หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
คำนำ

ปัญหาที่มักพบได้ในบริเวณชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำ คือ ปัญหาการเพิ่มจำนวนอย่างมากในเวลาอันรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชในทะเลที่เรียกว่าปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (water discolouration) ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในประเทศไทยนั้นพบว่ามีมานานแล้ว แต่ในปัจจุบันปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้เกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าในอดีต บางครั้งการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีค่อนข้างรุนแรงและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก แพลงก์ตอนพืชที่มักพบว่าเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำของประเทศไทยได้แก่ *Noctiluca scintillans* จากการสำรวจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2530 พบปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีทั้งหมด 43 ครั้ง ซึ่ง 17 ครั้งมี *N. scintillans* เป็นสาเหตุ (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2538) ครั้งที่รุนแรงเกิดขึ้นเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2534 เกิดการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วของ *N. scintillans* ตั้งแต่บริเวณหาดบางแสนไปจนถึงบริเวณอ่าวอุดม จังหวัดชลบุรีและช่วงปลายเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม ในปี พ.ศ. 2535 เกิดขึ้นบริเวณอ่างศิลาไปจนถึงอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ทำให้น้ำเน่าเสียและมีปลาตายเป็นจำนวนมาก (สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา, 2536)

เมื่อเกิดน้ำเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุจาก *N. scintillans* จะทำให้น้ำทะเลมีสีเขียวเข้มซึ่งเป็นสีของสาหร่ายสีเขียว *Pedinomonas noctilucae* ที่อาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* นั่นเอง การพบสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดนี้อยู่ด้วยกันน่าจะเนื่องมาจากการได้รับประโยชน์จากกันและกัน กล่าวคือ ในภาวะที่มีแสง *P. noctilucae* ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงโดยใช้สารอนินทรีย์ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* และผลผลิตที่ได้จะส่งให้ *N. scintillans* ใช้ในการเติบโต นอกจากนี้ยังพบว่าในภาวะที่ *N. scintillans* ขาดแคลนอาหารซึ่งได้แก่ แพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็ก *N. scintillans* ก็จะย่อย *P. noctilucae* เป็นอาหาร (Sweeney, 1976) และเมื่อ *P. noctilucae* ในเซลล์ของ *N. scintillans* มีปริมาณลดลงหรือหมดไปเซลล์ของ *N. scintillans* จะซีดและตายในเวลาต่อมา (กิตติพร ทวีอักษรพันธ์, 2530) จะเห็นได้ว่า *P. noctilucae* และ *Noctiluca* มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในเขตอบอุ่น (temperate zone) เซลล์ของ *Noctiluca* มีลักษณะใสหรือมีสีชมพูอมแดงปราศจากเซลล์ของ *Pedinomonas* ซึ่งแตกต่างจากในเขตร้อน (tropical zone) ที่พบ *Pedinomonas* ในเซลล์ของ *Noctiluca* โดยมีความหนาแน่นประมาณ 6,000-10,000 เซลล์ต่อ 1 เซลล์ *N. scintillans* (Okaichi และคณะ, 1991) ด้วยเหตุนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ความเค็ม สารอาหาร ความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *P. noctilucae* เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะการดำรงชีวิตตลอดจนการกระจายของ *P. noctilucae* ในธรรมชาติด้วย

วัตถุประสงค์

1. หาระดับปัจจัยของความเค็ม สารอาหาร ความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *P. noctilucae*

2. ศึกษาชีววิทยาของ *P. noctilucae* เช่น ลักษณะเซลล์ และการแบ่งเซลล์ เป็นต้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงอิทธิพลของความเค็ม สารอาหาร ความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *P. noctilucae* ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการอธิบายการกระจายของแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ในธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำรวจเอกสาร

อนุกรมวิธาน

Pedinomonas noctilucae ได้ถูกจัดลักษณะทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้

Division Chlorophyta

Class Pedinophyceae nom. typif. class. nov. (Moestrup, 1991)

Order Pedinomonadales ord. nov. (Ett, 1966)

Family Pedinomonadaceae Korshikov 1938

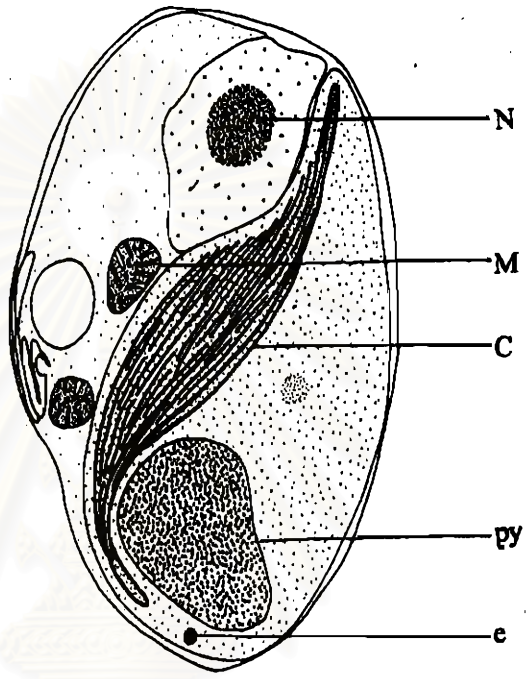
Genus *Pedinomonas* Korshikov 1923

Species *Pedinomonas noctilucae* (Sweeney, 1976)

ในอดีตนั้น Cox (1980) ได้จัดให้ *Pedinomonas* อยู่ใน Division Chlorophyta และอยู่ใน Class Prasinophyceae หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1991 Moestrup ได้จำแนกให้ *Pedinomonas* อยู่ใน Class ใหม่คือ Class Pedinophyceae ซึ่งมีสมาชิกใน Class นี้ 3 สกุลด้วยกัน คือ *Pedinomonas*, *Resultor* และ *Marsupiomonas*

ลักษณะทั่วไป

P. noctilucae มีรูปร่างรีเป็นรูปไข่ ขนาดความยาวเซลล์ประมาณ 5.0-6.0 ไมครอน กว้างประมาณ 4.0-4.5 ไมครอน ส่วนของแส้ (flagellum) มีความยาวประมาณ 6 ไมครอน การเคลื่อนที่ของ *P. noctilucae* มีลักษณะแบบหมุนเป็นเกลียว ขณะเคลื่อนที่เซลล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (จันทนา สุขปรีดี และกิตติพร ทวีอักษรพันธ์, 2530; Okaichi และคณะ 1991; Sweeney, 1976) จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนโดย Okaichi และคณะ (1991) พบว่าทางด้านหน้าของเซลล์ *P. noctilucae* มีร่องลึกลงไปเป็นแอ่ง ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของแส้และพบขน (hair) บนแส้ *P. noctilucae* มีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นรูปเกือกม้า และส่วนของไรโซพลาสต์ (rhizoplast) อยู่ทางด้านหลัง มีอาหารสะสมในรูปไพรีนอยด์ (pyrenoid) ซึ่งล้อมรอบด้วยแผ่นแป้ง นอกจากนั้นยังพบว่าภายในเซลล์มีจุดน้ำมันขนาดใหญ่ด้วย ทางด้านข้างของคลอโรพลาสต์ค่อนไปทางด้านล่างพบนิวเคลียส 1 อัน นิวคลีโอลัส (nucleolus) วางตัวอยู่ตามยาวของนิวเคลียส มีอายสปอต 1 อัน นอกจากนั้นยังพบว่าภายในเซลล์มีไมโทคอนเดรียกระจายอยู่หลายอัน (Sweeney, 1976) (รูปที่ 1-1)



รูปที่ 1-1 โครงสร้างภายในเซลล์ *P. noctilucae* (x10,000)

N = nucleus

M = mitochondria

C = chloroplast

py = pyrenoid

e = eyespot

(ที่มา : กิตติพร ทวีอักษรพันธ์, 2530)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสืบพันธุ์

จากการศึกษาของ Pickett-Heaps และ Donald (1974) พบว่า *P. noctilucae* มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแบ่งเซลล์ตามแนวยาว (longitudinal fission) ส่วนการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศที่พบจะเป็นแบบไอโซแกมี (isogamy)

Pickett-Heaps และ Donald (1974) ได้ทำการศึกษาถึงการสืบพันธุ์แบบไมโตซิสของ *Pedinomonas minor* โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอน แบ่งเป็นระยะต่างๆ ดังนี้

1. Interphase

ในระยะนี้คลอโรพลาสต์มีขนาดใหญ่มาก ประกอบด้วยไพรีนอยด์ 1 อัน เห็นส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์(cell membrane) และอายสปอตได้ชัดเจน ส่วนของช่องว่างขนาดใหญ่ประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่ส่วนบนสุดของเซลล์ กอลไจบอดี้ (golgi body) และไมโทคอนเดรีย ในเซลล์ปกติ *Pedinomonas* มีแส้เพียง 1 เส้นเท่านั้น แต่จากการศึกษาพบว่าเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะแบ่งเซลล์จะมีการสร้างแส้ขึ้นอีก 1 เส้น และมีส่วนของเบซัลบอดี้ (basal body) เพิ่มขึ้นอีก 1 อัน ส่วนของไรโซพลาสต์มีการสร้างตัวขึ้นเล็กน้อยซึ่งอยู่ติดกับข้างหนึ่งของเบซัลบอดี้ รูทเลทไมโครทิวบูล (rootlet microtubule) และมีการกระจายตัวจากส่วนของเบซัลบอดี้อยู่ทั่วไปในเซลล์

2. Prophase

ในระยะนี้เซลล์ของ *Pedinomonas* มีแส้ 2 เส้น เบซัลบอดี้ 2 อัน โดยเบซัลบอดี้ใหม่นี้จะเอียงเข้าหาเบซัลบอดี้เดิม บริเวณรอบๆ ของเบซัลบอดี้ประกอบด้วยไมโครทิวบูล (microtubule) มากมาย โดยยื่นออกมาจากส่วนของพลาสมาเลมมา (plasmalemma)

ขั้นตอนการเกิดเส้นใยสปินเดิลและการแบ่งนิวเคลียสในระยะนี้สังเกตได้ยากและมีข้อมูลในการศึกษาในเรื่องนี้น้อยมาก

3. Metaphase

ในระยะนี้เป็นระยะที่เริ่มมีการแบ่งนิวเคลียส และแส้มีการแยกออกจากกันโดยแต่ละเส้นฝังตัวอยู่คนละขั้วของเซลล์ ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเริ่มแบ่งเซลล์ตามแนวยาว จะมีเส้นใยสปินเดิลยึดอยู่ระหว่างขั้วในลักษณะเชื่อมติดกัน (close spindles) ในแต่ละขั้วจะอยู่ติดกับเยื่อหุ้มนิวเคลียส ไรโซพลาสต์ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน อายสปอตและคลอโรพลาสต์แบ่งเป็น 2 ส่วน เซลล์เริ่มคอดเข้าหากันตรงกลาง

4. Anaphase

ในระยะนี้เส้นใยสปินเดิลหดสั้นลงและดึงโครโมโซม (chromosome) ไปยังแต่ละขั้วของเซลล์ ไมโทคอนเดรียแบ่งเป็น 2 ส่วน

5. Telophase

ระยะเทโลเฟสนี้ส่วนของเซลล์กว้างขึ้นและคอดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งเกิดขึ้นโดยการดึงของเส้นใยสปินเดิล แล้วจะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่แต่ละขั้วของเซลล์ จากนั้นเกิดการแบ่งไซโตพลาสซึม (cytokinesis) เกิดเป็นเซลล์ใหม่สมบูรณ์ 2 เซลล์

ในปัจจุบันการศึกษาถึงการสืบพันธุ์ของแพลงก์ตอนพืชสกุล *Pedinomonas* มีน้อยมากจึงขอกล่าวถึงการสืบพันธุ์ของแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ใน Class Prasinophyceae ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับ *Pedinomonas* มากที่สุดและอยู่ใน Division Chlorophyta เช่น Barlow และ Cattolico (1981) ศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิสใน *Mantonella squamata* (Manto and Parke) Desikchary (Class Prasinophyceae) พบว่าจะเกิดการแบ่งออร์แกเนลล์(organelles) ต่างๆในเซลล์ก่อน จากนั้นจะเริ่มมีการแบ่งส่วนของคลอโรพลาสต์ตามมา ในระยะโปรเฟสไมโครทิวบูลถูกสร้างขึ้นโดยออกมาจากช่องที่อยู่บริเวณขั้วของเซลล์และอยู่ติดกับเยื่อหุ้มนิวเคลียส คลอโรพลาสต์เคลื่อนที่ไปอยู่ในแต่ละข้างของเซลล์ ในระยะเมตตาเฟสส่วนของเส้นใยสปินเดิลที่อยู่ในแต่ละขั้วจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นและเกิดการคอดของเซลล์ใหม่ ในส่วนที่แคบลงนั้นประกอบด้วยไมโครทิว-บูลและนิวเคลียสซึ่งติดต่อกับส่วนของเบซัลบอดี้ที่มีแฟลเจลลัมฝังอยู่ เมื่อเข้าสู่ระยะเทโลเฟสเกิดการแบ่งส่วนของไมโครทิวบูล นิวเคลียสและเส้นใยสปินเดิลออกจากกันได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชใน Class Prasinophyceae ยังมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศด้วยเช่นการศึกษาของ Suda และคณะ (1989) ศึกษาการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของ *Nephroselmis olivacean* พบว่า *N. olivaceae* มีการสืบพันธุ์แบบ "Heterothallic" โดยเซลล์สืบพันธุ์ (gametes) 2 เซลล์นั้นโดยทั่วไปมีลักษณะเหมือนกันแต่มีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน เมื่อเกิดการจับคู่ จึงเรียกเซลล์สืบพันธุ์ทั้ง 2 เป็นเซลล์สืบพันธุ์บวก (plus gamete) และเซลล์สืบพันธุ์ลบ (minus gamete) ในขณะที่เกิดการจับคู่ของเซลล์สืบพันธุ์นั้นเซลล์สืบพันธุ์ลบจะอยู่ด้านล่างของเซลล์สืบพันธุ์บวก โดยอยู่ติดกับบริเวณฐานแส้ (flagellate base) ของเซลล์สืบพันธุ์บวก ไซโกต(zygote) ที่เติบโตเต็มที่แล้วมีรูปร่างทรงกลม หลังจากนั้นก็จะได้เซลล์ลูก (daughter cells) 2 เซลล์ โดยแต่ละเซลล์นั้นมีไพรีนอยด์ 2 อัน ต่อมาจะมีการแบ่งอีกครั้งได้ผลเป็นเซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีไพรีนอยด์เพียง 1 อัน

<u>ลักษณะการดำรงชีวิตของ *P. noctilucae*</u>

P. noctilucae อาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *Noctiluca* ซึ่งจะพบภาวะอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน (symbiosis) ระหว่าง *P. noctilucae* และ *Noctiluca* นี้ในเขตร้อนเท่านั้น (tropical zone) (Sweeney, 1971; Okaichi และคณะ, 1991) โดยในสภาวะที่มีแสง *P. noctilucae* ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงและผลผลิตที่ได้จะส่งให้ *Noctiluca* โดยปกติ *Noctiluca* มีการกินแพลงก์ตอนพืชที่

มีขนาดเล็กกว่าเป็นอาหาร หรือดูดซึมอินทรีย์สารที่อยู่ในน้ำทะเลไปใช้ได้โดยตรง (Lee, 1980) แต่ในภาวะที่ขาดแคลนอาหาร Sweeney (1976) พบว่า *Noctiluca* ย่อย *P. noctilucae* เป็นอาหาร และจากการศึกษาของกิตติพร ทวีอักษรพันธ์ (2530) พบว่า *N. scintillans* จะซีดและตายเมื่อเซลล์ของ *P. noctilucae* มีปริมาณลดลงหรือหมดไป

ในปัจจุบันยังไม่มีรายงานว่าพบ *P. noctilucae* อาศัยอยู่แบบอิสระในน้ำทะเลธรรมชาติ จากการศึกษาองค์ประกอบของเหลวภายในเซลล์ของ *Noctiluca* ซึ่งเก็บจากอ่าวไทยโดย Okaichi และคณะ (1991) พบว่าของเหลวภายในเซลล์ของ *Noctiluca* มีสภาพเป็นกรด-เบสประมาณ 4.5-5.5 เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอินทรีย์อยู่หลายชนิดนั่นเอง ด้วยเหตุนี้จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ไม่พบ *P. noctilucae* ในน้ำทะเลธรรมชาติซึ่งมี กรด-เบสประมาณ 8.0

เนื่องจากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของ *Pedinomonas* กับ *Noctiluca* ไม่มีมาก่อนจึงต้องอาศัยข้อมูลจากสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ตัวอย่างเช่น ปะการังเป็นสัตว์ชนิดหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับสาหร่ายเซลล์เดียว Zooxanthellae (*Symbiodinium* spp.) เป็นอย่างมากจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า Zooxanthellae มีความสำคัญต่อการเติบโตของปะการังในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ทั้งนี้เนื่องจาก Zooxanthellae ให้สารประกอบคาร์บอนแก่ปะการัง ส่วนใหญ่เป็นกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของตัวปะการัง (polyp) และให้สารประกอบไนโตรเจนแก่ปะการัง ด้วยซึ่ง Zooxanthellae ได้สารอนินทรีย์จากน้ำทะเล และสารอินทรีย์ที่ปะการังขับออกมา แล้วนำสารเหล่านี้มาสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนซึ่งจะส่งไปยังเนื้อเยื่อของปะการัง (อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์, 2531) นอกจากนี้ Hoeuge-Guldberg และSmith ศึกษาถึงปรากฏการณ์ฟอกขาว (bleaching) ในปะการัง พบว่า การที่ปะการังมีสีซีดขาวและตายในที่สุดนั้นเกิดจาก Zooxanthellae ซึ่งอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการังมีจำนวนลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสิ่งแวดล้อมอย่างฉับพลัน ทำให้คลอโรฟิลล์_เอ (chlorophyll-a) ใน Zooxanthellae มีจำนวนลดลงจนไม่สามารถสังเคราะห์แสงและส่งผลผลิตไปสู่ปะการังได้ Fitt และคณะ (1993) พบว่า เมื่อมีการเติมสารอนินทรีย์ในไตรเจนละลายน้ำ (dissolved inorganic nitrogen; NH_3^- หรือ NO_2^-) เพิ่มลงในบริเวณที่เลี้ยงหอยมือเสือ (*Tridacna derasa)* การแบ่งเซลล์ของ Zooxanthellae ซึ่งอาศัยอยู่ในส่วนเนื้อเยื่อ (mantle) ของหอยมือเสือเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้อัตราการเติบโตของหอยมือเสือสูงขึ้นด้วย

นอกจากความสัมพันธ์ระหว่าง Zooxanthellae กับปะการังและหอยมือเสือ ยังมีความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นด้วย เช่น การศึกษาของ Charles และคณะ (1989), อู่แก้ว ประกอบไวทยกิจ บีเวอร์ (2531) พบว่าไฮดราสีเขียว (green hydra) ใน genus Chlorohydra มีสาหร่ายสีเขียวที่อยู่ใน genus *Chlorella* อาศัยร่วมอยู่ด้วยโดยอาศัยอยู่ในเซลล์ของไฮดราสีเขียวและ *Chlorella* ส่งสารประกอบคาร์บอนคือ น้ำตาลมอลโทส (moltose) ไปยังไฮดราถึง 50 เปอร์เซนต์

ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด น้ำตาลมอลไทสนี้เมื่ออยู่ในไฮดราจะเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่จำเป็นต่อการเติบโตของไฮดราอีกหลายชนิด

<u>ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช</u>

<u>อุณหภูมิ</u>

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมอัตราการสังเคราะห์แสงในแพลงก์ตอนพืช โดยปกติอัตราการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชนั้นเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) แต่จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดนั้นมีค่าที่แตกต่างกัน ความสามารถของแพลงก์ตอนพืชที่จะทนต่อช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินั้นจะเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์และความอยู่ตัวของเอนไซม์ภายในเซลล์ โดยทั่วไป ปฏิกริยาทางชีวเคมีในอุณหภูมิสูงจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าในอุณหภูมิต่ำ แต่ทั้งนี้จะต้องอยู่ไม่สูงเกินขอบเขตที่เอนไซม์จะสลายตัวไป (Ostrom, 1966 อ้างถึงในศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร, 2520)

ในธรรมชาติการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชมิได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงปัจจัยเดียวแต่จะมีอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความเข้มแสง สารอาหาร ช่วงเวลาที่ได้รับแสง เป็นต้น Latala (1991) ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ และแสงสว่าง ต่อการเติบโตและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช 9 ชนิด ซึ่งแยกจากบริเวณอ่าว Gdansk ประเทศโปแลนด์ โดยเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดในช่วงความเค็มตั้งแต่ 0-35 ส่วนในพัน อุณหภูมิ 5-38 องศาเซลเซียสและความเข้มแสงตั้งแต่ 20-380 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที จากการทดลองพบว่าแพลงก์ตอนพืช 3 ชนิด ชอบอาศัยในอุณหภูมิสูง ส่วนอีก 3 ชนิด ชอบอาศัยอยู่ในอุณหภูมิปานกลาง ที่เหลืออีก 3 ชนิดชอบอาศัยอยู่ที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยร่วมอยู่กับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นด้วย เช่น สาหร่าย Zooxathellae ที่อาศัยร่วมอยู่กับปะการังหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เป็นต้น Lasser (1996) ได้ศึกษาถึงสาเหตุของปรากฏการณ์ฟอกขาวที่เกิดขึ้นในปะการังและดอกไม้ทะเล โดยทำการแยกเลี้ยงสาหร่าย *Symbiodinium burmudense* (Class Dinophycea) ที่อาศัยร่วมอยู่กับดอกไม้ทะเลชนิด *Aiptasia pallida* ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า อุณหภูมิที่สูงมากเกินไปประมาณ 30-33 องศาเซลเซียส รังสีอุลตร้าไวโอเลตชนิด เอ (UV-A) ความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร และรังสีอุลตร้าไวโอเลตชนิด บี (UV-B) ความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้รงควัตถุใน *S. burmudense* ถูกทำลายจึงไม่สามารถสังเคราะห์แสงและตายไป ทำให้ดอกไม้ทะเลและปะการังมีสีซีดขาว นอกจากนี้ Warner และคณะ (1996) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพ

การสังเคราะห์แสงของ Zooxanthellae ในปะการัง 4 ชนิด คือ *Montrastrea annularis, Agaricia lamaki, Agaricia agaricites* และ *Siderastrea radian* โดยวิธี pulse-amplitude modulation fluorometry (PAM) ในระหว่างที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 30-36 องศาเซลเซียส พบว่า Zooxanthellae ใน *M. annularis* และ *A. lamaki* มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิเร็วมากกล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิถึงระดับ 32 และ 34 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ Zooxanthellae ในปะการังทั้งสองชนิดจะลดลงต่ำกว่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของ Zooxantellae ในปะการัง *S. radians* และ *A. agaricites* การเกิดปรากฏการณ์ฟอกขาวในปะการังแต่ละชนิดโดยมีสาเหตุจากอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับชนิดของ Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมอยู่ในปะการังด้วย เช่น Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมอยู่ใน *M. annularis* มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิเร็วมาก ซึ่งส่งผลไปถึงระบบการสังเคราะห์แสงในเซลล์และในขณะที่ Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมอยู่ใน *S. radians* สามารถกระจายพลังงานส่วนที่มากเกินไปได้ ระบบการสังเคราะห์แสงในเซลล์จึงไม่ถูกทำลายและเติบโตอยู่ได้ นอกจากอุณหภูมิมีผลต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแล้วยังมีผลต่อการกระจายของแพลงก์ตอนพืชด้วย จากการศึกษาของ Tagachi และคณะ (1992) ศึกษาการกระจายของแพลงก์ตอนพืชบริเวณ Koriel Island ประเทศญี่ปุ่น พบว่าเมื่อน้ำทะเลบริเวณที่ศึกษามีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากกระแสน้ำอุ่น Kuroshio แพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็ก 0.2-2 ไมครอนจะถูกแพลงก์ตอนพืชขนาดใหญ่ 2-10 ไมครอน กระจายเข้ามาแทนที่ Lin และ Wang (1993) ศึกษาการกระจายของแพลงก์ตอนพืช 6 ชนิดคือ *Skeletonema costatum, Eucampia zoodiacus, Ceratium fusus, C. breve* var.breve, *C. furca* และ *Noctiluca scintillans* ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณปากแม่น้ำ Pearl ประเทศฮ่องกง พบว่า *S. costatum* มีจำนวนเซลล์สูงสุดและกระจายอยู่มากที่สุด ในช่วงอุณหภูมิ 20-26 องศาเซลเซียส ส่วน *E. zoodiacus, C. fusus, C. breve* var.breve, *C. furca* และ *Noctiluca scintillans* มีการกระจายอยู่ในบริเวณนี้เมื่ออุณหภูมิของน้ำทะเลต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส

<u>ความเค็ม</u>

ความเค็มเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอีกปัจจัยหนึ่งกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มไปจากความเค็มที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชจะส่งผลต่อลักษณะทางสรีรวิทยาและปฏิกริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (Bonin และคณะ, 1981) แพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างรวดเร็ว เช่น เอสทูรี่, แหล่งน้ำกร่อย และที่ลุ่มน้ำเค็ม เป็นต้น สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในเซลล์ได้อย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มจึงมีชีวิตอยู่ในบริเวณนั้นได้ (Vymazal, 1995) แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีระดับความเค็มที่เหมาะ

สมต่อการเติบโต รวมทั้งความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของความเค็มที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาของ Jacob และคณะ (1991) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Prasiola crispa* ในช่วงของความเค็มตั้งแต่ 0.35 ส่วนในพัน (น้ำจืด) ไปจนถึง 175 ส่วนในพัน (สูงกว่าน้ำทะเลปกติ 5 เท่า) ได้ผลว่าที่ระดับของความเค็มต่ำๆ ไม่มีผลต่ออัตราการเติบโต การสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจในช่วงมืด (dark respiration) ของ *P. crispa* ในขณะที่แพลงก์ตอนที่เลี้ยงในความเค็ม 35 ส่วนในพัน จะมีความเข้มข้นของ Na^+, K^+, NH_4^+, Cl^- และ PO_4^{3-} อยู่ในระดับที่ควบคุมการเติบโตของ *P. crispa* ได้เป็นปกติ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มให้สูงมากกว่า 35 ส่วนในพัน อัตราการเติบโต อัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจในช่วงมืดของ *P. crispa* ลดลง และเมื่อมีการเพิ่มความเค็มของอาหารภายนอกพบว่า อิออนอนินทรีย์ (inorganic ion) ในเซลล์เพิ่มสูงขึ้น และจะถูกยับยั้งเมื่อความเค็มของอาหารเลี้ยงภายนอกสูงประมาณ 70 ส่วนในพัน แต่เมื่อลดความเค็มของอาหารเลี้ยงลงเท่ากับระดับปกติ คือ 35 ส่วนในพัน อัตราการเติบโต การสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจของ *P. crispa* จะเป็นปกติอย่างเดิม การศึกษาแพลงก์ตอนพืชสีเขียวที่มักเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีบริเวณอ่าว Gdansk ประเทศโปแลนด์นั้น Plinski และ Jozwiak (1993)ได้นำแพลงก์ตอนพืชทั้งสี่ชนิดที่เป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีมาเลี้ยงที่ระดับความเค็มต่างๆคือ 5, 15และ 30 ส่วนในพัน ซึ่งทำการเลี้ยงทั้งแบบชนิดเดี่ยว (monoculture) และเลี้ยงรวมกัน(mixedcultures) ผลการทดลองพบว่า *Chlorella* และ *Scenedesmus* เติบโตได้ดีที่ความเค็มต่ำๆ ประมาณ 5 ส่วนในพัน แต่ที่ความเค็ม 30 ส่วนในพัน *Crucigenia* เป็นแพลงก์ตอนพืชชนิดเดียวที่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์รวดเร็ว ส่วน *Synechococcus* เติบโตได้น้อยมากที่ความเค็ม 30 ส่วนในพัน และเมื่อเลี้ยง *Synechococcus* รวมกับ *Chlorella* และ *Scenedesmus* ที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันพบว่า *Synechococcus* เติบโตน้อยกว่า *Chlorella* และ *Scenedesmus* และเมื่อนำแพลงก์ตอนพืชสีเขียวทั้งสี่ชนิดนี้มาเลี้ยงที่ความเค็ม 15 ส่วนในพัน พบว่าแพลงก์ตอนพืชทั้งสี่ชนิดมีการเติบโตได้ดี จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแพลงก์ตอนพืชที่นำมาศึกษาสามารถเติบโตได้ในช่วงความเค็มกว้าง (Euryhaline) สำหรับแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยร่วมอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่น ความเค็มมีอิทธิพลต่อการเติบโตเช่นกัน เช่น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเค็มอย่างฉับพลันในบริเวณแนวปะการัง *Stylophora pistillata* และ *Scriatophora hystrix* Dana พบว่า Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมอยู่ในปะการังทั้งสองชนิดนั้นมีความหนาแน่นลดลงเป็นผลให้ปะการังมีสีซีดขาว (Hoeugh-Guldberg และ Smith, 1989) นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชส่งผลต่อการกระจายของแพลงก์ตอนพืชด้วย เช่นพบการกระจายของ *N. scintillans* บริเวณอ่าว Dapeng ประเทศจีน อยู่ในช่วงความเค็ม 23-34 ส่วนในพัน (Qi และคณะ,1996) ส่วนในประเทศไทยพบการกระจายของ *N. scintillans* บริเวณชายฝั่งทะเลอยู่ในช่วงความเค็ม 17-30 ส่วนในพัน (สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา, 2536)

Lin และ Wang (1993) ศึกษาการกระจายของ *S. costatum* บริเวณปากแม่น้ำ Pearl ประเทศฮ่องกง พบว่า *S. costatum* มีจำนวนเซลล์สูงสุด และกระจายอยู่เป็นชนิดหลักในบริเวณนี้เมื่อความเค็มของน้ำทะเลอยู่ในช่วง 25-30 ส่วนในพัน

<u>ความเป็นกรด-เบส</u>

ความเป็นกรด-เบส (pH) เป็นปัจจัยทางเคมีปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อแพลงก์ตอนพืช โดยมีบทบาทสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนอิเลกตรอนที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ของแพลงก์ตอนพืช การขนส่งอิเลกตรอนทางพลาสมาเลมมา (plasmalemma) และศักยภาพทางไฟฟ้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (membrane potential)

ความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเลปกติอยู่ในช่วงประมาณ 7.5-8.5 โดยทำการตรวจวัดจากค่าความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต/บอเรต (bicarbonate/borate) ในน้ำทะเล นอกจากนั้นยังพบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบสไปจากระดับปกติจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของแพลงก์ตอนพืช ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดด้วย (Parsons และTakahashi, 1973) แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีช่วงของความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการเติบโตไม่เท่ากัน สำหรับแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยร่วมอยู่ภายในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นนั้นมีช่วงของความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการเติบโตเช่นกัน จากการศึกษาของ Okaichi และคณะ (1991) ได้ทำการแยก *P. noctilucae* ซึ่งอาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* จากบริเวณอ่าวไทยโดยนำมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีการปรับค่าความเป็นกรด-เบสในระดับต่างๆ พบว่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *P. noctilucae* นั้นอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 แต่ถ้าระดับความเป็นกรด-เบสมากกว่า 5.5 *P. noctilucae* จะหยุดการเติบโต การศึกษาความทนทานต่อความเป็นกรดในสิ่งมีชีวิตอื่น Rahat และคณะ (1989) ได้ทำการศึกษาในสาหร่ายเขียว *Chlorella* 18 ชนิด เพื่อดูว่าสามารถอาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของไฮดรา *Hydra viridis* ได้หรือไม่ เนื่องจากภายในเซลล์ของ *H. viridis* มีสภาพเป็นกรด พบว่า มี *Chlorella* 6 ชนิดที่สามารถอาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *H. viridis* ได้ คือ *C. saccharophila* var ellipsoidea, *C. saccharophilla* var. saccharophilla, *C. fuse* var. vacuolata, *C. kessleri*, *C. luteoviridis* และ *C. protothecoides* โดย *Chlorella* ทั้ง 6 ชนิดนี้อาศัยอยู่ภายในเซลล์ของไฮดราได้นานหลายสัปดาห์ ส่วนที่เหลืออีก 12 ชนิด ไม่สามารถอาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *H. viridis* ได้ จากนั้นได้ทำการศึกษาช่วงของความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการเติบโตของ *Chlorella* ทั้ง 6 ชนิดนี้ พบว่าสามารถเติบโตได้ในระดับความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4.0 หรือต่ำกว่านี้ ด้วยเหตุนี้ *Chlorella* เหล่านี้จึงสามารถอาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ของ *H. viridis* ซึ่งมีสภาพเป็นกรดได้ สาหร่าย Zooxanthellae

จัดเป็น symbiotic อีกชนิดหนึ่งที่อาศัยร่วมอยู่ภายในหอยมือเสือ (giant clam) โดย Zooxanthellae จะอาศัยอยู่ในชั้นเนื้อเยื่อ ของหอยมือเสือก่อนและจะเคลื่อนที่ไปเติบโตในส่วนฮีโมลิม (hemolymp) จากการศึกษาพบว่าในขณะที่หอยมือเสือมีการเติบโตนั้น Zooxanthellae จะมีการดูดซึมแอมโมเนียมอิออนและไนเตรตอิออนเข้าสู่เซลล์โดย Zooxanthellae จะใช้แอมโมเนียมอิออนและไนเตรตอิออนเพื่อการสังเคราะห์แสงและส่งผลผลิตไปสู่หอยมือเสือ เมื่อทำการวัดความเป็นกรด-เบสของส่วนฮีโมลิมบริเวณวีนัสไซนัส (venous sinus) ซึ่งมี Zooxanthellae อาศัยอยู่หนาแน่นที่สุด พบว่าค่าความเป็นกรด-เบสจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดรอบ 1 วัน ค่าความเป็นกรด-เบสสูงสุดวัดได้ประมาณ 8.1 (Fitt และคณะ, 1995) นอกจากค่าความเป็นกรด-เบสมีผลต่อการเติบโตในแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยร่วมอยู่กับสิ่งมีชีวิตอื่นแล้ว แพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่แบบอิสระในแหล่งน้ำความเป็นกรด-เบสส่งผลต่อการเติบโตและการกระจายเช่นกัน เช่น *Euglena mutabilis* ชอบอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำมากประมาณ 4 และในบางครั้งพบว่า *E. mutabilis* สามารถอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเป็นกรด-เบสประมาณ 1.8 ได้ *Chlamydomonas acidophila* เป็นแพลงก์ตอนพืชอีกชนิดหนึ่งที่ชอบอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีความเป็นกรด-เบสประมาณ 1-2 เช่นกัน (Huber-Pestalozi,1995 อ้างถึงใน Vymazal,1995) Kung และคณะ (1994) ทำการสำรวจแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ในทะเลสาบที่มีสภาพเป็นกรด ที่เมือง Chongging ประเทศจีน แพลงก์ตอนพืชที่พบมากที่สุดคือ แพลงก์ตอนพืชในกลุ่ม Chlorophyta มีมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ของจำนวนแพลงก์ตอนพืชทั้งหมด ส่วนกลุ่มที่พบมากรองลงมาคือ กลุ่มไดอะตอม (diatom) ความหนาแน่น, มวลชีวภาพและคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่ระดับความเป็นกรด-เบสน้อยกว่า 5.0 เท่ากับ 23.3-49.9x10^4 เซลล์ต่อลิตร, 0.59-1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.65-3.01 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเป็น กรด-เบสมากกว่า 5.0 แต่น้อยกว่า 6.0 ค่าความหนาแน่นเป็น 433.9-680.0x10^4 เซลล์ต่อลิตร, มวลชีวภาพเท่ากับ 6.6-21.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 14.66-21.19 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ผลของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว จะมีค่าลดลงเมื่อค่าของความเป็นกรด-เบสลดลง Pronina และคณะ (1994) ศึกษาความสัมพันธ์ของความเป็นกรด-เบสภายนอก ต่อการเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแต่ละชนิดโดยการเติมคาร์บอน-ไดออกไซด์ (CO_2) ลงอาหาร ในระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่า *Chlorella* sp. น้ำจืดสามารถเติบโตได้เมื่อเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในอาหารเลี้ยง 100 เปอร์เซนต์ แต่สำหรับสาหร่ายสีเขียวน้ำเค็ม 3 ชนิด คือ *Chlorococcum littorate, Chlorella saccharophila* และ *Stichococcus bacillaris* ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่สามารถเติบโตได้เท่ากับ 20-40 เปอร์เซนต์ ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดนั้นต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีรวิทยาของแพลงก์ตอนแต่ละชนิดด้วย เช่น *Staurastrum pingue* ซึ่งอาศัยในบริเวณที่มีความเป็น

กรด-เบสสูง เมื่อนำมาเลี้ยงในห้องทดลองพบว่าสามารถเติบโตได้ในช่วงของความเป็นกรด-เบส ตั้งแต่ 4-11 ซึ่งมีความทนทานในช่วงที่กว้างมาก (Schulle, 1968 อ้างถึงใน Vymazal, 1995)

<u>สารอาหาร</u>

สารอาหารมีความจำเป็นต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอีกปัจจัยหนึ่ง สารอาหารที่จำเป็นสำหรับแพลงก์ตอนพืชที่จะกล่าวถึงคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

1. ไนโตรเจน

แพลงก์ตอนพืชมีการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายน้ำเข้าสู่เซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์แสง สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของ ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรต (NO_2^-) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ในสารประกอบทั้งหลายของไนโตรเจนนั้น แพลงก์ตอนพืชจะใช้แอมโมเนียมกับไนเตรตมากกว่ารูปอื่น โดยใช้แอมโมเนียมก่อน (Valiela, 1995) *P. noctilucae* เป็นแพลงก์ตอนพืชที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ของ *N. scintillans* ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต้องการธาตุอาหารไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม-ไนโตรเจน ในการเติบโตค่อนข้างสูง ซึ่งเมื่อศึกษาของเหลวภายในเซลล์ของ *N. scintillans* จากประเทศไทยพบว่ามีปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจนสูงกว่าน้ำทะเลธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงไม่พบ *P. noctilucae* กระจายอยู่ภายนอกเซลล์ของ *N. scintillans* เนื่องจากน้ำทะเลธรรมชาติมีธาตุอาหารไม่เพียงพอนั่นเอง (Okaichi และ คณะ, 1991) Paasche (1971) กล่าวว่าเมื่อทำการเลี้ยง *Dunaliella tertiolecta* โดยเติมแอมโมเนียมลงในอาหารเลี้ยงพบว่า *D. tertiolecta* เติบโตได้เร็วกว่าเติมไนเตรตลงในอาหารเลี้ยงถึง 10-30 เปอร์เซนต์ เช่นเดียวกับ Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมกับหอยมือเสือจะดูดซึมแอมโมเนียมที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงก่อน และเมื่อความเข้มข้นของ แอมโมเนียมต่ำกว่า 1 ไมโครโมล Zooxanthellae จึงจะดูดซึมไนเตรตไปใช้ หากเมื่อมีการเพิ่มแอมโมเนียมหรือไนเตรตในน้ำทะเล จะพบว่าหอยมือเสือ (*Tridacna derasa* หรือ *T. gigas*) ในระยะ juvenile ซึ่งมีขนาดเปลือกยาวประมาณ 2-8 มิลลิเมตร ขนาดของเปลือกใหญ่ขึ้นจากเดิมประมาณ 3.5 มิลลิเมตร นอกจากนั้นความหนาแน่นของ Zooxanthellae เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 2 เท่า เช่นในหอยมือเสือที่มีขนาดเปลือกยาวประมาณ 8 มิลลิเมตร เดิมมี Zooxanthellae ที่อาศัยอยู่ในชั้นเนื้อเยื่อประมาณ 1.5×10^6 เซลล์ แต่หลังจากเติมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนลงในน้ำทะเลเป็นเวลา 10 วัน พบว่า Zooxanthellae ในเนื้อเยื่อของหอยมือเสือเพิ่มขึ้นเป็น 3.0×10^6 เซลล์ Muscatine และคณะ(1989) ทำการศึกษาถึงสารอาหารภายนอกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรของ Zooxanthellae ในปะการัง *Stylophora pistillata* ได้ทำการทดลองโดยใช้ แอมโมเนียม, ฟอสเฟต, อาร์ทีเมีย (artemia) และอาร์ทีเมียรวมกับฟอสเฟตเป็นแหล่งอาหาร เพื่อดูว่ามีผลต่อความหนาแน่น

ของประชากรของ Zooxanthellae หรือไม่ พบว่าการเพิ่มอนินทรีย์ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมอิออนลงในน้ำทะเล ทำให้ความหนาแน่นของ Zooxanthellae มากขึ้น ส่วนอาหารชนิดอื่นไม่มีผลต่อการเพิ่มความหนาแน่นของ Zooxanthellae ในปะการัง *S. pistillata* Muller-Parker และคณะ (1994) ศึกษามวลชีวภาพของ Zooxanthellae ที่อาศัยร่วมอยู่ในปะการัง *Pocillopora damicornis* linnaeus ซึ่งใช้เป็นดรรชนีที่บ่งบอกถึงอัตราการเติบโตของปะการัง *P. damicornis* ได้ทำการทดลองโดยเพิ่มระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียมในน้ำทะเลภายนอกเป็น 20 และ 50 ไมโครโมล ทดลองเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียมเท่ากับ 20 ไมโครโมล Zooxanthellae ใน *P. damicornis* มีความหนาแน่นมากขึ้นโดยเพิ่มขึ้นจาก $3.5x10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เป็น $7.5x10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร คลอโรฟิลล์ใน Zooxanthellae เพิ่มจาก 5.7 พิโคกรัม เป็น 8.6 พิโคกรัมส่วนการทดลองที่ใส่แอมโมเนียมที่ระดับความเข้มข้น 50 ไมโครโมล ได้ผลการทดลองไม่แตกต่างกัน การดูดซึมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้โดยแพลงก์ตอนพืชนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ด้วย เช่น แสงสว่าง อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสเป็นต้น (Nybakken,1982) ไนเตรตและแอมโมเนียมจะถูกดูดซึมได้ดีทั้งในที่สว่างและในที่มืด จากการทดลองของ Eppley และ Coatsworth (1968) (อ้างถึงใน Kinne, 1978) พบว่า *Dunaliella tertiolecta* สามารถดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนไปใช้ในการเติบโตได้ทั้งในช่วงมืดและช่วงสว่าง ในขณะที่ไดอะตอม *Dictylum brightwellii* ไม่สามารถดูดซึมสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนถ้าไม่มีแสงสว่าง ดังนั้นอิทธิพลของแสงต่อการดูดซึมสารอนินทรีย์ไนโตรเจนของแพลงก์ตอนพืชนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางสรีรวิทยาและปฏิกริยาชีวเคมีภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดด้วย Wilkerson และ Grunseich (1990) ศึกษาถึงการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในประเทศเปรู ของ ciliated protozoa ที่ชื่อว่า *Mesodinium rubrum* ซึ่งภายในเซลล์ของ *M. rubrum* มีแพลงก์ตอนพืชอาศัยร่วมอยู่ด้วยในลักษณะ symbiotic จากการศึกษาพบว่าบริเวณที่เกิด ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนแขวนลอย (particulate nitrogen) คลอโรฟิลล์และสารประกอบไนโตรเจนละลายน้ำ (dissolved inorganic nitrogen) สูงมาก และ *M. rumbrum* เพิ่มจำนวนมากขึ้นด้วย และพบว่าการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ ของ *M. rumbrum* นั้นแสง ไม่มีผลต่อการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนของ *M. rumbrum* เพราะสามารถดูดซึมได้ทั้งในช่วงมืดและสว่าง

2. ฟอสฟอรัส

ในน้ำทะเลที่มีความเค็มปกติที่มีระดับความเป็นกรด-เบส 8.0 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจะพบว่า 87 เปอร์เซนต์ของฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจนฟอสเฟตอิออน (HPO_4^{2-}) 12 เปอร์เซนต์จะอยู่ในรูปฟอสเฟตอิออน (PO_4^{3-}) และ 1 เปอร์เซนต์จะอยู่ในรูปไดไฮโดรเจนฟอสเฟตอิออน ($H_2PO_4^{2-}$) (มนูวดี ทังสพฤกษ์, 2532)

การดูดซึมฟอสฟอรัสโดยแพลงก์ตอนพืชจะอยู่ในรูปของออโธฟอสเฟต(orthophosphate) แต่จากการศึกษาของ Provasali และ Mclaughlin (1963) พบว่าแพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถนำสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมาใช้แทนออโธฟอสเฟตได้ เช่น สารอินทรีย์ฟอสเฟตเอสเทอร์ กล่าวคือ ในภาวะที่ฟอสเฟตไม่เพียงพอภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชจะสร้างเอ็นไซม์อัลคาลีนฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase) ขึ้นมาเพื่อดูดซึมสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตภายนอก แต่ในภาวะที่มีออโธฟอสเฟตเพียงพอเซลล์จะไม่สร้างเอ็นไซม์ชนิดนี้ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังมีบทบาทสำคัญต่อปฏิกริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชโดยเกี่ยวข้องกับการสร้างและขนส่งพลังงานภายในเซลล์ ซึ่งมีผลต่อการเติบโตและการสืบพันธุ์ของแพลงก์ตอนพืช ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก โปรตีน และฟอสโฟลิปิด นอกจากนั้นเป็นองค์ประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อ ของแพลงก์ตอนพืชด้วย ปฏิกริยาทางชีวเคมีที่ฟอสฟอรัสมีบทบาทที่สำคัญคือการส่งพลังงานผ่านทาง ATP และสารประกอบให้พลังงานอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและหายใจ ระดับความต้องการฟอสฟอรัสในแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันมาก แพลงก์ตอนพืชบางชนิดฟอสฟอรัสมีผลต่อการเติบโต แต่บางชนิดฟอสฟอรัสมีผลต่อการเติบโตเพียงเล็กน้อย เช่น *P. noctilucae* ที่อาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ *N. scintillans* บริเวณประเทศไทยนั้นต้องการธาตุอาหารฟอสฟอรัสในการเติบโตค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบสารประกอบฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสภายในเซลล์ *N. scintillans* จากประเทศไทยซึ่งมี *P. noctilucae* กับ *N. scintillans* จากประเทศญี่ปุ่นซึ่งภายในเซลล์ไม่มี *P. noctilucae* นั้นพบว่ามีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก แสดงให้เห็นว่า *P. noctilucae* ที่อาศัยร่วมอยู่ภายในเซลล์ *N. scintillans* นั้นใช้สารประกอบฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Okaichi และคณะ, 1991) ส่วนในกรณีที่ภาวะแวดล้อมมีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำ แพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถสะสมฟอสฟอรัสไว้ภายในเซลล์ได้ (Vymazal, 1995) Mackereth (1953) อ้างถึงใน Vymazal (1995) กล่าวว่าจากการทดลองพบว่า *Asterionella formosa* สามารถเติบโตได้ดีในภาวะที่มีฟอสฟอรัสในอาหารเลี้ยงไดอะตอม *A. formosa* ประมาณ 1 ไมโครโมลต่อลิตร เนื่องจากว่าในเซลล์ที่ขาดแคลนฟอสฟอรัสนั้นสามารถปรับตัวโดยดูดซึมฟอสฟอรัสในอาหารเลี้ยงมาใช้ในการเติบโตได้ทั้งในช่วงมืดและสว่าง ส่วนในเซลล์ที่มีฟอสฟอรัสเพียงพอแล้วก็จะดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ในช่วงสว่างเท่านั้น

Round (1973) พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Coccochloris perniocystis* มีความต้องการฟอสฟอรัสเพื่อการเติบโตประมาณ 0.45 ไมโครโมล-ฟอสฟอรัสต่อลิตร ใน *Asterionella formosa* ต้องการฟอสฟอรัสเพียง 0.002 ไมโครโมล-ฟอสฟอรัสต่อลิตร

การดูดซึมสารประกอบฟอสฟอรัสโดยแพลงก์ตอนพืชนั้นอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น แสง อุณหภูมิ อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสและความเป็นกรด-เบส เป็นต้น ได้มีการศึกษาถึงการดูดซึมสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสใน *Euglena gracilis* พบว่าแสงและอุณหภูมิเป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการดูดซึมสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์แต่จะมีผลมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดด้วย (Chisholm และ Stross, 1976) ส่วนการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลภายนอกเซลล์แพลงก์ตอนพืชนั้นไม่ส่งผลโดยตรงต่อแพลงก์ตอนพืชแต่มีส่วนในการไปกระตุ้นการดูดซึมฟอสเฟตของแพลงก์ตอนพืชโดยทางอ้อม กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสภายนอกเซลล์ แพลงก์ตอนพืชต้องดูดซึมฟอสเฟตเข้าสู่เซลล์ซึ่งเป็นผลต่อเนื่องจากกระบวนการไฟโตฟอสโฟลิเลชั่น (photophosphorylation) และแพลงก์ตอนพืชจะดูดซึมฟอสเฟตและสังเคราะห์เป็นโพลีฟอสเฟตสะสมสำรองไว้ภายในเซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Vymazal, 1995) อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในน้ำทะเลหรือในอาหารเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชนั้นมีผลต่ออัตราการดูดซึมฟอสเฟตโดยแพลงก์ตอนพืชด้วย สัดส่วนของฟอสเฟตที่ถูกดูดซึมไปใช้จะคงที่ในกรณีที่คำนึงถึงความเข้มข้นของฟอสเฟตเพียงอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของไนเตรต นอกจากในกรณีที่ความเข้มข้นของไนเตรตในอาหารเลี้ยงต่ำมากอัตราการดูดซึมฟอสเฟตจะสูงขึ้น (Bourrelly,1965 อ้างถึงใน Vymazal, 1995) จากการศึกษาของ Stambler และคณะ (1991) พบว่าเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในน้ำทะเล ฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อปะการัง *Pocillophora damicornis* และ Zooxanthellae แต่เมื่อมีการใส่สารอนินทรีย์ไนโตรเจนรวมกับสารอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ความหนาแน่นของ Zooxanthellae ในปะการังมากขึ้นซึ่งเป็นผลจากการที่คลอโรฟิลล์ใน Zooxanthellae มากขึ้นนั่นเอง

Jacobsen และคณะ (1995) ได้ทำการศึกษาบริเวณอ่าว Raunefjorden ประเทศนอร์เวย์ พบว่า เมื่อปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสมีปริมาณเท่ากับ 0.2 μM ในช่วงฤดูใบไม้ผลินั้นความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณนี้จะเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณของธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบ