ ด่าง หรือกรดอ่อน

- โปรตีน ประกอบด้วย arthropodin และ resilin ที่สามารถทำให้เกิดการแข็งตัวของโปรตีน (sclerotization)

- ไขมันและขี้ผึ้ง (lipid and wax) เป็นส่วนประกอบที่พบเฉพาะบริเวณผิวด้านบนสุดของ cuticle ช่วยป้องกันการระเหยของน้ำในตัว

- calcium carbornate สะสมอยู่ทั่วไปใน cuticle ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ calcite สารพวกนี้ถ้ามีมากจะทำให้เปลือกแข็ง เช่นกระดองปู และถ้ามีน้อยจะนิ่มลง เช่น ตั๊กแตน

โครงร่างภายนอกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่

1. epicuticle มีลักษณะบางเป็นสารประกอบของโปรตีน ไขมัน และขี้ผึ้ง

2. procuticle มีลักษณะหนากว่า epicuticle เป็นประกอบด้วย glycoprotein (สารไคตินรวมตัวกับโปรตีน) เป็นชั้นที่ให้ความแข็งแรงแก่ร่างกาย แบ่งย่อยออกเป็น 2 ชั้น คือ

- exocuticle เป็นชั้นที่แข็งเกิดจากการเกาะกันของโปรตีน เรียกว่า sclerotization ในบริเวณที่ต้องการความยืดหยุ่นเช่นข้อต่อและแนวที่มีการแยกในช่วงลอกคราบ จะไม่มี sclerotization เป็นชั้นที่มีไคตินน้อย ยอมให้น้ำและแก๊สผ่านได้พอสมควร

- endocuticle เป็นชั้นที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไคติน สำหรับใน crustacean จะมีการสะสมของ calcium carbornate ในชั้นนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการลอกคราบ

1. Intermolt เป็นช่วงที่ไม่มีกิจกรรมการลอกราบโดยตรง เป็นการใช้ชีวิตตามปกติ เช่น กินอาหาร สะสมอาหารสร้างเซลล์สืบพันธุ์

2. Premolt (proecdysis) ระยะเตรียมตัวลอกคราบ ช่วงนี้สัตว์ไม่กินอาหาร epidermis จะเริ่มสร้าง epicuticle และปล่อยของเหลวออกมาระหว่างชั้น epicuticle ใหม่กับ cuticle เก่า ของเหลวนี้มีสาร chitinase และ protease ที่ช่วยแยกชั้น cuticle ใหม่และเก่าออกจากกัน และยังช่วยย่อย cuticle เก่า โดยเฉพาะชั้น endocuticle สารที่ถูกย่อยจะถูกดูดกลับไปใช้สร้าง cuticle ใหม่

3. Molt (ecdysis) เป็นระยะสลัดเปลือก เปลือกจะเหลือแต่ exocuticle ที่บาง มีแนวที่เปลือกจะแยกออกจากกัน เรียกว่า ecdysis line บริเวณนี้จะแตกต่างกันไปในและชนิด มีการดูดน้ำเพื่อขยายขนาดของร่างกายและดันตัวออกมาจากคราบเก่าบริเวณรอยแยกของเปลือก และจะกินคราบเก่าเพื่อนำแคลเซียมและสารอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์

4. Postmolt (postecdysis) เป็นระยะหลังการสลัดเปลือก ระยะนี้เปลือกใหม่ยังนิ่มอยู่ มีการสะสมของแคลเซียม และเกิด sclerotization เข้าแทนที่น้ำและอากาศทำให้มีช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อกับโครงร่างแข็งเพื่อการเพิ่มจำนวนและขยายขนาดของเซลล์

ระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการลอกคราบ

1. ระบบประสาท (nervous system)
2. ระบบหมุนเวียนเลือด (circulation)
3. ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system)
4. ระบบขับถ่าย (secretory system)
5. การปรับสมดุลของน้ำและเกลือแร่ (osmoregulation)
6. ระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบ

<u>ปัจจัยภายนอก</u> : ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความเค็ม

1. แสง : ครัสเตเชียนที่อยู่ในสภาพที่ได้รับแสงน้อย ระยะการลอกคราบจะสั้นลงกว่าสภาพที่ได้รับแสงมาก ๆ

2. อุณหภูมิ: อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบและขบวนการควบคุมการลอกคราบทั้งทางตรงและทางอ้อม เพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเผาผลาญพลังงาน กระบวนการลอกคราบจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เช่นปูหิน (*Pachygrapsus crassipes*) จะไม่ลอกคราบที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ปูทะเล *Carcinus maenas* และ ปู *Xantho incinus* จะหยุดการลอกคราบที่ อุณหภูมิ 17-18 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเค็ม: ครัสเตเชียนที่อาศัยในน้ำที่ความเค็มสูงจะมีช่วงการลอกคราบยาวกว่าในน้ำที่ความเค็มต่ำ เช่น ที่ความเค็ม 32 น้ำส่วนในพัน ปูทะเลจะลอกคราบในระยะเวลา 58 วัน ขณะที่ความเค็ม 20 และ5 ส่วนในพัน ปูจะใช้เวลาการลอกคราบประมาณ 50 และ 44 วัน ตามลำดับ

ความเค็มยังมีอิทธิพลต่อ กลไกควบคุมระบบเกลือแร่และน้ำของครัสเตเชียนในช่วงลอกคราบ เช่น ที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน ปริมาณโปรตีนในเลือดของปูทะเลในระยะคราบแข็งจะอยู่ในระดับ 50.05±2.88 มก./มล. ปริมาณของโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 67.35±4.03 มก./มล., 74.25±10.60 มก./มล. และ97.06±14.37 มก./มล. ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณของโปรตีนในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 24.32±5.38 มก./มล. ในระยะลอกคราบ และประมาณ 12.51±3.63 มก./มล. ในระยะหลังลอกคราบ

ปริมาณของคาร์โบไฮเดรทในเลือดก็เช่นเดียวกันกับโปรตีนจะอยู่ในระดับ 70.08±4.74 มก./ดล. ในระยะคราบแข็ง ปริมาณของคาร์โบไฮเดรทในเลือดจะค่อยเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 81.38±5.42 มก./ดล., 107.33±13.66 มก./ดล. และ 83.02±11.00 มก./ดล. ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรทในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 58.70±6.60 มก./ดล.ในระยะลอกคราบและประมาณ 42.92±3.58 มก./ดล. ในระยะหลังลอกคราบ

การที่ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทในเลือดลดต่ำในระยะลอกคราบและในระยะหลังลอกคราบนั้นก็เพราะในระหว่างลอกคราบปูทะเลไม่กินอาหาร ปริมาณของโปรตีนที่สะสมไว้ในร่างกายในระยะก่อนลอกคราบจึงได้ถูกใช้ไปในขบวนการลอกคราบ ประกอบกับในระยะลอกคราบปริมาณน้ำทะเลที่ซึมเข้าสู่ร่างกายมีปริมาณสูงกว่าในระยะอื่น ๆ ด้วย ทำให้ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทในเลือดในระยะนั้นเจือจาง การที่ความดันภายในตัวกุ้งเริ่มสูงขึ้นในระยะหลังลอกคราบ แต่ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทยังลดต่ำอย่างต่อเนื่องและต่ำสุดในช่วงหลังลอกคราบนั้น แสดงว่ากลไกควบคุมเกลือแร่ต่าง ๆ ในเลือดมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลไกควบคุมการไหลของน้ำเข้าภายในตัว

<u>ปัจจัยภายใน</u> : ปัจจัยภายในที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบคือ ระบบฮอร์โมนในร่างกาย

ระบบฮอร์โมนในร่างกาย : การลอกคราบของครัสเตเชียนเป็นขบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนสองชนิดคือ ฮอร์โมนเร่งการลอกคราบ (Molting hormone = MH) และฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt inhibiting hormone =MIH) ซึ่งเซลล์ประสาทส่วนกลาง (Central neurosecretory cell) เป็นผู้ผลิตฮอร์โมนทั้งสองชนิดจะทำงานควบคู่กันไป โดยมีระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ควบคุมผ่านทางเซลล์ประสาท ขณะที่ขบวนการลอกคราบพัฒนามาถึงระยะที่ 3 หรือ Intermolt stage เป็นระยะที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนที่ควบคุมการลอกคราบ (MIH) ที่เอกซ์-ออร์แกนเป็นผู้ผลิตและส่งเข้าระบบเลือดผ่านทางเซลล์ประสาทของเอกซ์-ออร์แกน (neurosecretory cells of X-organ) และไซนัสแกลน (sinus gland)ไปยังจุดหมายปลายทาง ระยะนี้ระดับของฮอร์โมนควบคุมการลอกคราบ(MIH)ในเลือดจะสูงกว่าระดับของฮอร์โมนลอกคราบ (MH) ในระยะที่4 เตรียมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอกคราบ (ระยะD-Proecdysis stage) เมื่อระดับฮอร์โมน MIH ในเลือดจะต่ำกว่าฮอร์โมน MH เอกซ์-ออร์แกนจะส่งสัญญาณไปยังวาย-ออร์แกนให้สร้างฮอร์โมนขึ้นมาชนิดหนึ่งเพื่อส่งไปยังตับ ให้มีการสะสมอินทรีย์สาร และแคลเซียม เป็นการเตรียมตัวลอกคราบ ฮอร์โมนที่เอกซ์-ออร์แกนสร้างขึ้นมีหน้าที่ควบคุมการลอกคราบแต่ละขั้นตอนดังนี้

- ก่อนการลอกคราบ เซลล์ประสาทส่วนกลางจะส่งสัญญาณให้เอกซ์-ออร์แกนผลิตฮอร์โมนขึ้นมาชนิดหนึ่งที่เรียกว่าฮอร์โมนควบคุมการลอกคราบ (Molt inhibiting hormone) เข้าไปเก็บไว้ที่ไซนัสแกลนก่อนส่งเข้าระบบเลือด เพื่อให้ตับได้มีโอกาสสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สำหรับการลอกคราบ

- เมื่อตับ (Hepatopancreas) ได้สะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปริมาณมากเพียงพอสำหรับการลอกคราบแล้ว ก็จะส่งสัญญาณไปให้ระบบประสาทส่วนกลาง สั่งให้วายออร์แกนผลิตฮอร์โมนที่ช่วยเร่งในการลอกคราบ (molting hormone, ecdysone) และส่งเข้าระบบเลือด เมื่อระดับของฮอร์โมนควบคุมการลอกคราบ (MIH) ในเลือดต่ำกว่าฮอร์โมนเร่งการลอกคราบ (MH) กระบวนการลอกคราบก็จะเริ่มต้น

ปัญหาและข้อจำกัดในขบวนการลอกคราบ

1. เทคนิคในการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง : เนื่องจากรูปร่างของครัสเตเชียนแต่ละชนิดแตกต่างกัน เช่น อวัยวะของกุ้งและปูที่มีปลายแหลม เรียว เล็ก และแข็ง จะก่อให้เกิดความยากลำบากในช่วงที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง ถ้าหากมีสิ่งรบกวนหรือตกใจ การลอกคราบจะหยุดชะงัก หรือมีการสลัดรยางค์บางส่วนทิ้งทำให้สัตว์พิการหรืออาจถึงตายได้ หรือที่เรียกว่า "ปรากฏการณ์การลอกคราบไม่ออก"

2. ปัญหาทางด้านสรีระวิทยา : ช่วงเวลาก่อนและหลังการลอกคราบจะมีการปรับปริมาณความเข้มข้นของสารประเภทเกลือแร่ภายในตัว เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น มีการสำรองแคลเซียมในเลือดให้สูงกว่าปกติ เพราะแคลเซียมจะถูกดึงไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ทันทีที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง และดึงน้ำเข้าตัวทำให้ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ในตัวเจือจางลงทันทีเมื่อน้ำเข้าไป

3. ปัญหาทางด้านชีววิทยา : ในช่วงเวลาที่สลัดเปลือกเก่าทิ้งถือว่าเป็นช่วงวิกฤตสัตว์จะไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ หรือเคลื่อนไหวได้ช้ามาก ตัวจะนิ่ม และเปลือกใหม่ยังไม่แข็ง อาจจะถูกทำร้ายจากสัตว์อื่น หรือเป็นอาหารของสัตว์พวกเดียวกันได้

ตัวอย่างการลอกคราบของสัตว์น้ำบางชนิด

1. การลอกคราบของปูทะเล

ปูทะเลมีกระดองแข็ง หุ้มตัว ไม่สามารถขยายหรือเพิ่มขนาดได้ ปูจะเจริญเติบโตหรือมีขนาดใหญ่ขึ้นก็ต่อเมื่อได้สลัดเปลือกเก่าทิ้งและสร้างเปลือกใหม่ที่ใหญ่กว่าเดิม ที่รู้จักหรือที่เรียกกันว่าปูลอกคราบ ปูจะลอกคราบบ่อยครั้งแค่ไหนขึ้นอยู่กับอายุและขนาดของปู ปูที่มีอายุระหว่าง 34-38 วัน ขนาดประมาณ 4.8-7.5 ซ.ม.(ความกว้างของกระดอง) จะลอกคราบทุก ๆ 4 วัน ปูที่มีอายุระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

52-60 วัน ขนาดประมาณ 11.3-14.3 ซ.ม. จะลอกคราบทุก ๆ 8 วัน การเพิ่มขนาดหลังลอกคราบแต่ละครั้งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับขนาดและอายุของปู เช่น ปูที่มีอายุ 30 วัน มีความกว้างของกระดองประมาณ 3.3- 3.6 ซ.ม. เมื่อลอกคราบแล้วปูจะมีขนาดโตกว่าเดิมประมาณ 50% ส่วนปูที่มีอายุ 60 วัน ขนาดประมาณ 13.9-14.9 ซ.ม. หลังลอกคราบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ 27.2%

เมื่อปูจะลอกคราบ สังเกตได้จากกระดองจะเริ่มแยกจากเยื่อหุ้มตัว ระยะนี้ชาวบ้านเรียกว่า "ปูสองกระดอง" เป็นระยะที่ปูเคลื่อนไหวได้ช้า ระยะนี้สารประกอบของปูนและ Chitin ที่มีอยู่ในเปลือกเก่าส่วนหนึ่งจะถูกดึงไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ เปลือกเดิมจึงเปราะ ระยะนี้ความดันภายในตัวปูจะเพิ่มขึ้น ถ้าเจาะกระดองให้เป็นรูเยื่อหุ้มตัวจะปูดทะลักออกมาตามรอยเจาะ เมื่อความดันของเลือดภายในตัวได้เพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งก็จะดันให้เปลือกเก่าแตกออกตามรอยประสานใต้เชิงกระดองและที่โคนก้าม ระยะนี้ปูจะผลิตน้ำเมือกออกมาหล่อเลี้ยงผนังเยื่อหุ้มตัว เพื่อช่วยให้รยางค์ต่าง ๆ สามารถลอดข้อต่อต่าง ๆ จากเปลือกเดิมได้ง่ายขึ้น ปูจะจะสลัดตัวเองจากคราบเก่าด้วยวิธีใช้หลังดันกระดองด้านบน เพื่อให้กระดองส่วนบนตรงรอยต่อระหว่างส่วนหัวและอกกับท้องจะเผยอออก จากนั้นปูจะค่อย ๆ ดันตัวออกมาทีละน้อย ๆ โดยมีขาคู่หลังหรือกรรเชียงออกมาก่อน เมื่อรยางค์ส่วนนั้นได้ปรับสภาพเข้ากับสภาพแวดล้อมภายนอกแล้ว ปู จึงถอดอวัยวะส่วนอื่น ๆ ตามมา โดยมีก้ามเป็นรยางค์คู่สุดท้าย

ขณะที่ลอกคราบใหม่ ๆ ผิวของกระดองจะย่น หลังจากที่ปูปรับระดับความเข้มข้นของเกลือแร่และปริมาณน้ำในตัวให้เข้าสู่ระดับปกติแล้ว เปลือกใหม่จะค่อย ๆ ตึงและเพิ่มขนาดตามส่วน ระยะนี้เป็นช่วงที่ปูมีความอ่อนแอมากที่สุด เคลื่อนไหวไม่ได้ จึงต้องหาที่หลบซ่อนศัตรู ระยะเวลาที่ปูลอกคราบจนกระทั่งกระดองใหม่แข็งนั้นประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นปูเริ่มสะสมอาหารไว้เพื่อการลอกคราบครั้งต่อไป โครงสร้างของกระดองปูทะเลสามารถแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ประกอบด้วย :

- ผิวชั้นนอก (Epidermis) เป็นชั้นที่มีเซลล์ขนาดใหญ่ ภายในเซลล์มีประกอบด้วยรงค์พาหะ (Chromatophore) ทำให้เซลล์มีสี ผิวชั้นนอกตั้งอยู่บนเยื่อฐาน (basement membrane)

- เคลือบผิวชั้นใน (endocuticle) ชั้นนี้ประกอบด้วยชั้นย่อย 3 ชั้น โดยมีชั้นเม็ดสี (pigmental layer) อยู่บนสุดติดกับชั้นเคลือบผิว และ ชั้นเยื่อบุ (membranous membrane) อยู่ล่างสุดติดกับเซลล์ epithelium โดยมีชั้นหินปูน อยู่ตรงระหว่างกลาง

- ชั้นเคลือบผิว (epicuticle) เป็นเปลือกที่อยู่ชั้นนอกสุด ประกอบด้วยไลโพโปรตีน (lipoprotein)

ถ้าพิจารณาตามลักษณะการสร้างผิวชั้นนอก ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสี ขน การถอยกลับในของชั้นเม็ดสีและการแยกตัวของเปลือกใหม่และเปลือกเก่า การลอกคราบของปูทะเลสามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 1 กระดองนิ่ม : stage A

เป็นระยะที่ปูเพิ่งเสร็จจากลอกคราบ กระดองใหม่นิ่ม เหี่ยวย่น ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสี และชั้นเยื่อบุต่าง ๆ จะติดเป็นชั้นเดียวกัน ระยะนี้ปูไม่กินอาหาร ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 1.5% ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลอกคราบ สามารถแบ่งออกเป็นสองระยะย่อยคือ

- ระยะ A-1 (newly molt) : กระดองนิ่มมาก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ขายังไม่แข็ง เคลื่อนที่ไม่ได้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 0.5 % ของช่วงการลอกคราบ

- ระยะ A-2 (soft) : กระดองเริ่มแข็ง น้ำหนักตัวคงที่ น้ำหยุดซึมเข้าตัว น้ำในตัวมีประมาณ 86 % ระยะนี้ใช้เวลา 1.0 %ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 2 กระดองเริ่มแข็ง : stage B (paper shell)

กระดองใหม่เริ่มแข็ง เคลือบผิวชั้นในระหว่างเริ่มการพัฒนามีลักษณะหนาและแข็ง ชั้นเม็ดสีเริ่มมีการถอยกลับ ยังไม่กินอาหาร ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 8.0% ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งออกเป็นสองระยะคือ

- ระยะ B-1: ชั้นหินปูนของเคลือบผิวชั้นในเริ่มพัฒนา ขาแข็งขึ้น น้ำในตัวมีประมาณ 85% ระยะนี้ใช้เวลา 3.0 %ของช่วงการลอกคราบ

- ระยะ B-2 : ชั้นเม็ดสีถอยกลับ ชั้นหินปูนเริ่มพัฒนากว้างขึ้น ขาและเปลือกเริ่มแข็ง น้ำในตัวมีประมาณ 83% ระยะนี้ใช้เวลา 5.0 %ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 3 เปลือกแข็ง : stage C (Intermolt)

กระดองมีความแข็งเต็มที่ ผิวชั้นนอกของเปลือกสมบูรณ์ ชั้นเม็ดสีถอยกลับไปอยู่บริเวณฐานปลายสุดของขน (saetae) เก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 66% ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งออกเป็น สี่ ระยะคือ

- ระยะC-1 : ปูเริ่มเกินอาหาร ชั้นเม็ดสีกว้าง ขาต่าง ๆ แข็งเกือบปกติ ในตัวมีน้ำประมาณ 80% ระยะนี้ใช้เวลา 8.0 %ของช่วงการลอกคราบ

- ระยะC-2 : ชั้นเม็ดสีกว้างมากขึ้น ขาต่าง ๆ แข็ง เปราะง่าย น้ำในตัวมีประมาณ 76% ระยะนี้ใช้เวลา 13 %ของช่วงการลอกคราบ

- ระยะ C-3 : ชั้นเม็ดสีกว้างมากกว่าระยะC-2 น้ำในตัวมีประมาณ 68% ระยะนี้ใช้เวลา15%

- ร ะยะ C-4 : เป็นระยะสุดท้าย การพัฒนาของชั้นเม็ดสีสมบูรณ์ มี การถอยร่นกลับเข้าในระยะนี้ปูกินอาหารตามปกติ การเคลื่อนไหวว่องไว ปราดเปรียว ดุร้าย เริ่มมีการสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการลอกคราบ น้ำในตัวมีประมาณ 60% ระยะนี้ใช้เวลา 30 % ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 4 ก่อนลอกคราบ: (stage D)

กระดองมีความแข็งเต็มที่ เปลือกสมบูรณ์ เป็นระยะที่ปูสะสมอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการลอกคราบ เช่น แคลเซียม เ พื่อใช้ในการลอกคราบครั้งต่อไป กินอาหารน้อย การเคลื่อนไหวช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำในตัวประมาณ 50-60% ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 24% ของช่วงการลอกคราบ สามารถแบ่งเป็น สี่ ระยะย่อย คือ

- ระยะD-1 : ผิวชั้นนอกของเปลือกใหม่เริ่มพัฒนา เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า ทำให้เกิดชั้นของเปลือกใหม่ขนานไปกับเปลือกเก่า เปลือกที่สร้างใหม่ใส่ปริมาณน้ำในตัวคงที่ ระยะนี้ใช้เวลา 15.0 % ช่วงการลอกคราบ

- ระยะD-2 : ช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่และเปลือกเก่ากว้าง ขนบนชั้นเคลือบผิวอันใหม่เริ่มพัฒนาให้เห็นเป็นเส้นขนเล็ก ๆ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5.0 %ของช่วงการลอกคราบ

- ระยะD-3 : เปลือกใหม่พัฒนาสมบูรณ์ เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า เกิดช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่เห็นได้ชัดเจน กระดองแข็งมาก เปราะ แตกง่าย ระยะนี้ปูจะหยุดกินอาหาร เคลื่อนไหวช้า ใช้เวลาประมาณ 3.0 %

- ระยะD-4 : รอยต่อต่าง ๆ ตามเปลือกเริ่มแตก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ใช้เวลาประมาณ 1.0 %

ระยะที่ 5 ลอกคราบ : stage E (Molting)

เป็นระยะที่ปูสลัดกระดองเก่าทิ้ง น้ำถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว ไม่เคลื่อนที่ ไม่กินอาหาร เป็นช่วงเวลาวิกฤติที่สุดของปูทะเล เพราะปูอ่อนแออาจถูกสัตว์อื่นทำร้ายหรือกินเป็นอาหารได้ง่าย ใช้เวลา 0.5 % ของช่วงการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีดังนี้

ชาญชัย ลิ่มเจริญ (2544 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง พันธุกรรม ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2543 วิชาวิทยาศาสตร์1 พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.20/82.00 และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนดแสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นสามารถที่จะนำไปช่วยในการเรียนรู้ของนักศึกษา

ประภาศิริ ใจผ่อง (2540 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การปลูกกุหลาบ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตพืช พบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.73/83.96 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นตามหลักสูตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์กำหนดสามารถที่จะนำไปช่วยในการเรียนรู้ของนักศึกษา

เกรียงศักดิ์ พูนประสิทธิ์ (2538 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องสัญลักษณ์การเชื่อม วิชาการเชื่อมโลหะ 1 สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.50/82.17 และมีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.67 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นสามารถที่จะนำไปช่วยในการเรียนรู้ของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพมีความก้าวหน้าและเกิดการเรียนรู้ได้จริง

ประวิทย์ สิมมาทัน (2539 : 47) ได้วิจัยเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องความปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้าสำหรับการฝึกอาชีพ หลักสูตรการเตรียมเข้าทำงานพบว่า ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หลังจากที่ได้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และได้ผ่านการตรวจสอบจากคณะกรรมการที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้นำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพและหาค่าดัชนีประสิทธิผล โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การทดลองแบบ 1:1 ผลการทดลองปรากฏว่า ได้ค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 71.65/77.32 และดัชนีประสิทธิผล (E.I.) เท่ากับ .48 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น มีข้อบกพร่องเพราะค่าประสิทธิภาพและค่าดัชนีประสิทธิผลยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้และได้ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และได้ดำเนินการทดลอง ผลการทดลองปรากฏว่าได้ค่าประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 82.80/84.52 และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) เท่ากับ .71 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ ประสิทธิภาพ (E_1/E_2) สูงกว่า 80/80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) วัตถุประสงค์เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" แล้วหาประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีในการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

3.3 การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ไม่เคยเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ จำนวน 30 คน จากการสุ่มแบบเจาะจง

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ที่ไม่เคยเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ จำนวน 30 คน จากการสุ่มแบบเจาะจง

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ แต่ละหัวข้อจะมีหัวข้อย่อยให้ผู้เรียนทำการเลือกเรียนตามต้องการและแต่ละหัวข้อจะมีแบบฝึกหัดให้นักศึกษาฝึกทำ ถ้าการเรียนบทเรียนในแต่ละบทเรียนได้เสร็จสิ้นลงแล้ว ในการทำแบบฝึกหัดสามารถย้อนกลับไปดูโจทย์แบบฝึกหัดและเฉลยได้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การวิจัยครั้งนี้มีเครื่องมือในการวิจัยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ RAM หน่วยความจำ 128 MB ขึ้นไป ระบบแสดงผล VGA 24 บิตสีขึ้นไป การ์ดเสียง 16 บิตขึ้นไป เครื่องเล่นซีดีความเร็ว 48X ขึ้นไป ระบบปฏิบัติการ window XP

3.2.2 โปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน Authorware

3.2.3 แผนการสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ

3.2.4 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ

3.2.5 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

3.2.6 แบบประเมินความเหมาะสมของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

3.3 การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คู่มือการใช้งาน Authorware และ ขอคำแนะนำจากผู้ทรงคุณวุฒิ

2. ศึกษาเนื้อหารายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ รหัสวิชา 04083001 ซึ่งเป็นกลุ่มโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ประกอบด้วยทฤษฎี ... คาบ ปฏิบัติ ... คาบ จำนวน ....หน่วยกิต

3. กำหนดหัวข้อเรื่องและวิเคราะห์เนื้อหา เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติ-กรรม

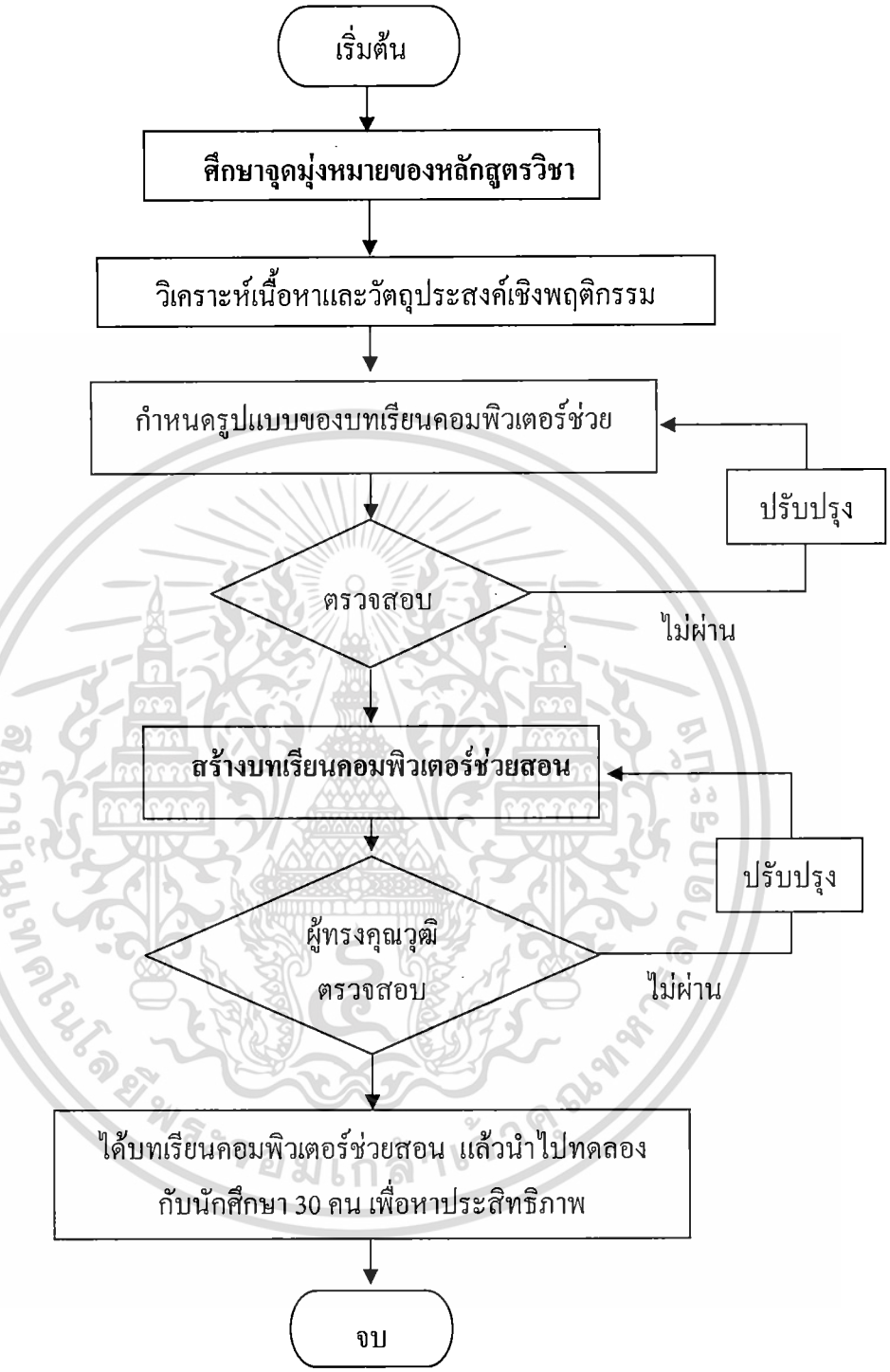
4 วางเค้าโครงเรื่องและจัดลำดับเนื้อหา แล้วนำมาเขียนเป็นบทเรียนโปรแกรมแบบผสมระหว่างบทเรียนโปรแกรมเส้นตรง (Linear Program) กับบทเรียนโปรแกรมสาขา (Branching Program) จัดทำ Storyboard ตั้งแต่เฟรมแรกจนถึงเฟรม

5. เขียนเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยใช้โปรแกรม Authorware และ Software ทางการศึกษาอื่นๆ เป็นโปรแกรมประเภท Authoring System ที่สามารถสร้าง Application มาใช้งานที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การทำงานทางมัลติมีเดีย เช่น การนำภาพ เสียง วีดิทัศน์มาสร้างไว้ใน Application ได้โดยง่าย

6. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ปรับปรุงแล้วเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องสอดคล้อง

7. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผ่านการหาประสิทธิภาพแล้วไปใช้ทดสอบจริงต่อไป ดั่งภาพที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนเรื่องขบวนการลอกคราบ

1. ศึกษาเอกสาร และวิธีการสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียน

2. วิเคราะห์เนื้อหาและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ เพื่อสร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียน

3. สร้างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนเกี่ยวกับการลอกคราบเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ กำหนดคะแนนที่ตอบถูกเป็น 1 คะแนนและข้อที่ตอบผิดหรือตอบมากกว่าหนึ่งข้อในข้อเดียวกันหรือไม่ตอบให้ 0

4. หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ซึ่งเนื้อหาของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนที่สร้างขึ้น

ในการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ใช้หลักเกณฑ์กำหนดความคิดเห็นดังนี้

คะแนน 1 สำหรับข้อสอบที่มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์

คะแนน 0 สำหรับข้อสอบที่ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์

คะแนน -1 สำหรับข้อสอบที่แน่ใจว่าไม่มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์

นำไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์ เลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 นำไปใช้ จำนวน 35 ข้อ ตัดทิ้ง 5 ข้อ

5. นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนที่สร้างขึ้น ไปทดลองกับนักศึกษาที่ผ่านการเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ จำนวน 40 ค น นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนกโดยใช้เทคนิค 27 % ของกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ เลือกข้อมูลที่มีความยากง่ายตามเกณฑ์ได้ 34 ข้อ อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.71 และข้อสอบที่มีค่าอำนาจจำแนก ตามเกณฑ์ได้ 26 ข้อ โดยมีค่าอำนาจจำแนกระว่าง 0.21– 0.71 คัดเลือกข้อสอบที่ครอบคลุมจุดประสงค์ไว้ จำนวน 20 ข้อ

6. หาความเชื่อมั่นของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนทั้งฉบับ โดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder Richardson ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบเท่ากับ 0.72

7. นำแบบวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนที่สมบูรณ์จัดไว้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. ศึกษาวิธีสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยศึกษาจากตำรา และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. สร้างแบบประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับคะแนนคือ ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้ ควรปรับปรุง โดยใช้เกณฑ์ในการแปลความหมายดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงมาตราส่วนประมาณค่าของแบบประเมินคุณภาพสื่อการสอน

คะแนน	ระดับคุณภาพ
5	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับดีมาก
4	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับดี
3	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับปานกลาง
2	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับพอใช้
1	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับควรปรับปรุง

ตารางที่ 3.2 แสดงเกณฑ์การจัดระดับค่าเฉลี่ยของแบบประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

ค่าเฉลี่ยคะแนน	เกณฑ์การแปลความหมาย
4.50 – 5.00	คุณภาพดีมาก
3.50 – 4.49	คุณภาพดี
2.50 – 3.49	คุณภาพปานกลาง
1.50 – 2.49	คุณภาพพอใช้
1.00 – 1.49	ควรปรับปรุง

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา)

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ		ความหมาย
	$(\overline{X})$	S	
1.เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	5.00	0.00	ดีมาก
2.เนื้อหามีความง่ายต่อความเข้าใจและไม่ซับซ้อน	4.50	0.71	ดีมาก
3.ปริมาณของเนื้อหามีความเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป	4.50	0.71	ดีมาก
4.เนื้อหามีความต่อเนื่องและเรียงลำดับจากง่ายไปยาก	4.50	0.71	ดีมาก
5.การนำเสนอเนื้อหามีความชัดเจนง่ายและได้ใจความ	4.50	0.71	ดีมาก
6.ความถูกต้องของเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
7.ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.50	0.71	ดีมาก
8.ความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหา	4.00	0.00	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ		ความหมาย
	$\overline{X}$	S	
รวม	36.50	3.55	อยู่ในระดับ
มีระดับค่าเฉลี่ย $(\overline{X})$	4.56	0.44	ดีมาก

จากตารางที่ 3.3 ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องขบวนการลอกคราบ ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 2 ท่านได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 อยู่ในระดับดีมาก มีเพียงเรื่องความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหาที่อยู่ในระดับดี

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องขบวนการลอกคราบตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านการผลิตสื่อ)

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ		ความหมาย
	$\overline{X}$	S	
1.ความสอดคล้องของภาพกับเนื้อหา	4.66	0.57	ดีมาก
2.การเร้าความสนใจของภาพ	4.66	0.57	ดีมาก
3.ความชัดเจนของภาพ	4.33	0.57	ดี
4.ขนาดของภาพและความสมดุลของภาพกับหน้าจอ	4.33	0.57	ดี
5.ภาพเลื่อนไหว	4.66	0.57	ดีมาก
6.ขนาดของตัวอักษรมีความเหมาะสมกับหน้าจอ	4.33	0.57	ดี
7.รูปแบบของตัวอักษรมีความสวยงามอ่านง่ายและชัดเจน	4.66	0.57	ดีมาก
8.สีของตัวอักษรมีความสวยงามและสะดวกในการอ่าน	5.00	0.00	ดีมาก
9.ความหนาแน่นของข้อความในแต่ละข้อ	4.33	0.57	ดี
10.เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีการตอบโต้กับคอมพิวเตอร์	4.00	0.00	ดี
11.การให้ข้อมูลย้อนกลับอย่างเหมาะสม	4.33	0.57	ดี
12.เวลาในการนำเสนอมีความเหมาะสม	5.00	0.00	ดีมาก
13.บทเรียนมีคำอธิบายการใช้งานอย่างชัดเจน	4.66	0.57	ดีมาก
14.บทเรียนมีการนำเสนอเป็นลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม	4.66	0.57	ดีมาก
15. ใช้ง่ายทั้งการเข้า-ออกและขณะใช้งานของโปรแกรม	4.66	0.57	ดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

หัวข้อที่ประเมิน	ระดับความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ		ความหมาย
	$\overline{X}$	S	
รวม	68.27	6.84	อยู่ในระดับ
มีระดับค่าเฉลี่ย$(\overline{X})$	4.55	0.46	ดีมาก

จากตารางที่ 3.4 ผลการประเมินคุณภาพด้านการผลิตสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่านได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.46 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความเหมาะสมในระดับดีมาก

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องขบวนการลอกคราบ โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.3.1 สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ ให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมและความสอดคล้องของบทเรียน จำนวน 5 ท่าน โดยประเมินตามแบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อ นำผลมาวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร จำนวน 30 คน โดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย

3.3.2 ทำการทดลองกับนักศึกษา 30 คน โดยให้นักศึกษาเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามขั้นตอนด้วยตัวเอง และบทเรียนจะบันทึกคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนแบบฝึกหัดที่ทำขณะเรียน และคะแนนแบบทดสอบหลังเรียนไว้ในโปรแกรม นำคะแนนมาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของบทเรียน

3.3.3 หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

3.4.1 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานโดยใช้ การหา ค่าเฉลี่ย (Mean) , และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.4.2 หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

3.4.3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้สถิติ t-test (Dependent Sample)

3.5 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.5.1.1 การหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์โดยใช้สูตร (บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์ . 2538 : 88-89)

