

## 프랑스 굴축양지의 저서미소조류의 생체량 변동에 대한 환경요인

나 기 환

어장환경연구소

## The Environmental Factors on the Biomass Variation of the Benthic Microalgae at the Oyster Culture Ponds in France

Gui-Hwan Na

Fisheries and Aquaculture Environment Laboratory,  
Koje 656-850, Korea

### ABSTRACT

In Bouin polder, one of the oyster culture zone on landbase in France, artificial substrate was suspended every week to study the variation of the biomass of benthic microalgae as the chlorophyll a. The meteorological and physico-chemical factors in sea water were studied by analysing the correlationship, correlation circle and principal component of these factors. Among the meteorological factors such as insolation, precipitation and wind, insolation was one of the most prominent factors associated with the increase of water temperature, salinity, pH and biomass but with the decrease of turbidity, dissolved oxygen and nitrate. Nitrate was the main contributor for the variation of biomass among the other nutrient components, while phosphate and silicate increased in summer when the biomass increased.

### 서 론

프랑스의 굴양식 과정 중 채묘 후 성장기간의 대부분은 비교적 부유현탁물이 많은 강 하구와 같은 연안의 조간대에서 우리나라의 걸대식과 비슷한 양식방법으로 양식하여 2년 내지 3년 후 수확하여 소비하고 있다. 조차(tidal range)가 큰 대서양연안(4~8 m)에서는 우리나라의 서해안 염전과 비슷한 형태의 굴 축양단지를 만들어 대조시 수문을 열어 주수로에 바닷물을 가득어(나 1995) 대략 크기가 400 m<sup>2</sup>내지 600 m<sup>2</sup>, 수심이 60 cm 되는 연못에 해수를 흘려보내면서 봉투식 PVC 격자망에 굴을 20 kg씩 넣어 연못 바닥에 깔아 놓고 굴에 맛을 붙이는 "affinage" 과정을 거친 후 크기별로 선별하여 시장에 출하하고 있다(Moreau 1970; Robert 1983). 이 맛붙이기 과정 중 연못에 물을 조금씩 흘려 보내주면 바닥에서 저서미소조류인 부착규조류들이 일시에 대량 분열 증식한 후 세포들이 전형적인 색깔인

황갈색에서 푸른색으로 변하는데 이들을 굴들이 여과섭식하면 굴의 연노란 조직과 구조세포들의 푸른색이 조화되어 연록색굴(verdissement)이 되어 시장성이 좋아지게 되어 프랑스 굴 축양어민들은 이러한 연록색굴을 얻기 위한 노력을 기울이고 있으나, 아직까지도 많은 연구자들의 노력에도 불구하고(Ranson 1927; Moreau 1970; Neuville 1978; Robert 1983) 연록색굴을 일으키는 저서미소규조류가 황갈색에서 푸른색으로 변하는 세포생리 변화에 대한 근본 기작이 밝혀져 있지 않아 자연현상에 의존할 뿐이다.

이러한 저서미소규조류들은 저질표본에서 동정한 결과(Rince 1978), 대부분 부착 규조들로서 이들은 저질 뿐 아니라 격자망에도 번무하여 대조시 마다 흔들어 부착규조를 털어주어야 조류소통이 좋아지게 되어 굴의 성장도 좋아지게 된다. 이들은 또한 생산적인 측면에서도 조간대 생태에 중요한 몫을 차지하고 있고, 또한 부착규조는 전복, 소라 등의 인공종묘생산에 있어서 초기먹이로도 필수적이므로 이들의 변동에 대한 환경요인을 파악하기 위해 본 연구는 이미 보고한 내용과 동일한 장소에서(나 1995) 같은 방법으로 조사한 내용 중 생체량 변동을 chlorophyll a 함량변화로 파악하고, 축양단지 내의 기상과 물의 이화학적 성분분석을 통하여 변동요인을 추정할 결과를 보고한다.

## 재료 및 방법

### 기상자료와 처리

조사 기간 중 기상 자료는 조사 정점에서 약 20 km 떨어진 가장 가까운 Chateau-Bougon 공항의 일조시간, 강수량 및 바람자료를 이용하여 평균치 이동방법으로 산술평균치의 계급을 7로 하여(Spiegel 1972) IFREMER 중앙전자계산소에서 Foucart (1982)의 방법에 따라 PCA (principal component analysis) 분석을 하였다.

### 정점선정과 표본채집

굴 양성지의 연못(크기: 400~600 m<sup>2</sup>, 깊이: 60 cm)에서 보고한 바와 같이(나 1995) 동일한 장소에서 물의 정체 정도에 따라 제2차 수로에 정점 1을 정하고, 연못에서 정체된 후 배수하는 배수구 부근에 나무로 각각 4각틀을 만들어 자체부력으로 떠 있도록 한 후 여기에 매주 새로운 투명파판(20 cm×15 cm)을 정점별로 수하시켜 주단위로 표본채집을 하였으며 수하된 파판은 1개월 간격으로 세척하여 재 사용하였다.

### 해수분석과 자료처리

Rince (1978)와 Robert (1983)에 의하면 연못의 표층과 저층의 이화학적 성질은 크게 다르지 않다고 하여 매주 1회씩 표층에서만 채수하여 환경요인을 분석하였다. 수온은 봉상온도계로, 염분은 Autosal 8400으로, pH는 Minisis 500 (Taccussel), 탁도는 탁도계 2100A (HACH)로, 용존산소는 Winkler 방법으로, 암모니아는 Solorzano (1969)법으로, 영양염(아질산, 질산, 규산염, 인산염)은 Technicon 자동분석기로 분석하였다.

실제자료는 변화가 심하여 계급을 4로 하여 중앙값 평균이동방법으로 처리한 후 각 요인별, 정점별로 상관계수와 주성분분석(PCA)을 하였다.

## 결 과

## 기후변동

조사 기간 중 조사지역의 기상변화는 Fig. 1과 같다. 1월에는 강우량과 흐린날이 많았고, 2월부터 4월까지의 강우량이 적은 반면 일조량은 점차 증가되었다. 5월 들어 기단의 불안정으로 강우량과 바람이 강하였다. 이때 일조시간은 평균 5시간 이하였으며 6월부터 8월 중순까지 이 지역의 특징인 맑고 건조한 날씨가 계속되었다. 8월 말에 다시 5월과 같이 기단이 불안정 해져 10월부터 12월까지 구름이 많고 강우량이 많은 날씨가 계속 되었다.

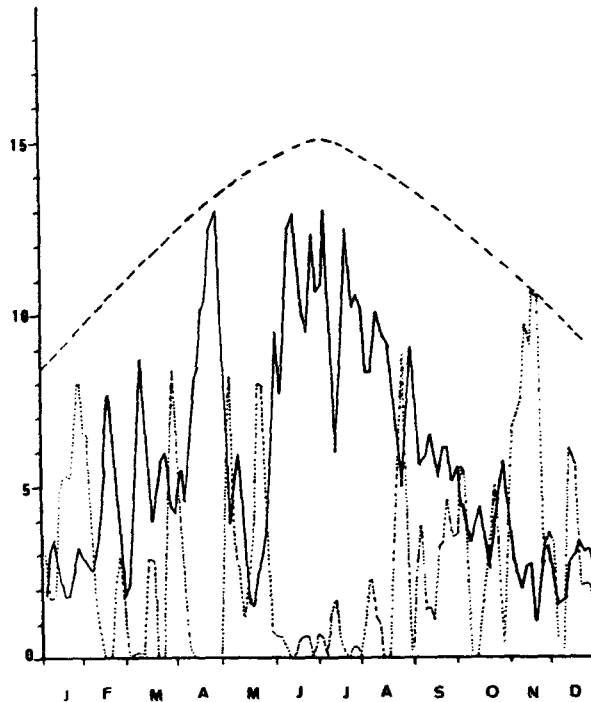


Fig. 1. Variation of meteorological data (--- ; theoretic insolation, — ; real insolation, ..... ; precipitation) in 1984 by the method of median mobile from order 7.

