บทที่ 2

ความเป็นมาขององค์ประกอบหลักของระบบ

จากแนวความคิดและเหตุผลที่ทำการวิจัยในหัวข้อการพัฒนาโปรแกรมระบบเชี่ยวชาญโดยใช้กรณีศึกษาการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในบทที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบที่สำคัญในการวิจัย 2 ส่วนคือ ส่วนแรกได้แก่การเลือกระบบเชี่ยวชาญตัวอย่างที่มีใช้งานจริงในปัจจุบัน และมีเอกสารอ้างอิงต่างๆ เพียงพอที่จะใช้เป็นระบบต้นแบบตัวอย่างได้ พร้อมทั้งมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับลักษณะขอบเขตความรู้ที่จะทำการพัฒนา พบว่าระบบเชี่ยวชาญ MYCIN ซึ่งใช้งานด้านการแพทย์เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์โรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดอาการกับคนไข้ เช่นเดียวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา ส่วนที่สองคือ กรณีศึกษาที่เป็นแหล่งความรู้ซึ่งถูกบรรจุลงในฐานความรู้ของระบบจะเป็นความรู้ทั่วๆ ไปเกี่ยวกับกุ้งกุลาดำและปัญหาที่พบบ่อยในการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาโดยละเอียด ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเนื้อหาทั้งสองส่วนซึ่งมีความสัมพันธ์กันเพื่อแสดงถึงแนวความคิดที่เน้นให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องทำการพัฒนาระบบเชี่ยวชาญขึ้นมาเพื่อใช้ช่วยปริกษาปัญหาที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก ต้องการความรู้ความสามารถในระดับผู้เชี่ยวชาญอย่างแท้จริง

ระบบเชี่ยวชาญ MYCIN [8]

ระบบเชี่ยวชาญ MYCIN เป็นระบบที่ออกแบบเพื่อใช้งานด้านการแพทย์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ฐานความรู้ (Knowledge base) และกระบวนการวินิจฉัย (Inference mechanism) และส่วนต่างๆ ของระบบที่ติดต่อกับผู้ใช้เช่น ระบบถาม/ตอบ (Question/Answering system) ระบบอธิบายการทำงาน (Explanation system) ระบบเพิ่มความรู้ (Knowledge Acquisition system) เป็นต้น หน้าที่หลักของระบบ MYCIN คือ เลือกหาชนิดของยาปฏิชีวนะที่เหมาะสมกับคนไข้ โดยพิจารณาจากข้อมูลและสภาวะต่างๆ ของคนไข้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจในลักษณะการทำงานของโปรแกรมที่ทำการรวบรวมหลักฐาน มีฐานความรู้ซึ่งถูกแทนค่าอยู่ในรูปของกฎความรู้ (Rule-based system) และกระบวนการวินิจฉัยเป็นการให้เหตุผลแบบย้อนหลัง (Backward Chaining) โครงสร้างของระบบ MYCIN จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อย

3 ระบบคือ โปรแกรมที่ทำการปรึกษา โปรแกรมทำการอธิบาย และโปรแกรมเพิ่มเติมความรู้เข้าสู่ระบบ ดังรูปที่ 2.1

ลักษณะของค่าความจริง (fact) เกี่ยวกับคนไข้และข้อสรุปต่างๆ ที่ได้จากระบบจะถูกแทนค่าอยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบ OBJECT-ATTRIBUTE-VALUE TRIPLETS โดยที่วัตถุ (object) จะแทนค่าของเนื้อความ (context) หมายถึงสิ่งของที่เฉพาะเจาะจง เช่นเชื้อโรคแต่ละชนิดที่ทำการเพาะซึ่งนำตัวอย่างมาจากคนไข้ หรือชนิดของยาปฏิชีวนะที่คนไข้ใช้อยู่ แอทริบิวต์ (attribute) จะถูกแทนเป็นค่าของพารามิเตอร์ทางการแพทย์ (clinical parameter) ใช้กำหนดลักษณะของเนื้อความต่างๆ การถามคำถามในระหว่างการปรึกษากับระบบจะเป็นวิธีการหาค่าของแอทริบิวต์ต่างๆ (value) ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุนั้นๆ ส่วนการแทนค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลจะมีค่าของปัจจัยความเชื่อมั่นแสดงอยู่กับตัว OBJECT-ATTRIBUTE-VALUE TRIPLETS แต่ละชุดข้อมูลซึ่งจะมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 แสดงถึงความเชื่อมั่นที่มีต่อเหตุการณ์ว่ามากน้อยแค่ไหน

1. <u>ความรู้ของระบบ</u>

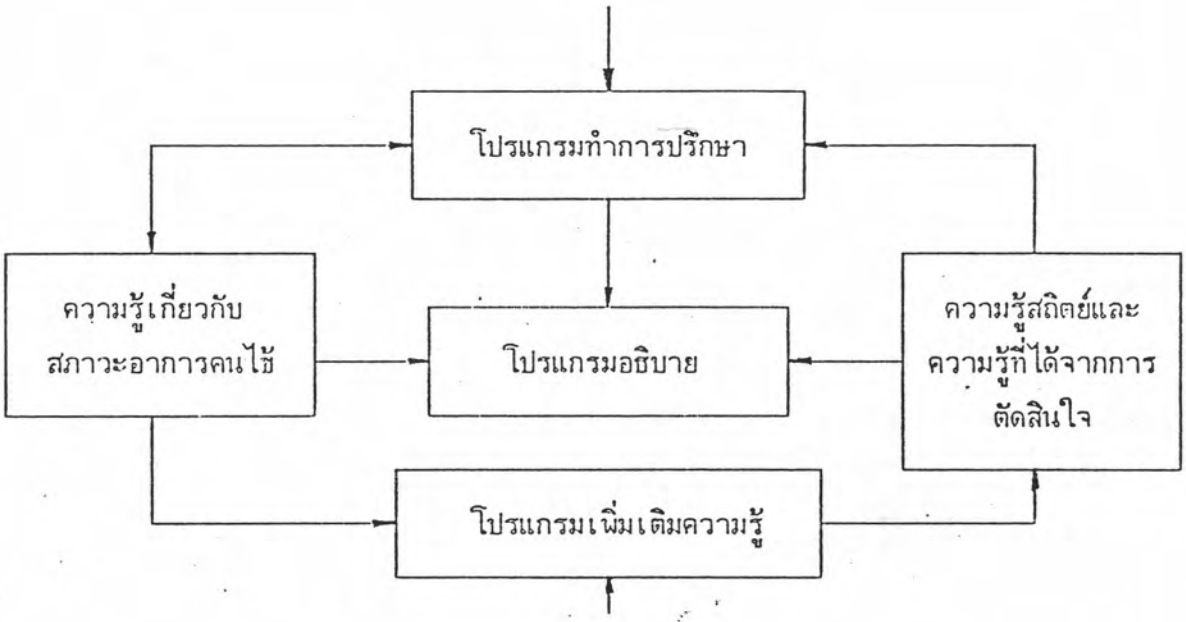
จะแทนค่าอยู่ในรูปของกฎซึ่งสามารถแสดงแบบแบคคัส-นอร์ได้ดังนี้

<RULE> ::= <PREMISE><ACTION> ¦ <PREMISE><ACTION>
<ELSE>

ในส่วน <PREMISE> หรือส่วนหลักฐาน จะประกอบด้วยประโยคเงื่อนไขหลายๆ ประโยคที่ส่วนควบคุมการทำงานจะทำการตรวจสอบเพื่อหาข้อสรุป ตัวอย่างฟังก์ชั่นที่ใช้ประเมินผลประโยคเงื่อนไขเหล่านั้นเช่น SAME, NOTSAME, KNOW, NOTKNOW เป็นต้น ถ้าส่วนหลักฐานเป็นจริงส่วนควบคุมการทำงานจะกำหนดให้ส่วนกระทำหรือ <ACTION> ของกฎนี้มีการทำงานตามฟังก์ชั่นที่อยู่ในส่วนกระทำนั้นเช่น CONCLUDE, RECOMMEND, TREATMENT เป็นต้น ตัวอย่างกฎความรู้ในระบบเชี่ยวชาญ MYCIN ที่แสดงเป็นภาษาอังกฤษเช่น

กฎที่ 037 ซึ่งเป็นกฎที่ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดของเชื้อโรค จะมีเนื้อหาดังนี้

IF : 1) THE IDENTITY OF THE ORGANISM IS NOT KNOWN
WITH CERTAINTY, AND
2) THE STAIN OF THE ORGANISM IS GRAMNEG, AND
3) THE MORPHOLOGY OF ORGANISM IS ROD, AND
4) THE AEROBICITY OF THE ORGANISM IS AEROBIC
THEN : THERE IS STRONGLY SUGGESTIVE EVIDENCE (0.8)



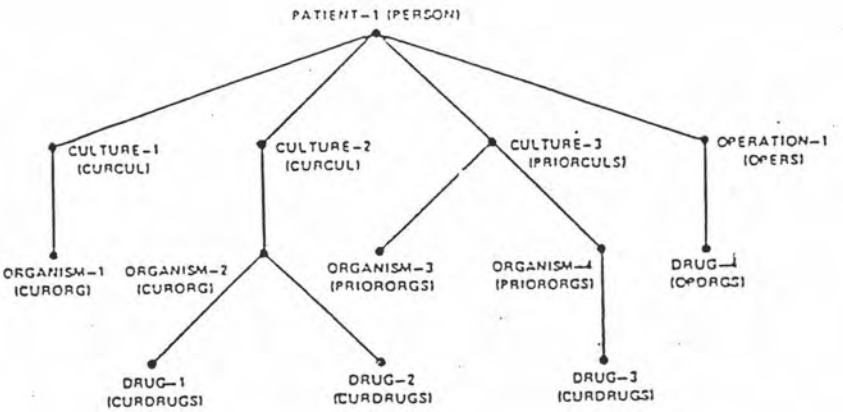
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของระบบเชี่ยวชาญ MYCIN เครื่องหมายลูกศรแสดงทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างโมดูล ฐานความรู้ และผู้ใช้

THAT THE CLASS OF THE ORGANISM IS ENTEROBACTERIACEAE

ส่วนสำคัญในความรู้ของระบบคือ เนื้อความซึ่งหมายถึงส่วนเนื้อหาย่อยที่สำคัญๆ ในขอบเขตของปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นเช่น ชนิดของยาปฏิชีวนะที่กำลังใช้กับคนไข้ เชื้อแบคทีเรียที่เคยเกิดกับคนไข้ หรือ เชื้อแบคทีเรียที่กำลังทำให้เกิดอาการกับคนไข้ขณะนี้เป็นต้น โดยเนื้อความในระบบเชี่ยวชาญนี้แบ่งออกเป็น 10 กลุ่มตามชนิดของปัญหาย่อยที่เกี่ยวข้อง เมื่อระบบเริ่มให้คำปรึกษาจะมีการกำหนดชื่อเฉพาะสำหรับเนื้อความแต่ละชนิดซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างชนิดต่างๆ ของเนื้อความที่มีชื่อเฉพาะจะแสดงดังรูปที่ 2.2

จุด (node) ในต้นไม้เนื้อความแต่ละจุดคือ ชื่อที่กำหนดให้เนื้อความแต่ละชนิด สามารถอธิบายรูปโดยละเอียดได้ดังนี้ คนไข้รายนี้ (PATIENT-1) มีการแยกเชื้อมาทำการเพาะเลี้ยง 2 ชุด (CULTURE-1, CULTURE-2) และเคยแยกเชื้อมาทำการเพาะเลี้ยง 1 ครั้ง (CULTURE-3) การเพาะเลี้ยงแต่ละชุดมีเชื้อโรคเกิดขึ้นชุดละ 1 ชนิด (ORGANISM-1, ORGANISM-2) ส่วนการเพาะเชื้อที่เคยทำมาก่อนมีเชื้อโรคเกิดขึ้น 2 ชนิด (ORGANISM-3, ORGANISM-4) คนไข้มีการใช้ยาปฏิชีวนะ 2 ชนิด (DRUG-1, DRUG-2) ในการบำบัดเชื้อโรคที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงชุดที่ 2 (CULTURE-2) และใช้ยาปฏิชีวนะชนิดหนึ่ง (DRUG-3) กับเชื้อโรคชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเพาะเชื้อครั้งก่อน (ORGANISM-4) นอกจากนี้คนไข้เคยได้รับการผ่าตัดหนึ่งครั้ง (OPERATION-1) และเคยใช้ยาปฏิชีวนะชนิดหนึ่ง (DRUG-4) ระหว่างการผ่าตัดนั้น

ความรู้ที่ใช้ในระบบเชี่ยวชาญ MYCIN ที่สำคัญอีกส่วนคือ พารามิเตอร์ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตปัญหาที่ใช้วินิจฉัยโรค ซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะที่สำคัญต่างๆ ของเนื้อความย่อยแต่ละชนิดเช่น ชื่อของคนไข้ ลักษณะรูปร่างของเชื้อโรค หรือปริมาณยาปฏิชีวนะที่เหมาะสมกับคนไข้ พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกแทนค่าในรูปของ OBJECT-ATTRIBUTE-VALUE TRIPLETS โดยมีส่วนวัตถุ (object) หรือเนื้อความย่อยที่พารามิเตอร์เป็นตัวกำหนดลักษณะตัวพารามิเตอร์เอง หรือแอทริบิวต์ ซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของเนื้อความนั้นที่จะมีค่าเฉพาะตัวเป็นค่า (value) ที่กำหนดขึ้นเฉพาะเจาะจงสำหรับเนื้อความนั้นๆ จริงเช่น (MORPH ORGANISM-1 ROD) จะหมายถึงว่าเนื้อความที่ชื่อ ORGANISM-1 เป็นเชื้อโรคที่มีรูปร่างลักษณะเป็นรูปแท่ง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มหนึ่ง พารามิเตอร์ในระบบเชี่ยวชาญ MYCIN จะมี 3 ประเภทคือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเดียว (single-valued parameter) พารามิเตอร์ที่มีหลายค่า (multi-valued parameter) และพารามิเตอร์ใช่และไม่ใช่ (yes-no parameter) นอกจากนี้พารามิเตอร์ในระบบ MYCIN จะมีการแบ่งกลุ่มออกตามชนิดของเนื้อความที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ตัวนั้นๆ และมีคุณสมบัติเฉพาะของพารามิเตอร์บางค่าที่เป็นตัวกำหนดขั้นตอน และลักษณะการหาค่า



รูปที่ 2.2 ต้นไม้เนื้อความสำหรับคนไข้ตัวอย่างมีการเพาะเลี้ยงเชื้อที่กำลังทำอยู่ 2 ชุด ที่เคยทำมาแล้ว 1 ชุด และมีการผ่าตัดที่สำคัญเมื่อเร็วๆ นี้ 1 ครั้ง จุดในต้นไม้เนื้อความ (Context tree) จะเรียกว่าเนื้อความ (Context)

```
Single-Valued Parameter
IDENT : < IDENT is an attribute of an organism and is therefore
        a member of the list PROP-ORG >
  CONTAINED-IN : (RULE030)
  EXPECT : (ONEOF (ORGANISMS))
  LABDATA : T
  LOOKALLEAD : (RULE004 RULE054...RULE168)
  PROMPT  : (Enter the identity (genus) of *:)
  TRANS : (THE IDENTITY OF *)
  UPDATED-BY : (RULE021 RULE003...RULE166)
```

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างพารามิเตอร์แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่กำหนดลักษณะพารามิเตอร์ที่มีชื่อ IDENT

ของพารามิเตอร์นั้น เช่นพารามิเตอร์ที่มีค่าเดียวชื่อ IDENT จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวดังรูปที่ 2.3

ในการวินิจฉัยโรคของแพทย์จากการทำงานจริง จะปรากฏว่าแพทย์อาจจะมีความไม่มั่นใจ หรือพบความไม่แน่นอนในการตรวจสอบอาการหรือผลทดลองที่ได้จากคนไข้ ระบบเชี่ยวชาญ MYCIN ได้ใช้วิธีการหาค่าปัจจัยความเชื่อมั่นของเหตุการณ์ช่วยในการตัดสินใจของระบบว่าถูกต้องหรือไม่สำหรับเหตุการณ์หนึ่งๆ และมีการเรียกใช้ฟังก์ชั่นที่ใช้ในการประเมินผลต่างๆ เช่น KNOWN, NOTKNOWN, DEFINITE, SAME, MIGHTBE เป็นต้น ในการประเมินผลประโยคเงื่อนไขเพื่อหาข้อสรุปว่า เหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับคนไข้นั้นมีความเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหน ถ้าความเป็นจริงของเหตุการณ์มีระดับต่างกัน จะสรุปให้ข้อมูลความจริงต่างกันตามค่าปัจจัยความเชื่อมั่นที่กำหนดนั้น

2. <u>โครงสร้างควบคุมการทำงานของระบบ MYCIN</u>

การทำงานของระบบเชี่ยวชาญ MYCIN จะอาศัยความรู้ 2 ส่วนคือ ความรู้ที่ได้จากแพทย์ผู้ใช้ระบบที่ทำการตรวจสอบอาการของคนไข้ และความรู้ที่ได้จากการให้เหตุผลของกฎในฐานความรู้อย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนในการแก้ปัญหาของระบบเชี่ยวชาญ MYCIN มี 4 ขั้นตอนที่สำคัญ คือ

- ทำการตัดสินใจว่าเชื้อโรคชนิดนั้น เป็นเชื้อโรคชนิดสำคัญที่มีผลต่ออาการของคนไข้
- พิจารณาหาเชื้อโรคชนิดอื่น ๆ ที่อาจเกี่ยวข้อง
- หารายการยาปฏิชีวนะทั้งหมดที่ใช้ในการรักษา
- เลือกยาปฏิชีวนะที่เหมาะสมที่สุดจากรายการและแนะนำให้คนไข้ใช้

ซึ่งขั้นตอนทั้ง 4 ขั้นตอนสามารถเขียนเป็นกฎเป้าหมายได้ดังนี้

กฎที่ 092
ถ้า 1 มีเชื้อโรคสำคัญที่ต้องทำการรักษา และ
2 ทำการพิจารณาดูว่ามีเชื้อโรคชนิดอื่นที่ต้องการการรักษาอีกหรือไม่
ถึงแม้ว่าจะไม่เกิดลักษณะการติดเชื้อขึ้นในการทำการเพาะเชื้อ
ต้อง ทำสิ่งต่อไปนี้
1 หารายการวิธีบำบัดรักษาที่เป็นไปได้ที่ขึ้นกับข้อมูลการตอบสนองต่อยาปฏิชีวนะใช้ได้ผลกับเชื้อโรคที่ต้องการการรักษา
2 เลือกวิธีการรักษาโรคที่ดีที่สุดจากรายการทั้งหมดที่เป็นไปได้
มิฉะนั้น รายงานว่าคนไข้รายนี้ ไม่จำเป็นต้องมีการรักษา

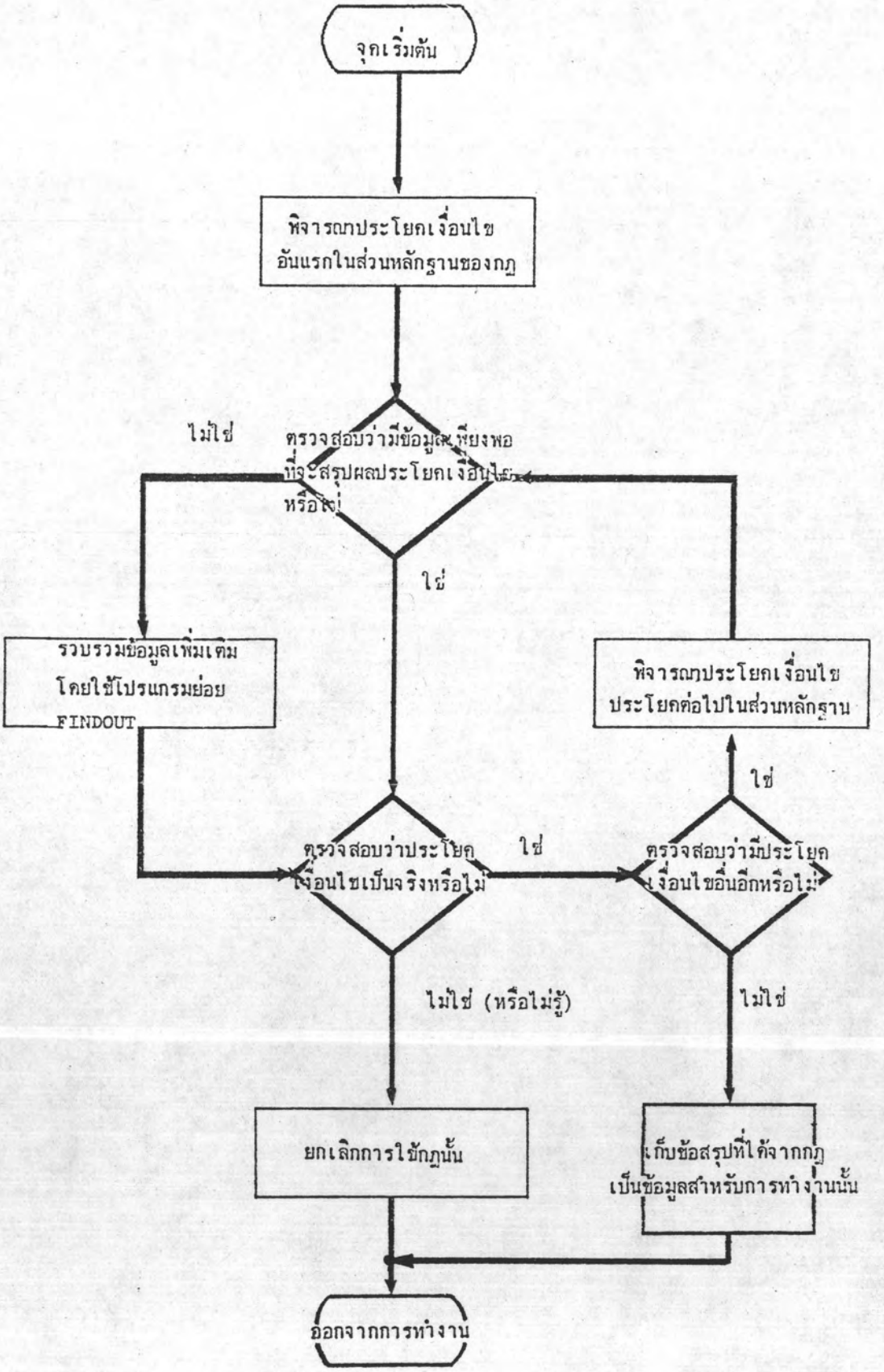
กฎนี้จะถือเป็นกฎเป้าหมายของระบบ (goal rule) จะเป็นกฎแรกที่ระบบจะเรียกใช้งาน การให้คำปรึกษาระบบจะต้องมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนคือ

1. ทำการสร้างเนื้อความเกี่ยวกับตัวคนไข้ขึ้นเป็นจุดแรกในต้นไม้เนื้อความ
2. พยายามเรียกใช้กฎเป้าหมายกับจุดเนื้อความของคนไข้ที่สร้างขึ้น

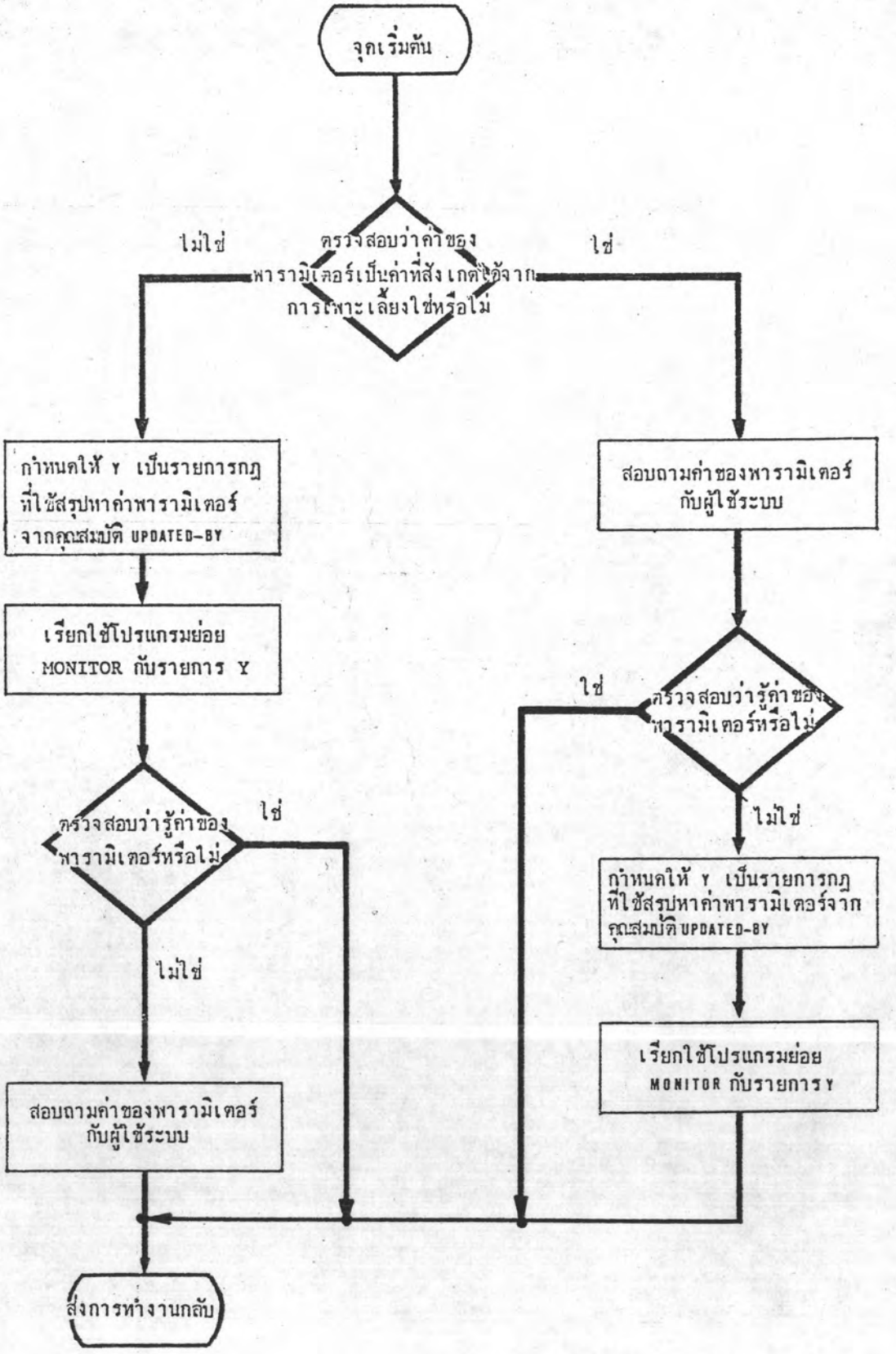
จากขั้นตอนที่ 2 ระบบจะมีการเรียกใช้กฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อความที่สร้างขึ้น และทำการขยายต้นไม้ที่แสดงเนื้อความออกไปในขอบเขตของเนื้อความที่เกี่ยวข้อง โดยใช้โปรแกรมย่อย MONITOR และโปรแกรมย่อย FINDOUT ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5

สำหรับการเรียกใช้กฎต่างๆ ขณะระบบทำการหาเหตุผลจะแสดงเป็นข่ายการหาเหตุผล (reasoning network) ดังรูปที่ 2.6

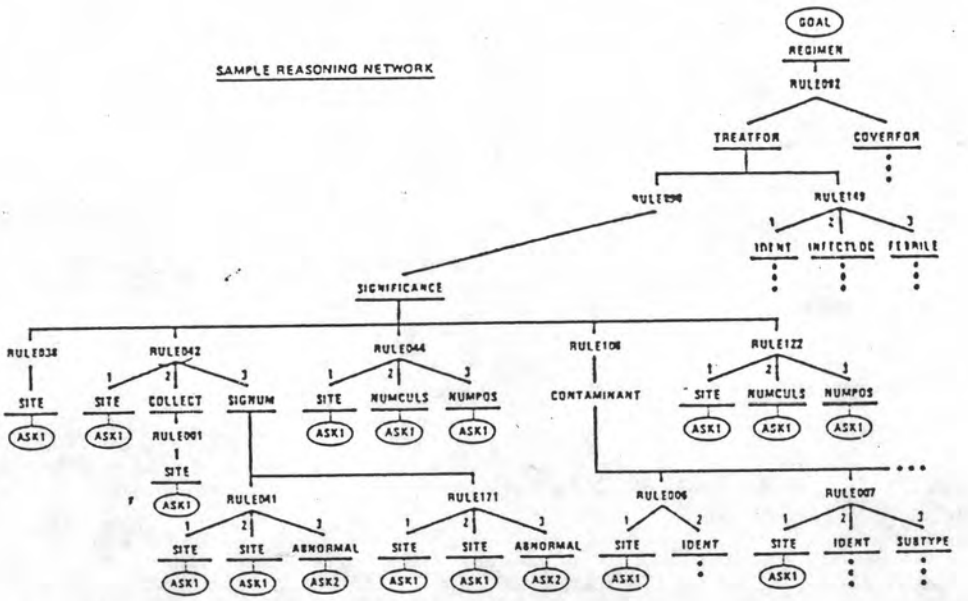
จากรูปที่ 2.6 ส่วนแรกของลำดับการหาเหตุผลของ MONITOR โดยมีการชี้ดเส้นใต้พารามิเตอร์ที่กำลังหาค่า ดังนั้น REGIMEN จะเป็นจุดแรกของระบบ (อยู่ในส่วนกระทำของกฎเป้าหมาย) ใต้พารามิเตอร์แต่ละตัวจะเป็นเลขที่ของกฎความรู้ที่เป็นคุณสมบัติ UPDATED-BY เพื่อใช้ในการวินิจฉัยหาค่าของพารามิเตอร์ และพารามิเตอร์ที่อ้างถึงในประโยคเงื่อนไขของส่วนหลักฐานของแต่ละกฎจะแสดงในระดับต่อๆ ไปของข่ายการหาเหตุผล รูทีน ASK1 จะแสดงว่าพารามิเตอร์นั้นๆ เป็น LABDATA ดังนั้นระบบจะทำการถามหาค่าของพารามิเตอร์นั้นโดยอัตโนมัติ รูทีน ASK2 จะใช้กับพารามิเตอร์ที่ไม่ใช่ LABDATA แต่ในขณะนั้นยังไม่มีกฎใดในฐานความรู้ที่มีการอ้างถึงพารามิเตอร์นั้นอยู่เลยเช่น ปริมาณการใช้ยาปฏิชีวนะที่เหมาะสม เป็นต้น เมื่อความรู้ของระบบเพิ่มมากขึ้นต่อไป กฎที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์เหล่านี้เพิ่มมากขึ้นก็จะไม่ใช้รูทีน ASK2 ถามคำถามต่อไป การแสดงข่ายการหาเหตุผลในรูปที่ 2.6 จะแสดงขอบเขตพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง แต่ตามความจริงกฎบางกฎจะไม่ถูกอ้างถึงในการทำงานเลยเช่น กฎที่ 042 ซึ่งเป็นกฎหนึ่งในคุณสมบัติ UPDATED-BY ของพารามิเตอร์ SIGNIFICANCE จะไม่ถูกเรียกใช้ถ้าโปรแกรมย่อย MONITOR พบว่าเงื่อนไข SITE เป็นเท็จซึ่ง โปรแกรมย่อย FINDOUT ก็จะไม่ทำการตรวจสอบหาค่าของ COLLECT หรือ SIGNUM จึงเห็นได้ว่าลำดับของประโยคเงื่อนไขภายในส่วนหลักฐานจะมีความสำคัญมาก โดยทั่วไปประโยคเงื่อนไขที่อ้างถึงพารามิเตอร์ที่พบในส่วนหลักฐานของกฎความรู้อื่นบ่อยๆ จะใส่ไว้ที่ตำแหน่งแรกในส่วนหลักฐานของกฎเพื่อช่วยเป็นการกรองเลือกกฎที่ใช้ในการหาเหตุผล (screening mechanism) ในขั้นตอนที่ทำการตรวจสอบ "ยกเลิกการใช้กฎ" ในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่โปรแกรมย่อย MONITOR ทำการตรวจสอบว่าในกฎมีทางเลือกอื่น (Else clause) หรือไม่ ถ้ามีทางเลือกอื่นเมื่อพบว่าส่วนหลักฐานของกฎเป็นเท็จก็จะทำการหาข้อสรุปในทางเลือกอื่นนั้น แต่ถ้าไม่มีส่วนทางเลือกอื่นหรือถ้าค่าของพารามิเตอร์ในส่วนหลักฐานของกฎยังไม่แน่นอน (เนื่องจากกรณีที่ผู้ใช้ใส่ค่า UNKNOWN) กฎนั้นจะถูกยกเลิกโดยหาข้อสรุปไม่ได้



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย MONITOR



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อย FINDOUT



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของข่ายการหาเหตุผลที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรมย่อย MONITOR และโปรแกรมย่อย FINDOUT ชื่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจะถูกขีดเส้นใต้กฎความรู้ที่มีประโยคเงื่อนไขหลาย ๆ ประโยคในส่วนหลักฐานจะกำหนดเป็นหมายเลขระบุตำแหน่งของพารามิเตอร์ในประโยคเงื่อนไขของส่วนหลักฐาน

3. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

คุณลักษณะที่สำคัญอีกอย่างที่จำเป็นต้องมีในระบบเชี่ยวชาญคือ ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงการถามคำถามกับผู้ใช้ระบบ เพื่อให้ผู้ใช้ใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ระบบต้องการสำหรับใช้ในการวินิจฉัยหาเหตุผลต่อไป ระบบเชี่ยวชาญจะถามคำถามเกี่ยวกับพารามิเตอร์โดยการทำงานของโปรแกรมย่อย FINDOUT จะใช้คุณสมบัติ PROMPT ของพารามิเตอร์นั้นเป็นประโยคคำถามกับผู้ใช้ระบบ จากนั้นระบบจะทำการตรวจสอบคำตอบที่ได้กับคุณสมบัติ EXPECT ซึ่งเก็บคำตอบที่ควรจะเป็นและขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ นอกจากนี้ระบบจะสามารถรับรู้คำตอบบางประเภทเช่น "?" ระบบจะช่วยโดยการแสดงตัวอย่างรายการของคำตอบที่ควรจะเป็น หรือ "HELP" เพื่อให้ระบบช่วยพิมพ์รายการคำตอบที่สามารถใช้ได้ทั้งหมด หรือถ้าผู้ใช้ตอบคำถามด้วย "WHY" ระบบจะอธิบายสาเหตุที่ถามคำถามนั้นๆ โดยละเอียด เป็นต้น

ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแต่ละเนื้อความที่เกี่ยวข้องระหว่างการทำงานทั้งที่ได้จากผู้ใช้ระบบตอบคำถามโดยตรง และสรุปได้จากการวินิจฉัยกฎความรู้อื่นๆ ในฐานความรู้จะถูกเก็บไว้เพื่อใช้ในการหาเหตุผลโดยการสร้างขึ้นเป็นฐานข้อมูลพลวัต (dynamic database) ซึ่งจะรวมข้อมูลต่างๆ ที่จะช่วยอธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบด้วยเช่น หมายเลขของกฎที่เคยเรียกใช้งาน หรือวิถีทางวินิจฉัย (inference path) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้ระบบจะเก็บอยู่รูปของ OBJECT-ATTRIBUTE-VALUE TRIPLETS เช่นเดียวกับข้อมูลในฐานความรู้แบบสถิตย์ (static knowledge) เช่น ถ้าระบบถามคำถามที่ว่า

```
7)  Staining characteristics of ORGANISM-1 (gram) :
**  GRAMNEG
```

คำตอบคือ GRAMNEG ระบบจะเก็บเป็นประโยคสมมติฐานที่เป็นไปได้ในลักษณะ OBJECT-ATTRIBUTE-VALUE TRIPLETS ได้เป็น Val[ORGANISM-1,GRAM] =((GRAMNEG 1.0)) สำหรับในกรณีที่คำถามมีคำตอบได้หลายๆ ค่า และแต่ละค่าคำตอบจะมีค่าปัจจัยความเชื่อมั่นที่ต่างกัน ระบบจะเก็บคำตอบทุกๆ คำตอบโดยรวมกันเป็น list เช่น

```
13)  Did ORGANISM-2 grow in clumps,chains, or pairs ?
**   CLUMPS (6) CHAINS (3) PAIRS (-8)
```

จะได้ประโยคสมมติฐานเป็น

Val[ORGANISM-2,CONFORM] = ((CLUMPS 0.6) (CHAINS 0.3)
(PAIRS -0.8))

ข้อมูลที่สรุปได้จากกฎความรู้อื่นๆ ในระบบโดยการทำงานของส่วนกระทำของกฎ ตามฟังก์ชัน CONCLUDE จะมีอากิวเมนต์ที่เกี่ยวข้อง 5 ค่าคือ ส่วนเนื้อความ ตัวพารามิเตอร์ ค่าของพารามิเตอร์ที่กฎสรุป ค่าความเชื่อมั่นที่คำนวณจากส่วนหลักฐานของกฎ และค่าความเชื่อมั่นของกฎที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนดเช่น ส่วนกระทำที่มีฟังก์ชัน CONCLUDE ของประโยคที่ว่า

(CONCLUDE CNTXT IDENT STREPTOCOCUS TALLY 0.7) จะหมายความว่า
There is suggestive evidence (0.7) that the identity of the organism is streptococcus

ค่าความเชื่อมั่นจะเป็นตัวกำหนดน้ำหนักของความเชื่อมั่นต่อเหตุการณ์นั้นๆ

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ส่วนเนื้อความจะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะต้นไม้สำหรับเนื้อความย่อยๆ ที่เกี่ยวข้องในเรื่องปัญหานั้นๆ จึงต้องมีวิธีการกระจายต้นไม้เนื้อความโดยเริ่มจากจุดราก (root node) สำหรับการทำงานของระบบเชี่ยวชาญ MYCIN จุดรากจะหมายถึง จุดคนไข้ (PATIENT-1) โดยทำการประเมินผลกฎเป้าหมายของระบบ โครงสร้างข้อมูลของเนื้อความจะประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆ ที่กำหนดลักษณะของเนื้อความย่อยนั้นๆ เช่น PROMPT1 เป็นรูปประโยคที่ระบบใช้ถามคำถามกับผู้ใช้ ในกรณีที่ระบบต้องการทราบว่าจำเป็นจะต้องสร้างเนื้อความนั้นๆ ลงในต้นไม้เนื้อความหรือไม่ หรือคุณสมบัติ ASSOCWITH ที่ใช้กำหนดชนิดของเนื้อความย่อยที่อยู่ในระดับสูงกว่าเนื้อความนั้นๆ ในต้นไม้เนื้อความนั่นคือ parent node นั่นเอง

การกระจายต้นไม้เนื้อความจะมี 2 ลักษณะคือ มีการกระจายแบบชัดเจนจะเกิดขึ้นเมื่อโปรแกรมย่อย FINDOUT อ้างอิงถึงเนื้อความที่ยังไม่เคยมีการกล่าวถึงมาก่อนเลยในต้นไม้เนื้อความ และการกระจายแบบเป็นนัยในกรณีที่มีการอ้างอิงถึงเนื้อความใดเนื้อความหนึ่งซึ่งมีความสัมพันธ์กับเนื้อความอื่นที่เกี่ยวข้องกันแต่ไม่ได้กำหนดตายตัวในกฎความรู้นั้น ทำให้ต้องมีการสร้างเนื้อความนั้นๆ อย่างต่อเนื่อง

หลังจากที่มีการสร้างฐานข้อมูลพลวัตขึ้นในระหว่างการทำงาน เป็นเซ็ตของประโยคสมมติฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อความโดยมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดลักษณะของเนื้อความนั้นหลายค่าจึงอาจเป็นไปได้ที่จะมีกฎความรู้มากกว่า 1 กฎมีส่วนหลักฐานสอดคล้องกับประโยคสมมติฐานในฐานข้อมูลพลวัตซึ่งระบบเชี่ยวชาญ MYCIN จะมีการใช้กลวิธีไกล่เกลี่ยความขัดแย้งระหว่างกฎ

(conflict resolution strategy) เพื่อช่วยคัดเลือกกฎที่เหมาะสมที่สุดมาทำงาน โดยพิจารณาเลือกกฎที่มีประโยคเงื่อนไขตรงกับประโยคสมมติฐานซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นสูงที่สุด แล้วเลือกประโยคสมมติฐานของกฎนั้น และทำงานในส่วนภาระทำของกฎนั้นๆ สร้างเป็นหน่วยความจำที่เก็บเหตุการณ์ชั่วคราว (working memory) เพื่อใช้เป็นข้อสรุปในการหาวิธีการรักษาโรค (selection of therapy) ซึ่งจะมี 2 ขั้นตอนคือ สร้างรายการยาปฏิชีวนะทั้งหมดที่เหมาะสมสำหรับการรักษาเชื้อโรคนั้นๆ ได้ และทำการคัดเลือกยาที่เหมาะสมกับเชื้อโรคนั้นมากที่สุด โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ประวัติการใช้ยาของคนไข้ อาการแพ้ยา ประสิทธิภาพการรักษาของยาว่ารักษาเชื้อโรคได้หลายๆ ชนิดหรือไม่ หรืออายุของคนไข้ เป็นต้น เป็นส่วนช่วยในการคัดเลือกยาที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อสรุปผลการวินิจฉัยและแนะนำยาที่จะใช้กับคนไข้ได้แล้ว ระบบเชี่ยวชาญ MYCIN จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคนไข้คนนั้นไว้เพื่อประโยชน์ ในกรณีที่ถ้าหากมีการเพิ่มเติมความรู้ในฐานความรู้มากขึ้นซึ่งจะทำให้ผลการวินิจฉัยโรคถูกต้องมากขึ้น หรือใช้ตัวอย่างกรณีคนไข้ที่เคยทำการวินิจฉัยช่วยตรวจสอบความถูกต้องของกฎความรู้ที่จะเพิ่มเติมลงในฐานความรู้ใหม่

กรณีศึกษาการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา

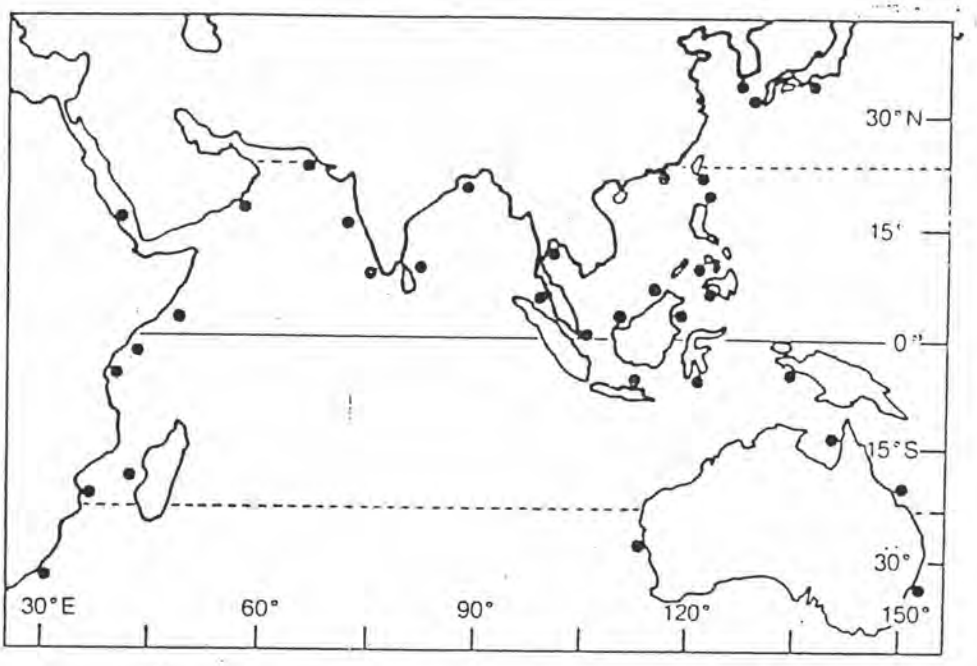
1. ลักษณะทางชีววิทยาของกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon Fabricius) [10]

กุ้งกุลาดำนับเป็นกุ้งในกลุ่มพีเนียส (Penaeus spp.) ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเอเชีย ขนาดโตเต็มที่ประมาณ 20 - 30 ซม. มีการจำแนกกุ้งกุลาดำไว้ดังนี้

Phylum Arthopoda
Class Crustacea
Subclass Malacostraca
Series Eumalacostraca
Superorder Eucarida
Order Decapoda
Suborder Natantia
Family Penaeidae
Genus Penaeus Fabricius, 1798
Species Penaeus monodon
Fabricius, 1798

1.1 การแพร่กระจายของกุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางมากดังรูปที่ 2.7 สามารถอาศัยอยู่ได้ในระดับความเค็มที่แตกต่างกันมาก พบว่ามีกุ้งกุลาดำกระจายอยู่ในบริเวณกว้าง ตั้งแต่บริเวณตะวันตกของอินโดแปซิฟิก (West Indo-Pacific) บริเวณอัฟริกาตอนใต้ถึงตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น ในประเทศไทยจะพบอยู่ในบริเวณ สงขลา เกาะช้าง จันทบุรี ภูเก็ต ชุมพร และ สุราษฎร์ธานี ขนาดความยาวโดยทั่วๆ ไปประมาณ 18 ถึง 22 เซนติเมตร และชอบอาศัยในพื้นที่โคลนปนทราย



รูปที่ 2.7 แสดงการแพร่กระจายของกุ้งกุลาดำในบริเวณต่างๆ ทั่วโลก

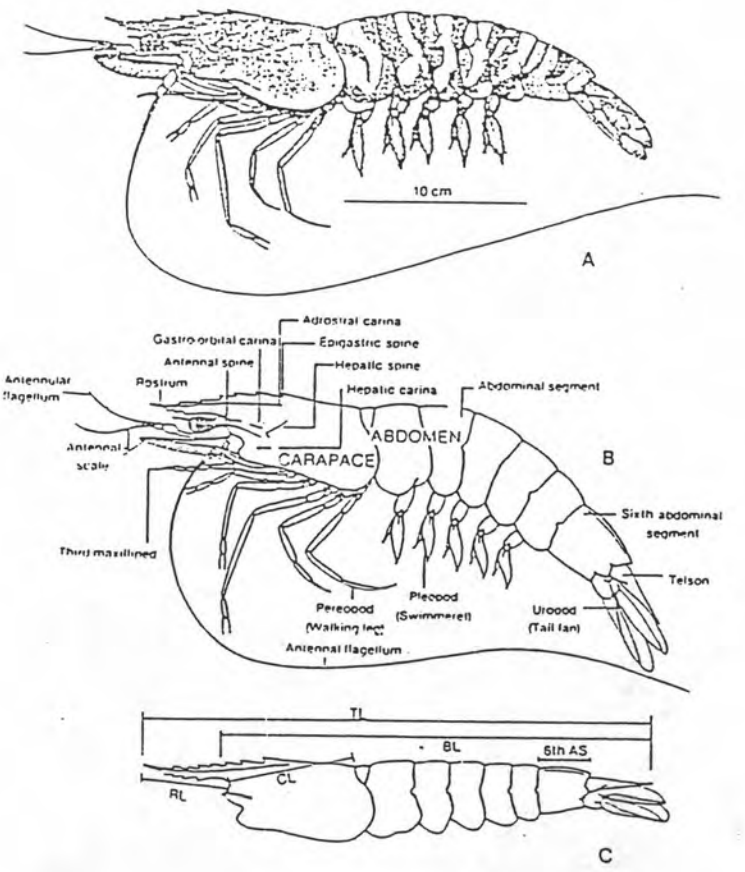
1.2 ลักษณะทั่ว ๆ ไปของกุ้งกุลาดำ [11]

กุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) เป็นกุ้งที่มีขนาดใหญ่และมีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาก ปกติมีการจับคู่และวางไข่ในเวลากลางคืน จำนวนไข่ที่ออกมากที่สุดจะมากกว่า 100,000 ถึง 800,000 ฟอง วงจรชีวิตจะมี 6 ขั้นตอนคือ เอมบริโอ (Embryo) ลาวา (Larva) จูเวนไนล์ (Juvenille) อะโดเรสเซนท์ (Adolescent) สับอะดัลท์ (Subadult) อะดัลท์ (Adult) ขนาดความยาวเปลือกหัวของตัวผู้ 37 มิลลิเมตร สำหรับตัวเมียจะมีความยาวเปลือกหัว 47 มิลลิเมตร อาหารที่กินส่วนใหญ่จะเป็นพวกครัสเตเชี่ยน (crustacean) ขนาดเล็ก มอลลัส (Mollusc) และหนอนทะเล (Annelid) บางชนิด กุ้งที่โตเต็มวัยจะกินสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ซึ่งเคลื่อนที่ช้าอาศัยบริเวณพื้นทะเล กุ้งกุลาดำจะทนความเค็มและอุณหภูมิที่แตกต่างกันได้ในช่วงกว้าง สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ช่วงชีวิตจะกินเวลาประมาณ 1 ปีครึ่ง ถึง 2 ปี ตัวเมียจะมีช่วงอายุยาวนานกว่าตัวผู้และมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ปกติจะอาศัยอยู่ในบริเวณริมชายฝั่งและปากชายเลน ลักษณะลำตัวและส่วนประกอบต่าง ๆ บนลำตัว ดังรูปที่ 2.8

1.3 ขั้นตอนการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำและวงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำนี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพเพื่อบอกถึงตำแหน่งและระดับความลึกที่กุ้งอยู่อาศัยในแต่ละช่วงชีวิตดังรูปที่ 2.9

บริเวณที่ตัวอ่อนของกุ้งเจริญเติบโตอยู่ในบริเวณน้ำกร่อยที่มีน้ำจืดไหลลงสู่ทะเล แต่อาจจะย้อนไปทางต้นน้ำช่วงระยะทางหนึ่ง เช่น บึงชายเลน อ่าวปิดส่วนในบางแห่ง



รูปที่ 2.8 A กุ้งกุลาดำตัวเมียที่โตเต็มที่

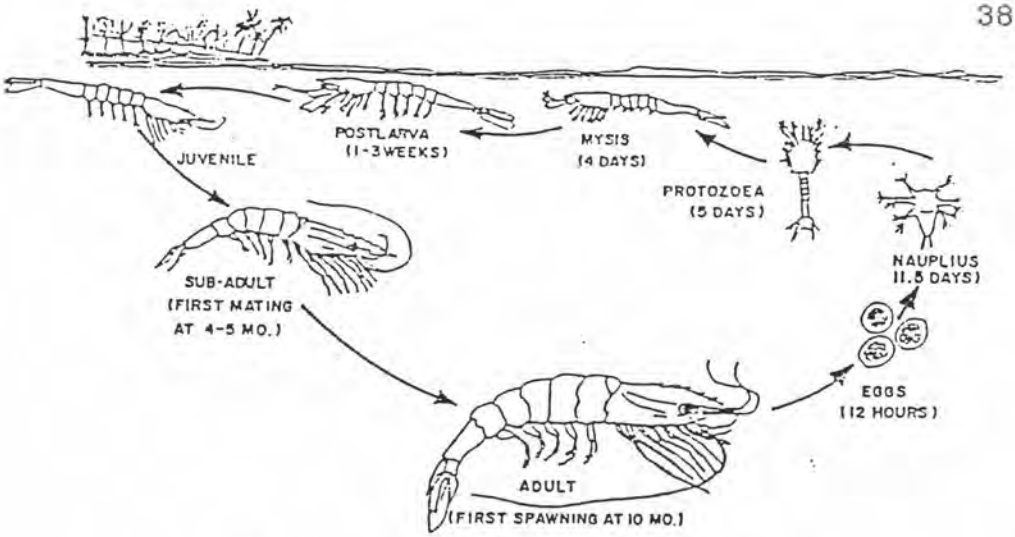
B ลักษณะสรีระภายนอกของกุ้งกุลาดำ

C วิธีการวัดความยาวของกุ้งกุลาดำ

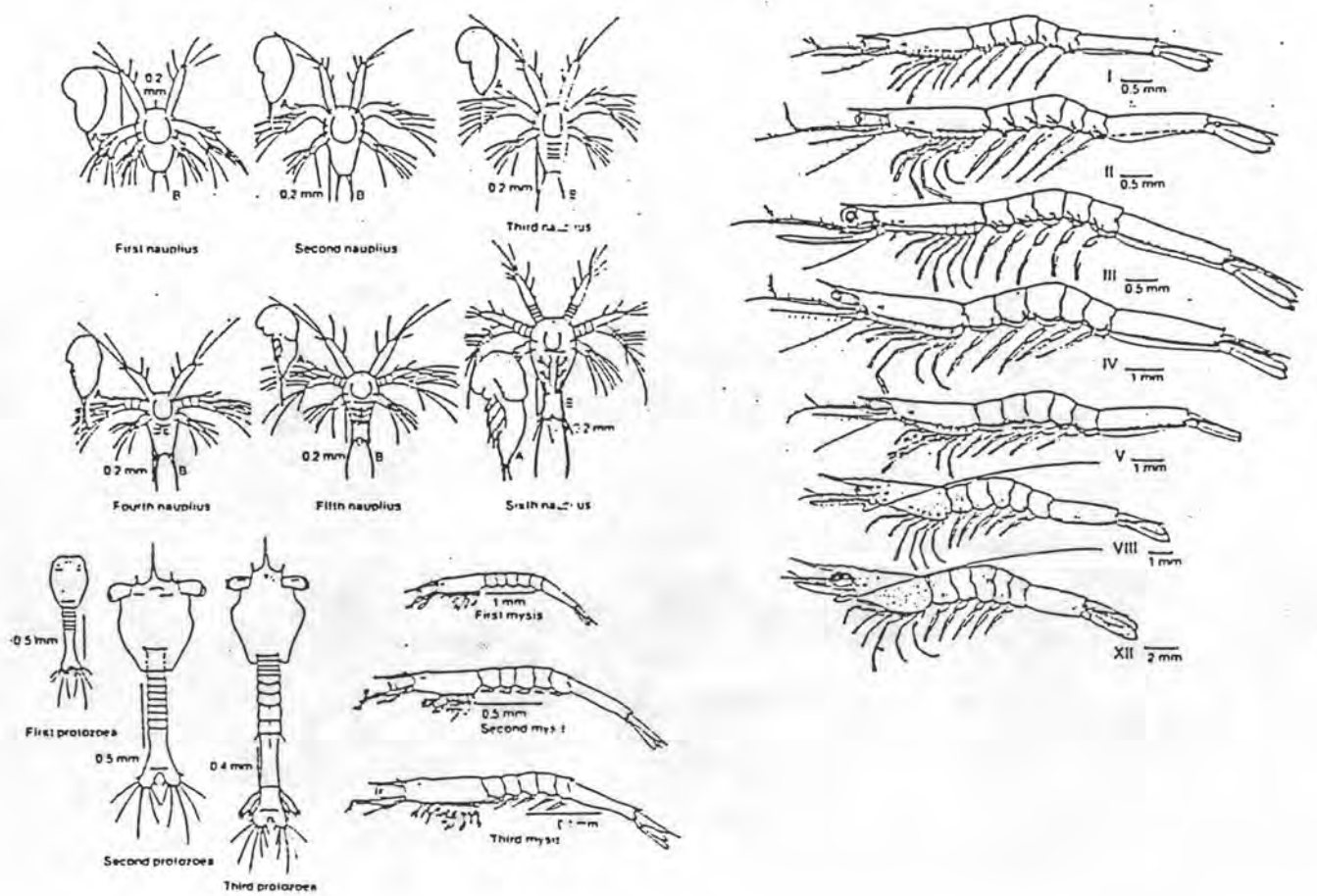
ความยาวของกรี (RL) ความยาวของเปลือกหัว (CL)

ความยาวทั้งหมด (TL) ความยาวลำตัว (BL)

ความยาวของเปลือกท้องชิ้นที่ 6 (6^{th} AS)



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภาพขั้นตอนการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำสัมพันธ์กับระดับความลึกของทะเล



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของลูกกุ้งและขั้นตอนการเจริญเติบโต

ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีอย่างรุนแรง เช่น ความเค็ม และอุณหภูมิ ตัวอ่อนของกุ้งจะมีลักษณะที่สามารถทนต่อสภาพเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เป็นอย่างดี เนื่องจากในเขตน้ำกร่อยจะพบตัวเบียน (predator) ของลูกกุ้งน้อยและมีสารอาหารต่าง ๆ ค่อนข้างสมบูรณ์

การเจริญเติบโตแต่ละขั้นตอนจะมีการเปลี่ยนรูป (metamorphosis) ซึ่งมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.10

ขั้นแรกระยะเอมบริโอ (Embryo) เริ่มจากไข่ที่แม่กุ้งปล่อยวางและได้รับการปฏิสนธิ จะมีการแบ่งตัวของเซลล์และพัฒนาจนได้ตัวอ่อนออกมาเข้าสู่ระยะลาวา

ขั้นที่สองระยะลาวา (Larva) จะมีขั้นตอนการเปลี่ยนรูป 4 ขั้นตอนคือขั้นแรกเป็นขั้นนอเพรียส (Nauplius) มีระยะย่อยอีก 6 ระยะ ใช้เวลา 1.5 วัน ขั้นโปรโตซูเอีย (Protozoea) มีระยะย่อย 3 ระยะ กินเวลา 5 วัน ขั้นไมซิส (Mysis) มีระยะย่อย 3 ระยะ กินเวลา 4 ถึง 5 วัน ขั้นตอนสุดท้ายของระยะลาวาคือขั้นเมคกาโลปา (Megalopa) มีระยะย่อย ๆ อีก 3 ถึง 4 ระยะกินเวลาประมาณ 6 ถึง 15 วัน ในระยะลาวานี้กุ้งจะอาศัยอยู่ในบริเวณนอกชายฝั่งมีพฤติกรรมแบบแพลงค์ตอนคือ ลอยตามน้ำไปมาไม่สามารถกำหนดทิศทางเองได้ ความยาวเปลือกหัวของระยะเมคกาโลปาจะยาวประมาณ 1.2 ถึง 2.2 มิลลิเมตร ในช่วงระยะย่อยขั้นสุดท้ายของระยะเมคกาโลปาตัวอ่อนจะเคลื่อนย้ายเข้าสู่บริเวณอนุบาลลูกกุ้งในเขตน้ำกร่อยริมชายฝั่ง

ขั้นที่สามระยะจูเวนไนล์ (Juvenille) ลักษณะตัวจะมีการเปลี่ยนรูปคล้ายกุ้งเต็มวัยมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเป็นอาศัยหากินตามพื้นทะเล ในช่วงกลางของระยะนี้จะมีความยาวเปลือกหัวประมาณ 2.7 มิลลิเมตร ลำตัวจะเริ่มมีสีดำ ความยาวเปลือกหัวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ 2.2 ถึง 10 มิลลิเมตร อาศัยอยู่ในเขตบริเวณน้ำกร่อย

ขั้นที่สี่ระยะอะโดเรสเซนท์ (Adolescent) มีการเจริญเติบโตมากขึ้น อัตราส่วนระหว่างความยาวส่วนต่างๆ ของลำตัวจะเท่ากับกุ้งที่โตเต็มวัย สามารถแยกเพศได้ชัดเจน ความยาวเปลือกหัวจะยาวตั้งแต่ 11 ถึง 34 มิลลิเมตร

ขั้นที่ห้าระยะสับอะดัลท์ (Subadult) กำหนดโดยพิจารณาลักษณะพัฒนาการทางเพศ ตัวผู้และตัวเมียจะเริ่มมีลักษณะสเปอร์มาโตซัว (Spermatozoa) ในที่เก็บสเปอร์มและไข่ของแต่ละเพศ ความแตกต่างระหว่างเพศผู้กับเพศเมียจะปรากฏอย่างชัดเจน ตัวเมียจะเริ่มมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ และมีการเคลื่อนย้ายที่อยู่อาศัยจากบริเวณที่อนุบาลลูกกุ้งไปอยู่ในบริเวณที่จะทำการวางไข่ต่อไป ตัวผู้จะมีขนาดความยาวเปลือกหัวตั้งแต่ 37 มิลลิเมตรและความยาวเปลือกหัวของตัวเมียมีขนาดตั้งแต่ 47 มิลลิเมตร การผสมพันธุ์จะเกิดในบริเวณเขตน้ำกร่อยหรือเขตชายฝั่งทะเลชั้นใน (Inner littoral) ก่อนจะมีการย้ายถิ่นไปสู่ที่ลึกกว่า

ขั้นที่หกระยะอะดัลท์ (Adult) ระยะนี้จะมีการพัฒนาการทางเพศอย่างชัดเจน ตัวผู้จะมีสเปอร์มาโตซัวในที่เก็บอย่างชัดเจน ตัวเมียจะทำการวางไข่บริเวณนอกชายฝั่ง พื้นที่อาศัยจะเป็นบริเวณน้ำลึก ตัวผู้เมื่อโตเต็มที่จะมีความยาวเปลือกหัวเฉลี่ย 37 ถึง 71 มิลลิเมตร ความยาวลำตัวถึง 270 มิลลิเมตรและหนักถึง 240 กรัม โดยตัวเมียจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้

1.4 ลักษณะแตกต่างทางเพศและการเจริญพันธุ์

กุ้งตัวเมียมักมีขนาดใหญ่กว่ากุ้งตัวผู้[12] ที่มีอายุเท่ากัน การสังเกตเพศนั้นดูได้จากบริเวณส่วนท้องของกุ้ง ดังรูปที่ 2.11

กุ้งตัวเมียจะมีติ่งแบนๆ ที่เรียกว่า เทลลิคัม (thelycum) ซึ่งอยู่ตรงบริเวณด้านข้างของส่วนท้องและแนบอยู่ระหว่างขาเดิน (periopods) คู่สุดท้ายใกล้ๆ ถุงเก็บน้ำเชื้อ (spermatophores) ส่วนตัวผู้จะมีพีแทสมา (petasma) อยู่ 1 คู่ สำหรับช่วยส่งน้ำเชื้อและจะโป่งออกเมื่อมีเชื้อตัวผู้ (sperm) อยู่อวัยวะนี้จะอยู่ตรงบริเวณโคนขาเดินคู่ที่ 5

การเจริญพันธุ์จะมีการพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์เกิดขึ้นก่อนที่ไข่จะแก่และน้ำเชื้อจะเจริญเต็มที่ กุ้งกุลาดำจะมีการผสมพันธุ์ครั้งแรกเมื่อกุ้งมีอายุประมาณ 4 ถึง 5 เดือน และการวางไข่ครั้งแรกจะเกิดขึ้นเมื่อกุ้งมีอายุประมาณ 10 เดือน ลักษณะการเจริญพันธุ์ของกุ้งกุลาดำต่างกันระหว่างกุ้งที่เลี้ยงในบ่อกับกุ้งที่ได้จากธรรมชาติ โดยกุ้งที่เลี้ยงในบ่อจะมีการผสมพันธุ์ในช่วงอายุที่น้อยกว่าเพราะในบ่อมีความหนาแน่นมาก

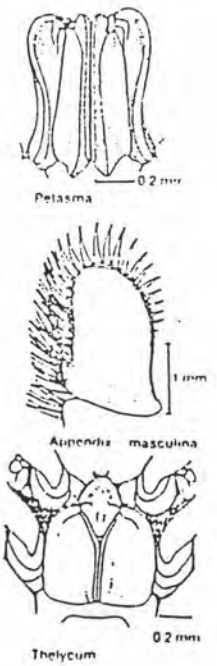
1.5 การจับคู่และการผสมพันธุ์

มักจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืน[12] หลังจากที่ตัวเมียมีการลอกคราบใหม่ ลักษณะขั้นตอนการจับคู่มี 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.12

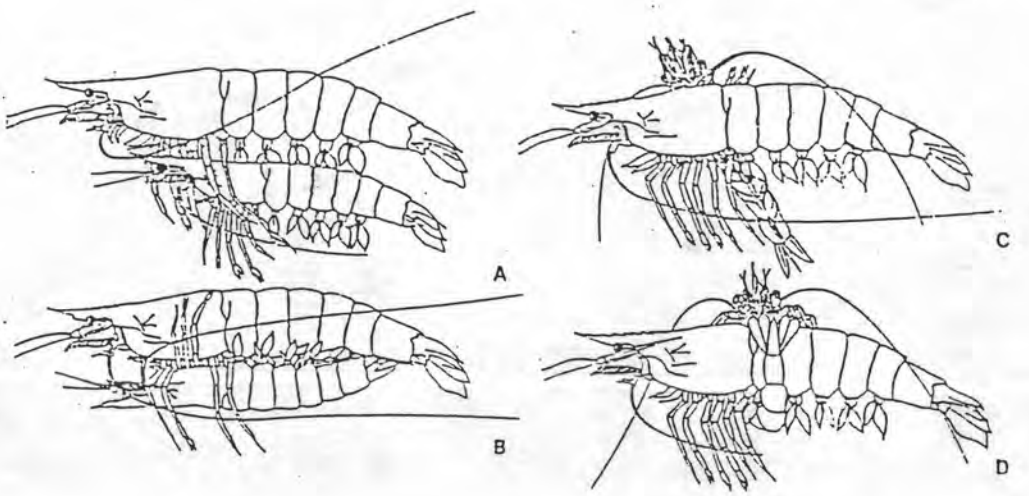
ก่อนที่จะมีการผสมพันธุ์ตัวเมียจำเป็นต้องมีการลอกคราบก่อนซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะประการหนึ่งของกุ้งในกลุ่มเพเนอิด (Penaeid) ทั้งนี้เพราะการสอดถุงน้ำเชื้อเข้าไปภายในเทลลิคัมนั้นจะทำได้เฉพาะเมื่อแผ่นเทลลิคัมยังนิ่มอยู่ หลังจากลอกคราบใหม่ ๆ เชื้อตัวผู้จะถูกเก็บอยู่ในเทลลิคัมจนกระทั่งถึงเวลาที่กุ้งตัวเมียพร้อมจะวางไข่ โดยตัวเมียจะปล่อยเชื้อตัวผู้มาผสมกับไข่ทีละน้อยติดต่อกัน แต่ถ้าตัวเมียยังไม่พร้อมที่จะวางไข่เนื่องจากรังไข่ยังไม่เจริญเต็มที่ ถุงน้ำเชื้อนี้จะถูกบีบออกมาพร้อมกับเปลือกกุ้งในระหว่างการลอกคราบครั้งต่อไป และเมื่อมีการลอกคราบครั้งใหม่ ถุงน้ำเชื้อใหม่จะถูกสอดเข้าไปเมื่อมีการจับคู่อีกครั้งหนึ่ง กุ้งกุลาดำที่โตเต็มวัยจะมีการลอกคราบทุก 2 ถึง 3 อาทิตย์

1.6 ระยะการเจริญของรังไข่และการวางไข่ [12]

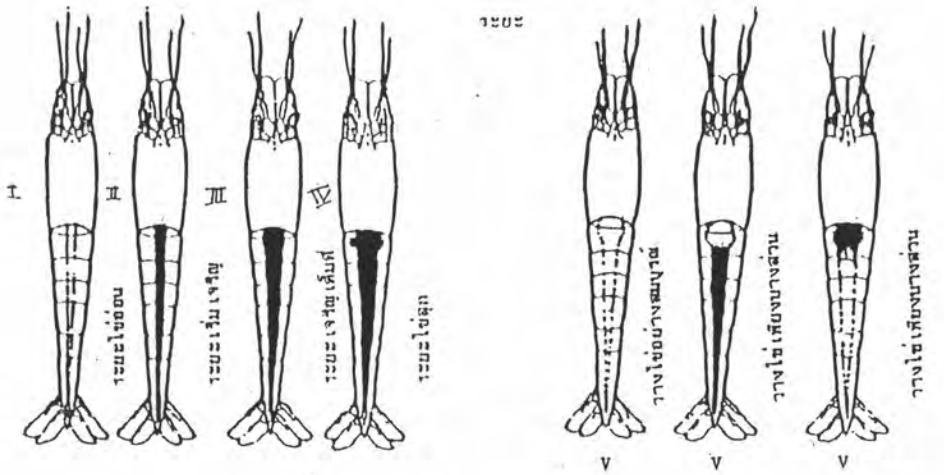
แบ่งออกเป็นระยะต่าง ๆ 5 ระยะ ดังรูปที่ 2.13



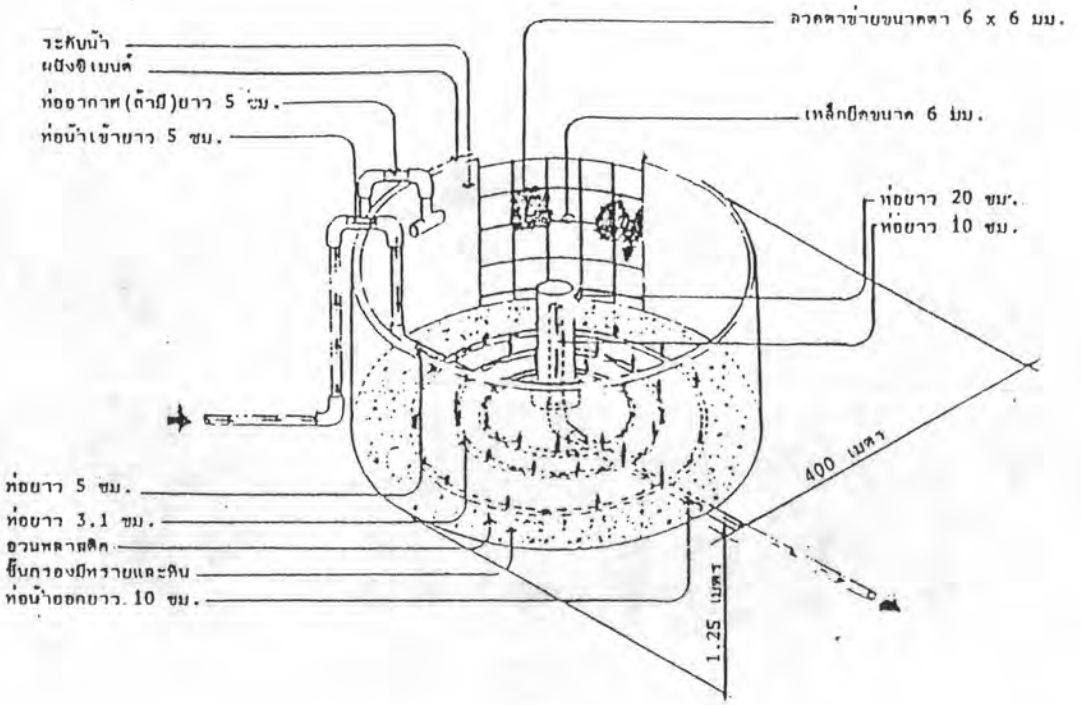
รูปที่ 2.11 แสดงอวัยวะสืบพันธุ์ที่บริเวณท้องกุ้งกุลาดำตัวผู้จะมีพีแทสมา (Petasma) ส่วนตัวเมียจะมีแผ่นเทลลิคัม (Thelycum)



รูปที่ 2.12 แสดงพฤติกรรมการจับคู่ของกุ้งกุลาดำ เริ่มจากขั้นตอนแรกตัวเมียกับตัวผู้จะว่ายน้ำขนานกันไปโดยตัวเมียว่ายน้ำอยู่ด้านบน ตัวผู้จะอยู่ด้านล่าง ขั้นตอนที่สอง ตัวผู้จะกลับส่วนท้องขึ้นและเกาะติดกับตัวเมีย ขั้นที่สามระยะแรกตัวผู้จะหันตัวตั้งฉากกับตัวเมีย ขั้นที่สามระยะสอง ตัวผู้จะงอตัวโอบรอบตัวเมียและมีการขยับหัวและหางเบ็นจังหวะ



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของรังไข่แม่กุ้งหลังจากการผสม พันธุ์แรกจะขยายใหญ่อยู่จนเต็มช่องท้อง



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะบ่อซิเมนต์ที่ใช้ในการปรับสภาพพ่อแม่พันธุ์กุ้งก่อนทำการตัดตา

ระยะที่ 1 (ระยะไข่อ่อน) รังไข่จะมีลักษณะแบนใสถ้ามองผ่านเปลือกนอกทางด้านบนลงไปจะไม่สามารถมองเห็นได้ แต่ถ้าผ่ารังไข่ดูจะเห็นเนื้อเยื่อเป็นแถบยาวที่ไม่มีสี ไม่สามารถมองเห็นฟองไข่ภายใน

ระยะที่ 2 (ระยะเริ่มเจริญ) ถ้ามองผ่านเปลือกนอกทางด้านบนลงไปจะเห็นเป็นแถบแบนยาว แต่ขนาดจะใหญ่ขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านหัวและส่วนกลาง ถ้าผ่ารังไข่ดูจะเห็นเป็นสีขาวขุ่น หรืออาจจะเป็นสีน้ำตาล หรือเขียวปนเทาได้

ระยะที่ 3 (ระยะรังไข่เจริญเต็มที่) จะสามารถมองเห็นรังไข่ได้จากภายนอกมีลักษณะเป็นแถบยาว สีเข้มและหนา เพราะรังไข่มีการขยายมากขึ้น ตั้งแต่ส่วนหัวจนถึงส่วนท้าย ตรงบริเวณที่เป็นเปลือกหุ้มส่วนท้องปล้องแรกจะเห็นรังไข่ ขยายออกดูคล้ายรูปผีเสื้อ เมื่อผ่ารังไข่ออกดูจะเห็นเป็นสีเขียวภายในจะเห็นกลุ่มไข่อยู่เต็มไปหมด

ระยะที่ 4 (ระยะไข่สุก) บริเวณรังไข่จะขยายออกไปตั้งแต่บริเวณเปลือกคลุมท้องปล้องแรกจะขยายใหญ่อยู่เต็มช่องท้อง

ระยะที่ 5 (ระยะวางไข่) หลังจากที่วางไข่แล้วรังไข่จะแบนเลียบลักษณะภายนอกจะดูเหมือนระยะที่ 1 ถ้าผ่ารังไข่ดูจะเห็นเป็นสีเหลืองแต่ค่อนข้างไปทางขาวลงเรื่อย ๆ สำหรับตัวเมียที่วางไข่แล้วยังไม่สมบูรณ์ จะเห็นบางส่วนของรังไข่เหลืออยู่ทางด้านหัวและท้าย

แม่กุ้งจะมีการวางไข่ในเวลากลางคืนในขณะที่เกาะอยู่บนพื้นทราย ตัวเมียก่อนออกไข่จะมีอาการกระวนกระวายว่ายน้ำไปมาประมาณ 1 นาที แล้วจึงเริ่มวางไข่ขณะว่ายน้ำช้า ๆ บริเวณผิวหน้าน้ำหรือที่ระดับความลึกตอนกลาง ขณะที่มีการวางไข่ขาเดินคู่ที่ 3 จะเกาะกันแล้วทำการขยับเปิดปิดเพื่อปิดไข่และสเปอร์มให้กระจายออกไป ขณะที่ขาว่ายน้ำกำลังมีการเคลื่อนไหวเพื่อช่วยในการว่ายน้ำ ไข่ที่แม่กุ้งเก็บไว้จะถูกผัดกระจายออกมาเป็นทางสีขาว ไข่นี้จะผสมกับสเปอร์มขณะที่มีน้ำไหลผ่านเนื่องจากการเคลื่อนไหวไปมาของขาว่ายน้ำเป็นการช่วยในการปฏิสนธิ ไข่ที่ผสมแล้วจะลอยสักครู่และจมลงสู่ก้นบ่อ การให้อากาศในบ่อเลี้ยงตลอดเวลาทำให้มีสารบางอย่างที่ตัวเมียปล่อยออกมาพร้อมไข่รวมตัวเป็นฟองอยู่ที่บริเวณผิวหน้าน้ำแล้วแตกกลายเป็นคราบบาง ๆ สีส้มเกาะอยู่ขอบบ่อฟัก

2. การเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ

ในการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา แหล่งลูกพันธุ์กุ้งจะใช้วิธีการเพาะฟักเองในโรงเพาะฟักลูกกุ้งแทนที่จะอาศัยพันธุ์ลูกกุ้งจากธรรมชาติ จึงต้องมีการนำพ่อแม่พันธุ์กุ้งมาเลี้ยง[12] และทำการผสมพันธุ์ในบ่อเพื่อให้ได้ลูกกุ้งที่สมบูรณ์และจำนวนมากพอที่จะทำการเลี้ยงต่อไป

2.1 การเลือกระบบที่เลี้ยงพ่อแม่พันธุ์

ระบบเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการประกอบกัน เช่น

ลักษณะชายฝั่งทะเล คุณภาพของน้ำทะเลและแหล่งไฟฟ้า แหล่งน้ำต้องสะอาดปราศจากสารพิษจากการเกษตรหรือโรงงานอุตสาหกรรม และปลอดจากศัตรูกุ้งด้วย ระบบที่นิยมส่วนมากจะเป็นระบบบ่อซิเมนต์เพราะดูแลรักษาได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่ว่าต้องเสียพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการสูบน้ำและพ่นอากาศ

หลักเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ควรเป็นบริเวณใกล้แหล่งน้ำทะเล และแหล่งไฟฟ้าเพื่อสามารถสูบน้ำได้ตลอด 24 ชั่วโมง น้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงกุ้งควรมีความเค็มประมาณ 30 ส่วนในพันส่วน มีอุณหภูมิประมาณ 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส กรณีที่มีน้ำทะเลจำกัดควรใช้ระบบกรองน้ำทะเลแบบหมุนเวียน โดยผ่านเครื่องกรองหรือใช้ลูกหินพรุน (Air stone) และทำการเปลี่ยนน้ำประมาณ 1/4 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงแหล่งน้ำจืดซึ่งใช้ในการทำความสะอาด และใช้ผสมกับน้ำทะเลเพื่อปรับความเค็มของน้ำทะเลให้เหมาะสมเพื่อใช้เลี้ยงกุ้งตัวอ่อน และปรับสภาพกุ้งให้ชินกับสภาพบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำมักเป็นบ่อซีเมนต์กลม ดังรูปที่ 2.14 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เมตร สูง 1.25 เมตร และลึก 0.8 เมตร ความจุน้ำประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตร ก้นบ่อมีชั้นทรายเพื่อใช้กรองน้ำ ระบบน้ำประกอบด้วยท่อพีวีซี (ความหนา 0.3 ถึง 0.6 มิลลิเมตร) ฝังวางไปจนถึงทรายชั้นล่างสุด น้ำทะเลจะถูกปล่อยเข้ามาตามท่อพีวีซีนั้นไหลผ่านลงไปตามท่อพ่นผ่านชั้นทรายออกมา น้ำที่ถ่ายออกจะผ่านท่อคู่ตรงกลางบ่อ เมื่อเปิดน้ำไหลผ่านตลอดเวลาจะมีอัตราการเปลี่ยนน้ำจะประมาณ 200 ถึง 400 เปอร์เซนต์ของปริมาตรน้ำทั้งหมดในบ่อ

2.2 <u>เทคนิคที่ใช้ในการเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ</u>

ก. <u>การเคลื่อนย้ายและการปรับสภาพพ่อแม่พันธุ์กุ้ง</u>

บ่อสำหรับเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ควรตั้งอยู่ในบริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติที่จับพ่อแม่พันธุ์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายให้เหลือน้อยที่สุด (เช่นค่าน้ำมัน ค่าขนส่ง) การขนย้ายอาจทำโดยใช้ถังขนาดใหญ่และมีการพ่นให้อากาศตลอดเวลาถังขนาด 1 ตันจะสามารถบรรจุพ่อแม่กุ้งได้ถึง 400 ตัว ในระยะเดินทางที่ไม่เกิน 1 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้เวลาถึง 4 หรือ 5 ชั่วโมง ควรบรรจุพ่อแม่กุ้งไม่เกิน 200 ตัว การขนย้ายควรทำในช่วงเช้าหรือในตอนเย็นเพื่อหลีกเลี่ยงช่วงที่มีอุณหภูมิสูง ก่อนจะย้ายกุ้งลงบ่อควรปรับสภาพน้ำในบ่อเลี้ยงให้มีอุณหภูมิ และความเค็มให้ใกล้เคียงกับน้ำที่อยู่ในถังที่ใช้ในการขนย้ายเพื่อรอให้กุ้งมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และช่วยลดอัตราการตายของกุ้ง ก่อนจะทำการชลิบตา

ข. <u>การชลิบตาและการปล่อยลงบ่อเลี้ยง</u>

กุ้งตัวเมียเมื่อนำมาเลี้ยงในที่แคบ เช่น ในบ่อจะเจริญจนผสมพันธุ์ได้ก็ต่อเมื่อมีการชลิบตา ซึ่งควรจะทำการชลิบตาในช่วงที่กุ้งมีเปลือกแข็ง สาเหตุที่ต้องทำการชลิบ

ตากุ้งเนื่องจากที่บริเวณตากุ้งจะเป็นแหล่งผลิตและขับฮอร์โมนที่มีคุณสมบัติห้ามการเจริญเติบโตของรังไข่ (gonad-inhibiting hormone) ซึ่งในธรรมชาติปัจจัยสิ่งแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมการฮอร์โมนชนิดนี้ผลิตให้น้อยลงเช่น ช่วงเวลาที่กุ้งทำการเคลื่อนย้ายจากบริเวณน้ำกร่อยเข้าไปยังบริเวณที่ทำการวางไข่ซึ่งมีความเค็มสูงกว่า แต่ในสภาพกุ้งที่เลี้ยงในบ่อการขลิบตาจะช่วยลดอัตราการผลิตฮอร์โมนชนิดนี้จนถึงระดับที่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของรังไข่ได้

วิธีการขลิบตามีดังต่อไปนี้

1. จับกุ้งให้มั่นคงด้วยมือข้างหนึ่งเพื่อตรวจดูเพศ การขลิบตาจะเลือกทำเฉพาะเพศเมียเท่านั้น

2. การขลิบตาอาจทำกับตาข้างซ้ายหรือตาข้างขวาข้างใดข้างหนึ่งเพื่อลดอัตราการตายที่เกิดจากการบาดเจ็บหลังการขลิบตา

3. การขลิบตาอาจทำในลักษณะต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. การแทงที่ตาซึ่งทำโดยใช้มีดปลายแหลมแทงลงไปบนตาแล้วบีบเอาเนื้อตาออกมา จากนั้นแทงที่ก้านตา 2 - 3 ครั้งเพื่อทำลายเนื้อเยื่อบริเวณนั้น

ข. การผูก ผูกก้านตาด้วยเชือกโดยผูกตรงฐานให้ใกล้กับเปลือกหัวให้มากที่สุดภายใน 2 - 3 วันตาจะหลุดออกมา

ค. การสกัดตาออก โดยการใช้ไฟฟ้าจี้หรือใช้แท่งซิลเวอร์ไนเตรตจี้ เพื่อสกัดตาออก

ง. การตัดทำโดยใช้กรรไกรตัดที่ก้านตา ให้ห่างจากฐานก้านตาประมาณ 3 มิลลิเมตร

4. การขลิบตาควรจะใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อลดความเครียดของกุ้งและรีบปล่อยลงบ่อเลี้ยงทันที

ถ้าการขลิบตาไม่มีปัญหา สังเกตุได้จากเมื่อปล่อยกุ้งที่ถูกขลิบตาลงน้ำแล้วกุ้งจะว่ายน้ำวนเป็นวงที่ผิวหน้าน้ำ แต่ถ้าเป็นปกติแผลจะหายภายใน 1 อาทิตย์หลังจากการขลิบตารังไข่ของกุ้งจะเจริญเต็มที่และแม่กุ้งอาจวางไข่ได้ภายใน 3 วัน หรือไม่เกิน 2 อาทิตย์ถึง 3 อาทิตย์ พ่อแม่พันธุ์กุ้งกุลาดำที่ได้มาใหม่นี้ควรปล่อยให้ลอกคราบอย่างน้อยหนึ่งครั้งก่อนที่จะทำการขลิบตา อัตราส่วนของพ่อแม่พันธุ์กุ้งที่จะปล่อยลงบ่อเลี้ยงที่เหมาะสมคือ ตัวผู้ 1 ตัวต่อตัวเมีย 1 ถึง 2 ตัว ไข่ที่ได้รับการผสมเท่านั้นที่จะเจริญเติบโตต่อไปเป็นไข่ดีได้ ดังนั้นถึงแม้ว่าแม่กุ้งตัวเมียจะมีการเจริญพันธุ์ที่ดีและความดกของไข่สูงก็ตาม แต่ถ้ามีตัวผู้ซึ่งสร้างสเปอร์มไม่พอไข่เหล่านั้นอาจจะไม่ได้รับการผสมก็ได้

ค. <u>กรรมวิธีที่เกี่ยวกับแม่พันธุ์ ไข่ และลูกกุ้ง</u>

ถังที่จะใส่ให้แม่กุ้งเข้ามาวางไข่จะมีลักษณะเป็นรูปกรวยขนาด 200 ลิตร โดยจะทำการคัดแม่กุ้งที่มีการเจริญของรังไข่อยู่ในระยะสาม และระยะสี่ลงในถังเพาะฟัก เติมน้ำทะเลที่ผ่านการกรองและมีความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ทำการตรวจดูหลังจากปล่อยแม่กุ้งลงถังเพาะฟักว่าแม่กุ้งมีการวางไข่หรือยัง โดยสังเกตจากคราบติดตามขอบถัง แต่ถ้าให้แน่นอนต้องตักน้ำขึ้นมาตรวจดูฟองไข่ ตัวเมียที่ไม่มีการวางไข่ควรปล่อยกลับคืนลงบ่อเลี้ยงเพื่อรอการวางไข่ การตรวจคุณภาพของไข่ทำโดยการสุ่มตัวอย่างไข่มาประมาณ 200 ฟองจัดอยู่ในชั้นลักษณะ A-1 ดังรูปที่ 2.15 หมายถึงไข่ดีมีจำนวนน้อยควรจะกำจัดไข่เหล่านั้นให้หมดโดยปล่อยน้ำทิ้ง ถ้าไข่ส่วนใหญ่มีคุณภาพดีให้ทำการล้างไข่โดยวิธีกาลักน้ำ ใช้สายยางดูดน้ำออกที่ปลายสายยางมีตะแกรงขนาด 0.25 มิลลิเมตรกั้น จากนั้นล้างน้ำอีกครั้งเพื่อล้างคราบสกปรกและซากต่างๆ หลังจากล้างไข่ให้ทำการนับไข่โดยการกวนน้ำในถังสุ่มตัวอย่างตักน้ำมา ตรวจนับจำนวนไข่ครั้งละ 200 ซี.ซี. รวม 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของการตักทั้ง 3 ครั้งคูณด้วย 5 จะได้เป็นจำนวนไข่ต่อปริมาตรน้ำ 1,000 ซี.ซี. แล้วคูณด้วย 200 ลิตร (ปริมาตรน้ำในถัง) ผลที่ได้ก็คือค่าโดยประมาณของจำนวนไข่ในถัง ด้วยวิธีเดียวกันนี้เราสามารถใช้ในการประเมินจำนวนลูกกุ้งในถังและทำการหาร้อยละของอัตราการฟักออกเป็นตัวซึ่งเท่ากับ

(จำนวนลูกกุ้งทั้งหมด x 100)/ จำนวนไข่ทั้งหมด

การนับลูกกุ้งควรทำในตอนเย็นของวันเดียวกันหลังจากแม่กุ้งวางไข่ ซึ่งเป็นลูกกุ้งในระยะที่หนึ่งหรือสอง หรือตอนเช้าของวันถัดไป ซึ่งจะเป็นลูกกุ้งในระยะที่สามหรือระยะที่สี่

ง. <u>อาหารและการให้อาหารแม่กุ้ง</u>

การให้อาหารแม่กุ้งควรให้บ่อยครั้งและควรเป็นพวกสัตว์มีชีวิต หรือเนื้อสัตว์เช่น ปลาหมึก หอยชนิดต่าง ๆ และไส้เดือนทะเลต่าง ๆ เช่น ไส้เดือน Neris เพราะมีกรดไขมันชนิดโพลีอันแซททูเรต ได้แก่ กรดอะราชิโดนิค และกรดโดคาซาเฮกซีโนอิค ซึ่งพบมากในรังไข่ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วของพวกกุ้งบางชนิด ช่วงเวลาที่เลี้ยงแม่กุ้งจะกินเวลา 4 ถึง 8 อาทิตย์ การให้อาหารควรจะมีการเปลี่ยนชนิดของอาหารที่ให้แก่แม่กุ้งทั้งนี้ขึ้นกับราคาของอาหารชนิดต่าง ๆ และปริมาณอาหารในแต่ละท้องถิ่น อาหารที่ยังมีชีวิตจะช่วยเร่งการเจริญพันธุ์ และการเจริญเติบโตของกุ้ง นอกจากนี้อาจใช้อาหารเสริมพวกอาหารสำเร็จที่อัดเป็นเม็ดซึ่งมีอัตราส่วนของโปรตีนสูงแล้วแต่สูตรที่ได้จากการทดลองต่าง ๆ กัน

จ. ความดกและคุณภาพของไข่

ความดกหรือจำนวนของไข่กุ้งจากตัวเมียตัวหนึ่งที่วางไข่อย่างสมบูรณ์จะอยู่ในระหว่าง 100,000 ถึง 1,000,000 ฟอง ถ้าเป็นกุ้งที่เลี้ยงในบ่อและทำการขลิบตาจะวางไข่โดยเฉลี่ย 200,000 ฟอง สำหรับกุ้งที่จับได้จากธรรมชาติและทำการขลิบตาจะวางไข่โดยเฉลี่ย 300,000 ฟอง ส่วนแม่กุ้งในธรรมชาติจะวางไข่ประมาณ 200,000 ถึง 1,000,000 ฟอง ไข่ที่ได้จะต้องทำการตรวจสอบคุณภาพไข่ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีตัวอ่อนที่ไม่แข็งแรงมาเลี้ยง การจำแนกลักษณะและคุณภาพของไข่แยกออกเป็นลักษณะต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 2.15

ลักษณะ A1 หรือไข่ดี ตัวอ่อน (nauplius) จะมีการเจริญตามปกติ โดยมีขน (Setae) เห็นได้ชัดเจน อัตราเฉลี่ยของการฟักออกเป็นตัวจะมากกว่าร้อยละ 50 ตัวอ่อนจะเคลื่อนที่เข้าหาแสงสว่าง

ลักษณะ A2 เป็นไข่ที่มีคุณภาพรองลงมา การเปลี่ยนแปลงของไข่จะช้ากว่าหรือไม่ก็เป็นไปในลักษณะที่ผิดปกติเมื่อเทียบกับลักษณะ A1 มีอัตราการฟักออกเป็นตัวประมาณร้อยละ 32 แต่ได้ตัวอ่อนที่ไม่ค่อยจะแข็งแรง

ลักษณะ B เป็นพวกไข่เสียหรือไข่ที่ไม่ได้รับการผสม การแบ่งตัวจะเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ ไม่มีการฟักออกเป็นตัว

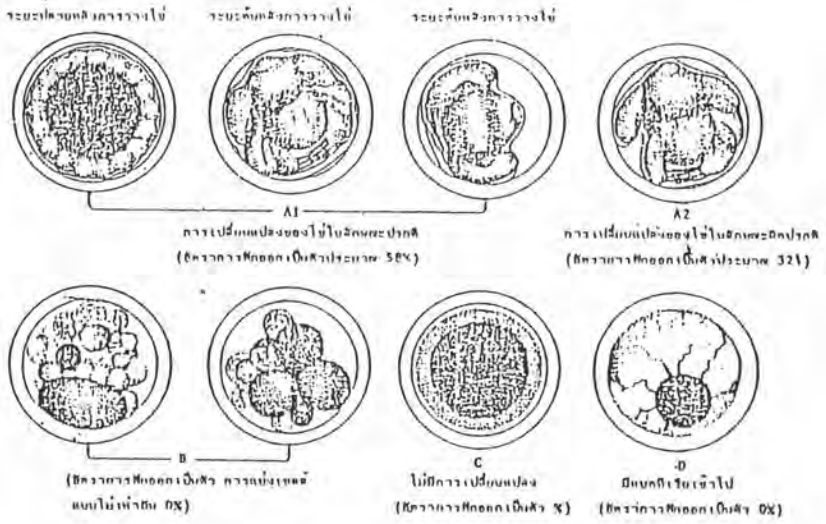
ลักษณะ C เป็นพวกไข่เสีย ไม่ได้รับการผสมและจะไม่มีการแบ่งตัว ไม่มีการฟักออกเป็นตัวอาจจะกลายเป็นพวก B ได้

ลักษณะ D เป็นพวกไข่เสีย ไข่ไม่ได้รับการผสมมีไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) เหลือเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะมีแบคทีเรียเข้าไปทำลาย ไม่มีการฟักออกเป็นตัว

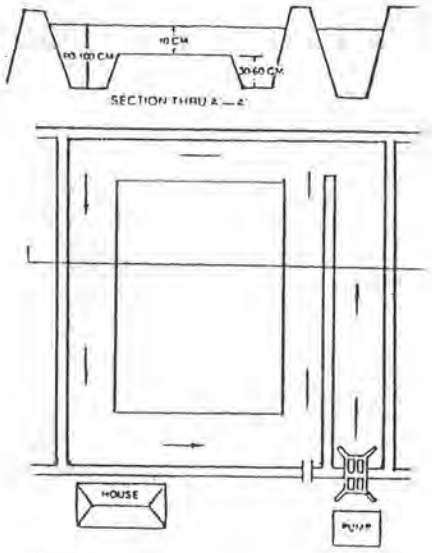
3. การเลี้ยงกุ้ง (Farming of shrimps)

3.1 ข้อคำนึงเบื้องต้นในการเลี้ยงกุ้ง

พบว่ามีการแบ่งประเภทการเลี้ยงกุ้งในเขตน้ำกร่อยออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการให้อาหารและการจัดการระบบน้ำตามตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะไข่กุ้งที่มีลักษณะการปฏิสนธิแล้ว[11]



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะบ่อเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม (Extensive)[12]

	แบบดั้งเดิม	แบบกึ่งพัฒนา	แบบพัฒนา
การให้อาหาร	ตามธรรมชาติ ไม่มีอาหารเสริม	ตามธรรมชาติ ผสมกับให้อาหารเสริม	ให้อาหารที่ผสมเองตามสูตรที่กำหนด(อาหารเม็ด)
การจัดการระบบน้ำ	น้ำขึ้น-น้ำลง ทดแทนส่วนที่ระเหย	น้ำขึ้น-น้ำลง เครื่องสูบน้ำ	สูบน้ำและพ่นให้อากาศ
ความหนาแน่น (ตัว ต่อตร.ม)	0.1 - 1.0	5 - 10	15 - 30
ขนาดบ่อเลี้ยง (ไร่)	> 12.5	2.5 - 5	2.5 หรือน้อยกว่า
ผลผลิต (กก/ไร่/รุ่น)	18-90	200 - 300	400 - 800

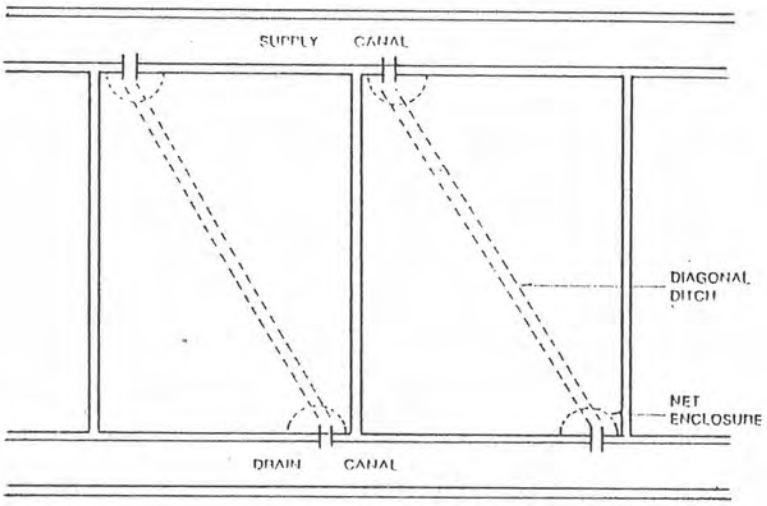
ตารางที่ 2.1 ระบบเลี้ยงกุ้งในบ่อเลี้ยงแบบต่างๆ ที่นิยม

อธิบายตารางได้ดังนี้

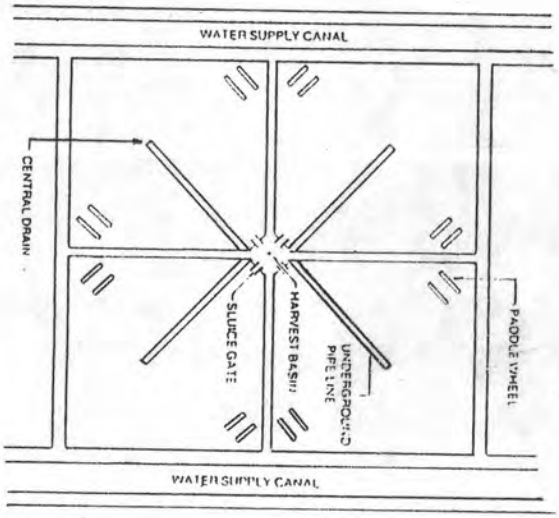
ประเภทที่ 1 รูปที่ 2.16 การเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิม (Extensive) การเพาะเลี้ยงประเภทนี้จะใช้อาหารตามธรรมชาติในบ่อ โดยจะใช้ปุ๋ยหรือไม่ใช้ปุ๋ยในการเพิ่มอาหารในบ่อก็ตามและอาศัยระดับน้ำขึ้น-น้ำลงช่วยในการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยง ความหนาแน่นของกุ้งในบ่อจะประมาณ 0.1 - 1.0 ตัวต่อตารางเมตร และทำการเลี้ยงรวมกับปลากระบอกและปลาขนาดเล็กชนิดอื่น ๆที่หากินบริเวณผิวหน้าน้ำ ผลผลิตในแต่ละปีประมาณ 18 - 90 กิโลกรัมต่อไร่ต่อรุ่น

ประเภทที่ 2 ดังรูปที่ 2.17 การเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา (Semi-intensive) เป็นขั้นตอนการเพาะเลี้ยงที่พัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง โดยใช้อาหารประเภท ปลาเป็ด เนื้อหอย เป็นอาหารเสริมนอกจากผลผลิตอาหารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และมีการใช้เครื่องสูบน้ำช่วยนอกจากอาศัยระดับน้ำขึ้น-น้ำลงช่วย ความหนาแน่นของกุ้งในบ่อจะสูงประมาณ 5 - 10 ตัวต่อตารางเมตร ผลผลิตจะมากถึง 200 - 300 กิโลกรัมต่อไร่ต่อรุ่น

ประเภทที่ 3 ดังรูปที่ 2.18 การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา (Intensive) การ



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะบ่อเลี้ยงกุ้งแบบกึ่งพัฒนา[12] (Semi-Intensive)



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะบ่อเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา[12] (Intensive)

เลี้ยงจะไม่อาศัยธรรมชาติ ความหนาแน่นกุ้งจะประมาณ 15 - 30 ตัวต่อตารางเมตร ผลผลิตต่อปีประมาณ 400 - 800 กิโลกรัมต่อไร่ต่อรุ่น เนื่องจากความหนาแน่นค่อนข้างสูงจึงต้องใช้อาหารเม็ดซึ่งมีสารอาหารโปรตีนในปริมาณสูงเป็นอาหารหลัก การถ่ายเทน้ำจะใช้เครื่องสูบน้ำและมีเครื่องช่วยให้อากาศ

ก. การเลือกสถานที่ตั้งบ่อกุ้ง

ฟาร์มกุ้งควรอยู่ในบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลอย่างชัดเจน เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างกระทันหัน ระดับความสูงของพื้นที่ควรอยู่ในระดับที่เมื่อน้ำขึ้นสูงสุดจะท่วมพื้นที่สูงประมาณ 0.5 เมตรถึง 1 เมตร เพื่อสะดวกต่อการเปิดน้ำเข้าสู่บ่อกุ้ง แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียงควรปลอดจากมลภาวะทางเกษตรและอุตสาหกรรม รวมทั้งไม่มีตะกอนดินที่จะมีผลทำให้น้ำขุ่น สภาพดินที่จะทำบ่อควรเป็นดินเหนียวเพื่อไม่ให้น้ำซึมได้ง่าย ดินที่มีกรดซัลฟูริคนี้จะมีสีแดง ความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4 ซึ่งทำให้กุ้งตายได้ ลูกพันธุ์กุ้งมีทั้งได้จากธรรมชาติและจากโรงเพาะฟักเพื่อลดค่าขนส่ง ควรทำการลดความเครียดที่เกิดขึ้นกับลูกพันธุ์กุ้งโดยการเตรียมบ่ออนุบาลลูกกุ้งในบริเวณใกล้เคียงด้วย นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความสะดวกในการคมนาคม ทั้งทางบกและทางน้ำสำหรับขนส่งกุ้งและอุปกรณ์ก่อสร้าง

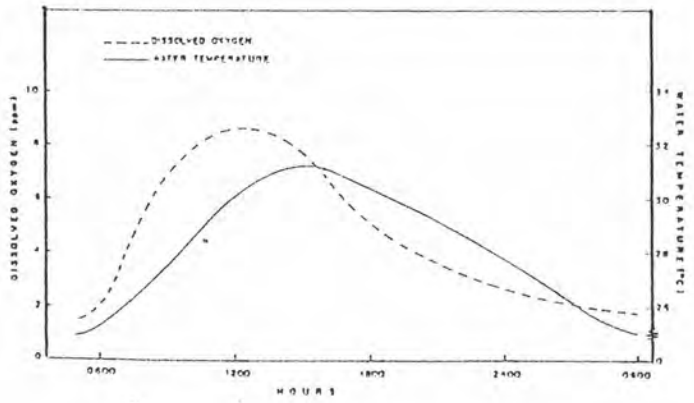
3.2 ระบบนิเวศน์ของบ่อเลี้ยงกุ้ง

หมายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ดิน อากาศ น้ำ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในบ่อ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อสภาพอากาศและแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเลี้ยงในบ่อ

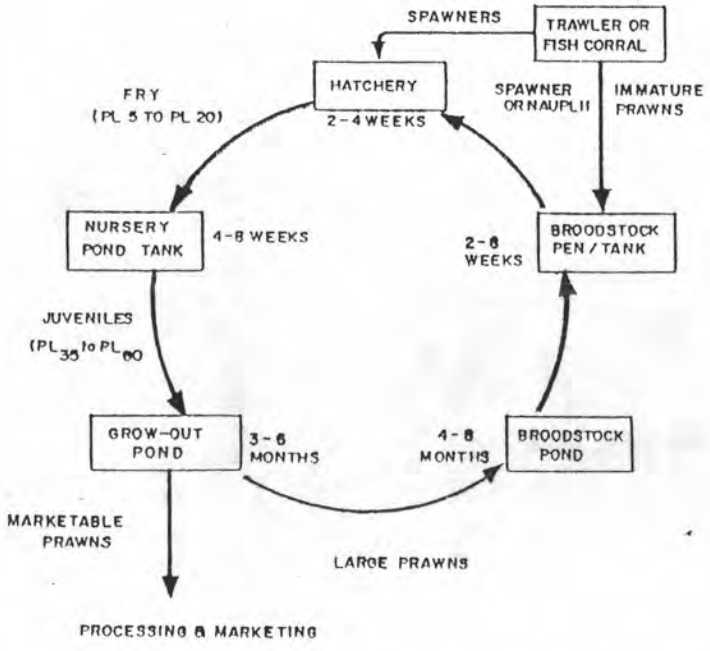
ก. ปัจจัยทางชีวภาพ

พืชจะเป็นผู้ผลิตสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารโดยใช้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอสฟอรัส และสารอาหารประเภทอื่น ๆ ที่ละลายในน้ำเป็นวัตถุดิบร่วมกับแสงแดด ใช้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตสารอินทรีย์ อาหารและออกซิเจน พืชเป็นตัวผลิตออกซิเจนเพียงชนิดเดียวในขณะที่มีทั้งพืชและสัตว์ใช้ในการหายใจ ส่วนตอนกลางคืนพืชจะไม่มีการสร้างสารอาหาร จะมีแต่การใช้ออกซิเจน ดังนั้นปริมาณออกซิเจนจะมีสูงในตอนบ่ายและลดลงต่ำสุดในช่วงกลางคืนดังรูปที่ 2.19

ในห่วงโซ่อาหารพืชจะถูกกินโดยสัตว์ที่กินพืช สัตว์เหล่านี้จะถูกกินโดยสัตว์กินเนื้ออื่น ๆ ที่อยู่ในระดับสูงกว่า ยิ่งระดับสูงก็ยิ่งต้องการใช้พลังงานสูงขึ้น สำหรับพืชและสัตว์ที่ตายจะถูกสัตว์ที่กินซากพืชซากสัตว์กิน ส่วนที่เหลือจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียและเชื้อรา



รูปที่ 2.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วงเวลา 1 วัน[12]



รูปที่ 2.20 แสดงขั้นตอนการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบครบวงจร[12]

ได้เป็นสารอาหารกลับออกมาสู่น้ำ ดังนั้นพืชสีเขียวจะถือเป็นผู้ผลิตในขณะที่สัตว์ต่าง ๆเป็นตัวเบียน (predator) คือสัตว์ที่กินพืชกินสัตว์ต่าง ๆ และสัตว์ที่กินซากพืชซากสัตว์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์และพืช จะเป็นการแย่งอาหารชนิดเดียวกัน แย่งที่อยู่อาศัย หรือทรัพยากรเดียวกันในบ่อ

ในบ่อเลี้ยงกุ้งจะมีสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งเป็นชนิดที่เด่นในระบบ ซึ่งต่างจากระบบธรรมชาติซึ่งมีสิ่งมีชีวิตทุกชนิดเท่าๆ กันหมด ทำให้สภาพของบ่อเลี้ยงกุ้งขาดความเสถียร สัตว์ชนิดอื่นในบ่อจะถือเป็นตัวเบียนเพราะจะแย่งอาหารหรือที่อยู่อาศัยของกุ้ง มีผลให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง

ข. <u>ปัจจัยทางกายภาพและทางเคมี</u>

<u>น้ำ</u> จะเป็นตัวทำหน้าที่ละลายสารต่าง ๆเช่น สารอาหาร หรือสารพิษต่าง ๆ (มลภาวะทางเคมีและของเสียที่ได้จากสิ่งมีชีวิต) รวมทั้งออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่พืชและสัตว์น้ำต่าง ๆ ใช้ในการหายใจ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิของน้ำ ออกซิเจนนี้จะใช้ในการหายใจของพืชและสัตว์ รวมทั้งการย่อยสลายของสารอินทรีย์ต่าง ๆ และผลิตโดยพืชที่ทำการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้อาจจะเกิดจากลมพัดผิวหน้าน้ำ การพ่นอากาศให้ผิวหน้าน้ำและการเปลี่ยนน้ำบ่อกุ้งใหม่

<u>ความเค็ม</u> จะวัดเป็นหน่วยต่อพันส่วน (part per thousand) น้ำทะเลมีค่าความเค็ม 30 ถึง 35 ส่วนต่อพันส่วน น้ำจืดบริสุทธิ์มีค่าความเค็ม 0 ส่วนต่อพันส่วน น้ำกร่อยจะมีค่าอยู่ในระหว่างช่วงนี้ ยิ่งน้ำมีค่าความเค็มสูงจะยิ่งมีความหนาแน่นมากและจะหนักขึ้น ทำให้จมลงและมีชั้นน้ำจืดลอยอยู่ชั้นบนของน้ำทะเล

<u>ค่าความเป็นกรด-ด่าง</u> เนื่องจากน้ำจะมีองค์ประกอบของไฮโดรเจนอิสระ (H^+) และไฮดรอกซิลอิออน (OH^-) ทำให้น้ำมีความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถวัดได้เป็นค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำบริสุทธิ์จะมีปริมาณไฮโดรเจนอิสระและไฮดรอกซิลอิออนเท่ากันจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 7 แสดงว่า ความเป็นกรด-ด่างมีค่าเป็นกลาง ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า 7 จะแสดงว่าน้ำมีฤทธิ์เป็นกรด ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 จะมีความเป็นด่าง ลักษณะความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะมีผลมาจากความเป็นกรด-ด่างของดินและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

ค. <u>สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับกุ้ง</u>

ช่วงความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงกุ้งกุลาดำจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 25 ส่วนต่อพันส่วนมีผลทำให้การเจริญเติบโตดีที่สุด อุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 25 ° ถึง 30 °ซ ถ้าอุณหภูมิต่ำกุ้งจะหยุดกินอาหารทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกุ้งจะตาย เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ระดับออกซิเจนต่ำที่สุด

สำหรับการอยู่รอดของกุ้งจะประมาณ 3 ถึง 4 ส่วนในล้านส่วน เมื่อปริมาณออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 2 ส่วนในล้านส่วน กุ้งจะเริ่มมีอาการกระวนกระวายและว่ายไปมาที่ผิวหน้าน้ำ และตายเพิ่มขึ้น ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7 ถึง 8.5 ตามธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างจะไม่รุนแรงมากนัก ถ้าต่ำกว่า 7 กุ้งจะทนอยู่ได้แต่การเจริญเติบโตจะลดลง แต่ถ้าต่ำกว่า 5 จะเป็นอันตรายต่อกุ้ง สารเคมีบางอย่างที่ผสมอยู่ในดินเช่น กรดซัลเฟต จะทำให้น้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 4 นอกจากนี้หลังจากฝนตกชะล้างชอบบ่อกรดซัลฟูริคจะปล่อยธาตุเหล็กและอลูมิเนียมที่อยู่ในดินมารวมตัวกับธาตุฟอสเฟตและสารอาหารอื่นทำให้ลดปริมาณสารอาหารในธรรมชาติลง ในบ่อเลี้ยงกุ้งที่มีการใช้ออกซิเจนมากจนหมดจะเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในบ่อ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำให้ดินที่ก้นบ่อเปลี่ยนเป็นสีดำมีกลิ่นเหม็น มีผลต่อสัตว์ที่อาศัยแบบขุดเจาะพื้นบ่อเช่น กุ้ง ทำให้กุ้งเป็นโรคและตายได้ นอกจากนี้แอมโมเนียที่เกิดจากผลผลิตของเสียของพืชและสัตว์ที่ขับถ่ายออกสู่น้ำในบ่อก็จะมีพิษเช่นกัน แต่พืชน้ำบางชนิดจะสามารถกำจัดแอมโมเนียที่มากเกินไปโดยเอาไปใช้สร้างเป็นสารอาหารได้ จึงอาจใช้พืชพวกนี้เป็นตัวปรับสภาพบ่อน้ำ ผลผลิตของกุ้งจะขึ้นกับคุณภาพดิน น้ำ แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารพิษอื่น ๆ ด้วย

3.3 <u>การหาพันธุ์ลูกกุ้ง</u> (Seed Supply)

ลูกกุ้งที่จะนำมาเพาะเลี้ยงจะได้จาก 2 แหล่งคือ จากธรรมชาติและจากโรงเพาะฟัก วิธีหาลูกพันธุ์จากธรรมชาติทำได้โดยทำการเปิดน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยงกุ้งซึ่งเป็นการเลี้ยงแบบดั้งเดิม ลูกกุ้งที่เพาะมาจากโรงเพาะฟักจะได้มาจากสถานีประมงหรือฟาร์มเลี้ยงกุ้งที่ทำการเพาะฟักลูกกุ้งจำหน่ายด้วย เมื่อได้ลูกกุ้งมาก่อนที่จะปล่อยลงบ่อเลี้ยงจะต้องมีการอนุบาลลูกกุ้งก่อน เพื่อให้ลูกกุ้งสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่และลดความเครียดที่เกิดจากการขนส่งได้

ข้อดีของการใช้ลูกพันธุ์กุ้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง คือ ขนาดของลูกกุ้งที่เริ่มเลี้ยงจะมีขนาดไม่ต่างกันมากนัก และถ้าโรงเพาะฟักอยู่ในพื้นที่เดียวกับบ่อเลี้ยงในกรณีที่ทำการเพาะเลี้ยงแบบครบวงจรดังรูปที่ 2.20 จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและลดความเครียดที่เกิดจากการเดินทางได้ ก่อนจะนำลูกกุ้งปล่อยลงบ่อเลี้ยงควรมีถังอนุบาลลูกกุ้งก่อนเพื่อปรับสภาพให้ลูกกุ้งแข็งแรงดีก่อนปล่อย โดยถังอนุบาลควรจะมีความจุตั้งแต่ 1 ถึง 20 ลบ.ม. ทำด้วยไม้ ไฟเบอร์กลาส หรือคอนกรีตและควรมีที่ให้ลูกกุ้งที่จะลอกคราบยึดเกาะเพื่อหลบหลีกไม่ให้เกิดการกินกันเองตั้งในบริเวณที่ริมบ่อ และมีการให้อากาศโดยใช้ลูกหินพรุนต่อกับท่ออากาศลงในบ่ออนุบาลด้วย ระดับน้ำลึกประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร และมีการเปลี่ยนน้ำ 1 ใน 3 ถึงครึ่งของปริมาตรน้ำในถังเป็นประจำแล้วแต่คุณภาพน้ำ อาหารที่ให้เป็นพวกเนื้อหอย ปลา หรืออาร์ทีเมีย นอกจากนี้ควรทำความสะอาดก่อนการให้อาหารโดยดูดเศษอาหารและคราบเก่าออก

3.4 การจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง (Pond Management)

ก. การปรับสภาพกุ้งก่อนปล่อยกุ้งลงบ่อ

ก่อนปล่อยกุ้งลงบ่อจะต้องมีการปรับสภาพให้กุ้งชินโดยคำนึงถึงอุณหภูมิและความเค็มให้มีค่าใกล้เคียงกันระหว่างบ่อเลี้ยงกุ้งกับบ่ออนุบาลเพื่อลดความเครียดที่จะเกิดขณะปล่อยกุ้งลงบ่อ การปล่อยกุ้งควรจะทำในตอนเย็นหรือเช้าตรู่ เมื่ออุณหภูมิน้ำต่ำ (ประมาณ 26 °ซ) ถ้าลูกกุ้งที่จะปล่อยมีปริมาณไม่มากนักให้ทำการปรับสภาพในถังที่บรรจุน้ำของบ่อเลี้ยงก่อนปล่อยลงบ่อ โดยผสมน้ำในบ่อเลี้ยงกับน้ำในถุงขนส่งด้วย ถ้ามีปริมาณมากให้นำถุงพลาสติกที่ใส่ลูกกุ้งมาลอยในบ่อเลี้ยงนานประมาณ 30 นาที เพื่อปรับให้อุณหภูมิต่างกันไม่เกิน 1 ถึง 2 °ซ และความเค็มต่างกันไม่เกิน 5 ส่วนในพันส่วน จึงจะทำการปล่อยกุ้งลงบ่อเลี้ยง ถ้าสภาพต่างๆ ยังคงต่างกันมากอยู่ให้ใส่น้ำจากบ่อเลี้ยงลงในถุงพลาสติก 2 ถึง 4 เท่าของปริมาตรน้ำก่อนปล่อยกุ้งลงบ่อ การปล่อยลูกกุ้งต้องกระจายไปทุก ๆ จุดรอบบ่อเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้กุ้งกินกันเองปริมาณกุ้งที่ปล่อยลงบ่อเลี้ยงจะขึ้นกับประเภทระบบเลี้ยง ปริมาณอาหารและการจัดการคุณภาพน้ำ

3.5 การเตรียมบ่อกุ้ง (Pond preparation)

ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิม และแบบกึ่งพัฒนาจะเตรียมบ่อเพื่อทำการกำจัดสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียน รวมทั้งต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มเติมสารอาหารที่เกิดตามธรรมชาติให้แก่กุ้ง ส่วนระบบเพาะเลี้ยงแบบพัฒนา การเตรียมบ่อจะเป็นการควบคุมสัตว์ที่รบกวนและปรับปรุงสภาพดินเพื่อกำจัดสารพิษที่จะเกิดขึ้น

3.5.1 การควบคุมสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียน

วิธีการที่สำคัญคือปล่อยน้ำออกจากบ่อและตากบ่อให้แห้ง โดยทำการกรองน้ำก่อนที่จะปล่อยน้ำเข้าสู่บ่อ แต่ในบริเวณที่ไม่สามารถถ่ายเทน้ำออกจากบ่อได้ต้องใช้ยาฆ่าแมลงในการกำจัดสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียนต่างๆ ยาฆ่าแมลงส่วนมาก เช่น ดีดีที เอนดริน เป็นต้น ไม่ย่อยสลายทางชีววิทยาทำให้มีสารตกค้างในบ่อกุ้งและไปลดการเจริญของอาหารตามธรรมชาติสำหรับกุ้งในบ่อ นอกจากนี้ถ้ามีการสะสมสารในเนื้อเยื่อเป็นจำนวนมากจะทำให้กุ้งตาย แต่ยาฆ่าแมลงที่เป็นพวกสารอินทรีย์ที่ได้จากพืชจะมีการย่อยสลายง่ายและไม่มีผลเสียต่อสภาพดิน

ก. วิธีการทางแมคคานิค

ทำได้ง่ายโดยการเปิดน้ำในบ่อเลี้ยงทิ้งให้หมด และทำการตากบ่อประมาณ 1 สัปดาห์ หรือจนกระทั่งดินที่ก้นบ่อเริ่มแตกระแหงเพื่อช่วยกำจัดสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียนชนิดต่างๆ ที่เจาะฝังตัวอยู่ใต้ดินและช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดิน ลดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารพิษอื่นๆ ควรจะทำการวิดน้ำที่ขังบริเวณพื้นที่ต่ำ ๆ ในบ่อออกให้หมด และก่อนจะปล่อยน้ำเข้าบ่อควรมีการกรองน้ำเพื่อกันสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียนไม่ให้เข้ามาในบ่อ ซ่อมรอยแตกของประตู

น้ำ สันเขื่อนต่าง ๆ ด้วย

ข. ยาฆ่าแมลงพวกสารอินทรีย์

สารที่ได้จากพืช เช่น รากพืชพวกโลติ้นซึ่งยับยั้งการหายใจระดับเซลของปลาที่เป็นตัวเบียน แต่กุ้งสามารถทนได้ มีลักษณะผง (อัตราส่วนร้อยละ 5 ถึง 8) ใช้ในปริมาณ 10 ถึง 20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วนในระดับน้ำลึก 10 ถึง 20 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังอาจใช้ยาเส้นในการกำจัดศัตรูกุ้งและเพิ่มปุ๋ยให้แก่บ่อกุ้งด้วย โดยใส่ในอัตรา 200 ถึง 400 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยใส่กระสอบแช่น้ำลอยอยู่ตามจุดต่าง ๆ ทั่วบ่อ เปิดน้ำเข้าบ่อลึก 10 ถึง 20 เซนติเมตรนานราว 1 ถึง 2 อาทิตย์เพื่อกำจัดสัตว์ที่รบกวนกุ้งโดยสารนิโคตินในยาเส้น หรือใช้กากเมล็ดชา 25 กรัมต่อน้ำ 1 ตันโดยแช่กากเมล็ดชาบดแล้วประมาณ 24 ชั่วโมงในน้ำ 10 ลิตรต่อกากเมล็ดชา 1 กิโลกรัมกรองเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำยาไปสาดกระจายให้ทั่วบ่อทำให้ปลาตายใน 10 ชั่วโมง

ค. สารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่ใช้[12] เช่น

แอมโมเนียมซัลเฟต นอกจากจะใช้กำจัดสัตว์ที่รบกวนและตัวเบียนแล้วยังเป็นปุ๋ยด้วย ใช้ในอัตรา 10 ถึง 20 กรัมต่อตารางเมตร ในบริเวณที่มีน้ำขัง หรือใช้ในอัตรา 100 ถึง 200 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในระดับความลึก 10 เซนติเมตร ควรใช้รวมกับแคลเซียมออกไซด์เพื่อเพิ่มปริมาณแอมโมเนียอิสระหรือแอมโมเนีย เนื่องจากถ้าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงทำให้ปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้นและมีความเป็นพิษสูงขึ้น

โซเดียมไฮโปคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารฟอกขาว ประกอบด้วยคลอรีนร้อยละ 5 เจือจางลงจนได้ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน อัตราส่วนที่ใช้คือ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ 20 ลิตร (ที่น้ำลึก 2 เซนติเมตร) แต่จะมีผลข้างเคียงต่อพืชและสัตว์ที่ควบคุมระดับสมดุลย์ในธรรมชาติของบ่อ

แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ประกอบด้วยคลอรีนร้อยละ 75 ในอัตราส่วนเดียวกับที่ใช้เติมน้ำในสระว่ายน้ำ ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ชนิดผง 1.5 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ที่น้ำลึก 2 ซม. ความเข้มข้นที่ได้จะเป็น 5 ส่วนในล้านส่วนโดยละลายในน้ำจืดก่อนที่จะเทลงสู่บ่อเลี้ยงกุ้ง

การใส่ปูนขาว สำหรับบ่อที่มีดินเปรี้ยวที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 จะใช้ปูนขาว 1,000 ถึง 2,000 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยใส่ก่อนหรือพร้อมปุ๋ยก็ได้ ถ้าต้องการปรับสภาพบ่อในระยะยาวจะใช้ปูนขาวในอัตรา 2,000 ถึง 4,000 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

การใส่ปุ๋ย ในระบบดั้งเดิมและระบบกึ่งพัฒนาจะอาศัยอาหารจากธรรมชาติเป็นหลักซึ่งจะขึ้นกับปริมาณปุ๋ยในบ่อ ปุ๋ยที่ใช้คือมูลไก่ในอัตรา 1,000 ถึง

2,000 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือใส่ปุ๋ยอินทรีย์อื่นเช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอนินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของยูเรีย (40-0-0) และแอมโมเนียฟอสเฟต (10-20-0) ในอัตรา 1 : 3 โดยใช้ตอนแรก 50 ถึง 100 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ต่อมาใช้ในอัตรา 10 ถึง 30 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ทุก 2 อาทิตย์ หลังจากการเปลี่ยนน้ำตามปกติเพื่อช่วยให้แพลงค์ตอนพืชเจริญเติบโตและอาหารธรรมชาติอื่น ๆ

3.5.2 <u>การควบคุมน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง</u>

การเปลี่ยนน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งจะเป็นตัวช่วยให้มีการเพิ่มออกซิเจนเข้าสู่บ่อทดแทนที่ต้องใช้ไปช่วยเจือจางปริมาณสารพิษต่างๆ และเพิ่มปริมาณอาหารตามธรรมชาติ (แพลงค์ตอน) เข้ามาในบ่อสำหรับการเพาะเลี้ยงที่มีความหนาแน่นสูง ในประเทศพัฒนาและกึ่งพัฒนาจำเป็นต้องใช้เครื่องสูบน้ำช่วยในการเปลี่ยนน้ำ เพราะมวลชีวภาพในบ่อสูงและใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายมาก จำเป็นต้องควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพและเคมีอย่างรุนแรง การเปลี่ยนน้ำควรจะทำการเปลี่ยนหลังเที่ยงคืนระหว่าง 03.00 ถึง 06.00น และช่วงตอนบ่ายประมาณ 13.00 ถึง 16.00 น. น้ำที่ถ่ายทิ้งจะเป็นน้ำในชั้นล่างเพื่อลดปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และสารพิษต่าง ๆ ที่เกิดจากการย่อยสลายอาหารที่บริเวณก้นบ่อ ช่วงเวลาน้ำตายหรือช่วงที่ฉุกเฉินจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอย่างกระทันหัน เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำ หรือเกิดการเจริญเติบโตของแพลงค์ตอนโดยฉับพลัน (Plankton bloom) จะต้องใช้เครื่องสูบน้ำช่วยในการถ่ายเทน้ำ

3.6 <u>อาหารและการให้อาหารกุ้ง</u>

ในระบบการเพาะเลี้ยงแบบดั้งเดิมจะอาศัยอาหารจากธรรมชาติเป็นหลัก แต่ถ้าความหนาแน่นของกุ้งในบ่อสูงกว่า 5,000 ตัวต่อเฮกตาร์ หรืออาหารในธรรมชาติลดลงจะใช้อาหารเสริมช่วยอาหารที่มีในธรรมชาติเช่น พืชน้ำบางชนิดซึ่งกุ้งจะแทะกินบริเวณต้นอ่อนสัตว์เล็ก ๆ พวกโคปีปอด (Copepod) และตัวอ่อนของแมลง นอกจากนี้พืชยังช่วยรักษาคุณภาพน้ำโดยดึงของเสียประเภทไนโตรเจนมาใช้ด้วย อาหารในธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งคือ แพลงค์ตอนพืชซึ่งเป็นพืชชนิดเล็กมากแขวนลอยอยู่ในน้ำ เป็นพื้นฐานของโซ่อาหารจะถูกบริโภคโดยสัตว์ที่ใหญ่กว่าซึ่งจะถูกกุ้งในบ่อกินเป็นอาหารอีกขั้นหนึ่ง การแพร่กระจายของแพลงค์ตอนพืชจะควบคุมโดยใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ใส่ลงในบ่ออย่างสม่ำเสมอ เพราะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีในบ่อจะลดลงเนื่องจากมีการสะสมในดินพืชและสัตว์ก็มีการเอาไปใช้ด้วย อาหารเสริมสำหรับกุ้งในบ่อ เช่น เนื้อหอย เนื้อปลา โดยขึ้นกับปริมาณอาหารที่หาได้ง่ายยาก และราคาของอาหารชนิดนั้นๆ อาหารที่ปรุงแล้วและอาหารเทียมประกอบด้วยสารอาหารหลาย ๆ ประเภทโดยมีสูตรต่างๆ กัน จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

ปัญหาที่พบในบ่อเลี้ยงกุ้งและวิธีการแก้ไข

จากการค้นคว้าเอกสารและรายงานวิชาการเกี่ยวกับการเพาะเลี้ยง และเทคนิคต่างๆ ที่จำเป็นในการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา พบว่าการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนานั้นมีปัจจัยต่างๆ ที่ต่างจากการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบดั้งเดิมหลายประการซึ่งต้องอาศัยเทคนิค และความรู้ที่ได้จากการทดลองวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น การพัฒนาโปรแกรมระบบเชี่ยวชาญโดยใช้กรณีศึกษาการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาเป็นการรวบรวมความรู้ใหม่ๆ ที่มีการทดลองวิจัยเพื่อช่วยให้คำปรึกษาแก่ผู้เพาะเลี้ยงที่อาจเกิดปัญหาต่างๆ ขึ้น เช่น อัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งที่จะปล่อยลงในบ่อเลี้ยง แหล่งที่จะหาลูกพันธุ์กุ้งมาเลี้ยง การจัดการและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อ และสิ่งสำคัญถือเป็นต้นทุนหลักในการเพาะเลี้ยงกุ้งก็คือ อาหารกุ้งซึ่งจะมีผลต่ออัตรารอดตาย ปริมาณผลผลิตต่อไร่ และกำไรขาดทุนของการเพาะเลี้ยงแต่ละครั้ง เริ่มตั้งแต่อาหารสำหรับลูกกุ้งวัยอ่อนระยะนอเพลียสจนถึงโพสลาวาร์ อาหารกุ้งระยะโตเต็มวัยโพสลาวาร์ตอนปลายจนถึงระยะที่ทำการปล่อยกุ้งลงสู่บ่อเลี้ยงและจับกุ้งไปขาย

1. ปัญหาที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงแบบพัฒนาคือ[12,14,15,16] การหาลูกพันธุ์ที่จะทำการเพาะเลี้ยงในปัจจุบันนิยมทำการเพาะลูกพันธุ์กุ้งเอง จะโดยจากแม่พันธุ์กุ้งที่จับมาจากแหล่งวางไข่ในทะเลลึก แหล่งน้ำชายฝั่งหรือจากในนากุ้งเองก็ตาม ปัญหาที่พบบ่อยในขั้นตอนนี้ เช่น แม่พันธุ์กุ้งที่ได้มานั้นทำการเร่งให้ไข่แก่โดยการบีบตาแล้วได้น้อยกว่าที่ควรคือ ประมาณร้อยละ 70 ของปริมาณแม่กุ้งที่นำมาทำการบีบตาทั้งหมด แม่พันธุ์กุ้งมีการตายก่อนการบีบตาหรือหลังบีบตาแล้วแต่ยังไม่ออกไข่ หรือไข่ที่ได้จากแม่กุ้งมีปริมาณน้อยกว่าค่าเฉลี่ยคือประมาณ 200,000 ฟองต่อแม่พันธุ์กุ้ง 1 ตัว หรือไข่ที่ได้จากแม่พันธุ์กุ้งที่นำมาทำการบีบตาเป็นไข่ที่ได้รับการผสมน้อยกว่าร้อยละ 30 ถึง 40 ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ

1.1 แหล่งที่มาของพ่อพันธุ์แม่พันธุ์กุ้งที่นำมาทำการบีบตา[17] จะมีผลต่อช่วงระยะเวลาที่จะสามารถเร่งให้ไข่แก่ได้หลังจากที่ทำการบีบตาแล้ว และปริมาณไข่ที่ได้รับการผสมพันธุ์หรือไข่ดี จากการทดลองมีการสรุปไว้ว่า[13] แม่กุ้งที่ได้จากแหล่งวางไข่ที่มีระดับลึก 20 ถึง 30 เมตรจะสามารถเร่งให้มีไข่แก่ได้ภายในเวลา 3 ถึง 5 วัน และจำนวนแม่พันธุ์กุ้งที่ไข่แก่จะมีประมาณร้อยละ 50 ถึง 80 เป็นแม่พันธุ์ที่ได้รับการผสมพันธุ์ร้อยละ 50 ถึง 60 ซึ่งเร็วกว่ากุ้งที่ได้จากแหล่งน้ำชายฝั่งในเขตน้ำกร่อยที่จะเร่งให้มีไข่แก่ได้หลังจากบีบตาประมาณ 10 ถึง 15 วัน และได้จำนวนกุ้งที่ไข่แก่ประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 เป็นแม่กุ้งที่ได้รับการผสมพันธุ์ประมาณร้อยละ 20 ถึง 50 ทั้งนี้เนื่องจากแม่กุ้งที่ได้จากแหล่งวางไข่ในทะเลลึกมีความสมบูรณ์มากกว่า และอาจจะเคยผ่านการผสมพันธุ์ในธรรมชาติมาก่อนที่จะถูกจับ แต่กุ้งจากทั้งสองแหล่งก็ยังคงใช้เป็น

พ่อพันธุ์แม่พันธุ์ได้ ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักของพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ด้วย โดยกุ้งจากแหล่งวางไข่ในทะเลลึก ตัวผู้ควรจะมีน้ำหนัก 70 ถึง 120 กรัม ตัวเมียควรจะมีน้ำหนัก 120 ถึง 200 กรัม กุ้งส่วนใหญ่จะเป็นกุ้งขั้นวัยเจริญพันธุ์ เคยได้รับการผสมพันธุ์และวางไข่มาก่อน ส่วนพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ที่รวบรวมจากแหล่งน้ำชายฝั่งจะมีขนาดเล็กกว่าคือ ตัวเมียควรจะมีน้ำหนักระหว่าง 100 ถึง 300 กรัม และตัวผู้ควรจะมีน้ำหนัก 70 ถึง 90 กรัม ส่วนการเร่งแม่กุ้งให้มีไข่แก่อาจทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังหัวข้อที่ 2.2 โดยบีบตาเฉพาะตัวเมียที่เปลือกแข็ง และไม่ได้อยู่ในระหว่างการลอกคราบหรือหลังลอกคราบใหม่ ๆ หลังจากที่ทำการบีบตาแม่กุ้งแล้ว

1.2 สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ[29] ระยะการเจริญเติบโตของรังไข่ซึ่งควรจะอยู่ในระยะที่ 3 หรือระยะที่ 4 ดังรูปที่ 2.13 จึงย้ายไปใส่ไว้ในบ่อเพาะฟักไข่ ซึ่งควรจะมีความจุประมาณ 200 ลิตร ใส่น้ำทะเลที่กรองสะอาด ฆ่าเชื้อโรคแม่กุ้งก่อนปล่อยลงบ่อเพาะฟักไข่เพื่อป้องกันการติดเชื้อของลูกกุ้งจากแม่พันธุ์ การตรวจสภาพรังไข่ทำโดยลดระดับน้ำในบ่อเลี้ยงพ่อพันธุ์แม่พันธุ์ลงเหลือ 30 เซนติเมตร แล้วใช้ไฟฉายใต้น้ำส่องดูด้านข้างลำตัวกุ้ง ถ้าปล่อยแม่กุ้งลงบ่อเพาะฟักเร็วเกินไปจะทำให้แม่กุ้งออกไข่ช้า ต้องมีการให้อาหารแม่กุ้งซึ่งอาจทำให้น้ำในบ่อเพาะฟักเสียได้ แต่ถ้าปล่อยลงบ่อเพาะฟักช้าเกินไป แม่กุ้งอาจจะออกไข่ในบ่อเลี้ยง ทำให้ไม่สะดวกในการรวบรวมไข่ ไข่อาจจะติดเชื้อจากแม่พันธุ์กุ้งได้ และไข่จะได้รับการผสมกับเชื้อตัวผู้ที่แม่กุ้งเก็บไว้ไม่ดีพอ ไข่ที่ได้จะมีจำนวนไข่ดีน้อย นอกจากนี้ในบ่อเพาะฟักยังต้องมีการให้อากาศตลอดเวลา เพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ช่วยให้ออกซิเจนแก่น้ำ และป้องกันไม่ให้ไข่จมลงก้นบ่อทำให้ฟักเป็นตัวได้มากขึ้น

2. ขั้นตอนต่อมาเมื่อฟักลูกกุ้งจากไข่ได้จำนวนมากพอแล้ว จากการสุ่มนับจำนวนลูกกุ้ง สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือการทำการอนุบาลลูกกุ้งที่ได้จนถึงระยะโพสลาวาร์ ซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงคือ อาหารที่ใช้เลี้ยงลูกกุ้งและคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงลูกกุ้ง

2.1 อาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่ออัตราการรอดตายของลูกกุ้ง[18] ลูกกุ้งในระยะต่าง ๆ จะมีนิสัยในการกินอาหารต่างกัน โดยมีสารอาหารที่สำคัญคือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันซึ่งเป็นสารอาหารหลักที่ให้พลังงาน ปัญหาที่พบบ่อยในขั้นตอนนี้คือ การให้อาหารแก่ลูกกุ้งไม่เหมาะสม จากการวิจัยเรื่องอาหารที่ใช้อนุบาลลูกกุ้งพบว่าในระยะนอเพลียสซึ่งกินเวลา 36 ถึง 48 ชั่วโมง ระยะนี้ลูกกุ้งจะใช้อาหารที่ติดมากับถุงอาหาร (yolk) จึงยังไม่จำเป็นต้องให้อาหาร เป็นการประหยัดและรักษาคุณภาพน้ำด้วย ต่อมาเมื่อลูกกุ้งเจริญเข้าสู่ระยะโปรโตซูเอียกินเวลา 4 ถึง 5 วัน ลูกกุ้งจะเริ่มกินอาหารจากภายนอกร่างกายโดยใช้อาหารจากธรรมชาติ เช่น ไดอะตอม ซึ่งเป็นสาหร่ายที่เกิดตามธรรมชาติ โดยใส่ปุ๋ยธรรมชาติลงในบ่อจะช่วยเร่งการเจริญเติบโตของไดอะตอมโดยใช้ความเข้มข้น 1 ส่วนต่อล้านส่วน สูตรของปุ๋ยที่ใช้เลี้ยงไดอะตอมคือ

โปแตสเซียมไนเตรต	100 กรัม
โซเดียม	5 กรัม
คลีวัต	10 กรัม
โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต	10 กรัม

และให้อาหารเสริมพวก ยีสต์ และไข่แดงต้มผสมลงไปด้วย พบว่าในระยะนี้ลูกกุ้งจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีอัตราการรอดตายถึงร้อยละ 90 เมื่อลูกกุ้งเข้าสู่ระยะที่ 3 หรือระยะไมซิส จะเปลี่ยนนิสัยการกินอาหารมากินพวกไรน้ำเช่น Artemia sp. ใช้เวลาประมาณ 3 วัน[19] จากนั้นลูกกุ้งจะเข้าสู่ระยะโพสลาวาร์ ซึ่งแบ่งย่อยเป็นระยะโพสลาวาร์ 1 โพสลาวาร์ 2 ไปเรื่อย ๆ โดยนับตามจำนวนวันหลังจากระยะไมซิส ในช่วงนี้ลูกกุ้งจะกินอาหารพวกโปรตีนมากขึ้น ได้มีการทดลองใช้สูตรอาหารหลายสูตร ซึ่งมีอัตราส่วนของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ กัน พบว่าแหล่งของโปรตีนในอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้งกุลาดำ ระดับของโปรตีนในอาหารมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของน้ำย่อยในกุ้งทุกขนาด มีการทดลอง[20] โดยใช้สูตรอาหารที่ประกอบด้วย ปลาป่นและรำละเอียด ในอัตราส่วน 70 ต่อ 22 ปรากฏผลว่าได้ลูกกุ้งที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 2.33 กรัมภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์ น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 99.5 อัตราการตายร้อยละ 20 ประสิทธิภาพการใช้อาหารร้อยละ 12.6

2.2 คุณภาพน้ำเป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อการอนุบาลลูกกุ้งเช่นกัน โดยจะต้องคำนึงถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ระดับปริมาณไนเตรต-ไนไตรต์ แอมโมเนียที่เป็นพิษต่อกุ้งจากการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำในโรงเพาะฟัก ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมต่อไข่[19] ลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนระยะนอเพลียสถึงระยะไมซิสจะต้องสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ลูกกุ้งกุลาดำตั้งแต่ระยะโพสลาวาร์ 1 ถึงระยะโพสลาวาร์ 15 ควรจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงกว่า 4.5 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร และลูกกุ้งตั้งแต่ระยะโพสลาวาร์ 17 จะมีระดับการบริโภคออกซิเจนค่อนข้างคงที่ โดยจะมีความทนทานต่อปริมาณออกซิเจนที่ต่ำได้ถึงประมาณ 3.5 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ส่วนไนไตรต์และแอมโมเนียในบ่ออนุบาลลูกกุ้งจะเกิดจากการที่ลูกกุ้งขับถ่ายของเสียออกมา หรือจากการย่อยสลายเศษอาหารที่เหลือประกอบกับระบบถ่ายเทน้ำไม่ดีพอ จะทำให้มีไนไตรต์เกิดมากเกินไปซึ่งจะมีพิษอย่างมากต่อลูกกุ้ง พบว่าอาการของลูกกุ้งเมื่ออยู่ในสภาพที่มีไนไตรต์และแอมโมเนียมากเกินไปจะว่ายน้ำไปมาอย่างรวดเร็วและไม่มีทิศทางที่แน่นอน เสียการทรงตัว และโผล่ขึ้นมาหายใจที่ผิวน้ำบ่อย ๆ จนสลบและจมลงสู่ก้นถังทดลอง ปริมาณไนไตรต์ที่ปลอดภัยต่อลูกกุ้งกุลาดำต้องน้อยกว่า 0.3599 มิลลิกรัม NO_2-N ต่อลิตร และปริมาณแอมโมเนียที่ปลอดภัยต่อลูกกุ้งกุลาดำต้องน้อยกว่า 0.4820 มิลลิกรัม NH_3 ต่อลิตร เป็นต้น ดังนั้นเมื่อเกิดลักษณะอาการดังกล่าว

ผู้ทำการเพาะฟักลูกกุ้งจะต้องรีบทำการให้อากาศ หรือเปลี่ยนน้ำใหม่เข้าสู่บ่ออนุบาลลูกกุ้ง เพื่อลดอัตราการตายและการเกิดโรคกับลูกกุ้งเนื่องจากลูกกุ้งอ่อนแอ สำหรับปัจจัยเรื่องความเค็ม มีการทดลองในเรื่องความทนทานต่อการเปลี่ยนความเค็มของน้ำต่อลูกกุ้งกุลาดำ[21] พบว่า ความทนทานของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนนั้นมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้น ระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับลูกกุ้งกุลาดำควรรักษาไว้ในระดับ 30 ppt. น้ำทะเลที่สูบขึ้นมาควรทำการกรองผ่านชั้นทรายของเครื่องกรองน้ำเพื่อดักตะกอนที่แขวนลอยอยู่ก่อนจะสูบเข้าสู่บ่อเก็บน้ำ ต้องทำการฆ่าเชื้อโรคในบ่อเก็บน้ำโดยใช้คลอรีนผง 30 กรัมต่อน้ำทะเล 1 ตันแล้วให้อากาศอย่างแรงเป็นเวลาอย่างน้อย 4 - 5 วัน การปรับความเค็มที่เหมาะสมช่วยให้อัตรารอดตายของกุ้งในช่วงระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ สูงขึ้น และใช้เป็นวิธีการทำลายเชื้อโรคบางชนิด

3. ขั้นตอนนี้เป็นการเลี้ยงกุ้งวัยรุ่นจนถึงกุ้งโตเต็มวัยและจับขายได้ ปัญหาสำคัญที่พบเป็นปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำและอาหารซึ่งในการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาพบว่า อาหารที่ให้กุ้งในบ่อนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลผลิตที่ได้ เพราะมีการปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นสูง ดังนั้นอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติจะไม่เพียงพอ และอัตราการตายของกุ้งจะเกิดจากการที่กุ้งกินกันเองขณะที่มีการลอกคราบหรือเกิดโรคขึ้นเนื่องจากสภาพน้ำเสียในบ่อ มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้สูตรอาหารต่างๆ กันเพื่อใช้เลี้ยงกุ้งกุลาดำเช่น ให้เนื้อปลาสับละเอียด[23] เนื้อปลาเป็ดหรือเนื้อหอย แล้วแต่ต้นทุนและความอุดมสมบูรณ์ของอาหารในแต่ละพื้นที่ เพื่อควบคุมต้นทุนค่าอาหารให้ต่ำสุด และให้มีอัตราการรอดของกุ้งสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการทดลองโดยใช้อาหารเม็ด[24] เพื่อความสะดวกในการเก็บรักษาและการเตรียมด้วย โดยการให้อาหารจะให้วันละ 3 ถึง 5 ครั้งโปรยไว้ในยอ ก่อนให้อาหารครั้งต่อไปทุกครั้งต้องทำการตรวจสอบปริมาณอาหารที่เหลือ ถ้าเหลือมากให้ลดปริมาณลง ถ้าหมดให้เพิ่มเล็กน้อย ทั้งนี้จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำในบ่อเสียง่ายเนื่องจากอาหารที่เหลือในบ่อนั้น นอกจากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนแล้ว ผู้ทำการเพาะเลี้ยงยังต้องคำนึงถึงสารอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นด้วย[20] เช่น สารเยื่อใยที่ช่วยยึดไม่ให้อาหารละลายน้ำได้ง่าย กลิ่นสีของอาหาร วิตามิน และเกลือแร่ เป็นต้น สูตรอาหารที่แนะนำโดยกรมประมงจะมีส่วนประกอบดังนี้

วัสดุอาหาร	ร้อยละ
ปลาป่น	30
กากถั่วเหลือง	25
หัวและเปลือกกุ้ง	10
ปลาหมักป่น	6
ยีสต์	2
ปลายข้าว	12
รำ	10
ก้วกัม	1
วิตามินกุ้ง	0.8
วิตามินซี	0.2
แร่ธาตุ	2.0
ไดแคลเซียมฟอสเฟต	1.0

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอาหารที่ให้ต้องคำนึงถึง

อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะอยู่ในช่วง 25 ° ถึง 30 °ซ ถ้าอุณหภูมิต่ำกุ้งจะไม่กระปรี้กระเปร่า กินน้อยโตช้า ดังนั้นถ้าอุณหภูมิต่ำให้อาหารน้อยมื้อลง แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 18 °ซ กุ้งจะไม่กินอาหาร ต้องรีบทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเลเข้ามาเพื่อปรับอุณหภูมิ

คุณสมบัติของน้ำ คุณสมบัติน้ำที่ดีคือ มีความโปร่งแสง 50 ถึง 60 ซม. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 5 ถึง 11 ส่วนในล้านส่วน ความเป็นกรดด่าง 6.5 ถึง 9.0 ความเค็ม 15 ถึง 25 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิสูงกว่า 18 °ซ แอมโมเนียต่ำกว่า 1.0 ส่วนในล้านส่วน

การให้อาหารกุ้งจะต้องให้กระจายทั่ว ๆ บ่อ เนื่องจากกุ้งไม่ใช่สัตว์สังคม แต่จะกระจายกันอยู่ทั่วทั้งบ่อ และควรให้อาหารวันละ 3 ถึง 5 ครั้ง สำหรับช่วงที่กุ้งลอกคราบให้ลดปริมาณอาหารลงประมาณ 2 ถึง 3 วัน เพราะช่วงนี้กุ้งจะกินอาหารน้อยลง แต่ถ้าพบกุ้งลอกคราบใหม่ๆ ก็เพิ่มอาหารมากขึ้น เพราะกุ้งต้องการอาหารมาช่วยในการสร้างเปลือก

2.2 คุณภาพน้ำ[26] เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผลผลิตของกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้ง เพราะจะทำให้กุ้งโตช้า เกิดโรคได้ง่าย และอัตราการตายของกุ้งเพิ่มขึ้น สิ่งที่สำคัญคือ

ความหนาแน่น มีการทดลองถึงผลของความหนาแน่นในการปล่อยกุ้งลงเลี้ยงในบ่อต่ออัตราการรอดตายและผลผลิตของกุ้ง[27] พบว่า อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมในการปล่อยลูกกุ้งกุลาดำขนาด PL_{15} ถึง PL_{20} ลงเลี้ยงในบ่อ ควรอยู่ระหว่าง 12 ถึง 23 ตัว

ต่อตารางเมตร หรือเฉลี่ยประมาณ 17 ตัวต่อตารางเมตร จะให้ผลผลิตสูง 290.64 กิโลกรัมต่อไร่ ถึง 318 กิโลกรัมต่อไร่ มีอัตราการรอดตายมากกว่าร้อยละ 50 และถึงแม้ว่าจะปล่อยลงเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นต่ำกว่านี้ผลผลิตที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก

<u>ความเค็ม</u>[27] ความเค็มที่เหมาะสมสำหรับกุ้งกุลาดำคือ 15 ถึง 20 ส่วนในพันส่วน ปัญหาจะเกิดขึ้นในกรณีที่ฝนเพราะความเค็มของน้ำจะเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ถ้าความเค็มต่ำกุ้งจะกินอาหารมาก แต่ไม่ค่อยแข็งแรงและลอกคราบผิดปกติ ถ้าความเค็มสูงเนื้อกุ้งจะแน่นแข็งแรง มีความต้านทานโรคสูง แต่โตช้ากว่า จึงต้องปรับความเค็มให้ได้ตามช่วงที่ต้องการโดยการสูบน้ำทะเลเข้าสู่บ่อเลี้ยง แต่หลังจากฝนตกควรจะทำการเปลี่ยนน้ำที่ชั้นผิวหน้าด้วย เพราะน้ำจืดจะเบาและลอยอยู่บนชั้นน้ำเค็มทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนน้อยลง

<u>ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ</u> อัตราการเจริญเติบโตของกุ้งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ถ้ามีปริมาณต่ำซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุที่บ่อลึกมาก และสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนจำนวนมาก จะทำให้กุ้งเริ่มไม่กินอาหารและมีอาการว่ายลอยที่ผิวน้ำ เมื่อเดินเข้าไปใกล้ก็ไม่จมลง ปกติการเพาะเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาจะต้องมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอย่างน้อย 5 ส่วนในล้านส่วน ถ้าพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณต่ำลง จะต้องทำการให้อากาศโดยใช้เครื่องให้อากาศ (aerator) สำหรับพื้นที่ขนาด 3,000 ถึง 4,000 ตารางเมตร จะต้องใช้เครื่องให้อากาศขนาด 1 แรงม้า จำนวน 4 ตัว หรือใช้เครื่องให้อากาศ 1 ตัวต่อกุ้ง 40,000 ตัว

<u>สีของน้ำ</u> ใช้เป็นตัวชี้คุณภาพของน้ำ โดยปกติน้ำสีเขียวอ่อน จะเป็นน้ำที่มีความเค็มต่ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อย สามารถควบคุมคุณภาพได้ง่าย น้ำที่มีสีน้ำตาลอ่อนแสดงว่าเป็นน้ำที่มีความเค็มสูงเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ควบคุมคุณภาพยาก เมื่อเลี้ยงกุ้งต่อไปสีน้ำจะเข้มมากขึ้น แสดงว่าสาหร่ายหรือไดอะตอมกำลังจะตาย ต้องรีบเปิดเครื่องให้อากาศ ทำการเปลี่ยนน้ำงดอาหารจนกว่าน้ำจะเปลี่ยนกลับเป็นปกติ ถ้าน้ำใสมากเกินไปแสดงว่า น้ำไม่มีปุ๋ย ไดอะตอมและสาหร่ายที่เป็นอาหารตามธรรมชาติมีน้อย ต้องทำการเติมปุ๋ยลงในบ่อ

<u>ค่าความเป็นกรด-ด่าง</u> ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่างช่วง 7.5 ถึง 8.5 โดยขึ้นกับการสังเคราะห์แสง การตายของสาหร่าย และปริมาณของเสียที่กุ้งขับถ่ายออกมา ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ ตอนบ่ายอุณหภูมิสูงการสังเคราะห์แสงมีมาก ค่าความเป็นกรดด่างจะสูง พอถึงเวลากลางคืนสาหร่ายและไดอะตอมมีการหายใจขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างลดลง ตามปกติถ้าค่าความเป็นกรดด่างสูงแสดงว่า มีสาหร่ายมากเกินไป จะต้องเปลี่ยนน้ำ แต่ถ้าค่าความเป็นกรดด่างต่ำเกินไป แสดงว่าคุณภาพน้ำไม่ดี ปุ๋ยไม่พอ การสังเคราะห์แสงต่ำ ให้ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต 4 ถึง 5 กิโลกรัมต่อ 1,000 ตารางเมตร

เพื่อให้สาหร่ายเจริญเติบโตเร็วขึ้นและค่าความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้คุณภาพน้ำยังขึ้นกับปริมาณสารเคมีต่างๆ เช่น แอมโมเนียซึ่งเกิดจากการขับถ่ายของเสียจากกุ้ง ถ้ามีสูงถึงระดับ 2 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้กุ้งกินอาหารลดลง ถ้าสูงถึง 5 ส่วนในล้านส่วนทำให้กุ้งตายได้ ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากบ่อที่มีสภาพออกซิเจนต่ำ อาหารเหลือมาก และการเน่าสลายของสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมาก พื้นบ่อมีสีดำกลิ่นเหม็นมาก ความเข้มข้น 0.1 ถึง 0.3 ส่วนในล้านส่วนก็มีผลเสียต่อกุ้ง ให้ทำการเปลี่ยนน้ำและใช้ซีโอไลท์ 50 ถึง 125 กิโลกรัมต่อ 1000 ตารางเมตร ช่วยดูดกาซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ธาตุเหล็ก ถ้าสูงมากกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนจะมีผลเสียต่อเหงือกกุ้ง สาเหตุเกิดจากดินที่ใช้เลี้ยงและแหล่งน้ำใต้ดินมีธาตุเหล็กอยู่มาก ต้องเลือกสถานที่ให้เหมาะสม ธาตุทองแดงและโลหะหนักที่มีพิษต่อกุ้งเกิดจากสารเคมีที่ผู้เพาะเลี้ยงใช้ เช่น สารฆ่าสาหร่าย สารปราบศัตรูกุ้ง เป็นต้น คลอรีนซึ่งใช้ในการฆ่าเชื้อหลังจากการใช้แล้วล้างบ่อไม่สะอาด อาจมีการตกค้างในบ่อ และเป็นพิษต่อกุ้งได้ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 0.5 ส่วนในล้านส่วน ถ้าพบมากต้องไถกลบหน้าดินที่พื้นบ่อตากแดดเพื่อทำลายสารตกค้างโดยใช้แสงแดด หรือเปลี่ยนรูปสารตกค้างเหล่านั้นเมื่อมีการผสมกับอากาศ

3. ปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่งที่พบจะเกี่ยวกับโรคกุ้งที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ระยะ[30] คือ ระยะที่ทำการเพาะฟักลูกกุ้งและการอนุบาลลูกกุ้ง กับระยะที่ทำการเลี้ยงในบ่อ

3.1 โรคที่เกิดระหว่างการเพาะฟักและการอนุบาลลูกกุ้งจะทำให้ลูกกุ้งในวัยอ่อนมีอัตราการตายสูง การเจริญเติบโตไม่สมบูรณ์ และลูกพันธุ์กุ้งติดเชื้อ โรคที่พบเช่น

<u>โรคเรืองแสง</u> เกิดจากแบคทีเรียเรืองแสงชื่อ <u>Vibrio harveyi</u> พบในกุ้งวัยอ่อนแรกฟักเป็นตัวจนถึงระยะก่อนเข้าไมซิส อาการตัวกุ้งจะขุ่นขาว อ่อนแอ ถ้าสังเกตในเวลากลางคืนที่มีแสงสลัว จะเห็นซากกุ้งลอยขึ้นลงในบ่ออนุบาล ทดสอบได้โดยนำกุ้งที่เรืองแสงมาเพาะบนจานเลี้ยงเชื้อ MSWC หรือ LM บ่มไว้ประมาณ 12 ถึง 18 ชั่วโมงจะมีกลุ่มแบคทีเรียเรืองแสงสีเขียวเกิดขึ้นบนจาน วิธีการรักษาทำได้ยาก จึงควรป้องกันโดยการฆ่าเชื้อแบคทีเรียในน้ำก่อนนำน้ำไปใช้โดยใช้ฟอร์มาลีน (ร้อยละ 40) ในอัตราความเข้มข้น 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 ตัน หรือใช้คลอรีน 20 กรัมต่อน้ำ 1 ตัน โดยต้องปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางก่อนที่จะนำไปใช้

<u>โรคตัวขุ่นขาว</u> เกิดในกุ้งวัยอ่อนมีสาเหตุจากการติดเชื้อแบคทีเรีย ลูกกุ้งจะอ่อนแอ ไม่ค่อยกินอาหาร และไม่มีแสงเรือง มักเกิดในช่วงฤดูหนาว หรือช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิในบ่อ ควบคุมความหนาแน่นของลูกกุ้งที่นำมาทำการอนุบาลไม่ควรจะให้หนาแน่นมากเกินไป และกำจัดซากกุ้งที่จมอยู่ก้นบ่อเพื่อป้องกันการแพร่เชื้อ การรักษาทำได้โดยใช้ยาปฏิชีวนะ เช่น ออกซีเตตราไซคลินในอัตราส่วน 2 ถึง 5 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ ประมาณ

3 วันหลังการเปลี่ยนน้ำทุกครั้ง และเมื่อมีการย้ายบ่อลูกกุ้ง

โรคเชื้อรา เกิดจากมีเชื้อราเข้าเกาะทำลายตัวกุ้ง พบในลูกกุ้งระยะไมซิสจนถึงระยะโพสลาวาร์ตอนต้นในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ อาการกุ้งที่ติดเชื้อจะมีสีตัวออกไปทางสีครีม หรือมีจุดสีน้ำตาล ถ้าส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นลักษณะเชื้อราเป็นเส้นเล็กๆ เต็มตัวกุ้ง การแก้ไขต้องลดอัตราความหนาแน่นของลูกกุ้งลง แล้วทำการรักษาลูกกุ้งที่ติดเชื้อโดยใช้ฟอร์มาลีน 0.5 ส่วนในล้านส่วน หรือ ใช้มาลาไคท์กรีน 0.01 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$

โรคซูโอแทมเนียม เกิดจากการเกาะของพยาธิโปรโตซัวชื่อ Zoothamnium sp. ลักษณะสีตัวของลูกกุ้งที่ติดเชื้อจะมีสีขาวขุ่น และมีเส้นใยบางๆ รอบตัวกุ้ง ทำให้กุ้งว่ายน้ำไม่สะดวก และเป็นอุปสรรคต่อการลอกคราบของกุ้ง กุ้งจะมีอัตราการตายร้อยละ 80 ถึง 90 ภายใน 3 ถึง 4 วัน สำหรับลูกกุ้งในระยะลาวาร์จะทำการรักษาโดยใช้น้ำยาฟอร์มาลีนผสมกับน้ำในอัตราส่วน 150 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ แช่ลูกกุ้งนาน 30 ถึง 45 นาที หรือใช้สารคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ละลายน้ำด้วยอัตราส่วน 0.0025 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ ทำการแช่ลูกกุ้งทุกครั้งที่มีการเจริญเติบโตเปลี่ยนรูปร่าง (metamorphosis) เพื่อเป็นการป้องกันโรค ลูกกุ้งในระยะโพสลาวาร์ตอนต้น ให้ใช้ฟอร์มาลีนผสมลงในน้ำ 30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 $ม^3$ ส่วนวิธีป้องกันที่ดีที่สุดคือ หมั่นดูดตะกอนก้นบ่อทิ้งทุกวัน และควรทำการฟอกล้างไข่อาร์ทีเมียที่ใช้เลี้ยงกุ้ง

3.2 โรคที่เกิดขึ้นในระหว่างที่เลี้ยงกุ้งในบ่อเลี้ยง มีผลอย่างมากต่อผลผลิตต่อไร่ของกุ้งในบ่อเลี้ยง โรคที่พบเช่น

โรคเหงือกแดง หรือ โรคแก้มแดง หรือ โรคลอยหัว เกิดจากโปรโตซัวซูโอแทมเนียม (Zoothamnium sp.) เช่นกัน เข้าเกาะในเหงือกทำให้เนื้อเยื่อตายลง สังเกตุได้จากในเวลาเช้ามืดจะเห็นกุ้งลอยหัวขึ้นมาตามขอบบ่อ การป้องกันทำได้โดยต้องรักษาคุณภาพน้ำ ตรวจเศษอาหารที่เหลือตกค้าง ควบคุมปริมาณอาหาร ติดตั้งเครื่องให้อากาศ ส่วนการรักษาทำได้โดยใช้ฟอร์มาลีน 30 มิลลิกรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 $ม^3$ ผสมสาดให้ทั่วบ่อ

โรคราดำ เกิดจากมีเชื้อรามาติดทำลายตามเปลือก และปลายระยางค์ มักพบในการเลี้ยงกุ้งแบบหนาแน่น อาการของกุ้งที่เป็นโรค พบว่าบริเวณเปลือกแก้ม และปลายระยางค์ขาว่ายน้ำจะมีสีดำ เมื่อนำมาส่องจะเห็นเส้นใยของเชื้อรา การรักษาไม่มีการทดลองยืนยันที่ได้ผล วิธีการป้องกันทำได้โดยการควบคุมคุณภาพน้ำให้ดี และในการเลี้ยงพ่อพันธุ์แม่พันธุ์กุ้งจะป้องกันการติดโรคโดยการแช่กุ้งในน้ำที่ผสมด้วยมาลาไคท์กรีนในอัตราส่วน 0.01 ส่วนในล้านส่วน ทุกระยะ 7 วัน โดยเฉพาะช่วงที่อุณหภูมิลดต่ำลง

โรคกุ้งหลังขาว เกิดจากสาเหตุที่กุ้งกินสปอร์ของโปรโตซัวเข้าไปฝังตัวรอบๆ ลำไส้ตามแนวสันหลังกุ้ง ทำให้กล้ามเนื้อตายมีลักษณะขุ่นขาว เริ่มจากส่วนต้นของปล้อง

แรกและลามไปถึงปล้องสุดท้ายจรดส่วนหาง เมื่อกุ้งตายจะถูกกุ้งตัวอื่นกินเป็นการกระจายสปอร์ไปยังกุ้งตัวอื่นๆ ยังไม่มีรายงานการรักษาที่ได้ผล ส่วนการป้องกันเมื่อพบการระบาดของโรค ต้องจับกุ้งขึ้นขาย และใช้ปูนขาว หรือคลอรีนกโรยฆ่าเชื้อ ตากบ่อให้แห้งแล้วปล่อยน้ำล้างบ่อหลายๆ ครั้ง และต้องสังเกตุอาหารที่ใช้เลี้ยงกุ้งว่ามีลักษณะเนื้อขุ่นขาวหรือไม่ ถ้าพบสิ่งผิดปกติให้กำจัดทิ้งเสีย

โรคเหงือกกร่อน เกิดจากเชื้อแบคทีเรียพบในม่อพันธุ์แม่พันธุ์กุ้งที่เลี้ยงนานๆ บริเวณเปลือกที่ติดเชื้อจะเริ่มมีสีน้ำตาล และเริ่มเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนเปื่อยกร่อน ถ้าเป็นที่ระยางค์หางหรือขาจะมีอาการเปื่อยกุดทีละน้อย การป้องกันทำโดยการแช่กุ้งในยาปฏิชีวนะที่มีอัตราส่วน 20 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ แช่นาน 1 วัน สาเหตุอีกอันหนึ่งคือ เมื่อมีการขนย้ายหรือจับกุ้งมาตรวจไข่อาจทำให้กุ้งช้ำ จึงควรแช่น้ำยาดังกล่าวทุกครั้งที่มีการเคลื่อนย้ายกุ้ง ส่วนการรักษาให้แยกกุ้งที่เป็นโรคมาทำการรักษา โดยแช่น้ำยาฟอร์มาลีนผสมน้ำในอัตราส่วนฟอร์มาลีน 150 มิลลิลิตรต่อน้ำ 1 $ม^3$ แช่กุ้งนานประมาณ 20 นาที แล้วนำกุ้งไปแช่ในยาปฏิชีวนะใช้อัตราส่วนยา 10 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ เป็นเวลา 3 วัน ส่วนกุ้งที่เหลือควรป้องกันการติดเชื้อโดยแช่ในยาปฏิชีวนะในอัตราส่วน 20 กรัมต่อน้ำ 1 $ม^3$ เป็นเวลา 1 วัน

สรุป

จากตัวอย่างปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่ามีเทคนิค และวิธีการแก้ปัญหาต่างกัน บางปัญหาจำเป็นต้องใช้ต้องอาศัยความรู้ และการทดลองในห้องทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา ดังนั้นการพัฒนาระบบเชี่ยวชาญ SFES ขึ้นจึงนับได้ว่าเป็นการตอบสนองความต้องการในการแก้ปัญหาที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อนในระดับที่ต้องอาศัยความรู้จากผู้เชี่ยวชาญในการแก้ปัญหา และถือเป็นจุดเริ่มต้นในการนำความรู้ในสาขาปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีทางเกษตรกรรมที่จำเป็นต่อการพัฒนาเศรษฐกิจโดยส่วนรวม ในบทนี้จะได้เห็นองค์ประกอบทั้งสองของระบบคือ ส่วนที่เป็นระบบเชี่ยวชาญต้นแบบ และส่วนที่เป็นขอบเขตของปัญหา ดังนั้นในการพิจารณารายละเอียดของการออกแบบในบทต่อไปจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทั้งสองแง่มุมของระบบ