

## 고성만과 강진만에서 현탁물 섭식자에 유용한 입자물질 양과 질의 계절 변동

이필용<sup>+</sup> · 강창근 · 최우정 · 양한섭\*  
국립수산진흥원 환경관리과, \*부경대학교 해양학과

### Seasonal Variation of the Quantity and Quality of Seston as Diet Available to Suspension-Feeders in Gosung and Kangjin Bays of Korea

Pil-Yong LEE, Chang-Keun KANG, Woo-Jeung CHOI and Han-Soeb YANG\*

National Fisheries Research & Development Institute, Shirang-Ri, Kijang-Gun, Pusan 619-902, Korea

\*Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Seasonal variation of the elemental and biochemical composition of the suspended particulate matter (SPM) was investigated in terms of quantity and quality of diets for suspension feeders from July 1999 to August 2000 in two coastal bay systems of Gosung and Kangjin Bays in Korea. No clear patterns in the seasonal variations of SPM concentration were found in these two bay systems. The results indicated that the seasonal variation of SPM could not be considered the variation of food available to suspension-feeders. The simultaneous peaks in chlorophyll *a* and biochemical components in summer indicated that the quantity of the particulate organic matter primarily depended on phytoplankton productivity. However, no correlation between chlorophyll *a* and biochemical components [particulate protein (PPr), carbohydrate (PCHO) and lipid] were found, indicating that other processes might also contribute to the particulate organic matter in the period when the phytoplankton biomass was low. High C:Chl *a* and C:N, and carbohydrate peaks during the autumn to spring period suggested that resuspension of surface sediments was a probable process to supply the particulate organic matter. The food material, represented by summing up the total quantity of three biochemical components, was highest in spring with minor peaks during the period from autumn to the next spring. The food index, calculated as the ratio of food material to total SPM, did not generally exceed 6% with short peaks during the year. Therefore, nutritional quality of SPM in the bays are relatively poor than in other more productive coastal waters in the world. Our results confirm that the measurement of a single chemical variable cannot describe fully the nutritive value of the seston available to suspension-feeders as previously proposed, and the biochemical composition of SPM can provide effective information on its origin and nutritive quality.

**Key words:** Suspended particulate matter, Elemental and biochemical composition, Food material, Food index, Temperate coastal bay

### 서 론

해양에서 입자물질 (seston)은 수중에 부유하고 있는 생물과 무생물을 포함하는 직경 0.45 μm 이상의 유·무기 입자로서 정의된다 (Cauwet, 1981). 연안 환경에 서식하는 여과 섭식자 동물군들은 이 입자물질을 여과하여 먹이로 이용한다 (Jørgensen, 1966; Bayne et al., 1977). 따라서 입자물질 농도와 조성은 여과 섭식자들의 섭식을 조절하는데 있어서 중요한 역할을 한다 (Foster-Smith, 1975; Winter, 1978; Widdows et al., 1979; Kjørboe et al., 1980; Smaal et al., 1986; Bayne et al., 1989, 1993; Iglesias et al., 1992; Navarro et al., 1994; Urrutia et al., 1996; Hawkins et al., 1998). 많은 연구들에 의하면 이 여과 섭식자들에게 유용한 먹이로서 입자물질 양과 질은 여러 가지 요인들에 의하여 영향을 받아서 시·공간적으로 큰 변동을 보인다 (Berg and Newell, 1986; Navarro et al., 1993; Smaal and Haas, 1997).

입자물질 양과 생화학 조성은 먹이 유용성을 결정하는 중요한 요인이다. 예를 들면, 퇴적물로부터 무기 입자의 재부유는 여과 섭식자들에게 이용되는 먹이 양을 희석함으로써 먹이 유용성을 낮추기도 한다 (Widdows et al., 1979; Berg and Newell, 1986). 입자물질의 먹이로서 유용성은 chlorophyll이나 입자 유기탄소 (POC) 함량 등에 의한 입자유기물질로 판단하는 경향이지만, 실제로 먹이의 구성요소 중에는 chlorophyll의 물질도 포함되어 있고 POC의 경우 먹이로 이용될 수 있는 부분과 이용될 수 없는 부분도 있다 (Widdows et al., 1979). 따라서 어떤 수역의 먹이 유용성은 입자유기물질 양과 먹이로서의 질에 대한 평가가 이루어져야 하고, 먹이 질 평가는 입자유기물질의 상세한 생화학 조성성분 분석이 필요하다 (Mayzaud et al., 1979; Widdows et al., 1979; Mayzaud et al., 1984; Soniat et al., 1984; Berg and Newell, 1986; Poulet et al., 1986; Navarro et al., 1993; Danovaro and Fabiano, 1997).

입자유기물질의 생화학 조성은 해양이나 육상 기원별 생물 종과 입자 크기 등에 따라 달라질 수 있다 (Mayzaud et al., 1984; Poulet et al., 1986; Mayzaud et al., 1989; Galois et al., 1996). 또한,

\* Corresponding author: pylee@nfrdi.re.kr

입자유기물질 조성을 결정하는 이와 같은 요인들은 계절적으로 큰 변동을 보일 수 있을 것이다.

본 연구는 한반도 남해안 두 내만 해역에 대한 입자유기물질 양과 먹이로서의 질의 월별변동을 조사하였다. 고성만은 참굴 (*Crassostrea gigas*) 수하 양식장으로 이용되고 있고, 강진만은 피조개 (*Scapharca broughtonii*) 살포 양식이 성행하고 있는 수역이다. 참굴은 수하연에 부착하여 수중에 부유하여 서식하고, 피조개는 퇴적물 속에 잠입하여 서식한다. 이와 같이 두 종은 서로 다른 서식 양식을 보이지만 두 종 모두 수중에 부유하고 있는 입자유기물질을 여과하여 먹이를 섭취하는 여과 섭식자 조개류이다. 본 연구의 목적은 높은 밀도로 조개류를 양식하는 내만 수역에서 이 양식 이매패류들을 위한 자연의 영양 환경을 이해하기 위하여 이 생물들에 유용한 먹이 양과 질의 월별 변동을 파악하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사점점 및 현장조사

본 연구를 위한 현장조사와 시료 채취는 1999년 7월부터 2000년 8월 사이에 고성만과 강진만에서 양식장이 시설된 수역에 1개 대표 정점을 설정하여 월별로 수행되었다 (Fig. 1).

수온과 염분은 CTD meter (SeaBird type)를 이용하여 수심별로 측정하였고, 해수 시료는 10 L van Dorn형 채수기를 이용하여 해수 표면으로부터 0.5 m와 3 m 수심 및 퇴적물로부터 1 m 상층부에서 채수하였다. 입자유기물질 분석을 위한 시수는 선상에서 200 μm 공극의 망지로 걸러 동물플랑크톤이나 대형 입자물질을 제거하였다.

2. 시료의 분석

실험실로 운반된 모든 시료 및 여과지는 실험전에 -80℃에서 보관하였다. 47 mm 크기 여과지에 1 L의 해수를 여과한 총 부유입자물질

농도 분석을 위한 GF/F 여과지는 60℃에서 24시간 동안 건조한 후 평량하였다. Chlorophyll a 농도는 해수 500 mL를 여과 후 1% 탄산마그네슘 용액으로 처리하고 여과지를 90% acetone에 넣어 냉장 보관하여 24시간 이내에 엽록소를 추출, 형광측정기 (Turner Designs 10-AU Fluorometer)를 이용하여 Parsons et al. (1984)에 의해 기술된 방법으로 분석하였다. 입자유기탄소 (POC)와 질소 (PON)는 계절과 해역에 따라 300~500 mL 해수를 550℃에서 5시간 동안 연소시킨 GF/F 여과지에 걸러서 산처리하여 탄산염을 제거한 후 CHN 원소분석기 (Perkin Elmer model 2400)를 이용하여 분석하였다. 단백질, 탄수화물 및 지질 분석용 시료는 1 L의 해수를 550℃에서 연소시킨 GF/F 여과지에 여과하였다. 단백질은 Folin-Ciocalteu를 이용하여 발색하는 Lowry et al. (1951)의 방법으로 bovine serum albumin을 표준용액으로 하여 분석하였다. 탄수화물은 glucose로 표준용액을 조제하고 Dubois et al. (1956)의 phenol-sulphuric acid 방법으로 분석하였다. 지질의 추출은 chloroform과 methanol 혼합액으로 추출하고 (Bligh and Dyer, 1959), 지질 함량은 Marsh and Weinstein (1966)의 방법으로 측정하였다.

총 부유입자물질 중에서 생물이 이용할 수 있는 가용 먹이는 입자유기물질인데, 실제로 입자유기물질은 단백질, 탄수화물 및 지질 등의 biopolymeric (simple molecules)한 부분과 heteropolycondensates 혹은 humic substances와 같은 geopolymeric (complex molecules)한 부분을 포함하고 있다 (Cauwet, 1981; Saliot et al., 1984). 생물이 실제 이용할 수 있는 부분은 biopolymeric한 부분이다. 따라서, 먹이물질 (food material)은 단백질, 탄수화물 및 지질 함량의 합으로 나타내었고, 먹이지수 (food index)는 총 부유입자물질 중 먹이물질의 %, 즉 [(먹이물질/총 부유입자물질) × 100]으로 정의하였다 (Widdows et al., 1979; Navarro et al., 1993). 입자유기물질 에너지 함량은 단백질, 탄수화물 및 지질에 대해 각각 24.0, 17.5 및 39.5 J/mg의 계수를 곱하여 에너지 상당량으로 변환하였다 (Gnaigner, 1983).

결 과

1. 수온 및 염분

수온과 염분의 월별 관측 자료는 두 해역 사이에 유사한 계절 변동 양상을 나타내었다 (Fig. 2). 월별 수온은 2월에 5℃ 내외로 가장 낮았고, 8월에 25℃ 내외로 가장 높아 계절별로 뚜렷한 차이를 보였다 (Fig. 2a). 염분은 여름철에 최소값을 기록하였는데 1999년에는 9월에 두 수역 모두 28 이하의 저염현상이 관찰된 반면, 2000년에는 7월과 8월에 28.55~30.59 범위로 저염화 되었다 (Fig. 2b). 한편, 겨울부터 봄철 사이의 염분은 두 수역 모두 33.11~34.10 범위에서 여름철에 비해 상대적으로 고염이 지속되고 있었다.

2. 총 부유입자물질, chlorophyll a, 입자유기탄소와 질소

총 부유입자물질, chlorophyll a 및 입자유기탄소와 질소의 월별 농도 분포는 입자유기탄소 및 질소 농도가 고성만 정점에 비하여 강진만 정점에서 다소 높은 듯하지만 총 부유입자물질과 chlorophyll a 농도는 대체로 두 해역에서 뚜렷한 차이를 나타내지 않

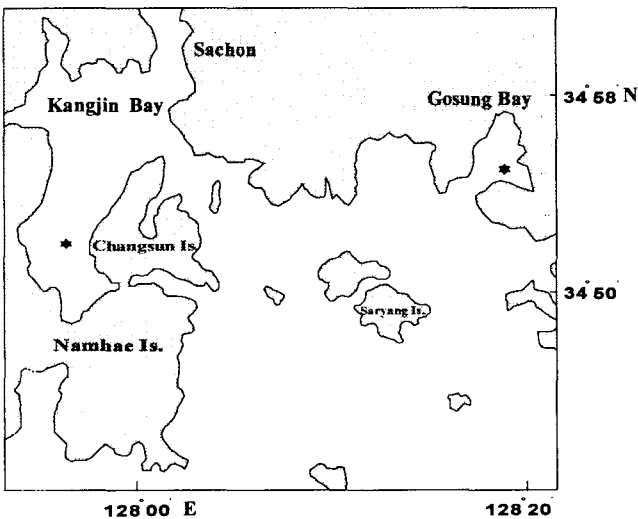


Fig. 1. Map showing the locations of Gosung and Kangjin Bays and the sampling ststions.

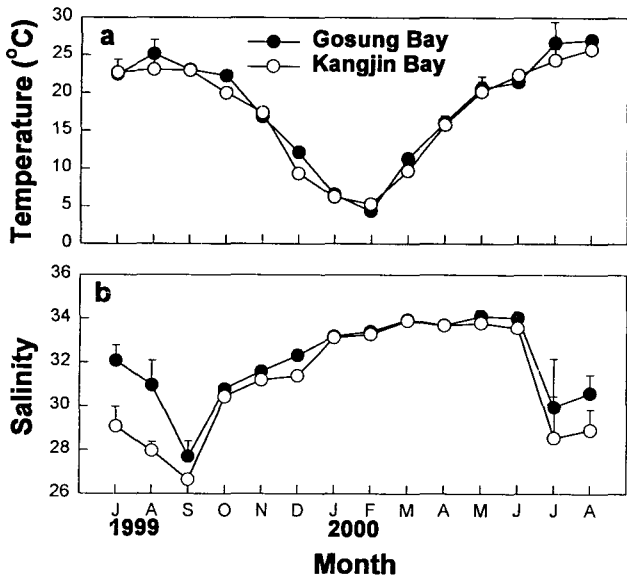


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature (a) and salinity (b). Vertical bars represent +SD.

는다는 것을 보이고, 월별 변동 양상은 두 해역이 유사하다는 것을 나타낸다 (Fig. 3). 총 부유입자물질 농도 분포는 고성만에서 4.6 (2000년 7월)~20.6 (2000년 5월) mg/L, 강진만에서 5.5 (2000년 1월)~18.5 (1999년 11월) mg/L였는데, 두 해역 모두 연중 비주기적인 몇 번의 높은 농도를 기록하였다.

Chlorophyll *a* 농도는 두 해역에서 여름철에 비교적 높은 농도를 나타내는 뚜렷한 계절 변동 양상을 보였다 (Fig. 3b). 고성만에서 chlorophyll *a* 농도의 주요 peak는 1999년 8월 (3.68 µg/L), 2000년 4월 (4.55 µg/L) 및 7월 (2.49 µg/L)에, 강진만에서는 1999년 9월 (7.50 µg/L)과 2000년 7월 (4.60 µg/L)에 기록되었다. 고성만에서 2000년 4월에 한번의 높은 peak를 제외하면 1999년 11월부터 2000년 5월 사이의 가을철에서 봄철에 이르는 기간 동안에는 두 해역 모두 1.5 µg/L 이하의 비교적 낮은 농도 분포를 나타내었다.

입자유기탄소와 질소 농도의 계절변동은 대체로 chlorophyll *a* 농도와 유사한 변동 양상을 나타내어 높은 농도는 여름철 식물플랑크톤 bloom기에 관측되었다 (Fig. 3c). 따라서 입자유기탄소 최대 농도는 고성만에서 1999년 9월과 2000년 4월 및 7월에 각각 445, 348 및 302 µg/L였고, 강진만에서는 1999년 9월과 2000년 7월에 각각 596과 597 µg/L였다. 여름철 높은 농도를 나타낸 후에 입자유기탄소 농도는 점차 감소하여 고성만에서는 2000년 1월에 195 µg/L, 강진만은 2000년 3월에 216 µg/L로 가장 낮은 값을 보였다. 입자유기질소의 높은 농도는 입자유기탄소와 동일한 시기에 고성만에서 각각 66, 62 및 55 µg/L, 강진만에서 각각 93과 86 µg/L을 보였다.

C:Chl *a* 비값의 계절 변동 역시 두 해역에서 유사하게 나타났다 (Fig. 4a). Chlorophyll *a*의 높은 농도가 나타나는 시기에 낮은 C:Chl *a* 비값을 나타낸 반면, 2000년 4월 고성만 정점에서 값을 제외하면 두 해역에서 가을에서 봄철에 이르는 기간에 대단히 높은 비값들을 보였다. C:N 비값은 1999년 8월과 11월에 고성만에서 12 이상의 높은 값을 기록하였으나 9 이하로 비교적 일정한

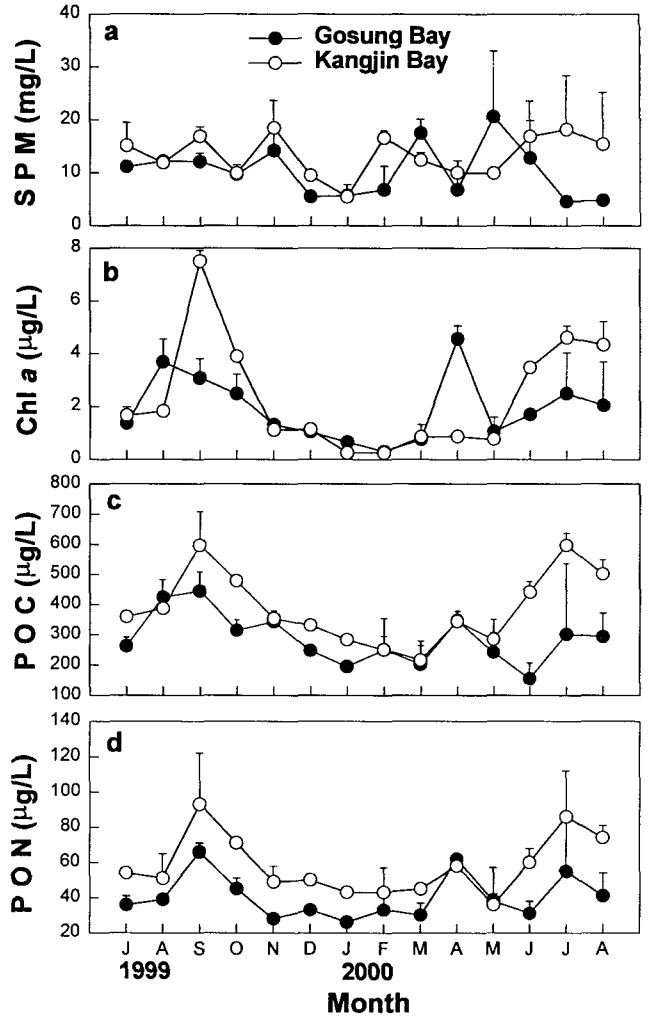


Fig. 3. Seasonal variations of suspended particulate matter (SPM) (a), chlorophyll *a* (Chl *a*) (b), particulate organic carbon (POC) (c) and nitrogen (PON). Vertical bars represent +SD.

분포를 나타내었다 (Fig. 4b).

### 3. 입자유기물질 중 먹이물질 (food material) 조성

입자 단백질 농도는 두 해역에서 유사한 계절 변동을 나타내었다 (Fig. 5a). 뚜렷한 높은 농도값들이 나타나는 시기는 chlorophyll *a*와 일치하였으며, 농도 범위는 고성만에서 65~219 µg/L, 강진만에서 70~329 µg/L였다.

입자 탄수화물의 높은 농도가 나타나는 시기 역시 chlorophyll *a* 농도와 일치하였으나 겨울철인 1999년 12월과 2000년 2월에도 다소 높은 농도들이 관찰되었다 (Fig. 5b). 농도 범위는 고성만에서 12~271 µg/L, 강진만에서 18~189 µg/L를 보였다.

고성만에서 입자 지질 농도는 1999년 9월 (82 µg/L)과 2000년 5월 (60 µg/L) 및 8월 (52 µg/L)에 높은 농도를 나타내었으나 나머지 조사월에서는 대체로 50 µg/L 이하 농도를 보였다 (Fig. 5c). 강진만에서 입자 지질 농도는 21~78 µg/L 범위를 나타내었는데,

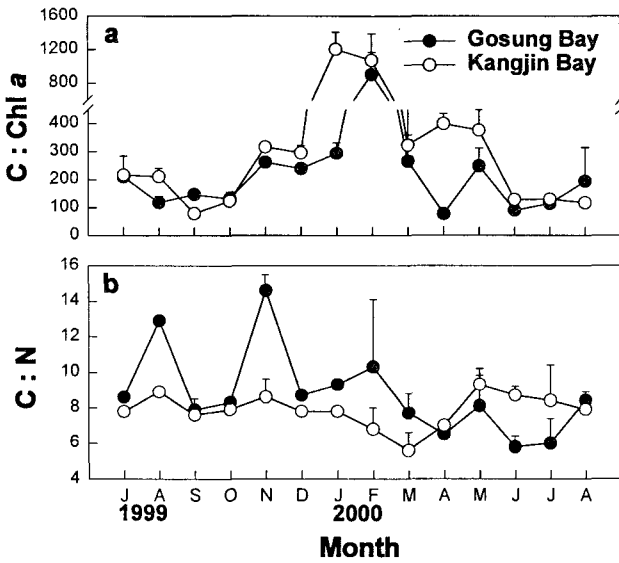


Fig. 4. Seasonal variations of C:Chl *a* (a) and C:N (b). Vertical bars represent +SD.

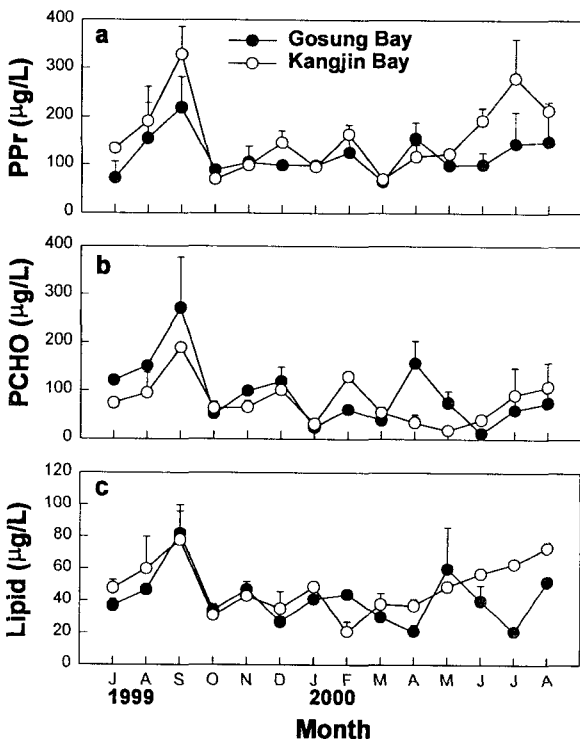


Fig. 5. Seasonal variations of particulate protein (PPr) (a), carbohydrate (PCHO) (b) and lipid (c). Vertical bars represent +SD.

1999년 9월과 2000년 8월에 각각 78과 73 µg/L로 다른 조사월에 비해 상대적으로 뚜렷이 높은 값을 보였다.

4. 먹이물질과 먹이지수

먹이물질의 월별 변동 양상을 이들 생화학 성분들의 농도로부터

계산된 에너지 함량의 계절 변동과 함께 Fig. 6에 나타내었다. 조사해역별로 먹이물질 농도와 에너지 함량 사이에 유사한 월별 변동 양상이 나타났고, 이들의 높은 농도는 해역별로 chlorophyll *a*에서 높은 농도가 나타나는 시기에 기록되었다. 또한 1999년의 최고 농도가 2000년의 최고 농도보다 다소 높게 나타났다. 입자유기물질 중 먹이물질 농도는 고성만과 강진만에서 2000년 3월에 각각 134와 164 µg/L로 가장 낮았고, 1999년 9월에 각각 572와 596 µg/L로 가장 높게 나타났다 (Fig. 6a). 따라서, 입자유기물질 중 먹이물질의 에너지 값도 고성만과 강진만에서 2000년 3월에 각각 3.44와 4.16 J/L로 가장 낮았고, 1999년 9월에 각각 8.22와 8.59 J/L로 가장 높게 나타났다 (Fig. 6b). 두 해역간에 이들 농도차이는 뚜렷하지 않았다 ( $p > 0.05$ ).

먹이지수 (food index)는 2000년 8월에 고성만에서 5.8%를 나타낸 것을 제외하면 연중 5%를 초과하지 않았다 (Fig. 6c). 먹이지수의 높은 농도 역시 chlorophyll *a*와 잘 일치하지만 1999년 12월에 2000년 2월 사이 겨울철에 두 해역에서 한차례 다소 높은 농도를 기록하였다.

5. 상관관계분석

조사된 모든 변수들을 log<sub>10</sub>으로 변환하여 상관관계분석 (correlation analysis)을 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다. 두 해역 모두

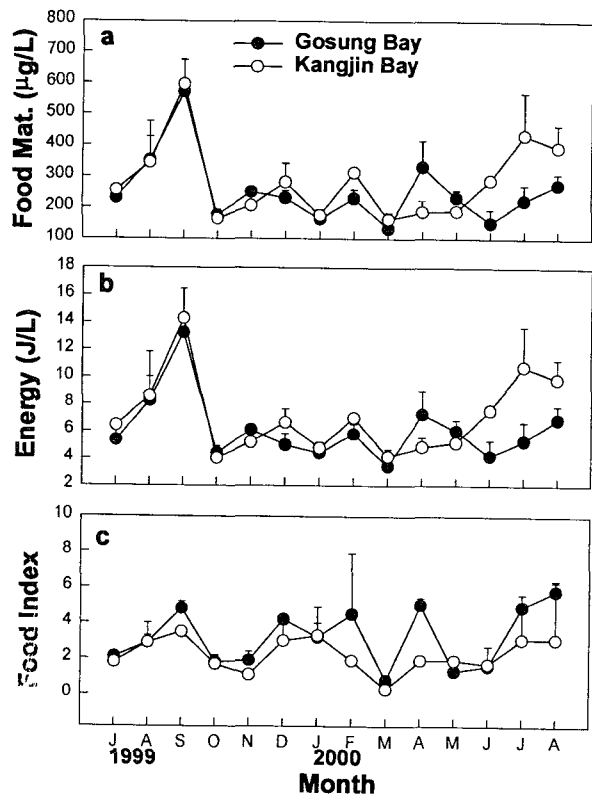


Fig. 6. Seasonal variations of food materials (food Mat.) (a) and energy content of food materials (b) and food index (c) based on [(Food material/total SPM) × 100]. Vertical bars represent +SD.

**Table 1.** Pearson product-moment correlation coefficient for water temperature (WT), salinity (S), suspended particulate matter (SPM), chlorophyll *a* (CHL), particulate organic carbon (POC), nitrogen (PON), protein (PPr), carbohydrate (PCHO), lipid, food material (Food) and energy content (E). \*0.01<p<0.05, \*\*0.001<p<0.01, \*\*\*p<0.001

|             | WT      | S        | SPM    | CHL      | POC      | PON     | PPr      | PCHO     | Lipid  | Food     | E        |
|-------------|---------|----------|--------|----------|----------|---------|----------|----------|--------|----------|----------|
| Gosung Bay  |         |          |        |          |          |         |          |          |        |          |          |
| WT          |         | -0.497   | 0.192  | 0.816*** | 0.408    | 0.496   | 0.234    | 0.277    | 0.091  | 0.331    | 0.323    |
| S           | -0.586* |          | 0.201  | -0.511   | -0.726** | -0.578* | -0.615*  | -0.539*  | -0.328 | -0.653*  | -0.651*  |
| SPM         | 0.151   | -0.075   |        | -0.020   | -0.037   | -0.203  | -0.335   | 0.005    | 0.441  | -0.055   | -0.005   |
| CHL         | 0.845** | -0.704** | 0.274  |          | 0.614*   | 0.717** | 0.509    | 0.422    | -0.106 | 0.526    | 0.493    |
| POC         | 0.743** | -0.752** | -0.045 | 0.889*** |          | 0.652*  | 0.666**  | 0.864*** | 0.202  | 0.845*** | 0.804**  |
| PON         | 0.583*  | -0.711** | 0.187  | 0.861*** | 0.912*** |         | 0.684**  | 0.577*   | -0.085 | 0.676**  | 0.642**  |
| PPr         | 0.402   | -0.616*  | 0.069  | 0.515    | 0.648*   | 0.578*  |          | 0.505    | 0.277  | 0.834*** | 0.860*** |
| PCHO        | 0.064   | -0.716** | 0.335  | 0.410    | 0.428    | 0.565*  | 0.547*   |          | 0.174  | 0.859*** | 0.779**  |
| Lipid       | 0.694** | -0.597*  | 0.102  | 0.645*   | 0.636*   | 0.517   | 0.595*   | 0.093    |        | 0.406    | 0.524    |
| Food        | 0.366   | -0.739** | 0.184  | 0.567*   | 0.662**  | 0.647*  | 0.960*** | 0.748**  | 0.546* |          | 0.985*** |
| E           | 0.419   | -0.732** | 0.163  | 0.585*   | 0.682**  | 0.645*  | 0.976*** | 0.671**  | 0.635* | 0.992*** |          |
| Kangjin Bay |         |          |        |          |          |         |          |          |        |          |          |

수온과 chlorophyll *a* 사이에 유의한 양의 상관관계 ( $p < 0.001$ )를 나타낸 반면, 염분은 총 부유입자물질을 제외한 전 조사성분과 약한 음의 상관관계 ( $p < 0.05$ )를 보였다. 두 해역 어디에서도 총 부유입자물질 농도는 입자유기물질 중 원소나 생화학 성분 중 어떤 성분과도 유의한 상관성을 나타내지 않았다. Chlorophyll *a*와 입자유기탄소 및 질소 사이에는 유의한 상관관계가 두 해역에서 나타났지만 (고성만  $p < 0.05$ , 강진만  $p < 0.001$ ), chlorophyll *a*는 강진만의 입자 지질을 제외하고는 두 해역의 입자 단백질과 탄수화물 및 고성만의 지질과 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 입자유기물질 중 먹이물질과 에너지 함량은 두 해역 모두 입자 단백질 및 탄수화물과 고도의 유의한 양의 상관 관계 ( $p < 0.001$ )를 보였고, 입자 지질과는 강진만에서 약한 상관관계 ( $p < 0.05$ )를 기록하였다. 그러나, 입자 단백질, 탄수화물 및 지질 등의 생화학 성분들 사이에 강한 유의성은 나타나지 않았다.

### 토 의

고성만과 강진만 총 부유입자물질은 해역간에 유사한 농도 분포로 뚜렷한 월별변동 양식을 나타내지 않았다. 따라서 총 부유입자물질 농도 변동을 이 해역들에 양식중인 부유물식자 이매패류들의 먹이 양 변동으로 고려하기는 어렵다. 그러나 입자유기물질 중 이매패류 먹이원으로 실제로 이용될 수 있는 먹이물질은 고성만의 경우 봄철에 단기간에 걸친 높은 농도가 나타났지만 두 해역 모두 여름철에 뚜렷이 높은 농도를 보이는 계절 변동성을 나타내었다. 이와 같은 계절 변동 특성은 다른 남해 내만 해역인 진해만 (Lee et al., 1994; Kang et al., 1999)이나 한산-거제만 (Lee et al., 1991; Choi et al., 1997)에서도 관측되어 왔다. 그러나 이 결과는 남해 외양역에서 봄과 가을철에 높은 입자유기물질 농도를 나타내는 것 (Jin, 2000)처럼 일반적으로 온대해역 외양역에서 봄철과 가을철에 나타나는 식물플랑크톤 대증식과 관련된 입자유기물질 증가 현상과는 다른 양상으로 밝혀졌다. 따라서 이들 내만 해역에

서 나타나는 여름철의 높은 먹이물질 농도는 양식패류의 생태와 관련하여 중요한 역할을 할 수 있을 것이다 (Kang et al., 2000; Park et al., 2001).

본 연구에서 나타난 총 부유입자물질과 입자유기물질 중의 원소나 생화학 조성 물질 농도 범위는 전세계 연안역에서 관측되어 온 농도 범위에서 벗어나지 않는 수준이었다 (Widdows et al., 1979; Anderson and Meyer, 1986; Berg and Newell, 1986; Navarro et al., 1993). 한편, 입자유기물질 조성 성분들의 농도를 한국 남해 다른 내만 해역들과 비교하면 부영양화된 진해만에 비해서는 상대적으로 낮은 수준이었으나 그 외 다른 내만 수역들과는 유사한 수준으로 나타났다 (Kang et al., 1999). 이들 조사해역들은 비교적 규모가 작은 내만역으로 특히 강우기에 육지로부터 점원·비점원의 용존 혹은 입자물질의 영향을 크게 받을 수 있는 곳이고, 뚜렷한 만일주조 조석운동에 의하여 유속은 비교적 빠른 곳이다. 따라서 식물플랑크톤 생산력에 기인한 유기물 외에 육상이나 외양 그리고 양식과정으로부터 유기쇄설입자의 유입이 있을 수 있고 얕은 수심에 기인하여 바람이 강한 계절에는 퇴적물 재부유에 의한 영향도 받을 수 있을 것으로 예상된다 (C:Chl *a* 비값으로 후에 다시 논의함). 이것은 본 연구에서 chlorophyll *a*와 입자유기물질의 생화학 성분들간에 어떤 상관관계도 보이지 않는다는 사실 (Table 1)에 의해서 추론될 수 있을 것 같다. 그러나 입자유기물질의 원소나 생화학 조성 성분의 높은 농도가 나타나는 시기는 chlorophyll *a*와 잘 일치하여 식물플랑크톤 생산이 입자유기물질의 중요한 조절자라는 것을 가리킨다.

고성만과 강진만 모두 여름에 식물플랑크톤 대증식이 나타난다는 것을 보였다. 고성만에서 4월에 나타난 식물플랑크톤 대증식은 일반적으로 온대 연안 해역에서 일어나는 식물플랑크톤 대증식으로 설명이 가능할 것 같다. 여름철에 한반도 남해 연안 내만 해역에서 일어나는 식물플랑크톤 대증식은 계절적으로 강우기인 이른 여름철에 다량의 영양염을 함유한 육수가 유입됨으로서 해수가 저염화되는 여름철에 수온 증가에 따라 수주 안정도 증가와 함께

식물플랑크톤 대증식이 일어난다는 Kang et al. (1999)의 보고에 의해서 추론될 수 있을 것 같다. 본 연구에서 나타난 chlorophyll *a*와 수온사이의 유의한 상관관계와 염분과의 사이에 나타난 음의 상관관계도 이와 같은 사실을 잘 뒷받침하는 것으로 보인다. 결국, 염분과 전 입자유기물질 조사 항목사이에 나타난 음의 상관관계는 육수유입과 더불어 저염화되는 여름철 식물플랑크톤 증가를 반영하고 있다 (Table 1).

입자유기물질 중 한 성분의 다른 성분에 대한 비값은 그 입자유기물질의 먹이로서의 질을 나타낼 수 있고 이것은 입자유기물질의 월별 조성 차이에 기인한다. 이 비값들은 또한 입자유기물질 기원을 설명할 수도 있다. C:Chl *a* 비는 입자유기물질의 조성차이를 나타내는데 유용하게 이용된다 (Zeitzschel, 1970; Berg and Newell, 1986). 100 이하의 비값은 입자유기탄소의 대부분이 식물플랑크톤에 주로 유래하는 것으로 고려되고, 높은 값일수록 유기쇄설입자 (non-living detritus)의 점유율이 높아진다는 것을 나타낸다. 연구해역에서 입자유기탄소와 질소 농도는 식물플랑크톤의 높은 농도가 나타나는 시기와 잘 일치한다. 따라서 chlorophyll *a*의 높은 농도가 나타나는 시기에 이 C:Chl *a* 비값은 100 내외의 낮은 값을 보여 식물플랑크톤 기여가 높다는 것을 나타내었지만, 가을에서 봄철 사이에 상대적으로 300 이상의 높은 값이 나타났는데, 특히 겨울철에는 800 이상의 극히 높은 값을 나타내어 이 기간에 입자유기탄소에 대한 높은 유기쇄설입자 기여를 시사해준다. C:N비 역시 입자유기물질 중 유기쇄설입자나 육상기원 입자의 기여를 나타낸다 (Menzel and Ryther, 1964; Pocklington and Leonard, 1979). 일반적으로 7 이상의 C:N 비값은 입자유기물질의 많은 부분이 유기쇄설입자라는 것을 나타내고 그것보다 낮은 값은 높은 생물 기여를 나타낸다. 일반적으로 식물플랑크톤의 전형적인 C:N비값은 6~7로 알려져 있다. 본 연구에서 C:N 비값은 극히 일부 기간을 제외하면 7 이상의 높은 값을 보여 입자유기물질 상당 부분이 유기쇄설입자로 이루어져 있음을 나타내고 있다.

이때패류 양식활동이 활발한 연구 해역과 같은 내만해역에서 생물배설물 (biodeposits)이 대단히 높다는 것을 고려할 때 생물배설물이나 이것들을 다량 함유한 표층퇴적물의 재부유는 부유입자물질의 유기물 조성에 큰 영향을 미칠 수 있을 것이다. Anderson and Meyer (1986)은 재부유된 퇴적물 입자들은 단백질 함량이 탄수화물에 비해 상대적으로 낮고 이에 따라 질소함량이 낮다고 보고하였다. 본 연구에서 입자 단백질과 탄수화물의 높은 농도가 나타나는 시기는 chlorophyll *a*와 잘 일치하지만 늦은 가을과 겨울철에도 특히 탄수화물 농도에서 다른 계절에 나타난 높은 농도에 상당하는 수준의 다소 높은 농도들이 나타났는데, 이것은 가을과 겨울철 표층퇴적물의 재부유를 시사하며 또한 이와 같은 재부유는 이 기간에 나타나는 높은 C:N 비값에 의해서도 추론될 수 있다.

따라서, 이상에서 살펴본 결과들은 고성만과 강진만에서 입자유기물질의 영양 특성은 여름철에 일어나는 (고성만에서 4월의 일시 높은 농도를 포함하여) 식물플랑크톤 대증식에 의해 크게 조절되기도 하지만 이것과 함께 식물플랑크톤 생물량이 낮은 시기에 입

자유기물질에 대한 또 다른 과정들에 의한 기여가 있다는 것을 시사한다. 이에 대한 가능한 요인으로서 앞에서 고찰한 바와 같이 가을철 이후 수주의 혼합에 기인한 퇴적물 재부유 외에도 식물플랑크톤 대증식후 쇠퇴기에 나타나는 미생물의 존재 (Navarro and Thompson, 1995; Danovaro and Fabiano, 1997), 겨울철에 다른 생물군에 비하여 상대적으로 높은 미생물 기여 (Galois et al., 1996), 양식생물 배설물 및 육상으로부터 유입 등이 있을 수 있다.

본 연구해역에서 먹이물질은 그것들의 에너지 값과 함께 가을부터 봄철사이에 다소 높은 농도가 관찰되었지만 가장 높은 농도는 여름철에 나타났다. 이것은 일본 Funka Bay나 영국 Lynher estuary에서 겨울철에 그 농도가 가장 높고 여름철에 가장 낮다는 결과들 (Maita and Yanada, 1978; Widdows et al., 1979)과는 전혀 다른 양상이었지만, 미국 Galveston Bay (Texas)나 Tred Avon River 하구 (Maryland) 에서 여름철에 가장 높은 농도를 보인다 (Soniati et al., 1984)는 것과 잘 일치한다.

연구 해역에서 먹이지수는 대체로 6%를 넘지 않는 수준이었다. 이 지수값을 다른 수역들과 비교할 때 본 연구 해역 입자유기물질은 영양상태에 있어서 상대적으로 다소 낮은 질 (quality)을 나타내는 것으로 평가된다. 예를 들어, 캐나다 Logy Bay (Newfoundland)에서 이 지수는 겨울철에 6% 이하로 낮아지지만 식물플랑크톤의 bloom이 일어나는 봄철의 일부 기간에 최대 55%까지 높아진다 (Navarro and Thompson, 1995). Galveston Bay에서 이 지수는 11% 이하를 나타내었고 (Soniati et al., 1984), Lynher estuary에서는 여름철에 먹이물질 농도 변동과는 역으로 겨울철에 6% 수준이지만 여름철에는 25%까지 높아진다. 총 부유입자물질의 증가는 무기물 증가와 함께 유기물 감소를 가져온다는 것이 여러 연구들에서 나타났지만 (Anderson and Meyer, 1986; Berg and Newell, 1986), 본 연구에서 이와 같은 결과는 명확하지 않았다. 본 연구 해역들에서 대체로 높은 먹이지수 값들은 오히려 먹이물질 농도가 높은 시기에 나타나고 있다.

결과적으로, 본 연구결과들은 양식활동이 활발한 이들 해역에서 총 부유입자물질 농도나 특정 화학성분 분석만으로는 입자유기물질의 먹이로서의 유용한 정보를 효과적으로 제시할 수 없다는 것을 나타낸다. 따라서, 식물플랑크톤 변동과 함께 입자유기물질의 먹이물질과 먹이지수 변동을 동시에 측정함으로써 이때패류에 유용한 먹이로서 입자유기물질 농도나 질을 더욱 효과적으로 나타낼 수 있을 것이다. 부유물식자 양식 이때패류 성장과 비만 및 생리생태의 정확하고 과학적인 이해는 이와 같은 유용 먹이의 계절변동이나 공급과정에 대한 정보로 더욱 명확해 질 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

한반도 남해안의 고성만과 강진만에 대한 입자유기물질 양과 현탁물식자를 위한 먹이로서의 질의 월별변동을 밝히기 위하여 부유입자물질의 원소 및 생화학 조성에 대한 현장조사를 1999년 7월부터 2000년 8월까지 실시하였다. 두 해역의 총 부유입자물질

은 해역간에 유사한 농도 분포로 뚜렷한 월별 변동 양식을 나타내지 않았다. 그러나 이들 생물군의 잠재 먹이원인 입자유기물질 조성성분들은 두 해역 모두 여름철에 뚜렷이 높은 농도를 보이는 계절 변동성을 나타내었다. 한편, 입자유기물질의 원소나 생화학 조성 성분의 높은 농도가 나타나는 시기는 chlorophyll *a*와 잘 일치하여 식물플랑크톤 생산이 입자유기물질의 중요한 조절자라는 것을 가리킨다. 그러나, chlorophyll *a*와 입자유기물질 조성성분(입자 단백질, 탄수화물 및 지질)들 사이에 유의한 상관관계는 나타나지 않았고, 이들 생화학 성분들 간에도 높은 상관성은 발견되지 않았다. 이와 같은 결과들은 식물플랑크톤 생물량이 낮은 시기에 연구 해역들의 입자유기물질에 대한 또 다른 과정들에 의한 기여가 있다는 것을 시사하였는데, 가을에서 봄철사이에 높은 C:Chl *a*, C:N 비 및 입자 탄수화물의 높은 농도 등은 입자유기물질의 생화학성분 농도가 표층 퇴적물 재부유나 양식생물의 배설과 같은 과정들에 의해 영향을 받고 있다는 것을 나타낸다. 본 조사해역에서 입자유기물질 중 생화학 성분들의 합으로 나타낸 먹이물질은 그것들의 에너지 값과 함께 가을부터 봄철사이에 다소 높은 농도가 관찰되었지만, 가장 높은 농도는 여름철에 나타났다. 총 부유입자물질 중 먹이물질이 차지하는 비율로서 표시한 먹이지수는 대체로 6%를 넘지 않는 수준으로 입자유기물질의 영양상태에 있어서 다소 낮은 질을 나타내는 것으로 평가되었다. 본 연구 결과는 식물플랑크톤 변동과 함께 입자유기물질의 먹이물질과 먹이지수 변동을 동시에 측정함으로써 현탁물 섭식자 생물군의 성장과 비만 및 생리상태를 이해하기 위한 자연의 먹이환경으로서 입자유기물질 농도나 질을 더욱 효과적으로 나타낼 수 있다는 것을 보인다.

### 감사의 글

본 연구는 국립수산진흥원 고유연구과제인 연안어장 적정 환경관리기술연구 중 어장환경 평가연구의 일부로 수행되었습니다. 익명의 세분 심사위원의 세심한 심사와 날카로운 지적에 심심한 감사사를 드립니다. 장기간의 현장조사를 도와준 국립수산진흥원 환경관리과의 김형철, 구준호씨와 시료의 분석을 도와주신 김기령양에게 깊은 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- Anderson, F.E. and L.M. Meyer. 1986. The interaction of tidal currents on a disturbed intertidal bottom with a resulting change in particulate matter quantity, texture and food quality. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 22, 19~29.
- Bayne, B.L., A.J.S. Hawkins, E. Navarro and J.I.P. Iglesias. 1989. The effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 55, 47~54.
- Bayne, B.L., J. Widdows and R.I.E. Newell. 1977. Physiological measurements on estuarine bivalve molluscs in the field. In *Biology of benthic organisms*, B.K. Keegan, P. O'Ceidigh and P.J.S. Boaden, eds. Pergamon, New York, pp. 57~68.
- Bayne, B.L., J.I.P. Iglesias, A.J.S. Hawkins, E. Navarro, M. Héral and J.M. Deslous-Paoli. 1993. Feeding behaviour of the mussel *Mytilus edulis* L.: Responses to variations in both quantity and organic content of seston. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 73, 813~829.
- Berg, J.A. and R.I.E. Newell. 1986. Temporal and spatial variations in the composition of seston available to the suspension feeder *Crassostrea virginica*. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 23, 375~386.
- Bligh, E.G. and W.F. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37, 911~917.
- Cauwet, G. 1981. Non-living particulate matter. In *Marine organic chemistry. Evolution, composition, interactions and chemistry of organic matter in sea water*, E.K. Duursma and R. Dawson, eds. Elsevier, Amsterdam, pp. 71~89.
- Danovaro, R. and M. Fabiano. 1997. Seasonal changes in quality and quantity of food available for benthic suspension-feeders in the Golfo Marconi (North-western Mediterranean). *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 44, 723~736.
- Dubois, M.K., A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric determination of sugar and related substances. *Analyt. Chem.*, 18, 350~356.
- Foster-Smith, R.L. 1975. The effect of concentration of suspension and inert material on the assimilation of algae by three bivalves. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 55, 411~418.
- Galois, R., P. Richard and B. Fricourt. 1996. Seasonal variations in suspended particulate matter in the Marennes-Oléron Bay, France, using lipids as biomarkers. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 43, 335~357.
- Gnainiger, E. 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption, Appendix C. In *Polarographic oxygen sensors*, E. Gnainiger and H. Forstner, eds. Springer-Verlag, Berlin, pp. 337~345.
- Hawkins, A.J.S., B.L. Bayne, S. Bougrier, M. Héral, J.I.P. Iglesias, E. Navarro, R.F.M. Smith and M.B. Urrutia. 1998. Some general relationships in comparing the feeding physiology of suspension-feeding bivalve molluscs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 219, 87~103.
- Iglesias, J.I.P., E. Navarro, P. Alvarez-Jorna and I. Armentia. 1992. Feeding, particle selection and absorption in cockles *Cerastoderma edule* (L.) exposed to variable conditions of food concentration and quality. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 162, 177~198.
- Jin, H.G. 2000. Biogeochemical characteristics in the coastal front region in the southern Sea of Korea. Ph. D. Thesis. Pukyong National Univ., pp. 160 (in Korean).
- Jørgensen, C.B. 1966. *The Biology of Suspension Feeding*. Pergamon Press, Oxford, England, pp. 61~109.
- Kang, C.K., M.S. Park, P.Y. Lee, W.J. Choi and W.C. Lee. 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *J. Shellfish Res.*, 19, in press.
- Kang, C.K., P.J. Kim, W.C. Lee and P.Y. Lee. 1999. Nutrients and phytoplankton blooms in the southern coastal waters of Korea: I. The elemental composition of C, N, and P in particulate matter in the coastal bay systems. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 34, 86~94.
- Kjørboe, T., F. Mohlenberg and O. Nohr. 1980. Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algae and resuspended bottom material. *Ophelia*, 19, 193~205.
- Lee, B.D., H.K. Kang and Y.J. Kang. 1991. Primary production in the oyster farming bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 39~51.

- Lee, P.Y., C.K. Kang, J.S. Park and J.S. Park. 1994. Annual change and C:N:P ratio in particulate organic matter in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29, 107~118.
- Lowry, O.M., N.I. Roseborough, A.L. Farrand and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, 263~275.
- Maita, Y. and M. Yanada. 1978. Particulate protein in coastal waters, with special reference to seasonal variation. *Mar. Biol.*, 44, 329~336.
- Mayzaud, P. and S. Taguchi. 1979. Size spectral and biochemical characteristics of the particulate matter in the Bedford Basin. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 36, 211~218.
- Mayzaud, P., J.P. Chanut and R.G. Ackman. 1989. Seasonal changes of the biochemical composition of marine particulate matter with special reference to fatty acid and sterols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 56, 189~204.
- Mayzaud, P., S. Taguchi and P. Laval. 1984. Seasonal patterns of seston characteristics in Bedford Basin, N.S., relative to zooplankton feeding: a multivariate approach. *Limnol. Oceanogr.*, 29, 745~762.
- Menzel, D.W. and J.H. Ryther. 1964. The composition of particulate organic matter in the western north Atlantic. *Limnol. Oceanogr.*, 9, 179~186.
- Navarro, E., J.I.P. Iglesias, M.M. Ortega and X. Larretxea. 1994. The basis for a functional response to variable food quantity and quality in cockles *Cerastoderma edule* (Bivalvia, Cardiidae). *Physiol. Ecol.*, 67, 468~496.
- Navarro, J.M. and R.T. Thompson. 1995. Seasonal fluctuations in the size spectra, biochemical composition and nutritive value of the seston available to a suspension-feeding bivalve in a subarctic environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 125, 95~106.
- Navarro, J.M., E. Clasing, G. Urrutia, G. Asencio, R. Stead and C. Herrera. 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 37, 59~73.
- Park, M.S., C.-K. Kang and P.-Y. Lee. 2001. Reproductive cycle and biochemical composition of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Screnck) in a southern coastal bay of Korea. *J. Shellfish Res.*, 20, in press.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York, pp. 173.
- Pocklington, R. and J.D. Leonard. 1979. Terrigenous organic matter in sediments of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36, 1250~1255.
- Poulet, S.A., D. Cossa and J.C. Marty. 1986. Combined analysis of the size spectra and biochemical composition of particles in the St. Lawrence estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 30, 205~214.
- Saliot, A., A. Lorre, J.C. Marty, P. Scribe, J. Tronczynski, M. Meybeck, S. Dessery, M. Marchand, J.C. Caprais, G. Cauwet, H. Etcheber, J.C. Relexans, M. Ewald, P. Berger, C. Belin, D. Gouleau, G. Billen and M. Somville. 1984. Biogéochimie de la matière organique en milieu estuarien: stratégies d'échantillonnage et de recherche élaborées en Loire (France). *Oceanol. Acta*, 7, 191~207.
- Smaal, A.C. and H.A. Haas. 1997. Seston dynamics and food availability on mussel and cockle beds. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 45, 247~259.
- Smaal, A.C., J.H.G. Verhagen, J. Coosen and H.A. Haas. 1986. Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the Oosterschelde, the Netherlands. *Ophelia*, 26, 385~399.
- Soniati, T.M., S.M. Ray and L.M. Jeffrey. 1984. Components of the seston and possible available food for oysters in Galveston Bay, Texas. *Contrib. Mar. Sci.*, 27, 127~141.
- Urrutia, M.B., J.I.P. Iglesias, E. Navarro and J. Prou. 1996. Feeding and absorption in *Cerastoderma edule* under environmental conditions in the Bay of Marennes-Oléron (W. France). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 76, 431~450.
- Widdows, J., P. Fieth and C.M. Worrall. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 50, 195~207.
- Winter, J.E. 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranch bivalves, with special reference to aquaculture systems. *Aquaculture*, 13, 1~33.
- Zeitzschel, B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.*, 7, 305~318.

---

2001년 2월 5일 접수

2001년 6월 12일 수리