บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อนุกรมวิธาน

Gymnodinium catenatum Graham 1943 มีการจำแนกตามลักษณะทางอนุกรมวิธานไว้ดังนี้

Phylum Dinophyta

Class Dinophyceae

Order Gymnodiniales

Family Gymnodiniaceae

Genus *Gymnodinium*

Species *Gymnodinium catenatum* Graham1943

ลักษณะทั่วไป

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *G. catenatum* โดย Graham (1943); Blackburn และคณะ (1989); Larsen และ Moestrup (1989); Fukuyo และคณะ (1990); Taylor และคณะ (1995); Steidinger และ Tangen (1996) มีลักษณะทั่วไป ดังนี้

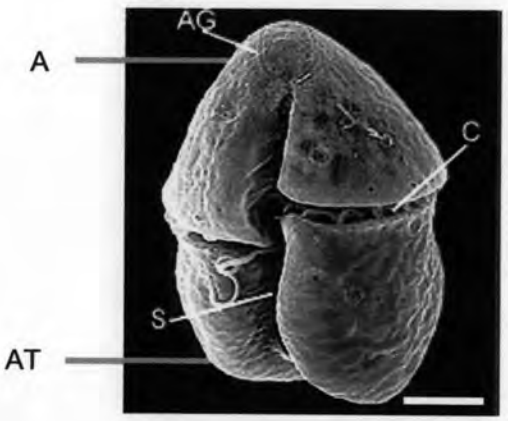
<u>ลักษณะเซลล์</u> *G. catenatum* เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่ไม่มีเปลือกหุ้ม (unarmored form) เซลล์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน epicone และ hypocone (บน-ล่าง) โดยส่วนยอด (apex) จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวย หรือเป็นทรงกลม (conical หรือ rounded) ส่วนล่าง (antapex) มีลักษณะกลมและเป็นร่อง บนเซลล์ปรากฏร่องตามขวาง (girdle grove) และร่องตามยาว (sulcus grove) ซึ่งมีหนวดสองเส้น เส้นที่พาดอยู่บนร่องตามขวางเรียกว่า transversed flagellum หนวดมีลักษณะเป็นแถบ (band-shaped) ช่วยในการหมุนรอบตัวในแกนตั้ง หนวดอีกเส้นอยู่ในร่องตามยาวเรียกว่า longitudinal flagellum เป็นหนวดแบบแส้ (acronematic flagellum) ช่วยในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

<u>ขนาด และรูปแบบของเซลล์</u> *G. catenatum* มีทั้งเซลล์เดี่ยว (single cell) และเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสาย (chain-former) โดยเซลล์เดี่ยวมีลักษณะเป็นทรงกลมรี (elongate-ovoid) เซลล์แบนเล็กน้อยแบบบนด้านข้าง (dorso-ventral compressed) และเซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม-กลม (squarish-ovoid) เซลล์แบนบนลงล่าง (anterior-posterior compressed) ขนาดของเซลล์เดี่ยวกว้าง 27-43 ไมโครเมตร และยาว 34-65 ไมโครเมตร เซลล์ที่เรียงตัวต่อกันเป็นสายจะมีส่วนของความยาวสั้นกว่าเล็กน้อยโดยมีความกว้างเท่ากับ 27-43

ไมโครเมตร และยาว 23-60 ไมโครเมตร เซลล์ที่อยู่ปลายสายจะใหญ่กว่าเซลล์ภายในสายเล็กน้อย มีรูปทรงคล้ายกับเซลล์เดี่ยว โดยทั่วไปสายมีความยาว 4, 8 และ 16 เซลล์ บางครั้งความยาวของสายอาจสูงถึง 64 เซลล์ (รูปที่ 2.1 - 2.2) และ *G. catenatum* สามารถสร้าง resting cyst ซึ่งจะมีลักษณะเป็นทรงกลมสีน้ำตาล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42-52 ไมโครเมตร (รูปที่ 2.3)

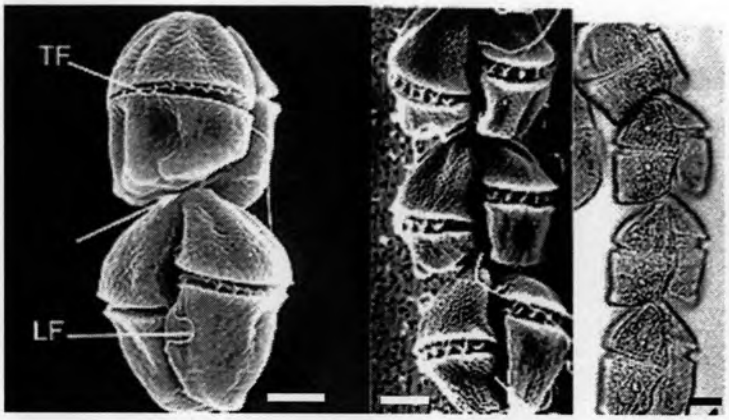
<u>การจำแนกชนิด</u> *G. catenatum* สามารถจำแนกชนิดได้จากการพิจารณาลักษณะดังต่อไปนี้ ตำแหน่งของร่องตามขวางจะอยู่กึ่งกลางเซลล์ (median) โดยที่ร่องตามขวางจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาปลายของร่องตามขวางหมุนวนมาบรรจบกับบริเวณส่วนล่างของจุดเริ่มต้นซึ่งเป็นการเหลื่อมล้ำกันแบบ descending (เหลื่อมล้ำทางซ้ายมือ) จุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของร่องตามขวางห่างกันเท่ากับ 1/5 ของความยาวเซลล์ สำหรับร่องตามยาวจะยื่นจาก antapex ไปถึงส่วนของ apex โดยที่ปลายของร่องตามยาวแยกจาก apical grove ชัดเจน ซึ่ง apical grove เป็นร่องที่มีลักษณะเป็นรูปเกือกม้าล้อมรอบยอดของ apex (รูปที่ 2.1 - 2.2)

<u>ลักษณะอื่นๆ</u> ภายในเซลล์ของ *G. catenatum* มีคลอโรพลาส (chloplast) จำนวนมากกระจายทั่วเซลล์ ไพรีนอยด์ (pyrenoid) เด่นชัด และมีนิวเคลียส (nucleus) ขนาดใหญ่อยู่กลางเซลล์



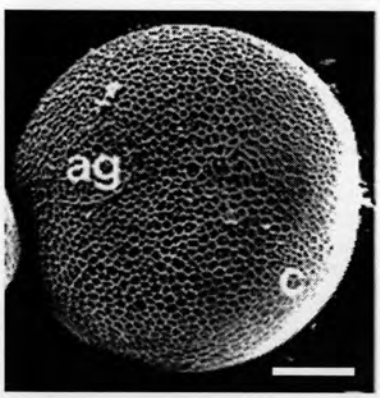
รูปที่ 2.1 ลักษณะเซลล์เดี่ยวของ *G. catenatum* (scale bars = 10 µm)
(Yuki และ Yoshimatsu, 1987)

A	=	apex	AT	=	antapex
C	=	girdle grove	S	=	sulcus grove
AG	=	apical grove			



รูปที่ 2.2 ลักษณะเซลล์ที่มีการเรียงตัวต่อกันเป็นสายของ *G. catenatum* (ศรชี้ : จุดที่ต่อกันเป็นสาย; scale bars = 10 µm) (Yuki และ Yoshimatsu, 1987; Blackburn และคณะ, 1989)

LF = longitudinal flagellum TF = transversed flagellum



รูปที่ 2.3 ลักษณะซีสต์ของ *G. catenatum* (scale = 10 µm) (Blackburn และคณะ, 1989)

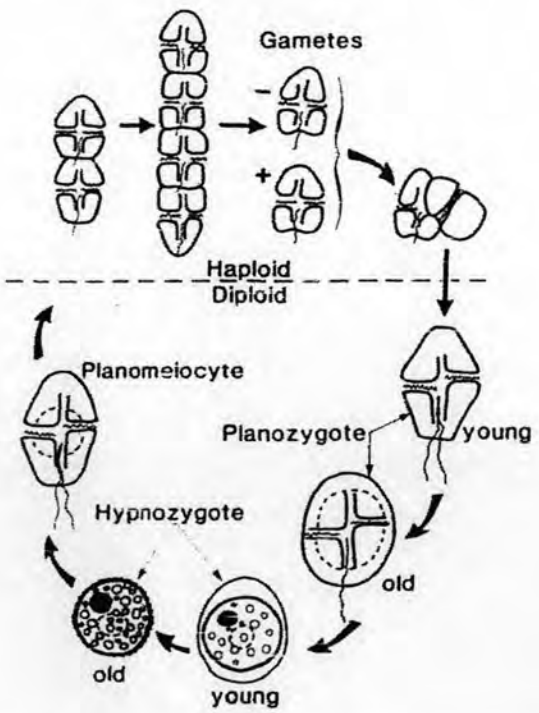
c = girdle grove ag = apical grove

การสืบพันธุ์

การสืบพันธุ์ของ *G. catenatum* มี 2 แบบคือ

1. การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ

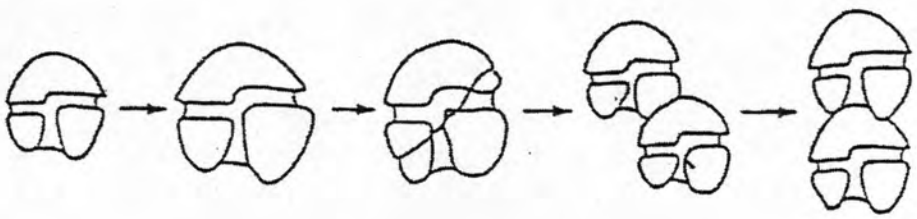
การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ เป็นประเภทการสืบพันธุ์ที่สร้างฮิพโนไซโกต (hypnozygote forming type) หรือ resting cyst วัฏจักรการสืบพันธุ์ของ *G. catenatum* เริ่มจากเซลล์ที่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (motile vegetative cell) มีการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิส (mitosis) ซึ่งเป็นการแบ่งเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช (n) เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ในสาย เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้เป็น heterothallic organism จึงมี clone ที่แบ่งเซลล์แล้วได้ เซลล์สืบพันธุ์ + (mating type +) กับ clone ที่แบ่งเซลล์แล้วได้เซลล์สืบพันธุ์ - (mating type -) เมื่อเซลล์สืบพันธุ์ทั้งสองแบบผสมกันจะเกิดเป็นพลาโนไซโกต (planozygote) ซึ่งจะมีขนาดใหญ่สีเข้มและมี longitudinal flagella 2 เส้น จากนั้นพลาโนไซโกตจะสลัด flagella ทิ้งทั้งหมดทำให้สูญเสียการเคลื่อนที่ แล้วจึงเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็น benthic resting cyst (hypnozygote) ซึ่งเป็นระยะพัก เมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม จะมีการงอกเป็นตัวโดยการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ซึ่งเป็นการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์โดยจะสร้างพลาโนมีโอไซต์ (2n) (planomeiocyte) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพลาโนไซโกต ซึ่งเป็นการเปลี่ยนจากระยะพักเข้าสู่ช่วงการเป็นแพลงก์ตอนอีกครั้ง (planktonic vegetative stage) และมีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศตามปกติ (Blackburn และคณะ, 1989)



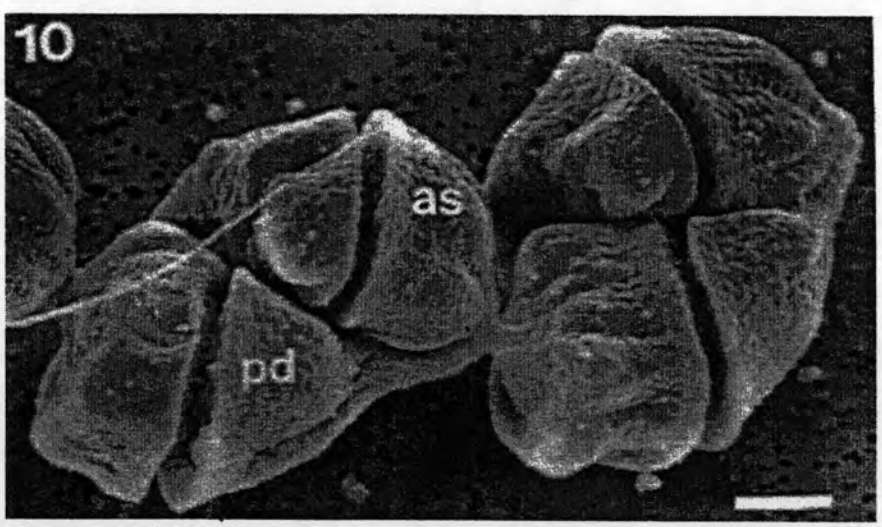
รูปที่ 2.4 การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของ *G. catenatum* (Blackburn และคณะ, 1989)

2. การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการแบ่งเซลล์แบบไมโตซิสเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยวิธี binary fission (แบ่งจากหนึ่งเป็นสอง) ซึ่งเป็นประเภท desmoschissis คือ การแบ่งเซลล์ที่เซลล์ลูกจะมีผนังเซลล์พ่อแม่อยู่ครึ่งหนึ่ง และสร้างผนังขึ้นใหม่อีกครึ่งหนึ่ง และแบ่งเซลล์ในแนวเฉียง (oblique division) พบมากใน Order Gymnodiniales (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540) ในการแบ่งเซลล์นิวเคลียสจะเริ่มมีความกว้างมากขึ้น ต่อมาจะมีลักษณะยาวขึ้นเพื่อแบ่งตัวออกจากกันเป็นสอง นิวเคลียสมีรูปร่างคล้ายลูกแพร์ (pear shapes) โครงสร้างของโครโมโซมจะคงที่ในช่วงกลาง และท้ายของการแบ่งตัว (Figueroa และคณะ, 2006)



รูปที่ 2.5 การแบ่งเซลล์ในแนวเฉียง (oblique division) (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540)



รูปที่ 2.6 การแบ่งเซลล์ในแนวเฉียง (oblique division) ของเซลล์ *G. catenatum* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง (scale bars = 10 μm) (Blackburn และคณะ, 1989)

As = anterio-sinistral pd = posterio-dextral

การกระจาย

G. catenatum พบการกระจายในช่วงกว้างทั้งในบริเวณชายฝั่งทะเลเขตอบอุ่น และเขตร้อน โดยจะพบเพิ่มมากขึ้นตามชายฝั่งที่มีสารอาหารสูง (eutrophication) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายเป็นผลมาจากการกระทำของธรรมชาติ และมนุษย์ *G. catenatum* ถูกนำเข้าสู่ออสเตรเลียโดยอับเฉาเรือสินค้า (ballast water) (Hallegraeff และ Bolch, 1991 อ้างถึงใน Faust และ Gulledge, 2002) อีกทั้งการพัดพาของกระแสน้ำ (Fraga และ Bakun, 1993; Hallegraeff, 1993)

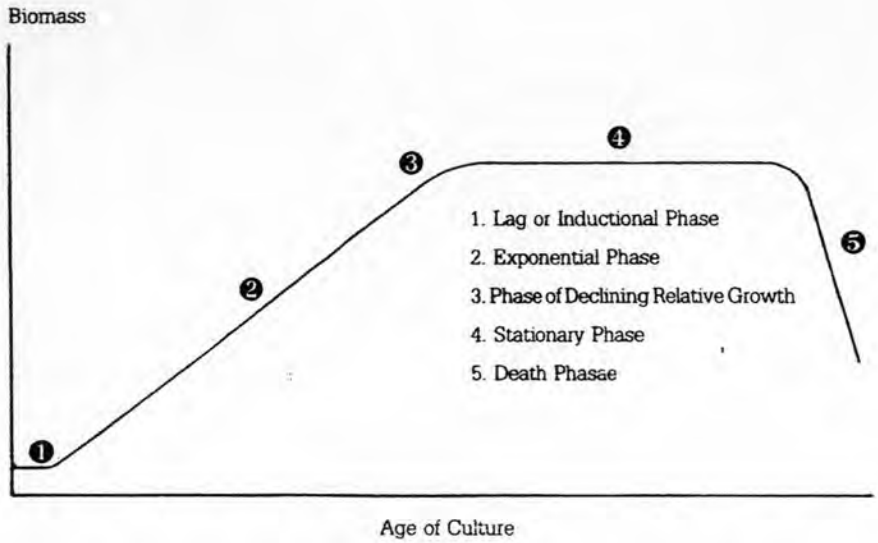
ตารางที่ 2.1 *G. catenatum* ที่พบตามส่วนต่างๆ ของโลก

Year	Location
1939	Gulf of California
1962	Mar del Plata, Argentina
1976	NW Spain
1979	Pacific coast of Mexico
1985	Tasmamia, Australia
1986	Southern Japan
1986	Protugal
1988	Venezuela
1989	Gulf of Thailand
1990	Phillipines
1990	Palau
1992	Uruguay
1994	Morocco
1994	Malaysia

ที่มา : Hallegraeff และ Fraga (1998)

ลักษณะการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

ลักษณะการเติบโต หรือรูปแบบการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ดังนี้ (Fox, 1983 อ้างถึงใน ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540)



รูปที่ 2.7 กราฟการเติบโตของสาหร่าย (Fox, 1983 อ้างถึงใน ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540)

1. ระยะปรับตัว (Lag phase) เป็นระยะที่เซลล์ปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น แสง อุณหภูมิ และธาตุอาหาร ฯลฯ ระยะนี้แพลงก์ตอนพืชไม่มีการแบ่งเซลล์ ฉะนั้นถ้าเซลล์ที่ไม่สามารถปรับตัวได้จะตายลง การที่แพลงก์ตอนพืชจะผ่านระยะปรับตัวนี้จะเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซลล์และความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่เลี้ยง ถ้าสภาพทั้งสองอย่างเหมาะสมจะเข้าสู่ระยะที่ 2 เร็วขึ้น

2. ระยะเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential phase หรือ log phase) เป็นระยะที่แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโต และแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ระยะนี้จะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี ของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ช่วงแสงสว่าง รวมทั้งผลผลิตภายนอกเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช สภาวะโดยรวมของสิ่งแวดล้อม ลักษณะการเติบโตในระยะนี้เป็นแบบที่รวดเร็วในระยะแรกและค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ

3. ระยะเฉื่อย (Retardation phase หรือ phase of declining relative growth) เป็นช่วงที่เซลล์มีการเติบโตช้าลงเพราะขาดแคลนอาหาร เช่นไนโตรเจน เหล็ก คาร์บอน หรือออกซิเจน เนื่องจากปริมาณเซลล์หนาแน่นเกินไป การเสียสมดุลของกรด-เบส (pH) เพราะเกิดแอมโมเนียมากขึ้น หรือแสงสว่างลดลงเนื่องจากเกิดการบังกันเอง (auto-shading)

4. ระยะคงที่ (Stationary phase) เป็นระยะที่การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชหยุดนิ่ง เนื่องจากสารอาหารลดน้อยลง และเกิดจากสารพิษจากขบวนการเมตาบอลิซึมหรือการสลายตัวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น

5. ระยะตาย (Death phase) เป็นระยะที่เซลล์หยุดการเจริญเติบโตอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากธาตุอาหารหมดลง เซลล์จะเริ่มตาย และการตายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ปัจจัยที่สำคัญต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช

1. แสง (Light) เป็นปัจจัยที่สำคัญ เนื่องจากแสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง และยังเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) สำหรับการเติบโตของแพลงก์ตอนพืชอีกด้วย โดยจุดอิ่มตัวของการสังเคราะห์แสง (light-saturation intensity) นั้นแตกต่างกันในแพลงก์ตอนแต่ละชนิด ความเข้มแสง ณ จุดอิ่มตัวของการสังเคราะห์แสงจะทำให้แพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์แสงได้มากที่สุด (Devlin และ Barker, 1971 อ้างถึงใน ชมพูนุช ชัยรัตนะ, 2543) ในการสังเคราะห์แสงแพลงก์ตอนพืชจะสะสมพลังงานของแสงในรูปของพลังงานเคมี (Lips และ Avissar, 1986 อ้างถึงใน พรเทพ วิรัชวงศ์, 2538) ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะใช้สารอนินทรีย์ และพลังงานแสง เพื่อผลิตสารอินทรีย์ และให้ออกซิเจนออกมาในขบวนการสังเคราะห์แสง พืชใช้แสงในการสังเคราะห์แสงได้เฉพาะบริเวณใกล้ผิวน้ำเท่านั้นแต่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องเต็มที่บริเวณผิวน้ำจะได้รับแสงมากเกินไป ทำให้ขัดขวางการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ที่ระดับต่ำกว่าผิวน้ำลงมา บริเวณที่มีแสงเพียงพอแก่การสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนเรียกว่า euphotic layer การสังเคราะห์แสงจะลดลงตามความลึกจนถึงระดับหนึ่งที่ผลผลิตอินทรีย์สารที่ได้โดยการสังเคราะห์แสงเท่ากับปริมาณที่พืชใช้ในการหายใจพอดีที่ระดับนี้เรียกว่า compensation depth ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเหนือระดับนี้ compensation depth จะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล และตำแหน่งของแหล่งน้ำ ซึ่งความลึกที่ระดับนี้เป็นจุดที่ชี้ว่าน้ำปริมาณที่ระดับความลึกเท่าไรที่แพลงก์ตอนพืชจะเติบโตได้ดี (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527)

การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีของ *G. catenatum* ที่อ่าวฮิโรชิมาในช่วงฤดูร้อนถึงฤดูใบไม้ร่วง การเคลื่อนย้ายของแพลงก์ตอนในแนวดิ่ง*G. catenatum* จะอาศัยอยู่ที่ความลึกเท่ากับ 17-20 เมตร มีความเข้มแสง 10 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ เป็นความลึกที่มีความสอดคล้องกับค่า E_0 (compensation depth) ในฤดูร้อน (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ค่าของ E_0 เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็ส่งผลให้ค่าการหายใจก็จะเพิ่มขึ้นด้วย (Yamamoto และคณะ, 2002) และพบว่าระดับของแสงที่ผิวน้ำในช่วงฤดูร้อน (มีค่าเฉลี่ย 2000 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ถึง 4900 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ในช่วงตอนเที่ยงวัน) ส่งผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง ดังนั้น ในชั้นต่ำกว่าผิวน้ำ (subsurface layer) เป็นสภาวะที่

เหมาะสำหรับการอยู่อาศัย (Marshall และคณะ, 2000) สำหรับสายพันธุ์จากอ่าวเซนซากิ มีการเติบโตที่ความเข้มแสงต่ำกว่า 14 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการแบ่งตัว 0.2 ต่อวัน (สัมประสิทธิ์การเติบโต 0.14 ต่อวัน) (Ogata และคณะ, 1989)

2. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีความสำคัญต่อการกระจายของแพลงก์ตอนพืช เพราะแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดแพร่พันธุ์ได้ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเท่านั้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อกระบวนการหายใจ และเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมการแพร่กระจายพันธุ์ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ และฤดูกาลด้วย (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527) อุณหภูมิมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มตามการเพิ่มของอุณหภูมิจนถึงระดับที่อุณหภูมิเหมาะสมต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงกว่านี้อัตราการเติบโตจะลดลง (Darley, 1982 อ้างถึงในชมพูนุท ชัยรัตนะ, 2543) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ *G. catenatum* ในแต่ละพื้นที่จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน ประเทศออสเตรเลีย (แทสมาเนีย), สเปน, ญี่ปุ่น, อาร์เจนตินา่ และเม็กซิโก การเติบโตของ *G. catenatum* ในธรรมชาติอยู่ในระดับอุณหภูมิต่ำกว่า หรือเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส ในขณะที่ประเทศเปรู เวเนสุเอลล่า ฟิลิปปินส์ และไทยการเติบโตของ *G. catenatum* ในธรรมชาติในระดับอุณหภูมิตั้งแต่ 23 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2. การเติบโตของ *G. catenatum* ในแต่ละพื้นที่

Location	Temperature (°C)	
	Culture	nature
Tasmania	14.5-20 range; max 17.5-20; no growth 30 no<12.5	12-18
Denmark	15-29 range; max 20-25, no growth at 9	absent
Spain	14-29 range; max 22-28; no growth 30	12-18
Japan	15-25	6-15;>20
Palau	not available	29.9-29.9
Thailand	not available	>25
Argentina	not available	>17
Mexico	not available	14-17; >20
Venezuala	no data	23-26
Philippines	25	26-29

ที่มา: Hallegraeff และ Fraga (1998)

3. ความเค็ม (Salinity) ชนิดของเกลืออนินทรีย์ และแร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลรวมทั้งน้ำจืดนั้น จะมีผลต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และมีผลต่อการปรับสมดุลเกลือแร่ของเซลล์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการส่งสารผ่านเนื้อเยื่อ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของอิออนในน้ำยังมีผลต่อการเติบโตของแพลงก์ตอนอีกด้วย (Darley, 1982 อ้างถึงใน ชมพูนุท ชัยรัตนะ, 2543) แพลงก์ตอนพืชเติบโตได้ในน้ำที่มีความเค็มเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตั้งแต่ 5-40 psu ซึ่งขึ้นอยู่กับ

ชนิด และที่อยู่อาศัย บางชนิดเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเค็มที่เปลี่ยนแปลงมาก แต่ก็จะมีความเค็มระดับหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการเติบโต ซึ่งจะทำให้มีการเติบโตสูงสุด (ผุสดี ศรีพยัตต์, 2536)

สำหรับระดับความเค็มที่ *G. catenatum* สามารถเติบโตได้ในแต่ละพื้นที่ พบว่าการเติบโตของ *G. catenatum* ที่แยกได้จากจากอ่าวฮิโรชิมาจะเติบโตในช่วงความเค็ม 20-32 psu (Yamamoto และคณะ, 2002) ในขณะที่ *G. catenatum* สายพันธุ์จากแทสมาเนียเติบโตดีที่ช่วงความเค็ม 23 - 34 psu (Hallegraeff, 1989) ในแทสมาเนียเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีระหว่างเดือนธันวาคมถึงมิถุนายน เมื่อความเค็มอยู่ในช่วง 28-34 psu (Hallegraeff และ Fraga,1998) (**ตารางที่** 2.3)

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ และความเค็มที่แตกต่างกันของ *G. catenatum*

Strain	Temperature(°C)	Salinity
Hiroshima Bay, Japan	20-30 (25)	20-32 (30)
Tasmania, Australia	14.5-20	23-34
Vigo, Spain	22-28 (24)	-

ที่มา: Yamamoto และคณะ (2002)

4. สารอาหาร เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการเติบโต สารอาหารที่จำเป็นสำหรับแพลงก์ตอนพืชที่จะกล่าวถึงคือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

ไนโตรเจน แพลงก์ตอนพืชมีการดูดซึมสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายน้ำเข้าสู่เซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์แสง สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของ ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรท์ (NO_2) และแอมโมเนีย (NH_3^+) ในสารประกอบไนโตรเจนทั้งหลายนั้น แพลงก์ตอนพืชจะใช้แอมโมเนียกับไนเตรตมากกว่ารูปอื่น โดยใช้แอมโมเนียก่อน (Valiela, 1995 อ้างถึงใน ศรัณญา รักเสรี, 2541)

ฟอสฟอรัส เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรด

นิวคลีอิก แพลงก์ตอนพืชต้องการใช้ฟอสฟอรัสในรูปของสารอนินทรีย์ ซึ่งได้จากการแตกตัวของสารอินทรีย์ ได้เป็น ฟอสฟอรัส และออโธฟอสเฟต หรือฟอสเฟต โดยอาศัยเอมไซม์ ฟอสฟาเทส หรือฟอสโฟเอสทาเรส ซึ่งถ้าขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเติบโต คือ ปริมาณโปรตีน รวมถึงรงควัตถุชนิดคลอโรฟิลด์-เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่คาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนไปจากเดิม (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540) แพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถนำสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมาใช้แทนออโธฟอสเฟตได้ เช่น สารอินทรีย์ฟอสเฟตเอสเทอร์ กล่าวคือ ในสภาวะที่ฟอสเฟตไม่เพียงพอ ภายในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชจะสร้างเอมไซม์อัลคาลีนฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase) ขึ้นมาเพื่อดูดซึมสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตภายนอก แต่ในภาวะที่ออโธฟอสเฟตเพียงพอเซลล์จะไม่สร้างเอมไซม์ชนิดนี้ (Provasali และ Mclaughlin, 1963 อ้างถึงใน ศรัณญา รักเสรี, 2541)

G. catenatum สามารถใช้องค์ประกอบอินทรีย์สารฟอสเฟต (Dissolved Organic phosphorus)ในน้ำหนัก และโครงสร้างโมเลกุลที่หลากหลายได้ดีเท่ากับองค์ประกอบอนินทรีย์สารฟอสเฟต (Dissolved Inorganic phosphorus) และกระบวนการ Alkaline phosphataes activity (APA) เกิดที่ Orthophosphate เข้มข้น 3.3 mmol L^{-1} APA เพิ่มขณะที่ phosphate ลดลง APA สูงสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโต ซึ่งเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่าการลดของ DIP ในอ่าวฮิโรชิมานั้นมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของแพลงก์ตอนกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (Ho และคณะ, 2002)

มีการศึกษาสารอาหารในมวลน้ำในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีของ*G. catenatum* ในประเทศสเปน (บริเวณ เรีย ดี วิโก้) เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีขณะที่ในมวลน้ำมีความเข้มข้นของ NO_3^--N 0.2-0.8 µM และ มีความเข้มข้นของ NH_4^+- N 0.25-0.05 µM สำหรับออสเตรเลียมีความเข้มข้นของ NO_3^-- N 5-15 µg L^{-1} , NH_4^+- N 30-50 µg L^{-1} และ PO_4^-- P 5-15 µg L^{-1} และ $Si(OH)_4$ - Si 0.2-3 mg L^{-1} แต่ไม่พบสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดน้ำเปลี่ยนสี (Figueiras และ Fraga, 1990 อ้างถึงใน Hallegraeff และ Fraga, 1998)

การปรับตัวของแพลงก์ตอน

การปรับตัวของแพลงก์ตอนพืชเพื่อการอยู่รอด แพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตหลายชนิดมีการปรับพฤติกรรมหรือ สภาพทางสรีระวิทยาเพื่อให้มันสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม หรือได้ประโยชน์สูงสุดจากการอาศัยอยู่ในถิ่นที่อยู่อาศัยหนึ่งๆ การปรับตัวเรื่องการดูดซึมสารอาหาร และความทนทานต่อการแปรผันของปัจจัยสิ่งแวดล้อมช่วยให้ไดโนแฟลกเจลเลตสามารถแข่งขันและเอาชนะแพลงก์ตอนอื่นๆ จนสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น

การดูดซึมสารอาหารจากมวลน้ำแพลงก์ตอนต้องพยายามเคลื่อนที่จากบริเวณเดิม เพื่อให้สัมผัสกับมวลน้ำที่มีปริมาณสารอาหารเพียงพอต่อความต้องการอยู่เสมอ ความเข้มข้นของสารอาหารในที่ลึกสูงกว่าผิวน้ำ แต่ในบริเวณผิวน้ำจะได้รับแสงมากกว่าที่ลึกดังนั้นจะพบว่าแพลงก์ตอนพืชหลายชนิดมีพฤติกรรมขึ้นลงในแนวดิ่งรอบวัน แพลงก์ตอนบางกลุ่มที่ไม่มีการอพยพในแนวดิ่งมักจะรวมตัวกันในชั้นใกล้ผิวน้ำในระดับความลึกที่มีความเข้มแสงและปริมาณสารอาหารเหมาะสม การที่เซลล์อยู่รวมกันเป็นโคโลนีหรือต่อกันเป็นสายโซ่มีประโยชน์ในการป้องกันตัวจากการถูกล่า และช่วยเพิ่มความเร็วในการจมตัวลงในมวลน้ำหรือการลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527)

การปรับตัวให้มีขนาดเล็กลงของแพลงก์ตอนพืช เพราะความจำเป็นเรื่องการดูดซึมสารอาหารในน้ำทะเลซึ่งอาหารที่มีปริมาณน้อย เช่น ฟอสเฟต ในการดูดซึมอิออนในน้ำนั้นจะต้องสัมผัสโดยตรงการมีขนาดเล็กช่วยให้มีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารได้มากขึ้น (Steemann-Nielsen, 1952 อ้างถึงใน สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527)

ความเค็ม และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความถ่วงจำเพาะของน้ำทะเล ทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลต่อการลอย และเพราะอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดจะน้อยลง เช่น *Chaetoceros decipiens* ในทะเลแอตแลนติกเหนือเซลล์มีรูปร่างเปลี่ยนตามฤดูกาล ในฤดูร้อนผนังเซลล์จะบางเซลล์ต่อกันหลวม ๆ ช่องว่างระหว่างเซลล์กว้าง แต่ในฤดูหนาวผนังเซลล์หนาขึ้นและเซลล์ต่อกันชิดช่องว่างระหว่างเซลล์แคบชิด (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527)

ไดโนแฟลกเจลเลตบางกลุ่มมีวงชีวิตที่ซับซ้อนประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างลักษณะต่างกัน และมีการสร้าง resting cysts เป็นการเปลี่ยนสภาพจากเซลล์ปกติ เพื่อปรับตัวให้มีความทนทานต่อการผันแปรต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมกว้างกว่าเดิม และอาจมีผลให้เกิดการกระจายไปยังบริเวณอื่นได้ดีขึ้น การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเค็ม มีผลชักนำให้แพลงก์ตอนพืชสกุล *Alexandrium* สร้างซีสต์ชั่วคราว ดังนั้นลักษณะวงจรชีวิตของแพลงก์ตอนพืชกลุ่มนี้จะช่วยให้มันสามารถดำรงชีวิตในขณะที่สภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมได้ดีกว่าแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มอื่น (อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์, 2546)

การสร้างซีสต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1.ซีสต์ชั่วคราว เกิดจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมบางประการ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของ อุณหภูมิ หรือ ความเค็ม ทำให้เซลล์หยุดการเคลื่อนที่ ปล่อยแฟลกเจลล่า, เพลท (plate) ที่ปกคลุมเซลล์ทิ้ง จะพบลักษณะเซลล์เป็นทรงกลม เนื่องจากเซลล์ปล่อยให้ผนังโป่งออก ภายในเซลล์ยังคงลักษณะเหมือนเซลล์ปกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไป เม็ดแป้งจะปรากฏ และรงควัตถุจะสลายไป การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะกระจายไปทั่วเซลล์ (Anderson, 1980) เมื่อสภาพแวดล้อม

เหมาะสมจะสามารถคืนสู่สภาพเซลล์ปกติได้ (Anderson และคณะ, 1995) แต่ซีสต์ชั่วคราวจะมีชีวิตอยู่ได้ไม่นานนัก (ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ, 2538) ในภาวะที่สารอาหารต่ำ (การขาดแคลนสารอาหาร) *G. catenatum* เซลล์จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นซีสต์ชั่วคราว (Blackburn และคณะ, 1989)

2.ซีสต์ (resting cyst) เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของเซลล์ 2 เซลล์ทำหน้าที่เป็นเซลล์สืบพันธุ์มาผสมกัน เกิดเป็นพลาโนไซโกต ซึ่งเคลื่อนไหวได้อยู่ระยะหนึ่งจะพัฒนาเป็น ฮิพพลาโนไซโกต หรือ ซีสต์ (resting cyst) ซึ่งไม่เคลื่อนที่ อาจมีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของแพลงก์ตอนพืช (ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ, 2538)

การเกิดพิษเนื่องจาก *G. catenatum*

พิษอัมพาตในหอย (Paralytic shellfish poison : PSP) เป็นพิษที่แพลงก์ตอนพืชสร้างขึ้น ก่อให้เกิดอาหารเป็นพิษ เนื่องจากในช่วงการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี จะมีแพลงก์ตอนที่มีพิษปนอยู่ในห่วงโซ่อาหาร หอยบางชนิดที่กินแพลงก์ตอนเป็นอาหาร (โดยเฉพาะอย่างยิ่งหอยสองฝา) จะกินแพลงก์ตอนเหล่านี้เข้าไปและสะสมพิษไว้โดยไม่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษต่อหอย แต่เมื่อคนกินหอยเหล่านี้เข้าไปจะได้รับพิษ Neurotoxin ซึ่งออกฤทธิ์ต่อปลายประสาท ระบบกล้ามเนื้อและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งจะมีอาการหลังจากการรับประทาน โดยในระยะแรกหลังจากรับประทานเข้าไปประมาณ 30 นาที จะเริ่มปวดแสบปวดร้อนตามริมฝีปาก ลิ้น และใบหน้า ลามถึงคอ แขน และขา ระยะหลังจะเกิดอาการชา เคลื่อนไหวลำบากคล้ายเป็นอัมพาต ในกรณีที่รุนแรงจะทำให้ผู้รับประทานเสียชีวิตเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจไม่ทำงาน (อัจฉราภรณ์ เปี่ยมสมบูรณ์ และณิฏฐารัตน์ ปภาวสิทธิ์, 2546; อัธยา กังสุวรรณ, 2538)

องค์ประกอบของพิษอัมพาตในหอย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

1.Carbomoyl toxins มีพิษรุนแรงมาก ได้แก่

Gonyautoxin 1-4 (GTX1-4) (เป็นองค์ประกอบหลัก)

Saxitoxin (STX) (พบเป็นองค์ประกอบย่อย)

Neosaxitoxin(NeoSTX) (พบเป็นองค์ประกอบย่อย)

2. Decarbomoyl toxins พิษรุนแรงปานกลาง ได้แก่

dc- Saxitoxin (dc-STX)

dc-Neosaxitoxin (dcneo-STX)

dc- Gonyautoxin 1-4 (dc-GTX1-4)

3. *N*-sulfocarbomoyl toxin กลุ่มนี้มีพิษน้อยที่สุด

Gonyautoxin 5 (B1)

Gonyautoxin 6 (2)

เป็นต้น

คุณสมบัติทั่วไปของพิษ

ละลายน้ำได้ดี ทนความร้อน

คงสภาพในสภาพที่เป็นกรด (pH<6)

เสื่อมสภาพในสภาพที่เป็นด่าง (pH>12)

การศึกษาองค์ประกอบของพิษ

องค์ประกอบของพิษที่เป็นตัวแทนขององค์ประกอบพิษใน *G. catenatum* ที่พบทั่วโลก (Anderson และคณะ, 1989; Oshima และคณะ, 1993 อ้างถึงใน Mendez และคณะ, 2000) แสดงไว้ดังนี้

N-sulfocarbomoyl toxin C1-4,

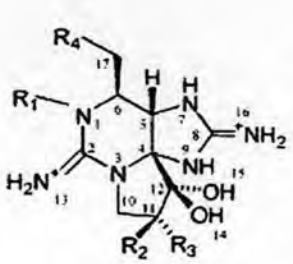
GTX5

GTX6

Holmes และคณะ (2002) ทำการทดสอบองค์ประกอบของพิษใน *G. catenatum* สายพันธุ์จากสิงคโปร์โดยวิธี HPLC พบพิษ ดังนี้

- Gonyautoxin (GTX)1 และ 4	เป็นชนิดเด่น
-GTX2, GTX3, NeoSTX และ STX	พบปริมาณน้อย
-*N*-sulfocarbomoyl, Decarbamoyl	ไม่พบ
-Deoxy-decarbamoyl toxin	ไม่พบ

ผลที่ได้ต่างกันคือ Less potent *N*-sulfocarbomoyl toxin เป็นพิษชนิดเด่นที่พบในพื้นที่อื่นๆ ทั่วโลก (ออสเตรเลีย จีน ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ ฟิลิปปินส์ โปรตุเกส สเปน และ อุรุกกวัย) แต่ไม่พบในสายพันธุ์จากสิงคโปร์



			R_4:	$-O-C(=O)-NH_2$	$-O-C(=O)-NHSO_3^-$	-OH
R_1	R_2	R_3				
H	H	H		STX	GTX5 (B1)	dcSTX
H	H	OSO_3^-		GTX2	C1	dcGTX2
H	OSO_3^-	H		GTX3	C2	dcGTX3
OH	H	H		NEO	GTX6(B2)	dcNEO
OH	H	OSO_3^-		GTX1	C3	dcGTX1
OH	OSO_3^-	H		GTX4	C4	dcGTX4

รูปที่ 2.7. โครงสร้างของพิษอัมพาตในหอย (Paralytic shellfish poison : PSP)
(McMinn และคณะ 2003)

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี

การเกิด eutrophication เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่มีผลผลิตสูง (production) กระบวนการนี้เกิดได้ทั้งโดยธรรมชาติ และมนุษย์ ในธรรมชาติจะใช้เวลานานแต่ถ้าเกิดจากการกระทำของมนุษย์จะเกิดได้รวดเร็ว เนื่องจากน้ำทิ้งจากบ้านเรือน แหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่การเกษตร ลงมาสะสมในแหล่งน้ำ ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีปริมาณไนโตรเจนจำนวนมาก ทำให้แพลงก์ตอนแพร่พันธุ์รวดเร็วเกินไป ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำในที่สุด (สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2527) การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอน ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ซึ่งมีผลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อสัตว์น้ำเป็นอันมาก และยังมีผลต่อเนื่องไปถึงอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปต่างๆ เนื่องจากขณะที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีขึ้น สัตว์น้ำจะมีคุณภาพไม่เหมาะแก่การบริโภค และมีผลโดยตรงต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยไดโนแฟลกเลตหลายชนิดสามารถสร้างพิษ (toxin) ซึ่งเมื่อถูกกินโดยสัตว์น้ำอื่น โดยเฉพาะหอย พิษนี้จะสะสมอยู่ในหอยโดยไม่ทำอันตรายแก่หอยแต่จะเป็นพิษต่อผู้บริโภค ซึ่งอาจมีอาการรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ ส่วนผลโดยอ้อมนั้นคือ เมื่อเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีจะมีผลทำให้จำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนหนาแน่นมาก ทำให้สัตว์น้ำชนิดอื่นไม่สามารถอยู่อาศัยได้เนื่องจากขาดออกซิเจนสำหรับหายใจ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2540)

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีที่เกี่ยวข้องกับความเป็นพิษของ *G. catenatum* เกิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศสเปนในปี 1977 (Estrada และคณะ, 1984 อ้างถึงใน Yamamoto และคณะ, 2002)

และมีผู้เสียชีวิตเนื่องจากได้รับพิษแพลงก์ตอนชนิดนี้เป็นครั้งแรกปี 1979 จากอ่าวแคลิฟอร์เนีย (Morey, 1982 อ้างถึงใน Yamamoto และคณะ, 2002) ปัจจุบันหลายพื้นที่ได้รับผลกระทบจากแพลงก์ตอนชนิดนี้ เช่น ประเทศอุรุกวัย บริเวณ ริโอ เด พลาต้า ได้รับอิทธิพลจากแหล่งน้ำที่มีสารอาหารสูง ตั้งแต่ปี 1980 ได้รับผลกระทบจากการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ส่งผลต่อเศรษฐกิจท้องถิ่นด้านการท่องเที่ยว และการประมง รวมทั้งคุณภาพอาหารสัตว์น้ำ (Mendez และคณะ, 2000) บ่อยครั้งที่พบชีวพิษ PSP ในหอยสองฝา ช่วงที่เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเนื่องมาจาก *G. catenatum* (McMinn และคณะ, 2000)

ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อน เกิดจากการกระทำร่วมกันของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งปัจจัยทางกายภาพ และชีวภาพ เช่น ความมีเสถียรของมวลน้ำ ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความเค็ม สารอาหาร และพฤติกรรมของแพลงก์ตอนพืช เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ ทำให้การทำนายการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้อย่างถูกต้องนั้น จึงไม่ใช่เรื่องที่จะสามารถกระทำได้โดยง่าย (ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ, 2538)

สำหรับการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ ยังไม่เคยมีการเกิดขึ้นในประเทศไทย แต่จากการสำรวจการกระจายของแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ พบว่ามีการกระจายอยู่ทั่วไปในอ่าวไทยตอนบน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอ่าวไทยตอนบนนั้น เป็นพื้นที่เสี่ยงที่อาจจะเกิดปัญหาปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีจากแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ได้ จึงต้องทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของ *G. catenatum* เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเฝ้าระวังการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีจากแพลงก์ตอนชนิดนี้