สูตร $$Ioc = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ Ioc คือ ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์

$\sum R$ คือ ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3.5.2 สถิติสำหรับวิเคราะห์แบบทดสอบ

3.5.2.1 การหาความยากง่ายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2537 : 65)

สูตร $$P = \frac{R}{N}$$

เมื่อ P คือ ความยากง่าย

R คือ จำนวนคนที่ทำข้อนั้นถูก

N คือ จำนวนคนที่ทำข้อนั้นทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สูตร $$D=\frac{(R_U-R_l)}{N/2}$$

เมื่อ D คือ ค่าอำนาจจำแนก

R_U คือ จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มเก่ง

R_l คือ จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มอ่อน

N คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด

3.5.2.3 การหาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวิธีของ Kuder Richardson สูตร KR-20 (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2538 : 199)

สูตร $$r_{tt}=\frac{n}{n-1}\left\{1-\frac{\sum pq}{S_t^2}\right\}$$

เมื่อ r_{tt} คือ ความเชื่อมั่น

n คือ จำนวนข้อ

p คือ สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ

q คือ สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ

S_t^2 คือ คะแนนความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

3.5.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

การหาค่าสถิติพื้นฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

3.5.3.1 การหาค่าเฉลี่ย (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2538 : 73)

สูตร $$\overline{X}=\frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ $\overline{X}$ = คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n = จำนวนข้อมูล

3.5.3.2 การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2538 : 79)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร $$S = \sqrt{\frac{n\sum X^2 - \left(\sum x\right)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ S = ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum$ = ผลรวม

X = คะแนน

N = จำนวนผู้ตอบแบบทดสอบทั้งหมด

3.5.4 สถิติที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
(ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2520 : 136)

สูตร $$E_1 = \frac{\left(\frac{\sum X}{N}\right)}{A} X100$$

$$E_2 = \frac{\left(\frac{\sum F}{N}\right)}{B} X100$$

เมื่อ E_1 = ผลสัมฤทธิ์การเรียนบทเรียนหน่วยย่อยคิดเป็นร้อยละ

E_2 = ผลสัมฤทธิ์การเรียนบทเรียนทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ

$\sum X$ = คะแนนรวมที่ตอบถูกของแบบทดสอบระหว่างเรียน

$\sum F$ = คะแนนรวมที่ตอบถูกของแบบทดสอบหลังเรียน

A = คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างเรียน

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

N = จำนวนผู้เรียน

3.5.5 สถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนก่อนและหลังการเรียนโดยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน t-test (dependent sample) (ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. 2538 ; 101)

สูตร $$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{n-1}}}$$

เมื่อ D = เป็นความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

n = เป็นจำนวนคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต วิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ ผู้วิจัยได้จัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ขึ้นเพื่อไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อและพัฒนาบทเรียนให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยดำเนินการทดลองตามขั้นตอน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ที่ได้นำไปทดลองกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เพื่อหาประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

การทดลองกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรจำนวน 30 คน และได้นำผลการทดลอง มาหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการทดลอง

การทดลอง	จำนวนนักศึกษา (คน)	ค่าประสิทธิภาพ	
		หน่วยย่อย(E_1)	ทั้งหมด(E_2)
การทดลอง	30	86.33	84.83

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ นำไปทดลองกับนักศึกษาจำนวน 30 คน ได้ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนหน่วยย่อย (E_1) เท่ากับ 86.33 ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนทั้งหมด (E_2) เท่ากับ 84.83 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

4.2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระหว่างการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ผลสอบของผู้เรียน	จำนวน (คน)	$\bar{x}$	s	t
ก่อนเรียน	30	12.10	2.59	8.81 *
หลังเรียน	30	16.96	1.10	

ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 $\alpha =$ $df =$ $t = 8.81$ *

จากตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เปรียบเทียบผลการทดสอบจากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 12.10 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 16.96 คะแนน นำมาหาค่าสถิติ t-test ได้เท่ากับ 8.81 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research & Development) โดยมุ่งศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีทางการศึกษา เพื่อนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา สรีระวิทยาของสัตว์น้ำ (Physiology of Aquatic Animal) รหัสวิชา 04083001 จัดตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต พุทธศักราช 2542

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

2. หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ก่อนเรียนและหลังเรียน

5.2 สมมติฐานของการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

5.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ดำเนินการใช้กับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร จำนวน 30 คน

1. จัดปฐมนิเทศ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจถึงวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวน การลอกคราบ

2. ให้นักศึกษาได้เรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การลอกคราบ ด้วยตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำคะแนนจากการทำแบบทดสอบทบทวนเนื้อหา และคะแนนจากการประเมินผลก่อนเรียนและหลังเรียนของทุกหน่วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ

5.4 สรุปผลการวิจัย

1. ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้วิจัยได้ดำเนินตามขั้นตอนทดสอบกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เพื่อทดลองหาประสิทธิภาพของบทเรียน ผลการทดลองได้ค่าประสิทธิภาพ 86.33/84.83

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการลอกคราบ พบว่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 12.10 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 16.96 คะแนน นำมาหาค่าสถิติ t-test ได้เท่ากับ 8.81 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.5 การอภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ สามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง มีวัตถุประสงค์ของการเรียนที่แน่นอน มีคำบรรยาย คำแนะนำต่างๆ และมีสื่อประกอบการเรียนอยู่ด้วยอย่างสมบูรณ์นำไปใช้สอนได้จริง จากผลการวิจัยสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ด้านการหาประสิทธิภาพของ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ 80/80 จากการทดลองกับนักศึกษาจำนวน 30 ค นได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 86.33/84.83 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ขบวนการลอกคราบ มีประสิทธิภาพ สามารถใช้สอนกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงได้จริงและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญชัย ลิ่มเจริญ (2544 : บทคัดย่อ) ซึ่งได้วิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องพันธุกรรม ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2543 วิชาวิทยาศาสตร์1 ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.20/82.00 และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้คือ 80/80 และ ประภาศิริ ใจผ่อง (2540 : บทคัดย่อ) ได้วิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การปลูกกุหลาบ ในระดับระดับปริญญาตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรการผลิตพืช ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีประสิทธิภาพเท่ากับ 87.20/85.60 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์กำหนด

2. ด้านการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้วิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา สรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง ขบวนการลอกคราบ ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของแบบทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 12.10 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 16.96 คะแนน นำมาหาค่าสถิติ t-test ได้เท่ากับ 8.81 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญชัย ลิ่มเจริญ (2544 : บทคัดย่อ) ซึ่งได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง พันธุกรรม ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2543 และจัดเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนกับการสอนปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยการสอนปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ ประภาศิริ ใจผ่อง (2540 : บทคัดย่อ) ได้ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การปลูกกุหลาบ ในระดับระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตรการผลิตพืช ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ในส่วนของผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาได้ค่าเฉลี่ย 4.56 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก และด้านการผลิตสื่อได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ รวมไปถึงเนื้อหามีเหมาะสมกับผู้เรียน

5.6 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนบางคนยังขาดทักษะในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้การศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนล่าช้าผู้เรียนเกิดความเบื่อหน่าย ควรจัดอบรมการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ก่อนเรียนด้วยตนเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนจำนวนมากก่อให้เกิดอุปสรรคต่อการเรียน และการควบคุมชั้นเรียน กลุ่มทดลองบางคนไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำในการเรียน และขณะเรียนบางคนตื่นเต้นกลัวไม่ทันเวลารีบทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบโดยไม่ได้ศึกษาอย่างเข้าใจ

3. การจัดทำบทเรียนควรมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพและมีโปรแกรม Antivirus ที่สามารถปกป้องงานไม่ให้ถูกทำลายเกิดผลเสียทำให้ต้องจัดทำข้อมูลใหม่

4. การทำงานวิจัยที่ต้องใช้สัตว์น้ำเป็นส่วนประกอบในบทเรียนยากต่อการควบคุมสิ่งแวดล้อมในการถ่ายทำเพื่อให้ได้ภาพเคลื่อนไหวที่ดี

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ ไปทดลองกับนักศึกษาในสถาบันอื่นๆ หรือการเปรียบเทียบกับการเรียนของกลุ่มที่เรียนตามปกติว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าหรือไม่ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ชุดนี้ให้ได้มาตรฐานยิ่งขึ้น

2. ควรมีการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ในเรื่องอื่นๆ ในรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำให้กว้างขวางมากขึ้น

3. ควรมีการพัฒนารูปแบบของแบบทดสอบระหว่างเรียนให้มีหลากหลายมากขึ้นหรืออาจจะมีเกม ซึ่งจะช่วยให้เร้าความสนใจของผู้เรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Abramo, L.R. D, D.E. Conklin and D. M. Akiyama. 1997. Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. Volume 6. USA

Ando, T., A. Kanazawa, S. Teshima, J. Patrois and H. J. Ceccaldi. 1977. Variation in the lipids of tissues during the molting cycle of prawn. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 43(12): 1445-1449.

de Fur, P.L. 2004. Use and role of invertebrate models in endocrine disruptor research and testing. ILAR Journal. 45 (4) : 484-493.

Drach, P., 1939. Mue et cycle d'intermue chez les crustacés décapodes. *In* Waterman, T.H. (ed.). The physiology of Crustacea vol. 1. New York, Academic Press.

Ewer, J. 2005. How the Ecdysozoan Changed Its Coat. PLoS Biol 3(10): e349.

Fernandez, A.V. G., F. L. G.Carreno, M.A.N. del Toro and J.L. Fenucci. 2001. Digestive proteinases of red shrimp *Pleoticus muelleri* (Decapoda,Penaeidae) : partial characterization and relationship with molting. Comp Biochemistry and Physiology part B 130 : 331 - 338.

Hickman, C.P., L.S. Roberts, S.L. Keen, A. Larson, H. I'Anson and D.J. Eisenhour. 2008. Integrated Principles of Zoology Fourteenth Edition. McGraw-Hill Higher Education, New York, USA.

Passano, L.M. 1960. The Physiology of Crustacean vol. 1. Academic Press, New York.

Promwikorn, W., P. Kirirat and P. Thaweethamsewee. 2004. Index of molt staging in the black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Songklanakarin J. Sci. Technol. 26(5): 765-772.

Phippen, M.K., S.G. Webster, J.S. Chung and H. Dircksen. 2000. Ecdysis of decapoda crustacean is associated with a dramatic release of crustacean cardioactive peptide into the haemolymph. The Journal of Experimental Biology. 203: 521–536.

Schafer, H. J. 1967. Chitin resorption by *Penaeus duorarum*. Contr. Fdn mar. Sci. 1:1–8

Scheer, B.T. 1960. Aspects of intermoult cycle in natantians. Comp. Biochem. Physiol. 1:3–18

Waterman, T.H. 1960. The Physiology of Crustacean Vol. 1. Academic Press London and New York. 670 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิดานันท์ มลิทอง. 2543. **เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม พิมพ์ครั้งที่ 2.** ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

เกษมศรี พรหมภิบาล**. ผลของการสอนวิชาการออกแบบ 1 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก ระดับมัธยมศึกษา**

ฉัตรชัย กางกั้น และ อรรณพ กางกั้น . 2541. **คอมพิวเตอร์ศาสตร์.** บริษัท แคนเน้ดบุ๊ค จำกัด.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ.2533 : **เทคโนโลยีการสอน.**การออกแบบและพัฒนา. กรุงเทพมหานคร : โอเอพรินติ้งเฮาส์,

ฐาปนีย์ ธรรมเมธา.2541: การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับความคิดของตนเอง.เทคโนฯ-ทับแก้ว. (มิ.ย.-ต.ค. 2541) : 49-55.

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน พิมพ์ครั้งที่ 2.** บริษัท วงกมล โพรดักชั่น จำกัด.

ทิศนา แขมมณี. 2542 :**การจัดการเรียนการสอนโดยยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง : โมเดลซิปปา** (CIPPA MODEL). วารสารครุศาสตร์ 27 (มี.ค.-มิ.ย. 2542) : 1-17

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร. 2550. ชีววิทยาของครัสเตเชียน. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 245 น.

นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร. 2542. **สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำ.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 237น.

บรรจง เทียนส่งรัศมี. 2550. สำนักประสานงานวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร พืชและสัตว์น้ำ สกว. นานาสัตว์น้ำ. 11 (1): 2-5.

บุปผชาติ ทัพหิกรณ์. 2538 : **มัลติมีเดียปฏิสัมพันธ์** . วารสาร สสวท. ปีที่ 23 ฉบับที่ 90 (กรกฎาคม-กันยายน, 2538) : 25-35.

บุญสิริ สุวรรณเพ็ชร์. 2541. **คอมพิวเตอร์เบื้องต้น.** บริษัท เอส อาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด.

ประจวบ หลำอุบล. 2537. **สรีรวิทยาของกุ้ง.** คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 311น.

ประจวบ หลำอุบล. 2527. เอกสารคำสอนวิชากุ้ง. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 237 น.

พัลลภ พิริยะสุรวงศ์.2539 : **ระบบการเรียนการสอน IMCAI.วารสารเทคโนโลยีการศึกษา.ที่** 3 ฉบับที่ 3, (2539) : 43-57.ยืน ภู่วรวรรณ. 2538 : **การประยุกต์เทคโนโลยีทางการศึกษา.** วารสารการศึกษาแห่งชาติ. 29 (ธันวาคม 2537-มกราคม 2538) : 22-37.

รสริน พิมลบรรยงก์ และ คณะ. 2543. **เอกสารชุดการเรียนด้วยตนเอง วิชาเทคโนโลยีการศึกษา.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่งจรัส หุตะเจริญ. 2535. การศึกษาความเป็นไปได้ ในการใช้พืชพรรณพื้นเมืองของไทยที่มีฮอร์โมนลอกคราบผลิตเป็นอาหารผสมสำหรับเร่งการลอกคราบของกุ้งกุลาดำ. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม. 17 น.

วาสนา สุขกระสานติ. 2541. **โลกของคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ**. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2546. **วิทยาต่อมไร้ท่อของปลาและครัสเตเซีย**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. 198 น.

สุมนา เกษมสวัสดิ์ และคณะ. 2521. ความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.

อภิญญา อิงอาจ .2545 : **บทคัดย่อการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาสถิติเบื้องต้น เรื่องทฤษฎีความน่าจะเป็นเบื้องต้น**

http://edtech.pn.psu.ac.th/techno/modules.php?name=News&file=article&sid=11

http://edtech.pn.psu.ac.th/techno/modules.php?name=News&file=article&sid=12

http://edtech.pn.psu.ac.th/techno/modules.php?name=News&file=article&sid=12

http://edtech.pn.psu.ac.th/techno/modules.php?name=News&file=article&sid=11

http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet1/network/it1.htm

http://www.thai.net/educomtech/CBT1.htm

http://mathphysicschemistrybiolo...ons.html

http://ranong.doae.go.th/

http://ranong.doae.go.th/

http://www.aei-andaman.com/

http://www.britannica.com/EBchec...tegument

http://www.enchantedlearning.com/

http://www.peteducation.com/

http://www.serc.si.edu/

http://www.vet.kps.ku.ac.th/

www.serc.si.edu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ภาคผนวก ข จุดประสงค์ เนื้อหา และข้อสอบ

ภาคผนวก ค แบบประเมินคุณภาพสื่อการสอนด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. การหาค่าความยากง่าย
2. การหาค่าอำนาจจำแนก
3. การหาค่าความเชื่อมั่น
4. การหาค่าประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
5. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 แสดงค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (r) จากการทำแบบทดสอบจำนวน 20 ข้อ ที่นำไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง ที่เคยเรียนวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

ข้อที่	R_U	R_l	R	$R_U - R_l$	p	q	pq	r
1	7	3	10	4	0.36	0.64	0.23	0.29
2	14	7	21	7	0.75	0.25	0.19	0.50
3	10	6	16	4	0.57	0.43	0.25	0.29
4	9	5	16	4	0.57	0.43	0.25	0.29
5	6	3	9	3	0.32	0.68	0.22	0.21
6	7	2	9	5	0.32	0.68	0.22	0.36
7	14	6	20	8	0.71	0.29	0.21	0.57
8	10	7	17	7	0.61	0.39	0.24	0.50
9	7	3	10	10	0.36	0.64	0.23	0.71
10	10	5	15	5	0.54	0.46	0.25	0.36
11	12	8	20	4	0.71	0.29	0.21	0.39
12	7	4	11	3	0.39	0.61	0.24	0.21
13	9	6	15	3	0.54	0.46	0.25	0.21
14	11	7	18	4	0.64	0.36	0.23	0.29
15	10	4	14	6	0.50	0.50	0.25	0.43
16	9	5	14	4	0.50	0.50	0.25	0.29
17	8	3	11	5	0.39	0.61	0.24	0.36
18	12	7	19	5	0.68	0.32	0.22	0.36
19	8	5	13	3	0.46	0.54	0.25	0.21
20	9	3	12	6	0.43	0.57	0.25	0.43
							$\sum pq = 4.68$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร $$r_{tt} = \frac{n}{n-1}\left[1 - \frac{\sum pq}{S_1^{\,2}}\right]$$

แทนค่า $$r_{tt} = \frac{20}{20-1}\left[1 - \frac{4.68}{14.79}\right]$$

$$r_{tt} = \frac{20}{19}[1 - 0.32]$$

$$r_{tt} = \frac{20}{19} x 0.68$$

$$r_{tt} = 0.72$$

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบชุดนี้มีค่าเท่ากับ 0.72 แสดงว่าแบบทดสอบฉบับนี้มีความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 แสดงค่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ทดลองจริงกับนักศึกษาจำนวน 30 คน

นักเรียนคนที่	คะแนนกิจกรรมหลังเรียน (20 คะแนน)	คะแนนกิจกรรมการเรียน (20 คะแนน)
1	17	16
2	17	16
3	18	17
4	18	17
5	17	16
6	18	18
7	17	17
8	18	18
9	17	16
10	17	17
11	18	17
12	17	17
13	17	18
14	17	18
15	16	16
16	18	17
17	16	16
18	18	18
19	17	17
20	18	18
21	16	16
22	18	17
23	18	16
24	17	17
25	18	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 (ต่อ)

นักเรียนคนที่	คะแนนกิจกรรมหลังเรียน (20 คะแนน)	คะแนนกิจกรรมการเรียน (20 คะแนน)
26	16	16
27	17	17
28	18	18
29	18	16
30	18	18
	518	509
	17.27	16.97

สูตร $E_1 = \frac{(\sum X/N)}{A} x100$ $E_2 = \frac{(\sum X/N)}{B} x100$

$E_1 = \frac{(518/30)}{20} x100$ $E_2 = \frac{(509/30)}{20} x100$

$E_1 = 86.33$ $E_2 = 84.83$

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" ค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนหน่วยย่อย (E_1) เท่ากับ 86.33 และค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทเรียนทั้งหมด(E_2) เท่ากับ 84.83 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพได้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"

คนที่	คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน (20คะแนน)	คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน (20คะแนน)	D	D^2
1	11	16	5	25
2	9	17	8	64
3	15	17	2	4
4	8	17	9	81
5	14	16	2	4
6	10	19	9	81
7	11	16	5	25
8	9	18	9	81
9	14	19	5	25
10	13	16	3	9
11	12	18	6	36
12	8	20	12	144
13	7	16	9	81
14	9	16	7	49
15	14	18	4	16
16	12	17	5	25
17	13	17	4	16
18	8	17	9	18
19	13	18	5	25
20	13	18	5	25
21	14	16	2	4
22	11	16	5	25
23	13	16	3	9
24	12	17	5	25
25	14	16	2	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 (ต่อ)

คนที่	คะแนนแบบทดสอบก่อนเรียน (20คะแนน)	คะแนนแบบทดสอบหลังเรียน (20คะแนน)	D	D^2
26	14	17	3	9
27	15	16	1	1
28	15	16	1	1
29	16	16	0	0
30	16	17	1	1
$\sum$	363	509	146	976
$\overline{X}$	12.10	16.96		

แสดงการหาค่า $t-test$ สูตร $$t=\frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2-(\sum D)^2}{n-1}}}$$

แทนค่า $$t=\frac{146}{\sqrt{\frac{30(976)-(146)^2}{30-1}}}$$

$$t=\frac{146}{\sqrt{\frac{29280-21316}{29}}}$$

$$t=\frac{146}{16.57}$$

$$t=8.81$$

ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ" พบว่า คะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบก่อนเรียนเท่ากับ 12.10 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียนเท่ากับ 16.96 คะแนน นำมาหาค่าสถิติ t-test ได้เท่ากับ 8.81 แสดงว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 แสดงการวิเคราะห์คะแนนก่อนเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง “ขบวนการลอกคราบ”

คะแนน (x)	ความถี่ (f)	fx	fx^2
16	2	32	512
15	3	45	675
14	6	84	1176
13	5	65	845
12	3	36	432
11	3	33	363
10	1	10	100
9	3	27	243
8	3	24	192
7	1	7	49
$\sum$	$N = 30$	363	4587

สูตร $$S^2 = \frac{N\sum fx^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

แทนค่า $$S^2 = \frac{30(4587) - (363)^2}{30(30-1)}$$

$$S^2 = \frac{137610 - 131769}{870}$$

$$S^2 = \frac{5841}{870}$$

$$S = 6.71$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก5 แสดงการวิเคราะห์คะแนนหลังเรียนของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง “ขบวนการลอกคราบ”

คะแนน (x)	ความถี่ (f)	fx	fx^2
20	1	20	400
19	2	38	722
18	5	90	1620
17	9	153	2601
16	13	208	3328
$\sum$	$N = 30$	509	8671

สูตร $$S^2 = \frac{N\sum fx^2 - (\sum x)^2}{N(N-1)}$$

$$S^2 = \frac{30(8671) - (509)^2}{30(30-1)}$$

$$S^2 = \frac{26013 - 259081}{870}$$

$$S^2 = \frac{1049}{870}$$

$$S = 1.21$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก6 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง “ขบวนการลอกคราบ”ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา)

หัวข้อที่ประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิ		ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2		
1.เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	5.00	5.00	5.00	**ดีมาก**
2.เนื้อหามีความง่ายต่อความเข้าใจและไม่ซับซ้อน	5.00	4.00	4.50	ดีมาก
3.ปริมาณของเนื้อหามีความเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป	4.00	5.00	4.50	ดีมาก
4.เนื้อหามีความต่อเนื่องและเรียงลำดับจากง่ายไปยาก	5.00	5.00	4.50	ดีมาก
5.การนำเสนอเนื้อหามีความชัดเจนง่ายและได้ใจความ	4.00	5.00	4.50	ดีมาก
6.ความถูกต้องของเนื้อหา	5.00	5.00	5.00	ดีมาก
7.ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5.00	4.00	4.50	ดีมาก
8.ความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหา	4.00	4.00	4.00	ดี
รวม	37	37	36.50	อยู่ในระดับ
มีระดับค่าเฉลี่ย $(\overline{X})$			4.56	ดีมาก

ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง “ขบวนการลอกคราบ”ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 2 ท่านได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 อยู่ในระดับดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก7 แสดงผลการประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านการผลิตสื่อ)

หัวข้อที่ประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิ			เฉลี่ย	ความหมาย
	คนที่1	คนที่2	คนที่3		
1.ความสอดคล้องของภาพกับเนื้อหา	5.00	4.00	5.00	4.66	ดีมาก
2.การเร้าความสนใจของภาพ	4.00	5.00	4.00	4.33	ดี
3.ความชัดเจนของภาพ	4.00	4.00	5.00	4.33	ดี
4.ขนาดของภาพและความสมดุลของภาพกับหน้าจอ	5.00	4.00	4.00	4.33	ดี
5.ภาพเคลื่อนไหว	4.00	5.00	5.00	4.66	ดีมาก
6.ขนาดของตัวอักษรมีความเหมาะสมกับหน้าจอ	5.00	4.00	5.00	4.66	ดีมาก
7.รูปแบบของตัวอักษรมีความสวยงามอ่านง่ายและชัดเจน	5.00	5.00	4.00	4.66	ดีมาก
8.สีของตัวอักษรมีความสวยงามและสะดวกในการอ่าน	5.00	5.00	5.00	5.00	ดีมาก
9.ความหนาแน่นของข้อความในแต่ละข้อ	4.00	4.00	5.00	4.33	ดี
10.เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีการตอบโต้กับคอมพิวเตอร์	4.00	4.00	4.00	4.00	ดี
11.การให้ข้อมูลย้อนกลับอย่างเหมาะสม	4.00	4.00	5.00	4.33	ดี
12.เวลาในการนำเสนอมีความเหมาะสม	5.00	5.00	5.00	5.00	ดีมาก
13.บทเรียนมีคำอธิบายการใช้งานอย่างชัดเจน	5.00	4.00	5.00	4.66	ดีมาก
14.บทเรียนมีการนำเสนอเป็นลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม	5.00	5.00	4.00	4.66	ดีมาก
15. ใช้ง่ายทั้งการเข้า-ออกและขณะใช้งานของโปรแกรม	4.00	5.00	5.00	4.66	ดีมาก
	68	67	70	68.27	อยู่ในระดับ
มีระดับค่าเฉลี่ย $(\overline{X})$				4.55	ดีมาก

ผลการประเมินคุณภาพด้านการผลิตสื่อของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรายวิชาสรีระวิทยาของสัตว์น้ำ เรื่อง "ขบวนการลอกคราบ"ตามความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่านได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 อยู่ในระดับดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

จุดประสงค์ เนื้อหา และข้อสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลอกคราบ (Ecdysis)

การเจริญเติบโตของสัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) ในไฟลัม Arthropoda โดยเฉพาะชั้นครัสเตเชียน (Crustacean) แตกต่างจากสัตว์ประเภทอื่น ๆ ที่ต้องมีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง โดยจะมีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกเก่า เนื่องจากเปลือกที่ห่อหุ้มตัวเปรียบเสมือนเกราะซึ่งขัดขวางการเพิ่มขนาดของเซลล์และเนื้อเยื่อ การสลัดเปลือกเก่านั้นใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาที แต่ขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมก่อนการสลัดเปลือกจะใช้ระยะเวลานาน บางชนิดอาจใช้ระยะเวลาเป็นปี ขบวนการดังกล่าวเรียกว่า การลอกคราบ

เมื่อกล่าวถึงการลอกคราบจะมีคำศัพท์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องสองคำคือ molting และ ecdysis โดย molting จะหมายถึง ระยะที่สัตว์กำลังสลัดเปลือกเก่าออกจากตัว ในขณะที่ ecdysis เป็นภาพรวมของการลอกคราบซึ่งหมายถึง ขบวนการลอกคราบ ที่รวมเอาขั้นตอนการสะสมอาหารและเกลือแร่ที่จำเป็นก่อนและหลังการลอกคราบ การดึงสารอาหารจากเปลือกเก่ามาใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ และการขยายตัวของเนื้อเยื่อหลังลอกคราบ การลอกคราบจึงไม่ใช่พฤติกรรมที่เกิดขึ้นธรรมดาทั่วไปเท่านั้น แต่เป็นพฤติกรรมที่สรีรที่ขาดไม่ได้ตลอดชีวิต พบว่าการลอกคราบครั้งหนึ่ง ๆ นั้น เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่เหลืออีก 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นการสะสมอาหารและพลังงาน

การลอกคราบไม่เพียงเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพื่อการเจริญเติบโตเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์โดยในครัสเตเชียนบางชนิดเพศเมียจะต้องมีการลอกคราบก่อนเพศผู้จึงจะสามารถสอดถึงน้ำเชื้อเข้าไปในเพศเมียได้ เนื่องจากคราบหรือเปลือกที่แข็งเป็นตัวขัดขวาง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม เช่น เมื่อย้ายกุ้งจากบ่อหนึ่งไปยังอีกบ่อหนึ่งที่มีคุณสมบัติของน้ำแตกต่างกัน กุ้งจะการลอกคราบ และเมื่อครัสเตเชียนมีการสูญเสียรยางค์ก็จะมีการลอกคราบเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้มีการงอก (regenerate) ของรยางค์ส่วนที่สูญเสียไปนั่นเอง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เกษตรกรนำมาปรับใช้ในการทำปูนิ่ม (ในอดีต) และกระตุ้นการวางไข่ของกุ้งโดยการตัดก้านตาที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนอีกหลายชนิด ดังนั้นการเจริญเติบโตของ Arthropod โดยเฉพาะ Crustacean จึงต้องมีการลอกคราบเสมอ แต่การลอกคราบไม่ได้ทำให้สัตว์เจริญเติบโตขึ้นเสมอไป

โครงสร้างของเปลือก

ผิวลำตัวของครัสเตเชียนซึ่งได้แก่ กุ้ง ปู กั้ง และกุ้งมังกร เป็นต้น ถูกปกคลุมด้วย cuticle ที่มีลักษณะเหนียว โดยเฉพาะส่วนที่เป็นโครงร่างแข็งภายนอกที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ โครงร่างดังกล่าวจึงมีความแข็งแรงและสามารถป้องกันอันตรายให้กับอวัยวะต่าง ๆ ได้ cuticle ของครัสเตเชียนถูกสร้างโดยเซลล์ที่อยู่ในผิวหนังชั้น hypodermis ที่อยู่ใต้เปลือกแข็ง โดยทั่วไป cuticle มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญคือโปรตีนและไคติน (chitin) นอกจากนี้ยังมีพวกไขมัน (lipid) polyphenol และ phenolases หรือ polyphenol oxidases สารต่าง ๆ เหล่านี้กระจายอยู่ตามชั้นต่าง ๆ ของ cuticle โดยปกติสามารถแบ่ง cuticle ออกเป็น 2 ชั้น (นงนุช, 2542) (ภาพที่ 1) ดังนี้

1. Epicuticle เป็นเปลือกชั้นนอกสุด มีลักษณะบางและใส ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นสารไคติน (outer non-chitinous epicuticle) องค์ประกอบของสารที่พบในชั้นนี้คือ โปรตีน ไลปิด และแคลเซียม ซึ่งอาจอยู่ในรูปของ calcium phosphate หรือ calcium carbonate สารเหล่านี้จะเรียงตัวกันโดยโปรตีนจะรวมตัวกับไลปิดในรูปของ lipoprotein ล้อมรอบแคลเซียมไว้ ชั้นนี้จึงมีความเหนียวมากกว่าชั้นอื่น ๆ อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมที่พบในชั้นนี้น้อยกว่าชั้นอื่น ๆ ที่อยู่ลึกลงไป

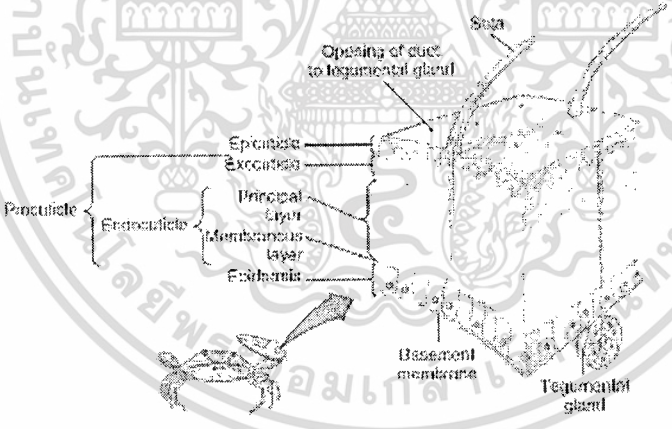
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Procuticle เป็นชั้นที่อยู่ถัดไป และมีไคตินเป็นองค์ประกอบ (inner chitinous epicuticle) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย

2.1. Exocuticle เป็นชั้น procuticle ที่อยู่ด้านนอกถัดจาก epicuticle ชั้นนี้เป็นชั้นที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ เนื่องจากมีปริมาณเม็ดสี (pigment) มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกอีกชื่อว่าชั้นเม็ดสี (pigmented layer) เม็ดสีที่สำคัญ ได้แก่ เม็ดมีเมลานิน (melanin pigment; tainned protein) องค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไคติน โปรตีน และฟีนอล สารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมีการเรียงตัวกัน โดยไคตินและโปรตีนจะสานกันเป็นร่างแห โดยมีเม็ดสี แคลเซียม และสารอื่น ๆ รวมตัวกันภายในร่างแห การเรียงตัวดังกล่าวทำให้ exocuticle มีความแข็งแรงมากกว่าชั้นอื่น ๆ

2.2. Endocuticle เป็นชั้นที่อยู่ถัดจาก exocuticle เป็นชั้นที่หนาที่สุดและยังเป็นชั้นที่มีปริมาณแคลเซียมสะสมมากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่า calcified layer ชั้นนี้ไม่มี tanned protein ส่วนองค์ประกอบอื่นจะคล้ายกับ exocuticle อย่างไรก็ตามชั้นนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า exocuticle เนื่องจากมีเฉพาะแคลเซียมเท่านั้นที่เรียงตัวแทรกอยู่ระหว่างร่างแหของไคตินและโปรตีน

ในระหว่างชั้น endocuticle และ hypodermis นั้น จะมีชั้นบางๆ ของเปลือกแทรกอยู่อีกหนึ่งชั้น เรียกว่า membranous layer ชั้นนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ แต่มีคินและโปรตีน บางครั้งจึงเรียกว่า uncalcified layer สำหรับใต้ชั้น hypodermis ลงมานั้นจะมี tegumental gland อยู่ เป็นต่อมที่ประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ที่มีหน้าที่สร้างสาร และมีท่อยาวเปิดออกภายนอกบริเวณผิว epicuticle



ภาพที่ 1 โครงสร้างเปลือกของปู

ที่มา : Hickman *et al.* (2008)

วงจรการลอกคราบ (Molting cycle)

ได้มีการศึกษาขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงการลอกคราบ และแบ่งวงจรการลอกคราบไว้หลายรูปแบบ และพบว่าสัตว์แต่ละชนิดมีวงจรการลอกคราบในแต่ละระยะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย แต่ในภาพรวมมีขั้นตอนที่ใกล้เคียงกัน สามารถแบ่งออกเป็น ขั้นตอนต่าง ๆ 4 ขั้นตอน (ภาพที่ 2) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Intermolt เป็นช่วงที่ไม่มีกิจกรรมการลอกคราบโดยตรง เป็นการดำรงชีวิตตามปกติ ได้แก่ การกินอาหาร การสะสมอาหาร และการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในพวกที่เป็นตัวเต็มวัย เป็นต้น

2. Premolt (Proecdysis) เป็นระยะเตรียมลอกคราบ ช่วงนี้สัตว์จะไม่กินอาหาร epidermis เริ่มสร้าง epicuticle และปล่อยของเหลวออกมาระหว่างชั้น epicuticle ใหม่ กับ cuticle เก่า ของเหลวนี้มีสาร chitinase และ protease ที่ช่วยแยกชั้น cuticle ใหม่และเก่าออกจากกัน และยังช่วยย่อย cuticle เก่า โดยเฉพาะชั้น endocuticle สารที่ถูกย่อยจะถูกดูดซึมกลับไปใช้สร้าง cuticle ใหม่ แม้ว่า cuticle เก่าออกจาก epidermis แต่ก็ยังปกคลุมตัวสัตว์อยู่

3. Molt (Ecdysis) ช่วงนี้เปลือกเก่าจะเหลือเพียง exocuticle ซึ่งบาง และจะมีส่วนที่เปลือกแยกออกจากกัน เรียกว่า ecdysis line บริเวณนี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของ Arthropod จะมีการดูดน้ำหรือในสัตว์บกจะมีการดูดอากาศเพื่อขยายขนาดของร่างกาย และดันตัวสัตว์ออกมาจากเปลือกเก่า บริเวณรอยแตกของเปลือก ส่วนมากสัตว์จะกินคราบเก่าที่ยังมีสารแคลเซียมและสารอินทรีย์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

4. Postmolt (Postecdysis) หลังจากลอกคราบเก่าออกไปแล้วเปลือกใหม่จะยังคงนิ่มอยู่ ต่อจากนั้นจึงมีการสะสมของแคลเซียมและเกิด sclerotization เข้าแทนที่น้ำและอากาศที่ดูดเข้ามาทำให้มีช่องว่างของเนื้อเยื่อกับโครงร่างแข็ง ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์และขยายขนาดของเซลล์

ในขณะที่ Warner (1977) แบ่งวงจรการลอกคราบโดยละเอียดออกเป็น 5 ระยะ (ภาพที่ 3) ได้แก่

ระยะที่ 1 ระยะ A ระยะลอกคราบใหม่ ๆ (Newly molt) เป็นระยะที่สัตว์เพิ่งสลัดเปลือกเก่าออกไป ระยะนี้สัตว์จะไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 2 ระยะย่อย

ระยะ A-1 ระยะเปลือกนิ่ม เป็นระยะที่เปลือกยังนิ่มมาก โครงสร้างภายนอกเป็นเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม สัตว์มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการดูดซึมน้ำเข้าไปมาก ทำให้รยางค์ขาซึ่งมีเปลือกนิ่มเช่นกันไม่สามารถพยุงหรือรับน้ำหนักของลำตัวได้ สัตว์จึงอยู่นิ่ง ๆ ไม่เคลื่อนไหว นอกจากมีการดูดซึมน้ำแล้วยังมีการดึงแร่ธาตุโดยเปลือกชั้นนอก ใช้เวลาประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ A-2 ระยะเปลือกเริ่มแข็ง เป็นระยะที่เปลือกใหม่ของสัตว์เริ่มแข็งตัวมีลักษณะคล้ายแผ่นหนัง ในช่วงนี้น้ำหนักตัวเริ่มคงที่และหยุดการดูดซึมน้ำเข้าตัว ในปูจะมีปริมาณน้ำในตัวประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกุ้งจะมีประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้สัตว์สามารถพยุงร่างกายหรือทรงตัวได้ และสามารถเคลื่อนไหวได้ การดึงแร่ธาตุเกิดขึ้นโดยเปลือกชั้นใน ใช้เวลา 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 2 ระยะ B ระยะหลังการลอกคราบ (Post molt หรือ Recently molt) เป็นระยะที่เปลือกใหม่เริ่มแข็ง หรือเกิดกระบวนการ calcification ระยะนี้สัตว์ยังไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 8.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 2 ระยะย่อย ได้แก่

ระยะ B-1 เป็นระยะที่เกิดชั้น calcified layer และมีการดึงแคลเซียมเข้ามาสะสมทำให้เปลือกมีความแข็งมากขึ้น รยางค์ขาแข็งแรงขึ้น ปริมาณน้ำในตัวลดลงเล็กน้อย โดยในสัตว์จำพวกกุ้งจะเหลือประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 3.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ B-2 เป็นระยะที่การสร้างเปลือกหรือการแข็งตัวของเปลือกยังคงดำเนินต่อไป เปลือกและรยางค์ต่าง ๆ แข็งแรงขึ้น ชั้นเม็ดสีถอยกลับ ปูจะมีปริมาณน้ำในตัวประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกุ้งจะเหลือประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 5.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะที่ 3 ระยะ C ระยะระหว่างการลอกคราบ (Intermolt) ระยะนี้เปลือกจะแข็งมากขึ้นและการแข็งตัวของเปลือกยังดำเนินต่อไป สัตว์เริ่มกินอาหาร ชั้นเม็ดสีถอยกลับไปอยู่บริเวณฐานปลายสุดของขน (saetae) เก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ ใช้เวลาประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 4 ระยะย่อย ได้แก่

ระยะ C-1 เปลือกแข็งจนเกือบสมบูรณ์ ในปูบริเวณด้านข้างของเปลือกคลุมเหงือก (branchiostegite) เปลือกคลุมส่วนท้อง (sternum) เปลือกคลุมปล้อง carpus และ merus ของขาเดินยังสามารถยืดหยุ่นได้ ระยะที่นี้เป็นระยะที่สำคัญเนื่องจากเป็นระยะที่มีการเจริญและขยายตัวของเนื้อเยื่อ ปริมาณน้ำในตัวลดลงเหลือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 8.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-2 เปลือกแข็งจนเกือบสมบูรณ์ในทุก ๆ ส่วน ถ้ากดแรง ๆ หรือมีการโค้งงอจะเปราะและแตกหักได้ง่าย เนื้อเยื่อต่าง ๆ ยังคงขยายตัวต่อไป ปริมาณน้ำในตัวลดลงเหลือประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 13 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-3 เปลือกทุกส่วนแข็ง แต่การสร้างเปลือกหรือโครงสร้างทั้งหมดยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากชั้น membranous layer เพิ่งเริ่มสร้างในระยะนี้ และการดึงแร่ธาตุของเปลือกชั้นในยังคงดำเนินต่อไป ปริมาณน้ำในตัวลดลงเหลือประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในกุ้งและปู ใช้เวลา15 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-4 เปลือกแข็งตัวสมบูรณ์ โครงสร้างของเปลือกทุกชั้นเกิดครบ ทั้งยังมีการสะสมของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ชั้น membranous layer สามารถสังเกตได้จากการแตกหักและการลอกของเปลือก หรือการแตกหักของปล้อง dactylus ของขาเดิน เนื้อเยื่อเจริญสมบูรณ์ ปริมาณน้ำในตัวมีประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ มีการกินอาหารเต็มที่ เคลื่อนไหวว่องไว ใช้เวลา 30 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ C-4T เป็นการลอกคราบครั้งสุดท้าย (Terminal ecdysis) สามารถสังเกตได้จาก ชั้น membranous layer ที่อยู่ติดกับส่วนที่เหลือของเปลือก เป็นระยะหนึ่งของวงจรชีวิตที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ และสัตว์จะตายเมื่อมีการลอกคราบครั้งสุดท้าย

ระยะที่ 4 ระยะ D ระยะก่อนการลอกคราบ (Premolt) ถือเป็นระยะที่สัตว์เตรียมตัวสำหรับการลอกคราบครั้งใหม่ มีการสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น แคลเซียม ระยะนี้จะเริ่มมีการสร้างเปลือกใหม่ กินอาหารน้อยลงหรือหยุดกินอาหาร การเคลื่อนไหวช้าลง ปริมาณน้ำในตัวลดลงเหลือประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 4 ระยะย่อย คือ

ระยะ D-1 เป็นระยะเริ่มสร้างเปลือกใหม่ เริ่มมีการสร้าง epicuticle ในขณะเดียวกันชั้น epidermis มีการแยกตัวออกจาก membranous layer หนาม (spine) มีการพัฒนาขึ้นภายในแกนของอันเก่า มีการสะสมอาหารและไกลโคเจนในเนื้อเยื่อ epidermal ระยะนี้สัตว์เคลื่อนไหวช้า กินอาหารน้อยลง ปริมาณน้ำในตัวคงที่ ระยะนี้ใช้เวลา 15.0 เปอร์เซ็นต์ ช่วงการลอกคราบ

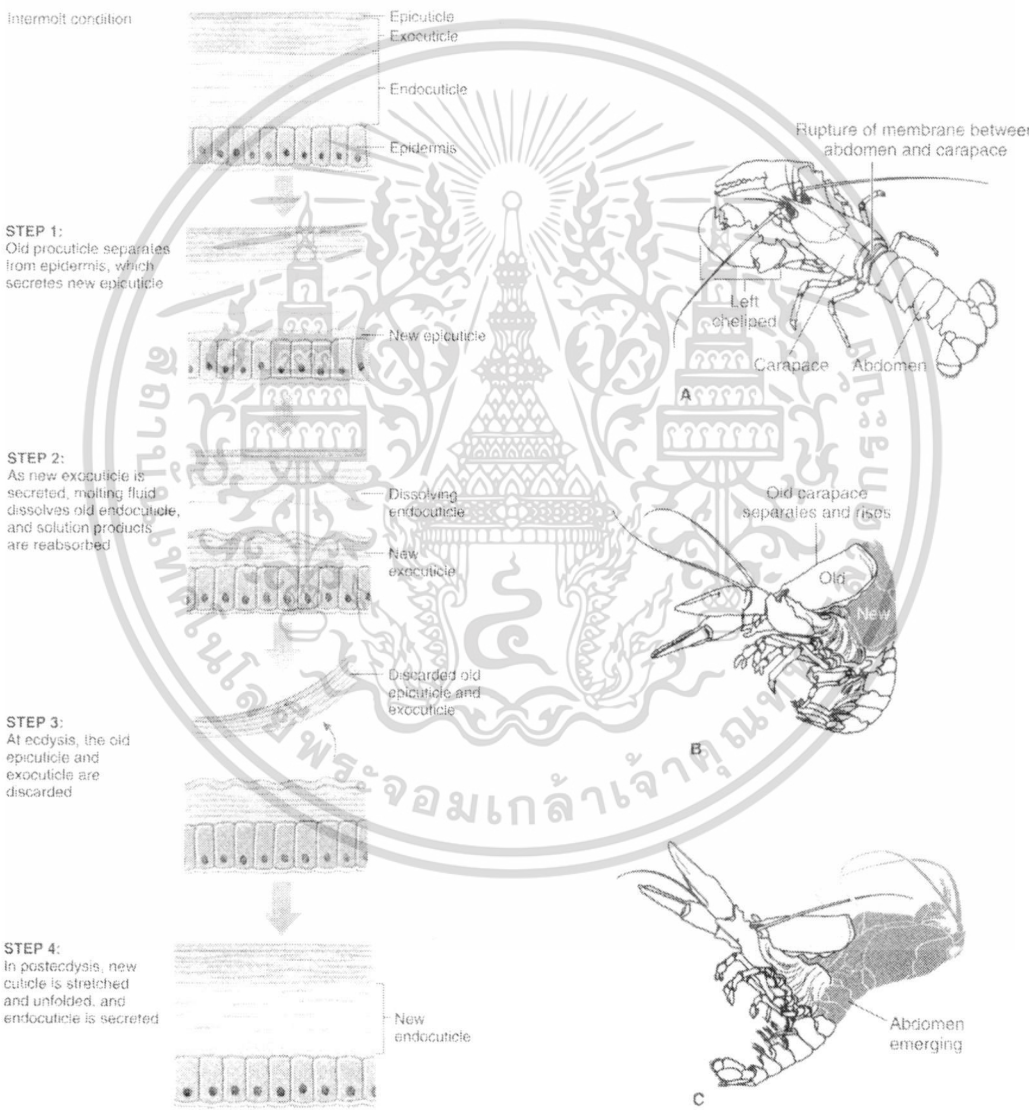
ระยะ D-2 เป็นระยะที่สร้างเปลือกชั้นนอก และเริ่มมีการสร้างชั้น pigmented layer หนามใหม่จะมีความแข็งแรงมากขึ้น membranous layer เสื่อมลงจนมีลักษณะเป็นชั้นวุ้น เริ่มมีการดึงแร่ธาตุจากเปลือกเก่า กิจกรรมต่าง ๆ ลดลงและหยุดกินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ D-3 เป็นระยะที่มีการดึงแคลเซียมจากเปลือกเก่ามาใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ และยังมีการดึงแคลเซียมในเลือดมาใช้ด้วย เปลือกเก่าเริ่มแตกตรงตำแหน่ง ecdysis line ซึ่งในสัตว์แต่ละชนิดจะมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน สัตว์หยุดกินอาหารและเคลื่อนไหวช้าลงมาก ใช้เวลาประมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

ระยะ D-4 เป็นระยะที่มีการดึงแคลเซียมอย่างสมบูรณ์ เปลือกเก่าแตกตรงตำแหน่ง ecdysis line และเริ่มมีการดึงน้ำเข้าตัวทำให้สัตว์มีน้ำหนักมากขึ้น ใช้เวลาประมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงการลอกคราบ

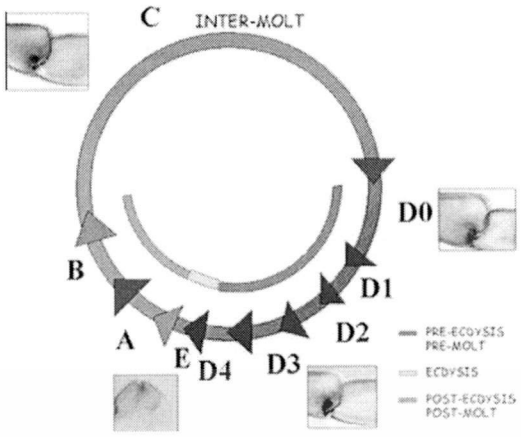
ระยะที่ 4 ระยะ E เป็นระยะสลัดเปลือกหรือระยะลอกคราบ (molting) ไม่มีการเคลื่อนไหว ไม่กินอาหาร สัตว์จะดึงตัวออกจากเปลือกเก่าและน้ำจะถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว ระยะนี้จะใช้เวลาสั้นมากเพียง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมด หรือประมาณ 10-20 นาที จึงถือเป็นช่วงที่วิกฤติที่สุด



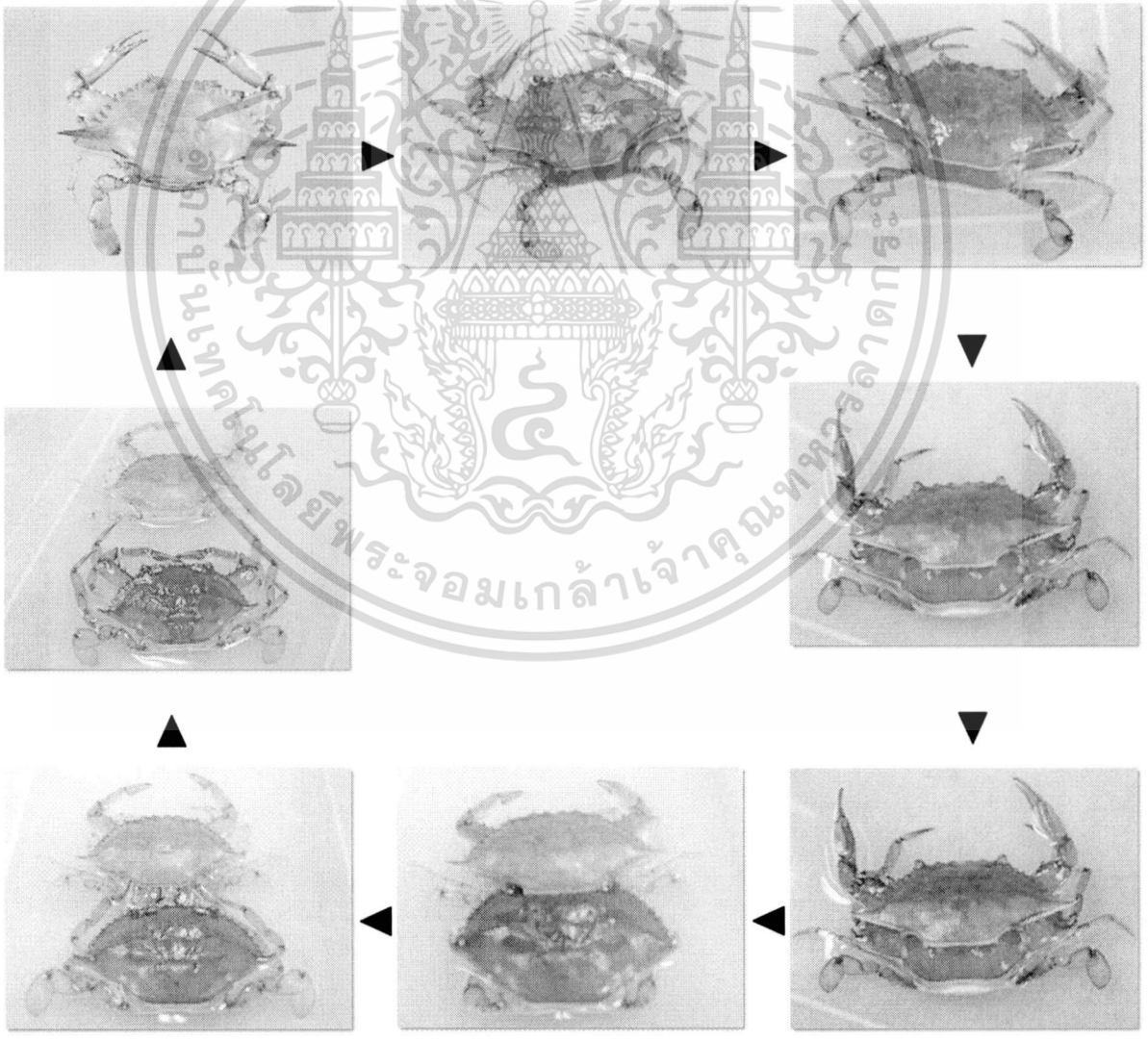
ภาพที่ 2 การหลั่งของเหลวและการดูดซึมสารเพื่อการแยกตัวของชั้นเปลือกเก่าและเปลือกใหม่ (ซ้ายมือ) และตำแหน่งที่มีการดันตัวออกมาจากเปลือกเก่าในกุ้งมังกร (ขวามือ)

ที่มา : Hickman *et al.* (2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 วงจรการลอกคราบ



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการสลัดเปลือกเก่าของ blue crab (*Callinectes sapidus*)

ที่มา : www.serc.si.edu

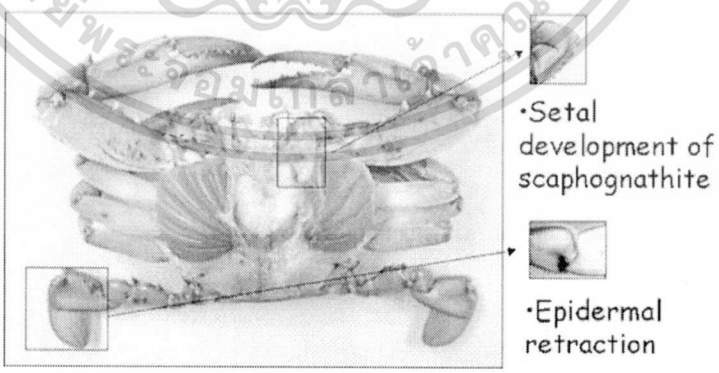
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่เราสามารถสังเกตเห็นการลอกคราบได้ชัดเจนเป็นระยะที่สลัดมีการสลัดเปลือกเก่าออก ซึ่งนับเป็นช่วงสุดท้ายของวงจรการลอกคราบ ส่วนในช่วงก่อนหน้านี้ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนนัก จิราภรณ์ (2533) รายงานว่าสามารถสังเกตุวงจรการลอกคราบได้จากระดับความแข็งของเปลือก ความโปร่งใสบริเวณขอบของแพนหาง (uropods) หรือขาว่ายน้ำ (pleopods) ซึ่งเกิดจากการแยกตัวของชั้นเปลือกเก่าและชั้นเปลือกใหม่ และการสร้าง setae ใหม่ สำหรับในปู บุญรัตน์ (2550) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงของสีและระยะห่างของเปลือกเก่าและเปลือกใหม่บริเวณขาว่ายน้ำปล้อง dactylus สามารถแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ เพื่อใช้แสดงระยะของการลอกคราบได้ โดยแบ่งออกเป็น เกิดรอยแยกน้อย รอยแยกปานกลาง และรอยแยกมาก ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงวงจรการลอกคราบในแต่ละระยะ ยังสามารถบ่งบอกได้จากสีบริเวณขอบของขาว่ายน้ำและบริเวณจับปิ้งของเพศเมีย (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 5 และ 6)

ตารางที่ 1 การจำแนกระยะการลอกคราบของปูม้า

ระยะ	สีบริเวณขอบขาว่ายน้ำ	ช่องว่างบริเวณขอบขาว่ายน้ำ	สีจับปิ้งของเพศเมีย	รอยแยกขอบจับปิ้งในเพศผู้
A	ม่วง	ไม่มี	ดำ 100%	ไม่มี
B	ม่วงปนชมพู	ไม่มี	ดำ 70% เท่าหรือน้ำตาล 30%	ไม่มี
C	ชมพูหรือชมพูปนเขียว	ไม่มี	ขาว 30% น้ำตาลอ่อน 40% และเทา 30% หรือขาว 100% หรือน้ำตาลอ่อน 100%	ไม่มี
D	ชมพูอมแดง	เล็กน้อย	ดำ 30% เท่าหรือน้ำตาล 70%	ไม่มี
D	แดง	ชัดเจนขึ้น	ดำ 50% เท่าหรือน้ำตาล 50%	ชัดเจนขึ้น
D	แดงมาก	ชัดเจนมาก	ดำ 80% เท่าหรือน้ำตาล 20%	ชัดเจนมาก
D	แดงมากที่สุด	ชัดเจนมากที่สุด	ดำ 100%	ชัดเจนมากที่สุด

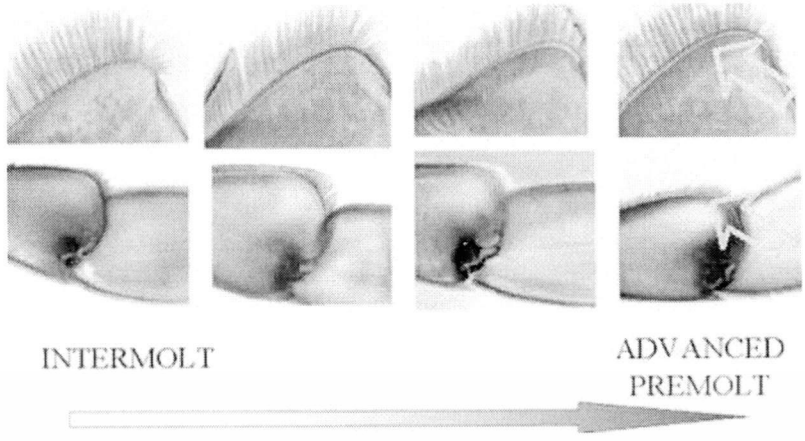
ที่มา : บุญรัตน์ (2550)



ภาพที่ 5 ตำแหน่งที่ใช้ตรวจสอบระยะการลอกคราบของ blue crab

ที่มา : www.serc.si.edu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 ระยะห่างของรอยแยกระหว่างชั้นเปลือกเก่ากับชั้นเปลือกใหม่ และการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณขอบขาว่าย น้ำของ blue crab ระยะ intermolt ถึง premolt

ที่มา : www.serc.si.edu

สำหรับในกุ้งกุลาดำ (black tiger shrimp) นั้น Promwikorn *et al.* (2004) ได้จำแนกระยะการลอกคราบโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ 1) อัตราการแยกตัวของเนื้อเยื่อ epidermal จาก cuticle 2) ช่องว่างของส่วนที่โปร่งแสงระหว่างฐานของ setae (setal cones) และ epidermis 3) ลักษณะของ epidermis 4) ลักษณะของ setae ที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่ และ 5) การก่อตัวของฐาน setae จากลักษณะทั้งหมดพบว่าการพัฒนาของ setae สามารถใช้ในการแบ่งระยะการลอกคราบได้ค่อนข้างชัดเจน (ภาพที่ 7) ดังนี้

- ระยะ Intermolt (C stage) seatae cones มีลักษณะสมบูรณ์และเจริญเต็มที่
- ระยะ Premolt (D stage)

ระยะ D0 เริ่มปรากฏช่องว่างระยะเนื้อเยื่อ epidermal และฐานของ setae cones

ระยะ D1 ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis แคบ

ระยะ D2 ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้าง ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นลอน

ระยะ D3 ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้างมาก ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นลอนถี่ และเกิดชั้นของเนื้อเยื่อสีขาวบาง ๆ บริเวณขอบของ epidermis

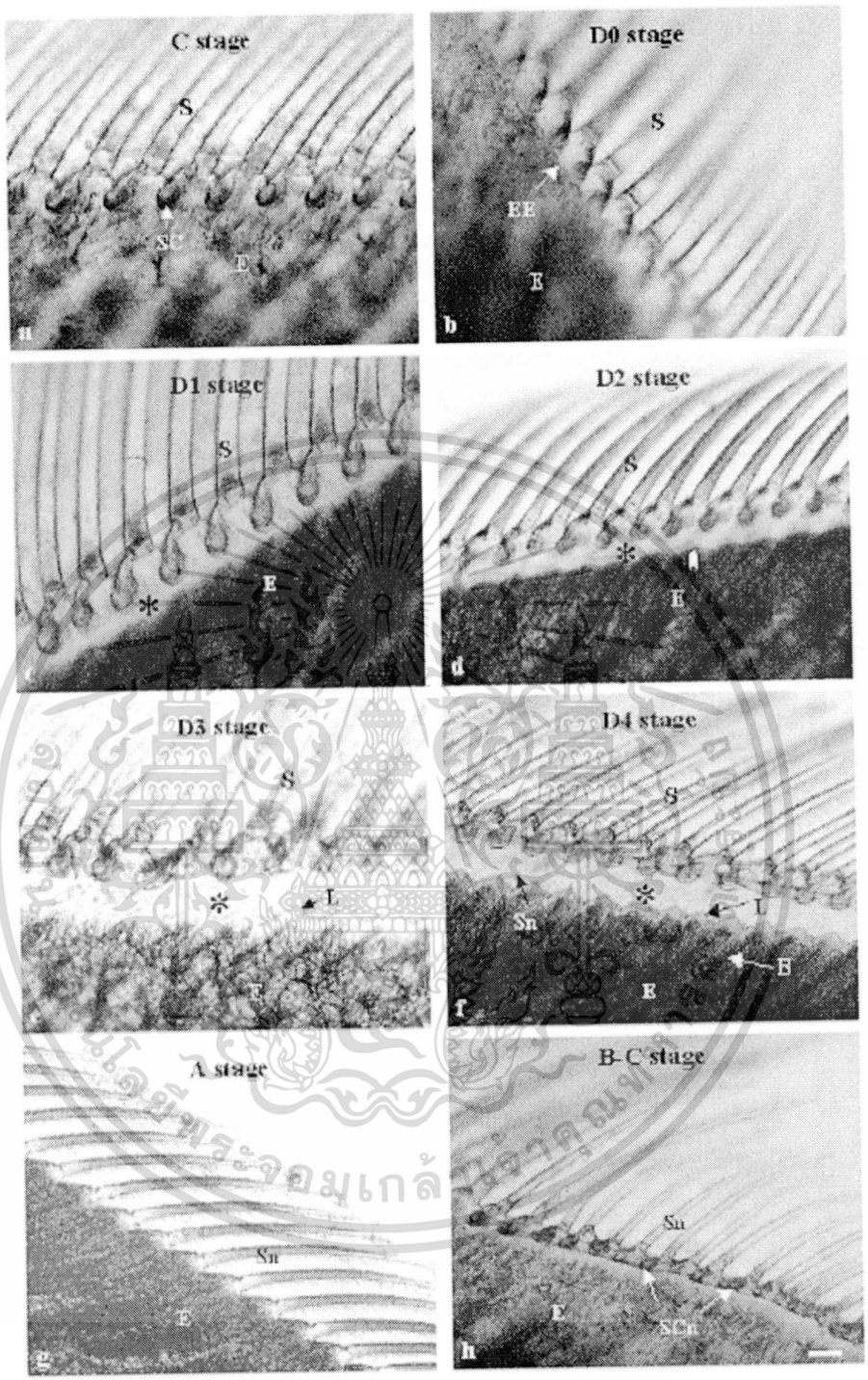
ระยะ D4 ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้างมากที่สุด ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นรอยหยัก ชั้นของเนื้อเยื่อสีขาวมีลักษณะเป็นแถบขนานกับขอบของ epidermis

- ระยะ Postmolt

ระยะ A - setae อ่อนนุ่ม ไม่แข็งแรง ไม่มี setae cones

ระยะ B - มี setae cones

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 การประเมินระยะการลอกคราบของกุ้งกุลาดำโดยใช้ลักษณะของ setae บริเวณแพนหาง; ระยะ intermolt (a), ระยะ premolt (b-f) และระยะ postmolt (g,h) EE = ขอบของ epidermal, I = รูปแบบรอยเว้าของ epidermis, L = เยื่อสีขาวบริเวณขอบของ epidermis, S = setae, SC = seta cone, SCn = setal cones ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่, Sn = seta ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่, * = ส่วนที่โปร่งแสงระหว่าง cuticle และ epidermis สเกล = 50 ไมโครเมตร

ที่มา : Promwikorn *et al.* (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยแตกของเปลือกเก่า

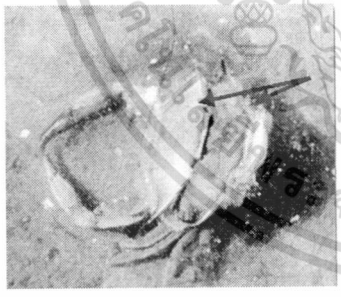
ในระยะ D ซึ่งเป็นระยะก่อนการลอกคราบ พบว่าในระยะ D-3 และ D-4 รอยแตกหรือรอยแยกของเปลือกเพื่อให้สัตว์ดันตัวออกมาได้ ที่เรียกว่า ecdysis line ตำแหน่งของรอยแตกดังกล่าวจะแตกต่างกันใน Arthropod แต่ละชนิด โดยในกุ้ง กุ้งมังกร และ crayfish รอยแตกจะอยู่บริเวณขอบด้านท้ายของเปลือกคลุมหัว (carapace) หรือรอยต่อระหว่างเปลือกคลุมหัวกับปล้องที่ 1 ของส่วนท้อง (ภาพที่ 8A, 8B) ปูรอยแตกจะอยู่บริเวณส่วนท้ายของกระดอง (ภาพที่ 8C) ส่วนกั้งกระดาน (bay lobster) สามารถสังเกตระยะการลอกคราบได้จากรอยตะเข็บเปลือก (เส้นแตก) เหนือช่องเหงือก แต่ตำแหน่งที่กั้งดันตัวออกมาจากเปลือก ก็คล้ายกับในกุ้ง (ภาพที่ 8D) สำหรับแมงดาทะเลนั้นจะมีรอยแยกของเปลือกที่บริเวณขอบด้านล่างส่วนหน้าของ prosoma แมงดาทะเลจึงต้องดันตัวออกทางด้านหน้า (ภาพที่ 9)

ที่มา : www.monsterfishkeepers.com

A.

ที่มา : www.deepseaimages.com

B.



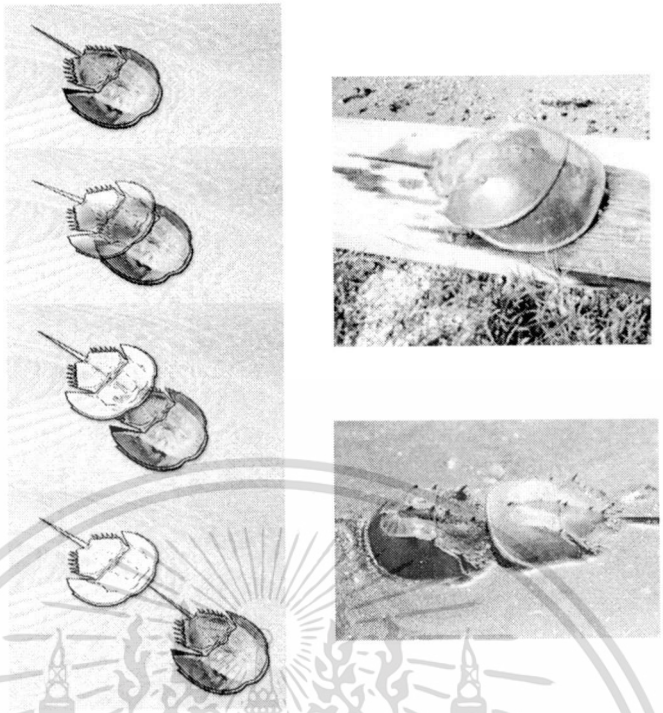
ที่มา : www.dnr.state.md.us

C.

D.

ภาพที่ 8 ตำแหน่งของรอยแตก (ecdysis line) ของเปลือกเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 การลอกคราบของแมงดาทะเล

การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เปลือก

ขณะที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง พบว่า epidermal cell จะขับสารออกมาจากเปลือกเก่า และสารดังกล่าวจะถูกดูดซึมโดยเปลือกใหม่ และเมื่อเปลือกเก่าถูกสลัดทิ้งไปแล้วนั้น เปลือกใหม่ที่ยังนิ่มอยู่จะเริ่มแข็งตัว เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของสาร polyquinol ที่แพร่ไปยังผิวเปลือกชั้น epicuticle และสารดังกล่าวจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น orthoquinone ทำให้เปลือกแข็งตัวในระยะเวลาต่อมา และในขณะเดียวกัน tegumental gland จะสร้างเอนไซม์ polyquinol oxidase ออกมาช่วยในการแข็งตัวด้วย นอกจากจากนี้การสะสมเกลือแร่พวกแคลเซียมของเปลือกนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากที่สัตว์สลัดเปลือก ความสามารถในการสะสมเกลือแร่และดึงแคลเซียมสัมพันธ์แบบหกกลับกับปริมาณโปรตีนที่มีในเลือด

ระยะเวลาการลอกคราบ

วงจรการลอกคราบของสัตว์จะแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ขนาด และปัจจัยแวดล้อม โดยในกุ้งวงศ์ Penaeidae วัยอ่อนระยะ nauplius 1 ถึง nauplius 6 จะใช้ระยะเวลาประมาณ 2-3 วัน เฉลี่ยประมาณ 8-12 ชั่วโมงต่อครั้ง ระยะ zoea 1 ถึง zoea 3 ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน เฉลี่ย 24-32 ชั่วโมงต่อครั้ง ระยะ mysis 1 ถึง mysis 3 ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน เฉลี่ย 24-32 ชั่วโมงต่อครั้ง ระยะ postlarva ใช้ระยะเวลาในการลอกคราบประมาณ 1-2 วันต่อครั้ง จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการลอกคราบแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นหรือนานขึ้นเมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น เช่นเดียวกับปูซึ่งพบว่าปูที่มีอายุระหว่าง 34-38 วัน ขนาดความกว้างของกระดองประมาณ 4.8-7.5 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 4 วัน ปูที่มีอายุระหว่าง 52-60 วัน ขนาดประมาณ 11.3-14.3 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 8 วัน ขนาดของสัตว์ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาการลอกคราบ โดยปูที่มีขนาดกระดอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้าง 3.0-5.0 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก 5-7 วัน ขนาด 6.0-1.0 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก 10-15 วัน ขนาด 12-15 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก 20-40 วัน

การเพิ่มขนาดหลังลอกคราบแต่ละครั้งจะมากหรือน้อยลง ขึ้นอยู่กับขนาดและอายุด้วยเช่นกัน โดยปูที่มีอายุ 30 วัน มีความกว้างของกระดองประมาณ 3.3- 3.6 เซนติเมตร เมื่อลอกคราบแล้วปูจะมีขนาดโตกว่าเดิมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปูที่มีอายุ 60 วัน ขนาดประมาณ 13.9-14.9 เซนติเมตร หลังลอกคราบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ 27.2 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบ

1. ปัจจัยภายนอก ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการลอกคราบ ได้แก่ ความเข้มแสงและช่วงแสง อุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง

1.1. ความเข้มแสงและช่วงแสง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบโดยในฤดูที่มีช่วงแสงในเวลากลางวันนานกว่าปกติจะทำให้การลอกคราบเกิดขึ้นได้บ่อยขึ้น ครัสเตเชียนที่อยู่ในระยะก่อนการลอกคราบอาศัยอยู่ในที่มืด เมื่อได้รับแสงในทันทีติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งจะส่งผลให้กระบวนการลอกคราบหยุดชะงัก หรือหากอยู่ในที่มืดตลอดเวลาก็จะไม่ลอกคราบเช่นกัน ในขณะเดียวกันหากได้รับแสงที่ผิดปกติไปจากธรรมชาติก็จะมีผลยับยั้งการลอกคราบได้เช่นกัน ในสัตว์จำพวกกุ้งพบว่าการมีแสงน้อยหรือไม่มีแสงรวมถึงการมีแสงคงที่จะทำให้มีระยะ intermolt ยาวนานขึ้น แต่หากมีการตัดเอาก้านตาออกแสงก็จะไม่มีผลต่อการลอกคราบ ในขณะที่ปูที่ได้รับแสง 10 ลักซ์ เป็นเวลานานจะหยุดการลอกคราบนานเป็นเดือน (ประจวบ, 2537) De Coursey (1983) พบว่าสว่างน่าจะเป็นปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในร่างกาย และความเกี่ยวเนื่องของเวลากับจังหวะในการลอกคราบของกั้งกระดาน

1.2. อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบและขบวนการควบคุมการลอกคราบทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากมีต่อการเผาผลาญพลังงาน กระบวนการลอกคราบจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ต่ำลงจะส่งผลให้การลอกคราบแต่ละครั้งในระยะเวลนานขึ้น หรืออาจหยุดการลอกคราบ กุ้งมังกรจะหยุดการลอกคราบเมื่ออุณหภูมิน้ำลดลงถึง 7.0 องศาเซลเซียส ปูแสมที่อาศัยบริเวณโขดหิน จะไม่การลอกคราบเมื่อมีอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 8.5 องศาเซลเซียส ปูหิน (*Pachygrapsus crassipes*) จะไม่ลอกคราบที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส ปูทะเล *Carcinus maenas* และ ปู *Xantho incinus* จะหยุดการลอกคราบที่อุณหภูมิ 17-18 องศาเซลเซียส

1.3. ความเค็ม ความเค็มของน้ำมีผลต่อการลอกคราบของสัตว์ที่อาศัยในทะเลและน้ำจืดโดยตรงน้อยมาก แต่จะมีผลที่ชัดเจนในกลุ่มที่อาศัยในบริเวณน้ำกร่อย (ประจวบ, 2537) สอดคล้องกับ Passano (1960) ที่พบว่าความเค็มมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการลอกคราบสำหรับสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณน้ำกร่อย ในขณะเดียวกันน้ำที่มีความเค็มสูงจะส่งผลให้ปูทะเลมีช่วงการลอกคราบยาวนานกว่าปูที่เลี้ยงในน้ำที่ความเค็มต่ำ ซึ่งบุญรัตน์ (2547) รายงานว่าที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน ปูทะเลจะมีการลอกคราบสูงที่สุด โดยมีวงจรการลอกคราบประมาณ 42 วันต่อครั้ง ในขณะที่ที่ระดับความเค็ม 5 ส่วนในพัน ใช้ระยะเวลาในการลอกคราบ 36 วันต่อครั้ง และจากรายงานของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยพบว่าที่ความเค็ม 32 ส่วนในพัน ปูทะเลจะลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คราบในระยะเวลา 58 วัน ขณะที่ความเค็ม 20 และ 5 ส่วนในพัน ปูจะใช้เวลาการลอกคราบประมาณ 50 และ 44 วัน ตามลำดับ

1.4. ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อการลอกคราบโดยตรง แต่พบว่าในระหว่างที่มีการลอกคราบจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในเลือด

2. ปัจจัยภายใน การเริ่มต้นการลอกคราบขึ้นอยู่กับการสะสมสารอินทรีย์ เมื่ออยู่ในระดับที่เพียงพอแล้วจะส่งผลให้ระบบประสาทส่วนกลางเริ่มทำงาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของฮอร์โมน การหยุดกินอาหาร หรืออดอาหารจะมีผลชะลอการลอกคราบ และการลอกคราบจะถูกหน่วงเหนี่ยวหรือกีดกันถ้าสารอินทรีย์ที่สะสมไว้ถูกนำไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ เช่น ระยะ intermolt จะยาวนานขึ้นเมื่ออยู่ในระยะเจริญพันธุ์ ในกุ้งที่มีไข่ติดท้องจะหยุดการลอกคราบ ในทางตรงกันข้ามการสูญเสียรยางค์ส่วนต่าง ๆ จะกระตุ้นให้มีการลอกคราบเร็วขึ้น เช่นเดียวกับการตัดก้านตา ถึงแม้ว่าสภาพแวดล้อมจะไม่เอื้ออำนวยต่อการลอกคราบก็ตาม