## 물리 화학적 요인 변동

수온은 2월에 최저 2.8°C, 7월 말에 최고 22.8°C를 나타내었고, 염분은 겨울철 강우에 의해 2월 초에 최저 27.05‰, 9월 초에 최고 39.01‰를 나타내었다. 탁도는 낮은 수심과 강한 바람의 영향으로 겨울철에 최고 156NTU에서 1.2NTU를 나타내었으나, 물의 정체에 따라 탁도는 정점 1보다 정점 2에서 점차 감소하였으며 pH는 정점 1에서 겨울에는 7.9 전후, 여름에는 8.0 전후에서 변한 반면 정점 1보다 물의 정체가 심한 정점 2에서 여름에 8.3까지 올라갔다.

용존산소는 정점 2에서 3월 중순에 7.46 ml/l로 최고치를 보인 반면 7월 말에 정점 1에서 2.47 ml/l로 최저치를 보였다. 이것을 산소포화도로 환산하면 7월말 정점 1에서 50.3%, 겨울에 90에서 100%로 증가되었으며 정점 2에서는 8월 중순 55.7%에서 겨울에 90에서 100%의 수준을 나타내었다.

영양염 중 암모니아는 10.0 µg-at/l와 20.0 µg-at/l의 농도변화를 보여 계절에 따른 변화의 폭이 컸으며, 대체적으로 겨울과 봄에 낮았고 여름에는 정점 2에서 정점 1보다 높았다. 아질산염은 일반적으로 암모니아의 1/10 수준으로 변화하였다. 질산염은 계절과 정점에 따라 크게 변하였는데, 정점 1에서 겨울에 최대 농도를 나타냈고 정점 2에서는 5월부터 9월까지 1.0 µg-at/l 이하였다. 6월부터 9월까지 인산염은 질산염의 감소에 따라 2.0 µg-at/l 이상으로 증가하였다. 규산염은 1월부터 5월까지 질산염과 같이 동일한 변화를 보였으나, 6월부터 증가하기 시작하여 9월까지 증가하였으며 봄, 가을에 감소하고 여름, 겨울에 증가하였다(Fig. 2).

위의 해수의 이화학적 분석결과를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Variation of different parameters between 2 stations

	Station 1				Station 2			
	N	M	D	V	N	M	D	V
Temperature	49	12.30	5.50	31.40	49	12.50	5.70	33.70
Salinity	49	32.70	2.70	6.70	49	33.10	3.40	11.60
PH	49	8.03	0.11	0.01	49	8.14	0.13	0.02
Turbidity	49	18.10	27.60	776.60	49	7.20	6.20	39.20
DO	49	5.66	1.29	1.70	49	5.69	1.14	1.34
DO sat.	49	90.40	12.60	16.20	49	91.60	10.00	101.00
Ammonia	49	7.35	3.97	16.10	49	6.13	4.97	25.20
Nitrite	47	0.58	0.30	0.09	47	0.57	0.39	0.16
Nitrate	47	11.55	14.47	214.20	47	8.81	13.57	188.10
Silicate	47	32.80	11.98	146.60	47	40.11	29.86	911.20
Phosphate	47	1.61	0.87	0.78	47	1.67	1.42	2.06
Chlorophyll a	46	0.90	0.87	0.78	48	0.47	0.41	0.22

N : sampling number, M : mean, D : standard deviation, V : variance

각 요인별 변화량에 있어서 가장 변화가 큰 요인은 물리적 요인 중 탁도(turbidity)였으며, 화학적 요인 중에서는 영양염인 질산염(nitrate)과 규산염(silicate) 이었다.

각 인자간 상관계수를 구한 결과는 Table 2와 같다.

상관계수의 유의성 검정은 Heral et al. (1978)과 같이 ±0.52에서 ±0.63일때 유의성이 있고(significant), ±0.64 이상일때를 매우 유의성이 있다(high significant)고 본다면 정점 1에서는 온도, 염분, pH, 인산염, chlorophyll a의 함량은 같은 경향으로 변하였으며 질산염, 용존산소, 탁도는 이와 반대로 변하였다. 규산염은 겨울에 높았고, 암모니아와 chlorophyll은 여름과 가을에 최대치를 나타내었다. 정점 2에서도 정점 1과 비슷했지만 질산염과 탁도는 더 뚜렷한 변화를 보인 반면 chlorophyll 함량과 용존산소는 상관정도가 더 낮았다.

Table 2. Inter-parameter correlation matrix by the method of Brabais and Pearson between the physico-chemical factors

## Station 1

	Temp.	Sal.	pH	Tur.	DO	DOS	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CHL1
Temp.	1.00				++	++			++	++		+
Sal.	0.32	1.00						+	++			
PH	0.43	0.44	1.00	+					+			
Tur	-0.43	-0.01	-0.57	1.00								
DO	-0.94	-0.25	-0.36	0.41	1.00	++			+	++		+
DOS	-0.67	0.02	-0.09	0.25	0.87	1.00				+		
NH <sub>4</sub>	0.29	0.03	-0.03	-0.07	-0.23	-0.10	1.00					
NO <sub>2</sub>	-0.02	-0.55	-0.49	-0.18	-0.01	-0.13	0.60	1.00			++	
NO <sub>3</sub>	-0.66	-0.68	-0.62	0.39	0.58	0.24	-0.09	0.43	1.00			
PO <sub>4</sub>	0.72	0.17	0.33	-0.24	-0.71	-0.57	0.38	0.19	-0.32	1.00		+
SiO <sub>2</sub>	0.26	-0.29	-0.35	0.18	-0.35	-0.50	0.42	0.67	0.32	0.62	1.00	
CHL1	0.60	0.50	0.42	-0.33	-0.55	-0.35	-0.06	-0.47	-0.49	0.48	-0.12	1.00

## Station 2

	Temp.	Sal.	pH	Tur.	DO	DOS	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	CHL1
Tamp.	1.00		++		++				++			
Sal.	0.31	1.00							+			
PH	0.64	0.22	1.00		+				+			
Tur.	-0.37	-0.30	-0.41	1.00					++			
DO	-0.93	-0.34	-0.53	0.29	1.00	+			++	+		
DOS	-0.30	0.08	0.04	-0.14	0.52	1.00						
NH <sub>4</sub>	0.15	0.24	-0.21	-0.02	-0.30	-0.32	1.00	++				
NO <sub>2</sub>	-0.31	-0.14	-0.49	0.26	0.06	-0.27	0.83	1.00				
NO <sub>3</sub>	-0.70	-0.59	-0.61	0.66	0.65	-0.04	-0.09	0.39	1.00			
PO <sub>4</sub>	0.51	0.26	0.22	0.07	-0.53	-0.31	0.42	0.32	-0.05	1.00	++	
SiO <sub>2</sub>	0.24	0.02	-0.15	0.39	-0.27	-0.28	0.38	0.48	0.34	0.80	1.00	
CHL1	0.27	0.41	0.45	-0.31	-0.26	-0.01	0.03	-0.20	-0.34	0.20	0.08	1.00

++ : highly significant, + : significant

이러한 경향을 상관원으로 각 인자간 상호관계를 도시하면 Fig. 2와 같다.

이 방법으로 생체량의 변동에 영향을 주는 이화학적 인자간의 관계를 정립할 수 있는데, 질산염과 탁도는 오른쪽(동일한 변동)에 있고, 인산염, Chlorophyll 함량, 일조시간(INS), 수온(TEM), pH는 수직축의 왼쪽에 있어 동일한 변동을 나타내고 있다. 특히 영양염 중 질산염은 아질산염이나 암모니아보다 chlorophyll a 생산에 더 중요한 역할을 하고 있음을 나타낸다. 이것은 생체량의 증가는 수온과 일조량이 파관을 넣은 처음 1주일 안에 미소조류의 부착에 직접 영향을 주며 또한 영양염의 종류가

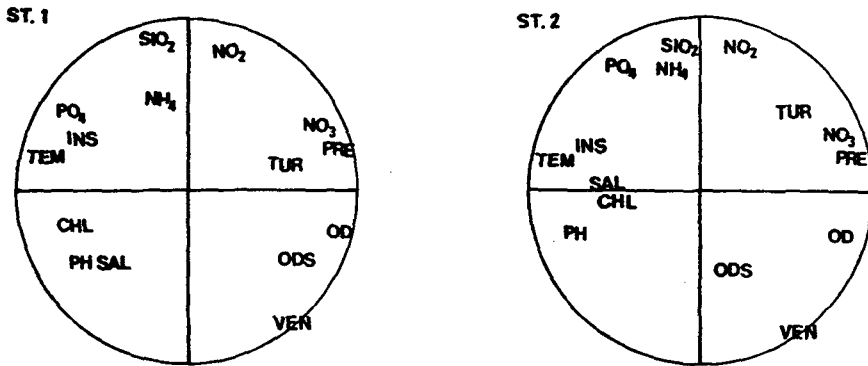


Fig. 2. Correlation circles among the factors at 2 stations : temperature (TEM), salinity (SAL), turbidity (TUR), pH, dissolved oxygen (OD), dissolved oxygen saturation (ODS), ammonia (NH<sub>4</sub>), phosphate (PO<sub>4</sub>), silicate (SIO<sub>2</sub>), insolation (INS), precipitation (PRE), and wind (VEN).

중요한 역할을 하는데, 정점 1에서(Fig. 3) 여름철 고수온기에 chlorphyll 증가에 따라 규산염은 해수 중에 축적되는 현상을 나타내었고 인산염과 암모늄염은 다소의 증가추세를 나타내었다.

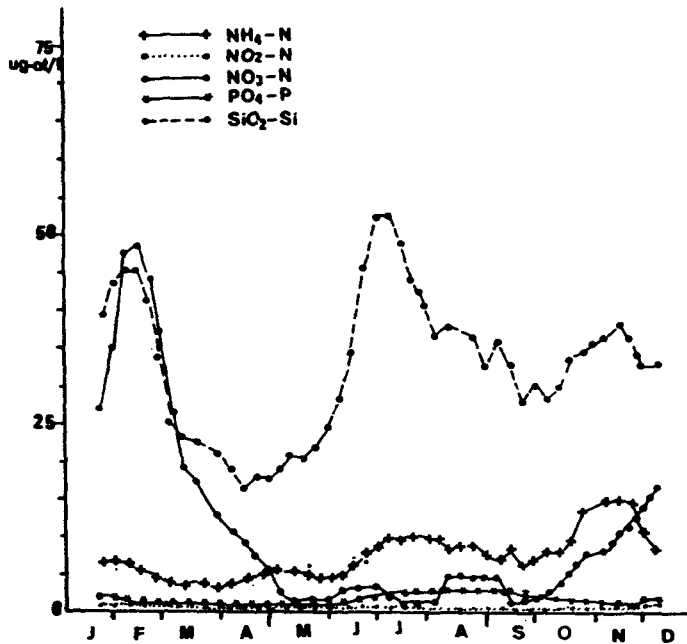


Fig. 3. Nutrients variation at station 1 : NH<sub>4</sub>-N(+—+), NO<sub>2</sub>-N(.....), NO<sub>3</sub>-N(——), PO<sub>4</sub>-P (\*—\*), SiO<sub>2</sub>-Si(- - -).

정점 2 (Fig. 2)에서도 인산염과 규산염은 고수온기에 높게 나타났다. 특히 규산염은 겨울과 여름에 고농도로 분포하고 있으며 인산염은 7, 8월에 5  $\mu\text{g-at}/\ell$  전후로 높게 분포하였으며 암모니아는 9월에 급격히 증가하여 10월에 20  $\mu\text{g-at}/\ell$ 의 높은 농도를 보인 후 11월에는 평균농도로 감소하는 경향을 보였다.

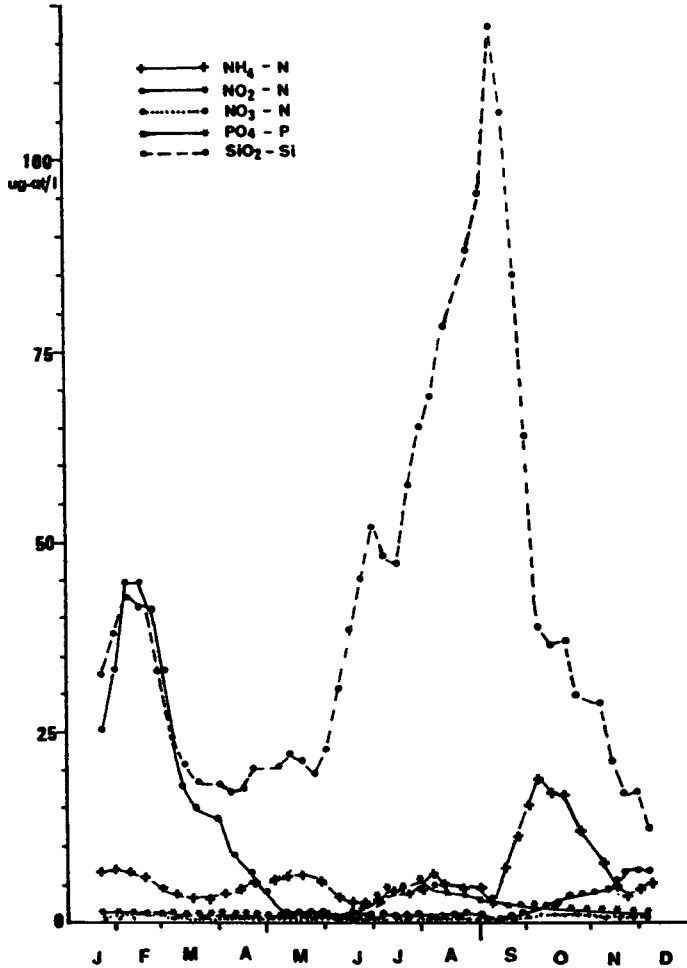


Fig. 4. Variations of nutrients at station 2 : NH<sub>4</sub>-N(+—+), NO<sub>2</sub>-N(.....), NO<sub>3</sub>-N(——), PO<sub>4</sub>-P(\*—\*), SiO<sub>2</sub>-Si(---).

### 고 찰

Bouin굴 축양지는 수로(canal)와 연못들로 구성되어 바닷물을 끌어들이어 굴을 살찌우는 곳으로 이곳의 생태계는 지역적인 기후, 즉 일조시간, 강우량, 바람 등의 영향을 직접적으로 받으며 굴양식단지 내에서도

해수의 유동에 따라 이화학적 요인들이 달라지게 된다. 이곳에 물의 흐름이 다른 상황아래서 전복치패 부착과판으로 새로운 기질을 주었을 때 나(1995)에 의하면 4월부터 일조량의 증가에 따라 수하한지 일주일 후부터 부착규조가 증가하기 시작하여 9월까지 계속되었다.

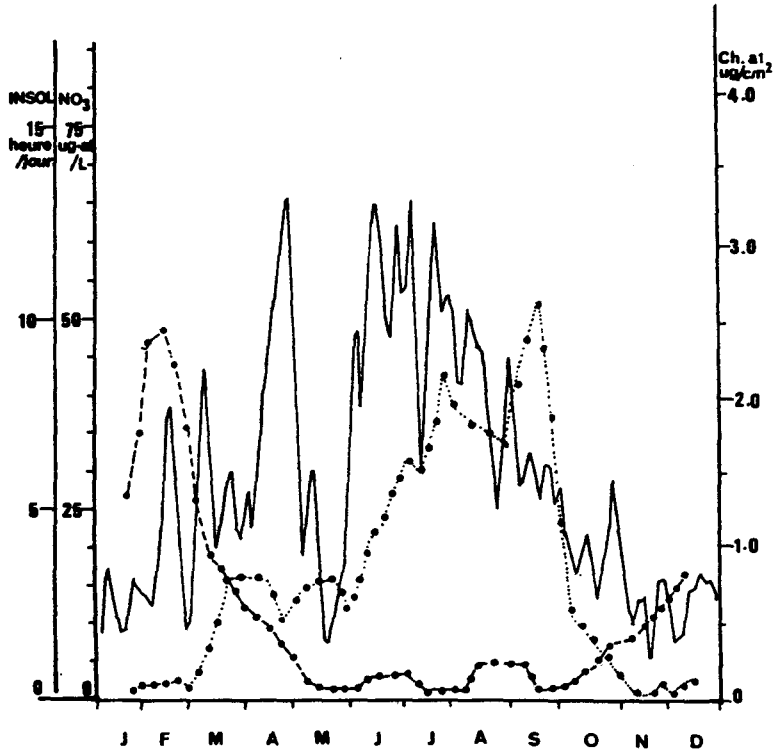


Fig. 5. Correlative variations of insolation (——), intrate (---), and biomass (· · ·) as the content of chlorophyll a, fixing on the experimental collectors at the oyster culture zone during one year.

일반적으로 생체량의 증가를 결정짓는 요인은 연구자에 따라 다르며, 특히 이화학적 요인 중 육상 식물의 생산성은 부족되는 원소에 의해 결정된다는 최소량의 법칙을 식물성부유생물이나 대형 해조 류에서도 적용하여 많은 연구자들이 미량금속원소, 비타민 등의 미량요소를 포함한 영양소 결핍에 따라 군 동태가 달라진다고 보고하였다. 질소원의 결핍에 대해서는 Caperon과 Meyer (1972), Eppley 등 (1969)의 보고가 있으며, 인에 대해서는 Fuchs (1969), 규소에 대해서는 Goering (1974), Werner (1977), 철에 대해서는 Davies (1970), 비타민 B<sup>12</sup>에 대해서는 Droop (1966) 등의 보고가 있으며 조사한 동일 지역 내에서도 연구자에 따라 주장하는 바가 다르다. Robert (1983)는 이곳의 미소조류의 천이를 결정짓는 요인을 질소, 특히 유기질소에 달려있다고 주장하였으며 Heral 등(1978)도 건조기 이화학적 성분 특성에 따라 달라진다고 하였다.

본 연구에서 기상자료와 해수의 이화학적 성분 분석과 이들을 통계처리했을 때 모든 성분들이 서로



영향을 미치며 변하고 있음은 정점간 인자간 차이가 뚜렷하여 무기환경인자와 유기환경인자인 생물들간의 상호작용에 의해 굴 축양지의 생태계는 수시로 변한다는 점이다. 즉 상관원의 분석결과에서 볼 수 있듯이 일조량의 증가는 수온, 염분을 높이고, 식물에 의한 탄소 동화작용 결과 pH가 높아지고 탁도, 용존산소가 낮아지는 반면 강우는 탁도를 높이고 질산염 농도에 간접적으로 영향을 주며 영양염도 저서미소조류나 식물성부유생물이 어떤 성분을 선택적으로 사용하는가에 따라 달라진다. 해양에서는 질산염이 부족하게 되면 암모니아를 차선택적으로 이용한다고 하나(Yentsch et al. 1977), 본 조사지역에서는 암모니아 분포특성으로 볼 때 해양의 일반적인 경향과는 판이하게 다르며 이 지역의 미소조류의 생산량을 좌우하는 제 1 차적인 요인은 질산염으로서 이들의 공급과 소비는 기후 조건에 따라 달라진다. 조사분석한 자료를 일조량과 질산염, 파관을 수하한지 1주일 된 chlorophyll a의 함량 변화와의 관계를 보면 Fig. 5와 같다.

이와같은 변화경향은 조사지역에 따라 매년 달라질 수 있고, 양식방법에 따라 해수의 사용이 조절될 수 있는 Bouin 굴축양지와 같은 경우에는 같은 기상과 무기환경 일지라도 생물생산은 크게 달라질 수 있으며 이 결과에 의해 각 요인들도 서로 영향을 받게 된다.

## 요 약

프랑스 굴 축양지의 하나인 Bouin 간척지에서 인공기질을 매주 수하시켜 생체량을 정량하고, 기상자료와 해수의 이화학적 성분을 분석한 결과를 상관계수, 상관원, 주성분분석을 통하여 저서미소조류의 변동양상을 나타내었다.

기상요인인 일조시간, 강우량, 바람 중 일조시간의 증가에 따라 미세조류의 생체량 증가와 그에 따른 질산염 소비 등이 높아지고 따라서 해수중의 질산염 농도는 감소되었다.

일조량과 함께 영양염 중 질산염이 생체량 변동에 가장 중요한 기여자이며 생체량이 증가하는 여름철 고수온기에 인산염과 규산염은 오히려 증가하는 경향을 보였다.

## 참 고 문 헌

- Caperon J. and J. Meyer, 1972. Nitrogen-limited growth of marine phytoplankton. II. Uptake kinetics and their role in nutrient limited growth of phytoplankton. *Deep-Sea Res.* 19 : 619-632.
- Davies A. G., 1970. Iron, ehelation and the growth of marine phytoplankton. I. growth kinetics and chlorophyll production in cultures of euryhaline flagellate *Dunaliella tertiolecta* under iron-limiting conditions. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 50 : 65-86.
- Droop M. R., 1966. Vitamin B<sub>1</sub> 2 and marine ecology. III. An experiment with a chemostat. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 46 : 659-679.
- Eppley R. W., J. N. Rogers and J. J. McCarthy, 1969. Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. oceanogr.* 14 : 912-920.
- Foucart T., 1982. Analyse factorielle. programmation. sur microordinateurs. Masson. Paris. 245pp.
- Fuchs G. W., 1969. Phosphorus content and rate of growth in the diatoms *Cyclotella nana* and *Thalassiosira fluviatilis*. *J. phycol.* 5 : 312-321.

- Goering J. J., 1974. Uptake of silicic acid by diatoms. *Tethys* 6 : 143-148.
- Heral M., J. P. Berthome, D. Razet and J. Garnier, 1978. Etude hydrobiologique du Bassin de Marennes-Oleron. Unexemple : la secheresse de l'ete 1976. *Rev. Trav. Inst. Peches marit.* 42 : 269-290.
- Moreau J., 1970. Contribution aux recherches ecologiques sur les claires a huitres ud bassin de Marennes-Oleron. *Rev. Trav. Inst. Peches marit.* 34 : 380-462.
- Neuville D., 1978. Les diatomees des claires ostreicole. Contribution des techniques de culture in vitro a l'etude de leur biologie. These. Doc. Etat., Uinv. Poitiers. 279pp.
- Ranson G., 1927. Labsorption des matieres organiques dissoutes par la surface exterieure du corps chez les animaux aquatiques. *Ann. Inst. Oceanogr. Nlle ser.* 4 : 49-174.
- Rince Y., 1978. Intervention des diatomees dans l'ecologie des claires ostreicole de la baie de Bourgneuf. These Doc. Zeme Cycle. UNiv. Nantes. 203pp.
- Bobert J. M., 1983. Fertilité des eaux des claires ostreicoles et verdissement : utilisation de lazote par les diatomees dominantes. These Doc. Etat. Univ. Nantes. 281pp. + annexes.
- Solorzano L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14 : 799-801.
- Spigel M. R., 1972. Theorie et application de la statistique. McGraw-Hill Comp. New York. 358pp.
- Werner D., 1977. Silicate metabolism. In *The Biology of Diatoms.* (ed. D. Werner. University of California Press. Berkeley. 110-149.
- Yentsch C. M., C. S. Yentsch and L. R. Strube, 1977. Variation in ammonium enhancement, an indication of nitrogen deficiency in New England castal phytoplankton populations. *J. Mar. Res.* 35 : 537-555.
- 나기환, 1995. 전북치패 부착파관에서 저서미소조류 염록소 및 갈색소의 년변화. 한국양식학회지(in printing)