

황토첨가 해양퇴적물에서 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* 분해중 세균군집의 변동

박영태 · 이원재*

해양과학공동연구소 · 부경대학교, *미생물학과

Changes of Bacterial Population during the Decomposition Process of Red Tide Dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* in the Marine Sediment Addition of Yellow Loess

Young-Tae PARK and Won-Jae LEE*

Korea Inter-University Institute of Ocean Science, *Department of Microbiology, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

To investigate the effects of yellow loess on the microbial community after applying into *C. polykrikoides* as a red tide control method during decomposition process, we conducted this study using microcosm experiments, which consisted of sediment collected from Jinhae and Masan bay. The composition, number of bacteria and respiratory electron transport system activity (ETSA) were analyzed.

The number of heterotrophic bacteria examined in the samples of both stations reached maximum value within 12 hrs with 10^7 cells/dry g, independent with the yellow loess applied. In addition, a difference in the variation of heterotrophic bacterial composition was not observed by adding the yellow loess, and *Vibrio* spp. always appeared during the culture periods. However, in day 8 culture, the sulfate reducing bacteria was 3.8×10^7 cells/dry g in Masan bay and 5.5×10^6 cells/dry g in Jinhae bay samples without yellow loess, and these were 120, 350 fold-and 160, 420 fold-increased when yellow loess was added (1 : 1, 1 : 2). The average ETSA was $6.8 \sim 7.6 \mu\text{g formazan h}^{-1} \text{ dry g}^{-1}$ independently with yellow loess in aerobic condition for both samples, but activity was decreased by addition of yellow loess in anaerobic.

Thus the addition of yellow loess to marine sediment seems to have an effect to inhibit the anaerobic decomposition process and growth of sulfate reducing bacteria which lead to the bad condition of marine environments.

Key words: yellow loess, heterotrophic bacteria, sulfate reducing bacteria, formazan, respiratory electron transport system activity (ETSA)

서 론

80년대 이후 연중 빈번하게 발생하는 적조는 양식생물 및 연안 환경에 미치는 심각한 피해 때문에 주요한 해양 오염문제로 대두되어져 왔다. 최근에는 그 원인생물이 규조류에서 유해성 편모조류로 달라지고 있으며 계절에 관계없이 빈번하게 발생하고 있고, 발생 해역도 남해안에서 전국 연안해역으로 확산되고 있다 (박, 1987; 박 등, 1988). 1995년부터 발생하기 시작한 유해종 *Cochlodinium* 속에 의한 적조는 남해안에서 동남해역 연안까지 확산되어 수산업에 큰 피해를 주었을 뿐만 아니라 중대한 사회적 문제로 되었다. 이에 대한 구제방법으로 적조생물을 흡착하여 제거시키는 효과를 보여주는 황토살포 (Choi et al., 1998)가 실행되고 있다. 그러나, 이 방법은 수괴에 현탁물질을 제공하고 현탁유기물을 퇴적층으로 이동시키므로 수질 및 해양저서생물 등에 영향을 주는

살포후의 2차오염이 우려되었다. 이와 관련하여 수질 및 수산 양식생물 (Choi et al., 1998; Na et al., 1996)과 퇴적환경 (최 등, 1998)에 미치는 영향 등을 검토 보고하였다. 그러나, 황토살포는 적조생물 뿐 만 아니라 유기물도 같이 퇴적시키므로, 이들이 퇴적환경에 미치는 영향과 그 생화학적 기작을 이해하기 위해서는 유기물 분해과정이 검토되어야 한다.

해양환경에서 해양세균은 유기물 분해자로서 중요한 역할을 하며, 연안에서는 주로 퇴적층에 서식하는 퇴적 미생물이 산화·환원적 과정을 통하여 유기물을 분해시킨다 (Smith, 1974). 또한, 퇴적층에서의 유기물 분해는 수괴의 생지화학적 순환에 중요한 역할을 하며, 퇴적물의 물리·화학적 환경에 따라 분해산물로 이산화탄소, 인산염, 질산염 등을 생성하는 산화적 분해와 메탄발효, 탈질 작용, 황화수소 발생 등을 야기시켜 해양환경을 악화시키는 환원적 분해가 일어난다 (大和田, 1995). 이러한

유기물 분해활성을 측정하는 방법으로는 산소병법, 방사능 동위원소 표시법 (Sorokin and Kadota, 1972)과 호흡 전자전달계활성 측정법 (Rüger, 1984) 등이 있다. 이 중 호흡 전자전달계활성 측정법은 간접적인 방법이지만 취급방법이 간단하고 감도가 높은 장점이 있다 (King and Packard, 1975).

본 연구는 *C. polykrikoides* 적조 구제를 위해 살포한 황토가 해양환경에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 이들이 저층에 퇴적된 후 적조생물이 포함된 유기물이 분해되는 동안 미생물 군집 변동과 호흡 전자전달계 활성의 변동을 실험실내 실험을 통하여 조사한 결과이다.

재료 및 방법

1. 시료채취 및 실내실험계 제작

시료는 1998년 8월 Fig. 1에 표시된 마산만의 정점 (A) 와 진해만 정점 (B)에서 채취하였다. 해수는 MB 채수기로 무균적으로 채수하였으며, 퇴적물은 개량형 Ekman-Birge grab sampler로 채취하여 표층부만 시료로 이용하였다. 채취된 시료는 ice-box에 보관하여 연구실로 옮겨 처리하였다.

실내실험계는 1ℓ 생리식염수병으로 구성하였으며, 황토는 통영에서 채취한 것으로 하였다. 실험구는 각 정점당 3개로 대조구는 황토를 첨가하지 않은 퇴적물 100g을, 황토첨가 실험구는 퇴적물과 멸균한 황토의 비율을 습윤무게로 1:1과 1:2로 하여 100g 이 되게 하였다. 여기에 f/2 배지 (Guillard and Ryther, 1962)로 대량 배양한 *C. polykrikoides*를 plankton net과 원심분리 (600 ×g, 8 min)로 모아서 멸균하여 각각의 퇴적물에 8g 씩 혼합한 후, 현장해수 1ℓ를 채우고 고무마개를 하였다. 24℃의 암소에서 정지 배양을 하면서 정기적으로 상층해수와 혼합되지 않도록 퇴적물을 채취하여 분석하였다.

2. 해양퇴적세균의 계수 및 동정

종속영양 세균은 개량형 Zobell 2216E 배지 (門田와 多賀, 1985)에서 평판배양법 (Buck and Cleverdon, 1960)으로 20℃에서 2주간 배양하여 출현한 집락을 colony forming units (CFU)로 계수하였고, 집락을 특징별로 분리하였다. 분리된 세균은 Simidu et al. (1977)과 MacFaddin (1984)의 방법에 의하여 생화학적 성상과 Miller and Berger (1985)의 방법에 따라 지방산을 추출해서 Microbial Identification System (MIS: Hewlett-Packard 5890A)으로 분석한 결과와 비교 동정하였다.

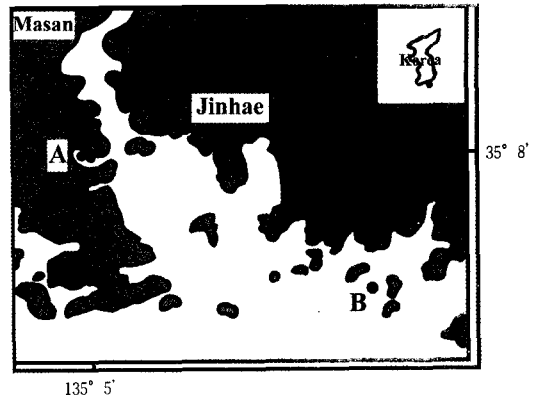


Fig. 1. Location of sampling station in Masan (A) and Jinhae Bay (A).

황산염환원세균은 lactate를 기질로 하는 배지 (畑, 1990)로 pour plate법으로 배양 계수하였다. 환원제 (0.01% sodium molybdate)를 첨가한 희석수 (3% NaCl)로 퇴적물을 단계별 희석하고 42℃로 보관한 배지와 혼합 접종하여 개량형 anaerobic jar에서 27℃로 10일간 혐기 배양 한 후 검은 색을 보이는 집락을 CFU로 계수하였다.

3. 퇴적물의 호흡 전자전달계 활성 (ETSA)과 환경인자의 측정

Rüger (1984)의 방법을 변형하여 호기적 및 혐기적 조건에서의 호흡활성을 구하기 위하여, 각각의 조건에서 반응시킨 시료에서 생성된 p-Iodo-Nitrotetrazolium (INT) formazan의 농도를 측정하였다. 호기적 호흡활성은 퇴적물 1g에 고압 멸균한 외양의 오래된 여과해수 (pore size, 0.2 μm) 5ml를 첨가한 후 무균적으로 산소를 폭기하였고, 혐기적 호흡활성은 환원제 (0.01% sodium molybdate)를 넣은 여과해수 5ml를 첨가한 후 무균적으로 N₂ gas로 폭기하고 밀봉하였다. 반응시약 NADH (0.88 mM, 125 μl), NADPH (0.25 mM, 125 μl), sodium succinate (0.4 M, 250 μl), INT (0.2%, 500 ml)를 첨가하고 24℃의 암소에서 4시간 반응시킨 후 1:1 (v/v)의 1M H₃PO₄와 formalin 1ml로 반응을 중지시켰다. 원심분리 (3,500 ×g, 15 min) 후 ethyl alcohol (95%, 3 ml)로 formazan을 추출하여 분광광도계 (UV-160, Shimadzu), 490 nm에서 탁도 보정하여 formazan의 농도로서 활성을 구하였다.

퇴적물의 황화물은 가스검지관 (GASTEC NO. 201L과 201H, Japan)으로, COD는 과망간산 알카리법 (日本分析化學會, 1983)으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 현장퇴적물의 세균수와 환경인자

실험에 이용된 현장 퇴적물의 세균수와 환경인자를 table 1 에 나타내었다. 정점 A의 퇴적물의 COD와 황화물의 농도가 정점 B에 비하여 높게 나타났으며, 종속영양세균과 황산염환원세균수도 높은 것으로 보아, 정점 A의 퇴적물에 유기물이 많이 분포하고 유기물 분해작용이 활발한 것으로 사료된다. 또한, 정점 A의 퇴적물에서 유기물 오염지표세균이며 절대 혐기성세균인 황산염환원세균이 5.7×10^5 cells/dry g 으로, 정점 B에 비하여 약 20 배 가량 높아, 많은 유기물의 분포와 혐기적 분해가 더 활발하게 진행됨을 알 수 있었다. 이는 주변의 도시 및 공업단지로부터 유입되는 도시하수 및 공업용수와 년 중 발생하는 적조로 인하여 부영양화 된 일본의 東京灣에서 Park et al. (1997)이 하계에 퇴적물에서 조사한 10^4 cells/dry g 보다 높게 나타나, 동경만에 비하여 유기물오염이 더 심각한 것으로 사료된다.

2. 분해과정중 세균 군집의 변동

해양생태계에서 종속영양세균은, 해양자생 및 육지로부터 유입되는 유기오염물질에 따른 유기물의 변동과 밀접한 관계가 있고, 미생물학적으로 분해 가능한 수중유기물량의 지표로서의 의미를 가진다 (大和田, 1995). 그리고, 황산염환원세균은 절대혐기성 세균으로 연안퇴적물의 유기물의 50% 정도를 분해하고 (Jørgensen, 1982), 생성산물인 황화수소는 직접적으로 저층의 어패류에 독성물질이 될 뿐 아니라 용존산소의 소모, 환원상태의 촉진, 적조발생 및 청조(靑潮)의 발생요인 등으로 수계환경에 악 영향을 미친다 (畑, 1990). 또한 현장 퇴적물에서 유기물의 양, 황산염환원세균수와 황화물의 양 등이 잘 일치하므로 황산염환원세균수를 조사하는 것으로 퇴적물의 유기물 오염상태와 환원 상태를 추측할 수가 있다 (清水, 1975).

Table 1. The chemical and bacteriological characteristics of the sediment collected from Masan and Jinhae bay

Contents	Station	
	A	B
COD (mg/dry g)	28.7	8.3
Acid volatile sulfide (mg/dry g)	1.0	0.06
Number of heterotrophic bacteria (cells/dry g)	4.7×10^6	1.8×10^6
Number of sulfate reducing bacteria (cells/dry g)	5.7×10^5	2.9×10^4

1) 종속영양세균의 변동

Fig. 2는 각 실험구의 퇴적물에서 *C. polykrikoides*가 분해되는 동안 종속영양세균수의 변동을 나타낸 것으로 정점 A와 B의 모든 실험구에서 유사한 변동양상을 보여 주었다. 각 실험구의 배양 0일째의 세균수는 $10^5 \sim 10^6$ cells/dry g 범위였으며 배양 12시간만에 실험구 모두 10^7 cells/dry g의 범위로 최고치에 도달하였다. 배양 2일부터 4일까지는 급격히 감소하였으나 그 이후로는 서서히 감소하여 10^6 cells/dry g의 세균수를 유지하였다. 황토의 첨가와와는 무관하게 유사한 변동을 보여준 것은, 황토가 종속영양세균의 성장 저해 및 촉진에 관계하지 않는 것으로 사료된다.

Fig. 3은 종속영양세균의 종조성 변동을 나타낸 것으로 시료채취 정점 및 황토첨가에 따른 특이한 양상을 보여 주지 않았다. 분리된 19개의 균주를 genus 별로 구분

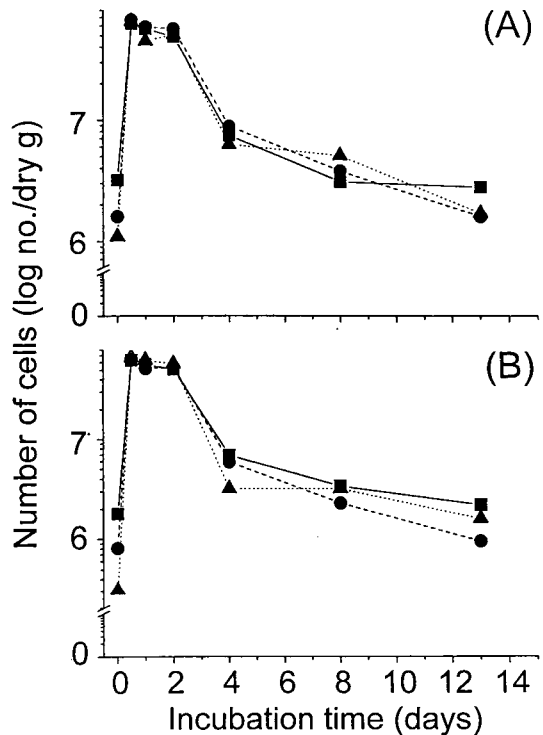


Fig. 2. Fluctuation in the number of heterotrophic bacteria during decomposition of red tide dinoflagellate, *C. polykrikoides* in the marine sediment collected from Masan (A) and Jinhae (B) bay at 24°C.

■, yellow loess not added; ●, yellow loess added to the sediment in the wet weight ratio of 1 : 1; ▲, yellow loess added to the sediment in the wet weight ratio of 2 : 1

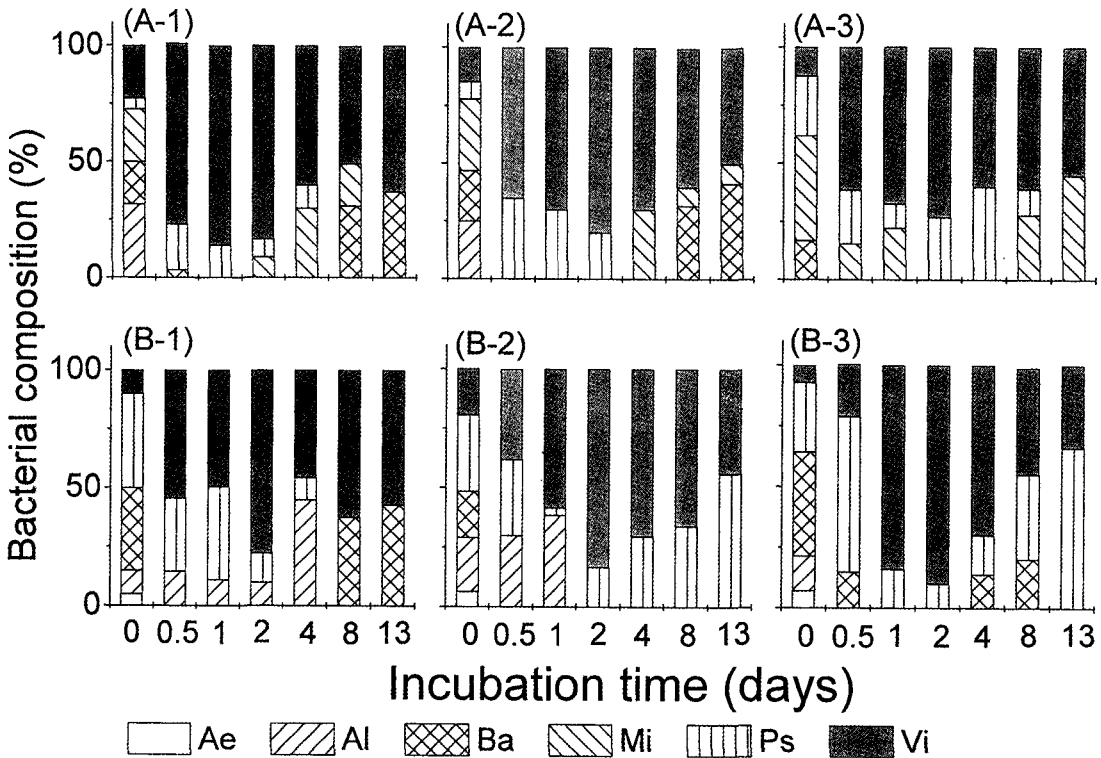


Fig. 3. Fluctuation of heterotrophic bacterial composition during decomposition of red tide dinoflagellate, *C. polykrikoides* in the marine sediment at 24°C. (A-1) is the sediment collected from Masan bay without yellow loess, with yellow loess to sediment as the ratio of 1 : 1 (A-2) and 2 : 1 (A-3). (B-1) is the sediment collected from Jinhae bay without yellow loess, with yellow loess to sediment as the ratio of 1 : 1 (B-2) and 2 : 1 (B-3). Ae, *Aeromonas* spp.; Al, *Alteromonas* spp.; Ba, *Bacillus* spp.; Mi, *Micrococcus* spp.; Ps, *Pseudomonas* spp.; Vi, *Vibrio* spp..

한 결과, 모든 실험구에서 시간이 지남에 따라 군집 조성의 변동을 보여주고 *Vibrio* spp., *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp.가 많이 출현하였다. 특히 *Vibrio* spp.는 모든 실험구에서 배양기간 동안 계속 나타났으며 배양 2일까지는 차지하는 비율이 증가하였으나 그 이후로 감소하였다. 이는 Fukami et al. (1985)의 동물플랑크톤 분해실험에서의 변동과 유사한 양상을 보여주었고 그들은 *Vibrio* group은 단백질 분해능이 뛰어나 배양초기에 증가하며 그 이후로는 감소한다고 고찰하였다. 정점 A의 퇴적물의 경우는 황토를 첨가하지 않은 실험구와 1 : 1의 비율로 섞은 것에서 배양 8일 이후 *Bacillus* spp.가 증가하였으나, 1 : 2의 비율의 실험구에서는 *Micrococcus* spp.가 증가하였다. 정점 B의 경우 황토를 첨가하지 않은 것은 8일 이후 *Bacillus* spp.가, 첨가한 실험구에서는 *Pseudomonas* spp.가 증가하였다. 본 실험의 결과로는 황토 첨가가 종속영양세균의 군집조성에 영향을 미치는 것으로 볼 수 없으며, 분리된 균주와 황토와의 1 : 1 배양 실험 및 분자생물학적 검출방법으로 세밀한 군집변동이 조사되어야 한다.

2) 황산염환원세균수의 변동

각 실험구의 황산염환원세균수의 변동을 Fig. 4에 나타내었다. 정점 A와 B의 퇴적물 모두 황토를 첨가한 비율이 높을수록 황산염환원세균수가 적게 나타났으며, 생성된 황화물의 농도도 황토를 첨가한 비율이 높을수록 비례하여 낮았다 (Fig. 5). 정점 A 퇴적물의 경우, 배양 0일째, 황토를 첨가하지 않은 퇴적물에서의 황산염 환원세균수는 2.5×10^5 cells/dry g 으로 1 : 1 (1 : 2) 비율의 황토첨가 퇴적물에 비하여 10 (14)배 정도 높았으나, 배양 4일 후부터 급격히 증가하여 8일 째는 3.8×10^7 cells/dry g 으로 120 (350)배 정도로 증가하였다. 또한, 정점 B의 퇴적물에서는 배양초기에는 4.8×10^4 cells/dry g 으로 10 (10)배정도 높았으나 배양 8일 째는 5.5×10^6 cells/dry g으로 1 : 1 (1 : 2) 비율의 황토첨가 퇴적물보다 160 (420)배 정도 높았다. 따라서 황토첨가가 황산염환원세균의 성장을 저해함을 알 수 있었으며, 이 현상의 원인으로서는 1) 황산염환원세균의 환경요인 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 산화환원 전위로 -100 mV 이하가 적정 조건 (Postgate, 1984)이나, 황토첨가가 산화환원 전위

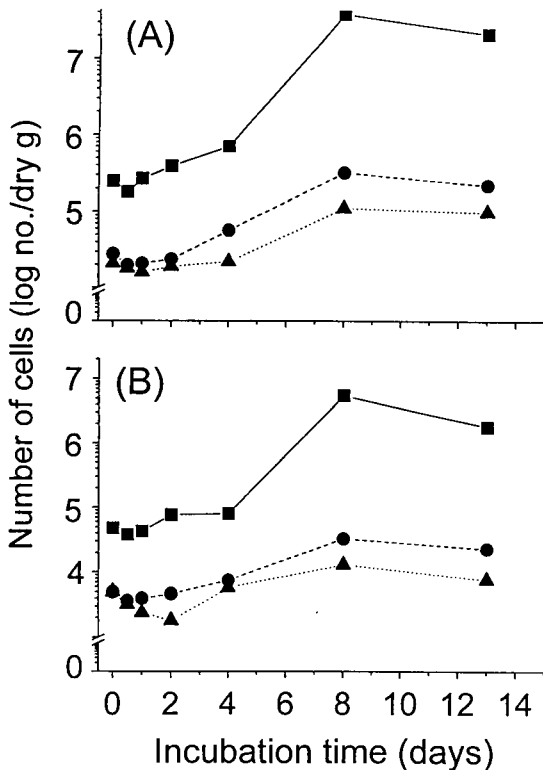


Fig. 4. Fluctuation in the number of sulfate reducing bacteria during decomposition of red tide dinoflagellate, *C. polykrikoides* in the marine sediment collected from Masan (A) and Jinhae (B) bay at 24°C. ■, yellow loess not added; ●, loess added to the sediment in the wet weight ratio of 1 : 1; ▲, yellow loess added to the sediment in the wet weight ratio of 2 : 1

를 상승시켰든지, 2) 황산염환원세균은 에너지원으로 주로 발효산물인 lactate, propionate, acetate 등의 휘발성 지방산을 이용하나 (Winfrey and Ward, 1983), 황토가 이들의 생산을 억제하는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 각 실험구에 있어서 황화물 농도의 변화를 나타낸 것으로 점점 A와 B 모두 황토 첨가량이 많을수록 황화물의 농도가 낮게 나타났다. 이 결과는 최 등 (1998)이 진주만의 퇴적물에 황토를 살포 한 후 황화물의 농도를 조사한 결과 황토를 살포한 지역이 황화물의 농도가 낮았다는 보고와 일치한다. 또한, 황산염환원세균이 증가하는 배양 4일부터 급속히 황화물의 농도가 높아져 8일째에 최고치를 보여주어, 황산염환원세균수의 변동과 잘 일치하고 있다.

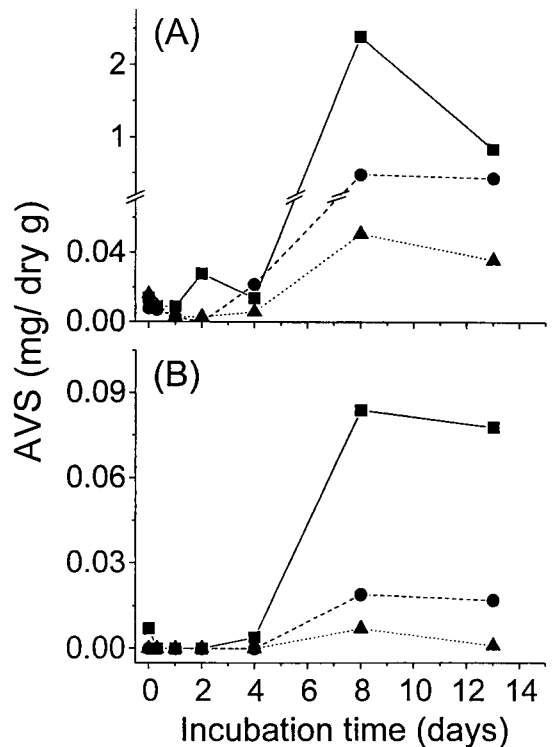


Fig. 5. Fluctuation of AVS (acid volatile sulfide) during decomposition of red tide dinoflagellate, *C. polykrikoides* in the marine sediment collected from Masan (A) and Jinhae (B) bay at 24°C. ■, yellow loess not added; ●, yellow loess added to the sediment in the wet weight ratio of 1 : 1; ▲, yellow loess added to the sediment in the wet weight ratio of 2 : 1

3. 분해과정중 세균의 호흡 전자전달계 활성의 변동

ETSA는 호흡 전자전달계의 Q-cytochrome B 복합물의 산화력의 크기로, 호흡(분해) 활성을 생성된 INT formazan의 양으로 나타낸 것으로서 (Packard, 1971), 분자상태의 O_2 등을 이용하는 호기적호흡 뿐만 아니라 SO_4^{2-} , NO_3^- 등을 이용하는 혐기적호흡의 활성 모두를 포함한다 (Trevors et al., 1982).

Table 2는 인위적으로 조성한 호기적과 혐기적조건에서의 ETSA의 변동으로서, 각각은 퇴적물에서 분해산물로 CO_2 를 생성하는 호기성 세균과 NH_4 , H_2S , CH_4 를 생성하는 혐기성세균의 호흡활성을 나타내고 있다. 호기적 조건에서는 각 실험구의 ETSA의 평균치가 $6.8 \sim 7.6 \mu g$ formazan $h^{-1} dry g^{-1}$ 의 범위로서 황토의 첨가와 관계 없이 유사한 활성을 보여주었다. 그러나, 혐기적조건

Table 2. The value of ETSA during the decomposition process of marine algae, *C. polykrikoides* in the sediment ($\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$)

Incubation time (day)	Aerobic condition						Anaerobic condition					
	St. ¹ A			B			A			B		
	0 ²	1:1 ³	1:2 ⁴	0	1:1	1:2	0	1:1	1:2	0	1:1	1:2
0	3.6	2.9	2.4	14.0	5.7	4.3	6.2	2.9	2.2	1.6	1.2	1.3
0.5	18.2	17.8	15.3	15.0	17.2	16.7	5.3	3.4	1.3	1.3	1.4	1.7
1	12.9	11.8	14.2	9.2	12.6	11.8	8.0	6.3	3.8	3.5	1.9	1.5
2	5.7	5.1	11.7	2.5	8.4	5.2	15.5	12.1	4.0	7.8	4.5	3.1
4	3.7	5.1	3.3	7.6	3.5	5.4	18.4	12.2	5.9	12.1	2.8	2.5
8	2.2	2.3	3.8	1.9	3.9	1.8	15.2	11.9	4.9	8.5	3.0	1.7
13	2.6	2.4	1.4	1.6	1.9	2.3	3.9	2.1	2.0	6.9	3.5	2.1
Average	7.0	6.8	7.4	7.4	7.6	6.8	10.4	7.3	3.4	6.0	2.6	2.0

¹ Station.

² No addition of yellow loess.

³ Addition of yellow loess to the sediment in the wet weight ratio of 1:1.

⁴ Addition of yellow loess to the sediment in the wet weight ratio of 2:1.

정점 A의 퇴적물에서 황토를 첨가하지 않은 실험구는 평균 10.4 $\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$ 이었으나, 황토첨가 비율에 따라 7.3 (1:1), 3.4 (1:2) $\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$ 으로 낮은 활성을 나타내었고, 정점 B의 퇴적물도 황토를 첨가한 비율이 높을수록 활성이 낮았다. 따라서 황토첨가가 해양환경에 나쁜 영향을 미치는 혐기성세균의 호흡(분해)을 저지하는 효과가 있는 것으로 사료된다. 또한 호기적 조건에서는 A, B 모두 배양 후 0.5 일째에, 혐기적 조건에서는 배양 2일과 4일째에 최고활성을 나타내어 시간이 경과함에 따라서 혐기적 환경이 조성되는 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 *C. polykrikoides* 적조 구제로 살포한 황토가 저층에 퇴적된 후, 적조생물이 분해되는 동안 미생물군집과 호흡 전자전달계 활성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 마산만과 진해만의 퇴적물로 배양실험을 행한 결과이다.

중속영양세균수는 두 개 정점의 실험구 모두 황토첨가와 무관하게 10^7 cells/dry g의 범위로 12시간 만에 최고치에 도달하였고 유사한 변동을 보여주었다. 종조성의 변동 또한 황토첨가로 인한 뚜렷한 영향을 보여주지 않았으며, *Vibrio* spp.는 배양기간 동안 계속 출현하였다. 그러나 황산염환원세균은 배양 8일째 마산만의 황토를 첨가하지 않은 퇴적물에서 3.8×10^7 cells/dry g로 1:1 (1:2) 비율의 황토첨가 실험구에 비하여 120 (350)배 정도 높았고, 진해만의 퇴적물에서는 5.5×10^6 cells/dry g로 1:1 (1:2) 비율의 황토첨가 실험구보다 160 (420)배

정도 높았다. 또한, ETA는 두 개의 정점 모두 호기적 조건에서는 각 실험구의 평균치가 6.8~7.6 $\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$ 의 범위로서 황토의 첨가와 무관하게 비슷한 활성을 나타내었지만, 혐기적조건의 정점 A의 퇴적물에서 황토를 첨가하지 않은 실험구는 평균 10.4 $\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$ 로 황토첨가 비율이 높을수록 7.3 (1:1), 3.4 (1:2) $\mu\text{g formazan h}^{-1} \text{dry g}^{-1}$ 으로 낮은 활성을 나타내었고, 정점 B의 퇴적물도 황토를 첨가한 비율이 높을수록 활성이 낮았다.

따라서 황토첨가가 해양환경에 나쁜 영향을 미치는 혐기적분해 및 황산염환원세균의 성장을 저지하는 효과가 있는 것으로 사료된다. 본 실험 결과는 모델실험에 의한 것으로 보다 자세한 황토의 영향을 알기 위해서는 현장에서 미생물군집의 변동과 활성의 조사가 필요할 것이다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어 시료채취 및 분석을 도와준 부경대학교 미생물학과 해양미생물 연구실 일원에게 사의를 표하며, 조언과 자료를 주신 국립수산진흥원 적조연구부의 김학균 부장님, 이필용 과장님, 이삼근 연구관님과 최우정 연구관님께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

Buck, J.D. and R.C. Cleverdon. 1960. The spread plate as a method for enumeration of marine bacteria. *Limnol. Oceanogr.*, 5, 75~80.

- Choi, H.G., P.J. Kim, W.C. Lee, S.J. Yun, H.G. Kim and H. J. Lee. 1998. Removal efficiency of *Cochlodinium polykrikoides* by yellow loess. J. Korean Fish. Soc., 31 (1), 109~113 (in Korean).
- Fukami, K., U. Simidu and N. Taga. 1985. Microbial decomposition of phyto- and zooplankton in seawater, II. Changes in the bacterial community. Mar. Ecol. Prog. Ser., 21, 7~13.
- Guillard, R.R.L. and J.H. Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms I. *Cyclotella nana* HUSTEDT, and *Detonula confervacea* (CLEVE) GRAN. Can. J. Microbiol., 8, 229~239.
- Jørgensen, B.B. 1982. Mineralization of organic matter in the sea bed-the role of sulphate reduction. Nature (Lond.), 296, 643~645.
- King, F.D. and T.T. Packard. 1975. Respiration and the activity of the respiratory electron transport system in marine zooplankton. Limnol. Oceanogr., 20, 849~854.
- MacFaddin, T.F. 1984. Biochemical tests for identification of medical bacteria, Williams & Wilkins, pp. 36~308.
- Miller, L and T. Berger. 1985. Bacteria identification by gas chromatography of whole cell fatty acids. Hewlett-Packard Application Note, pp. 228~248.
- Na, G.H., W.J. Choi and Y.Y. Chun. 1996. A study on red tide control with loess suspension. J. Aquaculture. Kor., 9, 239~245 (in Korean).
- Packard, T.T. 1971. The measurement of respiratory electron-transport activity in marine phytoplankton. J. Marine Research, 29, 235~244.
- Park Y.T., M. Nishimura, and K. Ohwada. 1997. Study of marine sulfate reducing bacterial population using fluorescent *in situ* hybridization method during decomposing processes of detrital material and polypepton in microcosm. Fisheries Science, 63 (1), 105~110.
- Postgate, J.R. 1984. The sulfate reducing bacteria, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 208 pp.
- Rüger, H.J. 1984. Temperature effects on respiratory electron transport system (ETS) in psychrophilic and mesophilic marine bacteria. Veroff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 20, 29~40.
- Simidu, U., E. Kaneko and N. Taga. 1977. Microbiological studies of Tokyo Bay. Microb. Ecol., 3, 173~191.
- Smith, K.L. Jr. 1974. Oxygen demands of San Diego trough sediments: An *in situ* study. Limnol. Oceanogr., 19, 939~944.
- Trevors, J.T., C.I. Mayfield and W.E. Inniss. 1982. Measurement of electron transport system (ETS) activity in soil. Microbial. Ecol. 8, 163~168.
- Sorokin, Y.O. and H. Kadota. 1972. Techniques for the assessment of microbial production and decomposition in freshwater. IBP handbook no. 23, Blackwell Scientific, 299 pp.
- Winfrey, M.R. and D.W. Ward. 1983. Substrates for sulfate reduction and methane production in intertidal sediments. Appl. Environ. Microbiol., 45, 193~199.
- 清水潮. 1975. 環境・生物指標 2. 公立出版株式會社, 231 pp.
- 日本分析化學會. 1983. 水の分析 第3版. 化學同人, 493 pp.
- 畑幸彦. 1990. 沿岸環境調査マニュアル II, 水質・微生物篇. 日本海洋學會, 386 pp.
- 門田元・多賀信夫. 1985. 海洋微生物研究法. 學生出版センター, 307 pp.
- 大和田紘一. 1995. 富栄養化海域の有機物分解に果たす微生物の役割. ヘドロ, 64, 1~11.
- 박주석. 1987. 적조발생상황의 변이와 대책. 적조현상과 어장보전, 국립수산진흥원, pp. 7~17.
- 박주석·김학균·이상근. 1988. 진해만의 적조현상과 원인생물의 천이. 수진연구보고, 41, 1~26.
- 최동민·김병수·박홍현·박정흠·최우정·최규정·김홍균·김옥윤. 1998. 피조개 양식어장의 객토효과 연구. 농림부, 199 pp.

1998년 9월 30일 접수

1998년 11월 17일 수리