ความสำคัญของฮอร์โมนกับการลอกคราบ

การลอกคราบเป็นขบวนการที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนสองชนิดคือ ฮอร์โมนเร่งการลอกคราบ (Molting hormone, MH) และฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt inhibiting hormone, MIH) ที่ผลิตมาจากเซลล์ประสาทส่วนกลาง (Central neurosecretory cell) ฮอร์โมนทั้งสองชนิดจะทำงานควบคู่กันไปภายใต้การควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ฮอร์โมนในกลุ่มที่เร่งการลอกคราบคือ ecdysteroid จัดเป็นฮอร์โมน steroid ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่กระตุ้นการลอกคราบ 9steroid molting hormone) ของครัสเตเชียนและแมลง ในแมลงจะถูกสร้างจาก prothoracic gland แต่ในครัสเตเชียนถูกสร้างมาจาก Y-organ ซึ่งมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป แต่ครัสเตเชียนส่วนใหญ่จะหลั่งฮอร์โมน ecdysone (2β, 3β, 14α, 22R, 25-pentahydroxy-5β-cholest-7-en-6-one) ซึ่งมีหน้าที่กระตุ้นการทำงานของเซลล์ที่ช่วยในการเจริญเติบโตและการลอกคราบ นอกจากนี้ยังมีฮอร์โมน 20-hydroxyecdysone (20E), 3- dehydroecdysone และ 25-deoxyecdysone แต่พบว่าครัสเตเชียนแต่ละชนิดไม่สามารถหลั่งฮอร์โมนได้ทุกชนิด โดย 3-dehydroecdysone ถูกหลั่งมาจาก Y-organ ของปู *Cancer antennarius*, *Menippe marcenaria* และกุ้ง *Penaeus vannamei* เป็นต้น ในขณะที่ 25- deoxyecdysone ถูกหลั่งมาจาก Y-organ ของปู *Carcinus meanas* การสังเคราะห์ ecdysteroid อาศัยโคเรสเตอรอลเป็นสารตั้งต้น แต่พวก Arthropod ไม่สามารถสังเคราะห์โคเรสเตอรอลขึ้นได้เอง ดังนั้นจึงต้องได้รับโคเรสเตอรอลจากอาหารที่กินเข้าไป มีรายงานว่าในครัสเตเชียนหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปของ ecdysone ไปเป็น 20-hydroxyecdysone ได้ และในขณะเดียวกัน 20-hydroxyecdysone ก็สามารถเปลี่ยนเป็น ponasterone A (25-deoxy-20- hydroxyecdysone, Po-A) ได้เช่นกัน นอกจาก ecdysteroid แล้วยังมีฮอร์โมนอีกกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบคือฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (molt inhibiting hormone; MIH) ฮอร์โมนชนิดนี้หลั่งออกมาจากต่อม sinus ที่บริเวณก้านตา เพื่อไปยับยั้งการสร้าง ecdysteroid ที่ Y-organ ทำให้ครัสเตเชียนไม่ลอกคราบ กลไกการยับยั้งเกิดขึ้นเนื่องจาก MIH ไปยับยั้งการลำเลียงหรือการนำโคเลสเตอรอลเข้าไปใน Y-organ ทำให้ไม่มีสารตั้งต้นในการสร้าง ecdysteroid (วีรพงศ์, 2546)

การเปลี่ยนแปลงของสารภายในร่างกายระหว่างการลอกคราบ

ในระหว่างการลอกคราบจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และเกลือแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเตรียมความพร้อมเพื่อการสร้างเปลือกใหม่ และเป็นอาหารสำรองในระหว่างที่สัตว์อ่อนแอ Dall *et*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

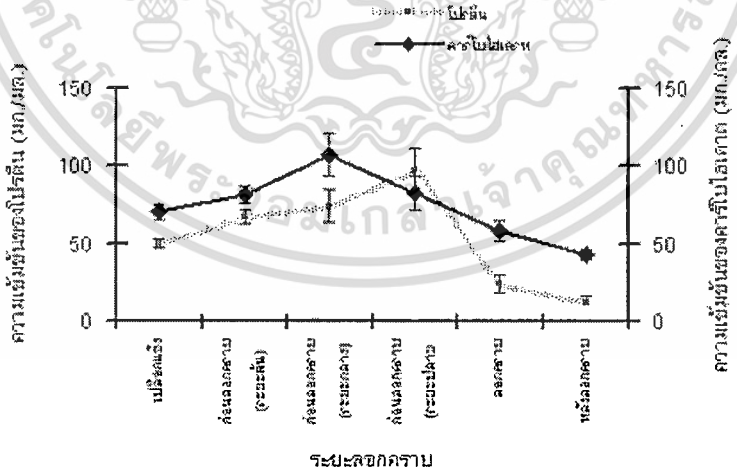
al. (1990) กล่าวว่าสัตว์กลุ่มกุ้งปูจะสะสมพลังงานจากอาหารเพื่อสำรองไว้ใช้ในรูปของไกลโคเจนและไขมัน ในน้ำเลือดและลำไส้ส่วนกลาง เตรียมไว้ล่วงหน้าตั้งแต่ระยะก่อนการลอกคราบเพื่อใช้เปลี่ยนโครงร่างและสรีระวิทยาหลังการสลัดคราบ

1. การเปลี่ยนแปลงโปรตีน

การสะสมโปรตีนจะเกิดขึ้นใน hepatopancreas โดยปริมาณโปรตีนจะสูงในระยะ intermolt แต่จะสูงที่สุดในระยะ D-1 (premolt) ซึ่งเป็นระยะเริ่มสร้างปลอกใหม่ จากรายงานของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยพบว่าที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน ปริมาณโปรตีนในเลือดของปูทะเลในระยะคราบแข็งจะอยู่ในระดับ 50.05±2.88 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาณของโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 67.35±4.03, 74.25±10.60 และ 97.06±14.37 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณของโปรตีนในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 24.32±5.38 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในระยะลอกคราบ และประมาณ 12.51±3.63 มิลลิกรัม/มิลลิลิตรในระยะหลังลอกคราบ (ภาพที่ 10)

2. การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรต

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในเลือด มีลักษณะเดียวกับการเปลี่ยนแปลงโปรตีนจะอยู่ในระดับ 70.08±4.74 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในระยะคราบแข็ง ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในเลือดจะค่อยเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 81.38±5.42, 107.33±13.66 และ 83.02±11.00 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 58.70±6.60 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในระยะลอกคราบและประมาณ 42.92±3.58 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในระยะหลังลอกคราบ (ภาพที่ 10)



<u>ภาพที่ 10</u> ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดในช่วงการลอกคราบ ที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน
ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

การที่ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดลดต่ำในระยะลอกคราบและในระยะหลังลอกคราบนั้นก็เพราะในระหว่างลอกคราบสัตว์ไม่กินอาหาร ปริมาณของโปรตีนที่สะสมไว้ในร่างกายในระยะก่อนลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกใช้ไปในขบวนการลอกคราบ ประกอบกับในระยะลอกคราบปริมาณน้ำทะเลที่ซึมเข้าสู่ร่างกายมีปริมาณสูงกว่าในระยะอื่น ๆ ด้วย ทำให้ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดในระยะนั้นเจือจาง การที่ความดันภายในตัวกุ้งเริ่มสูงขึ้นในระยะหลังลอกคราบ แต่ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตยังลดต่ำอย่างต่อเนื่องและต่ำสุดในช่วงหลัง ลอกคราบนั้น แสดงว่ากลไกควบคุมเกลือแร่ต่าง ๆ ในเลือดของปูทะเลมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลไกควบคุมการไหลของน้ำเข้าภายในตัว

3. การเปลี่ยนแปลงไขมัน

Ando *et al.* (1977) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของไขมันในระหว่างการลอกคราบของกุ้งคุรุม่า (*Penaeus japonicus*) พบว่าไขมันมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระยะของการลอกคราบ ดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าใน hepatopancreas ซึ่งเป็นอวัยวะหลักในการสะสมสารอาหาร มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันที่ชัดเจนมากที่สุด โดยมีปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุดในระยะ D-0

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของไขมันในเนื้อเยื่อกุ้งคุรุม่าในวงจรการลอกคราบ

ระยะ	ปริมาณความเข้มข้นของไขมัน (มิลลิกรัม/100 กรัม เนื้อเยื่อสด)				
	กล้ามเนื้อ	ก้านตา	ผิวหนัง	Hepatopancreas	ทั้งตัว
B	930	4,700	1,090	3,070	910
C1-C2	960	4,070	1,120	1,890	1,100
C3-C4	920	4,770	1,230	2,820	1,010
D0	1,020	4,580	1,370	3,760	1,330
D1	1,010	5,010	1,360	2,900	1,020
D2-D3	970	5,010	1,620	2,130	1,210

ที่มา : Ando *et al.* (1977)

4. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์

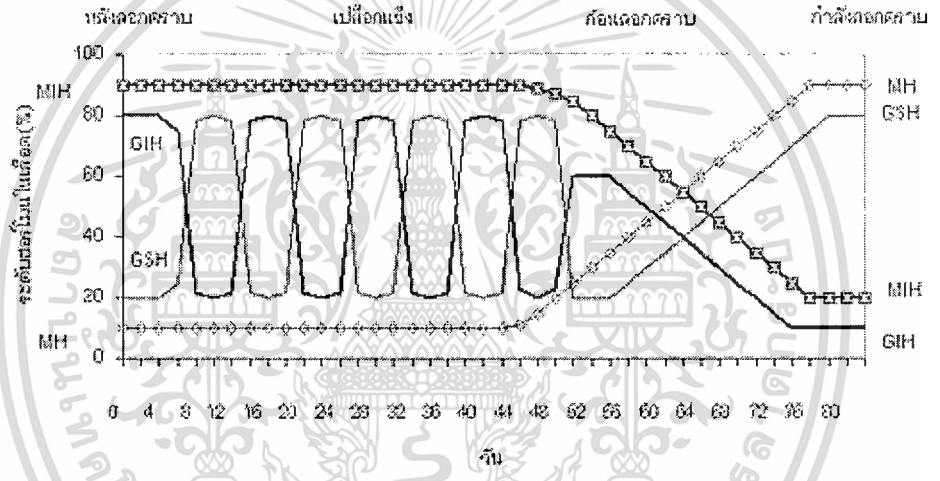
กิจกรรมของเอนไซม์มีความสัมพันธ์กับระยะลอกคราบ โดย hepatopancrease และกระเพาะอาหารของกุ้ง เป็นบริเวณที่สังเคราะห์และเกิดการทำงานของเอนไซม์จำพวก amylase, lipase และ protease ประเภท trypsin, chymotrypsin, carboxypeptidase (A, B) และ leucine aminopeptidase (Abramo *et al.*, 1997) โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจะเปลี่ยนแปลงตามระยะของการลอกคราบ และการพัฒนาของสัตว์ชนิดนั้นๆ เช่น ในกุ้ง *Pleoticus muelleri* และกุ้ง *Litopenaeus vannamei* มีกิจกรรมของเอนไซม์ protease ไม่แตกต่างกันในแต่ละระยะการลอกคราบ แต่ในกุ้ง *P. notialis* กิจกรรมของเอนไซม์ protease จะมีค่าสูงสุดในระยะ intermolt และ late premolt (Fernandez *et al.*, 2001) การสลายสารต่าง ๆ ในร่างกาย ในขบวนการลอกคราบของกุ้งโดยทั่วไปมีการสะสมไขมันใน hepatopancrease ในกุ้งระยะ intermolt (C4) โดยไขมันเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของ fatty acid และ glycerol ส่วนกุ้งในระยะ late premolt (D3) ไขมันใน hepatopancrease ถูกนำไปใช้ในอัตราสูง ซึ่งการนำไขมันไปใช้หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ fatty acid และ glycerol เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ lipase ในการย่อยไขมันจากอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการสะสมไขมันแล้ว กุ้งยังมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตใน hepatopancrease และเปลี่ยนเป็นไกลโคเจน เพื่อเปลี่ยนกลับเป็นกลูโคสสำหรับสร้างไคติน ซึ่งการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตให้เป็นไกลโคเจนเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ amylase

5. การเปลี่ยนแปลงสารอนินทรีย์

hepatopancreas เป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่หลักในการสะสมสารอนินทรีย์ มี 2 ประการ คือ สำรองสารอนินทรีย์โดยการสะสมในทางเดินอาหารในระยะ C4 และเป็นตัวนำสารอนินทรีย์กลับจากเปลือกเก่าในระยะ D สารอนินทรีย์ที่ hepatopancreas สำรองไว้ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสเฟต ซึ่งมักจะอยู่ในรูปของเกลือ สำหรับฟอสเฟตมีความจำเป็นในการสังเคราะห์ไคตินในระยะ intermolt ระยะ C-3 ถึง D-1 ซึ่งสารเหล่านี้มีปริมาณสูงเป็นสองเท่าของเวลาปกติ ในระยะ intermolt สัตว์จะดึงสารอนินทรีย์คืนจากเปลือกเก่าในปริมาณที่ไม่แน่นอน แต่จะคงที่ในระยะ D (ประจวบ, 2537)



ภาพที่ 11 ระดับฮอร์โมน MH MIH GH และ GSH ในเลือดปูตามระยะการลอกคราบ
ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรีรวิทยาของสัตว์น้ำ : พฤติกรรมการลอกคราบ (Molting)

วัตถุประสงค์

1. นักศึกษาทราบความหมายและความสำคัญของการลอกคราบ
2. นักศึกษาเข้าใจวงจรการลอกคราบ
3. นักศึกษาสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาระหว่างการลอกคราบ
4. นักศึกษาทราบถึงปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลอกคราบ
5. นักศึกษาทราบถึงชนิดของฮอร์โมน และกลไกการทำงานของฮอร์โมนแต่ละชนิดที่มีผลต่อการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยที่ 1 ความหมายและความสำคัญของการลอกคราบ

1.1. วัตถุประสงค์

- เพื่อให้เข้าใจความหมายของการลอกคราบ
- เพื่อทราบความสำคัญและวัตถุประสงค์ของการลอกคราบในสัตว์
- เพื่อบอกความแตกต่างของการลอกคราบในสัตว์บางกลุ่มได้
- เพื่อเรียนรู้พฤติกรรมการลอกคราบของสัตว์น้ำและสัตว์บกบางชนิด

1.2. แบบทดสอบก่อนเรียน

1.2.1. นักศึกษาคิดว่า "การลอกคราบ" เกี่ยวข้องกับเรื่องใดมากที่สุด?

ก. การกินอาหาร
ข. การสืบพันธุ์
ค. การเจริญเติบโต
ง. การขับถ่าย

1.2.2. สัตว์ที่มีพฤติกรรมการลอกคราบมักมีโครงสร้างของร่างกายแบบด?

ก. ผิวหนังหยาบและหนา
ข. มีโครงร่างแข็งภายนอกหรือมีเปลือก
ค. มีเกล็ดปกคลุมร่างกาย
ง. มีขนปกคลุมร่างกาย

1.2.3. พฤติกรรมการลอกคราบเกิดขึ้นกับสัตว์หลายกลุ่ม <u>ยกเว้น</u> ข้อใด?

ก. กุ้ง ปู กั้ง
ข. งู
ค. แมลง ผีเสื้อ
ง. สุนัข สุนัขจิ้งจอก

1.2.4 ตลอดช่วงชีวิตของสัตว์จะเกิดการลอกคราบ ได้มากน้อยแค่ไหน?

ก. ตลอดช่วงชีวิตเกิดเพียง 1 ครั้ง เท่านั้น
ข. ตลอดช่วงชีวิตเกิดขึ้นในช่วงที่เป็นวัยอ่อนและก่อนตายเท่านั้น
ค. ตลอดช่วงชีวิตเกิดขึ้นหลายครั้ง
ง. ไม่มีข้อถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.5. การลอกคราบของสัตว์กลุ่มใด ที่มีการสลัดอวัยวะบางส่วนของร่างกายพร้อมกับการลอกคราบ?

ก. แมลง

ข. กุ้ง

ค. แมงดาทะเล

ง. กิ้ง

1.2.6. ข้อใดเป็นการเปลี่ยนแปลงของงูหลังการลอกคราบ นอกเหนือจากการเจริญเติบโต?

ก. เกล็ดที่ปกคลุมผิวหนังมีขนาดใหญ่และจำนวนมากขึ้น

ข. งูที่มีพิษจะมีพิษร้ายแรงมากขึ้น

ค. เกล็ดที่ปกคลุมผิวหนังมีสีสันสดใส เคลื่อนไหวได้รวดเร็ว

ง. ถูกทุกข้อ

1.2.7. คราบของงูที่มีพิษมีประโยชน์ต่อกระรอกอย่างไร?

ก. คราบงูช่วยให้ความอบอุ่นกับร่างกาย

ข. กลิ่นของงูช่วยอำพรางตัวและป้องกันตัวจากสัตว์อื่น

ค. คราบงูช่วยรักษาแผล

ง. เป็นอาหาร

1.2.8. ในทางการประมงมีการดัดแปลงพฤติกรรมการลอกคราบมาใช้เพิ่มมูลค่าสัตว์น้ำตามข้อใด?

ก. ทำปูไข่

ข. ทำปูนิ่ม

ค. ทำปูสองกระดอง

ง. ถูกทุกข้อ

1.2.9. ข้อใดกล่าวถึงการลอกคราบของครัสเตเชียนได้ถูกต้องที่สุด?

ก. การเจริญเติบโตเป็นผลจากการลอกคราบ

ข. การลอกคราบเป็นผลจากการเจริญเติบโต

ค. การลอกคราบเป็นผลจากความเครียด

ง. การลอกคราบเป็นผลให้เกิดการสืบพันธุ์

1.2.10. ในการเลี้ยงกุ้ง หากกุ้งมีการลอกคราบพร้อมกันหรือใกล้เคียงกันจะบ่งบอกถึงสิ่งใดได้ชัดเจนที่สุด?

ก. กุ้งมีสุขภาพดี

ข. กุ้งมีขนาดสม่ำเสมอไม่แตกไซด์

ค. กุ้งมีการเจริญเติบโตดี

ง. กุ้งมีการใช้อาหารอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. ความหมายของการลอกคราบ

ลอกคราบมีความหมายใกล้เคียงกับคำว่าสลัดขน (molt หรือ molting หรือ molting หรือ sloughing หรือ shedding) โดยทั่วไปการลอกคราบหรือการสลัดขนเป็นการเปลี่ยนหนังกำพร้า (epidermis) ขนสัตว์ (pelage) หรือเปลือกนอกของร่างกายที่มีลักษณะอื่น ในสัตว์บางชนิดส่วนของร่างกายอาจจะถูกสลัดตามไปด้วย เช่น ปีกของแมลง ตัวอย่างของการลอกคราบหรือการสลัดขน ได้แก่ การสลัดขนของนก การสลัดขนของสุนัขและสุนัขจิ้งจอก การลอกคราบของสัตว์เลื้อยคลาน การลอกคราบของพวกที่มีขาเป็นข้อปล้อง ดังนั้นการลอกคราบที่แท้จริงจะเกิดขึ้นกับสัตว์กลุ่มหลัก ๆ คือ Arthropod และสัตว์เลื้อยคลานบางกลุ่ม ส่วนการสลัดขนที่เกิดกับนกและสุนัขนั้นไม่ถือว่าเป็นการลอกคราบที่แท้จริง แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่คล้ายคลึงกัน

สำหรับในสัตว์น้ำกลุ่มที่มีการลอกคราบนั้น จะมีคำศัพท์เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 คำ คือ ecdysis และ molting :ซึ่งทั้งสองคำมีความหมายใกล้เคียงกันและสามารถใช้แทนกันได้ แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย คือ molting หมายถึง ช่วงที่กำลังสลัดคราบเก่าออก ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ส่วน ecdysis หมายถึง กระบวนการลอกคราบซึ่งรวมเอาขั้นตอนทั้งหมดในวงจรการลอกคราบ เริ่มตั้งแต่การสะสมอาหารและสารต่าง ๆ จนกระทั่งสัตว์สลัดคราบและสร้างเปลือกใหม่

1.4. ความสำคัญและวัตถุประสงค์ของการลอกคราบ

1.4.1. ความสำคัญของการลอกคราบ

การเจริญเติบโตของสัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) ในไฟลัม Arthropoda โดยเฉพาะชั้นครัสเตเชียน (Crustacean) แตกต่างจากสัตว์ประเภทอื่น ๆ ที่ต้องมีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง โดยจะมีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้นมาแทนที่เปลือกเก่า เนื่องจากเปลือกที่ห่อหุ้มตัวเปรียบเสมือนเกราะซึ่งขัดขวางการเพิ่มขนาดของเซลล์และเนื้อเยื่อ การสลัดเปลือกเก่านั้นใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาที แต่ขั้นตอนในการเตรียมความพร้อมก่อนการสลัดเปลือกจะใช้ระยะเวลานาน บางชนิดอาจใช้ระยะเวลาเป็นปี ขบวนการดังกล่าวเรียกว่า การลอกคราบ

การลอกคราบไม่เพียงเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพื่อการเจริญเติบโตเท่านั้น แต่ยังเกี่ยว ข้องกับการสืบพันธุ์โดย ในครัสเตเชียนบางชนิดเพศเมียจะต้องมีการลอกคราบก่อน เพศผู้จึงจะสามารถสอดถุงน้ำเชื้อเข้าไปเก็บในอวัยวะเพศเมียได้ ทั้งนี้เนื่องจากคราบหรือเปลือกที่แข็งเป็นตัวขัดขวางการสอดถุงน้ำเชื้อ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม เช่น ในการเลี้ยงกุ้ง เมื่อย้ายกุ้งจากบ่อหนึ่งไปยังอีกบ่อหนึ่งที่มีคุณสมบัติของน้ำแตกต่างกัน กุ้งจะการลอกคราบ และเมื่อครัสเตเชียนมีการสูญเสียรยางค์ก็จะมีการลอกคราบเช่นกัน เพื่อให้มีการงอกใหม่ (regenerate) ของรยางค์ส่วนที่สูญเสียไปนั่นเอง จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เกษตรกรนำมาปรับใช้ในการทำปูนิ่ม (ในอดีต) และกระตุ้นการวางไข่ของกุ้งโดยการตัดก้านตาที่สัมพันธ์กับฮอร์โมนอีกหลายชนิด ดังนั้นการเจริญเติบโตของ Arthropod โดยเฉพาะ Crustacean จึงต้องมีการลอกคราบเสมอ แต่การลอกคราบไม่ได้ทำให้สัตว์เจริญเติบโตขึ้นเสมอไป การลอกคราบไม่ใช่พฤติกรรมที่เกิดขึ้นธรรมดาทั่วไปเท่านั้น แต่เป็นพฤติกรรมทางสรีรที่ขาดไม่ได้ตลอดชีวิต พบว่าการลอกคราบครั้งหนึ่ง ๆ นั้น เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่เหลืออีก 30 เปอร์เซ็นต์ เป็นการสะสมอาหารและพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2. วัตถุประสงค์ในการลอกคราบ

- เพื่อการเจริญเติบโต โดยการขยายขนาดของลำตัว ถือเป็นวัตถุประสงค์หลัก เนื่องจากมีเปลือกแข็งคลุมลำตัว การขยายขนาดจึงต้องถอดเอาเปลือกแข็งออกก่อน เซลล์ของร่างกายจึงสามารถขยายขนาดได้

- เพื่อสร้างบางส่วนของอวัยวะที่สูญเสียไป เช่น รยางค์ เนื่องจากสัตว์น้ำกลุ่มครัสเตเชียนสามารถเกิดการงอกใหม่ (regenerate) ของรยางค์ได้

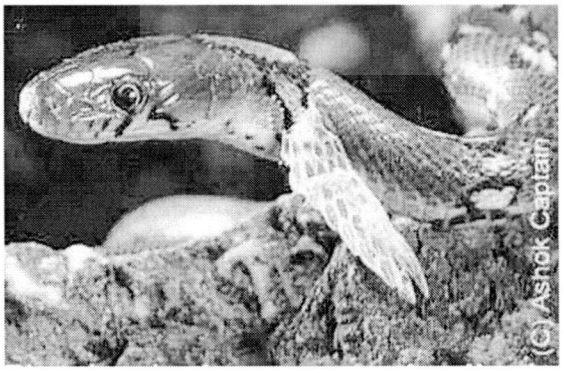
- เพื่อเสริมสร้างความสมบูรณ์เพศ เนื่องจากในการลอกคราบแต่ละครั้งจะทำให้อวัยวะที่ใช้ในการผสมพันธุ์ (copulatory organ) มีการเจริญและพัฒนา จนกระทั่งอวัยวะมีความสมบูรณ์และพร้อมที่จะสืบพันธุ์

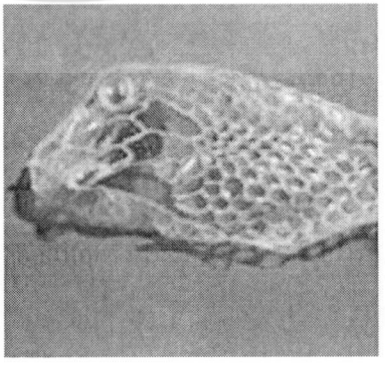
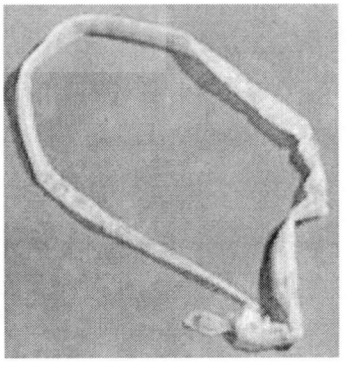
- เพื่อการสืบพันธุ์และผสมพันธุ์ เช่น ในกุ้งทะเลที่มีอวัยวะเพศเมียเป็นแบบเปิด (open thelycum) จำเป็นจะต้องมีการลอกคราบเอาเปลือกแข็งออก เพื่อให้ตัวผู้สามารถสอดถุงน้ำเชื้อเข้าไปเก็บไว้ใน seminal receptacle ได้

1.5. กลุ่มของสัตว์ที่มีพฤติกรรมการลอกคราบ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้นว่ากลุ่มของสัตว์ที่มีพฤติกรรมการลอกคราบที่แท้จริงและชัดเจน เป็นกลุ่มของสัตว์ที่อยู่ใน Phylum Arthropoda ซึ่งได้แก่ พวกแมลง กุ้ง ปู กั้ง กุ้งก้ามกราม และแมงดาทะเล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพวกสัตว์เลื้อยคลาน เช่น งู และกิ้งก่า เป็นต้น

- การลอกคราบของสัตว์เลื้อยคลาน มักเห็นได้ชัดในกลุ่มของงู ทั้งงูบกและงูทะเล งูเป็นสัตว์เลื้อยคลานที่ต้องมีการสร้างผิวหนังใหม่แทนของเก่า และลอกของเก่าออกทุกครั้ง ในงูที่โตเต็มที่จะมีการลอกคราบประมาณ 2-4 ครั้งต่อปี แต่ในช่วงกำลังเจริญเติบโต จะมีการลอกคราบถี่กว่านี้มาก หลังจากการลอกคราบแล้ว นอกจากจะทำให้มันมีเกล็ดที่มีสีสันสดใสขึ้น การลอกคราบยังช่วยทำให้มันสามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้รวดเร็วยิ่งขึ้นอีกด้วย คราบของงูที่ถูกลอกออกมาโดยเฉพาะงูที่มีพิษจะเป็นประโยชน์สำหรับสัตว์บางชนิด เช่น กระรอก โดยจะมีกัดเคี้ยวคราบของงูแล้วนำมาถูกตัว ทั้งนี้เพื่อให้กลิ่นของงูที่ติดตามผิวตัว ช่วยป้องกันตัวมันจากศัตรู นอกจากงูแล้วยังมีสัตว์เลื้อยคลานอีกหลายชนิดที่มีพฤติกรรมการลอกคราบ



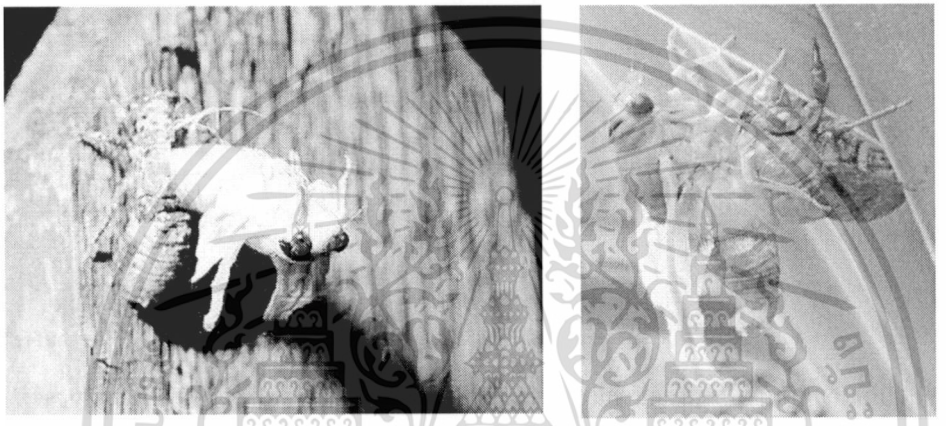



ที่มา : http://www.peteducation.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 1-1 การลอกคราบและคราบของ

- การลอกคราบของแมลง การลอกคราบของแมลงเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเพื่อการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับสัตว์กลุ่มอื่น ๆ ในไฟลัมเดียวกัน โดยการเจริญเติบและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างนั้น อำนวยประโยชน์อย่างมาก เนื่องจากทำให้แมลงประสบผลสำเร็จในการดำรงชีวิตอยู่ในโลกได้ดีกว่าสัตว์อื่น ทั้งนี้เพราะการลอกคราบแต่ละครั้ง ช่วยในการขจัดสารพิษออกจากร่างกายไปได้มากทำให้แมลงมีความทนทานต่อสารพิษได้มากขึ้นและการเจริญเติบโตโดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยเฉพาะทั้งแบบกึ่งสมบูรณ์ สมบูรณ์ และขั้นสูง ช่วยให้แมลงสามารถเปลี่ยนสภาพความเป็นอยู่ หลบหลีกภัยจากธรรมชาติได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 1-2 การลอกคราบของแมลงในช่วงที่มีการเปลี่ยนระยะ

ที่มา : http://mathphysicschemistrybiolo...ons.html

- การลอกคราบของครัสเตเชียน (จะขอกล่าวถึงรายละเอียดในหน่วยถัดไป)

สำหรับการสลัดขนของนกนั้นไม่ถือเป็นการลอกคราบ โดยการสลัดขนของนกหรืออาจเรียกว่าการผลัดขน เกิดขึ้นเนื่องจากขนนกเป็นโคลงสร้างที่ตายแล้ว เมื่อถึงระยะหนึ่ง นกจำเป็นต้องสลัดขนเก่าที่โทรมลงทิ้ง และสร้างขนเส้นใหม่ขึ้นมาแทนที่ นกส่วนใหญ่มักผลัดขนปีละครั้ง แต่นกที่มีการอพยพย้ายถิ่นจะผลัดขนปีละสองครั้ง การผลัดขนจะเริ่มจากบริเวณหางก่อน นอกจากนี้ในช่วงฤดูผสมพันธุ์ นกตัวผู้บางชนิดจะผลัดขนเพื่อสร้างขนชุดใหม่ที่มีสีสันสวยงามกว่าเดิม สำหรับดึงดูดตัวเมีย เช่น นกชายเลน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในช่วงผลัดขน แต่นกส่วนใหญ่ยังคงบินได้ อาจมีเพียงนกเป็ดน้ำบางชนิดที่ไม่สามารถบินได้ในช่วงผลัดขน อย่างไรก็ตามนกจะไม่ผลัดขนในช่วงฤดูผสมพันธุ์เพราะต้องการโปรตีนเพื่อให้ขนเจริญเติบโต และไม่เกิดในช่วงย้ายถิ่นเพราะนกต้องการขนที่มีสภาพดีพอที่จะบินได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นระยะไกล แต่จะผลัดขนในช่วงก่อนบินย้ายถิ่น สภาพและสีสันของขนที่เห็นช่วยจำแนกให้ทราบว่า นกที่พบเป็นตัวเต็มวัยหรือนกวัยอ่อน และอาจช่วยจำแนกชนิดได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยที่ 2 วงจรการลอกคราบ (Molting Cycle) ของครัสเตเชียน

2.1. วัตถุประสงค์

- เพื่อทราบลักษณะและโครงสร้างของเปลือกซึ่งเป็นโครงร่างแข็งภายนอกของครัสเตเชียน
- เพื่อให้เข้าใจวงจรการลอกคราบและการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นตอน
- เพื่อให้ทราบความถี่และระยะเวลาในการลอกคราบของครัสเตเชียนบางชนิด รวมถึงปัจจัยที่เป็นตัวกำหนด

2.2. แบบทดสอบก่อนเรียน

2.2.1. โครงสร้างของเปลือกในพวกกุ้งและปูมีองค์ประกอบของสารใดเป็นหลัก?

ก. ไคติน

ข. แคลเซียม

ค. ไขมัน

ง. โปรตีน

2.2.2. โครงสร้างหลักของเปลือกในข้อ 2.2.1 ถูกสร้างมาจากชั้นใด?

ก. epicuticle

ข. procuticle

ค. exocuticle

ง. hypodermis

2.2.3. เปลือกชั้นใด เป็นชั้นที่ให้ความแข็งแรงหรือป้องกันอันตรายให้กับร่างกายของสัตว์?

ก. epicuticle

ข. procuticle

ค. epidermis

ง. hypodermis

2.2.4. ระยะในวงจรการลอกคราบที่สัตว์กำลังสลัดเปลือกเก่าทิ้ง?

ก. intermolt

ข. premolt

ค. molting

ง. postmolt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5. ในวงจรการลอกคราบ ระยะใดเป็นระยะที่สัตว์มีการเพิ่มจำนวนเซลล์และขยายขนาดเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต?

ก. intermolt

ข. premolt

ค. molting

ง. postmolt

2.2.6. ข้อใดเป็นพฤติกรรมในการดันตัวออกจากเก่าในสัตว์จำพวกปู?

ก. ดันตัวออกทางรอยแยกบริเวณขอบด้านหน้าของกระดอง

ข. ดันตัวออกทางรอยแตกบริเวณขอบด้านท้ายของกระดอง

ค. เปิดกระดองขึ้นด้านบนและดันตัวออกมา

ง. ใช้ก้ามเจาะกระดองจนแตกแล้วดันตัวออกมา

2.2.7. ปัจจัยใดมีผลต่อความถี่และระยะเวลาการลอกคราบน้อยที่สุด ?

ก. ช่วงอายุของสัตว์

ข. ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร

ค. อุณหภูมิน้ำ

ง. ความเค็มน้ำ

2.2.8. ข้อใดกล่าวผิด?

ก. สัตว์ที่มีอายุน้อยจะลอกคราบบ่อยครั้งกว่าสัตว์ที่มีอายุมาก

ข. น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้สัตว์ลอกคราบได้บ่อยครั้งกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

ค. น้ำที่มีความเค็มสูงจะทำให้สัตว์ลอกคราบได้บ่อยครั้งกว่าน้ำที่มีความเค็มต่ำ

ง. สัตว์ที่ได้รับอาหารอุดมสมบูรณ์จะลอกคราบบ่อยครั้งกว่าสัตว์ที่อดอาหาร

2.2.9. terminal ecdysis คือข้อใด?

ก. เป็นการลอกคราบครั้งแรกของสัตว์

ข. เป็นการลอกคราบครั้งสุดท้าย

ค. เป็นการลอกคราบครั้งสุดท้ายของระยะวัยอ่อนก่อนพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย

ง. เป็นการลอกคราบเพื่อการสืบพันธุ์ครั้งแรก

2.2.10. ถ้าหากสัตว์มีอายุเท่ากัน สัตว์ชนิดใดจะมีวงจรการลอกคราบนานที่สุด?

