หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

แพลงตอนพืชในทะเลประกอบด้วยไดอะตอมและไดโนแฟลกเจลเลตเป็นส่วนใหญ่ โดยกลุ่มของไดโนแฟลกเจลเลตจะมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากกลุ่มของไดอะตอม และมีบทบาทสำคัญในฐานะเป็น primary producer ของห่วงโซ่อาหาร บางครั้งเมื่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมเหมาะสมแพลงตอนพืชในกลุ่มนี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีหรือขี้ปลาวาฬขึ้นได้เช่นเดียวกับแพลงตอนพืชชนิดอื่น ๆ ซึ่งมักพบเสมอบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล ทำให้บริเวณดังกล่าวอุดมสมบูรณ์ด้วยสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ เช่น บริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศเปรู เมื่อเกิดน้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจาก Gymnodinium spendens ทำให้บริเวณนี้มีตัวอ่อนของปลาแองโชวี (anchovy) ชุกชุม (Blance, 1979) แต่ในบางครั้งการเกิดน้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากไดโนแฟลกเจลเลต อาจทำให้ทรัพยากรประมงเสื่อมโทรม และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคทรัพยากรประมงที่มาจากบริเวณที่เกิดน้ำเปลี่ยนสีหรือบริเวณใกล้เคียง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงตอนพืชที่เป็นสาเหตุของน้ำเปลี่ยนสีนั้น สุนีย์ สุวภีพันธ์ (2528) ได้รายงานถึงน้ำเปลี่ยนสีกับการประมงทะเลของไทย ว่าการเกิดน้ำเปลี่ยนสีในบริเวณชายฝั่งทะเลเมื่อสูบน้ำไปใช้เลี้ยงปลาในที่จำกัด เช่น ในบ่อเลี้ยงปลา ได้ทำความเสียหายแก่ฟาร์มเลี้ยงปลาบริเวณอ่าวไทยตอนในเป็นมูลค่าถึง 29 ล้านบาท ในปี 2526 ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีครั้งสำคัญและส่งผลต่อเศรษฐกิจการประมงอย่างมาก คือ การเกิดน้ำเปลี่ยนสีบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดพิษอัมพาตในหอยแมลงภู่ เมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2526 (ทวีศักดิ์ ปิยะกาญจน์, 2527, สุทธิชัย เตมียวณิชย์, 2527 และ สุนีย์ สุวภีพันธ์, 2528) ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะเกิดจากไดโนแฟลกเจลเลตชนิดหนึ่งในสกุล Protogonyaulax ทำให้ผู้บริโภคหอยแมลงภู่ที่กินแพลงตอนพืชชนิด นี้ มีอาการของอัมพาตชั่วคราวและระบบต่าง ๆ ของร่างกายทำงานผิดปกติในผู้ป่วยที่ได้รับพิษมากอาจจะตายได้เนื่องจากระบบหายใจล้มเหลว นอกจากนี้ยังส่งผลต่อสินค้าสัตว์น้ำทำให้ราคาตกต่ำ และมีการระงับการส่งออกสินค้าสัตว์น้ำ ซึ่งกระทบกระเทือนต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศแบบต่อเนื่องไม่อาจประเมินค่าได้

การศึกษาถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการเจริญของไดโนแฟลเจลเลตที่เป็นพิษ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทำการศึกษาให้ทราบถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่โน้มนำหรือเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากไดโนแฟลกเจลเลตที่เป็นพิษ ทั้งนี้เพื่อที่จะวางแผนป้องกันหรือจัดการกับปัญหาเมื่อเกิดน้ำเปลี่ยนสีขึ้นอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่ทราบแน่ชัดว่าปัจจัยอะไรบ้างที่เป็นสาเหตุ หรือ โน้มนำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้น แต่การที่ปรากฏการณ์นี้มักเกิดขึ้นเสมอบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล แสดงให้เห็นว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่ง ซึ่งแตกต่างจากคุณภาพของน้ำทะเลที่อยู่ในทะเลหลวงอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งคุณสมบัติทางเคมี และทางฟิสิกส์ เช่น ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งจะมีการแปรเปลี่ยนสูงปริมาณสารอาหารตลอดจนแร่ธาตุต่าง ๆ ในบริเวณปากแม่น้ำ และชายฝั่งจะมีความเข้มข้นสูงกว่าในทะเลหลวง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาถึงการแพร่กระจายของไดโนแฟลกเจลเลตในอ่าวไทย พรศิลป์ ผลพันธิน (2530) รายงานว่า มีไดโนแฟลกเจลเลตในสกุล Protogonyaulax ถึง 4 ชนิดคือ P. tamarensis, P. cohorticula, P. fratercula และ P. leei แพร่กระจายทั่วไปในอ่าวไทย แต่มีปริมาณน้อย ซึ่งในต่างประเทศพบว่าแพลงตอนพืชที่อยู่ในสกุล Protogonyaulax มีหลายชนิดที่เป็นพิษ เช่น P. tamarensis, P. catenella เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเรื่องน่าสนใจที่จะศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการเจริญของ Protogonyaulax ซึ่งมีการแพร่กระจายในอ่าวไทย เพราะอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสีขึ้นเมื่อใดก็ได้ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของประชาชน ทรัพยากรประมงและเศรษฐกิจของประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่ง P. tamarensis และ P. cohorticula ซึ่งสามารถนำมาขยายพันธุ์ได้ในห้องปฏิบัติการ

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงอิทธิพลของความเค็ม และความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญของ Protogonyaulax tamarensis และ P. cohorticula โดยปัจจัยทั้งสองประการนี้มีรายงานว่ามีอิทธิพลต่อการเจริญของแพลงตอนพืชหลายชนิด การศึกษาครั้งนี้จึงตั้งข้อสมมติฐานไว้ว่า ปัจจัยทั้งสองจะช่วยกระตุ้นการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดดังกล่าว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของความเค็มต่อการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิด

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิด

3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของปัจจัยร่วมของความเค็มและกรดฮิวมิคต่อการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิด

4. เพื่อศึกษาขั้นตอนต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ที่มีการเจริญดีที่สุดในข้อ 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของความเค็มและกรดฮิวมิคต่อการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิด

2. การศึกษาขั้นตอนการแบ่งเซลล์ จะทำให้ทราบถึงส่วนหนึ่งในวงจรชีวิตของไดโนแฟลกเจลเลตที่ศึกษาทั้งสองชนิดและสามารถนำผลไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาอัตราการเจริญของเซลล์ได้

3. การศึกษาการแพร่กระจายขนาดของเซลล์ จะทำให้ทราบถึงขนาดของเซลล์ในแต่ละช่วงของการเจริญ ซึ่งอาจใช้ในการประมาณการเจริญในธรรมชาติได้

4. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาหาสาเหตุของการเกิดน้ำเปลี่ยนสีในทะเลต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสำรวจเอกสาร

แพลงตอนพืชที่ใช้ในการทดลอง

Phylum Pyrrphophyta

Class Dinophyceae Fritsch

Order Dinophysiales Lindemann

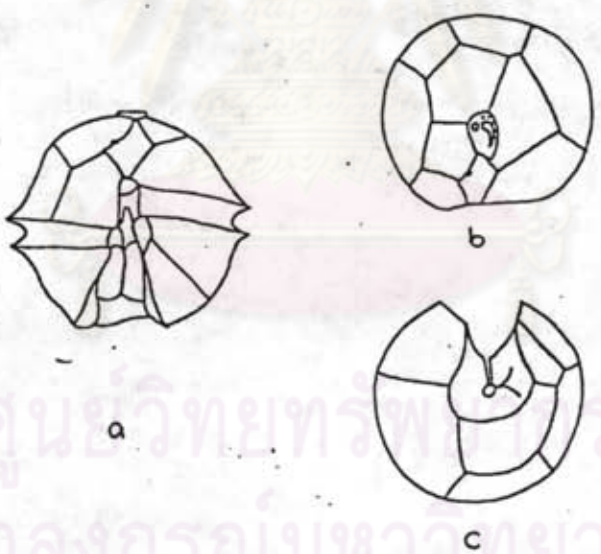
Family Gonyaulacaeae Lindemann

Genus Protogonyaulax Taylor

Protogonyaylax cohorticula (Balech) Taylor 1979

P. tamarensis (Lebour) Taylor 1979

Protogonyaulax cohorticula (Balech) Taylor



รูปที่ 1 เปลือกของเซลล์ P. cohorticula รูปจากพรศิลป์ ผลพันธิน, (2530)

a. แสดงลักษณะของ P. cohorticula ด้าน ventral view

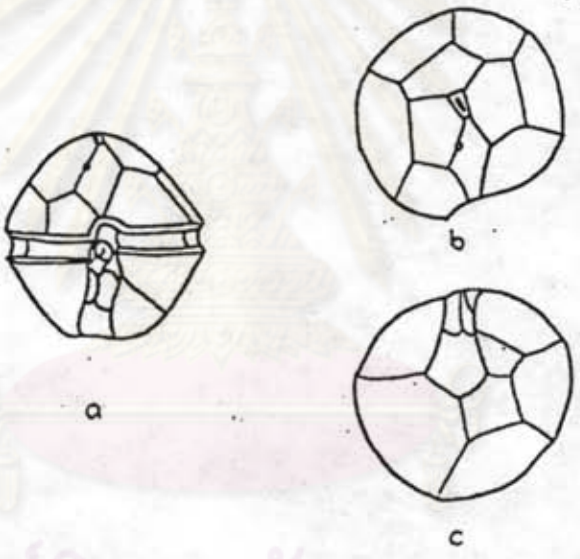
b. แสดงลักษณะของ epitheca

c. แสดงลักษณะของ hypotheca

เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีความกว้างมากกว่าความยาวเล็กน้อย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 30 - 50 ไมครอน sulcus มีลักษณะแคบทางด้านบนและค่อนข้างกว้างทางด้านล่าง และมี sulcul list มองเห็นได้ชัดเจน

P. cohorticula พบครั้งแรกบริเวณอ่าวเม็กซิโก โดย Balech (1967) การพบในประเทศไทยบริเวณอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี นับเป็นครั้งที่สองที่พบและเป็นครั้งแรกที่สามารถนำมาขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการได้ โดยปกติเข้าใจว่าจะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ เมื่อมีการเจริญเซลล์จะต่อกันเป็นสาย

Protogonyaulax tamarensis



รูปที่ 2 เปลือกของเซลล์ P. tamarensis รูปจากพรศิลป์ ผลพันธิน(2530)

a. แสดงลักษณะของ P. tamarensis ด้าน ventral view

b. แสดงลักษณะของ epitheca

c. แสดงลักษณะของ hypotheca

เซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีความยาวมากกว่าความกว้างเล็กน้อย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 22 - 35 ไมครอน มี ventral pore อยู่ตรงรอยต่อ ระหว่าง plate ที่ 1 กับ plate ที่ 4 เช่นเดียวกับ P. cohorticula แต่ส่วนใหญ่มักไม่พบ posterior attachment pore ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ P. tamarensis ไม่มี sulcul list

P. tamarensis เป็นไดโนแฟลกเจลเลตชนิดหนึ่งที่เป็นสาเหตุของพิษอัมพาตจากสัตว์ทะเล (PSP = Paralytic Shellfish Poisoning) มีการแพร่กระจายเกือบทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตอบอุ่น แต่ในบางสายพันธุ์ก็พบว่าไม่เป็นพิษ เช่น P. tamarensis บริเวณปากแม่น้ำ Tarmar River ประเทศอังกฤษ (Leoblich, 1975) สำหรับในประเทศไทยพบครั้งแรกบริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภายหลังจากที่เกิดปัญหาพิษอัมพาตในหอยแมลงภู่บริเวณปากแม่น้ำปราณบุรี แต่พบในปริมาณน้อย

การแพร่กระจายของ P. cohorticula และ P. tamarensis ในอ่าวไทย

พรศิลป์ ผลพันธิน (2530) ได้รายงานถึงการแพร่กระจายของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า P. tamarensis จะแพร่กระจายบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งมากกว่า P. cohorticula ซึ่งส่วนใหญ่พบแพร่กระจายบริเวณอ่าวไทย

1. อิทธิพลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญของไดโนแฟลกเจลเลต

กรดฮิวมิก (humic acids) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสารประกอบฮิวมิก (humic substance) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง โดยสารประกอบฮิวมิกนี้เป็นส่วนประกอบของฮิวมัส ละลายได้ในด่าง เมื่อนำมาทำปฏิกริยากับกรดจะได้ตะกอนซึ่งเป็นกรดฮิวมิก ส่วนที่ไม่ตกตะกอนในกรดจะเป็นกรดฟุลวิก (fulvic acids) ดังนั้น เมื่อกล่าวถึงสารประกอบฮิวมิก (humic substance) จะหมายถึงกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก (Stevenson, 1979) ดังแสดงในรูปที่ 4

กรดฮิวมิกที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลจะมีอยู่ประมาณ 30 - 50%. ของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล (Dissolved organic carbon) (Thurman and Malcolm, 1981; Thurman et al, 1982)

แหล่งของกรดฮิวมิก ในน้ำทะเลส่วนใหญ่มาจากแผ่นดินโดยถูกน้ำชะล้างแล้วไหลลงสู่ทะเลหรืออาจเกิดจากการขับถ่ายของพืชน้ำ แพลงตอน และสาหร่าย (Prakash et al 1972) Rashid and Prakash (1972) พบว่าสูตรโครงสร้างส่วนใหญ่ของกรดฮิวมิกที่สกัดจากการย่อยสลายของสาหร่ายทะเลไม่แตกต่างจากที่สกัดได้จากตะกอนดินในทะเลหรือจากดินบนบก น้ำทะเลชายฝั่งจะมีกรดฮิวมิกประมาณ 0.003 - 2.4 ppm (Sieburth and Jensen, 1968;

Hair, 1973)

กรดฮิวมิกประกอบด้วยกลุ่มทำปฏิกริยา (functional groups) หลายกลุ่ม เช่น carboxyl; phenolic - ; alcohol - และ enolic OH, quinones และ hydroxyquinones; lactones; esters เป็นต้น จึงทำให้ยังไม่ทราบสูตรโมเลกุลและสูตรโครงสร้างที่แน่นอน ดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ รูปที่ 5 (Stevenson, 1979)

ปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการเจริญของแพลงตอนพืช โดยทั่วไปจะคำนึงถึงสารอาหารที่เป็นสารอนินทรีย์(inorganic micronutrients) หลัก 2 ชนิด คือ ไนเตรต และ ฟอสเฟต แต่ปัจจุบันพบว่า คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญของแพลงตอนพืช ยังขึ้นอยู่กับการมีหรือไม่มีสารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อยในทะเลอีกด้วย (biologically active substance) และ chelators (Johnston, 1955; Provasoli, 1963; Barber and Ryther, 1969; Prakash et al. 1972; Raymont, 1980) สำหรับกรดฮิวมิก ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อยชนิดหนึ่งในทะเลจะมีบทบาทสำคัญต่อผลผลิตปฐมภูมิและความสมบูรณ์ของชายฝั่งทะเล กล่าวคือ จะทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นการเจริญของแพลงตอนพืช (Provasoli, 1963; Prakash et al. 1972) การที่สารประกอบฮิวมิกช่วยกระตุ้นการเจริญของแพลงตอนพืชนี้สามารถอธิบายได้ตามคุณสมบัติของสารประกอบฮิวมิก ดังนี้คือ

1. คุณสมบัติที่เป็นตัวจับธาตุโลหะ (metal chelation properties)

1.1 คุณสมบัติที่เป็นตัวจับธาตุโลหะจะลดความเป็นพิษของน้ำทะเล โดยจะจับธาตุโลหะที่เป็นพิษ เช่น ทองแดง (Cu) ผลการศึกษาในปัจจุบันพบว่าโลหะที่เป็นพิษ จะเป็นพิษต่อแพลงตอนพืชเมื่ออยู่ในรูปของอิออน ดังนั้น เมื่ออิออนของโลหะที่เป็นพิษทำปฏิกริยากับกรดฮิวมิกเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนแล้ว จึงไม่เป็นพิษกับแพลงตอนพืช (Anderson, 1979 และ Huntsman, et al. 1980)

1.2 คุณสมบัติที่เป็นตัวจับธาตุโลหะ จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็นตัวควบคุมสมดุลย์การละลายของธาตุโลหะประจุบวก (metal buffer) โดยการปล่อยอิออนของธาตุโลหะให้กับน้ำ เมื่ออิออนของธาตุโลหะนั้นถูกนำไปใช้โดยแพลงตอนพืช ภายใต้ภาวะที่เหมาะสม และจะไม่ปล่อยอิออนให้ถึงระดับที่เป็นพิษกับแพลงตอนพืช (Huntsman and Sunda 1980) ขณะเดียวกันกลุ่มทำปฏิกริยาที่เป็น amino acid และ quinones จะดึงอิออนของธาตุโลหะในปริมาณมากจากเกลือที่ไม่ละลายน้ำ (Rashid and Leonard, 1973) นอกจากนี้ ฟอสเฟตที่

ละลายอยู่ในมวลน้ำอาจตกตะกอนจมลงเมื่อทำปฏิกริยากับธาตุโลหะที่แตกตัวเป็นประจุบวก เช่น อะลูมิเนียม ทองแดง แคลเซียม เป็นต้น ทำให้แพลงตอนพืชไม่สามารถนำเอาฟอสเฟตไปใช้ได้ การมีอยู่ของกรดฮิวมิกจะทำให้การตกตะกอนของสารอาหารช้าลง หรือเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักโมเลกุลของกรดฮิวมิก และธาตุโลหะประจุบวกนั้น ๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณกรดฮิวมิกสูงเกินไปอาจจะยับยั้งการเจริญของแพลงตอนพืชได้โดยกรดฮิวมิกอาจจะลดการทำงาน (activity) ของอิออนของโลหะที่จำเป็นต่อการเจริญของแพลงตอนพืช ให้ต่ำลงกว่าระดับที่เหมาะสมที่แพลงตอนพืชจะนำไปใช้ในการเจริญได้ (Huntsman and Sunda, 1980) นอกจากนี้ยังเลือกดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง (Prakash et. al., 1973)

2. คุณสมบัติที่มี phenolic group เป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะ quinone มีความสำคัญมาก เพราะ quinones มีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกริยา (catalytic reaction) หลายชนิดซึ่งเกี่ยวกับขบวนการเผาผลาญของเซลล์ (cell metabolism) และ การเจริญ (Rashid, 1971 และ Prakash, et al. 1973) อย่างไรก็ตาม phenolic ที่ปล่อยออกมาโดยสาหร่ายทะเล Fucus vesiculosus พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 2.5 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร จะยังยั้งการเจริญของแพลงตอนพืช (McLachlan and Craigie, 1964)

จากคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อประกอบกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดการเจริญอย่างรวดเร็วขึ้นได้

Prakash and Rashid (1968) ได้ทำการศึกษาผลของกรดฮิวมิกต่อการเจริญของ P. tamarensis พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดฮิวมิกน้อยกว่า 2 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร การเจริญมีแนวโน้มหยุดชะงัก เซลล์มีขนาดใหญ่และมีรูปร่างผิดปกติที่ความเข้มข้นมากกว่า 35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าอัตราการเจริญจะ ลดต่ำลง และพบว่ากรดฮิวมิกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำประมาณ 700 จะให้การเจริญดีที่สุด

Donnelly et al (1966) รายงานว่า การเจริญอย่างรวดเร็วในปริมาณมาก (massive bloom) ของ Gymnodinium breve บริเวณนอกชายฝั่งฟลอริดา อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นสูงของกรดฮิวมิก

Prakash (1971) ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเจริญอย่างรวดเร็ว (bloom) ของ Pyrodinium bahamense บริเวณ Oyster Bay, Jamica เกิดจากการกระตุ้นโดยสารประกอบฮิวมิกที่มาจากป่าเลนในบริเวณอ่าวดังกล่าว

Graneli, et al. (1985) ได้ทำการศึกษาผลของกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก ต่อ

Prorocentrum minimum พบว่า สารทั้งสองชนิดกระตุ้นการเจริญของ P. minimum ให้ดีขึ้น โดยเชื่อว่าสารทั้งสองตัวนี้จะเป็นแหล่งไนโตเจน ที่ P. minimum นำไปใช้ได้

Johnston, (1964) รายงานว่าตัวจับธาตุโลหะ (chelated trace metal) จะช่วยกระตุ้นการเจริญของ Skeletonema costatum ได้ดีกว่าไวตามิน

2. อิทธิพลของความเค็มต่อการเจริญของไดโนแฟลกเจลเลต

Prakash (1967) พบว่า ปัจจัยความเค็มมีความสำคัญมากกว่าอุณหภูมิในการควบคุมการเจริญในธรรมชาติของ Gonyaulax tamarensis และจากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 10°C ช่วงความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเจริญอยู่ในช่วง 19 - 20 ‰ และมีช่วงความทนทานต่อความเค็มอยู่ระหว่าง 7 - 40 ‰ ส่วนช่วงความทนทานต่ออุณหภูมิมีค่าระหว่าง 5 - 25 °C

Yentsch (1975) พบว่าช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญของ Gonyaulax tamarensis มีค่าระหว่าง 20 - 28 ‰ และช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 15 - 20°C

Louisa and Chew (1975) พบว่า Gonyaulax catenella มีช่วงระดับความเค็มที่เหมาะสมกับการเจริญระหว่าง 20 - 37 ‰ และ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 13 - 17 °C

White (1978) พบว่าช่วงความเค็มที่เหมาะสมต่อการเจริญของ Gonyaulax excavata มีค่าระหว่าง 20 - 40 ‰ ช่วงความทนทานต่อความเค็มมีค่าระหว่าง 11 - 43 ‰ และที่ระดับความเค็ม 30.5 ‰ จะเจริญดีที่สุด และพบว่าความเป็นพิษของ Gonyaulax excavata จะเพิ่มขึ้นตามความเค็มที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับความเค็ม 37 ‰

Blance (1979) รายงานว่า Gymnodinium splendens ที่มีการเจริญอย่างรวดเร็วบริเวณชายฝั่งของประเทศเปรู จะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญอยู่ระหว่าง 18 - 21 °C และ ช่วงความเค็มที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 34.8 - 35.1 ‰

Watras et al. (1982) ได้แสดงให้เห็นว่าความเค็มและอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมการเจริญของ Gonyaulax tamarensis และได้เสนอสูตรความสัมพันธ์แบบง่าย ๆ ในการทำนายการเกิดการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (bloom)

Schrey et al.(1984) รายงานว่าขณะมีการเจริญอย่างรวดเร็วของ Gonyaulax tamarensis บริเวณ Long Island Estuaries ความเค็มที่ผิวน้ำมีค่าระหว่าง 15 - 28 ‰ ส่วนที่ลึกหน้าผิวดินมีค่าระหว่าง 20 - 28 ‰

Blanco et al (1985) พบว่าที่ผิวน้ำขณะมีการเจริญอย่างรวดเร็วของ Gonyaulax tamarensis มีค่าความเค็มระหว่าง 22 - 27 ‰.

Therriault, et al. (1985) พบว่าขณะที่เกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของ Protogonyaulax tamarensis บริเวณที่พบเซลล์มีความหนาแน่นมากที่สุด มีความเค็มของน้ำทะเลประมาณ 28.2 ‰.

3. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่โน้มนำหรือเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจากไดโนแฟลกเจลเลต

การเกิดน้ำเปลี่ยนสี (red tides) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ซับซ้อน นักแพลงตอนวิทยาได้รายงานถึงปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุหรือโน้มนำให้เกิดน้ำเปลี่ยนสีแตกต่างกัน เมื่อกล่าวถึงน้ำเปลี่ยนสีควรแยกระหว่าง mixed phytoplankton bloom กับ red tides ออกจากกัน การเกิดน้ำเปลี่ยนสี (red tides) หมายถึง การที่น้ำทะเลมีสีเปลี่ยนไปจากปกติเนื่องจากมีการเจริญขึ้นอย่างรวดเร็วของแพลงตอนพืชเพียงชนิดเดียว หรือมีปริมาณ 90 - 95 ‰ ของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีนั้น (Sweeney, 1979) ทั้งนี้เพื่อที่จะช่วยให้เราเข้าใจถึงปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีตลอดจนนิเวศน์วิทยาของทะเลได้ชัดเจนขึ้น เพราะการเจริญแพลงตอนพืชชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างรวดเร็วในปริมาณมาก ในขณะที่แพลงตอนพืชชนิดอื่นมีปริมาณน้อยมากหรือเกือบจะไม่มีการเจริญเลย แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมขณะนั้นเหมาะสม หรือแพลงตอนพืชชนิดนั้นสามารถปล่อยสารบางชนิดซึ่งอาจยับยั้งการเจริญของแพลงตอนชนิดอื่น ๆ หรือ มีพฤติกรรมบางประการทำให้ได้เปรียบ เช่น Gonyaulax มีพฤติกรรม diurnal vertical migration เมื่อแพลงตอนพืชขึ้นมาที่ผิวน้ำเพื่อสังเคราะห์แสง มีการเพิ่มขนาดประชากรบริเวณผิวน้ำ จะเป็นการกีดกันการเพิ่มขนาดประชากรของแพลงตอนพืชชนิดอื่น เป็นต้น

อย่างไรก็ตามในการเกิดน้ำเปลี่ยนสีทางนิเวศน์วิทยา มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ (Steidinger, 1975)

1. เริ่มมีการเพิ่มขนาดประชากร (motile population)
2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม ได้แก่ ความเค็ม อุณหภูมิ สารอาหาร และ ปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแพลงตอนพืชนั้น
3. เกิดการเจริญอย่างรวดเร็ว และแพร่กว้างออกไป โดย hydrological และ meteorological forces

นักแพลงตอนวิทยาให้ความสนใจในข้อ 2 เป็นพิเศษ แม้ว่าปัจจัยต่าง ๆ จะสัมพันธ์

กันและซับซ้อนมากในการเกิดน้ำเปลี่ยนสีแต่ก็ได้มีการศึกษากันอย่างมากถึงปัจจัยที่สำคัญที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเกิดน้ำเปลี่ยนสี ซึ่งย่อมแตกต่างกันไปตามสถานที่ชนิดของ แพลงตอนพืช ฤดูกาล และปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

Zubkoff และ Warinner (1975) ทำการศึกษาปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี บริเวณอ่าวเชสสนีค (Chesapeake) ได้เสนอสมมุติฐานสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่จะเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี โดยไดโนแปลกเจลเลตไว้ 3 ประการคือ

1. การเกิดน้ำเปลี่ยนสีหลังจากฝนตก ในอ่าวเล็ก ๆ และชายฝั่งทะเล ไดโนแฟลกเจลเลต ที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสี ได้แก่ Prorocentrum minima , Peridinuum triquetrum เป็นต้น

2. การเกิดน้ำเปลี่ยนสี ในอ่าวที่น้ำมีความเค็มสูงขึ้น และมีอุณหภูมิสูง (> 24°C) และมีการแพร่ของน้ำที่มีความเค็มและอุณหภูมิสูงเข้าไปใน York River ไดโนแฟลกเจลเลตที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสี ได้แก่ Cochlodinium heterolobatum เป็นต้น

3. การเกิดน้ำเปลี่ยนสี ในน้ำที่มีความเค็มต่ำในร่องน้ำของ York River ประกอบกับการมีเสถียรภาพของน้ำ (water column stability) และมีน้ำผุดแทรกระหว่างชั้นของความเค็มของน้ำ จากนั้นจะมีการพัฒนาเกิดน้ำเปลี่ยนสี แล้วมีการเคลื่อนที่ของน้ำเปลี่ยนสีไปยังบริเวณน้ำที่มีความเค็มมากขึ้นในภายหลัง ไดโนแฟลกเจลเลต ที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสี ได้แก่ Gymnodinium splendens เป็นต้น

Mulligan (1975) ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีอันเนื่องมาจาก P. tamarensis บริเวณ New England พบว่า ความเค็มและอุณหภูมิไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเกิดน้ำเปลี่ยนสี และพบว่า P. tamarensis ไม่ได้เกิดการเจริญอย่างรวดเร็ว (bloom) เป็นที่แน่นอนในแต่ละปี และแม้ว่ามีการเจริญอย่างรวดเร็วเกิดขึ้น ก็จะถูกจำกัดตามลักษณะภูมิประเทศ ไม่ได้เกิดทั่วบริเวณซึ่งมีความเค็มและอุณหภูมิ เช่นเดียวกัน เช่น บริเวณตอนใต้ของ Cape Ann. ซึ่งมี seed ของ P. tamarensis อยู่ ได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิและความเค็มเช่นเดียวกันแต่เกิดน้ำเปลี่ยนสีโดย Skeletonema costatum แทนที่จะเป็น P. tamarensis

บริเวณอ่าว Maine ซึ่งเกิดน้ำผุดบ่อย ๆ พบว่า ความเข้มข้นของสารอาหารทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ มีค่าสูง ทำให้ Skeletonema costatum มีการเจริญอย่างรวดเร็ว และพบว่าแพลงตอนพืชชนิดนี้จะปล่อย Thiamine (B_1) และ biotin ออกมาจากเซลล์ ซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้นการเจริญของ P. tamarensis ให้ดีขึ้น

Mulligan (1975) ได้สรุปปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมการเจริญของ P. tamarensis ไว้ดังนี้

1. เกิดน้ำผุด (upwelling)
   - พา cysts ของ P. tamarensis ขึ้นมายัง euphotic zone มีสารอาหารมากสำหรับการเจริญ มวลน้ำชายฝั่งมีการเคลื่อนที่จาก Cape Ann. ไปทางทิศเหนือ ในช่วงตอนปลายของฤดูใบไม้ผลิ และ ฤดูร้อน
2. อากาศอบอุ่นและเป็นช่วงที่อากาศแห้ง
   - ทำให้มวลน้ำมีเสถียรภาพ (water column stability) อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารอาหารในแม่น้ำมีค่าสูง
3. ฝนตก
   - มีการเคลื่อนที่ของประชากร P. tamarensis ที่อยู่บริเวณชายฝั่งเข้าไปยังบริเวณน้ำกร่อยเพิ่มขึ้น ในบริเวณน้ำกร่อยจะมีการเจริญ มีการเพิ่มความหนาแน่นของประชากรที่ผิวโดย vertical migration มีสารอาหารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved organic) และสารอาหารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำจะช่วยให้เกิดการเจริญเพิ่มขนาดประชากรขึ้นอย่างรวดเร็ว

Schrey, et al. (1984) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไนเตรต ทำให้เกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของ Gonyaulax tamarensis บริเวณ Long Island Estuaries

Blance (1979) รายงานว่าการเกิดน้ำเปลี่ยนสีของ Gymnodinium splendens มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 18 - 21 °C และมีความเค็มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 34.8 - 35.1 ‰

Mahony and Steimle (1979) รายงานว่า ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์กายภาพและ อุตุนิยมวิทยาของทะเล (meteorological factors) จะมีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำเปลี่ยนสี

Glover (1978) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของโลหะธาตุเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำบริเวณชายฝั่งของอ่าว Maine กับการเจริญอย่างรวดเร็วของไดโนแฟลกเจลเลต พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของโลหะธาตุเหล็กเหนือชั้นของ thermocline ซึ่งมีความเค็มของน้ำต่ำ ในขณะที่สารอาหารไนเตรต มีปริมาณต่ำไม่เพียงพอต่อการกระตุ้นการเจริญของแพลงตอนพืช แต่ก็เกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของไดโนแฟลกเจลเลต ขึ้นได้

Ingle and Martin (1971) ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญอย่างรวดเร็วของ Gymnodinium breve บริเวณชายฝั่ง Florida กับค่าดัชนีของธาตุโลหะ

Barber and Ryther (1969) พบว่า ที่ผิวน้ำบริเวณเส้นศูนย์สูตรที่เกิดน้ำผุดอันเนื่องมาจากกระแสน้ำ Cromwel มีสารอาหารอนินทรีย์สูง แต่ให้การเจริญของแพลงตอนพืชต่ำกว่าบริเวณเหนือและใต้ของเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ (dissolved organic carbon) สูงกว่า จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวจับธาตุโลหะในธรรมชาติ (natural organic chelator) ซึ่งมาจากสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ผิวน้ำ จะเป็นสาเหตุกระตุ้นให้แพลงตอนพืช บริเวณเหนือและใต้เส้นศูนย์สูตรมีการเจริญดีกว่าที่เส้นศูนย์สูตร

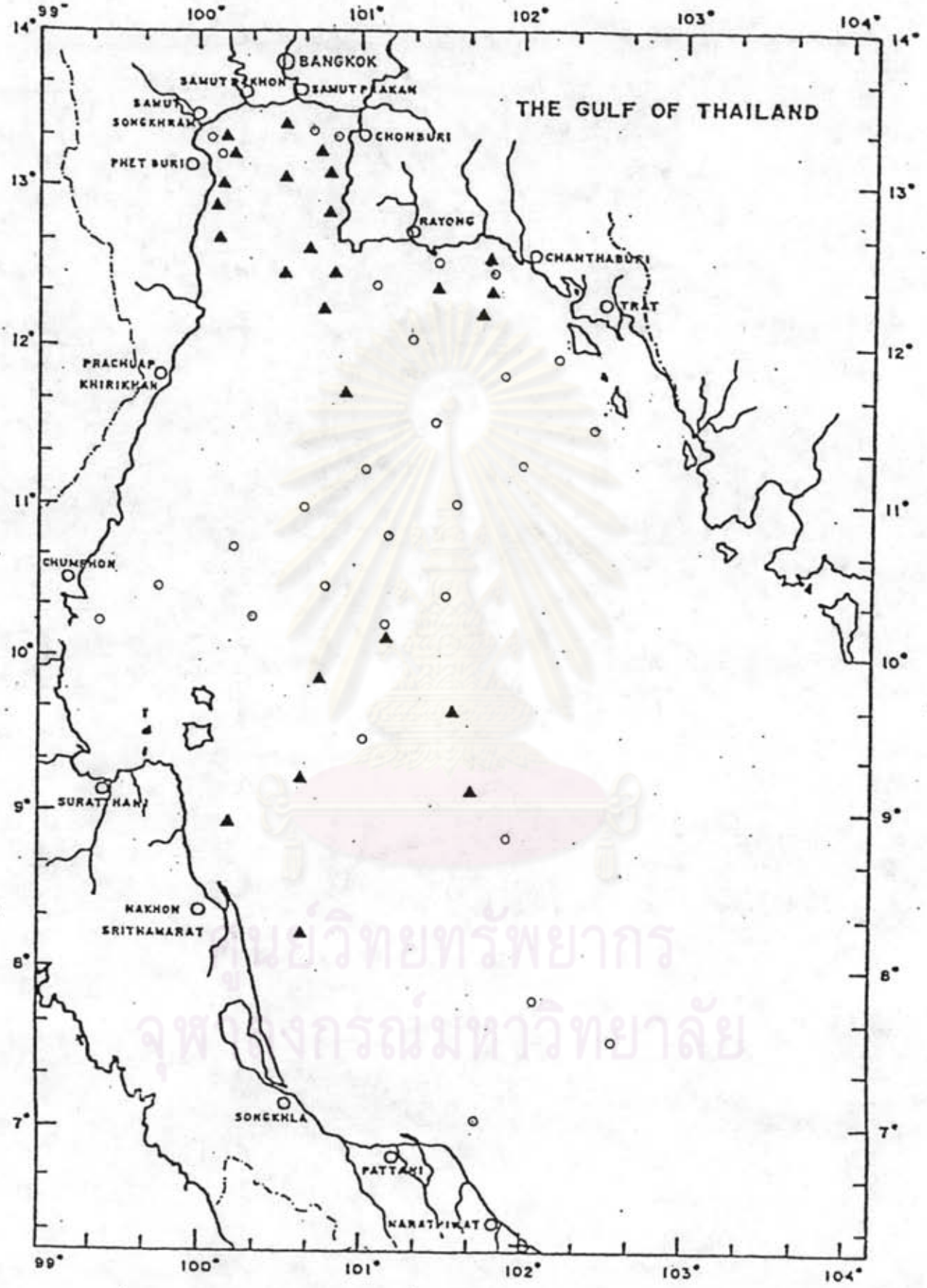
Prakash and Taylor (1966) รายงานว่า วิตามิน B 12 (13 ng/l) จะเป็นตัวกระตุ้นให้มีการเจริญอย่างรวดเร็วของ Gonyaulax acatenella บริเวณ Malaspina Inlet

Ryther and Bunstan 1971 พบว่าการเกิด eutrophication บริเวณชายฝั่งทะเล ไนโตรเจนจะเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญของแพลงตอนพืชมากกว่าฟอสฟอรัส

Maclsaac (1978) พบว่า สารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนเตรต มีความจำเป็นต่อ การเจริญอย่างรวดเร็ว (bloom) ของ Gonyaulax polyedra บริเวณ Baja California

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ควบคุมการเกิดน้ำเปลี่ยนสีนั้นซับซ้อน แต่ละปัจจัยมีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องเป็นระบบ ไม่สามารถแยกพิจารณาเป็นทีละปัจจัยได้ ในการศึกษาจำเป็นต้องมองทั้งระบบจึงจะเข้าใจถึงขบวนการในการควบคุมการเกิดน้ำเปลี่ยนสี แม้ว่าจะมี ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเป็นปัจจัยหลักก็ตาม ปัจจัยรองอื่น ๆ ต้องเหมาะสมด้วย แต่ในการศึกษาจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาทีละปัจจัยแล้วจึงนำมาประกอบพิจารณาร่วมกันเพื่อให้เห็นภาพรวมทั้งหมดของปรากฏการณ์

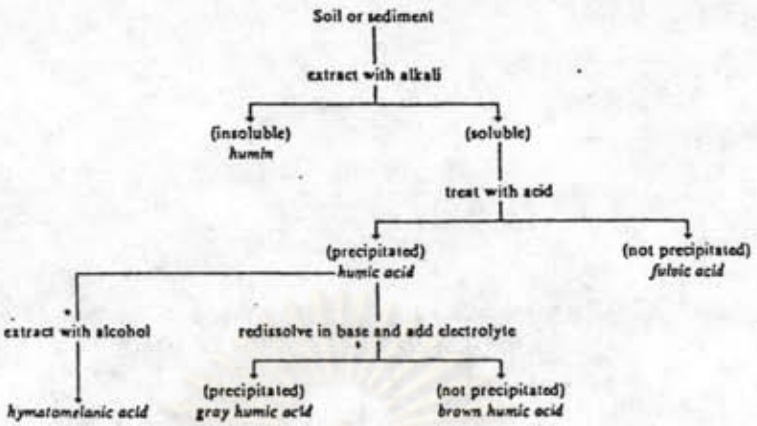
ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาเฉพาะอิทธิพลของความเค็มและความเข้มข้นของกรดฮิวมิกต่อการเจริญของ P. cohorticula และ P. tamarensis ซึ่งพบว่ามีการแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในอ่าวไทย (พรศิลป์ ผลพันธิน , 2530) แต่มีปริมาณน้อย และยังไม่เคยมีรายงานว่าเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำเปลี่ยนสีในประเทศไทย แต่อาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ในอนาคต การศึกษาถึงปัจจัยดังกล่าว เพื่อที่จะทราบว่าปัจจัยเหล่านี้จะมีส่วนช่วยกระตุ้นการเจริญของ Protogonyaulax ทั้งสองชนิดหรือไม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีต่อไป



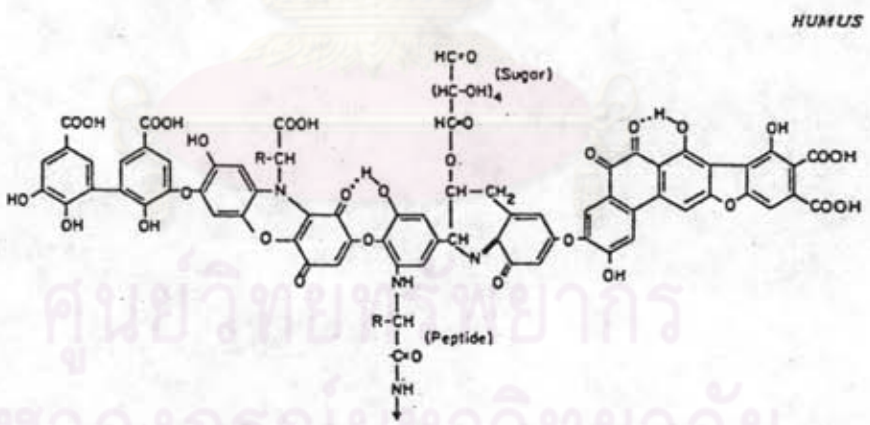
รูปที่ 3. การแพร่กระจายของเซลล์ P. cohorticula และ P. tamarensis (พรศิลป์ ผลพันธิน, 2530)

○ P. cohorticula

▲ P. tamarensis



รูปที่ 4. การแยกองค์ประกอบของฮิวมัส โดยใช้คุณสมบัติของการละลายในสารละลายที่เป็นกรดและด่าง (Stevenson, 1979)



รูปที่ 5. สมมติฐานสูตรโครงสร้างของกรดฮิวมิก (Stevenson, 1979)

012419

ตารางที่ 1. สูตรโมเลกุลของสารประกอบฮิวมิก (Stevenson, 1979)

Source	Formula	References
Humic acid (Japan)	$C_{265}H_{258}O_{76}$ $(OCH_3)(COCH_3)$ $(OH)_{12}(COOH)_{12}$	Hosoda and Takota (1957)
Electrodialyzed humic material from podzol *Ao* horizon	$C_{73}H_{33}O_{17}N_3$ $(COOH)_3$ $(OH)_{12}(CO)_2$	Schnitzer and Desjardins (1962)
Electrodialyzed humic material from podzol *Bh* horizon	$C_{21}H_{12}(COOH)_6$ $(OH)_5(CO)_2$	Schnitzer and Desjardins (1962)

ตารางที่ 2. ร้อยละของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบฮิวมิก และกลุ่มทำปฏิกริยา (functional groups) (Stevenson, 1979)

Preparation	Elemental Composition (%)[a]				Functional groups (me/100 g)[a]					
	C	H	N	O + S	COOH	Phenolic OH	Alcoholic OH	C = O	OCH_3	Total Acidity
Fulvic acid, *Ao* horizon	49.93	4.67	1.27	44.13	610	280	460	310	30	890
Fulvic acid, *Bh* horizon	46.94	3.48	2.31	47.27	720	360	280	-	20	1,080
Humic acid, *Ao* horizon[b]	58.13	5.17	2.14	34.56	280	290	300	300	50	570
Humic acid, *Bh* horizon[c]	56.69	4.94	2.47	35.90	370	290	-	-	40	660

[a] Dry ash-free basis.
[b] Originally listed as *Ao* humic-II.
[c] Originally listed as *Bh* humic.