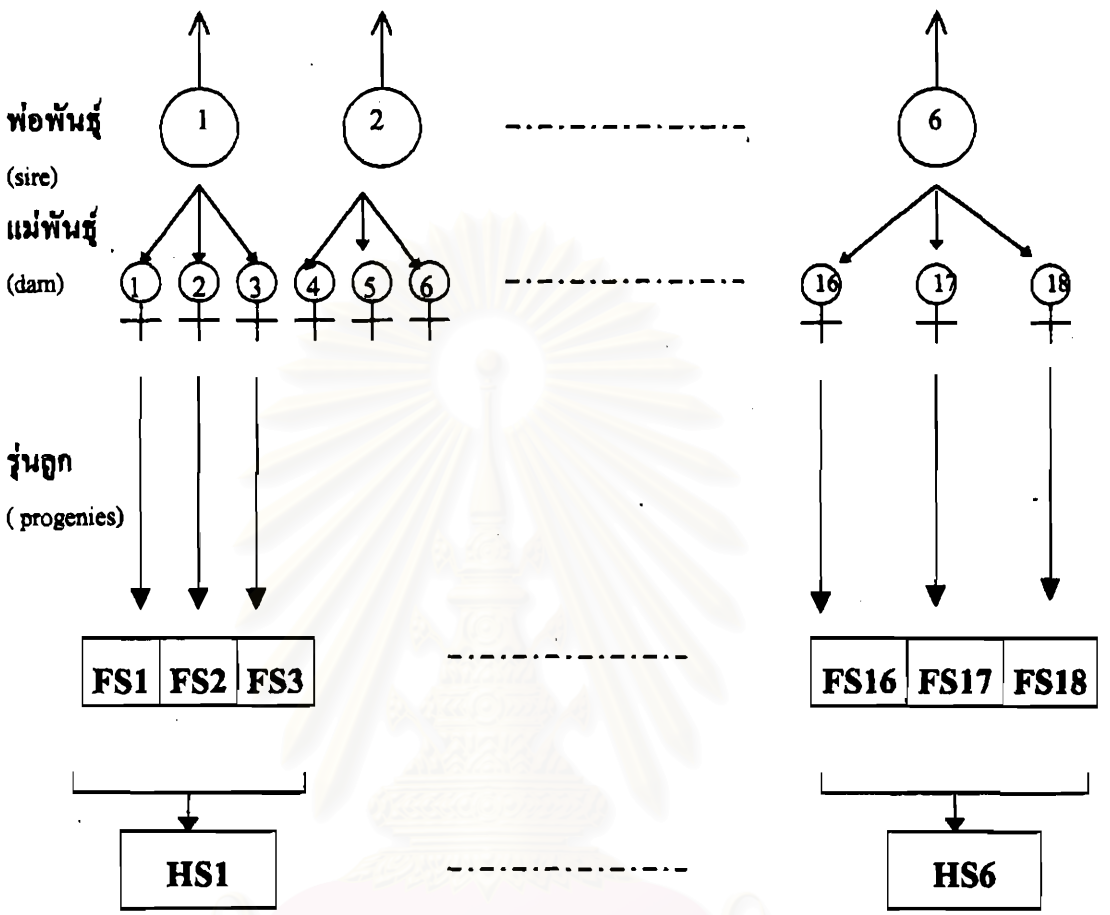
บทที่ 2

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

2.1 การเพาะพันธุ์หอยตะโกรมกรามดำ

การเพาะพันธุ์หอยตะโกรมกรามดำตามแผนการเพาะพันธุ์แบบ nested design (Becker, 1975) โดยสุ่มพ่อแม่พันธุ์หอยตะโกรมกรามดำจากประชากรแหล่งเดียวกันคือประชากรหอยตะโกรมกรามดำจาก ต. อ่างศิลา อ. เมือง จ. ชลบุรี แล้วนำมาผสมพันธุ์โดยใช้เทคนิคการผ่า (sacrification technique) เพื่อแยกเพศให้ได้เพศผู้จำนวน 6 ตัวและเพศเมียจำนวน 18 ตัวในการเพาะพันธุ์แยกเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เพศเมียใส่ภาชนะตัวละใบหลังจากนั้นสุ่มทั้งสเปิร์มและไข่ผสมกันด้วยอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมีย 1:3 ในขั้นตอนการเพาะพันธุ์ต้องคอยระวังเพื่อมิให้เกิดการปนเปื้อนของไข่และสเปิร์มผิดไปจากแผนที่วางไว้ (รูปที่ 5) ทำการเพาะพันธุ์เช่นนี้จำนวน 2 ชุดโดยชุดที่ 1 เพาะพันธุ์ในวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2539 และชุดที่ 2 เพาะพันธุ์ในวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2539 ซึ่งวิธีการการเพาะพันธุ์จะเหมือนกับที่ทำการเพาะพันธุ์ครั้งแรก แต่การอนุบาลลูกหอยระยะวัยอ่อนในแต่ละชุดจะใช้ถังอนุบาลที่มีขนาดต่างกันกล่าวคือในการเพาะพันธุ์ชุดที่ 1 ใช้ถังอนุบาลขนาดถัง 100 ลิตร ส่วนการเพาะพันธุ์ชุดที่ 2 ใช้ถังอนุบาลขนาด 25 ลิตร ดังนั้นหอยตะโกรมกรามดำที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้จึงมีทั้งหมด 2 ชุด (ในการศึกษาการเติบโตของหอยตะโกรมกรามดำระยะตัวอ่อนโดยสุ่มตัวอย่างจากที่ทำการเพาะพันธุ์ชุดที่ 1 ในช่วงเปลี่ยนถ่ายน้ำในครอบครัวที่มีลูกหอยมากพอ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



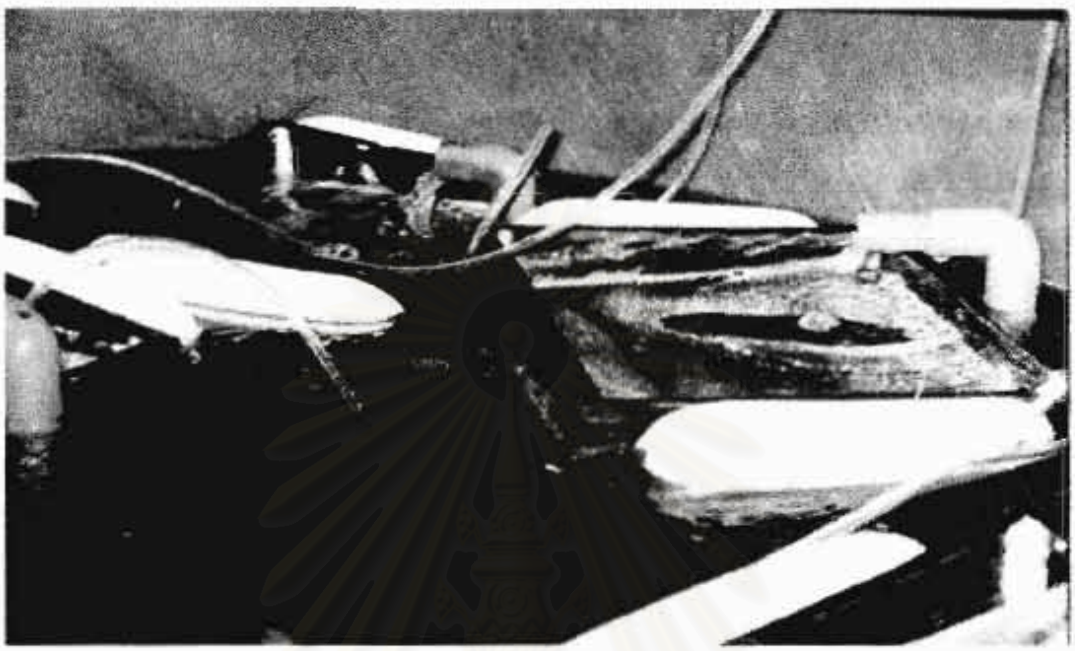
รูปที่ 5 แผนภาพการเพาะพันธุ์หอยตะโกรมกรามดำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

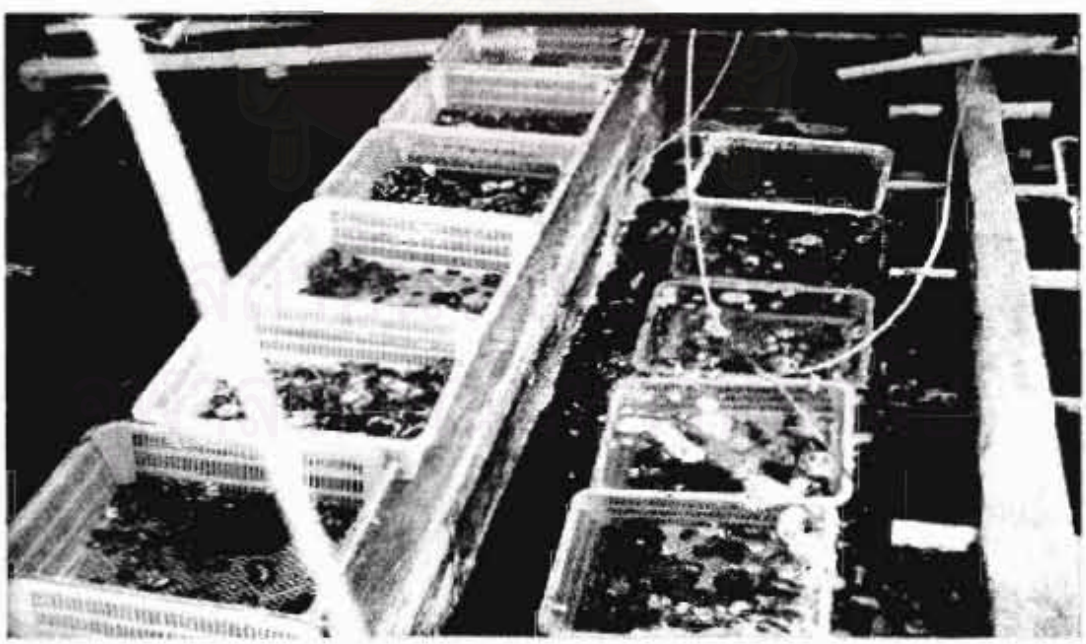
2.2 การอนุบาลลูกหอยตะโกรมกรามดำระยะตัวอ่อนและวัยเกล็ด