ก. กุ้งก้ามกราม

ข. กุ้งกุลาดำ

ค. กุ้งมังกร

ง. ปูม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. โครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton)

2.3.1. โครงสร้างเปลือกของครัสเตเชียน (ภาพที่ 2-1, 2-2, 2-3)

ผิวลำตัวของพวกครัสเตเชียนถูกปกคลุมด้วย cuticle ที่มีลักษณะเหนียว โดยเฉพาะ cuticle ที่เป็นโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) หรือที่เรียกทั่วไปว่าเปลือก ซึ่งมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ทำให้โครงร่างดังกล่าวมีความแข็งแรง สามารถปกป้องอันตรายให้กับตัวสัตว์ได้ cuticle ของครัสเตเชียนถูกสร้างโดยเซลล์ที่อยู่ในชั้นของผิวหนังที่เรียกว่า hypodermis ซึ่งอยู่ใต้เปลือกแข็ง โดยทั่วไป cuticle มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ โปรตีนและไคติน (chitin) นอกจากนี้ยังมีพวก lipids, polyphenols, phenolases หรือ polyphenoloxidases สารต่าง ๆ เหล่านี้กระจายอยู่ตามชั้นต่าง ๆ ของ cuticle โดยปกติสามารถแบ่ง cuticle ออกเป็น 2 ชั้น คือ epicuticle และ procuticle ดังนี้

1) ชั้น Epicuticle หรือ Outer non-chitinous epicuticle เป็นเปลือกชั้นนอกสุดมีลักษณะบางและใส ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นสารไคติน แต่จะมีองค์ประกอบของ โปรตีน ไลปิด และแคลเซียม ซึ่งอาจอยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) การเรียงตัวของสารเหล่านี้จะมีโปรตีนและไลปิดรวมกันอยู่ในรูปของ lipoprotein ที่ล้อมรอบแคลเซียม ชั้นนี้จึงมีความเหนียวมากกว่าชั้นอื่นๆ ชั้น epicuticle นี้อาจมีองค์ประกอบที่เป็นไข (wax) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการซึมผ่านน้ำ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จำกัดปริมาณการผ่านเข้า-ออกของเกลือแร่และไอออนต่าง ๆ

2) ชั้น Procuticle (inner chitinous procuticle) อยู่ถัดจากชั้น epicuticle และมีความหนามากกว่า พบไคตินเป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย ชั้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย คือ exocuticle และ endocuticle ดังนี้

2.1) ชั้น exocuticle เป็นชั้น procuticle ที่อยู่ด้านนอกถัดจากชั้น epicuticle เข้าไปด้านใน ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่ทำให้เกิดสีสันต่างๆ ของตัวสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณเม็ดสี (pigments) มากที่สุด บางครั้งจึงเรียกว่าชั้นเม็ดสี (pigmented layer) เม็ดสีที่สำคัญได้แก่ เม็ดสีเมลานิน (melanin pigment) หรือ tanned protein นอกจากเม็ดสีแล้วยังมีองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ไคติน โปรตีน และฟีนอล (phenol) สารประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะมีการเรียงตัวกัน โดยไคตินและโปรตีนจะสานกันเป็นร่างแห ส่วนเม็ดสี แคลเซียม และสารอื่น ๆ จะรวมตัวกันอยู่ภายในร่างแหดังกล่าว การเรียงตัวเช่นนี้ทำให้ชั้น exocuticle มีความแข็งแรงมากกว่าชั้นอื่น สำหรับบริเวณที่เป็นข้อต่อ (joint) และรอยแยกของเปลือกขณะที่มีการลอกคราบจะไม่พบชั้นนี้ ในปู *Cancer pagurus* พบปริมาณไคตินสะสมอยู่ในชั้นนี้ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด

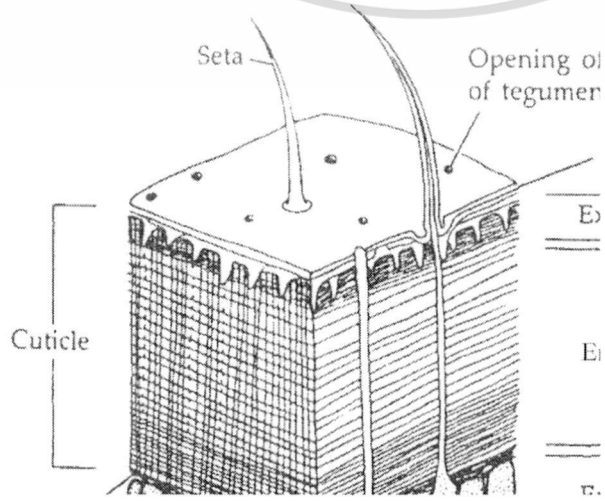
2.2) ชั้น endocuticle อยู่ถัดจากชั้น exocuticle เข้ามาด้านใน เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกทั้งหมด และมีแคลเซียมสะสมอยู่มากที่สุด เป็นชั้นที่ไม่มีเม็ดสีเมลานิน แต่มีไคตินและโปรตีนเป็นองค์ประกอบคล้ายชั้น exocuticle อย่างไรก็ตามชั้นนี้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าชั้น exocuticle เนื่องจากมีเฉพาะแคลเซียมเท่านั้นที่เรียงตัวแทรกอยู่ระหว่างร่างแหของไคตินและโปรตีนจึงทำให้โครงสร้างชั้นนี้เปราะ ในปู *Cancer pagurus* พบปริมาณไคตินสะสมอยู่ในชั้นนี้ประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ชั้นนี้มีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ของปริมาณสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมด ชั้น endocuticle แบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อย คือ ชั้นที่มีแคลเซียมและชั้นที่ไม่มีแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

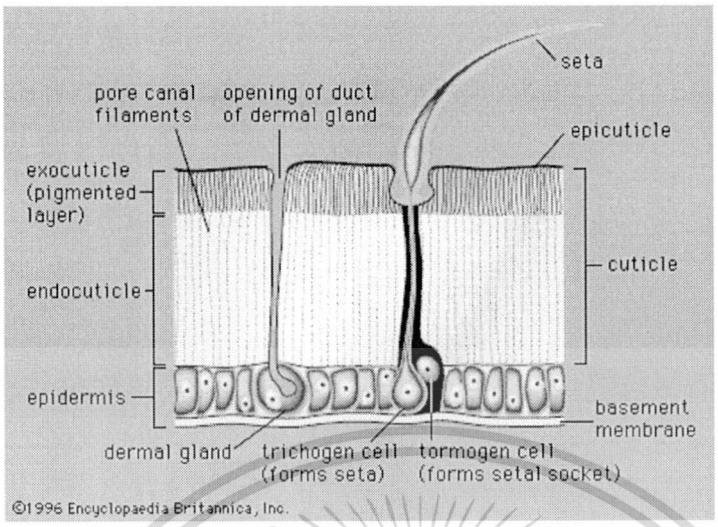
- ชั้นแคลเซียม (calcified layer) เป็นชั้นที่แสดงความหนาของเปลือกที่แตกต่างกันในครัสเตเชียนแต่ละชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประมาณของแคลเซียมที่สะสมอยู่

- ชั้นไม่มีแคลเซียม (uncalcified layer) หรือชั้น membranous layer เป็นชั้นที่อยู่ด้านในสุด ชั้นนี้ไม่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ

ชั้น epidernis เป็นชั้นผิวหนังที่อยู่ด้านนอกสุดติดกับชั้นเนื้อเยื่อของ endocuticle ชั้นนี้ไม่ถูกจัดไว้ในโครงสร้างของเปลือกเซลล์ในชั้นนี้มีขนาดใหญ่ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมทรงสูงเรียงอัดกันแน่น บริเวณใต้ชั้น epidermis ลงมา เป็น hypodermis จะมีต่อมผิวหนัง (tegumental gland) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างสาร และสารดังกล่าวจะถูกขับออกทางท่อยาวสู่ภายนอกบริเวณผิว epicuticle นอกจากนี้ยังพบปลายประสาทที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึกซึ่งเชื่อมโยงไปยังขนเล็ก ๆ (setae) ที่อยู่บริเวณผิวด้านบนของ cuticle

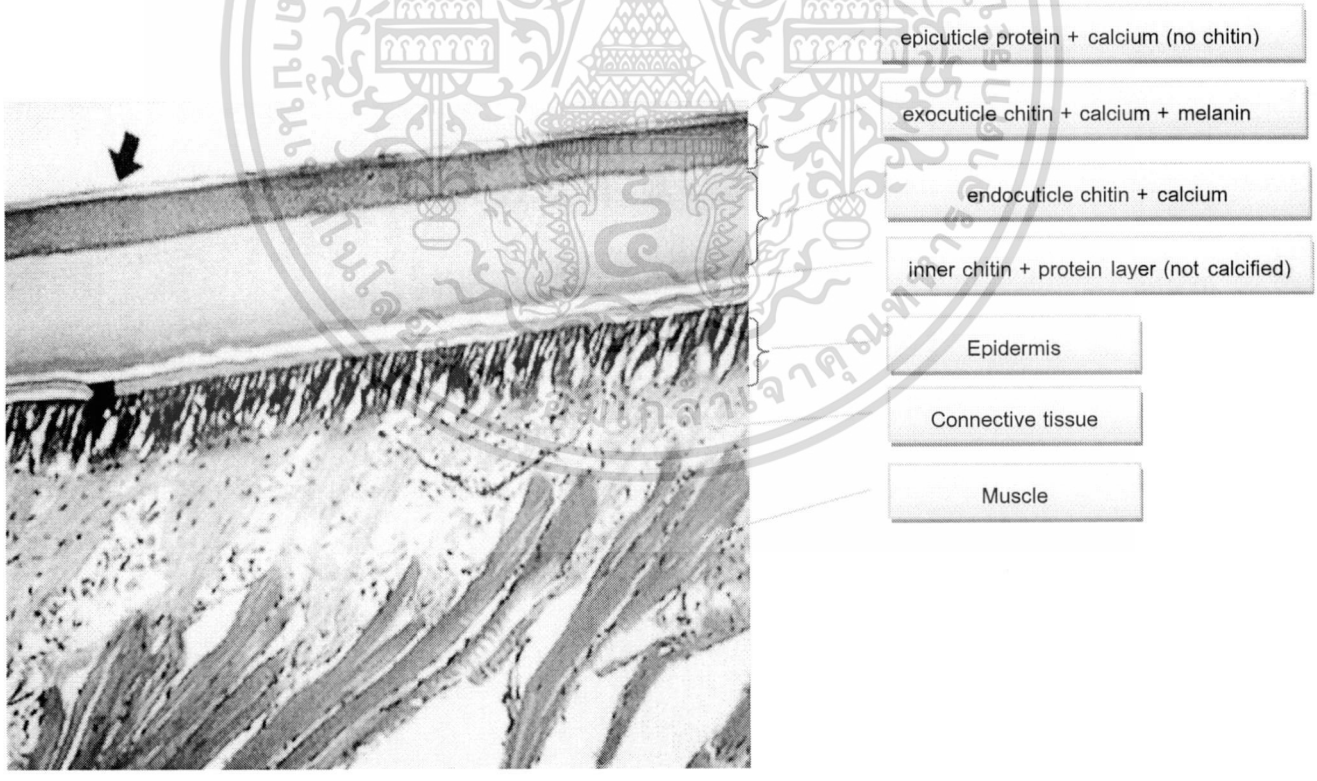


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างเปลือกของครัสเตเชียน

ที่มา: http://www.britannica.com/EBchec...tegument



ภาพที่ 2-3 องค์ประกอบของโครงสร้างเปลือก

ที่มา : http://www.vet.kps.ku.ac.th/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2. คุณสมบัติทางเคมีและชีวเคมีของเปลือก

- ไคติน (chitin) สารไคตินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเปลือกหรือโครงร่างภายนอกของครัสเตเชียนและสัตว์ในไฟลัม Arthropoda ทั้งหมด จัดเป็นสารประเภท nitrogenous polysaccharide ส่วนใหญ่ประกอบด้วย N-acetylglucosamine และบางส่วนของ glucosamine ไคตินที่พบทั่วไปในโครงร่างของเปลือกกุ้งมักเป็น α-chitin ซึ่งไม่พบในธรรมชาติ การย่อยสลายไคตินเกิดขึ้นโดยเอนไซม์ chitinase ซึ่งพบในแบคทีเรียที่อาศัยในดิน รา ไส้เดือนดิน อมีบา และน้ำย่อยของหอย นอกจากนี้ยังพบปะปนในสารละลายของเหลวที่สร้างขึ้นเพื่อการลอกคราบ (molting fluid) ช่วยให้เปลือกนิ่มสะดวกในการสลัดเปลือกเก่าออก ไคตินเกิดจากการสะสมไกลโคเจน

- อาร์โทรพิดิน (arthropidin) เป็นสารคล้ายโปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ มีไนโตรเจนต่ำ และมีคาร์โบไฮเดรตผสมอยู่เล็กน้อย เมื่อโดนความร้อนจะกลายเป็นสีน้ำตาล ละลายน้ำได้ดี อาจเรียกโปรตีนชนิดนี้ว่า sclerotin

- เอนไซม์ (enzyme) ในส่วนของ epicuticle ประกอบด้วยเอนไซม์ polyphenoloxidase ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเปลือก ส่วน phenoloxidase ทำหน้าที่ในการสร้างชั้นเม็ดสี (pigmented layer) แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเปลือก

- sterol และ aromatic amino acid สารพวก sterol เช่น ไลปิด เป็นสารที่มีความสำคัญใน cuticle ของพวกแมลงและครัสเตเชียน พบว่าภายหลังจากการลอกคราบเปลือกที่แข็งตัวขึ้นจะเกิดจากสารประกอบที่ซับซ้อนของ sterol-protein complex หน้าที่ที่สำคัญของ sterol และโปรตีน คือช่วยในการทำให้เปลือกนุ่มเหนียวเป็นพิเศษในขณะที่มีการลอกคราบ

- รงควัตถุ (pigments) รงควัตถุหรือสารสีที่พบในเปลือกของครัสเตเชียนทำให้เกิดชั้นสี ซึ่งในสัตว์ชนิดเดียวกันอาจจะแตกต่างกันตามถิ่นอาศัยและตำแหน่งของตัว เช่น

1) สารสีอำพัน (amber-colored pigment) มีความเหนียว ทน พบบริเวณชั้นผิวของเปลือก

2) สีดำและสีฟ้า (black and blue pigment) เป็นสารพวก astaxanthin protein complex พบในชั้นของ endocuticle และสารสีชนิดนี้จะกลายเป็นสีแดงเมื่อโดนความร้อน

3) สีเหลืองและน้ำตาล (yellow and brown pigment) พบในชั้น epidermis และเนื้อเยื่อด้านในของเปลือก

2.4. วงจรและขั้นตอนการลอกคราบ

วงจรการลอกคราบของครัสเตเชียนถูกแบ่งออกเป็นหลายแบบ ตามการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่าน แต่พบว่ามีรายละเอียดของขั้นตอนคล้ายคลึงกันในสัตว์แต่ละชนิด ปัจจุบันมีรายงานการเปลี่ยนแปลงในวงจรการลอกคราบในสัตว์ 2 กลุ่มหลัก คือกุ้งและปู โดยมีรายละเอียดของวงจรการลอกคราบแต่ละกลุ่มดังนี้

2.4.1. วงจรและขั้นตอนการลอกคราบของปู สามารถแบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

□ **แบ่งตามวิธีของ Drach (1939)** สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือ

- ***ระยะ D*** เป็นระยะก่อนการลอกคราบ (proecdysis stage) เป็นระยะที่มีการเคลื่อนที่ของสารต่าง ๆ จากเปลือกเข้าสู่กระแสเลือดและมีการงอกใหม่ของรยางค์ที่ขาดหายไป สามารถแบ่งออกเป็น 5 ระยะย่อย คือ D0, D1, D2, D3 และ D4 มีรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของแต่ละระยะ ดังนี้

ระยะ D0 เป็นระยะที่ epidermis และ hepatopancreas ถูกกระตุ้นให้เริ่มมีการสร้าง epicuticle และหนาม (spine) ระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาทั้งหมด เป็นช่วงที่มีการกินอาหารตามปกติ

ระยะ D1 เป็นระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับระยะ D0 มีการกินอาหารตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ D2 เป็นระยะที่เปลือกชั้นนอกเริ่มแตก มีการกินอาหารลดลง ใช้เวลาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ D3 เป็นระยะที่เริ่มมีน้ำซึมเข้าตามรอยแตก สัตว์หยุดกินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ D4 เป็นระยะที่ใกล้จะมีการถอดเปลือก รอยแตกขยายออก เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ***ระยะ E*** เป็น ระยะที่มีการลอกคราบ (ecdysis stage) จะมีการนำน้ำเข้าตัวอย่างรวดเร็วและสลัดเปลือกเก่าทิ้ง ไม่มีการเคลื่อนที่ ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ***ระยะ A*** เป็นระยะหลังการลอกคราบใหม่ ๆ (early postecdysis stage) ซึ่งมีการดูดซึมน้ำและเกลือแร่เข้าสู่ร่างกายสามารถแบ่งเป็น 2 ระยะย่อย คือ A1 และ A2

ระยะ A1 เป็นระยะที่มีการสลัดคราบใหม่ ๆ มีการดูดซึมน้ำและเกลือแร่เข้าสู่ร่างกายมักอยู่เฉยๆ และไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ A2 เป็นระยะเปลือกนิ่ม เปลือกนอกมีการสะสมเกลือแร่ เริ่มมีการเคลื่อนไหวเล็กน้อย ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ***ระยะ B*** เป็นระยะหลังการลอกคราบที่เริ่มมีการสร้าง endocuticle ขึ้น (late postecdysis stage) เปลือกเริ่มแข็งขึ้น อาจเรียกว่าระยะเปลือกเปราะ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะย่อย คือ B1 และ B2

ระยะ B1 เป็นระยะที่เริ่มมีการสร้างสารต่างๆ ในชั้น endocuticle สามารถเคลื่อนไหวได้ ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ B2 เป็นระยะที่การสร้างเปลือกชั้น endocuticle เป็นไปอย่างรวดเร็ว ก้ามแข็ง มีการขยายตัวของเนื้อเยื่อ เริ่มกินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ***ระยะ C*** เป็นระยะเปลือกแข็ง (anecdysis stage) มีการเจริญของชั้นเนื้อเยื่อ และมีการสร้าง exocuticle ขึ้น สัตว์เข้าสู่ระยะปกติ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะย่อย คือ C1, C2, C3 และ C4

ระยะ C1 เป็นระยะที่เนื้อเยื่อส่วนใหญ่เจริญเติบโตขึ้น มีการกินอาหารตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ C2 เป็นระยะที่สัตว์เจริญเติบโตขึ้น มีการกินอาหารตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ C3 เป็นระยะที่มีการพัฒนาของเปลือกนอกสมบูรณ์ มีการกินอาหารตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะ C4 เป็นระยะระหว่างการลอกคราบที่มีการสะสมสารอินทรีย์ มีการกินอาหารตามปกติ ใช้เวลาประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด หรือมากกว่า

ระยะ C4 T (terminal) หรือ terminal ecdysis เป็นการลอกคราบครั้งสุดท้ายของชีวิต หลังจากการลอกคราบครั้งนี้แล้วสัตว์จะไม่มีการเจริญเติบโตอีก มีการกินอาหารตามปกติ

ในการแบ่งระยะการลอกคราบของปู ถ้าหากพิจารณาตามลักษณะการสร้างผิวชั้นนอก ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสี ขนการถอยกลับในของชั้นเม็ดสี และการแยกตัวของเปลือกใหม่และเปลือกเก่า จะสามารถแบ่งการลอกคราบของปูได้อีกลักษณะ ซึ่งประกอบด้วย 5 ระยะย่อยเช่นเดียวกับการแบ่งของ Drach (1939) ดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 ระยะกระดองนิ่ม (stage A) เป็นระยะที่เพิ่งลอกคราบใหม่ กระดองใหม่ (new carapace) มีลักษณะนิ่ม เหี่ยวย่น ลื่น ชั้นเคลือบผิว ชั้นเม็ดสี และชั้นเยื่อบุต่าง ๆ จะติดเป็นชั้นเดียวกัน ระยะนี้สัตว์ไม่กินอาหาร ใช้เวลาประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 2 ระยะย่อย คือ

- ระยะ A1 (newly molt) เป็นระยะที่กระดองนิ่มมาก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ขายังไม่แข็งแรง จึงเคลื่อนที่ไม่ได้ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ A2 (soft) เป็นระยะที่กระดองเริ่มแข็ง น้ำหนักตัวคงที่ น้ำหยุดซึมเข้าตัว น้ำในตัวมีประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลา 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะที่ 2 ระยะกระดองเริ่มแข็ง (stage B, paper shell) เป็นระยะที่กระดองใหม่เริ่มแข็ง เคลือบผิวชั้นในอยู่ระหว่างเริ่มมีการพัฒนาซึ่งมีลักษณะหนาและแข็งขึ้น ชั้นเม็ดสีเริ่มมีการถอยกลับ ยังไม่กินอาหาร ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 8.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระยะย่อย ได้แก่

- ระยะ B1 เป็นระยะที่ชั้นหินปูนของเคลือบผิวชั้นในเริ่มพัฒนา ขาแข็งขึ้นมี น้ำในตัวประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ B2 เป็นระยะที่ชั้นเม็ดสีเกิดการถอยกลับ ชั้นหินปูนเริ่มพัฒนาหนาขึ้น ขาและเปลือกเริ่มแข็ง มีน้ำในตัวประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 3 ระยะเปลือกแข็ง (stage C, intermolt) เป็นระยะที่กระดองแข็งเต็มที่ ผิวชั้นนอกของเปลือกสมบูรณ์ ชั้นเม็ดสีถอยกลับไปอยู่บริเวณฐานปลายสุดของขนเก่า ผิวชั้นนอกมีการหดกลับ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะย่อย ได้แก่

- ระยะ C1 เป็นระยะที่ปูเริ่มเกินอาหาร ชั้นเม็ดสีกว้าง รยางค์ขาแข็งเกือบปกติ ในตัวมีน้ำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 8.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ C2 เป็นระยะที่ชั้นเม็ดสีกว้างมากขึ้น รยางค์ขาแข็ง เปราะง่าย น้ำในตัวมีประมาณ76 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ C3 เป็นระยะที่ชั้นเม็ดสีกว้างมากกว่าระยะ C-2 มีน้ำในตัวประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ C4 เป็นระยะสุดท้าย การพัฒนาของชั้นเม็ดสีสมบูรณ์และมีการถอยร่นกลับเข้าไปด้านใน ระยะนี้ปูกินอาหารตามปกติ การเคลื่อนไหวว่องไว ปราดเปรียว ดุร้าย เริ่มมีการสะสมสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการลอกคราบครั้งถัดไป มีน้ำในตัวประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะที่ 4 ระยะก่อนลอกคราบ (stage D) กระดองมีความแข็งเต็มที่ เปลือกสมบูรณ์ เป็นระยะที่ปูสะสมอินทรีย์สารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการลอกคราบ เช่น แคลเซียม เพื่อใช้ในการลอกคราบครั้งต่อไป สัตว์กินอาหารน้อยลง การเคลื่อนไหวช้าลง มีน้ำในตัวประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด สามารถแบ่งเป็น 4 ระยะย่อย คือ

- ระยะ D1 เป็นระยะที่ผิวชั้นนอกของเปลือกใหม่เริ่มพัฒนา เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า ทำให้เกิดชั้นของเปลือกใหม่ขนานไปกับเปลือกเก่า เปลือกที่สร้างใหม่ใส ปริมาณน้ำในตัวคงที่ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 15.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ D2 เป็นระยะที่ช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่และเปลือกเก่ากว้างขึ้น ขนบนชั้นเคลือบผิวใหม่เริ่มพัฒนาให้เห็นเป็นเส้นเล็ก ๆ ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

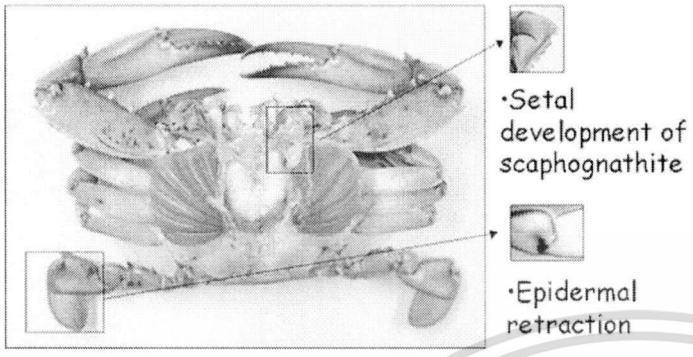
- ระยะ D3 เป็นระยะที่เปลือกใหม่พัฒนาสมบูรณ์ เปลือกใหม่แยกจากเปลือกเก่า เกิดช่องว่างระหว่างเปลือกใหม่เห็นได้ชัดเจน กระดองแข็งมาก เปราะ แตกง่าย ระยะนี้ปูจะหยุดกินอาหาร เคลื่อนไหวช้า ใช้เวลาประมาณ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

- ระยะ D4 เป็นระยะที่รอยต่อต่าง ๆ บริเวณเปลือกเริ่มแตก น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ใช้เวลาประมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

ระยะที่ 5 ระยะลอกคราบ (stage E, molting) เป็นระยะที่ปูสลัดกระดองเก่าหรือเปลือกเก่าทิ้ง น้ำถูกดึงเข้าตัวอย่างรวดเร็ว ไม่เคลื่อนที่ ไม่กินอาหาร เป็นช่วงเวลาวิกฤติที่สุดของปู เพราะปูอ่อนแออาจถูกสัตว์อื่นทำร้ายหรือกินเป็นอาหารได้ง่าย ใช้เวลาประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของระยะเวลาทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรการลอกคราบจะพบว่า ระยะที่สามารถสังเกตเห็นการลอกคราบได้ชัดเจนที่สุดเป็นระยะที่มีการสลัดเปลือกเก่าออก ซึ่งนับเป็นช่วงสุดท้ายของวงจรการลอกคราบ ส่วนในช่วงระยะเวลาก่อนหน้านี้ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนนัก หรือไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก อย่างไรก็ตามสามารถตรวจสอบการลอกคราบได้จากระดับความแข็งของเปลือก ความโปร่งใสบริเวณขอบของแพนหาง (uropods) หรือขาว่ายน้ำ (pleopods) ซึ่งเกิดจากการแยกตัวของชั้นเปลือกเก่าและชั้นเปลือกใหม่ และการสร้างขนใหม่ (ภาพที่ 2-4) สำหรับในปูนั้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสีและระยะห่างของเปลือกเก่าและเปลือกใหม่บริเวณขาว่ายน้ำปล้องสุดท้าย (dactylus) สามารถแบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ เพื่อใช้แสดงระยะของการลอกคราบได้ โดยแบ่งออกเป็นระยะที่เกิดรอยแยกน้อย รอยแยกปานกลาง และรอยแยกมาก ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงวงจรการลอกคราบในแต่ละระยะ ยังสามารถบ่งบอกได้จากสีบริเวณขอบของขาว่ายน้ำและบริเวณจับปิ้งของเพศเมีย (ตารางที่ 2-1 และ ภาพที่ 2-5)



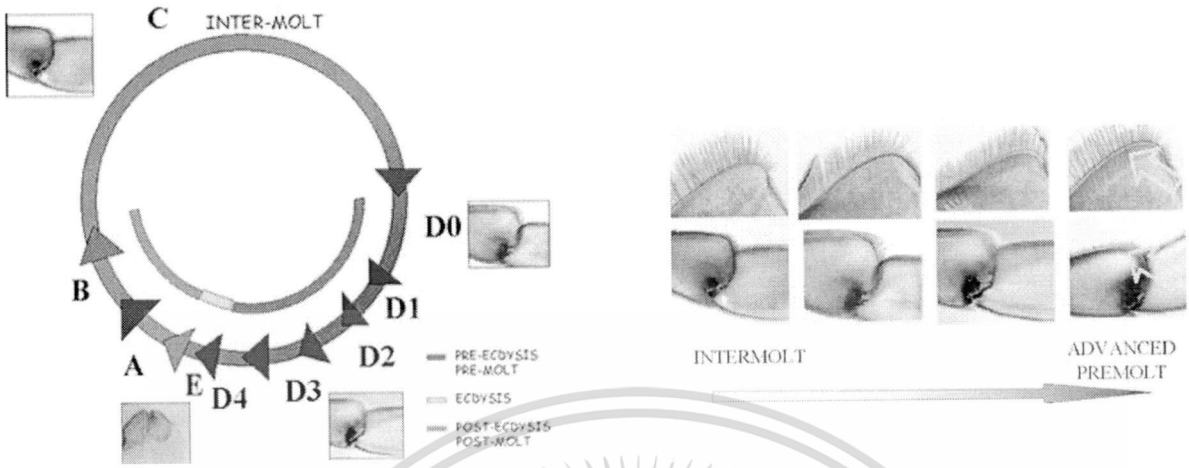
ภาพที่ 2-4 ตำแหน่งที่ใช้ตรวจสอบระยะการลอกคราบของ blue crab
ที่มา : www.serc.si.edu

ตารางที่ 2-1 การจำแนกระยะการลอกคราบของปูม้า

ระยะ	สีบริเวณขอบขาว่ายน้ำ	ช่องว่างบริเวณขอบขาว่ายน้ำ	สีจับปิ้งของเพศเมีย	รอยแยกขอบจับปิ้งในเพศผู้
A	ม่วง	ไม่มี	ดำ 100%	ไม่มี
B	ม่วงปนชมพู	ไม่มี	ดำ 70% เท่าหรือน้ำตาล 30%	ไม่มี
C	ชมพูหรือชมพูปนเขียว	ไม่มี	ขาว 30% น้ำตาลอ่อน 40% และเทา 30% หรือขาว 100% หรือน้ำตาลอ่อน 100%	ไม่มี
D1	ชมพูอมแดง	เล็กน้อย	ดำ 30% เท่าหรือน้ำตาล 70%	ไม่มี
D2	แดง	ชัดเจนขึ้น	ดำ 50% เท่าหรือน้ำตาล 50%	ชัดเจนขึ้น
D3	แดงมาก	ชัดเจนมาก	ดำ 80% เท่าหรือน้ำตาล 20%	ชัดเจนมาก
D4	แดงมากที่สุด	ชัดเจนมากที่สุด	ดำ 100%	ชัดเจนมากที่สุด

ที่มา : บุญรัตน์ (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-5 วงจรการลอกคราบของปูและการเปลี่ยนแปลงสีของปลายรยางค์

ที่มา : http://www.serc.si.edu/

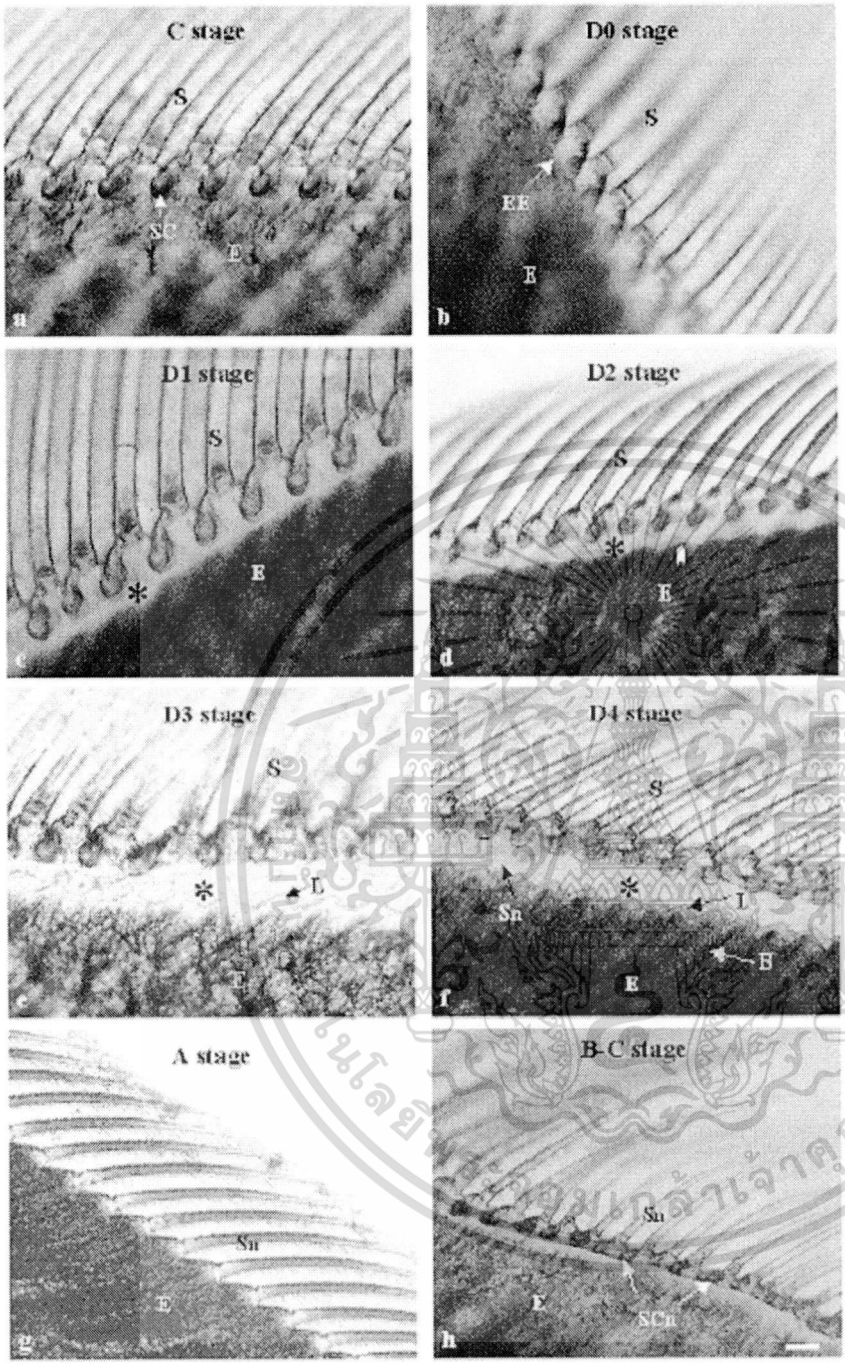
□ แบ่งตามวิธีของ **Baumberger and Olmsted (1928)** สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ระยะ ได้แก่

- ระยะเปลือกแข็ง (hard shell) เป็นระยะที่มีการกินอาหารอย่างเต็มที่ สัตว์แข็งแรงมาก เป็นระยะที่กินเวลานานมากที่สุด ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาทั้งหมด
- ระยะเตรียมลอก (peeler, pillans) เป็นระยะที่มีการสะสมสารอาหารและแร่ธาตุ
- ระยะลอกคราบ (molt) เป็นระยะที่มีการแยกเปลือกเก่าออกจากเปลือกใหม่
- ระยะลอกใหม่ (newly molted) เป็นระยะที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง ถือเป็นระยะที่วิกฤติต่อสัตว์มากที่สุด
- ระยะเปลือกนิ่ม (soft shell) เป็นระยะที่มีเปลือกนิ่ม เพื่อให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ดี
- ระยะเปลือกบาง (paper shell) เป็นระยะเริ่มมีการสะสมแคลเซียมที่เปลือกใหม่

2.4.2. วงจรและขั้นตอนการลอกคราบของกุ้ง สามารถแบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

□



แบ่งตามวิธีของ Promwikorn *et al.* (2004) เป็นการแบ่งระยะการลอกคราบของกุ้งกุลาดำ โดยการจำแนกระยะการลอกคราบโดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ 1) อัตราการแยกตัวของเนื้อเยื่อ epidermal จาก cuticle 2) ช่องว่างของส่วนที่โปร่งแสงระหว่างฐานของขน (setal cones) และ epidermis 3) ลักษณะของ epidermis 4) ลักษณะของขนที่ถูกสร้างขึ้นมาใหม่ และ 5) การก่อตัวของฐานขน จากลักษณะทั้งหมดพบว่าการพัฒนาของขนสามารถใช้ในการแบ่งระยะการลอกคราบของกุ้งกุลาดำได้ค่อนข้างชัดเจนดังภาพที่ 2-6

ภาพที่ 2-6 การประเมินระยะการลอกคราบของกุ้งกุลาดำโดยใช้ลักษณะของ setae บริเวณแพนหาง; ระยะ intermolt (a), ระยะ premolt (b-f) และระยะ postmolt (g, h) EE = ขอบของ epidermal, I = รูปแบบรอยเว้าของ epidermis, L = เยื่อสีขาวบริเวณขอบของ epidermis, S = setae, SC = seta cone, SCn = setal cones ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่, Sn = seta ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่, * = ส่วนที่โปร่งแสงระหว่าง cuticle และ epidermis สเกล = 50 ไมโครเมตร

ที่มา : Promwikorn *et al.* (2004)

จากภาพที่ 2-6 สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละระยะ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะ Intermolt (C stage) เป็นระยะที่ seatae cones มีลักษณะสมบูรณ์และเจริญเต็มที่

- ระยะ Premolt (D stage)

ระยะ D0 เป็นระยะที่เริ่มปรากฏช่องว่างระยะเนื้อเยื่อ epidermal และฐานของ setae cones

ระยะ D1 เป็นระยะที่ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis ยังแคบ

ระยะ D2 เป็นระยะที่ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้าง ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นลอน

ระยะ D3 เป็นระยะที่ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้างมาก ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นลอนถี่ และเกิดชั้นของเนื้อเยื่อสีขาวลักษณะบาง บริเวณขอบของ epidermis

ระยะ D4 เป็นระยะที่ช่องว่างระหว่าง setae cones และ epidermis กว้างมากที่สุด ขอบของ epidermis มีลักษณะเป็นรอยหยัก ชั้นของเนื้อเยื่อสีขาวมีลักษณะเป็นแถบหนาขึ้นวางตัวขนานกับขอบของ epidermis

- ระยะ Postmolt ประกอบด้วย 2 ระยะ คือ

ระยะ A เป็นระยะที่ขนมีลักษณะอ่อนนุ่ม ไม่แข็งแรง ไม่มี setae cones

ระยะ B เป็นระยะที่มี setae cones

□ **แบ่งตามวิธีของ Scheer (1960)** เป็นการแบ่งวงจรการลอกคราบของกุ้งสีชมพู (*Penaeus duorarum*)

- ระยะ A (early postmolt) เป็นระยะที่กุ้งมีเปลือกนิ่ม คล้ายกระดาษเหนียวๆ (parchment-like) ไม่ปรากฏด้านในของโคนขนแพนหาง (uropod)

- ระยะ B (late postmolt) เป็นระยะที่กุ้งมีเปลือกแข็งขึ้น ด้านในของโคนขนยังพัฒนาไม่สมบูรณ์

- ระยะ C (intermolt) แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะ C_a (early intermolt) เป็นระยะที่กุ้งมีเปลือกแน่นและแข็ง ด้านในของโคนขนพัฒนาใกล้สมบูรณ์

ระยะ C_b (late intermolt) เป็นระยะที่กุ้งมีเปลือกแข็ง ด้านในของโคนขนพัฒนาสมบูรณ์ ปรากฏรอยแยกเล็กน้อยของ epidermis กับ cuticle ที่บริเวณขน

- ระยะ D (premolt) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ

ระยะ D_0 (beginning premolt) เริ่มปรากฏขนใหม่บริเวณฐานของขนเก่า เกิดช่องว่างระหว่างบาง ๆ แยกระหว่าง epidermis กับ cuticle ฐานของขนใหม่ปรากฏให้เห็นบริเวณผิวด้านนอกของ epidermis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ D_1 (early premolt) ขนใหม่อยู่ในช่วงของการพัฒนา

ระยะ D_2 (middle premolt) epidermis มีการสร้างชั้น cuticle ใหม่

ระยะ D_3 (late premolt) เริ่มปรากฏให้เห็นชั้น procuticle

ระยะ D_4 (final premolt) เปลือกคลุมหัวของเปลือกเก่าแตกออกอย่างรวกเร็วจากแรงดันเล็กน้อยของเปลือกใหม่

□ **แบ่งตามวิธีของ Passano (1960)**

- ระยะ A ใช้ระยะเวลาประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะ A_1 เป็นร ะยะที่เปลือกนิ่มมาก ปรากฏให้เห็นจุดกำเนิดของหนามกระจายอยู่ทั่วไป

ระยะ A_2 Branchiostegites สามารถยืดหยุ่นและพับงอได้จากแรงดันเพียงเล็กน้อย จุดกำเนิดของหนามหดกลับเข้าไปด้านใน

- ระยะ B ใช้ระยะเวลาประมาณ 16.5 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะ B_1 Branchiostegites เริ่มแข็งตัว เปลือกมีลักษณะคล้ายกระดาษเหนียว ๆ ไม่ปรากฏโคนของหนาม

