บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

อนุกรมวิธานและชีววิทยาบางประการของกุ้งกุลาดำ

1. อนุกรมวิธาน

Phylum	Arthropoda
Class	Crustacea
Subclass	Malacostraca
Superorder	Eucarida
Order	Decapod
Suborder	Natantia
Family	Penaeidae
Genus	Penaeus
	Penaeus monodon Fabricius, 1798

ชื่อสามัญ (common name) กุ้งกุลาดำ , Black Tiger shrimp

2. การกระจาย

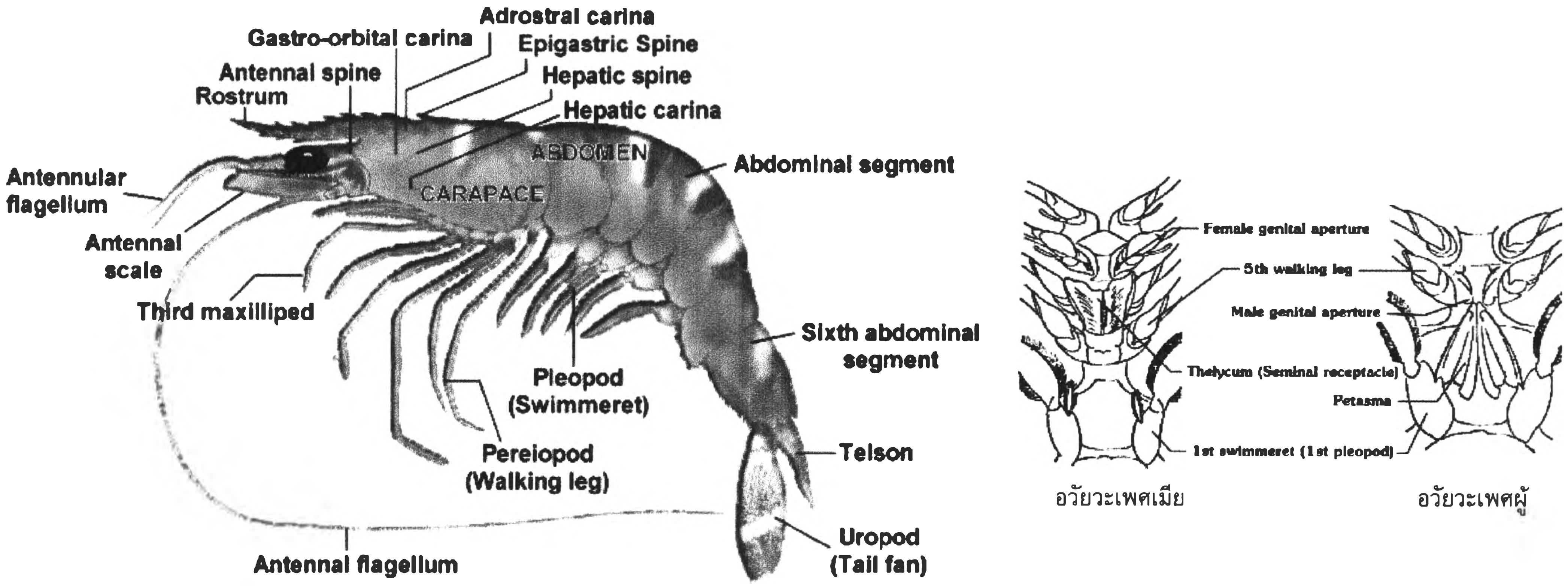
กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเซีย มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในน่านน้ำแถบอินโด-แปซิฟิกตะวันตก ได้แก่ประเทศ อัฟริกาใต้ ทรานซาเนีย เคนย่า โซมาเลีย มาดากัสการ์ ซาอุดิอาระเบีย โอมาร์ ปากีสถาน อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา อินโดนีเซีย ไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ ฮ่องกง ไต้หวัน เกาหลี ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ปาปัวนิวกินี (Motoh, 1985) สำหรับในประเทศไทยพบได้ทั้งในแถบอ่าวไทยและอันดามัน เนื่องจากกุ้งชนิดนี้สามารถอยู่อาศัยได้ในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงและความเค็มต่ำ ดังนั้นในบางครั้งจึงพบเห็นได้ในบริเวณป่าชายเลนหรือปากแม่น้ำ (Anderson, 1993) ตัวเต็มวัยชอบอาศัยในน้ำลึกห่างชายฝั่งและชอบพื้นทะเลที่เป็นดินทรายหรือดินโคลน (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532) จึงเป็นกุ้งทะเลที่นิยม

เพาะเลี้ยงอีกชนิดหนึ่งโดยในปัจจุบันกุ้งกุลาดำมีการเพาะเลี้ยงสูงถึง 57% ของการเพาะเลี้ยงกุ้งทั่วโลก (Rosenberry, 1995)

3 ลักษณะโดยทั่วไป

โดยทั่วไปผิวนอกของลำตัวกุ้งปกคลุมด้วย cuticle ซึ่งประกอบด้วย chitin ทำให้เปลือกแข็งยกเว้นบริเวณข้อต่อ เปลือกหุ้มตัวซึ่งเป็นโครงร่างภายนอก เรียกว่า exoskeleton แบ่งออกเป็นส่วนๆ คือ เปลือกตอนที่คลุมส่วนหัว-อกทั้งหมด เรียก carapace เปลือกที่คลุมส่วนท้องแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่คลุมด้านหลัง เรียก tergum ส่วนที่คลุมส่วนท้อง เรียก sternum ลำตัวกุ้งแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนหัว-อก (cephalothorax) มี 13 ปล้อง (ส่วนหัวมี 5 ปล้อง ส่วนอกมี 8 ปล้อง) และส่วนท้อง (abdomen) มี 6 ปล้อง ตอนหน้าสุดของส่วน cephalothorax มีลักษณะเป็นฟันแหลมยื่นไปด้านหน้า เรียก กรี (rostrum) ใต้กรีลงมามีตารวม (compound eye) ข้างละ 1 ตา ซึ่งติดอยู่กับก้านตา (eye stalk) ทำให้ตากุ้งเคลื่อนไหวได้หลายทิศทาง ปากอยู่ระหว่างขากรรไกร เหงือกทั้งสองข้างมีเปลือกที่ค่อนข้างใสและนิ่มปกคลุม เรียก branchiostegite ระยางค์ในส่วนต่างๆมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน หน้าที่ของระยางค์เรียงจากส่วนหน้าสุดไปถึงส่วนหลังสุด คือ ส่วนหนวด (antennules, antennae) ทำหน้าที่ในการสัมผัสและรับความรู้สึกจากภายนอก ขากรรไกรล่าง (mandible) ใช้ในการฉีกอาหาร ขณะที่ขากรรไกรบน (maxillae) และระยางค์ตอนอก (maxilliped) ใช้ในการจับเหยื่อ ก้าม (chelipeds) ทำหน้าที่ป้องกันและจับเหยื่อ ขาเดิน (pereiopod) ใช้ในการเคลื่อนที่ จับอาหารและทำความสะอาดลำตัว ขาว่ายน้ำ (pleopods) ใช้ในการว่ายน้ำและเป็นที่เก็บไข่ในกุ้งเพศเมียบางชนิด ส่วนของทวาร (anus) จะเป็นช่องเปิดเล็กๆอยู่ด้านล่างของหาง (telson) และหางซึ่งอยู่บริเวณปลายสุดของส่วนท้องมีจะลักษณะแหลมขนาบข้างด้วยแพนหาง (uropods) ทั้งสองส่วนนี้ร่วมกันทำหน้าที่ในการบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ จากการที่ระยางค์ ท้อง แพนหางสามารถยืดหดได้กุ้งจึงสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆได้ทั้ง ด้านหน้า-หลัง ด้านข้าง-ทแยง (รูปที่ 3ก) (Anderson, 1993)

กุ้งกุลาดำจะมีลำตัวสีน้ำเงินเข้มปนสีม่วงและมีแถบสีม่วงเข้มหรือสีดำพาดขวางลำตัวสลับกับแถบสีจาง ดังนั้นจึงเห็นลักษณะสีลำตัวเป็นปล้องตามแถบสี เปลือกหัวเกลี้ยงไม่มีขน โคนและปลายกรีเชิดขึ้นเล็กน้อยหรือค่อนข้างตรง ด้านบนของกรีมีฟัน 6-8 ซี่ ด้านล่างมี 2-4 ซี่ ช่องข้างกรีทั้งสองด้านแคบและยาวไม่ถึงฟันกรีซี่สุดท้าย hepatic carina อยู่ในแนวระดับ gastro-orbital carina อยู่ค่อนไปทางด้านหลังประมาณครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่าง hepatic spine กับ post-orbital region ของเปลือกหัว รอบปลายหางและขาว่ายน้ำมี



ก ข

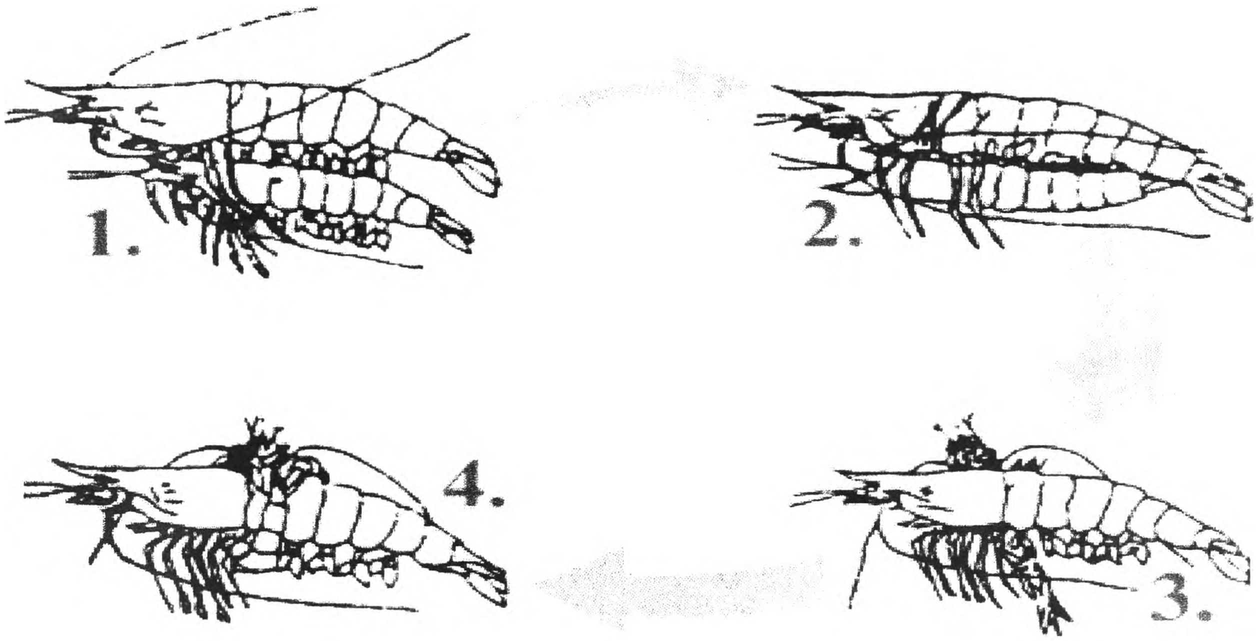
รูปที่ 3 กายวิภาคทั่วไป (ก) และภาพแสดงอวัยวะเพศเมียและเพศผู้ (ข) ของกุ้งกุลาดำ
(ดัดแปลงจาก Urner Barry Publications Inc., internet)

ขนสีแดง ขาเดินคู่ที่ 5 ไม่มี exopodite (ระยางค์ด้านนอก) กุ้งตัวเมียมีอวัยวะเพศ เรียกว่า thelycum อยู่บริเวณส่วนอก ระหว่างขาเดินคู่ที่ 4-5 มีลักษณะกลมหรือค่อนข้างกลม ส่วนอวัยวะเพศผู้ เรียก petasma มีลักษณะคล้ายผ้าบางๆจีบซ้อนกันเป็นท่อติดอยู่กับโคนขาว่ายน้ำคู่ที่ 1 (รูปที่ 3ข) (กรมประมง, 2530; Anderson, 1993)

4. การสืบพันธุ์

การผสมพันธุ์จะทำได้เมื่อตัวเมียลอกคราบและอวัยวะเพศเมียยังอ่อนตัวอยู่ การผสมโดยธรรมชาติจะเกิดขึ้นเมื่อตัวผู้ว่ายน้ำเข้าประกบตัวเมียและเร่งเร้าให้ตัวเมียว่ายน้ำไปด้วยกัน ทั้งคู่ว่ายน้ำขนานกันไปโดยกุ้งตัวผู้จะอยู่ด้านล่างของตัวเมีย เมื่อได้จังหวะตัวผู้จะหงายท้องรัดตัวเมียพร้อมปล่อยน้ำเชื้อซึ่งถูกเก็บในถุงน้ำเชื้อให้กุ้งตัวเมียเก็บในอวัยวะเพศเมีย (รูปที่ 4) ตัวเมียที่ได้รับการผสมจะมีการพัฒนาของรังไข่ ซึ่งสามารถตรวจสอบระดับการเจริญของรังไข่ได้โดยการใช้ไฟฉายส่องใต้ท้องแม่พันธุ์ในเวลากลางคืนหรือจับกุ้งชูขึ้นดูแถบไข่ทางด้านหลัง หากมีการพัฒนาของรังไข่จะเห็นรังไข่เป็นเงาในตัวกุ้งชัดเจน เมื่อแม่กุ้งมีการเจริญของรังไข่ในระยะที่ 3-4 จึงแยกแม่กุ้งใส่ถังเพาะที่เตรียมไว้ กุ้งกุลาดำจะวางไข่ในเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 20.00น. - 04.00น. ของวันใหม่ ขณะที่วางไข่แม่กุ้งจะว่ายวนรอบๆถัง ไข่จะถูกขับออกมาจากบริเวณทางเปิดตรงโคนขาเดินคู่ที่ 3 และผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้ซึ่งไหลออกจากถุงเก็บน้ำเชื้อทางรูเปิดเล็กๆที่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 4 ของตัวเมีย เป็นการผสมภายนอก ไข่จะมีโอกาสผสมกับน้ำเชื้อเท่าใดขึ้นกับปริมาณไข่และน้ำเชื้อที่แม่กุ้งปล่อยออกมาแต่ละครั้ง แม่กุ้งใช้เวลาในการไข่ครั้งหนึ่ง 3-5 นาที ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วในระยะแรกมีลักษณะกลมมีเมือกหุ้มต่อมาจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นรูปผลึกโดยทั่วไปไข่จะหนักกว่าน้ำทะเลเล็กน้อยดังนั้นไข่จึงจมสู่ก้นถัง ไข่จะฟักเป็นตัวภายหลังการผสมแล้วประมาณ 12 ชั่วโมง หากไข่ที่ได้จับกันเป็นก้อนหรือรวมกลุ่มกันจะทำให้อัตราฟักต่ำ ดังนั้นจึงต้องมีการกวนไข่ให้ฟุ้งกระจายภายในถัง (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532)

ในปัจจุบันพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำส่วนใหญ่ยังใช้จากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งใช้การจับจากการประมงโดยใช้อวนลากและอวนลอย สำหรับในประเทศไทยแหล่งพ่อแม่พันธุ์แบ่งได้ 2 แหล่ง คือ ทางภาคใต้และภาคตะวันออก โดยทางภาคใต้ได้จากจังหวัด ภูเก็ต พังงา ตรัง กระบี่ ระนอง และสตูล ส่วนทางภาคตะวันออกได้จากจังหวัด จันทบุรี และตราด (กรมประมง, 2530) เมื่อรวบรวมพ่อแม่พันธุ์ขึ้นบนเรือได้จะเก็บไว้ในถังน้ำและให้อากาศอยู่ตลอดเวลา หากพบว่ากุ้งตัวใดตายจะนำออกทันที เมื่อพ่อแม่พันธุ์ขึ้นจากเรือจะลำเลียงยังโรงเพาะฟักโดยนำกุ้งใส่กล่องโฟมหรือถัง เติมน้ำทะเลพอท่วมตัวกุ้งและเติมอากาศจากนั้นลด



<u>รูปที่ 4</u> ขบวนการผสมพันธุ์กุ้งกุลาดำโดยวิธีธรรมชาติ

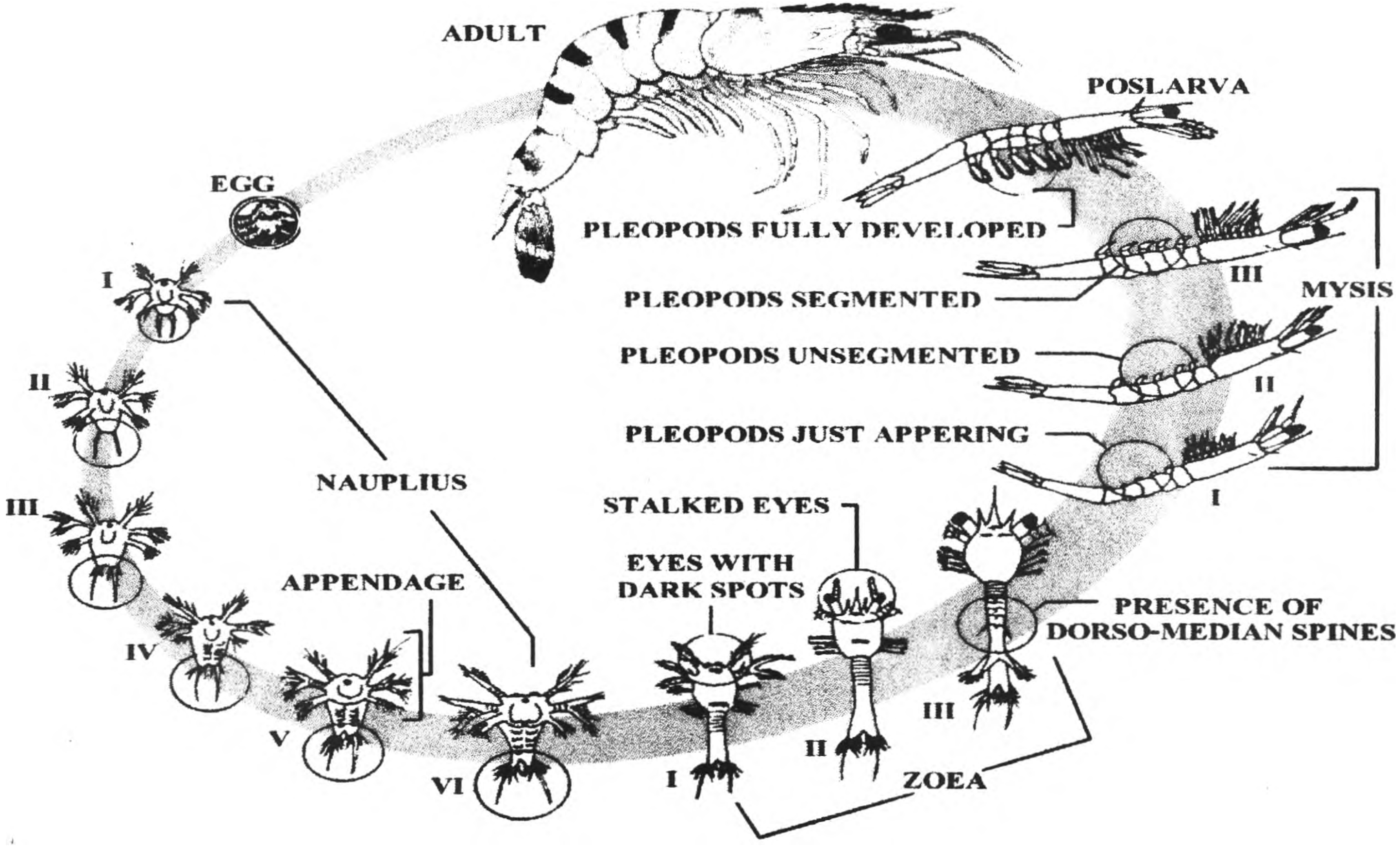
(Primavera, 1979)

อุณหภูมิของน้ำทะเลลงเหลือประมาณ 18-20 ^{0}C โดยการใช้น้ำแข็งใส่ถุงพลาสติกผูกปากลอยในภาชนะที่บรรจุกุ้ง เมื่ออุณหภูมิได้ตามต้องการจึงนำเอาถุงน้ำแข็งออก ปิดภาชนะเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ หากอุณหภูมิสูงจะทำให้กุ้งอ่อนเพลียและแม่กุ้งอาจวางไข่ในขณะลำเลียงได้ แต่ถ้าหากการลำเลียงใช้ระยะทางไม่ไกลหรือใช้ระยะเวลาไม่เกิน 3 ชม. ก็ไม่จำเป็นต้องลดอุณหภูมิเพียงแต่ใส่น้ำทะเลและให้อากาศตลอดการลำเลียงเท่านั้น (วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532)

5. การเจริญเติบโต

ลูกกุ้งจะมีพัฒนาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายหลังการฟักดังนี้ (รูปที่ 5) ตัวอ่อนระยะที่ 1 (nauplius) ลูกกุ้งวัยนี้จะมีลักษณะลำตัวประกอบด้วยระยางค์ 3 คู่ คู่แรกด้านหัวเป็นระยางค์ที่ไม่มีกิ่งก้านแยกออกมา ระยางค์คู่ที่ 2-3 อยู่ต่ำถัดลงไปตามลำดับ ปลายระยางค์แยกเป็น 2 แฉก ตัวอ่อนระยะนี้มีการลอกคราบ 6 ครั้งและมีการเจริญเติบโตทุกครั้งที่มีการลอกคราบจึงมีขนาดตั้งแต่ 0.3-0.5 มม. ใช้ระยะเวลาประมาณ 40-50 ชม. (2วัน) จึงเปลี่ยนแปลงรูปร่างเข้าสู่ระยะที่ 2 ตัวอ่อนระยะที่ 1 จะใช้ไข่แดงที่ติดตัวเป็นอาหารดังนั้นจึงยังไม่กินอาหาร แต่ในการอนุบาลจะเริ่มให้สาหร่ายเซลล์เดียวตั้งแต่ระยะนอเพลียส 6 เพื่อให้ลูกกุ้งที่ลอกคราบเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2 มีอาหารกิน ตัวอ่อนระยะที่ 2 (zoea) ระยะนี้ตัวอ่อนมีลำตัวยาวขึ้น รูปร่างเปลี่ยนไปจากตัวอ่อนระยะที่ 1 คือ ส่วนหัวและอกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ใช้ระยะเวลา 3-4 วัน จึงพัฒนาการเข้าสู่ตัวอ่อนระยะที่ 3 ซึ่งจะใช้การลอกคราบ 3 ครั้งเพื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่าง คือ ลอกคราบครั้งที่ 1 (zoea 1) ขนาดลำตัวประมาณ 0.85-1 มม. ตามีลักษณะเป็นรอยนูนอยู่บริเวณหัว ลอกคราบครั้งที่ 2 (zoea 2) ลำตัวยาวประมาณ 1.2-1.4 มม. ตาโผล่พ้นเปลือกหัวและมีก้านตา มีกรีแหลมยื่นไปด้านหน้า มีหนาม 1 คู่อยู่ระหว่างตา ลอกคราบครั้งที่ 3 (zoea 3) ลำตัวยาวประมาณ 1.5-2 มม. เริ่มมีแพนหางโดยแพนหางชั้นนอกมีขนาดใหญ่กว่าชั้นใน รอบๆแพนหางมีขน มีระยางค์ว่ายน้ำเกิดขึ้นที่ปล้องอกทั้ง 5 สำหรับอาหารของตัวอ่อนในระยะนี้ได้แก่ สาหร่ายเซลล์เดียว เช่น คีโตเซอรอสและสกีลีโตนีมา นอกจากนี้ในการอนุบาลบางครั้งมีการให้อาหารเสริม เช่น ยีสต์ผง ไข่แดงต้ม อาหารสำเร็จรูป โดยการละลายอาหารเหล่านี้ผ่านผ้ากรองขนาด 50-70 ไมครอนก่อนสาดให้ทั่ว ลูกกุ้งในระยะนี้ไม่ควรได้รับแสงสว่างมากนัก เพราะลูกกุ้งอาจเกิดความเครียดทำให้ตัวคดงอและตายในที่สุด ตัวอ่อนระยะที่ 3 (mysis) ระยะนี้ลูกกุ้งเริ่มมีลักษณะรูปร่างคล้ายกุ้งวัยรุ่นมองเห็นได้ชัดแต่ลักษณะการว่ายน้ำต่างกัน คือ ว่ายน้ำโดยใช้หัวทิ่มลงและดีดตัวขึ้นลง ลูกกุ้งจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 3-4 วัน มีการเปลี่ยนแปลงโดยการลอกคราบ 3 ครั้ง ลอกคราบครั้งที่ 1 (mysis 1) ยังไม่มีขาว่ายน้ำแต่จะเห็นลักษณะเป็นปุ่มยื่นออกมาจึงยังใช้ระยางค์จากอกในการว่ายน้ำ ส่วนหัวและอกเริ่มเชื่อมติดกัน การลอกคราบครั้งที่ 2 (mysis 2) ส่วนหัวและอกเชื่อมติดกันโดยสมบูรณ์ ระยางค์คู่ที่ 1-3 ตรงปลาย

เปลี่ยนเป็นก้ามหนีบ ปล้องแรกของขาว่ายน้ำปรากฏชัดเจน ลอกคราบครั้งที่ 3 (mysis 3) ขาว่ายน้ำปรากฏให้เห็นชัดเจน ลำตัวมีความยาวประมาณ 4.04-4.50 มม. ตัวอ่อนระยะนี้สามารถจับแพลงค์ตอนสัตว์เล็กๆกินได้ ดังนั้นในการอนุบาลจึงอาจให้โรติเฟอร์หรืออาร์ทีเมียวัยอ่อน (ลวกน้ำร้อน) สลับกับสาหร่ายเซลล์เดียว โดยลดปริมาณสาหร่ายลงทีละน้อย ตัวอ่อนระยะที่ 4 (postlarva) ลูกกุ้งระยะนี้มีระยางค์ครบเหมือนกุ้งวัยรุ่น การว่ายน้ำของลูกกุ้งจะขนานในแนวระดับและเริ่มเปลี่ยนแปลงนิสัยจากการว่ายน้ำมาเกาะนิ่งตามพื้น หลังการลอกคราบแต่ละครั้งรูปร่างลักษณะจะเปลี่ยนแปลงไปสมบูรณ์ยิ่งขึ้น มีสีและลายเกิดขึ้น ในธรรมชาติลูกกุ้งระยะนี้จะอยู่ตามป่าชายเลนหรือแหล่งน้ำกร่อยประมาณ 3-4 เดือน เมื่อเติบโตเป็นกุ้งวัยรุ่นจะเดินทางลงสู่ทะเลลึกเพื่อเติบโตและผสมพันธุ์ต่อไป สำหรับการอนุบาลลูกกุ้งระยะ postlarva นี้นอกจากให้อาร์ทีเมียแล้วยังสามารถให้อาหารเสริม เช่น เนื้อหอยสดสับละเอียด ไข่ตุ๋น โดยการกรองผ่านผ้ากรองขนาด 200-300 ไมครอนก่อนให้ (บังอร ศรีมุกดา และ เตรียม ธิสาเวทย์, 2527; กรมประมง, 2530; วัลลภ คงเพิ่มพูน, 2532; อนันต์ ตันสุตะพานิช และคณะ, 2538)



<u>รูปที่ 5</u> วงชีวิตของกุ้งกุลาดำ
(ดัดแปลงจาก Motoh, 1985)

<u>การติดเครื่องหมาย</u>

การติดเครื่องหมายหรือการติดรหัส (tagging) เป็นขบวนการติดวัสดุติดตามลงในสัตว์ตัวอย่างที่ต้องการแยกเก็บข้อมูลเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ถูกต้อง มักใช้ในการศึกษาเรื่องประชากร เช่น การศึกษาการแพร่กระจายหรืออพยพของสัตว์น้ำในธรรมชาติ แต่ในระบบการเพาะเลี้ยงก็สามารถนำการติดเครื่องหมายมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น การหาอัตราการตายหรือการหาอัตราการเติบโตที่แน่นอนของสัตว์เลี้ยงในระบบ นอกจากนี้วิธีการติดเครื่องหมายยังได้รับการพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลสำหรับแผนงานทางพันธุศาสตร์อีกด้วย (Bergman และคณะ, 1992) Nielsen (1992) กล่าวว่า การพิจารณาถึงความเหมาะสมของวิธีการติดเครื่องหมายที่จะนำมาใช้กับงานด้านพันธุศาสตร์นั้นควรคำนึงถึง ลักษณะที่ต้องการศึกษา ชนิดและลักษณะของสัตว์ตัวอย่าง ลักษณะและวิธีการเก็บข้อมูล สำหรับในการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าอัตราพันธุกรรมนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้การติดเครื่องหมาย เพื่อให้ได้ข้อมูลชีวประวัติของสัตว์ที่ศึกษาเป็นแบบรายตัวหรือแบบครอบครัว และทำให้สามารถเลี้ยง รวมกันเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมของการเลี้ยงให้เหมือนกันในทุก ๆหน่วยทดลองได้

