บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การพัฒนาการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทย

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยได้เริ่มต้นในปี พ.ศ. 2486 ที่จังหวัดสมุทรปราการ (สะไบทิพย์ อมรจารุชิต และคณะ, 2543) โดยสันนิษฐานว่ามาจากการทำนาข้าวนาเกลือ และป่าชายเลน ที่มีน้ำทะเลท่วมขังใน มีลูกพันธุ์กุ้งจากธรรมชาติเข้ามาอยู่ การเลี้ยงในระยะแรกเป็นการเลี้ยงแบบธรรมชาติไม่มีการให้อาหาร ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีลักษณะการเลี้ยงที่แตกต่างกันไป ซึ่งสถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล (2542) จำแนกการเลี้ยงกุ้งตามระบบการเลี้ยงและการจัดการได้เป็น 3 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

1. การเลี้ยงแบบธรรมชาติ

ลักษณะบ่อเลี้ยง ส่วนมากมีขนาด 10 ไร่ หรือใหญ่กว่า มีคูน้ำล้อมรอบกว้าง 4-10 เมตร ลึก 40-80 เซนติเมตร เติมน้ำเข้าโดยอาศัยจังหวะน้ำทะเลขึ้น เป็นการไขน้ำเข้าไปในนากุ้งจะได้ลูกพันธุ์กุ้งจากธรรมชาติเข้านาโดยไม่มีการปล่อยเพิ่ม การเลี้ยงกุ้งแบบนี้ไม่มีการให้อาหาร ความหนาแน่นของการเลี้ยงประมาณ 0.5-5 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

2. การเลี้ยงแบบกึ่งพัฒนา

เป็นการเลี้ยงในบ่อที่มีขนาด 6-10 ไร่ เก็บน้ำได้ 1-1.5 เมตร ปล่อยลูกกุ้งลงเลี้ยงความหนาแน่นประมาณ 10-15 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารสำเร็จรูปหรืออาหารสด มีระยะเวลาการเลี้ยง 90-120 วัน การเลี้ยงกุ้งแบบนี้มีการจัดการและดูแลในการเลี้ยงดีกว่าการเลี้ยงแบบธรรมชาติ

3. การเลี้ยงแบบพัฒนา

การเลี้ยงแบบพัฒนามีขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสมุทรสงคราม และมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว (ยนต์ มุสิก, 2531) โดยกรมประมงได้เข้ามามีบทบาทในการเลี้ยงแบบพัฒนาในปี 2529 (สุธี เกื้อเกตุ และคณะ, 2543) ทำให้ประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งเพิ่มมากขึ้น

การเลี้ยงกุ้งต้องอาศัยความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการเลี้ยง ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งพัฒนาเทคนิคและการเลี้ยงแบบพัฒนาให้เหมาะกับเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ เช่น สภาพพื้นที่แหล่งน้ำ และปัญหามลภาวะ วิธีการเลี้ยงโดยทั่วไปบ่อเลี้ยงมีขนาด 3-6 ไร่ เก็บน้ำได้ 1.5-2 เมตร ปล่อยกุ้งลงเลี้ยงหนาแน่นที่กรมประมงแนะนำคือ 25-60 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีการให้อาหาร 4-6 มื้อต่อวัน และต้องมีการเติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อ การเลี้ยงวิธีนี้ควรมีพื้นที่บ่อพักน้ำคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของบ่อเลี้ยง มิฉะนั้นจะมีปัญหาโรคกุ้งเกิดขึ้น การเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนามีการใช้น้ำแบ่งเป็น 2 ระบบดังนี้

3.1 การเลี้ยงกุ้งระบบเปิด การเลี้ยงกุ้งแบบนี้ต้องการปริมาณน้ำมากและน้ำต้องมีคุณภาพดี เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรบ่อต่อการเปลี่ยนน้ำหนึ่งครั้ง เพื่อลดปริมาณของเสียและความหนาแน่นของแพลงก์ตอน ระบบนี้สามารถปล่อยลูกกุ้งได้ถึง 60 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร กุ้งสามารถโตได้ขนาดตัวละ 25-35 กรัมภายใน 120 วัน ปัจจุบันระบบนี้ได้รับความนิยมลดลง เพราะสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมก่อให้เกิดโรคระบาดในกุ้ง

3.2 การเลี้ยงกุ้งระบบปิด เนื่องมาจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรมดังกล่าว และการใช้น้ำจากภายนอกฟาร์มเป็นตัวปัญหาแพร่กระจายของเชื้อโรคเข้ามาสู่บ่อกุ้ง ดังนั้นจึงพัฒนาการเลี้ยงกุ้งโดยไม่ใช้น้ำจากภายนอกฟาร์ม แต่หมุนเวียนน้ำใช้อยู่ภายในฟาร์ม โดยฟาร์มต้องแบ่งพื้นที่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์เพื่อทำบ่อเก็บน้ำ บ่อตกตะกอน บ่อบำบัด และคลองน้ำ การทำงานของระบบเมื่อน้ำทะเลสะอาดจะเข้าสู่ฟาร์ม น้ำจากบ่อเลี้ยงจะถูกถ่ายลงสู่บ่อตกตะกอนและบำบัดด้วยสารเคมี ก่อนที่จะสูบไปเก็บในบ่อพักน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่อีกครั้ง อัตราความหนาแน่นของกุ้งจะอยู่ที่ 30-50 ตัวต่อตารางเมตร ใช้ระยะเวลาการเลี้ยงนาน 110-130 วัน (อนันต์ ตันสุตะพานิช และคณะ, 2541)

3.3 การเลี้ยงกุ้งระบบความเค็มต่ำ การเลี้ยงกุ้งตามที่กล่าวมาแล้วนั้น เป็นการเลี้ยงแบบปกติที่ใช้น้ำทะเลความเค็มประมาณ 30-35 พีพีที. ในการเลี้ยงระบบเปิดการเลี้ยงแบบปกตินี้ ประสบปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำ ในขณะที่การเลี้ยงระบบปิดต้องใช้พื้นที่มากและการจัดการสูง ฟาร์มกุ้งส่วนมากเป็นฟาร์มขนาดเล็ก มีพื้นที่ไม่มากพอที่จะสร้างบ่อบำบัดและบ่อตกตะกอน จึงมีการพัฒนาการเลี้ยงในพื้นที่ใหม่ที่ไม่ได้ติดชายฝั่ง แต่ยังอยู่ในจังหวัดชายฝั่งทะเลและใกล้เคียง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาโรคระบาด ใช้วิธีการขนน้ำทะเลมาผสมกับน้ำจืดให้ได้ความเค็ม 10-15 พีพีที. ซึ่งเป็นช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง (สุธี เกื้อเกตุ, 2543) การเลี้ยงกุ้งระบบนี้ลดปัญหาเรื่องโรคลงได้มาก การเลี้ยงกุ้งระบบความเค็มต่ำเริ่มเป็นที่นิยมของเกษตรกร ต่อมาในปี 2533 วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์แล้วขยายเขตเข้ามาเลี้ยงในพื้นที่น้ำจืด ดังที่ ชลอ ลิ้มสุวรรณ (2537) รายงานถึงการเลี้ยงกุ้งกุลาดำระบบความเค็มต่ำในพื้นที่น้ำจืด ที่

อำเภอแปดริ้ว จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าเลี้ยงได้ผลดีมาก โดยการขนน้ำจากนาเกลือมาผสมกับน้ำจืดจนได้ความเค็มประมาณ 8-10 พีพีที. หรือเติมน้ำจากนาเกลือประมาณ 1 ใน 3 ของบ่อแล้วค่อยๆ ทยอยเติมน้ำจืดเพิ่มเข้าไประหว่างการเลี้ยง (สิริ ทุกข์วินาศ, 2541) ปล่อยลูกกุ้งประมาณ 60 ตัวต่อตารางเมตร หรือ 10,000 ตัวต่อไร่ เลี้ยงนานประมาณ 100-120 วัน ระหว่างการเลี้ยงมีการเติมน้ำจืดเพิ่มเรื่อยๆ จนน้ำเป็นน้ำจืดตอนจับกุ้งขาย โดยปกติไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ แต่เติมน้ำเพิ่มเพื่อรักษาระดับน้ำในบ่อ ข้อด้อยของการเลี้ยงแบบนี้คือระยะเวลาการเลี้ยงถูกจำกัดด้วยความเค็มของน้ำที่ลดลงเรื่อยๆ ทำให้ได้กุ้งขนาดเล็ก หากมีการเลี้ยงต่อต้องมีการเติมน้ำเค็มเพื่อเพิ่มความเค็มให้อยู่ระดับที่กุ้งเจริญเติบโตได้ คือความเค็ม 2-4 พีพีที. (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2543)

การเลี้ยงกุ้งกุลาดำในพื้นที่น้ำจืดเป็นฟาร์มขนาดเล็กมากกว่าฟาร์มขนาดใหญ่ การเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบนี้ใช้ต้นทุนต่ำถึงแม้อัตราการรอดต่ำก็มีกำไร ทำให้การเลี้ยงแพร่หลายขยายเขตเข้ามาในหลายจังหวัด เช่น ชลบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี นครนายก ปราจีนบุรี พระนครศรีอยุธยา นครศรีธรรมราช พัทลุง และพิษณุโลก ข้อมูลในปี 2537-2538 มีการเลี้ยงกุ้งในพื้นที่น้ำจืดประมาณ 20,000 ไร่ (สิริ ทุกข์วินาศ, 2541) และปลายปี 2540 ยุพินท์ วิวัฒนชัยเศรษฐ์ (2545) รายงานว่ามีการเลี้ยงกุ้งในเขตพื้นที่น้ำจืดประมาณ 100,000 ไร่

ชีววิทยาบางประการของสัตว์ทดลอง

1. กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Penaeus monodon* Fabricius 1798 ชื่อในภาษาอังกฤษเรียกว่า Grass shrimp, Giant Tiger Prawn หรือ Black Tiger Shrimp จัดจำแนกชนิดทางอนุกรมวิธานได้ (Solis, 1988) ดังนี้

Phylum Arthropoda
Class Crustacea
Order Decapoda
Family Penaeidae
Genus *Penaeus*
Species *monodon*

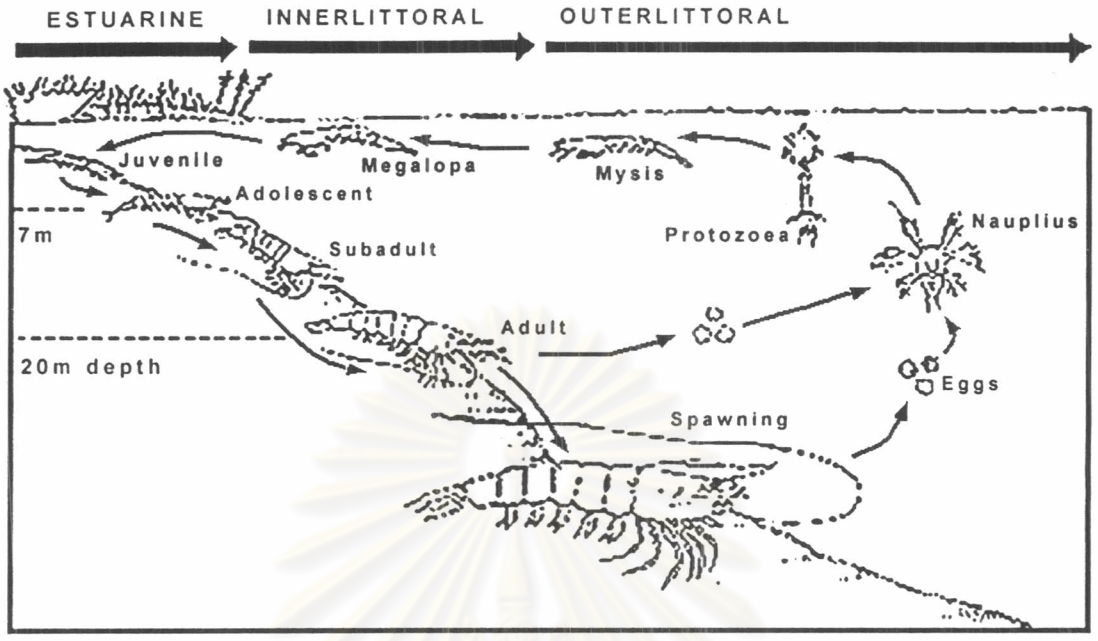
1.1 ลักษณะภายนอก

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งในกลุ่ม (genus) เดียวกับกุ้งแชบ๊วยและกุ้งกุลาลาย เป็นกุ้งทะเลที่มีขนาดใหญ่ ลำตัวเป็นสีม่วงแดงสลับกับแถบสีน้ำตาลหรือดำ เป็นปล้องตามขวางลำตัว ลักษณะเปลือกเรียบเป็นมันเงาไม่มีขน กรีมีลักษณะโค้ง ด้านบนมีฟันอยู่ 6-8 ซี่ และด้านล่าง 2-4 ซี่ ปกติจะพบด้านบน 7 ซี่ และด้านล่าง 3 ซี่ หนวดของกุ้งกุลาดำมีสีน้ำตาลเข้มและไม่มีลาย ซึ่งแตกต่างจากกุ้งกุลาลายที่หนวดจะมีลายเข้มสลับขาว เปลือกหุ้มส่วนหัวลักษณะเป็นมันไม่มีขน โคนขาว่ายน้ำจะพบแถบสีเหลืองสลับเป็นแถบ (ภาพที่ 2-1)

ภาพที่ 2-1 กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*)

1.2 การสืบพันธุ์

วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำเริ่มจากตัวเต็มวัย (adult) จะเริ่มอพยพจากชายฝั่งทะเลหรือปากแม่น้ำลงสู่ทะเลลึก เพื่อการผสมพันธุ์และวางไข่ โดยกุ้งพ่อพันธุ์จะฝากเชื้ออสุจิในถุงน้ำเชื้อเข้าในอวัยวะเก็บถุงเชื้อของแม่กุ้งในขณะที่แม่กุ้งลอกคราบใหม่ๆ เมื่อแม่กุ้งมีการพัฒนารังไข่จนถึงไข่สุกก็จะปล่อยไข่และน้ำเชื้อเพศผู้จากอวัยวะที่เก็บมาผสมกันในขณะวางไข่ โดยแม่กุ้งจะวางไข่ครั้งละประมาณ 248,000 ถึง 844,000 ฟอง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.27 ถึง 0.31 มิลลิเมตร (Motoh, 1981) ไข่กุ้งกุลาดำที่ได้รับการผสมแล้ว จะฟักตัวเป็นตัวอ่อนระยะนอเพลียส (Nauplius I-VI) ระยะโปรโตซูเอีย (Protozoea I-III) ระยะไมซีส (Mysis I-III) และระยะโพสต์ลาวา (Postlarvae) ซึ่งใช้เวลาในการพัฒนา 1.5 วัน , 5 วัน , 4-5 วัน และ 6-15 วันตามลำดับ กุ้งจะอยู่บริเวณผิวน้ำ และอพยพเข้ามาสู่บริเวณปากแม่น้ำหรือในป่าชายเลนที่มีความเค็มของน้ำต่ำ จากนั้นกุ้งจะอนุบาลและเลี้ยงตัวจนถึงระยะวัยรุ่น (Juvenile) ต่อจากนั้นจะเริ่มอพยพสู่ทะเลลึกพร้อมกับพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย (Adult) เพื่อการผสมพันธุ์และวางไข่ (สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2540) Motoh (1981) พบว่ากุ้งกุลาดำตัวเมียมีอายุสูงสุดประมาณ 2 ปี ส่วนกุ้งกุลาดำตัวผู้มีอายุสูงสุดประมาณ 18 เดือน วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ ดังแสดงในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 วงจรชีวิตของกุ้งกุลาดำ (Motoh, 1981)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 การอพยพย้ายถิ่นและพฤติกรรมการกินอาหาร

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้าง ในเขตอินโด-แปซิฟิก ครอบคลุมตั้งแต่ญี่ปุ่น ไต้หวัน ตาฮิติ ออสเตรเลียจนถึงแอฟริกา พบบริเวณเส้นแวงที่ 30-135 องศาตะวันออก และเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือถึง 35 องศาใต้ โดยมีการแพร่กระจายอย่างหนาแน่นในทะเลเขตร้อน ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ (Motoh, 1985) ในประเทศไทยพบทั้งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน ในอ่าวไทยพบได้ตั้งแต่ชายฝั่ง จังหวัดสงขลา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ จันทบุรี ในทะเลอันดามันพบได้ตั้งแต่ชายฝั่งจังหวัดระนอง ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมสูง มักอาศัยในบริเวณพื้นโคลนปนทราย พบได้ตั้งแต่ปากแม่น้ำจนถึงทะเลลึก ความลึกตั้งแต่ 30 ถึง 150 เมตร ความเค็ม 5-35 พีพีที อุณหภูมิ 24-35 องศาเซลเซียส กุ้งในทะเลลึกจะมีสีเข้มกว่ากุ้งในเขตน้ำตื้นและกุ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งทั่วไป

กุ้งกุลาดำเป็นกุ้งทะเลที่แสดงพฤติกรรมการย้ายถิ่น การกินอาหาร ตามวัยและขั้นตอนการพัฒนาการของร่างกาย กล่าวคือ กุ้งกุลาดำที่เติบโตเต็มที่เป็นวัยเจริญพันธุ์และจะเริ่มอพยพจากบริเวณริมฝั่งทะเล หรือเขตน้ำกร่อยบริเวณปากแม่น้ำลงสู่ทะเลลึกเพื่อเจริญพันธุ์และสืบพันธุ์ต่อไป เมื่อกุ้งตัวเมียมีการพัฒนาการเจริญพันธุ์ของรังไข่ เมื่อไข่สุกก็จะปล่อยไข่ และน้ำเชื้อจากอวัยวะเก็บน้ำเชื้อจากเพศผู้ออกมาผสมกันขณะเกิดการวางไข่ (Spawning) ไข่ที่ได้รับการผสมจะเจริญและมีพัฒนาการเป็นระยะ ได้แก่ ระยะนอเพลียส (nauplius) ระยะนี้ไม่มีการกินอาหาร ระยะโปรโตซูเอีย (protozoea) เริ่มกินอาหารพวกสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็ก ระยะไมซีส (mysis) กินอาหารที่เป็น zooplankton ขนาดเล็ก และระยะกุ้งวัยอ่อน (postlarva) ระยะนี้กุ้งจะกินอาหารที่เป็น zooplankton ขนาดใหญ่หรือชิ้นส่วนของสัตว์อื่นได้แล้ว กุ้งทั้ง 4 ระยะนี้จะอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำ และใช้เวลาพัฒนาการประมาณ 2 สัปดาห์ ต่อจากนั้นจึงอพยพเข้าสู่ชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำ หรือบริเวณป่าชายเลน จนเจริญเป็นกุ้งระยะกุ้งวัยรุ่น (juvenile) จึงเริ่มอพยพลงสู่ทะเลลึกต่อไป กุ้งที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะเปลี่ยนนิสัยการกิน ที่กินได้ทั้งพืชและสัตว์ แต่ชอบพวกเนื้อสัตว์มากกว่า ทำให้มีลักษณะนิสัยดุร้าย อาจทำร้ายและกินสัตว์ที่อ่อนแอกว่าได้ เช่น พวกหอยสองฝาเปลือกบางได้แก่ หอยกะพง หอยลาย หรือสัตว์ที่เคลื่อนที่ช้า

1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกุ้งกุลาดำ

1.4.1 **อาหาร** กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์ที่แสวงหาอาหารอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ได้พลังงานที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิต และกิจกรรมอื่นของร่างกาย ถ้าอาหารอุดมสมบูรณ์ และเป็นอาหารที่สมบูรณ์ด้วยโภชนาการ และพลังงานอย่างมีสัดส่วนที่เหมาะสมต่อกุ้ง ความสามารถในการเปลี่ยนอาหารให้เป็นผลผลิตของกุ้งก็เกิดขึ้นได้ดี ทำให้การเจริญเติบโตสูงขึ้น ในทางตรงข้าม

ถ้ากุ้งอยู่ในภาวะที่ขาดอาหารอาจจะโดยสาเหตุใดก็ตาม จะทำให้น้ำหนักตัวของกุ้งลดลง หรือชะลอการเจริญเติบโต อ่อนแอ และอัตราการลอกคราบลดลง

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า คุณภาพของแหล่งพลังงานในอาหารมีความสำคัญยิ่งต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง นอกจากคุณภาพของอาหารแล้วปัจจุบันยังพบว่า ความสมดุลย์ของสัดส่วนไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานก็เป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดการเจริญเติบโตและความสามารถในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และการเจริญเติบโตของกุ้งด้วย (สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, 2539)

1.4.2. **อุณหภูมิ** กุ้งกุลาดำต้องการอุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโตระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และเนื่องจากกุ้งกุลาดำเป็นสัตว์เลือดเย็น อุณหภูมิของร่างกายจึงเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่อาศัยอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของกุ้งด้วย เช่นถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส ขบวนการทางสรีรวิทยาจะเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า ทำให้การเจริญเติบโต หรือน้ำหนักตัวของกุ้งลดลงได้ ในทำนองเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิลดลงทำให้ขบวนการต่างๆ ของกุ้งลดลงแล้วทำให้กุ้งกินอาหารได้น้อยก็จะทำให้การเจริญเติบโตลดลงเช่นกัน แต่ถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามธรรมชาติจะไม่มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้ง

1.4.3. **ความเค็ม** เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขบวนการทางสรีรวิทยาของกุ้ง โดยทำให้เปลี่ยนแปลงพลังงานในการหายใจและขับถ่าย ซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงอัตราการเจริญเติบโตของกุ้ง ความเค็มที่กุ้งกุลาดำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีจะอยู่ในช่วง 15-30 พีพีที แต่ค่าความเค็มที่มีค่าเดียวกับความเค็มภายในตัวกุ้งกุลาดำมีค่า 27-28 พีพีที ที่ระดับความเค็มนี้การใช้พลังงานเพื่อการควบคุมเกลือแร่และการขับถ่ายจะน้อยที่สุด ดังนั้นพบว่ากุ้งมีการเจริญเติบโตดี และอัตรารอดสูง มีการลอกคราบของกุ้งที่เหมาะสมต่อการเติบโตมากที่สุด

ในกรณีที่ใช้น้ำเลี้ยงกุ้ง ที่มีความเค็มสูงกว่าความเค็มของเลือดในตัวกุ้ง น้ำภายในตัวกุ้งจะซึมออกจากตัวกุ้งตลอดเวลา ทำให้กุ้งสูญเสียน้ำในร่างกาย แต่จะแก้ปัญหาโดยดื่มน้ำเค็มเข้าร่างกาย แล้วนำน้ำจืดส่วนหนึ่งไปทดแทนส่วนที่เสียไป ส่วนในกรณีที่น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งมีความเค็มต่ำกว่าความเค็มของเลือดในตัวกุ้ง น้ำจากภายนอกจะเข้าสู่ตัวกุ้ง ทำให้เลือดในตัวกุ้งเจือจาง กุ้งจึงต้องขับน้ำส่วนเกินออกจากร่างกาย เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของเลือดให้คงที่

1.4.4. **แสง** แสงมีอิทธิพลต่อการกินอาหารของกุ้ง โดยปกติกุ้งทะเลไม่ชอบแสงที่สว่างมาก เพราะในธรรมชาติกุ้งจะอาศัยอยู่ที่พื้นท้องทะเล หรือฝังตัวอยู่ตามพื้น และกินอาหารเมื่อมีแสงน้อย ถ้ามีแสงสว่างมาก จะทำให้กุ้งมีอาการเครียด กินอาหารได้น้อยลง ในการเลี้ยงจึงควรควบคุมแสงให้น้อยที่สุดประมาณ 10 % ของแสงธรรมชาติ การลดแสงสว่างยังเป็นตัวช่วยลด

ความเครียดของกุ้ง ทำให้กุ้งไม่มีอาการตื่นตระหนก สามารถกินอาหารและดำรงชีวิตอย่างปกติได้ดีขึ้น

ไกรวัล แผ้วฉ่ำ (2537) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความเค็มที่มีต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายในการอนุบาลกุ้งกุลาดำวัยอ่อน ที่ความเค็ม 4 ระดับ คือ 5, 10, 20, 30 พีพีที ที่มีต่อกุ้งกุลาดำระยะโพสลาวาร์ 15 เป็นเวลา 28 วัน เพื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า กุ้งกุลาดำที่เลี้ยงในความเค็ม 20 พีพีที มีการเจริญเติบโตทั้งในด้านน้ำหนักตัวเฉลี่ยและความยาวตัวเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายดีที่สุด และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากกุ้งที่เลี้ยงในความเค็ม 5, 10 และ 30 พีพีที

1.4.5. **ความหนาแน่นของกุ้งที่เลี้ยง** ถ้ากุ้งอาศัยอยู่รวมกันหนาแน่นมาก ทำให้เกิดปัจจัยจำกัด คือ ออกซิเจน อาหารและที่อยู่ ทำให้การเติบโตของกุ้งต่ำกว่าการเลี้ยงกุ้งที่ความหนาแน่นต่ำกว่าเพราะกุ้งมีนิสัยดุร้าย ถ้าเลี้ยงหนาแน่นโดยอาหารมีไม่เพียงพอ อาจทำให้กุ้งต่อสู้และกินกันเอง นอกจากนั้นอาจมีผลทำให้เกิดปัญหาจากการสะสมของเสียจากกุ้งทำให้คุณภาพน้ำเลวลง เช่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง

1.4.6. **ออกซิเจน** (Oxygen) เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการเลี้ยงกุ้ง เพราะกุ้งจะใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ และออกซิเจนยังช่วยในการย่อยสลายเศษอาหาร และขับถ่ายต่างๆ ของกุ้งด้วย การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในน้ำมีผลต่อการกินอาหารและการหายใจ หรือการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายกุ้ง ออกซิเจนที่ละลายต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจไม่ทำอันตรายต่อกุ้งในภาวะปกติ แต่มีผลโดยตรงต่อกุ้งที่กำลังลอกคราบ หรือเพิ่งลอกคราบใหม่ เพราะช่วงนี้กุ้งจะต้องการออกซิเจนมากกว่าปกติ ฉะนั้นจำเป็นต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำให้สูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเฉพาะกุ้งที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะมีความต้องการออกซิเจนมากกว่าเพราะมีน้ำหนักมาก ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้กุ้งไม่กินอาหาร ลดการเคลื่อนไหวและอาจอ่อนแอจนตายในที่สุด

1.4.7. **ขนาดและอายุของกุ้ง** ขนาดและอายุของกุ้งมีความสัมพันธ์กับการหายใจ และการกินอาหารของกุ้ง เพราะกุ้งขนาดใหญ่มีการสูญเสียพลังงานไปในกิจกรรมต่างๆ ของร่างกายมากกว่ากุ้งขนาดเล็ก แต่เมื่อเทียบเป็นความต้องการพลังงานต่อกรัมน้ำหนักกุ้งพบว่ากุ้งขนาดเล็กมีค่าสูงกว่ากุ้งขนาดใหญ่ เนื่องจากสัตว์ที่มีขนาดเล็กมีการเผาผลาญพลังงานต่อกรัมน้ำหนักสูงกว่า ดังนั้นกุ้งขนาดเล็กจึงมีการกินอาหารบ่อยครั้งกว่ากุ้งขนาดใหญ่ และจำเป็นต้องให้อาหารกุ้งขนาดเล็กที่มีค่าพลังงานจากโปรตีนสูงกว่าด้วย

1.4.8. **ค่ากรดเบส** (pH) ค่ากรดเบสที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้ง ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5-8.5 โดยปกติค่ากรดเบสจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่จะเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าเกิดการสะสมหรือเน่าเสียของอาหารที่ตกค้างหรือจากสิ่งขับถ่ายของกุ้ง ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดเบส จะส่งผลต่อการเติบโต และการลอกคราบของกุ้ง

ผลของความเป็นกรดด่างต่อการเจริญของกุ้งกุลาดำไว้ดังนี้

ค่ากรดเบส (pH)	**ผลต่อกุ้งกุลาดำ**
<5	เป็นอันตราย อาจทำให้กุ้งตายได้อย่างรวดเร็ว
5-7	ชะงักการเจริญเติบโต การลอกคราบผิดปกติ กินอาหาร ลดลงหรืออาจตายได้ ถ้าอยู่ในสภาพนี้นานๆ
7.5-8.5	เหมาะสม
8.5-10.5	ชะงักการเจริญเติบโต การลอกคราบผิดปกติ กินอาหารลดลงหรืออาจตายได้ถ้าอยู่ในสภาพนี้นานๆ
>10.5	เป็นอันตราย อาจทำให้กุ้งตายได้อย่างรวดเร็ว

1.4.9. **แอมโมเนียม** (Ammonium-NH_4^+) แอมโมเนียมในระบบเพาะเลี้ยงเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ (Organic substance) โดยแบคทีเรีย ได้แก่ เศษอาหารที่กุ้งกินเหลือและสิ่งขับถ่ายของกุ้ง ซึ่งแบคทีเรียจะย่อยสลายโปรตีนและกรดอะมิโนได้แอมโมเนียม เรียกว่ากระบวนการ Ammonification แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะมีอยู่ 2 รูป คือแอมโมเนียที่ไม่ไอโอไนซ์ หรือ Unionized ammonia ได้แก่ NH_3 ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำหรือกุ้ง และอีกรูปหนึ่งคือแอมโมเนียมอิออน หรือ ionized ammonia ได้แก่ NH_4^+ ซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ หรือ กุ้งน้อยกว่าแอมโมเนียที่ไม่ไอโอไนซ์ แอมโมเนียทั้ง 2 รูป จะอยู่ในรูปใดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่ากรดเบสและอุณหภูมิของน้ำดังสมการ

$$NH_4^+ \longleftrightarrow NH_3 + H^+$$

ค่ากรดเบสมีผลต่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมากกว่าอุณหภูมิ โดยเมื่อค่ากรดเบสของน้ำสูงขึ้น แอมโมเนียที่ไม่ไอโอไนซ์ (NH_3) จะสูงขึ้นด้วยทำให้มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น (ก่อเกียรติ กูลแก้ว และ โสภณ อ่อนคง, 2540) จากรายงานของคล็อด อี บอยด์ (อ้างโดยก่อเกียรติ กูลแก้ว และโสภณ อ่อนคง, 2540) พบว่าพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียที่ไม่ไอโอไนซ์ (NH_3) ในเวลา 24-72 ชั่วโมง มีความเข้มข้นระหว่าง 0.4-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับ

ของคล็อด อี บอยด์ (2531) แล้ว แอมโมเนียมปริมาณ 15.62 mg NH_4-N /L จึงจะทำให้เป็นแอมโมเนียที่ไม่ไอโอไนซ์ความเข้มข้น 0.4 mg NH_3-N/L เมื่อมีค่ากรดเบส 7.5 และอุณหภูมิน้ำ 30 องศาเซลเซียส

จากรายงานพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ของแอมโมเนียเวลา 96 ชั่วโมง ต่อกุ้งกุลาดำวัยรุ่น โดย Alan, Maguire and Hopkins (1990) พบว่า ค่า LC_{50} มีค่า 1.69 mg NH_3-N /L (37.4 mg NH_4-N /L) และรายงานค่าแอมโมเนียที่ทำให้อัตราการเติบโตของกุ้งกุลาดำลดลง 5 % ถ้าอาศัยนานกว่า 3 สัปดาห์ คือ 0.21 mg NH_3-N /L (4.1 mg NH_4-N /L) ส่วน Chen, Liu and Lei (1990) ได้รายงานค่าความปลอดภัยที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัย (adolescents) ที่ความเค็ม 20 พีพีที ค่ากรดเบสของน้ำ 7.57 อุณหภูมิ 24.5 องศาเซลเซียส คือ 4.26 mg NH_4-N /L หรือเท่ากับ 0.08 mg NH_3-N /L

แอมโมเนียส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง เพราะทำให้ความสามารถในการขับถ่ายแอมโมเนียจากตัวกุ้งลดลง ระดับแอมโมเนียในเลือดและเนื้อเยื่อของกุ้งจึงเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่ากรดเบสของเลือดกุ้งเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นแอมโมเนียจะทำให้เนื้อเยื่อของกุ้งใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น แล้วยังทำลายและลดความสามารถของเลือดในการขนส่งออกซิเจน ทำให้กุ้งเครียด มีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย และอาจถึงขั้นวิกฤต ทำให้กุ้งตายได้ในที่สุด

พุทธ ส่องแสงจินดา (2537) ได้ทำการศึกษาผลของแอมโมเนียที่ระดับต่างๆ ต่อการบริโภคออกซิเจนของกุ้งกุลาดำขนาด 5-30 กรัม ที่อุณหภูมิ 28^0 C โดยทำการทดลองในระบบปิด-น้ำนิ่ง (Static-closed system) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีแอมโมเนียในระดับต่างๆ คือ 0, 0-1, 1-2, 2-3, 3-4 และ 4-5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่อุณหภูมิ 28^0 C กุ้งกุลาดำขนาดเล็กกว่า 10 กรัม จะมีการตอบสนองต่อการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยการเพิ่มการบริโภคออกซิเจน ในขณะที่กุ้งขนาดมากกว่า 20 กรัม จะมีการตอบสนองต่อการเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนีย โดยการลดการบริโภคออกซิเจน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การที่กุ้งขนาดใหญ่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่มีแอมโมเนียสูงกว่า เนื่องมาจากสามารถลดการบริโภคออกซิเจน

1.4.10 **ไนไตรท์** ในสภาวะที่มีออกซิเจน แบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิ้งแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) จะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ ซึ่งไนไตรท์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าไนเตรท แต่น้อยกว่าแอมโมเนีย (Spotte, 1979) ความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อสัตว์น้ำ เกิดจากการที่ไนไตรท์ไปออกซิไดส์เหล็ก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเลือดทำให้กลายเป็นเมทธีโมโกลบิน (methemoglobin) ซึ่งไม่สามารถถ่ายทอดออกซิเจนได้ ทำให้สัตว์ตายเนื่องจากขาดออกซิเจน ส่วนความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อกุ้งกุลาดำคาดว่ากระบวนการเป็นพิษของไนไตรท์คงจะคล้ายกัน เพียงแต่ความเป็นพิษจะลดลง เพราะในเลือดกุ้งประกอบด้วยฮีโมไซยานิน (hemocyanin) ไม่ใช่ฮีโมโกลบิน

และปริมาณคลอไรด์ไอออนที่มีมากในน้ำทะเล จะเป็นตัวช่วยยับยั้งการดูดซึมของไนไตรท์ของสัตว์ทะเลน้อยลงได้ ดังนั้นความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อกุ้งกุลาดำ และสัตว์ทะเลจึงค่อนข้างต่ำกว่าสัตว์น้ำจืด จากรายงานค่าความปลอดภัยของกุ้งกุลาดำตัวเต็มวัยของ Chen *et al.*, (1990) รายงานว่าไม่ควรเกิน 10.60 mg NO_2-N /L ที่ความเค็ม 20 พีพีที ค่ากรดเบสของน้ำ 7.57 และอุณหภูมิ 24.5 องศาเซลเซียส

1.4.11 **ไนเตรท** ความเป็นพิษของไนเตรทมีรายงานน้อย เนื่องจากไนเตรทไม่ก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน (acutely toxic) ไนเตรทจะทำให้สุขภาพสัตว์น้ำไม่ดี เกิดความอ่อนแอ กินอาหารน้อยลง และมีโอกาสติดเชื้อได้ง่าย แต่ไนเตรทจะมีความเป็นพิษมากขึ้น ถ้ากุ้งหรือสัตว์น้ำต้องอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเข้มข้นของไนเตรทมากเป็นเวลานาน ไนเตรทในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีความเข้มข้นมากกว่า 50 mg NO_3-N /L

ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่โดยเฉพาะกุ้งกุลาดำ เมื่อปริมาณไนเตรทในระบบมากขึ้น นิยมเปลี่ยนน้ำใหม่เข้าสู่ระบบเลี้ยงเพื่อลดปริมาณไนเตรทในระบบให้น้อยลง โดยยังไม่มีการพัฒนาวิธีการลดปริมาณไนเตรทในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำโดยวิธีอื่นขึ้นมามากนัก

ผลของไนเตรทต่อสัตว์น้ำ

ระดับไนเตรท (mg/L NO_3-N)	**คุณภาพน้ำ**
0-12.5	ดีมาก
12.5-25	ปานกลาง ควรเปลี่ยนน้ำบ้าง
25-50	ไม่ดี เริ่มมีมลภาวะ ต้องมีการเปลี่ยนน้ำ
>50	จำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.ปลานิล

ปลานิล เป็นปลาที่จัดอยู่ในวงศ์ซิคลิดี้ (Family Cichidae) แต่เดิมจัดอยู่ในสกุลทิลาเปีย (*Tilapia*) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Tilapia nilotica* ต่อมาใช้สกุลซาโรเธอโรดอน (*Sarotherodon*) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Sarotherodon niloticus* เป็นชื่อที่นิยมใช้เรียกกันอย่างกว้างขวาง (Stickney, 1979) และต่อมาปลานิลได้เปลี่ยนมาอยู่ในสกุลออริโอโครมีส (*Oreochromis*) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oreochromis niloticus* Linnaeus (Trewavas, 1983) ถึงปัจจุบัน

Trewavas (1982a) ได้กำหนดลักษณะทั่วไปในการจำแนกปลาในสกุลทิลาเปีย (*Tilapia*), ซาโรเธอดอน (*Sarotherodon*) และออรีโอโครมีส (*Oreochromis*) ไว้ดังนี้

1.) สกุลทิลาเปีย (*Tilapia*) ปลาในสกุลนี้ลักษณะการวางไข่เป็นแบบเกาะติดกับวัตถุ และจะเฝ้าดูไข่จนกระทั่งฟักเป็นตัวอ่อน บริเวณกระดูกเหงือก (gill arch) มีซี่กรอง (gill racker) 6-12 อัน มีฟันหยาบอยู่บริเวณขากรรไกรล่างและส่วนล่างของหอคอย

2.) สกุลซาโรเธอดอน (*Sarotherodon*) ปลาในสกุลนี้ เพศผู้ หรือทั้งเพศผู้และเพศเมีย จะอมและฟักไข่ไว้ในปาก มีซี่กรอง (gill racker) 12-27 อัน ลักษณะฟันบนขากรรไกรและบริเวณคอหอยจะเป็นฟันละเอียด

3.) สกุลออรีโอโครมีส (*Oreochromis*) ปลาในสกุลนี้เฉพาะเพศเมียเท่านั้นที่ฟักไข่ในปากและมีการสร้างรังเพื่อการวางไข่ มีซี่กรอง (gill racker) 15-27 อัน ลักษณะฟันบนบริเวณขากรรไกรและคอหอยหลายขนาด ตั้งแต่ค่อนข้างหยาบจนถึงละเอียด

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังคงนิยมใช้ชื่อ ทิลาเปีย (*Tilapia*) เป็นชื่อสามัญ สำหรับใช้เรียกสมาชิกปลาทุกกลุ่มที่อยู่ในวงศ์ซิคลิดี้ (Family Cichidae) ปลาในวงศ์นี้มีจำนวนมากกว่า 600 ชนิด ส่วนใหญ่แพร่กระจายอยู่ในแอฟริกา ปาเลสไตน์ อเมริกากลาง อินเดียใต้ และศรีลังกา (Lagler *et al.*, 1977) ปลานิลมีถิ่นกำเนิดใน กาลิส จอร์แดน ยูกานดา และทะเลสาบทานกายิกา จัดเป็นปลาที่มีผู้นิยมรับประทานเป็นอาหารทั้งในแอฟริกาเหนือ และอิสราเอล (Philippart และ Ruwet, 1982; ประสิทธิ เกษสัญชัย, 2509; วิทย์ ธารชลานุกิจ และ ประวิทย์, 2531)

ปลาในวงศ์ซิคลิดี้ชนิดอื่นที่ได้มีการนำเข้ามาเลี้ยงในประเทศไทย ตามรายงานของ Ukkatawewat (1978) มีประมาณ 4 สกุล โดยสกุล Astronotus และ สกุล Symphysodon เป็นปลาสวยงามที่นิยมเลี้ยงในตู้กระจกและถังซีเมนต์ ส่วนอีก 2 สกุล คือ *Oreochromis*

(*O.mossambica* หรือ ปลาหมอเทศ) และ Tilapia (*T.melanopleura* หรือ ปลาหมอเทศข้างลาย) เป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันทั่วไป โดยมีประวัติการนำเข้าดังนี้ (ประสิทธิ เกษสัญชัย, 2509)

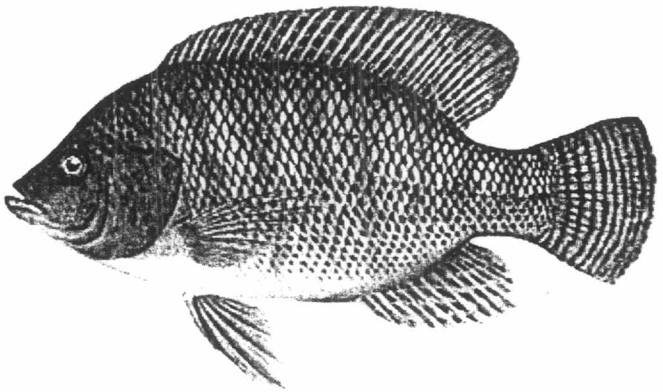
1.) ปลาหมอเทศ (*Oreochromis mossambicus* Peters) กรมประมงได้รับพันธุ์ปลาชนิดนี้จากกรมประเทศแห่งประเทศปีนัง เมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2492 จำนวน 258 ตัว และได้เพาะพันธุ์เพื่อเผยแพร่ให้ประชาชนไปเพาะเลี้ยงจนเป็นที่รู้จักแพร่หลายในประเทศไทย ในระยะแรกที่กรมประมงได้นำปลาหมอเทศเข้ามาใหม่ๆได้ตั้งชื่อตามแนวชื่อเดิมว่า "ตีลาปี" แต่ชื่อนี้ไม่เป็นที่นิยม เพราะประชาชนผู้นำปลานี้ไปเพาะเลี้ยงต่างเห็นว่ามีรูปร่างลักษณะคล้ายปลาหมอ กรมประมงจึงได้ให้ชื่อปลานี้ใหม่ว่า "ปลาหมอเทศ"

2.) ปลาข้างลาย (*Tilapia melanopleura* Dumer) กรมประมงได้รับพันธุ์ปลาข้างลาย เมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2498 จำนวน 25 ตัว ขนาด 5 เซนติเมตร จากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ สาขาภาคเอเชียและตะวันออกไกล ซึ่งติดต่อขอจากกรมค้นคว้าการประมงน้ำจืดประเทศเบลเยี่ยม พันธุ์ปลาเหล่านี้ได้นำมาเลี้ยงไว้ที่แผนกทดลองและเพาะเลี้ยง ในบริเวณเกษตรกลาง บางเขน จังหวัดพระนคร เมื่อได้ขยายพันธุ์มากแล้วจึงได้จัดส่งไปเลี้ยงตามสถานีประมงในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปลาชนิดนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเลี้ยงในนาข้าว และอ่างเก็บน้ำ เพราะเป็นปลากินวัชพืช

2.1 ลักษณะภายนอก

ปลานิล มีรูปร่างค่อนข้างแบน ลำตัวสั้น อัตราส่วนระหว่างความยาวมาตรฐานต่อความยาวหัว อยู่ในระดับ 29.0-31.6 เปอร์เซ็นต์ ต่อความลึกของลำตัวอยู่ในระดับ 32.7-42.5 เปอร์เซ็นต์ และต่อความยาวของครีบหูอยู่ในระดับ 33.5-38.9 เปอร์เซ็นต์ มีเกล็ดที่ส่วนแก้มใต้ตา 2-3 แถว จำนวนเกล็ดบนเส้นข้างตัว 29-33 เกล็ด ปุ่มเหงือกส่วนล่างของกระดูกโค้งเหงือกตอนหน้าอยู่ในระดับ 21-28 ครีบหลัง XV-XVII 12-14 ครีบก้น III 7-9 ครีบหางเจริญดีเป็นรูปตัด (วิทย์และประวิทย์, 2531)

รูปร่างของปลานิลคล้ายปลาหมอเทศ แต่จะมีสีจางกว่าเล็กน้อย ลำตัวมีสีเขียวปนน้ำตาล และมีลายพาดขวาง 9-10 แถบ ครีบหลัง ครีบก้น และครีบหางมีจุดขาว และเส้นสีดำตัดขวางอยู่ทั่วไป (ทัศนีย์ ภูมิพัฒน์, 2524) (ภาพที่ 2-3)



ภาพที่ 2-3 ลักษณะภายนอกของปลานิล *Oreochromis niloticus*

ลักษณะ ตามปกติแล้วรูปร่างภายนอกของปลานิล ตัวผู้และตัวเมีย จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก แต่จะสังเกตลักษณะเพศได้ก็โดยการดูอวัยวะเพศที่บริเวณใกล้กับช่องทวาร โดยตัวผู้จะมีอวัยวะเพศในลักษณะเรียวราวยื่นออกมา แต่สำหรับตัวเมียมีลักษณะเป็นรูค่อนข้างใหญ่และกลม ขนาดปลาที่จะดูเพศได้ชัดเจนนั้นต้องเป็นปลาที่มีขนาดยาวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป

สำหรับปลาที่มีขนาดโตเต็มที่นั้น วิทย์ และประวิทย์ (2515) กล่าวว่า สีสรรของลำตัวนับว่าเป็นจุดสำคัญที่จะบ่งบอกความแตกต่างของลักษณะเพศได้ โดยเฉพาะในช่วงการสืบพันธุ์สีสรรมีการเปลี่ยนแปลง โดยปลาเพศเมียจะมีส่วนของผิวหนังใต้คาง (Interbranchial membrane) เป็นสีเหลือง ส่วนปลาตัวผู้ตามลำตัวจะมีสีเขียวเหลือง ด้านท้องมีสีแดง และจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เมื่อถึงจุดสุดยอดของฤดูสืบพันธ์วางไข่ ติ่งเพศ (genital pappila) มีสีขาว นอกจากนี้ขนาดของลำตัว และสัดส่วนของอวัยวะบางส่วน ก็สามารถใช้บ่งบอกลักษณะเพศได้ เช่น ปลาเพศผู้จะมีขนาดของลำตัวโตกว่าปลาเพศเมีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การสืบพันธุ์

2.2.1 **การผสมพันธุ์และวางไข่** ปลานิลสามารถผสมพันธุ์ได้ตลอดปี โดยใช้เวลา 2-3 เดือนต่อครั้ง แต่ถ้าอาหารเพียงพอและเหมาะสม ในระยะเวลา 1 ปี จะผสมพันธุ์ได้ 5-6 ครั้ง ขนาดอายุและช่วงการสืบพันธุ์ของปลาแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม และสภาพทางสรีรวิทยาของปลาเอง การวิวัฒนาการของรังไข่และถุงน้ำเชื้อของปลานิล พบว่าปลานิลจะมีไข่และน้ำเชื้อเมื่อมีความยาว 6.5 ซม. โดยปกติปลานิลที่ยังโตไม่ได้ขนาดผสมพันธุ์หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมเพื่อการวางไข่ ปลาจะรวมกันอยู่เป็นฝูง แต่ภายหลังที่ปลามีขนาดที่จะสืบ

พันธุ์ได้ ปลาตัวผู้จะแยกออกจากฝูงแล้วเริ่มสร้างรังโดยเลือกเอาบริเวณเชิงลาดหรือก้นบ่อที่มีระดับน้ำลึกระหว่าง 0.5-1 เมตร วิธีการสร้างรังนั้นปลาจะปักหัวลง โดยที่ตัวของมันอยู่ในระดับตั้งฉากกับพื้นดิน แล้วใช้ปากพร้อมกับการเคลื่อนไหวของลำตัวที่เขี่ยดินตะกอนออก จากนั้นจะอมดินตะกอนงับเศษสิ่งของต่าง ๆ ออกไปทิ้งนอกรัง ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้รังที่มีลักษณะค่อนข้างกลม เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20-35 ซม. ลึกประมาณ 3-6 ซม. ความกว้างและลึกของรังไข่ขึ้นอยู่กับขนาดของพ่อปลา หลังจากสร้างรังเสร็จเรียบร้อยแล้ว มันพยายามจะไล่ปลาตัวอื่น ๆ ให้ออกไปนอกรัศมีของรังไข่ประมาณ 2-3 เมตร ขณะเดียวกันพ่อปลาที่สร้างรังจะแผ่ครีบหลังและอ้าปากกว้าง ในขณะที่มีปลาตัวเมียว่ายน้ำเข้ามาใกล้ๆรัง และเมื่อเลือกตัวเมียได้ถูกใจแล้วก็จะแสดงอาการจับคู่โดยว่ายน้ำเคล้าคู่กันไปโดยใช้หางดีดและกัดกันเบาๆ การเคล้าเคลียดังกล่าวใช้เวลาไม่นานนัก ปลาตัวผู้ก็จะใช้บริเวณหน้าผากดุนที่ใต้ท้องของตัวเมียเพื่อเป็นการกระตุ้นเร่งเร้าให้ตัวเมียวางไข่ ซึ่งตัวเมียจะวางไข่ครั้งละ 10-15 ฟอง ปริมาณไข่ที่วางรวมกันแต่ละครั้งมีประมาณ 50-600 ฟอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแม่ปลา เมื่อปลาวางไข่แต่ละครั้งปลาตัวผู้จะว่ายน้ำไปเหนือไข่พร้อมกับปล่อยน้ำเชื้อลงไป ทำเช่นนี้จนกว่าการผสมพันธุ์แล้วเสร็จ โดยใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง ปลาตัวเมียเก็บไข่ที่ได้รับการผสมแล้วอมไว้ในปากและว่ายออกจากรัง ส่วนปลาตัวผู้ก็จะคอยหาโอกาสเคล้าเคลียกับปลาตัวเมียต่อไป

2.2.2 **การฟักไข่** ไข่ปลาที่อมไว้ด้วยปลาตัวเมียจะวิวัฒนาการขึ้นตามลำดับ โดยแม่ปลาจะขยับปากให้น้ำไหลเข้าออกในช่องปากอยู่เสมอ เพื่อช่วยให้ไข่ที่อมไว้ได้รับน้ำที่สะอาด ทั้งยังเป็นการป้องกันศัตรูที่จะมากินไข่ ระยะเวลาที่ปลาตัวเมียใช้ฟักไข่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของน้ำ โดยในน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ไข่จะวิวัฒนาการเป็นลูกปลาวัยอ่อนภายใน 8 วัน ซึ่งในระยะเวลาดังกล่าวนี้ถุงอาหารยังไม่ยุบ และจะยุบเมื่อลูกปลามีอายุครบ 13-14 วัน นับจากวันที่แม่ปลาวางไข่ ในช่วงระยะเวลาที่ลูกปลาฟักออกเป็นตัวใหม่ ๆ ลูกปลานิลวัยอ่อนจะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม โดยว่ายวนเวียนอยู่บริเวณหัวของแม่ปลา และเข้าไปหลบซ่อนอยู่ในช่องปากเมื่อมีภัยหรือถูกรบกวนโดยปลานิลด้วยกันเอง เมื่อถุงอาหารยุบลง ลูกปลานิลจะเริ่มกินอาหารจำพวกพืชและไรน้ำขนาดเล็กได้ และหลังจาก 3 สัปดาห์ไปแล้ว ลูกปลาก็จะกระจายแตกฝูงไปหากินเลี้ยงตัวเองได้โดยลำพัง

2.3 **การแพร่กระจาย**

การแพร่กระจายของปลานิลสู่ทวีปเอเชียมีมา 2 ทาง คือ จากแม่น้ำไนล์ ประเทศซูดานเข้าสู่จังหวัดฮูไบ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ในปี ค.ศ. 1978 จำนวน 61 ตัว และอีกทางหนึ่งจากเมืองไคโร ประเทศอียิปต์เข้าสู่ประเทศญี่ปุ่น ในปี พ.ศ. 2515 และ พ.ศ. 2517

ประเทศไทยส่งไปยังประเทศฟิลิปปินส์ และบังคลาเทศ ตามลำดับ (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ,2536)

ปลานิลแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศไทยเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2508 โดยเจ้าฟ้าอิกิฮิโตมกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่น ได้จัดส่งปลานิลจำนวน 50 ตัว ความยาวเฉลี่ย 9 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 14 กรัม มาทูลเกล้าฯ ถวายแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2508 ในระยะแรก ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อดินเนื้อที่ประมาณ 10 ตารางเมตร ในบริเวณสวนจิตรลดาพระราชวังดุสิต และเมื่อเลี้ยงได้ 5 เดือนเศษ ปรากฏว่ามีลูกปลานิลเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าหน้าที่สวนหลวงขุดบ่อขึ้นใหม่อีก 6 บ่อ มีเนื้อที่เฉลี่ยบ่อละประมาณ 70 ตารางเมตร ซึ่งในโอกาสนี้พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงโยกย้ายปลาด้วยพระองค์เองจากบ่อเดิมไปปล่อยในบ่อใหม่ทั้ง 6 บ่อ ต่อจากนั้นทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้กรมประมงจัดส่งเจ้าหน้าที่วิชาการมาตรวจสอบการเจริญเติบโตเป็นประจำทุกเดือนและโดยที่ปลานิลชนิดนี้เป็นปลาจำพวกกินพืช เลี้ยงง่าย มีรสดี ลูกดกเจริญเติบโตได้รวดเร็ว จึงได้มีพระประสงค์ให้ปลานี้แพร่ขยายพันธุ์อันเป็นประโยชน์แก่พสกนิกร

ดังนั้นวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2509 ซึ่งเป็นระยะเวลาเดียวกันกับที่มกุฎราชกุมารแห่งญี่ปุ่นได้จัดส่งพันธุ์ปลามาทูลเกล้าฯถวาย และทรงเลี้ยงไว้ที่บริเวณสวนจิตรลดาเป็นเวลาเกือบครบ 1 ปี จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้า พระราชทานชื่อปลาชนิดนี้ว่า "ปลานิล" และได้พระราชทานปลานิลขนาดความยาว 3-5 เซนติเมตร จำนวน 10,000 ตัว ให้แก่กรมประมงนำไปเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ และแจกจ่ายให้แก่ราษฎรนำไปเพาะเลี้ยงต่อไป (ประสิทธิ เกษสัญชัย, 2509)

2.4 **คุณภาพน้ำและปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล**

2.4.1 **อุณหภูมิ** อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลาเป็นอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำอย่างฉับพลันได้

ปลานิลทนต่ออุณหภูมิได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 10.0-42.0 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิน้ำต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 42 องศาเซลเซียส ปลาจะอยู่ได้ไม่นานและตายได้ ปลานิลจะไม่กินอาหารและไม่เจริญเติบโต เมื่ออุณหภูมิน้ำกว่าต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส และจะไม่วางไข่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่

เหมาะสมในการวางไข่อยู่ระหว่าง 26-29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 19-28 องศาเซลเซียส (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)

2.4.2 **พีเอช** ปลานิลสามารถอาศัยในน้ำที่มีพีเอชตั้งแต่ 7.2-8.3 และน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชเกินกว่า 2 หน่วยในรอบวัน ส่วนในช่วงพีเอช 4-6 และ 9-11 ปลาจะเจริญเติบโตช้าและอ่อนแอ

พีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพกรดและสภาพด่างในน้ำ การเพิ่มสภาพด่างจะมีผลทำให้พีเอชสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มสภาพกรดจะทำให้พีเอชมีค่าลดลง พีเอชมีผลต่อการเกิดแพลงก์ตอนพืชน้ำ และการเกิดสารพิษต่างๆในน้ำ และการเกิดสารพิษต่างๆในน้ำ ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ ตลอดจนปริมาณของไนไตรท์ในน้ำอีกด้วย

โดยทั่วไปสภาพด่าง สภาพกรด และพีเอชเป็นกลุ่มของพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ 2 ตัวในกลุ่ม จะมีผลทำให้พารามิเตอร์ที่เหลือเปลี่ยนแปลงไปด้วยเสมอ ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพกรด สภาพด่าง และพีเอชอาจแสดงให้เห็นและนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้นด้วย

2.4.3 **ออกซิเจนละลาย** ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen หรือ DO) มีความสำคัญมากเนื่องจากปลาต้องใช้ในการหายใจ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของปลาในด้านต่างๆ ได้แก่ การเจริญเติบโต การตาย การเผาผลาญอาหารในร่างกาย การกินอาหาร ความต้านทานต่อโรค พฤติกรรมของปลา เป็นต้น อัตราการใช้ออกซิเจนของปลาแตกต่างกันตามชนิด ขนาด ระยะต่างๆในช่วงชีวิต พฤติกรรมของปลา เช่น การกินอาหาร การสืบพันธุ์ การเคลื่อนไหว เป็นต้น และสภาพแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ ปลาจะกินอาหารน้อยลงเมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปลาต้องใช้เมื่ออาศัยอยู่ในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ การใช้ออกซิเจนของปลาหลังจากกินอาหารมีอัตราสูงกว่าเมื่อปลายังไม่ได้กินอาหาร เนื่องจากปลาต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อกระบวนการย่อยอาหาร

น้ำในบ่อปลาส่วนใหญ่ได้รับออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และจากการแพร่จากบรรยากาศลงสู่น้ำ ส่วนสาเหตุที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ได้แก่ การหายใจของสัตว์น้ำและพืชน้ำ และการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆในน้ำโดยพวกแบคทีเรียในบ่อ

ปัญหาการขาดออกซิเจนละลายน้ำ มักจะเกิดในบ่อที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมาก สารอินทรีย์เหล่านี้อาจมาจาก เศษเหลือของอาหาร ของเสียจากการขับถ่ายของปลา และแพลงก์ตอนพืชที่ตายลง ซึ่งเมื่อเน่าสลายก็จะดึงออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ จุดวิกฤตใน

การเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนจะเป็นในช่วงเช้ามืดที่ยังไม่มีการสังเคราะห์แสง ปลามักจะลอยหัวขึ้นมาที่ผิวน้ำและตายในช่วงนี้

ปริมาณออกซิเจนในน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จนถึงจุดอิ่มตัว ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำอยู่เป็นระยะเวลานานจะทำให้อัตราเจริญเติบโตไม่ได้ และส่วนมากถ้ากว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาจะตายภายในไม่กี่ชั่วโมง ปลานิลสามารถทนต่อสภาพน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำได้ดีตั้งแต่ 0-0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาจะลอยหัวขึ้นมาใช้ออกซิเจนจากผิวน้ำและอากาศ สภาพดังกล่าวจะทำให้ปลาเกิดอาการเครียดและลดการเจริญเติบโต ดังนั้นบริเวณผิวน้ำปริมาณออกซิเจนจากไม่ควรต่ำกว่า 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (มานพ ตั้งตรงไพโรจน์ และคณะ, 2536)

2.4.4 **ความเค็ม** ความเค็ม คือปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำมีหน่วยวัดเป็นพีพีที (Part per thousand) หรือย่อว่า ppt (พีพีที) ความเค็มของน้ำทะเลเฉลี่ยจะอยู่ประมาณ 34 พีพีที ในเขตน้ำกร่อย ในเขตน้ำกร่อยชายฝั่งความเค็มจะเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตั้งแต่เกือบศูนย์จนมากกว่า 30 พีพีที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมาจากแม่น้ำลำคลองสายต่างๆ ปลาแต่ละชนิดจะมีความทนนานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มต่างกัน

Kirk (1972) รายงานว่าพบปลานิลอาศัยอยู่ในทะเลสาบเกรทบิตเตอร์ ในประเทศอียิปต์ ซึ่งมีความเค็ม 13.5-22.4 พีพีที

จากการทดลองของ Payne และ Collinson (1983) พบว่าลูกปลานิลซึ่งเป็นปลาลูกผสม *(O.niloticus X O.aureus)* สามารถอยู่ได้ในระดับความเค็ม 6 พีพีที แต่หากระดับความเค็มเปลี่ยนไปเป็น 16 พีพีที ก็จะมีอัตรารอดต่ำ และจากการศึกษาผลระดับความเค็มต่อการกินอาหาร พบว่าระดับความเค็ม 10 พีพีที อัตราการเจริญเติบโตของปลานิลจะดีกว่าระดับความเค็ม 1 พีพีที เนื่องจากระดับความเค็มที่เหมาะสมทำให้มีการกินอาหารได้เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อกลับต่ำลงเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น ฉะนั้นในการเลี้ยงปลานิลในระดับความเค็มที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ช่วงแสง อัตราการปล่อย ฯลฯ

2.4.5 **ไฮโดรเจนซัลไฟด์** ในบ่อที่มีการสะสมของสารอินทรีย์ สารแขวนลอยต่างๆตามพื้นหรือก้นบ่อ เมื่อมีการสะสมมากขึ้นจะเกิดสภาพแอนแอโรบิค แบคทีเรียที่เป็นพวกแอนแอโรบิคจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ โดยดึงเอาออกซิเจนจากสารประกอบพวกซัลเฟตไปใช้ทำให้เกิดซัลไฟด์

น้ำในบ่ออาจพบสารซัลไฟด์รูปต่างๆ โดยจะมีระดับพีเอชเป็นตัวกำหนดชนิด และความเข้มข้น น้ำที่มีพีเอชต่ำจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีกลิ่นเห็นมากที่สุด ส่วนน้ำที่มีพีเอชเป็นกลางจะพบอิออนซัลไฟด์ซึ่งไม่มีกลิ่นเหม็น และไฮโรเจนซัลไฟด์เท่านั้นที่เป็นพิษต่อปลา

3. สาหร่ายสไปรูลินา

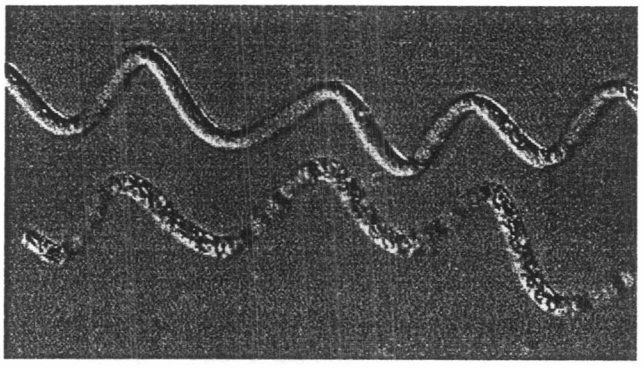
3.1 การจัดลำดับอนุกรมวิธาน

การจัดลำดับอนุกรมวิธานของสาหร่ายสไปรูลินา ในระยะแรกนั้น ค่อนข้างสับสน เนื่องจากยึดถือการเห็นหรือไม่เห็นผนังกั้นเซลล์เป็นหลักในการแยกสกุล (genus) Spirulina และสาหร่าย Arthrospira ออกจากกัน โดย Turpin ได้กำหนดสกุล Spirulina ขึ้นในปี 1827 ซึ่งเรียกสาหร่ายที่พบว่า *Spirulina oscillaroides* ซึ่งลักษณะเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวตลอดสาย filament ไม่มีผนังกั้นเซลล์ ส่วนสกุล Arthrospira ได้ถูกกำหนดขึ้นในปี 1852 โดย Stizenberger ซึ่งสกุล Arthrospira นี้ จะเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นเกลียว และมองเห็นผนังกั้นเซลล์ชัดเจน ความแตกต่างเรื่องการมีผนังกั้นเซลล์นี้ ถูกใช้ในการพิจารณาแยก Spirulina ชนิดที่มีขนาดใหญ่กับชนิดที่มีขนาดเล็ก ในปี 1958 Gobunova ได้ศึกษา *Spirulina major* Kutz ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน พบว่ามีผนังกั้นระหว่างเซลล์ ซึ่งมีลักษณะบางใส จึงแนะนำให้รวมสกุล Spirulina และสกุล Arthrospira เข้าเป็นสกุลเดียวกัน โดยใช้ชื่อสกุล Spirulina (สุชาติ อิงธรรมจิตร์, 2529) ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาเทคนิคการย้อมสีและประสิทธิภาพของกล้องจุลทรรศน์ให้ดีขึ้น จึงพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาทุกชนิดไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ล้วนมีผนังกั้นเซลล์ทั้งสิ้น ส่วนการเห็นหรือไม่เห็นผนังกั้นเซลล์นั้น ขึ้นอยู่กับว่าตัวอย่างนั้นมีชีวิตหรือไม่ (Ciferri, 1983)

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina* sp.) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ภาพที่ 2-4) ได้มีการจัดลำดับอนุกรมวิธานของสาหร่ายสไปรูลินา ไว้ดังนี้ (Edmonson, 1963)

Phylum Cyanophyta
Class Cyanophyceae
Order Oscillatoriales
Family Oscillatoriaceae
Genus *Spirulina*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

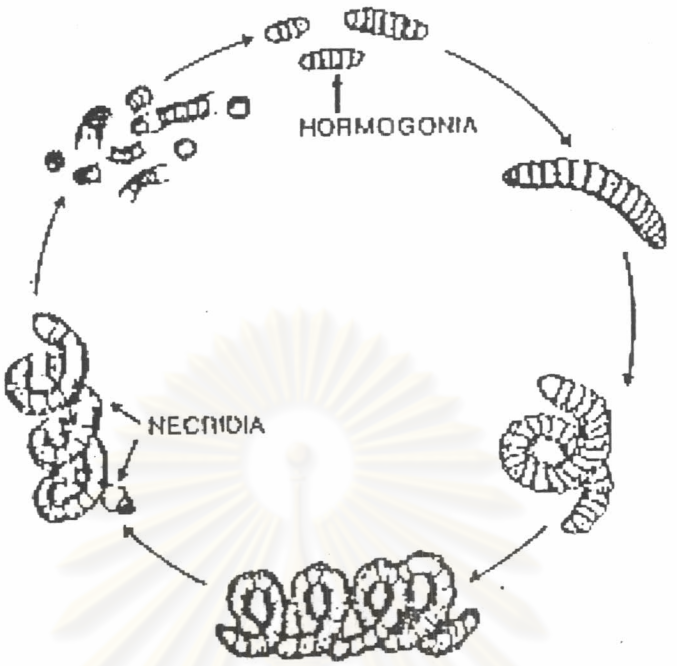


ภาพที่ 2-4 รูปร่างของสาหร่ายสไปรูลินา *Spirulina platensis*

3.2 วงชีพของสาหร่ายสไปรูลินา

วงชีพของสาหร่ายสไปรูลินา อาจแสดงขั้นตอนต่าง ๆ ได้ด้วยภาพที่ 2-5 ดังนี้ คือ trichome ที่เจริญเติบโตเต็มที่จะขาดเป็นท่อนๆ อาจจะเป็นสองท่อนหรือมากกว่าสอง เรียกแต่ละท่อนนี้ว่า hormogonium ก็ได้แต่ละท่อนที่ขาดออกไป สามารถเจริญเติบโตเป็นสายใหม่ได้ การขาดออกเป็นท่อนนั้น เกิดจากการสร้างเซลล์พิเศษที่เรียกว่า necridia ซึ่งเวลาต่อมาจะย่อยสลายไปทำให้เกิดการขาดเป็นท่อนที่บริเวณนี้ เซลล์ที่ติดอยู่กับ necridia ทั้ง 2 ด้านจะมีผนังเซลล์โค้งนูนและบาง ระหว่างการเกิดขบวนการนี้ ของเหลวภายในเซลล์จะมีความเข้มข้นน้อยเซลล์จึงมีสีซีด ในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม hormogonium อาจไม่เจริญเติบโต แต่จะพักตัวจนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงเจริญเติบโตด้วยการเพิ่มจำนวนเซลล์ด้วยการแบ่งเซลล์ ซึ่งเกิดขณะที่ของเหลวภายในเซลล์เข้มขึ้น เซลล์สาหร่ายขณะนี้จะมีสีเขียวสดใส ด้วยขบวนการดังกล่าว trichome สาหร่ายจะยาวขึ้นและมีรูปร่างบิดเป็นเกลียว การที่เซลล์ขาดเป็นท่อนๆ บริเวณที่เป็นเซลล์ necridia หรือการที่เซลล์ขาดออกจากกันเองซึ่งเกิดขึ้นไม่บ่อยนักนี้ ทำให้สาหร่ายชนิดนี้เพิ่มจำนวนและแพร่กระจายทั่วไป (Ciferri,1983)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



0

ภาพที่ 2-5 วงชีพของสาหร่ายสไปรูลินา (Richmond,1986)

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินา

3.2.1 แสง ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดสำหรับการผลิตสาหร่ายเป็นปริมาณมากคือ แสง ซึ่งมีอย่างมากต่อขบวนการสังเคราะห์แสง (Richmond,1986) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแสง ตลอดจนตัวแปรที่มีผลทำให้สาหร่ายได้ปริมาณแสงมากน้อยเพียงใด ได้แก่

1.) คุณสมบัติของแสง ซึ่งได้แก่ ความยาวคลื่น (wave length) และความเข้มแสง (light intensity)

2.) ความลึกของตัวกลางที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย

3.) ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย

ช่วงความยาวคลื่นที่สาหร่ายสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสง คือ ช่วงแสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ (visible light) คือ 400 ถึง 700 นาโนเมตร ความเข้มของแสงที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ Ogawa et al. (1970) กล่าวว่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 กิโลลักซ์ ส่วน Venkataraman (1983) กล่าวว่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 กิโลลักซ์ สำหรับการเริ่มต้นเลี้ยงสาหร่ายซึ่งมีความเข้มข้นของเซลล์ไม่มากนัก จำเป็นต้องลดความเข้มแสงลงโดยการให้ร่มเงา เพราะการได้

รับแสงที่มีความเข้มข้นสูงเพียงช่วงเวลาสั้นๆ จะทำให้เกิดการทำลายรงควัตถุภายในเซลล์ทำให้สาหร่ายมีสีจางลง (bleach) (Venkataraman,1983) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "photooxidation" (Richmond,1986)

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย แสงอาทิตย์มีความสามารถในการส่องผ่านไปในบ่อได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น สำหรับในบ่อที่มีระบบน้ำหมุนเวียน เซลล์สาหร่ายจะได้รับแสงสลับกันไปตามการหมุนเวียนของน้ำ ก่อให้เกิดช่วง มืด-สว่าง (light dark cycle) ซึ่งมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสง (Richmond *et al.*,1980b) ความถี่ของการรับแสงของเซลล์สาหร่ายขึ้นกับความลึกของน้ำ ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย ลักษณะการหมุนเวียนของน้ำ และความเข้มแสง จากการทดลองของ Richmond *et al.*, (1980b) เมื่อกำหนดให้ความเข้มแสงคงที่ คือ 23 กิโลลักซ์ต่อตารางเมตรต่อนาที ความสามารถในการส่องผ่านของแสงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย กล่าวคือเมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นความสามารถในการส่องผ่านของแสงจะน้อยลง และพบว่าที่ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายซึ่งวัดโดยดูจากค่า O.D.(Optical Density) ที่ 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4 เซลล์ที่อยู่ในระดับความลึก 3 เซนติเมตร จากผิวน้ำเท่านั้นที่จะได้รับแสง

3.2.2. **อุณหภูมิ** สาหร่ายสไปรูลินา เป็นสาหร่ายที่ชอบอุณหภูมิค่อนข้างสูง (Thermophilic algae) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส (Richmond,1986 อ้างถึง Zarrouk,1966) แต่จากการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของสาหร่ายสไปรูลินาชนิดต่างๆ ในห้องปฏิบัติการของ Richmond เองชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้อยู่ในช่วง 35 ถึง 37 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะเป็นอันตรายต่อสาหร่าย (Richmond,1986) และถ้าควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ตลอดทั้งวันสาหร่ายจะไม่เจริญเติบโต แต่ถ้าลดอุณหภูมิลงเหลือ 35 องศาเซลเซียส สาหร่ายจะสามารถเจริญเติบโตได้อีกครั้ง อุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส trichome จะหักเป็นท่อนและตามด้วยการย่อยสลายของเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่าการได้รับอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เพียงระยะเวลาสั้นๆ (ประมาณ 10 นาที) มีผลทำให้สาหร่ายตายได้ (Ciferri,1983) สำหรับการเลี้ยงกลางแจ้ง Ciferri (1983) กล่าวว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ส่วนเวลากลางคืนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิต่ำสุดที่สาหร่ายสไปรูลินายังคงเจริญเติบโตได้ประมาณ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมถึง 20 องศาเซลเซียส และสำหรับการเลี้ยงเป็นปริมาณมากการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงสุดในเวลากลางวันต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส แต่ในเวลากลางคืน สาหร่ายสไปรูลินาสามารถทนอุณหภูมิที่ลดต่ำลงได้เป็นอย่างดี แม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก็ตาม (Richmond *et al.*,1980b, Richmond,1986)

3.2.3.**ความเป็นกรด-ด่าง** ความเป็นกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเนื่องจากระดับความเป็นกรด-ด่าง จะเป็นตัวกำหนดการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับสาหร่าย และการละลายของธาตุอาหารต่างๆ นอกจากนี้ ความเป็นกรด-ด่างยังมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อขบวนการ Metabolism ต่างๆ ของสาหร่ายอีกด้วย (Venkataraman,1983)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารเลี้ยงสาหร่ายจะมีค่าเท่าใดนั้น ขึ้นกับปริมาณองค์ประกอบและปริมาณสารที่ทำหน้าเป็นสารกันกระทบ (buffer) ในอาหาร ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอาหาร อุณหภูมิ ตลอดจนกิจกรรมทาง metabolism ของสาหร่าย โดยทั่วไปความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายชนิดนี้ เท่ากับ 8.3 ถึง 10.5 (Richmond ,1980a) จากการศึกษาของ Richmond (1986) ถึงการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อกลางแจ้ง พบว่าถ้าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.3 จะไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงถึง 11 จะยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรุนแรง สาหร่ายสไปรูลินาสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป แต่ถ้าในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีความเป็นสารกันกระทบน้อย ความเป็นกรด-ด่างจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ในสูตรอาหารของ Zarrouk การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ในปริมาณ 16.8 กรัมต่อลิตร จะทำหน้าที่เป็นสารกันกระทบที่ดีของอาหาร

3.2.4**ความเค็ม** เนื่องจากการตอบสนองต่อความเค็มในอาหารทำให้สามารถแยกสาหร่ายออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ สาหร่ายที่ทนต่อความเค็ม (Halotolerent Algae) และสาหร่ายที่ชอบความเค็ม (Halophillic Algae) สาหร่ายที่ทนต่อความเค็มจะมีกลไกการตอบสนองซึ่งทำให้มีการปรับตัวสามารถเจริญในอาหารที่มีความเค็มสูงได้ ในขณะที่สาหร่ายที่ชอบความเค็มต้องการเกลือในปริมาณพอเหมาะ เพื่อการเจริญเท่านั้น (Richmond, 1986)

Gimmler *et al.*, ได้ศึกษาพบว่า สาหร่ายที่ทนความเค็มสูงนั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อเซลล์มากกว่าสาหร่ายที่ทนต่อความเค็มต่ำ ดังนั้นสาหร่ายพวกนี้จึงสามารถเจริญได้ดีในที่มีความเข้มแสงสูงขึ้น (Gimmler *et al.*, 1981 อ้างถึงใน Richmond, 1986)

ความเค็มมีผลต่อการปรับตัวของระดับ Osmotic Potential ของสารอาหาร การปรับตัวดังกล่าวเป็นกระบวนการซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกจะมีการลดกิจกรรมของการสังเคราะห์แสงโดยไม่มีผลต่อกิจกรรมการหายใจ ขั้นที่สองซึ่งต้องผ่านขั้นตอนแรกแล้วพบว่ากิจกรรมการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มของกิจกรรมการหายใจและมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการปรับสมดุลของโซเดียมอิออน (Na^+) และโปตัสเซียมอิออน (K^+) และอาจมีการสังเคราะห์โมเลกุลซึ่งมีความจำเป็นต่อการปรับสมดุลดังกล่าว (Richmond, 1986)

Chiu (1980) พบว่า *S. Platensis* สามารถเจริญในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้าง ซึ่งช่วงที่เหมาะสมที่สุดคือ 0-0.5 กรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตาม Tel-Or (1980) พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญได้ในที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงถึง 20-30 กรัมต่อลิตร

3.2.5 **การกวน** เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา เนื่องจากการกวนเป็นตัวการทำให้เพิ่มการกระจายตัวของสาหร่ายให้ได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดอัตราการตกตะกอนของสาหร่าย และทำให้สารอาหารกระจายอย่างทั่วถึงโดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ได้อย่างเต็มที่ ในบ่อเลี้ยงขนาดใหญ่การกวนจะช่วยป้องกันการแบ่งแยกชั้นน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ (Venkataraman, 1985)

อัตราการกวนขึ้นกับปริมาณความเข้มแสงและความหนาแน่นของเซลล์ การที่สาหร่ายได้รับแสงที่มีความเข้มสูงโดยไม่มีการกวนนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิด Photolysis หรือ Photodestruction ได้ ในที่ที่มีความเข้มแสงสูงอัตราการกวนจะต้องสูงด้วยเนื่องจากเมื่อสาหร่ายได้รับแสงแล้วก็จะถูกบังด้วยสาหร่ายตัวอื่นอย่างรวดเร็ว เป็นการป้องกันการได้รับแสงมากเกินไป การกวนสาหร่ายจะช่วยให้สาหร่ายที่ได้รับแสงเข้าไปอยู่ในร่ม เมื่อ Photosystem Circuits สามารถปลดปล่อยพลังงานแสงที่ได้รับแล้วมันก็พร้อมจะรับแสงได้อีกครั้ง ในที่ที่มีความเข้มแสงต่ำและมีอัตราการกวนต่ำจะทำให้การเจริญเป็นไปอย่างช้าๆ แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าจะมีรงควัตถุเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสาหร่ายสไปรูลินาจะมีสีเขียวเข้มและสีฟ้าของไฟโคไซยานินปรากฏ เมื่อสาหร่ายเจริญมากขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น สาหร่ายจะบดบังแสงซึ่งกันและกัน ในบ่อเลี้ยงสาหร่ายเมื่อสาหร่ายมีความหนาแน่นมากพอแสงจะทะลุผ่านไปได้ในความลึกเพียง 10 เซนติเมตรของความลึกของน้ำ ซึ่งจะมีลักษณะกลายเป็นแผ่นฟิล์มบดบังแสงสาหร่ายที่อยู่ต่ำกว่า ดังนั้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอัตราการกวนจะต้องสูงขึ้น เพื่อเปิดโอกาสให้สาหร่ายได้รับแสงอย่างทั่วถึง (Fox, 1983)

Fox (1983) กล่าวว่า ในสภาวะที่เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดควรให้สาหร่ายได้รับแสงมากพอ (แต่ต้องต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิด Photolysis) ได้รับสารอาหารครบถ้วน และมีการกวนน้ำโดยให้น้ำมีการเคลื่อนที่ประมาณ 20-25 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราที่ไม่แรงพอที่จะรบกวนสาหร่าย และเมื่ออุณหภูมิพอเหมาะจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีและกระบวนการเมตาบอลิซึมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.6 **ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น** ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่พอเหมาะมีความสำคัญต่อการเลี้ยงในระดับใหญ่ๆ เนื่องจากปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่ต่ำเกินไปอาจทำให้สาหร่ายตายเนื่องจากการเกิด Photooxidation ได้ ในทางกลับกันถ้าปริมาณเชื้อเริ่มต้นสูงเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงยังลดลง

เนื่องจากมีการบดบังกัน ปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสมของสาหร่ายจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มแสง ส่วนประกอบของอาหาร ความลึกของบ่อที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย ฯลฯ (Venkataraman, 1985)

การเจริญของสาหร่ายสไปรูลิน่าใน Mixotrophic จะขึ้นกับปริมาณเชื้อเริ่มต้น เพราะถ้าปริมาณเชื้อเริ่มต้นของสาหร่ายน้อยกว่า 0.1 ที่ $O.D._{560}$ จะไม่พบการเจริญและเกิด Mixotrophic Lysis แต่การเจริญจะเป็นปกติถ้ามีค่า $O.D._{560}$ เริ่มต้นประมาณ 0.2 (Ogawa and Turui, 1972 อ้างถึงใน Ciferri, 1983) จากการศึกษาของ Chiu (1980) พบว่าปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่ความเข้มข้น 225-250 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร ช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิน่าให้น้อยลง

3.2.7 **ธาตุอาหาร** ความต้องการธาตุอาหารของสาหร่ายแบ่งเป็น 2 แบบ คือ Autotrophy ซึ่งเป็นการที่สาหร่ายได้รับธาตุอาหารต่างๆจากสารประกอบอนินทรีย์ และได้รับพลังงานจากแสงหรือจากการออกซิเดชันสารประกอบอนินทรีย์หรืออิออนของสารอนินทรีย์ อีกแบบหนึ่งคือแบบ Heterotrophy เป็นการที่สาหร่ายได้รับสารอาหารและพลังงานจากสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสังเคราะห์จากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ปริมาณธาตุอาหารที่พอเหมาะสำหรับสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ความหนาแน่น แสง อุณหภูมิ และ ค่าความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนี้ปริมาณและแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส วิตามิน หรือสารอาหารที่จำเป็นอย่างอื่นก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง (Richmond, 1986)

Zarrouk (1966) ได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารแต่ละชนิดที่จำเป็นต่อสาหร่ายสไปรูลินา และคิดค้นสูตรอาหาร Zarrouk ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ สถาบัน Central Food Technology Research Institute ก็ได้คิดค้นอาหารสูตร CFTRI ขึ้นมา อย่างไรก็ตามอาหารทั้งสองสูตรนี้ใช้เลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการเนื่องจากประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิดและมีราคาแพง (Venkataraman, 1985) ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญและต้องใช้เป็นจำนวนมากคือ

1.) **ธาตุคาร์บอน** สาหร่ายทุกชนิดมีความต้องการอาหารแบบ Autotrophy ใช้คาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอนในรูปอื่นในการสังเคราะห์อินทรียสาร ในน้ำคาร์บอนดำรงอยู่ในรูปต่างกัน เช่น CO_2,H_2CO_3,HCO_3^- หรือ CO_3^{2-} ขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง ในแหล่งน้ำจืดทั่วไปมักมีระบบบัฟเฟอร์อยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์-คาร์บอนิก-ไบคาร์บอเนต-คาร์บอเนต (CO_2-H_2CO_3-HCO_3^--CO_3^{2-} System) ระบบบัฟเฟอร์นี้มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อที่จะปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำให้เป็นด่าง โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำจืดที่สมดุลย์กับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 8-8.5 และมี

ไบคาร์บอเนตอิออน (HCO_3^-) เป็นรูปที่พบมากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น จะพบคาร์บอเนตอิออน (CO_3^{2-}) มากขึ้น (Richmond, 1986)

แหล่งคาร์บอนในสูตรอาหารของ Zarrouk นั้นใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณ 16.8 กรัมต่อลิตร ส่วนในสูตรอาหารของ CFTRI ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเพียง 4.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งพบว่าผลผลิตจะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากสูตรอาหารของ CFTRI มีปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตน้อยจึงสามารถลดการปนเปื้อนของไบคาร์บอเนตในสาหร่ายแห้งได้ด้วย สำหรับการเพาะเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน (Venkataraman, 1985) ในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเตรียมเป็นเชื้อเริ่มต้นในการเลี้ยงในบ่อ Fox (1983) ได้ใช้อาหารสูตรน้ำทะเลซึ่งเติมแอมโมเนียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นแหล่งคาร์บอนในปริมาณ 0.125 กรัมต่อลิตร

2.) **ธาตุไนโตรเจน** ไนโตรเจนเป็นอีกธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญ ไนโตรเจนทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจน สาหร่ายบางชนิดจะสามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ ความสามารถที่จะใช้ไนโตรเจนในรูปต่างๆไม่ว่าจะเป็น ไนเตรท (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2^-) หรือแอมโมเนีย (NH_4^+) พบได้ทั่วไป แต่เฉพาะในรูป NO_3^- และ NH_4^+ เท่านั้นที่ทำให้สาหร่ายมีการเจริญสูงสุด (Richmond, 1986) อย่างไรก็ตามการใช้ไนโตรเจนในรูป NH_4^+ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมาก ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นนี้ไม่ทราบสาเหตุแน่ชัดแต่คาดว่าอาจเป็นเพราะเกิดโมเลกุลของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ขึ้นมาก็เป็นได้ NO_2^- ก็อาจถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ในสาหร่ายหลายชนิดแต่จะต้องใช้ปริมาณต่ำ (ประมาณ 1 mM.) เพื่อไม่ให้ยับยั้งการเจริญ (Morris, 1974) สาหร่ายหลายชนิดสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปของสารอินทรีย์ เช่น Amides, Urea, Glutamine และ Asparagine ฯลฯ โดย Urea จะให้ผลดีเท่าๆกับ NO_3^- และ NH_4^+ กรดอะมิโนบางชนิดถูกใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้เช่น Glycine, Serine, Alanine, Glutamic Acid และ Aspartic Acid เป็นต้น (Wheeler *et al.*, 1974) การขาดไนโตรเจนพบว่าทำให้ปริมาณรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงลดลง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงด้วย (Richmond, 1986) ในสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวมีสารประกอบซึ่งสะสมไนโตรเจนอยู่ภายใน (Endogenouse Nitrogen Storage Compound) คือ Cyanophycin Granule Polypeptide และ Phycocyanine จะถูกเซลล์ซึ่งขาดแคลนไนโตรเจนนำไปใช้ Phycocyanine นี้จะถูกสร้างใหม่อย่างรวดเร็วเมื่อมีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอ (Richmond, 1986) Boussiba และ Richmond (1980) พบว่าใน *Spirulina platens*is เอนไซม์ Proteases ซึ่งสามารถย่อย Phycocyanine จะถูกกระตุ้นให้ทำงานในช่วงที่ขาดแคลนธาตุไนโตรเจน

ในอาหารมาตรฐานสูตรของ Zarrouk โซเดียมไนเตรทเป็นแหล่ง ไนโตรเจนเช่นเดียวกับสูตรอาหารของ CFTRI แต่ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยในสูตรอาหารของ Zarrouk และของ CFTRI มีโซเดียมไนเตรทอยู่ 2.5 และ 1.5 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ CFTRI ยังได้พยายามปรับปรุงสูตรอาหารโดยใช้แหล่งไนโตรเจนเป็นปุ๋ย N.P.K. สูตร 15:15:15 ในปริมาณ 1.00 กรัมต่อลิตร การทดลองพบว่าสาหร่ายยังสามารถเจริญตามปกติ (Venkataraman, 1985) อย่างไรก็ตาม ก่อนหน้านี้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการทดลองอาหารแหล่งไนโตรเจนแหล่งอื่นที่มีราคาถูกและสาหร่ายสามารถเจริญได้ดี เช่น Soong (1980) ได้ทดลองใช้ยูเรีย แอมโมเนีย และแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าสามารถเพิ่มการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินาได้ Venkataraman (1982) ได้เคยนำปัสสาวะของวัวมาใช้แทนโซเดียมไนเตรทในสูตรอาหาร CFTRI ในปริมาณ 1% พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญได้ดีเช่นกัน

3.) **ธาตุฟอสฟอรัส** ฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุหนึ่งซึ่งนับว่ามีความสำคัญสำหรับการเจริญของสาหร่ายโดยมีบทบาทต่อกระบวนการทำงานในเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทพลังงานและในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก เซลล์ของสาหร่ายใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปอนินทรียสาร (H_2PO^- + HPO_4^{2}) เป็นส่วนใหญ่ (Richmond, 1986) สาหร่ายแต่ละชนิดมีความต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณต่างกัน การรับฟอสฟอรัสเข้าไปในเซลล์โดยปกติจะขึ้นกับแสง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องอาศัยพลังงาน นอกจากนี้การนำฟอสฟอรัสไปใช้งานในเซลล์ยังขึ้นกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายอาหาร และค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือในสาหร่ายบางชนิดอาจขึ้นกับปริมาณของ Na^+, K^+ หรือ Mg^{2+} (Mohleji, 1980)

การขาดธาตุฟอสฟอรัสเป็นตัวทำให้ส่วนประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ RNA และ DNA ของสาหร่ายลดน้อยลง (Richmond, 1986) และมีผลต่อลักษณะรูปร่างของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์ที่เป็น Polyphosphate หายไป (Jensen *et al.*, 1974) นอกจากนี้ยังมีการสะสม Granules ในเซลล์ที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสอีกด้วย (Stevens *et al.*, 1981)

3.3 องค์ประกอบทางเคมีและการใช้ประโยชน์

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลินา นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการประเมินศักยภาพด้านการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายชนิดนี้ในด้านอาหาร องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลินา ผันแปรตามสายพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่สาหร่ายเจริญอยู่ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และอาหาร (Switzer,1982) นอกจากนั้นวิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกันก็ให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันด้วย

สาหร่ายสไปรูลินา ประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน ซึ่งพบมากในปริมาณถึงร้อยละ 71 และเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพ เนื่องจากประกอบด้วยกรดอะมิโน ทั้งชนิดที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้ (Non-essential amino acids) และชนิดที่ร่างกายสังเคราะห์ไม่ได้ (essential amino acids) แต่ถ้าเปรียบเทียบสาหร่ายสไปรูลินากับอาหารโปรตีนมาตรฐาน เช่น นม หรือ ไข่ จะพบว่ามี methionine cystine และ lysine น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์หลายท่านสรุปว่า สาหร่ายชนิดนี้ยังมีโปรตีนที่มีคุณภาพและปริมาณสูงกว่าพืชทุกชนิด รวมทั้งพืชตระกูลถั่ว (Switzer,1980)

นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาประกอบด้วยวิตามิน และเกลือแร่หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินเอ ที่ได้จากเม็ดสีแคโรทีนอยด์ วิตามินบี ซึ่งพบวิตามินบีหลายชนิด แต่ชนิดที่มีความสำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 12 ซึ่งพบมากในเนื้อสัตว์ ดังนั้นสำหรับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัติ การรับประทานสาหร่ายสไปรูลินา น่าจะช่วยชดเชยวิตามินบี 12 ที่ขาดไปได้

จากองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าอาหารดังกล่าว ทำให้มีการนำสาหร่ายสไปรูลินาไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง ก่อให้การผลิตในเชิงอุตสาหกรรมในหลายประเทศ เช่น ประเทศไทย ญี่ปุ่น ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา และอิสราเอล เป็นต้น

3.4 การศึกษาเรื่องความเค็มกับสาหร่ายสไปรูลินา

จากการศึกษาสาหร่ายสไปรูลินาหลายชนิด พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาสามารถอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่มีเกลือละลายอยู่สูงหรือแม้แต่ในน้ำทะเล จึงอาจเป็นไปได้ว่าสาหร่ายชนิดนี้มีความสามารถทนความเข้มข้นของเกลือระดับต่างๆ ได้กว้าง ดังนั้นจึงมีนักวิทยาศาสตร์จากหลายประเทศ ทำการทดลองเรื่องนี้โดยเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ระดับต่างๆ เช่น

3.4.1. ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา

การศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ได้มีการศึกษาโดยเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ดังนี้

Watanabe *et al.*, (1977) รายงานถึงการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา 3 สายพันธุ์ คือ *S. platensis* สายพันธุ์น้ำจืด (M-184) ที่แยกจากทะเลสาบน้ำจืด Kasumigura ประเทศญี่ปุ่น *S. platensis* สายพันธุ์น้ำกร่อย (M-135) ที่แยกจากทะเลสาบชาดประเทศชาด และ *S. maxima* สายพันธุ์น้ำกร่อย (M-185) ที่แยกจากทะเลสาบ Texcoco ประเทศเม็กซิโก โดยเลี้ยงในอาหารสูตร CT

ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์จะยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาสายพันธุ์น้ำจืด (M-184) และจะไม่เจริญเติบโตเลยหากเติมโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 10 กรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายสไปรูลินาสายพันธุ์น้ำกร่อย M-135 และ M-185 การเติมโซเดียมคลอไรด์จะเป็นการเร่งให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และพบว่าถ้าในอาหารมีโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 1 กรัมต่อลิตร สาหร่ายจะไม่มีการเจริญ เติบโตเลย

Chiu *et al.*, (1980b) พบว่า *S. platensis* ที่ใช้ในการทดลอง สามารถเจริญในอาหารที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ในช่วงกว้าง แต่ช่วงที่เหมาะสมที่สุด คือ 0 ถึง 0.5 กรัมต่อลิตร และพบว่าแม้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์จะสูงถึง 20 ถึง 30 กรัมต่อลิตร *S. platensis* ก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้

Reed *et al.*, (1985) รายงานการทดลองเลี้ยง *S. platensis* ในอาหารสูตร BG11 ซึ่งเติมโซเดียมไนเตรทร้อยละ 0.15 และเติมเกลือสมุทรระดับต่างตั้งแต่ 0 ถึง 25 กรัมต่อลิตร พบว่าสาหร่ายสามารเจริญเติบโตในอาหารดังกล่าวได้ แต่การเจริญเติบโตจะช้าถ้าเลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมไบคาร์บอเนตมากเกินไป จึงอาจกล่าวได้ว่าความสามารถทนต่อความเค็มของ *S. platensis* อาจเพิ่มขึ้นได้ ถ้าอยู่ในสภาพที่มีปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตน้อยลง แต่อย่างไรก็ตาม การเพาะเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งในสภาพที่มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์สูง และโซเดียมไบคาร์บอเนตต่ำ อาจประสบปัญหาเนื่องจากการปนเปื้อนโดยสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ได้

3.4.2. การเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำทะเล

นอกจากการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีผู้ศึกษาถึงการนำน้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำทะเลมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายอีกด้วย ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการศึกษาเพื่อนำน้ำเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับอุตสาหกรรมอีกด้วย ดังเช่น ประเทศอิสราเอลได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องถึงการนำเอาน้ำเค็มใต้ดินมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อพัฒนาไปสู่ระบบอุตสาหกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1974 เป็นต้นมา

Richmond *et al.*, (1981) ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำเค็มใต้ดินบริเวณหุบเขา Arava ที่อยู่ในแนวเส้นทางจากทะเล Dead Sea ถึง Red Sea และเลือกน้ำเค็มจาก Yotvata เป็นตัวแทนน้ำเค็มใต้ดิน แต่เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของน้ำใต้ดินแปรปรวนมาก จึงจำเป็นต้องสังเคราะห์น้ำตัวอย่างให้มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับน้ำในบ่อใต้ดินและเติมธาตุอาหารต่างๆตามสูตรของ Zarrouk ยกเว้นโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตลดปริมาณลงเหลือ 0.05 กรัมต่อลิตร และการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ในอาหารที่เตรียมจากน้ำประปาที่ Beer Sheva (ชุดควบคุม) และน้ำเค็มที่

สังเคราะห์ขึ้นมานี้ ไม่มีความแตกต่างกันเลย โดยมี doubling time เท่ากับ 9.8 และ 10.3 ชั่วโมง ตามลำดับ และเพื่อตต้องการทราบว่าสารประกอบตัวใดในอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย ถ้าความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้ง จึงทำการทดลองต่อและพบว่าถ้าฟอสเฟตไม่เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายแม้ความเข้มข้นของซัลเฟตและคลอไรด์จะเพิ่มขึ้นเป็น 50 เท่า (44.1 และ 94.2 กรัมต่อลิตรตามลำดับ) สาหร่ายยังคงเจริญเติบโตได้ และพบว่าสาหร่ายมีการตอบสนองต่อแมกนีเซียมแม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย โดยในการทดลองกลางแจ้งพบว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงกว่า 1.4 กรัมต่อลิตร จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโต และจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ถ้าในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมเท่ากับ 490 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอาหารนั้นไม่มีไบคาร์บอเนต อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง ต่อเมื่อปริมาณไบคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นเป็น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะป้องกันการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยแมกนีเซียมได้ นอกจากนี้ Richmond และคณะ ยังได้พยายามพัฒนาการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ชนิดน้ำเค็ม *S. subsalsa* ในอาหารที่เตรียมจากน้ำทะเลอีกด้วย โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่า doubling time ในระยะ exponential ของกราฟการเจริญเติบโตเท่ากับ 14 ถึง 15 ชั่วโมง และพบว่าแสงเป็นปัจจัยจำกัดที่อาจทำให้ค่า maximal doubling time ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มความเค็มเป็น 93.6 กรัมโซเดียมคลอไรด์ต่อลิตร สาหร่ายก็ยังเจริญเติบโตได้ตามปกติ แต่เมื่อเพิ่มความเค็มขึ้นเป็น 117 กรัมโซเดียมคลอไรด์ต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตจะลดลงร้อยละ 50

ต่อมาในปี 1985 Vonshak และ Amos รายงานถึงปัญหาการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเค็มของประเทศอิสราเอลว่า ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความหนาแน่นของสาหร่าย ทั้งนี้เนื่องจาก ในฤดูร้อนสภาพแวดล้อมต่างๆ มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนั้นถ้าเลี้ยงสาหร่ายไปซักระยะหนึ่ง ความหนาแน่นของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้แสงส่องผ่านอาหารลงไปได้น้อย ทำให้การเจริญเติบโตลดลงด้วย ส่วนในฤดูหนาวอุณหภูมิในช่วงกลางวันต่ำ จึงเป็นเหตุให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง

Oian *et al.*, (1984) รายงานว่า สามารถเลี้ยง *S. subsalsa* เป็นปริมาณมากในทะเลทรายโดยใช้บ่อซีเมนต์หรือบ่อพลาสติก อาหารเลี้ยงสาหร่ายประกอบด้วยสารอาหารที่สำคัญดังนี้ ไนโตรเจนจากมูลไก่ ฟอสเฟต โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในบ่อพลาสติกใช้น้ำเค็มรวมกับสารอาหารดังกล่าว ส่วนสำหรับการทดลองในบ่อคอนกรีต ใช้น้ำบาดาลซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า ในบ่อพลาสติกและบ่อซีเมนต์ให้ผลผลิต 17 และ 18.9 กรัมต่อตารางเมตรต่อวันตามลำดับ และพบว่าแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายคือโซเดียมไนเตรท และแอมโมเนียมไนเตรท ส่วนฟอสเฟต และโพแทสเซียม ซึ่งให้ในรูปโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ควรมีปริมาณ 0.2 กรัมต่อลิตร

สำหรับการใช้น้ำทะเลในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ได้มีผู้ศึกษาดังนี้ Inkenouye (1974) รายงานการศึกษาเรื่องการใช้น้ำทะเลจากอ่าวอาระเบียน ประเทศคูเวต ซึ่งมีคลอไรด์ 22.4 กรัมต่อลิตรเลี้ยง *S. platensis* โดยขั้นแรก เลี้ยงในอาหารสูตรของ Zarrouk ซึ่งมีน้ำทะเลร้อยละ 25 นาน 2 สัปดาห์ ปรากฏว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีเทียบเท่ากับการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารสูตรของ Zarrouk จากนั้นในขั้นที่ 2 นำสาหร่ายจากขั้นแรกมาเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ผลการเจริญเติบโตยังคงเป็นปกติ และเมื่อเลี้ยงในขั้นที่ 3 โดยใช้สาหร่ายเริ่มต้นจากขั้นที่ 2 เลี้ยงในอาหารที่มีน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75 พบว่าสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ แม้ว่าช่วง 5 ถึง 7 วันแรกจะมีการชะงักการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่า รูปร่างของสาหร่ายเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอีกด้วย

Faucher (1979) และคณะรายงานถึงการเลี้ยง *S. maxima* ในอาหาร 3 สูตรได้แก่ น้ำทะเลจากบริษัท Triton Marine Salt ซึ่งมีความเค็มประมาณ 35 ส่วนในพันส่วนโดยไม่เติมธาตุอาหาร และน้ำทะเลดังกล่าวซึ่งเติมธาตุอาหารต่างๆ ตามสูตรของ Zarrouk เปรียบเทียบกับอาหารสูตรของ Zarrouk ผลการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโของสาหร่ายในอาหาร 2 สูตรแรก เป็นครึ่งหนึ่งของการเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarrouk เพราะสาหร่ายขาดธาตุอาหารประเภทฟอสฟอรัส ไนเตรท และไบคาร์บอเนต ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทะเลมีธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่ต่ำมาก ส่วนอาหารสูตร 2 ที่เตรียมจากน้ำทะเล แม้จะเติมธาตุอาหารต่างๆ ตามสูตรของ Zarrouk ก็ยังพบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตต่ำ ในเรื่องนี้ Faucher *et al.*, อธิบายว่า เนื่องจากน้ำทะเลมีแคลเซียม และแมกนีเซียมมาก จึงตกตะกอนกับฟอสเฟตและคาร์บอเนต ทำให้สาหร่ายขาดธาตุดังกล่าว ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงลดอิออนดังกล่าวในน้ำทะเลก่อนนำมาทดลอง ผลการทดลองพบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายในน้ำทะเลที่ผ่านการลดความกระด้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต 19.2 กรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 9.2 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วกรองตะกอนออก เติมโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต โซเดียมไนเตรท และ เฟอรัสซัลเฟต 0.5 3.0 และ 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีเทียบเท่ากับเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarrouk

นอกจากจะมีการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยใช้น้ำทะเลดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการนำเอาเกลือสมุทร (crude sea salt) มาใช้เป็นอาหารที่สาหร่ายต้องการน้อย (micronutrient) เพื่อเลี้ยงสาหร่ายอีกด้วย ดังรายงานผลการศึกษาต่อไปนี้

Ajara Jimenez *et al.*, (1982) ได้รายงานถึงการศึกษาการเลี้ยง *S. maxima* ด้วยอาหารราคาถูก โดยใช้เกลือสมุทรเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการน้อยในปริมาณ 14

กรัมต่อลิตร และใช้ saltpeter ซึ่งเป็นปุ๋ยธรรมชาติราคาถูกใช้แพร่หลายในประเทศชิลีเป็นแหล่งไนโตรเจน และเติมสารอาหารตัวอื่นๆ ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และเฟอรัสซัลเฟต พบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่ายให้ผลดีเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตในอาหารสูตรของ Zarrouk และพบว่า ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนไนโตรเจนในอาหารให้เป็นโปรตีนในสาหร่ายสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายในอาหารสูตรของ Zarrouk อีด้วย คือมีค่าร้อยละ 67.5 และ 26.7 ตามลำดับ

ส่วนการทดลองของ Chaudhari *et al.*, ในปี 1983 เพื่อศึกษาถึงเกลือสมุทรร่วมกับการใช้อาหารสูตรพื้นฐาน และอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมัก (night soil digester) หรือน้ำเสีย (raw sewage) เลี้ยง *S. platensis* โดยใช้น้ำเสียและมูลหมักที่ปล่อยให้ตกตะกอน และเอาแต่ส่วนใสข้างบนไปใช้ทดลอง ผลการทดลองพบว่าจำเป็นต้องใส่โซเดียมไบคาร์บอเนต 4 กรัมต่อลิตรลงไปในอาหาร จึงจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ และพบว่าการเติมเกลือสมุทรลงในอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมักและน้ำเสียจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือสมุทรที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ถึง 5 กรัมต่อลิตรโดยพบว่าปริมาณเกลือสมุทรที่เหมาะสมสำหรับอาหารที่เตรียมจากปุ๋ยมูลหมักและน้ำเสียคือ 5 และ 3 กรัม ตามลำดับ และเพื่อศึกษาถึงผลของเกลือสมุทรที่มีต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของสาหร่าย Chaudhari *et al.*, จึงทดลองโดยใช้เกลือสมุทรร่วมกับอาหารสูตรพื้นฐาน ซึ่งเจือจางให้มีความเข้มข้นร้อยละ 75, 50 และ 25 ผลปรากฏว่า แม้จะลดสารอาหารในอาหารสูตรพื้นฐานลงเหลือร้อยละ 25 ถ้ามีการเติมเกลือสมุทร การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะสูงกว่าสาหร่ายในอาหารสูตรพื้นฐานที่ไม่ได้เติมเกลือสมุทร

3.4.3. การใช้โซเดียมคลอไรด์ลดความเป็นพิษของแอมโมเนียในน้ำเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้มูลสัตว์เป็นแหล่งอาหาร

การใช้มูลสัตว์ ตลอดจนยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินามักประสบปัญหาการสลายตัวของสารดังกล่าวกลายเป็นแอมโมเนีย ในสภาพอาหารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง แอมโมเนียนี้เป็นสารที่มีพิษต่อสาหร่าย ซึ่งจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดอย่างเห็นได้ชัด (Berend *et al.*, 1980) ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษาถึงการเกิดและการลดความเป็นพิษของแอมโมเนีย โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

Chiu *et al.*, (1980a) รายงานการใช้โซเดียมคลอไรด์ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 7 กรัมต่อลิตร ร่วมกับมูลสุกรหมัก (fermented swine manure) ซึ่งเจือจางให้มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย 50 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อเลี้ยง *S. platensis* ผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมคลอไรด์ลงในอาหาร ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มขึ้นและทำให้การสูญเสียไนโตรเจนใน

I21165622

รูปแอมโมเสียลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ช้าลงอีกด้วย จากการทดลองในครั้งนี้สรุปว่า ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสำหรับการเลี้ยง *S. platensis* ด้วยมูลสุกรหมักที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเท่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ โซเดียมคลอไรด์ 3 ถึง 7 กรัมต่อลิตร และเพื่อศึกษาถึงผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสภาพที่มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสูง (มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) Chiu *et al.*, จึงทำการทดลองต่อในขั้นที่ 2 โดยเตรียมมูลสุกรหมักให้มีไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเข้มข้น 50 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมคลอไรด์ 0 ถึง 3 กรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่าถ้าใช้ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดีถ้าเติมโซเดียมคลอไรด์มากกว่า 2 กรัมต่อลิตร และสาหร่ายจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถ้าโซเดียมคลอไรด์ต่ำกว่า 1 กรัมต่อลิตร และถ้าไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็น 150 มิลลิกรัมต่อลิตรจะต้องใส่โซเดียมคลอไรด์มากกว่า 2 กรัมต่อลิตร สาหร่ายจึงมีการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสาหร่ายจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้เลยหากความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียในอาหารสูงกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร แม้จะเติมโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตรก็ตาม

ส่วนการศึกษาของ Tsai (1980) ศึกษาถึงความเค็มระดับต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ในอาหารที่เติมน้ำซึ่งได้จากการกรองมูลสุกรหมัก (ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายทุกวันเพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจนและเติมสารเคมีตัวอื่นๆ เพื่อเป็นแหล่งอาหาร ได้แก่โซเดียมไบคาร์บอเนต โพแทสเซียมซัลเฟต โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และโซเดียมไนเตรท ในอัตราส่วนในอัตราส่วน 8.4:1:0.5 :1 กรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยควบคุมอาหารดังกล่าวให้มีความเค็มระดับต่างๆ กันดังนี้ คือ 0 10 และ 20 ส่วนในพันส่วน ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มความเค็มในอาหารเลี้ยงสาหร่ายมีผลทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายดีขึ้นตามลำดับ แต่การเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้น้ำที่ได้จากการกรองมูลสุกรหมักเป็นแหล่งอาหารเป็นเวลานานๆ มักประสบปัญหาการปนเปื้อนจากแพลงก์ตอนและโปรโตซัว เขาจึงศึกษาการยับยั้งการปนเปื้อนดังกล่าวโดยใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไบคาร์บอเนต ผลการศึกษาพบว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตร หรือใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 8.4 กรัมต่อลิตร ทั้ง 2 วิธีนี้ สามารถควบคุมจำนวนโปรโตซัวและโรติเฟอร์ได้

Faucher *et al.*, (1979) ได้ศึกษาถึงผลของความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่ออัตราการเกิดและความเป็นพิษของแอมโมเนีย ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพความเป็นด่างของอาหารเลี้ยงสาหร่ายทำให้ยูเรียสลายตัวกลายเป็นแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อสาหร่าย ดังนั้น เพื่อลดอัตราการเกิดและความเป็นพิษของแอมโมเนียดังกล่าว Faucher *et al.*, จึงทดลองที่ความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง

2 ระดับ โดยทดลองกับยูเรียระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 กรัมต่อลิตร (ดังตารางที่ 2-1) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความเข้มข้นของยูเรียเท่ากับ 0.1 ถึง 0.2 กรัมต่อลิตร จะมีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียง หรือดีกว่าสาหร่ายในอาหารสูตรควบคุมเล็กน้อย และพบว่าความเข้มข้นของยูเรียในระดับดังกล่าว ความเค็ม อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย อย่างไรก็ตาม ในสภาพที่มียูเรียมากกว่า 0.2 กรัมต่อลิตร การเจริญเติบโตจะลดลง และพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และไม่ว่าจะมีความเข้มข้นของยูเรียเท่าไรก็ตามอาหารที่เลี้ยงควรมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.3 เสมอ

ตารางที่ 2-1 ผลของอุณหภูมิ ความเค็ม และความเป็นกรด-ด่าง ต่อการเจริญเติบโตของ *Spirulina maxima* ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายที่เตรียมจากน้ำทะเล

อุณหภูมิ	ความเค็ม	pH	การเจริญเติบโต %				
			ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
			0.1	0.2	0.4	0.6	1.0
32	21.5	8.3	94	113	97	81	68
38	21.5	8.3	100	112	100	69	62
32	40.0	8.3	97	103	93	83	49
38	40.0	8.3	96	104	92	62	58
32	21.5	9.1	100	104	80	68	52
38	21.5	9.1	100	91	59	41	32
32	40.0	9.1	100	104	83	67	46
38	40.0	9.1	100	96	65	52	43

ที่มา Faucher, O., B. Coupal and A. Leduy, 1979. Can.J. Microbiol., 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงไกร แก้วสุรลิขิต (2537) ศึกษาการใช้สาหร่าย *Gracilaria fisheri* ช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้ง โดยนำน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ มาใส่ในบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 เมตร ลึก 30 เซ็นติเมตร โดยเลี้ยงสาหร่าย *Gracilaria fisheri* ด้วยความหนาแน่น 0, 0.25, 0.50 และ 1.00 กิโลกรัม/ตารางเมตร ทำการทดลองนาน 8 สัปดาห์ พบว่าความสามารถในการลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ของสาหร่ายมีค่าสูงสุด เมื่อใช้สาหร่ายที่ความหนาแน่น 1.00 กิโลกรัม/ตารางเมตร ส่วนที่ความหนาแน่น 0.50, 0.25 กิโลกรัม/ตารางเมตร สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสเฟต ลงได้ตามลำดับ

คณิต ไชยาคำ และดุสิต ตันวิไลย (2534) ได้ทดลองใช้หอยแมลงภู่และสาหร่ายผมนางเพื่อบำบัดน้ำทิ้งทางชีวภาพจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา โดยทดลองแบบชีววิเคราะห์ระบบน้ำนิ่งในบ่อทดลอง พบว่าถ้าใช้สาหร่ายผมนาง 168 กรัม และหอยแมลงภู่ 200 กรัม ค่าความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์ เอ ของชุดสาหร่ายผมนาง ชุดหอยแมลงภู่ และชุดสาหร่ายผมนางกับหอยแมลงภู่ กับชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ชั่วโมงที่ 12, 48 และชั่วโมงที่ 24, 48 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำทิ้งตัวอื่นๆกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ถ้าใช้สาหร่ายผมนาง 340 กรัม และหอยแมลงภู่ 400 กรัม พบว่าค่าความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ย บี.โอ.ดี. ซี.โอ.ดี. และคลอโรฟิลล์ เอ ของชุดสาหร่ายผมนาง ชุดหอยแมลงภู่ และชุดสาหร่ายผมนางกับหอยแมลงภู่ กับชุดควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ชั่วโมงที่ 24 และ 48 ตามลำดับ ส่วนแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในชั่วโมงที่ 48 ส่วนค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำทิ้งตัวอื่นๆกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ($P>0.05$)

ศิริวรรณ คิดประเสริฐ (2538) ได้ทำการศึกษาการใช้สาหร่ายทะเลมาช่วยลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ทดลองโดยการนำสาหร่าย *Caulerpa macrophysa, Sargassum polycystum* และ *Gracilaria salicornia* ลงแช่ในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในถังพลาสติกที่บรรจุน้ำในปริมาตรเริ่มต้นที่ 100 ลิตร โดยใช้สาหร่ายความหนาแน่น 0, 1, 5 และ 10 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย ทั้ง 3 ชนิด สามารถ

ลดปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนีย และไนเตรทได้ โดยสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ที่ความหนาแน่น 10 กรัม/ลิตร สามารถลดปริมาณความ เข้มข้นของแอมโมเนีย และไนเตรทได้มากที่สุด รองลงมาคือที่ความ หนาแน่น 5 และ 1 กรัม/ลิตรตามลำดับ

หากพิจารณาถึงอัตราการดูดซึมแอมโมเนีย และไนเตรท พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ที่ความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีอัตราการดูดซึมดีกว่าที่ความหนาแน่น 5 และ 10 กรัม/ลิตร ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนรวมที่สะสมในสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ก่อนและหลังจากการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ พบว่าสาหร่ายทั้ง 3 ชนิด ที่ความหนาแน่น 1, 5 และ 10 กรัม/ลิตร มีแนวโน้มว่าปริมาณไนโตรเจนที่สะสมมีค่าเพิ่มขึ้น

Yang Yi *et al.*, (2545) ได้ทำการสำรวจเกษตรกรใน 12 จังหวัดของประเทศไทย ระหว่างเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน 2545 เพื่อประเมินวิธีการเลี้ยงปลานิลร่วมกับกุ้งแบบผสมผสานของเกษตรกร ทำการคัดเลือกและสัมภาษณ์เกษตรกรโดยการตรวจสอบและใช้แบบสอบถาม พบว่ามีเกษตรกรจำนวน 61 รายที่เลี้ยงปลาในฟาร์มกุ้ง

ผลของการสำรวจ พบว่าวิธีการเลี้ยงปลานิลร่วมกับกุ้งของเกษตรกรไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ simultaneous, sequential และ crop rotation ในจำนวนของเกษตรกร ที่ถูกสัมภาษณ์พบว่า 42.6%, 34.4% และ 6.6% ใช้วิธีการเลี้ยงแบบ simultaneous, sequential และ crop rotation ตามลำดับ ที่เหลืออีก 16.4% เพิ่งปล่อยปลาลงไปในบ่อเก็บน้ำ และยังเลี้ยงกุ้งเพียงชนิดเดียวในบ่ออยู่ ในกลุ่มเกษตรกรที่พัฒนาการเลี้ยงปลานิล-กุ้ง แบบ simultaneous นั้นมี 76.9% ได้ปล่อยปลานิลลงเลี้ยงในบ่อเดียวกับกุ้งเลย และที่เหลือ 23.1% ปล่อยปลานิลเลี้ยงในกระชังที่แขวนอยู่ในบ่อกุ้ง การสำรวจในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรที่หันมาใช้ระบบการเลี้ยงแบบ simultaneous และ sequential ได้รับผลผลิตกุ้งและรายได้สูงมากกว่าการเลี้ยงกุ้งเพียงชนิดเดียวอย่างแต่ก่อน นอกจากนี้ผลผลิตและรายได้ยังมากกว่าเกษตรกรที่ใช้วิธีการเลี้ยงแบบ crop rotation และเกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งเพียงชนิดเดียวในปัจจุบันนี้ด้วย เกษตรกรจำนวนมากตอบรับว่าการใช้ปลานิลมาเลี้ยงร่วมกับกุ้งแบบผสมผสานสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำในบ่อกุ้ง รวมทั้งยังลดการเกิดโรคระบาดและการใช้ยาในบ่อกุ้งอีกด้วย จากผลการสำรวจในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงปลานิลร่วมกับกุ้งในระบบผสมผสาน อาจจะเป็นแนวทางเลือกใหม่สำหรับผู้เลี้ยงกุ้ง ซึ่งจะนำไปสู่การเลี้ยงกุ้งแบบยั่งยืนในท้ายที่สุด อย่างไรก็ตาม การศึกษาถึงคุณสมบัติและข้อดีต่างๆ ของการเปลี่ยนรูปแบบการเลี้ยงกุ้งเพียงชนิดเดียวไปสู่การเลี้ยงกุ้งแบบผสมผสานหลายชนิดจะต้องมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องในอนาคต