ระยะ B_2 ฐานของโคนหนามบางส่วนเริ่มพัฒนา

- ระยะ C ใช้ระยะเวลาประมาณ 21.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ เปลือกแข็งสมบูรณ์ ฐานของโคนหนามพัฒนาสมบูรณ์

- ระยะ D ใช้ระยะเวลาประมาณ 60.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ แบ่งออกเป็น 4 ระยะ

ระยะ D_0 เป็นระยะที่มีการทำงานของฮอร์โมน มีการแยกตัวของชั้นเปลือกเก่าและชั้นเปลือกใหม่

ระยะ D_1 ใช้ระยะเวลาประมาณ 21.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ หนามใหม่เริ่มปรากฏ มีการหดตัวของเส้นประสาทในช่องว่างของหนามเก่า

ระยะ D_1" ใช้ระยะเวลาประมาณ 14.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ เริ่มมีการหลั่งสารของหนามใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะ D_1" ใช้ระยะเวลาประมาณ 6.5 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ ปรากฏให้เห็นลักษณะของหนามใหม่มากขึ้น

ระยะ D_2 มีการพัฒนาของชั้นเปลือกใหม่ชัดเจน

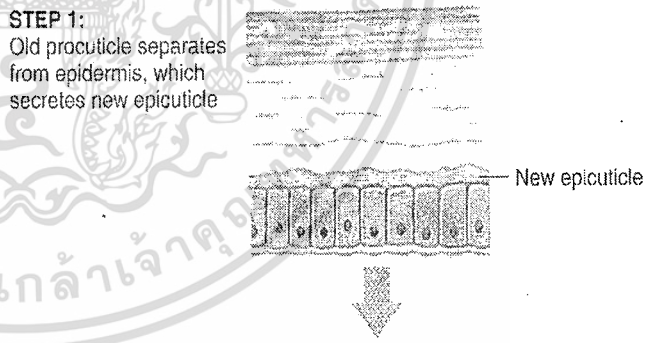
ระยะ D_3 ใช้ระยะเวลาประมาณ 17.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ มีการดึงสารกลับจากเปลือกเก่า

ระยะ D_4 ใช้ระยะเวลาประมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ ชั้นเปลือกเก่าเกิดการแยกตัว เพื่อรองรับการลอกคราบ

- ระยะ E เป็นระยะที่มีการสลัดเปลือกเก่า ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ของวงจรการลอกคราบ

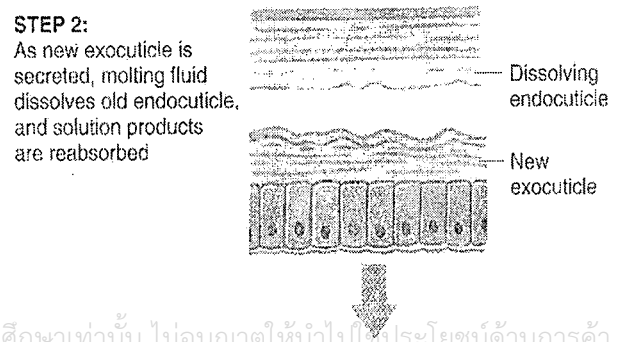
2.4.3. วงจรและขั้นตอนการลอกคราบของครัสเตเชียน เป็นการแบ่งตามวิธีของ Carlisle and Dohrn (1952) ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

- ระยะก่อนการลอกคราบ (proecdysis หรือ premolt stage) ระยะนี้ตรงกับระยะ D ของ Drach (1939) เป็นระยะที่สัตว์มีการเตรียมพร้อมเพื่อการลอกคราบ การเปลี่ยนแปลงเริ่มต้นเกิดขึ้นที่เซลล์ epidermal (epidermal cells) และ hepatopancreas โดยเซลล์ epidermal จะแยกออกจาก cuticle ช่วงนี้เรียกว่า apolysis ระหว่างที่มีการแยกออกนี้ เซลล์ epidermal จะมีการสร้างเปลือกใหม่ขึ้น และแคลเซียมจากเปลือกเก่าจะถูกดึงมาเก็บไว้ในเลือด ทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือด (blood-calcium concentration) สูงขึ้น มีผลทำให้สัตว์เริ่มหยุดกินอาหาร และมีการเคลื่อนไหวช้าลง (inactive) อาหารที่ถูกสะสมไว้ใน hepatopancreas จะถูกนำมาใช้ ระยะนี้จะสิ้นสุดเมื่อเริ่มเกิดรอยแยก (split) ของ cuticle เก่า (ภาพที่ 2-7, 2-8)



ภาพที่ 2-7 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกในระยะก่อนการลอกคราบ

- ระยะสลัดคราบหรือระยะลอกคราบ (ecdysis stage หรือ molting stage หรือ exuviations stage) ระยะนี้ตรงกับระยะ E ของ Drach (1939) เป็นระยะที่สั้นที่สุดของวงจรการลอกคราบ เป็นช่วงที่สัตว์มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้ง ระยะนี้สัตว์มีอัตราการ metabolism ต่ำมาก ไม่กินอาหาร สัตว์มีการนำน้ำเข้าตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ลำตัวขยายขนาดใหญ่ และสามารถดันเปลือกเก่าออกได้ง่าย โดยทั่วไปในระยะนี้ขนาดของลำตัวสัตว์จะ

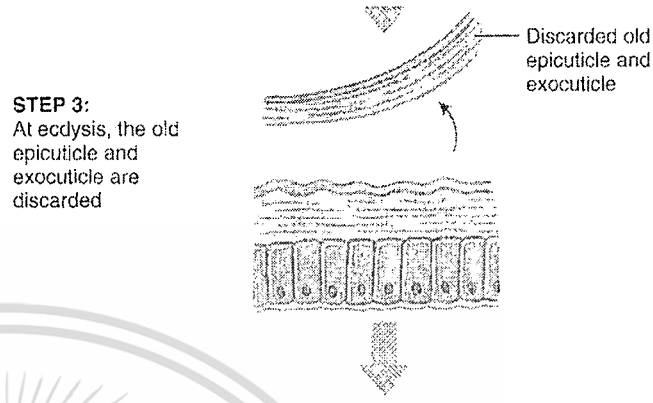


ภาพที่ 2-8 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกในระยะปลายก่อนการลอกคราบการลอกคราบและระยะต้นของการสลัดคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

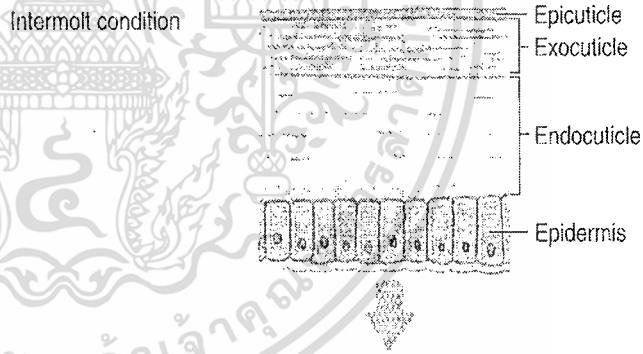
ใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 2-8, 2-9)

- ระยะหลังการลอกคราบ (metaecdysis stage หรือ postecdysis stage หรือ postmolt stage) ระยะนี้ตรงกับระยะ A-B และ C1-C3 ของ Drach (1939) เริ่มขึ้นหลังจากที่สัตว์มีการสลัดคราบทิ้งหรือเพิ่งผ่านการลอกคราบใหม่ ๆ ในระยะแรกเปลือกยังคงอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นได้ และยังคงมีการนำน้ำเข้าตัว ช่วงนี้สัตว์ยังคงไม่กินอาหาร แต่จะอาศัยอาหารที่สะสมใน hepatopancreas หลังจากเวลาผ่านไปครึ่งหนึ่ง สัตว์จะเริ่มกินอาหาร และการสร้างเปลือกจะเริ่มสมบูรณ์ขึ้น โดยเปลือกที่อ่อนนุ่มจะแข็งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีการดึงแคลเซียมจากเลือดเข้ามาสะสมในเปลือก น้ำในลำตัวจะถูกแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อ ดังนั้นจึงมีอัตราการสังเคราะห์โปรตีนสูง (high protein turnover rate) และสัตว์มีการนำน้ำบางส่วนออกจากลำตัว



ภาพที่ 2-9 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกในระยะลอกคราบหรือระยะสลัดคราบ

- ระยะระหว่างการลอกคราบ (anecdysis stage หรือ intermolt stage) ระยะนี้ตรงกับระยะ C4 ของ Drach (1936) เป็นระยะที่สัตว์มีการดำรงชีวิตตามปกติ การสร้างเปลือกและเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะเกิดขึ้นสมบูรณ์ มีการกินอาหารและสะสมอาหารส่วนเกินไว้ใน hepatopancreas เพื่อรอการลอกคราบครั้งต่อไป ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมในเลือดจะต่ำ เนื่องจากแคลเซียมส่วนใหญ่ถูกสะสมไว้ที่เปลือก (ภาพที่ 2-10) ส่วนใหญ่สัตว์จะอยู่ในระยะนี้นานที่สุด ช่วงระยะเวลาของระยะนี้ในสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งทำให้สามารถจำแนกระยะนี้ออกเป็น 2 แบบ คือ



ภาพที่ 2-10 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกในระยะระหว่างการลอกคราบ

1) Anecdysis เป็นระยะระหว่างการลอกคราบที่เกิดขึ้นยาวนาน ส่วนใหญ่พบในสัตว์ที่มีการลอกคราบตามฤดูกาล เช่น กุ้งมังกรและปูก้ามดาบ เป็นต้น

2) Diecdysis เป็นระยะระหว่างการลอกคราบที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่สั้น ๆ ส่วนใหญ่พบในสัตว์ที่มีการลอกคราบตลอดทั้งปี เช่น แมลงสาบทะเล เป็นต้น

ในปูบางชนิดเช่น *Pachygrapsus* sp. และ *Carcinus* sp. พบว่ามีระยะระหว่างการลอกคราบทั้ง 2 แบบ คือ ในช่วงฤดูร้อนเป็นแบบ anecdysis และในช่วงฤดูหนาวเป็นแบบ diecdysis และยังพบว่าปูพวกนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการหยุดการลอกคราบและการเจริญเติบโตเมื่อมีขนาดใหญ่ถึงระดับหนึ่ง หรือบางครั้งขึ้นกับจำนวนครั้งที่ลอกคราบ อย่างไรก็ตามพบว่า decapods บางชนิด เช่น *Cancer* sp. และ *Homarus* sp. มีการลอกคราบและการเจริญเติบโตที่ไม่สิ้นสุด

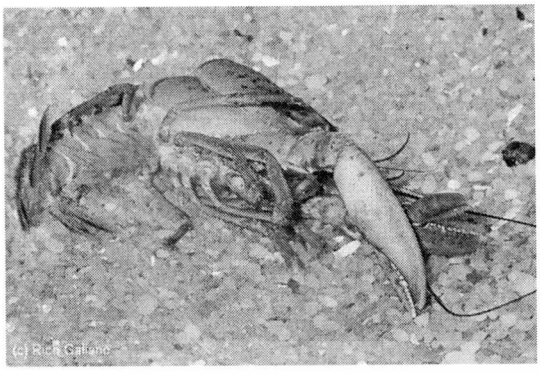
2.6. ขั้นตอนการสลัดเปลือกเก่า

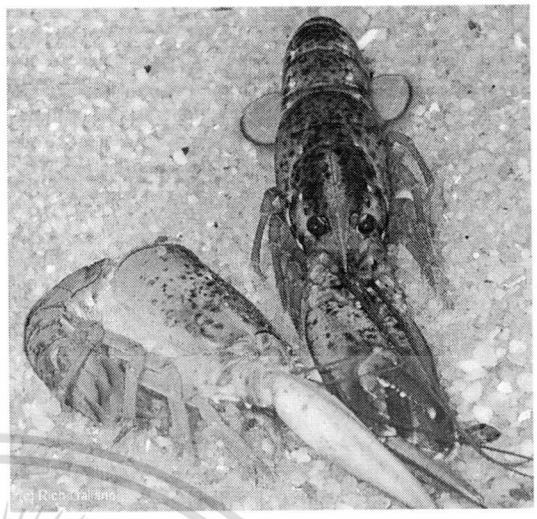
ระยะที่เราสามารถสังเกตเห็นการลอกคราบได้ชัดเจนที่สุดเป็นระยะที่มีการสลัดเปลือกเก่าออกหรือระยะลอกคราบ (molting or ecdysis) ซึ่งนับเป็นช่วงสุดท้ายของวงจรการลอกคราบ ส่วนในช่วงก่อนหน้านี้ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนนักหรือไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ในระยะนี้น้ำจะเข้าตัวอย่างรวดเร็วตามรอยแตกของเปลือกทุกที่ การสลัดเปลือกจะเริ่มโดยการที่สัตว์จะหาที่ที่ปลอดภัยที่สุดหรืออาจจะขุดรู สัตว์จะหยุดการเคลื่อนไหว สำหรับสัตว์ที่อยู่ในวัยเจริญพันธุ์จะมีการจับคู่ในระยะหลังการลอกคราบ (A1 และ A2) ตัวเมียที่มีเปลือกนิ่มจะได้รับความคุ้มครองจากตัวผู้ซึ่งมีเปลือกแข็ง ถึงแม้ว่าช่วงที่มีการสลัดคราบจะเป็นช่วงที่สั้นมากแต่สัตว์ต้องมั่นใจว่าจะปลอดภัย เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่วิกฤติที่สุด สัตว์จะอ่อนแอไม่สามารถป้องกันตัวจากศัตรูได้ ทั้งยังไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อหลบหลีกจากศัตรูได้ พบว่าหากมีปัจจัยใด ๆ ก็ตามที่มาทำให้สัตว์ตกใจ จะชะงักการสลัดเปลือกเก่าและอาจทำให้ลอกคราบไม่ออก ทำให้มีการสลัดรยางค์บางส่วนส่งผลให้สัตว์พิการ หรืออาจถึงตายได้

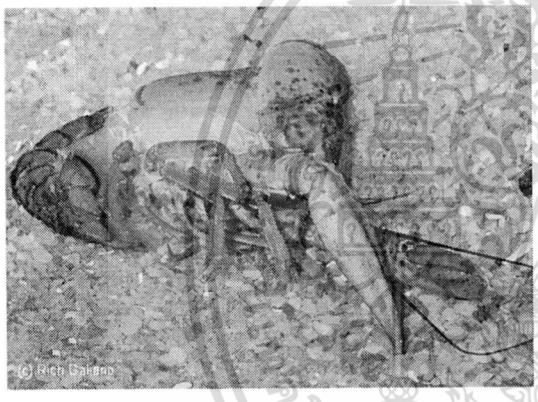
การสลัดเปลือกจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระยะก่อนการลอกคราบ (D4) แต่จะสังเกตได้ชัดในระยะลอกคราบ (E) โดยจะมีการปรับแรงดัน osmosis ในเลือด เนื่องจากโปรตีนในเลือดและไขมันในเลือดเพิ่มขึ้นก่อนการลอกคราบทำให้แรงดันเลือดเพิ่มขึ้น จึงต้องมีการดึงน้ำเข้าผ่านทางทางเดินอาหารเข้าไปในเลือด (haemolymp) ตัวสัตว์จะบวมเป่ง ทำให้รอยแยกห่างออกมากขึ้น สัตว์จะดันตัวออกตามรอยแยกของเปลือกเก่า (ecdysis line) สำหรับในกุ้งจะอาศัยการดีดตัวจึงใช้เวลาเพียง 2-3 วินาที แต่ในปูจะค่อย ๆ ดันตัวออกมาจึงใช้เวลานานกว่า ถ้าหากระยะเวลาในการดันตัวออกจากเปลือกเก่านานกว่าปกติสัตว์มักจะตาย ระยะนี้สัตว์ไม่แข็งแรงแต่มีการใช้พลังงานมากทั้งที่การหายใจทำได้น้อย อย่างไรก็ตามการบริโภคออกซิเจน (oxygen consumption) จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ก่อนการสลัดเปลือก นอกจากนี้ยังพบว่าสัตว์จะมีสีสันสดใสเนื่องจากมีเม็ดสีมาก เมื่อการสลัดเปลือกเสร็จสิ้นสัตว์จะไม่เคลื่อนไหวแต่จะมีการโบกพัดน้ำผ่านเหงือกในอัตราสูงที่สุด

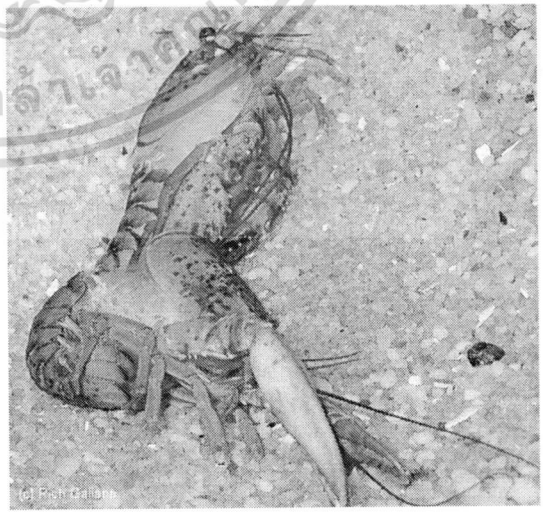
รอยแยกของเปลือก (ecdysis line) จะมีตำแหน่งที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดของสัตว์ (รายละเอียดในการเปลี่ยนแปลงของโครงร่างภายนอก) การเปลี่ยนแปลงในช่วงที่มีการสลัดเปลือกเก่า ได้แสดงเป็นตัวอย่างใน ภาพที่ 2-11, 2-12, 2-13 และ 2-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





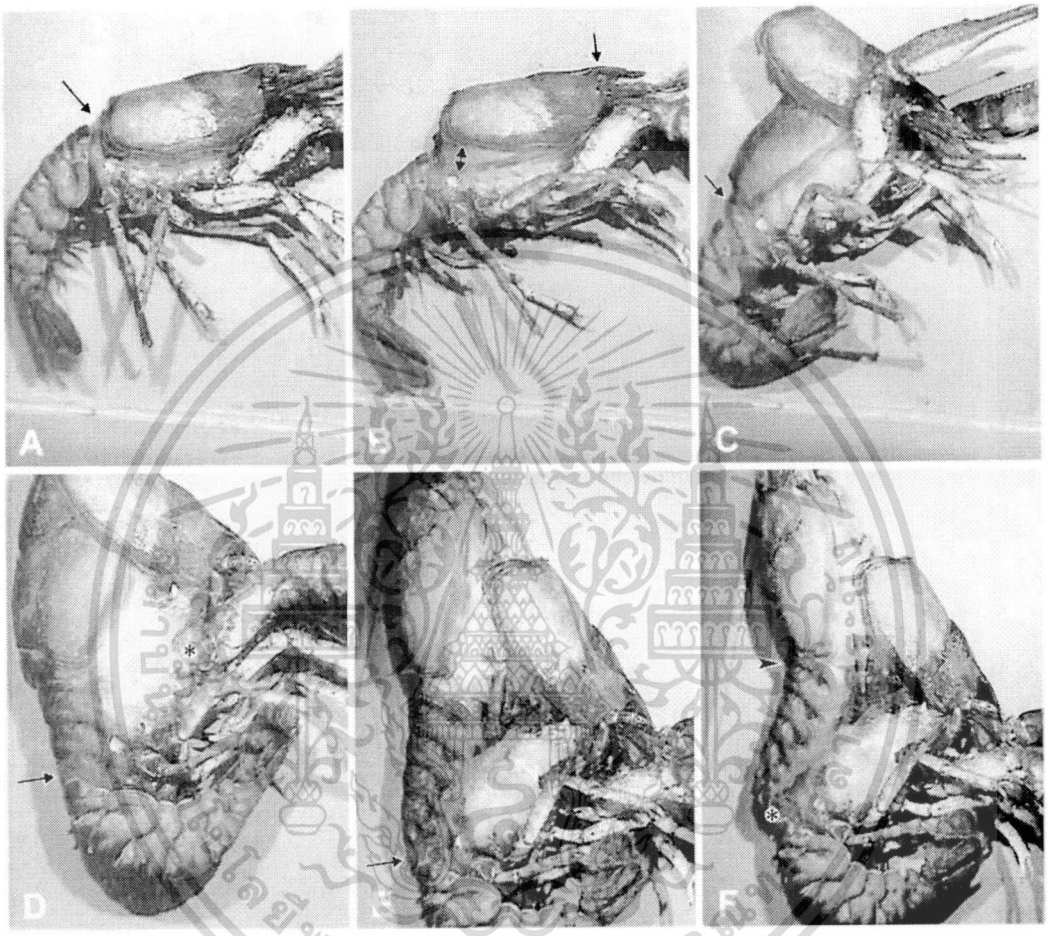




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2-11 ขั้นตอนการถอดเปลือกเก่าของกุ้งมังกร

ที่มา : http://www.enchantedlearning.com/



ภาพที่ 2-12 ขั้นตอนการถอดเปลือกเก่าของ American crayfish (*Orconectes limosus*)

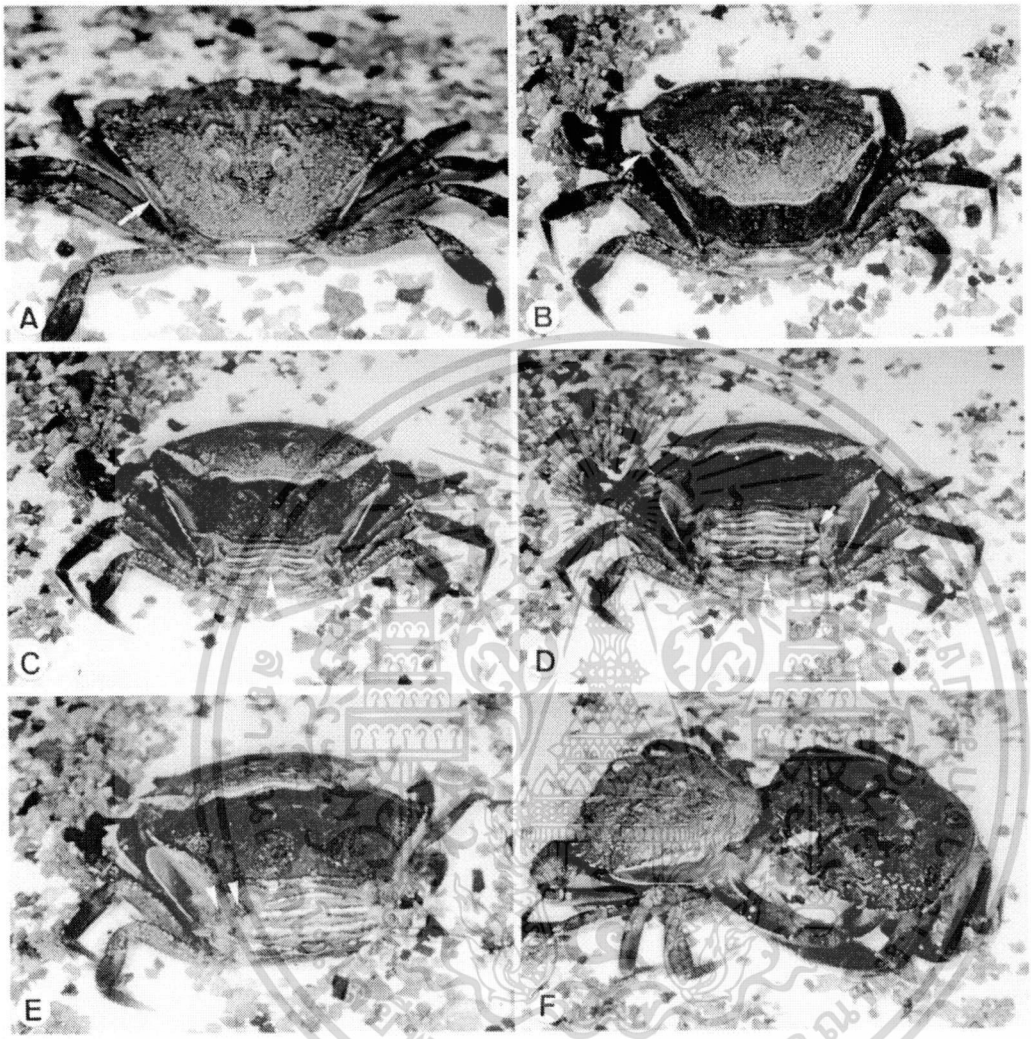
ที่มา : Phlippen *et al.* (2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2-13 ขั้นตอนการถอดเปลือกเก่าของ blue brab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : http://www.serc.si.edu/



ภาพที่ 2-14 ขั้นตอนการถอดเปลือกเก่าของ green shore crab (*Carcinus maenas*)

ที่มา : Phlippen *et al.* (2000

2.6. ความถี่และระยะเวลาการลอกคราบ

การลอกคราบของสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเตเชียน จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งในระยะแรกของการเจริญเติบโตหรือระยะวัยอ่อน และความถี่จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อมีอายุมากขึ้น หรือมีขนาดใหญ่มากจนถึงระดับหนึ่ง พบว่าในกุ้งบางชนิดจะมีการลอกคราบครั้งสุดท้าย (terminal ecdysis) ก่อนที่จะตาย ในปูบางชนิดการลอกคราบและการเจริญเติบโตจะหยุดชะงักเมื่อถึงระยะสมบูรณ์เพศหรือมีขนาดแน่นอนขนาดใดขนาดหนึ่ง หรือหยุดการลอกคราบเมื่อผ่านการลอกคราบในระยะตัวอ่อนครบจำนวนครั้ง สามารถสรุปปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดช่วงระยะห่างในการลอกคราบแต่ละครั้งได้เป็น 3 ปัจจัย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่วงอายุของสัตว์ พบว่าสัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีอัตราการเจริญเติบโตรวดเร็ว จะมีการลอกคราบบ่อยครั้ง ระยะเวลาในการลอกคราบแต่ละครั้งแตกต่างกันในแต่ละชนิด เช่น กุ้งมังกรที่มีความยาวเปลือกคลุมหัว (carapace length; CL) 20 มิลลิเมตร จะใช้ระยะเวลาในการลอกคราบแต่ละครั้งประมาณ 40 วัน กุ้งมังกรที่มีความยาวเปลือกคลุมหัว 80 มิลลิเมตร ใช้เวลา 80-85 วัน กุ้งมังกรขนาดกลางปกติจะใช้ระยะเวลาประมาณ 20-30 วัน ในการลอกคราบแต่ละครั้ง ในกุ้งเศรษฐกิจกลุ่ม Penaeid จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระยะวัยอ่อนแบบสมบูรณ์ (complete metamorphosis) และมีระยะเวลาในการลอกคราบแตกต่างกัน โดยระยะนอเพลียส 1-6 (nauplius 1-6) จะมีการลอกคราบทั้งสิ้น 6 ครั้ง เฉลี่ยครั้งละ 8-12 ชั่วโมง ระยะซูเอีย 1-3 (zoea 1-3) มีการลอกคราบ 3 ครั้ง เฉลี่ยครั้งละ 24-32 ชั่วโมง ระยะไมซิส 1-3 (mysis 1-3) มีการลอกคราบ 3 ครั้ง เฉลี่ยครั้งละประมาณ 24-32 ชั่วโมง ระยะโพสลาวา (postlarva) อาจใช้เวลาในการลอกคราบต่อครั้งประมาณ 1-2 วัน ในกุ้งก้ามกรามตัวเต็มวัยใช้เวลาในการลอกคราบแต่ละครั้งประมาณ 10-20 วัน สำหรับในปูพบว่า ปูที่มีอายุระหว่าง 34-38 วัน ขนาดความกว้างกระดองประมาณ 4.8-7.5 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 4 วัน ปูที่มีอายุระหว่าง 52-60 วัน ขนาดความกว้างกระดองประมาณ 11.3-14.3 เซนติเมตร จะลอกคราบทุก ๆ 8 วัน การเพิ่มขนาดหลังลอกคราบแต่ละครั้งจะแตกต่างกัน เช่น ปูที่มีอายุ 30 วัน มีความกว้างของกระดองประมาณ 3.3-3.6 เซนติเมตร เมื่อลอกคราบแล้วปูจะมีขนาดใหญ่กว่าเดิมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปูที่มีอายุ 60 วัน ขนาดประมาณ 14.9-13.9 เซนติเมตร หลังลอกคราบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ 27.2 เปอร์เซ็นต์

- อุณหภูมิน้ำ ถ้าหากน้ำมีอุณหภูมิต่ำ การลอกคราบจะช้าลงหรือหยุดการลอกคราบ เช่น ปูแสมที่อาศัยอยู่ตามโขดหินจะไม่ลอกคราบเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 8.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่กุ้งมังกรจะไม่ลอกคราบเมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 7.0 องศาเซลเซียส

- ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร สัตว์ที่อดอาหารหรือมีอาหารน้อย การลอกคราบจะช้าลง แต่พบว่าในบางชนิด เช่น *Crangon* และ *Palaemon* จะลอกคราบได้เร็วขึ้นเมื่ออดอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยที่ 3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการลอกคราบ

3.1. วัตถุประสงค์

- เพื่อทราบการสำรองสารอาหารทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในช่วงก่อนการลอกคราบ
- เพื่อทราบบทบาทของ molting fluid และสามารถอธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงร่างแข็งภายนอกในช่วงก่อนและระหว่างการลอกคราบ
- เพื่อทราบและเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารต่าง ๆ ในวงจรการลอกคราบ

3.2. ข้อสอบก่อนบทเรียน

3.2.1. การสะสมสารอาหารเพื่อการลอกคราบจะเริ่มขึ้นในระยะใดของวงจรการลอกคราบ?

ก. ระยะระหว่างการลอกคราบ
ข. ระยะก่อนการลอกคราบ
ค. ระยะลอกคราบ
ง. ระยะหลังการลอกคราบ

3.2.2. สัตว์มีการสำรองสารอาหารสำหรับการลอกคราบไว้ในอวัยวะใดมากที่สุด?

ก. Liver
ข. Hepatopancreas
ค. Stomach
ง. Kidney

3.2.3. ข้อใดไม่ใช่สารอินทรีย์หลักที่มีการสำรองไว้สำหรับการลอกคราบ?

ก. Protein
ข. Lipid
ค. Carbohydrate
ง. Vitamins

3.2.4. คาร์โบไฮเดรตที่มีการสำรองไว้จะมีประโยชน์ต่อการสร้างเปลือกใหม่อย่างไร?

ก. สำหรับสร้างเม็ดสีในชั้น exocuticle
ข. สำหรับการดึงแคลเซียมออกจากเปลือกเก่า
ค. สำหรับสร้างไคตินที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกชั้น procuticle
ง. สำหรับสร้าง molting fluid เพื่อแยกชั้นเปลือกเก่าออกจากชั้นเปลือกใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5. สารอนินทรีย์ในข้อใด ถูกสำรองไว้สำหรับเสริมการสังเคราะห์ไคติน?

ก. แคลเซียม

ข. ฟอสเฟต

ค. แมกนีเซียม

ง. โปแตสเซียม

3.2.6. ข้อใดไม่ใช่หน้าที่ของ molting fluid?

ก. ช่วยในการแยกตัวของชั้นเปลือกเก่าและชั้นเปลือกใหม่

ข. ช่วยดึงสารจากเปลือกเก่ากลับมาใช้ในการสร้างเปลือกใหม่

ค. ช่วยให้เปลือกเก่าบางและแตก

ง. ช่วยหลั่งสารสำหรับสร้างเปลือกใหม่

3.2.7. น้ำจะซึมเข้าตัวสัตว์มากที่สุดในระยะใด?

ก. ระยะระหว่างการลอกคราบ

ข. ระยะก่อนการลอกคราบ

ค. ระยะลอกคราบ

ง. ระยะหลังการลอกคราบ

3.2.8. การแข็งตัวของเปลือกหลังการสลัดเปลือกเกิดขึ้นเนื่องจากสารกลุ่มใด?

ก. Chitin

ข. Glucosamine

ค. Orthoquinone

ง. Arthropidin

3.2.9. ปริมาณสารต่าง ๆ ในเลือดจะสูงที่สุดในระยะใดและต่ำที่สุดในระยะใด?

ก. ระยะระหว่างการลอกคราบ, ระยะก่อนการลอกคราบ

ข. ระยะก่อนการลอกคราบ, ระยะหลังการลอกคราบ

ค. ระยะลอกคราบ, ระยะหลังการลอกคราบ

ง. ระยะหลังการลอกคราบ, ระยะก่อนการลอกคราบ

3.2.10. เพราะเหตุใดสัตว์จึงมีน้ำหนักตัวมากในระยะลอกคราบ?

ก. น้ำซึมเข้าตัวมาก

ข. เนื้อเยื่อมีการขยายตัว

ค. สัตว์เจริญเติบโตขึ้น

ง. มีการสำรองสารอาหารไว้ในปริมาณมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. การสำรองสารอาหาร

สัตว์จะมีการสำรองสารอาหารและสะสมพลังงานไว้ในระหว่างการลอกคราบ โดยการสำรองสารอาหารจะอยู่ในรูปของไกลโคเจนและไขมัน อวัยวะหลักสำหรับสำรองอาหารคือ hepatopancreas และส่วนอื่น ๆ เช่น เลือด และลำไส้ส่วนกลาง เป็นต้น การสำรองอาหารเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับใช้ในการเปลี่ยนโครงร่างและรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาไปเป็นตัวใหม่หลังการสลัดคราบ สามารถแบ่งการสำรองสารอาหารออกเป็น 2 ส่วน คือ การสำรองสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนี้

3.3.1. การสำรองสารอินทรีย์ (organic reserves) การสำรองสารอินทรีย์ต่าง ๆ เริ่มขึ้นในระยะ C โดยเฉพาะ C4 และมีการสะสมต่อเนื่องในระยะ D0 และ D1 จนถึงระยะก่อนการลอกคราบ สัตว์จะหยุดกินอาหารในระยะ D2 จนเข้าระยะ C1 อาหารที่เก็บสำรองไว้จะถูกนำมาใช้เพื่อการดำรงชีวิตและการสร้างเปลือกใหม่ กลุ่มของสารอินทรีย์หลักที่ถูกเก็บสำรองไว้ ได้แก่ ไลปิด คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ดังนี้

- *ไลปิด (lipids)* การเก็บสำรองไลปิดในระยะ C4 เกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของกรดไขมัน (fatty acid) และกลีเซอรอล (glycerol) โดยจะพบกรดไขมันในปริมาณมากขึ้นเป็น 3 เท่าของระยะที่มีการดำรงชีวิตตามปกติ (C1 ถึง D1) ไขมันที่เก็บสะสมจะมีลักษณะเป็นเม็ด ในระยะ C4 จะเรียกว่า storage cell ส่วนระยะ D1 และ D2 จะเรียกว่า secretory cell ไลปิดที่เก็บสะสมไว้นี้สามารถเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจนและกลูโคส เพื่อใช้สำหรับการสร้างไคติน เมื่อเข้าสู่ระยะ D3 ไลปิดจะถูกนำไปใช้ในอัตราสูงและหมดในระยะ C

สำหรับคลอเรสเตอรอล (cholesterol) พบว่าในระยะการลอกคราบจะมีปริมาณ 0.036-0.750 กรัมต่อน้ำหนักสดของเนื้อเยื่อ 100 กรัม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงใด ๆ จะไม่เกิดขึ้นใน hepatopancreas จนกว่าระดับการสะสมคลอเรสเตอรอลจะเพิ่มขึ้นถึงระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ (lipocytic coefficient)

- *คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate)* ประกอบด้วยไกลโคเจนที่ได้จากการสำรองไลปิด คาร์โบไฮเดรตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นใน hepatopancreas อย่างรวดเร็วมากกว่าการนำไปใช้ที่ผิวหนัง คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ โดยไกลโคเจนจะเปลี่ยนกลับมาเป็นกลูโคสสำหรับสร้างไคติน โดยกลูโคสเปลี่ยนมาเป็น glucosarmine และ acetyl glucosamine และเป็นไคตินในที่สุด นอกจากนี้ไกลโคเจนยังเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย

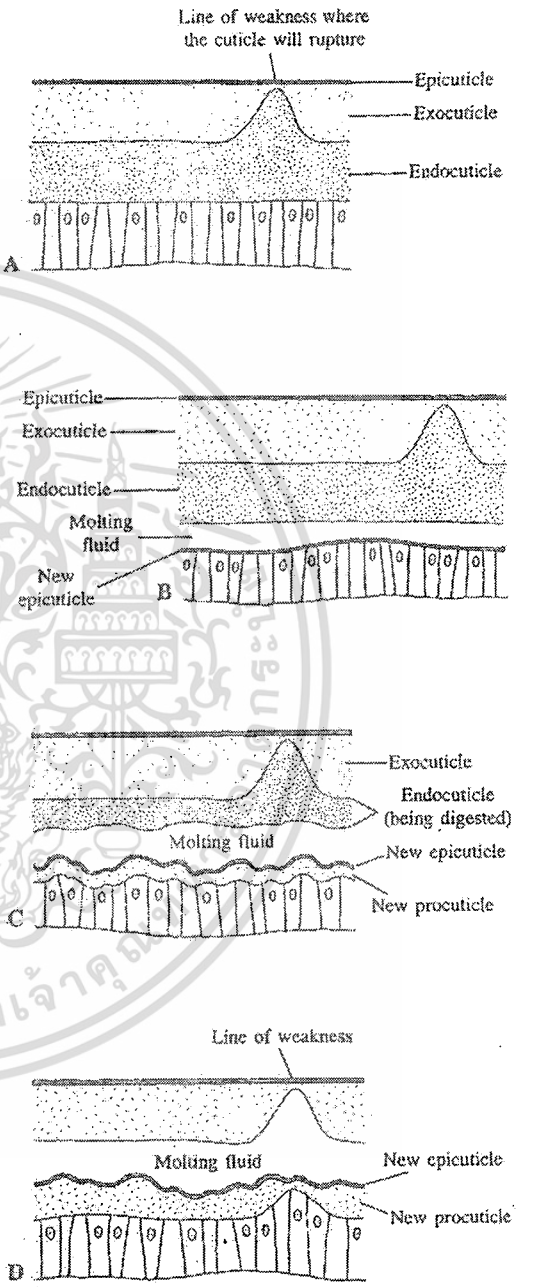
- *โปรตีน (proteins)* การสะสมโปรตีนจะเกิดขึ้นใน hepatopancreas เช่นกัน โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่จำเป็น มีการสะสมมากในระยะระหว่างการลอกคราบ ทั้งนี้เพื่อการเจริญเติบโตของระยะหลังการลอกคราบ ไนโตรเจนที่ละลายได้เป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาผลาญโปรตีน และการแตกตัวของเบส purine ซึ่งเกิดควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงโปรตีนในระยะ D2 ถึง D4 และปริมาณโปรตีนทั้งหมดจะสูงในช่วงระหว่างการลอกคราบ แต่การสะสมโปรตีนใน hepatopancreas จะสูงที่สุดในระยะ D1

3.3.2. การสำรองสารอนินทรีย์ (inorganic reserves) ในการสำรองสารอนินทรีย์นั้น hepatopancreas จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการเมตาบอลิซึมของแร่ธาตุ 2 ประการ คือ การสำรองโดยการสะสมในทางเดินอาหารในระยะ C4 และเป็นตัวนำสารอนินทรีย์กลับจากเปลือกเก่าในระยะ D ซึ่งสารอนินทรีย์ที่มีการสำรองไว้ใน hepatopancreas ที่สำคัญ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสเฟต ที่มักอยู่ในรูปของเกลือ และสภาพไอออนบวก สำหรับฟอสเฟตนั้นมีความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเสริมการสังเคราะห์ไคติน พบว่าในระยะระหว่างการลอกคราบ (C3 จนถึง D1) จะมีปริมาณสารอนินทรีย์ใน hepatopancreas สูงเป็น 2 เท่า ของช่วงปกติ

ในระยะระหว่างการลอกคราบพวก decapods จะมีการดึงสารอนินทรีย์คืนจากเปลือกเก่าในปริมาณที่ไม่แน่นอน แต่ปริมาณของแคลเซียมและฟอสเฟตใน hepatopancreas จะเริ่มคงที่ในระยะ D นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแคลเซียมอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างในบางชนิดเนื่องจากอาจมีการซึมออกของแคลเซียม แต่ปริมาณของฟอสเฟตจะต้องคงที่ตลอดเวลา ในช่วงปลายของระยะก่อนการลอกคราบ decapods ที่อาศัยในทะเล ไม่จำเป็นต้องมีการสำรองแคลเซียมไว้มาก เนื่องจากฟอสฟอรัสและแคลเซียมในน้ำทะเลมีปริมาณมาก การแข็งตัวของเปลือกจึงไม่จำเป็นต้องได้รับสารทั้งสองชนิดจากภายใน สามารถดึงจากน้ำทะเลมาใช้ได้โดยตรง สำหรับสารอนินทรีย์อื่น ๆ เช่น ทองแดงจะมีการสะสมรวมอยู่กับโปรตีนในเลือด เม็ดเลือด และยังมีการสะสมกำมะถันบ้างเล็กน้อย



ภาพที่ 3-1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกในระยะก่อนการลอกคราบ

3.4. การเปลี่ยนแปลงของโครงร่างแข็งภายนอก

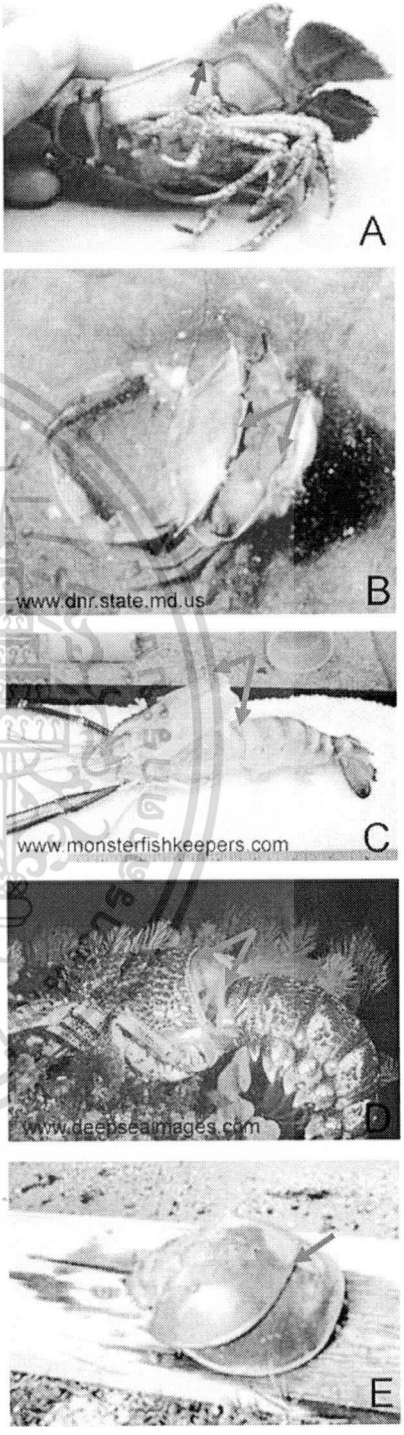
ในช่วงระยะระหว่างการลอกคราบนั้นเป็นระยะมีการใช้ชีวิตตามปกติของสัตว์ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของเปลือกหรือโครงร่างแข็งภายนอก แต่เมื่อเข้าสู่ระยะก่อนการลอกคราบ พบว่า epidermal cell จะมีการสร้าง epicuticle ใหม่ และปล่อยของเหลว ที่เรียกว่า molting fluid ออกมาระหว่างชั้น epicuticle ใหม่ กับ cuticle เก่า ของเหลวนี้มีสาร chitinase และ protease ซึ่งจะช่วยแยกชั้น cuticle ใหม่และเก่าออกจากกัน และยังช่วยย่อย cuticle เก่า เพื่อดึงสารบางอย่างโดยเฉพาะแคลเซียมมาใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ จึงทำให้เปลือกเก่าบางลง จนกระทั่งเกิดรอยแตก (ภาพที่ 3-1) และมีการซึมเข้าของน้ำตรงบริเวณดังกล่าว

ในช่วงที่มีการดึงสารกลับจากเปลือกเก่านั้น พบว่าชั้นเม็ดสี (pigmented layer) จะมีการหลั่งและดูดกลับเกลือแร่และสารอินทรีย์จากเปลือกเก่า โดยในกุ้งมังกรสกุล *Panulirus* จะมีการดึงกลับสารอินทรีย์ 23 เปอร์เซ็นต์ ปู *Carcinus* 79 เปอร์เซ็นต์ และกุ้ง *P. duorarum* 70 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่มีการสลัดเปลือกเก่าทิ้งไป จะมีการดึงน้ำเข้าตัวอย่างรวดเร็ว โดยตำแหน่งที่มีการดึงน้ำเข้าคือรอยแตกของเปลือก ซึ่งเกิดเนื่องจากการที่ molting fluid ดึงสารจากเปลือกเก่าจนมีลักษณะบางและเกิดรอยแตกขึ้นตรงตำแหน่งของข้อต่อระหว่างปล้อง และยังอาจเกิดการแยกออกตามแนวยาวของปลายยางค์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดในระยะ D ซึ่งเป็นระยะก่อนการลอกคราบ ซึ่งพบว่าในระยะ D-3 และ D-4 จะเกิดรอยแตกหรือรอยแยกของเปลือกเพื่อให้สัตว์ดันตัวออกมาได้ ที่เรียกว่า ecdysis line (ลูกศรสีน้ำเงิน) ตำแหน่งของรอยแตกดังกล่าวจะแตกต่างกันใน Arthropod แต่ละชนิด โดยในกั้งกระดาน (bay lobster) จะเกิดรอยตะเข็บเปลือก (เส้นแตก) เหนือช่องเหงือก (ภาพที่ 3-2 A) แต่ตำแหน่งที่กั้งดันตัวออกมาจากเปลือกจะคล้ายกับกุ้ง ปูจะเกิดรอยแตกบริเวณส่วนท้ายของกระดอง (ภาพที่ 3-2 B) กุ้ง กุ้งมังกร และ crayfish รอยแตกจะอยู่บริเวณขอบด้านท้ายของเปลือกคลุมหัว (carapace) หรือรอยต่อระหว่างเปลือกคลุมหัวกับปล้องที่ 1 ของส่วนท้อง (ภาพที่ 3-2 C, D) สำหรับแมงดาทะเลนั้นจะมีรอยแยกของเปลือกที่บริเวณขอบด้านล่างส่วนหน้าของ prosoma แมงดาทะเลจึงต้องดันตัวออกทางด้านหน้า (ภาพที่ 3-2 E)

เมื่อเปลือกเก่าหลุดออกไปแล้วเปลือกใหม่จะยังนุ่มอยู่ในระยะแรก และจะค่อย ๆ แข็งตัวขึ้น การแข็งตัวของเปลือกเกิดขึ้นเนื่องจากสารพวก orthoquinone ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของโปรตีน เริ่มจากสาร quinone จะเกิดจากการ oxidation ของ polyquinol โดยการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyquinol oxidase ในขณะที่สาร polyquinol เองได้มาจากการทำปฏิกิริยาของ thyrosine และเอนไซม์ thyrosinase ในระบบไหลเวียนเลือด และมีเอนไซม์บางชนิด เข้ามากระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา แล้วปล่อยเอนไซม์ออกมาในกระแสเลือด ทำให้เกิด hydroxyquinol ขึ้น สาร polyquinone จะแพร่ไปตามผิวเปลือกชั้น epicuticle และถูก oxidize ไปเป็น orthoquinone จึงทำให้เปลือกเกิดการแข็งตัวในเวลาต่อมา ในขณะเดียวกัน tegumental gland จะสร้างเอนไซม์ polyquinol oxidase ออกมาช่วยในการแข็งตัวด้วย



ภาพที่ 3-2 ตำแหน่งของรอยแตก (ecdysis line) ของเปลือกเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5. การเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ

3.5.1. น้ำตาล ไกโคลเจน และไคติน (sugar, glycogen and chitin) ในช่วงที่มีการลอกคราบปริมาณน้ำตาลในเลือดจะลดต่ำลงเนื่องจากน้ำตาลถูกดึงไปใช้ในการสร้าง glucosamine และไคตินสำหรับการสร้างเปลือกใหม่ พบว่าการฉีดสารที่สกัดจากก้านตา จะมีผลทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น และการเอาก้านตาออกจะเกิดผลในการตรงกันข้าม ซึ่งเกิดจากการที่บริเวณก้านตามี neurosecretory cell ที่ทำหน้าที่ผลิต hyperglycemic hormone ฮอร์โมนชนิดนี้จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ glycogen phosphorylase ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลาย glycogen จึงทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น ในขณะเดียวกันยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ glycogen synthase ซึ่งลดการเก็บสะสมไกลโคเจน นอกจากนี้หากสัตว์เกิดความเครียด (stress) ก็จะทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น

3.5.2. ไขมันและคาโรทีนอยด์ (lipoids and carotenoids) ก่อนการลอกคราบจะมีปริมาณกรดไขมันในเลือดสูง แต่จะค่อย ๆ ลดปริมาณลงหลังจากมีการลอกคราบ กรดไขมันมีความสำคัญต่อการยับยั้งการนำน้ำเข้าตัวในระหว่างการลอกคราบและต่อกระบวนการสร้างเปลือกใหม่ โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการลำเลียงแคลเซียม การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของไขมันในวงจรการลอกคราบของกุ้งคุรุม่า แสดงไว้ในตารางที่ 3-1 ส่วนคาโรทีนอยด์พบอยู่ในเลือดและ hepatopancreas โดยมีผลต่อสีของผิว (integument)

ตารางที่ 3-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของไขมันในเนื้อเยื่อกุ้งคุรุม่าในวงจรการลอกคราบ

ระยะ	ปริมาณความเข้มข้นของไขมัน (มิลลิกรัม/100 กรัม เนื้อเยื่อสด)				
	กล้ามเนื้อ	ก้านตา	ผิวหนัง	Hepatopancreas	อื่น ๆ
B	930	4,700	1,090	3,070	910
C1-C2	960	4,070	1,120	1,890	1,100
C3-C4	920	4,770	1,230	2,820	1,010
D0	1,020	4,580	1,370	3,760	1,330
D1	1,010	5,010	1,360	2,900	1,020
D2-D3	970	5,010	1,620	2,130	1,210

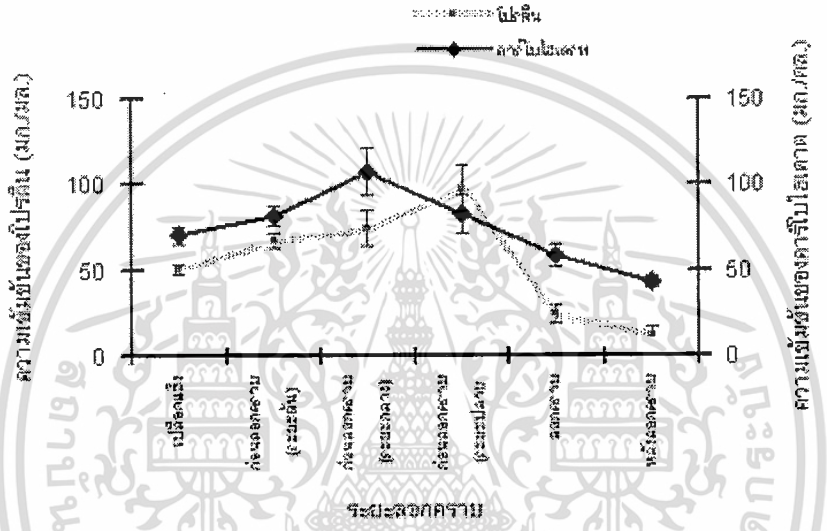
ที่มา : Ando *et al.* (1977)

3.5.3. โปรตีนและไนโตรเจน (proteins and nitrogen) ในช่วงต้นของระยะก่อนการลอกคราบมีอัตราการสังเคราะห์โปรตีนต่ำสุด และอัตราการสังเคราะห์จะสูงที่สุดในช่วงกลางของระยะก่อนการลอกคราบ ทั้งนี้เนื่องจากมีการสังเคราะห์เอนไซม์ สำหรับการย่อยสลายเปลือกเก่าและสร้างเปลือกใหม่ และในช่วงสุดท้ายของระยะก่อนการลอกคราบอัตราการสังเคราะห์จะค่อย ๆ ต่ำลง อีกครั้ง

ที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน พบว่าปริมาณโปรตีนในเลือดของปูทะเลในระยะคราบแข็งจะอยู่ในระดับ 50.05± 2.88 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณของโปรตีนจะเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 67.35 ±4.03, 74.25 ±10.60 และ 97.06±14.37 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้นปริมาณโปรตีนในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 24.32±5.38 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในระยะลอกคราบ และประมาณ 3.63±12.51 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในระยะหลังลอกคราบ (ภาพที่ 3-3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในเลือดมีลักษณะเช่นเดียวกับโปรตีน โดยปูทะเลที่อยู่ในระยะคราบแข็งจะมีความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรต 70.08±4.74 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร คาร์โบไฮเดรตในเลือดจะค่อยเพิ่มสูงขึ้นในระดับ 81.38±5.42, 107.33±13.66 และ 83.02±11.00 83.02 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ในช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงป ลายของระยะก่อนลอกคราบตามลำดับ หลังจากนั้น ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับ 58.70±6.60 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ในระยะลอกคราบ และประมาณ 42.92±3.58 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ในระยะหลังลอกคราบ (ภาพที่ 3-3)



ภาพที่ 3-3 ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดในช่วงการลอกคราบ ที่ระดับความเค็ม 20 ส่วนในพัน
ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

3.5.5. แคลเซียมและฟอสเฟต (calcium and phosphate) สัตว์มีการใช้แคลเซียมควบคู่กับฟอสฟอรัส ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยอัตราส่วนที่ใช้จะเป็น 1:1 ในสัตว์พวกครัสเตเชียนนั้นแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโครงร่างภายนอก โดยจะได้รับจากอาหารและน้ำ ก่อนการลอกคราบ แคลเซียมจะถูกดึงจากเปลือกเก่า ไปเก็บไว้ในเลือดและส่วนต่าง ๆ เช่น hepatopancreas, gastrolith และ sterna ของปล้องอก (sterna of thoracic) ในพวก isopods เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้เปลือกเก่าของกุ้งบางลง เปลือกใหม่จะถูกสร้างขึ้นด้านล่างของเปลือกเก่า หลังจากลอกคราบแล้วแคลเซียมจะถูกดึงกลับจากเลือดมายังเปลือกใหม่ทำให้เปลือกแข็งขึ้น ปริมาณฟอสเฟตมีส่วนผกผันโดยตรงกับปริมาณแคลเซียม เนื่องจากฟอสเฟตจับกับแคลเซียมในรูปของเกลือแคลเซียมฟอสเฟต ($CaPO_4$)

3.5.6. การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ กิจกรรมของเอนไซม์มีความสัมพันธ์กับระยะลอกคราบ โดย hepatopancrease และกระเพาะอาหารของกุ้ง เป็นบริเวณที่สังเคราะห์และเกิดการทำงานของเอนไซม์จำพวก amylase, lipase และ protease ประเภท trypsin, chymotrypsin, carboxypeptidase (A, B) และ leucine aminopeptidase โดยกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจะเปลี่ยนแปลงตามระยะของการลอกคราบ และการพัฒนาของสัตว์ชนิดนั้นๆ เช่นในกุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pleoticus muelleri และกุ้ง *Litopenaeus vannamei* มีกิจกรรมของเอนไซม์ protease ไม่แตกต่างกันในแต่ละระยะการลอกคราบ แต่ในกุ้ง *Penaeus notialis* กิจกรรมของเอนไซม์ protease จะมีค่าสูงสุดในระยะระหว่างการลอกคราบและช่วงท้ายของระยะก่อนการลอกคราบ การสลายสารต่าง ๆ ในร่างกาย ในขบวนการลอกคราบของกุ้งโดยทั่วไปมีการสะสมไขมันใน hepatopancrease ในกุ้งระยะระหว่างการลอกคราบ (C4) โดยไขมันเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของกรดไขมันและกลีเซอรอล ในช่วงท้ายของระยะก่อนการลอกคราบ (D3) ไขมันใน hepatopancrease ถูกนำไปใช้ในอัตราสูง การนำไขมันไปใช้หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกรดไขมันและกลีเซอรอลเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ lipase ในการย่อยไขมันจากอาหาร

3.6. การดูดซึมน้ำเข้าสู่ร่างกาย

การดูดซึมน้ำเข้าตัวจะเกิดขึ้นชัดเจนในระยะ D3 เนื่องจากมีรอยแยกของเปลือก (ecdysis line, molt line) จึงทำให้น้ำซึมเข้าร่างกายทางรอยแยกดังกล่าว ระยะที่มีปริมาณน้ำเข้าตัวมากที่สุดคือระยะ D4 และระยะ E ผลจากการซึมของน้ำเข้าตัวทำให้ครัสเตเชียนมีน้ำหนักมากขึ้น ทำให้ในระยะ A1 สัตว์ไม่สามารถเคลื่อนที่หรือยกตัวได้เนื่องจากมีน้ำหนักตัวมากประกอบกับเปลือกที่ยังนิ่ม การดูดซึมน้ำดังกล่าวจะเริ่มหยุดเมื่อเข้าสู่ระยะ A2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยที่ 4 ปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบ

4.1. วัตถุประสงค์

- เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อการลอกคราบได้
- เพื่อให้สามารถอธิบายผลของปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในต่าง ๆ ต่อการลอกคราบ
- เพื่อทราบและเข้าใจการปรับใช้ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการลอกคราบ เพื่อการประมงและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.2. ข้อสอบก่อนบทเรียน

4.2.1. ข้อใดเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการลอกคราบมากที่สุด?

ก. การมีปรสิตบางชนิดเกาะ
ข. ความเค็ม
ค. อุณหภูมิ
ง. ความชื้น

4.2.2. ข้อใดกล่าวผิด?

ก. ฤดูที่มีช่วงแสงในเวลากลางวันนานกว่าปกติจะทำให้การลอกคราบเกิดขึ้นได้บ่อยขึ้น
ข. ถ้าอุณหภูมิสูงการลอกคราบจะเกิดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ
ค. ระดับความต่ำกว่าปกติจะทำให้การลอกคราบของปูเกิดได้เร็วขึ้น
ง. ถ้าความชื้นสูงหรือต่ำกว่าปกติที่สัตว์จะหยุดการลอกคราบ

4.2.3. ปัจจัยภายนอกข้อใด มีอิทธิพลต่อกลไกควบคุมระบบเกลือแร่และน้ำในช่วงลอกคราบ?

ก. ความเป็นกรด-ด่าง
ข. ความเค็ม
ค. อุณหภูมิ
ง. ความชื้น

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงปัจจัยภายในข้อใดต่อไปนี้กล่าวผิด?

ก. การสูญเสียรยางค์มีผลยับยั้งการลอกคราบ
ข. การมีไข่ติดหน้าท้องมีผลยับยั้งการลอกคราบ
ค. การมีปรสิตบางชนิดเกาะมีผลยับยั้งการลอกคราบ
ง. การอดอาหารในสัตว์บางชนิดมีผลยับยั้งการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้องที่สุด?

ก. ตัวอ่อนหรือสัตว์ที่มีอายุน้อยจะลอกคราบบ่อยครั้งกว่าพวกที่โตเต็มวัย

ข. สัตว์ทุกชนิดที่ได้รับอาหารอย่างสมบูรณ์จะลอกคราบบ่อยครั้งกว่าพวกที่อดอาหาร

ค. การอยู่ร่วมกันกับสัตว์อื่นทำให้มีการลอกคราบได้บ่อยครั้งกว่าอยู่เดี่ยว ๆ

ง. การผลิตฮอร์โมนจาก X-organ ในปริมาณมากขึ้นทำให้เกิดการลอกคราบได้บ่อยครั้งขึ้น

4.2.6. สัตว์น้ำชนิดใดชอบลอกคราบในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ?

ก. ปูน้ำจืด

ข. ปูบก

ค. ปูน้ำตก

ง. ปูเสฉวน

4.2.7. ความเค็มมีผลต่อการลอกคราบของครัสเตเชียนที่อาศัยในบริเวณใดมากที่สุด?

ก. บริเวณน้ำจืด

ข. บริเวณน้ำกร่อย

ค. บริเวณทะเล

ง. บริเวณทะเลลึก

4.2.8. ปูชนิดใดที่นิยมนำมาทำปูนิ่ม?

ก. ปูทะเล

ข. ปูม้า

ค. ปูแสม

ง. ปูนา

4.2.9. การทำปูนิ่มในอดีตอาศัยหลักการใด?

ก. การได้รับอาหารอย่างเพียงพอทำให้สัตว์ลอกคราบ

ข. การสูญเสียอวัยวะทำให้สัตว์ลอกคราบ

ค. การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทำให้สัตว์ลอกคราบ

ง. การได้รับฮอร์โมนทำให้สัตว์ลอกคราบ

4.2.10. เพราะเหตุใดกุ้งที่เกิดจากแม่พันธุ์ที่ได้รับการกระตุ้นด้วยการตัดก้านตาจึงถูกกีดกันทางการค้า?

ก. อาจมีการติดเชื้อจากกระบวนการตัดก้านตา

ข. มีราคาสูงเนื่องจากกระบวนการที่เพิ่มขึ้น

ค. เป็นการทรมานสัตว์

ง. เป็นกุ้งคุณภาพไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ปัจจัยภายนอก

4.3.1. ความเข้มแสงและช่วงแสง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบโดยในฤดูที่มีช่วงแสงในเวลากลางวันนานกว่าปกติจะทำให้การลอกคราบเกิดขึ้นได้บ่อยขึ้น ครัสเตเชียนที่อยู่ในระยะก่อนการลอกคราบอาศัยอยู่ในที่มืดเมื่อได้รับแสงในทันทีติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณหนึ่งจะส่งผลให้กระบวนการลอกคราบหยุดชะงัก หรือหากอยู่ในที่มืดตลอดเวลาก็จะไม่ลอกคราบเช่นกัน ในขณะเดียวกันหากได้รับแสงที่ผิดปกติไปจากธรรมชาติก็จะมีผลยับยั้งการลอกคราบได้เช่นกัน ในสัตว์จำพวกกุ้งพบว่าการมีแสงน้อยหรือไม่มีแสงรวมถึงการมีแสงคงที่จะทำให้มีระยะ ระหว่างการลอกคราบยาวนานขึ้น แต่หากมีการตัดเอาก้านตาออกแสงก็จะไม่มีผลต่อการลอกคราบ ในขณะที่ปูที่ได้รับแสง 10 ลักซ์ เป็นเวลานานจะหยุดการลอกคราบนานเป็นเดือนแสง สว่างน่าจะเป็นปัจจัยเดียวที่มีอิทธิพลต่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในร่างกายและความเกี่ยวเนื่องของเวลากับจังหวะในการลอกคราบของกั้งกระดาน

4.3.2. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบและขบวนการควบคุมการลอกคราบของครัสเตเชียนทั้งทางตรงและทางอ้อม เนื่องจากอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเผาผลาญพลังงาน โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงการลอกคราบจะเกิดเร็วกว่าอุณหภูมิต่ำ สำหรับสัตว์ในเขตหนาวนั้นโดยปกติจะลอกคราบในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน หากลอกคราบในฤดูหนาวอาจตายได้ เนื่องจากอ่อนแอซึ่งเป็นผลจากการมีการเผาผลาญพลังงานต่ำ เช่น ปู *Xantho incisus* จะหยุดลอกคราบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 17-18 องศาเซลเซียส ปู *Pachygrapsus crassipes* จะหยุดลอกคราบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 14 องศาเซลเซียส ส่วนปู *Carcinus* sp. นั้น ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 34 องศาเซลเซียส จะหยุดลอกคราบและถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่อยู่อาศัย ก็จะไม่ลอกคราบเช่นเดียวกัน พวกปูเสฉวนมักชอบลอกคราบในอุณหภูมิต่ำ แต่พวกปูบกและปูน้ำจืดชอบลอกคราบที่อุณหภูมิสูง

4.3.3. ความชื้น (moisture) ถ้าความชื้นสูงหรือต่ำกว่าปกติที่สัตว์อาศัยอยู่ ก็จะหยุดลอกคราบ

4.3.4. ความเค็ม (salinity) ปกติความเค็มมีความสัมพันธ์กับการลอกคราบน้อยมากสำหรับสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเลและน้ำจืดโดยตรง แต่ความเค็มจะมีอิทธิพลต่อการลอกคราบของสัตว์ที่อาศัยบริเวณน้ำกร่อย จากการศึกษาการลอกคราบในปูม้า *Callinectes sapidus* พบว่าแคลเซียมที่ถูกดึงมาสะสมในเปลือกระหว่างการลอกคราบ ส่วนใหญ่มาจากน้ำทะเลที่อาศัย และเมื่อเลี้ยงปูที่ความเค็ม 12 ส่วนในพัน หรือความต่ำกว่าปกติ พบว่าการลอกคราบของปูเกิดขึ้นช้าลง ดังนั้นปูที่เลี้ยงในน้ำระดับความเค็มสูงจะมีช่วงระยะเวลาการลอกคราบยาวนานกว่าปูที่เลี้ยงในน้ำความเค็มต่ำ เช่น ที่ระดับความเค็ม 32 ส่วนในพัน ปูจะลอกคราบภายใน 58 วัน แต่ที่ระดับความเค็ม 20 และ 5 ส่วนในพัน ปูจะใช้เวลาการลอกคราบประมาณ 50 และ 44 วัน ตามลำดับ

ความเค็มยังมีอิทธิพลต่อกลไกควบคุมระบบเกลือแร่และน้ำในช่วงลอกคราบ โดยระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดจะลดต่ำลงในระยะลอกคราบและในระยะหลังลอกคราบ ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างลอกคราบปูทะเลไม่กินอาหาร ปริมาณของโปรตีนที่สะสมไว้ในร่างกายในระยะก่อนลอกคราบ จึงได้ถูกใช้ไปในขบวนการลอกคราบประกอบกับในระยะลอกคราบปริมาณน้ำทะเลที่ซึมเข้าสู่ร่างกายมีปริมาณสูงกว่าในระยะอื่น ๆ ทำให้ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเลือดในระยะนั้นเจือจาง การที่ความดันภายในตัวสัตว์เริ่มสูงขึ้นในระยะหลังลอกคราบ แต่ระดับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตยังลดต่ำอย่างต่อเนื่องและต่ำสุดในช่วงหลังลอกคราบ แสดงว่ากลไกควบคุมเกลือแร่ต่าง ๆ ในเลือดมีประสิทธิภาพสูงกว่ากลไกควบคุมการไหลของน้ำเข้าภายในตัว

4.3.5. การอยู่ร่วมกับสัตว์ชนิดอื่น มีผลทำให้การลอกคราบเกิดขึ้นช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6. ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อการลอกคราบโดยตรง แต่พบว่าในระหว่างที่มีการลอกคราบจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่างในเลือด

4.4. ปัจจัยภายใน

4.4.1. ระบบประสาทและฮอร์โมน พบว่าฮอร์โมนที่มีผลกระตุ้นการลอกคราบอยู่ใน Y-organ และฮอร์โมนที่มีผลยับยั้งการลอกคราบอยู่ใน X-organ ฮอร์โมนเหล่านี้อยู่ในความควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งเป็น neurosecretory complex ในระบบต่อมไร้ท่อ

4.4.2. ปริมาณสารอาหารที่สะสมภายใน hepatopancreas พบว่าการอดอาหารของสัตว์มีผลยับยั้งการลอกคราบ และการกินอาหารจะกระตุ้นให้เกิดการลอกคราบ

4.4.3. ระยะที่มีการเจริญเติบโตของรังไข่ในฤดูผสมพันธุ์และระยะที่มีไข่ติดบริเวณท้อง (ovigerous period) เช่น กุ้งที่มีไข่ติดบริเวณส่วนท้องหรือมีสารเหนียวติดบริเวณอวัยวะเพศเมีย จะหยุดการลอกคราบ

4.4.4. การสูญเสียรยางค์ส่วนต่าง ๆ จะกระตุ้นให้มีการลอกคราบเร็วขึ้น แม้ว่าในบางครั้งปัจจัยสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ จะไม่อำนวยก็ตาม

4.4.5. การมีปรสิตบางอย่าง เช่น พวกเพรียงอ่อนหรือเพรียงปูที่เกาะติดบริเวณส่วนท้องของปู *Sacculina* sp. มีผลยับยั้งการลอกคราบ

4.4.6. อายุของสัตว์ พวกตัวอ่อนหรือพวกที่มีอายุน้อยจะลอกคราบบ่อยครั้งกว่าพวกที่โตเต็มวัย

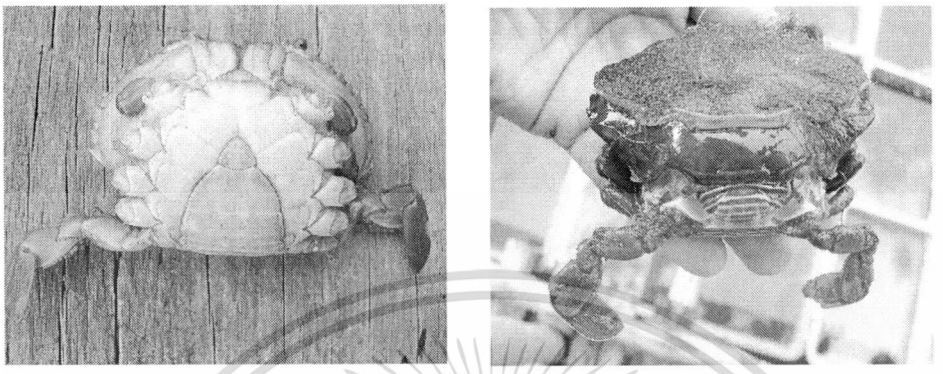
4.5. ผลของการสูญเสียรยางค์ต่อการลอกคราบ

การสูญเสียรยางค์ถือเป็นปัจจัยภายในที่มีผลต่อการลอกคราบ ซึ่งโดยหลักการครัสเตเชียนจะสามารถเกิดการงอกใหม่ของอวัยวะหรือรยางค์ได้เมื่อมีการสูญเสียอวัยวะหรือรยางค์ส่วนนั้น โดยจะปรากฏอวัยวะหรือรยางค์ที่สูญเสียไปหลังจากมีการลอกคราบ ดังนั้นเมื่อเกิดการสูญเสียรยางค์สัตว์จึงมีการลอกคราบ จากหลักการดังกล่าว จึงเกิดเทคนิคในการกระตุ้นให้แม่พันธุ์กุ้งมีไข่แก่ได้เร็วขึ้น โดยการตัดก้านตา นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดภูมิปัญญาในการเพิ่มมูลค่าให้กับสัตว์น้ำ คือการทำปูนิ่ม

- **การถอดรยางค์เพื่อทำปูนิ่ม** วิธีการทำปูนิ่มถือว่าเป็นภูมิปัญญามหาโหด เพราะในขั้นตอนนั้นจะต้องมีการถอดรยางค์ที่เป็นขาเดินทั้ง 4 คู่ออก เหลือไว้เฉพาะขาเดินที่มีการปรับเปลี่ยนมาเป็นใบพายหรือขาเดินคู่ที่ 5 ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปกินอาหารได้เท่านั้น ชนิดของปูที่นิยมนำมาทำปูนิ่มคือปูทะเลหรือปูดำ (*Scylla serata*) การทำปูนิ่มโดยวิธีนี้ (ภาพที่ 4-1) เริ่มตั้งแต่การนำปูมาถอดรยางค์ทั้งหมดยกเว้นคู่ที่เป็นใบพาย แล้วนำลงเลี้ยงในตะกร้าพลาสติก ในช่วงสัปดาห์แรกจะให้อาหารที่เป็นอาหารสด เช่น เนื้อปลา ทุกวัน ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จะให้อาหาร 3 วันต่อมื้อ ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 18-20 วัน ปูจะมีการลอกคราบ จึงสามารถนำไปจำหน่ายได้ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าวิธีการดังกล่าวเป็นภูมิปัญญามหาโหดที่ทรมานสัตว์ ปัจจุบันจึงมีการคิดหาวิธีที่ไม่เป็นการทรมานสัตว์ โดยมีการปรับรูปแบบภาชนะที่ใช้เลี้ยงจากตะกร้ามาเป็นกล่องสี่เหลี่ยมสีดำมีฝาปิด และมีการเจาะรูไว้โดยรอบ วิธีการในการเลี้ยงทำโดย คัดเลือกปูดำขนาดตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการแล้วนำไปเลี้ยงไว้ในกล่องดำ กล่องละ 1 ตัว อาหารตามปกติ ทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน ปูจะเกิดการลอกคราบกลายเป็นปูนิ่ม จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องถอดรยางค์ แต่ระยะเวลาในการเลี้ยงจะนานกว่า



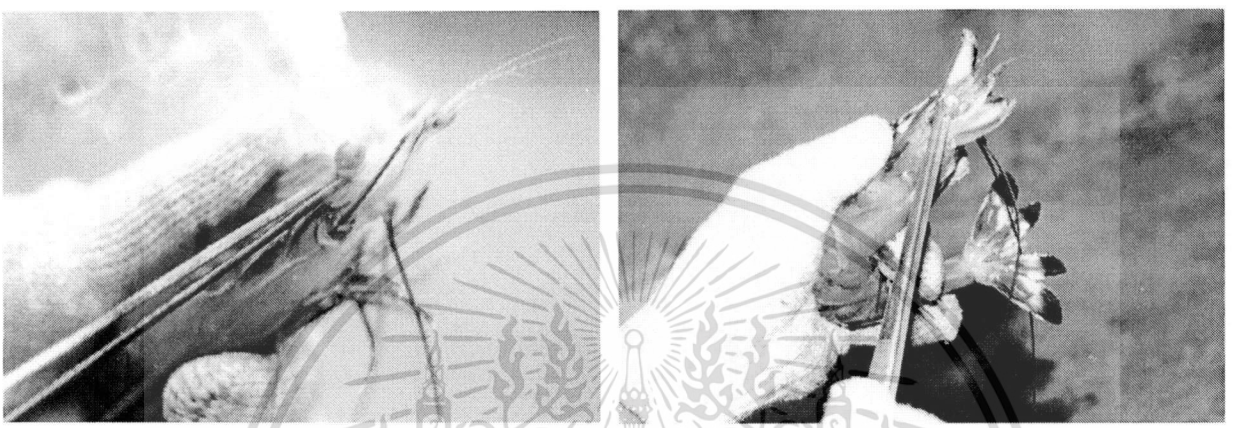
ภาพที่ 4-1 การทำปูนิ่มโดยวิธีการถอดรยางค์
ที่มา : http://www.aei-andaman.com/

ภาพที่ 4-2 การทำปูนิ่มโดยวิธีการ ไม่ถอดรยางค์และอุปกรณ์การเลี้ยง
ที่มา : http://ranong.doae.go.th/

- การทำลายก้านตา (eye ablation) เพื่อกระตุ้นการพัฒนาของรังไข่ เป็นเทคนิคในการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล เนื่องจากสัตว์น้ำจำพวกกุ้งจะมีฮอร์โมนที่ยับยั้งการพัฒนาของไข่ (Gonad Inhibiting Hormone: GIH) อยู่บริเวณก้านตา ใน sinus gland complex การทำลายก้านตาจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของไข่ได้เร็วขึ้น เพราะเป็นการตัดเอาฮอร์โมนยับยั้งการพัฒนารังไข่ที่อยู่ในบริเวณก้านตานี้ออกไปส่วนหนึ่ง ซึ่งจะทำให้มีการพัฒนาของไข่เร็วขึ้นตั้งแต่ 3 วันขึ้นไป ในการทำลายการตานี้นอกจากจะตัดเอาฮอร์โมนยับยั้งการพัฒนารังไข่ออกไปแล้วยังเป็นการตัดเอาฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบออกไปด้วย ดังนั้นสัตว์จึงมีการลอกคราบเร็วขึ้น การทำลายก้านตานี้ จะทำเมื่อตอนที่กุ้งมีเปลือกแข็งในระยะระหว่างการลอกคราบ และจะทำข้างใดข้างหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้ตาที่เหลืออยู่สามารถใช้ประโยชน์ได้ การทำลายก้านตาจะทำในตอนเช้าหรือตอนเย็น เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำ จะช่วยลดอัตราการตาย ถ้ากระทำในเวลาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้กุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียของเหลวในตัวมากทำให้มีอัตราการตายสูง อุณหภูมิของน้ำไม่ควรเกิน 28 องศาเซลเซียส การทำลายก้านตาต้องทำด้วยความรวดเร็วและถ้าสามารถทำใต้น้ำได้ก็จะเป็นผลดี เพื่อลดความเครียดของกุ้ง



ภาพที่ 4-3 การทำลายก้านตาเพื่อเร่งการพัฒนาของรังไข่ในกุ้งกุลาดำ

อย่างไรก็ตามทั้งการถอดรยางค์เพื่อทำปูนิ่มและการทำลายก้านตาเพื่อกระตุ้นการพัฒนาของรังไข่ เป็นวิธีการที่ทรมานสัตว์และได้รับการต่อต้านอย่างมากในปัจจุบัน จึงมีความพยายามอย่างยิ่งในการคิดค้นหรือหาเทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการลอกคราบได้เร็วขึ้น โดยวิธีการที่น่าสนใจคือการใช้ฮอร์โมนจากแหล่งต่าง ๆ สำหรับกระตุ้นหรือเร่งการลอกคราบ ได้แก่ การใช้พืชพรรณพื้นเมืองของไทยที่มีฮอร์โมนลอกคราบ (edysone) มาผลิตเป็นอาหารผสมสำหรับเร่งการลอกคราบ เช่น ไข่เน่า (*Vitex grabrata*) และหม่อน (*Morus alba*) โดยไข่เน่ามีปริมาณฮอร์โมนลอกคราบสูงสุดคือ $2.6x10^{-4}$ กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม และหม่อนมีปริมาณต่ำสุดคือ $6.7x10^{-6}$ กรัมต่อน้ำหนักแห้ง 1 กรัม เมื่อนำไปผสมเป็นอาหารผสมสำหรับเร่งการลอกคราบ พบว่าส่วนผสมของฮอร์โมนลอกคราบ 0.2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักอาหารผสม 1 กรัม จะกระตุ้นให้กุ้งลอกคราบได้ดีที่สุดโดยใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 1.9 วันต่อครั้ง ในขณะที่กลุ่มที่ไม่ผสมฮอร์โมน จะใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 3 วันต่อครั้ง และยังพบว่ากุ้งที่ได้รับอาหารผสมฮอร์โมนลอกคราบจะมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการเปลี่ยนแปลงอาหารเป็นเนื้อดีกว่ากุ้งที่ไม่ได้รับฮอร์โมน (รุ่งจรัส, 2535)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยที่ 5 ฮอร์โมนและอิทธิพลของฮอร์โมนต่อการลอกคราบ

5.1. วัตถุประสงค์

- เพื่อทราบอวัยวะที่ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบ
- เพื่อทราบชนิดของฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบ และเข้าใจหน้าที่การทำงานของฮอร์โมนดังกล่าว
- เพื่อให้เข้าใจและสามารถอธิบายกลไกการทำงานของฮอร์โมนในกระบวนการลอกคราบ

5.2. ข้อสอบก่อนบทเรียน

5.2.1. การทำงานของฮอร์โมนมีความเกี่ยวข้องกับระบบใดมากที่สุด?

ก. ระบบประสาทและระบบต่อมไร้ท่อ

ข. ระบบไหลเวียนเลือดและระบบต่อมไร้ท่อ

ค. ระบบประสาทและระบบไหลเวียนเลือด

ง. ระบบประสาทและระบบสืบพันธุ์

5.2.2. ฮอร์โมนหรือสารเคมีสื่อสารของครัสเตเชียนถูกผลิตมาจากข้อใด?

ก. secretory cell

ข. neuromuscular cell

ค. neurosecretory cell

ง. gland cell

5.2.3. ข้อใดมีความเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบมากที่สุด?

ก. X-organ

ข. Y-organ

ค. ก้านตา

ง. Sinus gland

5.2.4. ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบ ข้อใดผลิตจาก Y-organ ?

ก. Molt inhibiting hormone

ข. Water-balance-regulating hormone

ค. Gonad inhibiting hormone

ง. Ecdysteroid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5. ข้อใดไม่จัดอยู่ในกลุ่มของ ecdysteroid?

ก. 20-hydroxyecdysone

ข. 25-deoxyecdysone

ค. 3-dehydroecdysone

ง. ผิดทุกข้อ

5.2.6. ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด?

ก. การฝัง Y-organ ให้กับสัตว์ปกติจะทำให้ระยะระหว่างการลอกคราบยาวนานขึ้น

ข. สัตว์ที่ถูกตัดก้านตาสามารถกระตุ้นให้เกิดการลอกคราบเร็วขึ้นโดยการฝัง sinus gland

ค. การตัดก้านตาในช่วงระหว่างการลอกคราบมีผลทำให้เกิดการลอกคราบเร็วขึ้น

ง. การตัดก้านตาหลังจากผ่านระยะก่อนการลอกคราบจะผลทำให้เกิดการลอกคราบเร็วขึ้น

5.2.7. ในการผลิต ecdysone ต้องอาศัยสารชนิดใด?

ก. โปรตีน

ข. คลอเรสเตอรอล

ค. ไกลโคเจน

ง. กลีเซอรอล

5.2.8. ฮอร์โมน MIH มีผลยับยั้งการลอกคราบอย่างไร?

ก. MIH จะไปทำให้ Y-organ ฝ่อ ไม่สามารถผลิตฮอร์โมนลอกคราบได้

ข. MIH จะไปยับยั้งการลำเลียงสารตั้งต้นในการผลิตฮอร์โมนลอกคราบเข้าไปใน Y-organ

ค. MIH จะไปยับยั้งการหลั่ง molting fluid

ง. MIH จะไปยับยั้งการสลายตัวของไกลโคเจนทำให้สัตว์มีพลังงานไม่เพียงพอ

5.2.9. การลอกคราบจะเกิดขึ้นเมื่อใด (เลือกข้อที่ถูกต้องที่สุด)?

ก. ระดับฮอร์โมนลอกคราบสูงกว่าฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ

ข. มีการสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปริมาณมากเพียงพอ

ค. มีการสั่งการจากระบบประสาทส่วนกลาง

ง. มีการยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ

5.2.10. ระดับฮอร์โมนลอกคราบในเลือดจะสูงที่สุดในช่วงใด?

ก. ระยะระหว่างการลอกคราบ

ข. ระยะก่อนการลอกคราบ

ค. ระยะลอกคราบ

ง. ระยะหลังการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3. อวัยวะที่ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบ

ดังที่กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ว่าการทำงานของฮอร์โมน จะอยู่ในความควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งเป็น neurosecretory complex ในระบบต่อมไร้ท่อ ซึ่งในขั้นตอนการทำงานนั้นระบบประสาทส่วนกลางจะกระตุ้นให้เกิดระยะก่อนการลอกคราบและมีการผลิตฮอร์โมน ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบถูกผลิตมาจากอวัยวะที่สำคัญ 2 ส่วน คือ X-organ sinus gland complex และ Y-organ (ภาพที่ 5-1)

ภาพที่ 5-1อวัยวะที่มีความเกี่ยว ข้องกับการผลิตและหลั่งฮอร์โมนในการลอกคราบในกุ้ง A. ตำแหน่งของ X-organ sinus gland complex และ Y-organ; B. เซลล์ประสาทผลิตฮอร์โมนบริเวณก้านตา

ที่มา: Waterman (1960)

5.3.1. X-organ sinus gland complex เป็นอวัยวะที่อยู่บริเวณก้านตา ภายในจะมีเซลล์ประสาทผลิตฮอร์โมน (neurosecretory cell) จำนวนมาก เซลล์ประสาทดังกล่าวมีตัวเซลล์อยู่ใน X-organ และใยประสาทนำคำสั่ง (axon) อยู่ใน sinus gland ดังนั้นฮอร์โมนจึงถูกสร้างขึ้นใน X-organ และถูกนำไปเก็บไว้ใน sinus gland ฮอร์โมนที่สร้างจาก X-organ แล้วนำไปเก็บไว้ใน sinus gland ที่มีความสำคัญกับการลอกคราบคือ ฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt-inhibiting hormone; MIH) และฮอร์โมนค วบคุมสมดุลน้ำ (water-balance-regulating hormone) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการนำน้ำเข้าตัวขณะที่มีการลอกคราบ

5.3.2. Y-organ มีลักษณะเรียวยาวหรือกลมแตกต่างกันไปตามชนิดของครัสเตเชียน มักอยู่เป็นคู่ มีหน้าที่หลั่งฮอร์โมน ecdysteroid ออกมากระตุ้นการลอกคราบ (steroid molting hormone) หรืออาจเรียกว่าฮอร์โมนลอก

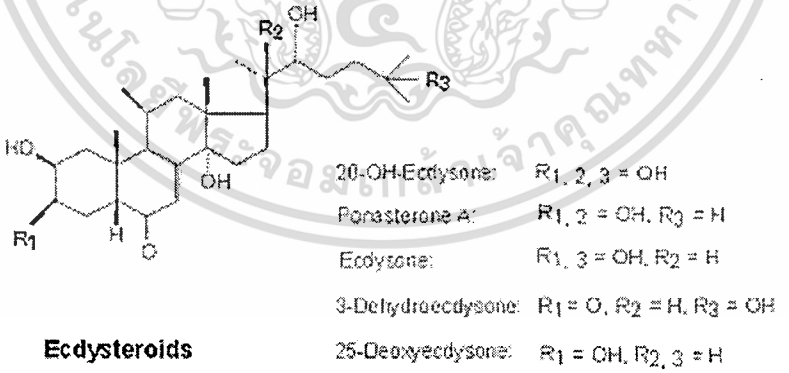
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คราบ (molting hormone) ลักษณะรูปร่างของ Y-organ มีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ เช่น กลุ่ม brachyuran มีรูปร่างคล้ายกรวย (conical shaped) ในพวก natantia มีรูปร่างเป็นรูปเลนส์ (lenticular) ในพวก isopod และ amphipod มีรูปร่างเป็นเส้น (foliaceous) ถึงจะมีรูปร่างแตกต่างกัน แต่มีขนาดใกล้เคียงกันคือมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมโครเมตร

5.4. ชนิดของฮอร์โมนที่มีอิทธิพลต่อการลอกคราบ

5.4.1. ฮอร์โมนลอกคราบ (Molting hormone, Ecdysone, MH)

ฮอร์โมนลอกคราบ (ecdysone) เป็นฮอร์โมนที่อยู่ในกลุ่มของ ecdysteroid (ภาพที่ 5-2, 5-3) ซึ่งจัดเป็นฮอร์โมน steroid ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่กระตุ้นการลอกคราบ (steroid molting hormone) ของครัสเตเชียนและแมลง ในแมลงจะถูกสร้างจาก prothoracic gland แต่ในครัสเตเชียนถูกสร้างมาจาก Y-organ นอกจาก ecdysone แล้วยังมีฮอร์โมนที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันอีกหลายชนิด ได้แก่ 20-hydroxyecdysone (20E), 3- dehydroecdysone และ 25-deoxyecdysone แต่พบว่าครัสเตเชียนแต่ละชนิดไม่สามารถหลั่งฮอร์โมนได้ทุกชนิด โดย 3-dehydroecdysone ถูกหลั่งมาจาก Y-organ ของปู *Cancer antennarius*, *Menippe marcenaria* และกุ้ง *Penaeus vannamei* เป็นต้น ในขณะที่ 25- deoxyecdysone ถูกหลั่งมาจาก Y-organ ของปู *Carcinus meanas* การสังเคราะห์ ecdysteroid อาศัยคลอเรสเตอรอลเป็นสารตั้งต้น แต่พวก Arthropod ไม่สามารถสังเคราะห์คลอเรสเตอรอลขึ้นได้เอง ดังนั้นจึงต้องได้รับคลอเรสเตอรอลจากอาหารที่กินเข้าไป มีรายงานว่าในครัสเตเชียนหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปของ ecdysone ไปเป็น 20-hydroxyecdysone ได้ และในขณะเดียวกัน 20-hydroxyecdysone ก็สามารถเปลี่ยนเป็น ponasterone A (25-deoxy-20- hydroxyecdysone, Po-A) ได้เช่นกัน

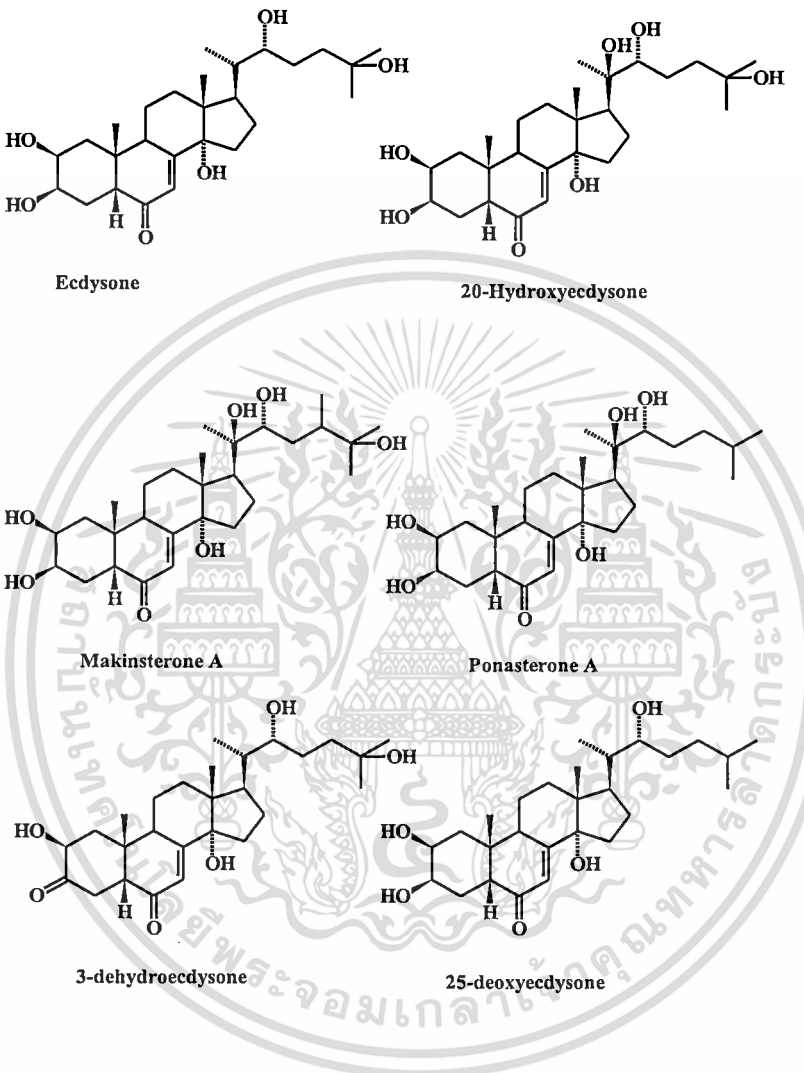


ภาพที่ 5-2 โครงสร้างโมเลกุลของฮอร์โมน ecdysteroid

ดังนั้นถ้าเอา Y-organ ออกไป การตัดก้านตาและการฉีดสารที่สกัดจากก้านตาจะไม่มีผลต่อการลอกคราบ การตัด Y-organ ทั้งสองข้างของปู *Carcinus* ออกระหว่างช่วง anecdysis, diecdysis และ proecdysis ในระยะเริ่มต้นจะมีผลยับยั้งการเกิดระยะก่อนการลอกคราบ แต่ถ้าการตัดเกิดขึ้นในช่วงระยะท้ายของระยะก่อนการลอกคราบ สัตว์ยังคงมีการลอกคราบต่อไปจนถึงระยะ anecdysis หลังจากนั้นจึงหยุด และพบว่าหากฝัง Y-organ เข้าไป วงจรการลอกคราบจะเริ่มเกิดขึ้นอีกตามปกติ ถ้าเอา Y-organ ฝังให้สัตว์ปกติ จะทำให้ระยะระหว่างการลอกคราบสั้นลง จึงน่าจะสรุปได้ว่า Y-organ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนลอกคราบ ได้มีผู้สันนิษฐานว่าการที่สัตว์หยุดลอกคราบนั้น แสดงว่า Y-organ เกิดการฝ่อ (atrophy) หรือเสื่อมไป



ภาพที่ 5-3 โครงสร้างโมเลกุลของฮอร์โมน ecdysteroid บางชนิดที่พบในครัสเตเชียนและแมลง

ที่มา : de Fur (2004)

5.4.2. ฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (Molt-inhibiting hormone, MIH)

พบอยู่ในก้านตา บริเวณ X-organ และ sinus gland โดยฮอร์โมนชนิดนี้ถูกผลิตขึ้นจาก X-organ แล้วถูกส่งไปเก็บไว้ใน sinus gland ฮอร์โมนชนิดนี้เป็น neuropeptide ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของครัสเตเชียนที่สำคัญคือยับยั้งการลอกคราบ โดยฮอร์โมน MIH จะถูกหลั่งจาก sinus gland แล้วไปมีผลยับยั้งการผลิตและหลั่ง ecdysteroid ของ Y-organ สัตว์จึงไม่ลอกคราบ แต่จะทำหน้าที่ควบคุมช่วงระยะเวลาของ anecdysis เท่านั้น ฮอร์โมน MIH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

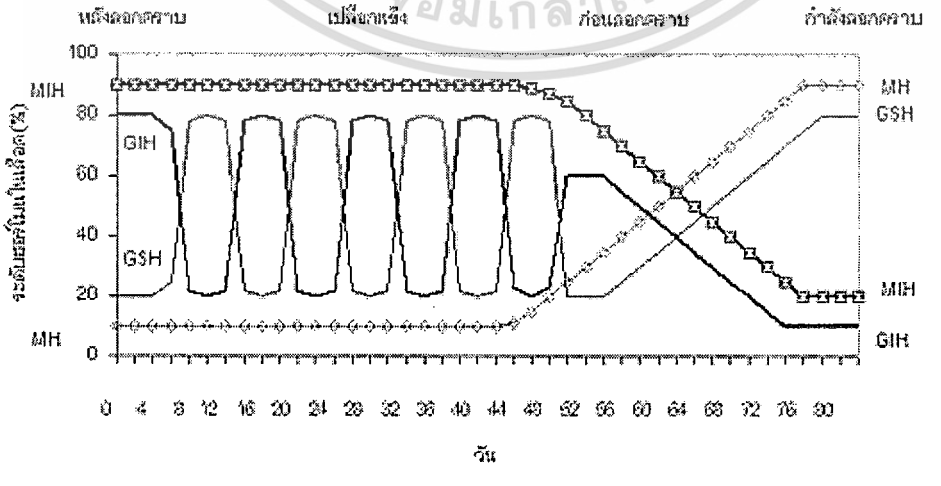
จะไปยับยั้งการสังเคราะห์หรือการนำคลอเรสเตอรอล (สารตั้งต้นในการผลิต ecdysteroid) เข้าไปใน Y-organ ทำให้ไม่สามารถผลิต ecdysteroid ได้

มีรายงานพบว่าการตัดก้านตาของ decapods ออกในช่วงระหว่างการลอกคราบจะมีผลทำให้เกิดระยะก่อนการลอกคราบเร็วขึ้น แต่การตัดก้านตาออกหลังจากผ่านระยะก่อนการลอกคราบแล้วจะไม่มีผลเร่งให้เกิดการลอกคราบเร็วขึ้นแต่อย่างไร แสดงให้เห็นว่าฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบจะมีผลต่อการลอกคราบในช่วงก่อนระยะก่อนการลอกคราบเท่านั้น อย่างไรก็ตามสัตว์ที่ถูกตัดก้านตาออกไปแล้วนั้นสามารถกระตุ้นให้การลอกคราบเกิดช้าลง โดยการฝัง sinus gland ลงไป นอกจากนี้ยังมีผลทำให้การเผาผลาญอาหารและการทำงานต่าง ๆ ของร่างกายกลับสภาพเป็นปกติเหมือนสัตว์ที่ไม่ได้ถูกตัดก้านตา

5.4.4. ฮอร์โมนควบคุมสมดุลน้ำ (Water-balance-regulating hormone)

พบอยู่ในก้านตา บริเวณ X-organ sinus gland complex เช่น ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับการนำน้ำเข้าตัวภายหลังจากที่มีการลอกคราบใหม่ ดังนั้นฮอร์โมนชนิดนี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัตว์หลังจากที่มีการลอกคราบ พบว่าในปูและ crayfish นั้น การนำก้านตาออกในช่วง 1-3 วัน ก่อนการลอกคราบ จะมีผลทำให้หลังการลอกคราบแล้ว ปริมาตรของสัตว์เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ โดยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 180 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรสัตว์ (ปกติจะเพิ่มขึ้นเพียง 80 เปอร์เซ็นต์) แต่การเพิ่มของปริมาตรดังกล่าว ไม่ได้เป็นผลเนื่องมาจากการสร้างเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากระบบควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกายเสียไป

การฝัง sinus gland หรือฉีดสารที่สกัดได้จาก sinus gland เข้าไปในสัตว์ที่ถูกตัดก้านตา จะมีผลทำให้สัตว์นำน้ำเข้าตัวน้อยลง แสดงว่าใน sinus gland มีฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการควบคุมสมดุลน้ำอยู่ พบว่าในปู *Carcinus* ที่ถูกตัดก้านตาออก จะมีผลให้อัตราการนำน้ำเข้าตัวปูสูงถึง 180 เปอร์เซ็นต์ จากปกติเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยปูจะเปลี่ยนน้ำเพียงบางส่วนเป็นเนื้อเยื่อ ดังนั้นภายหลังการลอกคราบน้ำที่สะสมอยู่ในตัวปูจะยังคงมีอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งปูที่ถูกตัดก้านตานี้จะลอกคราบได้อีก 6-7 ครั้ง หลังจากนั้นจะตาย เนื่องจากการขยายตัวของเนื้อเยื่อที่มากเกินขนาด



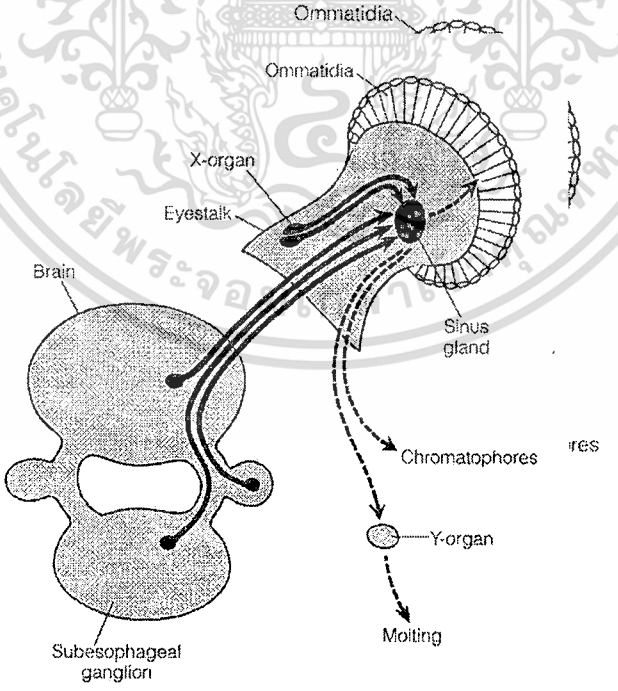
ภาพที่ 5-4 ระดับฮอร์โมน MH MIH GH และ GSH ในเลือดปูตามระยะการลอกคราบ

ที่มา : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5. กลไกการทำงานของฮอร์โมนต่อการลอกคราบ

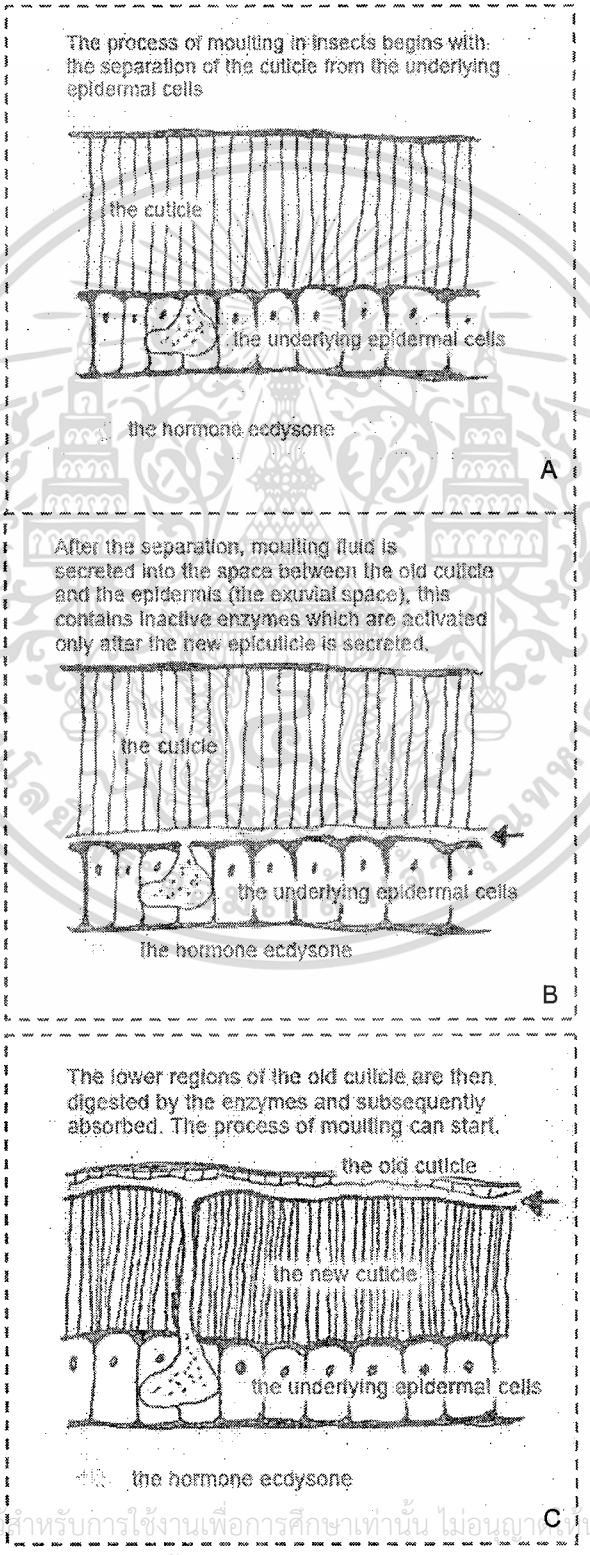
การลอกคราบของครัสเตเชียนอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนสองชนิด คือฮอร์โมนเร่งหรือกระตุ้นการลอกคราบ (molting hormone = MH) และฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ (molt inhibiting hormone =MIH) ซึ่งเซลล์ประสาทส่วนกลาง (central neurosecretory cell) จะทำหน้าที่ผลิต ฮอร์โมนทั้งสองชนิดจะทำงานควบคู่กันโดยมีระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ควบคุมผ่านทางเซลล์ประสาท ขณะที่สัตว์อยู่ในระยะระหว่างการลอกคราบหรือระยะเปลือกแข็ง (intermolt stage) จะเป็นระยะที่อยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนที่ยับยั้งการลอกคราบ (MIH) ที่ผลิตจาก X-organ และส่งเข้าระบบเลือดผ่านทางเซลล์ประสาทของ X-organ (neurosecretory cells of X-organ) และ sinus gland ไปยังจุดหมายปลายทาง ระยะนี้ระดับของฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบในเลือดจะสูงกว่าระดับของฮอร์โมนลอกคราบ ในระยะเตรียมตัวลอกคราบ (proecdysis stage ระยะ D) เป็นระยะที่ระดับฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบในเลือดจะต่ำกว่าฮอร์โมนลอกคราบ X-organ จะส่งสัญญาณไปยัง Y-organ ให้สร้างฮอร์โมนขึ้นมาชนิดหนึ่ง เพื่อส่งไปยังตับให้มีการสะสมอินทรีย์สารและแคลเซียม เป็นการเตรียมตัวลอกคราบ ฮอร์โมนที่ X-organ สร้างขึ้นมีหน้าที่ควบคุมการลอกคราบ โดยก่อนการลอกคราบเซลล์ประสาทส่วนกลางจะส่งสัญญาณให้ X-organ ผลิตฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบส่งเข้าไปเก็บไว้ใน sinus gland ก่อนหลั่งเข้าระบบไหลเวียนเลือด เพื่อให้ hepatopancreas มีโอกาสสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สำหรับการลอกคราบ และเมื่อ hepatopancreas มีการสะสมสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปริมาณมากเพียงพอสำหรับการลอกคราบแล้ว จะส่งสัญญาณไปยังระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งระบบประสาทส่วนกลางจะส่งสัญญาณไปยัง Y-organ ให้ผลิตฮอร์โมนลอกคราบส่งเข้าระบบไหลเวียนเลือด เมื่อระดับของฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบในเลือดต่ำกว่าฮอร์โมนลอกคราบ กระบวนการลอกคราบจึงเริ่มต้น (ภาพที่ 5-5)



ภาพที่ 5-5 กลไกลการผลิตฮอร์โมนที่มีผลต่อการลอกคราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการลอกคราบนั้นจะเริ่มจากการแยกตัวของ cuticle บริเวณด้านบนของ epidermal cell หลังจากนั้น molting fluid ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์ chitinase, protease และฮอร์โมน ecdysone จะถูกหลั่งเข้ามาในช่องว่างระหว่าง cuticle เก่ากับ epidermal cell (ภาพที่ 5-6A) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะเริ่มทำงานเมื่อมีการสร้างชั้น epicuticle ใหม่ โดยในช่วงแรกจะช่วยในการแยกชั้นของเปลือกใหม่และเปลือกเก่าออกจากกัน และในช่วงนี้ระดับฮอร์โมน ecdysone จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ (ภาพที่ 5-6B) จากนั้นเอนไซม์ใน molting fluid จะย่อย cuticle เก่า แล้วดูดซึมกลับไปใช้ในการสร้างเปลือกใหม่ หลังจากขั้นตอนนี้จะเป็นการการสลัดเปลือกเก่า

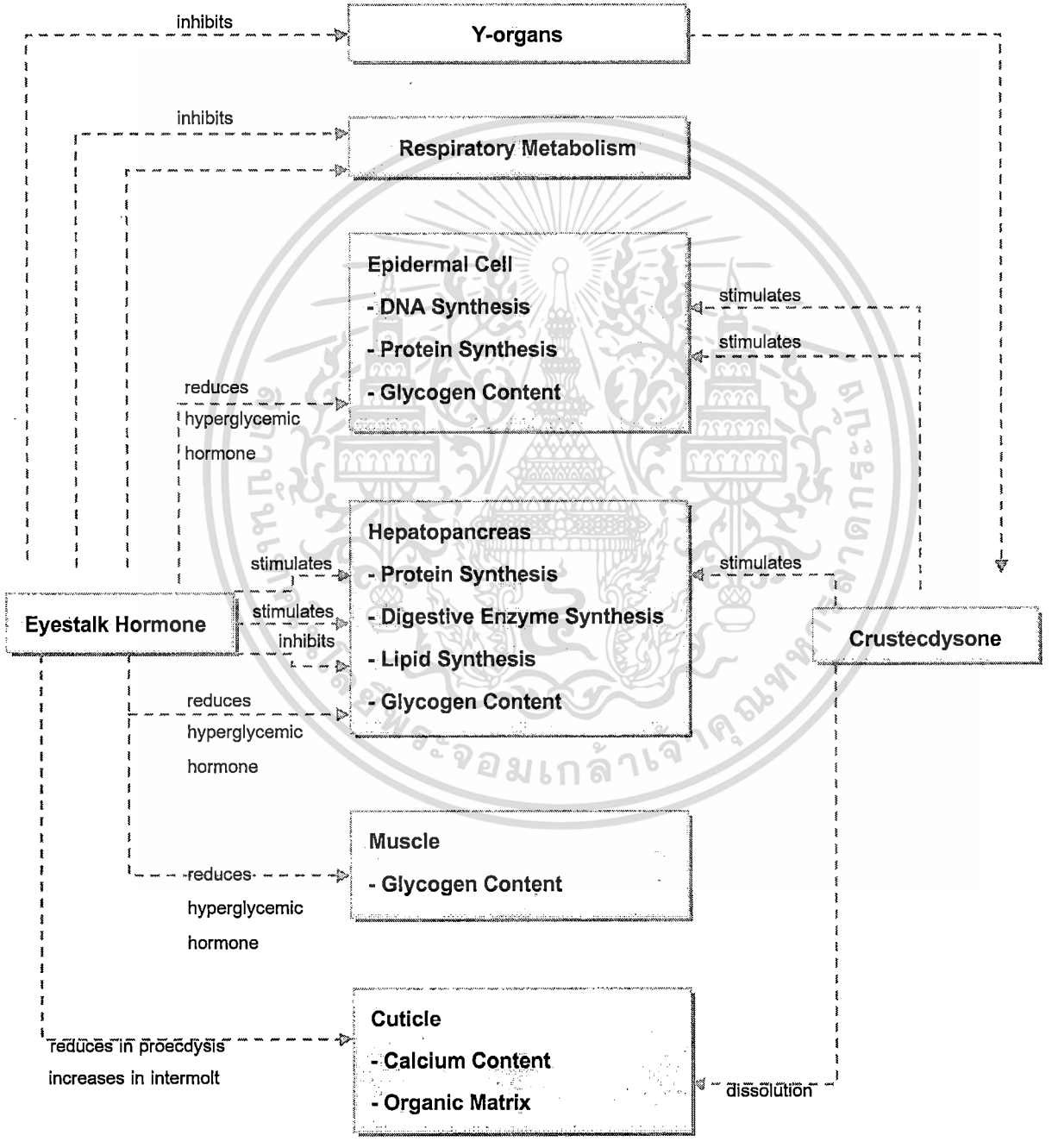


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5-6 การทำงานของ molting fluid

ที่มา : Ewer (2005)

สัตว์จะลอกคราบเร็วขึ้นถ้ามีกลไกอย่างใดอย่างหนึ่งไปกระตุ้นให้ X-organ ผลิตฮอร์โมนกระตุ้นการลอกคราบและส่งไปยังเป้าหมายในปริมาณที่สูงกว่าฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบ เช่น การสูญเสียรยางค์ หรือการตัดก้านตาที่ทำให้ฮอร์โมนยับยั้งการลอกคราบที่ X-organ ผลิตถูกตัดขาดจากระบบไม่สามารถเดินทางไปยังเป้าหมายได้ เป็นต้น



ภาพที่ 5-7 การทำงานของฮอร์โมนลอกคราบและฮอร์โมนจากก้านตา ในวงจรการลอกคราบ

ที่มา : Waterman (1960)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แบบประเมินคุณภาพสื่อการสอนด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านเนื้อหา)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ รายวิชา: สรีระวิทยาของสัตว์น้ำ

ผู้ออกแบบบทเรียน: นายสราวุธ สวัสดี โ ปรแกรมที่ใช้สร้าง : Authorware

ผู้ประเมิน (นาย,นาง, นางสาว).....

ตำแหน่ง .....

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนนที่ตรงกับความคิดเป็นของท่านมากที่สุด

เกณฑ์ระดับความคิดเห็น : ดีมาก = 5 , ดี = 4 , ปานกลาง = 3 , พอใช้ = 2 , ควรปรับปรุง = 1

ลำดับที่	หัวข้อประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
1.	เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และหัวเรื่อง					
2.	เนื้อหามีความง่ายต่อความเข้าใจและไม่ซับซ้อน					
3.	ปริมาณเนื้อหามีความเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป					
4.	เนื้อหามีความต่อเนื่องและเรียงลำดับจากง่ายไปยาก					
5.	การนำเสนอเนื้อหามีความชัดเจนและได้ใจความ					
6.	ความถูกต้องของเนื้อหา					
7.	ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					
8.	ความถูกต้องของรูปภาพตามเนื้อหา					

ความคิดเห็นอื่นๆ (โปรดระบุ).....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้ประเมิน

(.....)

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านการผลิตสื่อ)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง ขบวนการลอกคราบ รายวิชา: สรีระวิทยาของสัตว์น้ำ

ผู้ออกแบบบทเรียน : นายสราวุธ สวัสดี โปรแกรมที่ใช้สร้าง : Authorware

ผู้ประเมิน (นาย,นาง,นางสาว) .....

ตำแหน่ง .....

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนนที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

เกณฑ์ระดับความคิดเห็น: ดีมาก = 5 , ดี = 4 , ปานกลาง = 3 , พอใช้ = 2 , ควรปรับปรุง = 1

ลำดับที่	หัวข้อประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
		5	4	3	2	1
1	ความสอดคล้องของภาพกับเนื้อหา					
2	การเร้าความสนใจของภาพ					
3	ความชัดเจนของภาพ					
4	ขนาดของภาพและความสมดุลย์ของภาพกับหน้าจอ					
5	ภาพเคลื่อนไหว					
6	ขนาดของตัวอักษรมีความเหมาะสมกับหน้าจอ					
7	รูปแบบของตัวอักษรมีความสวยงามอ่านง่ายและชัดเจน					
8	สีของตัวอักษรมีความสวยงาม และสะดวกในการอ่าน					
9	ความหนาแน่นของข้อความในแต่ละกรอบ					
10	เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีโอกาสโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์					
11	การให้ข้อมูลย้อนกลับและมีการเสริมแรงอย่างเหมาะสม					
12	เวลาในการนำเสนอมีความเหมาะสม					
13	บทเรียนมีคำอธิบายการใช้งานอย่างชัดเจน					
14	บทเรียนมีการนำเสนอเป็นลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม					
15	ใช้ง่ายทั้งการ เข้า – ออก และขณะใช้งานของโปรแกรม					

ความคิดเห็นอื่นๆ (โปรดระบุ) .....

.....

ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน

(.....)

..... / ..... / .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้