สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ไนโตรเจน และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี

มาลินี สารพัฒน์

16 ส.ค. 2554
291548
เริ่มบริการ
20 ต.ค. 2554

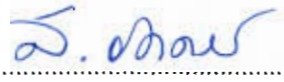
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2554
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ มาลินี สารพัฒน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.ถนอมศักดิ์ บุญภักดี)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จริตควร)

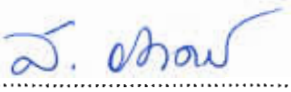
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ ชีวาพร)

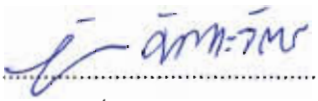
.....กรรมการ

(ดร.ถนอมศักดิ์ บุญภักดี)



.....กรรมการ

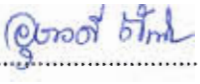
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมถวิล จริตควร)



.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภูษิต มัณฑะจิตร)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา



.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

วันที่ 11 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2554

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม
พิษวิทยา และการบริหารจัดการสารเคมี
ประจำปีการศึกษา 2549

ต้นฉบับไม่ปรากฏหน้านี้

49911840: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ไอโซโทปเสถียรคาร์บอน ไนโตรเจน/ ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี/ สารอินทรีย์/ แพลงก์ตอนพืช

มาลินี สารพัฒน์: ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และ ไนโตรเจน ในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี (Stable Carbon and Nitogen Isotope ratio in Red tide Organism Along Bangsaen-Vornapasap Beach, ChonBuri Province) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ถนอมศักดิ์ บุญภักดี, D.Agr.Sc., สมถวิล จริตควร,Ph.D. 85 หน้า. ปี พ.ศ. 2554.

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี ในช่วงเดือนกรกฎาคม 2550-พฤศจิกายน 2551 พบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี 8 ครั้ง โดยเกิดจากแพลงก์ตอนพืช 3 ชนิด คือ *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp.และ *Noctiluca scintillans* ซึ่งมีปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N ใน *Chaetoceros* sp. มีค่าเท่ากับ -20.67±2.00 ‰, -0.45±2.24 ‰ และ 6.07±1.09 ตามลำดับ *Ceratium* sp.มีค่าเท่ากับ -18.37±1.23 ‰, 4.46±2.42 ‰ และ 5.51±0.78 ตามลำดับ และ *Noctiluca scintillans* มีค่าเท่ากับ -21.08±0.99 ‰, 2.69±3.66 ‰ และ 4.87±0.68 ตามลำดับ ซึ่งแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิดนี้มีค่า $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C/N ใกล้เคียงกับสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) ที่มีค่าเท่ากับ -20.10±0.40‰, 1.20±0.20‰ และ 5.40±0.10‰ ตามลำดับ บ่งชี้ว่าสารอินทรีย์ในแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีมีแหล่งที่มาจากสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเลมากกว่า สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และสารอินทรีย์จากน้ำเสีย (Sewage)

49911840: MAJOR: ENVIRONMENT SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
KEYWORDS: STABLE CARBON AND NITROGEN ISOTOPE/C/N RATIONS/ RED TIDE PHYTOPLANKTON/ORGANIC MATTER

MALINEE SARAPAT: STABLE CARBON AND NITROGEN ISOTOPE RATIO IN RED TIDE ORGANISMS ALONG BANGSAEN-VORNAPASAP BEACH CHONBURI PROVINCE. ADVISORY COMMITTEE: THANOMSAK BOONPHAKDEE, D.Agr.Sc., SOMTAWIN JARITKHUAN, Ph.D. 85 P. 2011.

Stable carbon ($\delta^{13}C$) and nitrogen ($\delta^{15}N$) isotopes and C/N in red tide organisms along Bangsaen-Vonnapasap Beach, Chonburi Province were investigated during July 2007-November 2008. Occurrence of Red tide phenomenon were found 8 times during the study period and they were caused by *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. and *Noctiluca scintillans*. *Chaetoceros* sp. had average of $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and C/N about of -20.67±2.00 ‰, -0.45±2.24 ‰ and 6.07±1.09, respectively. *Ceratium* sp. had average of $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and C/N -18.37±1.23 ‰, 4.46±2.42 ‰ and 5.51±0.78, respectively. *Noctiluca scintillans* had average of $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and C/N -21.08±0.99 ‰, 2.69±3.66 ‰ and 4.87±0.68, respectively. Values of $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and C/N of *Chaetoceros* sp., *Ceratium* sp. and *Noctiluca scintillans* were similar to those of marine POM -20.10±0.40‰, 1.20±0.20‰ and 5.40±0.10‰, respectively. These results indicated that marine POM plays more important in occurrences in red tides along Bangsaen-Vonnapasap Beach than other organic matter sources.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

สมมติฐานของงานวิจัย..... 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 2

ขอบเขตของการวิจัย..... 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

ชีววิทยาของแพลงก์ตอน (Plankton)..... 3

แพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำทะเลเปลี่ยนสี
ในบริเวณอ่าวไทย..... 6

น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide)..... 9

สารอินทรีย์ (Organic Matter)..... 20

ไอโซโทป..... 25

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 33

สถานที่เก็บตัวอย่าง..... 33

การศึกษาแพลงก์ตอนพืช..... 33

การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ไนโตรเจน
และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน..... 35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	38
4	ผลการวิจัย	39
	ชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช	39
	ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ไนโตรเจน และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากแพลงก์ตอนพืช ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี	44
5	อภิปรายและสรุปผล	50
	อภิปรายผลการวิจัย	50
	สรุปผลการวิจัย	58
	ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม		59
ภาคผนวก		67
ผลงาน เผยแพร่วิชาการจากงานวิจัย		78
ประวัติย่อของผู้วิจัย		85

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 แพลงก์ตอนพืชที่พบบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จ.ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 41

4-2 ช่วงเวลาและชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุ ในการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 - พฤศจิกายน 2551 43

4-3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช บริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จ.ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 - พฤศจิกายน พ.ศ. 2551..... 44

4-4 ปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ สัดส่วน C/N ใน *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. *Noctiluca. scintillans.* สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) (ช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี) สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (sewage)..... 46

5-1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's Rho Correlation) ระหว่างปริมาณแพลงก์ตอนพืชชนิดที่เป็นสาเหตุของการเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม..... 59

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	*Noctiluca scintillans*	7
2-2	*Ceratium furca*	7
2-3	*Trichodesmium erythraeum*	8
2-4	*Chaetoceros* sp.	9
2-5	ปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี	17
3-1	จุดเก็บตัวอย่างบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จ.ชลบุรี	32
3-2	ชนิดของถุงแพลงก์ตอนแบบต่าง ๆ	33
3-3	แผนภาพของ mass spectrometer สำหรับวัดปริมาณไอโซโทปเสถียร	38
4-1	แพลงก์ตอนพืชสกุล *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* ที่พบในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี	42
4-2	สัดส่วนปริมาณของคาร์บอนต่อคลอโรฟิลล์เอ (POC/ Chl a)	47
4-3	ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ใน *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย(POM) (ช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี) สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (sewage)	48
4-4	ปริมาณ $\delta^{15}N$ และ C/N ใน *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) (ช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี) สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (sewage)	49
4-5	ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ C/N ใน *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) (ช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี) สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และ น้ำเสีย (sewage)	50
5-1	ปริมาณเซลล์ (10^4 cell/l) ของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่เป็นสาเหตุของน้ำทะเลเปลี่ยนสี ตลอดระยะเวลาทำการศึกษาในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี	58

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) เป็นปรากฏการณ์ที่แพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (bloom) จนทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีไปจากเดิม เช่นสีแดง สีน้ำตาล หรือสีเขียว ซึ่งสีของน้ำนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เกิดการบลูม การบลูมของแพลงก์ตอนพืชนี้เกิดขึ้นจากการชะล้างและพัดพาสารอาหารจากแผ่นดินลงสู่ทะเล (Mee, 1992; Zaitzev, 1992; Aubrey, Moncheva, Demirov, Diaconu, & Dimitrov, 1995) หรืออาจเกิดจากปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ซึ่งทำให้สารอาหารจากพื้นท้องทะเลขึ้นสู่ผิวน้ำ (Dela-Cru, Ajani, Lee, Pritchard, & Suthers, 2002) รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้นๆด้วย (Venrick, 1993) เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม ความเข้มแสง จึงเป็นสาเหตุให้แพลงก์ตอนพืชเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้นในอ่าวไทยส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชในกลุ่มไดอะตอม *Cheatoceros* sp. ไดโนแฟลกเจลเลต *Noctiluca* sp., *Ceratium* sp., *Trichodesmium* sp. และ *Dinophysis* sp. ในเขตชายฝั่งจังหวัดชลบุรี จะพบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้บ่อยครั้งบริเวณอ่างศิลา แหลมแท่น และหาดบางแสน ในเขตชายฝั่งทะเลของจังหวัดชลบุรีจนถึงเกาะสีชัง โดยมีระยะเวลาการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีตั้งแต่ 1-7 วัน (สมภพ รุ่งสุภา, 2544)

การเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณชายฝั่งทะเล มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล และประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง ซึ่งส่งผลให้สัตว์ทะเลหลายชนิดตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง (Yang & Hodgkiss, 2004) ผลผลิตทางประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลดลง ชายหาดสกปรกเกิดกลิ่นเหม็นตลอดแนวชายฝั่ง และส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยว (Chang et al., 2009) โดยเฉพาะอย่างยิ่งชายหาดบางแสนซึ่งชายหาดมีความสำคัญต่อการท่องเที่ยวของจังหวัดชลบุรีเป็นอย่างมาก การป้องกันหรือควบคุมการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำความเข้าใจถึงแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเซลล์ของแพลงก์ตอน เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เพื่อช่วยในการจัดการและควบคุมปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (Costanzo, Donohue, Dennison, Lonelagan, & Thomas, 2001)

ในการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์โดยใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) (Dolence,Vokal, & Dolenec, 2005) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต (Costanzo et al. 2001) เนื่องจากคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของสิ่งมีชีวิต จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่า $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ในสิ่งมีชีวิตมีค่าแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ (Thornton & McManus,1994; Guo, Zhang, Ma, Zhang, & Huang, 1996)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ในบริเวณชายฝั่งทะเลหาดบางแสน - วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี

สมมติฐานของการวิจัย

สารอินทรีย์ที่อยู่ในเซลล์ของแพลงก์ตอนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี มีแหล่งกำเนิดจากสารอินทรีย์ในทะเล

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี

2. นำข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ประกอบการประเมินและการจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ได้แก่ *Noctiluca scintillans, Ceratium* sp. และ *Chaetoceros* spp. ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 – เดือนพฤศจิกายน 2551 และทำการวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจนเพื่อบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของน้ำทะเลเปลี่ยนสี ในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ชีววิทยาของแพลงก์ตอน (Plankton)

แพลงก์ตอน (plankton) มาจากคำในภาษากรีก มีความหมายตรงกับภาษาอังกฤษ drifting แปลว่าสิ่งมีชีวิตที่ล่องลอยอยู่ในน้ำ และจะถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำ แพลงก์ตอนสามารถแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆได้หลายกลุ่มโดยยึดหลักการแบ่งที่แตกต่างกันไปเช่น แบ่งตามขนาด แบ่งโดยยึดหลักระยะวัฏจักรชีวิต แต่ส่วนใหญ่นิยมแบ่งโดยยึดหลักโภชนาการซึ่งสามารถแบ่งแพลงก์ตอนได้เป็น 2 กลุ่ม คือ แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ โดยแพลงก์ตอนพืชเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) (Suthers & Rissik, 2009) การจำแนกหมวดหมู่เบื้องต้นของแพลงก์ตอนพืชสามารถแบ่งได้เป็นหมวดหมู่ดังนี้ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2544)

Division Cyanophyta

Class Cyanaphyceae

Division Chlorophyta

Class Chlorophyceae

Class Prasinophyceae

Class Euglenophyceae

Division Chromophyta

Class Bacillariophyceae

Class Chrysophyceae

Class Dictyochophyceae

Class Prymnesiophyceae (Haptophyceae)

Class Dinophyceae

Class Cryptophyceae

Class Raphidophyceae

Class Xanthophyceae

Class Eustigmatophyceae

แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) หรือสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็ก (unicelluiar algae หรือ microalgae) จัดเป็นผู้ผลิตเบื้องต้น (primary producer) ที่สำคัญในแหล่งน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) ได้แก่ พืชกลุ่มที่มีสารสีในเซลล์ เช่น คลอโรฟิลล์เอ ทำให้สามารถดูดซับพลังงานแสงและใช้พลังงานแสงร่วมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และสร้างสารอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) มีทั้งล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ (planktonic form) และเกาะติดอยู่ตามพื้นผิวต่าง ๆ (benthic form) แพลงก์ตอนพืชเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) และสัตว์น้ำวัยอ่อนของพวกครัสตาเซียน (crustacean) หลายชนิดรวมทั้งสัตว์น้ำอื่น ๆ ที่มีการกินอาหารโดยการกรองกินจากมวลน้ำ (filter feeder) โดยเฉพาะหอยสองฝา เช่นหอยแมลงภู่ หอยนางรม เป็นต้น นอกจากนี้หอยฝาเดียวที่มีการกินอาหารแบบขูดคราดกินตามพื้นผิวต่าง ๆ (grazer) ต้องอาศัยแพลงก์ตอนพืชที่เกาะอยู่บนพื้นผิวเป็นอาหาร ด้วยเช่นกัน (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) แพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีมี 2 กลุ่มคือ

1.1 **ไดโนแฟลกเจลเลต (Dinoflagellate)** (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2544)

ไดโนแฟลกเจลเลต เป็นชื่อสามัญของแพลงก์ตอนคลาสไดโนไฟซี (Class Dinophyceae) จัดอยู่ใน Division Chromophyta ส่วนใหญ่เป็นเซลล์เดี่ยว ถ้าเป็นโคโลนีจะเป็นโคโลนีเทียม เซลล์มีสีเหลืองแกมน้ำตาล เหลืองแกมเขียว และสีน้ำตาลอ่อนจนถึงเข้ม ไดโนแฟลกเจลเลตเป็นแพลงก์ตอนพืชที่มีจำนวนชนิดและปริมาณมากรองจากไดอะตอม มักพบในทะเลและแหล่งน้ำกร่อยมากกว่าแหล่งน้ำจืด ลักษณะทั่วไปของไดโนแฟลกเจลเลต ดังต่อไปนี้

1.1.1 ลักษณะเซลล์ แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พวกมีผนังหุ้มเซลล์ (armored dioflagellate) และพวกไม่มีผนังหุ้มเซลล์ (unarmores dioflagellate หรือ naked dinoflagellate) บนเซลล์มีร่องตามขวางเรียกว่า เกอเดิล หรือซิงกูลัม (girdle or cingulum) ทำให้แบ่งเซลล์ได้เป็น 2 ซีก บนและล่าง ในพวก armored จะเรียกซีกบนว่า epicone ส่วนซีกล่างเรียกว่า hypocone นอกจากนี้ยังมีร่องอีกร่องหนึ่งซึ่งพาดตามความยาวของเซลล์ในส่วนเฉพาะซีกล่างด้านท้อง เรียกร่องนี้ว่า ซัลคัส (sulcus) ไดโนแฟลกเจลเลตบางพวกมีเซลล์แบ่งออกเป็น 2 ซีกซ้ายขวา โดยแต่ละซีกจะมีขนาดเท่ากัน รอยแบ่งนี้เรียกว่าซูเจอร์ (suture) บนผนังเซลล์มักจะมีรู

1.1.2 หนวด (flagella) ไดโนแฟลกเจลเลต จะมีหนวด 2 เส้น เส้นหนึ่งอยู่บนซิงกูลัม จุดดั้งต้นของหนวดเรียกว่า anterior pore ส่วนอีกเส้นอยู่ในร่องซัลคัส จุดดั้งต้นอยู่บริเวณ posterior pore

1.1.3 อาหารสะสม คือแป้ง ที่มีลักษณะคล้าย polyglycan และน้ำมันในรูปกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids)

1.1.4 รงควัตถุสำหรับสังเคราะห์แสง ประกอบด้วย chlorophyll a ß – carotene, peridinin, neoperidinin, dioxanthin, neodinoxanthin

1.1.5 การสังเคราะห์ของไดโนแฟลกเจลเลต ได้จัดไดโนแฟลกเจลเลตอยู่ในกลุ่มพืช C_3 โดยดูจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ และการทำงานของเอนไซม์ ribulosebisdiphosphate carboxylase ใน Calvin cycly แต่ไดโนแฟลกเจลเลตบางชนิดอาจมีลักษณะคล้ายพืชกลุ่ม C_4

1.1.6 ผนังเซลล์ ในไดโนแฟลกเจลเลตพวก unarmored ผนังเซลล์จะมีเยื่อบางๆ คือ pellicle หุ้มอยู่ ส่วนพวก armored dinoflagellate จะมีผนังหุ้มเซลล์เรียกว่า amphisema หรือ theca ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ลูโลส ซึ่งมีลักษณะประกอบด้วยแผ่นขนาดเล็กเรียงต่อกัน เรียกแต่ละแผ่นว่า plate มีจำนวนตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป บางชนิดอาจมีได้ถึง 100 แผ่น บางชนิดอาจมีลวดลายต่างๆ มี หนาม สันนูน รูหรือลิสท์ (list)

1.1.7 ออร์กาเนลล์พิเศษ ภายในเซลล์ของไดโนแฟลกเจลเลตมีออร์กาเนลล์พิเศษ หลายชนิดเช่น นิวเคลียส (nucleus) พูซูล (pusule) อวัยวะรับแสง (eye spot) โอเซลลัส (ocellus) อิเจคไทล์ ออร์แกเนล (ejectile organelles)

1.1.8 การสืบพันธุ์ ไดโนแฟลกเจลเลตมีการสืบพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือระยะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศซึ่งจะเกิดในภาวะปกติ ที่มีธาตุอาหารสมบูรณ์ กับแบบอาศัยเพศที่ มักเกิดขึ้นเมื่อธาตุอาหารเกิดการเสียสมดุลย์และสภาวะไม่เหมาะสม

1.2 ไดอะตอม (Diatom) (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2544)

ไดอะตอมเป็นแพลงก์ตอนพืชที่มีลักษณะพิเศษต่างจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่มอื่น คือ เซลล์ ประกอบด้วยฝา 2 ฝาครอบกันพอดี ลักษณะคล้ายกับจานแก้วหรือ petridish ไดอะตอมมีรูปร่าง มากมายหลายแบบเช่น กลม สี่เหลี่ยม หลายเหลี่ยม รูปเรือ รูปเข็ม อาจอยู่เดี่ยวๆ หรือเชื่อมต่อกัน เป็นสายโซ่(chain) ส่วนมากใช้เป็นอาหารหลักสำหรับ อนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อน ได้แก่ พวกสเกลีโตนี มา(Skeletonema) คีโตเซอรอส (Chaetoceros) เตตร้าเซลมีส (Tetraselmis) ลักษณะสำคัญคือ

1.2.1. สารสีหลัก ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์ เอ และซี สารสีประกอบ ได้แก่ แคโรทีน แซนโธฟิลล์ ไฟโคบิโล โปรตีน ปริมาณของแคโรทีนอยด์ และแซนโธฟิลล์มีมากกว่า คลอโรฟิลล์ ดังนั้น สีของไดอะตอมจึงมีสีเหลือง เหลืองแกมเขียว ไปจนถึงสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลอมทอง และ น้ำตาลเข้ม

1.2.2. อาหารสะสม ได้แก่ ไขมัน (fat) และแป้ง ในรูปของเหลวที่เรียกว่า คริโซลามินาริน (Chrysolaminarin)

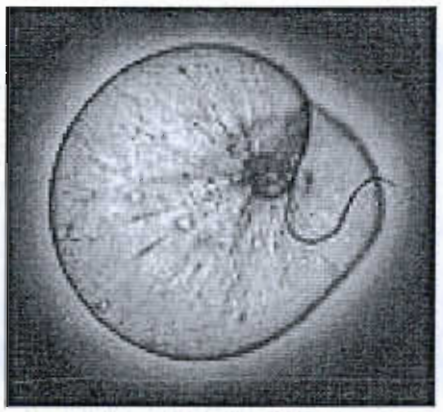
1.2.3. ผนังเซลล์ของไดอะตอมประกอบด้วย เพคติน และซิลิกา

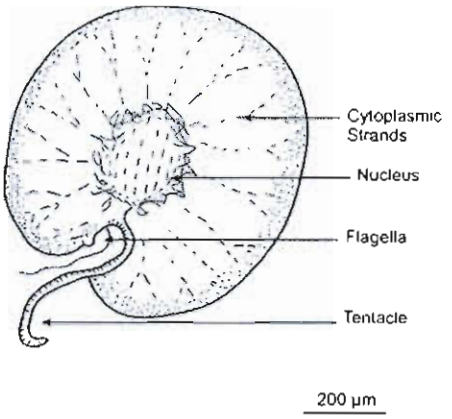
2. แพลงก์ตอนพืชกลุ่มที่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณอ่าวไทย

การเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีมีรายงานเกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2495 แต่ระบุเพียงสีของน้ำทะเลที่เปลี่ยนไป และการตายของสัตว์น้ำเท่านั้น สำหรับการรายงานที่ระบุชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุเริ่มมีการรายงานใน พ.ศ. 2500 จนถึงปัจจุบัน (สมภพ รุ่งสุภา, 2545) ในอ่าวไทยโดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำ และบริเวณอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่ทางฝั่งตะวันตกจากจังหวัดเพชรบุรีไปจนถึงจังหวัดชลบุรีทางฝั่งตะวันออก โดยบริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออกในเขตจังหวัดชลบุรีเป็นบริเวณที่มีความถี่ของการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีสูงสุด นอกจากนี้ยังเป็นบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากอ่าวไทยตอนบนเป็นอ่าวที่มีลักษณะกึ่งปิด และมีการหมุนเวียนถ่ายเทมวลน้ำน้อยและได้รับสารอาหารปริมาณสูงจากแม่น้ำสายหลักทั้ง 4 สาย ได้แก่ แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำบางปะกง (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) เมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้น้ำทะเลจะมีสีผิดไปจากสีของน้ำทะเลตามปกติ เช่น สีเหลือง สีเขียว หรือสีน้ำตาล มีกลิ่นเหม็น และมีลักษณะเป็นตะกอนแขวนลอยในน้ำ เป็นหย่อมหรือแถบยาว สีของน้ำทะเลที่เปลี่ยนไป เกิดจากสีของแพลงก์ตอนพืชที่เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของน้ำเปลี่ยนสีในอ่าวไทย ได้แก่ *Noctiluca scintillans*, *Ceratium* sp., *Trichodesmium erythraeum* และ *Chaetoceros* spp.

2.1 *Noctiluca scintillans*

เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่มีขนาดใหญ่ ไม่มีผนังหุ้มเซลล์ เซลล์มีลักษณะค่อนข้างกลม สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งจัดเป็น mixotroph ที่เป็นทั้งผู้ผลิต และผู้บริโภคโดยสามารถสังเคราะห์แสง และกินสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหารได้ (Elbrachter & Qi, 1998) มีขนาดตั้งแต่ 200-2,000 ไมครอน โดยทั่วไปมีสาหร่าย *Pedinomonas noctilucae* อาศัยอยู่ร่วมกันแบบ symbionts สาหร่ายที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง *Noctiluca scintillans* มีสีตามชนิดของสาหร่ายที่อาศัยอยู่ พบทั่วไปในเขตร้อน และเขตอบอุ่น และเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในอ่าวไทย ซึ่งน้ำทะเลจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว เมื่อเกิดการบลูมก็จะปลดปล่อย NH_3 ออกมา ทำให้มีปริมาณ NH_3 ในน้ำทะเลมากขึ้น (Smayda, 1997) สำหรับปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในประเทศอื่น เช่น ญี่ปุ่นและออสเตรเลีย น้ำทะเลจะมีสีแดงเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชชนิดนี้มี symbiont ที่มีรงควัตถุสีแดงอาศัยอยู่ (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

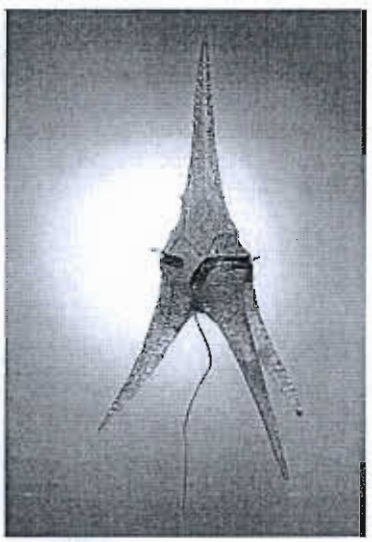


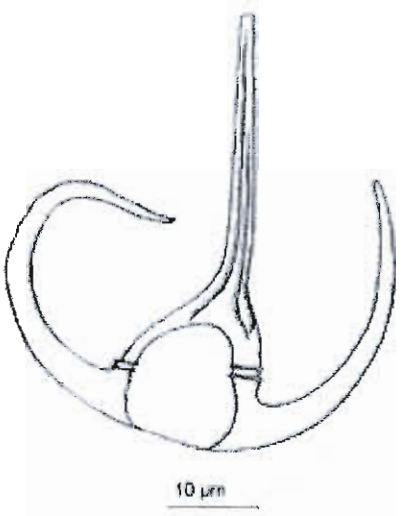


ภาพที่ 2-1 *Noctiluca scintillans*

2.2 *Ceratium furca*

เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่มีขนาดเซลล์ 40 - 80 ไมครอน มีรูปร่างและขนาดแปรเปลี่ยนได้มาก มี apical horn มีลักษณะทั้งสองข้างยาวไม่เท่ากัน ปลายของ antapical horn ทั้งสองข้างเรียวแหลม โดยขนานชี้ไปทางด้านตรงกันข้ามกับ apical horn การกระจายของ *Ceratium furca* พบได้ทั่วโลก ทั้งในบริเวณใกล้ชายฝั่ง และไกลฝั่ง ในประเทศไทยพบได้ทั้งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน บางครั้งพบว่า *Ceratium furca* เป็นสาเหตุของการเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีเป็นสีแดงบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่งแต่ยังไม่มีรายงานว่า *Ceratium furca* สร้างสารชีวพิษที่พบในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

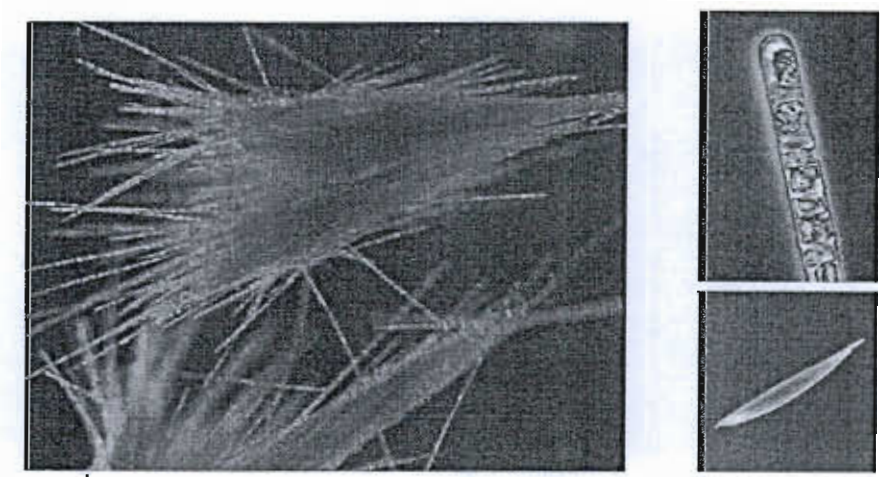




ภาพที่ 2-2 *Ceratium furca*

2.3 *Trichodesmium erythraeum*

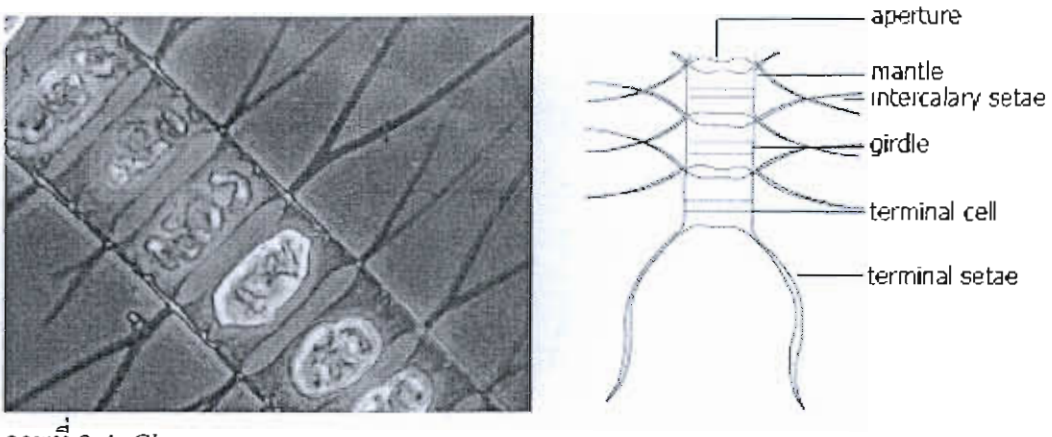
เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์ 7-12 ไมครอน เซลล์เรียงต่อกันเป็นสาย มักลอยอยู่ใกล้ผิวน้ำ เมื่อเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วสายจะรวมกันเป็นกลุ่ม (colony) การเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีที่มีสาเหตุมาจาก *Trichodesmium. erythraeum* พบได้เสมอในอ่าวไทยซึ่งเกิดที่บริเวณนอกฝั่ง โดยปกติจะไม่มีอันตรายต่อสัตว์น้ำและไม่มีพิษ นอกจากจะถูกกระแสน้ำและลมพัดพาเข้าฝั่งและนากุ้งหรือบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทำให้น้ำเน่าเสีย ขาดออกซิเจน ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้กุ้งและปลาตาย *Trichodesmium. erythraeum* ทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองน้ำตาลทอง ม่วง แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง และสีแดง (Negri, Bunter, Jones & Liewellyn, 2004)



ภาพที่ 2-3 *Trichodesmium erythraeu*

2.4 *Chaetoceros* spp.

ซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกต่อกันเป็นสายยาว โดยแต่ละเซลล์จะมีรยางค์ยื่นออกทางด้านข้างมุมละ 1 เส้น (1 เซลล์มีรยางค์ 4 เส้น) ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ อาศัยล่องลอยไปตามกระแสน้ำ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542) หากอยู่รวมกันจำนวนมากจะเห็นเป็นสีน้ำตาล หรือน้ำตาลแดง และยังไม่เคยมีรายงานว่าสร้างสารชีวพิษ นักวิชาการเผยปรากฏการน้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงที่ บริเวณชายหาดบางแสน ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี พบว่าเกิดจากแพลงก์ตอนกลุ่มดีโตเซอรอส (*Chaetoceros* spp.) จนเป็นเหตุให้สิ่งมีชีวิตตายลงจำนวนมาก (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)



ภาพที่ 2-4 *Chaetoceros* spp.

3. น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide)

น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช (bloom) (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) ทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีเป็นสีแดง สีเขียว หรือสีน้ำตาลแดง ในต่างประเทศมักจะเปลี่ยนเป็นสีแดง จึงมีการตั้งชื่อปรากฏการณ์นี้ว่า "Red tide" หรือ "ขี้ปลาวาฬ" (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต, 2543) สีของน้ำทะเลขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นหรือเป็นสาเหตุ เช่น ถ้าปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีที่เกิดจาก *Noctiluca scintillans* สีของน้ำจะมีสีเขียวเนื่องจากมีเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Pedinomonas noctilucae* ที่อาศัยอยู่ในเซลล์ของ *Noctiluca scintillans* มีแพลงก์ตอนพืชเพียง 300 ชนิดจากแพลงก์ตอนพืชทั้งหมดประมาณ 5,000 ชนิด ที่สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้และในจำนวนนี้มีอยู่ราว 80 ชนิดที่สร้างสารชีวพิษได้ (Sournia, 1995)

การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชมีทั้งที่เป็นประโยชน์และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ซึ่งในบางกรณีเป็นเหตุให้สัตว์น้ำตายเป็นจำนวนมากเนื่องจากปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง (Yang & Hodgkiss, 2004) หรือแพลงก์ตอนพืชปล่อยสารขับหลั่งที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำออกมาปริมาณมาก เช่นแอมโมเนีย นอกจากนี้แพลงก์ตอนพืชบางชนิดยังสามารถสร้างสารชีวพิษ (biotoxin) แล้วสะสมอยู่ในร่างกายของสัตว์น้ำพวกที่กินแพลงก์ตอนพืชกลุ่มนี้เข้าไป โดยไม่มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำแต่อย่างใด แต่อาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อผู้บริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนด้วยแพลงก์ตอนพืชดังกล่าว แม้ว่าจะไม่มีปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่มนี้เลยก็ตาม ในกรณีที่แพลงก์ตอนพืชสร้างสารชีวพิษได้มีการปนเปื้อนในสัตว์น้ำหรือเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เมื่อมนุษย์บริโภคสัตว์น้ำที่มีการ

ปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกาย อาการความเป็นพิษที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารหรือปริมาณสารชีวพิษที่รับเข้าสู่ร่างกาย (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) ในปัจจุบันพิษที่เกิดจากแพลงก์ตอนพืช ได้แก่

Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

กลุ่มคาร์บามิล (Carbamoyl toxins) มีพิษรุนแรงมาก พิษกลุ่มนี้พบในกุ้ง หอย และปู เป็นต้น

กลุ่มดีคาร์บามิล (Decarbamoyl toxins) มีพิษรุนแรงปานกลาง พบในเซลล์ไดโนแฟลกเจลเลต

กลุ่มเอ็น-ซัลโฟคาร์บามิล (N-Sulfocarbamoyl toxins) กลุ่มนี้มีพิษน้อยที่สุด

ผู้บริโภคอาหารทะเลที่มีสารพิษพีเอสพีเข้าไป จะรู้สึกร้อนหรือชาตั้งแต่ริมฝีปาก หน้า ลำตัวจนถึงปลายเท้า และอาจรุนแรงถึงขั้นหมดสติ ในประเทศไทยได้มีผู้บริโภคที่ป่วยและเสียชีวิตเนื่องจากการบริโภคหอยแมลงภู่ที่มีพิษพีเอสพีเข้าไปเมื่อปีพ.ศ. 2528 ที่ อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งมีผู้ป่วย 63 คนและเสียชีวิต 1 คน

Diarrheatic Shellfish Poisoning (DSP) สารพิษที่พบคือ กรดโอคาดาอิค (Okadaic acid) สารพิษกลุ่มนี้สามารถละลายน้ำได้ จึงมักพบสะสมอยู่ในอวัยวะภายในกุ้ง หอย และปู ผู้ป่วยที่บริโภคอาหารทะเลที่มีพิษดีเอสพีเข้าไปจะมีอาการท้องร่วง ปวดท้อง หน้ามืด อ่อนเพลีย อาการของผู้ป่วยไม่รุนแรงถึงขั้นเสียชีวิต แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุได้แก่ *Dinophysis fortii*

Amnesic Shellfish Poisoning (ASP) พิษชนิดนี้เพิ่งค้นพบในปี ค.ศ. 1987 ที่ประเทศแคนาดา มีอาการทางสมอง ทำให้สมองเสื่อม ความจำเสื่อม แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุได้แก่ *Nizchia pungens*

ซิกัวเทอราทอกซิน (Ciguatera toxin) ทำให้เกิดอาการท้องร่วง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดแสบปวดร้อน และเป็นผื่นคัน แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุได้แก่ *Gambierdiscus toxicus*

3.1 ปัจจัยการเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี

สาหร่ายเซลล์เดียวหรือแพลงก์ตอนพืชพบได้โดยทั่วไปในระบบนิเวศของแหล่งน้ำทั่วโลก พืชขนาดเล็กเหล่านี้อาศัยแหล่งพลังงานจากดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับพืชบก การเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กเป็นกระบวนการที่สำคัญบนโลกเนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกในระบบการเคลื่อนย้ายพลังงานเข้าสู่ระบบสายใยอาหารในแหล่งน้ำ (Aquatic Food Web) (Suthers & Rissik, 2009) สัตว์น้ำทุกชนิดทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มต้องการพืชขนาดเล็กเหล่านี้เพื่อการดำรงอยู่ได้ ในรอบปีหนึ่งมีวัฏจักรทั้งการเพิ่มจำนวนและการสลายตัว การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วหรือที่เรียกว่า

Blooming โดยเมื่อมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็จะเพิ่มจำนวนจากหนึ่งเซลล์เป็นล้านเซลล์ภายในระยะเวลาเพียงสองหรือสามสัปดาห์และมักจะเกิดทุกฤดูกาลในทะเลทั่วโลก ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเข้มของแสง และปริมาณธาตุอาหาร เป็นต้น (สุวัจน์ ธัญรส, 2549) ปัจจุบันพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีส่วนสนับสนุนทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีเป็นอย่างมากคือธาตุอาหารที่ปล่อยลงในทะเลและชายฝั่งผ่านทางแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ปริมาณมาก จนทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีขึ้น ซึ่งจะเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ (ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์, 2536)

3.1.1 ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม

3.1.1.1. แสง

แสงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช แสงที่ส่องมาถึงพื้นโลกจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 186 – 13,500 นาโนเมตร เมื่อแสงตกกระทบที่ผิวน้ำ จะไม่ผ่านลงไปทั้งหมด แสงปริมาณหนึ่งจะสะท้อนออกไป ทั้งนี้การสะท้อนจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบ โดยจะสะท้อนกลับไปเป็นปริมาณ 5 – 35% โดยสเปกตรัมจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของน้ำ นั่นคือ คลื่นแสงจะผ่านไปในน้ำได้ลึกไม่เท่ากัน พืชจะใช้แสงในการสังเคราะห์แสงได้เฉพาะบริเวณใกล้ผิวน้ำเท่านั้น แสงที่แพลงก์ตอนพืชใช้ในการสังเคราะห์แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร การดูดกลืนแสงสูงสุดของคลอโรฟิลล์เอ มักอยู่ที่ความยาวคลื่น 680 นาโนเมตร แสงยังช่วยให้แพลงก์ตอนพืชมีการแพร่กระจายในแนวตั้ง กล่าวคือ ถ้าความเข้มแสงมากเกินไป แพลงก์ตอนพืชจะเคลื่อนย้ายลงสู่ที่ลึก แพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงแตกต่างกัน ทำให้ความชุกชุมและการแพร่กระจายแตกต่างกันไป แสงยังมีส่วนช่วยในการฟักตัวของสปอร์ของแพลงก์ตอนพืชบางชนิด ปริมาณแสงส่วนที่ทะลุผ่านลงไปในน้ำได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความขุ่นของน้ำ น้ำมีความขุ่นมากมีผลทำให้แสงผ่านลงไปได้น้ำได้น้อย ทำให้แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ความขุ่นของน้ำแสดงให้เห็นว่ามีสารแขวนลอยอยู่มากน้อยเพียงใด สารแขวนลอยที่มีอยู่อาจเป็นอินทรีย์สาร ดินละเอียด แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ กระจายอยู่ และขัดขวางไม่ให้แสงส่องลงไปได้ลึก โดยสารเหล่านี้จะดูดซึมแสงเอาไว้ ทำให้แพลงก์ตอนเจริญได้น้อย แพลงก์ตอนพืชที่อยู่บริเวณปากน้ำมักจะมีความชุกชุมน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากได้รับตะกอนจากแม่น้ำจึงมีความขุ่นสูง ส่วนในฤดูใบไม้ผลิ จะมีแสงมากขึ้น ทำให้แพลงก์ตอนพืชเกิดการเจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความขุ่นยังทำให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยลดลง โดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากจะถูกตะกอนสารแขวนลอยต่าง ๆ ดูดซึมเอาไว้ ทำให้แพลงก์ตอนพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531)

3.1.1.2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญกับสิ่งมีชีวิตในน้ำเป็นอย่างยิ่ง โดยอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโต และการแพร่พันธุ์แพลงก์ตอน เพราะแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดแพร่พันธุ์ได้ในช่วงอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น ซึ่งอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมี การหายใจ และเมตาบอนลิซึม อุณหภูมิของน้ำจะมีการผันแปรตามสภาพภูมิอากาศ ความเข้มแสง ฤดูกาล สภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ตำแหน่งเส้นรุ้ง ความลึก ความร้อนจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ ความร้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ และสัตว์ (สุนีย์ สุวภีพันธุ์, 2527) อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากปกติ 2 – 3 องศาเซลเซียส อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตอาจมีอัตราเมตาบอลิซึมสูงขึ้น แต่ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง จึงอาจทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนออกซิเจนของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ อุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำ ทำให้สารเคมีแพร่กระจายตัว และทำให้ความเป็นพิษของสารพิษรุนแรงขึ้นโดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับแพลงก์ตอนพืชส่วนมากอยู่ในช่วงระหว่าง 20 – 29 องศาเซลเซียส แต่ก็มีบางชนิดสามารถเจริญได้ในที่อุณหภูมิต่ำ และมีแสงน้อยเท่านั้น แต่บางชนิดสามารถเจริญได้ดีในบริเวณน้ำพุร้อน

3.1.1.3. ความเค็ม

ความเค็มในทะเลปิดนั้นค่อนข้างคงที่ ในขณะที่เขตชายฝั่งที่ได้รับอิทธิพลจากมวลน้ำจืดมากน้อยเพียงใด และได้รับในช่วงระยะเวลานานเท่าใด ความเค็มที่แตกต่างกันนี้เองเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จำกัดจำนวนชนิด ปริมาณ การเติบโต และการกระจายของแพลงก์ตอนพืช (Werner, 1977) การเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนบางชนิด อาจเพิ่มมากขึ้นหรือลดลงเมื่อมีความเค็มมากขึ้น อย่างเช่น ไดอะตอม และไดโนแฟลเจลเลตบางชนิด จะมีจำนวนเซลล์สูงในบริเวณที่มีความเค็มสูง ในขณะเดียวกันไดโนแฟลเจลเลตบางชนิดที่ไม่สามารถปรับตัวได้ เซลล์อาจจะโค้งงอ หรือแตกเนื่องจากสูญเสียแรงดันออสโมติค ถ้านำไปไว้ในบริเวณที่มีความเค็มต่ำ (Sassi, 1991) แต่แพลงก์ตอนพืชบางชนิดสามารถอยู่ได้ในความเค็มช่วงกว้าง เช่น *Skeletonema Costatum* สามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มตั้งแต่ 5 – 30 ppt

3.1.1.4. ความเป็นกรดเป็นเบสของน้ำ (pH)

ค่าความเป็นกรด – เบส ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะอยู่ระหว่าง 5 – 9 แต่ในน้ำทะเลจะมีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.4 โดยจะแตกต่างกันไปในแหล่งน้ำแต่ละแห่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนซึ่งละลายเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศลงสู่แหล่งน้ำ การใช้ที่ดินในบริเวณแหล่งน้ำ การดำเนินกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไบคาร์บอนเนตไอออน ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำจะมีผล

ต่อความสามารถในการใช้ธาตุอาหารของแพลงก์ตอน โดยแพลงก์ตอนแต่ละชนิดจะเจริญได้ดีในน้ำที่มีความเป็นกรดเป็นเบสที่แตกต่างกัน

3.1.1.5. ปริมาณออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกาย (Greisel & Jensen, 1976) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำส่วนหนึ่งได้มาจากการสังเคราะห์แสงของพืช และได้จากบรรยากาศโดยตรง เมื่อมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำสูง จะพบปริมาณแพลงก์ตอนพืชมากด้วย ในทางกลับกันการหายใจของพืช ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงได้เช่นกัน ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ ระดับความลึก ความเร็วของกระแสน้ำ ความกดดันบรรยากาศ คลื่น อัตราการหายใจ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ และปริมาณเกลือแร่ต่าง ๆ ที่ละลายน้ำ ถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณเกลือแร่มากขึ้น ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้น้อยลง แต่ออกซิเจนจะละลายในน้ำได้ดีขึ้นถ้าอุณหภูมิลดต่ำลง (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเป็นสิ่งที่สามารถใช้ชี้วัดคุณภาพของแหล่งน้ำได้ แหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมักมีปริมาณออกซิจนละลายประมาณ 5.0 mg / L นานไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมงในรอบวัน การขาดออกซิเจนของแหล่งน้ำทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนเกิดขึ้น (Anaerobic Decomposition) เป็นแนวโน้มให้เกิดแก๊สพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนขึ้นภายในแหล่งน้ำ

3.1.2. ปริมาณธาตุอาหาร

3.1.2.1. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญในด้านการสังเคราะห์แสง และการคงรูปของโปรตีน ซึ่งทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นองค์ประกอบสำคัญของสิ่งมีชีวิต แหล่งที่มาของไนโตรเจนและสารประกอบไนโตรเจนได้มาจากทั้งแหล่งภายนอก เช่น จากน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ หรืออาจเกิดจากกิจกรรมภายในแหล่งน้ำนั่นเอง เช่น เกิดจากขบวนการ fixation โดยแบคทีเรีย และสาหร่ายบางชนิด ไนโตรเจนแบ่งออกเป็น Organic Nitrogen Compound คือ ไนโตรเจนที่รวมกับธาตุคาร์บอน และอื่น ๆ ในโปรตีนของพืช และสัตว์ เช่น อยู่ในรูป Uric Acid ซึ่งเป็นของเสียที่มาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม และ Inorganic Nitrogen Compound ได้แก่ พวกแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ปริมาณของ Inorganic Nitrogen Compound สามารถใช้ในการประเมินค่ากำลังผลิตของแหล่งน้ำได้ แพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งรูปไนเตรท แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดอะมิโน แต่จะใช้ชนิดใดมากน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะของธาตุอาหารในขณะนั้น และชนิดของ

แพลงก์ตอนพืชด้วย โดยส่วนใหญ่ไนเตรท และแอมโมเนียจะถูกใช้มากกว่าในรูปอื่น ๆ (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531., Kennish, 1997)

3.1.2.2 แอมโมเนีย (NH_3) ได้จากการขับถ่าย และการเน่าสลายของโปรตีนทั้งพืช และสัตว์ โดยมีแบคทีเรียเป็นตัวการให้เกิดการเน่าสลาย มักพบแอมโมเนียอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ และเกลือของแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งเมื่อถูกย่อยจะให้ก๊าซแอมโมเนีย เกลือเหล่านี้แพลงก์ตอนพืชแทบทุกชนิดสามารถนำไปใช้ได้ แอมโมเนียที่อยู่ในแหล่งน้ำจะมี 2 รูปแบบ คือ แอมโมเนียมอิออน ซึ่งแตกตัวได้ง่าย (Ionized Ammonia) ส่วนใหญ่จะพบในสภาพน้ำที่เป็นกรด กับก๊าซแอมโมเนียซึ่งไม่มีไอออน (Unionized Ammonia) ซึ่งมักพบในสภาพที่เป็นด่าง แอมโมเนียเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั้งในสภาพที่ไม่มีไอออน และมีไอออน แต่ในรูปไม่มีไอออนจะเป็นพิษสูงกว่า แบคทีเรียสามารถเปลี่ยนแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรทด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการ 2 ขั้นตอน ดังนี้(ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531)

$$2NH_4^+ + O_2 \longrightarrow 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$

$$2NH_2^- + O_2 \longrightarrow 2NO_3^-$$

ปริมาณของแอมโมเนียไอออนที่จะมาก หรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ pH ของแหล่งน้ำ โดย pH จะมีอิทธิพลมากกว่า ในน้ำที่ไม่เสียจะมีแอมโมเนียไม่เกิน 1 มิลลิกรัม / ลิตร (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531)

ไนไตรท์ (NO_2) เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการหมุนเวียนของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ โดยเกิดกึ่งกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรท (Nitrification) และไนโตรทเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนีย (Denitrification) ถ้าในน้ำมีออกซิเจนเพียงพอ ไนไตรท์จะออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรทได้รวดเร็ว แต่ถ้าน้ำขาดออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ไนเตรทไปเป็นไนไตรท์ทำให้เป็นพิษต่อน้ำ โดยปกติจะพบไนไตรท์เพียงเล็กน้อยเท่านั้นในน้ำที่ไม่เสีย แพลงก์ตอนบางชนิด เช่น ไดอะตอม และสาหร่ายสีเขียวบางชนิด เช่น Cholrella สามารถจะรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์ได้ แต่แพลงก์ตอนส่วนใหญ่มักต้องการไนเตรทในการดำรงชีวิตมากกว่า ด้วยเหตุนี้ ถ้าแหล่งน้ำใดมีปริมาณไนไตรท์มากในแหล่งน้ำ อาจจะแสดงว่าเกิดน้ำเสียเนื่องจากน้ำโสโครก (Sewage) (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531; Boyd, 1990)

ไนเตรท (NO_3) มักพบอยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียมไนเตรท หรือแคลเซียมไนเตรท ไนเตรทไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรงนอกจากมีความเข้มข้นสูงมาก หรือจากสภาวะที่แหล่งน้ำขาดออกซิเจนทำให้ไนเตรทถูกจุลินทรีย์รีดิวซ์เป็นไนไตรท์ทำให้เกิดเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากขึ้น ไนเตรทมีประโยชน์มากต่อพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช กล่าวคือ เป็นอาหารธาตุที่สำคัญมากในการให้ไนโตรเจน เพื่อใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งสามารถใช้ในการหากำลังผลิตของแหล่ง

น้ำได้ โดยปกติไนเตรทในแหล่งน้ำที่ไม่เสียจะมีปริมาณอยู่ที่ประมาณ 0.3 ppm ในฤดูร้อน ไนเตรทจะถูกใช้ไปโดยแพลก์ตอนพืชมาก จึงพบไนเตรทปริมาณน้อย (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531)

3.1.2.3. ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อกำลังผลิตของแหล่งน้ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นตัวควบคุมกำลังผลิตปฐมภูมิ (Primary Productivity) ดังนั้นข้อมูลปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำจึงมีความสำคัญมาก ฟอสฟอรัสเกือบทั้งหมดในแหล่งน้ำพบอยู่ในรูปสารประกอบฟอสเฟต แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรือฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ สารประกอบพวกนี้แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ อีกกลุ่มหนึ่งคือ โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารประกอบที่พบได้มากในน้ำทิ้งที่มากจากบ้านเรือน เนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด และผงซักฟอก เมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟตออกมาก พวกสุดท้าย คือ พวกสารอินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphates) ที่ได้จากกระบวนการทางชีวภาพ พบได้ในสารละลาย สารแขวนลอย หรืออินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าสลาย ฟอสเฟตในน้ำอาจจะรวมตัวกับไอออนต่าง ๆ เช่น เฟอริก และแคลเซียม โดย pH ของน้ำจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของสารประกอบฟอสเฟต ในน้ำที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยจะพบแคลเซียมฟอสเฟตมาก ถ้าน้ำมี pH สูง จะพบว่ามีโซเดียมฟอสเฟต แต่ถ้าน้ำเป็นกรดจะพบเฟอริกฟอสเฟต ฟอสเฟตเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความชุกชุมของไมโครแพลงก์ตอนสกุลต่าง ๆ กล่าวคือ ถ้าพบฟอสเฟตมากมักจะพบปริมาณแพลงก์ตอนมากตามไปด้วย แหล่งน้ำปกติจะมีปริมาณฟอสฟอรัสปริมาณ 0.010 – 0.030 ppm การมีฟอสเฟตในแหล่งน้ำมากเกินทำให้แพลงก์ตอนชนิดต่าง ๆ เช่น ไดโนแฟลเจลเลต เจริญเติบโตขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว จนทำให้เกิดเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้ (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531.)

3.1.2.4. ซิลิคอน

เป็นธาตุที่มีปริมาณมากเป็นอันดับ 2 ของโลก ไม่เกิดเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติ มักอยู่ในรูปของออกไซด์ ซิลิคอนไม่มีความสำคัญในแง่ขององค์ประกอบของโปรโตพลาซึมของพืช และสัตว์ แต่เป็นส่วนที่สำคัญของ Shell หรือ Frustule ของไดอะตอม ในน้ำที่มี pH น้อยกว่า 9 ซิลิกาจะอยู่ในรูป Silicic Acid การเจริญของไดอะตอมนั้นปริมาณของซิลิกามีความสำคัญมากกว่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส จึงสามารถใช้ซิลิกาเป็นดรรชนีในการศึกษาความชุกชุมของไดอะตอมได้ ซิลิกาในผนังเซลล์ของไดอะตอมเมื่อคิดเป็นน้ำหนักแห้งแล้วมีปริมาณค่อนข้างสูง อยู่ที่ 26 – 63 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไดอะตอม ซิลิกาที่ละลายน้ำพบได้ปริมาณสูงในบริเวณปากแม่น้ำ และไม่ค่อยพบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมากนัก การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซิลิกาในน้ำทะเลขึ้นอยู่กับการนำพาโดยแม่น้ำ การใช้ซิลิกาของสิ่งมีชีวิต การย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต การเปลี่ยนแปลงรูปของแร่ดินเหนียว และกระบวนการฟิสิกส์ โดยทั่วไปจะพบซิลิกาแขวนลอยอยู่

ในน้ำมากกว่าที่จะละลายในน้ำ นอกจากซิลิกาจะมีความสำคัญต่อไดอะตอมแล้ว ยังพบว่าแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม Silicoflagellate ก็ต้องอาศัยซิลิกาในการเจริญเติบโต (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531; Kinne, 1970)

3.2 กลไกของการเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี

การเกิดขึ้นของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะคือ (พรศิลป์ ผลพันธิน, 2544)

3.2.1 ระยะเริ่มต้น (Initiation) เป็นระยะที่แพลงก์ตอนที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีปรากฏขึ้นในบริเวณนั้น ซึ่งแพลงก์ตอนกลุ่มนี้จะเปรียบเป็นเสมือนหัวเชื้อที่จะทำให้น้ำเปลี่ยนสีปรากฏขึ้น การปรากฏของแพลงก์ตอนที่เป็นหัวเชื้อนี้อาจถูกพัดพามาจากบริเวณอื่นหรือเกิดขึ้นจากระยะพักที่อยู่ในบริเวณนั้น เมื่อเซลล์ของแพลงก์ตอนมาพบกับสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ ก็จะทำให้แพลงก์ตอนเหล่านี้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

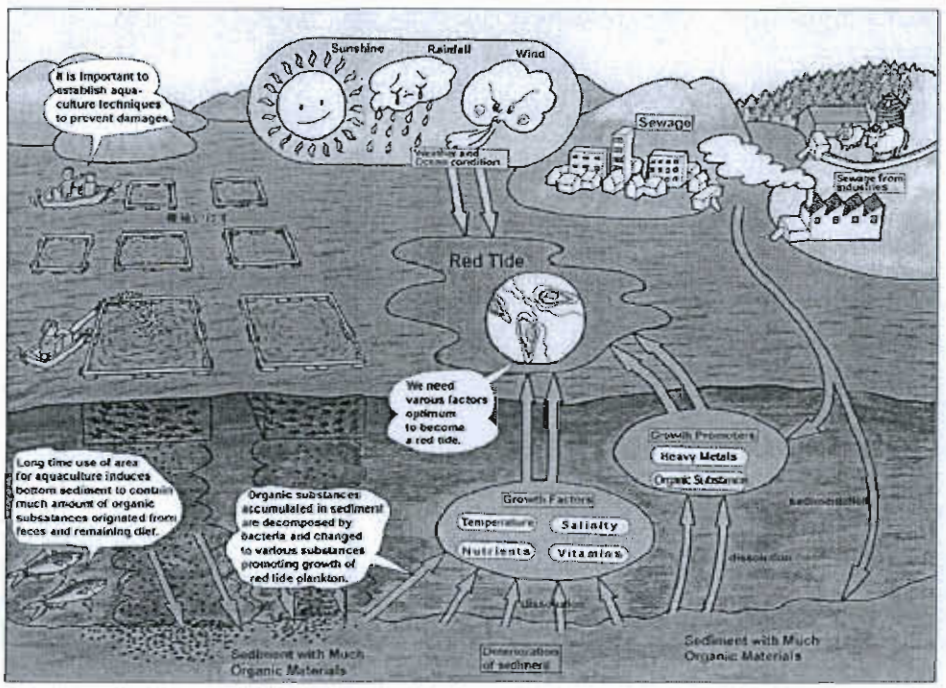
3.2.2 ระยะพัฒนา (Development) ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตของประชากรแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็ว มีการเพิ่มปริมาณสารต่างๆในเซลล์อย่างมาก เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในระยะพัฒนานี้แพลงก์ตอนพืชอาจจะไม่ได้มารวมกันอยู่ที่ผิวน้ำอย่างเดียวแต่จะมีการกระจายอยู่ตามแนวดิ่งของมวลน้ำด้วย แพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตมักจะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่หลังจากกลุ่มไดอะตอมเจริญและจมลงสู่แหล่งน้ำ การเจริญเติบโตของไดโนแฟลกเจลเลตมักจะค่อนข้างต่ำ คือการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่านั้นมักจะใช้เวลามากกว่า 1 วัน ปัจจัยที่มีผลให้แพลงก์ตอนเหล่านี้มีการเจริญอย่างรวดเร็วนั้นมีหลายปัจจัย เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ ความเค็ม ปริมาณสารอาหาร เป็นต้น

3.2.3 ระยะการรวมตัว (Aggregation) เป็นระยะที่ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสีของน้ำทะเล ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของแพลงก์ตอนเป็นจำนวนมาก และการรวมตัวกันของแพลงก์ตอนเหล่านี้อาจมีสาเหตุมาจาก การเคลื่อนที่เข้าหา หรือหนีแสง เกิดจากลม หรือเกิดจากกระแสน้ำพัดพามารวมกัน ถ้าการรวมตัวกันของแพลงก์ตอนเกิดขึ้นในระดับล่าง ก็อาจทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีได้

3.2.4 ระยะสลายตัว (Dissipation) เป็นระยะที่แพลงก์ตอนที่เป็นสาเหตุเริ่มมีการสลายตัวซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับกลไกต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของมวลน้ำในบริเวณนั้นด้วย ถ้าแหล่งน้ำนั้นค่อนข้างนิ่ง การสลายตัวของแพลงก์ตอนมักขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารที่จะทำให้จำนวนของแพลงก์ตอนลดลง และในแพลงก์ตอนที่สามารถสร้างระยะพักได้ ก็จะมีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศเกิดขึ้น ซึ่งระยะพักเหล่านี้ก็จะจมตัวลงสู่ดินบริเวณท้องน้ำ และรอจนถึงสภาวะที่เหมาะสมจึงจะเจริญเป็นเซลล์ใหม่อีกครั้งหนึ่ง นอกจากเรื่องปริมาณสารอาหารที่ลดลงแล้วการถูก

กินโดยสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ก็อาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้แพลงก์ตอนมีการสลายตัวไปหรือลดจำนวนลง

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ควบคุมไม่ได้ และไม่ได้เกิดจากฝีมือมนุษย์ อาจเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิ ความเค็ม และสารอาหารในทะเลอยู่ในระดับที่เหมาะสม (Venrick, 1993) ก็จะทำให้เพิ่มจำนวนขึ้นมาอย่างมากมายจน ถึงเวลานี้ยังไม่มีใครรู้แน่ชัดถึงการผสมผสานของปัจจัยเหล่านี้ในการก่อให้เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี แต่ผู้เชี่ยวชาญบางท่านเชื่อว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำทะเลสูง ลมสงบ ไม่มีฝน ก็จะเป็นจุดเริ่มต้นต่อการเกิดน้ำเปลี่ยนสี นอกจากนั้นก็มีความคิดกันว่า มนุษย์เองก็อาจมีส่วนกระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์นี้ โดยการทิ้งสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ลงในทะเล ปัจจุบันการเกิดน้ำเปลี่ยนสี ไม่ได้พิจารณาเพียงแต่สาเหตุที่เกิดจากการชะล้างธาตุอาหารจากพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ (Mee, 1992; Zaitzev, 1992; Aubrey et al. 1995) เท่านั้น ยังเกิดจากธาตุอาหารที่เปลี่ยนรูปมาจากตะกอนใต้พื้นทะเล (Dela-Cruz et al. 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำทะเลในบริเวณที่พื้นท้องทะเลเป็นตินโคลนจะเกิดน้ำเปลี่ยนสีบ่อยครั้งกว่าน้ำทะเลบริเวณอื่น ๆ ที่มีพื้นท้องทะเลเป็นโคลนปนทราย หินหรือทราย เป็นต้น (สุวัจน์ ธัญรส, 2549)



ภาพที่ 2-5 ปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

ที่มา: www.cearac-project.org

3.3 ผลกระทบของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีต่อระบบนิเวศทางทะเล

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี แสดงความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารในบริเวณชายฝั่งทะเลโดยเฉพาะสภาพแหล่งน้ำที่มีปริมาณธาตุอาหารสูง (eutrophication) เนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ (Dela-Cruz et al., 2002) ได้แก่ น้ำเสียจากบ้านเรือนและชุมชน น้ำเสียจากเกษตรกรรม น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากการขยายตัวของการเพาะเลี้ยงชายฝั่งโดยเฉพาะการทำนากุ้ง และการเลี้ยงปลา การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชบางกลุ่มซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่มวลน้ำอาจเป็นผลดี ในระยะแรกต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์ทะเลหน้าดินและปลาหลายชนิด แต่ในหลายกรณีพบว่าการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชทั้งที่มีการสร้างสารชีวพิษและกลุ่มที่ไม่มีการสร้างสารชีวพิษ มีผลเสียโดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอนามัยของมนุษย์ ที่สำคัญก่อให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะต่ออุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) โดยการสะสมสารชีวพิษในสัตว์น้ำ กุ้ง หอย ปู และปลา และเกิดการตายเป็นจำนวนมากของปลาที่ทำการเลี้ยงหรือบริเวณชายฝั่ง ดังนั้นนอกเหนือจากความเป็นพิษของแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้แล้วควรให้ความสนใจแก่ผลกระทบที่สืบเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชเหล่านี้โดยเฉพาะ การทำให้ปริมาณออกซิเจนในมวลน้ำและในดินลดต่ำลงจนถึงระดับที่สัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ (Yang & Hodgkiss, 2004) หรือเกิดการอุดตันในช่องเหงือกของปลาโดยแพลงก์ตอน รวมทั้งการตายลงของแพลงก์ตอนพืชทำให้น้ำทะเลเกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น ชายฝั่งสกปรก ทำลายทัศนียภาพและการท่องเที่ยว ซึ่งการทำให้สัตว์น้ำโดยเฉพาะ กุ้ง หอย ปู ปลา ตายเป็นจำนวนมากย่อมส่งผลกระทบถึงการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบชนิดในประชากรสัตว์ทะเลหน้าดิน

ความรุนแรงของผลกระทบของงปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ต่อระบบนิเวศทางทะเลนั้นขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาที่เกิดการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สาร หรือการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารแก่แหล่งน้ำนั้น ๆ เป็นเวลานานมากน้อยเพียงใด ซึ่งแบ่งช่วงระยะเวลาในการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่แหล่งน้ำได้เป็น 5 ระยะตามสภาพการตอบสนองของระบบนิเวศ ดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

3.3.1 ระยะเพิ่มปริมาณอินทรีย์สาร (enrichment phase) เมื่อมีการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญแก่แหล่งน้ำโดยเฉพาะปริมาณอนินทรีย์ไรโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณซิลิกาในรูป soluble reactive silica จะทำให้มีการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชอย่างรวดเร็วทำให้มีความหนาแน่นและมวลชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแพลงก์ตอนเหล่านี้จะเป็นอาหารมีสำคัญสำหรับสัตว์น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการตกทับถมของปริมาณอินทรีย์สาร

ตลอดจนแพลงก์ตอนเหล่านี้ในบริเวณพื้นท้องทะเลเป็นอาหารของสัตว์ทะเลหน้าดิน ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลถึงมวลชีวภาพและการเพิ่มปริมาณฝูงปลาที่หากินบริเวณนั้นด้วย

3.3.2 ระยะผลกระทบเริ่มต้น (initial effects) ผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจน คือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบชนิดของแพลงก์ตอนพืชเอง และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบชนิดของสัตว์ทะเลหน้าดิน การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชมีบทบาทสำคัญทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผลผลิตข้างต้นซึ่งเป็นรากฐานของการถ่ายทอดพลังงานในห่วงโซ่อาหาร

3.3.3 ระยะผลกระทบทุติยภูมิ (secondary effects) ผลกระทบที่พบต่อมา คือ การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชบางชนิด โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุสำคัญของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีทั้งที่เป็นกลุ่มสร้างสารชีวพิษ และกลุ่มที่ไม่สร้างสารชีวพิษ

3.3.4 ระยะที่เกิดผลกระทบอย่างรุนแรง (extreme effects) ผลกระทบที่เห็นชัดในระยะนี้ คือ การเพิ่มปริมาณสาหร่ายขนาดใหญ่และการเกิดการตายของสัตว์น้ำบางชนิดเนื่องจากการสะสมสารชีวพิษ เช่น ปริมาณแอมโมเนียและเกิดสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นพิษต่ออัตราการกินและพฤติกรรมการกินของแพลงก์ตอนสัตว์ นอกจากนี้แพลงก์ตอนสัตว์ยังเป็นพาหะที่สำคัญ ในการนำสารชีวพิษส่งต่อไปในห่วงโซ่อาหารไปยังสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น กุ้ง หอย ปู และปลา และท้ายที่สุดไปสู่มนุษย์ที่บริโภคสัตว์น้ำเหล่านี้

3.3.5 ระยะสุดท้าย (ultimate effects) เมื่อเกิดการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชตลอดจนการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารให้แก่มวลน้ำและพื้นท้องทะเลเป็นเวลานานต่อเนื่องทำให้เกิดสภาพน้ำเน่าเสีย และบริเวณพื้นท้องทะเลมีปริมาณออกซิเจนต่ำ (hypoxia/anoxia) และมีการสะสมของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในดินตะกอนสูง จึงทำให้สัตว์น้ำหลายชนิดไม่สามารถทนต่อสภาพดังกล่าวได้

3.4 ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในประเทศไทย

รายงานเกี่ยวกับปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในประเทศไทยเริ่มมีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 แต่ระบุเพียงสีของน้ำทะเลที่เปลี่ยนไปและการตายของสัตว์น้ำเท่านั้น สำหรับการรายงานที่ระบุชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุเริ่มมีการรายงานในปี พ.ศ. 2500 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งพบว่ามีปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีเกิดขึ้นประมาณ 90 ครั้ง ซึ่งส่วนใหญ่พบน้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีเขียว (ประมาณเกือบ 70 ครั้ง) นอกนั้นพบว่าน้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลืองหรือสีน้ำตาลแดง

นอกจากนั้นยังพบอีกว่ามีแนวโน้มของการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในช่วง พ.ศ.2534-2544 (กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ส่วนมากพบในบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำและบริเวณอ่าวไทยตอนบน ตั้งแต่ฝั่งตะวันตกจากจังหวัดเพชรบุรีไปจนถึงจังหวัดชลบุรีฝั่งตะวันออก บริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกในเขตจังหวัดชลบุรีเป็นบริเวณที่มีความถี่ของการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 จนถึงปัจจุบัน รองลงมาเขตจังหวัดสมุทรสาครและจังหวัดสมุทรปราการ ส่วนบริเวณฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยตอนบนในเขตจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีน้อยกว่าบริเวณอื่น (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

4. สารอินทรีย์ (Organic Matter)

สารอินทรีย์ (Organic Matter; OM) เป็นสารที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่น ๆ รวมอยู่ด้วย (กฤษณา ชุติมา, 2541) โดยสารอินทรีย์นั้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic matter; DOM) มีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 0.45 ไมครอน และสารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate Organic matter; POM) มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 0.45 ไมครอนขึ้นไป สารอินทรีย์ทั้งสองชนิดพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม

4.1 สารอินทรีย์ละลายน้ำ

สารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ วิตามิน และน้ำตาล รวมทั้งสารที่ถูกผลิตมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของแพลงก์ตอนพืช สารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก รวมทั้งช่วยในการปรับสภาพทางเคมีของน้ำทะเล สาหร่ายบางชนิดอาจจะไม่สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ที่จำเป็นบางอย่างได้เอง แต่จะดูดซึมสารอินทรีย์จากน้ำทะเลสำหรับนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และจะผลิตสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ ที่ละลายน้ำลงสู่มวลน้ำ โดยอาจจะรวมถึงสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งจะทนทานต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย อย่างไรก็ดีสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและสารอินทรีย์แขวนลอยนั้นมีความแตกต่างกัน สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะไม่จมตัวลงสู่ท้องทะเลแต่จะถูกกระแสน้ำพัดพาและเกิดการผสมผสานกับสารอื่น ๆ ไปสู่บริเวณที่อยู่ห่างไกลก่อนที่จะสลายตัวในที่สุด โดยทั่วไปสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำในทะเลจะมีความเข้มข้นเฉลี่ยประมาณ 0.5–1 มิลลิกรัมคาร์บอน/ ลิตร ซึ่งมากกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาพแขวนลอย โดยกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลา

สารแขวนลอย และสารละลายน้ำได้ ไม่ได้เกิดขึ้นในทะเลทั้งหมด แต่จะมีบางส่วนที่ถูกพัดพามาจากแผ่นดิน ซึ่งจะพบว่าตามบริเวณชายฝั่งทะเลบางแห่งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบฮิวมัส และอาจมีสารอาหารเป็นส่วนประกอบปะปนอยู่ด้วย สารประกอบฮิวมัสในแหล่งน้ำนี้ในบางครั้งจะเรียกรวม ๆ กันว่า สารสีเหลือง (yellow subtances) ซึ่งมองเห็นได้อย่างชัดเจนและแสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์มากกว่าสารอินทรีย์ที่เกิดจากทะเลบริเวณชายฝั่งหรือไหล่ทวีป (มนุวดี หังสพฤกษ์, กัลยา วัฒยากร, วิไลวรรณ อุทุมพฤกษ์พร และ พิชาญ สว่างวงศ์, 2546)

4.2 สารอินทรีย์แขวนลอย

สารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำโดยทั่วไปเรียกว่า Seston โดยแบ่งตามขนาดและองค์ประกอบของสารอินทรีย์ ซึ่งบริเวณผิวน้ำสารอินทรีย์แขวนลอยมักจะประกอบด้วยสิ่งมีชีวิดขนาดเล็ก (ขนาด < 1 ไมครอน) ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของแบคทีเรียและสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น พวก Coccolith ไดอะตอม และกลุ่ม Faecal pellet เป็นผลการจับตัวกัน (Repacking) ทางชีวภาพ สารอินทรีย์แขวนลอยที่พบได้ทั่วไปและมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่า Marine snow หรือ Fluff ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว (Detritus) และเซลล์ของสิ่งมีชีวิด เช่น แบคทีเรีย หรือชิ้นส่วนของสารอินทรีย์อื่น ๆ ทั้งนี้จะมีองค์ประกอบและขนาดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเวลาและสถานที่ Marine snow อาจประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดจึงมีส่วนทำให้สารอาหารมีองค์ประกอบที่อุดมสมบูรณ์ นอกจากนั้นจุลินทรีย์บางชนิดอาจมีการสังเคราะห์ด้วยแสง แล้วเกิดการย่อยสลายชิ้นส่วนของสารอินทรีย์และปลดปล่อยสารอาหารออกสู่น้ำทะเลในอัตราที่สูงกว่าบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงได้ องค์ประกอบของ Marine snow อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนและกระบวนการต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำใช้ในการดำรงชีวิต ส่วนพฤติกรรมการกินและการขับถ่ายของเสียของแพลงก์ตอนสัตว์และสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในทะเลมีผลต่อการจับตัวกันของ Faecal pellet ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำและจะพัดวนเวียนทำให้เกิดการชนกันของอนุภาค และจับตัวกันรวมเป็นก้อนขนาดใหญ่ (Brownian movement) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ถูกพัดพาให้ตกตะกอนสู่พื้นทะเล ในระดับที่ต่ำกว่าชั้น Thermocline นอกจากนี้การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของสัตว์ในทะเลยังมีส่วนช่วยในการพัดพาสารอินทรีย์ลงสู่พื้นทะเลลึกได้ในระยะเวลาสั้น ๆ ได้เช่นกัน (มนุวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546)

4.3 แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดมาจากแผ่นดินได้มาจากพืช และจุลินทรีย์ที่อยู่บนพื้นดิน ต้นไม้ ใบไม้ เศษซากสิ่งมีชีวิต ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่บนแผ่นดินจะถูกไหลลงสู่แม่น้ำลำธาร ทะเลสาบ และมหาสมุทร หรือลงไปสู่แหล่งน้ำได้ดินโดยการชะล้าง

ของน้ำฝนที่ตกลงมา และจะถูกผู้ย่อยสลายต่าง ๆ ช่วยให้เศษซากสิ่งมีชีวิตเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ละลายน้ำและสารอินทรีย์แขวนลอยได้รวดเร็วและง่ายขึ้น รวมถึงสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อยู่ในแหล่งน้ำจะขับถ่ายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ออกสู่มวลน้ำ ซึ่งประเมินได้ว่าสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่อยู่ในแหล่งน้ำทั้งหมดบนโลกจะสามารถผลิตสารอินทรีย์ละลายน้ำประมาณ 10 % ของสารอินทรีย์ทั้งหมด นอกจากนี้หลังจากที่พืชและสัตว์ตายแล้ว ซากของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์โดยผู้ย่อยสลายต่าง ๆ ซึ่งจุลินทรีย์จะช่วยให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วและง่ายขึ้น ในบางครั้งสารอินทรีย์เหล่านี้อาจเกิดการสลายตัว และสามารถสังเคราะห์ขึ้นใหม่ไปอยู่ในรูปสารอินทรีย์ละลายน้ำ และสารอินทรีย์แขวนลอยได้ นอกจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติแล้วมนุษย์ยังมีส่วนสำคัญในการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ เช่น น้ำทิ้งจากบ้านเรือน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กิจกรรมทางการเกษตร และของเสียจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ที่อยู่ในแหล่งน้ำ (Vanloon & Duffy, 2005)

4.4 แหล่งกำเนิดสารอินทรีย์จากแผ่นดิน

สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (Terrestrial organic matter) คือสารที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนแผ่นดิน ที่เกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ย่อยสลายแล้ว (ฮิวมัส: Humus) รวมถึงสารอินทรีย์จากกิจกรรมการเกษตร หรือผลผลิตจากแพลงก์ตอนที่อยู่ในแม่น้ำตามธรรมชาติ (Artemyev, 1996) จะมีคุณสมบัติทางเคมีหรือปริมาณไอโซโทปที่มีความจำเพาะเจาะจงซึ่งจะสามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นสารอินทรีย์ที่มาจากแผ่นดิน ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นตลอดเวลาด้วยกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (biogeochemical) โดยกระบวนการนี้จะมีความสำคัญต่อวงจรของคาร์บอนอินทรีย์จากแผ่นดิน และมีส่วนช่วยในการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ให้เป็นแร่ธาตุต่าง ๆ แต่ใช้ระยะเวลานาน ซึ่งขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของไอออน พีเอช การได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ การตกตะกอน และการออกซิเดชั่น (Aller, 1998) โดยสารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกสิ่งมีชีวิตแพลงก์ตอน และสัตว์หน้าดินในทะเลนำไปใช้ประโยชน์ และมีการหมุนเวียนกลับเป็นสารอินทรีย์อีกครั้ง (Artemyev, 1996)

4.5 วัฏจักรของสารอินทรีย์ในทะเล

สารอินทรีย์ในทะเลส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่แพลงก์ตอนพืชสร้างขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สารที่ถูกขับถ่ายออกจากสิ่งมีชีวิต และสารที่ได้จากการย่อยซากพืชซากสัตว์ ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีวเคมี เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กรดอะมิโน และกรดไขมัน นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนอนินทรีย์ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อนุมูลคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ โดยการหมุนเวียนของคาร์บอนในมหาสมุทรจะเปลี่ยนไปอยู่

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา

ในรูปต่าง ๆ ของคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์ ซึ่งการนำพาคาร์บอนจากผิวน้ำด้านบนลงสู่ท้องทะเลเบื้องล่างจะถูกควบคุมโดยกลไกทางกายภาพ (Physical pump) และกลไกทางชีวภาพ (Biological pump) หรือการทำงานร่วมกันของทั้งสองกระบวนการ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในมหาสมุทร (มนุวดี หังสฤกษ์ และคณะ, 2546)

กลไกทางกายภาพในทะเลเกิดจากการไหลเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทร และจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ โดยน้ำในมหาสมุทรบริเวณละติจูดสูง ๆ เช่น มหาสมุทรแอตแลนติกตอนเหนือ และมหาสมุทรบริเวณขั้วโลกใต้ จะมีน้ำทะเลอุณหภูมิต่ำและมีน้ำหนักมากกว่าน้ำที่อยู่ในมหาสมุทรบริเวณเขตร้อน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศจะสามารถละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้มากกว่าในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และจะจมตัวลงสู่ท้องทะเลเบื้องล่างไหลเวียนอยู่ในน้ำทะเล การจมตัวลงของมวลน้ำดังกล่าวจะถูกชดเชยด้วยมวลน้ำจากบริเวณอื่นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าผุดขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งมวลน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่านี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำได้น้อยลง และมีก๊าซบางส่วนถูกปล่อยกลับคืนสู่บรรยากาศ ดังนั้นกระบวนการเหล่านี้จึงเป็นการขับเคลื่อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ไหลไปตามกระแสการหมุนเวียนของมวลน้ำทะเลในระดับลึกนั่นเอง ส่วนกลไกทางชีวภาพเป็นกระบวนการเปลี่ยนคาร์บอนอนินทรีย์ที่ละลายน้ำไปเป็นสารอินทรีย์ในรูปของมวลชีวภาพ และส่งต่อไปยังทะเลลึกในรูปสารอินทรีย์แขวนลอยหรือสารอินทรีย์ละลายน้ำ กระบวนการนี้เริ่มต้นจากแพลงก์ตอนพืชในทะเลนำสารอาหารในรูปไนเตรต ฟอสเฟต ซิลิเกต เหล็ก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาสร้างสารอินทรีย์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งแพลงก์ตอนพืชจะขับของเสียในรูปสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออกสู่ทะเล นอกจากนี้ตัวแพลงก์ตอนพืชยังเป็นแหล่งอาหารให้แพลงก์ตอนสัตว์ ซึ่งแพลงก์ตอนสัตว์จะเป็นแหล่งอาหารแก่สิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารลำดับสูงต่อไป ส่วนสารอินทรีย์ที่สิ่งมีชีวิตขับถ่ายออกมา และซากพืช ซากสัตว์ที่ตายลงจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในขณะที่บางส่วนอาจรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและจมตัวลงสู่ชั้นน้ำเบื้องล่างพร้อมถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในขณะเดียวกัน และการย่อยของจุลินทรีย์เหล่านี้จะปลดปล่อยคาร์บอนอนินทรีย์ออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์จะถูกหมุนเวียนอยู่ในน้ำชั้นบนโดยผ่านสายใยอาหารในกลุ่มสิ่งมีชีวิตดังกล่าว ส่วนอีกประมาณ 1 เปอร์เซนต์ของคาร์บอนอินทรีย์จะถูกส่งผ่านมาถึงน้ำชั้นล่างและในที่สุดสารอินทรีย์ก็จะทับถมสะสมเป็นตะกอนในพื้นท้องทะเลต่อไป ซึ่งเป็นการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์จากน้ำทะเลชั้นบน โดยการเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนอนินทรีย์และนำลงสู่น้ำทะเลชั้นล่าง ส่งผลให้น้ำชั้นล่างมีคาร์บอนอนินทรีย์ละลายน้ำในปริมาณสูง (มนุวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546)

2
577.76
ม 484 ง
ก.2

291548

4.6 การหมุนเวียนของสารอินทรีย์

ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยแพลงก์ตอนพืชเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญมากในทะเลและมหาสมุทร หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถเขียนแสดงโดยสมการได้ดังนี้

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow CH_2O + O_2 - 112 \text{ kcal}$$

โดย CH_2O แทนสูตรทางเคมีอย่างง่ายของสารคาร์โบไฮเดรต ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจะได้ก๊าซออกซิเจนและมีการคายพลังงานออกมาด้วยในรูปของความร้อน (ปฏิกิริยาเอ็กโซเทอร์มิก) ซึ่งการสร้างสารอินทรีย์จำเป็นต้องใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสงและอุณหภูมิเหมาะสม การสังเคราะห์ด้วยแสงสามารถเกิดได้อย่างเต็มที่ส่งผลให้ผิวน้ำทะเลและมหาสมุทรอยู่ในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนละลายค่อนข้างสูง ในบางครั้งอาจสูงมากกว่าค่าอิ่มตัวของมัน (Supersaturation) ออกซิเจนละลายน้ำเหล่านี้จะถูกสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงแพลงก์ตอนพืชก็จะนำไปใช้ในกระบวนการเผาผลาญสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาการหายใจ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของการสร้างสารอินทรีย์นั่นเอง ดังสมการต่อไปนี้

$$CH_2O + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O$$

ปฏิกิริยาการหายใจหรือการเผาผลาญสารอินทรีย์ของสิ่งมีชีวิตสามารถเกิดได้ทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการหายใจของพืชมักเกิดควบคู่กันเสมอในน้ำทะเลที่มีแสงแดดส่องถึง สำหรับในทะเลลึกปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะลดน้อยลงเมื่อเทียบกับที่ผิวน้ำทะเล เนื่องจากบริเวณนี้แสงแดดไม่สามารถส่องถึงได้ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีอยู่ถูกใช้อย่างมากในกระบวนการหายใจของพืช สัตว์ และแบคทีเรีย โดยไม่มีออกซิเจนละลายน้ำที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชมาทดแทน (มนุวดี หังสพฤกษ์ และคณะ, 2546)

4.7 สารอินทรีย์ในแพลงก์ตอนพืช

แพลงก์ตอนพืชเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สังเคราะห์สารอนินทรีย์เป็นสารอินทรีย์โดยอาศัยพลังงานแสง จากกระบวนการสังเคราะห์แสง สารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นนี้ส่วนหนึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากนอกเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชในรูปของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของแบคทีเรียหรือแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นในมวลน้ำ แต่สารอินทรีย์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโตและถูกถ่ายทอดไปตามสายใยอาหาร เมื่อแพลงก์ตอนพืชถูกกินเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์หรือสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งเกิดจากการถ่ายทอดพลังงานจากแพลงก์ตอนพืชไปสู่ปลาหรือสัตว์น้ำขนาดใหญ่ต่อไป (Cifuentes,Sharp, & FOGel, 1988)

อาหารสะสมเป็นผลจากการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานรังสีเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนที่ได้มาจากน้ำหรือแหล่งไฮโดรเจนอื่น ๆ ให้เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โดยสารสีในเซลล์จะดูดพลังงานจากแสง ผลจากการสังเคราะห์แสงจะได้น้ำตาลซึ่งนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการหายใจในขบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis) ดังสมการ (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

$$CO_2 + 2H_2O \longrightarrow CH_2O + O_2 + H_2O$$

อาหารที่สะสมในเซลล์ของแพลงก์ตอนพืช มีดังนี้

แป้ง (starch) เป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) ซึ่งเป็นอาหารสะสมที่พบในสาหร่ายสีเขียว แป้งชนิดนี้เป็นประเภทเดียวกับที่พบในพืชชั้นสูง หรือที่เรียกว่า true starch อาหารสะสมพวกแป้งของสาหร่ายสีเขียวเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะกลมใส และไม่มีสีจะเกิดอยู่ภายในคลอโรพลาสต์

ไขมัน (fat) เป็นอาหารที่สะสมมากอยู่ในไดอะตอม พวกสาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (Chrysophyceae) ไดโนแฟลกเจลเลต และจะพบอยู่ในสาหร่ายกลุ่มอื่นแต่มีปริมาณน้อย ไขมันที่พบมักจะพบในลักษณะเม็ดกลมใสไม่มีสี (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

5. ไอโซโทป (Isotope)

ไอโซโทป (isotope) คือ อะตอม ของธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนหรือเลขอะตอมเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกันส่งผลให้เลขมวลต่างกันด้วย และเรียกเป็นไอโซโทปของธาตุนั้น ๆ ไอโซโทปของธาตุต่าง ๆ จะมีสมบัติทางเคมีฟิสิกส์เหมือนกันยกเว้นสมบัติทางนิวเคลียร์ที่เกี่ยวกับมวลอะตอม ธาตุแต่ละธาตุจะมีจำนวนของไอโซโทปแตกต่างกันไป เช่น ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ protium (hydrogen), deuterium และ tritium ซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 1 แต่มีเลขมวลเป็น 1, 2 และ 3 ตามลำดับ protium เป็นไอโซโทปของไฮโดรเจนที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ คือ มีปริมาณ 99.99 % ส่วน deuterium มีปริมาณน้อยมาก สำหรับ tritium เป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียรมีคุณสมบัติเป็นสารกัมมันตรังสีและไม่เกิดในธรรมชาติแต่สามารถสังเคราะห์ได้ เขียนสัญลักษณ์ได้ดังนี้ ^{1}H, ^{2}H และ ^{3}H นอกจากนี้ยังมีไอโซโทปของธาตุอื่น ๆอีก เช่น ไอโซโทปของธาตุออกซิเจนได้แก่ ^{16}O ^{17}O ^{18}O ไอโซโทปของธาตุคาร์บอนได้แก่ ^{12}C ^{13}C ^{14}C และไอโซโทปของธาตุไนโตรเจนได้แก่ ^{14}N ^{15}N (Hoefs, 2004)

ไอโซโทปของธาตุหลายชนิด มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากมวลที่ต่างกัน สำหรับธาตุที่มีเลขมวลต่ำ ๆ ผลต่างของมวลจะมีค่ามากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีววิทยา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วน (fractionate) ของไอโซโทป หรือมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทป กระบวนการ

สองชนิดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (Isotope fractionation) คือ สมดุลของไอโซโทป (Equilibrium isotope) และจลนศาสตร์ของไอโซโทป (Kinetic isotope) ผลของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วนไอโซโทปในน้ำสารละลาย ทำให้มีปริมาณของไอโซโทปที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะ (อัตราส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบา) ที่อาจใช้เป็นข้อมูลแสดงที่ผ่านมา หรือการเกิดกระบวนการใดที่ผ่านมา equilibrium isotope fractionations ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนสถานะหรือระหว่างสารประกอบ ทำให้อัตราส่วนไอโซโทปของธาตุเปลี่ยนไปที่สภาวะสมดุล (Equilibrium) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และปฏิกิริยาย้อนกลับของแต่ละไอโซโทปมีค่าเท่ากัน แต่ไม่ได้หมายความว่า องค์ประกอบของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบ 2 ชนิดจะเท่ากัน เพียงแต่อัตราส่วนของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบแต่ละชนิดมีค่าคงที่ ในระหว่างที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสมดุล (Equilibrium reaction) โดยทั่วไปในสารประกอบที่มีสถานะพลังงาน (Energy state) มี ^{34}S มากกว่า เมื่อเทียบกับสารประกอบซัลไฟด์ (Sulfide) หรือว่าซัลไฟด์มี ^{34}S น้อยกว่า (Deplete) เมื่อเทียบกับซัลเฟต (กฤษณา ชุติมา, 2529)

5.1 ไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือสารรังสี (radioactive isotope or radioisotope)

เป็นสารที่องค์ประกอบส่วนหนึ่งมีลักษณะเป็นไอโซโทปที่มีโครงสร้างปรมาณูไม่คงตัว (Unstable isotope) และจะสลายตัวโดยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีอัลฟา รังสีเบตา รังสีแกมมา หรือรังสีเอกซ์รูปใดรูปหนึ่ง หรือมากกว่าหนึ่งรูปพร้อม ๆ กัน ไอโซโทปที่มีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ เรียกว่าไอโซโทปกัมมันตรังสี หรือไอโซโทปรังสี (Radioisotope) คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของไอโซโทปรังสีคือ อัตราการสลายตัวด้วยค่าคงตัวที่เรียกว่า “ครึ่งชีวิต (Half life)” ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่ไอโซโทปจำนวนหนึ่งจะสลายตัวลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิม ตัวอย่างเช่น ทอง-198 ซึ่งเป็นไอโซโทปที่ใช้รังสีแกมมารักษาโรคมะเร็ง มีครึ่งชีวิต 2.7 วัน หมายความว่า ถ้าท่านซื้อทอง-198 (ทองที่สามารถสลายตัวได้) มา 10 กรัม หลังจากนั้น 2.7 วัน ท่านจะมีทองเหลืออยู่เพียง 5 กรัม แล้วต่อไปอีก 2.7 วัน ก็จะเหลืออยู่เพียง 2.5 กรัม (Hoefs, 2004)

5.2 ไอโซโทปเสถียร (stable isotope)

เป็นไอโซโทปของธาตุที่ไม่มีการสลายต่อไป โดยทั่วไปใช้ไอโซโทปของคาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งไอโซโทปสามารถใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับพฤกษศาสตร์ ชีววิทยาของพืช ระบบนิเวศวิทยา ธรณีวิทยา และวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศในอดีตที่ผ่านมาจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวบ่งชี้ อย่างไรก็ดี ไอโซโทปที่เกิดขึ้นเองในธรรมชาติเกือบทั้งหมดจะมีความเสถียร และมีจำนวนน้อยมากที่จะเป็นสารกัมมันตรังสี (Hoefs, 2004)

สัดส่วนของไอโซโทปเสถียรสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS) ซึ่งเป็นการวัดสัดส่วนของไอโซโทปหนักและไอโซโทปเบาของตัวอย่างและนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน การใช้ไอโซโทปในการวิเคราะห์ตัวอย่างยังพบปัญหา อยู่หลายประการ เช่น ตัวอย่างที่เตรียมได้ต้องผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่ควรเก็บตัวอย่างในรอบวันที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย และการเตรียมตัวอย่างที่ไม่ดีจะส่งผลให้ค่าไอโซโทปที่วัดได้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ในทางปฏิบัติสัดส่วนไอโซโทปของตัวอย่าง (R_{sa}) จะนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน (R_{std}) โดย R จะแสดงสัดส่วนของไอโซโทปหนักและไอโซโทปเบา ซึ่งความแตกต่างของสัดส่วนจะถูกคำนวณให้อยู่ในค่า "del" ใช้สัญลักษณ์ δ และมีหน่วยเป็น "per mil" ใช้สัญลักษณ์ (‰) (Lajtha and Michener, 1994)

$$\delta\,(‰) = \frac{R_{sa} - R_{std}}{R_{std}} \times 1000 \quad \text{or} \quad \left(R_{sa}/R_{std} - 1\right) \times 1000$$

นักนิเวศวิทยาส่วนใหญ่จะใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($^{13}C/^{12}C$), ไนโตรเจน ($^{15}N/^{14}N$), ซัลเฟอร์ ($^{34}S/^{32}S$), ออกซิเจน ($^{18}O/^{16}O$) และไฮโดรเจน ($^{2}H/^{1}H$) ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งค่าของไอโซโทปทั้งหมดจะนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานขั้นต้นจากงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง ในการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนจะใช้คาร์บอนฟอสซิลในชั้นหินใต้ทะเลลึกที่มีอายุเก่าแก่เป็นมาตรฐานอ้างอิง Pee Dee Belemnite (PDB) (Craig, 1953) ส่วนไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจนจะใช้ไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นมาตรฐานอ้างอิง (Mariotti, 1983) ส่วนไอโซโทปเสถียรของซัลเฟอร์จะใช้ troilite standard ของ Canyon Diablo meteorite (CDT) สำหรับไฮโดรเจนและออกซิเจนใช้ Vienna Standard ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของน้ำในมหาสมุทร (V-SMOW) (Gonfiantini, 1978)

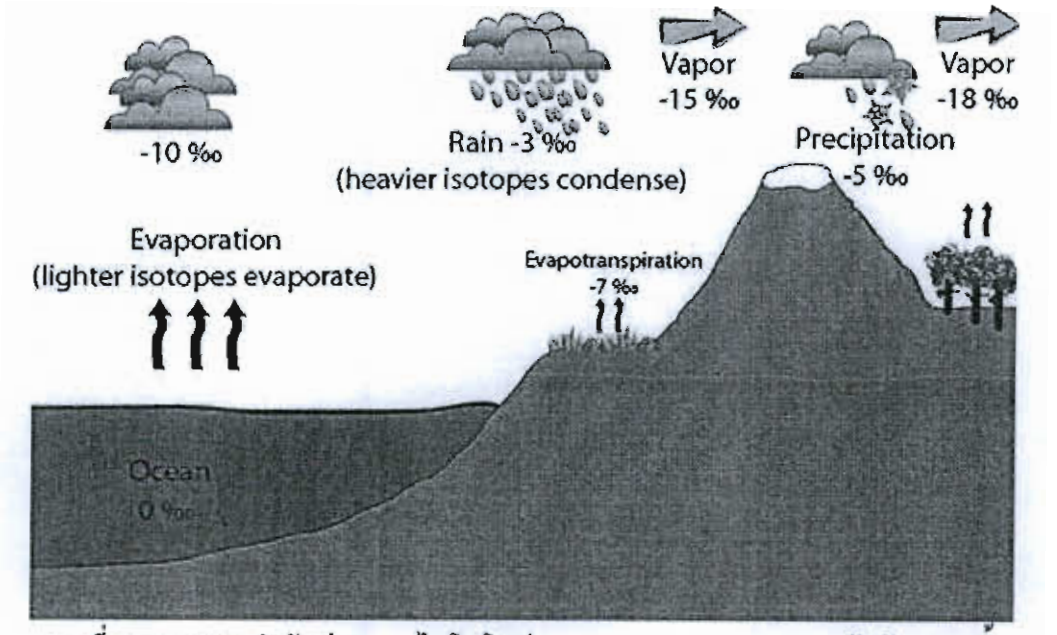
หลักการพื้นฐานไอโซโทปของธาตุหลายชนิด มีสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากมวลที่ต่างกัน สำหรับธาตุที่เลขมวลต่ำ ๆ ผลต่างของมวลจะมีค่ามากพอที่จะมีผลต่อกระบวนการทางฟิสิกส์ ทางเคมี และทางชีววิทยา หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วน (fractionate) ของไอโซโทป หรือมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแต่ละไอโซโทป กระบวนการสองชนิดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (isotope fractionation) คือ สมดุลของไอโซโทป (equilibrium isotope) และจลนศาสตร์ของไอโซโทป (kinetic isotope) ผลของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแยกลำดับส่วนไอโซโทปในน้ำและสารละลาย ทำให้มีปริมาณของไอโซโทปที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะ (อัตราส่วนของไอโซโทปหนักต่อไอโซโทปเบา) ที่อาจใช้เป็นข้อมูลแสดงที่ผ่านมา หรือการเกิดกระบวนการใดที่ผ่านมา

equilibrium isotope fractionations– ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างสถานะหรือระหว่างสารประกอบ ทำให้อัตราส่วนไอโซโทปของธาตุเปลี่ยนไป ที่สภาวะสมดุล (equilibrium) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และปฏิกิริยาย้อนกลับของแต่ละไอโซโทปมีค่าเท่ากัน แต่ไม่ได้หมายความ

ว่า องค์ประกอบของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบ 2 ชนิดจะเท่ากัน เพียงแต่อัตราส่วนของแต่ละไอโซโทปในสารประกอบแต่ละชนิดมีค่าคงที่ ในระหว่างที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสมดุล (equilibrium reactions) โดยทั่วไป ในสารประกอบที่มีสถานะพลังงาน (energy state) สูงกว่า จะมีไอโซโทปหนักกว่าในปริมาณมากขึ้น (enrich) ตัวอย่างเช่น สารประกอบซัลเฟต (sulfate) มี ^{34}S มากกว่า (enrich) เมื่อเทียบกับสารประกอบซัลไฟด์ (sulfide) หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าซัลไฟด์มี ^{34}S น้อยกว่า (deplete) เมื่อเทียบกับซัลเฟต เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ อัตราส่วนของไอโซโทปหนักกับไอโซโทปเบา ในโมเลกุลของสองสถานะจะเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น เมื่อไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ไอโซโทปที่หนักกว่าของน้ำ (^{18}O และ ^{2}H) จะมีมากขึ้นในสถานะของเหลว ขณะที่ไอโซโทปเบา (^{16}O และ ^{1}H) มีแนวโน้มจะอยู่ในสถานะที่เป็นไอ (vapor) มากกว่า(Kendall & Mcdonnell, 1998)

kinetic isotope fractionations เกิดขึ้นกับระบบที่ไม่มีสมดุลไอโซโทป (isotopic equilibrium) โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับไม่เท่ากัน และปฏิกิริยาอาจมีลักษณะไปทางเดียว ถ้ามีผลผลิต (product) เกิดขึ้นและแยกออกจากปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอัตราส่วนมวลของไอโซโทป และพลังงานในการสั่น (vibrational energy) ซึ่งเป็นไปตามกฎทั่วไป ที่พันธะ (bond) ระหว่างไอโซโทปที่เบากว่า จะหลุดออกง่ายกว่าพันธะระหว่างไอโซโทปที่หนักซึ่งแข็งแรงกว่า ไอโซโทปที่เบากว่าจึงเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า ทำให้มีความเข้มข้นในผลผลิตมากกว่า ขณะที่ไอโซโทปที่หนักจะอยู่ในตัวทำปฏิกิริยา (reactant) ตั้งต้นมากกว่า (Kendall & Mcdonnell, 1998)

กระบวนการทางชีววิทยา โดยทั่วไปจะเป็นแบบทิศทางเดียว และเป็นตัวอย่างที่ดีของปฏิกิริยาของไอโซโทปแบบจลน์ หรือ "kinetic" อวัยวะต่าง ๆ มีแนวโน้มที่จะใช้ไอโซโทปเบามากกว่า เนื่องจากใช้พลังงานที่ต่ำกว่า ทำให้เกิดการแยกลำดับส่วน (fractionations) ระหว่างตัวทำปฏิกิริยาตั้งต้น (ซึ่งหนักกว่า) กับผลผลิต (ซึ่งเบากว่า) ระดับของการแยกลำดับส่วนขึ้นกับวิถีปฏิกิริยา (reaction pathway) และพลังงานในการเกิดพันธะของปฏิกิริยา โดยทั่วไป ปฏิกิริยาที่ช้ากว่า จะทำให้เกิดการแยกลำดับส่วนของไอโซโทปมากกว่าปฏิกิริยาที่เร็วกว่า เนื่องจากอวัยวะมีเวลาในการเลือกได้มากขึ้น ปฏิกิริยาแบบจลน์หรือ kinetic สามารถทำให้เกิดการแยกส่วนที่แตกต่างกันและเกิดขึ้นได้มากกว่าปฏิกิริยาแบบสมดุลหรือ equilibrium มีหลายปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะสมดุล (equilibrium) หรือได้รับผลกระทบมากขึ้นจากปฏิกิริยาการแยกลำดับส่วนของไอโซโทปแบบจลน์ ตัวอย่างเช่น การระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะสมดุล (ที่ความชื้น 100% โดยยังมีอากาศ) หรือผลผลิตมีการแยกออกจากตัวทำปฏิกิริยาดั้งต้นมากขึ้น (เช่น ไอน้ำถูกพัดไปตามลม) ภายใต้สภาวะเหล่านี้ องค์ประกอบของไอโซโทปของน้ำและไอน้ำ ได้รับผลกระทบจากการแยกลำดับส่วนไอโซโทปแบบจลน์เพิ่มขึ้นอีกหลายส่วน (Kendall & Mcdonnell, 1998)



ภาพที่ 2-6 การแยกลำดับส่วนของไอโซโทป (isotope fractionation) ของวัฏจักรของน้ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของไอโซโทป จะใช้วิธีหาสัดส่วนมวลของไอโซโทป (isotope ratio mass spectrometry) ซึ่งให้ค่าความแม่น (accuracy) ไม่สูงนักเมื่อเทียบกับเดลตา (δ values) ของไอโซโทปที่มีตามธรรมชาติ โดยทั่วไปในการวิเคราะห์ไอโซโทปของออกซิเจน คาร์บอน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ จะอยู่ในช่วง 0.05‰ ถึง 0.2‰ ส่วนไอโซโทปของไฮโดรเจนจะให้ความแม่นยำน้อยกว่า โดยอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 2.0‰ เนื่องจากไฮโดรเจนมีสัดส่วน $^{2}H:^{1}H$ ที่ต่ำกว่า (Kendall & Mcdonnell, 1998) Stable carbon and nitrogen isotopic analyses เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการติดตามการแพร่กระจายน้ำเสียที่มีแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน เช่น จากการขับถ่ายของสัตว์ น้ำทิ้งจากบ้านเรือนหรือโรงงานบำบัดน้ำเสีย (Costanzo et al., 2006; Dolence et al.,2005) สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำเสียที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์จะมีค่า $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ แตกต่างไปจากสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันที่อาศัยในพื้นที่ที่มีผลกระทบดังกล่าวโดยผ่านสายใยอาหาร (food web) (Yamamuro, Kayanne & Yamano, 2003) เนื่องจาก $\delta^{15}N$ สามารถที่จะเป็นตัวบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอาหารไนเตรทไนโตรเจนได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ไอโซโทปเสถียรยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์รูปแบบและกลไกการทำงานของพืชและสาหร่าย ระดับสายใยอาหาร วงจรของระบบนิเวศทั้งบนบกและในทะเล (Lajtha & Michener, 1994) อย่างไรก็ดีไอโซโทปที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกือบทั้งหมดจะมีความ

เสถียร และมีจำนวนน้อยมากที่จะเป็นสารกัมมันตรังสี โดยปกติแล้วสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลจะมีค่า $\delta^{13}C$ มากกว่าสิ่งมีชีวิตที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากแผ่นดิน (Boonphakdee, Kasai, Fujiwara, Sawangwong & Chevaporn, 2008) อัตราส่วนของ POC/chl a ที่มีค่ามากกว่า 200 ก็สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งชี้การปนเปื้อนของน้ำเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ได้เช่นกัน (Cifuentes et al., 1988)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศไทยเกี่ยวกับการหาแหล่งที่มีของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตโดยใช้ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจนในการบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ยังมีไม่มากนัก ส่วนในต่างประเทศก็ยังถือว่ามีน้อย เช่นงานศึกษาการวิจัยของ Dela-Cruz et al. (2002) ได้ศึกษาไดอะตอม *Thalassiosira partheneia* ซึ่งพบว่า *Thalassiosir partheneia* เป็นตัวกระตุ้นที่ทำให้ *Noctiluca Scintillans* เกิดการบลูม เนื่องจาก *Thalassiosira partheneia* ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ uplifted ของน้ำทะเล โดย *Thalassiosira partheneia* ได้รับสารอินทรีย์จากทะเล จากนั้นจึงทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการบลูม ส่งผลให้ *Noctiluca Scintillans* ได้รับอาหารเพิ่มมากขึ้นตามมาโดยการกิน *Thalassiosira partheneia* เป็นอาหาร จึงเกิดการบลูมของ *Noctiluca Scintillans* จะเกิดขึ้นในช่วงฤดูใบไม้ผลิ และฤดูร้อน ในประเทศออสเตรเลีย โดยใช้ $\delta^{15}N$ ใน *Noctiluca Scintillans* เป็นตัวบ่งชี้แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับ Minagawa and Wada (1986) ที่ศึกษาไนโตรเจนจากกระบวนการตรึงก๊าซไนโตรเจน จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Anabaena cylindrica* และ *Trichodesmium* sp. ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในทะเลจีนใต้โดยใช้ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน พบว่าในช่วงที่ *Trichodesmium* sp. เกิดการบลูมจะมีปริมาณของ $\delta^{15}N$ มากกว่า *Anabaena cylindrica* เนื่องจาก *Trichodesmium* sp.มีการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากชั้นบรรยากาศมาก ส่วนปริมาณของ $\delta^{15}N$ ในแพลงก์ตอนรวม มีปริมาณมากกว่า *Trichodesmium* sp.

จากงานวิจัยของ Lin, Wu, Kao, Kao and Meng (2007) ได้ศึกษาสาหร่ายโดยใช้ $\delta^{15}N$ เป็นตัวบ่งชี้ไนโตรเจนในน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ปล่อยลงสู่ระบบนิเวศชายฝั่งของอ่าว Nanwan ทางตอนใต้ของประเทศได้หวัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเสียในบริเวณชายฝั่งมีปริมาณ $\delta^{15}N$ สูงกว่าสาหร่ายที่อยู่รอบๆ บริเวณ Green Island ห่างจากชายฝั่ง 33 กิโลเมตร และในบริเวณ Dongsha Island ห่างจากชายฝั่ง 480 กิโลเมตร ซึ่งทั้งสองบริเวณนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำเสีย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Costanzo et al. (2001) ได้ศึกษาเนื้อเยื่อของพืชทะเล โดยใช้ $\delta^{15}N$ บ่งชี้แหล่งที่มาของน้ำเสียที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทฟิเคชั่น พบว่า

ได้รับน้ำเสียที่ไหลมาจากอ่าว More ประเทศออสเตรเลีย โดยเกิดจากการเพิ่มจำนวนของประชากรที่อยู่บริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งปริมาณ $\delta^{15}N$ ที่ได้นั้นก็จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการควบคุมปริมาณสารอาหารไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

Tucker, Sheats, Giblin, Hopkinson and Montoya (1999) ใช้ ไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($\delta^{34}S$) ประเมินน้ำเสีย ที่ไหลเข้ามาใน Boston Harbor และได้ขยายเข้ามาในอ่าว Massachusetts โดยพิจารณาจากแหล่งที่มาของธาตุ สารอินทรีย์ สารแขวนลอย สาหร่าย และสัตว์ ปริมาณของ $\delta^{15}N$ แสดงให้เห็นว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก น้ำเสีย ทำให้หอยได้รับสารอินทรีย์ และตะกอนเหล่านี้ด้วย ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการของห่วงโซ่อาหาร ส่วนงานวิจัยของ Bax, Kontaxis & Tjandra (2001) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ปี 1994 โดยศึกษาแพลงก์ตอนบลูม ชนิด *Thalassiosira partheneia* เป็นไดอะตอมที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นชนิดแรกที่เกิดการบลูมในฤดูใบไม้ผลิ และมีช่วงอายุสั้น มีการบลูมที่หนาแน่นทางทิศเหนือ ปริมาณของ $\delta^{13}C$ แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์มีที่มาจากทะเล หรือสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่เมื่อมีเจริญเติบโตเต็มที่แล้วเกิดการตายลงทับถมกันเป็นชั้นตะกอนจะส่งผลทำให้น้ำตื้นเขินและเป็นตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดการบลูมได้

กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ (2545) รายงานถึงปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (*Skeletonema costatum*) มากกว่า 100,000 เซลล์/ ลิตร และ *Noctiluca scintillans* มากกว่า 100 เซลล์/ ลิตร จึงจะทำให้เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี ซึ่งการเติบโตและการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการเช่น การเคลื่อนที่ของมวลน้ำ การผสมของมวลน้ำ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเค็ม และปริมาณสารอาหาร อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาใดที่ระบุได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยใดที่ทำหน้าที่ควบคุมการเพิ่มปริมาณของแพลงก์ตอนพืชได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

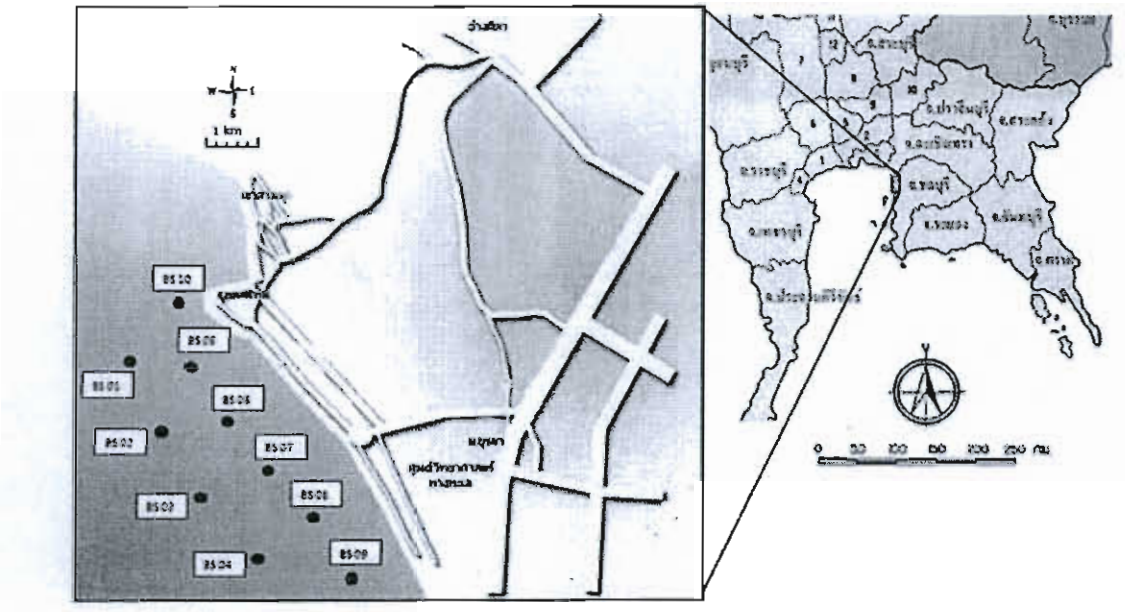
Lysiak-Pastuszak, Drgas and Piatkowsk (2004) ทำการศึกษาน้ำทะเล Baltic ที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทฟิเคชั่น ในบริเวณชายฝั่งของทะเล Baltic พบว่าได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล 2 สายหลัก คือ Odra และ Vistula และยังมีแม่น้ำสายเล็ก ๆ ไหลลงสู่ชายฝั่งทะเลนี้เช่นเดียวกัน ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ การเพิ่มปริมาณของสารอาหารจะมีมากขึ้นในฤดูหนาว ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทฟิเคชั่น ส่วนในฤดูร้อนปริมาณของไนโตรเจนรวม ฟอสเฟสรวม และออกซิเจน มีค่าน้อยมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่ปี 1959-2001 จนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มการเสื่อมถอยของสิ่งแวดล้อมไปเรื่อย ๆ ส่วนในอนาคต ทะเล Baltic น่าจะส่งผลให้เกิดการวิวัฒนาการมากขึ้น

Meksumpun, Meksumpun, Hoshika, Mishima and Tanimoto (2005) พบว่าคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนล่างมีปริมาณ $\delta^{13}C$ เฉลี่ย -21‰ บ่งชี้ให้เห็นว่าดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนล่างได้รับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากแพลงก์ตอนพืชในทะเลโดยปริมาณ $\delta^{13}C$ ในแพลงก์ตอนพืชนั้นมีแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันแต่ส่วนใหญ่มาจากแผ่นดิน ซึ่งปริมาณ $\delta^{13}C$ ในดินตะกอนและสารอินทรีย์แขวนลอยในแม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนใน มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สำหรับปริมาณ $\delta^{15}N$ นั้นมีลักษณะเช่นเดียวกันกับปริมาณ $\delta^{13}C$ ในดินตะกอนบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่เก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช และตัวอย่างน้ำทะเล บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 2 ครั้ง แยกจุดเก็บออกเป็น 10 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 3-1 โดยมีระยะห่างจากฝั่งประมาณ 1 กิโลเมตร ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2550-พฤศจิกายน 2551 เป็นระยะเวลา 1 ปี 4 เดือน



ภาพที่ 3-1 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จ.ชลบุรี

2. การศึกษาแพลงก์ตอนพืช

2.1 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช

เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชด้วยถุงลากแพลงก์ตอน standard net ขนาดช่องตา 60 ไมครอน โดยทำการลากถุงแพลงก์ตอนในแนวเฉียง มีระยะทางในการลากประมาณ 3 เมตร จากที่ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร โดยปล่อยถุงลากแพลงก์ตอนลงไปในระดับลึก 1 เมตร แล้วค่อย ๆ ลากขึ้นมาผิวน้ำในแนวเฉียง (พรศิลป์ ผลพันธิน, 2538)

2.2 การจำแนกชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช

จำแนกชนิดของแพลงก์ตอนพืชโดยเทียบจากคู่มือแพลงก์ตอนพืชของลัดดา วงศ์รัตน์ (2542) ทำได้โดยใช้หลอดหยด (dropper) ดูดตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชหยดลงบนสไลด์แล้วใช้ cover slip ปิด ทำการแยกชนิดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของแพลงก์แพลงก์ดอนพืช ทำได้โดยการนับจำนวนเซลล์แพลงก์ตอนพืชด้วย Sedgewick-Rafter และนำมาคำนวณหาความหนาแน่น ซึ่ง Sedgewick-Rafter มีกรอบขนาด 50 มม. x20 มม. และมีความลึก 1 มม. ดังนั้นจะมีความจุปริมาตร 1 มิลลิลิตร และภายในกรอบจะมีเส้นขีดเป็นตารางไว้เพื่อสะดวกต่อการนับ การเตรียมตัวอย่าง โดยตวงปริมาตรน้ำในขวดเก็บแพลงก์ตอนพืชเพื่อให้ทราบปริมาณที่ถูกต้องและจดบันทึก จากนั้นเก็บตัวอย่างใส่ขวดและเขย่าขวดเบา ๆ เพื่อให้แพลงก์พืชตอนกระจายทั่วกัน (homogeneous condition) วาง cover glass บนกรอบ Sedgewick-Rafter ให้เหลือช่องว่างเล็ก ๆ บริเวณมุมใดมุมหนึ่ง หยดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตที่มีปากกว้าง เลื่อน cover glass มาปิดสไลด์ให้สนิท จากนั้นนับและคำนวณแพลงก์ตอนพืช ถ้าแพลงก์ตอนพืชไม่หนาแน่นมากให้นับหมดทั้งสไลด์ ถ้าความหนาแน่นมากต้องเจือจางตัวอย่าง จากนั้นจึงคำนวณกลับตามสัดส่วนการเจือจาง

การคำนวณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545)

คำนวณปริมาตรน้ำที่กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนพืชโดยใช้สูตร

$$V = \P R^2 h$$

V = ปริมาตรน้ำที่กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนพืช (ลิตร)

R = รัศมีของปากถุงลากแพลงก์ตอนพืช

h = ระยะทางที่ลากถุงลากแพลงก์ตอนพืช

คำนวณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชโดยใช้สูตร

$$D = N \times \frac{| d \times v \times 1000 |}{V}$$

D = ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อลิตร)

N = จำนวนเซลล์ที่ตรวจนับได้ใน Sedgewick Rafter Chamber

d = จำนวนเท่าที่เจือจาง (ถ้ามี)

v = ปริมาตรน้ำในขวดตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V = ปริมาตรน้ำที่กรองผ่านถุงกรองแพลงก์ตอนพืช (ลิตร)

2.3 การเก็บและเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ตามวิธีของ Parsons, Maita, & Lilli (1984) อ้างโดยกรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ (2545)

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ จะเก็บน้ำทะเลที่ระดับความลึกเดียวกันกับการเก็บแพลงก์ตอนพืชด้วยกระบอกเก็บน้ำ หลังจากนั้นนำตัวอย่างซึ่งผสมกันดีแล้วมากรองผ่านผ้ากรองไนลอนขนาดตาประมาณ 200 ไมครอนเพื่อกำจัดแพลงก์ตอนขนาดใหญ่ที่ติดมาในตัวอย่างออก แล้วจึงกรองลงบนกระดาษกรองใยแก้ว GF/F เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (จดบันทึกปริมาตรน้ำที่ใช้ในการกรองไว้สำหรับคำนวณต่อไป) เก็บแผ่นกรองที่ได้ไว้สำหรับวิเคราะห์หาคลอโรฟิลล์เอ โดยวิธี spectrophotometry

การคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (ไมโครกรัม/ลิตร) ตามสูตรของ Parsons *et al.* (1984) อ้างโดยกรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ (2545)

$$\text{Chlorophyll a } (\mu g/l) = \frac{26.7(665_0-665_a)\times v}{V\times 1}$$

665_0 แทน ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่นต่าง 665 นาโนเมตรก่อนการเติมกรดเกลือ

665_a แทน ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่นต่าง 665 นาโนเมตรหลังการเติมกรดเกลือ

V แทน ปริมาตรของน้ำที่กรอง (ลิตร)

v แทน ปริมาตรของ acetone ที่ใช้ (มิลลิลิตร)

1 แทน ขนาดของ cuvette ที่ใช้ (เซนติเมตร)

3. การศึกษาปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)

3.1 การเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์แขวนลอยบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ (non red tide POM)

เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์แขวนลอยในช่วงที่ไม่มีเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี โดยเก็บตัวอย่างจาก 10 สถานี โดยใช้กระบอกเก็บน้ำ (Water Sampler) โดยทำการล้างกระบอกเก็บน้ำก่อนโดยจุ่มลงในน้ำทะเล 3-4 ครั้ง จากนั้นหย่อนกระบอกเก็บน้ำที่ระดับความลึก 1 เมตรจากผิวน้ำทะเล โดยรอระยะเวลา 30-60 วินาที ก่อนที่จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำขึ้นมา จากนั้นถ่ายตัวอย่างน้ำลงในขวดเก็บตัวอย่าง และทำการรักษาในถังบรรจุน้ำแข็งเพื่อรักษาสภาพตัวอย่าง จากนั้นกลับมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการกรองโดยใช้น้ำตัวอย่างปริมาตร 500 มิลลิลิตร มากรองด้วยกระดาษกรอง

Whatman GF/F ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำไปเตรียมตัวอย่างก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน

3.2 การเตรียมตัวอย่าง (Swart, Saied, & Lamb, 2005).

3.2.1 สารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM)

นำกระดาษกรองที่ได้จากการกรองตัวอย่างน้ำ ไปอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไป Decarbonate ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 4 วัน เพื่อกำจัดคาร์บอเนตออกจากกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมงอีกครั้ง จากนั้นลอกชั้นกระดาษกรองออกให้บางที่สุดก่อนที่จะนำไปบรรจุในฟอยล์ (Tin Capsule) แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน ด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer

3.2.2 แพลงก์ตอนพืช

ทำการแยกเซลล์แพลงก์ตอนพืช (ที่พบได้แก่ *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* ซึ่งขึ้นอยู่กับการบลูมของแพลงก์ตอนพืชว่าเป็นชนิดใดในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง) โดยเลือกและล้างเซลล์แพลงก์ตอนพืชโดยใช้ปิเปตปลายแหลม (Pasteur Pipette) ดูดเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชทีละเซลล์มาแยกในภาชนะอื่น ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ทำการแยกหลายครั้งจนแน่ใจว่าปราศจากการปนของแพลงก์ตอนชนิดอื่น จากนั้นเมื่อได้จำนวนเซลล์แพลงก์พืชที่มากพอโดยสังเกตจากสีของแพลงก์ตอนพืช นำเซลล์แพลงก์ตอนพืชไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman GF/F แล้วทำการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)

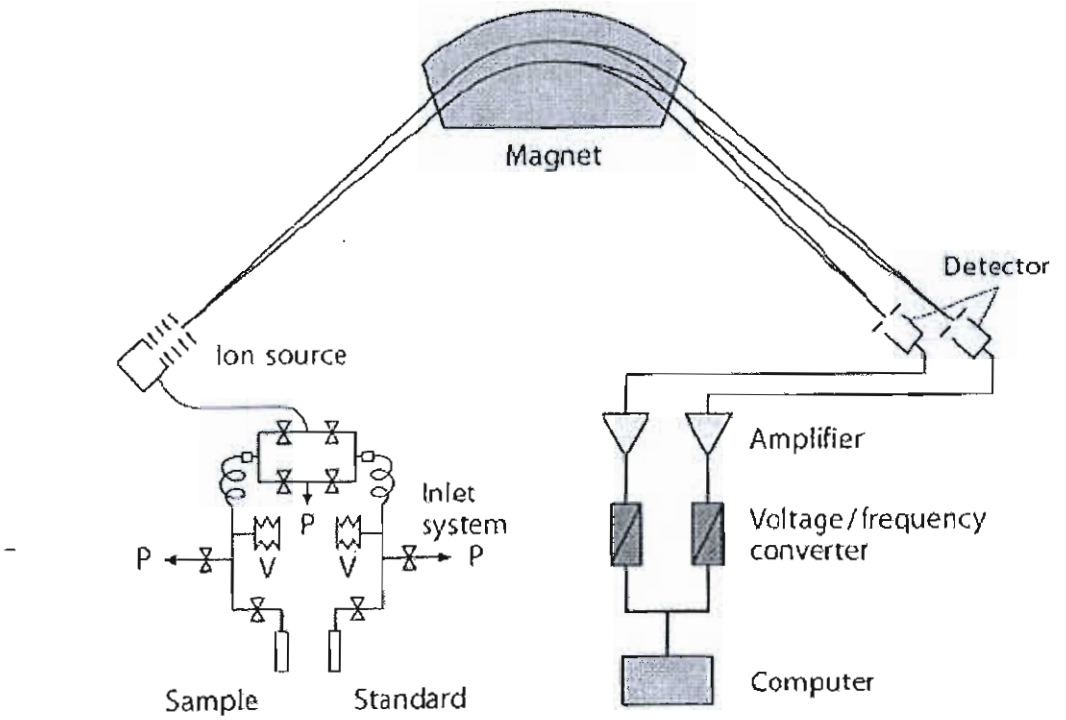
ทำการวิเคราะห์ปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนโดยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer ซึ่งอาศัยหลักการของเครื่องแยกและวิเคราะห์ Isotope ของธาตุที่อยู่ในรูปก๊าซ (Gas) ด้วยหลักการ Mass Spectrometer ซึ่ง Mass Spectrometer ทำหน้าที่ตรวจวิเคราะห์สารที่แยกมาจากแก๊สโครมาโตกราฟ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่ Ion Source ทำหน้าที่เปลี่ยนสารที่เข้ามาให้กลายเป็นไอออน Mass filter ทำหน้าที่เลือกไอออนโดยแยกตามอัตราส่วนมวลต่อประจุ (m/z) Mass detector จะทำหน้าที่ตรวจจับไอออนที่ผ่านออกมาและขยายสัญญาณ

หลักการทำงานของเครื่อง Mass Spectrometer

ลำดับแรกแก๊สตัวอย่างจะเข้ามาบริเวณ Source ที่ซึ่งมีขดลวดทำความร้อนเผาอิเลคตรอน และจะเกิดการปะทะของอิเลคตรอนอย่างรุนแรง โดยโมเลกุลของแก๊สตัวอย่างจะแตกเป็นประจุ และสูญเสีย

อิเลคตรอนเหลือเป็นโมเลกุลอย่างเดียว ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะมีประจุบวก และไหลผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยโมเลกุลเหล่านี้จะถูกเร่งและส่งต่อมาที่ Flight Tube ที่มีลักษณะโค้งงอ ไอออนบวกจะไหลผ่านสนามแม่เหล็กที่ซึ่งทำหน้าที่แยกไอออนเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับมวลของอะตอมและไอโซโทป ไอออนแต่ละประเภทจะถูกรวมเข้าไปในตัวเก็บเพื่อทำการนับโดยคอมพิวเตอร์และคำนวณผลของไอโซโทป ดังภาพที่ 3-3

หลักการสำคัญของการแยกโดย Mass Spectrometer คือ ความเฉื่อย โมเลกุลของแก๊สที่มีนิวตรอนที่ใหญ่ต้องการแรงขับเคลื่อนที่มาก เพื่อหนีออกจากเส้นทางโคจรด้วยเหตุนี้จะทำให้โมเลกุลเหล่านั้นเดินทางได้เป็นเส้นตรงกว่าพวกที่เป็นไอโซโทปเบา



ภาพที่ 3-2 แผนภาพของ mass spectrometer สำหรับวัดปริมาณไอโซโทปเสถียร (Hoefs, 2004)

ข้อมูลของปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน และไนโตรเจนที่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer จากมหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น รายงานออกมาเป็นความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างสัดส่วนของตัวอย่าง และสารมาตรฐาน

$$\delta X(‰) = [\,(Rsample/Rstandard)-1\,]\times 10^{3}$$

เมื่อ X แทน ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและไนโตรเจน (^{13}C และ ^{15}N)

R แทน ค่าของสัดส่วนไอโซโทป ($^{13}C/^{12}C$ และ $^{15}N/^{14}N$)

3.4 แหล่งที่มาของสารอินทรีย์

น้ำเสีย (sewage) มีปริมาณของ $\delta^{13}C$ และ C/N เท่ากับ -25.94±0.63‰ และ 8.41±0.53 (Boonphakdee et al., 2008) โดยมีแหล่งที่มาจากเทศบาล อ. เมือง จ.ฉะเชิงเทรา ส่วนปริมาณของ $\delta^{15}N$ มีค่าเท่ากับ 4.50±0.62 ‰ (Jones, O'Donohue, Udy, & Dennison, 2001) มีแหล่งที่มาจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ประเทศออสเตรเลีย

สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) มีปริมาณของ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ เท่ากับ -21.00±0.40‰ และ 7.30±0.20‰ (Ogrinc et al.,2005) มีแหล่งที่มาจากทะเล Aariatic ประเทศอิตาลี ส่วนปริมาณของ C/N เท่ากับ 6.60±0.5 (Boonphakdee et al., 2008) มีแหล่งที่มาจากทะเลบริเวณอ่าวไทย

สารอินทรีย์จากแผ่นดิน(Terrestrial POM) มีปริมาณของ $\delta^{15}N$ และ C/N เท่ากับ 7.30±1.10 และ 22.80±1.80‰ (Kumamoto & Minagawa, 2001) โดยมีแหล่งที่มาป่าชายเลนทะเลฝั่งตะวันตกของประเทศไทยส่วนปริมาณของ $\delta^{13}C$ มีค่าเท่ากับ -28.20±2.20‰ (Meksumpun, Meksumpunb, Hoshikac, Mishimac, & Tanimotoc, 2005) มีแหล่งที่มาจากบริเวณอ่าวไทย

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) แบบ Factorial design โดยใช้ โปรแกรม SPSS เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช ในแต่ละสถานี ทำการทดสอบสมมติฐาน (Assumption) ของการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อตรวจสอบการแจกแจงของความคลาดเคลื่อนของการทำนายว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยใช้ Kolmogorov-Smirnov Test

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ชนิด และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช

การศึกษาชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2551 ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

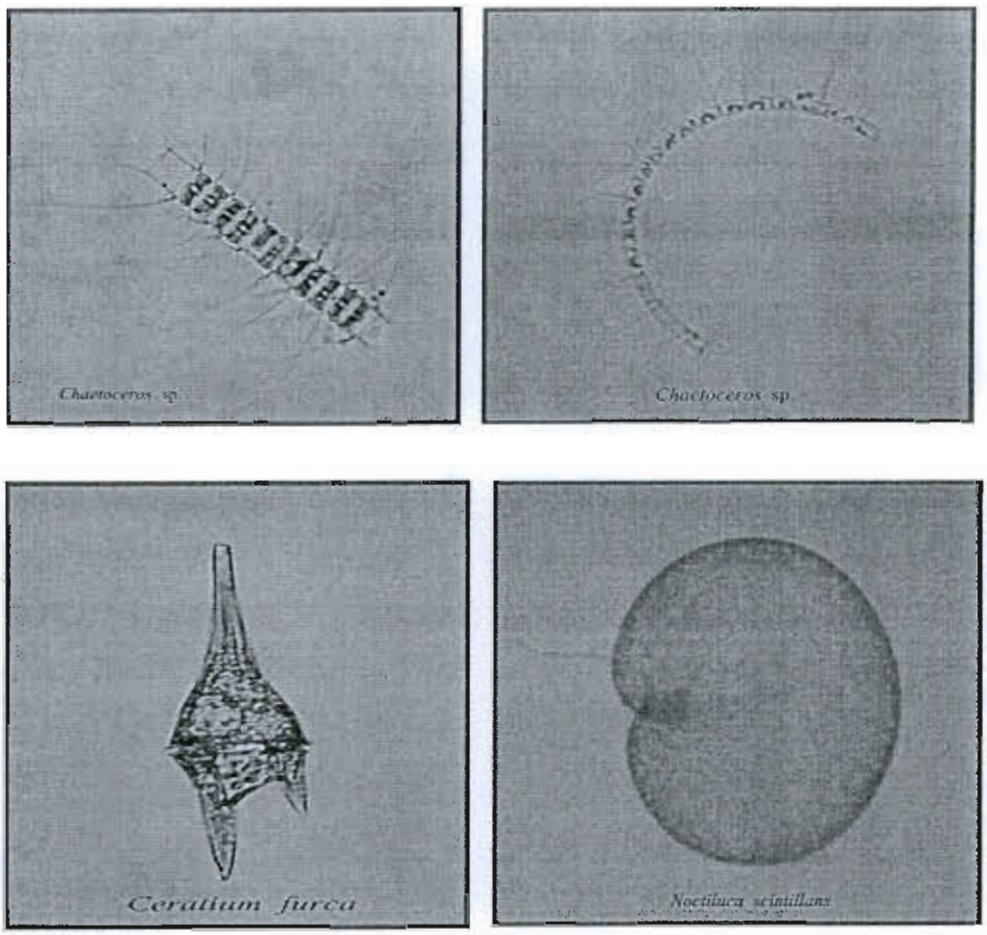
พบแพลงก์ตอนพืช 16 สกุล ประกอบด้วยแพลงก์ตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) พบ 1 อันดับ 1 วงศ์ 1 สกุล ไดอะตอม (diatom) พบ 2 อันดับ 7 วงศ์ 11 สกุล และไดโนแฟลกเจลเลต (dinoflagellate) พบ 4 อันดับ 4 วงศ์ 4 สกุล (ตารางที่ 4-1) สกุลที่มีความหนาแน่นเซลล์เฉลี่ยสูงสุด และทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในเดือนที่ทำการเก็บตัวอย่าง คือ ไดโนแฟลกเจลเลต 2 สกุลได้แก่ *Noctiluca scintillans* โดยมีความหนาแน่นเซลล์สูงสุดเท่ากับ 5.24×10^6 เซลล์ต่อลิตร ในเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 ส่งผลให้น้ำทะเลเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวอยู่ในช่วงและ 1–5 วัน สกุล *Ceratium* sp. มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุดเท่ากับ 1.56×10^5 เซลล์ต่อลิตร ในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 ทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีแดงอยู่ในช่วง 1–2 วัน ส่วนไดอะตอมพบ 1 สกุลคือ *Chaetoceros* spp. ที่มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุดเท่ากับ 1.02×10^6 เซลล์ต่อลิตร ในเดือนมีนาคม เมษายน และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 ทำให้น้ำทะเลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงอยู่ในช่วง 1–7 วัน (ตารางที่ 4-2) นอกจากนี้แล้วยังพบว่ามีแพลงก์ตอนพืชสกุลอื่น ๆ ได้แก่ *Coscinodiscus* sp. *Rhizosolenia* sp. *Chaetoceros* spp. *Pleurosigma* sp. และ *Ceratium* sp. (ตารางที่ 4-3)

ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชรวม ในแต่ละสถานีพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชสกุล *Ceratium* sp. *Chaetoceros* spp. และ *Noctiluca scintillans* ในแต่ละสถานี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่พบบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรีมีความผันแปรในรอบปีสูง โดยพบความหนาแน่นแพลงก์ตอนพืชสูงในช่วงเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อเข้าสู่ฤดูฝน และความหนาแน่นแพลงก์ตอนพืชจะลดลง ในช่วงเดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน พ.ศ. 2551 แต่กลับเพิ่มขึ้นสูงอีกในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 และลดต่ำลงเล็กน้อยในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นช่วงรอยต่อระหว่าง

ฤดูฝนสู่ฤดูหนาว ส่วนในปี พ.ศ. 2550 ไม่พบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่าง (ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-1 ชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551

Division	Class	Order	Family	Genus
Cyanophyta	Cyanophyceae	Nostocales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria* sp.
Chromophyta	Bacillariophyceae	Biddulphiales	Thalassiosiraceae	*Planktoniella sol*
				Lauderia sp.
			Coscinodiscaceae	*Coscinodiscus* spp.
			Rhizosoleniaceae	*Rhizosolenia* spp.
			Chaetoceraceae	*Bacteriastrum* sp.
				Chaetoceros spp.
			Eupodiscaceae	*Odontella* sp.
				Triceratium sp.
		Bacillariales	Thalassionemataceae	*Thalassionema* sp.
				Thalassiothrix sp.
			Naviculaceae	*Pleurosigma* spp.
	Dinophyceae	Dinophysiales	Dinophysiaceae	*Dinophysis* sp.
		Noctilucales	Noctilucaceae	*Noctiluca scintillans*
		Gonyaulacales	Ceratiaceae	*Ceratium* sp.
		Peridiniales	Protoperidiniaceae	*Protoperidinium* sp.



ภาพที่ 4-1 แพลงก์ตอนพืชสกุล *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* ที่พบในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 4-2 ช่วงเวลาและชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุในการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) ในระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 - พฤศจิกายน 2551 บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์

วัน/เดือน/ปี	ชนิดแพลงก์ตอนพืช	กลุ่ม	สีของน้ำ
5 มีนาคม 2551	*Chaetoceros* spp.	ไดอะตอม	น้ำตาลแดง
4 เมษายน 2551	*Chaetoceros* spp.	ไดอะตอม	น้ำตาลแดง
5 เมษายน 2551	*Noctiluca scintillans*	ไดโนแฟลกเจลเลต	เขียว
22-23 พฤษภาคม 2551	*Noctiluca scintillans*	ไดโนแฟลกเจลเลต	เขียว
6 กรกฎาคม 2551	*Ceratium* sp.	ไดโนแฟลกเจลเลต	แดง
7 สิงหาคม 2551	*Ceratium* sp.	ไดโนแฟลกเจลเลต	แดง
13-19 ตุลาคม 2551	*Chaetoceros* spp.	ไดอะตอม	น้ำตาลแดง
26-30 ตุลาคม 2551	*Chaetoceros* spp.	ไดอะตอม	น้ำตาลแดง

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ย (±SD) ความหนาแน่นเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 - พฤศจิกายน พ.ศ. 2551

	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (เซลล์ต่อลิตร)															
Genus	ก.ค/2550	ส.ค/2550	ก.ย/2550	ต.ค/2550	พ.ย/2550	ธ.ค/2550	ม.ค/2551	มี.ค/2551	เม.ย/2551	พ.ค/2551	มิ.ย/2251	ก.ค/2551	ส.ค/2551	ก.ย/2551	ต.ค/2551	พ.ย/2551
Oscillatoria sp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	7.3×10^{3}	NF	NF
Planktoniella sol	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	6.63×10^{2}	NF	49	3.32×10^{2}	1.97×10^{2}	NF
Lauderia sp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	4.78×10^{2}	NF	98	2.46×10^{5}	4.47×10^{3}	4.23×10^{3}
Coscinodiscus spp.	6.00×10^{3}	5.14×10^{3}	1.08×10^{3}	5.00×10^{2}	8.57×10^{2}	3.14×10^{3}	6.82×10^{4}	NF	1.33×10^{4}	3.09×10^{4}	8.39×10^{3}	2.59×10^{4}	1.07×10^{4}	5.83×10^{3}	4.85×10^{3}	6.68×10^{3}
Rhizosolenia spp.	NF	5.96×10^{3}	1.07×10^{2}	NF	3.29×10^{3}	3.63×10^{4}	3.77×10^{4}	3.808×10^{4}	1.15×10^{4}	7.10×10^{3}	2.21×10^{2}	4.42×10^{2}	NF	2.76×10^{2}	4.54×10^{2}	2.11×10^{4}
Bacteriastrum spp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	8.75×10^{3}	1.05×10^{4}	55	6.09×10^{3}	3.31×10^{3}
Chaetoceros spp.	7.37×10^{4}	1.42×10^{5}	2.57×10^{5}	1.53×10^{5}	1.40×10^{5}	2.01×10^{4}	1.38×10^{4}	2.12×10^{5}	6.81×10^{3}	2.94×10^{3}	9.73×10^{2}	4.04×10^{4}	1.29×10^{5}	1.22×10^{5}	1.02×10^{6}	2.42×10^{5}
Odontella sp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	4.42×10^{2}	NF	49	1.88×10^{3}	4.81×10^{3}	1.17×10^{4}
Triceratium sp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	49	NF	NF	NF	NF
Thalassionema sp.	NF	2.35×10^{3}	2.76×10^{3}	5.02×10^{2}	8.24×10^{2}	NF	3.71×10^{2}	8.46×10^{3}	NF	NF	NF	1.7×10^{2}	NF	NF	1.26×10^{2}	NF
Thalassiothrix sp.	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	6.63×10^{2}	2.65×10^{3}	7.37×10^{2}	6.85×10^{3}	2.72×10^{3}	3.57×10^{4}
Pleurosigma spp.	NF	2.85×10^{2}	3.57×10^{2}		1.35×10^{3}	4.75×10^{3}	3.37×10^{3}	2.07×10^{3}	1.00×10^{2}	NF	2.21×10^{2}	3.93×10^{2}	NF	1.33×10^{3}	1.87×10^{3}	5.62×10^{3}
Dinophysis sp.	NF	1.07×10^{2}	NF	1.32×10^{3}	5.35×10^{2}	1.67×10^{3}	NF	NF	NF	9.13×10^{3}	1.32×10^{2}	NF	NF	NF	NF	1.03×10^{3}
Noctiluca scintillans	NF	NF	NF	NF	NF	NF	1.07×10^{2}	3.99×10^{2}	3.99×10^{6}	5.24×10^{6}	NF	NF	1.47×10^{2}	5.43×10^{2}	100	1.59×10^{2}
Ceratium sp.	2.64×10^{4}	1.69×10^{4}	2.98×10^{3}	2.34×10^{4}	6.78×10^{2}	8.60×10^{3}	NF	NF	1.69×10^{4}	2.89×10^{4}	1.56×10^{5}	9.25×10^{4}	1.4×10^{5}	1.07×10^{5}	3.74×10^{4}	1.26×10^{4}
Protoperidinium sp.	NF	2.49×10^{2}	NF	1.39×10^{3}	1.07×10^{2}	NF	NF	NF	NF	NF	13.36×10^{2}	8.85×10^{2}	1.97×10^{2}	1.66×10^{3}	1.08×10^{3}	NF

หมายเหตุ: NF = not found (ไม่พบ)

4.2 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ในแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

ปริมาณของ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N ในแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ได้แก่ *Chaetoceros* spp. มีค่าเท่ากับ -20.67±2.00 ‰, -0.45±2.24 ‰ และ 6.07±1.09 ตามลำดับ *Noctiluca scintillans* มีค่าเท่ากับ -21.08±0.99 ‰, 2.69±3.66 ‰ และ 4.87±0.68 ตามลำดับ และ *Ceratium* sp. มีค่าเท่ากับ -18.37±1.23 ‰, 4.46±2.42 ‰ และ 5.51±0.78 ตามลำดับ ส่วนสารอินทรีย์แขวนลอยขณะไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (non red tide POM) ที่ทำการเก็บตัวอย่างจากหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ มีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N เท่ากับ -20.59±1.48‰ 1.84±2.59‰ และ 6.17±1.1 ตามลำดับ (ตารางที่ 4-4)

ปริมาณของ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N ในแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ทั้ง 3 แหล่ง ได้แก่ น้ำเสีย (Sewage) มีปริมาณ เท่ากับ -25.94±0.63 ‰ (Boonphakdee et al., 2008), 4.50±0.62 ‰ (Jones et al., 2001) และ 8.41±0.53 (Boonphakdee et al., 2008) สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) มีปริมาณของ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N เท่ากับ -21.00±0.40‰, 7.30±0.20‰ (Ogrinc et al.,2005) และ 6.60±0.5 (Boonphakdee et al., 2008) ส่วนสารอินทรีย์จากแผ่นดิน(Terrestrial POM) มีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N เท่ากับ -28.20±2.20‰ (Meksumpun et al., 2005), 7.30±1.10 และ 22.80±1.80‰ (Kumamoto & Minagawa, 2001)

จากการศึกษาพบว่า *Noctiluca scintillans*, *Ceratium* sp. *Chaetoceros* spp. และสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) มีปริมาณของ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N ใกล้เคียงกันกับสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (Marine POM) (ภาพที่ 4-5)

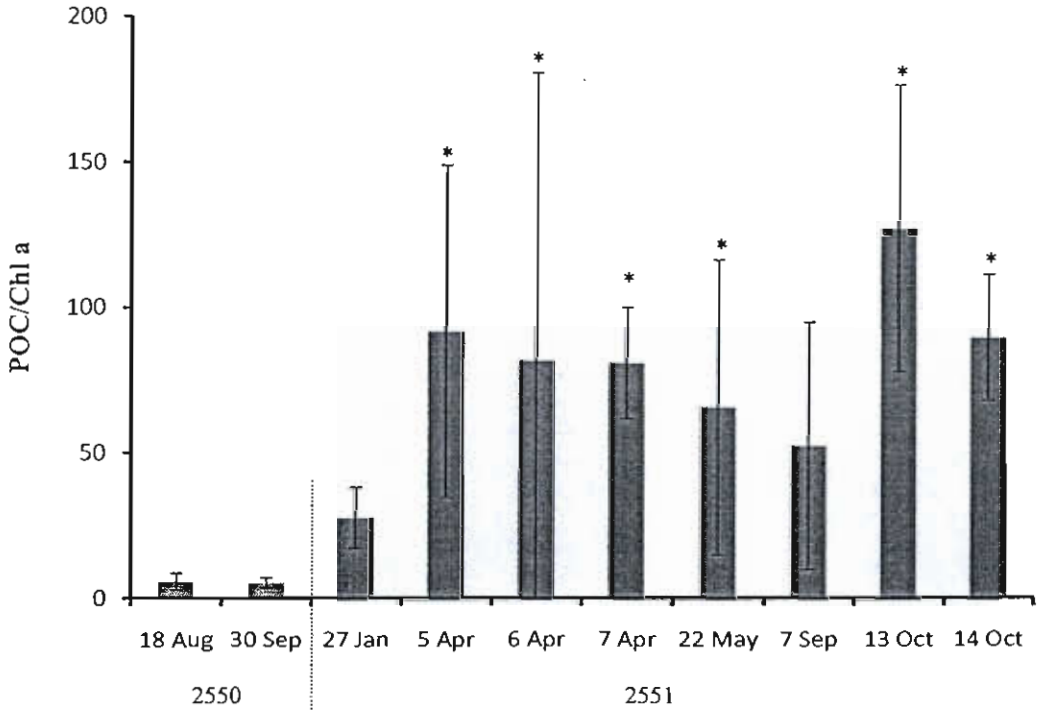
ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชในแต่ละสถานีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนชนิดความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชได้แก่ *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp.และ *Noctluca scintillans* ในแต่ละสถานีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-4 ปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ สัดส่วน C/N ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* และสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) ในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ. ชลบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และ น้ำเสีย (Sewage)

	C/N ratios	$\delta^{13}C$(‰)	$\delta^{15}N$(‰)
ชนิดแพลงก์ตอนพืช			
Chaetoceros spp.	6.07±1.09	-20.67±2.00	-0.45±2.24
Noctiluca scintillans	4.87±0.68	-21.08±0.99	2.69±3.66
Ceratium sp.	5.51±0.78	-18.37±1.23	4.46±2.42
non red tide POM	6.17±1.10	-20.59±1.48	1.84±2.59
แหล่งที่มาของสารอินทรีย์			
Sewage	8.41±0.53[1]	-25.94±0.63[1]	4.50±0.62[2]
Marine POM	6.60±0.10[1]	-21.00±0.40[3]	7.30±0.20[3]
Terrestrial POM	22.80±1.80[4]	-28.20±2.20[5]	7.30±1.10[4]

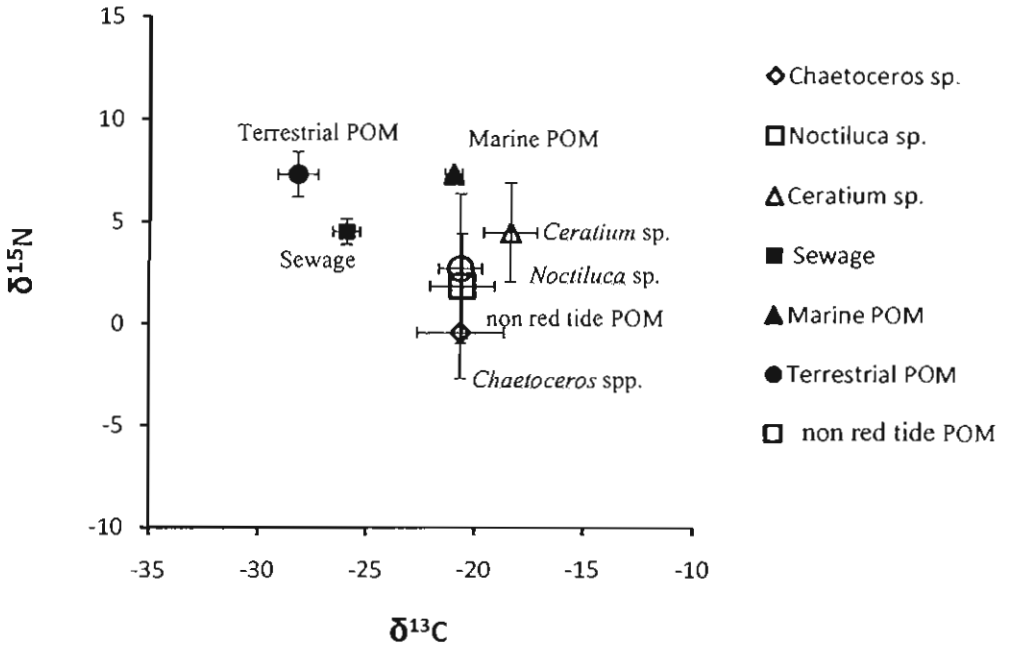
[1]Boonphakdee et al., 2008; [2]Jones et al.,2001; [3]Ogrinc et al.,2005; [4]Kumamoto & Minagawa, 2001; [5]Meksumpun et al., 2005

จากภาพที่ 4-2 พบว่าปริมาณของ POC/ Chl a ในวันที่ 13 และ 14 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 มีปริมาณมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 126.94±48.97, 89.53±21.50 ตามลำดับ รองลงมาคือช่วงวันที่ 5, 6, และ 7 ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 มีค่าเท่ากับ 91.60±56.98, 81.60±98.63 และ 80.73±19.07 ตามลำดับ และวันที่ 22 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 มีค่าเท่ากับ 65.50±50.53 ซึ่งเป็นช่วงที่ชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ส่วนปริมาณของ POC/ Chl a ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน พ.ศ. 2550 มีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 5.64±2.91 และ 5.21±1.78 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปริมาณ POC/ Chl a ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 มีค่าน้อยกว่า 200 ส่วนในปี พ.ศ. 2550 ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์

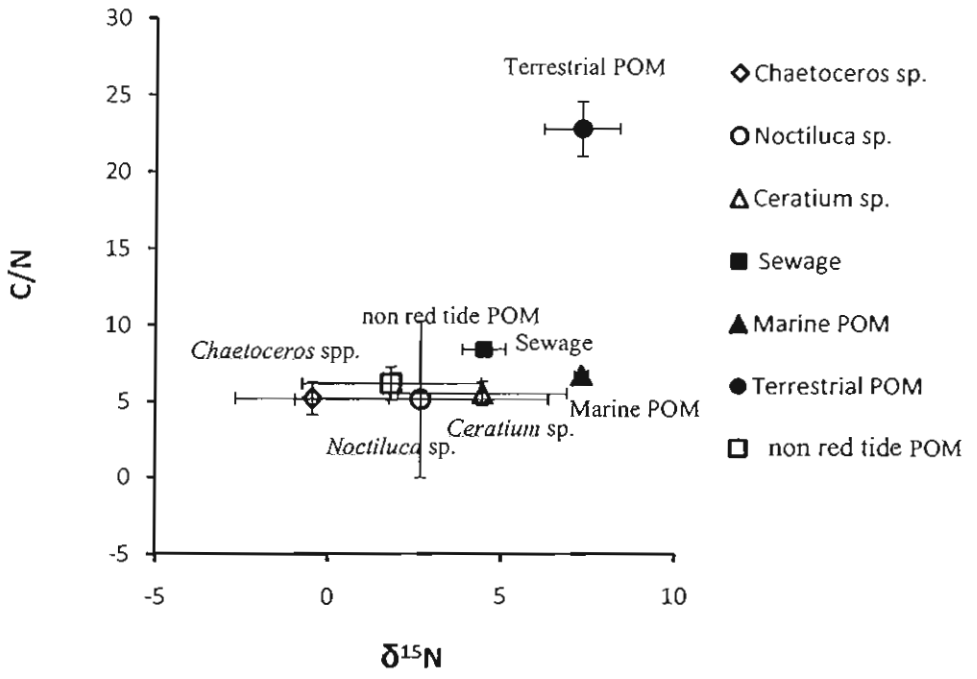


ภาพที่ 4-2 ปริมาณค่าเฉลี่ย (±SD) ของสัดส่วนปริมาณของคาร์บอนต่อคลอโรฟิลล์เอ (POC/ Chl a) ในตัวอย่างสารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ในพื้นที่ศึกษาระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 ในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ. ชลบุรี

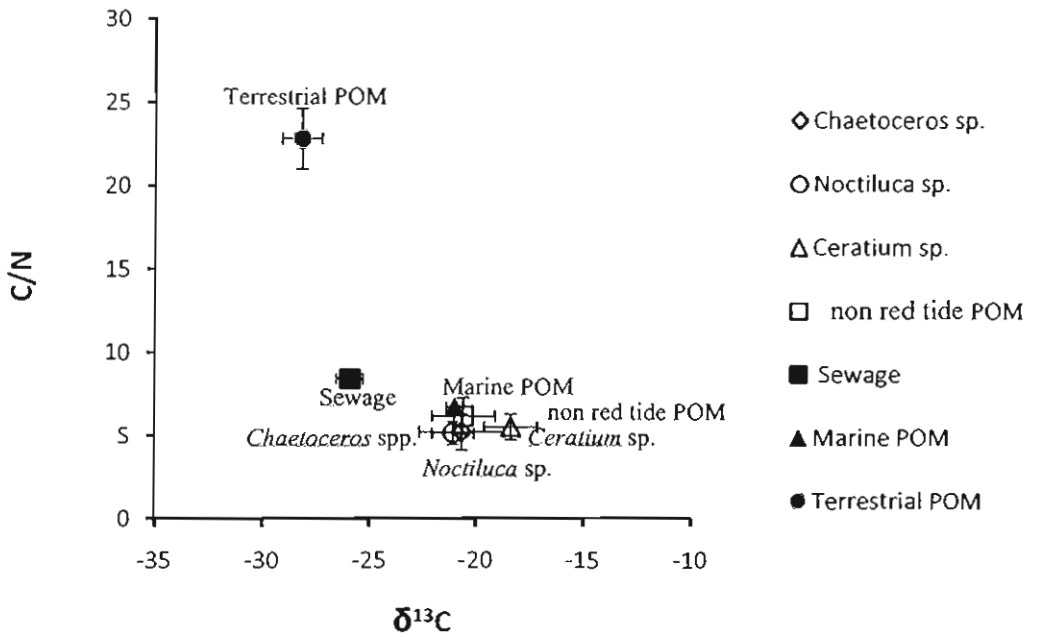
หมายเหตุ * ช่วงเกิด red tide



ภาพที่ 4-3 ปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) ในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ. ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 และปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (Sewage)



ภาพที่ 4-4 ปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของ $\delta^{15}N$ และ C/N ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) ในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ. ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 และปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (Sewage)



ภาพที่ 4-5 ปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของ $\delta^{13}C$ และ C/N ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. *Noctiluca scintillans* สารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) ในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ. ชลบุรี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 และปริมาณเฉลี่ย (±SD) ของสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) สารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (Sewage)

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

1. ความหลากหลายของชนิด และปริมาณความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี

จากการศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนพืชในบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จ.ชลบุรี ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2551 พบแพลงก์ตอนพืช 16 สกุล โดยพบไดอะตอมมากที่สุดคือ 11 สกุล รองลงมาได้แก่ ไดโนแฟลกเจลเลต 4 สกุล และแพลงก์ตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงิน 1 สกุล (ตารางที่ 4-1) แพลงก์ตอนพืชสกุลที่มีความหนาแน่นสูงได้แก่ *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* สกุลที่พบบ่อยได้แก่ *Coscinodiscus* spp., *Rhizosolenia* spp. *Chaetoceros* spp., *Pleurosigma* spp. และ *Ceratium* sp. (ตารางที่ 4-3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ลิขิต ชูชิต, เฉลิมชัย อยู่สำราญ และ ชาลินี สุนทรอำไพ (2545) ที่ได้สำรวจการเปลี่ยนแปลงประชากรไดโนแฟลกเจลเลต บริเวณอ่าวศรีราชา ในช่วง พ.ศ. 2544 - 2545 พบไดโนแฟลกเจลเลต 10 สกุล ได้แก่ *Ceratium* sp., *Gonyaulax* sp., *Peridium* sp., *Noctiluca* sp., *Protoperidium* sp., *Dinophysis* sp., *Prorocentrum* sp., *Gyrodinium* sp., *Pyrodinium* sp., และ *Pyrophacus* sp. และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suvapepun (1987) รายงานว่าแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสีในอ่าวไทยที่พบบ่อยคือ *Trichodesmium erythraeum* และ *Noctiluca scintillans* โดยจะพบ *Noctiluca scintillans* ในปริมาณมากบริเวณอ่าวอุดม อ.ศรีราชา จ. ชลบุรี ซึ่งในทะเลเปิดส่วนใหญ่จะพบประชากรแพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดอะตอมเป็นกลุ่มหลัก รองลงมาคือกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต (ลัดดา วงค์รัตน์, 2544)

จากการศึกษาพบว่าเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีทั้งหมดจำนวน 8 ครั้ง ซึ่งเกิดจาก *Chaetoceros* spp. จำนวน 4 ครั้ง เกิดจาก *Ceratium* sp. จำนวน 2 ครั้ง และเกิดจาก *Noctiluca scintillans* จำนวน 2 ครั้ง (ตารางที่ 4-2) โดย *Ceratium* sp.มีความหนาแน่นเซลล์ที่ตรวจนับได้มากกว่า 10,000 เซลล์ต่อลิตร ซึ่งพบได้เกือบทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของลิขิต ชูชิต และคณะ (2545) ได้รายงานการสำรวจแพลงก์ตอนพืชที่เป็นกลุ่มเด่นบริเวณ ศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบว่าแพลงก์ตอนพืชสกุล *Ceratium* sp. เป็นสกุลที่พบมากที่สุดโดยพบสูงถึง 13,590 เซลล์ต่อลิตร ซึ่ง *Ceratium* sp. มีความผันแปร (Variation) สูงทั้งในด้านรูปร่าง ขนาดของเซลล์ และอัตราส่วนความยาว

ของ antapical horn ทั้งสองข้าง (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2544) จึงทำให้มีความสามารถในการดำรงชีวิตในสภาพที่แตกต่างกันได้ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ามีความหนาแน่นของ *Ceratium* sp.หนาแน่นสูงในช่วงเดือนสิงหาคม และเดือนกันยายน พ.ศ. 2551 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ลิขิต ชูชิต และเฉลิมชัย อยู่สำราญ (2546) โดยทำการสำรวจการเปลี่ยนแปลงประชากรแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม dinoflagellate ชนิด *Ceratium furca* และ *Noctiluca scintillans* บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในปี 2546 พบการแพร่กระจายของ *Ceratium furca* ได้เกือบตลอดทั้งปี ยกเว้นเดือนมิถุนายน และพบมากที่สุดในเดือนกันยายน รองลงมาคือเดือนสิงหาคม มีความหนาแน่นเท่ากับ 13,338 และ 3,694 เซลล์ต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับ ลิขิต ชูชิต (2547) พบว่าปี 2545 *Ceratium furca* มีความหนาแน่นมากที่สุดในเดือนตุลาคม ส่วน *Noctiluca scintillans* จะมีความหนาแน่นมากสุดในเดือนพฤษภาคม *Noctiluca scintillans* เป็นไดโนแฟลกเจลเลตอีกชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้บ่อยตามชายฝั่งทะเลทั่วโลก เซลล์มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 200 ไมโครเมตรถึงมากกว่า 1 มิลลิเมตร (ลัดดา วงค์รัตน์, 2544) จากการศึกษาครั้งนี้พบปริมาณความหนาแน่นของ *Noctiluca scintillans* สูงในช่วงเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2551 มีความหนาแน่นเซลล์ที่ตรวจนับได้มากกว่า 2,000 เซลล์ต่อลิตร ส่วนในเดือนมิถุนายน และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 ไม่พบ *Noctiluca scintillans* และมีความหนาแน่นเล็กน้อยจนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551 จากรายงานของ ชลธยา ทรงรูป และสมภพ รุ่งสุภา (2544) พบว่าการเจริญอย่างรวดเร็วของ *Noctiluca scintillans* นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปี แต่มักจะเกิดช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน ส่วน *Chaetoceros* sp. เป็นไดอะตอมที่พบได้ทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณความหนาแน่นสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2551 มีความหนาแน่นเซลล์ที่ตรวจนับได้มากกว่า 100,000 เซลล์ต่อลิตร เช่นเดียวกับประยูร สุรตระกูล (2533) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี พบ *Chaetoceros* sp. เป็นชนิดเด่น อาจเนื่องจากแพลงก์ตอนพืชกลุ่ม ไดอะตอมสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของแหล่งน้ำได้ดีจึงสามารถพบได้บ่อย

จำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชมีความผันแปรในรอบปี โดยจะพบจำนวนชนิดมากที่สุดในช่วงฤดูฝน และเริ่มลดลงในช่วงฤดูหนาว หลังจากนั้นจำนวนชนิดของแพลงก์ตอนพืชจะมีความหลากหลายมากขึ้นในฤดูร้อน และมีจำนวนชนิดสูงสุดในช่วงฤดูฝน เนื่องจากในฤดูฝนมีการไหลและพัดพาของสารอาหารจากพื้นดินลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าในปี พ.ศ. 2550 ไม่พบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี อาจเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดย สุวัจน์ ธัญรส (2549) ได้รายงานว่า ในประเทศ

เขตร้อนอุณหภูมิอาจไม่ใช่ปัจจัยหลัก ในการเจริญของแพลงก์ตอนพืช แต่แพลงก์ตอนพืชมักจะเจริญได้ดีในช่วงที่เกิดฝนตกอย่างหนัก หรือหลังจากเกิดพายุใหญ่ผ่านพ้นไปแล้ว และมีท้องฟ้าแจ่มใสติดต่อกัน 2-3 วัน ปัจจัยสิ่งแวดล้อมถือเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อชนิด และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งและปากแม่น้ำซึ่งมีสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แพลงก์ตอนพืชต้องปรับตัวให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาพแวดล้อมใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบกัน (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) จากรายงานของ สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา (2536) ได้ศึกษาผลกระทบจากปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณชายฝั่ง จังหวัดชลบุรี ในปี พ.ศ. 2534-2535 ซึ่งในปี 2534 พบว่ามีปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีเกิดขึ้นในชายฝั่งชลบุรีหลายครั้ง แต่ครั้งที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม ทำให้เกิดน้ำเสียเป็นบริเวณกว้าง มีศูนย์กลางความหนาแน่นอยู่บริเวณอ่าวศรีราชา และบางพระ แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุคือ *Noctiluca scintillans* ส่วนในปี พ.ศ. 2535 ช่วงที่เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีรุนแรงที่สุดคือประมาณปลายเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2535 โดยเกิดครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งจากอ่างศิลาไปจนถึงอ่าวอุดม จังหวัดชลบุรี แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุคือ *Noctiluca scintillans*

จากการศึกษาในระยะเริ่มต้นที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี พบว่าความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชมีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Chang et al., 2009) เมื่อแพลงก์ตอนพืชหนาแน่นเซลล์บางส่วนก็จะตาย แบคทีเรียจะย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนส่งผลให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง สิ่งมีชีวิตทั้งในน้ำ สัตว์หน้าดิน และสัตว์ที่ฝังตัวอยู่ในดินเริ่มขาดอากาศหายใจและตายเป็นจำนวนมาก ปริมาณออกซิเจนจะแปรผกผันกับค่าความเค็มของน้ำเนื่องจากน้ำมีคลอไรด์ละลายเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ออกซิเจนละลายได้ลดลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์เอ และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชขึ้นกับองค์ประกอบของกลุ่มประชากรแพลงก์ตอนพืช ช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่าง และการรวมกลุ่มของประชากรแพลงก์ตอนพืช รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในรอบวันและในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลง (กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ, 2545) ของแพลงก์ตอนพืชแต่ละชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่เท่ากัน เช่น เซลล์ของ *Noctiluca scintillans* จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอในเซลล์สูงกว่า *Ceratium* sp. (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2542)

ทั้งนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มจำนวนของไดอะตอมในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จะพบว่าปริมาณสารอาหาร โดยเฉพาะอนินทรีย์ฟอสฟอรัสละลายน้ำ มีอิทธิพล

ต่อการเจริญเติบโตของไดอะตอม รวมทั้งความเค็ม (ตารางที่ 5-1) เนื่องจากความเค็มเป็นปัจจัยที่จำกัดต่อความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช (ลัดดา วงรัตน์, 2542) โดยความเค็มมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของไดโนแฟลกเจลเลตในทิศทางตรงข้ามกัน คือ พบไดโนแฟลกเจลเลตบลูมในขณะที่มีค่าความเค็มต่ำ (Naik, Acharya & Mohapatra, 2009) ความเค็มที่แตกต่างกันนี้เองเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่จำกัดจำนวนชนิด ปริมาณ การเติบโตและการกระจายของแพลงก์ตอนพืช (Wemer, 1977)

2. ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) ไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) และสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ในแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี พบว่าเกิดจากแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิด คือ *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* โดยมีปริมาณของไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) เท่ากับ -20.67 ± 2.00‰, -18.37 ± 1.23‰ และ -21.08 ± 0.99‰ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ $\delta^{13}C$ ของ แพลงก์ตอนพืชในทะเล Baltic ประเทศโปแลนด์ ที่มี $\delta^{13}C$ ประมาณ -19.1 ถึง -22.0‰ (Gearing, Gearing, Rudnic, Requejo & Hutchins, 1984; Boutton, 1991) และมีค่า $\delta^{13}C$ อยู่ในช่วงเดียวกันกับแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศออสเตรเลีย ที่มีค่าประมาณ -25.86 ถึง -18.34‰ (Dela-Cruz et al., 2002) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า $\delta^{13}C$ ใน *Noctiluca scintillans* และ *Chaetoceros* sp. มีปริมาณใกล้เคียงกัน(ตารางที่ 4-4) อาจเนื่องจาก *Noctiluca scintillans* เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่ได้รับสารอินทรีย์จากการสังเคราะห์แสงของ *Pedinomonas noctilucae* ซึ่งเป็น symbiotie green algae ที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ *Noctiluca scintillans* โดยการทำงานของเอนไซม์ ribulosebisdiphosphate carboxylase ใน Calvin cycle ถึงแม้ว่า *Noctiluca scintillans* จะได้รับสารอินทรีย์จากการสังเคราะห์แสงของ *Pedinomonas noctilucae* แต่ *Noctiluca scintillans* ก็ยังได้รับสารอินทรีย์บางส่วนจากการกินสิ่งมีชีวิตอื่น และพวกเดียวกันเป็นอาหาร (mixotroph) (Elbrachter & Qi, 1998) เพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน (Hansen, Miranda & Azanza, 2004) ส่วน *Ceratium* sp. จัดเป็น mixotroph เช่นเดียวกัน ได้รับสารอินทรีย์ทั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง และการกินจุลินทรีย์ เซลล์สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ หรือสารอินทรีย์แขวนลอยทั่วไป จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมื่อมีการบลูมของ *Chaetoceros* spp. เกิดขึ้น ก็จะพบการ บลูมของ *Noctiluca scintillans* และ *Ceratium* sp. เกิดขึ้นตามลำดับ ซึ่งเป็นการเกิดการแทนที่ของแพลงก์ตอนพืช (ภาพที่5-1) ถ้าหากมีปัจจัยอื่นที่เหมาะสมไดอะตอมจะกลับมามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอีกครั้ง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของไดอะตอมนั้นจะขึ้นอยู่

กับหลายปัจจัย เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ และปริมาณของสารอาหาร ที่เหมาะสม (Lirdwitayaprasit, Meksumpun, Rungsupa, & Furuya, 2006; Mohumed & Mesaad, 2007; Naik, Acharya, & Mohapatra, 2009)

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของไนโตรเจน ($\delta^{15}N$) ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* มีค่าเท่ากับ -0.45±2.24‰, 4.46±2.42‰ และ 2.69±3.66‰ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับแพลงก์ตอนพืช *Trichodesmium* spp. ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในทะเลทิศตะวันออกของประเทศจีน ที่มีค่าประมาณ -2.1 ถึง 1.0‰ ส่วนแพลงก์ตอนพืชที่เป็นไดอะตอม มีค่าประมาณ 3.3 ถึง 4.8‰ (Minagawa & Wada, 1986) และใกล้เคียงกับค่าของ *Trichodesmium* spp. ที่พบในชายฝั่งด้านตะวันตกของสหรัฐอเมริกา มี $\delta^{15}N$ เท่ากับ -2 ถึง 6‰ (Anderson et al., 2008) รวมทั้งแพลงก์ตอนพืชในทะเล Baltic ประเทศโปแลนด์ที่มีค่าประมาณ 3 ถึง 12‰ (Maksymowska, Richard, Piekarek-Jankowska & Riera, 2000) จากการศึกษาพบว่าปริมาณ $\delta^{15}N$ ของ *Chaetoceros* spp. มีปริมาณต่ำ เมื่อเทียบกับปริมาณของ *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 สกุลมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในด้านการสังเคราะห์แสง และการคงรูปของโปรตีน โดยแหล่งที่มาของไนโตรเจน และสารประกอบไนโตรเจนได้มาจากแหล่งภายนอกไม่เท่ากัน เช่น จากน้ำผิวดินที่ไหลลงสู่น้ำ หรืออาจเกิดจากกิจกรรมภายในแหล่งน้ำนั้นเอง แพลงก์ตอนพืชสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งรูปไนเตรท แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดอะมิโน แต่จะใช้สารอาหารรูปใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะของธาตุอาหารและชนิดของแพลงก์ตอนพืชในขณะนั้นด้วย โดยส่วนใหญ่ไนเตรทและแอมโมเนียจะถูกใช้มากกว่าในรูปอื่น ๆ (ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์, 2531 ; Kennish, 1986)

สัดส่วนปริมาณ C/N ใน *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* มีค่าเท่ากับ 6.07±1.09, 5.51±0.78 และ 4.87±0.68 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ *Noctiluca scintillans* ในทะเล Seto ประเทศญี่ปุ่น ที่มีค่า 2.3 ถึง 4.4 (Tada, Asahina, Nakamura, Tomura, Fujiwara & Tamaki, 2000) และแพลงก์ตอนพืชในทะเล ที่นิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา มีปริมาณเท่ากับ 6.7 จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณ C/N ในแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณใกล้เคียงกับสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) ที่มี C/N เท่ากับ 6.60±0.10 (Boonphakdee et al., 2008) แสดงว่า *Ceratium* sp. *Chaetoceros* spp. และ *Noctiluca scintillans* มีแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์จากทะเล ซึ่งสอดคล้องกับผลของ ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ POC/chl a เนื่องจากปริมาณสัดส่วน C/N ในแพลงก์ตอนพืชจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราเมตาบอลิซึมของคาร์บอนและไนโตรเจนที่แพลงก์ตอนพืชนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และการกินของสารอินทรีย์ (Tanaka, Maekawa, Yanagawa, Obata, & Murakami, 2006)

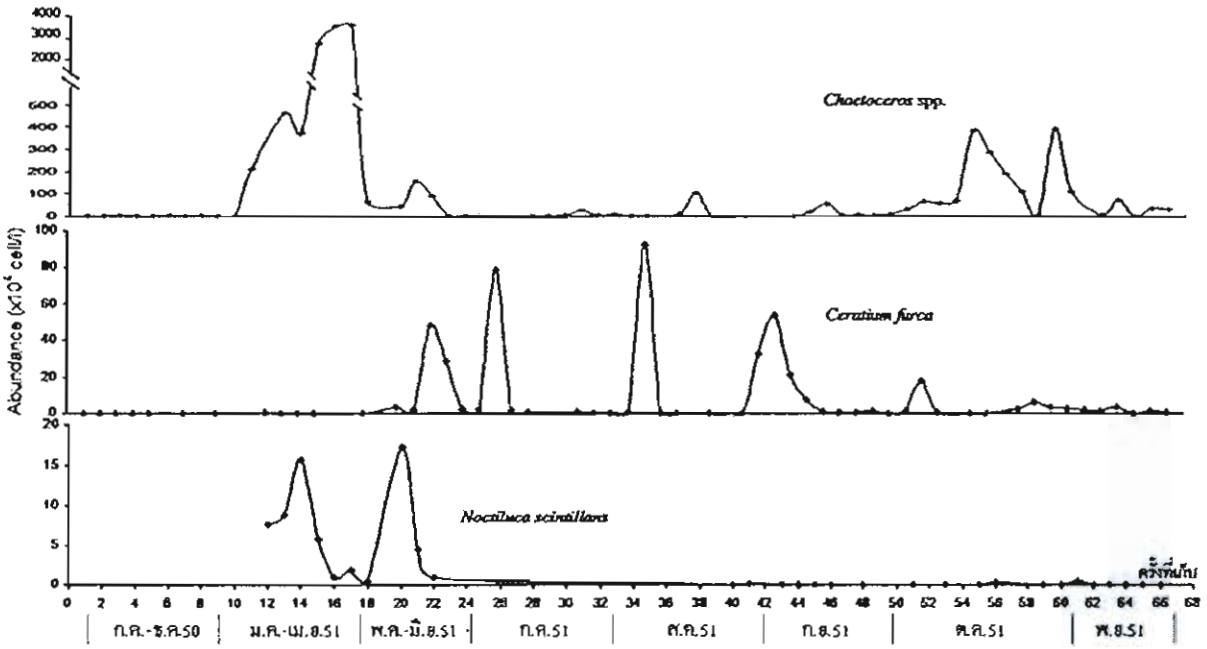
3. แหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้แพลงก์ตอนพืชเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

จากการประเมินแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ได้แก่ *Chaetoceros* spp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* สามารถประเมินได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ (ภาพที่ 4-3) และความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{13}C$ และ C/N (ภาพที่ 4-5) และความสัมพันธ์ $\delta^{15}N$ และ C/N (ภาพที่ 4-4) จากการศึกษาพบว่า *Noctiluca scintillans*, *Ceratium* sp. และ *Chaetoceros* spp. รวมทั้งสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) มีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C/N ใกล้เคียงกันกับสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล (marine POM) (ภาพที่ 4-5) แสดงว่า *Noctiluca scintillans*, *Ceratium* sp. *Chaetoceros* spp. และสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) ได้รับสารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเล (marine POM) โดยมีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N เท่ากับ -21.00±0.40 ‰, 7.30±0.20 ‰ และ 6.60±0.10 และยังพบอีกว่า *Noctiluca scintillans*, *Chaetoceros* spp. และ สารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) มีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C/N ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจาก *Noctiluca scintillans* เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่เป็นได้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค สามารถกินและดึงเอาสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตอื่นเข้าสู่เซลล์(mixotroph) ซึ่งรวมถึงการกินสารอินทรีย์แขวนลอยและ *Chaetoceros* spp. เข้าไปด้วย (Hansen et al., 2004) จึงทำให้ *Noctiluca scintillans*, *Chaetoceros* spp. และสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM) มีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N ใกล้เคียงกัน ส่วน *Ceratium* sp. เป็น ไดโนแฟลกเจลเลตที่เป็นได้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค (mixotroph) เช่นเดียวกัน จึงสามารถรับสารอินทรีย์ได้จากหลายแหล่งทั้งจากไดอะตอม และสารอินทรีย์จากทะเลจึงมีปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C:N แตกต่างจาก *Noctiluca scintillans*, *Chaetoceros* spp. และสารอินทรีย์แขวนลอย (non red tide POM)

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีเกิดจากแพลงก์ตอนพืช 3 ชนิดคือ *Noctiluca scintillans* *Ceratium* sp. และ *Chaetoceros* spp. ได้รับสารอินทรีย์จากทะเล (marine Organic Matter) (Dela-Cruz et al.,2002) แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์จากแผ่นดิน (terrestrial POM) และน้ำเสีย (Sewage) ไม่ได้เป็นแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ทั้งนี้ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในพื้นที่หาดบางแสน-วอนนภาศัพท์นี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการ uplifted ของน้ำทะเลโดยการเกิดคลื่นใต้น้ำแล้วทำให้สารอินทรีย์บนพื้นทะเลฟุ้งกระจายขึ้นมาจนเป็นสาเหตุให้น้ำทะเลมีปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Dela-Cruz et al. (2002) ซึ่งได้ศึกษาปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้

ของประเทศออสเตรเลีย ที่เกิดจาก *Noctiluca scintillans* โดยมีสาเหตุมาจากการ uplifted ของทะเล จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น โดยมีปริมาณของ $\delta^{13}C$ และ $\delta^{15}N$ ใน *Noctiluca scintillans* เท่ากับ -22.96±0.6‰ และ 5.74±0.4‰ ตามลำดับ

ภาพที่ 4-2 แสดงสัดส่วนปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนต่อคลอโรฟิลล์ (POC/ehl a) ในสารอินทรีย์แขวนลอย (POM) พบว่าปริมาณของสัดส่วน POC/ehl a อยู่ในช่วง 5.21-126.94 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 200 จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าคาร์บอนในสารอินทรีย์แขวนลอย (POM) มีแหล่งที่มาจากแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในทะเล (Cifuentes et al.,1988) ในรูปของคลอโรฟิลล์ ในทางตรงกันข้ามถ้าอินทรีย์คาร์บอนมีปริมาณสูงก็จะทำให้สัดส่วน POC/chl a สูงตามไปด้วย ซึ่งมักจะพบสารอินทรีย์คาร์บอนปริมาณสูงบริเวณปากแม่น้ำ (Boonphakdee et al.,(2008) เนื่องจากบริเวณปากแม่น้ำได้รับสารอินทรีย์จากหลายแหล่ง เช่นแหล่งชุมชนที่มีการปล่อยน้ำเสียหรือสิ่งปฏิกูลลงสู่แม่น้ำ



ภาพที่ 5-1 ปริมาณเซลล์ ($\times 10^4$ cell/L) ของแพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่เป็นสาเหตุของน้ำทะเลเปลี่ยนสี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี (ประนิตดา เพ็งงิ้ว และถนอมศักดิ์ บุญภักดี, 2553)

ตารางที่ 5-1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Spearman's Rho Correlation) ระหว่างปริมาณแพลงก์ตอนพืชชนิดที่เป็นสาเหตุของการเกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (ประนิตดา เพ็งงิ้ว และถนอมศักดิ์ บุญภักดี, 2553)

ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม	ชนิดของแพลงก์ตอนพืช			
	Ceratium sp.	*Chaetoceros* spp.	*Noctiluca scintillans*	Chlorophyll a
NH_3	0.271*	0.086	0.007	0.277**
NO_3	0.174	0.067	0.061	-0.116
DON	-0.319**	-0.607**	0.000	0.101
TN	-0.453**	-0.573**	0.168	0.384**
PN	-0.528**	-0.164*	0.262*	0.433**
DIP	0.691**	0.688**	0.398**	0.206**
TP	0.196	0.474**	0.689**	0.217**
PP	-0.188	0.195*	0.441**	0.353**
DOP	-0.363**	-0.367**	0.084	0.180*
DO	0.341**	-0.216**	0.097	-0.069
Temp	0.483**	0.409**	0.182	0.276**
Salinity	-0.296*	-0.113	-0.403**	-0.540**
DIN/DIP	-0.485**	-0.683**	-0.392**	0.232**

** มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับนัยสำคัญ 0.01

* มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณ $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ และ C/N ในแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิดที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้แก่ *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans* ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ในบริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภาศัพท์ จังหวัดชลบุรี พบว่าปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้นในการศึกษาครั้งนี้เกิดจากแพลงก์ตอนพืชได้รับสารอินทรีย์จากทะเล จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารอินทรีย์จากน้ำเสียและสารอินทรีย์จากแผ่นดินไม่ได้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในพื้นที่ดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเก็บตัวอย่างดินตะกอน มาวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของ $\delta^{13}C$ $\delta^{15}N$ และ C/N เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในเซลล์แพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

2. ควรใช้ถุงลากแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดตาเล็กกว่า 60 ไมโครเมตร เพื่อให้ครอบคลุมถึงตัวอย่างแพลงก์ตอนพืชที่มีขนาดเล็ก (nanoplankton)

3. ควรใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีสเกล เพื่อเพิ่มความละเอียดในการจำแนกชนิดของแพลงก์ตอนพืช

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ และสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. (2545). *การเฝ้าระวังปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กฤษณา ชุติมา. (2529). *หลักเคมีทั่วไป*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

ชลธยา ทรงรูป และสมภพ รุ่งสุภา. (2544) แพลงก์ตอนพืชชนิดเด่นที่เป็นสาเหตุการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณจังหวัดชลบุรี. ใน การประชุมวิชาการทัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เรื่อง การจัดการและการใช้ประโยชน์อย่างบูรณาการ สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ.กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไทยถาวร เลิศวิทยาประสิทธิ์. (2536). *ผลกระทบของน้ำเปลี่ยนสีและการจัดการปัญหาน้ำเปลี่ยนสี*. ศูนย์พัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนบน กองประมงทะเล กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (หน้า 159-166).

ประนิตดา เพ็งงิ้ว และถนอมศักดิ์ บุญภักดี. (2553). การเปลี่ยนแปลงชนิด และความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชขณะเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณหาดบางแสน ชลบุรี. ใน *การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 5 เรื่อง วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชุมชน สังคมต้องมีสุข วันที่ 19 มีนาคม 2553*. ปทุมธานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ประมาณ พรหมสุทธิรักษ์. (2531). *ชลธีวิทยา*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประยูร สุรคระกูล. (2533). *การศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรแพลงก์ตอนพืชบริเวณชายฝั่งแหลมฉบัง จ.ชลบุรี ปี 2529 - 2531*. ชลบุรี: สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. (2543). *แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรศิลป์ ผลพันธิน. (2538). *น้ำเปลี่ยนสี*. ศูนย์พัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนบน กองประมงทะเล กรมประมง.

พรศิลป์ ผลพันธิน. (2544). *คู่มือการศึกษาไดโนแฟลกเจลเลต*. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มนูวดี หังสพฤกษ์, กัลยา วัฒยากร, วิไลวรรณ อุทุมพฤกษ์พร และพิชาญ สว่างวงศ์. (2546). *เคมีในทะเล. สาระวิทยาศาสตร์ทางทะเล Eye on the Ocean: Bringing the Sea to the Classroom*. วันที่ค้นข้อมูล 1 ธันวาคม 2550, เข้าถึงได้จาก http://www.janburi.buu.ac.th/~tachanat/course/802201/unit2.pdf.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. (2539). *การจัดการคุณภาพน้ำเสียและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลา และสัตว์น้ำอื่น ๆ*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ลิขิต ชูชิต. (2547). การเปลี่ยนแปลงประชากร Ceratium furca และ Noctiluca scintillans บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในปี 2545. ใน *การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 42 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* (หน้า 238-246).

ลิขิต ชูชิต, เฉลิมชัย อยู่สำราญ และชาลินี สุนทรอำไพ. (2545). การศึกษาแพลงก์ตอนที่เป็นกลุ่มเด่นในบริเวณอ่าวศรีราชา จ.ชลบุรี ในช่วงปี 2542-2543. ใน *การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาประมง* (หน้า 501-508).

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). *แพลงก์ตอนพืช*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2544). *แพลงก์ตอนพืช*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

แววตา ทองระอา. (2539). *การศึกษาปรากฏการณ์บริเวณชายฝั่งปากแม่น้ำบางประกงถึงศรีราชา จังหวัดชลบุรี*. ชลบุรี: สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สมภพ รุ่งสุภา.(2544).*การเปลี่ยนแปลงชนิดและความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืชที่เป็นสาเหตุปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายฝั่งตะวันออก จาก Noctiluca scintillans และ Ceratium furca เป็นชนิดเด่น*.กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุนีย์ สุวภีพันธ์.(2527). แพลงก์ตอนพืชในทะเล. เอกสารเผยแพร่สถานีวิจัยประมงทะเล กรมประมง

สิทธิพันธ์ ศิริรัตนชัย และแววตา ทองระอา. (2536). *ผลกระทบจากปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬบริเวณชายฝั่งจังหวัดชลบุรี*. ชลบุรี: สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุวัจน์ ธัญรส. (2549). *มลพิษทางทะเลและชายฝั่ง*. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

Aller, R. C. (1998). Mobile deltaic and continental shelf muds as suboxic, fluidized bed reactors. *Marine Chemistry, 61,* 143-155.

Altabet, M. A. (1988). Variations in nitrogen isotopic composition between sinking and suspended particles particles:Implications for nitrogen cycling and particle transformation in the open ocean. *Deep-Sea Res, 35,* 535-554.

Anderson, D. M., Burkholder, J. M., Cochlan, W. P., Glibert, P. M., Gobler, C. J., Heil, C. A., Kudela, R. M., Parsons, M. L., Jack Rensel, J. E., Townsend, D. W., Trainer, V. L., & Vargo, G. A. (2008).: Examining linkages from selected coastal regions of the United States. *Harmful algal blooms and eutrophication.*

Artemyev, V. E. (1996). *Geochemistry of Organic Matter in River-Sea Systems*. Dordrecht: Kluwer Academic.

Aubrey, D., Moncheva, S., Demirov, E., Diaconu, V., & Dimitrov, A. (1995). Environmental changes in the western Black Sea related to anthopogenic and natural condition. *Journal of Marine Systems, 7,* 411-425.

Bax, A., Kontaxis, G., & Tjandra, N. (2001) Dipolar couplings in macromolecular structure determination. *Methods Enzymol, 339*, 127-174.

Boonphakdee, T., Kasai, A., Fujiwara, T., Sawangwong, P., & Cheevaporn, V. (2008). Combined Stable carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of or organic matter in the Bangpakong River Estuary, Thailand. *EnvironmentAsia, 1,* 28-36.

Boutton, T. W. (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In Coleman, D. C., & Fry, B. (Eds.), *Carbon Isotopes Techniques* (pp. 173-185)., San Diego: Academic Press.

Boyd, R. (1990). "Realism, conventionality, and 'realism about'", In .Boolos. G (Ed.), *Meaning and Method: Essays in Honour of Hilary Putnam*(pp.171-195). Cambridge : University Press,Cambridge.

Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. W., Isobel, T., Maneja, R., Siringan, F. P., Imai, H., & Nakano, S. (2009). Pollution study in Manila Bay: Eutrophication and its impact on plankton community. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry-Environmental Research in Asia*, 261-267.

Cifuentes, L. A., Sharp, J. H., & Fogel, M. L. (1988). Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware Estuary. *Limnolgy and Oceanography*, *33*(5), 1102-1115.

Costanzo, S. D., O' Donohue, M. J., Dennison, W. C., Loneragan, N. R., & Thomas, M. (2001). A new approach for detecting and mapping sewage impacts. *Marine Pollution Bulletin, 42*(2), 149-156.

Craig, H. (1953). The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta, 3,* 53-92.

Dela-Cruz, J., Ajani, P., Lee, R., Pritchard, T., & Suthers, I. (2002). Temporal abundance patterns of the red tide dinoflagellate *Noctiluca scintillans* along the southeast cost of Australia. *Marine Ecology Progress Series*, *236*, 75-88.

Dolenec, T., Vokal, B., & Dolenec, M. (2005). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in Anemonia sulcata as a possible indicator of human sewage impact on marine coastal ecosystems: a case study of Pirovac Bay and the Murter Sea (Central Adriatic). *Croatica Chemica Acta, 78*(4), 593-600.

Elbrachter, M., & Qi, YZ. (1998). Aspects of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. In *Proceeding of First International Symposium on Red Tide held, November 10-14, Japan* (pp. 41-44).

Gearing, G. N., Gearing, P. L., Rudnic, D. T., Requejo, A. G., & Hutchins, M. J. (1984). Isotope variability of organic carbon in phytoplankton-based, temperate estuary. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 48*, 1089-1098.

Ghosh, P., & Brand, W.A. (2003). Stable isotope ratio mass spectrometry in global climate change research. *International Journal of Mass Spectrometry, 288*, 1-33.

Gonfiantini, R. (1978). Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature, 271*, 534-536.

Greisel, I., & Jensen, P. (1976). *Investigating our ecosystem.* Boston: Houghton Mifin.

Guo, C., Zhang, W., Ma, D., Zhang, K.,& Huang, J.(1996). Hand grip strength: An indicator of nutritional state and the mix of post-operative complications in patients with oral and maxillofacial cancers. *Br J Oral Maxillofac Surg, 34*, 325-327.

Hansen, P.J., Miranda, L., & Azanza, R. (2004). Green *Noctiluca scintillans*: a dinoflagellate with its own greenhouse. *Marine Ecology Progress series, 275*, 79-87.

Hoefs, J. (2004). *Stable Isotope Geochemistry.* Newyork: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Jones, A.B., O'Donohue, M. J., Udy, J., & Dennison, W.C. (2001). Assessing ecological impacts of shrimp and sewage effluent: biological indicators with standard water quality analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 52*, 91-109.

Kendall, C., & Mcdonnell, J. J. (1998). *Isotope Tracwes in Catchment Hydrology.* Amsterdam: Elsevier Science.

Kennish, R. (1997). Seasonal patterns of food availability: influences on the reproductive output and body condition of the herbivorous crab *Grapsus albolineatus* . *Oecologia 109*, 208-209.

Kennish, M.J. (1986). *Ecology of Estuaries Vol.I. , Physical and Chemical Aspects*. Florida : CRC press.

Kinne, O. (1970). Temperature Animals: Invertebrates. In Kinne, O. (Ed.), *Marine Ecology, Vol. I, Cultivation, Part 2* (pp. 821-995). London:Wiley.

Kuramoto, T., & Minagawa, M. (2001). Stable carbon and nitrogen isotopic characterization of organic matter in a mangrove ecosystem on the southwestern coast of Thailand. *Journal of Oceanography*, 57, 421-431.

Lajtha, K., & Michener, R.H. (1994). *Stable Isotopes in Ecology and Ecology and Environmental Science*. Oxford: Blackwell Scientific.

Lin, H-J., Wu, C-Y., Kao, S-J., Kao, W-Y., & Meng, P-J. (2007). Mapping anthropogenic nitrogenthrough point sources in coral reeks using $\delta^{15}N$ in macroalgae. *Marine Ecology Progress Series, 335*, 95-109.

Lirdwitayaprasit, T., Meksumpun, S., Rungsupa, S., & Furuya, K. (2006). Seasonal variation in cell abundance of *Noctiluca scintillans* in the coastal waters off Chonburi Province, the upper Gulf of Thailand. *Coastal Marine Science, 30*(1), 80-84.

Lysiak-Pastuszak, E., Drgas, N., & Piatkowska, Z. (2004). Eutrophication in the Polish coastal zone: the past, present status and future scenarios. *Marine Pollution Bulletin, 49*, 186-195.

Maksymowska, D., Richard, P., Piekarek-Jankowska, H., & Riera, P. (2000). Chemical and isotopic composition of the organic matter sources in the Gulf of Gdansk (Southern Baltic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 51,* 585-598.

Mariotti, A. (1983). Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural d15N abundance measurements. *Nature, 303*, 685-687.

Mariotti, A., Lancelot, C., & Billen, G. (1984). Natural isotopic composition of nitrogen as a tracer of origin for suspended matter in the Scheldt Estuary. *Geochim Cosmochim Acta, 48*, 549-555.

Mee, L.D. (1992). The Black Sea in crisis: A need for concerted international action. *AMBIO-Journal of the Human Environment RSAS*, 278-286.

Meksumpun, S., Meksumpunb, C., Hoshikac, A., Mishimac, Y., & Tanimotoc, T. (2005). Stable carbon and nitrogen isotope ratios of sediment in the Gulf of Thailand: Evidence for understanding of marine environment. *Continental Shelf Research, 25*, 1905-1915.

Minagawa, M., & Wada, E. (1986). Nitrogen isotope ratios of red tide organisms in the East China Sea: A characterization of biological nitrogen fixation. *Marine. Chemistry., 19*, 245-259.

Mohamed, Z.A., & Mesaad, I. (2007). First report on *Noctiluca scintillans* blooms in the Red Sea off the coasts of Saudi Arabia: consequences of eutrophication. *Oceanologia, 49*(3), 337-351.

Naik, S., Acharya, B. C., & Mohapatra, A. (2009). Seasonal variations of phytoplankton in Mahanadi estuary, east coast of India. *Indian Journal of Marine Sciences, 38*(2), 184-190.

Negri, A.P., Bunter, O., Jones, B., & Llewellyn, L. (2004). Effects of the bloom-forming algae Trichodesmium erythraeum on the pearl oyster Pinctada maxima. *Aquaculture, 232*, 91-102.

Ogrinc, N., Fontolan, G., Faganeli, J., & Covelli, S. (2005). cabon and nitrogen isotope composition of organic matter in coastal marine sediment (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry, 95*, 163-181.

Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (1984). *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Oxford: Pergamon Press.

Perdue, E.M., & Benner, R. (2009). Marine organic matter. In Senesi, N., Xing, B., & Huang, P.M. (Eds.), *Biophysico-Chemical Processes of Anthropogenic Organic Compounds in Environmental Systems* (pp. 407-449). New Jersey: John Wiley & Sons.

Raft, C. B., Broome ,S. W., & Seneca, E.D. (1988). Nitrogen, phosphorus and organic carbon pools in natural and transplanted marsh soils. *Estuaries, 11*, 272-280.

Redfied, A. C., Ketchum, B. H., & Richard, F. A. (1963). The influence of organisms on the composition of the sea water. In Hill, M. (Ed.), *the Sea, Vol. 2* (pp. 26-49). New York: Wiley.

Sassi, R. (1991). Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte River estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks. *Boletim do Instituto Oceanografico, 39*, 19-35.

Smayda, TJ. (1997). What is a bloom? A commentary. *Limnol Oceanography, 42*(5), 1132-1136.

Sournia, A. (1995). Red-tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: An inquiry into biodiversity. In TAYLOR, E. J., TAYLOR, N. J., & J. (Eds.), *Harmful maine algal blooms*. Proc. 6th Int. Conf. on ToxicMarine Phytoplankton. (pp. 103-112).Lavoisier.

Sulzman, E.W.(2007). Stable isotope chemistry and measurement: a primer. In Michener, R., & Lajtha, K. (Eds.), *Stable isotope in Ecology and Environmental Science* (2^{nd}ed.)(pp.1-21).

Suthers & Rissik. (2009).In: Suthers, I., & Rissik, D. (Eds.), *Plankton: A Guide to Their Ecology and Monitoring for Water Quality* (pp.256). CSIRO.

Suvapepun, S. (1987). Occurrences of Red Tide in the Gulf of Thailand. In Okaichi, T., Aderson, D.M., & Nemoto, T. (Eds.), *Red Tides, Biology, Environmental Science, and Toxicology.*

Swart, P., Saied, A., & Lamb, K. (2005). Temporal and spatial variation in the $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$ of coral tissue and zooxanthellae in Montastraea faveolata collected from the Frorida reef tract. *Limnology Oceanography, 50*, 1049-1058.

Tada, Y., Asahina, A., Nakamura, K., Tomura, M., Fujiwara, H., & Tamaki, K. (2000). Granulocyte/macrophage colony-stimulating factor inhibits IL-12 production of mouse Langerhans cells. *J Immunol 2000, 164*, 5113-5119

Tanaka, D. H., Maekawa, K., Yanagawa, Y., Obata, K., & Murakami, F.(2006). Multidirectional and multizonal tangential migration of GABAergic interneurons in the developing cerebral cortex. *Development, 133,* 2167-2176.

Tucker, J., Sheats, N., Giblin, A.E., Hopkinson, C.S., & Montoya, J.P. (1999). Using stable isotope to trace sewage-derived material through Boston Harbor and Massachusettes Bay. *Marine Environment Research,* 48, 353-375.

Thornton, S. F., & McManus, J. (1994). Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuarine Coastal Shelf Sci, 38*, 219-233.

Venrick, E. L. (1993). Phytoplankton seasonality in the central North Pacific: the endless summer reconsidered. *Limnol Oceanogr, 38*(6), 1135-1149.

Vanloon, G.W., & Duffy, S.J. (2005). Organic matter in water. *Environmental Chemistry, 2,* 254-272.

Werner, D. (1977). *The biology of diatom.* London: Whitefrians press.

Yamamuro, M., Kayanne, H., & Yamano, H. (2003). d15N of seagrass leaves for mornitoring anthropogenic nutrient increases in coral reef ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 452-458.

Yang, Z. B., & Hodgkiss, I.J. (2004). Hong Kong's wost "red tide" causative factocs reflected in a phytoplankton study at port shelter station in 1998. *Harmful Algae, 3*, 149-161.

Zaitzev, & Yu, P. (1992). Eutrophication in the Black Sea waters. In Mantoura, R. C., Martin, J. M., & Wollast, R.(Eds.), *International Workshop on the Black Sea: Focus on the weatern Black Sea Shelf* (pp. 251-279). New York.

Zeitzschel, B. (1970). The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar Biol, 7*, 305-318.

ภาคผนวก

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ความหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช

Dependent Variable: plank

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	473218311648054.000(a)	26	18200704294155.920	4.529	.000
Intercept	181736120367711.500	1	181736120367711.500	45.225	.000
ครั้งที่เก็บ	376100636103257.500	17	22123566829603.380	5.506	.000
สถานี	97117675544796.100	9	10790852838310.670	2.685	.006
Error	614822165094959.000	153	4018445523496.467		
Total	1269776597110725.000	180			
Corrected Total	1088040476743013.000	179			

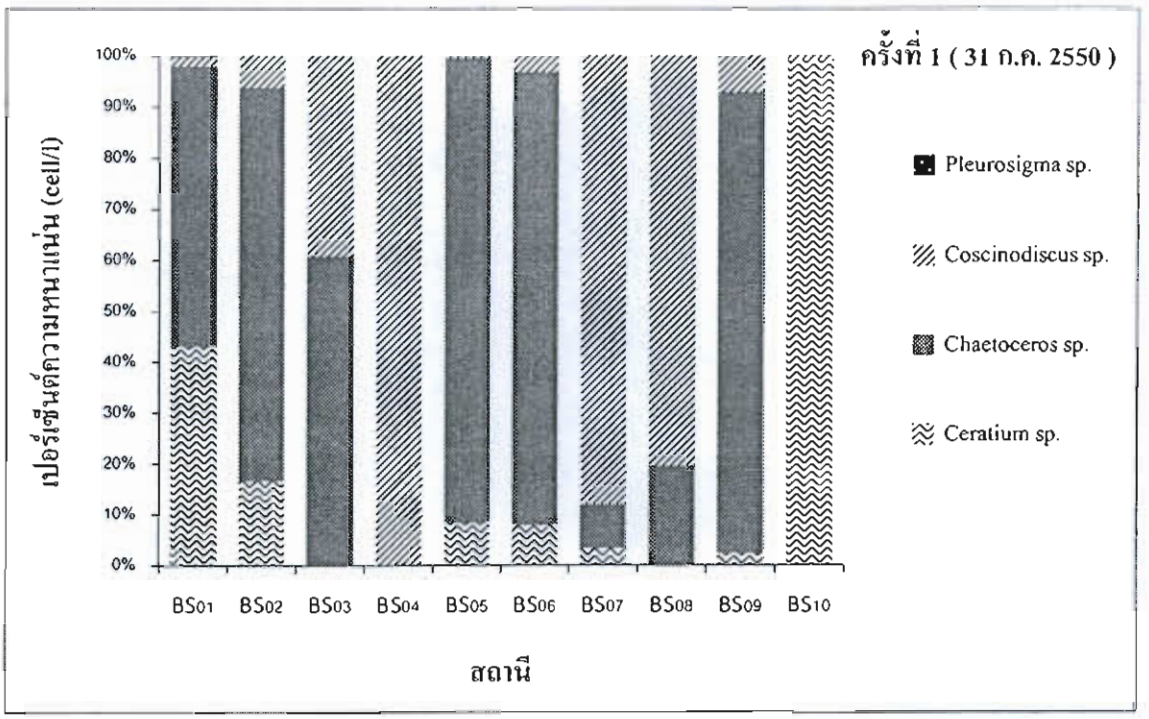
a R Squared = .435 (Adjusted R Squared = .339)

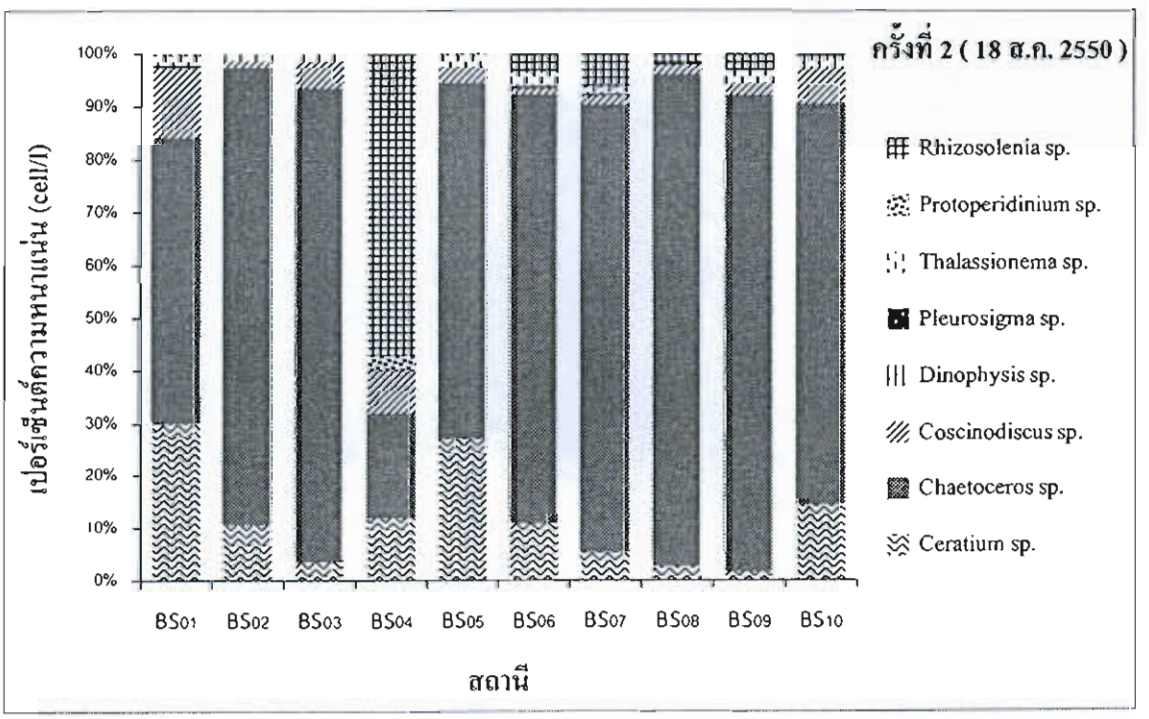
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ความหนาแน่นชนิดแพลงก์ตอนพืชทั้ง 3 ชนิด คือ *Chaetoceros* sp. *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans*

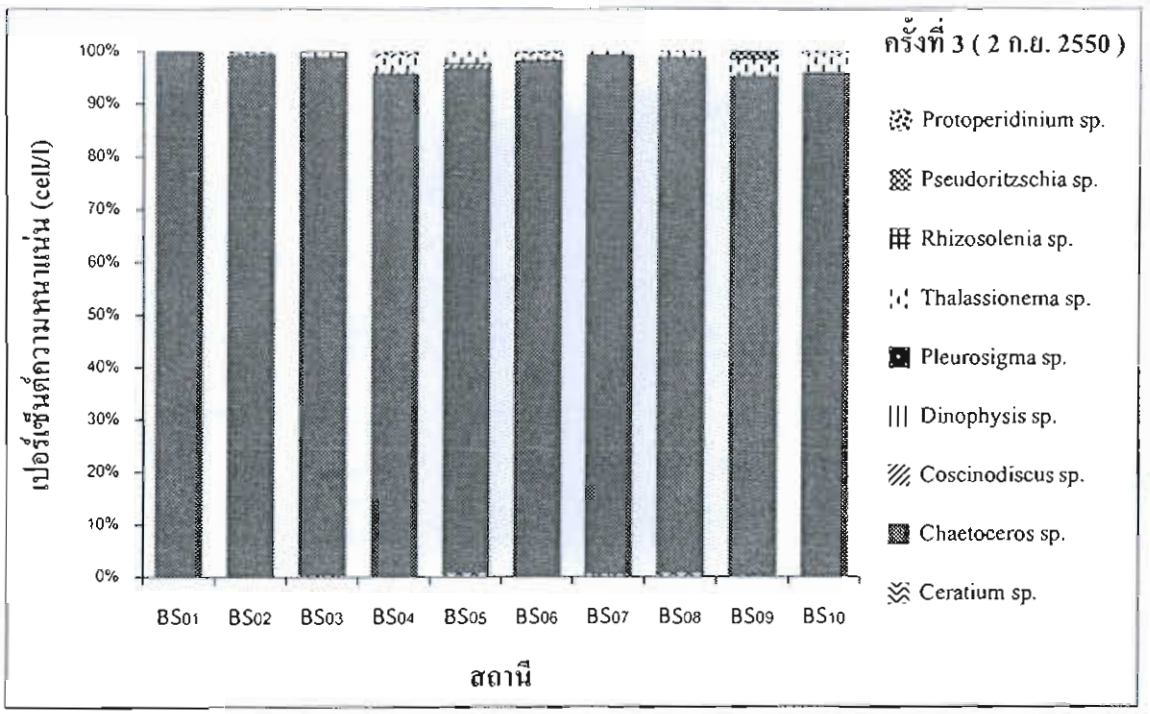
Dependent Variable: plank

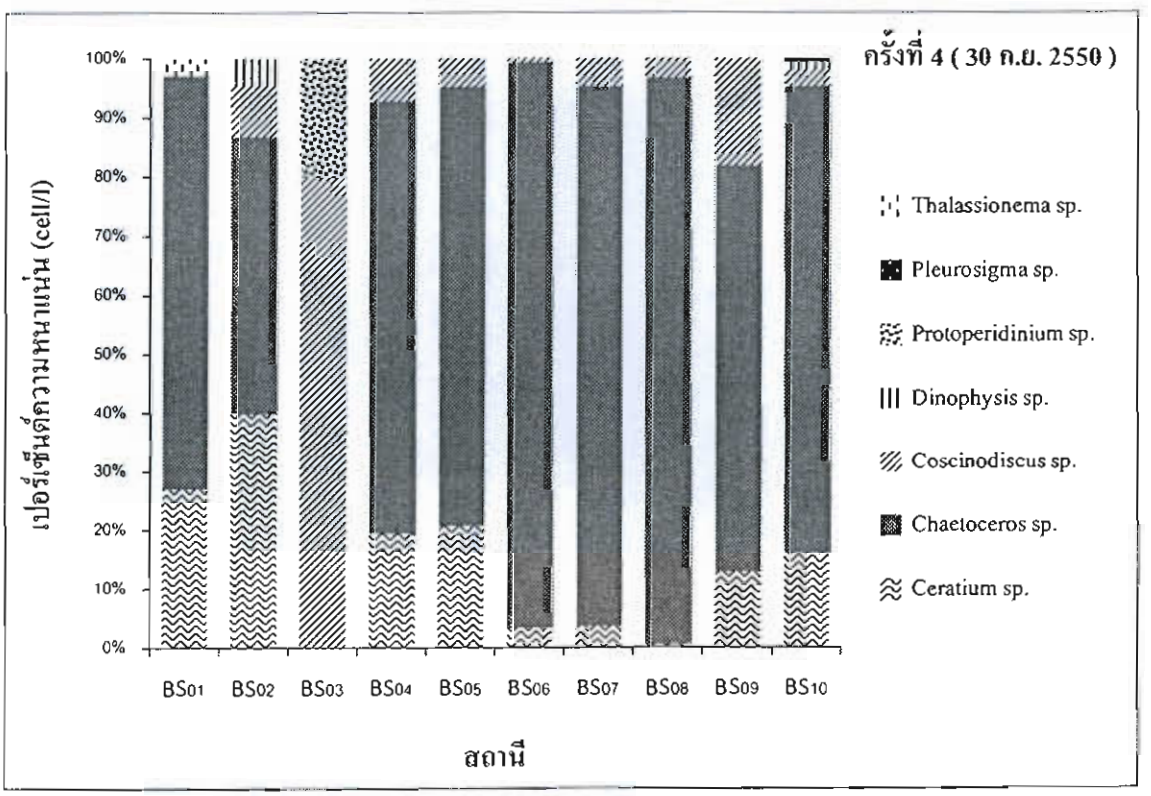
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	209970332737732.200(a)	28	7498940454919.010	2.925	.000
Intercept	21118789164236.120	1	21118789164236.120	8.236	.004
ครั้งที่เก็บตัวอย่าง	157943530486509.800	17	9290795910971.160	3.623	.000
สถานี	43107425498941.890	9	4789713944326.870	1.868	.055
แพลงก์ตอนพืช*	30161873575040.670	2	15080936787520.330	5.882	.003
Error	943592734230727.000	368	2564110690844.368		
Total	1225776782944317.000	397			
Corrected Total	1153563066968459.000	396			

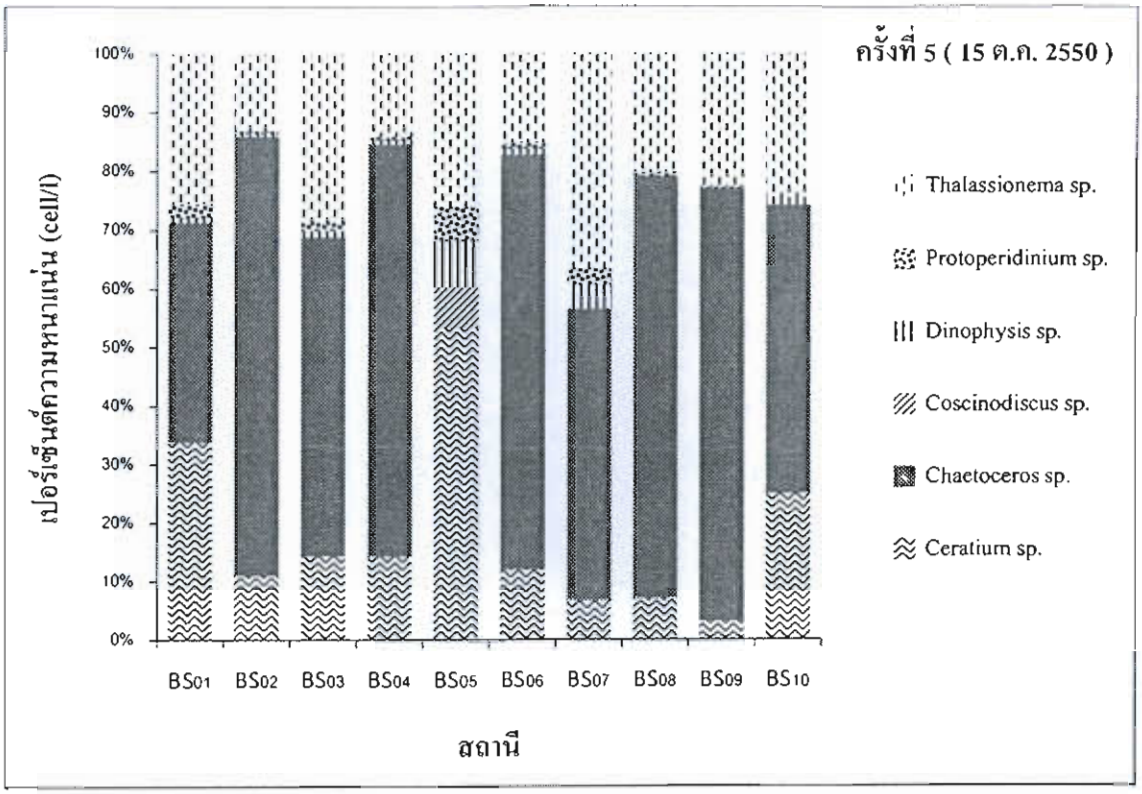
a R Squared = .182 (Adjusted R Squared = .120)

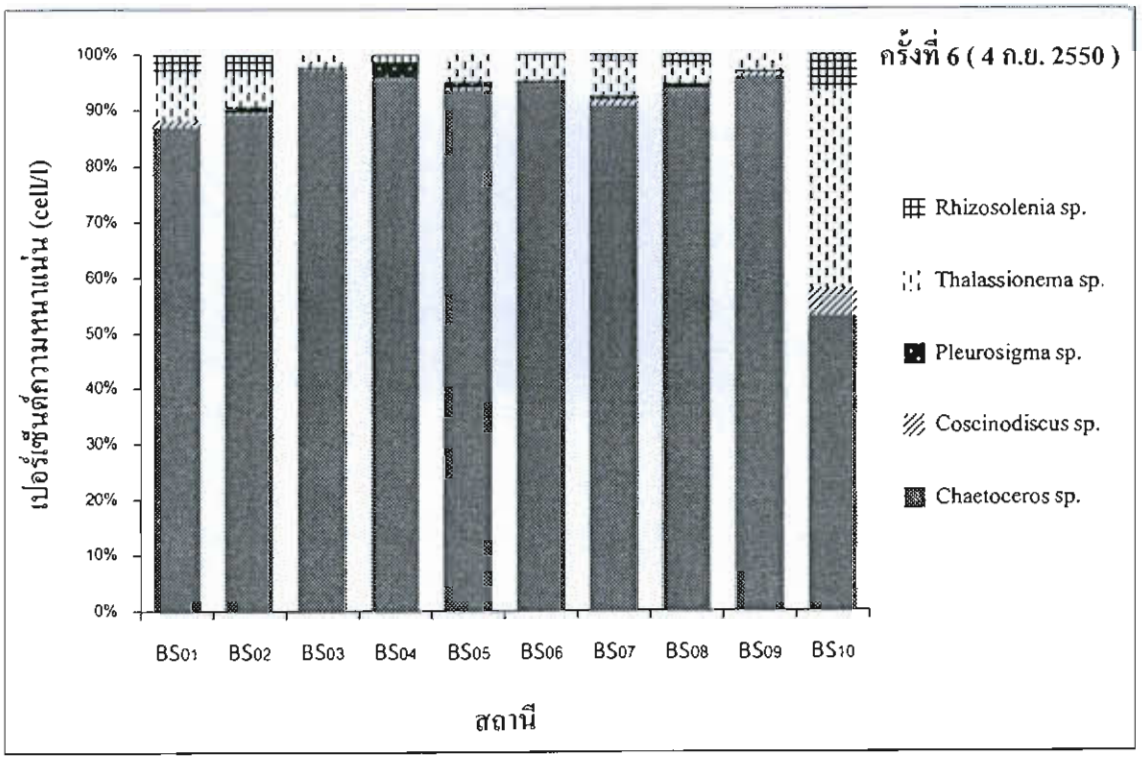

ครั้งที่ 1 (31 ก.ค. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Pleurosigma sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

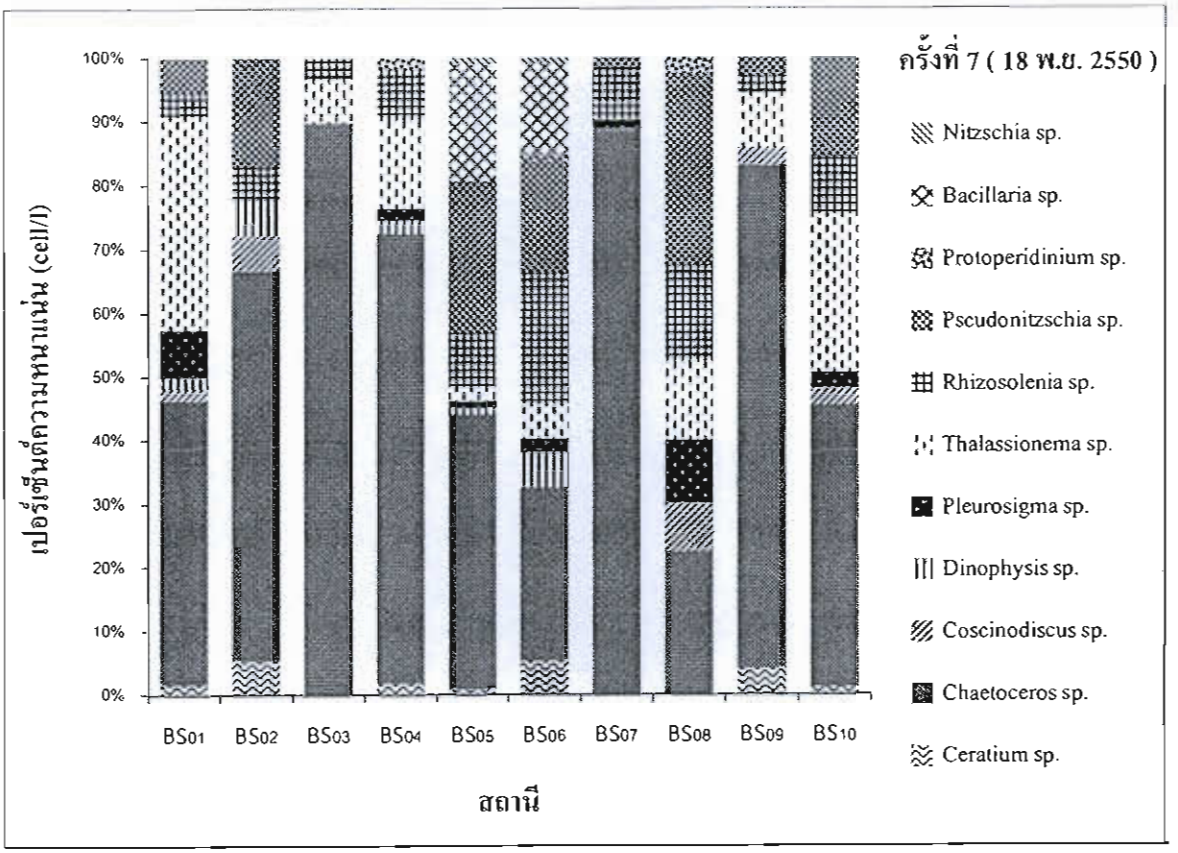

ครั้งที่ 2 (18 ส.ค. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Rhizosolenia sp.
Protoperidinium sp.
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

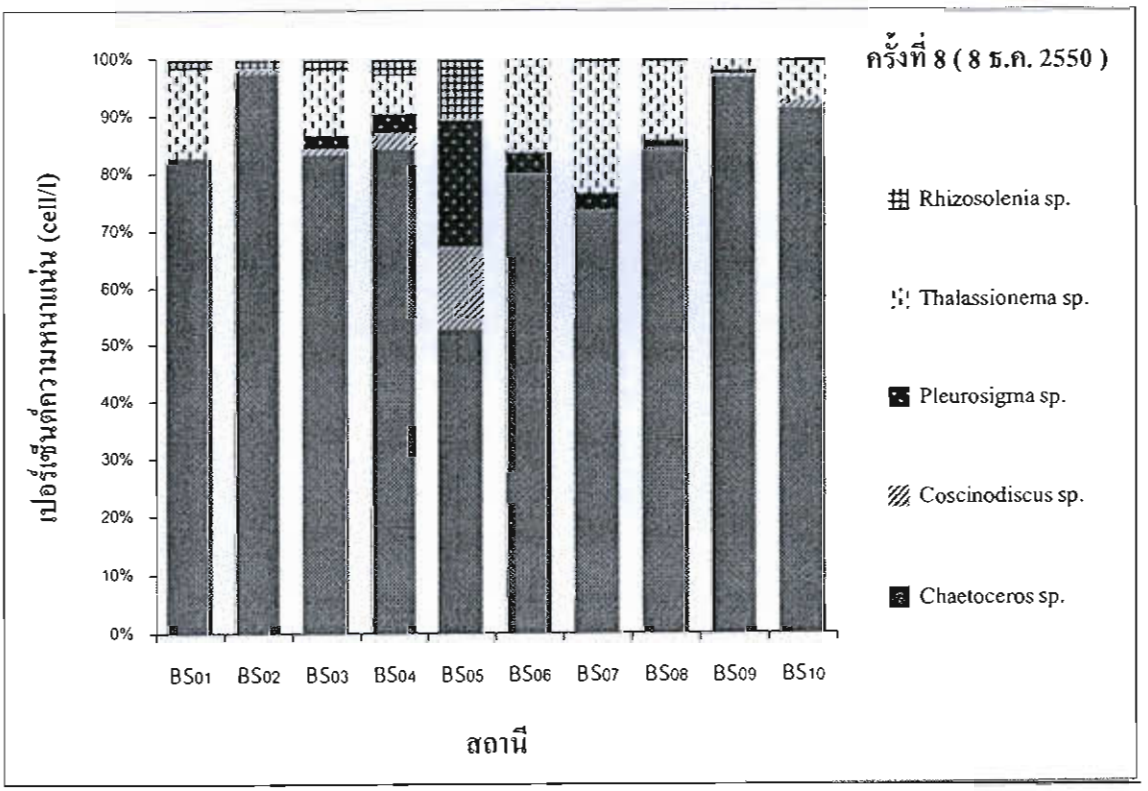

ครั้งที่ 3 (2 ก.ย. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Protoperidinium sp.
Pseudoritzschia sp.
Rhizosolenia sp.
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

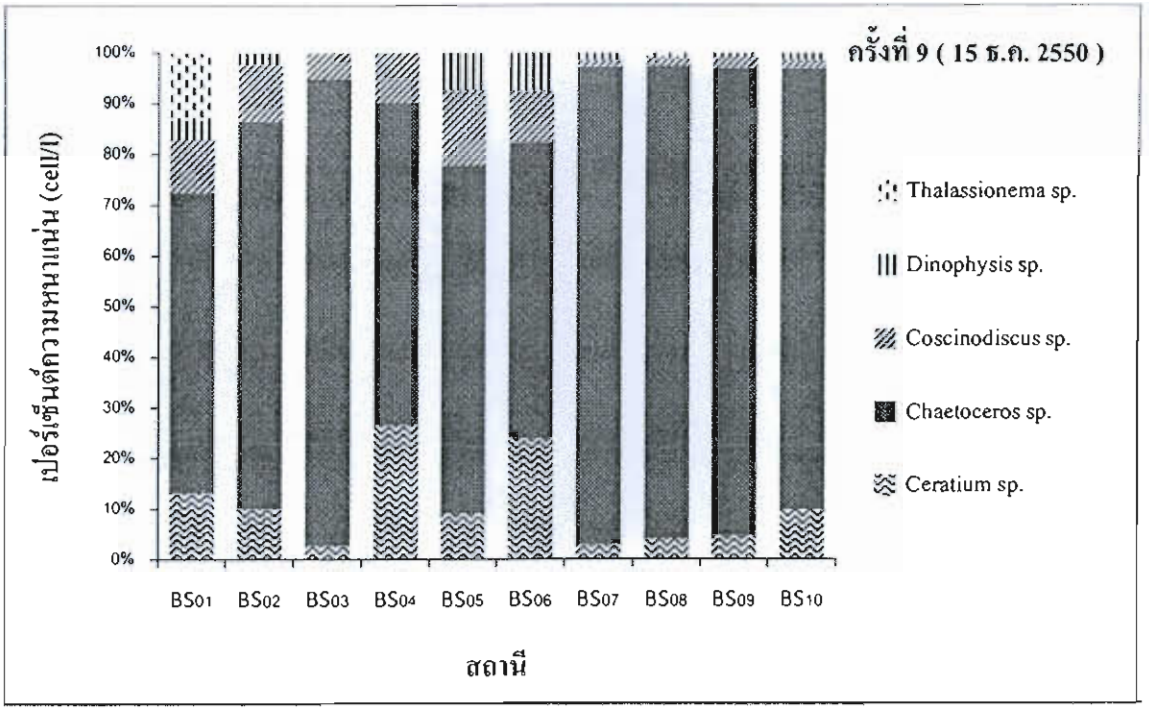

ครั้งที่ 4 (30 ก.ย. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Protoperidinium sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

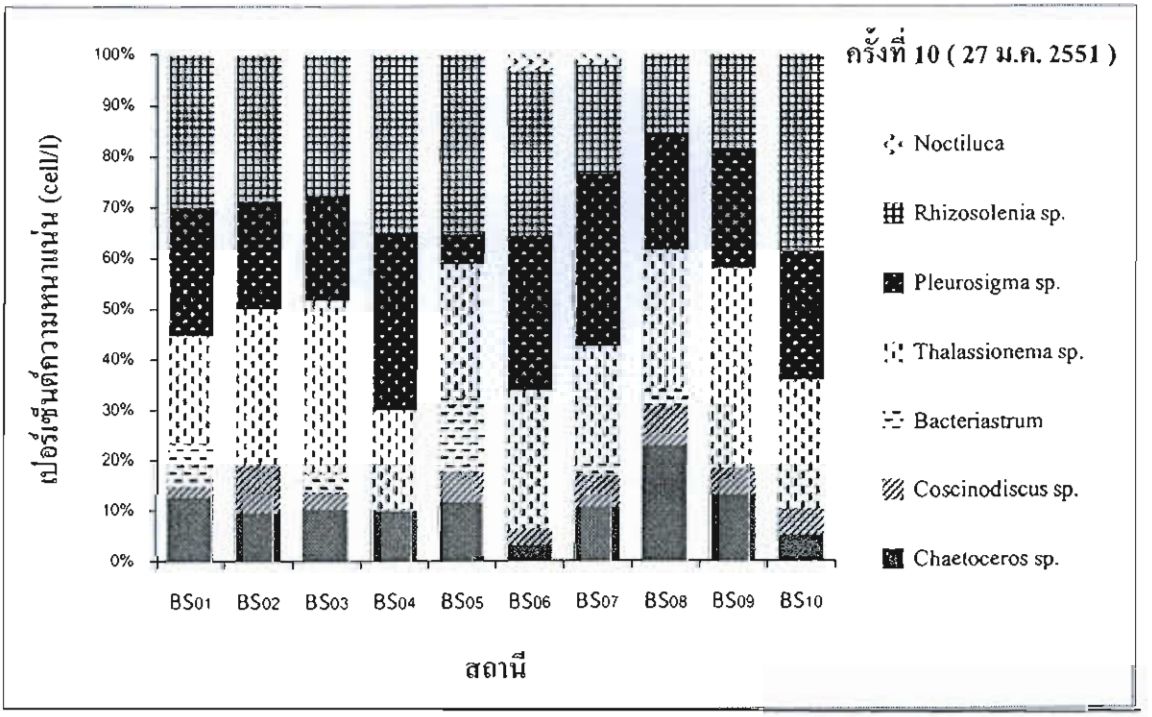

ครั้งที่ 5 (15 ต.ค. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Thalassionema sp.
Protoperidinium sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

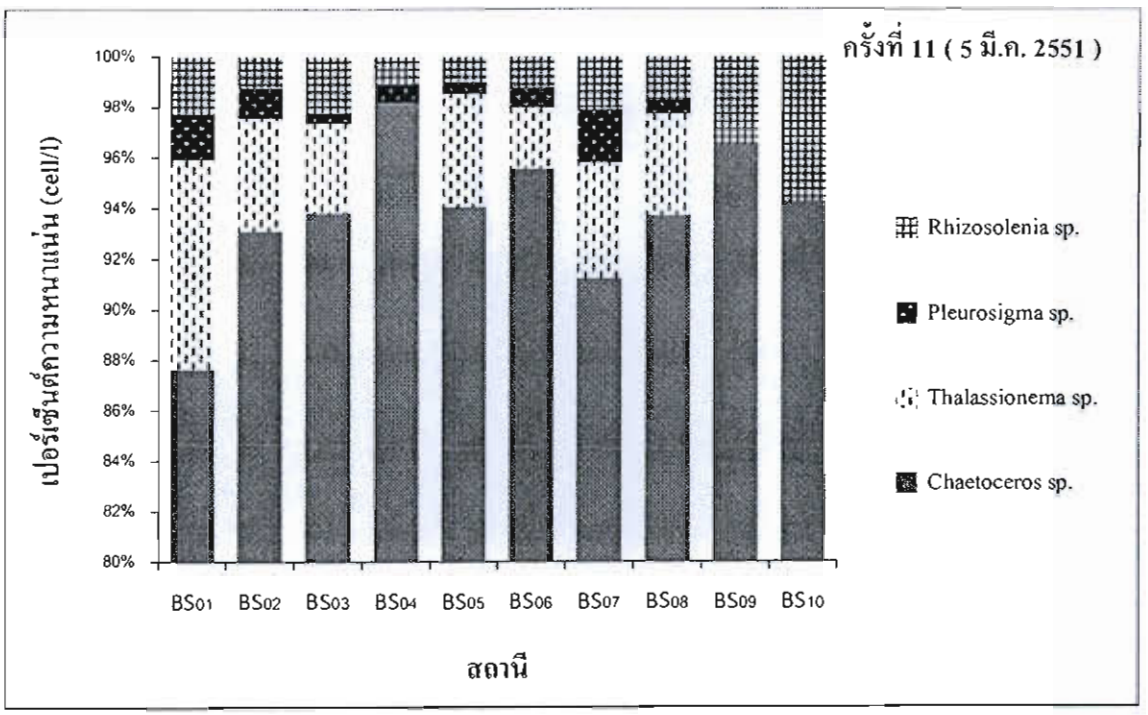

ครั้งที่ 6 (4 ก.ย. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Rhizosolenia sp.
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.

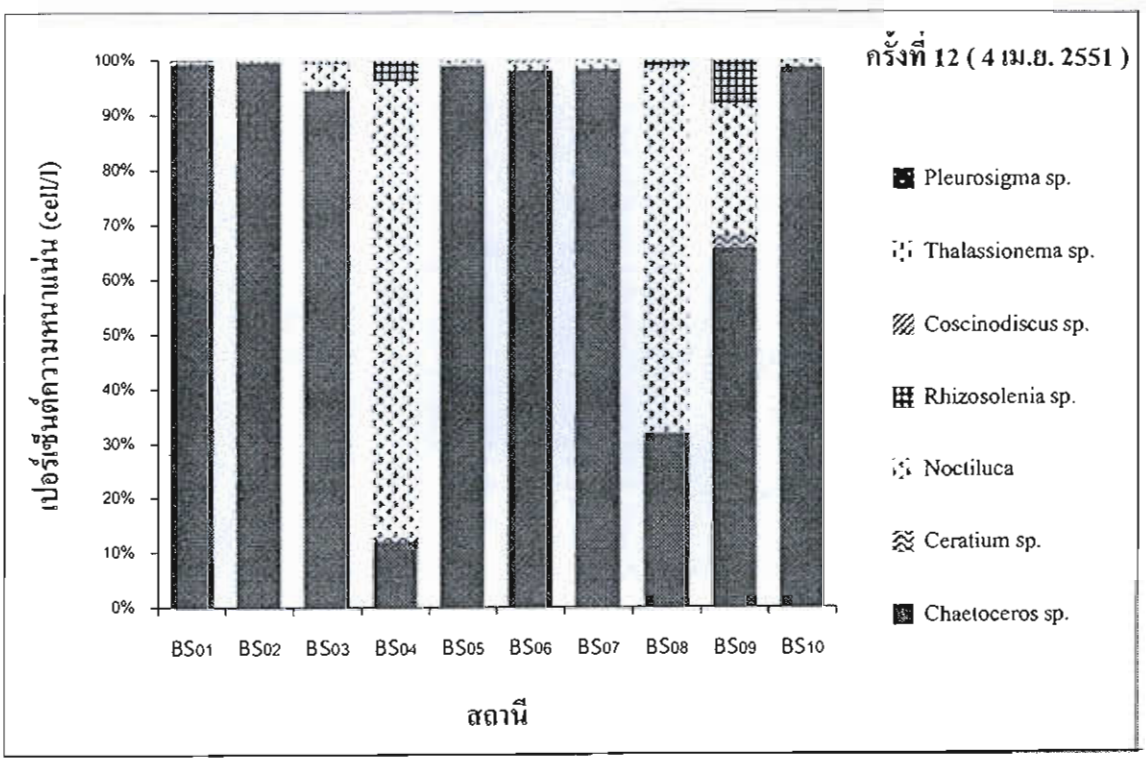

ครั้งที่ 7 (18 พ.ย. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Nitzschia sp.
Bacillaria sp.
Protoperidinium sp.
Pscudonitzschia sp.
Rhizosolenia sp.
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

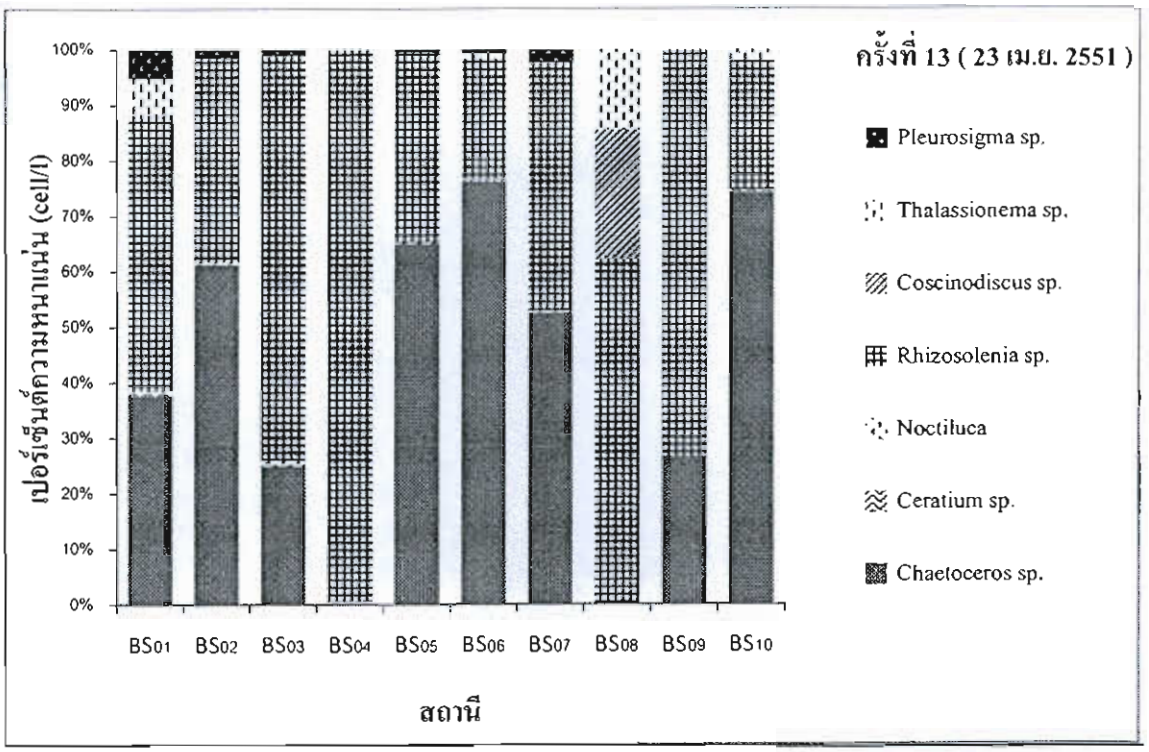

ครั้งที่ 8 (8 ธ.ค. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Rhizosolenia sp.
Thalassionema sp.
Pleurosigma sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.

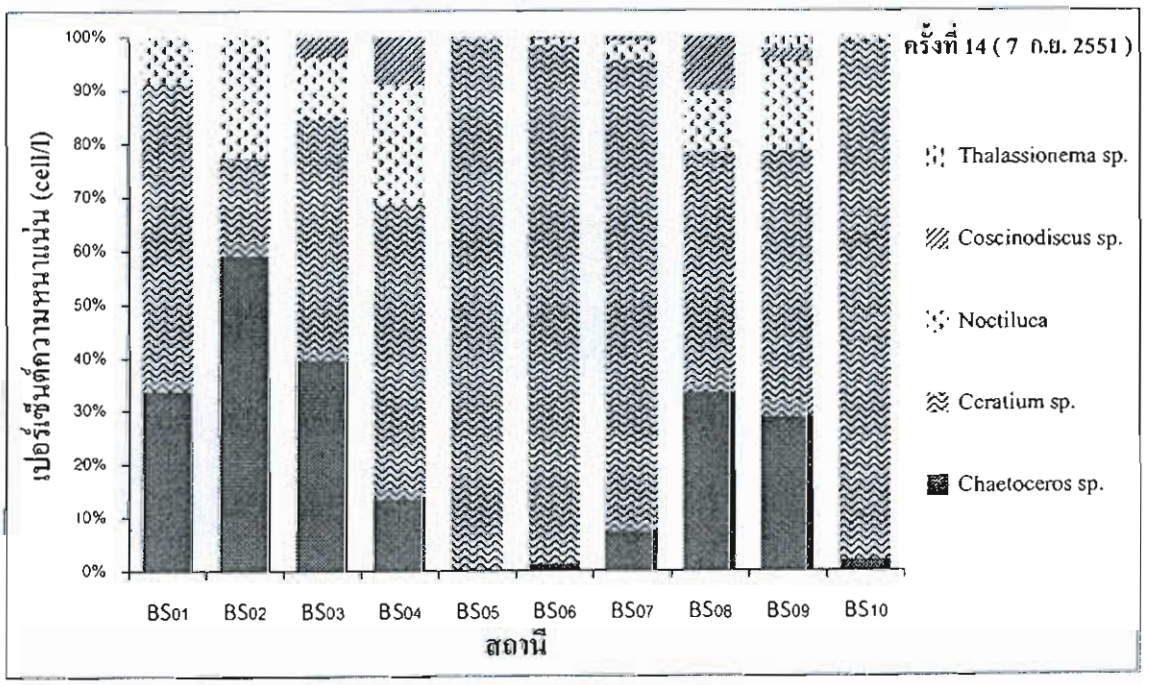

ครั้งที่ 9 (15 ธ.ค. 2550)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Thalassionema sp.
Dinophysis sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.
Ceratium sp.

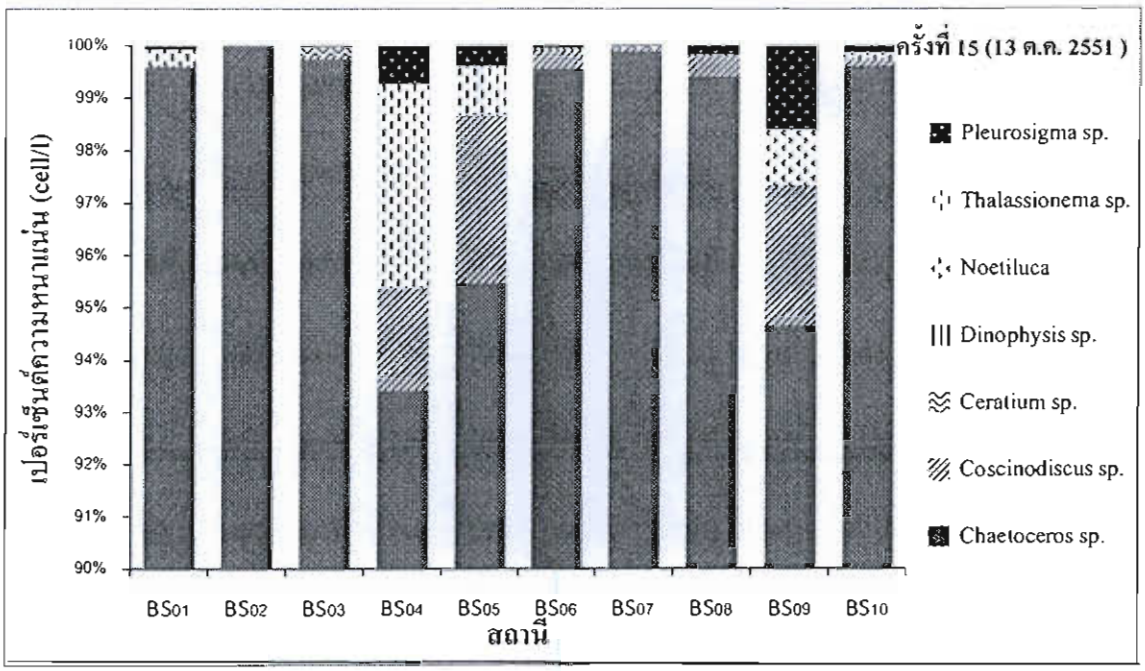

ครั้งที่ 10 (27 ม.ค. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Noctiluca
Rhizosolenia sp.
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Bacteriastrum
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.

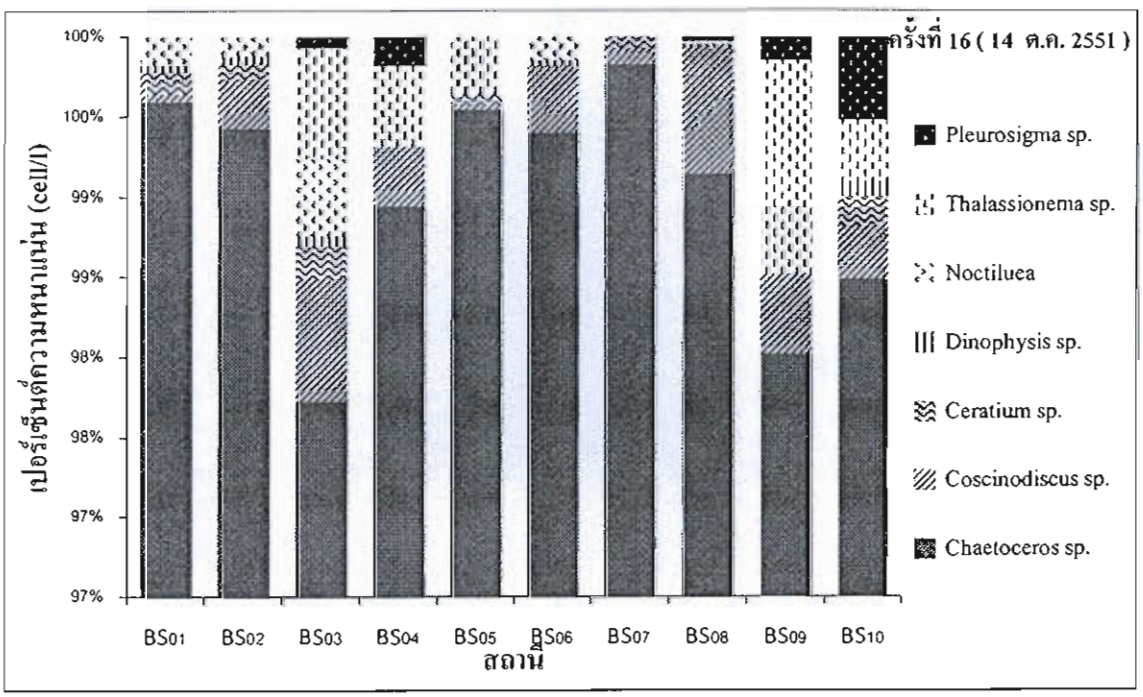

ครั้งที่ 11 (5 มี.ค. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
98%
96%
94%
92%
90%
88%
86%
84%
82%
80%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Rhizosolenia sp.
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Chaetoceros sp.

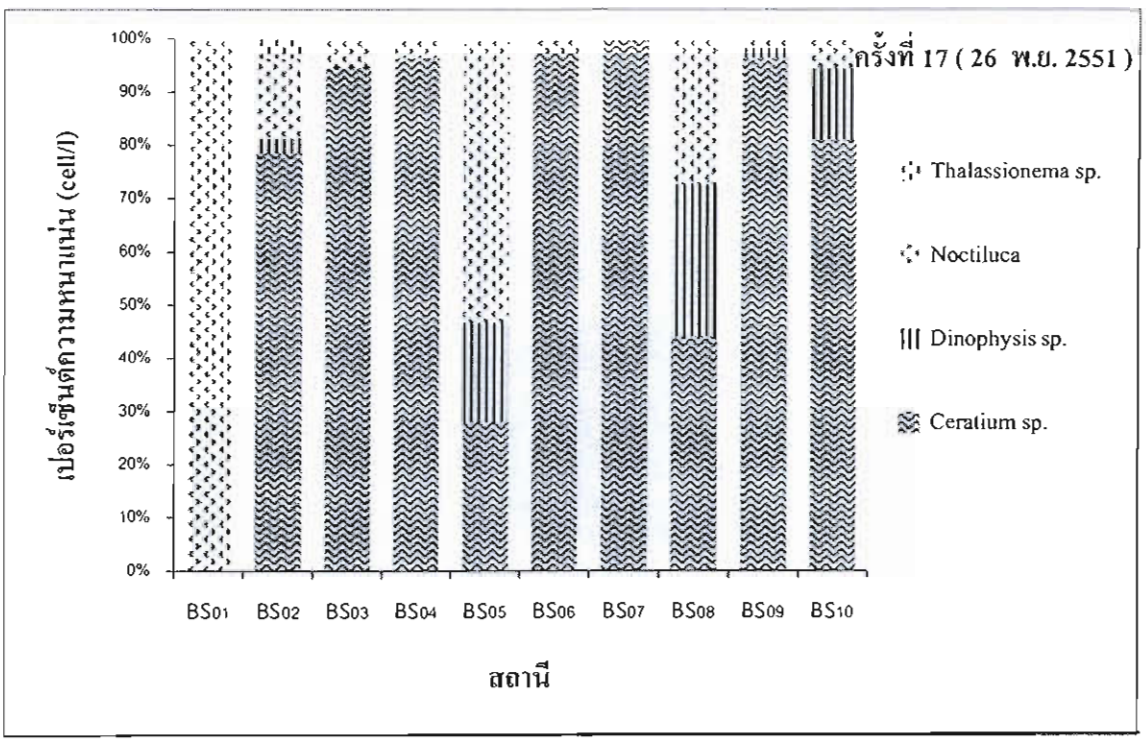

ครั้งที่ 12 (4 เม.ย. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01 BS02 BS03 BS04 BS05 BS06 BS07 BS08 BS09 BS10
สถานี
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Coscinodiscus sp.
Rhizosolenia sp.
Noctiluca
Ceratium sp.
Chaetoceros sp.


ครั้งที่ 13 (23 เม.ย. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Coscinodiscus sp.
Rhizosolenia sp.
Noctiluca
Ceratium sp.
Chaetoceros sp.


ครั้งที่ 14 (7 ก.ย. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Thalassionema sp.
Coscinodiscus sp.
Noctiluca
Ceratium sp.
Chaetoceros sp.


ครั้งที่ 15 (13 ต.ค. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
99%
98%
97%
96%
95%
94%
93%
92%
91%
90%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Noetiluca
Dinophysis sp.
Ceratium sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.


ครั้งที่ 16 (14 ต.ค. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
100%
99%
99%
98%
98%
97%
97%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Pleurosigma sp.
Thalassionema sp.
Noctiluea
Dinophysis sp.
Ceratium sp.
Coscinodiscus sp.
Chaetoceros sp.


ครั้งที่ 17 (26 พ.ย. 2551)
เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (cell/l)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
BS01
BS02
BS03
BS04
BS05
BS06
BS07
BS08
BS09
BS10
สถานี
Thalassionema sp.
Noctiluca
Dinophysis sp.
Ceratium sp.

ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี

Stable Carbon Isotope and C/N ratio in Red tide Organisms along Bangsaen-Vornapa Beach, Chon Buri Province

มาลินี สารพัฒน์ และถนอมศักดิ์ บุญภักดี

Malinee Sarapat and Thanomsak Boonphakdee

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี บริเวณชายหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (กรกฎาคม 2550 - กรกฎาคม 2551) พบว่า ไดอะตอม *Chaetoceros* sp. ไดโนแฟลกเจลเลต *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans*. ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide organisms) โดยมีปริมาณ $\delta^{13}C$ เท่ากับ -20.67±2.00 ‰ , -18.37±1.23 ‰ , -20.74±1.28 ‰ และมี C/N เท่ากับ 5.21±1.20 , 5.51±0.78 , 5.14±1.14 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ สารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล ที่มี $\delta^{13}C$ และ C/N เท่ากับ -21.00 ‰ และ 6.7 ตามลำดับ แสดงว่าสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ใน red tide organisms ในพื้นที่ทำการศึกษา มีแหล่งที่มาจากสารอินทรีย์แขวนลอยในทะเล

คำสำคัญ : ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน, ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี; แพลงก์ตอน

Abstract

Stable carbon isotope in red tide organisms along Bangsaen-Vornapa Beach , Chon Buri Province were investigated during July 2007-July 2008.The occurrences of *Chaetoceros* sp., *Ceratium* sp. and *Noctiluca scintillans*. were dominant and showed $\delta^{13}C$ values were -20.67±2.00 , -18.37±1.23 and -20.74±1.28 ‰ respectively. C/N values of those organisms were 5.21±1.20 , 5.51±0.78 and 5.14±1.14, respectively. These results are similar to $\delta^{13}C$ and C/N ratio in Marine origin organic matter (-21.0 ‰ and 6.7), indicating that organic matter in red tide organisms along Bangsaen-Vornapa Beach were derived from the marine origin organic matter.

Keyword : stable carbon isotope; red tide; algal bloom; eutrophication; Bangsean.

E-mail : Jim_my26@hotmail.com

โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

Graduate School Program, Major of Environment Science, Faculty of science, Burapha University, Chonburi 20131

บทนำ

น้ำทะเลเปลี่ยนสี (red tide) เป็นปรากฏการณ์ที่แพลงก์ตอนเพิ่มจำนวน หรือบลูม (bloom) อย่างรวดเร็วจนทำให้น้ำทะเลบริเวณนั้นเปลี่ยนสีไปจากเดิม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแพลงก์ตอนที่เกิดการบลูม การบลูมของแพลงก์ตอนอาจขึ้นอยู่กับสารอาหารหรือแร่ธาตุบนบก ที่ปนมากับน้ำแล้วไหลลงสู่ทะเล (Mee,1992; Zaitzev,1992; Aubrey et al. 1995) หรือเกิดจากปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ทำให้สารอาหารจากพื้นทะเลขึ้นสู่ผิวน้ำ (Dela-Cruz et al. 2002) รวมทั้งสภาพแวดล้อมขณะนั้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชชนิดนั้นๆ (Venrick, 1993) ในเขตจังหวัดชลบุรี จะพบปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีได้บ่อยครั้งที่บริเวณอ่างศิลา แหลมแท่น หาดบางแสน และในเขตชายฝั่งทะเลของจังหวัดชลบุรีจนถึงเกาะสีชัง โดยมีระยะเวลาการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีตั้งแต่ 1-7 วัน (สมภพ รุ่งสุภา และคณะ, 2546) แพลงก์ตอนที่ทำให้เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณนี้ได้แก่พวก ไดอะตอม *Cheatoceros* sp. ไดโนแฟลกเจลเลต *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans*. ซึ่ง *Noctiluca* sp. เป็นไดโนแฟลกเจลเลตที่มีขนาดใหญ่ (Elbrachter & Qi, 1998) นอกจากนี้ *Noctiluca* sp. ยังก่อให้เกิด NH_3 และทำให้ปริมาณออกซิเจนบริเวณผิวน้ำลดต่ำลงเมื่อเกิดการบลูม (Smayda, 1997)

การเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีในบริเวณชายฝั่งทะเล ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล ซึ่งส่งผลให้ปลาและสัตว์ทะเลหลายชนิดตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง (Yang and Hodgkiss, 2004) ทำให้มีผลผลิตทางประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำลดลง และยังทำให้ชายหาดสกปรกมีกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยวในบริเวณชายหาด (สมภพ รุ่งสุภา และคณะ,2546) ในการป้องกันหรือควบคุมการเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี จำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องทำความเข้าใจถึงแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเซลล์ของแพลงก์ตอน ที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี ว่าสารอินทรีย์เหล่านี้มาจากแหล่งใด

ในการศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ โดยไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) (Dolence et al. 2005) เป็นวิธีการหนึ่งสามารถใช้ติดตามตรวจสอบแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตได้ (Costanzo et al. 2001) เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักของสิ่งมีชีวิต จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิตได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ในเซลล์ของแพลงก์ตอนที่ทำให้เกิดน้ำทะเลเปลี่ยนสี ในบริเวณชายฝั่งทะเลหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี

วัสดุและระเบียบวิธีวิจัย

1. สถานที่เก็บตัวอย่าง

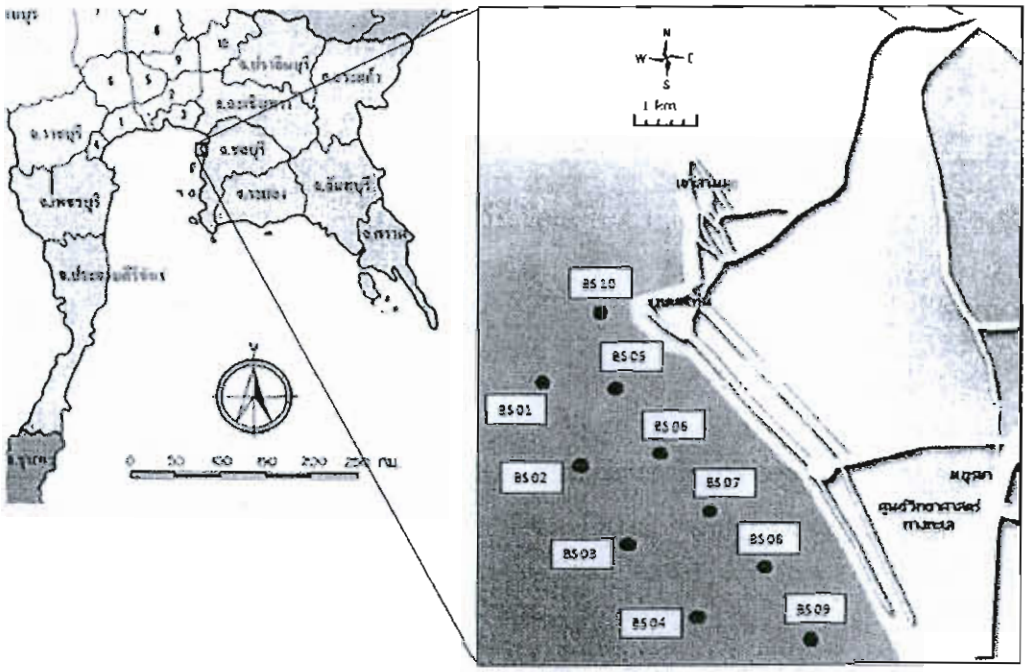
ทำการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนพืช และตัวอย่างน้ำทะเล บริเวณชายหาดบางแสน- วอนนภา จ.ชลบุรี โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 2 ครั้ง แยกจุดเก็บออกเป็น 10 สถานี เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2550 – กรกฎาคม 2551

2. การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนและตัวอย่างน้ำเสียที่ไหลลงสู่ทะเล

ใช้ถุงเก็บแพลงก์ตอน (plankton net) ที่มีขนาดตา (mesh size) 60 ไมโครเมตร โดยลากถุงเก็บแพลงก์ตอนในแนวเฉียง (oblique haul) จากนั้นทำการแยกเซลล์ของแพลงก์ตอน โดยการกรองผ่านกระดาษกรอง whatman GF/F ส่วนตัวอย่างอินทรีย์แขวนลอยในน้ำเสียที่ไหลลงสู่ทะเล เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากท่อระบายน้ำทิ้งของเทศบาลเมืองแสนสุขที่ไหลลงสู่หาดบางแสนโดยกระบอกเก็บน้ำ จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง whatman GF/F เช่นเดียวกันกับเซลล์ของแพลงก์ตอน นำกระดาษกรองที่ได้

จากการแยกเซลล์ของแพลงก์ตอนและน้ำเสียไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนำ



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี

กระดาษกรองไป decarbonate ด้วยกรดไฮโดรคลอริก หลังจากนั้นทำการกำจัดกรดออก แล้วนำกระดาษกรองไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสอีกครั้ง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบรรจุในฟอยล์ (tin capsule) ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer

3. การวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนด้วยเครื่อง Isotope Ratio Mass Spectrometer ที่มหาวิทยาลัยเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งข้อมูลของค่าไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนที่รายงานออกมานั้นเป็นความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างสัดส่วนของตัวอย่างและสารมาตรฐาน

$$\delta X(‰) = [(R_{sample}/R_{standard})-1]\times 10^3$$

เมื่อ X แทน ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน (^{13}C)

R แทน ค่าของสัดส่วนไอโซโทป ($^{13}C/^{12}C$)

นำข้อมูลที่ได้ไปทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน $\delta^{13}C$ และ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับค่า $\delta^{13}C$ และ C/N ของแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ที่สำคัญ เช่น น้ำทิ้งจากกิจกรรมของมนุษย์ สารอินทรีย์แขวนลอยจากบนบก และสารอินทรีย์แขวนลอยจากน้ำทะเล

ผลการศึกษา

แพลงก์ตอนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณหาดบางแสน-วอนนภาได้แก่ ไดอะตอม *Chaetoceros* sp. ไดโนแฟลกเจลเลต *Ceratium* sp. และ *Noctiluca* sp. โดย $\delta^{13}C$ และ C/N ของ *Chaetoceros* sp. มีปริมาณ -20.67±2.00 ‰ , 5.21±1.20 *Ceratium* sp. มีปริมาณ -18.37±1.23 ‰ , 5.51±0.78 *Noctiluca scintillans.* มีปริมาณ -20.74±1.28 ‰ , 5.14±1.14 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากผลการศึกษาปริมาณ $\delta^{13}C$ และ C/N พบว่ากลุ่มของแพลงก์ตอนทุกชนิด รวมถึง POM ในช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี มีปริมาณของ $\delta^{13}C$ และ C/N ใกล้เคียงกับแหล่งที่มาสารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเล (-21.00 ‰ และ 6.7) (รูปที่2)

ตารางที่ 1 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ในแพลงก์ตอนแต่ละชนิด และ POM ในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี

ชนิด phytoplankton	Phytoplankton		POM	
	$\delta^{13}C$(‰)	C/N	$\delta^{13}C$(‰)	C/N
Ceratium sp.	-18.37±1.23	5.51±0.78	-20.69±0.68	4.97± 0.91
Chaetoceros sp.	-20.92±1.74	5.21±1.20	-22.21±2.32	5.59±1.09
Noctiluca scintillans.	-20.74±1.28	5.14±1.14	-19.64±1.15	6.10±1.05

ตารางที่ 2 ปริมาณไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}C$) และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) จากแหล่งที่มาต่างกัน

Sample type	$\delta^{13}C$ (‰)	C/N
Terrestrial ecosystem		
C3 plants	-30.0 to -23.0[1]	16.0[2]
C4 plants	-17.0 to -9.0[1]	16.6[2]
Sewage (POM)	-28.5 to -21.0[3]	5.4 to 15.6[4]
Phytoplankton	-30.0 to -17.0[1]	6.7[5]
POM	-23.5 to -21.6[4]	6.1 to 14.9[4]
Freshwater ecosystem		
Plankton (rivers)	-35.0 to -25.0[1]	5.2 to 14.6[4]
Plankton (lakes)	-10.0 to 5.0[1]	
Sediments (rivers)	-30.0 to -26.6[1]	12.4 to 26.0[6]

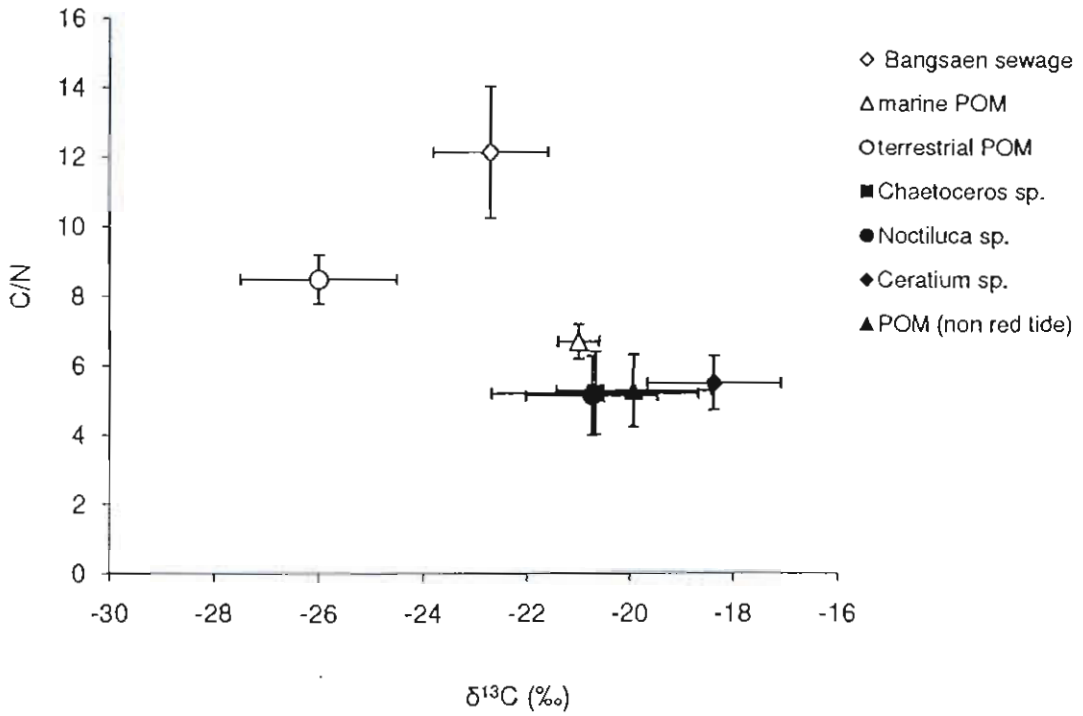
Boutton, 1991[1]; Martynowa, 1984[2]; Peters et al., 1978[3]; Thornton & McManus, 1994[4]
Redfield et al., 1963[5]; Hedges et al., 1984[6]

วิจารณ์และสรุปผล

ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีบริเวณหาดบางแสน-วอนนภา จังหวัดชลบุรี เกิดจากแพลงก์ตอน ไดอะตอม *Chaetoceros* sp. ไดโนแฟลกเจลเลต *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans*. ปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีเริ่มเกิดในช่วงเดือนเมษายนเป็นต้นไป และจะพบถี่มากในช่วงเดือน สิงหาคมและเดือนตุลาคม (สมภพ รุ่งสุภา และคณะ,2546) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝน และเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี นอกจากนี้ *Noctiluca* sp. ยังก่อให้เกิด NH_3 ที่ผิวน้ำทะเลอีกด้วย (Montani et al. 1998) โดย NH_3 จะอยู่ในแวคิวโอของ *Noctiluca* sp. (Elbratcher and Qi, 1998) จึงส่งผลให้น้ำทะเลบริเวณแห่งนี้ มีปริมาณออกซิเจนลดต่ำลง ในที่สุดก็ทำให้ปลาและสัตว์ทะเลหลายชนิดตายเป็นจำนวนมาก

$\delta^{13}C$ และ C/N ใน *Chaetoceros* sp.(-20.92±2.00 ‰ , 5.21±1.20) มีปริมาณใกล้เคียงกับสารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเล (รูปที่ 2) เนื่องจาก *Chaetoceros* sp. เป็นไดอะตอม ที่สามารถสร้างอาหารได้เอง (Khoi et al.

2006) เมื่อน้ำทะเลมีปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ *Chaetoceros* sp.ได้รับปริมาณสารอาหารเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการ uplifted ของน้ำทะเล อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณของสารอาหารในน้ำทะเลเพิ่มขึ้น (Dela-Cruz et al. 2002) จึงทำให้ *Chaetoceros* sp. เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว (bloom) และการที่ *Chaetoceros* sp. มีปริมาณ $\delta^{13}C$ และ C/N ใกล้เคียงกับไดโนแฟลกเจลเลต *Noctiluca scintillans.* (-20.74±1.28 ‰ , 5.14±1.14) บ่งชี้ได้ว่า *Noctiluca scintillans.* เป็น heterotroph ที่สามารถเป็นได้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค (Dela-Cruz et al. 2002, Baek et al. 2008) ซึ่งในช่วงที่ *Chaetoceros* sp.มีการบลูม ไดโนแฟลกเจลเลตทั้ง *Noctiluca scintillans.* ทั้ง *Ceratium* *Chaetoceros* sp. จะกิน *Chaetoceros* sp. เป็นอาหาร จึงส่งผลให้ ไดโนแฟลกเจลเลต *Noctiluca scintillans.* มีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2 ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ C/N ของแพลงก์ตอน *Chaetoceros* sp., *Ceratium* sp. และ *Noctiluca scintillans.* ในขณะเกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี สารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ในช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี น้ำเสียที่ไหลลงชายฝั่งหาดบางแสน (Bangsaen sewage) สารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเล (marine POM) และสารอินทรีย์แขวนลอยจากแผ่นดิน (terrestrial POM)

$\delta^{13}C$ และ C/N ของสารอินทรีย์แขวนลอย (POM) ในช่วงที่ไม่เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี มีปริมาณ ใกล้เคียงทั้ง *Chaetoceros* sp., *Ceratium* sp., *Noctiluca scintillans.* และสารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเล บ่งชี้ว่า POM นั้นได้รับสารอินทรีย์มาจากหลายแหล่ง (Bates et al. 2005) ได้แก่ แพลงก์ตอนทั้งสามชนิด และสารอินทรีย์แขวนลอยจากทะเลอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงแสดงให้ว่าสารอินทรีย์ในแพลงก์ตอนพืชที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสีนั้นมีที่มาจากทะเลไม่ได้มีที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ สารอินทรีย์แขวนลอยที่อยู่ในทะเลเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี แสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์จากน้ำเสียที่ปล่อยลง

สู่ทะเล และกิจกรรมของมนุษย์ที่อยู่บนบกนั้น ไม่ได้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี (Dela-Cruz et al. 2002) เนื่องจาก $\delta^{13}C$ และ C/N ของน้ำเสีย และกิจกรรมของมนุษย์ มีปริมาณต่างจากแพลงก์ตอนทั้งสามชนิด อย่างไรก็ตาม การใช้ปริมาณ $\delta^{13}C$ และ C/N ในแพลงก์ตอนพืชนี้ยังไม่เพียงพอต่อการบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสารอาหารไนโตรเจน จึงควรที่จะทำการศึกษาโดยใช้ $\delta^{15}N$ ในไนเตรต เพิ่มเติม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ. (2546). การเฝ้าระวังปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Aubrey, D., Moncheva, S., Demirov, E., Diaconu, V. & Dimitrov, A. (1995). Environmental changes in the western Black Sea related to anthopogenic and natural condition. Journal of Marine Systems 7, 411-425.

Baek, H.S., Shimode, S., Han, M. S. & Kikuchi, T. (2008). Growth of dinoflagellates, *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* in Sagami Bay, Japan: The role of nutrients. Harmful Algae 7, 729-739.

Bates, R.N., Hansell, A. D., Moran, B.S., & Codispoti, A. L. (2005). Seasonal and spatial distribution of particulate organic matter (POM) in the Chukchi and Beaufort Seas. Deep-Sea Research II 52, 3324-3343.

Boutton, T. W. (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In Carbon Isotopes Techniques (Coleman, D. C. & Fry, B., eds). Academic Press Inc., San Diego, pp. 173–185.

Costanzo, S. D., O'Donohue, M. J., Dennison, W. C. Loneragan, N. R. & Thomas, M. (2001). A new Approach for detecting and mapping sewage impacts. Marine Pollution Bulletin, 42(2), 149–156.

Dela-Cruz, J., Ajani, P., Lee, R., Pritchard, T., Suthers, I. (2002). Temporal abundance patterns of the red tide dinoflagellate *Noctiluga scintillans* along the southeast cost of Australia. MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES vol. 236: 75-88.

Dolenec, T., Vokal, B. & Dolenec, M. (2005). Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in Anemonia sulcata as a possible indicator of human sewage impact on marine coastal ecosystems: a case study of Pirovac Bay and the Murter Sea (Central Adriatic). Croatica Chemica Acta, 78(4), 593–600.

Elbrachter, M. & Qi, YZ. (1998). Aspects of *Noctiluca* (Dinophyceae) population dynamics. In: Anderson DM, Cembella AD, Hallegraeff MG (eds) Physiological ecology of harmful Algal blooms. NATO ASI Series, Vol G 41. Springer-Verlag, Berlin, p 315-335.

Hedges, J. I., Turin, H. J. & Ertel, J. R. (1984). Sources and distribution of sedimentary organic matter in the Columbia River drainage basin, Washington and Oregon. Limnology and Oceanography 29, 35–46.

Khoi, C.M., Guong, V.T. & Merckx, R. (2006). Growth of the diatom *Chaetoceros calcitrans* in sediment extracts from *Artemia franciscana* ponds at different concentrations of nitrogen and phosphorus. Aquaculture 259, 354-364.

Martynowa, M. W. (1984). Nitrogen and Phosphorus in the Sediment of Lakes and Natural Water Reservoirs. Nauka, Moscow, 160 pp. (in Russian).

Mee, L. D. (1992). The Black Sea in crisis: A need for concerted international action. AMBIO-Journal of the Human Environment RSAS 278-286.

Peters, K. E., Sweeney, R. E. & Kaplan, J. R. (1978). Correlation of carbon and nitrogen stable isotopes ratios in sediment organic matter. Limnology and Oceanography 23, 598–604.

Redfield, A. C., Ketchum, B. H. & Richard, F. A. (1963). The influence of organisms on the composition of the sea water. In The Sea, Vol. 2 (Hill, M. N., ed.). Wiley, New York, pp. 26–49.

Smayda, TJ. (1997). What is a bloom? A commentary. Limnol Oceanography, 42(5): 1132-1136.

Thornton, S. F. &McManus, J. (1994). Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. Estuarine, Coastal and Shelf Science 38, 219–233.

Venrick EL (1993). Phytoplankton seasonality in the central North Pacific: the endless summer reconsidered. Limnol Oceanogr 38(6): 1135-1149.

Yang, Z.B. & Hodgkiss, I.J. (2004). Hong Kong's wost "red tide" causative factocs reflected in a phytoplankton study at Port shelter station in 1998. Harmful Algae 3 : 149-161.

Zaitzev Yu, p. (1992). Eutrophication in the Black Sea waters. International Workshop on the Black Sea: Focus on the weatern Black Sea Shelf (Mantoura, R. C., Martin, J. M. & Wollast, R.,eds), New York, 251-279.