

부안 상록해수욕장의 사상 녹조류 금발대마디말(*Cladophora vadorum*) 대량발생과 영양염 농도

하동수 · 유현일 · 장수정¹ · 황은경*

국립수산과학원 해조류연구센터, ¹국립수산과학원 서해수산연구소 자원환경과

Bloom of a Filamentous Green Alga *Cladophora vadorum* (Areschoug) Kützing and Nutrient Levels at Shangrok Beach, Buan, Korea

Dong Soo Ha, Hyun Il Yoo, Soo Jung Chang¹ and Eun Kyoung Hwang*

Seaweed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Mokpo 58746, Korea

¹Fisheries Resources and Environment Research Division, West Sea Fisheries Research Institute, Incheon 22383, Korea

A filamentous green alga *Cladophora vadorum* (Areschoug) Kützing, bloomed at Shangrok Beach, Buan, Republic of Korea, in September 2015. This alga is currently distributed worldwide. Concentrations of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), dissolved inorganic nitrogen (DIN), and dissolved inorganic phosphorus (DIP) were analyzed in the bloom area and compared to those of other areas in the vicinity. DIN and DIP concentrations were similar to those of other areas. However, TN and TP were as much as six and ten times higher than in other areas, respectively. As in other *Cladophora* species, the bloom of *C. vadorum* at Shangrok Beach in 2015 appears to have depended on the TP concentration in the seawater. This suggests that blooms in the area can be controlled by reducing TP.

Key words: Bloom, *Cladophora vadorum*, Total Phosphorus, Total Nitrogen

서 론

전세계의 많은 해변에서 녹색, 갈색과 붉은색을 띠는 다양한 해조류들이 연안으로 밀려올라 오는 것을 볼 수 있다. 바닷가에 밀려오는 해조류의 양은 많은 나라들에서 1970년대와 1990년대에 해변의 골칫덩이로 떠오르기 시작했는데(Veliela et al., 1997; Fletcher, 1996), 해조류의 대량발생 현상은 녹조(Green tides)로서 알려지기 시작했다. 2000년대부터 연안에서의 인간 활동 증가와 함께, 전세계의 많은 지역에서 녹조 현상이 발생했다는 보고가 점차 증가하고 있다(Ye et al., 2011). 비록 인간에게 직접 유해하지는 않다고 하더라도, 연안에서 해조류의 대량 증가는 많은 바이오매스(Biomass) 자체만으로도 연안을 기반으로 하는 모든 활동에 제약을 주게 된다. 수천 톤의 해조류가 밀려온 해안에서는 관광객이 감소하게 되고, 밀집되어 떠다니는 해조류는 수영객과 선박의 이동에 지장을 주게 된다(Smetacek and Zingone, 2013). 제 때에 해조류를 제거하지 않으면, 해조류는 썩게 되고, 연안 생태계는 독성 황화수소(H_2S)를 내뿜는

냄새 나는 늪처럼 변하게 된다(Norkko and Bonsdorff, 1996).

해조류 대량발생을 일으키는 해조류 종은 놀랍게도 몇 개의 속에 지나지 않는데, 하나는 녹조현상의 주범인 갈파래(*Ulva*) 속이며, 다른 하나는 갈조현상(golden tide)을 일으키는 모자반(*Sargassum*) 속이다(Norkko and Bonsdorff, 1996). 이 중 갈파래속이 일으킨 가장 대표적인 대량발생의 사례는 2008년 6월에 중국 청도 연안에서 발생했다(Pang et al., 2010; Kang et al., 2014). 이들 갈파래는 2008년부터 2009년까지 해류를 타고 우리나라 연안까지 밀려와 해안과 양식장에 피해를 준 바 있다. 그러나 대마디말속(*Cladophora*)에 의한 대량발생은 미국과 캐나다 등의 담수 지역에서 주로 발생한 사례가 있으나, 연안에서 발생한 사례는 없었다.

대마디말(*Cladophora* spp.)은 녹조식물, 갈파래강, 대마디말목에 속하는 사상 녹조류로, 전세계 온대와 아한대 해역에 폭넓게 생육하는 종이다. 현재까지 전세계에서 약 170여종이 기록되어 있으며, 우리나라에는 20종이 분포한다(Bae et al., 2010).

1990년대와 2000년대 미국의 남부 오대호 주변(온타리오, 이

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0241>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 49(2) 241-246, April 2016

Received 16 January 2016; Revised 24 February 2016; Accepted 29 February 2016

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 280. 4720 Fax: +82. 61. 285. 1949

E-mail address: ekh215@korea.kr

리, 미시건) 연안 지역은 오염에 따른 유기물의 부패로 인하여 자주 수자원의 이용에 제약을 받게 되었다. 부패물질들은 사람들이 호수에서 여가시간을 보내는데 주저하도록 만들었으며, 하수로 착각할 정도의 악취를 풍겼다. 이들 대량발생 물질은 단일 사상 조류인 *Cladophora glomerata*와 여기에 착생한 부착성 조류들이었다(Higgins et al., 2008). 대마디말류인 *C. glomerata* 대량발생은 오대호 주변에서는 새로운 일이 아니었으며, 호수, 강과 연안 등 인간의 활동으로 인한 영양염 유입이 많은 지역에서 보고되어 왔다(Whitton, 1970; Planas et al., 1996; Orlova et al., 2004).

대마디말류에 의한 대량발생은 1800년대 이전에도 나타났다는 보고는 있었으나(Taft and Kishler, 1973), 1848년 미국 오대호에서 처음 보고되었다(Higgins et al., 2008). 1970년대와 1980년대 대마디말류 대량발생의 생태에 대하여 많은 연구들이 이루어졌으며(Shear and Konasewich, 1975; Taft, 1975; Wong and Clark, 1976; Auer, 1982), 이들 연구들을 통해 대마디말의 생장율과 현존량에 관여하는 온도, 조도 및 영양염의 역할이 밝혀졌다. 이리호의 중층 무산소증과 부영양화를 감소(Vallentyne and Thomas, 1978)시키기 위해서, 1970년대부터 1990년대까지 오대호 지역에서 총인 농도의 감축으로, 오대호 수질의 총인 증가가 유의하게 감소된 사례(Charlton et al., 1999)가 보고된 바 있다. 이러한 총인 농도의 감소는 휴론히의 하수처리수 방류에 의해 직접 영향을 받는 연안의 80%(Canale and Auer, 1982)와 온타리오호 주변 7개 지역의 60%에 해당하는 지역(Painter and Kamaitis, 1987)에서 대마디말의 감소를 가져왔다.

2015년 9월 우리나라 전북 부안의 상록해수욕장에서 사상 녹조류에 의한 대량발생으로 인해 해당 지역 어업인들이 해마다 실시해 오던 김 채묘에 지장을 초래하여 수산업상 피해를 유발시켰다. 따라서, 이 연구에서는 상록해수욕장에서 2015년 처음으로 나타난 사상 녹조류의 대량발생 현상을 보고하고, 종동정과 해수중의 영양염 분석을 통하여, 이들 사상 녹조류의 대량발생원인을 유추하고자 하였다.

재료 및 방법

시료채집 및 환경조사

전북 부안 상록해수욕장(Fig. 1)에서 2015년 9월 15일 녹조류 시료와 함께 해수 시료를 1 L 용량의 bottle에 채수하여 아이스박스에 담아 즉시 실험실로 옮겼다. 서식지의 환경은 수온, 염분 및 용존산소를 YSI-85 (YSI Inc., USA)로 현장에서 측정하였다.

종동정

채집된 시료는 멸균해수에 담아 10 cm petri dish에 담아 현미경(Inverted microscope CKX41, Olympus, Japan) 및 고해상

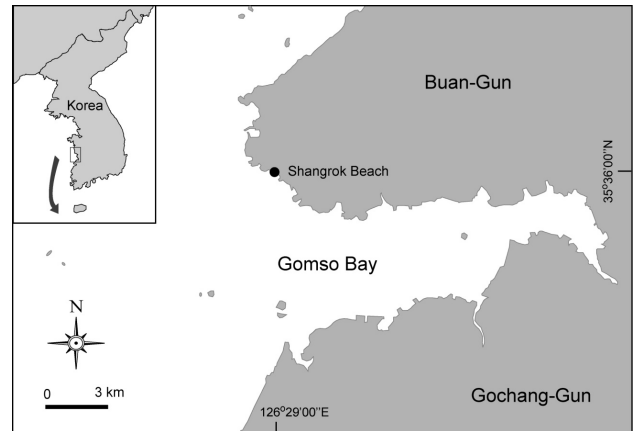


Fig. 1. A map showing the sampling site at Shangrok Beach, Buan, Republic of Korea. Closed circle represent the site of mass bloom of *Cladophora vadorum*.

도 Live Digital-CCD 영상장치(DP27, Olympus, Japan)을 이용하여 검경하였다. 대마디말의 분류체계는 Bae et al. (2010), Lee (2008) 및 van den Hoak (1963)의 기재 내용과 비교하여 종을 동정하였다.

해수중 영양염 분석

해수중 영양염 분석은 전자동 수질분석기(QuAatro auto analyzer 5 channels, Seal analytical GmbH, Germany)를 이용하였다. 암모니아질소(Ammonia nitrogen, NH_4^+-N)는 Indophenol 청색법으로, 아질산질소(Nitrite nitrogen, NO_2^--N)는 α -NED 법으로 측정하였으며, 질산질소(Nitrate nitrogen, NO_3^--N)는 Cd-Cu 칼럼을 이용한 아질산환원법으로, 총질소(Total nitrogen, TN)는 용존 및 입자형태 질소화합물을 알카리성 과황산칼륨으로 분해하여 Cd-Cu 칼럼을 이용한 아질산환원법으로 분석하였다. 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphorus, DIP)은 아스코르브산을 이용한 몰리브덴 청색법으로 측정하였고, 총인(Total phosphorus, TP)은 용존 및 입자형태인 인화합물을 과황산칼륨으로 산화 분해하여 아스코르브산을 이용한 몰리브덴 청색법으로 분석하였다. 용존무기질소(Dissolved inorganic nitrogen, DIN)는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소를 개별적으로 분석한 후 이들의 합으로 구하였다. 또한, 부안 상록해수욕장의 해수를 분석한 결과와 국립수산과학원 서해 연안어장환경조사의 2015년 8월, 2014~2015년 짝수 달과 2015년 8월 곰소만의 영양염 평균 자료와 비교하여 분석하였다.

통계처리

영양염 농도 자료의 통계 분석은 분산분석법(one-way ANOVA)을 이용하여 실시하였으며, 통계프로그램은 SPSS ver 8.0과 SYSTAT ver 9.0을 이용하여 유의수준 0.01 수준에서 이루어졌다. 데이터간 유의차가 나타난 경우 유의차의 검정은 Fish-

er's LSD test를 이용하였다.

결과 및 고찰

생태 및 환경적 특성

전북 부안 상록해수욕장은 곱소만 입구에 위치하고 있다(Fig. 1). 곱소만은 부안군과 고창군 사이에 위치한 반폐쇄적인 만으로, 지방 하천인 주진천이 유입하고 있으며, 영양염이 풍부한 갯벌이 넓게 펼쳐져 있다(Chang et al., 2007). 상록해수욕장의 저질은 사질 갯벌과 혼성 갯벌로 구성되어 있으며, 경사가 완만하여 여름철에는 해수욕장으로, 가을철에는 김의 야외 채포 장소로도 이용되는 곳이다. 2015년 9월 15일 녹조류 대량발생시의 환경 특성은 수온 23.9°C, 염분 31.5 psu, pH 7.72였다.

연안 해역은 외해와는 다르게 인간의 활동에 의해서 발생하는 오염물질로 인하여 민감한 특성의 생태계를 이루고 있으므로 해양학적으로나 환경관리 면에서 아주 중요한 곳이다(LOICZ, 1995). 연안역에서 영양염 분포의 주된 조절 요인은 육상에서의 영양염 유입, 조류 등에 의한 수직적 이동 및 혼합, 일차 생산자에 의한 흡수, 저층에서 형성된 영양염의 수층 공급 등이다(Jang et al., 2005). 담수의 유입으로 인해 성층형성에 방해를 받는 기수지역에서 강은 영양염 공급의 중요한 요인이며(Mann, 2000), 만 입구에 형성된 퇴적물에서 재용출된 영양염이 만 내로 이동하는 것도 영양염 공급의 주요인이 되는데, 이러한 현상은 여름철이 겨울철 보다 더 뚜렷하게 나타난다고 하였다(Riz-

zo, 1990). 2015년 상록해수욕장의 녹조류 발생 현황은 처음 나타나기 시작한 8월말로부터 약 15일 후인 9월 15일에 약 35 ha의 해수욕장 대부분을 뒤덮을 정도로 빠르게 번무하였다. 시료는 황록색으로 아주 긴 실모양으로 뒤엉켜 있었으며, 질은 아주 단단하고 매우 거칠어 쉽게 염체가 절단되지 않았다(Fig. 2).

종동성

시료의 형태는 부정형의 덩어리를 이루어 부유하거나, 다른 해조류 또는 기질에 엉켜서 자라고 있었다. 염상체는 황록색(Fig. 3A)으로 보이는 아주 긴 실 모양이며, 중심줄기가 뚜렷하지 않고, 드물게 위-차상으로 분지하는 긴 주축으로 구성되어 있다(Fig. 3B). 체세포는 긴 원기둥 모양이고 엽록체는 그물 모양이었다(Figs. 3C-D). 이와 같은 형태적 특성의 상록해수욕장에서 대량발생한 사상 녹조류는 Lee (2008)가 소개한 금발대마디말 [*C. vadorum* (Areschoug) Kützinger]과 일치하는 것으로 판단되었다. 금발대마디말은 녹조식물, 갈파래강, 대마디말목에 속하는 해조류로, 조간대에서 긴 실 모양으로 가지를 내어 엉켜서 부유하거나 기질에 붙어서 자라므로 쉽게 제거되지 않으며, 조류 소동이 원활하지 못한 내만성 해역에 주로 번무하는 종이다.

해수중 영양염 분석

상록해수욕장에서 금발대마디말과 함께 채수된 해수의 영양염 분석결과(Table 1), 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 용존무기질소, 용존무기인은 2015년 8월 곱소만 평균과 서해연

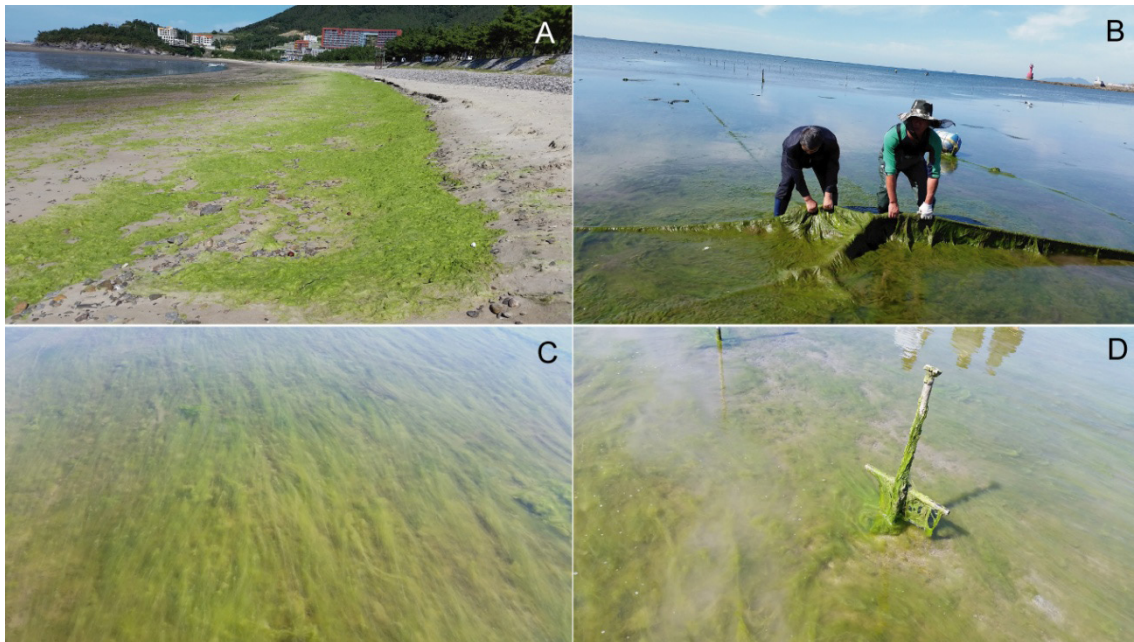


Fig. 2. Mass bloom of *Cldophora vadorum* at Shangrok Beach, Buan, Republic of Korea in September 2015. A, Upper tidal zone of Shangrok Beach; B, Dense thalli attached to substrate in the bottom; C, Dense thalli growing at subtidal zone; D, Bottom and wood pole covered with *C. vadorum*.

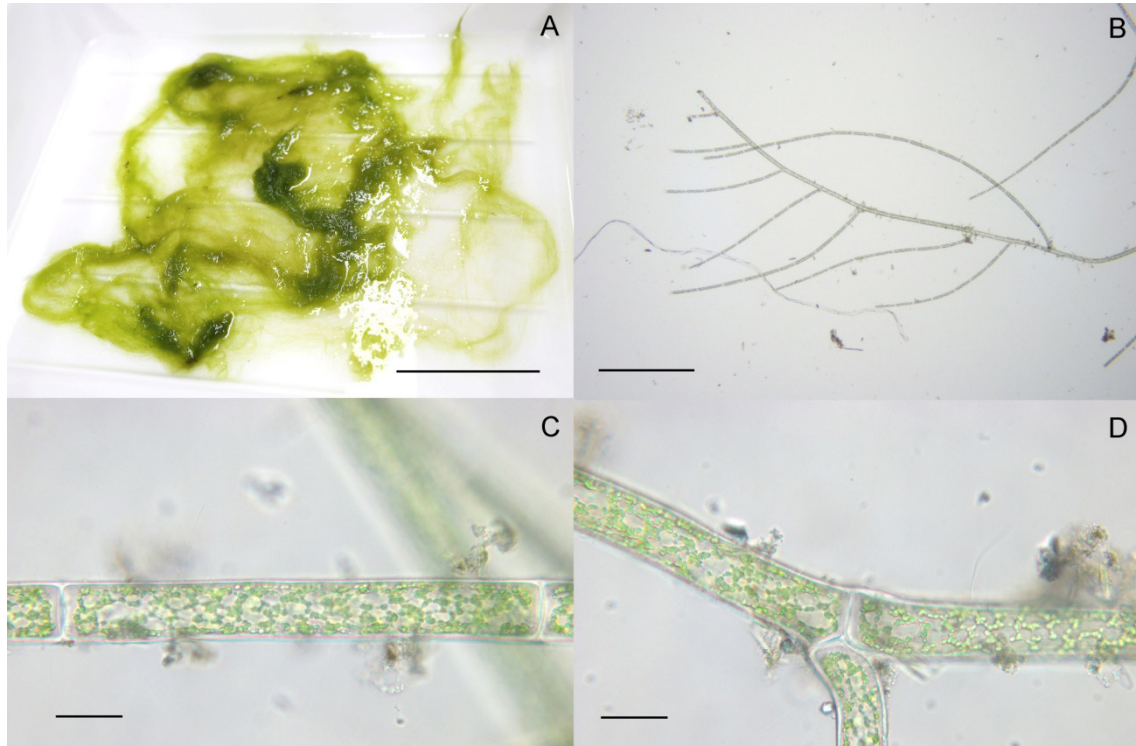


Fig. 3. Morphology of *Cladophora vadorum*. A, Dense thallus; B, Branch system of upper thallus; C, Cylindrical cell of thallus; D, Ramification from a branch. Scale bars are 10 cm (A), 500 μm (B), 50 μm (C-D).

Table 1. Analysis of nutrients content from seawater at Shangrok Beach, Buan, Republic of Korea in 15 September 2015

Content	Concentration (mg L^{-1}) ¹			
	This result	Mean of Western coast August, 2015 ²	Mean of Gomsobay August, 2015 ²	Mean of Gomsobay 2014-2015 ²
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	0.025 ^b	0.061 ^a	0.032 ^b	0.024 ^b
$\text{NO}_2^-\text{-N}$	0.002 ^b	0.012 ^a	0.003 ^b	0.004 ^b
$\text{NO}_3^-\text{-N}$	0.003 ^c	0.115 ^a	0.008 ^c	0.040 ^b
DIN	0.030 ^b	0.188 ^a	0.043 ^b	0.067 ^b
TN	1.774 ^a	0.383 ^b	0.193 ^b	0.293 ^b
DIP	0.010 ^a	0.019 ^a	0.012 ^a	0.010 ^a
TP	0.438 ^a	0.046 ^b	0.034 ^b	0.030 ^b

¹Values in same row having different superscripts are significantly different ($P < 0.01$) as a result of *a posteriori* Fisher's LSD test. ²Data from the monitoring report of marine environment around aquaculture area along the western coast in Korea, National Institute of Fisheries Science.

안 평균에 비해 높지 않았으나, 부안 상록해수욕장 해수 분석 시, 총 질소는 서해안 전체지역 2015년 8월 평균에 비해 약 5배 가량, 고평만 8월 측정값에 비해 9배, 2014-2015년 고평만 평균 측정값에 비해 약 6배 가량 높게 나타났다. 총 인의 경우 2015년 8월 서해 전체지역 평균에 비해 약 10배, 고평만 전체 평균에

비해 약 13배, 2014-2015년 고평만 평균에 비해 약 15배 가량 높게 나타났다. 암모니아 질소의 경우 0.025, 아질산질소 0.002 mg L^{-1} , 질산질소 0.003 mg L^{-1} 으로 용존무기질소는 0.030 mg L^{-1} , 총질소는 1.774 mg L^{-1} 으로 나타났다. 용존무기인 0.010 mg L^{-1} , 총 인은 0.438 mg L^{-1} 의 농도로 조사되었다. 즉, 조사

지역에서 TN과 TP가 인근지역에 비하여 유의하게 높은 농도로 나타났으며, 특히 TP의 농도가 매우 높은 것으로 나타났다.

우리나라에서 녹조류의 대량발생은 2008-2009년 전남 서해안과 제주도 지역에 발생한 갈파래류의 대량발생 현상이 있었다. 이들 부유성 갈파래류 대량발생의 기원에 대해서는 논란이 있으나, 중국 동부 연안의 김 양식장에서 유래하였다는 보고(Liu et al., 2010)와 육상의 동물을 양식하는 호지 양식장으로부터 기원(Pang et al., 2010)하였다는 보고가 있다. 이러한 의견차이에도 불구하고 기본적으로 녹조류 대량발생의 근본적인 원인은 부영양화 때문으로 보여진다(Kim et al., 2014). 이와 같이 갈파래류의 대량발생에 대해서는 피해규모와 발생 기원에 대한 연구가 진행되어 있으나, 국내에서 대마디말의 대량발생은 보고된 바가 없었다.

외국의 경우, 대마디말류의 대량발생은 미국의 오대호 연안과 같이 담수호에서 발생한 사례들이 주로 보고되었으나, 우리나라의 상록해수욕장과 같이 연안에서 대마디말류의 대량발생이 일어난 것은 첫 번째 사례라 할 수 있다. 대마디말의 대량발생은 총인(TP) 농도 증가가 원인인 것으로 알려졌으며(Charlton et al., 1999), 실제로 1970년대부터 1990년대까지 오대호 지역에서 총인 농도를 감축시키자 대마디말의 대량발생 감소가 나타난 사례가 보고되었다. 본 연구에서도 Table 1과 같이 상록해수욕장의 용존 무기인 농도는 타 지점에 비하여 유의한 차이가 없으나 총인의 농도는 0.438 mg L^{-1} 로 서해 연안 표층해수의 평균(0.046 mg L^{-1}) 보다 약 10배 정도 높게 나타났다.

따라서, 2015년 전북 부안 상록해수욕장에서 나타난 금발대마디말의 대량발생은 해수중 영양염(TN, TP)의 농도 증가에 따라 나타난 현상으로 유추해 볼 수 있으며, 특히 해수중 총인의 농도가 증가하게 된 원인은 인간의 활동으로 인한 영양염 증가가 원인일 것으로 판단된다. 실제로 상록해수욕장에서 금발대마디말의 대량발생은 해수욕 시즌이 끝난 직후라는 점을 감안하면, 인근의 숙박업소 밀집 지역에서 배출된 배출수가 직접 해수욕장으로 유입되었을 가능성을 추론해 볼 수 있다. 대마디말의 대량발생에 의한 영향은 첫째, 단일 해조류 종의 대량발생과 부패로 인한 수질 악화 및 생물 다양성 감소이며, 둘째, 이 지역에서 매년 가을에 이루어지는 김 채모에 지장을 초래하여 수산업상 피해를 유발하였고, 셋째, 관광객의 해수욕장 기피로 인해 이 지역 관광 수입의 감소 등 경제적 피해가 그것이다. 이 지역에서 대마디말의 대량발생을 억제하기 위한 대책은 육상에서 유입되는 영양염을 차단하고, 총인과 총질소 등 영양염의 농도 규제를 통하여 해수중 영양염의 농도를 낮추는 노력이 필요할 것이다.

이 연구는 전북 부안 상록해수욕장에서 대량발생한 사상 녹조류 대마디말류의 종동정과 해수중의 영양염 분석을 통하여, 금발대마디말의 대량 발생양상을 처음으로 보고하였으며, 연안역의 수질 환경 변화가 극단적인 생태계의 변화를 야기할 수 있음을 보여주는 좋은 사례라 할 수 있다.

사 사

본 논문은 2016년도 국립수산물과학원의 연구비지원 (R2016005)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 아울러 중동정에 자문을 해주신 경상대학교 오윤식 교수님께도 감사드립니다.

References

- Auer MT. 1982. Ecology of filamentous algae. *J Gt Lakes Res* 8, 1-237.
- Bae EH, Kim HS, Kwon CJ, Hwang IK, Kim GH and Klochkova TA. 2010. Algal flora of Korea. Vol 1 Marine green algae. National Institute of Biological resources, Incheon, Korea, 218.
- Canale RP and Auer MT. 1982. Ecological studies and mathematical modeling of *Cladophora* in Lake Huron: 7. Model verification and system response. *J Gt Lakes Res* 8, 134-143.
- Chang JH, Ryu SO and Jo YJ. 2007. Long-term variation of tidal-flat sediments in Gomsso Bay, West Coast of Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 28, 357-366.
- Charlton MN, Le Sage R and Milne JE. 1999. Lake Erie in transition: the 1990's. In: State of Lake Erie (SOLE)-past, present and future. Munawar M, Edsall T and Munawar IF, eds. *Ecovision World Monograph Series*. Backhuys Publ, Netherlands, 97-123.
- Fletcher RL. 1996. The occurrence of "Green Tides"- a review. In: Recent changes and the effects of eutrophication. Schramm W and Nienhuis PH, eds. Springer, 7-43.
- Higgins SN, Malkin SY, Howell ET, Guildford SJ, Campbell L, Hiriart-Baer V and Hecky RE. 2008. An ecological review of *Cladophora glomerata* (Chlorophyta) in the Laurentian Great Lakes. *J Phycol* 44, 839-854. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00538.x>.
- Jang PG, Lee WJ, J MC, Lee JD, Lee WJ, Chang M, Hwang KC and Shin K. 2005. Spatial and temporal distribution of inorganic nutrients and factors controlling their distributions in Gwangyang Bay. *Ocean Polar Res* 27, 359-379. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2005.27.4.359>.
- Kang EJ, Kim JH, Kim K, Choi HG, Kim KY. 2014. Re-evaluation of green tide-forming species in the Yellow Sea. *Algae* 29, 267-277. <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2014.29.4.267>.
- Lee YP. 2008. Marine algae of Jeju. Academy Book Co., Jeju, Korea, 477.
- Liu D, Keesing JK, Dong Z, Zhen Y, Di B, Shi Y, Fearn P and Shi P. 2010. Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms. *Mar Polut Bull* 60, 1423-1432.
- LOICZ(Land Ocean International in the Coastal Zone). 1995. The dynamics of global change and the coastal zone. LOICZ Meeting Report, Texel 9, 108.

- Mann KH. 2000. Ecology of coastal waters. Blackwell, Science, Berkeley, U.S.A., 406.
- Norkko A and Bonsdorff E. 1996. Population responses of coastal zoobenthos to stress induced by drifting algal mats. *Mar Ecol Prog Ser* 140, 141-151.
- Orlova MI, Muirhead JR, Antonov PI, Shcherbina GK, Starobogatov YI, Biochino GI, Therriault TW and MacIsaac HJ. 2004. Range expansion of quagga mussels *Dreissena rostriformis bugensis* in the Volga River and Caspian Sea basin. *Aquat Ecol* 38, 561-573. <http://dx.doi.org/10.1007/s10452-005-0311-6>.
- Painter SD and Kamaitis G. 1987. Reduction of *Cladophora* biomass and tissue phosphorus in Lake Ontario, 1972-1983. *Can J Fish Aquat Sci* 44, 2212-2215.
- Pang SJ, Liu F, Shan TF, Xu N, Zhang ZH, Gao SQ, Chopin T and Sun S. 2010. Tracking the algal origin of the *Ulva* bloom in the Yellow Sea by a combination of molecular, morphological and physiological analyses. *Mar Environ Res* 69, 207-215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2009.10.007>.
- Planas D, Maberly SC and Parker JE. 1996. Phosphorus and nitrogen relationships in *Cladophora glomerata* in two lake basins of different trophic status. *Freshw Biol* 35, 609-622.
- Rizzo WM. 1990. Nutrient exchange between the water column and a subtidal benthic macroalgal community. *Estuaries* 12, 219-226.
- Shear H and Konasewich DE. 1975. *Cladophora* in the Great Lakes. International joint Commission, Windsor, Ontario, Canada, 179.
- Smetacek V and Zingone A. 2013. Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature* 504, 84-88. <http://dx.doi.org/10.1038/nature12860>.
- Taft CE and Kishler WJ. 1973. *Cladophora* as related to pollution and eutrophication in western Lake Erie, No. 332X, 339X. Water Resources Center, Ohio State Univ and US Department of the Interior, Columbus, Ohio, U.S.A., 103.
- Taft CE. 1975. History of *Cladophora* in the Great Lakes. In: *Cladophora in the Great Lakes*. Shear H and Konasewich DE, eds. International Joint Commission, Windsor, Ontario, Canada, 5-16.
- Valiela I, McClelland J, Hauxwell J, Behr PJ, Hersh D and Foreman K. 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: Controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnol Oceanogr* 42, 1104-1118.
- Vallentyne JR and Thomas NA. 1978. Fifth year review of Canada-United States Great Lakes water quality agreement. Report of task group III – A technical group to review phosphorus loading. International Joint Commission, Windsor, Ontario, Canada, 84.
- van den Hoak C. 1963. Revision of the European species of *Cladophora*. Leiden, 248.
- Whitton BA. 1970. Biology of *Cladophora* in freshwaters. *Water Res* 4, 457-476.
- Wong SL and Clark B. 1976. Field determination of the critical nutrient concentrations for *Cladophora* in streams. *J Fish Res Board Can* 33, 85-92.
- Ye N, Zhang X, Mao Y, Liang C, Xu D, Zou J, Zhuang Z, Wang Q. 2011. ‘Green tides’ are overwhelming the coastline of our blue planet: taking the world’s largest example. *Ecol Res*, 26, 477-485. <http://dx.doi.org/10.1007/s11284-011-0821-8>.