ลูกหอยตะโกรมกรามดำที่มีอายุ 5-6 ชั่วโมง มีลักษณะทรงกลมและผิวขรุขระ เคลื่อนที่ไปมาโดยใช้ซิเลีย (cilia) เล็ก ๆ เรียกระยะนี้ว่า "trochophore larvae" เมื่อมีอายุประมาณ 8 ชั่วโมง เริ่มให้สาหร่าย *Isochrysis galbana* เป็นอาหาร อายุ 16-18 ชั่วโมงเข้าสู่ระยะที่มีรูปร่างคล้ายตัว D จึงเรียกระยะนี้ว่าระยะ "D-shape larvae" เมื่อลูกหอยอายุได้ 5-7 วันส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์มองเห็นอัมโบชัดเจนเรียกระยะนี้ว่า "umbo stage" ก่อนที่ลูกหอยตะโกรมกรามดำจะลงเกาะนั้นมีลักษณะที่สังเกตได้คือเริ่มพบ eye spots เรียกลูกหอยระยะนี้ว่า"eye larvae" หลังจากนั้นอีกประมาณ 3-4 วัน ลูกหอยก็พร้อมลงเกาะ ในลูกหอยตะโกรมกรามดำตัวอ่อนอาหารที่ให้คือ *I. galbana* เป็นอาหารและเมื่อลูกหอยเข้าสู่ระยะ umbo เริ่มให้ *Chaetoceros sp.* ในการอนุบาลหอยตะโกรมกรามดำตัวอ่อนนั้นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 2 วัน และควบคุมความเค็มไว้ที่ประมาณ 25-28 ppt.

การตรวจสภาพความพร้อมของลูกหอยตะโกรมกรามดำระยะตัวอ่อนในการลงเกาะนั้น ดำเนินการโดยสุ่มลูกหอยแล้วนำมาตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์เมื่อพบว่าเริ่มมีเท้าคืบคลานไปตามพื้นผิวสไลด์แสดงว่าพร้อมในการลงเกาะ ปกติลูกหอยนางรมมีความพร้อมที่จะลงเกาะเมื่อพ้นระยะ eye larvae ไปแล้วประมาณ 3-5 วัน วัสดุสำหรับการลงเกาะของลูกหอยคือเปลือกหอยนางรมป่น (oyster chip) ที่มีขนาดประมาณ 200-500 ไมครอนโดยนำใส่ในกระบะไม้ขนาดประมาณ 18x22 ตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นนำลูกหอยที่พร้อมจะลงเกาะใส่ลงในกระบะและทำเบอร์ผูกติดข้างกระบะเพื่อให้รู้ว่าเป็นลูกหอยครอบครัวใด (รูปที่ 6) การให้อาหารลูกหอยในระยะนี้ทำได้โดยการเทสาหร่ายลงภายในกระบะ แต่หลังจากลูกหอยตะโกรมกรามดำลงเกาะที่เปลือกหอยนางรมป่นหมดแล้ว (หลังจากลงเกาะประมาณ 3 วัน) สามารถเทสาหร่ายลงในถังได้โดยตรง ซึ่งลูกหอยได้รับอาหารจากระบบปั๊มน้ำให้เข้ามาในกระบะไม้โดยใช้อากาศ (air lift system) จึงสามารถให้สาหร่ายในปริมาณที่มากพอ (สังเกตุจากสีน้ำมีสีออกน้ำตาลอ่อน ๆ) เมื่อลูกหอยอายุประมาณ 30 วันและมีขนาดโตมากกว่า 5 มิลลิเมตรจะคัดขนาดของลูกหอยตะโกรมกรามดำในแต่ละครอบครัวแล้วนำมาอนุบาลในตะกร้าพลาสติกขนาด 20x30 ตารางเซนติเมตร ที่วางอยู่ในระบบรางน้ำไหล (รูปที่ 7) ซึ่งลูกหอยจะได้รับอาหารจากน้ำทะเลธรรมชาติและมีการให้สาหร่ายเซลล์เดียวเป็นอาหารเสริม