Klar และ Parker (1986) กล่าวถึงลักษณะของเครื่องหมายที่ดีว่าควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ ราคาไม่แพง สามารถรักษารหัสข้อมูลเพียงพอกับระยะเวลาที่ทดลองได้ เหมาะสมกับขนาดของสัตว์ตัวอย่าง ง่ายต่อการตรวจสอบ ไม่มีผลต่อลักษณะที่ต้องการเก็บข้อมูลและไม่ทำให้เกิดการตายเนื่องจากการติดรหัสมากจนเกินไป

1 ชนิดของเครื่องหมาย

สำหรับเครื่องหมายที่ใช้ในสัตว์น้ำสามารถแบ่งได้เป็น 7 ชนิด คือ

1.1 Chemical Marking เป็นการตรวจหาสารเคมีที่ไม่มีอันตรายและมีการเก็บสะสมโดยธรรมชาติของสัตว์ระหว่างที่ถูกกักขัง

1.2 Genetics Identifiers เป็นการใช้เทคนิคทางชีวเคมีเข้ามาช่วยในการแยก เช่น การตรวจลายพิมพ์ DNA

1.3 Biotelemetric Tag เป็นเครื่องหมายที่ส่งสัญญาณออกมาและสามารถตรวจวัดโดยอาศัยเครื่องรับ

1.4 Natural Mark ใช้การวัดและการสังเกตจากลักษณะรูปร่างของสัตว์รวมไปถึงตัวเบียน (parasite) ที่สัตว์มีอยู่

1.5 Internal Tag เป็นเครื่องหมายที่ฝังในตัวสัตว์ซึ่งสามารถอ่านเบอร์หรือรหัสได้โดยใช้เครื่องอ่าน เช่น visible implant (V.I.) tag, passive integrated transponder (PIT) tag, code wire tag เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างสัตว์น้ำที่นำ code wire tag มาใช้ เช่น Spot prawn, *Pandalus platyceros* (Prentice และ Rensel, 1977) , Striped bass, *Morone saxatilis* และ Blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Klar และ Parker, 1986) และตัวอย่างงานทางพันธุศาสตร์ที่มีการนำเอา PIT tag มาใช้ ได้แก่ โครงการ GMIT (Genetic Manipulations for Improved Tilapia) และโครงการ TAD (Technology Adaptation and Development) ในฟิลิปปินส์ซึ่งใช้ PIT tag เพื่อแยกเพศเมียและเพศผู้ที่มีโครโมโซมเพศเป็น YY ออกจากกัน สำหรับ fluorescent elastomer tag ซึ่งจัดเป็น V.I. tag แบบหนึ่งนั้น มีการนำไปใช้ในงานด้านพันธุศาสตร์เช่นเดียวกับ PIT tag แต่ fluorescent elastomer tag เหมาะสมกับสัตว์ขนาดเล็ก

1.6 External Mark เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะบางอย่างของสัตว์เพื่อให้สามารถสังเกตได้ เช่น การใช้สีป้าย การคลิบครีบ ซึ่งมักจะใช้ในกรณีที่ระยะเวลาการศึกษาสั้นเพราะใช้งานง่ายและมีผลต่อสรีระของสัตว์น้อย

1.7 External Tag เป็นเครื่องหมายที่ติดภายนอกตัวสัตว์โดยมีส่วนหนึ่งติดอยู่ในผิวหรือเนื้อเยื่ออีกส่วนหนึ่งยื่นออกมาซึ่งเป็นส่วนที่มีเบอร์หรือรหัส สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเครื่องหมายชนิดนี้เป็นเครื่องหมายชนิดที่เก่าแก่ที่สุดและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างของเครื่องหมายชนิดนี้ได้แก่ floy tag, streamer tag เป็นต้น ในประเทศฟิลิปปินส์โครงการด้านพันธุศาสตร์สองโครงการนำเอา floy tag มาใช้เพื่อแยกเก็บข้อมูลรายตัวในปลานิล (*O. niloticus*) ได้แก่โครงการ IDRC-CLSU/FAC Fish Genetics Project (Tayamen, 1992) และโครงการ GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias) (Eknath และคณะ, 1993)

สำหรับในกรณีของการศึกษาที่เกี่ยวกับการเติบโต การรอดและการตาย ที่ใช้ระยะเวลานานมักเลือกใช้ externel tag มากกว่า internal tag และ external mark เนื่องจากสังเกตเห็นได้ง่าย (Neal, 1969) และไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านรหัส แต่การใช้ externel tag นั้นอาจทำให้การตายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการพรางตัวทำได้ยากขึ้นและศัตรูเห็นได้ง่าย ดังนั้นการเลือกชนิดและวิธีการติดเครื่องหมายจึงควรพิจารณาถึงข้อดี-ข้อเสียของแต่ละวิธี

2 เครื่องหมายที่ใช้ในสัตว์น้ำ

สมภพ รุ่งสุภา (2534) ได้รายงานถึงเครื่องหมายชนิดติดภายนอก (externel tag) ที่นำมาใช้ในกุ้งว่ามี 3 แบบคือ เครื่องหมายติดเปลือกลำตัว (carapace marking tag) เครื่องหมายติดก้านตา (eye stalk tag) เครื่องหมายติดข้างตัว (streamer tag) ซึ่งเครื่องหมายที่ยังไม่สามารถจัดสร้างได้ในประเทศไทย คือ เครื่องหมายติดข้างตัว และเครื่องหมายที่สามารถจัดสร้างได้ง่ายที่สุด คือ ชนิดติดเปลือกลำตัว ซึ่งเครื่องหมายแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสีย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการใช้งานเครื่องหมายชนิดติดภายนอก

แบบเครื่องหมาย	ข้อดี	ข้อเสีย
1.เครื่องหมายติดเปลือกลำตัวกุ้ง	ง่ายในการจัดทำ ราคาถูก ไม่ต้องใช้ความชำนาญและเครื่องมือพิเศษ	มีระยะเวลาในการตรวจวัด คือ เท่ากับช่วงเวลาที่กุ้งใช้ในการลอกคราบ
2.เครื่องหมายติดก้านตากุ้ง	การจัดทำค่อนข้างสะดวก วัสดุที่ใช้ไม่เป็นพิษต่อตัวกุ้ง	การสวมเครื่องหมายต้องใช้เครื่องมือพิเศษและอาศัยความชำนาญเพื่อไม่ให้กุ้งบอบช้ำ ขนาดของห่วงต้องพอเหมาะกับขนาดก้านตากุ้งเพราะหากเลือกขนาดผิดอาจทำให้ก้านตากุ้งเน่าและหลุดขาดได้
3.เครื่องหมายติดข้างตัวกุ้ง	ใช้งานง่าย มีความคงทนสูงไม่หลุดเมื่อกุ้งลอกคราบ	ราคาแพง จัดหายาก มีขนาดตายตัวจึงเหมาะสมกับกุ้งขนาดเฉพาะที่เครื่องหมายได้รับการออกแบบมาเท่านั้น

Benzie, Frusher และคณะ (1995) ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องหมายติดข้างตัวต่ออัตรารอดในกุ้งกุลาดำโดยใช้ streamer tag no.12 ซึ่งขนาดส่วนกว้างเท่ากับ 2.5มม. X 42.2มม. X 0.016มม. และส่วนเว้าขนาด 1.2มม. X 12.4มม. โดยใช้กุ้งขนาดความยาวเปลือกหัวไม่รวมกรี (carapace length excluding rostrum, CL) เท่ากับ 15 มม. และ 18 มม. เลี้ยงในสองสภาพแวดล้อม คือ บ่อขนาด 0.32 เฮกเตอร์และแทงค์ขนาด 12 ตัน เป็นระยะเวลา 5-6 เดือน พบว่าในทั้งสองสภาพแวดล้อมกุ้งที่ติดเครื่องหมายที่ CL เท่ากับ 15 มม. มีอัตราการตายมากกว่ากุ้งที่ติดเครื่องหมายที่ขนาด CL เท่ากับ 18 มม. และกุ้งที่ขนาด CL 18 มม. มีอัตรารอดเมื่อเลี้ยงในแทงค์เท่ากันทั้งที่ติดและไม่ติดเครื่องหมาย (ประมาณ 40-50%) แต่สภาพที่เลี้ยงในบ่อกุ้งที่ติดเครื่องหมายมีอัตรารอดเท่ากับ 50% ส่วนอัตรารอดของกุ้งไม่ติดเครื่องหมายเท่ากับ 70% ดังนั้นการติดเครื่องหมายมีผลต่ออัตรารอดในกุ้งขนาดเล็ก (CL=15mm.) และกุ้งขนาดเล็กที่สุดที่เหมาะสำหรับ streamer tag no.12 เพื่อการศึกษาในระยะยาวคือที่ความยาวเปลือกหัว 18 มม.

สมภพ รุ่งสุภา (2534) ได้พัฒนาและประดิษฐ์เครื่องหมายแบบติดข้างตัวกุ้งขึ้นใช้เองโดยยึดหลักของความสะดวกในการจัดทำ สามารถใช้ประโยชน์ได้ใกล้เคียงกับเครื่องหมายชนิดเดียวกันกับที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและวัสดุในการจัดทำตลอดจนขั้นตอนในการจัดทำต้องสามารถกระทำได้ภายในประเทศโดยได้พัฒนาเครื่องหมายสองแบบและทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งเครื่องหมายทั้งสองแบบมีลักษณะดังนี้ แบบที่ 1 ลักษณะเป็นแถบยาวทำจากเชือกพลาสติก ปลายด้านหนึ่งเรียบทาด้วยน้ำยาลบคำผิด (liquid paper) สีขาวเขียนหมายเลขหรืออักษร อีกด้านตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมปลายแหลมใช้สำหรับสอดเข้ารูเข็มเย็บผ้า ซึ่งความยาวรวมที่ไม่รวมความยาวของเข็มประมาณ 4-5 ซม.และกว้างประมาณ 0.5 ซม. แบบที่ 2 พัฒนาขึ้นหลังจากทดลองแบบที่ 1 แล้วเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น ลักษณะของเครื่องหมายแบบที่ 2 มีส่วนที่แตกต่างจากแบบที่ 1 คือ วัสดุที่ใช้เปลี่ยนจากเชือกพลาสติกซึ่งมีความอ่อนนิ่มมากเกินไป ทำให้รหัสที่บันทึกบนน้ำยาลบคำผิดแตกออกไม่สามารถอ่านรหัสได้มาเป็นผ้าพลาสติกชนิดที่ใช้สำหรับปูโต๊ะ และจัดทำช่องเว้าตรงกลางเครื่องหมายเพื่อเป็นตัวล็อคไม่ให้เครื่องหมายหลุดออกขณะที่กุ้งว่ายน้ำ ความยาวรวมของเครื่องหมายที่ไม่รวมความยาวเข็มประมาณ 4-5 ซม. กว้างประมาณ 0.5 ซม. ซึ่งพบว่าเครื่องหมายแบบที่ 2 นี้เหมาะสมสำหรับกุ้งกุลาดำขนาดความยาวรวมตั้งแต่ 4.0 ซม.ขึ้นไป

ทรงชัย สหวัชรินทร์ และ ประชิด พงศ์สุวรรณ (2519) ได้ทำการติดเครื่องหมายชนิดติดภายนอกในกุ้งก้ามกรามโดยใช้วัสดุทำเครื่องหมายคือ แผ่นเซลลูลอยด์ บางขนาด 0.5ซม. X 2.0ซม. ทาสีแดง อักษรและตัวเลขปรากฏอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีก

ด้านเจาะรูร้อยเอ็นขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ซม. ติดเครื่องหมายโดยใช้เข็มแทงลำตัวกุ้ง แล้วทำบ่วงคล้องด้านหลัง ปล่อยกุ้งลงในทะเลสาบสงขลาพบว่าสามารถจับกลับคืนได้ทั้งหมด 13.6% และความคงทนของเครื่องหมายที่นานที่สุดคือ 186 วัน

Frusher (1981) ใช้ streamer tag ส่วนกว้างขนาด 0.3ซม. X 9.5ซม. และส่วนเว้าขนาด 0.15ซม. X 2.2ซม. ติดในกุ้งแชบ๊วยขาว (*P. merguiensis*) ที่บริเวณส่วนท้องระหว่างปล้องที่ 1 และ 2 โดยปล่อยกุ้งในบริเวณชายฝั่งและแหล่งอนุบาล พบว่าสามารถจับกุ้งคืนได้ทั้งหมดคิดเป็น 10.9% และ 1.6% ของกุ้งที่ปล่อย ตามลำดับ และความยาวเปลือกหัวที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการทดลองนี้เท่ากับ 1.7 ซม. และความคงทนของเครื่องหมายที่นานที่สุด คือ 150 วัน

การผสมเทียม

สำหรับเทคนิคการผสมเทียม (artificial insemination) ในกลุ่มพวกครัสเตเซียได้แสดงไว้ในรายงานวิจัยหลายฉบับ เช่น Farfante (1975); Sandifer และ Smith (1979); Sandifer และ Lynn (1980); Tave และ Brown (1981); Bray, Chamberlain และ Lawrence (1982); Djunaedah, Kokarkin และ Nurdjana (1986); Lin และ Ting (1986); Bauer และ Cash (1991) จนกระทั่งเป็นที่ยอมรับกันว่าเทคนิคการผสมเทียมประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง และนอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่นำเอาเทคนิคการผสมเทียมมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงาน เช่น Pratoomchart, Piyatiratitivorakul และ Menasveta (1991); เรณู ยาชิโร, จันทิมา เจริญศรี และ ชโลม สุวรรณรัตน์ (2534); Benzie, Kenway และคณะ (1995); Misamore และ Browdy (1997) เป็นต้น

สำหรับการศึกษาเบื้องต้นในการผสมเทียมในกุ้งกุลาดำ รายงานไว้ครั้งแรกโดย Djunaedah และคณะ (1986) ซึ่งทำการเหนี่ยวนำถุงอสุจิออกจากกุ้งเพศผู้โดยการใช้กระแสไฟฟ้า พบว่ากุ้งทดลองยังคงมีชีวิตและสามารถผลิตอสุจิได้ใหม่อีกครั้ง สำหรับถุงอสุจิที่ได้นำมาใส่ในอวัยวะเพศของตัวเมียที่พึ่งลอกคราบโดยกุ้งเพศผู้และเพศเมียที่ใช้ในการทดลองมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 80 และ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ดำเนินการนำเอาถุงอสุจิของกุ้งแชบ๊วยขาว (*P. merguensis*) มาฝากในกุ้งกุลาดำเพศเมียอีกด้วย แต่ทั้งสองการทดลองนี้ไม่มีผลของการปฏิสนธิเนื่องจากแม่กุ้งไม่มีการพัฒนาของรังไข่ ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน Lin และ Ting (1986) ประสบความสำเร็จในการย้ายถุงอสุจิและการผสมเทียมในกุ้งกุลาดำ โดยกุ้งเพศเมียที่ทำการผสมเทียมมีการพัฒนาของรังไข่และสามารถออกไข่ได้ 2 ครั้ง ในการทดลองนี้ทำ

การฝากถุงอสุจิ 1 และ 2 ถุงในอวัยวะเพศของตัวเมียที่พึ่งลอกคราบ พบว่าในกุ้งเพศเมียที่มีถุงอสุจิฝากอยู่สองถุงมีอัตราการฟักเป็นนอเพลียสในการไข่ครั้งแรกและครั้งที่สองเท่ากับ 82.35%, 39.11% และในกุ้งเพศเมียที่มีถุงอสุจิฝากเพียงหนึ่งถุง มีอัตราการฟักเป็นนอเพลียสในการไข่ครั้งแรกและครั้งที่สองเท่ากับ 71.87% และ 13.11%

สมเกียรติ ปิยะธิติวรกุล (2540) ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญพันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำและอาหารเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคได้นำเทคนิคการผสมเทียมมาใช้เพื่อศึกษาคุณภาพอสุจิ พบว่ากุ้งกุลาดำเพศผู้จากบ่อเลี้ยงที่ขนาด 60-90 กรัม ความสามารถผลิตอสุจิได้ประมาณ 2.5 ล้านตัวต่อครั้ง เมื่อนำอสุจิออกมาแล้วกุ้งสามารถสร้างได้ใหม่อีกครั้งในเวลา 1 สัปดาห์ นำอสุจิที่ได้มาฝากในอวัยวะเพศของกุ้งเพศเมียโดยใช้วิธีการผสมเทียมและอสุจิยังคงมีความสมบูรณ์มากกว่า 60% เมื่ออสุจิอยู่ในอวัยวะเพศเมียนานขึ้นประสิทธิภาพของอสุจิจะลดลง โดยในระยะเวลา 1 เดือน อสุจิในอวัยวะเพศเมียอาจมีประสิทธิภาพในการผสมกับไข่ได้น้อยมาก และในรายงานของเรณู ยาชิโร และคณะ (2534) ได้นำเทคนิคการผสมเทียมมาใช้ในการผลิตลูกกุ้งเพื่อศึกษาสรีรวิทยาการสืบพันธุ์ของพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำจากฝั่งอันดามัน โดย 96.6% ของจำนวนลูกกุ้งที่ได้มาจากการผสมเทียมและนอกจากนี้ในรายงานได้เสนอแนะการจัดทำการผสมเทียมเพื่อให้ได้ผลดีคือควรทำการผสมเทียมในวันเดียวกับที่กุ้งเพศเมียลอกคราบหรือลอกคราบแล้วไม่เกิน 2 วันและควรหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของการผสมเทียม เช่น การหาน้ำยาตัวกลางที่ช่วยในการผสมของไข่กับอสุจิ ตลอดจนการแยกอสุจิออกมาฉีดผสมแทนการสอดถุงอสุจิ

Pratoomchart และคณะ (1991) ได้ศึกษาคุณภาพอสุจิของกุ้งกุลาดำจากบ่อเลี้ยงที่ขนาด 36-72 กรัมโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำถุงอสุจิออกจากกุ้งเพศผู้ด้วยกระแสไฟฟ้า และการผสมเทียมกับแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำจากฝั่งอ่าวไทยบริเวณจังหวัดชลบุรีขนาด 100-150 กรัม เพื่อประเมินคุณภาพของอสุจิจากเปอร์เซ็นต์การปฏิสนธิของไข่ (PFE) เปอร์เซ็นต์การฟักของไข่ (PH) เปอร์เซ็นต์นอเพลียสมีชีวิตที่มีรูปร่างปกติ (PLNN) ให้ผลดังนี้

1. ขนาดของกุ้งเพศผู้ (MBW) มีความสัมพันธ์กับค่าของ PFE, PH, PLNN ดังนี้

$$PFE = 0.95XMBW \quad r=0.84 \quad N=51 \quad P<0.05$$

$$PH = 0.78XMBW \quad r=0.80 \quad N=51 \quad P<0.05$$

$$PLNN = 39.64+0.84XMBW \quad r=0.40 \quad N=40 \quad P<0.05$$

ดังนั้นขนาดของกุ้งกุลาดำเพศผู้ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า PFE PH PLNN เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. น้ำหนักกุ้งเพศผู้ที่ 51-72 กรัมในการทดลองนี้ให้ค่า PFE เท่ากับ 63% PH เท่ากับ 54% ซึ่งมากกว่ารายงานของ Beard และ Wickins (1980) ที่ใช้กุ้งกุลาดำจากธรรมชาติที่น้ำหนัก 50-80 กรัม มีค่า PH เท่ากับ 44% ในการไข่ครั้งแรกและอยู่ในช่วง 24-30% ในการไข่ครั้งถัดมา สำหรับการไข่ครั้งสุดท้าย (ครั้งที่ 6) มีค่า PH เหลือเพียง 1% เท่านั้น ดังนั้นขนาดของกุ้งกุลาดำเพศผู้จากบ่อเลี้ยงที่เหมาะสมสำหรับการทำผสมเทียมควรมีน้ำหนักมากกว่า 50 กรัมขึ้นไป

3. ขนาดของถุงอสุจิมีผลให้เซลล์อสุจิมีคุณภาพสูงขึ้น เนื่องจากขนาดของถุงอสุจิมีผลให้ค่า PFE PH PLNN เพิ่มสูงขึ้นและในกุ้งเพศผู้จากบ่อเลี้ยงที่มีน้ำหนักมากกว่า 60 กรัมจะสามารถผลิตอสุจิที่มีคุณภาพดีได้ ดังนั้นจึงเป็นขนาดที่เหมาะสมในการเป็นพ่อพันธุ์ซึ่งตรงกับรายงานของ Primavera (1983)

4. เมื่อช่วงเวลาที่เซลล์อสุจิที่ถูกเก็บอยู่ในอวัยวะเพศเมียยาวนานขึ้นและจำนวนครั้งที่วางไข่เพิ่มมากขึ้นมีผลให้คุณภาพอสุจิลดลง นั่นคือ มีผลทำให้ค่า PFE PH PLNN ลดลง แต่อย่างไรก็ตามมีเพียงผลของช่วงเวลาที่เซลล์อสุจิที่ถูกเก็บในอวัยวะเพศเมียต่อค่า PH เท่านั้นที่มีผลทางสถิติที่ระดับ 0.01 และค่า PH มีความสัมพันธ์กับค่า PFE อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ด้วย

<u>ข้อมูลเบื้องต้นทางพันธุศาสตร์</u>

การนำความรู้ทางด้านพันธุ์ศาสตร์สาขาต่าง ๆเข้ามาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาพันธุ์สัตว์น้ำ ได้แก่ พันธุศาสตร์ระดับเซลล์และพันธุวิศวกรรม พันธุศาสตร์คุณภาพ พันธุศาสตร์ปริมาณ ซึ่งการศึกษาวิจัยทางพันธุศาสตร์ในกลุ่มพวกครัสเตเชียนที่มีการเพาะเลี้ยงนั้นยังมีไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์น้ำชนิดอื่น และในกลุ่มครัสเตเชียที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมีการศึกษาทางด้านพันธุศาสตร์น้อยกว่า 1% เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาทางด้านนี้ในกลุ่มของครัสเตเชียทั้งหมด (Malecha, 1983)

ลักษณะที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในสัตว์น้ำที่มีการเพาะเลี้ยง เช่น การเติบโต ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารให้เป็นเนื้อ ความต้านทานโรค ความสามารถในการอยู่รอดและความทนทาน เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้เป็นลักษณะทางปริมาณ (quatitative characters) กล่าวคือ เป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยจีนหลายคู่และแต่ละคู่มีผลต่อการแสดงออกของลักษณะปรากฏน้อย ดังนั้นลักษณะที่วัดได้จึงมีการกระจายแบบปกติ (normal distribution) และเป็นลักษณะที่มีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องกับการแสดงออกของลักษณะปรากฏด้วย กลุ่มของจีนที่ควบคุมลักษณะทางปริมาณหนึ่ง ๆ นิยมเรียกว่า multiple genes หรือ polygenes

เนื่องจากลักษณะทางปริมาณไม่สามารถจำแนกได้โดยสายตาเพียงอย่างเดียวต้องอาศัยวิธีการชั่ง-ตวง-วัด ซึ่งมักใช้ระบบเมตริกในการบันทึก ดังนั้นจึงเรียกลักษณะทางปริมาณได้อีกอย่างหนึ่งว่า ลักษณะเมตริก (metric trait)

1. องค์ประกอบทางพันธุกรรมของลักษณะทางปริมาณ

เนื่องจากลักษณะปรากฏเป็นผลที่เกิดจากการกระทำร่วมของจีนและสิ่งแวดล้อม จึงสามารถเขียนแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ได้เป็น P = G+E (Falconer, 1989) โดยที่ P = ลักษณะปรากฏ หรือ ฟีโนไทป์ G = องค์ประกอบทางพันธุกรรม หรือ จีโนไทป์ E = สภาพแวดล้อม

แต่ในการคำนวณลักษณะพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมในสัตว์แต่ละตัวเป็นไปได้ยากเนื่องจากความแปรปรวนหรือความแตกต่างของลักษณะปรากฏมีค่าต่อเนื่องไม่อาจจัดเป็นพวกได้ (continuous variation) ดังนั้นการศึกษาจึงจำเป็นต้องใช้ค่าทางสถิติ คือ ค่าความแปรปรวน ในการพิจารณาค่าต่าง ๆของลักษณะที่ต้องการในประชากรโดยความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ (phenotypic variation) ของประชากรแจกแจงออกได้เป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากพันธุกรรม (genotypic variation) ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม (enviromental variation) และความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ใหม่ดังนี้

$$V_P = V_G + V_E + 2Cov_{G\text{-}E} \qquad \text{(Falconer, 1989)}$$

โดยที่ V_P = ความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ

V_G = ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากพันธุกรรม

V_E = ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม

$2Cov_{G\text{-}E}$ = ความแปรปรวนร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม

ความแปรปรวนทางพันธุกรรมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตและกำไรให้กับผู้เลี้ยง ดังนั้นการศึกษาถึงองค์ประกอบทางพันธุกรรมจะช่วยให้สามารถเลือกวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงพันธุ์ได้ ซึ่งความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากพันธุกรรมนี้สามารถจำแนกออกตามผลจากอำนาจของจีน ได้เป็น ความแปรปรวนอันเกิดจากผลของจีนแต่ละอัลลิวหรือจีนบวกสะสม (additive genetic variation, V_A) ความแปรปรวนที่เกิดจากปฏิกิริยาของจีนที่ตำแหน่งเดียวกันหรือจีนข่ม (dominance genetic variation, V_D) และความแปรปรวนอันเกิดจากปฏิกิริยาร่วมของจีนต่างตำแหน่ง (epistatic genetic variation, V_I)

ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $V_G = V_A + V_D + V_I$ ดังนั้นสมการแสดงส่วนประกอบของความแปรปรวนของลักษณะ ปรากฏเมื่อจำแนกความแปรปรวนทางพันธุกรรมออกแล้วจึงเขียนสมการได้เป็น $V_P = V_A + V_D + V_I + V_E + 2Cov_{G\text{-}E}$ ซึ่งค่าความแปรปรวนของจีนบวกสะสมสามารถถ่ายทอดไปสู่ประชากรรุ่นต่อไปได้ เพราะในขบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (meiosis) จีนซึ่งปรากฏอยู่เป็นคู่ในแต่ละจีโนไทป์จะแยกออกจากกันและไปรวมกันใหม่โดยอิสระเมื่อเกิดการปฏิสนธิ ผลที่เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของจีนบวกสะสมของจีนในอัลลิวนั้น ๆจะแสดงออกเหมือนในพ่อแม่ แม้ว่าการจับคู่ที่ปรากฏอยู่ในจีโนไทป์ใหม่จะไม่เหมือนเดิม ดังนั้นค่า V_A จึงเป็นค่าที่มีความสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการคัดเลือก ส่วนความแปรปรวนของจีนข่มและความแปรปรวนอันเกิดจากปฏิกิริยาร่วมของจีนต่างตำแหน่งนั้นไม่สามารถถ่ายทอดไปสู่ประชากรรุ่นลูกได้ เนื่องจากในขั้นตอนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จีนมีการแยกตัวออกจากกันโดยขบวนการ meiosis ซึ่งจะลดจำนวนชุดโครโมโซมลงครึ่งหนึ่งจึงมีผลกระทบต่อค่า V_D เพราะปฏิกิริยาระหว่างอัลลิวในจีโนไทป์ใหม่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดการปฏิสนธิ ดังนั้นเทคนิคการทำไฮบริดจึงนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะทางปริมาณที่มีค่า V_D สูง ส่วน V_I นั้นเกิดจากปฏิกิริยาร่วมของจีนต่างตำแหน่งดังนั้นจึงไม่สามารถถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกได้เช่นเดียวกับ V_D (Falconer, 1989; Tave, 1993; อุทัยรัตน์ ณ นคร, 2538) และในการประมาณค่า V_I นั้นจะต้องอาศัยการวางแผนการทดลองที่ซับซ้อน ดังนั้นนักพันธุศาสตร์ปริมาณจึงมุ่งสนใจเฉพาะค่า V_A และ V_D เท่านั้น (สุภัทรา อุไรวรรณ์, 2533)

2 อัตราพันธุกรรม (heritability, h^2)

อัตราพันธุกรรมของลักษณะใดลักษณะหนึ่งเป็นค่าสัดส่วนของความแปรปรวนซึ่งมีผลเนื่องมาจากพันธุกรรมต่อความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ ดังนั้นค่าอัตราพันธุกรรมจึงเป็นลักษณะเฉพาะตัวของประชากรหนึ่ง ๆที่จะบอกให้ทราบว่าลักษณะนั้น ๆจะสามารถถ่ายทอดไปยังลูกหลานได้มากน้อยเท่าใด เนื่องจากประชากรที่ต่างกันจะก็มีองค์ประกอบทางพันธุกรรมต่างกัน ทั้งยังตกอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างกันด้วย โดยทางทฤษฎีแล้วค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะหนึ่ง ๆจะมีค่าตั้งแต่ 0-1 ค่าอัตราพันธุกรรมที่ใกล้เคียง 1 แสดงว่าลักษณะนั้นมีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสูง สภาพแวดล้อมมีผลต่อลักษณะน้อย หากค่าอัตราพันธุกรรมมีค่าใกล้เคียง 0 แสดงว่าลักษณะนั้นมีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมมีผลมากและมีปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อมมาก ซึ่งมีผลให้ค่าการถ่ายทอดทางพันธุกรรมน้อย (Rice, 1970)

ค่าอัตราพันธุกรรมแบ่งออกได้ 2 แบบคือ อัตราพันธุกรรมอย่างหยาบ (broad sense heritability) ซึ่งเป็นสัดส่วนของความแปรปรวนจากลักษณะพันธุกรรมรวมต่อความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ ($h^2_G=V_G/V_P$) และค่าอัตราพันธุกรรมอย่างละเอียด (narrow sense heritability) เป็นสัดส่วนของความแปรปรวนอันเกิดจากจีนรวมสะสมต่อความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ ($h^2_G=V_A/V_P$) แต่ในการคำนวณมักจะรวมเอาสัดส่วนของความแปรปรวนจากจีนในแบบอื่นๆเข้าไปด้วย ดังนั้นสัดส่วนที่คำนวณได้จึงมักเรียกสั้นๆว่า อัตราพันธุกรรม (สมชัย จันทร์สว่าง, 2530) แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณอัตราพันธุกรรมที่รวมเอาผลของความแปรปรวนจากจีนแบบอื่นๆเข้าไปด้วยทำให้ค่าอัตราพันธุกรรมที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริง

3 การประมาณค่าอัตราพันธุกรรม

วิธีการคำนวณค่าอัตราพันธุกรรมอาจแบ่งได้ดังนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเครือญาติ (sib analysis) โดยมีการเสนอแผนการผสมพันธุ์แบบต่างๆสำหรับใช้เพื่อประมาณค่าอัตราพันธุกรรม เช่น การวางแผนการผสมพันธุ์แบบร่วมพ่อหรือแม่ เป็นต้น การวิเคราะห์รีเกรซชั่นของลักษณะในลูกต่อลักษณะในพ่อ-แม่ (parent-offspring regression) และการวิเคราะห์จากผลการตอบสนองของการคัดเลือก (response to selection) ซึ่งรายละเอียดในส่วนของการคำนวณหาค่าอัตราพันธุกรรมนั้นอ่านได้จาก Becker (1992)

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเครือญาติ

เมื่อทำการผสมพันธุ์ตามแบบแผนการผสมพันธุ์แบบต่างๆ แล้วจะสามารถแยกความแปรปรวนของลักษณะได้ตามสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวน เช่น หากใช้แผนการผสมแบบร่วมพ่อโดยกำหนดให้พ่อพันธุ์แต่ละตัวผสมกับแม่พันธุ์หลายตัว โดยการเลือกพ่อ-แม่พันธุ์และการจับคู่ผสมแบบสุ่ม ดังนั้นความแปรปรวนของลักษณะปรากฏในกลุ่มของลูกที่เกิดจากพ่อ-แม่เดียวกัน (full sib famillies) ซึ่งมีพันธุกรรมเหมือนกันมากที่สุด ถือว่าเป็นผลจากสิ่งแวดล้อมหรือความผิดพลาด และในกลุ่มของลูกที่เกิดจากพ่อเดียวกันแต่ต่างแม่ (half sib famillies) จะมีพันธุกรรมเหมือนกันครึ่งหนึ่ง ความแปรปรวนของลักษณะที่เกิดขึ้นในกลุ่มจึงเป็นผลมาจากความแตกต่างของพันธุกรรมของแม่และสิ่งแวดล้อม ส่วนในกลุ่มลูกที่เกิดจากคนละพ่อจะมีพันธุกรรมแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ความแปรปรวนของลักษณะปรากฏที่เกิดขึ้นถือว่าเป็นผลจากพันธุกรรมของพ่อแต่ละตัวที่แตกต่างกัน และความแตกต่างระหว่างพันธุกรรมของแม่รวมกับผลจากสิ่งแวดล้อม (อุทัยรัตน์ ณ นคร, 2538) ซึ่งจากความสัมพันธ์ของ

ครอบครัวแบบต่าง ๆจะสามารถแยกและประมาณค่าความแปรปรวนที่มีผลเนื่องมาจากอำนาจของจีนแต่ละแบบได้โดยคิดในรูปของความแปรปรวนร่วมในลักษณะปรากฏระหว่างสมาชิกในครอบครัวแบบต่างๆ ซึ่งจะพบว่าความแปรปรวนร่วมในลักษณะปรากฏของครอบครัวแบบร่วมพ่อแต่ต่างแม่ ($Cov_{(hf)}$) จะมีค่าเท่ากับ 1/4 ของความแปรปรวนอันเกิดจากจีนบวกสะสม ($Cov_{(hf)}$ = $1/4V_A$) ในขณะที่ความแปรปรวนร่วมในลักษณะปรากฏของครอบครัวแบบร่วมพ่อ-แม่เดียวกัน ($Cov_{(fs)}$) จะมีค่าเท่ากับ 1/2 ของความแปรปรวนอันเกิดจากจีนบวกสะสมรวมกับ 1/4 ของความแปรปรวนอันเกิดจากจีนข่มและบวกด้วยความแปรปรวนอันเกิดจากสิ่งแวดล้อมร่วม (V_{EC}) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $Cov_{(fs)} = 1/2V_A+1/4V_D+V_{EC}$ (Falconer, 1989 ; สมชัย จันทร์สว่าง, 2530)

และเมื่อค่าความแปรปรวนของลักษณะปรากฏ (V_P) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของความแปรปรวนอันเกิดจากจีนบวกสะสม (V_A) จีนข่ม (V_D) และสิ่งแวดล้อม (V_E) เกิดจากความแปรปรวนเนื่องจากพ่อ (σ^2_s) รวมกับความแปรปรวนเนื่องจากแม่ (σ^2_d) และความแปรปรวนของลูกภายในครอบครัว (σ^2_w) ดังนั้น $V_A +V_D +V_{EC} +V_{EW} = \sigma^2_s+\sigma^2_d+\sigma^2_w$ และพบว่าค่า σ^2_s คือความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยของครอบครัวแบบร่วมพ่อแต่ต่างแม่ ดังนั้นจึงเท่ากับ $Cov_{(hf)}$ และเนื่องจากค่าความแปรปรวนของพ่อและแม่รวมกัน ($\sigma^2_s+\sigma^2_d$) มีค่าเท่ากับ $Cov_{(fs)}$ ดังนั้น σ^2_w จึงเท่ากับความแปรปรวนของลักษณะปรากฏลบด้วยความแปรปรวนร่วมในลักษณะปรากฏของครอบครัวแบบร่วมพ่อ-แม่ (V_p - $Cov_{(fs)}$) และค่า σ^2_d เท่ากับ ค่าความแปรปรวนของลักษณะปรากฏลบด้วยความแปรปรวนเนื่องจากพ่อและความแปรปรวนของลูกภายในครอบครัว (σ^2_t - σ^2_s -σ^2_w) จึงเท่ากับ $Cov_{(fs)}$ - $Cov_{(hf)}$ ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวความแปรปรวนแต่ละค่าจึงประกอบด้วยองค์ประกอบของความแปรปรวนทางพันธุกรรมดังตารางที่ 2 (Falconer, 1989) และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของ V_A ในการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมมีค่าเป็น 1 ดังนั้นในการคำนวณค่าอัตราพันธุกรรมเมื่อคิดจากความแปรปรวนของพ่อ (h^2_s) และความแปรปรวนเนื่องจากแม่ (h^2_d) จึงเท่ากับ $4Cov_{(hf)}$ และ $4[Cov_{(fs)}$ - $Cov_{(hf)}]$ และค่าอัตราพันธุกรรมเนื่องจากความแปรปรวนของพ่อและแม่รวมกัน (h^2_{s+d}) จึงเท่ากับ 2 $Cov_{(fs)}$ (Becker, 1992) ดังนั้นการคำนวณค่าอัตราพันธุกรรมจึงเป็นไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความแปรปรวนทางพันธุกรรมในการวิเคราะห์แบบเครือญาติ (Falconer, 1989)

observation component	covariance and causal components estimated	
sires :	$\sigma^2_s = Cov_{(hf)}$	$= (1/4)V_A$
dams :	$\sigma^2_d = Cov_{(fs)} - Cov_{(hf)}$	$= (1/4)V_A$
progenies :	$\sigma^2_w = V_p - Cov_{(fs)}$	$= (2/4)V_A + (3/4)V_D + V_{EC}$
total : $\sigma^2_t = \sigma^2_s + \sigma^2_d + \sigma^2_w =$	$\sigma^2_p = V_p$	$= V_A + V_D + V_{EC} + V_{EW}$
sires+dams :	$\sigma^2_s + \sigma^2_d = Cov_{(fs)}$	$= (2/4)V_A + (1/4)V_D + V_{EC}$

ตารางที่ 3 การประมาณค่าอัตราพันธุกรรม (Falconer, 1989)

famillies	estimates fo heritability	
half sibs	sire-component :	$h^2_s = 4Cov_{(hf)} = 4\sigma^2_s / \sigma^2_t$
	dam-component :	$h^2_d = 4(Cov_{(fs)} - Cov_{(hf)}) = 4\sigma^2_d / \sigma^2_t$
full sibs	dam+sire :	$h^2_{s+d} = 2Cov_{(fs)} = \{2(\sigma^2_s + \sigma^2_d)\} / \sigma^2_t$

ได้มีการศึกษาค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่างๆในกุ้งหลายชนิด เช่น Benzie, Kenway และ Trott (1997) ได้ศึกษาค่าอัตราพันธุกรรมของกุ้งกุลาดำที่อายุ 6 และ 10 สัปดาห์ โดยศึกษาลูกที่ได้จากการผสมเทียมใช้อัตราส่วนพ่อพันธุ์ต่อแม่พันธุ์เป็น 1:2 และเลี้ยงลูกกุ้งในกระชังขนาด 80x30x30 ซม.^{3} จำนวน 200 ตัวต่อกระชังต่อครอบครัว ทั้งหมด 36 ครอบครัว เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าความแปรปรวนระหว่างพ่อไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ความแปรปรวนระหว่างแม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อให้สามารถประมาณค่าอิทธิพลของพ่อต่อลักษณะการเติบโตของกุ้งกุลาดำได้จึงควรเพิ่มจำนวนพ่อพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งค่าอัตราพันธุกรรมของการเติบโตที่คำนวณได้มีค่าประมาณ 0.1 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของพ่อในทั้งสองช่วงอายุ และค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะความยาวรวมมีค่าเท่ากับ 0.59$\pm$0.3 0.3$\pm$0.11 และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.56$\pm$0.03 0.39$\pm$0.004 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของแม่ที่อายุ 6 และ 10 สัปดาห์ตามลำดับ ซึ่งอัตราพันธุกรรมเมื่อคิดจากความแปรปรวนของแม่มีค่าลดลงเมื่อลูกกุ้งอายุเพิ่มขึ้น แสดงถึงผลของ matheral effect ที่ลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมจึงมีผลต่อลักษณะการเติบโตอย่างมากในระยะแรกของช่วงชีวิตของกุ้งกุลาดำ

สำหรับในกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) ที่ศึกษาโดย Malecha, Masuno และ Onizuka (1984) ได้ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวจากการจัดแผนการผสมพันธุ์แบบ unbalance design โดยใช้แม่พันธุ์จำนวน 2 3 4 และ 5 ตัวต่อพ่อพันธุ์เพื่อผลิตลูกกุ้งทั้งหมด 50 ครอบครัว พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักที่อายุ 311 วัน ในลูกเพศผู้มีค่าเท่ากับ 0.189$\pm$0.189 -0.143$\pm$0.250 0.023$\pm$0.127 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของแม่ (h^2_d) พ่อ (h^2_s) และเมื่อคิดจากความแปรปรวนของของแม่และพ่อรวมกัน (h^2_{s+d}) ตามลำดับ และในลูกเพศเมียมีค่า 0.349$\pm$0.282 0.348$\pm$0.297 0.348$\pm$0.154 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของแม่ความแปรปรวนของพ่อและจากความแปรปรวนของแม่และพ่อรวมกัน ตามลำดับ ซึ่งค่าอัตราพันธุกรรมในแต่ละเพศมีค่าแตกต่างกันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของเซ็กซ์ลิงเกจ

นอกจากนี้ Meewan (1993) ยังได้ศึกษาค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะความยาวก้าม ความยาวลำตัว ความยาวเปลือกหัว น้ำหนักตัวและการเปลี่ยนสีก้ามในกุ้งเพศผู้ โดยศึกษาในลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากพ่อพันธุ์ 8 ตัว แต่ละตัวผสมกับแม่พันธุ์ 2 ตัว พบว่าค่า h^2_s ของลักษณะความยาวลำตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ โดย h^2_s ที่อายุ 15 17 19 21 23 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.000$\pm$0.072 0.071$\pm$0.111 0.186$\pm$0.168 0.148$\pm$0.145 0.204$\pm$0.141 ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ additive gene ที่เพิ่มขึ้นตามอายุ ในขณะที่ลักษณะน้ำหนักตัวมีค่า h^2_s เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 15-19 สัปดาห์และภายหลังจากอายุ 19 สัปดาห์ h^2_s มีค่าลดลง ซึ่งค่า h^2_s ที่อายุ 19 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.231$\pm$0.149 และค่า h^2_s ที่อายุ 23 สัปดาห์มีค่าเท่ากับ 0.095$\pm$0.078 ดังนั้น additive gene จึงมีอิทธิพลต่อน้ำหนักตัวลดลงเมื่อลูกกุ้งอายุตั้งแต่ 19 สัปดาห์ขึ้นไป และอัตราพันธุกรรมของลักษณะความยาวเปลือกหัวที่อายุ 23 สัปดาห์ พบว่า ค่า h^2_s เท่ากับ 0.397$\pm$0.219 ค่า h^2_d เท่ากับ 0.128$\pm$0.072 และในลักษณะการเปลี่ยนสีก้ามของลูกกุ้งเพศผู้จากสีส้มเป็นสีน้ำเงินที่อายุ 31 สัปดาห์ พบว่าค่า h^2_s เท่ากับ 0.000$\pm$0.039 และค่า h^2_d เท่ากับ 0.729$\pm$0.075 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของ additive gene มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนสีก้าม ในขณะที่ maternal effect และสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อลักษณะนี้อย่างมากและเพิ่มขึ้นตามอายุ ดังนั้นลักษณะของการเปลี่ยนสีก้ามจากสีส้มเป็นสีน้ำเงินในกุ้งเพศผู้จึงขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมมากกว่าจีน สำหรับค่าอัตราพันธุกรรมของความยาวก้าม พบว่ามีทิศทางการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากก้ามเป็นลักษณะที่เกิดการงอกใหม่ได้เมื่อเกิดความเสียหายหรือถูกทำลาย ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดค่าความยาวก้ามที่ถูกต้องและแน่นอนได้

Lutz และ Wolters (1989) ได้ศึกษาค่าอัตราพันธุกรรมของกุ้ง Red Swamp Crawfish (*Procambarus clarkii*) โดยการเลี้ยงแต่ละครอบครัวแยกจากกัน ใช้บ่อเลี้ยงครอบครัวละบ่อ พบว่าเมื่อเลี้ยงในบ่อได้ 150 วัน ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะน้ำหนักตัวมีค่า 0.08±0.2 และ 0.45±0.11 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของพ่อและจากความแปรปรวนของพ่อและแม่รวมกัน ตามลำดับ และสำหรับลักษณะเปอร์เซ็นต์ซากตกแต่งซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจของกุ้งชนิดนี้ พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมมีค่าเท่ากับ 0.38±0.31 และ 0.54±0.16 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของพ่อและจากความแปรปรวนของพ่อและแม่รวมกัน ตามลำดับ โดยค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะต่าง ๆในการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.38 เมื่อคิดจากความแปรปรวนของพ่อ และพบว่าสามารถปรับปรุงลักษณะเปอร์เซ็นต์ซากตกแต่งได้โดยใช้วิธีการคัดเลือกจากลักษณะที่มีความสัมพัทธ์ร่วมกับเปอร์เซ็นต์ซากตกแต่ง เช่น ความกว้าง-ยาวของเปลือกหัว ความกว้าง-ลึกของส่วนท้อง ซึ่งทำให้ไม่ต้องฆ่าสัตว์เพื่อวัดลักษณะที่ต้องการปรับปรุง

3.2 การวิเคราะห์รีเกรซชั่นของลักษณะในลูกต่อลักษณะในพ่อ-แม่

เป็นการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าอัตราพันธุกรรมโดยการบันทึกลักษณะของพ่อและแม่ ลักษณะของลูกจากพ่อและแม่ในแต่ละคู่แล้ว คำนวณสมการรีเกรซชั่นเส้นตรงโดยกำหนดให้ข้อมูลค่าเฉลี่ยของลูกเป็นตัวแปรตาม (dependent variable, Y) และสำหรับตัวแปรอิสระ (independent variable, X) คือ ข้อมูลค่าเฉลี่ยระหว่างพ่อ-แม่ หากความแปรปรวนทั้งสองเพศเท่ากันและใช้ข้อมูลของพ่อ-แม่แยกจากกันเมื่อความแปรปรวนของทั้งสองเพศไม่เท่ากัน ซึ่งค่าความลาดชัน (b) จากสมการรีเกรซชั่นเส้นตรง Y=a+bX จะเป็นตัวกำหนดค่าอัตราพันธุกรรมในกรณีเปรียบเทียบลูกกับพ่อ-แม่ ค่าอัตราพันธุกรรมจะเท่ากับ b และในกรณีที่ใช้ข้อมูลจากพ่อหรือแม่ฝ่ายเดียวค่าอัตราพันธุกรรมเท่ากับ 2b แต่การศึกษาโดยวิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ต้องเลี้ยงพ่อแม่และลูกในสภาพทดลองที่เหมือนกันมากที่สุด และเวลาที่ใช้วัดลักษณะรุ่นลูกต้องเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ใช้ในรุ่นพ่อแม่

3.3 การวิเคราะห์จากผลตอบสนองของการคัดเลือก

อัตราพันธุกรรมที่ศึกษาจากขบวนการคัดพันธุ์โดยใช้ผลตอบสนองของการคัดพันธุ์ (selection response, R) และความแตกต่างจากการคัดพันธุ์ (selection differential, S) เป็นค่าหลักในการคำนวณ ซึ่งอัตราพันธุกรรมจะเกิดจากอัตราส่วนของ R:S ตามสูตรดังนี้ h^2 = R/S ดังนั้นในขบวนการคัดพันธุ์สามารถศึกษาค่าตอบสนองต่อการคัดพันธุ์

ได้โดยการเพาะพันธุ์ประชากรที่ไม่ได้ผ่านการคัดเลือกและประชากรที่พ่อแม่พันธุ์ผ่านการคัดเลือก เลี้ยงเปรียบเทียบประชากรที่สองกลุ่มซึ่งความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากรคือ ค่า R ส่วนค่า S คำนวณได้โดยนำค่าเฉลี่ยของประชากรรุ่นที่คัดเลือกไว้หักลบกับค่าเฉลี่ยของประชากรก่อนการคัดเลือก ซึ่งอัตราพันธุกรรมที่คำนวณได้โดยวิธีนี้เรียกว่า อัตราพันธุกรรมประจักษ์ (realized heritability, h^2_R) การคำนวณโดยวิธีนี้สามารถดำเนินควบคู่ไปกับโปรแกรมการคัดพันธุ์ได้ แต่ค่าที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องของประชากรพื้นฐานในการคัดพันธุ์ เพราะในระหว่างดำเนินการอาจเกิดการผสมเลือดชิดหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม

ซึ่งการคำนวณโดยวิธีนี้ Wong และ McAndrew (1990) ได้นำมาใช้ในการศึกษาลักษณะความทนทานต่อน้ำจืดของลูกกุ้งวัยอ่อนในกุ้งน้ำจืดญี่ปุ่น (*Macrobranchium nipponse*) พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราพันธุกรรมประจักษ์ในแต่ละรุ่นมีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.065 ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะดำเนินการคัดเลือกพันธุ์เพื่อปรับปรุงให้กุ้งชนิดนี้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำจืดตลอดช่วงชีวิต ซึ่งเป็นการลดความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยง