한국환경과학회지 제21권(제1호), 105～111, 2012
*Journal of the Environmental Sciences*
http://dx.doi.org/10.5322/JES.2012.21.1.105

**연구노트**

# 저서미세조류 4종(*Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. 그리고 *Nitzschia* sp.)의 성장에 영향을 미치는 부착기질 크기의 영향

**권형규 · 양한섭 · 유영문[1)] · 오석진[*]**
부경대학교 해양학과, [1)]부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터
(2011년 8월 1일 접수; 2011년 10월 8일 수정; 2011년 12월 9일 채택)

# Effects of Substrate Size on the Growth of 4 Microphytobenthos Species (*Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp.)

Hyeong-Kyu Kwon, Han-Soeb Yang, Yeoung-Moon Yu[1)], Seok Jin Oh[*]
*Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*
*[1)]LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Busan 609-739, Korea*
(Manuscript received 1 August, 2011; revised 8 October, 2011; accepted 19 December, 2011)

**Abstract**

The effects of substrate size on the growth of microphytobenthos *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp. were examined using glass beads in order for phytoremediation in the benthic layer of coastal waters. The glass beads used in this study were 0.09～0.15 mm (G.B 1), 0.25～0.50 mm (G.B 2), 0.75～1.00 mm (G.B 3) and 1.25～1.65 mm (G.B 4). No addition of glass bead used as control. The specific growth rate and maximum cell density of four microphytobenthos species were increasing with decreasing size of glass beads. Moreover, the control experiment without added attachment substrates showed the lowest specific growth rate and maximum cell density. Therefore, the suitable attachment substrates for mass culture of microphytobenthos seems to be important in order for phytoremediation using microphytobenthos.

**Key Words** : Phytoremediation, *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., Substrate size

## 1. 서 론

연안해역은 생활하수, 산업폐수 및 다양한 양식활동에 의한 자가오염의 증가로 다량의 유기물 퇴적이 이루어지고 있다. 퇴적된 유기물은 호기성 분해로 빈산소 또는 무산소 수괴를 형성하기도 하며, 혐기성 분해로 인한 유해가스는 저층 생태계의 파괴를 가속화시킨다. 또한 재무기화 과정은 폐쇄성 내만역의 상습적인 적조의 원인이 되기도 한다. 이러한 퇴적물 오염을 개선하기 위해서 여러 가지 친환경적인 정화방법을 도입하고 있으며, 그 중 저서미세조류를 이용한 식물환경복원(phytoremediation)의 시도는 실내실험 및 현장실험 단계에서 만족할 만한 환경개선의 가능성을 제시하고 있다(오 등, 2007; Fukami 등, 2002; Ruangdej

[*]Corresponding author : Seok Jin Oh, Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
Phone: +82-51-629-6576
E-mail: sjoh1972@pknu.ac.kr

와 Fukami, 2004; Yamamoto 등, 2008).

한편, 저서미세조류는 광합성을 하기 때문에 퇴적물 내에서 빛 투과 한계점인 표층 약 2～4 mm 상층부에서 주로 서식하나(Colijn, 1982; MacIntyre와 Cullen, 1995), 운동성을 가진 미세조류는 활발한 수직이동(migration) 등에 의해 10 cm 이하의 깊이에서도 존재한다(Méléder 등, 2005; Montani 등, 2003). 그래서 저서미세조류의 성장은 빛, 수온과 영양염 농도 등의 물리·화학적 요인도 중요하게 작용하지만, 서식환경이 퇴적층으로 제한되기 때문에 퇴적물과 같은 기질의 특성에도 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Cahoon 등, 1999; Cartaxana 등, 2006; Davis와 McIntire, 1983; Perkins 등, 2003; Suzuki와 Yamamoto, 2005). 본 연구는 오염된 퇴적물을 개선할 목적으로 저서미세조류의 대량 배양시 배양효율을 높이기 위해 남해 수정만에서 우점하고 있는 4종의 저서미세조류의 성장에 미치는 부착기질의 영향을 실내실험을 통해서 살펴보고, 부착기질의 중요성을 고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구의 실험 종인 *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. 그리고 *Nitzschia* sp. 세포는 2010년 4월 수정만(35° 7′ 17.24" N, 128° 36′ 1.56" E)에서 채니된 퇴적물로부터 분리하였다. 분리된 세포는 여과해수(0.22 ㎛ pore size, Millipore GSWP)에 4~5회 세척 후 배양튜브(TB-2800, Japan)에 이식하였으며, 실험용 배지는 남해 욕지도 해역의 해수를 바탕으로 한 f/2-Si(Guillard와 Ryther, 1962)배지로, selenium ($H_2SeO_3$)의 최종농도가 0.001 μM이 되게 첨가하였다(Doblin 등, 1999). 배양온도와 염분조건은 현장수온과 염분에 상응하는 조건(20℃, 30 psu)으로, 광량은 약 100 μmol/$m^2$/s(12L : 12D; cool-white fluorescent lamp)에서 실시하였다.

저서미세조류의 부착기질에 따른 성장속도는 현미경을 이용한 직접 검경이 아닌 *in vivo* chlorophyll 형광값과 세포수의 관계로 평가하였다. 측정은 안정한 형광값을 얻기 위해서 약 5분 동안 암조건에서 방치한 후 측정하였으며(Brand 등, 1981), 현미경을 통해서 계수한 세포수를 이용하여 세포밀도와 형광값의 상관

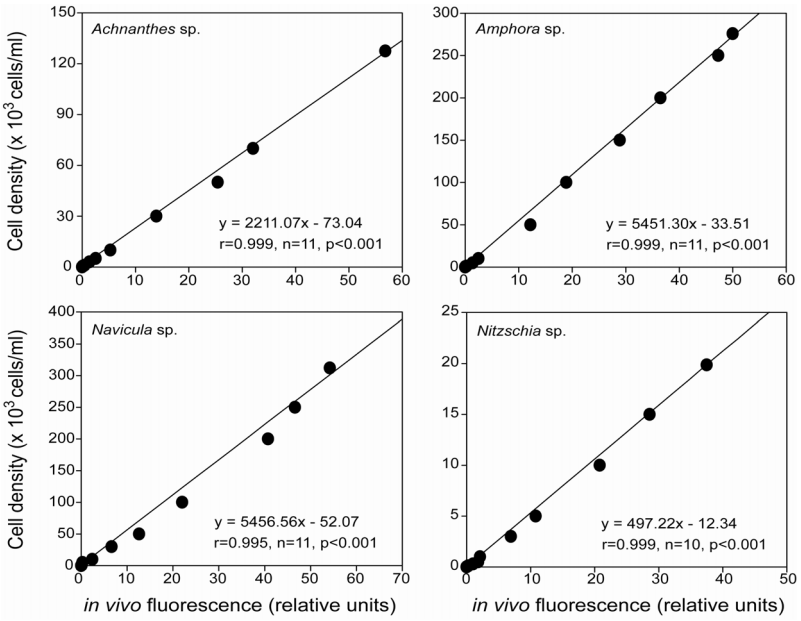


**Fig. 1.** Relationship between cell density and *in vivo* chlorophyll fluorescence of microphytobenthos *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp..

관계를 알아보았다. 그 결과 세포밀도와 형광값 사이에는 Fig. 1과 같은 관계식이 성립되었다.

본 연구에서 사용한 부착기질은 정밀 공업용으로 사용하는 glass bead(SiLibeads Type S, SiLi, Germany)로 형광광도계에서 직접 측정이 가능한 배양튜브(10×100 mm)에 서로 다른 직경을 가진 glass bead를 첨가하였다. 이 때 첨가한 glass bead의 직경은 총 4종류의 시판품을 사용하였으며(G.B 1: 0.09～0.15 mm, G.B 2: 0.25～0.50 mm, G.B 3: 0.75～1.00 mm, G.B 4: 1.25～1.65 mm), glass bead는 바닥에서 5 mm 정도가 되도록 첨가하였다. 그리고 대조구에는 glass bead를 첨가하지 않았다. 모든 실험구와 대조구에 5 ml씩 배양액을 첨가하였으며, 각각의 세포는 전 배양의 대수성장기(exponential phase) 후기세포를 이용하여 최종세포밀도가 약 100 cells/ml가 되도록 조절하였다. 모든 실험은 triplication을 원칙으로 하였으며, 이 중 하나의 실험구가 다른 실험구에 비해 성장속도가 현격한 차이를 보일 경우, 이를 제외하고 평균값을 계산하였다. 성장속도는 대수성장(exponential growth)을 보이는 기간 동안의 형광값을 이용하여 다음 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$\mu = \frac{1}{\Delta t} ln \frac{N_t}{N_0} \quad (1)$$

$N_0$, $N_t$ : 대수성장기에서 초기와 t시간(day) 후의 세포수(cells/ml)

$\Delta t$ : 대수성장기의 배양시간(day)

## 3. 결과 및 고찰

4종의 저서미세조류는 glass bead 크기에 따라 성장속도의 뚜렷한 차이를 보였으며, 그 경향은 glass bead의 크기가 작아질수록 성장속도가 증가하였다(Table 1, Fig. 2). 일원분산분석(one-way ANOVA) 결과, 0.001% 수준내에서 4종의 성장속도는 glass bead의 크기에 대해 유의한 차이가 있는 것으로 나타나 glass bead의 크기에 따라 성장속도가 달라짐을 알 수 있었

**Table 1.** Specific growth rate and maximum cell density of microphytobenthos *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp. with addition of glass beads in different size

| Species | Substrate | Specific growth rate (/day) | Maximum cell density ($x10^3$cells/ml) |
|---|---|---|---|
| *Achnanthes* sp. | G.B 1 | 0.58±0.01 | 142.06±7.66 |
| | G.B 2 | 0.55±0.02 | 128.24±1.88 |
| | G.B 3 | 0.51±0.01 | 96.07±4.22 |
| | G.B 4 | 0.48±0.01 | 93.31±3.45 |
| | Control* | 0.46±0.01 | 78.16±3.28 |
| *Amphora* sp. | G.B 1 | 0.63±0.02 | 647.27±1.38 |
| | G.B 2 | 0.58±0.01 | 570.89±5.08 |
| | G.B 3 | 0.54±0.02 | 451.75±2.31 |
| | G.B 4 | 0.50±0.01 | 400.51±9.69 |
| | Control* | 0.47±0.01 | 246.77±5.24 |
| *Navicula* sp. | G.B 1 | 0.68±0.02 | 557.81±2.70 |
| | G.B 2 | 0.63±0.01 | 513.66±3.67 |
| | G.B 3 | 0.57±0.01 | 428.92±1.54 |
| | G.B 4 | 0.53±0.02 | 356.98±3.89 |
| | Control* | 0.50±0.01 | 255.88±8.86 |
| *Nitzschia* sp. | G.B 1 | 0.66±0.01 | 67.97±2.31 |
| | G.B 2 | 0.62±0.02 | 46.86±1.72 |
| | G.B 3 | 0.55±0.01 | 39.88±1.31 |
| | G.B 4 | 0.51±0.01 | 34.46±3.33 |
| | Control* | 0.48±0.01 | 17.98±0.60 |

* no glass bead

**Table 2.** Summary of one-way analysis of variation (ANOVA) for the specific growth rate of microphytobenthos *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp.

| Species | Analysis of variance | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Source of variation | d.f. | Sum of square | Mean square | F value* |
| *Achnanthes* sp. | Glass bead | 4 | 0.042 | 0.0105 | 75.3 |
| | Error | 10 | 0.001 | 0.0001 | |
| | Total | 14 | 0.043 | | |
| *Amphora* sp. | Glass bead | 4 | 0.063 | 0.0158 | 57.6 |
| | Error | 10 | 0.003 | 0.0003 | |
| | Total | 14 | 0.066 | | |
| *Navicula* sp. | Glass bead | 4 | 0.090 | 0.0225 | 91.1 |
| | Error | 10 | 0.003 | 0.0002 | |
| | Total | 14 | 0.093 | | |
| *Nitzschia* sp. | Glass bead | 4 | 0.089 | 0.0222 | 90.0 |
| | Error | 10 | 0.003 | 0.0002 | |
| | Total | 14 | 0.091 | | |

* $p < 0.001$

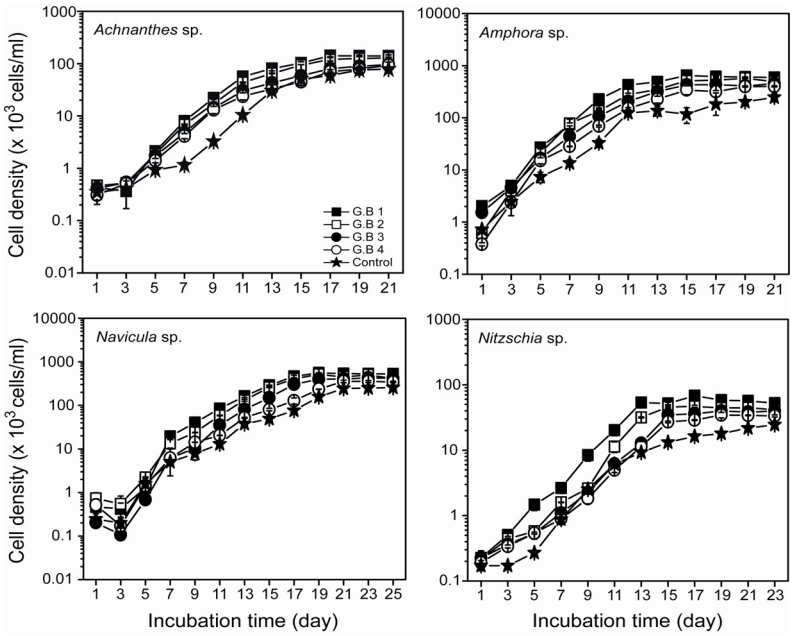


**Fig. 2.** Growth curves of microphytobenthos *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. and *Nitzschia* sp. grown with addition of glass beads in different size.

다(Table 2). 그리고 최대세포밀도 역시 glass bead의 크기에 따라 큰 차이를 보였으며, glass bead의 크기가 작아질수록 최대세포밀도가 증가하였다(Table 1, Fig. 2).

본 연구의 결과와 유사하게 오와 고 (1991)는 퇴적물 입도는 개체수와 정의 상관관계를 보여, 퇴적물이 니질퇴적물과 같이 세립해짐에 따라 서식밀도가 증가한다고 하였으며, 다른 연구에서도 니질퇴적물에서 저서미세조류의 생물량이 증가한다는 보고가 있다(Cartaxana 등, 2006; Perkins 등, 2003; Suzuki와 Yamamoto, 2005). Suzuki와 Yamamoto(2005)는 퇴

적물 입자의 체적이 작아질수록 부착표면적이 증가하기 때문에 부착기질이 필요한 저서미세조류의 경우 성장이 빨라질 것이라 보고 하였으며, 이외에도 니질 퇴적물의 높은 수분함량은 영양염의 공급, 기체교환 그리고 건조로부터 방지로 인하여 생물량을 증가시키는 요인 중에 하나로 설명할 수 있다(Cartaxana 등, 2006). 하지만, Davis와 McIntire(1983)는 저서미세조류의 일차생산력은 사질지역이 니질지역보다 약 2배 높았으며, Cahoon 등(1999)과 Cahoon과 Safi(2002)도 퇴적물의 입도는 저서미세조류의 생물량과 음의 상관관계를 보인다고 보고하였다. 이들은 니질퇴적물의 공극, 영양염의 순환 그리고 퇴적층의 빛 투과 감소에 따라 미세조류 생물량이 감소한다고 보고하였다. 이처럼 현장에서 저서미세조류의 생물량과 퇴적물 입도 사이의 서로 다른 견해는 퇴적물의 입도뿐만 아니라 수온, 염분, 광량, 영양염 농도 및 해수 유동과 같이 해역에 따라 달라지는 다양한 환경 요인의 상호작용의 결과일 것으로 생각된다.

한편, 파도가 많이 치는 모래해안은 운동능력이 미약하고, 다른 미세조류에 비해서 강한 규조각을 형성하는 사질성 미세조류가 우점 하지만, 파도로부터 보호된 세립퇴적물로 이루어진 해안은 운동성이 있는 니질성 미세조류가 우점한다(Admiraal, 1984). 본 연구의 *Achnanthes* sp.는 부착력이 강한 단배선형의 미세조류로 전형적인 사질성 규조류이며(Hustedt, 1985; Patrick과 Reimer, 1966), *Amphora* sp., *Navicula* sp. 그리고 *Nitzschia* sp.는 니질성 규조류로 알려져 있다(Round, 1971). 특히, 니질성 규조류는 우리나라의 조간대나 연안해역의 넓은 범위에서 출현하는 대표적인 종으로(이, 2003; 해양수산부, 2000; Lee 등, 1999), 배선구조에 의한 운동능력을 가지고 있어, 퇴적물의 퇴적이 계속 진행되고 주기적인 환경의 변화가 심한 연안 환경에서도 유리한 생태적 위치를 가지고 있다. Paterson(1989)은 니질성 규조류와 같이 운동성을 가진 저서미세조류는 광합성을 하기 위해서 퇴적물의 표층으로 상승하나, 강한 빛의 노출에 따른 광저해 현성을 피하기 위해서 하강하기 때문에 빛이 저서미세조류의 수직이동을 조절하는 요인으로 설명하였다. 그리고 Saburova와 Polikarpov(2003)는 영양염 농도가 높은 퇴적층 아래 2~3 cm 깊이의 무산소층에서 미세조류의 생체량이 최대로 나타난 것은 영양염을 흡수하기 위해 수직이동의 결과라고 설명하고 있다. 이처럼 저서미세조류가 운동이 가능한 것은 종축(apical axis)으로부터 분비되는 점액질인 EPS(Extracellular Polymeric Substances)에 의한 것이며(Edgar와 Pickett-Heaps, 1984; Hoagland 등, 1993), 이외에도 EPS는 기질에 부착할 수 있도록 하고(Daniel 등, 1987), 특정 물질로부터의 세포 보호기능도 한다(Edgar와 Pickett-Heaps, 1984; Hoagland 등, 1993). 또한 EPS는 퇴적물 표층에 바이오필름을 형성함으로써 천해생태계의 중요한 유기물 공급원이 되기도 한다(De Jonge와 van Beuselom, 1992; Shaffer와 Sullivan, 1988). 따라서 EPS의 분비능력은 부착능력을 좌우하는 것이기에 종 특이성이 있는 것으로 보이며, 향후 EPS 분비와 입자간의 상호관계를 파악할 필요성이 있을 것이다.

Kawamura(2004)는 저서미세조류의 부착강도와 이동능력에 따라 포복활주형(gliding prostrate type)과 포복고착형(adhesive prostrate type)으로 나누었으며, 포복활주형은 안정된 기질과 포식압이 낮고 충분한 광 조건에서 급격히 성장하는 종으로 부착력이 강하지 않다. 본 연구의 *Amphora* sp., *Navicula* sp.와 *Nitzschia* sp.는 활주능력에 따라 포복활주형에 해당된다. 오 등(2009)은 포복활주형 미세조류를 오염된 퇴적물의 정화 목적으로 살포하여 성장하더라도 2차적인 유기물 오염의 진행보다는 퇴적물로부터 쉽게 탈락되기 때문에 상위 포식자의 중요한 먹이원으로 작용하여 궁극적으로 해역의 생산성 향상에 기여할 것으로 가정하였다. 본 연구의 결과는 저서미세조류의 성장에 부착기질의 유무 및 크기가 상당히 중요하다는 것을 시사하였다. 앞으로 생물복원을 위한 저서미세조류의 대량배양 및 활용을 위해서 수온 및 영양염 농도과 같은 환경의 변화에 따른 부착기질의 선택 및 친환경적인 부착기질의 재료의 탐색에 대한 심도 있는 연구결과가 필요할 것으로 생각한다.

## 4. 결 론

본 연구는 식물환경복원의 기법으로 오염된 퇴적물을 개선하기 위한 목적으로 저서미세조류의 대량배

양시 배양효율을 높이기 위해 저서미세조류의 성장에 영향을 미치는 부착기질의 영향을 실내실험을 통해서 살펴보았다. 실험에 이용된 glass bead의 크기는 총 4단계로 0.09～0.15 mm(G.B 1), 0.25～0.50 mm(G.B 2), 0.75～1.00 mm(G.B 3) 그리고 1.25～1.65 mm(G.B 4)이며, glass bead를 첨가하지 않은 대조구도 설정하였다. 저서미세조류 *Achnanthes* sp., *Amphora* sp., *Navicula* sp. 및 *Nitzschia* sp.는 glass bead의 크기가 작아질수록 성장속도가 증가하였으며, 최대세포밀도 역시 증가하였다. 그리고 glass bead를 첨가하지 않은 대조구에서 가장 낮은 성장속도와 최대세포밀도를 보였다. 일반적으로 미세조류의 성장에는 빛, 수온, 염분, 영양염과 같은 물리·화학적 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 알려져 있으며, 서식환경이 퇴적층으로 제한되는 저서미세조류는 이러한 요인이외에도 부착기질의 크기 및 유무도 중요한 요인으로 작용할 것으로 보인다. 따라서 생물복원을 위한 저서미세조류의 대량배양을 위해서는 적합한 부착기질의 고려가 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업(과제번호: 10037416, 해양 LED 융합 기술지원 기반구축 및 상용화 기술개발)으로 지원받아 수행된 연구로 지원기관에 감사를 표합니다.

## 참 고 문 헌

오상희, 고철환, 1991, 서해 만경-동진 조간대의 주요 우점 저서 규조류의 분포, 한국해양학회지, 26(2), 24-37.

오석진, 박달수, 양한섭, 윤양호, Honjo, T., 2007, 발광다이오드(LED)를 이용한 저서미세조류의 성장촉진에 의한 오염해역 저질환경개선, 한국해양환경공학회지, 10(2), 93-101.

오석진, 윤양호, Yamamoto, T., 양한섭, 2009, 실내 배양시 부착기질 크기에 따른 저서성 미세조류 *Nitzschia* sp.의 성장 특성, 한국해양환경공학회지, 12(2), 91-95.

이학영, 2003, 가마미 해수욕장(전남영광) 갯벌의 미세조류의 분포에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(7), 715-724.

해양수산부, 2000, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구.

Admiraal, W., 1984, The ecology of estuarine sediment-inhabiting diatoms, Prog. Phycol. Res., 5, 269-322.

Brand, L. E., Guillard, R. R. L., Murphy, L. S., 1981, A method for the rapid and precise determination of acclimated phytoplankton reproduction rates, J. Plankton Res., 3, 193-201.

Cahoon, L. B., Nearhoof, J. E., Tilton, C. L., 1999, Sediment grain size effect on benthic microalgal biomass in shallow aquatic ecosystems, Estuaries, 22, 735-741.

Cahoon, L. B., Safi, K. A., 2002, Distribution and biomass of benthic microalgae in Manukau Harbour, New Zealand, New Zealand J. Mar. Freshwater Res., 36, 257-266.

Cartaxana, P., Mendes, C. R., van Leeuwe, M. A., Brotas, V., 2006, Comparative study on microphytobenthic pigments of muddy and sandy intertidal sediments of the Tagus estuary, Estuar. Coast. Shelf Sci., 66, 225-230.

Colijn, F., 1982, Light absorption in the waters of the Ems-Dollard Estuary and its consequences for the growth of phytoplankton and microphytobenthos, Neth. J. Sea Res., 15, 196-216.

Daniel, G. F., Chamberlain, A. H. L., Jones, E. B. G., 1987, Cytochemical and electron microscopical observations on the adhesive materials of marine fouling diatoms, Br. Phycol. J., 22, 101-118.

Davis, M. W., McIntire, C. D., 1983, Effects of physical gradients on the production dynamics of sediment-associated algae, Mar. Ecol. Prog. Ser., 13, 103-114.

De Jonge, V. N., van Beuselom, J. E. E., 1992, Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the Ems estuary and its possible role for grazer, Neth. J. Sea. Res., 30, 91-105.

Doblin, M. A., Blackburn, S. I., Hallegraeff, G. M., 1999, Growth and biomass stimulation of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Graham) by organic substances, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 236, 33-47.

Edgar, L. A., Pickett-Heaps, J. D., 1984, Diatom locomotion, Prog. Phycol. Res., 3, 47-88.

Fukami, K., Murata, N., Morio, Y., Nishijima, T., 2002, Improvement of eutrophic coastal bottom environments by using an optical fiber and effective psychrophilic bacteria, Fish. Sci., 68, 617-620.

Hoagland, K. D., Rosowski, J. R., Gretz, M. R., Roemer, S. C., 1993, Diatom extracellular polymeric substances: Function, fine structure, chemistry and physiology, J. Phycol., 29, 537-566.

Hustedt, F., 1985, The pennate diatoms, Koeltz Sci. Books, Koenigstein, 918.

Kawamura, T., 2004, Ecology of benthic diatom, Nippon Suisan Gakkaishi, 70, 788-798.

Lee, J. B., Choa, J. H., Koh, H. B., 1999, Community structure and ecological characteristics of attached diatom in the coastal waters of Cheju Island, Korea, Algae, 13, 55-66.

MacIntyre, H. L., Cullen, J. J., 1995, Fine-scale vertical resolution of chlorophyll and photosynthetic parameters in shallow-water benthos, Mar. Ecol. Prog. Ser., 122, 227-237.

Meadows, P. S., Anderson, J. G., 1968, Micro-organisms attached to marine sand grains, J. Mar. Biol. Ass. U.K., 48, 161-175.

Méléder, V., Barillé, L., Rincé, Y., Morançais, M., Rosa, P., Gaudin, P., 2005, Spatio-temporal changes in microphytobenthos structure analysed by pigment composition in a macrotidal flat (Bourgneuf Bay, France), Mar. Ecol. Prog. Ser., 297, 83-99.

Montani, S., Magni, P., Abe, N., 2003, Seasonal and interannual patterns of intertidal microphytobenthos in combination with laboratory and areal production estimates, Mar. Ecol. Prog. Ser., 249, 79-91.

Paterson, D. M., 1989, Short-term changes in the erodibility of intertidal cohesive sediments related to the migratory behavior of epipelic diatoms, Limnol. Oceanogr., 34, 223-234.

Patrick, R., Reimer, C. W., 1966, The diatoms of the United States, Acad. Nat. Sci., Philadelphia, 688.

Perkins, R. G., Honeywill, C., Consalvey, M., Austin, H. A., Tolhurst, T. J., Paterson, D. M., 2003, Changes in microphytobenthic chlorophyll *a* and EPS resulting from sediment compaction due to de-watering: opposing patterns in concentration and content, Cont. Shelf Res., 23, 575-586.

Round, F. E., 1971, Benthic marine diatoms, Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 9, 83-139.

Ruangdej, U., Fukami, K., 2004, Stimulation of photosynthesis and consequent oxygen production in anoxic bottom water by supply of low-intensity light through an optical fiber, Fish. Sci., 70, 421-429.

Saburova, M. A., Polikarpov, I. G., 2003, Diatom activity within soft sediments: behavioural and physiological processes, Mar. Ecol. Prog. Ser., 251, 115-126.

Shaffer, G. P., Sullivan, M. J., 1988, Water column productivity attributable to displaced benthic diatoms in well mixed-shallow estuaries, J. Phycol., 24, 132-140.

Suzuki, M., Yamamoto, T., 2005, Effects of grain size of substrate on the growth of a benthic microalgae *Nitzschia* sp., J. Grad. Sch. Biosph. Sci. Hiroshima Univ., 44, 31-38.

Yamamoto, T., Goto, I., Kawaguchi, O., Minagawa, K., Ariyoshi, E., Matsuda, O., 2008, Phytoremediation of shallow organically enriched marine sediments using benthic microalgae, Mar. Poll. Bull., 57, 108-115.