รูปที่ 6 การอนุบาลหอยตะโกรมกรามคำในระยะลงเกาะ



รูปที่ 7 การอนุบาลหอยตะโกรมกรามคำในระยะวัยเกล็ดในระบบรางน้ำไหล

2.3 การติดเบอร์และการเลี้ยงหอยตะโกรมกรามดำที่สภาพแวดล้อมต่างกัน

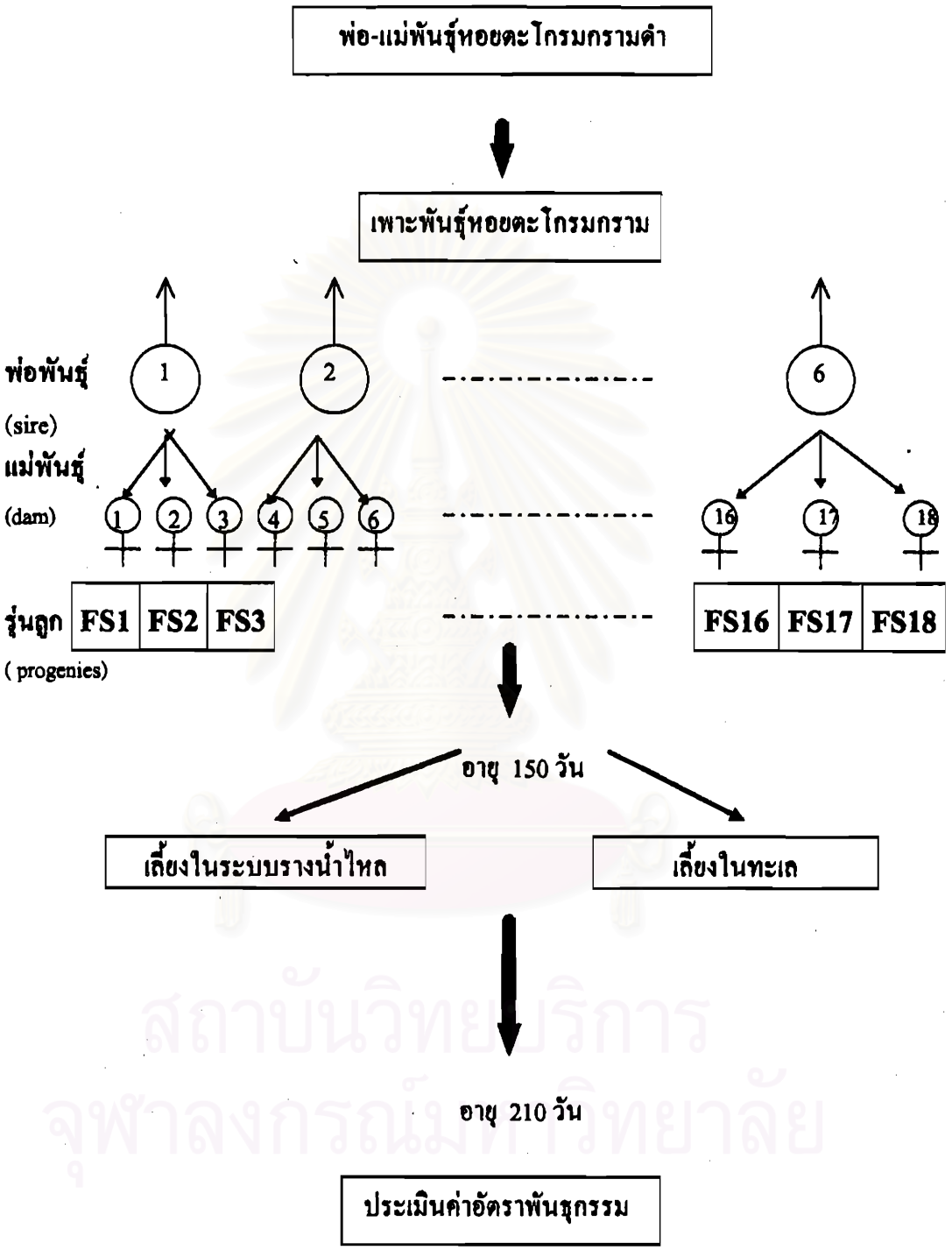
หอยตะโกรมกรามดำแต่ละครอบครัวถูกนำมาเลี้ยงแยกไว้ในตะกร้าพลาสติกขนาดประมาณ 20x30 ตารางเซนติเมตร ที่วางอยู่ในระบบรางน้ำไหล เมื่อลูกหอยระยะวัยเกล็ดมีขนาดความยาวเปลือกประมาณ 1.5 เซนติเมตร จึงเริ่มติดเบอร์เป็นรายตัวด้วยอักษรนูนพลาสติก (dymo tape) ที่เปลือกด้านขวาโดยใช้กาวซีเมนต์ (underwater bond E830) ติดเบอร์โดยกำหนดให้แต่ละครอบครัวมีเบอร์และสีที่ไม่ซ้ำกัน

หอยตะโกรมกรามดำที่ติดเบอร์แล้วบันทึกการเติบโตในแต่ละครอบครัว โดยการวัดความกว้างและความยาวเปลือก (ความยาวจะวัดจากปลาย umbo ไปจนสุดความยาวลำตัวส่วนความกว้างวัดให้ตั้งฉากกับความยาวของเปลือกในส่วนที่กว้างที่สุดของลำตัว) หลังจากนั้นแบ่งถูกหอยเพื่อเลี้ยงตามแผนผังการทดลองดังรูปที่ 8 โดยแบ่งออกเป็น

2.3.1 <u>ชุดที่ 1</u> ; เลี้ยงหอยตะโกรมกรามดำรวมกันในถุงอวนตาข่าย (ตามวิธีของเผดิมศักดิ์ จารยะพันธุ์ และคณะ, 2534) ขนาด 40x40 ตารางเซนติเมตร โดยเลี้ยงในระบบรางน้ำไหลซึ่งมีขนาด 30x30x60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำทะเลไหลผ่านบ่อเลี้ยงตลอดเวลา (ดังรูปที่ 9 และ 10) ที่สถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อ.เมือง จ.ชลบุรี โดยเลี้ยงรวมกันทุกครอบครัวที่ความหนาแน่น 80 ตัวต่อถุงอวน จำนวน 12 ซ้ำ (ในการทดลองกำหนดให้มีจำนวน 12 ซ้ำ เนื่องจากต้องการกระจายลูกหอยให้ครบทุกครอบครัวที่เพื่อใส่ลงในถุงอวน)

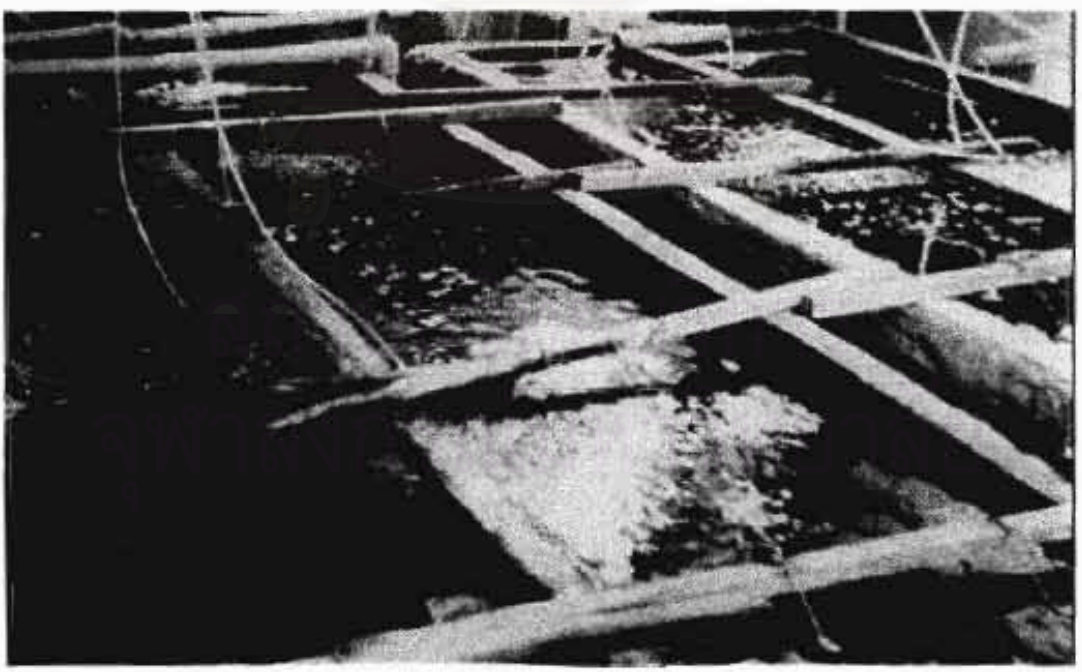
2.3.2 <u>ชุดที่ 2</u> ; เลี้ยงหอยตะโกรมกรามดำรวมกันในถุงอวนตาข่าย เช่นเดียวกับชุดที่ 1 โดยแขวนเลี้ยงที่รางเหล็กในทะเล ที่ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง อ่าวบ้านดอน อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี (ดังรูปที่ 11 และ 12) โดยเลี้ยงที่ความความหนาแน่น 80 ตัวต่อถุงอวน จำนวน 12 ซ้ำ เช่นเดียวกับชุดที่เลี้ยงในระบบรางน้ำไหล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



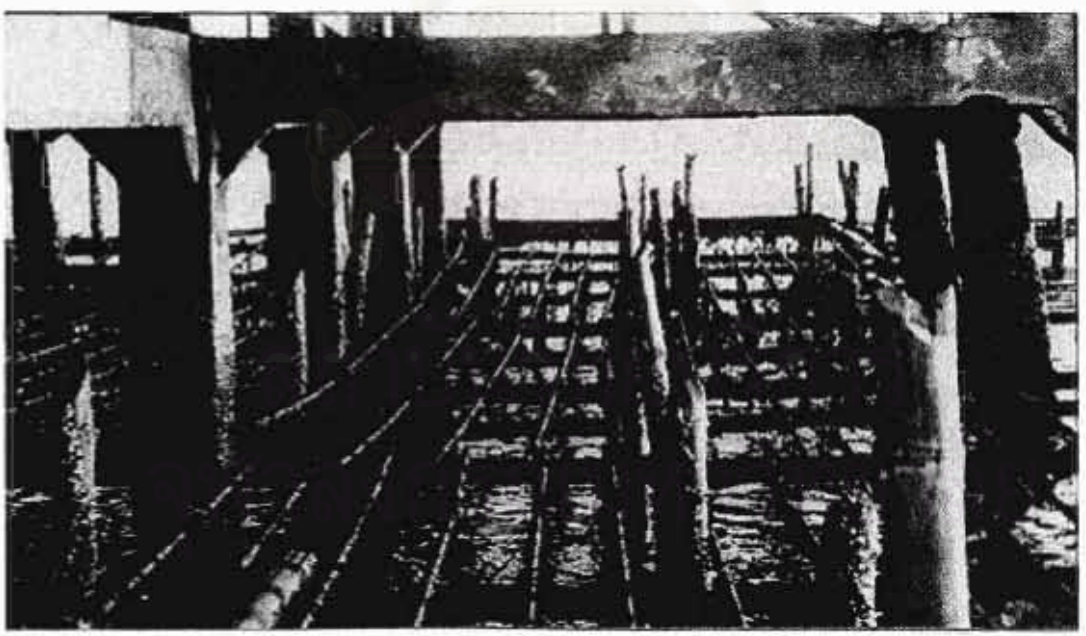
รูปที่ 8 แผนผังการทดลองเลี้ยงหอยตะโกรมกรามดำโดยวิธี sib analysis

รูปที่ 9 การเลี้ยงหอยตะโกรมกรามคำในถุงอวนตาข่าย



รูปที่ 10 การเลี้ยงหอยตะโกรมกรามคำในระบบรางน้ำไหล

รูปที่ 11 แหล่งเลี้ยงหอยนางรมในบริเวณพื้นที่รอบๆ ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง อ. กาญจนดิษฐ์ จ. สุราษฎร์ธานี



รูปที่ 12 บริเวณเลี้ยงหอยตะโกรมกรามคำ

2.4 ลักษณะที่ทำการศึกษา

ในระหว่างการทดลองตั้งแต่เพาะพันธุ์หอยตะโกรมกรามดำจนถึงระยะตัวโตเต็มวัย แบ่งลักษณะที่ทำการศึกษาออกได้ดังนี้

(1) การศึกษาในระยะตัวอ่อน : สุ่มเก็บตัวอย่างลูกหอยนางรมตัวอ่อนในระยะ umbo และ ระยะ eye larvae (ก่อนลงเกาะ) เพื่อบันทึกข้อมูลการเติบโตโดยวัดความกว้างและความยาวเปลือก นับจำนวนตัวอ่อนแต่ละครอบครัวในแต่ระยะที่สุ่มตัวอย่างเพื่อคำนวณหาอัตราการรอดในระยะก่อนลงเกาะของหอยตะโกรมกรามดำตัวอ่อน

(2) การศึกษาในระยะวัยเกล็ด : สุ่มเก็บตัวอย่างลูกหอยตะโกรมกรามดำวัยเกล็ดมีอายุได้ 30 , 60 วัน และ 110 วัน (ติดเบอร์แก้ว) เพื่อบันทึกข้อมูลการเติบโตในแต่ละครอบครัวโดยวัดความกว้างและความยาวเปลือกของหอยตะโกรมกรามดำวัยเกล็ดก่อนเลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

(3) การศึกษาในระยะตัวเต็มวัย : บันทึกข้อมูลการเติบโตโดยการวัดความกว้าง-ความยาวเปลือกของหอยตะโกรมกรามดำที่ติดเบอร์ที่อายุ 150 , 180 และ 210 วัน และคำนวณหาอัตราการรอดในแต่ละครอบครัวของหอยตะโกรมกรามดำที่อายุ 210 วัน ที่เลี้ยงในระบบรางน้ำไหลและเลี้ยงในทะเล

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.5.1 การเปรียบเทียบอิทธิพลของระยะเวลาที่มีต่อการเติบโต

ในการทดลองเนื่องจากมีของระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องจึงมีการวิเคราะห์อิทธิพลของเวลาที่มีต่อการเติบโต เพราะถ้าหอยตะโกรมกรามดำในประชากรกลุ่มเดียวกันแต่มีอายุมากกว่าเมื่อเปรียบการเติบโตในเวลาเดียวกันค่าเฉลี่ยของการเติบโตของชุด 1 ก็น่าจะมากกว่า ชุด 2 โดยกำหนดให้

ชุด 1 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_1

ชุด 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ μ_2

นั้นคือ การวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม SYSTAT version 5.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ t-test แบบทางเดียว ($\mu_1 > \mu_2$) ถ้าผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ก็สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลรวมกันได้ไม่ต้องมีการหาค่าแก้ไข (correction facter)

2.5.2 การประเมินค่าอัตราพันธุกรรม

เนื่องจากหอยตะโกรมกรามดำสามารถผลิตลูกพันธุ์ได้คราวละมาก ๆ และพ่อพันธุ์หอยตะโกรมกรามดำ 1 ตัว ยังผสมกับแม่พันธุ์หอยตะโกรมกรามดำได้มากกว่า 1 ตัว การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมโดยการวิธี sib analysis จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม แต่เนื่องจากหอยตะโกรมกรามดำในระยะวัยอ่อนและวัยเกล็ดมีจำนวน 2 ชุดและในการอนุบาลโดยการเลี้ยงแยกแต่ละครอบครัวดังนั้นจึงประเมินค่าอัตราพันธุกันแยกจากกัน แบบจำลองทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในหอยตะโกรมกรามดำระยะวัยอ่อนและวัยเกล็ดเขียนแทนได้ดังนี้ (Becker, 1967)

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + D_{ij} + \lambda_{ijk} \qquad 2.1$$

ส่วนแบบหุ่นจำลองทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในหอยตะโกรมกรามตัวเต็มวัยที่เลี้ยงในถุงอวนตาข่ายซึ่งมีผลของจำนวนซ้ำเข้ามาร่วมในแบบจำลองทางสถิตินั้น เขียนแทนได้ดังนี้ (ดัดแปลงจาก Sokal และ Rohlf, 1981)

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + S_{ij} + D_{ijk} + I_{ijkl} \qquad 2.2$$

ซึ่งความหมายของแบบหุ่นจำลองทางสถิติจาก 2.2 นั้นจะคล้ายกับแบบหุ่นจำลองทางสถิติจาก 2.1 แต่ต่างกันคือค่าของการสังเกตใน 2.2 รวมอิทธิพลของจำนวนซ้ำ (R_i) เข้ามาร่วมด้วย

ในการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปเป็นตารางได้ดังนี้ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเครือญาติ

แหล่ง	$d.f.$	SS	MS	EMS
ระหว่างพ่อพันธุ์	$S-1$	SS_S	$MS_S = SS_S/S-1$	$\sigma_W^2 + k_2\sigma_D^2 + k_3\sigma_S^2$
ระหว่างแม่พันธุ์	$D-S$	SS_D	$MS_D = SS_D/D-S$	$\sigma_W^2 + k_1\sigma_D^2$
ระหว่างลูกภายในแม่	$n_{..}-D$	SS_W	$MS_W = SS_W/n_{..}-D$	σ_W^2
ทั้งหมด	$n_{..}-1$	SS_T	$MS_T = SS_T/n_{..}-1$	σ_T^2

จากตารางสามารถหาค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

(1) การหาค่าสัมประสิทธ์องค์ประกอบของความแปรปรวน k_1, k_2และ k_3 กรณีของลูกต่อแม่ไม่เท่ากัน (ดัดแปลงจาก Sokal and Rohlf, 1981)

$$1.1\ \sum^{S}\sum^{D} n_{ijj} = a \qquad 2.3$$

$$1.2\ \sum^{S}\sum^{D} n_{ij}^2 = b \qquad 2.4$$

$$1.3\ \sum^{S}(\sum^{D} n_{ij})^2 = c \qquad 2.5$$

$$1.4\ \sum^{S}(\sum^{D} n_{ij}^2 / \sum^{D} n_{ij}) = d \qquad 2.6$$

ซึ่ง

$$k_1 = (a-d)/(D-S)$$

$$k_2 = \frac{\left[d - b/a\right]}{S-1} \qquad 2.7$$

$$k_3 = \frac{\left[a - c/a\right]}{S-1}$$

(2) $$SS_S = \sum_i \frac{Y_{i..}^2}{n_{i..}} - \frac{Y_{...}^2}{n_{...}} \qquad 2.8$$

(3) $$SS_D = \sum_i \sum_j \frac{Y_{ij.}^2}{n_{ij.}} - \sum_i \frac{Y_{i..}^2}{n_{i..}} \qquad 2.9$$

(4) $$SS_w = \sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - \sum_i \sum_j \frac{Y_{ij.}^2}{n_{ij.}} \qquad 2.10$$

(5) $$SS_T = \sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n_{...}} \qquad 2.11$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 17162397

สำหรับการประเมินค่าอัตราพันธุกรรมสามารถคำนวณจากส่วนประกอบของวาเหรียนซ์จากตาราง ANOVA ได้ดังนี้

$$\sigma_w^2 = MS_w \qquad 2.12$$

$$\sigma_D^2 = \frac{MS_D - \sigma_w^2}{k_1} \qquad 2.13$$

$$\sigma_S^2 = \frac{MS_D - \sigma_w^2 - k_2\sigma_D^2}{k_3} \qquad 2.14$$

ซึ่ง $\sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_D^2 + \sigma_S^2$ 2.15

ซึ่งค่าอัตราพันธุกรรม : h^2 คำนวณได้จากส่วนประกอบของวาเหรียนซ์ (Falconer, 1989) ตามสมการ 1.9, 1.10 และ 1.11 (บทที่ 1)

ส่วนค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ของค่าอัตราพันธุกรรมคำนวณ (Becker, 1967) ได้ดังนี้

$$S.E.\left(h_S^2\right) = \frac{4\sqrt{V\left(\sigma_S^2\right)}}{\sigma_T^2} \qquad 2.16$$

$$S.E.\left(h_D^2\right) = \frac{4\sqrt{V\left(\sigma_D^2\right)}}{\sigma_T^2} \qquad 2.17$$

และ $S.E.\left(h_{S+D}^2\right) = \frac{2\sqrt{V\left(\sigma_S^2\right)+V\left(\sigma_D^2\right)+2COV\left(\sigma_S^2\sigma_D^2\right)}}{\sigma_T^2}$ 2.18

เมื่อ $V\left(\sigma_S^2\right) = \frac{2}{k_3^2}\left[\frac{MS_S^2}{d.f._S+2} + \frac{MS_D^2}{d.f._D+2}\right]$ 2.19

$$V\left(\sigma_D^2\right) = \frac{2}{k_1^2}\left[\frac{MS_D^2}{d.f._D+2} + \frac{MS_w^2}{d.f._w+2}\right] \qquad 2.20$$

$$V(\sigma_w^2) = \frac{2MS_w^2}{d.f._w+2} \qquad 2.21$$

และ $$COV(\sigma_S^2\sigma_D^2) = -\frac{k_1}{k_3}\left[\frac{V(\sigma_w^2) - k_1^2 V(\sigma_D^2)}{k_1 k_3}\right] \qquad 2.22$$

การประเมินค่าอัตราพันธุกรรมในหอยตะโกรมกรามดำระยะตัวเต็มวัยคล้ายกับในระยะตัวอ่อนและระยะวัยเกล็ดแต่จะเพิ่มอิทธิพลของการเลี้ยงในถุงอวน(จำนวนซ้ำ) เข้ามาเกี่ยวข้องในการคำนวณ ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นจึงมีการทดสอบผลของจำนวนซ้ำที่มีต่อการเติบโตของหอยตะโกรมกรามดำก่อนที่จะประเมินค่าต่าง ๆ เช่น ค่าอัตราพันธุกรรมหรือค่าสหสัมพันธ์ เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม SYSTAT version 5.1 ถ้าพบว่าในระหว่างจำนวนซ้ำไม่มีความแตกต่างกัน ในรูปแบบการคำนวณจะไม่คิดผลความผิดพลาดเนื่องจากจำนวนซ้ำ ส่วนเวลาเพาะพันธุ์นั้นไม่นำเข้ามาร่วมในการคำนวณเพราะหอยตะโกรมกรามดำทุกครอบครัวล้วนอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันความผิดผลาดที่เกิดขึ้นจึงสมมติฐานให้เป็นแบบสุ่มและไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากเวลาเพาะพันธุ์ที่ต่างกัน

2.5.3 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างความกว้างกับความยาว

ในการวิเคราะห์ค่าสหพันธ์ทางพันธุกรรมจะเป็นการวิเคราะห์ variance และ covariance ของสองลักษณะพร้อมกัน คือ ความกว้างและความยาวของเปลือกหอยตะโกรมกรามดำ การวิเคราะห์ข้อมูลสรุปเป็นตารางได้ดังนี้ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลของค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม (Becker, 1967)

แหล่ง	$d.f.$	SCP	MCP	$EMCP$
ระหว่างพ่อพันธุ์	$S-1$	SCP_S	$MCP_S = SCP_S/S-1$	$\mathrm{cov}_W + k_2\,\mathrm{cov}_D + k_3\,\mathrm{cov}_S$
ระหว่างแม่พันธุ์	$D-S$	SCP_D	$MCP_D = SCP_D/D-S$	$\mathrm{cov}_W + k_1\,\mathrm{cov}_D$
ระหว่างลูกภายในแม่	$n_{..}-D$	SCP_W	$MCP_W = SCP_W/n_{..}-D$	cov_W

สำหรับค่า k_1, k_2 และ k_3 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนการคำนวณเช่นเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนในการประเมินค่าอัตราพันธุกรรม

ซึ่งค่าผลรวมกำลังสองของลักษณะ X และ ลักษณะ Y สามารถคำนวณได้ดังนี้

(1) $$SCP_S = \sum_i \frac{X_{i..} Y_{i..}}{n_{i..}} - \frac{(X...)(Y...)}{n...} \qquad 2.23$$

(2) $$SCP_D = \sum_i \sum_j \frac{X_{ij.} Y_{ij.}}{n_{ij.}} - \sum_i \frac{X_{i..} Y_{i..}}{n_{i.}} \qquad 2.24$$

(3) $$SCP_W = \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk} Y_{ijk} - \sum_i \sum_j \frac{X_{ij.} Y_{ij.}}{n_{ij.}} \qquad 2.25$$

(4) $$SCP_t = \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk} Y_{ijk} - \frac{(X_{...})(Y_{...})}{n_{...}} \qquad 2.26$$

ส่วนประกอบของโควาเหรียนซ์ที่ใช้ในการคำนวณค่าสหสัมพันธ์มีวิธีคำนวณคล้ายกับวิธีการประเมินอัตราพันธุกรรม

คำนวณค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมจากการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างเครือญาติได้ 3 แบบ (Becker, 1975)

1. คำนวณจากส่วนประกอบของวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของพ่อพันธุ์

$$r_G = \frac{4 \operatorname{cov}_S}{\sqrt{4\sigma^2_{S(X)}}\sqrt{4\sigma^2_{S(Y)}}} \qquad 2.27$$

2. คำนวณจากส่วนประกอบของวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของแม่พันธุ์

$$r_G = \frac{4 \operatorname{cov}_D}{\sqrt{4\sigma^2_{D(X)}}\sqrt{4\sigma^2_{D(Y)}}} \qquad 2.28$$

3. คำนวณจากผลรวมของส่วนประกอบวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์

$$r_G = \frac{\text{cov}_S + \text{cov}_D}{\sqrt{\sigma^2_{S(X)} + \sigma^2_{D(X)}}\sqrt{\sigma^2_{S(Y)} + \sigma^2_{D(Y)}}} \qquad 2.29$$

ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณสหสัมพันธ์ทางสภาพแวดล้อมได้ 3 วิธี คือ

1. คำนวณจากผลรวมของส่วนประกอบวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของพ่อพันธุ์

$$r_E = \frac{\text{cov}_W - 2\,\text{cov}_S}{\sqrt{\sigma^2_{W(X)} - 2\sigma^2_{S(X)}}\sqrt{\sigma^2_{W(Y)} - 2\sigma^2_{S(Y)}}} \qquad 2.30$$

2. คำนวณจากผลรวมของส่วนประกอบวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของแม่พันธุ์

$$r_E = \frac{\text{cov}_W - 2\,\text{cov}_D}{\sqrt{\sigma^2_{W(X)} - 2\sigma^2_{D(X)}}\sqrt{\sigma^2_{W(Y)} - 2\sigma^2_{D(Y)}}} \qquad 2.31$$

3. คำนวณจากผลรวมของส่วนประกอบวาเหรียนซ์และโควาเหรียนซ์ของพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์

$$r_E = \frac{\text{cov}_W + \text{cov}_S - 3\,\text{cov}_D}{\sqrt{\left(\sigma^2_{W(X)} + \sigma^2_{S(X)} - 3\sigma^2_{D(X)}\right)\left(\sigma^2_{W(Y)} + \sigma^2_{S(Y)} - 3\sigma^2_{D(Y)}\right)}} \qquad 2.32$$

2.5.4 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะความกว้างและความยาวเปลือกในหอยตะโกรมกรามดำที่เลี้ยงในระบบรางน้ำไหลและในทะเล

สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างการเติบโตของหอยตะโกรมกรามดำที่เลี้ยงในระบบรางน้ำไหลและเลี้ยงในทะเล ใช้ค่าเฉลี่ยของความกว้างและความยาวเปลือกของหอยตะโกรมกรามดำในแต่ละครอบครัว คำนวณค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะความกว้างหรือความยาวเปลือกที่ปรากฏได้ โดยใช้โปรแกรม SYSTAT version 5.1

ซึ่งสรุปเป็นสมการได้ดังนี้ (ดัดแปลงจาก Sokal และ Rohlf, 1981) โดยที่ X เป็นลักษณะที่ปรากฏแต่เลี้ยงในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

$$r_{E_{1(x)}E_{2(x)}} = \frac{\sum E_{1(x)}E_{2(x)}}{\sqrt{\sum E_{1(x)}^2 E_{2(x)}^2}} \qquad 2.33$$

ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะที่ปรากฏในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน สามารถคำนวณได้ดังนี้ (ดัดแปลงจาก Sokal และ Rohlf, 1981)

$$S.E._{E_1E_2} = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \qquad 2.34$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย