



การสำรวจเอกสาร

ชนิดของแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคือ ไดโนแฟลกเจลเลตชนิด Prorocentrum micans มีการจำแนกหมวดหมู่ทางอนุกรมวิธาน ตามการจัดของ Dodge (1984) ดังนี้

Phylum (or Division) Pyrrophyta

Class Dinophyceae Fritsch

Order Procoentrales Lemmermann

Family Procoentraceae Stein

Genus Prorocentrum Ehrenberg

Prorocentrum micans Ehrenberg, 1833

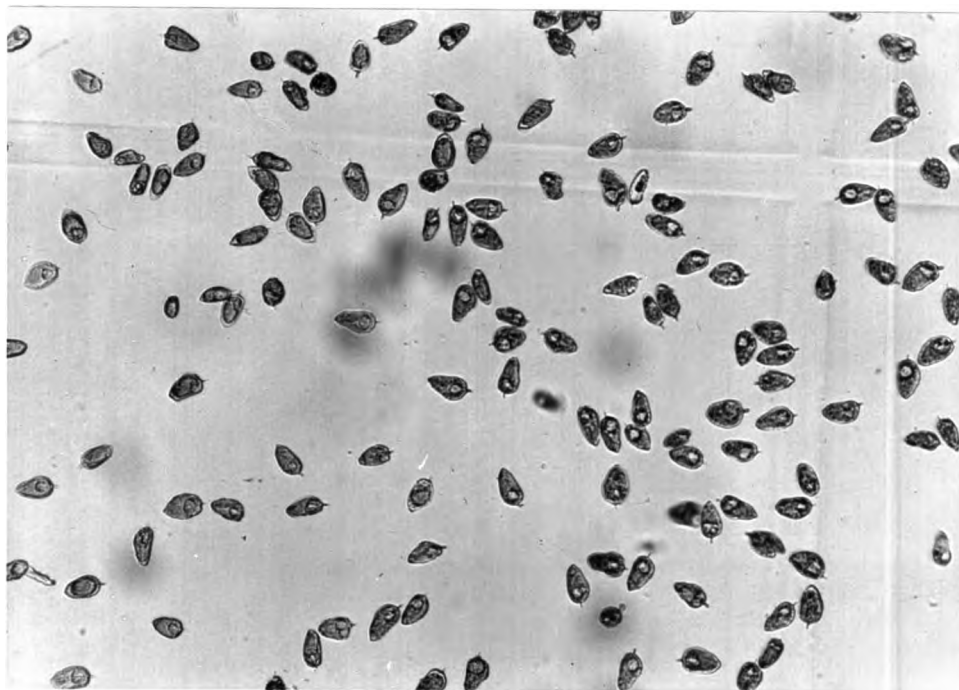
Prorocentrum micans Ehrenberg, 1833

ลักษณะรูปร่าง จากการศึกษาของ Braarud และ Rossavik, 1951; Dodge, 1965; Abe', 1967; Dodge และ Bibby, 1973; Dodge, 1975; Toriumi, 1979; Burns และ Mitchell, 1982; Taylor, 1987 ได้อธิบายลักษณะรูปร่างของ P. micans ไว้ดังนี้

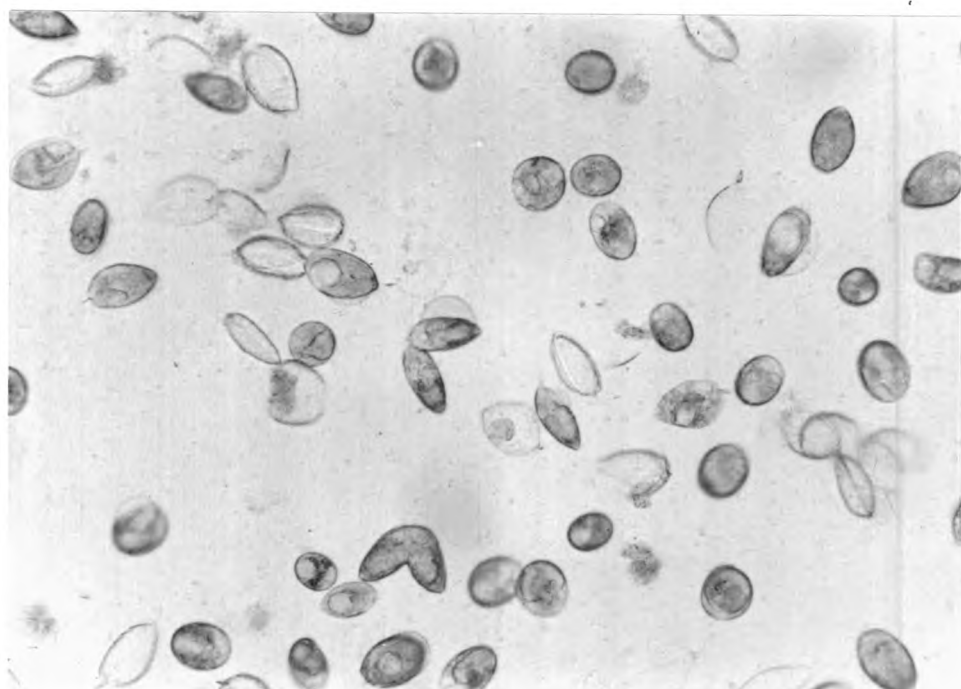
เป็นเซลล์ที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทางด้าน valve view เซลล์มีรูปร่างคล้ายรูปหยดน้ำ ทาง anterior โค้งมน แต่ทาง posterior เรียวสอบไปถึงตอนปลายจะแหลม เมื่อมองทางด้าน side view จะมีลักษณะคล้ายรูปเลนส์ ส่วนที่กว้างที่สุดของเซลล์อยู่ประมาณกึ่งกลางหรือค่อนข้างทางด้าน anterior โดยปกติแล้วเซลล์จะมีความยาวน้อยกว่า 2 เท่าของความกว้างของ

เซลล์ ทางด้าน anterior มี apical spine ขนาดยาวเห็นได้ชัดเจน บริเวณฐานของ spine มีลักษณะแผ่ออกไปคล้ายปีก และยังประกอบด้วย apical sub-spines ขนาดเล็กและสั้นซึ่งบางครั้งมองไม่เห็น เปลือกที่ปกคลุมเซลล์ (theca) ถูกจัดไว้ในกลุ่ม procenteriod คือจะประกอบไปด้วย plate ขนาดใหญ่ 2 อัน (valves) และกลุ่มของ plate ขนาดเล็กที่อยู่รอบ ๆ ทางออกของเส้นหนวด (periflagellar platelets) ทางด้าน anterior ของเซลล์มีรูขนาดใหญ่ 2 รู ซึ่งเป็นทางออกของเส้นหนวด (flagellar) 2 เส้น คือ longitudinal flagellum และ transverse (undulating) flagellum, longitudinal flagellum จะมีความยาวประมาณ 1.5 เท่าของความยาวของเซลล์ยื่นไปทางด้านหน้า ตอนปลายของเส้นหนวดจะแหลมและไม่มีเส้นเซเปกคูลัม ส่วน transverse (undulating) flagellum จะหดเป็นเกลียวแน่น บริเวณผิวของ valves จะพบ trichocyst pores ซึ่งส่วนใหญ่จะเรียงตัวในลักษณะเป็นแถวในแนวรัศมีออกจากกึ่งกลางเซลล์ไปสู่ด้านข้างของเซลล์ เมื่อสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จะเห็นบริเวณผิวของลำตัวมีลักษณะเป็นร่องขนาดเล็กมองเห็นคล้ายเป็นรูเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 1, 2)

ภายในเซลล์จะมีเม็ดสี (chloroplast) ขนาดใหญ่ นิวเคลียสมีลักษณะคล้าย U-shaped ขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่ค่อนข้าง posterior โครโมโซมมีรูปร่างเป็นเส้นยาวประกอบไปด้วย 65-69 โครโมโซม ลักษณะของนิวเคลียสจะจัดเป็นประเภท mesocaryote คือ ก้ำกึ่งระหว่าง procaryote และ eucaryote



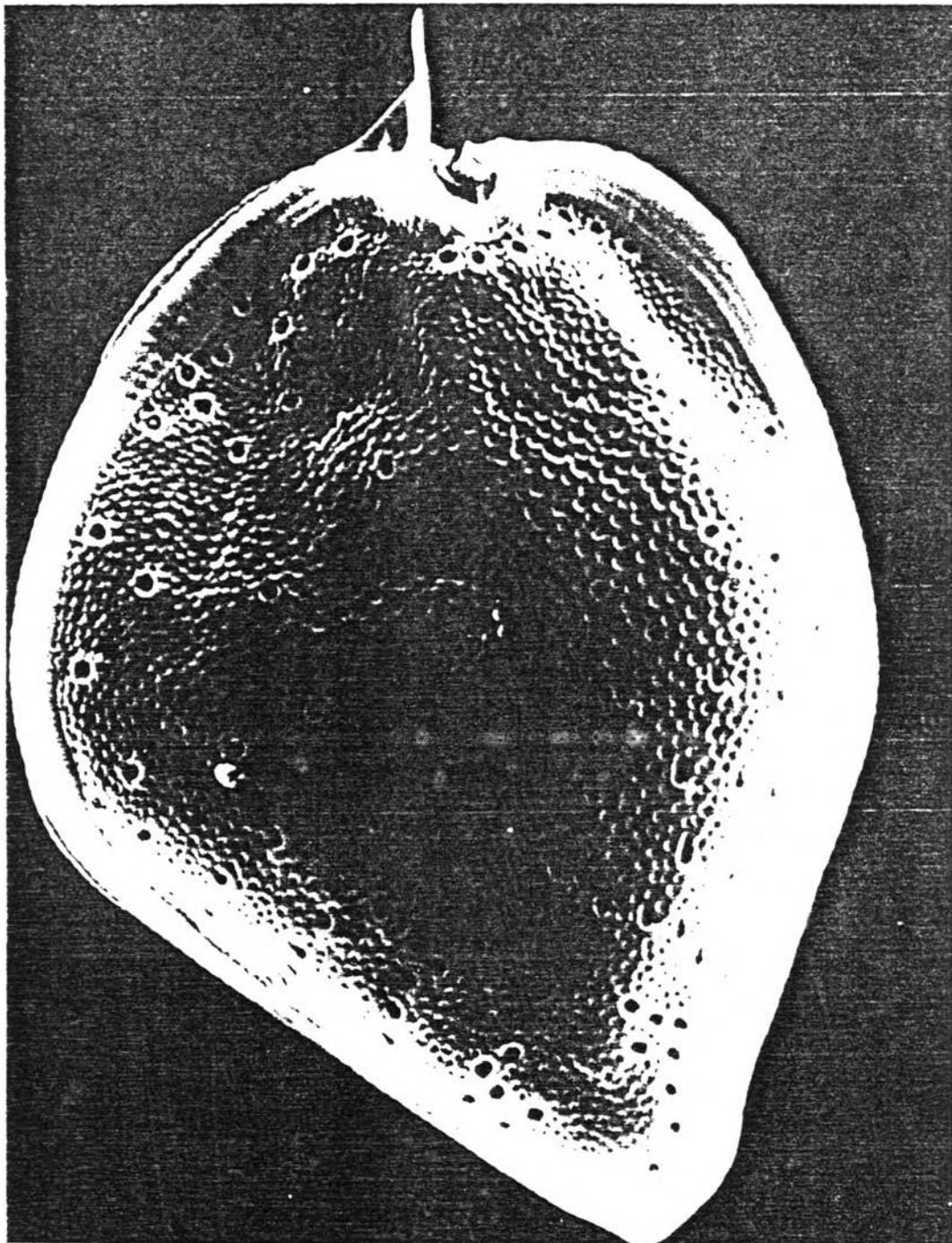
ก



ข

ภาพที่ 1 ลักษณะเซลล์ Procentrum micans

- ก. เซลล์อายุ 8 วันหลังจากการถ่ายเชื้อ (กำลังขยาย 100 เท่า)
 ข. เซลล์อายุ 14 วันหลังจากการถ่ายเชื้อ (กำลังขยาย 400 เท่า)



ภาพที่ 2 Procoentrum micans เมื่อถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน แสดงแ่งขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณผิวของลำตัว และ Trichocyst Pores (จาก Dodge, 1985)

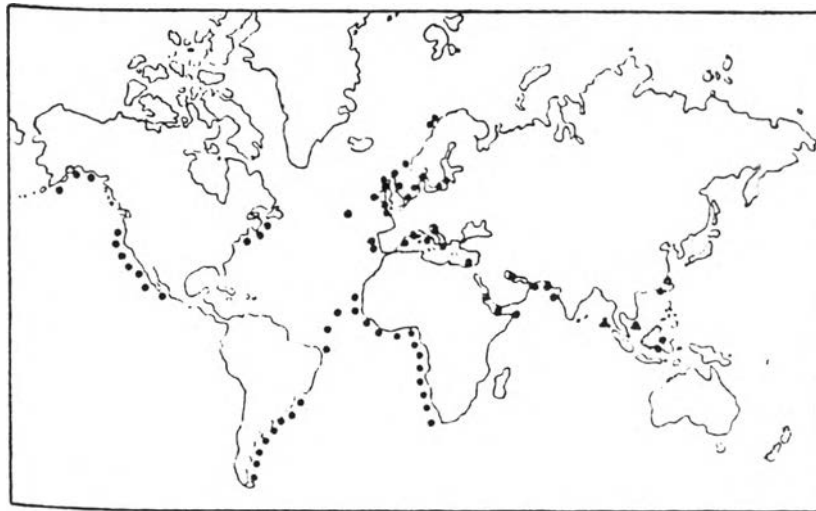
ขนาดของเซลล์ เซลล์ *P. micans* มีขนาดของเซลล์แปรผันมากดังตารางต่อไปนี้

เอกสารอ้างอิง	Braarud และ Rossavik, 1951	Abe', 1967	Dodge, 1975	Toriumi, 1979	Fukuyo, 1981	Burns และ Mitchell, 1982
ความกว้างของลำตัวอยู่ในนิกัด (ไมครอน)	17-38	20-28	20-50	-	-	20-25
ความยาวของลำตัวอยู่ในนิกัด (ไมครอน)	38-51	48-59	35-70	36-48	40-55	45-50
ความลึกของลำตัวอยู่ในนิกัด (ไมครอน)	-	16-25	-	-	-	-

การแพร่กระจาย

มีการแพร่กระจายเป็นบริเวณกว้างทั่วโลกอยู่ในแนวเส้นรุ้งที่ 60°N ถึง 60°S ยกเว้น บริเวณเขตอบอุ่นและแอนตาร์กติก (ภาพที่ 3) จัดเป็นชนิดที่มีการแพร่กระจายอยู่ตามเขตทะเลชายฝั่ง (neritic species) พบได้ทั่ว ๆ ไปตามบริเวณเอสทูรี และบริเวณชายฝั่งที่เกิดมลภาวะ มีรายงานว่า เป็นชนิดเด่นและพบชุกชุมในบางครั้งจะเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ซีปลาวาฬ (ภาพที่ 3) (Braarud และ Rossavik, 1951; Silva, 1959; Dodge, 1965; Abe', 1967; Burns และ Mitchell, 1982; Taylor, 1987)

สำหรับการแพร่กระจายของ *P. micans* ในประเทศไทย มีรายงานการพบในบริเวณ



ภาพที่ 3 การแพร่กระจายของ Prorocentrum micans (ดัดแปลงจาก Braarud and Rossavik, 1951; ●) เพิ่มเติมที่พบในน่านไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2522-2530 (▲) จากรายงานของ ไสภณา บุญภักดิ์ (2522, 2526, 2527, 2530) สุทธิชัย เตมียาณิชัย (2527 ข) หมั่น โฉธวัจไตร และ อัจฉรา มโนเวชพันธ์ (2527)

ปากแม่น้ำเจ้าพระยาและบริเวณใกล้เคียง (โสภณา บุญญาภิวัฒน์, 2522; 2523; 2527) ปาก-
แม่น้ำปรางบุรีและบริเวณใกล้เคียง (สุทธิชัย เตมียาภิชัย, 2527ข) และบริเวณชายฝั่งตะวันออก
ของอ่าวไทย (หมั่น โสทธิจักร และ อัจฉรา มโนเวชพันธ์, 2527) สำหรับการแพร่กระจายของ
P. ในฝั่งทะเลอันดามันนั้น โสภณา บุญญาภิวัฒน์ (2530) มีรายงานว่าพบ P. micans บริเวณ
ชายฝั่งทะเลตะกั่วป่า-กันตัง โดยพบปริมาณความหนาแน่นของเซลล์น้อย

บทบาทของธาตุปริมาณน้อยต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช

โลหะปริมาณน้อย (trace metals) ได้แก่ เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี
โมลิบดีนัม โคบอลต์ เป็นต้น เป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช
(essential micro-nutrient) ถ้ามีน้อยเกินไปก็จะไปจำกัดการเจริญเติบโต ถ้ามากเกินไป
ไปก็จะยับยั้งการเจริญเติบโตและเป็นพิษได้ (Morel และ Morel-Laurens, 1983)

บทบาทของโลหะปริมาณน้อยต่อแพลงก์ตอนพืช ขึ้นกับชนิดของแพลงก์ตอนพืช และรูปแบบ
ทางเคมีของโลหะ (chemical speciation) ซึ่งจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางเคมีและ
นิสิกส์ ได้แก่ การตกตะกอน การถูกดูดซึม การรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์
หรืออนินทรีย์ โดยพบว่าระดับความเป็นพิษขึ้นกับระดับของไอออนอิสระ (free metal ion
activities) ไม่ใช่ความเข้มข้นรวมของโลหะ หรือโลหะที่รวมตัวกับคีเลเตอร์ (chelators)
(Anderson และ Morel, 1982)

แมงกานีส จัดเป็นธาตุตัวหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยมี
บทบาทโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthetic oxidation) ถ้าปริมาณ
แมงกานีสต่ำจะไปจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชในทะเล และบทบาทดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับ
กับไอออนอิสระ และผลกระทกร่วมกับโลหะอื่นเป็นภาวะตรงกันข้าม (antagonism) เช่น ทอง-
แดง เหล็ก (Taylor และ Pollinger, 1987)

โคบอลต์ เป็นธาตุที่สิ่งมีชีวิตมีความต้องการใช้ในการเจริญ สำหรับไดโนแฟลกเจลเลต
ซึ่งโดยปกติจะถูกสร้างอยู่ในรูปของ organically - bound กับวิตามิน บี 12 โดยปกติในสูตร

อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชจะเพิ่มธาตุโคบอลต์ในรูปของ CoCl_2 (Taylor และ Pollinger, 1987)

ทองแดง เป็นธาตุโลหะปริมาณน้อยที่จำเป็นต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็เป็นพิษได้ ฉะนั้นต้องมีปริมาณที่เหมาะสม แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดต้องการในปริมาณที่แตกต่างกัน (Anderson, Lively, และ Vaccaro, 1984) ทองแดงเป็นองค์ประกอบของ plastocyanin มีบทบาทช่วยส่งอิเล็กตรอนให้กับ P-700 ในระบบขนส่งอิเล็กตรอนของกระบวนการสังเคราะห์แสงขั้นที่ 1 ความเป็นพิษของทองแดงจะมีผลต่อทางด้านสรีรวิทยาของแพลงก์ตอนพืชดังนี้คือไป ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง การสร้าง chlorophyll ยืดระยะเวลา lag phase ทำให้การเจริญและแบ่งเซลล์ช้าลง ยับยั้งการสร้างเอนไซม์ nitrate reductase ซึ่งจะนำไนเตรตไปใช้ในการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และยับยั้งการใช้กรดซิลิซิกทำให้การแบ่งเซลล์และการเจริญช้าลง (Harrison et al., 1986) Goering, Boisseau และ Hattori (1977) พบว่าความเข้มข้นของทองแดง 25 ไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้การนำกรดซิลิซิกไปใช้ลดลงจากที่ไม่ใส่ทองแดงถึงร้อยละ 49 - 98 Sunda และ Guillard (1976) พบว่าไอออนของทองแดงในระดับความเข้มข้น 10^{-10} - 10^{-11} โมลาร์ มีความเป็นพิษในระดับ sublethal ต่อแพลงก์ตอนพืชได้ Morel, Rueter และ Morel (1978) ได้ทดลองกับ *Skeletonema costatum* พบว่าไอออนของทองแดงในระดับความเข้มข้น 10^{-8} โมลาร์ จะเพิ่มระยะเวลาของ lag phase เมื่อมีซิลิเคต 12.5 ไมโครโมลาร์ แต่ถ้ามีซิลิเคตเพิ่มขึ้นความเป็นพิษของทองแดงจะลดลง Schenck (1984) ได้ศึกษาผลของทองแดงตั้งแต่ระดับที่ขาดแคลนจนกระทั่งถึงเป็นพิษ (efficiency to toxicity) ต่อ *Gonyaulax tamarensis* พบว่าอัตราการเจริญจะถูกจำกัดเมื่อไอออนของทองแดงมีระดับความเข้มข้นน้อยกว่า 5×10^{-13} โมลาร์ และสูงสุดเมื่อไอออนของทองแดงมีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 5×10^{-13} - 10^{-12} โมลาร์ และมีการลดอัตราการเจริญลงชั่วคราว จากนั้นเพิ่มขึ้นอีกเมื่อระดับความเข้มข้นของไอออนทองแดงอยู่ในช่วง 10^{-12} - 10^{-11} โมลาร์ จากนั้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อไอออนของทองแดงมีความเข้มข้น 10^{-10} โมลาร์ ซึ่งความเข้มข้นระดับนี้จะพบในเอสทูรีที่มีสภาพมลพิษและน้ำทะเลชายฝั่ง จึงช่วยไม่ให้เกิดปรากฏการณ์ซิวาลาวานีอันเนื่องมาจากไดโนแฟลกเจลเลตชนิดนี้ แต่ถ้ามีสารพวกคีเลเตอร์ในธรรมชาติมากก็จะช่วยลดความเข้มข้นของทองแดงลดลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเพิ่มจำนวนอย่างมากและรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้ได้

ซิลิเนียม ได้มีรายงานไว้ว่าธาตุซิลิเนียมมีความสำคัญจัดเป็นธาตุอาหารปริมาณน้อย (micro nutrient) ที่จำเป็นต่อการเจริญของไดโนแฟลกเจลเลตบางชนิด จากรายงานของ Lindstrom & Rodhe, (1978; อ้างตาม Taylor & Pollingber, 1987) พบว่าธาตุซิลิเนียมควรจะเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญ (growth-limiting) สำหรับไดโนแฟลกเจลเลตน้ำจืดชนิด Peridinium cinctum ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า 50 นาโนกรัมต่อลิตร และ P. cinctum fa. westii สามารถเจริญได้จนมีผลผลิตสูงสุดในสูตรอาหารสังเคราะห์ Lindstrom's medium ที่ไม่มีสารละลายวิตามินรวม (Thiamine, Biotin, B₁₂) แต่เพิ่มสารละลายของธาตุซิลิเนียมที่ระดับความเข้มข้น 50 นาโนกรัมต่อลิตร

จากรายงานการทดลองของ Patrica et al. (1975; อ้างตาม Taylor และ Pollingber, 1987) . จะพบว่าธาตุซิลิเนียมจะมีผลต่อการเจริญของ "ไดอะตอม" โดยจะมีการกระตุ้นให้การเจริญดีขึ้นหรือจะ ไปยับยั้งการเจริญจะขึ้นอยู่กับรูปแบบ (form) ของธาตุซิลิเนียมในขณะนั้น จากการทดลองของเขานพบว่า selenite (Se^{IV}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.1-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมเซลล์มีการเพิ่มจำนวนเป็นผลให้ชุมชนของ ไดอะตอมประกอบไปด้วยความหลากหลายของชนิด (high diversity) และแต่ละชนิดมีมวลชีวภาพสูง (high biomass) และที่ระดับความเข้มข้น 20-40 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลให้ชุมชนของ ไดอะตอมมีจำนวนชนิดน้อยลง และอัตราการเจริญของเซลล์จะมีค่าลดต่ำลงเมื่อระดับความเข้มข้นของ selenite เพิ่มขึ้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ซิลิเนียมในรูปแบบ selenate (Se^{VI}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีความเป็นพิษต่อ ไดอะตอม

Ishimaru et al. (1987) ได้ทดลองหาความเข้มข้นของซิลิเนียมที่เหมาะสมต่อการเจริญของ Gymnodinium nagasakiense ในกรณีการเกิดปรากฏการณ์ซึบลาวาฟี G. nagasakiense จะมีปริมาณความหนาแน่นของเซลล์มากกว่า 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งจากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเลี้ยงเซลล์ที่เตรียมจากน้ำทะเลธรรมชาติบริเวณ ชายฝั่ง และมีการเพิ่มสารอาหารไนเตรด ฟอสเฟต วิตามินรวม (B12, Biotin, Thiamin) และธาตุโลหะปริมาณน้อย (Fe, Zn, Mn, Mo, Co, Cu) จะพบว่าความหนาแน่นเซลล์สูงสุดจะพบไม่เกิน 20,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่ถ้าในน้ำเลี้ยงมีการเพิ่มซิลิเนียมในรูปของสารละลาย H₂SeO₃ จะมีผลทำให้ปริมาณความหนาแน่นสูงสุดของเซลล์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีค่าอัตราการเจริญสูงสุด

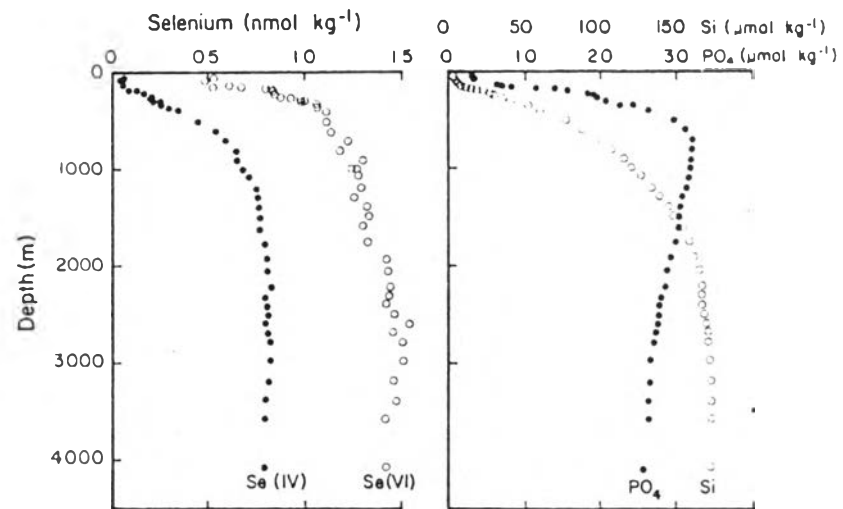
เท่ากับ 0.79 ต่อวันที่ระดับค่ากึ่งความเข้มข้นอิ่มตัวคงที่ (half saturation constant) เท่ากับ 0.075 นาโนโมลาร์

ระดับความเข้มข้นของซีลีเนียมในน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งจะพบประมาณ 1 นาโนโมลาร์ ซึ่งจะอยู่ในรูป selenate, selenite และ organic form และจะพบว่าร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 20 จะเป็นองค์ประกอบอยู่ในรูปแบบของ selenite รูปแบบแผ่นก่อดอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นสภาพในธรรมชาติจริง (in situ) นั้น อัตราการเจริญของ G. nagasakiense อาจจะถูกควบคุมด้วยปริมาณซีลีเนียมที่มีอยู่ในน้ำทะเล

Measures และ Burton (1980) ได้ศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของออกซิเดชันสเตรตของธาตุซีลีเนียมที่ละลายน้ำ (dissolved selenium) ในมหาสมุทรแอตแลนติกและความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีววิทยาในทะเล รูปแบบของธาตุซีลีเนียมในทะเลจะพบในรูปแบบของส่วนที่ละลายน้ำ คือ selenite และ selenate และจะรวมอยู่ในรูปแบบของสารประกอบอินทรีย์ ระดับความเข้มข้นของซีลีเนียมในน้ำทะเลจะพบอยู่ในช่วง < 0.025-76 นาโนโมลาร์ (ตารางที่ 1) ในการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของออกซิเดชันสเตรตของธาตุซีลีเนียมในทะเลนั้นยังไม่เป็นที่กระจ่างชัดเมื่อพิจารณาจาก equilibrium model ของ Sillen (1961) ซึ่งเสนอว่า selenate น่าจะเป็นรูปแบบที่พบได้ในน้ำทะเลที่มีความเป็นกรดต่าง 8.1 แต่จากงานการศึกษาของ Sillen (1961) และ Sugimura et al. (1976) (อ้างตาม Measures และ Burton, 1980) ได้รายงานว่าพบซีลีเนียมได้ทั้งรูปแบบ selenite และ selenate ในน้ำทะเลแถบชายฝั่งและทะเลเปิด ลักษณะการแพร่กระจายตามความลึกของซีลีเนียมในทะเล จะมีรูปแบบเหมือนกับลักษณะการแพร่กระจายของธาตุซีลีเคตและฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่าการแพร่กระจายของธาตุซีลีเนียมน่าจะเกี่ยวข้องอย่างเด่นชัดโดยกระบวนการทางชีววิทยาจากการศึกษาพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายตามความลึกของซีลีเนียมที่บริเวณผิวน้ำ จะมีปริมาณความเข้มข้นน้อยมากและระดับความเข้มข้นจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความลึก ซึ่งพบว่าระดับความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำ (ภาพที่ 4) จากลักษณะการแพร่กระจายแบบนี้ชี้ให้เห็นว่าธาตุซีลีเนียมน่าจะมีความเป็นธาตุอาหารปริมาณน้อยที่จำเป็นต่อการเจริญของแผ่นก่อดอนพืช ดังนั้นบริเวณผิวน้ำทะเลจะมีกระบวนการดึงธาตุซีลีเนียมออกจากน้ำทะเล (removal) ไปใช้โดยสิ่งมีชีวิตและจะมีกระบวนการคืนธาตุโลหะชนิดต่าง ๆ (regeneration) ให้กลับคืนสู่น้ำทะเล

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของธาตุซีลีเนียมในน้ำทะเล (ดัดแปลงจาก Measures and Burton, 1980)

Area	No. of samples	Se (nmole/l) range	species	Reference
North Sea		42-56	IV	Goldschmidt & Strock, 1935.
Puget Sound		3		Byers et al., 1938
Offshore Japan	3	51-76	IV	Ishibashi et al., 1953
Atlantic and Pacific	28	0.66-1.52	total	Schutz & Turekian, 1965
Long Island Sound	8	1.27-1.52	total	Schutz & Turekian, 1965
English Channel	1	6.3	IV	Chau & Riley, 1965
Irish Sea	1	4.3	IV	Chau & Riley, 1965
Coastal Japan	3	0.51-1.01	IV	Shimoishi, 1973
Pacific Ocean	38	0.51-1.14	IV	Sugimura et al., 1976
Pacific Ocean	38	0.13-1.52	VI	Sugimura et al., 1976
Coastal Japan	17	0.38-1.39	total	Sugimura et al., 1976
Coastal Japan	5	0.25-0.63	IV	Yoshii et al., 1979
Coastal Japan	5	0.38-3.5	VI	Yoshii et al., 1979
Coastal Pacific	5	<0.06-0.89	IV	Cutter, 1978
Northeast Atlantic	123	<0.025-0.696	IV	Measures & Burton, 1980
Northeast Atlantic	77	0.316-1.747	total	Measures & Burton, 1980



ภาพที่ 4 การแพร่กระจายตามความลึกในแนวตั้งของ selenate และ selenite เปรียบเทียบกับ phosphate และ silicate ในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนเหนือ (จาก Bruland, 1983)

ซัลไฟเนียมจะแสดงลักษณะของการแพร่กระจายในทะเลเป็นแบบ nutrient type ซึ่งระดับความเข้มข้นของซัลไฟเนียมจะอยู่ในช่วง 0.5-2.3 nM/kg ผลสรุปจากงานการศึกษาวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะพบว่าซัลไฟเนียมเป็นธาตุโลหะตัวเดียวกับรูปแบบของออกซิเดชันสเตรตทั้ง selenate และ selenite ในระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทะเลลึก (Bruland, 1983)

เหล็ก เป็นธาตุอาหารปริมาณน้อยที่จำเป็นมากต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช (Anderson และ Morel, 1982) มีรายงานว่าเหล็กเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และเป็นตัวควบคุมผลผลิตเบื้องต้นในบริเวณ Sagasso Sea และทะเลเปิด (Glover, 1977)

Ingle และ Martin (1971) ได้ให้ความเห็นในการเกิดปรากฏการณ์ซัลลาวา (red tide) โดย Gymnodinium breve บริเวณชายฝั่งฟลอริดา ว่าธาตุเหล็กเป็นปัจจัยชักนำ ทั้งนี้เพราะน้ำจากแผ่นดินขณะนั้นมีปริมาณเหล็กสูง เช่นเดียวกับที่ Glover (1978) ได้พบว่าธาตุเหล็กที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากน้ำจากแผ่นดินไหลลงสู่ทะเลเป็นตัวชักนำให้ G. breve เพิ่มจำนวนอย่างมากและรวดเร็ว

Anderson และ Morel (1982) พบว่าถ้าขาดธาตุเหล็กจะมีผลทำให้เกิดการลดอัตราการเจริญเติบโตและกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ทั้งนี้เนื่องจากธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีนหลายชนิด เช่น ferridoxin มีบทบาทเป็นตัวนำพาอิเล็กตรอน (electron carrier) ในปฏิกิริยาการขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport) ของกระบวนการหายใจและสังเคราะห์แสง และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ nitrogenase ซึ่งมีบทบาทในการตรึงเอาไนโตรเจนไปใช้ (Gonye และ Carpenter, 1974)

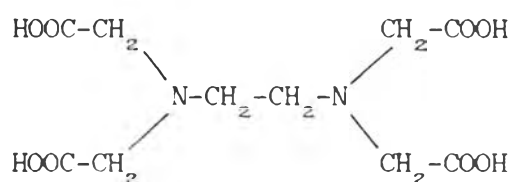
บทบาทของคีเลเตอร์ต่อการเจริญของแพลงก์ตอนพืช

คีเลเตอร์ (chelator) มีทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ มีบทบาทช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยช่วยเพิ่มธาตุโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ให้อยู่ในรูปแบบที่

แพลนก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้มากขึ้น และช่วยลดระดับความเป็นพิษของโลหะบางชนิดโดยรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Anderson และ Morel, 1978) ในธรรมชาติพบว่ากรดฮิวมิก (humic acid) เป็นสารประกอบที่มีบทบาทในการจับธาตุโลหะ อีกทั้งช่วยเพิ่มปริมาณธาตุโลหะบางชนิดที่พืชต้องการ และลดความเป็นพิษของทองแดง ทำให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เช่น ขณะที่มีการเพิ่มจำนวนมากและรวดเร็วของ *Gymnodinium breve* บริเวณชายฝั่ง Florida พบว่ากรดฮิวมิกสูงมาก (Donnellig et al, 1966 ; อ้างตาม ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์, 2530)

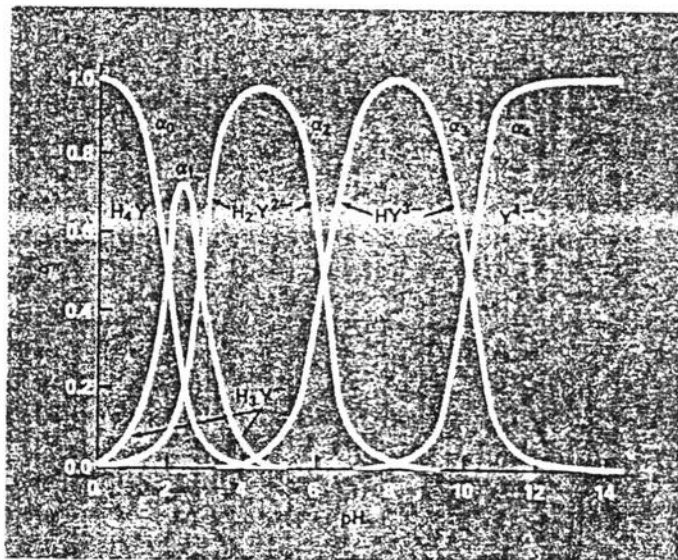
นอกจากนี้แล้วยังมีดีเลเตอร์ที่เป็นชนิดสังเคราะห์ เช่น EDTA (ethylenediamine teracetic acid) และ NTA (nitrilotri acetic acid) จะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตแก่แพลนก์ตอนพืช (Anderson และ Morel, 1978)

EDTA จัดเป็นสารประกอบ polyaminocarboxylic acids ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน (weak acid) มีโครงสร้างทางเคมีดังนี้

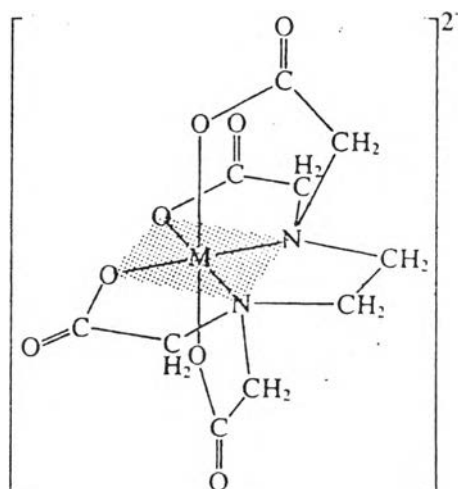


ความสามารถในการละลายของ EDTA จะถูกควบคุมโดยความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจะมีลำดับของการแตกตัวเป็นไอออน 4 ครั้ง ในกรณีที่สารละลายตัวกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3 ถึง 6 EDTA สามารถแตกตัวให้อิออนอิสระในรูปแบบของ H_2Y^{2-} ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายตัวกลางอยู่ในช่วง 6 ถึง 10 EDTA สามารถแตกตัวให้อิออนอิสระในรูปแบบของ HY^{3-} และในกรณีที่สารละลายตัวกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 10 EDTA สามารถแตกตัวให้อิออนอิสระในรูปแบบของ Y^{4-} (ภาพที่ 5)

การรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ EDTA กับไอออนของธาตุโลหะซึ่งจะรวมกันได้ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยไม่คำนึงว่า cation นั้นมีประจุเป็นเท่าไร ในสภาวะที่สารละลาย



ภาพที่ 5 ความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนของ EDTA โดยจะแปรผันไปตาม ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลายตัวกลาง (จาก Skoog และ West, 1979)

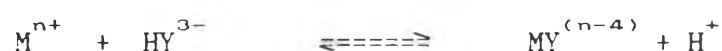


ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างธาตุโลหะกับ EDTA (จาก Skoog และ West, 1979)

ตัวกลางมีสภาพเป็นกรดขนาดกลาง EDTA และไอออนของโลหะจะเกิดปฏิกิริยาตามสมการดังนี้



หรือเขียนในรูปของสมการทั่ว ๆ ไปดังนี้คือ



(ในสภาพที่สารประกอบตัวกลางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6 ถึง 10)

แต่เพื่อความเสถียรของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น EDTA จึงเลือกที่จะรวมตัวกับไอออนของธาตุโลหะที่มีประจุ 2^+ (divalent metal ion) (Skoog และ West, 1979) (ภาพที่ 6)

Graneli, Persson และ Edler (1986) ได้ศึกษาอิทธิพลของทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก และ คีเลเตอร์พวก EDTA และ NTA ต่อแหล่งกักตุนพืชพบว่าเมื่อเติม EDTA 10^{-7} , 10^{-8} โมลาร์ และ NTA 10^{-7} , 10^{-8} โมลาร์ ลงไปในน้ำเลี้ยงจะช่วยลดความเป็นพิษของทองแดง และเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

