บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีชื่อเรียกภาษาอังกฤษทั่วไปว่า Giant Tiger Prawn มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus monodon* จัดเป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่ โดยจัดอยู่ในกลุ่มตามหลักวิทยาศาสตร์ได้ดังรูปที่ 1

Phylum Arthropoda
Subphylum Crustacea
Class Malacostraca
Order Decapoda
Superfamily Penaeoidea
Family Penaeidae Rafinesque, 1815
Genus Penaeus Fabricius, 1798
Subgenus Penaeus
Species monodon

รูปที่ 1 การจัดอนุกรมวิธานของกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon*, Fabricius, 1798
(ที่มา : Brusca and Brusca, 1990)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง มีเปลือกหุ้มตัวอยู่ภายนอก เป็นกุ้งขนาดใหญ่ที่มีสีแดงถึงแดงคล้ำ ถ้าจับจากทะเลลึกใหม่ๆจะเห็นสีแดงสดและมีวงแหวนสีขาวสลับดำ ในแต่ละปล้องตลอดลำตัว หนวดจะมีสีเทาปนเขียวหรือน้ำตาล ระยางค์มักจะมีสีน้ำตาลและมีขนสีแดงอยู่โดยรอบ อย่างไรก็ตามสีของกุ้งสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมและการปรับตัว เช่น มักจะพบว่ากุ้งในเขตน้ำกร่อยที่ไม่ลึกมากมีสีน้ำตาลเข้ม หรือกุ้งที่เลี้ยงในบ่อมีสีจางซีด นอกจากนี้สีของกุ้งจะเปลี่ยนแปลงตามระยะการลอกคราบด้วย จะเห็นว่ากุ้งที่ลอกคราบใหม่ๆสีจะซีดไม่สดใส หรือกุ้งที่กำลังลอกคราบสีก็จะจางลงกว่าปกติ เป็นต้น

ลักษณะลำตัวกุ้งจะเป็นข้อปล้องรวม 19 ปล้อง แต่ละปล้องมีระยางค์หนึ่งคู่ มีหน้าที่เฉพาะออกไป โดยสามารถแบ่งลำตัวกุ้งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนหัว ส่วนอก และส่วนท้อง โดยส่วนหัว

และส่วนอก 2 ส่วนนี้จะรวมเป็นส่วนเดียวกันอยู่ภายใต้เปลือกคลุมหัว (โดยทั่วไปเรียกรวมๆ ว่าส่วนหัว) ซึ่งมีอวัยวะภายในต่างๆเรียงตัวกันอยู่

2.1.1.1 ระยางค์ที่ส่วนหัว มี 5 คู่ประกอบด้วย

2.1.1.1.1 หนวดคู่สั้น (antennule) มีปลาย 2 แฉก มีหน้าที่ทำความสะอาดตา

2.1.1.1.2 หนวดคู่ยาว (antenna) ซึ่งใช้สัมผัสรับความรู้สึกหาทิศทางในการว่ายน้ำและช่วยในการหาอาหารด้วย

2.1.1.1.3 ระยางค์ส่วนปาก ขากรรไกรบน ล่างใช้ขบเคี้ยว บดอาหารมีรวม 3 คู่

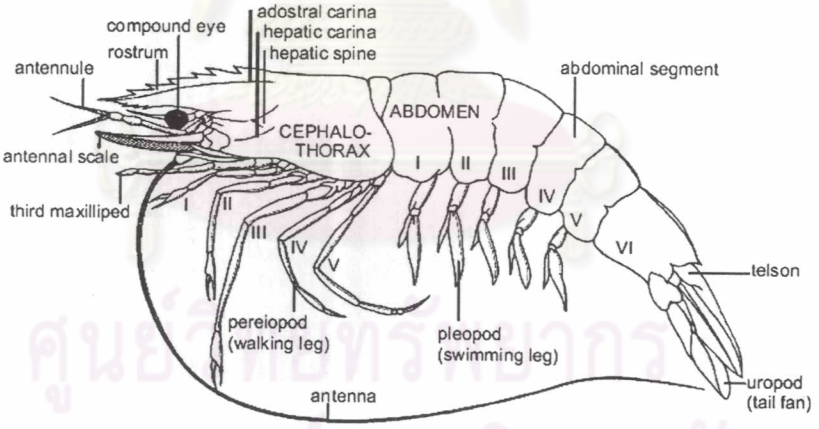
2.1.1.2 ระยางค์ส่วนอกมี 8 คู่ประกอบด้วย

2.1.1.2.1 แมกซิลิเปต (maxillipeds) 3 คู่แรก ทำหน้าที่ช่วยในการจับและกินอาหาร

2.1.1.2.2 ขาเดิน หรือเพอริโอพอด (periopods) มี 5 คู่ ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่และต่อสู้การป้องกันตัว ใช้ขาเดิน 3 คู่แรก ปล้องส่วนปลายจะมีลักษณะเป็นก้าม ส่วน 2 คู่หลังมีปลายแหลมตามปกติ

2.1.1.3 ระยางค์ส่วนท้อง มีรวม 6 คู่

ระยางค์ส่วนนี้เรียกรวมกันว่า " ขาว่ายน้ำ " ทำหน้าที่ในการว่ายน้ำ พัดโบกให้เคลื่อนที่ มี 5 คู่ในแต่ละปล้องแต่คู่สุดท้ายจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นแพนหาง (uropod) ติดกับหาง (telson) ทำหน้าที่กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของกุ้ง ดังแสดงรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะภายนอกทั่วไปของกุ้งกุลาดำ (ที่มา: Primavera, 1990)

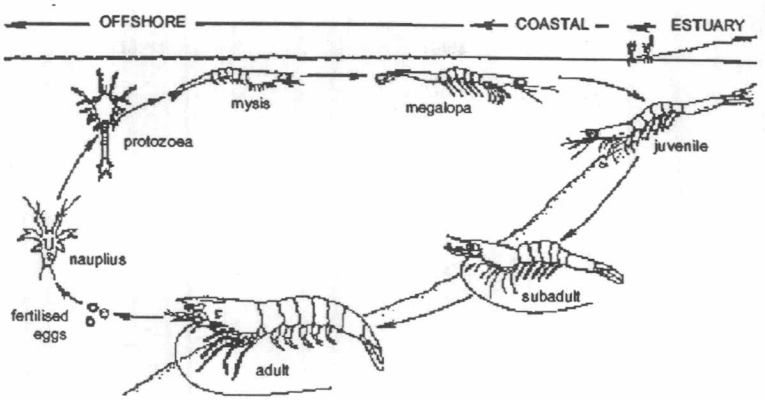
2.1.2 การแพร่กระจายและแหล่งที่อยู่อาศัย

กุ้งกุลาดำสามารถอาศัยได้ในน้ำกร่อยและน้ำเค็ม จะชอบอยู่ในบริเวณที่มีความเค็มมากกว่าแต่ก็ขึ้นอยู่กับช่วงชีวิตของกุ้งเอง เนื่องจากบางช่วง เช่นในช่วงวัยรุ่นกุ้งจะมาอาศัยหากินบริเวณชายฝั่ง ซึ่งมักเป็นเขตน้ำกร่อยที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการอพยพโยกย้ายถิ่นเพื่อการสืบพันธุ์ในทะเลลึก ดังนั้นกุ้งกุลาดำจึงมีการย้ายถิ่นเพื่อการเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ตลอดเวลา

สำหรับแหล่งที่อยู่อาศัยกุ้งที่สมบูรณ์เพศแล้ว สามารถอยู่ได้ในน้ำที่มีความลึกถึง 160 เมตร แต่พบมากในความลึก 20-70 เมตร ส่วนกุ้งวัยอ่อนจะล่องลอยตามบริเวณผิวน้ำ เหมือนพวกแพลงตอนสัตว์ทั่วไป แล้วจึงจมตัวลงสู่พื้นท้องน้ำ และอาศัยอยู่แถบชายฝั่งที่น้ำไม่ลึกนัก ฉะนั้นแหล่งที่อยู่อาศัยของกุ้งจึงกระจายอยู่ทั้งเขตชายฝั่งที่มีน้ำกร่อย ป่าชายเลน และเขตทะเลลึกนอกไหล่ทวีป ขึ้นอยู่กับการพัฒนาของกุ้ง อายุของกุ้ง ซึ่งถ้ากุ้งอยู่ในระยะต่างกันก็ต้องการแหล่งที่อยู่อาศัยต่างกันไป

2.2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ

ในวงจรชีวิตของกุ้งจะมีพัฒนาการ การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การเจริญเติบโตโดยอาศัยการลอกคราบตั้งแต่ฟักเป็นตัวจนกระทั่งโตเต็มวัย ไข่ของกุ้งกุลาดำที่ผสมแล้วจะเป็นไข่จมมีสีน้ำตาลแกมเขียว โปร่งแสง รูปร่างกลมรี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.27-0.31 มิลลิเมตร และฟักออกเป็นตัวอ่อนขั้นนอเพลียส (nauplius) ในเวลา 10-15 ชั่วโมง อยู่ในสภาพของแพลงตอนไม่กินอาหารล่องลอยไปตามกระแสน้ำประมาณ 2 วัน และมีขนาดประมาณ 0.3-0.33 มิลลิเมตร มีการลอกคราบ 6 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดระยะนี้ลูกกุ้งมีขนาดประมาณ 0.6 มิลลิเมตร เปลี่ยนเป็นระยะโปรโตซูเอีย (protozoea) หรือเรียกสั้นๆว่า ซูเอีย (zoea) มีขนาดประมาณ 1-3.3 มิลลิเมตร กินอาหารประเภทแพลงตอนพืช มีการลอกคราบ 3 ครั้ง ใช้เวลาประมาณ 3-4 วัน เติบโตเป็นระยะ ไมซิส (mysis) มีขนาดประมาณ 3.3-5.0 มิลลิเมตร เริ่มกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ขนาดเล็ก ลูกกุ้งจะแขวนตัวอยู่ในน้ำ ห้อยหัวลง ส่วนปลายหางชี้ขึ้นผิวน้ำ มีการลอกคราบ 3 ครั้งในระยะเวลา 3-4 วัน แล้วเข้าสู่ระยะวัยอ่อนหรือเรียกว่า โพสลาวา (postlarva) หรือ P1 รวมทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 10 วัน ต่อจากนั้นลูกกุ้งระยะ P1 จะไม่เรียกตามระยะเวลาลอกคราบแต่จะเรียกตามจำนวนวันที่เจริญเติบโตจนกระทั่งประมาณวันที่ 20-21 กุ้งจะมีขนาดตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตรขึ้นไป เรียกว่ากุ้งวัยรุ่น (juvenile) ซึ่งมีลักษณะต่างๆสมบูรณ์จะเดินทางเข้ามาใกล้ฝั่งทะเล ระยะนี้สามารถแยกเพศจากลักษณะของอวัยวะช่วยสืบพันธุ์ภายนอกได้ชัดเจน สามารถแยกได้ตั้งแต่กุ้งมีความยาวเปลือกหัว 11 มิลลิเมตร แต่ยังไม่สามารถสืบพันธุ์ได้ และเมื่อกุ้งเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ (subadult) สามารถผสมพันธุ์ได้แล้ว ขนาดของตัวเมียจะเริ่มใหญ่กว่าตัวผู้ โดยการผสมพันธุ์สามารถเกิดได้ในเขตน้ำกร่อยหรือเขตชายฝั่งไหล่ทวีป ก่อนที่จะอพยพไปยังเขตทะเลลึก และเจริญต่อไปเป็นกุ้งโตเต็มวัย(adult) ซึ่งอาจแพร่กระจายถึงที่ลึกกว่า 150 เมตร และอาจมีน้ำหนักมากถึง 300 กรัม และมีรายงานว่าตัวใหญ่สุดเท่าที่พบมีน้ำหนัก 600 กรัม (Primavera, 1983; Motoh, 1984) วงจรชีวิตของกุ้งกุลาลาดำดังแสดงรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ (ที่มา: Motoh, 1984)

2.3 การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

2.3.1 รูปแบบการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย (วัลลภ คงเพิ่มพูล, 2534)

2.3.1.1 การเลี้ยงแบบธรรมชาติ (Traditional farming หรือ Extensive farming)

การเลี้ยงแบบธรรมชาติเป็นการเลี้ยงแบบดั่งเดิม บ่อมีขนาดตั้งแต่ 20-60 ไร่ ขุดแบบมีขาวังกว้าง 10-20 เมตร ลึก 30-60 เซนติเมตร ตรงกลางเป็นพื้นที่ราบใช้วิธีดันน้ำเข้านาหรือเปิดน้ำเข้านาเมื่อเวลาน้ำขึ้น เพื่อให้ลูกกุ้งและอาหารธรรมชาติที่ติดเข้ามากับน้ำทะเล แล้วเก็บกักน้ำไว้ประมาณ 1-2 เดือน เพื่อให้ลูกกุ้งเจริญเติบโตโดยกินอาหารจากธรรมชาติ ไม่มีการให้อาหารหรือทำลายศัตรูกุ้ง การเลี้ยงวิธีนี้ผลผลิตไม่สามารถควบคุมได้ เพราะลูกกุ้งที่เข้าไปกับน้ำมีปริมาณที่ไม่แน่นอน อัตรารอดตายมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ ผลผลิตที่ได้จากการเลี้ยงกุ้งแบบนี้จึงขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของธรรมชาติโดยทั่ว ไป ให้ผลผลิตต่ำประมาณ 60-100 กิโลกรัม ต่อไร่ต่อปี

2.3.1.2 การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive farming)

การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา เป็นการเลี้ยงที่สามารถควบคุมการผลิตได้บางส่วน มีการปรับปรุงนากุ้งแบบดั่งเดิมหรือแบบธรรมชาติให้มีขนาดแปลงเล็กลงเหลือแปลงละ 6-20 ไร่ ขุดขาวังให้ลึกมากขึ้นเป็น 0.80-1.20 เมตร มีความลาดชันเพื่อความสะดวกในการจับ ความหนาแน่นของลูกกุ้งมากขึ้นโดยรวบรวมจากแหล่งธรรมชาติเพิ่มเติมจากที่ได้รับเวลาเปิดน้ำเข้า หรือปล่อยลูกกุ้งจากการเพาะฟักเสริมกุ้งจากธรรมชาติ 5-10 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 8,000-10,000 ตัวต่อไร่ ให้อาหารสมทบ ไม่มีเครื่องให้อากาศหรืออาจจะมีก็ได้ ดัดแปลงประตูน้ำให้แข็งแรง มีการจัดการที่ดีในเรื่องการป้องกันกำจัดศัตรูกุ้ง การเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมโรค ใช้เวลาเลี้ยงครั้งหนึ่งๆ นานประมาณ 5 เดือนจึงจับขาย ผลผลิตจะอยู่ระหว่าง 200-600 กิโลกรัมต่อไร่

2.3.1.3 การเลี้ยงแบบพัฒนา (Intensive farming)

การเลี้ยงแบบพัฒนานี้ได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้รับในการเลี้ยงแต่ละรุ่น ใช้เวลาในการเลี้ยง 4 เดือน การเลี้ยงแบบพัฒนาจะเลี้ยงในบ่อเลี้ยงขนาดพื้นที่ประมาณ 4 ไร่ แต่ละบ่อมีความลึกประมาณ 1.5-2.0 เมตร ลูกกุ้งที่นำมาจากโรงเพาะฟักทั้งหมด ซึ่งปริมาณ

กุ้งที่ปล่อยหนาแน่นมาก ประมาณ 20-40 ตัวต่อตารางเมตร แล้วแต่ความต้องการของเกษตรกร มีการให้อาหารอย่างเต็มที่ มีอุปกรณ์และมีเทคนิคในการจัดการเลี้ยงที่ทันสมัย มีเครื่องตีน้ำหรือพ่นน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ มีการใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ทั้งรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งเกษตรกรเชื่อว่าจะช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำ นอกจากนี้การใช้ยาและสารเคมีต่างๆ เพื่อป้องกันและรักษาโรค รวมทั้งให้อาหารเสริม และใช้ยาผสมกับอาหาร การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนานี้ เมื่อระบายน้ำออกจากนากุ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้วจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เนื่องจากคุณภาพของน้ำที่ระบายออกจะมีคุณสมบัติแตกต่างจากแหล่งธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ ความเค็ม ปริมาณสารเคมี ยาต่างๆ จะมีปริมาณสูง ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะต่ำ และของเหลือที่ย่อยสลายไม่หมดที่อยู่ที่ก้นบ่ออีกเป็นจำนวนมาก

2.3.2 การควบคุมคุณภาพน้ำโดยทั่วไปในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

2.3.2.1 ความเค็มของน้ำในการเลี้ยงกุ้ง (วัลลภ คงเพิ่มพูล, 2534)

ความเค็ม หมายถึง ปริมาณเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ มีหน่วยเป็น ppt หรือส่วนในพันส่วน แต่ปัจจุบันนิยมใช้หน่วย psu (Practical Salinity Unit) น้ำทะเลในนากุ้งเมืองไทยมีความเค็มอยู่ระหว่าง 5-38 ส่วนในพัน ความเค็มที่กุ้งกุลาดำจะเจริญเติบโตได้ดีจะอยู่ในช่วง 15-30 ส่วนในพัน ในกรณีที่น้ำในนากุ้งมีความเค็มสูงกว่าความเค็มของเลือดในตัวกุ้ง น้ำภายในตัวกุ้งจะซึมซับออกจากตัวกุ้งอยู่ตลอดเวลา ทำให้กุ้งสูญเสียน้ำจนทำให้กุ้งมีชีวิตอยู่ไม่ได้ แต่กุ้งจะแก้ปัญหาโดยวิธีดื่มน้ำเค็มเข้าทางปาก น้ำจืดส่วนหนึ่งจะถูกดึงกลับเข้าไปทดแทนในร่างกายทำให้กุ้งมีชีวิตอยู่ได้ ส่วนในกรณีที่น้ำในนากุ้งมีความเค็มต่ำกว่าความเค็มในเลือดกุ้ง กุ้งจะมีปัญหาตรงข้ามกับกรณีแรก คือ น้ำจากภายนอกจะไหลเข้าตัวกุ้ง ทำให้เลือดภายในตัวกุ้งจืดจาง ถ้ากุ้งไม่สามารถแก้ปัญหาการเจือจางของเลือดกุ้งได้กุ้งก็จะตายในที่สุด ซึ่งในกรณีหลังนี้กุ้งจะต้องขับน้ำส่วนเกินออกจากร่างกายเพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของเลือดให้คงที่ ทำให้กุ้งมีชีวิตอยู่ได้ การปรับความเค็มจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป กุ้งจะโตช้าลงเมื่อความเค็มสูงกว่า 25 ส่วนในพัน และหากปรับความเค็มเปลี่ยนอย่างรวดเร็วอาจเป็นสาเหตุให้กุ้งช็อคตายได้ ในกรณีที่มีฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานควรระวังดูแลอย่าให้ความเค็มของน้ำในนากุ้งเปลี่ยนแปลงไปมาก อาจทำการแก้ไขโดยการระบายน้ำที่เค็มน้อยกว่าในบริเวณผิวน้ำทิ้งไป ในฤดูแล้งบางแห่งความเค็มอาจสูงขึ้นถึง 40 ส่วนในพัน หรือมากกว่า ก็ต้องทำการปรับความเค็มโดยใช้น้ำจืดผสมหรือใช้น้ำที่มีความเค็มน้อยกว่าเข้ามาสับเปลี่ยน สำหรับการตรวจสอบหรือวิธีการวัดความเค็มของนากุ้ง ทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี การวัดความนำไฟฟ้า การวัดการหักเหของแสง และการวัดความหนาแน่นของน้ำ การวัดความหนาแน่นของน้ำเป็นการลงทุนน้อย แต่อาจไม่ค่อยสะดวกต่องานภาคสนาม การวัดความเค็มที่สะดวกและรวดเร็วสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำก็คือ การวัดการหักเหของแสง วิธีนี้ใช้น้ำ 1-2 หยด แตะบนแผ่นกระจกแล้วปิดทับด้วยแผ่นกรองแสงใส เราจะได้ค่าของความเค็มภายใน 1-2 นาที เครื่องวัดความเค็มแบบนี้มีขนาดกะทัดรัด สามารถพกพาใส่กระเป๋ากางเกงได้

2.3.2.2 อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยง (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงมีผลต่อการเผาผลาญอาหารและการสร้างพลังงาน ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของกุ้งตามมา อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งจะอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส กุ้งสามารถทนอยู่ได้ แต่กุ้งจะอ่อนเพลียและตายในที่สุด โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดช่วงฤดูร้อน บ่อเลี้ยงกุ้งจะได้รับแสงแดดที่ร้อนจัดเป็นเวลานานกว่าปกติ อุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงจะสูง การแก้ไขสามารถทำได้โดยการสูบน้ำบาดาลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้าไปในบ่อเลี้ยง เพื่อปรับอุณหภูมิให้เย็นลง หรือถ้าอุณหภูมิของน้ำในบ่อเลี้ยงต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส กุ้งจะหนาวและตายได้ โดยเหตุการณ์นี้จะเกิดในช่วงฤดูหนาว ซึ่งน้ำบาดาลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำในบ่อเลี้ยง การแก้ไขก็สูบน้ำบาดาลเข้ามาผสมเพื่อปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้น หรือลดระดับน้ำของบ่อเลี้ยงปลาในช่วงเช้า เพื่อให้แสงแดดได้เผาน้ำให้ร้อนขึ้น พอถึงเวลาบ่ายอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น จึงค่อยเพิ่มระดับน้ำให้สูงขึ้น

2.3.2.3 สีของน้ำ (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งควรจะเป็นสีเขียวอ่อน น้ำตาลหรือเทา ซึ่งเกิดจากแพลงตอนพืช แพลงตอนสัตว์ เพื่อจะได้ช่วยป้องกันแสงไม่ให้ส่งถึงก้นบ่อมากเกินไป และเป็นการไม่ให้ขี้แดดและพืชน้ำอื่นๆ ขยายตัวเร็วเกินไป ถ้าขี้แดดในบ่อมีมากเกินไปก็จะไปเกาะตามตัวกุ้งได้ ทำให้กุ้งไม่ลอกคราบ สาหร่ายต่างๆ ในน้ำจะทำให้กุ้งหลบอยู่ใต้สาหร่ายนั้น กุ้งก็จะไม่ค่อยโต สีของน้ำจะเป็นสีเขียว หรือน้ำตาลขึ้นอยู่กับชนิดของตะไคร่น้ำ และสีของน้ำจะอ่อนหรือเข้มก็ขึ้นกับความหนาแน่นของตะไคร่น้ำ และแพลงตอน โดยน้ำที่มีสีน้ำตาลแดง สีแดง หรือสีน้ำตาลซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพวกไดอะตอมและไดโนแฟลกเจลเลต เช่น สเกลลีโตนีม่า คีโตเซอรอส และนิสเซีย ส่วนใหญ่จะพบในน้ำที่มีความเค็มสูง เปลี่ยนแปลงได้ง่าย ก่อให้เกิดอันตรายต่อกุ้งได้โดยเฉพาะเวลากลางคืนจะเป็นตัวที่แย่งออกซิเจนในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ กุ้งจะเกิดการลอยหัว ถ้าน้ำเป็นสีเทาแม้ว่ากุ้งจะกินอาหารได้ แต่การสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในบ่อกุ้งจะอยู่ในสภาพแย่ เพราะขาดตะไคร่น้ำ หรือสาหร่ายในน้ำจะเริ่มเกิดมลภาวะที่ก้นบ่อ จึงควรต้องตีน้ำทั้งวัน เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำ ถ้าน้ำมีสีอ่อนหรือใสเกินไปหมายความว่า น้ำขาดธาตุอาหารที่จะช่วยแพร่การเจริญเติบโตของพืชน้ำ ต้องใส่ปุ๋ยในบ่อกุ้ง โดยทั่วไปจะไม่ขาดไนโตรเจน เนื่องจากมีการสะสมของเศษอาหาร และมูลกุ้ง ถ้าขาดแคลเซียม ให้หว่านปูนขาว 8-10 กิโลกรัมต่อไร่ วันละครั้งและเปิดเครื่องตีน้ำ หลังจากหว่านปูนขาวไป 1-3 ครั้ง น้ำก็จะเป็นสีเขียว ถ้าขาดฟอสฟอรัสให้หว่านแคลเซียมไบฟอสเฟต 8-12 กิโลกรัมต่อไร่ วันละครั้ง โดยหว่านทุกๆ 2 วันจนกว่าน้ำจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว แต่ถ้าใส่ปุ๋ยมากๆ ตลอดเวลา จะมีผลต่อการเผาผลาญอาหารของร่างกาย และเป็นอันตรายต่อกุ้งได้

2.3.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 14 ถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 น้ำจะมีสภาพเป็นกรด แต่ถ้าน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 น้ำจะมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งโดยทั่วไปน้ำกร่อยจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7-8 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากการสะสมของเสียที่กุ้งถ่ายเทออกมา เศษอาหารที่ตกค้าง พืชแพลงตอนต่างๆ ที่ตายอยู่ในน้ำ นอกจากนี้ การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำก็มีส่วนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลง โดยในช่วงเวลากลางวันค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะสูง และในช่วง 15.00 - 16.00 นาฬิกา การสังเคราะห์แสงจะถึงจุดสูงสุด ค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงมาก แต่ช่วงกลางคืนพืชและตะไคร่น้ำต่างๆ หยุดการสังเคราะห์แสงเนื่องจากไม่มีแดด จะมีการหายใจอย่างเดียว ค่าความเป็นกรด-ด่างจะลดลง สภาพความเป็นกรด-ด่างในบ่อกุ้งควรรักษาอยู่ในระดับ 7 - 9 และระดับที่เหมาะสมที่สุด คือระหว่าง 7.5 - 8.5 ซึ่งจะเป็นช่วงที่กุ้งสามารถเจริญเติบโตและกินอาหารได้ดีแม้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรด-ด่างจะมีอยู่ตลอดเวลาแต่ในสภาพของน้ำกร่อยจะมีคุณสมบัติในการต้านไม่ให้สภาพของความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยน ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะไม่ต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 9 สภาพความเป็นกรด-ด่างจึงไม่ค่อยมีปัญหากับการเลี้ยงกุ้ง

กรณีที่ความเป็นกรด-ด่างสูงเกินไปจะทำให้สาหร่ายหรือตะไคร่น้ำเจริญเติบโตได้เร็ว ซึ่งนั่นก็หมายถึงน้ำในบ่อมีปุ๋ยมากเกินไป จึงต้องถ่ายเทน้ำเก่าทิ้ง เติมน้ำใหม่เพื่อปรับปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อสาหร่ายและตะไคร่น้ำเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นมามาก อัตราการตายก็มากตามไปด้วย ซึ่งจะทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่าย ถ้าสภาพของน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะมีสภาพเป็นกรด ลักษณะของน้ำจะใส น้ำขาดปุ๋ย สาหร่ายและตะไคร่น้ำโตช้าหรือไม่โตเลย การคายออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงก็น้อยลงไป จึงควรหว่านปูนขาว ประมาณ 1-1.5 กิโลกรัมต่อไร่ตลอดเวลา 3-4 วัน เพื่อช่วยการเจริญเติบโตของสาหร่าย ตะไคร่น้ำและปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้น

2.3.2.5 แก๊สไข่เน่า (H_2S) (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

แก๊สไข่เน่า หรือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากสภาวะการที่พื้นก้นบ่อมีของเสียสะสมอยู่ปริมาณมากและทำให้ออกซิเจนในบ่อไม่เพียงพอซึ่งในสภาพนี้มีแบคทีเรียบางชนิดอยู่ได้และย่อยสารประกอบซัลเฟส ต่างๆ ให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแก๊สไข่เน่ามักเกิดจากการให้อาหารมากเกินไปทำให้เหลือตกค้างมากหรือคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงบ่อยทำให้แพลงตอนตายมากและรวดเร็ว ทำให้พื้นก้นบ่อเน่า และเกิดแก๊สไข่เน่า แก๊สไข่เน่าจะมีผลทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งความเข้มข้นของแก๊สไข่เน่าที่มากกว่า 0.01 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะทำให้กุ้งอ่อนแอ ติดโรคได้ง่าย ถ้ามีปริมาณที่สูงกว่านั้นอาจทำให้กุ้งตายและเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำลง แก๊สไข่เน่าจะมีพิษมากขึ้น โดยแนวทางการจัดการคือ ให้อาหารในปริมาณที่พอเหมาะอย่าให้เหลือมาก มีเครื่องให้อากาศในปริมาณที่เพียงพอจะป้องกันปัญหาของแก๊สไข่เน่า

ได้และลดความเป็นพิษโดยใช้ปูนขาวปรับค่าความ เป็นกรด-ด่างให้สูงขึ้น ด้วยการละลายปูนขาวในอัตรา 10 - 15 กิโลกรัมต่อไร่

2.3.2.6 แอมโมเนีย (NH_3 หรือ NH_4^+) (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาปริมาณแอมโมเนียจะมาจากเศษอาหาร สิ่งขับถ่ายของกุ้งตลอดจนซากแพลงตอนที่ตายทับถมในบ่อ เมื่อกุ้งโตขึ้นปริมาณของเสียต่างๆ ก็มีปริมาณมากขึ้นแบคทีเรียในพื้นบ่อจะทำการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียเป็นพิษมากขึ้นตามค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ โดยปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ ไม่ควรเกิน 0.05 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ปริมาณแอมโมเนีย 2 ppm ทำให้กุ้งเบื่ออาหาร ถ้าในบ่อมีปริมาณแอมโมเนียมากจะทำให้กุ้งอ่อนแอติดเชื้อโรคได้ง่าย โดยแอมโมเนียจะทำลายเหงือกทำให้การหายใจผิดปกติยังมีผลต่อการสะสมแอมโมเนียในเนื้อเยื่อและในเลือดทำให้เป็นอันตราย และพบว่าหากปริมาณแอมโมเนียสูงถึง 5 ppm ทำให้กุ้งตาย ดังที่พบว่ากุ้งมีเหงือกสกปรก สีคล้ำหรือเหงือกอักเสบ ซึ่งแนวทางการป้องกันที่ดีที่สุด คือการควบคุมการให้อาหารให้เหลือน้อยที่สุด และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอย่างสม่ำเสมอ ให้อากาศเพียงพอ ปล่อยกุ้งในอัตราที่เหมาะสม คือ 30-50 ตัวต่อตารางเมตร

$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH \longrightarrow NH_4^+ + OH^-$$

ปฏิกิริยาทางเคมีของก๊าซแอมโมเนียในบ่อกุ้ง

2.3.2.7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO: Dissolved oxygen) (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

ความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยออกซิเจนจะละลายน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงและเมื่อเพิ่มความกดดันบรรยากาศ ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแหล่งที่ให้ออกซิเจนได้มาจากการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนพืช การละลายจากอากาศและจากเครื่องให้อากาศ ปริมาณออกซิเจนในน้ำทะเลปกติจะมีค่าประมาณ 6 ppm แต่การเลี้ยงกุ้งกุลาดำนั้น ตลอดการเลี้ยงไม่ควรต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวหรือไม่ควรต่ำกว่า 4 ppm การให้อากาศจากเครื่องตีน้ำนั้นเพื่อให้น้ำนั้นสัมผัสอากาศเพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนในบ่อ ออกซิเจนในบ่อจะถูกใช้ในการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่นแพลงตอนพืช ในเวลากลางคืน นอกจากนี้ยังใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในบ่อพวกเศษอาหารที่เหลือจากสิ่งขับถ่ายกุ้งโดยแบคทีเรียจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ทำให้ออกซิเจนในบ่อสูญเสียไป การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญมาก สภาวะการขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งส่วนใหญ่เกิดจากการที่บ่อมีปริมาณสารอินทรีย์ในบ่อ เช่น ไนโตรเจนทำให้แพลงตอนพืชเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณมากขึ้น เมื่อแพลงตอนตายอย่างกะทันหันทำให้มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายมากขึ้นออกซิเจนน้อยลงทำให้กุ้งอ่อนแอและตาย ทำให้กุ้งลอยหัว มักเกิดในเวลากลางคืน และตอนเช้ามืด โดยเฉพาะกรณีที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำในอัตราที่หนาแน่นสูง มีการให้อาหารมากเกินไปและการจัดการคุณภาพน้ำไม่ดี โดยที่แนวทางในการจัดการควรวัดปริมาณออกซิเจนบางโอกาส เวลา 6.00 นาฬิกา ควบคุมปริมาณอาหารให้เหมาะสม ควบคุมปริมาณแพลงตอนให้

อยู่ในระดับที่เหมาะสมที่ความขุ่นใส คือ 30-60 เซนติเมตร ปล่อยกุ้งในอัตราไม่เกิน 50 ตัวต่อตารางเมตร และจำนวนเครื่องให้อากาศควรสัมพันธ์กับปริมาณการให้อาหารและผลผลิตของแต่ละบ่อ

2.3.3 อาหารและการให้อาหาร

2.3.3.1 ส่วนประกอบของอาหารสำเร็จรูป (มะลิ บุณยรัตผลิน, 2531)

2.3.3.1.1 โปรตีน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารกุ้ง เพื่อการเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ให้พลังงาน ควบคุมปรับปริมาณน้ำและเกลือแร่ในร่างการ โดยกุ้งกุลาดำต้องการโปรตีนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกุ้งชนิดอื่น ดังนั้นการให้อาหารเม็ดที่ใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำจึงต้องมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ความต้องการโปรตีนของกุ้งยังขึ้นกับวัยด้วย กุ้งวัยอ่อนและกุ้งขนาดเล็กต้องการโปรตีนมากกว่ากุ้งวัยรุ่นและกุ้งโตเต็มวัย ดังนั้นอาหารกุ้งควรมีโปรตีนอยู่ในช่วง 35-45 เปอร์เซ็นต์ การขาดโปรตีนจะทำให้กุ้งชะงักการเจริญเติบโต หรือเติบโตช้าลง แหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับอาหารกุ้ง คือ ปลาป่น เปลือกและหัวกุ้งป่น กากถั่วเหลือง กากถั่วลิสงและยีสต์

2.3.3.1.2 ไขมัน เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโต การลอกคราบและการสืบพันธ์ของกุ้ง โดยไขมันมีหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน เป็นตัวนำวิตามินที่ละลายได้ในไขมันจากลำไส้ไปที่ตับและส่วนอื่นๆ ของร่างกาย เป็นตัวช่วยประหยัดโปรตีนในอาหารที่จะถูกใช้ไปเป็นพลังงาน อาหารกุ้งกุลาดำควรมีไขมันอยู่ในช่วง 6-8 เปอร์เซ็นต์ วัตถุดิบที่มีไขมันสูง คือ ปลาป่น

2.3.3.1.3 คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งให้พลังงานที่มีราคาถูกที่สุดในอาหารกุ้ง นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังถูกนำไปใช้สร้างไคติน ซึ่งมีความสำคัญต่อการสร้างหรือการแข็งตัวของเปลือกกุ้ง อาหารกุ้งควรมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ แหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ใช้เป็นอาหารกุ้ง คือ ปลายข้าว รำข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี เป็นต้น

2.3.3.1.4 วิตามิน เป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ การเจริญเติบโตและสุขภาพของกุ้ง วิตามินที่กุ้งต้องการคือ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 กรดแพนเทอนิค ไนเอซิน ไบโอติน ไอโนซอทอล โคลีน กรดโฟลิค วิตามินบี 12 วิตามินซี วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอีและวิตามินเค โดยทั่วไปอาหารของกุ้งกุลาดำจะมีส่วนผสมของวิตามินเหล่านี้

2.3.3.1.5 เกลือแร่ เป็นอาหารที่จำเป็นต่อกุ้ง เพราะเป็นส่วนประกอบของเปลือกกุ้ง ทำให้เปลือกกุ้งแข็งแรงขณะลอกคราบ ช่วยในการควบคุมปริมาณน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย เป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย เลือดและอินทรีย์สารต่างๆ เกลือแร่หลักที่กุ้งต้องการ คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และซัลเฟอร์ รองลงมา คือ เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง ไอโอดีนและโคบอลท์ เกลือแร่เหล่านี้มักมีอยู่ในอาหารอย่างครบถ้วน

2.3.3.1.6 เยื่อใย ทำหน้าที่ให้อาหารผ่านทางเดินอาหารได้สะดวก ถ่ายออกง่าย แต่การที่กุ้งถ่ายของเสียออกมามากจะทำให้บ่อสกปรก ดังนั้นเยื่อใยในอาหารกุ้งควรมี ประมาณ 3-5 % วัตถุดิบในอาหารกุ้งที่มีเยื่อใยมาก ได้แก่ รำ และ กากกุ้งป่น

2.3.3.2 การให้อาหารกุ้งกุลาดำ (กลุ่มบัณฑิตก้าวหน้า, 2531)

2.3.3.2.1 ปริมาณอาหาร จากพฤติกรรมการกินอาหารของกุ้งจะรู้ว่าปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ สภาพพื้นที่บ่อ คุณภาพน้ำ มีผลต่อการกินอาหารของกุ้ง นอกจากนี้กุ้งที่มีขนาดแตกต่างกัน การกินอาหารก็จะแตกต่างกันไปด้วย กุ้งที่มีน้ำหนัก 5-9 กรัมหรือขนาด 111-200 ตัวต่อกิโลกรัม จะกินอาหารเท่ากับ 0.30-0.45 กรัมต่อวัน โดยคิดจาก 5-6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ในขณะที่กุ้งที่มีน้ำหนัก 18-22 กรัม หรือขนาด 45-56 ตัวต่อกิโลกรัมจะกินอาหารเท่ากับ 0.63-0.73 กรัมต่อวัน (คิดจาก 3.3-3.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว) ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากุ้งที่มีขนาดต่างกัน ปริมาณอาหารที่กุ้งต้องการจะต่างกันด้วย

2.3.3.2.2 การให้อาหาร กุ้งเมื่ออายุ 1-2 สัปดาห์ ควรให้อาหารวันละ 2-3 ครั้ง เมื่อกุ้งอายุมากขึ้น การกินอาหารในแต่ละวันจะมากขึ้น ทำให้จำนวนครั้งในการให้อาหารจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อไม่ให้อาหารแต่ละครั้งมากเกินไป หลักในการเพิ่มครั้งอาหารให้คิดอาหารรวมแต่ละวันแล้วหารด้วยจำนวนครั้ง โดยการให้อาหาร 4 ครั้งๆละ 25 กิโลกรัม รวมวันละ 100 กิโลกรัม จะเปลี่ยนการให้อาหารเป็น 5 ครั้งๆละ 20 กิโลกรัม รวมวันละ 100 กิโลกรัมซึ่งมีปริมาณเท่าเดิม แต่เปลี่ยนเป็น 5 ครั้งต่อวัน ส่วนเวลาในการให้อาหาร จะให้อาหารครั้งแรกในเวลา 6.00 นาฬิกา และการให้อาหารในครั้งถัดไปจะเว้นระยะให้ห่างเป็นเวลาเท่าๆ กัน

2.3.3.2.3 การปรับเปลี่ยนเบอร์อาหาร อาหารกุ้งมีทั้งหมด 6 เบอร์ แต่ละเบอร์มีขนาดไม่เท่ากันเพื่อให้กุ้งสามารถจับอาหารได้อย่างสะดวก เหมาะสมกับกุ้งแต่ละขนาด หลักการสำคัญในการปรับเปลี่ยนเบอร์อาหาร คือ ต้องสุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบขนาดของกุ้งในบ่ออย่างต่อเนื่อง การปรับเปลี่ยนเบอร์อาหารจะทำได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมตลอดการเลี้ยง ก่อนการเปลี่ยนเบอร์อาหาร ต้องผสมอาหารระหว่างเบอร์เก่าและเบอร์ใหม่ทุกครั้งด้วย เช่น เมื่อสุ่มตัวอย่างพบว่า กุ้งมีขนาดเฉลี่ย 14 กรัม ใช้อาหารเบอร์ 4 หากต้องการเปลี่ยนเบอร์ ควรเริ่มผสมอาหารเบอร์ 4 และเบอร์ 5 เป็นต้น และก่อนการเปลี่ยนเบอร์อาหารทุกครั้ง ควรผสมอาหารเป็นเวลา 7-15 วัน ทั้งนี้แล้วแต่การเจริญเติบโตของกุ้งและการยอมรับอาหารเบอร์ใหม่ด้วย การเปลี่ยนเบอร์อาหารทันทีหรือการผสมอาหารในระยะสั้นๆ อาจมีผลให้กุ้งชะงักการเจริญเติบโต หรือทำให้กุ้งมีขนาดแตกต่างกันได้

2.4 โรคระหว่างการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (วัลลภ คงเพิ่มพูล, 2534; ประพันฤธ์ และคณะ, มปป.)

2.4.1 โรคเพชรพลอย (โรคเรืองแสง)

เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรียเรืองแสง (Luminous bacteria) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Vibrio harveyi* มักพบในกุ้งวัยอ่อนจนถึงระยะก่อนเข้าไมซีส กุ้งที่เป็นโรคนี้จะมีอาการตัวขุ่นขาว อ่อนแอ ไม่ค่อยว่ายน้ำ ถ้าติดเชื้อมากๆ หลังจะหักงอและจมลงไปอยู่กับก้นบ่อ การสังเกตให้ดอยดูเวลากลางคืนในที่ที่มีแสงสลัวๆ เมื่อสายตาชินกับความมืดแล้วจะเห็นกุ้งลอยหัวขึ้น และเมื่อตักขึ้นมาจะพบว่าเป็นกุ้งที่ตายแล้วหรือกุ้งที่กำลังติดเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ เมื่อนำมาใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TCBS บ่มไว้ประมาณ 12-18 ชม. จะมีกลุ่มแบคทีเรียเรืองแสงสีเขียวเกิดขึ้น

2.4.2 โรคตัวขุ่นขาวในกุ้งวัยอ่อน

เกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย อาการที่สังเกตได้ง่ายคือ ลูกกุ้งจะอ่อนแอ ไม่ค่อยกินอาหาร ว่ายน้ำช้าลง และจมลงก้นบ่อ เมื่อตรวจดูในเวลากลางคืนจะไม่พบการเรืองแสง มักจะเกิดในช่วงฤดูหนาวหรือช่วงที่อุณหภูมิต่ำ

2.4.3 โรคเชื้อราหรือโรคเน่าตกพื้นบ่อ

เกิดจากมีเชื้อราเข้าเกาะทำลายตัวลูกกุ้ง มักจะเกิดกับลูกกุ้งในระยะไมซีส จนถึงในระยะเข้าโพสลาวาต้นๆ และจะเกิดในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ คือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ มีอัตราการตายประมาณ 10-20% พบว่ากุ้งที่ติดเชื้อราจะจมลงไปนอนก้นบ่อ ตัวมีสีครีม หรือมีจุดสีน้ำตาลอ่อน ถ้าส่องด้วยกล่องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะเชื้อราเป็นเส้นๆ เต็มตัวกุ้ง

2.4.4 โรคตัวขุ่นมีเส้นใย หรือโรคซูโอเทียมเนียม

เกิดจากการเกาะอย่างหนาแน่นของพยาธิโปรโตซัว ชื่อซูโอเทียมเนียมลักษณะที่เห็นชัดเจนคือ ตัวกุ้งจะมีสีขุ่น เมื่อใช้แก้วใสตักขึ้นมาดูจะเห็นเส้นใยบางๆ รอบตัวกุ้งทำให้กุ้งว่ายน้ำไม่สะดวก ถ้าถูกเกาะมากๆ จะว่ายน้ำไม่ได้ และเชื้อที่เกาะเป็นอุปสรรคต่อการลอกคราบ กุ้งจะจมลงใต้บ่อและตายในที่สุด กุ้งที่เป็นโรคนี้จะลอกคราบไม่ค่อยหลุด กินอาหารน้อยลง และโตช้ากว่าปกติ โรคนี้เกิดขึ้นรวดเร็วและใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 วัน ถ้าไม่มีการรักษากุ้งจะตายเป็นจำนวนมาก

2.4.5 โรคโปรโตซัว (Protozoan parasite) เอซิเนดต้าโตโกไฟรา และจำพวกวอล์เซลล่า หลายชนิด

เกิดจากการถูกโปรโตซัวเข้าทำลายเนื้อเยื่อกุ้ง ส่วนใหญ่จะเป็นพวกที่มีรากหรือลำต้นฝังอยู่ตามเปลือกกุ้ง บางครั้งหยั่งรากลงไปจนถึงกล้ามเนื้อ อาการที่เห็นได้ชัดคือ กุ้งจะอ่อนแอ กินอาหารน้อยลง อัตราการลอกคราบลดลง เคลื่อนไหวช้า มักจะลอยอยู่ได้ด้วยแรงลมเป่าที่ให้ในบ่อ ภายใน 2-3 วันจะทยอยตายไปเรื่อยๆ

2.4.6 โรคเหงือกแดงหรือโรคแก้มแดงหรือโรคลอยหัว

เกิดจากการมีโปรโตซัวซูโอเทียม หรือ อิพิไทลิสเข้าเกาะในเหงือก ทำให้เกิดอาการอักเสบ เหงือกทำงานไม่สะดวก และถ้าโปรโตซัวเพิ่มปริมาณมากขึ้นจะทำให้เหงือกยุ่ย เนื้อเยื่อเหงือกตาย

ลง ทำให้แก้มมีสีแดงกว่าปกติ จะว่ายน้ำขึ้นมาตามขอบบ่อ และทยอยตายลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะเวลาเช้ามืดจะเห็นกุ้งลอยหัวขึ้นมาตามขอบบ่อจำนวนมาก

2.4.7 โรคราดำ

เกิดจากการติดเชื้อราที่เข้ามาเกาะทำลายตามเปลือก และปลายรยางค์ของกุ้ง มักจะพบในกุ้งที่เลี้ยงแบบหนาแน่น หรือแบบพัฒนา และให้อาหารสำเร็จรูป ลักษณะที่สังเกตได้ชัดคือบริเวณเปลือกแก้มและปลายรยางค์ขาว่ายน้ำมีสีดำ ปลายขอบบางแห่งโป่งพอง เมื่อเจาะดูจะมีเนื้อตายยุ่ยสีดำ นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นเส้นใยของเชื้อรา กุ้งมีอาการอ่อนแอ ลอยหัวขึ้นมาขอบบ่อ และทยอยกันตาย

2.4.8 โรคกุ้งหลังขาว

เกิดจากการกินสปอร์ของโปรโตซัวเข้าไป และโปรโตซัวจะเจาะผนังลำไส้เข้าไปฝังตัวอยู่ในกล้ามเนื้อรอบๆ ลำไส้ตามแนวหลังกุ้ง ทำให้กล้ามเนื้อตายมีลักษณะขุ่นขาว ครั้งแรกเริ่มจากส่วนต้นของปล้องแรก และลามไปเรื่อยๆ จนถึงปล้องสุดท้ายจรดส่วนหาง ทำให้สันหลังมีสีขุ่นขาว กุ้งจะอ่อนแอ ว่ายน้ำช้าลง ชอบว่ายน้ำตามขอบบ่อ เมื่อลอกคราบจะตาย และมักถูกกุ้งตัวอื่นกิน ทำให้สปอร์ติดเข้าในกุ้งตัวอื่นๆ ได้

2.4.9 โรคเหงือกกร่อน โรคหางเปื่อย ขาเปื่อย หรือเปลือกเปื่อยดำ

เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย มักจะเกิดกับพ่อแม่พันธุ์กุ้งที่เลี้ยงไว้นานๆ ที่ใช้ในการเพาะฟัก อาการของโรคจะเห็นได้ชัดเจน โดยครั้งแรกบริเวณที่ติดจะมีสีน้ำตาล และสีจะเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนเป็นสีดำ เปลือกกุ้งบริเวณนั้นจะเปื่อยกร่อนเป็นบริเวณกว้างขึ้นเรื่อยๆ ถ้าเป็นที่ระยางค์หาง หรือขา หรือหนวดจะเปื่อย และกุดทีละน้อยๆ กุ้งบางตัวจะกินอาหารน้อยลง และถ้าเป็นมากๆ จะตายในที่สุด (ประพันธ์ และคณะ, มปป.)

2.4.10 โรคเหงือกดำ

มักพบในกุ้งระยะโตเต็มวัย สาเหตุเกิดจากการติดเชื้อราชนิดหนึ่งชื่อ ฟูซาเรียม เข้าเกาะทำลายที่บริเวณซี่เหงือกของกุ้งที่เลี้ยงในบ่อ ลักษณะที่สังเกตได้คือ เหงือกจะมีสีดำ แต่ลักษณะเหงือกดำของกุ้งที่เลี้ยงในบ่อที่พื้นดินเป็นดินโคลนเลน ซึ่งพบเป็นลักษณะปกติทั่วไปที่อาจเกิดจากการหมกฝังตัวอยู่ในดินโคลนของกุ้งในขณะที่ลอกคราบ ทำให้ดินโคลนและสิ่งสกปรกเข้าไปฝังติดในซี่เหงือก จึงควรตรวจดูให้แน่ชัด ลักษณะอาการของกุ้งที่เป็นโรค เริ่มแรกจะมีอาการอ่อนแอ กินอาหารได้น้อยลง และซี่เหงือกจะมีสีดำคล้ายดินโคลนติดอยู่ แต่จะล้างไม่ออกเนื่องจากในซี่เหงือกมีเส้นใยของ ฟูซาเรียมเข้าทำลาย กุ้งที่เป็นโรคนี้จะตายในระยะเวลาประมาณ 7-10 วัน ถ้ามีอาการหนักจะว่ายน้ำมาตามชานบ่อ และจะทยอยตายไปเรื่อยๆ

2.4.11 โรคจุดดำ หรือเสี้ยนดำ

ลักษณะอาการคล้ายเสี้ยนดำทิ่มแทงในกล้ามเนื้อ ในลักษณะต่างๆ กัน สาเหตุเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย วิบริโอ ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับโรคเรืองแสงที่มีอยู่ตามธรรมชาติ และพบตามปกติในตัวกุ้ง

แต่จะทำอันตรายต่อกุ้งเมื่อสภาวะแวดล้อมเสื่อมโทรม หรือกุ้งเกิดบาดแผลขึ้น โดยเชื้อจะเข้าสู่ร่างกายกุ้งและถูกกระบวนการป้องกันตัวของกุ้งเอามาห่อหุ้มไว้ จนเกิดลักษณะเป็นเส้นดำดังกล่าว และสาเหตุที่พบเชื้อบางช่วงโดยเฉพาะช่วงฤดูฝน ทำให้น้ำในบ่อมีความเค็มลดลง ทำให้กุ้งเกิดความเครียด และอ่อนแอ ประกอบกับการเลี้ยงกุ้งในบ่ออย่างหนาแน่นโดยไม่มีการพักบ่อเลย จึงทำให้เกิดโรค

2.4.12 โรคขาดสารอาหาร

สาเหตุของโรคเกิดจาการขาดธาตุอาหารพวกกรดอะมิโนที่จำเป็นของร่างกาย หรือขาดวิตามินซี ซึ่งจะเป็นกับกุ้งที่เลี้ยงในระบบปิด ในบ่อซีเมนต์ หรือในตู้ และให้อาหารสำเร็จรูปในการเลี้ยง กุ้งที่เป็นโรคนี้จะมีสีดำ และบริเวณที่มีสีดำนี้จะลามมาจากส่วนของผิวที่หุ้มลำตัวไปกล้ามเนื้อกระเพาะอาหาร ลำไส้ เหงือก รวมทั้งตา และโดยเฉพาะเนื้อเยื่อที่อยู่ใต้เปลือกบริเวณรอยต่อระหว่างลำตัวกับระยางค์ส่วนต่างๆ ถ้ากุ้งขาดวิตามินนี้อย่างรุนแรง จะทำให้มีอันตรายถึงตายได้

2.4.13 โรคกุ้งหลังหัก และกุ้งตัวแดง

พบในกุ้งกุลาดำ ตั้งแต่ออกจากไข่จนถึงวัยรุ่น สาเหตุยังไม่ทราบแน่ชัด อาจเกิดจากการติดเชื้อราที่ขึ้นตามเปลือกกุ้ง หรืออาจเกิดจากสภาวะต่างๆ เช่น ความหนาแน่นมากเกินไป ความเครียดที่เกิดจากการตกใจ หรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกะทันหัน อาการที่เกิดกับลูกกุ้งวัยอ่อนระยะแรก ลูกกุ้งจะอ่อนแอ ไม่กินอาหาร ว่ายน้ำช้าลง และจมลงไปนอนอยู่ก้นบ่อ และในกุ้งวัยอ่อนจะมีอาการหลังหักตัวงอ และลำตัวจะเปลี่ยนแปลงเป็นสีแดง ผิดปกติ การเคลื่อนไหวช้าลง ในบางครั้งจะว่ายน้ำวนเวียนไปมาคล้ายควงสว่าน ซึ่งเป็นกับกุ้งวัยอ่อนลูกกุ้งจะตายจนหมดบ่อภายใน 2-3 วัน หากเกิดกับกุ้งวัยรุ่นถ้ามีการป้องกันการแพร่เชื้อก็อาจจะลดอัตราการตายลงได้

2.5 ระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์กลุ่มครัสเตเซียน

การป้องกันสิ่งแปลกปลอมของสัตว์ในกลุ่มครัสเตเซียนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบการป้องกันตัวเองจากสิ่งแปลกปลอมโดยธรรมชาติ ซึ่งมีเปลือกห่อหุ้มตัวที่มีลักษณะแข็งสามารถป้องกันสิ่งแปลกปลอมได้ และระบบการป้องกันภายในโดยระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งระบบการป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยภูมิคุ้มกัน พบได้ทั้ง การป้องกันโดยใช้เซลล์เพียงเซลล์ชนิดเดียว การป้องกันโดยเซลล์หลายชนิด และการใช้สารน้ำที่สร้างจากเซลล์ ระบบภูมิคุ้มกันสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์ได้แก่ กระบวนการกลืนทำลายหรือฟาโกไซโตซีส การสร้างโนดูล การห่อหุ้มสิ่งแปลกปลอม การแข็งตัวของเลือด ระบบโพรฟีนอลออกซิเดส ระบบการป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยสารน้ำได้แก่ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย แอคกลูตินิน สารคล้ายไซโตไคน์ โมดูเลเตอร์ สารที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ซึ่งจะทำงานร่วมกันเพื่อป้องกันและกำจัดสิ่งแปลกที่เข้าสู่ตัวเซลล์ (Millar and Ratcliffe, 1994) โดยปกติการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน จะเริ่มจากการจดจำสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย และส่งต่อข้อมูลเพื่อกระตุ้นให้เกิดการสร้างและหลั่งสารเข้าไปยับยั้งและห่อหุ้มสิ่ง

แปลกปลอม ขณะเดียวกันก็หน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายกับเซลล์เจ้าบ้าน ดังแสดงในรูปที่ 5 (Torbjorn และ Soderhäll, 1999)

2.5.1 ภูมิคุ้มกันที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์ (cellular defenses)

ภูมิคุ้มกันที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์จะเกิดขึ้นทันทีหลังจากสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ตัวเซลล์ และการตอบสนองที่เกิดขึ้นเป็นแบบไม่เฉพาะเจาะจง (non-specific defense) ไม่ต้องการการชักนำ

2.5.1.1 การแข็งตัวของเลือด

การแข็งตัวของเลือด เป็นกระบวนการแรกหลังจากการได้รับบาดแผลเพื่อป้องกันการสูญเสียเลือด และการบุกรุกของเชื้อโรคผ่านบาดแผล โดยเป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง เซลล์เม็ดเลือด ไฮยาลินเซลล์ (hyaline) และโคแอคกลูโลเจน (coagulogen) ซึ่งเป็นองค์ประกอบในสารน้ำ โดยเม็ดเลือดจะทำหน้าที่เก็บหลั่งเอนไซม์ทรานกลูตามิเนส (TGase) เมื่อถูกกระตุ้น ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของอิเล็กตรอนในโมเลกุลรอบข้าง โดยมีแคลเซียม (Ca^{2+}) เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization) ของโปรตีนในพลาสมาเกิดการแข็งตัวพร้อมกับการสร้างเม็ดสีดำ (melanin) ที่เกิดขึ้นในระบบฟีนอลออกซิเดส (Kopacek et al., 1993; Yeh et al., 1998)

2.5.1.2 กระบวนการกลืนทำลายหรือฟาโกไซโตซีส

กระบวนการกลืนทำลายหรือฟาโกไซโตซีส เป็นกระบวนการที่สำคัญของเม็ดเลือดในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก ที่มีลักษณะเล็ก ทั้งที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตที่เข้าสู่ร่างกาย การทำงานของกระบวนการกลืนทำลายสิ่งแปลกปลอมจะมีลักษณะเช่นเดียวกับสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยใช้อนุมูลอิสระของออกซิเจนเพื่อทำลายสิ่งแปลกปลอม (Munoz et al., 2000) คือ เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปเกาะบริเวณเซลล์เมมเบรนของเม็ดเลือด เซลล์เม็ดเลือดจะยื่นไซโตพลาสซึมล้อมรอบสิ่งแปลกปลอม และเพิ่มการนำออกซิเจนเข้าสู่ตัวเซลล์ (respiratory burst) ซึ่งออกซิเจนจะถูกรีดิวซ์ เป็นซูปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (superoxide anion; O_2^-) ด้วย NADPH oxidase หลังจากนั้น O_2^- จะถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยซูปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase; SOD) เปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็น น้ำและ ออกซิเจน โดยเอนไซม์แคทาเลส (Catalase) และ เพอร์ออกซเดส (Peroxidase) ดังสมการต่อไปนี้ (Torbjorn และ Soderhäll, 1999)

กระบวนการที่ต้องอาศัยเอนไซม์

NADPH oxidase $2O_2 + NADPH \longrightarrow 2O_2^- + NADP^+ + H^+$

Superoxide dismutase (SOD) $O_2^- + O_2^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2 + O_2$

Catalase $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$

Peroxidase $H_2O_2 + AH_2 \longrightarrow 2H_2O + A$

ตามธรรมชาติซุปเปอร์ออกไซด์แอนไอออน(O_2^-) อาจถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ ซิงเกล็ทออกซิเจน (singlet oxygen; $^1O_2$) ได้เองโดยไม่ต้องอาศัยเอนไซม์ นอกจากนี้ O_2^- อาจทำปฏิกิริยาร่วมกับ H_2O_2เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical; •OH) ดังสมการต่อไปนี้

กระบวนการที่ไม่ต้องอาศัยเอนไซม์

$$O_2^- + O_2^- + 2H^+ \longrightarrow {}^1O_2 + H_2O_2$$

$$O_2^- + H_2O_2 \longrightarrow \bullet OH + OH^- + O_2$$

จากปฏิกิริยาข้างต้นพบว่า O_2^- , H_2O_2 , $^1O_2$ และ •OH มีบทบาทในการกลืนทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์เกิดได้ทั้งเซลล์เม็ดเลือด ในระบบหมุนเวียนเลือดและเซลล์ที่อยู่กับที่ (fixed cell) บริเวณเหงือก ที่เรียกว่า nephrocytes โดยกระบวนการกลืนทำลายที่เกิดขึ้นในเซลล์เม็ดเลือดแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ฟาโกไซโตซีส (%phagocytosis) ยังเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือด และพบว่าสารน้ำ แอคกลูตินินในน้ำเลือด สามารถกระตุ้นกระบวนการกลืนทำลายได้ เรียกว่า อ๊อพโซนิน (opsonin) (Thornqvist และ Soderhäll, 1997)

2.5.1.3 การสร้างโนดูล

การสร้างโนดูล เกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมบุกรุกเข้าเซลล์เป็นจำนวนมาก เกินความสามารถของกระบวนการกลืนทำลาย เซลล์เม็ดเลือดจะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนล้อมรอบสิ่งแปลกปลอมเพื่อไม่ให้สิ่งแปลกปลอมกระจายไป และพบการสร้างโนดูลบริเวณเหงือก และตับ พร้อมกับการเกิดเม็ดสีดำ (melanin production) ในระบบฟีนอลออกซิเดส (Johansson และ Soderhäll, 1989)

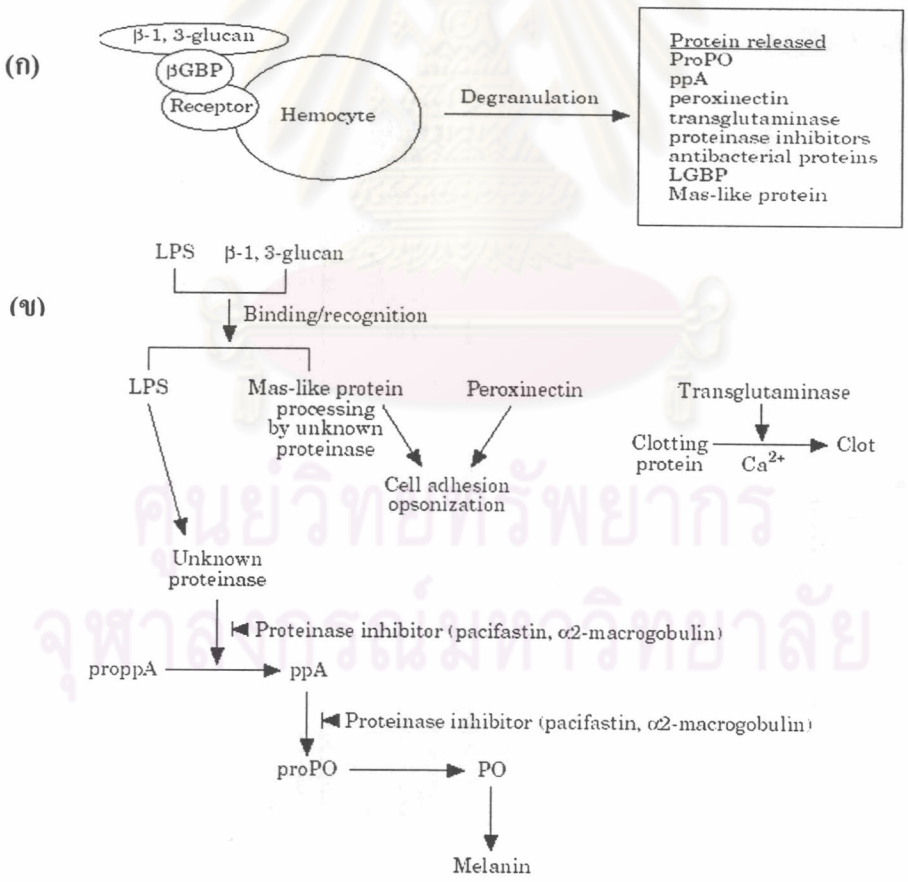
2.5.1.4 การห่อหุ้มสิ่งแปลกปลอม

การห่อหุ้มสิ่งแปลกปลอมเกิดในกรณีที่สิ่งแปลกปลอมมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร เช่น พยาธิ เชื้อรา และสัตว์เซลล์เดียวขนาดใหญ่ โดยอาศัยเซลล์เม็ดเลือดจำนวนมากมาล้อมจับกระจายหุ้มสิ่งแปลกปลอม เซลล์เม็ดเลือดเซมิแกรนูลาเซลล์ (semigranular cell) และแกรนูลาเซลล์ (granular cell) ทำหน้าที่ห่อหุ้มสิ่งแปลกปลอม ซึ่งกลไกลการฆ่าสิ่งแปลกปลอมที่ถูกห่อหุ้มอาศัยองค์ประกอบในระบบโพรฟีนอลออกซิเดส พร้อมกับมีการเกิดเม็ดสีดำ และพบว่าโปรตีน 76 kDa ในน้ำเลือดจะกระตุ้นให้เม็ดเลือดยึดเกาะกับสิ่งแปลกปลอมได้ดีขึ้น (Johansson และ Soderhäll, 1989)

2.5.1.5 ระบบโพรฟีนอลออกซิเดส

ระบบโพรฟีนอลออกซิเดส เป็นระบบที่มีเอนไซม์ต่างๆ เป็นองค์ประกอบ โดยเซลล์เม็ดเลือดชนิดเซมิแกรนูลา และแกรนูลาเซลล์ ซึ่งเป็นแหล่งสร้าง และเก็บเอนไซม์ชนิดต่างๆ โดยกลไกการเกิดขึ้นจาก เซลล์เม็ดเลือด และพลาสมาโปรตีน จะจดจำสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ และถูก

กระตุ้นโดยองค์ประกอบของเซลล์จำพวกคาร์โบไฮเดรต (Torbjörn และ Soderhäll, 1999) ได้แก่ ไลโปโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide; LPS) เพพทิโดไกแคน (Peptidoglycan; PG) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรีย และ บีตา-1,3-กลูแคน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของรา และยีสต์ โดยโปรตีนที่ทำหน้าที่จดจำสิ่งแปลกปลอม คือ เลคติน (Lectin) และสามารถทำงานได้โดยตรงเช่นเดียวกับการทำงานของ แอคกลูตินิน หรืออ๊อพโซนินหลังจากที่มีการจับของส่วนจดจำสิ่งแปลกปลอมและ องค์ประกอบของจุลินทรีย์ก่อโรคแล้ว จะทำให้เกิดการกระตุ้นให้เซลล์เม็ดเลือดเกิด ดีแกรนูเลชัน (degranulation) หลั่งเอนไซม์กระตุ้นโพรฟีนอลออกซิเดส (prophenoloxidase activating enzyme; ppA) ได้แก่ เซอรีนโปรติเอส (serine protease) และโพรฟีนอลออกซิเดส ออกจากเม็ดแกรนูล หลังจากนั้น เซอรีนโปรติเอส จะถูกกระตุ้นโดย ไลโปโพลีแซคคาไรด์ และบีตา-1,3-กลูแคน ให้กลายเป็น เซอรีนโปรติเอสที่อยู่ในรูปแอคทีฟ เปลี่ยนโพรฟีนอลออกซิเดสเป็นฟีนอลออกซิเดส และเมื่อความเข้มข้นของแคลเซี่ยมต่ำ ก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนโปรติเอส เอส (protease S) ให้อยู่ในรูปแอคทีฟ และเปลี่ยนโพรฟีนอลออกซิเดสเป็นฟีนอลออกซิเดสได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 (Aspan และคณะ, 1995; Pawelek และ Körner,1982)



รูปที่ 4 ระบบการจดจำสิ่งแปลกปลอมของโปรตีนซึ่งมีผลให้เกิดการหลั่งสารในเม็ดเลือด(ก) ลักษณะการทำงานของโปรตีนซึ่งมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน(ข) (ที่มา: Lee และ Soderhäll, 2002)

ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งของระบบโพรฟีนอลออกซิเดส คือ เพอออกซิเนคทิน (peroxinectin) มีการทำงาน 2 ส่วน คือ เร่งให้เซลล์เข้าใกล้สิ่งแปลกปลอมเร็วขึ้น และ กระตุ้นเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส จากการศึกษาในกุ้งนางพบว่า เพอออกซิเนคทินเป็นสารที่สร้างมาจากเม็ดเลือด และถูกหลั่งออกมาจากแกรนูลาเซลล์เมื่ออยู่ในสภาวะที่ถูกกระตุ้นจากนอกเซลล์ (Johansson, 1999)

นอกจากเม็ดเลือดมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่ผลิต และปล่อยสารจากเซลล์ ได้แก่ แอคกลูตินิน (agglutinin) สารที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (antibacterial peptides) และสารที่เป็นพิษ เช่น เอนไซม์ ไลโซโซมอล (lysosomal enzymes) (Kopacek และคณะ, 1993; Destoumieux และคณะ, 2000; Millar และRatcliffe, 1994) เพื่อใช้ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมแล้ว ยังทำหน้าที่ผลิตสารที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเอนไซม์ที่สามารถย่อยโปรตีน เพื่อป้องกันเนื้อเยื่อของเจ้าบ้านถูกทำลาย โดยโปรตีนแคเซล(Kazal) และ เซอร์พีน (Serpin) อัลฟาแมคโครโกลบูลิน (α-macroglogulin)จะทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เซอรีนโปรติเอส ซึ่งพบในครัสเตเซียน (Kanost, 1999; Armstrong และ Quigley, 1999; Lee และ Soderhäll, 2002)

2.5.2. ภูมิคุ้มกันที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยสารน้ำ (humoral defenses)

ซีรัมของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง จะมีองค์ประกอบหลายชนิดที่ทำหน้าที่ในระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย แอคกลูตินิน สารคล้ายไซโตไคน์ โมดูเลเตอร์ และสารที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด ซึ่งองค์กระกอบเหล่านี้จะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรืออาจถูกชักนำให้เกิดขึ้น ซึ่งการถูกชักนำนี้ จะไม่แสดงคุณสมบัติของอินมูโนโกลบุลินที่สามารถจดจำแอนติเจน และตอบสนองต่อแอนติเจนนั้นๆ เมื่อพบแอนติเจนเป็นครั้งที่สองอย่างเฉพาะเจาะจงได้เช่นเดียวกับสัตว์มีกระดูกสันหลัง (Ratcliffe และคณะ, 1985; สมบัติ รักประทานพร, 2542)

2.5.2.1 ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย สามารถพบได้ทั้งในส่วนของพลาสมา ซีรัม และส่วนใสของเซลล์เม็ดเลือดแตก ได้แก่ แบคเทอริซิดิน (bactericidin) และพีเนียดิน (penaeidins) สามารถถูกชักนำให้สูงขึ้นเมื่อได้รับการกระตุ้นเมื่อเกิดการติดเชื้อ ไม่ทนความร้อนและโซเดียมคลอไรด์ ประสิทธิภาพสูงที่พีเอชต่ำ (5.2-6.0) มีความจำเพาะต่อเชื้อบางส่วน มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์แบคทีเรีย แต่ไม่ทำให้เซลล์แตก และไม่ได้เกิดจากฟีนอลออกซิเดสที่พบในเม็ดเลือด จากการศึกษาในปู *Carcinus maenas* ของ Schnapp และคณะ (1996) พบการทำงานของสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์แบคทีเรีย เป็นโปรตีนขนาด 6.5 kDa ประเภทโพรลีน-ริช (proline-rich) จากปลาย N-terminus (Torbjörn และ Soderhäll, 1999)

2.5.2.2 แอคกลูตินิน

แอคกลูตินิน เป็นสารก่อให้เกิดการจับตัวของเม็ดเลือดแดงในสัตว์มีกระดูกสันหลัง แบคทีเรีย และโปรโตซัว พบในเลือดของครัสเตเซียน นอกจากจะทำให้เกิดการจับตัวของสิ่ง

แปลกปลอมแล้วยังทำหน้าที่เป็นอ๊อพโซนินกระตุ้นกระบวนการฟาโกไซโตซีส ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์อีกด้วย

2.5.2.3 สารคล้ายไซโตไคน์

พบโปรตีนขนาด 76 kDa ในเลือดกุ้งแสดงสมบัติสารคล้ายไซโตไคน์ ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีหน้าที่กระตุ้นกระบวนการฟาโกไซโตซีส ช่วยการยึดติดระหว่างเซลล์เม็ดเลือดกับสิ่งแปลกปลอมขณะเกิด การห่อหุ้มสิ่งแปลกปลอม และส่งเสริมการทำงานของระบบโพรฟีนอลออกซิเดส โดยช่วยให้เม็ดเลือดชนิดเซมิแกรนูลา และแกรนูลา ปล่อยเอนไซม์โพรฟีนอลออกซิเดสออกมากำจัดเชื้อโรคมากขึ้น

2.5.2.4 โมดูเลเตอร์

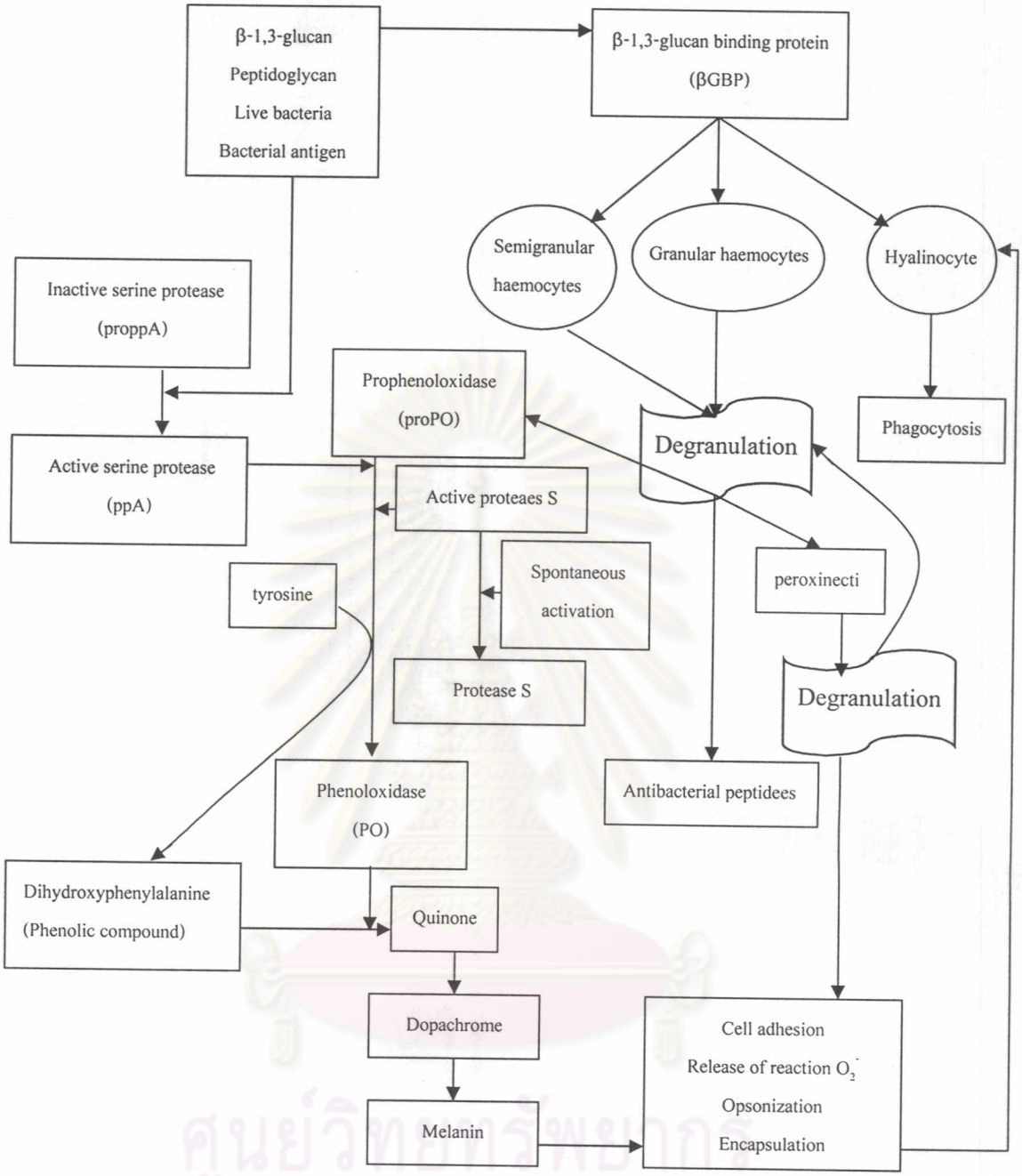
เป็นตัวควบคุมระบบภูมิคุ้มกันให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ได้แก่ proteinase inhibitor และ α-macroglobulin ยับยั้ง เซอรีนโปรติเอส ในระบบโพรฟีนอลออกซิเดสให้อยู่ในระดับที่สมดุล

2.5.2.5 สารที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด

โคแอคกลูโลเจน เป็นโปรตีนในพลาสมาที่มีบทบาทป้องกันการสูญเสียเลือดและการบุกรุกของเชื้อโรค จากการศึกษาพบโปรตีนขนาด 210 kDa ทำหน้าที่ให้เกิดการแข็งตัวของโรคในพลาสมากุ้งนาง (Torbjorn และ Soderhäll, 1999)

โดยภาพรวมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในในสัตว์กลุ่มครัสเตเซียน ดังแสดงในรูปที่ 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

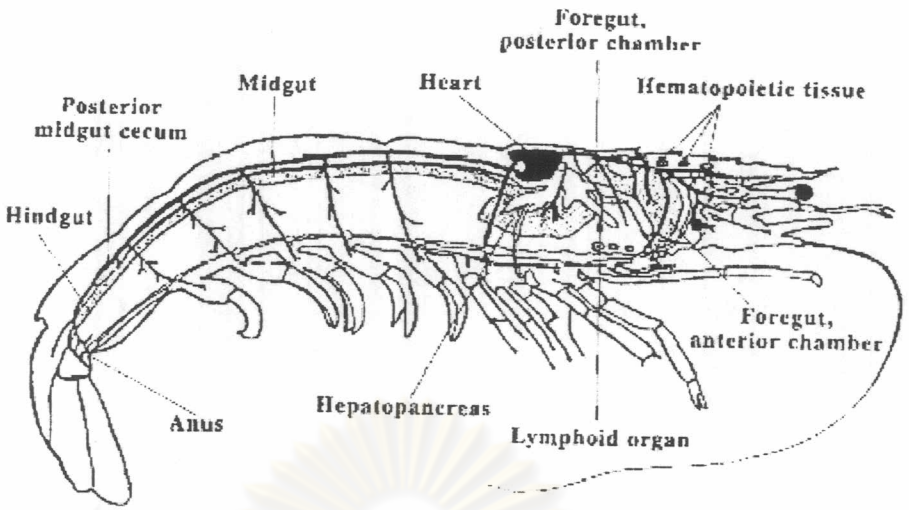


รูปที่ 5 ภาพรวมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในสัตว์กลุ่มครัสเตเซียน

(ที่มา: Aspan และ Söderhäll, 1991; Pawelek และ Körner, 1982; Smitha และคณะ, 2003)

2.5.3 เนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันในกุ้งกุลาดำ

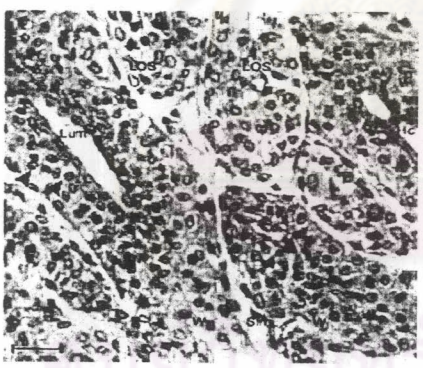
เนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันในกุ้งกุลาดำพบได้ 3 บริเวณ ได้แก่ ต่อมน้ำเหลือง (Lymphoid organ) อวัยวะสร้างเม็ดเลือด (Hematopoietic tissue) และอวัยวะต่างๆที่มีเซลล์จับกินสิ่งแปลกปลอมกระจายอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะภายในของกุ้งกุลาดำ (ที่มา: Sung และSong, 1996)

2.5.3.1. ต่อมน้ำเหลือง

บริเวณต่อมน้ำเหลืองประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ ได้แก่ เม็ดเลือด(Haemocyte: Hc) ภายในท่อน้ำเหลือง (Tubule lumen: Lum) ต่อมน้ำเหลือง (Lymphoid organ spheroid: LOS) แอ่งเลือด (Haemolymph sinus: Sin) และผนังท่อน้ำเหลือง (Tubule wall: W) ดังแสดงในรูปที่ 7

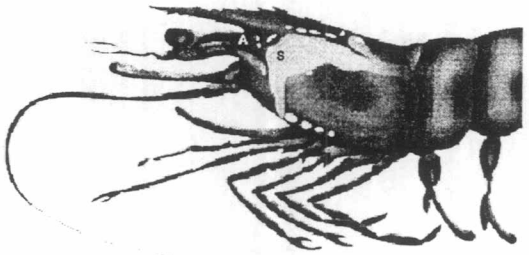


1. Haemocyte: Hc
2. Tubule lumen: Lum
3. Lymphoid organ spheroid: LOS
4. Haemolymph sinus: Sin
5. Tubule wall: W

รูปที่ 7 ต่อมน้ำเหลืองของกุ้งกุลาดำ (ที่มา: Braak, 2002)

2.5.3.2. อวัยวะสร้างเม็ดเลือด

อวัยวะสร้างเม็ดเลือดของกุ้ง (haematopoietic tissue; HPT) โดยอวัยวะสร้างเม็ดเลือดของกุ้งจะอยู่ใกล้กับหลอดเลือดเออร์ต้าส่วนหน้า ใต้กรี ซึ่งมีทั้งลักษณะ กลม และลอนยาวเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณบริเวณหัวของกุ้ง (Supamattaya และคณะ, 2000) ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การกระจายของเม็ดเลือด (จุดสีขาว) รอบต่อมแอนเทนนอล (antennal gland : A) และบริเวณท้อง (stomach : S) (ที่มา: Braak, 2002)

2.5.3.3. อวัยวะต่างๆที่มีเซลล์จับกินกระจายอยู่

อวัยวะต่างๆที่มีเซลล์จับกินกระจายอยู่ ได้แก่ เนื้อเยื่อที่มีการกำจัดสิ่งแปลกปลอมได้ดีคือ เหงือก ต่อมน้ำเหลือง หัวใจ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ (Braak, 2002)

2.5.4 ชนิดของเม็ดเลือด

ชนิดของเม็ดเลือดสามารถแบ่งได้ทั้งตามหน้าที่การทำงาน และแบ่งตามรูปร่าง

2.5.4.1ชนิดของเม็ดเลือดแบ่งตามการทำงาน

2.5.4.1.1.ไฮยาลินเซลล์ (hyaline cell)

เป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีขนาดล็ก รูปร่างแบน กลม ผิวเรียบไม่มี microvilli และ pseudopodium ที่ผิวเซลล์ขนาดเซลล์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4-8.3 ไมครอน (เซลล์กลม) กว้าง 3.6 ไมครอน ยาว 6.8-13.9ไมครอน (เซลล์รูปรีหรือกระสวย) ในไซโตพลาสซึมมีแกรนูลอยู่น้อย หรือไม่มีเลย และทำหน้าที่หลักเกี่ยวข้องกับระบบการกลืนทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 9 (Torbjorn และ Soderhäll, 1999)

รูปที่ 9 เม็ดเลือดชนิดไฮยาลินเซลล์ (hyaline cell) ของกุ้งกุลาดำ (ก) แสดงภาพจาก Transmission electron micrograph, (ข) แสดงภาพจาก Scanning electron micrograph) (ที่มา: Braak, 2002; กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ, 2543)

2.5.4.1.2. เซมิแกรนูลาเซลล์ (semigranular cell)

เซลล์ที่เกาะพื้นแก้วได้ดี มีส่วนยื่นของเซลล์ (cell process) หรือ pseudopodia ค่อนข้างมาก บริเวณผิวเซลล์พบ microvilli เล็กน้อย เซลล์มีความกว้าง 4.2-6.8 ไมครอน ยาว 9.0-14.2 ไมครอน

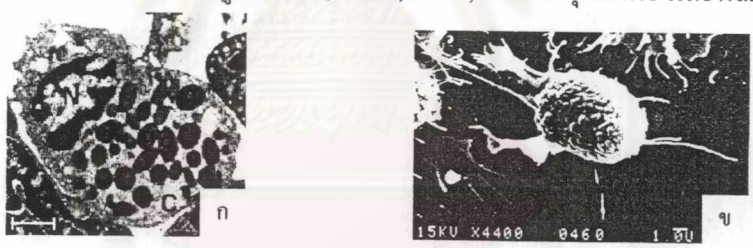
ในไซโตพลาสซึม มีแกรนูลน้อย และมีขนาดเล็ก เห็นไม่ชัดเจนจากผิวภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 10 เม็ดเลือดชนิดเซมิแกรนูลาเซลล์ (semigranular cell) ของกุ้งกุลาดำ (ก) แสดงภาพจาก Transmission electron micrograph, (ข) แสดงภาพจาก Scanning electron micrograph) (ที่มา: Braak, 2002; กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ, 2543)

2.5.4.1.3. แกรนูลาเซลล์ (granular cell)

คล้าย semigranular cell แต่ขนาดโตกว่า มีส่วนยื่นของเซลล์ (cell process) หรือ pseudopodia เห็นได้ชัดเจน เซลล์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10ไมครอน กว้าง 7.2-7.8ไมครอน ยาว 12.2-14.6ไมครอน

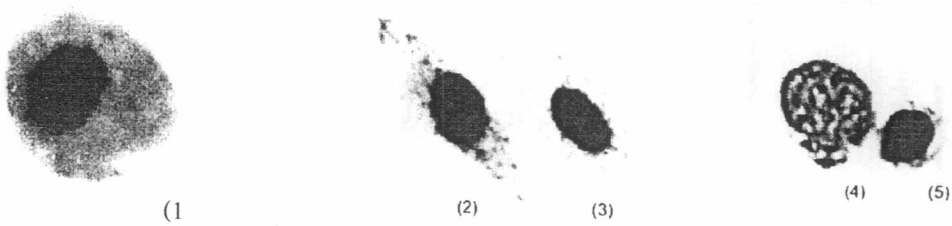
ในไซโตพลาสซึมมีแกรนูลมีขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7-1.0ไมครอน และปริมาณมาก เห็นได้ชัดเจนจากผิวภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 11 (Braak, 2002; กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ, 2543)



รูปที่ 11 เม็ดเลือดชนิดแกรนูลาเซลล์ (granular cell) ของกุ้งกุลาดำ (ก) แสดงภาพจาก Transmission electron micrograph, (ข) แสดงภาพจาก Scanning electron micrograph (ที่มา: กิจการ ศุภมาตย์ และคณะ, 2543)

2.5.4.2 ชนิดของเม็ดเลือดแบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ชนิดของเม็ดเลือดแบ่งตามลักษณะรูปร่างออกเป็น 5 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 12 และตารางที่ 2



รูปที่ 12 ชนิดของเม็ดเลือดแบ่งตามลักษณะรูปร่าง (ภาพจาก Light micrograph)

(ที่มา: Braak, 2002)

ตารางที่ 2 ชนิดของเม็ดเลือดแบ่งตามลักษณะรูปร่าง

ชนิด	รูปร่างนิวเคลียส	สีของนิวเคลียส	รูปร่างเม็ดเลือด	สีของไซโตพลาสซึม
1	รูปทรงกลมรี,รูปคล้ายเกือกม้า	สีฟ้า	รูปทรงกลมรี	สีแดง
2	รูปทรงรี,รูปคล้ายเกือกม้า	สีฟ้า	เรียวยาว	ไม่มีสี หรือสีแดงใส
3	รูปทรงรี,รูปคล้ายเกือกม้	สีฟ้า	รูปทรงกลมรี	ไม่มีสี หรือสีแดงใส
4	รูปร่างไม่แน่นอน	ภายในบรรจุสารสีฟ้า และมีเม็ดสีแดง		
5	รูปร่างไม่แน่นอน	น้ำเงิน	รูปทรงกลมเล็ก	ไม่มีสี

(ที่มา: ที่มา: Braak, 2002)

2.6 การใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในกุ้ง

สารกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Immunostimulant) คือ สารเคมี ยา ที่ช่วยเพิ่มกลไกลการตอบสนองแบบจำเพาะ หรือไม่จำเพาะเจาะจง การใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันอาจใช้เพียงชนิดเดียวเพื่อช่วยในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันแบบไม่จำเพาะเจาะจง หรือใช้ร่วมกันกับวัคซีนเพื่อช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันทั้งแบบจำเพาะเจาะจง และแบบไม่จำเพาะ (Anderson, 1992)

ปัจจุบันมีการใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์เศรษฐกิจอย่างแพร่หลาย ได้แก่ สุกร ไก่ ปลา และ กุ้ง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มครัสเตเซียน มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทั้งในและต่างประเทศ โดยสารที่ใช้เพื่อกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ แบคทีเรียที่มีชีวิต (โพรไบโอติคแบคทีเรีย) เซลล์แบคทีเรียตาย(หรือแอนติเจนของแบคทีเรีย) บีตากลูแคน (β-glucan) lypopolysaccharide (LPS) peptidoglycan (PG) (Smith และคณะ, 2003) สารสี (astaxanthine) (Boonyaratpalin และคณะ, 2000) เป็นต้น โดยการใช้แบคทีเรียที่มีชีวิต และเซลล์แบคทีเรียตายซึ่งไม่เป็นเชื้อก่อโรคหรือทำให้หมดความเป็นพิษ เช่นเดียวกับการใช้วัคซีน ซึ่งการใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันนี้เพื่อทำให้ สัตว์มีสุขภาพแข็งแรง ทนต่อสภาพแวดล้อมและการเกิดโรค ทดแทนการใช้สารปฏิชีวนะลดปัญหาสารตกค้างในเนื้อสัตว์และการดื้อยาของจุลินทรีย์ก่อโรค

Guoding และคณะ (1997) ทำการศึกษาผลของ β-1,3-1,6-glucan ที่สกัดจากผนังเซลล์ยีสต์ต่อระบบภูมิคุ้มกันแบบไม่เฉพาะเจาะจงของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) โดยทำการทดลองเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่เสริมด้วยβ-1,3-1,6-glucan ทั้งแบบผสมในอาหารเลี้ยงกุ้งและแช่กุ้งกุลาดำในสารละลาย β-1,3-1,6-glucan ก่อนนำมาเพาะเลี้ยงแล้วทดลองชักนำให้เกิดโรคโดยการแช่กุ้งกุลาดำในเซลล์แขวนลอยของ *Vibrio vulnificus* และไวรัสที่ก่อโรคจุดขาวในกุ้ง พบว่าอัตราการรอดชีวิตของกุ้ง

กุลาดำในกลุ่มที่เสริมด้วย β-1,3-1,6-glucan มีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่ากลุ่มควบคุม และศึกษาการทนต่อภาวะเครียดที่เกิดขึ้นขณะการจับ การขนส่ง และการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอมโมเนีย พบว่ากุ้งกุลาดำในกลุ่มที่เสริมด้วย β-1,3-1,6-glucan สามารถทนต่อภาวะเครียดได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม โดยสังเกตจากอัตราการรอดชีวิตของกุ้งกุลาดำ สำหรับอัตราการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

Itami และคณะ (1998) ศึกษาประสิทธิภาพของเพพทิโดไกลแคนจาก *Bifidobacterium thermophilum* ในกุ้ง *Penaeus japonicus* พบว่ากุ้งในกลุ่มที่ได้รับอาหารผสมเพพทิโดไกลแคน มีความต้านทานต่อการเกิดโรคสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยหลังจากการชักนำให้เกิดโรคด้วย *Vibrio penaeicida* และไวรัสที่ทำให้เกิดโรคดวงขาว ทดสอบประสิทธิภาพการกลืนทำลายสิ่งแปลกปลอม (phagocytosis) ของเม็ดเลือดพบว่า ฟาโกไซติก อินเด็กซ์ (phagocytic index) ในกุ้งที่ได้รับอาหารผสมเพพทิโดไกลแคน มีค่าสูงกว่ากลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ

Teunissen และคณะ (1998) ทดสอบความสามารถในการต้านทานการเกิดโรค vibriosis ของ *Penaeus monodon* ในระยะ post-larvae โดยแช่กุ้งกุลาดำในวัคซีน A (*Vibrio* spp.ที่ฆ่าด้วยฟอร์มาลีน และ กลูแคน), วัคซีน B (*Vibrio* spp.ที่ฆ่าด้วย ฟอร์มาลีน) และ กลูแคน พบว่า การให้วัคซีนทั้ง 3 ชนิดสามารถเพิ่มความต้านทานการเกิดโรคของกุ้ง *Penaeus monodon* ในระยะ post-larvae ได้ดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยวัคซีน A มีประสิทธิภาพในการต้านการเกิดโรคสูงที่สุดเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงนานขึ้น

Scholz และคณะ (1999) ศึกษาความสามารถในการต้านทานการเกิดโรค vibriosis ของ *Penaeus vannamei* เมื่อให้อาหารแตกต่างกัน 5 สูตร ได้แก่ อาหารผสม *Saccharomyces cerevisiae*, อาหารผสม β-glucan ซึ่งสกัดจาก *S. cerevisiae*, อาหารผสม *Phaffia rhodozyma,* อาหารผสม HPPR1 (*Saccharomyces exiguus* ที่ใส่สารสี xeaxanthin) และอาหารสูตรปกติ สังเกตน้ำหนักเนื้อการรอดชีวิต และอัตราแลกเนื้อ (FCR) พบว่าอัตราน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ในอาหารแต่ละสูตรไม่แตกต่างกัน การรอดชีวิตในกลุ่มที่ให้อาหารผสม *S. cerevisiae*, *Phaffia rhodozyma*และ HPPR1 แตกต่างจากกลุ่มที่ให้อาหารผสม β-glucan อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม น้ำหนักกุ้งเมื่อชั่งครั้งสุดท้ายกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม *Phaffia rhodozyma* สูงกว่า กลุ่มที่ให้อาหารผสม β - glucan อัตราแลกเนื้อในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียโดย hemolymph หลังการชักนำให้เกิดโรค 27 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มที่ให้อาหารผสม *S. cerevisiae*, *Phaffia rhodozyma,* HPPR1 และกลุ่มควบคุมมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรียไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ทำการชักนำให้เกิดโรค แต่กลุ่มที่ให้อาหารผสมβ - glucan ยังคงมีความสามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียสูงอยู่อย่างมีนัยสำคัญ

Rengpipat และคณะ (1998) แยก *Bacillus* สายพันธุ์ S11 จากลำไส้กุ้งกุลาดำที่มีสุขภาพดีและมีสมบัติเป็นโพรไบโอติก ผสมในอาหารเลี้ยงกุ้ง พบว่ากุ้งมีอัตราการรอดชีวิต และความ

ต้านทานต่อการเกิดโรคสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ และหลังการชักนำให้เกิดโรคด้วย *V. harveyi* สายพันธุ์ D331 เป็นเวลา 10 วันพบว่า กุ้งกลุ่มที่ให้อาหารผสม *Bacillus* สายพันธุ์ S11 มีอัตราการรอดชีวิต 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กลุ่มควบคุม มีอัตราการรอดชีวิต 26 เปอร์เซ็นต์

Rengpipat และคณะ (2000) แสดงสมบัติของ *Bacillus* สายพันธุ์ S11 เป็นโพรไบโอติก ที่มีผลต่อการต่อการเจริญเติบโตและการเสริมภูมิคุ้มกันที่ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยเซลล์ และสารน้ำในกุ้งกุลาดำ *Penaeus monodon* ซึ่งเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด พบว่าน้ำหนักตัวและการรอดชีวิตของกุ้งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเสริมโพรไบโอติกให้กุ้งในระยะ postlarvae แต่ไม่มีผลต่อน้ำหนัก และการรอดชีวิตกุ้งในระยะวัยรุ่น พบว่ามีผลกระตุ้นประสิทธิภาพการกลืนทำลายสิ่งแปลกปลอมโดยวิธีฟาโกไซโทซิส ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ฟาโกไซโทซิส และฟาโกไซติก อินเดกซ์ และเพิ่มปริมาณฟีนอล ออกซิเดสในเม็ดเลือดกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบความต้านทานต่อการชักนำให้เกิดโรคด้วย *V. harveyi* สายพันธุ์ 1526 พบว่ากุ้งกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมโพรไบโอติกมีเปอร์เซ็นต์การตายสะสมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และพบเปอร์เซ็นต์ฟาโกไซโทซิส, ฟาโกไซติก อินเดกซ์ และจำนวนเม็ดลาเท็กซ์ที่ถูกกินต่อเซลล์ถูกชักนำให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การชักนำให้เกิดโรคด้วย *V. harveyi* สายพันธุ์ 1526 มีผลทำให้ปริมาณเม็ดเลือดรวมของกุ้งลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ฟาโกไซโทซิส, ฟาโกไซติก อินเดกซ์ และฤทธิ์ต้านแบคทีเรียในกุ้งทั้งสองกลุ่มการทดลองสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Boonyaratpalin และคณะ (2000) ศึกษาผลของสารสี Astaxanthine ต่อการเจริญเติบโต อัตรารอด และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักในกุ้งกุลาดำ พบว่าสารสีไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดชีวิตของกุ้ง แต่มีผลต่อ ระบบภูมิคุ้มกันของกุ้ง โดยทำให้ปริมาณเม็ดเลือดสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ต้านทานต่อโรคติดเชื้อจากแบคทีเรีย แต่ไม่มีผลต่อเอนไซม์ฟีนอลออกซิเดส

Alabi และคณะ (1999, 2000) ศึกษาการใช้ *V. harveyi* สายพันธุ์ DPEX ในรูปการทำแห้งแบบเยื่อแข็ง (freeze-dried) โดยแช่ *P. indicus* วัยอ่อน ต่อความสามารถในการทนต่อการเกิดโรค และพบการสร้าง antibacterial ในพลาสมาของ *P. vannamei* เมื่อให้วัคซีนจาก *V. harveyi* สายพันธุ์ DPEX ในรูปที่ยังมีชีวิตอยู่

Thanardkit และคณะ (2002) ศึกษาการใช้ β-glucan ที่สกัดจากยีสต์ (brewer'yeast) พบว่าการใช้ β-glucan 0.2 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ในอาหารเลี้ยงกุ้ง เป็นเวลา 3 วัน กระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ prophenoloxidase จากเม็ดเลือดกุ้งให้มีปริมาณสูงขึ้นสามารถในการกำจัดเชื้อก่อโรค *V. harveyi* นอกจาก นี้ยังมีการกระตุ้นเอนไซม์ ในตับกุ้งอีกด้วย

Chythanya และคณะ (2002) ศึกษาการใช้ สารที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทนความร้อน ละลายในคลอรอฟอร์ม (chloroform) และไม่ถูกย่อยโดยเอ็นไซม์ (proteolytic enzymes) ซึ่งได้จาก *Pseudomonas* I-2 ยับยั้งเชื้อ *Vibrio harveyi, V. fluvialis, V. parahaemolyticus, V. damsela* และ *V.*

vulnificus พบว่าการใช้สารชนิดนี้ในช่วง 20-50 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ช่วยลดปริมาณเชื้อ *Vibrio spp.* และไม่เป็นอันตรายต่อลูกกุ้ง

Lópeza และคณะ (2003) ศึกษาลักษณะทางกายภาพ สารอาหาร และระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งกุลาดำ เมื่อให้อาหารผสมβ-1,3-glucan (BG) และวิตามิน C กับ *Litopenaeus vannamei* วัยอ่อน พบว่าทำให้กุ้งมีอัตราการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนสูงขึ้น แต่เม็ดเลือดรวม แกรนูลาเซลล์ เอนไซม์โพรฟีนอลออกซิเดส (proPO) คงที่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าBGถูกย่อยไปในกระบวนการย่อยอาหาร โดยเอนไซม์ β-glucanases แล้วให้พลังงาน ขณะที่ วิตามินC เป็นตัวทำให้กุ้งมีสุขภาพดีขึ้น โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาผลาญอาหาร (metabolism) ให้แก่กุ้ง เมื่อทำให้กุ้งเกิดสภาวะเครียดโดยเปลี่ยนความเค็ม พบว่า triacylglycerols (TAGs) และ คลอเลสเทอรอลในเลือดลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานอย่างรวดเร็วในกระบวนการย่อย และอัตราส่วนของ ProPO ต่อ แกรนูลาเซลล์ในกลุ่มที่ให้ วิตามินC มีปริมาณสูงขึ้นแต่กลุ่ม BG ลดลง แสดงให้เห็นว่าชนิดของสารกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันทำให้การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันมีการตอบสนองแตกต่างกัน

Suphantharika และคณะ (2003) ศึกษาการใช้สารกระตุ้นภูมิคุ้มกันจาก บีตากลูแคนซึ่งสกัดจากยีสต์ชนิด brewer's yeast ยีสต์ชนิด baker's yeast และยีสต์ brewer's yeast และผนังเซลล์ของ brewer's yeast ต่อการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของกุ้งกุลาดำ โดยให้ เป็นเวลา 3 วัน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม จากการทดลองพบว่าการให้อาหารผสมบีตากลูแคนมีผลกระตุ้นระดับฟีนอลออกซิเดสของกุ้งให้สูงขึ้น

Gullian และคณะ (2004) รายงานผลของการใช้ *Bacillus* P64 โดย แช่ *P. vannamei* ในน้ำซึ่งมี *Bacillus* P64 10^7CFU/ml พบว่า กุ้งมีน้ำหนักมากขึ้น หลังการชักนำให้เกิดโรคด้วย *V. harveyi* มีไฮยาลินเซลล์มี และ ฟีนอลออกซิเดส ปริมาณสูงขึ้น

Namikoshi และคณะ (2004) ทำการทดลองหาวัคซีนต้านทานต่อโรคติดเชื้อจากไวรัส white spot syndrome virus (WSSV) ให้แก่กุ้ง kuruma shrimp (*Penaeus japonicus*) พบว่าการให้วัคซีนจาก WSSV ที่ถูกทำให้เสียสภาพพิษด้วยฟอร์มาลินทำให้กุ้งทนทานต่อการเกิดโรคได้ แต่ WSSV ที่ถูกทำให้เสียสภาพพิษด้วยความร้อนไม่ช่วยให้กุ้งทนทานต่อการเกิดโรค และหลังจากนั้นทำการทดลองโดยผสมวัคซีนจาก WSSV ที่ถูกทำให้เสียสภาพพิษด้วยฟอร์มาลินกับสารกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกับ (บีตากลูแคน) หรือการผสมด้วยเซลล์ของ *V. penaeicida* (killed *Vibrio penaeicida*) พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวัคซีน แต่ยังทำให้อัตราการรอดชีวิตของกุ้งต่ำกว่าการใช้สารโปรตีนลูกผสม (recombinant proteins) rVP26 c และ rVP28 ที่ได้จาก WSSV