



## บทที่ 1

### บทนำ

*Noctiluca scintillans* เป็น heterotrophic dinoflagellate จัดอยู่ใน Class Dinophyceae และเป็นแพลงก์ตอนชนิดที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (red tide) ในหลายประเทศ เช่น ออสเตรเลีย อินเดีย อินโดนีเซีย มาเลเซีย ญี่ปุ่นและไทย เป็นต้น การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจาก *N. scintillans* ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใดแต่ต้นนิษฐานว่าเกิดจากฝนตกหนักทำให้น้ำจืดไหลลงทะเลจนความเค็มลดต่ำลงและน้ำแร่ธาตุจากการชะล้างผิวดินลงสู่ทะเล นอกจากนี้พบว่าปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณปากแม่น้ำที่เป็นรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปกติและมีสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด-เบส เป็นองค์ประกอบในการเกิดการเพิ่มจำนวนของ *N. scintillans* อย่างรวดเร็ว (ประยูร สุรตระกูล, 2534) ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงเนื่องจากการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายแพลงก์ตอนที่ตาย นอกจากนี้มีรายงานว่าปริมาณแอมโมเนียสูงมากกว่าปกติในบริเวณที่เกิดน้ำเปลี่ยนสีซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาและสัตว์หน้าดินตายเป็นจำนวนมาก (สุนีย์ สุวภินันท์, 2540)

กุ้งกุลาดำและปลากะพงขาวเป็นสัตว์น้ำที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากเนื้อสัตว์อร่อย มีโปรตีนสูง และเป็นที่ต้องการของตลาดโดยเฉพาะกุ้งกุลาดำซึ่งสามารถทำกำไรให้กับผู้เพาะเลี้ยงและเป็นสินค้าส่งออกที่นำรายได้เข้าประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดจากการเพาะเลี้ยงมีหลายประการทำให้ผู้เพาะเลี้ยงต้องประสบปัญหาการขาดทุน เช่น ปัญหาโรคกุ้ง ปัญหาคุณภาพน้ำที่เลวลงและปัญหาการเกิดน้ำเปลี่ยนสี เป็นต้น สิทธิพันธ์ สิริวิเศษชัยและแววดา ทองระอา (2536) รายงานการเกิดน้ำเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุมาจาก *N. scintillans* บริเวณชายฝั่งอ่างศิลาถึงบางพระซึ่งทำความเสียหายต่อประชาชนที่ประกอบอาชีพเพาะฟักและอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำนับร้อยรายรวมทั้งการเลี้ยงปลากะพงขาวในกระชังที่ได้รับความเสียหายมากโดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2535 เนื่องจากอยู่ใกล้บริเวณที่เกิดน้ำเปลี่ยนสีอย่างรุนแรงและทำความเสียหายคิดเป็นมูลค่าไม่ต่ำกว่าสิบล้านบาท นอกจากนี้ในธรรมชาติลูกกุ้งกุลาดำและลูกปลากะพงขาวมีวงจรชีวิตที่ต้องอาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลนซึ่งบ่อยครั้งที่พบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในบริเวณดังกล่าวและอาจส่งผลกระทบต่อแหล่งที่อยู่อาศัย จำนวนของลูกกุ้งกุลาดำและลูกปลากะพงขาวในธรรมชาติ

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทดลองในห้องปฏิบัติการโดยนำแพลงก์ตอนชนิด *N. scintillans* มาเลี้ยงเพื่อศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเติบโตและเลือกเอาช่วงที่แพลงก์ตอนอยู่ในช่วงท้ายของระยะที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างรวดเร็ว (late exponential growth) มาทดสอบปริมาณความหนาแน่นเซลล์และสารสกัดจากเซลล์ของ *N. scintillans* ต่ออัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากระพงขาววัยรุ่น ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเตือนภัยเมื่อความหนาแน่นเซลล์ของ *N. scintillans* ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากระพงขาววัยรุ่นและใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเติบโตของ *N. scintillans* ซึ่งจะนำไปใช้ในการศึกษาการเกิดน้ำเปลี่ยนสีเนื่องจากแพลงก์ตอนชนิดนี้ต่อไป

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของอาหารแพลงก์ตอนพืช ความเข้มแสงและความเค็มต่อการเติบโตของ *N. scintillans*
2. ศึกษาผลของความหนาแน่นเซลล์และสารสกัดจากเซลล์ *N. scintillans* ต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากระพงขาววัยรุ่น
3. ศึกษาอัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากระพงขาววัยรุ่นในสารละลายแอมโมเนีย

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลสำหรับการเตือนภัยเมื่อความหนาแน่นเซลล์ของ *N. scintillans* ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากระพงขาววัยรุ่น
2. ได้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเติบโตของ *N. scintillans* ซึ่งจะนำไปใช้ในการศึกษาการเกิดน้ำเปลี่ยนสีเนื่องจากแพลงก์ตอนชนิดนี้ต่อไป

## ตำราเอกสาร

### 1. สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการศึกษา

#### 1.1 *Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehrenberg

แพลงก์ตอนชนิด *N. scintillans* มีการจำแนกหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้ (Taylor, 1987)

Division Pyrrophyta

Class Dinophyceae

Order Noctilucales

Family Noctilucaeae

Genus *Noctiluca*

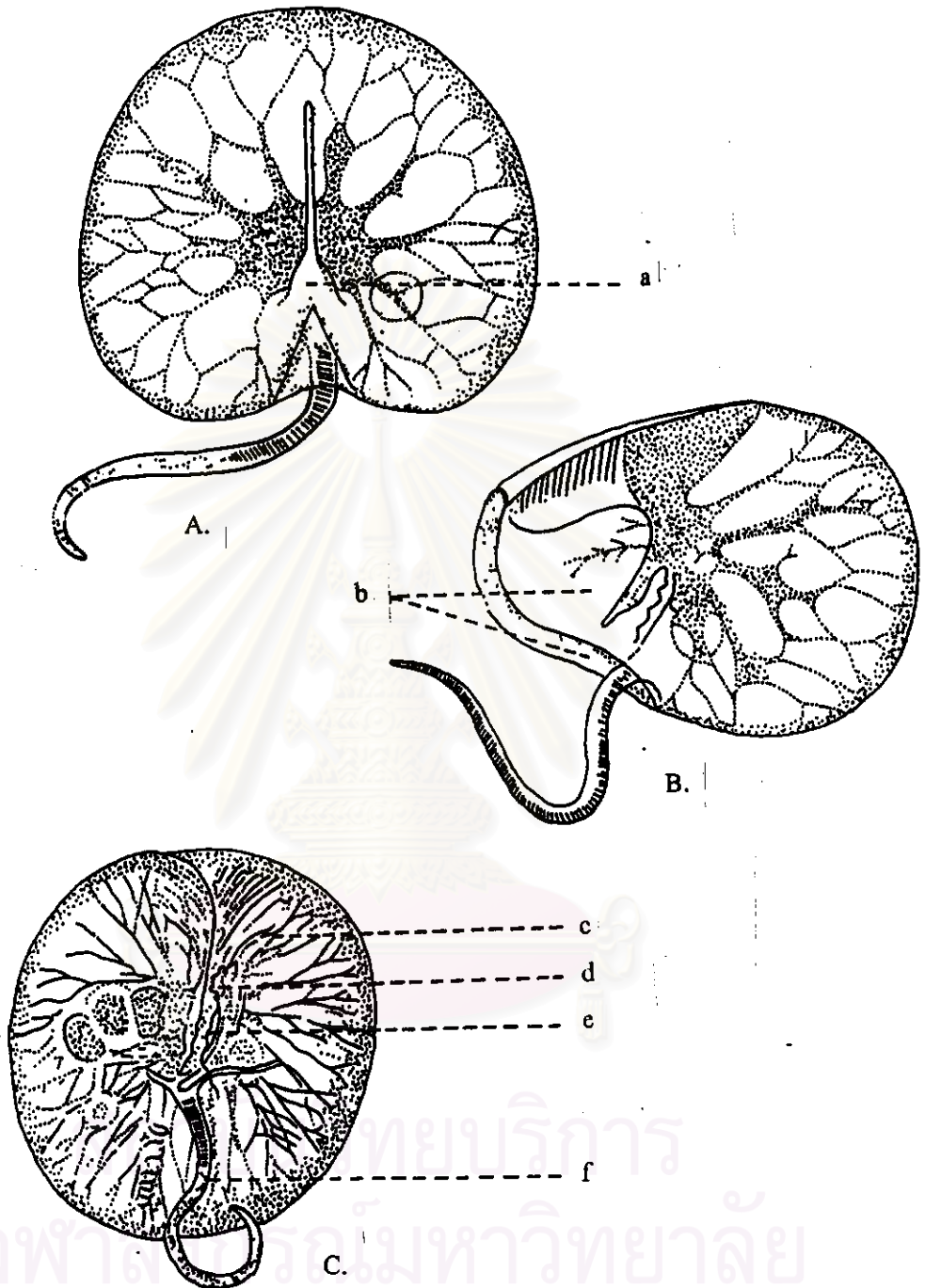
*Noctiluca scintillans* (= *N. miliaris* (Tomas, 1996 และ Dodge, 1982))

#### 1.1.1 ลักษณะทั่วไป

*N. scintillans* มีลักษณะทั่วไปตามการศึกษาของ Kofoed และ Swezy (1921); Bold และ Wynne (1978); Dodge (1982); Taylor (1976; 1987); Fukuyo และคณะ (1990) และ Hoek และคณะ (1995) ดังนี้

ขนาดและรูปร่างของเซลล์ เซลล์มีขนาดใหญ่ รูปร่างคล้ายบัลลูน (balloon shape) มีผนังเซลล์ 2 ชั้น ลักษณะเป็นสารเจลลาติน เส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ยาว 150-2,000 ไมโครเมตร แวคิวโอลมีขนาดใหญ่ภายในบรรจุน้ำเกลือที่มีสภาพเป็นกรด (acid solution) ประกอบไปด้วยโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) โพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) และไอออนบวกอื่นๆ ในน้ำทะเลซึ่งจะถูกแทนที่โดยไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ส่งผลให้ความหนาแน่นของของเหลวภายในแวคิวโอลน้อยกว่าในน้ำทะเลทำให้เซลล์มีแรงพยุงตัวและลอยน้ำได้ เซลล์มีส่วนเว้าเข้าไปเป็นช่องปาก (cytostome) ผนังเซลล์ไม่มีเซลล์โลสและไม่มีคลอโรพลาสต์ มีสายโพโรพลาซึมโยงจากผนังรอบตัวไปยังนิวเคลียสที่อยู่ตรงกลาง (รูปที่ 1 และรูปที่ 2)

แฟลเจลลา มีจำนวน 2 เส้นขนาดความยาวไม่เท่ากัน โดยแฟลเจลลาเส้นขวาง (transverse flagellum) ไม่เจริญเป็นเพียงปุ่มให้เห็นร่องรอยว่ามีเท่านั้น ส่วนแฟลเจลลาเส้นยาว (longitudinal flagellum) จะอยู่ด้านหน้าบริเวณปลายร่องพาดตามยาว (sulcus) มีหนวดจับยาวเกือบเท่าเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์

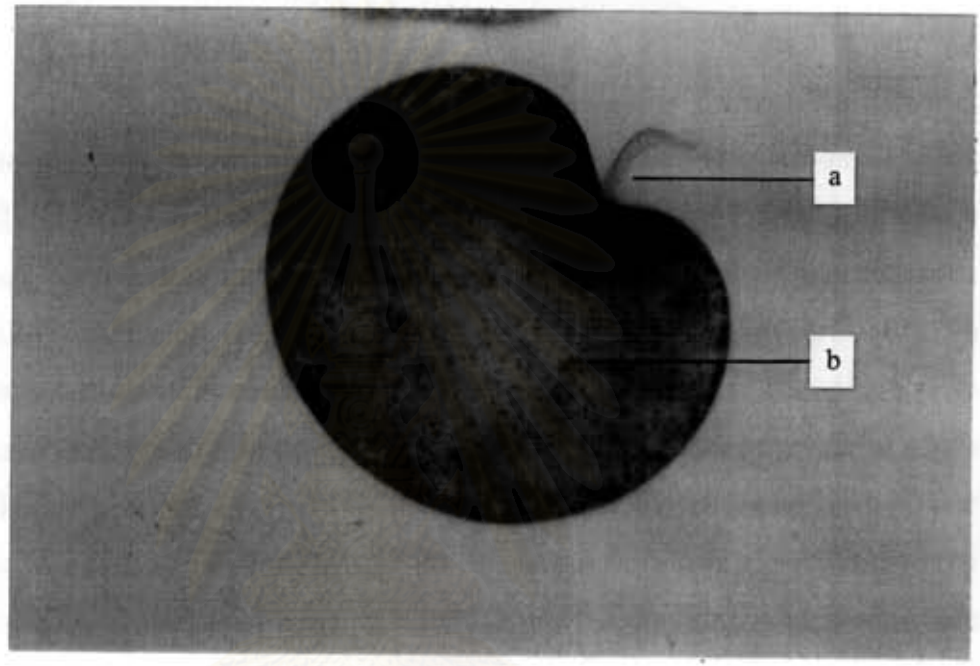


รูปที่ 1 ลักษณะเขตรัสของ *N. scintillans* (Kofoid และ Swezy, 1921)

A. Dorsal view (x125) B. Lateral view (x125) C. Posteroventral view (x100)

a = apical trough, b = deep oral pouch, c = girdle, d = undulating membrane or tooth,

e = longitudinal flagellum, f = tentacle



100  $\mu$ m

รูปที่ 2 ลักษณะเซลล์ *N. scintillans* จากธรรมชาติ

- a. tentacle
- b. green flagellate

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

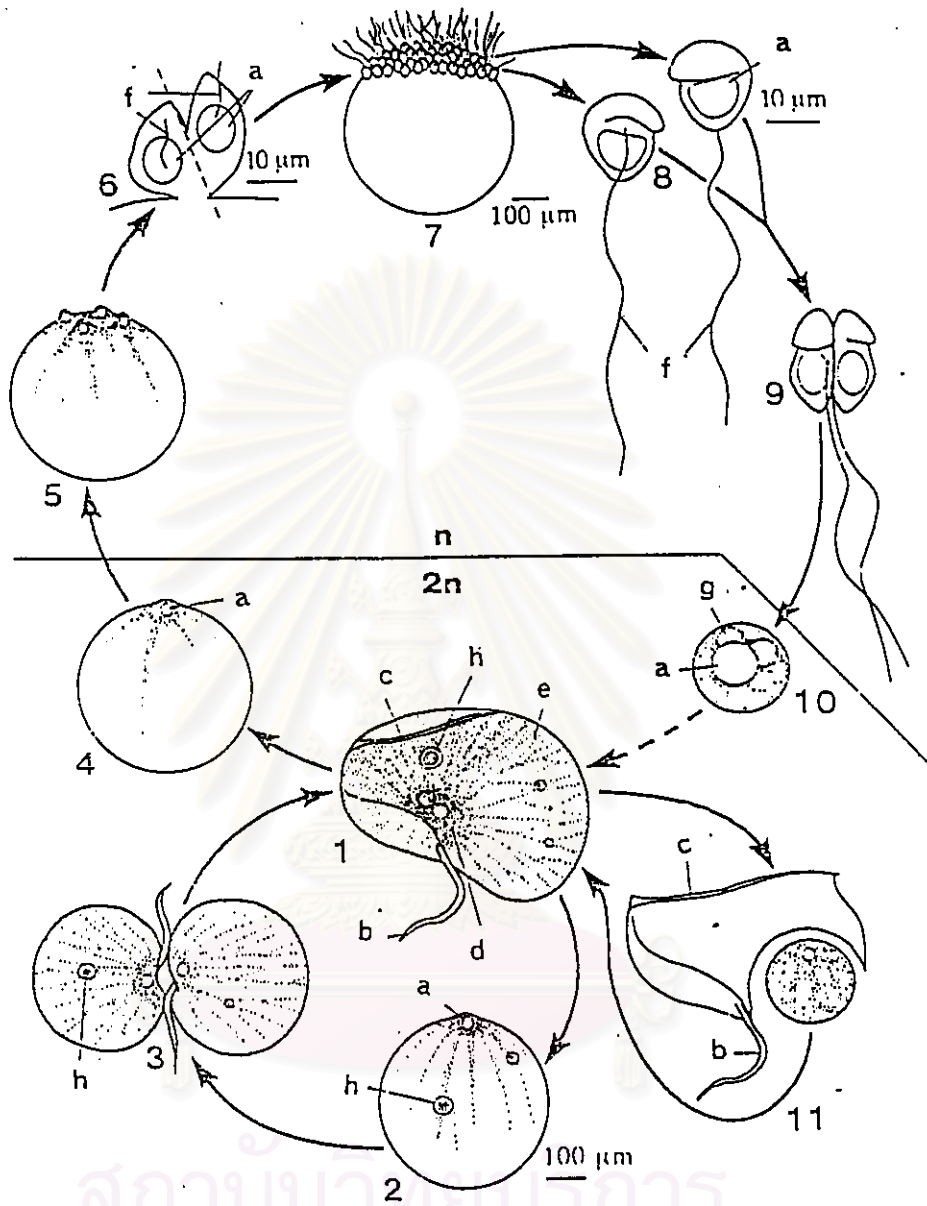
ลักษณะอื่นๆ ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* ไม่มีคลอโรพลาสต์ (Dodge, 1982) และมีหยดน้ำมันที่สะท้อนแสงได้ ในเขตร้อนจะพบสาหร่ายสีเขียว *Pedinomonas noctilucae* อาศัยอยู่ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* แบบพึ่งพา (symbiosis) จำนวนมากทำให้เซลล์ของ *N. scintillans* มีสีเขียวสด (Sweeney, 1971; 1976; 1978)

### 1.1.2 ชีวิตวิทยาและนิเวศวิทยา

การสืบพันธุ์ การขยายพันธุ์ของ *N. scintillans* ส่วนใหญ่เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศโดยแบ่งเซลล์จากหนึ่งเป็นสองไปเรื่อยๆ เรียกว่า ไบนารีดิวิชัน และอาจจะขยายพันธุ์แบบมีเพศเปิดดิวิชัน โดยแบ่งนิวเคลียสไปเรื่อยๆจนได้จำนวนมากมาย การสืบพันธุ์แบบมีเพศของ *N. scintillans* โดยการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ Zingmark (1970) พบว่า การสืบพันธุ์แบบมีเพศของ *N. scintillans* เริ่มต้นจากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสก่อนในระยะนี้จะมีเซลล์สืบพันธุ์เป็น  $2n$  เซลล์ของ *N. scintillans* จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างให้กลมขึ้นโดยหนวดจับและ food vacuole จะหายไป nuclear mass ถูกแบ่งออกเป็น 4 นิวเคลียส ซึ่งแต่ละนิวเคลียสจะมีเซลล์สืบพันธุ์เป็น  $n$  หลังจากนั้นจึงเริ่มต้นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ซึ่งแต่ละนิวเคลียสจะมีการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ขึ้นภายในเซลล์ของ *N. scintillans* โดยเซลล์สืบพันธุ์ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 เพศ การสร้างเซลล์สืบพันธุ์จะดำเนินต่อไปจนมีจำนวนเซลล์ 256-1024 เซลล์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์แม่ เมื่อเซลล์สืบพันธุ์สมบูรณ์จะมีแฟลกเจลเลต 1 เส้น และจะหลุดออกจากเซลล์แม่โดยสามารถเคลื่อนที่ได้ในมวนกน้ำ เมื่อเซลล์สืบพันธุ์รวมตัวกันแบบคอนจูเกชันจะพัฒนาเป็นไซโกตและเซลล์เต็มวัยในที่สุด (รูปที่ 3)

การแพร่กระจาย พบแพร่กระจายบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลเขตร้อนและเขตอบอุ่นทั่วโลก (Fukuyo และคณะ, 1990) Kuroda และ Saga (1978) อ้างถึงใน Fukuyo และคณะ (1990) รายงานว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ *N. scintillans* อยู่ในช่วง 21-22 องศาเซลเซียส ความเค็ม 28-32 ส่วนในพันและพบแพร่กระจายในแนวคั้งตั้งแต่ผิวหน้าน้ำจนถึงระดับลึก 10 เมตร ในช่วงที่เกิดการแยกชั้นของน้ำและพบแพร่กระจายตลอดความลึกของน้ำในช่วงเวลาที่น้ำผสมตัวดี

อาหารและการกิน โดยของ *N. scintillans* heterotrophic dinoflagellate เป็นแพลงก์ตอนที่พบแพร่กระจายอยู่ทั่วไป การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของ heterotrophic dinoflagellate ส่งผลต่อห่วงโซ่อาหารในทะเล (Spero, 1985; Jacobson, 1987 และ Lessard, 1991) *N. scintillans* เป็น heterotrophic dinoflagellate ชนิดหนึ่งซึ่งมีรายงานว่าสามารถกินอาหารได้หลายชนิด เช่น แพลงก์ตอนพืช (โดยเฉพาะ ไดอะตอมและ ไดโนแฟลกเจลเลต) แพลงก์ตอนสัตว์ ไซปกา (Enomoto, 1956) ไซอาร์ทีเมีย เซลลูโลส ไข่แดง (Uhlig, 1972) โปรโตซัว (Fukuyo และคณะ, 1990)



รูปที่ 3 วงจรชีวิตของ *N. scintillans* (Hori, 1993)

- 1) Vegetative cell, 2) spherical cell, 3) binary division, 4) gametocyte, 5) 4 nucleate stage, 6) 256-1024 nucleate stage, 7) mature gametocyte, 8) gamete, 9) conjugation, 10) zygote, 11) regeneration, a) nucleus, b) tentacle, c) rod organ, d) central protoplasmic mass, e) protoplasmic thread, f) flagellum, g) oil drop, h) food vacuole

แบคทีเรีย (Kirchner และคณะ, 1996) และไขโคพีพอด Sekiguchi และKato (1976) รายงานว่า *N. scintillans* กินไข่ของ *Acartia clausi* ซึ่งเป็นโคพีพอดที่พบมากในช่วงที่มีการเพิ่มจำนวนของ *N. scintillans* ในเดือนพฤษภาคมและมีอุณหภูมิต่ำบริเวณอ่าวอิเซะ (Ise bay) ประเทศญี่ปุ่น และ Kimor (1979); Uhlig และSahling (1982) และ Daan (1987) รายงานว่า *N. scintillans* กินไข่ของ *A. tonsa* ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมดุลประชากรของโคพีพอดในบริเวณที่เกิดการเพิ่มจำนวนของ *N. scintillans* อย่างหนาแน่น นอกจากนี้ Enomoto (1956) และ Hattori (1962) พบว่า *N. scintillans* กินไข่ปลาหิ่งห้อยและการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณตัวอ่อนปลาชนิดนี้ด้วย

การศึกษาการเติบโตของ *N. scintillans* ในอาหารแพลงก์ตอนพืชชนิดต่างๆ ได้มีผู้ศึกษากันมาก (ตารางที่ 1) โดย Buskey (1982) เติบโตของ *N. scintillans* ด้วยอาหารแพลงก์ตอนพืช 10 ชนิด พบว่า โคอะคอม *Thalassiosira* sp. ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตสูงสุด 0.5 ต่อวัน *Dunaliella terciolecta* ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตในระดับปานกลาง 0.19 ต่อวัน และ *Isochrysis galbana* ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตต่ำสุด 0.01 ต่อวัน Jacobson และAnderson (1993) และ Strom และBuskey (1993) รายงานการศึกษาการเติบโตของ *N. scintillans* เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารแพลงก์ตอนพืช *Oxyrrhis marina*, *Oblea rotunda* และ *Protoperdinium hirobis* พบว่า ให้ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต 1.3 (Goldman และคณะ, 1989) 0.66 และ 1.2 ต่อวัน ที่ 20 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ Lee และHirayama (1992) ทดสอบผลของความเค็ม ปริมาณอาหารแพลงก์ตอนพืช และอุณหภูมิต่อการเติบโตของ *N. scintillans* โดยชุดการทดลองจะใช้ความเค็มในช่วง 8.5-34 ส่วนในพัน ปริมาณอาหารแพลงก์ตอนพืช  $1 \times 10^3$ - $8 \times 10^5$  เซลล์/มิลลิลิตร และอุณหภูมิ 5-32 องศาเซลเซียส ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การเติบโตของ *N. scintillans* ในอาหารแพลงก์ตอนพืชจากการทดลองต่างๆ

ชนิดของแพลงก์ตอนพืช	สัมประสิทธิ์การเติบโต (day <sup>-1</sup> )	อุณหภูมิในการทดลอง (°C)	เอกสารอ้างอิง
<i>Thalassiosira</i> sp.	0.50	20	Buskey, 1982
<i>Dunaliella terciolecta</i>	0.19	20	_____
<i>Isochrysis galbana</i>	0.01	20	_____
<i>Oblea rotunda</i>	0.66	20	Jacobson และAnderson, 1993
<i>Protoperdinium hirobis</i>	1.20	20	Strom และBuskey, 1993
<i>Oxyrrhis marina</i>	1.30	20	Goldman และคณะ, 1989



ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า *N. scintillans* มีความสามารถในการปรับตัวต่อความเค็มได้ในช่วงกว้าง ซึ่งระดับความเค็มและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตคือ 22 ส่วนในพัน และ 28 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดย *T. tetrathella* ที่ความหนาแน่นเซลล์  $3 \times 10^4$  เซลล์/มิลลิลิตรให้การเติบโตสูงสุดและสัมประสิทธิ์การเติบโตของ *N. scintillans* จะแปรผันตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณอาหารแพลงก์ตอนพืช

### 1.1.3 การเกิดน้ำเปลี่ยนสีโดย *N. scintillans*

*N. scintillans* เป็นแพลงก์ตอนที่เป็นสาเหตุของน้ำเปลี่ยนสีและเมื่อเกิดการขยายพันธุ์มากขึ้นจะทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีจากเดิมเป็นสีชมพูอมแดงหรือสีเขียว Sweeney (1971) รายงานว่า *N. scintillans* ส่วนใหญ่ที่พบในบริเวณต่างๆของโลกจะไม่พบการอยู่ร่วมกันกับสาหร่ายสีเขียวภายในเซลล์และจะเห็นเซลล์ของ *N. scintillans* เป็นสีชมพู Devassy (1989) รายงานการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในเดือนกันยายน ค.ศ. 1973 บริเวณชายฝั่ง Goa ประเทศอินเดียมีปลาตายจำนวนมากโดยระยะแรกของการเกิดน้ำเปลี่ยนสีพบเซลล์ของ *N. scintillans* 51 เซลล์/มิลลิลิตร ในระยะของการเพิ่มจำนวนเซลล์พบเซลล์มากกว่า 1,000 เซลล์/มิลลิลิตร และหลังจากนั้น 2 สัปดาห์ จำนวนเซลล์จึงลดลงโดยพบเซลล์ 0.05 เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 4.1-6.0 มิลลิลิตร/ลิตร inorganic nutrients ( $PO_4$ -P และ  $NO_3$ -N) เปลี่ยนแปลงจาก 2.05-4.59 และ 0.43-0.94 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ตามลำดับและในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1977 บริเวณเดียวกันพบการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูมีความหนาแน่นเซลล์ *N. scintillans* 640 เซลล์/มิลลิลิตร inorganic nutrients ( $PO_4$ -P และ  $NO_3$ -N) เปลี่ยนแปลงจาก 0.3-30 และ 0.7-2.3 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้ Prasad (1958) และ Le Fevre และ Grall (1970) สังเกตเห็นปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1967 บริเวณชายฝั่งตะวันตกของแคว้นบริตานิ ประเทศฝรั่งเศส มีความหนาแน่นเซลล์ *N. scintillans* 2,400 เซลล์/มิลลิลิตรและไม่พบสิ่งมีชีวิตสีเขียวภายในเซลล์ทำให้น้ำทะเลเป็นสีชมพูอมแดง สำหรับการเกิดน้ำเปลี่ยนสีที่ทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีเขียวนั้นเนื่องจากสีของสาหร่ายสีเขียว *P. noctilucae* ที่อาศัยอยู่ในเซลล์ของ *N. scintillans* ซึ่งสายพันธุ์นี้จะพบได้ในบริเวณฝั่งทะเลเหนือของนิวกินี (Sweeney, 1971 และ Ratti และคณะ, 1988) เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Sweeney, 1976; 1978) ประเทศอินเดีย (Kinne, 1980) รวมทั้งในอ่าวไทย Devassy (1989) รายงานการเกิดน้ำเปลี่ยนสีที่มีสีเขียวบริเวณชายฝั่งประเทศอินเดียในเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1987 มีความหนาแน่นเซลล์ *N. scintillans* (ขนาดเซลล์ 650-760 ไมโครเมตร) 51 เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ 3 มิลลิลิตร/ลิตร  $PO_4$ -P และ  $NO_3$ -N 2.4 และ 9.4 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ตามลำดับ Lirdwitayaprasit (1994) รายงานว่า การเกิดน้ำเปลี่ยนสีโดย *N. scintillans* พบได้ตลอดปีแต่จะพบ

บ่อยครั้งในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคมบริเวณฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนในและเดือน ธันวาคมถึงกุมภาพันธ์บริเวณฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนในซึ่งการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ในอ่าวไทยตอนในมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนโดยในปี ค.ศ. 1991, 1992 และ 1993 ได้เกิด ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีทั้งหมด 7, 12 และ 19 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งการเกิดน้ำเปลี่ยนสีทั้งหมด 38 ครั้งนี้มีสาเหตุมาจาก *N. scintillans* 32 ครั้ง เช่นเดียวกับสุนีย์ สุวภักดิ์ (2540) รายงานว่าได้เกิด น้ำเปลี่ยนสีขึ้นในอ่าวไทยซึ่งจะพบเสมอในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคมตั้งแต่ พ.ศ. 2524-2530 จำนวน 43 ครั้ง โดย 17 ครั้งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* ทำให้น้ำทะเลบริเวณดังกล่าวเป็นสีเขียวเข้มตลอดแนวชายฝั่งและได้เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกันนี้ใน เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2534 ตั้งแต่บริเวณชายหาดบางแสนไปจนถึงบริเวณอ่าวอุดม และในปี พ.ศ. 2535 ช่วงระหว่างปลายเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนกรกฎาคมตั้งแต่อ่างศิลาไปจนถึง อ.ศรีราชา

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในทะเลเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนและสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในธรรมชาติทั้งปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ เช่น เติลธิสภาพของมวลน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม สารอาหาร พฤติกรรมของแพลงก์ตอนพืช เป็นต้น (ไทยถาวร เติลธิวิทยาประสิทธิ์, 2536) การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุมาจาก *N. scintillans* มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและนับวันจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้นตามลำดับซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ การประมงและการท่องเที่ยวเป็นอย่างมาก

#### 1.1.4 ความเป็นพิษของ *N. scintillans* ต่อสัตว์น้ำ

การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุมาจากการเพิ่มจำนวนขึ้น อย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* ไม่มีรายงานความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Uhlig และ Sahling, 1990) แต่มี รายงานถึงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ Adnan (1989) รายงานการเกิดในน้ำเปลี่ยนสีที่ทำให้ปลา และสัตว์หน้าดินตายจำนวนมากบริเวณอ่าวจาการ์ตา (Jakarta bay) ประเทศอินโดนีเซียซึ่งมีรายงาน ปลาตายครั้งแรกวันที่ 31 กรกฎาคม ค.ศ. 1986 ลักษณะปลาที่ตายจะลอยน้ำ ห้องแตก และมีจุดดำ บริเวณร่างกาย จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในวันที่ 5 สิงหาคม ค.ศ. 1986 ภายหลังจากที่ปลาตายแล้ว พบความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนเตรด และฟอสเฟต 9.21-9.49, 20.2-25.1 และ 7.8-32.7 ไมโครกรัมอะตอม/ลิตร ตามลำดับ สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัยและเววดา ทองระอา (2536) รายงานว่า ขณะที่ *N. scintillans* ตายและเริ่มสลายตัวพบว่าน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งมีปริมาณออกซิเจน ลดลง และมีค่าแอมโมเนียสูงขึ้นซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปลาและสัตว์ทะเลบริเวณชายฝั่งตายเป็น จำนวนมากโดยชนิดของปลาที่ตายส่วนใหญ่เป็นปลาหน้าดินและปลาที่เข้ามาหากินบริเวณชายฝั่ง ชนิดของปลาที่สำรวจพบบริเวณชายฝั่งศรีราชา และบางพระ เช่น ปลากระพงขาว ปลาดุกทะเล ปลากะรังจุดน้ำตาล ปลากะบอก เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสุนีย์ สุวภักดิ์ (2540)

ที่พบว่า สาเหตุการตายของสัตว์น้ำบริเวณชายฝั่งทะเล จ.ชลบุรี ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2534 เนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* ซึ่งพบจำนวนเซลล์หนาแน่นมากกว่า 2,000 เซลล์/มิลลิลิตร ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำลดลง ความเป็นกรด-เบสต่ำกว่าปกติและมีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่า 10 เท่าเป็นผลให้ปลาและสัตว์หน้าดินตายเป็นจำนวนมากโดยปลาที่ตายส่วนมากเป็นปลาหน้าดิน มีปลาอีกเป่ามากที่ผู้คนอกนั้นมิปลาวัว ปลาแป้น ปลาข้างตะกวดลายโค้ง หอยหลายชนิด ปลิงทะเลและปู เป็นต้น

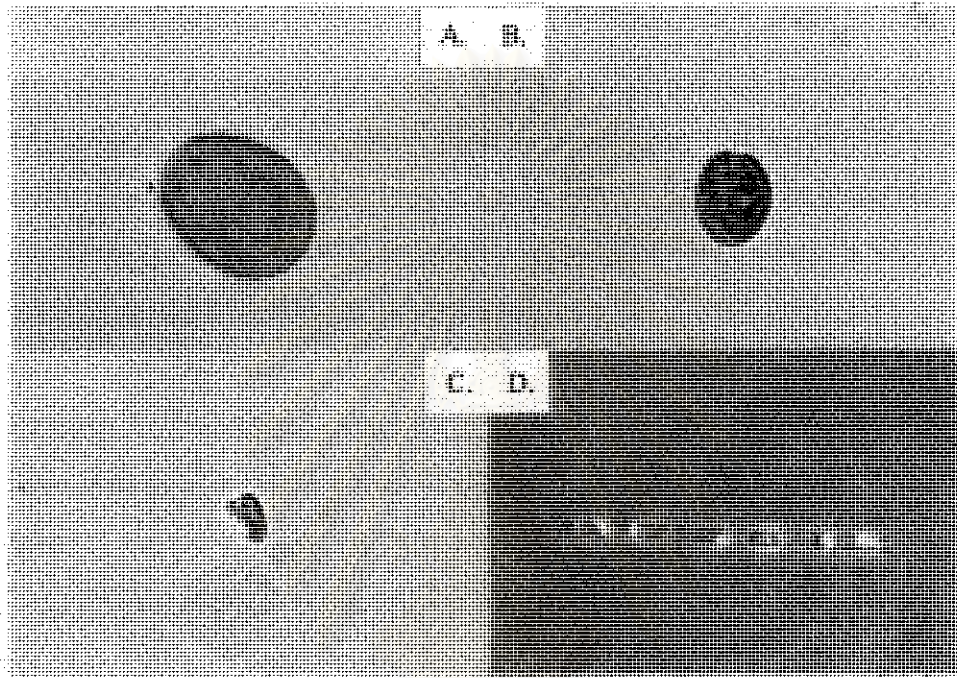
Okaichi และคณะ (1991) วิเคราะห์ของเหลวที่บรรจุอยู่ในเซลล์ของ *N. scintillans* ทางเคมี พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำ 3.30-6.48 มิลลิโมล/กรัม น้ำหนักแห้งและ  $\text{NH}_4\text{-N}$  3.30-4.92 มิลลิโมล/กรัม น้ำหนักแห้ง Ammonia nitrogen ในเซลล์ของ *N. scintillans* อาจมีส่วนสำคัญต่อวัฏจักรไนโตรเจนบริเวณชายฝั่งทะเล ระดับความเข้มข้นของ inorganic nutrients โดยเฉพาะอย่างยิ่ง  $\text{PO}_4\text{-P}$  และ  $\text{NH}_4\text{-N}$  จะพบสูงบริเวณที่เกิดน้ำเปลี่ยนสี (4.0-4.6 และ 78.4-86.8 ไมโครโมล ตามลำดับ) ซึ่ง  $\text{NH}_4\text{-N}$  และ  $\text{PO}_4\text{-P}$  ที่เกิดขึ้นมาจากการขับถ่ายของเสียจากเซลล์ การไหลซึมออกมาจากเซลล์และการแตกของเซลล์ *N. scintillans* จำนวนมาก (Schaumann และคณะ, 1988) ammonia-nitrogen ที่พบในเซลล์ของ *N. scintillans* มีค่าอยู่ระหว่าง 6.6-68.9 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง (Okaichi และ Nishio, 1976)

## 1.2 แพลงก์ตอนพืชสำหรับใช้เป็นอาหารเลี้ยงเซลล์ *N. scintillans*

### 1.2.1 *Dunaliella* sp. (รูปที่ 4A)

แพลงก์ตอนพืช *Dunaliella* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวจัดอยู่ใน Division Chlorophyta (Hoek และคณะ, 1995) เซลล์มีรูปร่างเป็นรูปไข่ปลายด้านหน้าแหลมกว่าด้านท้ายมีความยาวเซลล์ประมาณ 8-25 ไมโครเมตร กว้างประมาณ 5-15 ไมโครเมตร มีแฟลเจลลาจำนวน 2 เส้น คลอโรพลาสต์มีลักษณะเป็นรูปถ้วยอยู่ด้านหลัง มีไพรีนอยด์ 1 อันและมีจุดรับแสงอยู่ใกล้โคนแฟลเจลเลต 1 จุดหรือไม่มีเลย *Dunaliella* sp. มีบทบาทในการสะสมเบตาแคโรทีนได้ในปริมาณสูง (5-15 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) กลีเซอรอล (20-40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) และโปรตีน (30-40 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) ใช้เป็นอาหารได้โดยตรง (Vonshak, 1990; Ben-Amotz และ Avron, 1989 อ้างถึงใน Powtongsook, 1993)

การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศของ *Dunaliella* sp. โดยการแบ่งเซลล์ตามความยาวในขณะที่เป็นเซลล์ที่เคลื่อนที่ได้หรือสร้างเปลือกหุ้มเซลล์ให้มีผนังหนาขึ้น การสืบพันธุ์แบบมีเพศโดยการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 เพศได้ไซโกต แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้พบแพร่กระจายตามทะเลสาบน้ำเค็ม ที่ขังน้ำชายฝั่งทะเล นาเกลือ นาุ้ง ที่มีน้ำเค็มขัง และแหล่งน้ำที่มีความเค็มสูงมาก (สุนีย์ สุวภิพันธ์, 2527)



รูปที่ 4 ลักษณะเขตต์ของแพลงก์ตอนพืชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย

A. *Dunaliella* sp. (330 เท่า) B. *Tetraselmis* sp. (198 เท่า)

C. *Isochrysis* sp. (198 เท่า) D. *Skeletonema* sp. (66 เท่า)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1.2.2 *Tetraselmis* sp. (รูปที่ 4B)

แพลงก์ตอนพืช *Tetraselmis* sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ใน Division Chlorophyta (Hoek และคณะ, 1995) เซลล์โดยรวมมีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือมีรูปร่างคล้ายรูปหัวใจมีรอยเว้าเล็กน้อยบริเวณส่วนบน มีแฟลเจลลาจำนวน 4 เส้น ภายในเซลล์จะประกอบไปด้วยนิวเคลียส 1 อัน คลอโรพลาสต์เป็นรูปถ้วยมี 4 พู มีจุดรับแสงบริเวณด้านข้างหรือกลางเซลล์ ภายในคลอโรพลาสต์จะมีคลอโรฟิลล์ เอและคลอโรฟิลล์ บี ในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบแป้งและโพรีนอยด์ 1 อันด้วย แพลงก์ตอนพืช *Tetraselmis* sp. สามารถที่จะนำไปเป็นอาหารได้เนื่องจากมีโปรตีนสูงซึ่ง Zagic (1970) ได้ศึกษาองค์ประกอบภายในเซลล์ของ *Tetraselmis* sp. พบว่า มีคาร์โบไฮเดรต 5 เปอร์เซ็นต์และ โปรตีนสูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์

*Tetraselmis* sp. สามารถสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศในขณะที่เคลื่อนที่ได้โดยการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส และมีการแบ่งซ้ำกันอย่างรวดเร็วแบบทวีคูณตามความยาวเซลล์ แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้มีความทนทานต่อความเค็มในช่วงกว้างดังนั้นจึงสามารถพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

### 1.2.3 *Isochrysis* sp. (รูปที่ 4C)

แพลงก์ตอนพืช *Isochrysis* sp. เซลล์มีสีน้ำตาลอมทองจัดอยู่ใน Division Haptophyta (Hoek และคณะ, 1995) เซลล์ยาว 5-6 ไมโครเมตร เป็นเซลล์เดี่ยวๆ มีหนวดจับแบบเส้น 2 เส้นยาว 7 ไมโครเมตร ไม่มีระยางค์พิเศษที่ทำหน้าที่คล้ายหนวดที่เรียกว่า haptonema หรือถ้ามีขนาดจะเล็กมากจนเกือบมองไม่เห็น สามารถสืบพันธุ์ได้ทั้ง 2 แบบ ได้แก่ การสืบพันธุ์แบบมีเพศ โดยการรวมตัวกันของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 เพศ และการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ โดยการแบ่งเซลล์ตามยาว

### 1.2.4 *Skeletonema* sp. (รูปที่ 4D)

แพลงก์ตอนพืช *Skeletonema* sp. เป็นไดอะตอมจัดอยู่ใน Division Heterokontophyta (Hoek และคณะ, 1995) เซลล์มีลักษณะเรียงต่อกันเป็นลูกโซ่ มีขนาดตั้งแต่ 4-15 ไมโครเมตร สืบพันธุ์แบบไม่มีเพศโดยการแบ่งเซลล์ซึ่งขนาดของเซลล์จะลดลงเรื่อยๆ และเมื่อเซลล์แบ่งตัวจนกระทั่งมีขนาดเล็กกว่า 7 ไมโครเมตรแล้วจะเริ่มดำเนินการสืบพันธุ์แบบมีเพศและเมื่อก่อนเป็นเซลล์ใหม่จะได้เซลล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม แพลงก์ตอนพืชชนิดนี้พบแพร่กระจายในช่วงอุณหภูมิกว้าง ตั้งแต่ 3-34 องศาเซลเซียส ช่วงความเค็ม 15-34 ส่วนในพัน แต่ช่วงความเค็มที่เหมาะสมคือ 25-29 ส่วนในพัน

### 1.3 สัตว์น้ำที่ใช้ในการทดสอบความเป็นพิษของ *N. scintillans*

สัตว์น้ำที่นำมาใช้ทดลอง ได้แก่ กุ้งกุลาดำวัยอ่อนและปลากะพงขาววัยรุ่น ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่เกิดจากการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* มีรายงานว่า เป็นสาเหตุการตายของสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาและสัตว์หน้าดิน เนื่องจากการลดลงของออกซิเจนในน้ำเป็นเวลานานประกอบกับมีปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าปกติ (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2540) นอกจากนี้การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณอ่างศิลาถึงแหลมฉบังในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2534 และในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2535 ตั้งแต่อ่างศิลาจนถึงอำเภอดุสิต ยังมีรายงานความเสียหายต่อการเลี้ยงปลากะพงขาวและปลาเก๋าในกระชังและทำความเสียหายต่อการเพาะฟักและอนุบาลกุ้งกุลาดำบริเวณชายฝั่งเนื่องจากต้องใช้น้ำทะเลคุณภาพดีเพื่อการเพาะเลี้ยงและอนุบาลลูกกุ้งดังกล่าว (สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัยและแววดา ทองระอา, 2536) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกกุ้งกุลาดำเป็นตัวแทนของสิ่งมีชีวิตที่หากินหน้าดินและปลากะพงขาวเป็นตัวแทนของสัตว์ที่อาศัยอยู่ในมวลน้ำ

#### 1.3.1 กุ้งกุลาดำ

กุ้งกุลาดำเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และเป็นที่ยอมรับกันมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทยด้วยเนื่องจากมีลักษณะเด่นหลายประการคือ มีขนาดใหญ่ เนื้อมีรสชาติอร่อยและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีราคาดี และเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ การส่งออกกุ้งกุลาดำทำรายได้ให้กับประเทศไทยปีละกว่า 40,000 ล้านบาทและคิดอันดับ 1 ใน 5 ของสินค้าที่มีมูลค่าส่งออกสูงสุดของประเทศและเป็นสินค้าที่ใช้แรงงานจากเกษตรกรภายในประเทศล้วน นับแต่การเพาะเลี้ยง ห้างเย็น จนถึงการส่งออก นอกจากนี้ประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกกุ้งกุลาดำเพาะเลี้ยงรายใหญ่อันดับหนึ่งของโลกในปี พ.ศ. 2536 และ 2537 อีกด้วย (มารุต มัสยวาณิช, 2541) โดยในปี พ.ศ. 2537 มีการส่งออกสูงสุด 190,650 ตัน คิดเป็นมูลค่า 48,190 ล้านบาทซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2536 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ (กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2539) ตามธรรมชาติกุ้งกุลาดำตัวเมียจะวางไข่ในทะเลที่มีน้ำลึกตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป แม่กุ้งจะสามารถวางไข่ได้ 100,000-1,200,000 ฟอง (Motoh, 1980) หลังจากไข่ถูกผสมแล้ว 10-13 ชั่วโมงจะเจริญเป็นตัวอ่อนระยะแรกคือ nauplius จากนั้นอีก 2-3 วันจะเจริญเป็นตัวอ่อนระยะ zoea หรือ protozoea จะมีการลอกคราบอีกหลายครั้งเพื่อเจริญเป็นตัวอ่อนระยะ mysis ต่อจากนั้นตัวอ่อนระยะ mysis จะมีการลอกคราบอีกหลายครั้งภายในเวลา 3-5 วันจึงจะเจริญเป็นตัวอ่อนระยะสุดท้ายคือ postlarva ลูกกุ้งระยะ postlarva จะมีลักษณะคล้ายกับกุ้งที่โตเต็มวัยมี carapace คลุมปิดด้านข้างของอกมิด กริมิฟัน 2 คู่ exopodites ของขาเดินจะหายไปหรือถ้าเหลืออยู่ก็มีขนาดเล็กมาก ขาเดิน 3 คู่แรกมีลักษณะเป็นก้ามมองเห็นชัด คู่แรกสั้นและคู่ที่ 3 ยาวที่สุดหางจะแคบเข้าจนแหลม ลูกกุ้งใน

ระยะนี้เริ่มมีระยางค์ครบเหมือนกุ้งโตเต็มวัยโดยจะว่ายน้ำไล่จับอาหาร ลูกกุ้งมีการลอกคราบหลายครั้งกว่าจะโตเต็มที่

กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Giant Tiger Prawn, Black Tiger Shrimp ถูกจำแนกหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้ (Solis, 1988)

Phylum Arthropoda

Class Crustacea

Subclass Malacostraca

Order Decapoda

Suborder Natantia

Infraorder Penaeoidea

Superfamily Penaeoidea

Family Penaeidae Rafinesque

Genus *Penaeus*

*Penaeus monodon* Fabricius

### 1.3.2 ปลากะพงขาว

ปลากะพงขาวเป็นปลาที่มีผู้นิยมบริโภคจำนวนมากเนื่องจากเนื้อนุ่มรสชาติอร่อย มีโปรตีนสูง และเป็นปลาที่กำลังได้รับความสนใจจากเกษตรกรผู้ประกอบอาชีพเลี้ยงสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตเร็ว ขายได้ราคาดี โดยใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงประมาณ 6-8 เดือนก็สามารถจับขายได้และยังสามารถเลี้ยงให้เจริญเติบโตทั้งในน้ำจืดและน้ำกร่อย ลูกปลากะพงขาวอายุประมาณ 23-27 วัน ขึ้นไปจะมีระบบย่อยอาหารและอวัยวะต่างๆเหมือนตัวเต็มวัย โดยกระเพาะอาหารจะแบ่งเป็นชั้นๆชัดเจน พบ gastric gland ในกระเพาะอาหารส่วนต้นมากขึ้น ภายในช่องเปิดเหงือกใกล้ขอบด้านบนของเหงือกจะพบต่อมไทมัสเจริญดีมาก บริเวณท่อไตพบเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาวจำนวนมาก พบ pancreatic islets กระจายอยู่ใน exocrine pancreas ซึ่งอยู่ใน mesentery (ชลด ถิ่นสุวรรณและคณะ, 2528) ปลากะพงขาวชอบอาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเลหรือตามปากแม่น้ำที่มีความเค็มค่อนข้างต่ำ พบมากตามจังหวัดชายทะเลที่มีแม่น้ำ เช่น บางประกง ประแสร์ จันทบุรี แม่น้ำเวฬุ ระนอง นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี สงขลา สตูล และสมุทรสงคราม (กรมประมง, 2512) ปลากะพงขาวจะวางไข่ในฤดูฝนหรือเริ่มฤดูฝนเล็กน้อยราวเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน น้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้ปลาวางไข่และลูกปลาจะว่ายน้ำเข้าไปอาศัยอยู่ตามแอ่งน้ำตื้นๆบริเวณป่าชายเลน (บุญศรี บุญเรืองและคณะ, 2512)

ปลากระพงขาว (*Lates calcarifer*) มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Sea bass, Giant sea perch ถูกจำแนกหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้ (Nelson, 1976 อ้างถึงใน นิตยา วชิรชัยไพศาล, 2527)

Phylum Chordata

Subphylum Vertebrata

Class Pisces

Subclass Teleostomi

Order Percomorphi

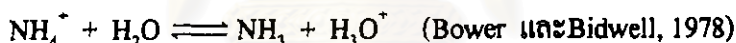
Family Centropomidae

Genus *Lates*

*Lates calcarifer* Bloch

## 2. ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำ

แอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำมี 2 รูปคือ แอมโมเนียที่เป็นไอออน (ionized ammonia,  $\text{NH}_4^+$ ) และแอมโมเนียที่ไม่เป็นไอออน (un-ionized ammonia,  $\text{NH}_3$ ) ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกันดังสมการ



การที่แอมโมเนียจะอยู่ในรูปใดและมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ (total ammonia nitrogen) ซึ่งเป็นผลรวมของ  $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{NH}_3$  กับขบวนการ nitrification ไปมีผลให้แอมโมเนียลดลงโดยเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์และไนเตรท (Emerson และคณะ, 1975) ionized ammonia, ( $\text{NH}_4^+$ ) จะไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ (Hrudey, 1979) ส่วนแอมโมเนียที่มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากที่สุดจะอยู่ในรูป un-ionized ammonia, ( $\text{NH}_3$ ) (Armstrong และคณะ, 1978; Hrudey, 1979 และ Thurston และคณะ, 1981) แอมโมเนียจะมีความเป็นพิษมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในขณะนั้นว่าจะส่งผลให้เกิด un-ionized ammonia ได้มากน้อยแค่ไหน ดังนั้นการใช้ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำเป็นครุขณบอกความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อสัตว์น้ำอย่างเดียวจึงไม่พอ (ทริเย จันทรแก้ว, 2540) คุณสมบัติของน้ำที่มีผลทำให้ค่าแอมโมเนียเปลี่ยนแปลงได้แก่ ความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ อีอนิกสเตรนจ์ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยค่า un-ionized ammonia จะแปรผันตามค่าความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิ (Wuhrmann และคณะ, 1947) และจะแปรผกผันกับค่า อีอนิกสเตรนจ์และความเค็ม (Trussell, 1972; Emerson และคณะ, 1975 และ Bower และ Bidwell, 1978) ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีผลต่อ un-ionized ammonia เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำลดลง 30-50 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นสูงสุดที่ออกซิเจนสามารถละลายน้ำได้จะทำให้ค่า un-ionized ammonia เพิ่มขึ้น (Thurston และ Russo, 1978)



Fromm และ Gillette (1968) กล่าวว่า un-ionized ammonia ในน้ำสามารถซึมผ่านเนื้อเยื่อเหงือกได้อย่างรวดเร็วและขัดขวางการกำจัดแอมโมเนียออกจากร่างกายของสัตว์น้ำเช่นเดียวกับ Hampson (1976) ที่กล่าวว่า un-ionized ammonia สามารถซึมผ่านผนังเซลล์ได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้พลังงานและยังสามารถสะสมในส่วนที่เป็นไขมันของเนื้อเยื่อเซลล์ได้ด้วยทำให้ un-ionized ammonia เป็นพิษต่อสัตว์น้ำซึ่งต่างจาก ionized ammonia ที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำเกาะอยู่มาก และมีประจุไฟฟ้าทำให้ไม่สามารถผ่านเข้าผนังเซลล์ได้ สัตว์น้ำจะขับถ่ายแอมโมเนียออกจากร่างกายโดยทางเหงือกเป็นส่วนใหญ่ (Smith, 1929; Wood, 1958 และ Payan และ Matty, 1975) โดยขับออกมาจากตับถึง 80 เปอร์เซ็นต์และอีก 20 เปอร์เซ็นต์จะมาจากการทำลายกรดอะมิโนที่เนื้อเยื่อเหงือกเอง (Goldstein และคณะ, 1964 และ Payan และ Matty, 1975) แอมโมเนียที่สัตว์น้ำกำจัดออกมาจะมีทั้ง 2 รูปคือ ionized ammonia และ un-ionized ammonia สำหรับพิษเฉียบพลัน (acute toxicity) ของ un-ionized ammonia ที่มีต่อสัตว์น้ำ Brockway (1950) กล่าวว่า เมื่อแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 0.3 ส่วนในล้านจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในเลือดลดลงและจะลดลงเหลือเพียง 1 ใน 7 ของสภาวะปกติเมื่อระดับแอมโมเนียสูงถึง 1 ส่วนในล้านในขณะเดียวกันปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้อิโมโกลบินในเม็ดเลือดของสัตว์น้ำสูญเสียความสามารถในการรวมตัวกับออกซิเจนทำให้ความดันและการนำออกซิเจนต่ำกว่าปกติ นอกจากนี้แอมโมเนียยังมีผลต่อสรีรวิทยาบางประการของสัตว์น้ำด้วย เช่น ระบบควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ และการแลกเปลี่ยนก๊าซภายในร่างกายของสัตว์น้ำ เนื่องจากแอมโมเนียทำให้น้ำซึมผ่านเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำได้มากขึ้น โดยปกติระดับแอมโมเนียในเลือดของสัตว์น้ำจะสูงกว่าระดับแอมโมเนียภายนอกในร่างกายหลายเท่าตัว สัตว์น้ำจะมีการกำจัด un-ionized ammonia ส่วนเกินผ่านทางเหงือกโดยการแลกเปลี่ยนระหว่าง  $\text{NH}_4^+$  กับ  $\text{Na}^+$  ระหว่างตัวสัตว์น้ำกับสภาพแวดล้อมภายนอก เมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกตัวสัตว์น้ำมีค่าแอมโมเนียสูงขึ้นจะส่งผลต่อการกำจัดแอมโมเนียออกจากร่างกายของสัตว์น้ำทำให้การกำจัดแอมโมเนียลดลงหรืออาจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการไหลย้อนกลับของแอมโมเนียเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำส่งผลให้ระดับแอมโมเนียในเลือดสูงขึ้นจนเป็นเหตุให้สัตว์น้ำตาย (สุขุม เรว้าใจ, 2530) และในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำ ความเข้มข้นของแอมโมเนียทั้งภายในและภายนอกร่างกายของสัตว์น้ำจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการแพร่ของ un-ionized ammonia จากภายนอกเข้าสู่ภายในร่างกายของสัตว์น้ำจึงไม่เกิดขึ้นแต่ ionized ammonia ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแอมโมเนียจะไปขัดขวางการไหลเข้า-ออกของโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบควบคุมการแพร่ของโมเลกุลน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์น้ำทำให้อัตราการตายในที่สุด สำหรับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำที่ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียต่ำๆจะไม่ทำให้อัตราการตายแต่จะมีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของสัตว์น้ำซึ่งอาจจะ

แสดงออกมาในรูปของการลดลงของอัตราการเติบโต การยืดระยะเวลาฟักตัวของไข่ อัตราการตายของตัวอ่อนเพิ่มขึ้น และสัตว์น้ำอ่อนแอลง

2.1 ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อกุ้ง การศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อกุ้งโดย Armstrong และคณะ (1978) ศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน *Macrobrachium rosenbergii* พบว่า ที่ความเป็นกรด-เบสของน้ำสูง (ประมาณ 8.4) ความเข้มข้นของ un-ionized ammonia ภายนอกตัวกุ้งจะสูงกว่าภายในตัวกุ้งทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของแอมโมเนียเข้าสู่ตัวกุ้งจนกระทั่งเป็นอันตรายต่อระบบเซลล์ (cellular system) ความเป็นพิษเนื่องจากการแพร่ของ un-ionized ammonia นี้จะทำให้กุ้งตายภายในเวลา 2-18 ชั่วโมงเท่านั้น นอกจากนี้ จารูวรรณ วิระวษัญญูตร (2525) ศึกษาพิษเฉียบพลันของแอมโมเนียที่มีต่อกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน *M. rosenbergii* ระยะต่างๆ กัน พบว่า กุ้งก้ามกรามวัยอ่อนคร่าที่มีอายุมากกว่าจะมีความทนทานต่อพิษของแอมโมเนียได้สูงกว่ากุ้งก้ามกรามที่มีอายุน้อยกว่าโดยค่า 48-hr LC<sub>50</sub> ของ un-ionized ammonia ที่มีต่อกุ้งก้ามกรามอายุ 5 วัน 12 วัน 23 วัน และ 35 วัน มีค่า 1.53, 1.85, 2.08 และ 1.77 ส่วนในล้าน ตามลำดับ

ศิริ ทุกข์วินาศ (2527) ศึกษาผลของแอมโมเนียต่ออัตราการตายของกุ้งกุลาดำวัยอ่อน *P. monodon* ระยะ P10 พบว่า แอมโมเนียจะมีความเป็นพิษสูงในช่วง 8-20 ชั่วโมงและ 24-hTLM (Median Tolerance Limit) มีค่า 48.21 และ 3.95 ส่วนในล้านของปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในน้ำ (total ammonia nitrogen) และแอมโมเนียที่ไม่เป็นไอออน (un-ionized ammonia) ตามลำดับ

Allan และคณะ (1990) ศึกษาผลของแอมโมเนียต่อกุ้งกุลาดำและกุ้งตะกาดระยะ juvenile ที่ความเค็ม 34 ส่วนในพัน อุณหภูมิ 25.1 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-เบส 8.0 พบว่า ปริมาณ Ammonia-nitrogen ที่มีค่าเพิ่มขึ้น 0.48 และ 0.89 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นผลให้กุ้งทั้ง 2 ชนิดมีการเติบโตลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม

Chen และ Lin (1992) ศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อกุ้ง *P. penicillatus* ที่ความเค็ม 33 ส่วนในพันและค่าความเป็นกรด-เบส 8.24 พบว่า ระดับความเข้มข้นของ un-ionized ammonia 0.75 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้น้ำหนักของกุ้งลดลง 50 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

2.2 ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อปลา การศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อปลา โดย Lloyd (1961) พบว่า แอมโมเนียมีผลต่อระบบหายใจเป็นอันดับแรกเพราะในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อยกว่าปกติจะทำให้พิษของแอมโมเนียสูงขึ้นและ Robinette (1976) พบว่า ค่า un-ionized ammonia ในปริมาณ 0.12 ส่วนในล้านมีผลทำให้การเติบโตของปลาคูก้านลดลงอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Burkhalter และ Kaya (1977) พบว่า un-ionized ammonia ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถยับยั้งการเติบโตและพัฒนาการของลูกปลา rainbow trout ในระยะ sac fry ได้เช่นเดียวกับ Alderson (1979) พบว่า ปลา *Solea solea* และ *Scophthalmus maximus* ซึ่งเลี้ยงในน้ำความเค็ม 34 ส่วนในพัน อุณหภูมิ 16 องศาเซลเซียสมีการเติบโตลดลงเมื่อค่า un-ionized ammonia ในน้ำเพิ่มขึ้นและ Sadler (1981) ได้ศึกษาความเป็นพิษของแอมโมเนียที่มีต่อ European EEL, *Anguilla anguilla* น้ำหนักเฉลี่ย 2.8 กรัม พบว่าการเติบโตเริ่มลดลงเมื่อปริมาณ un-ionized ammonia มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราการเติบโตลดลงใกล้ศูนย์เมื่อปริมาณ un-ionized ammonia มีค่าเพิ่มเป็น 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร Lloyd และ Orr (1969) ตั้งเกตุว่าปลา Rainbow trout ที่สัมผัสกับแอมโมเนียจะมีการดูดซึมน้ำเข้าสู่ร่างกายมากขึ้นและยังตั้งเกตุว่าการตายของปลาที่สัมผัสกับแอมโมเนียอาจเนื่องมาจากอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าการขับของเสียออกจากร่างกายและ สิริ ทุกข์วินาศ (2527) ศึกษาผลของแอมโมเนียต่ออัตราการตายของลูกปลากะพงขาว (*L. calcarifer*) อายุ 18 วัน พบว่า อาการของลูกปลาเมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียที่ระดับความเข้มข้นสูงจะผิดปกติทันทีคือว่ายน้ำไป-มาอย่างรวดเร็วและไม่มีการหายใจที่แน่นอนเทียบการทรงตัวและโผล่ขึ้นมาหายใจที่ผิวน้ำบ่อยๆในที่สุดก็ตลบและจมลงสู่ก้นถึงทดลอง Sousa และ Mcade (1977) ศึกษาผลของแอมโมเนียต่อปลา Coho Salmon พบว่า คายเนื่องจากระบบการหายใจขัดข้องเพราะ un-ionized ammonia ไปกระตุ้นให้เกิดกระบวนการไกลโคลิซิส (glycolysis) และขัดขวางการเกิดวัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) ทำให้มีการสะสมสารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นกรดจากกระบวนการสร้างและสลาย (metabolism) เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความเป็นกรด-เบสของเลือดลดลง สภาวะเช่นนี้ทำให้ความสามารถในการรวมตัวของฮีโมโกลบินกับออกซิเจนลดลง

### 3. บทบาทของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่อสัตว์น้ำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำที่อาศัยออกซิเจนในการดำรงชีวิตทั้งนี้เพราะสิ่งมีชีวิตในน้ำต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการสร้างและสลายซึ่งได้จากการหายใจ ในสัตว์ที่มีระบบเลือดการนำออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่อวัยวะภายในจะถูกพาไปโดย respiration pigment ในกระแสเลือด อัตราการใช้ออกซิเจนกับกระบวนการเมตาบอลิซึมจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตและปริมาณความร้อนที่ได้จากการใช้ออกซิเจนไปในกระบวนการสร้างและสลายจะมีค่าคงเสมอที่ไม่ว่าสารที่ถูกออกซิไดส์จะเป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีนหรือไขมันโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.8 กิโลคาลอรี/ลิตร (Giese, 1968 และ Schmidt-Nielsen, 1975) ในสัตว์พวกกุ้งการขนส่งออกซิเจนผ่านผิวเหงือกทำได้โดยกระบวนการแพร่ในเลือด Lockwood (1967) พบว่า กระบวนการแพร่ของออกซิเจนในเลือดมี 2 รูปแบบ คือ

การที่ออกซิเจนละลายอยู่ในเลือดโดยตรงส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งออกซิเจนจะเกาะติดไปกับ respiration pigment ซึ่งในกุ้งวงศ์ตัวที่ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจะเป็นฮีโมไซยานินโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปสารละลาย ฮีโมไซยานินที่มีออกซิเจนจะมีสีฟ้า และจะไม่มีสีเมื่อไม่มีออกซิเจนเกาะอยู่

ในธรรมชาติปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และการละลายของออกซิเจนจากอากาศแต่โดยส่วนใหญ่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2525) ความสามารถในการละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเค็ม ความดันอากาศ ความเร็วของกระแสและอัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น (Maitlan, 1987) ส่วนการสูญเสียออกซิเจนออกจากมวลน้ำมีด้วยกันหลายสาเหตุ ได้แก่ การแพร่กลับสู่บรรยากาศในช่วงที่ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณสูงเกินจุดอิ่มตัว แต่ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำตกลงอย่างรวดเร็วคือการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้ ได้แก่ เศษอาหารที่มากเกินไป (Schroeder, 1975 และ Boyd, 1985) ซากแพลงก์ตอนพืชและแพลงก์ตอนสัตว์ (Boyd และ Ahmad, 1987 และ Boyd, 1979; 1982) สิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำ นอกจากนี้การเน่าสลายของสารอินทรีย์และสิ่งขับถ่ายของสัตว์น้ำยังเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารซึ่งทำให้เกิดการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนและเมื่อแพลงก์ตอนเหล่านี้ตายลงจะเกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงยิ่งขึ้น Madenjian และคณะ (1987) กล่าวว่า การลดลงของปริมาณออกซิเจนในน้ำส่งผลให้สัตว์น้ำเกิดอาการเครียดและตาย เช่นเดียวกับ Boyd และคณะ (1978) ทดลองเลี้ยงปลา Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) แบบหนาแน่น พบว่า การลดลงของปริมาณออกซิเจนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานเป็นสาเหตุให้ปลาไม่กินอาหาร เติบโตช้า อ่อนแอ และตายในที่สุด นอกจากนี้ยังพบการติดเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดอันตรายในสัตว์น้ำด้วย

การศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของกุ้งและปลาโดย Swingle (1969) อ้างถึงใน Boyd (1982) พบว่า ปริมาณออกซิเจนมากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร การสืบพันธุ์และการเติบโตของปลาเป็นไปอย่างปกติ ปริมาณออกซิเจน 1-3 มิลลิกรัม/ลิตร ปลาจะอาศัยอยู่ได้แต่การสืบพันธุ์และการเติบโตจะลดลงถ้าอยู่ในสภาวะนี้ต่อเนื่องกัน และปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นผลให้ปลาตายเมื่ออยู่ในสภาวะนี้นาน 2-3 ชั่วโมง ในกุ้งการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำสุดที่กุ้งสามารถทนอยู่ได้มีค่าระหว่าง 1.5-3.5 มิลลิกรัม/ลิตร แต่อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่มากเกินไปจุดอิ่มตัว (supersaturate) คือมากกว่า 250 เปอร์เซ็นต์ของระดับอิ่มตัวจะทำให้กุ้งเป็นโรคฟองอากาศ (gas bubble disease) มีอาการว่ายน้ำไม่มีทิศทาง และลอยขึ้นมาบริเวณผิวน้ำ เหวือกหรือเนื้อเยื่ออื่นจะมีฟองอากาศอยู่ภายใน (Lightner และคณะ, 1974 และ Sindermann และ Lightner, 1988) ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.5 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 55 เปอร์เซ็นต์

ของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัว แต่เพื่อความปลอดภัยควรสำรองไว้ที่ 4.5 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ (อรพินท์ จินตสถาพร, 2530)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย