

Cochlodinium polykrikoides 적조발생에 있어 증식촉진물질의 기원과 지하해수의 수질

이영식* · 김윤빈 · 한형균

국립수산과학원 내수면양식연구센터

(2012년 4월 24일 접수; 2012년 7월 25일 수정; 2012년 8월 17일 채택)

Water Quality of Ground Seawater and Trigger Elements for a *Cochlodinium polykrikoides* Red Tide

Young Sik Lee*, Yoon Bin Kim, Hyung-Gyun Han

Inland Aquaculture Research Center, NFRDI, Kyungnam 645-806, Korea

(Manuscript received 24 April, 2012; revised 25 July, 2012; accepted 17 August, 2012)

Abstract

Ground seawater quality was investigated, and the algal growth potential (AGP) tests were performed along the Tongyeong coast to examine the inflow of materials, which is needed for the red tide species *Cochlodinium polykrikoides* to grow. The study was conducted to determine the mechanism for *C. polykrikoides* red tides. Water temperature, salinity, pH, and dissolved oxygen (DO) ranged from 16.05 to 20.74°C, 18.20 to 32.11 psu, 6.00 to 7.61, and 3.41 to 7.91 mg/L (41.4-96.1%), respectively. No seasonal variation was observed in water temperature. The salinity, pH, and DO saturations at most stations were lower than those of coastal seawater at Tongyeong. The $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_{2+3}^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentrations ranged from 0.43 to 16.00 μM , 1.50 to 132.38 μM , and 1.30 to 6.29 μM , respectively; the values at some stations were much higher than observed in Tongyeong coast seawater. Using seawater from station B, *C. polykrikoides* grew consistently, with a high growth rate, similar to the red tide in nature. This seawater appeared to contain materials needed by *C. polykrikoides* to grow. Therefore, *C. polykrikoides* red tides seem to occur wherever the ground sea water contains materials that are needed for its growth.

Key Words : AGP test, *C. polykrikoides*, Ground seawater, Trigger elements, Water quality

1. 서론

한국 연안 해역에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 발생 규모는 최근(2010~2011년)에는 그리 크지 않지만, 1995년 이후 2009년까지 대규모로 발생하여 많은 경제적 피해를 일으켰다. 그리고 최근에는 일본,

중국, 미국, 아라비아, 오만 등지에서도 *C. polykrikoides* 적조가 발생하여 사회적, 경제적으로 문제가 되고 있다(Richlen 등, 2010). 이로 인해 많은 연구자가 *C. polykrikoides* 적조의 발생 원인에 대하여 많은 관심과 연구를 하고 있지만(Kim 등, 2004; Lee 등, 2005; Lee, 2008; Lee, 2006; Lee와 Lee, 2006; Lee와 Kim, 2007; Lee 등, 2010; Richlen 등, 2010), 그 발생 메커니즘에 대해서는 여전히 명확히 설명하기는 어렵다.

C. polykrikoides 적조의 발생메커니즘을 크게 4 단계로 나누어보면, I. *C. polykrikoides*의 유입, II.

*Corresponding author : Young Sik Lee, Inland Aquaculture Research Center, NFRDI, Kyungnam 645-806, Korea
Phone: +82-55-540-2729
E-mail: leeys@nfrdi.go.kr

소규모 증식 단계(소규모 적조: 6,000~8,000 cells/mL), III. 대규모 증식 단계(대규모 적조: >8,000 cells/mL), IV. 소멸단계로 구분 할 수 있다(Lee, 2006; Lee와 Lee, 2006). 여기서 II번의 소규모 증식 단계에서 핵심 인자는 증식 촉진물질을 들 수 있다. 장기간 실내에서 *C. polykrikoides*를 물리 조건(수온, 염분, 빛 등)과 영양염(F/2 배지 성분)을 첨가하여 제주도 주변해수로 배양한 결과 *C. polykrikoides*가 잘 증식하는 경우와 그렇지 않은 경우가 있다. 이것은 *C. polykrikoides*가 증식하는데 필요한 물질(세균 포함)이 있고, 이 물질로 인해 *C. polykrikoides*가 폭발적으로 증식한다고 볼 수 있다. 이 물질은 한국에서는 나로도 이남해역에서 유입된다고 언급한 적이 있다(Lee, 2006).

그리고, 일반적으로 적조는 오염된 내해, 즉 마산만, 진해만 등에서 발생한다. 그러나 *C. polykrikoides*의 적조는 외해, 즉 전남 여수의 나로도, 남해도 남부해역, 통영 외해, 동해에서 대규모로 발생하였다(Lee, 2006). 또 가끔 서해에서도 *C. polykrikoides* 적조가 발생하여 연구자를 당황하게 만든 경우도 있다(Lee, 2006). 이로 인해 오염된 마산만, 가막만 북부, 통영북신만과 같은 내해의 적조와 구별되며, 그 원인을 밝히기가 어렵고, 지금까지 잘 알려져 있지 않다. 또 *C. polykrikoides* 적조가 주로 외해에서 최초 발생하기 때문에 외해성 적조라고도 하며, 그 원인을 외해에서 찾으려고 많은 노력을 하고 있다. 또, *C. polykrikoides* 적조가 발생한 남해와 멀리 떨어진 서해에서도 관측되었으며, 또 동해에서도 발견된다. 따라서 위의 나로도 이남해역에서만 *C. polykrikoides*가 대량으로 증식하기 위해 필요한 물질이 유입된다고 설명하기에는 부족한 점이 있다.

이번 연구에서는 *C. polykrikoides* 적조의 발생메커니즘 구명연구의 일환으로 지하해수의 수질과 조류성장잠재능력 실험으로 *C. polykrikoides*가 대량으로 증식할 수 있는 환경에 대하여 알아보았다.

2. 재료 및 방법

지하해수는 통영시 연안에서 지하 30~50m에서 채취하여 어류의 양식 및 보관을 위해 사용하고 있으며, 본 실험에서는 염분이 15 psu 이상인 지하해수를

2009년 1월과 7월에 채취하였다(Fig. 1). 채수한 해수는 현장에서 휴대용 수질 측정기(YSI, 6920, Yellow Springs, Ohio, USA)로 수온, 염분, pH, DO를 측정하였으며, 일정량을 DIN($\text{NH}_4^+\text{-N}+\text{NO}_{2+3}^-\text{-N}$), DIP($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 및 조류성장잠재능력(AGP) 실험을 위해 여과 후 냉장 보관하였다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_{2+3}^-\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 해양환경공정시험방법에 따라 분석하였다(해양수산부, 2002). 수질인자에 따른 정점 간 유사성을 알아보기 위해 SPSS(ver. 10.1)을 이용하여 군집분석을 하였다. 조류성장잠재능력 실험을 위해 *C. polykrikoides*는 통영 주변해역의 해수에 Na_2SiO_3 을 제외한 F/2배지를 첨가하여 계대 배양하였다. 조류성장잠재능력 실험은 여과 멸균을 위해 0.2 μm 여과지로 지하해수를 여과하였으며, Na_2SiO_3 을 제외한 F/2배지 성분을 첨가하고, 50 mL의 멸균된 플라스틱 용기에 20 mL을 넣고, 계대배양중인 *C. polykrikoides*를 2 mL를 접종하였다. 초기 *C. polykrikoides*의 밀도는 200 cells/mL이 되도록 하였다. 배양은 온도 $23\pm 2^\circ\text{C}$, 빛 $7,000\pm 500\text{ lx}$, 12:12 h 명암 cycle로 하였으며, 증식량을 현미경(Olympus, BX 50)으로 측정하였다(Lee와 Lee, 2006).

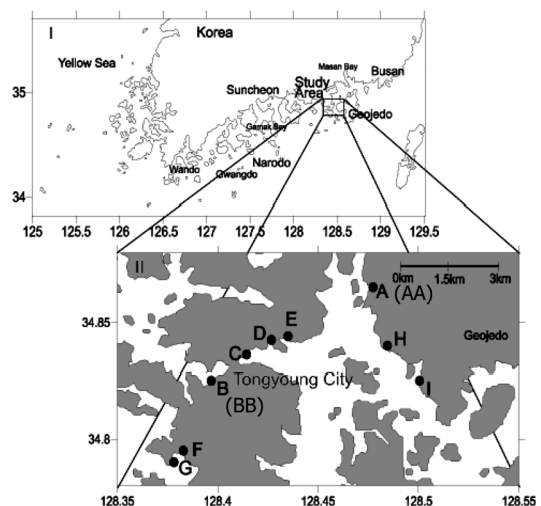


Fig. 1. Map of the sampling stations to determine the spatial distributions of water quality and AGP of *C. polykrikoides* along the coasts of Tongyoung, South Korea.

3. 결과

지하해수의 수질특성을 Table 1에 나타냈다. 지하해수의 수온은 최저 16.05 최고 20.74°C이었으며, 1월보다는 7월에 채취한 시료에서 약간 높았다. 염분은 최저 18.20 psu 최고 32.11 psu이었으며, 7월에 정점 H에서 가장 낮았다. pH는 최저 6.00 최고 7.61이었으며, 정점 J에서 가장 낮았다. DO는 최저 3.41 mg/L(포화도 41.4%) 최고 7.91 mg/L(96.1%)이었으며, 평균은 5.05 mg/L(62.4%)로 대부분의 정점에서 포화도가 낮았으며 일부정점에서는 예외로 높았다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 농도는 최저 0.43 μM 최고 16.00 μM 이었으며, 정점 간에 큰 차이를 보였으며 정점 F, G에서 높았다. $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 최저 1.50 μM 최고 132.38 μM 이었으며 정점 간 차가 가장 크게 나타났다. $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 농도는 최저 1.30 μM 최고 6.29 μM 이었으며 정점 E에서 가장 높았다. DIN/DIP는 최소 4.75, 최대 50.02였다.

*C. polykrikoides*의 최대 증식량, 즉 조류성장잠재능력 실험결과를 Fig. 2에 나타냈다. *C. polykrikoides*의 최대 증식량은 2009년 1월의 경우 정점 A, B, C, D,

E, F, G에서 각각 687, 5847, 233, 1400, 293, 240, 267 cells/mL이었으며, 정점 B의 지하해수로 배양한 경우에서 가장 높게 나타났다. 2009년 7월의 경우 정점 AA, BB, H, I, J에서 각각 1080, 10260, 347, 1167, 5760 cells/mL이었으며, 2009년 1월의 경우와 같이 정점 BB에서 가장 높게 나타났다. 그리고 2011년 9월에 정점 BB의 지하해수를 이용한 F/2배지에서 *C. polykrikoides*의 계대배양이 잘되었으며, 8 cells의 chain이 자주 관측되었다. 그러나 그 외 해수로 준비한 F/2배지에서는 1, 2차 계대배양은 되었지만 *C. polykrikoides*의 size가 줄어들거나 최대 증식량이 점점 감소하였으며 2 chain 이상은 관찰되지 않았다. 그리고 3차 이후에서는 계대배양이 어려웠다. 실험결과를 종합하면, 정점 B(BB)의 지하해수로 *C. polykrikoides*를 배양할 경우 일관되게 잘 증식하였으며, 남해 연안해역에서 적조가 발생했을 때와 같은 형태로 대량으로 증식하였다.

4. 고찰

4.1. 지하해수의 수질특성

통영 연안해수의 1월 수온 9.5°C, 7월 수온 20°C과 비교해보면 기온변화 등으로 큰 계절변동이 있었으나(이 등, 2011), 이번조사의 지하해수의 수온은 1월보다는 7월에 채취한 시료에서 약간 높았으며(2.08°C) 연안해수의 수온처럼 큰 계절 변동 없이 비교적 일정하였다(Table 1). 이번조사의 지하해수의 염분은 최저 18.20 psu, 최고 32.11 psu로 정점별 변동이 심하였으며, 일반적인 통영연안의 염분농도 >32 psu와 비교하면 정점 A, C, AA, I를 제외하면 아주 낮은 값이 관측되어(이 등, 2011) 시기와 정점에 따라 담수 및 해수의 유입이 서로 다르게 나타났다. 그리고 pH 변동범위는 최저 6.00 최고 7.61로 통영연안과 비교해보면 빈산소수층 발생 등 특이한 시기를 제외한 평균값 7.97보다 약간 낮은 수준으로 나타났다. 이번조사에서 DO는 통영주변해역 해수의 평균 농도인 8.23 mg/L보다 상당히 낮게 나타났으며, 시기별로 보면 1월보다 7월에 포화도가 낮았고 정점별 변동도 심했다.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 평균 농도는 1월에는 5.19 μM , 7월에는 2.55 μM 이었으며, 정점 F, G에서 각각 16.00,

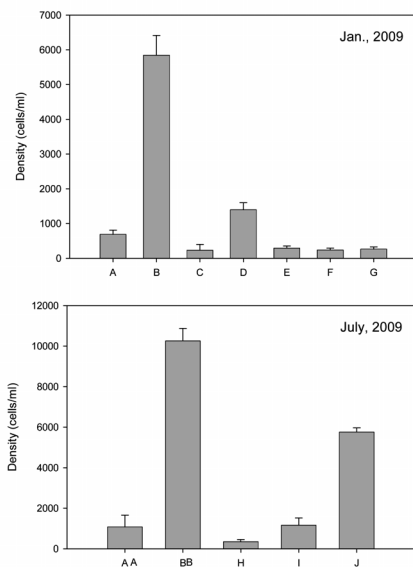
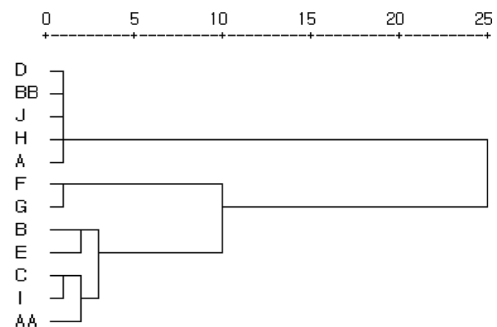


Fig. 2. AGP of *C. polykrikoides* for f/2 mediums with various ground seawater. Error bars indicate standard mean error of triplicate incubations (n = 3).

Table 1. Water temperature, Salinity, pH, dissolved oxygen, and nutrients concentrations in ground seawater samples collected from coastal areas of Tongyoung, Korea

Site	Water temperature °C	Salinity psu	pH	DO mg/L	DO %	NH ₄ ⁺ -N μM	NO ₂₊₃ ⁻ -N μM	PO ₄ ³⁻ -P μM	DIN/DIP	Sampling date
A	17.06	31.28	7.10	5.07	63.0	1.29	110.50	4.65	24.06	Jan., 2009
B	16.05	28.62	7.06	7.06	85.0	0.43	43.71	2.84	15.55	"
C	16.12	31.71	6.76	4.00	49.2	1.00	33.79	2.84	12.25	"
D	16.52	23.77	6.94	4.07	48.1	0.93	112.50	3.10	36.63	"
E	17.01	27.81	6.97	7.91	96.1	1.14	28.71	6.29	4.75	"
F	17.20	27.55	6.75	6.54	80.3	16.00	1.50	2.55	6.87	"
G	17.94	23.88	6.79	5.20	63.4	15.57	1.50	3.19	5.35	"
Ave.	16.84	27.80	6.91	5.69	69.30	5.19	47.46	3.64	15.07	"
AA	18.88	32.11	7.05	3.94	53.2	2.19	23.29	1.30	19.53	July, 2009
BB	17.00	23.94	6.98	3.41	41.4	2.26	100.17	2.05	50.02	"
H	19.83	18.20	6.39	4.88	58.5	3.48	132.28	3.81	35.63	"
I	20.74	31.84	7.61	4.76	65.0	1.24	46.24	2.77	17.16	"
J	18.16	23.22	6.00	3.77	46.0	3.57	131.73	3.26	41.50	"
Ave.	18.92	25.86	6.81	4.15	52.82	2.55	86.74	2.64	32.77	"
Min.	16.05	18.20	6.00	3.41	41.40	0.43	1.50	1.30	4.75	
Max.	20.74	32.11	7.61	7.91	96.10	16.00	132.28	6.29	50.02	
Ave.	17.71	26.99	6.87	5.05	62.43	4.09	63.83	3.22	22.44	

15.57μM로 연안 해역에서 평균 NH₄⁺-N농도(통영연안 1.43 μM, 가막만 2.14 μM, 광양만 2.57 μM)와 비교해보면 정점 F, G의 값은 아주 높은 값이 관측되었다(이 등, 2011). NO₂₊₃⁻-N의 농도는 NH₄⁺-N의 농도가 아주 높았던 정점 F, G를 제외하면 연안해역의 평균 농도(통영주변해역 4.79 μM, 가막만 4.14 μM, 광양만 11.74 μM)보다 최소 2배에서 최대 13배 이상으로 아주 높게 나타났다. 더욱이 이번조사 항목 중에서 NO₂₊₃⁻-N의 농도가 정점 간에 아주 큰 차이를 보였다. 그리고 PO₄³⁻-P의 평균 농도는 3.22μM로 통영주변해역의 평균 농도인 0.79 μM, 가막만 0.43 μM, 광양만 0.68 μM 보다 모든 정점에서 높게 나타났으나 위의 NO₂₊₃⁻-N보다는 크게 높지 않은 것으로 보인다. 그리고 Fig. 3에서처럼 일부 정점에서는 인접한 정점 간(정점 F, G)에 비슷한 수질 특성으로 나타났으나, 정점 A(AA), B(BB)에서는 1월의 경우 염분이 각각 31.28 psu, 28.62 psu, 7월의 경우 32.11 psu, 23.94 psu, NO₂₊₃⁻-N은 1월의 경우 각각 110.50 μM, 43.71 μM, 7월의 경우 23.29 μM, 100.17 μM로 동일한 정점임에도 불구하고 채취시기에 따라 염분과 NO₂₊₃⁻-N 값이 크게 다르게 나타났으며, A와 AA, B와 BB정점 간의 수질 특성도 다르게 나타났다(Fig. 3).

**Fig. 3.** Cluster analysis of study stations based on water quality of ground seawater.

일반적으로 생활하수나 산업폐수는 NH₄⁺-N와 PO₄³⁻-P의 농도가 높게 나타난다. 그리고, 산림이나 논 경지를 경유한 담수에서는 NO₃⁻-N의 농도가 높고 PO₄³⁻-P의 농도가 낮아 DIN/DIP 값이 높아 식물플랑크톤의 제한영양염은 인인 경우가 많다(Caraco 등, 1987; Fisher 등, 1992). 이번조사에서는 염분이 낮은 경우에 NO₂₊₃⁻-N농도가 높은 경향을 보였으며 DIN/DIP 값은 염분이 25psu이하에서는 16이상으로 나타났다(Fig. 4). 그리고 NH₄⁺-N의 농도는 정점 F, G에서 15μM이상으로 높게 나타났으나 NO₂₊₃⁻-N와 비

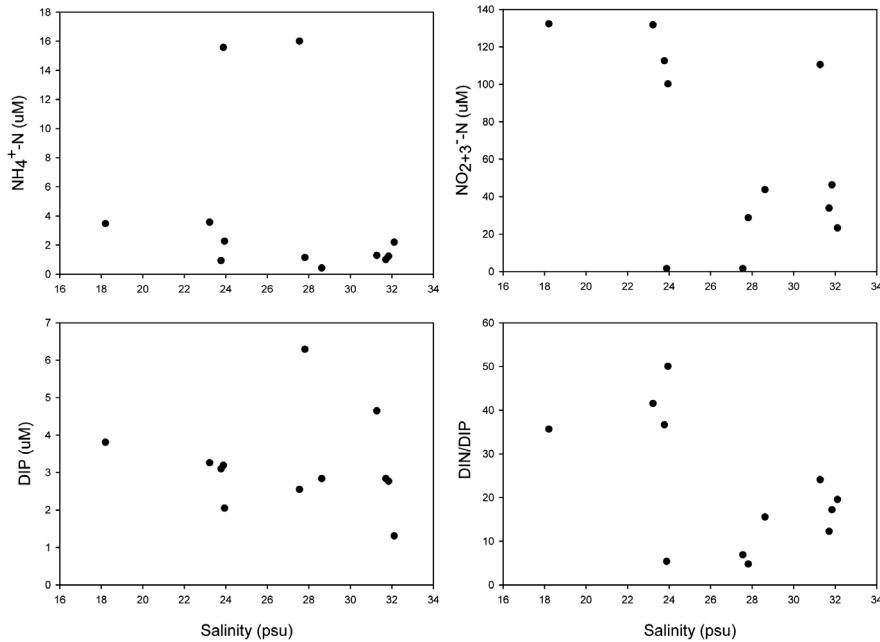


Fig. 4. Relationships between salinity and nutrients on ground seawater.

교하면 높은 농도라고 보기는 어렵다. 따라서 이러한 용존 무기질소 및 인의 농도변동은 단순히 생활하수나 산업폐수의 유입의 영향보다는 산림이나 논경지를 경유한 담수의 유입의 영향이 더 큰 것으로 보인다.

4.2. *C. polykrikoides*의 증식촉진물질

이번조사에서 각 정점간의 수질 측정값으로 군집 분석한 결과 *C. polykrikoides*의 계대배양이 잘된 B와 BB, 그리고 그 외 정점 간에 명확한 차이를 발견할 수 없었으며(Fig. 3), 정점 B와 BB간에 유사한 값을 나타내는 인자는 없었 보인다(Table 1). 또 이번조사에서 지하해수에 F/2배지 성분인 N, P, Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, B₁₂, Biotin, Thiamine을 첨가하여 배양했으나 정점 B(BB)에서만 *C. polykrikoides*가 3차 이상의 계대배양이 이루어졌고, 정점 C, E, F, G, H, I 등에서는 거의 증식하지 않았다(Fig. 2). 따라서 수온, 염분, pH, DO, N, P, Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, B₁₂, Biotin, Thiamine은 *C. polykrikoides* 증식의 주요인자일 가능성은 없어 보인다. 또 Se은 *C. polykrikoides* 증식에 필요한 물질이기는 하나(Lee, 2008), 첨가실험에서 꾸준

한 증식은 확인할 수 없었다(미 발표). 이번조사에서 지하해수에 대한 담수의 주요 유입원은 산림이나 논경지를 경유한 담수로 조사되었다. 그리고, *C. polykrikoides*에 의한 적조의 발생에 있어서 2차 생성물질인 용존 유기 영양염이 중요하다고 보고하고 있다(Lee와 Kim, 2007; Lee 등, 2010). 따라서 담수에 포함된 성분 또는 이러한 담수가 지하해수와 혼합과정에서 미생물의 작용 등으로 생성된 미지의 성분(위에서 서술한 성분 제외)이 *C. polykrikoides* 증식의 주요인자일 가능성이 높아 보인다.

최근의 연구에 의하면, Lee와 Kim (2007)과 Lee 등 (2010)은 *C. polykrikoides*에 의한 적조의 발생에 있어서 2차 생성물질인 용존 유기 영양염이 중요하다고 보고하고 있다. 그리고, *C. polykrikoides*는 유기 질소, 유기 인을 이용하여 증식하는 것은 의심의 여지가 없다(Lee, 2008). 그러나 적조를 일으키는 *Gymnodinium catenatum*도 유기 질소, 유기 인을 이용하여 증식하는 것으로 알려져 있고(Oh 등, 2002), 다양한 유기 질소, 유기 인을 첨가하여 *C. polykrikoides*을 배양한 결과 3차 이상의 계대배양은 어려웠다(미 발표). 만일 유기

질소, 유기 인이 증식 촉진 물질이라면 이러한 유기 물질을 첨가했을 경우 3차 이상의 계대배양이 되어야 한다. 따라서, 용존무기질소, 용존무기인이 단순히 지하해수에 용존무기질소, 용존무기인의 대응으로 *C. polykrikoides*가 이용한 것인지 아니면 유기 질소, 유기 인에 의해 증식이 촉진되는 것인지에 대한 구분이 필요하다.

4.3. *C. polykrikoides* 적조 발생 가능 해역

C. polykrikoides 적조의 최초발생해역은 주로 여수 나로도 주변해역과 남해도 남부해역이다. 이 시기의 *C. polykrikoides*의 chain은 4~8 cells가 기본이다. 즉 최초 *C. polykrikoides* 적조가 발생한 해역에서 관측된 4~8 cells의 *C. polykrikoides*는 증식으로 볼 수 있다. 이러한 이유 등으로 *C. polykrikoides* 적조를 발생시키는 증식 물질의 기원을 외해로 보는 경우도 있다 (Lee, 2006). 그리고 1998년과 1999년에 기존의 적조 발생해역과 멀리 떨어진 군산 연안 해역에서 *C. polykrikoides* 적조가 발생했으며(Lee, 2006), 때로는 *C. polykrikoides* 적조가 완전 소멸된 후에 다시 *C. polykrikoides* 적조가 발생하는 경우도 있어 그 이유에 대하여 의문이 많다.

이번 조사에서 통영연안해역 정점 B(BB)의 지하해수로 배양했을 경우 일관성 있게 *C. polykrikoides*가 잘 증식하였으며 그 밀도가 6000 cells/mL 이상으로 유지되었다. 그리고, 정점 B(BB)해수에 F/2배지 성분을 첨가하지 않을 경우 그 증식 량과 세포의 크기가 현저히 떨어졌다. 이것은 *C. polykrikoides*가 증식하는데 필요한 물질이 통영연안해역의 정점 B의 지하해수에 포함되어있고, 이러한 지하해수가 연안해역으로 유입되고 더불어 질소, 인 등의 물질이 유입될 경우 *C. polykrikoides* 적조가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 결과로 보아 *C. polykrikoides*의 증식에 필요한 물질 중 일반해수에는 없거나 부족한 물질이 군산 연안해역이나 적조 소멸 후에 환경 변화에 의해 외부로부터 유입되었을 수 있으며, 이로 인해 *C. polykrikoides* 적조 소멸 후, 그리고 군산 연안 해역에서 *C. polykrikoides*가 대량으로 증식했을 수도 있을 것이다.

이번조사에서 정점 B(BB)의 지하해수로 배양했을

경우 일관성 있게 *C. polykrikoides*가 잘 증식하였으며, 정점 B의 지하해수가 연안해역으로 유입될 수 있다. 그러나 정점 B 주변에서는 *C. polykrikoides* 적조가 한 번도 관측되지 않았다. 식물플랑크톤이 대량으로 증식하기 위해서는 수많은 인자가 관여하고 있다. 정점 B 부근은 생활해수가 유입되며 비교적 오염된 해역이다. 따라서 이러한 환경 특성으로 또는 지하해수의 용출량이 적어 *C. polykrikoides* 적조가 관측되지 않을 수도 있어, 단지 *C. polykrikoides* 적조가 발생하지 않았다고 *C. polykrikoides* 적조를 발생시키는 물질이 유입되지 않은 것으로 보기는 어렵다.

5. 결론

*C. polykrikoides*가 대량으로 증식하기 위해 필요한 물질이 오직 나로도 이남의 해역에서만 유입되는지에 대하여 검토하기 위해 지하해수로 증식실험을 하였다.

지하해수의 수온의 변동범위는 16.05~20.74°C이였으며, 계절 변동 없이 일정하였다. 염분의 변동범위는 18.20~32.11 psu이였으며, 통영연안보다 일부 정점에서 아주 낮았다. pH의 변동범위는 6.00~7.61이였으며, 통영연안보다 약간 낮았으며, DO의 변동범위는 3.41(41.4)~7.91 mg/L(96.1%)이였으며, 평균은 5.05 mg/L(62.4%)로 대부분의 정점에서 포화도가 낮았다. $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 의 변동범위는 각각 0.43~16.00 μM , 1.50~132.38 μM , 1.30~6.29 μM 이였으며, 일부정점에서 통영연안해역보다 아주 높게 나타났다. 그리고 같은 정점에서도 채수시기에 따라 수질이 다르게 나타났다.

*C. polykrikoides*의 최대 증식량은 2회의 조사결과 모두 정점 B의 지하해수에서 아주 높게 나타났으며, 정점 B의 지하해수로 *C. polykrikoides*를 배양할 경우 일관되게 잘 증식하였다. 또 적조가 발생했을 때와 같은 형태로 대량으로 증식하였다. 이러한 결과로 보아 정점 B의 지하해수에 *C. polykrikoides*가 증식하기 위해서 필요한 물질이 포함되어있고, 그 물질로 인해 *C. polykrikoides*가 잘 증식한 것으로 볼 수 있다. 이러한 지하 해수가 *C. polykrikoides* 적조 발생 시기에 유입되면 *C. polykrikoides* 적조가 발생할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 연구 사업비로 수행한 연구결과의 일부입니다(RP-2012-ME-027).

참 고 문 헌

- 이영식, 임월애, 정창수, 박종수, 2011, 통영주변해역 수질의 공간분포 및 월변화 특성, 한국해양환경공학회지, 14, 154-162.
- 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 330.
- Caraco, N., Tamse, A., Boutros, O., Valiela, I., 1987, Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds, Can. J. Fish. Aqua. Sci., 44, 473-476.
- Fisher, T. R., Peele, E. R., Ammerman, J. W., Harding, L., 1992, Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay, Mar. Ecol. Prog. Ser., 82, 51-63.
- Kim, D. I., Matsuyama, Y., Nagasoe, S., Yamaguchi, M., Yoon, Y. H., Oshima, Y., Honjo, T., 2004, Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae), J. Plankton Res, 26, 1-6.
- Lee, C. K., Lee, O. H., Lee, S. G., 2005, Impacts of temperature, salinity and irradiance on the growth of ten harmful algal bloom-forming microalgae isolated in Korean coastal waters, J. of the Korean Society of Oceanography, 10, 79-91.
- Lee, Y. S., 2008, Utilization of various nitrogen, phosphorus, and selenium compounds by *Cochlodinium polykrikoides*, J. Environ. Biol., 29, 799-804.
- Lee, Y. S., 2006, Factors affecting outbreaks of high-density *Cochlodinium polykrikoides* red tides in the coastal seawaters around Yeosu and Tongyeong, Korea, Marine Pollution Bulletin, 52, 1249-1259.
- Lee, Y. S., Lee, S. Y., 2006, Factors affecting outbreaks of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in coastal areas of Korea, Marine Pollution Bulletin, 52, 626-634.
- Lee, Y.-W., Kim, G., 2007, Linking groundwater-borne nutrients and dinoflagellate red-tide outbreaks in the southern sea of Korea using a Ra tracer, Estuarine coastal and shelf science 71, 309-317
- Lee, Y.-W., Kim, G., Lim, W.-A., Hwang, D.-W., 2010, A relationship between submarine groundwater-borne nutrients traced by Ra isotopes and the intensity of dinoflagellate red-tides occurring in the southern sea of Korea, Limnology and Oceanography, 55, 1-10.
- Oh, S. J., Yamamoto, T., Kataoka, Y., Matsuda, O., Matsuyama, Y., Kotani, Y., 2002, Utilization of dissolved organic phosphorus by the two toxic dinoflagellates, *Alexandrium tamarense* and *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae), Fisheries Science, 68, 416-424.
- Richlen, M. L., Morton, S. L., Jamali, E. A., Rajan, A., Anderson, D. M., 2010, The catastrophic 2008 - 2009 red tide in the Arabian gulf region, with observations on the identification and phylogeny of the fish-killing dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*, Harmful Algae, 9, 163-172.