



Original Article

금강 하구역 인근 김 황백화 원인 분석

김영식^{1,†} · 김재성² · 김용이³ · 최성연³

¹군산대학교 해양생물공학과 교수

²(주)워터엔에코바이오 대표

³군산대학교 해양생물공학과 대학원생

Analysis of Factors Underlying *Pyropia* Chlorosis near Geumgang Estuary

Young Sik Kim^{1,†}, Jaeseong Kim², Yong Yi Kim³, and Soung Youn Choi³

¹Professor, Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 53150, Korea

²CEO, Water & Eco-Bio Co., Ltd., 501 Jungboo Building, Kunsan 54156, Korea

³Graduate student, Department of Marine Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 53150, Korea

요 약

‘김 황백화’는 김의 엽체가 황색 또는 백색으로 변하는 현상으로, 해수 중 용존무기질소(DIN)가 0.07 mg l⁻¹ 이하의 빈영양 상태가 상당기간 지속적으로 유지될 때 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 현상은 2010년과 2016년 한국 서·남해안 일대 김 양식장에서 발생하였으며, 2017년 금강 하구역 인근 김 양식장에서 다시 발생하여 양식업에 심각한 피해를 주었다. 본 연구는 김 황백화에 대한 과거 선행 연구들과 최근의 기상 및 해당지역 영양염 농도자료 등을 종합하여 2017년 금강 하구역에서 발생한 황백화 현상의 원인을 유추해 보고자 하였다. 2017년 9월~11월(김 양식 초기 시기)의 강수량은 2014~2016년에 비해 절반 이하로 매우 적었고, 이로 인해 금강 하굿둑을 통한 방류량도 적었으며, 점차 금강 유역의 총질소 농도가 감소되는 추세이다. 결과적으로 김 양식장으로의 불충분한 영양염 공급이 황백화의 원인임을 재확인 하게 되었다. 영양염의 공급 부족과 더불어 김양식 시설의 과잉 밀식도 김 황백화의 또 다른 원인일 것으로 사료된다. 김 황백화로 인한 수산업 피해를 저감하기 위하여는 지속적인 영양염 공급을 위하여 고품 시비제의 개발, 금강 하굿둑 방류량 조절과 같은 적극적인 노력이 필요하고, 더불어 향후 적정 시설량 산정을 위한 연구 및 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

Abstract – ‘*Pyropia* (=Porphyra) chlorosis’, in which the thallus of *Pyropia* turns yellow or white, is known to occur when the concentration of dissolved inorganic nitrogen in seawater is below 0.07 mg l⁻¹. This phenomenon was first reported in the laver farms cultivated near the western and southern Korean coastal waters in 2010 and 2016. In 2017, it was reported again from the laver cultivation farms near Geumgang Estuary, causing serious damage to the aquaculture industry. The purpose of this study is to analyze the factors contributing to *Pyropia* chlorosis near the Geumgang Estuary in 2017, and is based on a combination of previous and recent data pertaining to climate and nutrient concentrations in this geographic area. Based on the studies, the amount of precipitation in the nearby Geumgang Estuary during September to November (the starting period of laver cultivation) in 2017 was less than half of the amount recorded in 2014~2016, resulting in fewer discharges through the Geumgang Estuary. The total nitrogen concentration in the Geumgang basin has decreased gradually. Subsequently, it was reaffirmed that inadequate nutrition was the cause of *Pyropia* chlorosis in the laver cultivation farms. In addition, the excessively high density of facilities available for laver cultivation may be another contributing factor in *Pyropia* chlorosis. To reduce the agricultural damage caused by *Pyropia* chlorosis, aggressive efforts are needed to ensure a continuous supply of nutrients via development of solid fertilizers, and control of discharge from Geumgang Estuary Dike. As well, studies may be necessary to evaluate the appropriate facilities available.

Keywords: Laver Cultivation Farm(김 양식장), *Pyropia* Chlorosis(김 황백화), Dissolved Inorganic Nitrogen(용존무기질소), Geumgang Estuary(금강 하구역)

[†]Corresponding author: kimys@kunsan.ac.kr

1. 서 론

김은 이미 1600년대 중반부터 우리나라에서 양식되기 시작해서 지금까지 이어져 내려온 가장 오래 된 해조류 양식 품종 중 하나이다(Sohn[1998]). 1960년대 이전에는 자연 채묘에 의한 불안전 양식이 중심을 이루었으나 일본으로부터의 양식기술이 도입되면서 초기 양식 산업이 시작되었으며(Kim[2015]), 1970년대 말 대량 생산 체제에 돌입하여 1980년대부터 제품생산의 기계화에 따른 대규모 시설이 가능하게 되었고(Hong *et al.*[1999]), 그 후 생산량이 지속적으로 증가 추세를 보이면서 2017년에는 523,648 톤이 양식 생산 된 바 있다(KOSIS, <http://kosis.kr>).

그러나 이러한 김 양식기술의 발전은 김 양식 어장의 무질서한 이용으로 인한 질병의 발생, 품질 저하, 계획 생산의 차질을 초래하고 시비제 등의 오·남용으로 인한 환경오염에 대한 문제가 지속적으로 발생하고 있는 실정이다(Ma[2000]). 특히, 김의 갯병은 생산량이 있어 큰 피해를 입히는 병으로 병원 미생물의 침해에 의한 기생성 갯병과 어장 환경 악화에 의한 생리적 갯병으로 나눌 수 있는데(Kang and Koh[1977]; Jang[2002]), 이중 생리적 갯병으로 볼 수 있는 김의 황백화 현상(chlorosis phenomenon)은 김의 엽체가 원래의 색인 자주색에서 황색 또는 백색으로 변하는 현상으로, 엽체의 색이 탈색되고 현미경 관찰시 액포가 비대하게 되는 것으로 확인되며 양식장에서 이런 상태가 지속적으로 유지되면 결국 김 엽체가 부착 기질로부터 탈락되거나 사멸되는 현상이다.

이러한 황백화 현상은 일본에서 2000년대에 큰 규모로 발생하여 양식 김 생산에 커다란 피해를 주었다고 보고 된 바 있다(Matsuoka *et al.*[2005]; Hori *et al.*[2008]; Ishii *et al.*[2008]; Kawamura[2012]; Tanda and Harada[2012]; [2013]). 현재까지 알려진 일본 연안의 양식 김에 대한 황백화 현상은 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen, 이하 DIN)와 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphorus, 이하 DIP) 부족이 원인인 것으로 보고되고 있으며(Hori *et al.*[2008]; Ishii *et al.*[2008]; Kawamura[2012]; Tanda and Harada[2012]; [2013]), 이러한 영양염 부족의 원인으로는 육상에서의 공급 부족, 식물플랑크톤과의 영양염 경쟁, 수층 혼합 약화, 과밀 양식 등이 제시되고 있으나 아직까지도 명확하게 알려지진 않은 실정이다.

황백화가 발생하면, 건강한 물김에 비해 가격이 1/2~1/4로 하락하므로 김을 양식하는 어업인에게 커다란 경제적 피해를 줄 수 있

다. 2010~2011년의 경우에는 서해 중부부터 서해 남부에 이르는 해역의 약 1,500 ha에서 김 황백화 현상이 발생되어 약 278억원의 대규모 피해를 입혔다(NFRDI[2014]; Shin *et al.*[2014]). 국내에서도 역시 김 양식장에서의 영양염 감소가 황백화 현상 발생 원인으로 추정하고 있어서 이에 양식어장의 환경 변화에 대해 지속적인 모니터링이 수행되었지만(NIFS[2017]), 황백화 현상을 야기시키는 급격한 영양염 감소 원인에 대해서는 아직도 확실하게 규명되지 않고 있다.

따라서 본고는 지금까지 국내의 양식 김 업체의 황백화 발생 현황을 분석해보고, 특히 2017년 금강 하구역 인근에서 발생된 황백화 현상의 원인을 추정해 보기 위하여 수 년간의 인근 해역의 다양한 해양 환경 및 조건들을 다시 한번 검토, 분석해 보고자 하였다.

2. 국내 김 황백화 발생현황 및 연구

국내에서의 김 양식장에서 황백화 현상은 2010년에 전남 일부와 서해안의 김양식 주 산지에서 대규모적으로 발생하였다. 2017년 국립수산과학원(NIFS, 2017) 보고에 의하면, 2010년에는 전남 해남, 전북 군산, 부안, 충남 보령과 서천 지역에서 대규모적으로 발생하였으며, 2016년에는 전남 고흥과 해남 지역에 황백화 현상이 발생하였고, 최근인 2017년에는 서천과 군산의 김 양식장에서 발생되었다(Table 1). 황백화 현상이 일어나는 김의 종류는 가장 양식이 많이 되고 있는 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)은 물론이고, 잇바디돌김(*P. dentata*)과 모무늬돌김(*P. seriata*)에서도 확인되었다. 황백화가 일어난 해역에서 영양염 농도를 분석한 결과, 해역마다 다소 차이가 있었지만 DIN 농도는 2016년 해남에서 0.074 mg l⁻¹를 제외하고는 0.007~0.047 mg l⁻¹ 범위로, 매우 낮은 값을 기록하였다. 2010년 발생지역의 DIN 평균 농도는 0.030 mg l⁻¹, 2016년에 발생지역 평균 농도는 0.041 mg l⁻¹ 인 것으로 확인되었다(Table 1).

Fujiwara *et al.*[2008]는 일본에서 발생한 김 엽체의 황백화 현상은 김 양식장 내 해수중 DIN과 DIP의 부족으로 인한 것이며, DIN 농도는 5 µM(0.07 mg l⁻¹), DIP 농도는 0.5 µM(0.016 mg l⁻¹) 이하의 조건이 지속될 때 발생한다고 하였다. 국내에서 김 엽체 황백화 현상이 일어난 해역의 DIN 농도가 대부분 이 농도 이하였기에(Table 1) 황백화 현상은 김 양식장 해역의 낮은 DIN 농도와 상관관계가 매우 높음을 재확인 할 수 있었다.

NFRDI[2014]는 이러한 내용을 기반으로 황백화 현상의 원인을

Table 1. Domestic *Pyropia* chlorosis damage area, species, and DIN amount (Data from NIFS[2017])

Appearance period	Damage area	Species	Dissolved Inorganic Nitrogen (mg l ⁻¹)
Dec. 2010	Heanam, Jeonnam	<i>P. dentata</i> , <i>P. yezoensis</i>	0.047
Dec. 2010	Gunsan, Jeonbuk	<i>P. yezoensis</i>	0.007
Dec. 2010	Buan, Jeonbuk	<i>P. yezoensis</i>	0.043
Dec. 2010	Boryeong, Chungnam	<i>P. yezoensis</i>	0.031
Dec. 2010	Seocheon, Chungnam	<i>P. yezoensis</i>	0.021
Nov. 2016	Goheung, Jeonnam	<i>P. dentata</i> , <i>P. yezoensis</i>	0.019
Dec. 2016	Heanam, Jeonnam	<i>P. seriata</i> , <i>P. yezoensis</i>	0.074
Dec. 2016	Goheung, Jeonnam	<i>P. dentata</i> , <i>P. yezoensis</i>	0.031
Nov. 2017	Seocheon, Chungnam	<i>P. yezoensis</i>	0.017

DIN과 DIP의 결핍으로 가정하고, 정상 김 업체의 황백화 유도 및 회복 실험을 수행한 바 있다. 실험 결과, 김 업체는 해수 내의 DIN이 부족할 때 김 세포 내의 액포가 비대해지고 업체가 탈색됨을 확인하였다. 이 실험에서 15°C 이상의 조건에서 액포가 빠르게 비대해지고 배양 조건에 따라 다소 차이는 있지만 보통 6일 이후에 황백화 현상이 나타나기 시작하였다. 황백화가 진행된 김 업체의 회복 실험 결과, DIP 30 µM 농도에서는 액포의 크기가 감소 하지 않았으며, DIN 200 µM 조건에서는 배양 후 2일째부터 액포 크기가 감소하여 8일후 완전히 회복됨이 확인 되었다. DIN 200 µM+DIP 30 µM 조건에서는 배양 후 2일차부터 액포 크기가 감소하였으며, 8일 경과 후 완전히 회복된 반면, 이보다 낮은 DIN 100 µM 조건과, DIN(100 µM)+DIP (10 µM) 조건에서는 실험 개시 8일차에 업체가 회복되어 DIN농도에 따른 회복 속도에 있어 차이를 보였다. 그러나 DIP 10µM 조건에서는 회복되지 않고 사멸 되었다. 이러한 결과를 통해 결국 수온이 높고 DIN 농도가 낮으면 황백화 현상이 발생할 가능성이 높고, 황백화 현상이 나타난 후의 김 업체는 DIN의 농도가 적정 수준에 이르면 수 일 내에 정상적으로 회복되는 것을 확인하게 되었다. 그러나 DIP의 농도는 황백화 현상 회복에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났는데 Shim *et al.*[2014]에 의하면 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)의 영양염 흡수율은 C : N : P : O₂=106 : 3.0 : 0.2 : 83.7로 확인되어, 질소에 비해 인의 흡수율이 매우 낮아 그 영향이 미미한 것으로 추정하였다.

3. 2017년 금강 하구역 인근의 김 황백화 발생현황 및 원인분석

2017년 11월 금강 하구역 일대의 서천과 군산 지역 김 양식장에서 황백화 현상이 2010년 이후 다시 대규모적으로 발생하여 서천 지역에서만 약 2,800 ha에 이르는 큰 피해를 발생케 하였다(PCD, <http://www.chungnam.go.kr>). 2014~2017년까지 국립수산물과학원 어장환경모니터링 자료(NIFS, <http://www.nifs.go.kr/femo>)로부터 금

강 하구역 인근 해수의 표층 DIN 농도를 분석한 결과(Fig. 1), 0.088±0.065 mg l⁻¹로 나타나, 평균적으로는 황백화 발생 가능 농도인 0.07 mg l⁻¹ 이하 보다는 다소 높게 나타났으나 2017년 4월부터는 예년보다 다소 낮은 농도가 나타났고, 특히 김 양식 시설 초기 시기인 9~10월은 더욱 뚜렷하게 낮은 DIN 농도를 보인 점이 특징적인 것으로 확인되었다. 이것은 앞서의 NIFS[2017]에서 황백화 현상이 일어난 이후에 해당 지역의 해수를 분석한 결과와 매우 유사하였다.

연안지역에서 DIN의 중요 공급원 중 하나인 육상 기원 영양염은 담수와 함께 연안으로 유입되므로 강수량과 밀접한 관련이 있다. 따라서 육상 기원 영양염의 공급 여부를 추정하기 위하여 금강 하구역 인근 지역의 2010~2017년 강수량 변화를 분석 하였다(Fig. 2). 김 양식 초기 시기인 9~11월의 강수량은 2011년부터 2016년까지는 평균 93.9 mm이었는데, 황백화 현상이 발생한 2010년에는 54.7 mm, 2017년에는 45.8 mm로 황백화 현상이 발생하지 않은 시기에 비해 절반 수준이었다. 강수량의 부족은 강 하구를 통한 ‘방류량’에 직접적인 요인으로 작용하고 이에 따라 하구역 인근의 해역에 유입되는 DIN 공급량이 예년 보다는 원활하지 않았던 것으로 사료된다. NFRDI[2014]는 2011년부터 2014년까지 전북 지역 김 양식장에서의 강수량과 DIN 농도를 비교 분석하면서, 김 양식 어기와 이 농도와는 큰 상관관계를 보이지 않았다고 하였으나, 이번 2014~2017년의 비교 분석에서는 특히 김 양식 초기에는 다소 상관 관계가 있는 것으로 추정된다.

이 지역에서의 강수량은 금강 하구에 설치된 하굿둑에서의 담수 방류횟수와 방류량(KRC, <http://www.ekr.or.kr>)에 직접적으로 영향을 주게 되는데, 심한 황백화 현상이 발생되었던 2010년과 2017년도의 9~11월 시기의 방류량(화살표)이 다른 해의 방류량 보다 비교적 적은 편이다(Fig. 3). 그러나 이 값이 현저하게 적지는 않았지만 황백화 현상이 없던 해에 비하여 적어도 방류량이 많지 않았음은 확실하기에, 매우 결정적인 직접적 요인으로 추정하기에는 다소 무리가 있을지라도 관련이 없다고 단정 짓기도 어렵다. 따라서 이

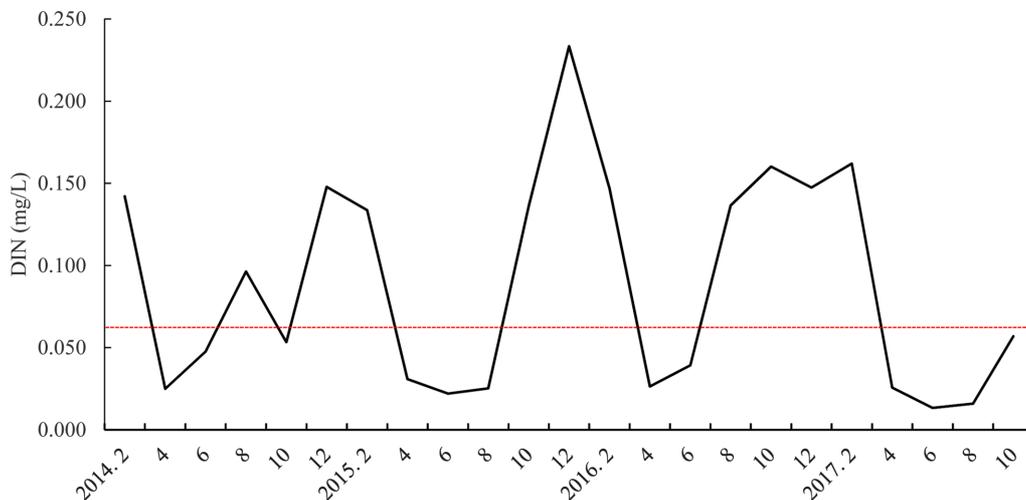


Fig. 1. Average DIN concentration at several sites in Geumgang Estuary from 2014~2017 (Data from NIFS).

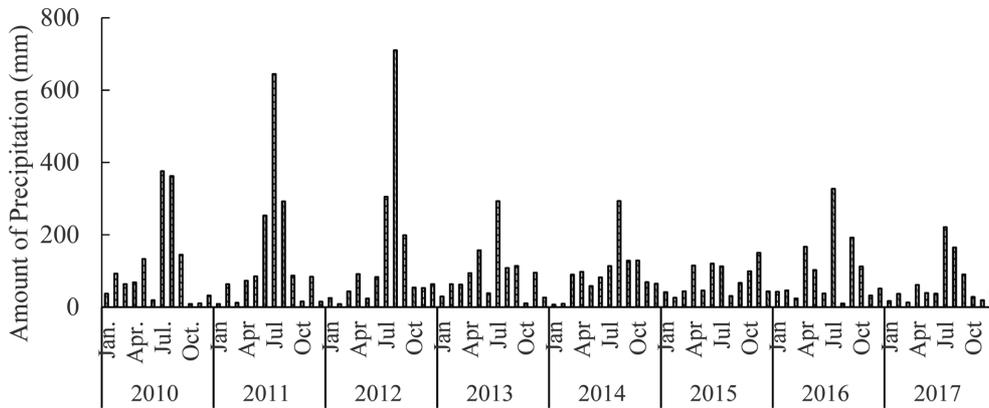


Fig. 2. Amount of precipitation in Geumgang Estuary from 2010~2017 (Data from KOSIS).

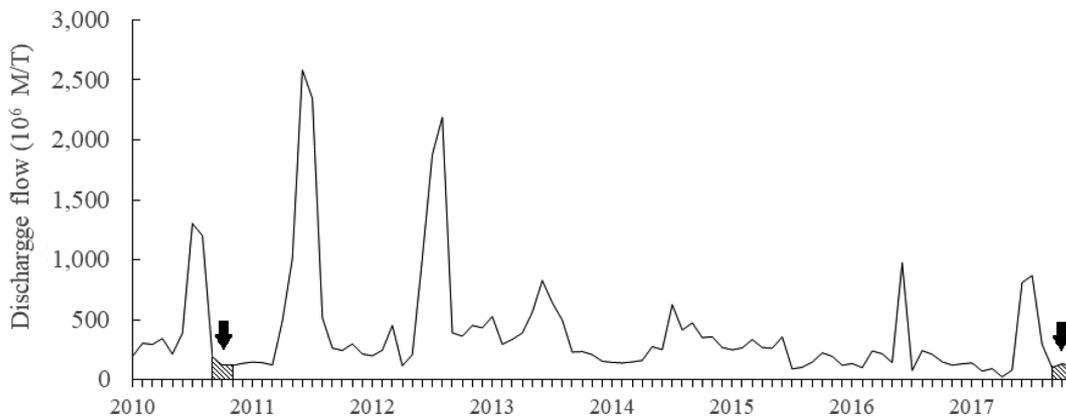


Fig. 3. Discharge flow of Guemgang Dike from 2010~2017 (Data from KRC). Arrows indicate the period in which *Pyropia chlorosis* phenomenon occurred.

것은 추후 좀더 많은 자료를 확보한 후에 보다 세심하게 분석할 필요가 있을 것으로 사료된다.

하구역으로 유입되는 내측 담수의 영양염 농도 역시 김양식 해역 영양염 농도 변화의 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 환경부의 물 환경정보시스템 자료(NIER, <http://water.nier.go.kr>)를 확인한 결과, 금

강 하구둑에서 가장 인접한 정점인 ‘금강 갑문’ 정점에서의 총 질소(T-N) 농도는 2008년 이후 지속적으로 감소하는 것으로 확인되어(Fig. 4), 강수량 및 방류량의 부족과 더불어 방류수의 수질 개선에 따른 질소 공급량 부족도 김 황백화의 복합 원인으로 작용하였을 것으로 추측할 수 있다.

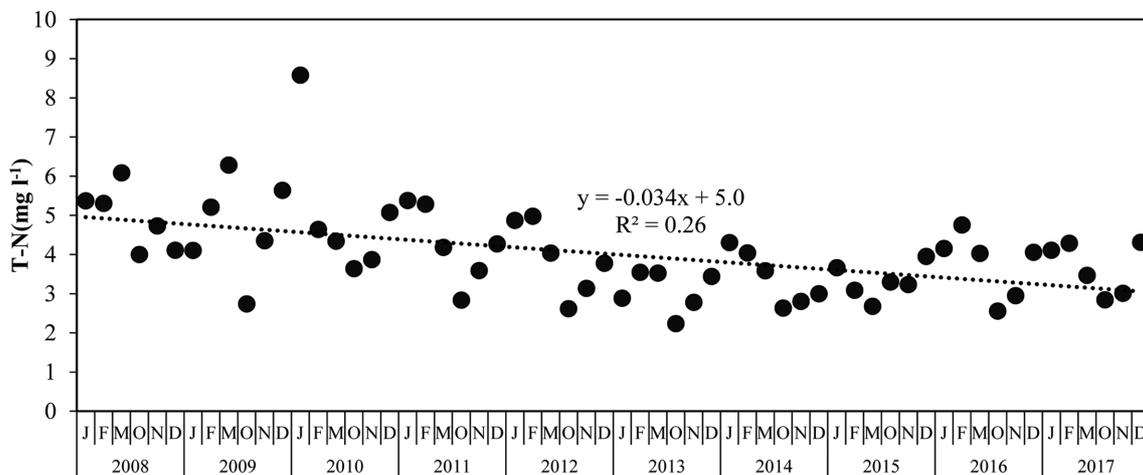


Fig. 4. Monthly variation of total nitrogen (T-N) concentration inside the Geumgang Estuary Dike from 2008~2017 (Data from NIER).

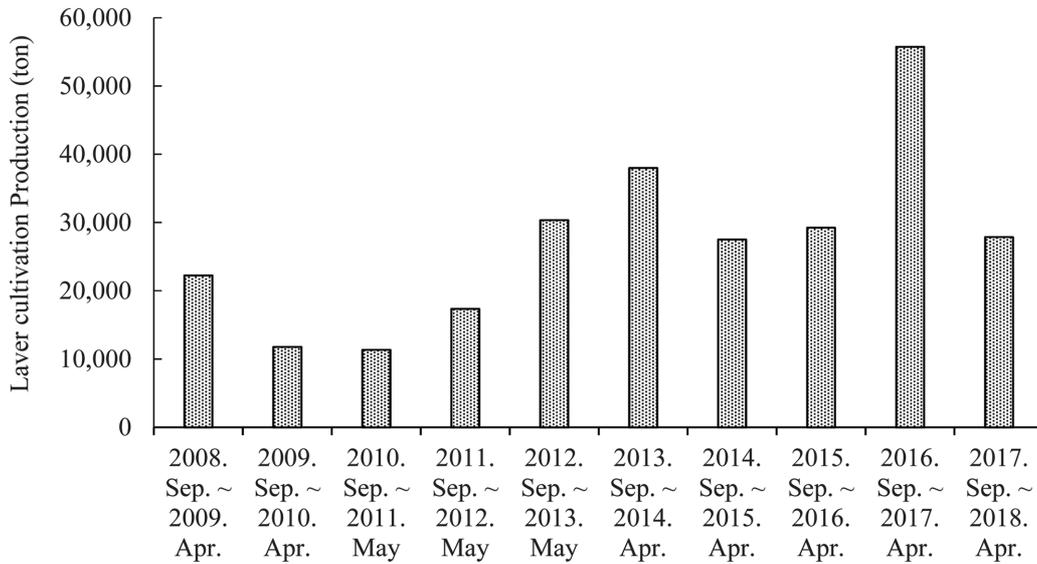


Fig. 5. Production of laver cultivation from 2008~2018 in Chungnam Province, Korea (Data from KOSIS).

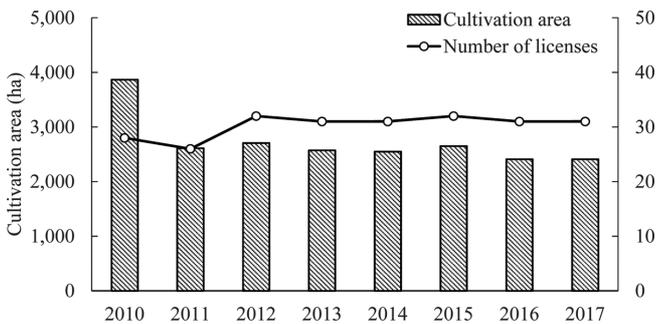


Fig. 6. Changes in cultivation area and number of cultivation licenses from 2010~2017 in Chungnam, Korea (Data from KOSIS).

최근 10년간(2008~2018년) 충남지역의 김 양식 생산량(KOSIS, <http://kosis.kr>)은 2010년 이후 지속적으로 증가하였다가 2014년과 2015년에 다소 감소 경향을 보였고, 2016년에는 최고치를 경신하였으며, 2017년에는 황백화 현상의 여파로 다소 감소하였다(Fig. 5). 충남에서의 양식 면허 건수와 면적(KOSIS, <http://kosis.kr>)은 2010년에서 2011년으로 넘어오면서 급격히 줄어들었고, 이후는 큰 변화가 없이 지속되었다(Fig. 6). 2016년의 양식 김 생산량은 급격히 증가하였는데, 양식 면허 건수와 면적은 오히려 줄어든 점을 주목하여 볼 필요가 있다. 물론 이러한 결과는 양식 기술의 비약적인 발전으로 인하여 적은 양식 면적에서도 효과적으로 대량 생산이 이루어질 수도 있겠지만 제한된 양식 면적으로 인한 김 양식 시설의 밀식이 이루어졌을 가능성은 더욱 높아졌다고 볼 수 있다. 결국 제한된 면적에서의 시설량 증가는 조류 소통의 억제, 어장 환경을 악화시키는 결과를 초래하게 되는 것이다.

4. 김 황백화 대응을 위한 제언

2017년에 발생한 금강 하구역 인근의 황백화 원인은 예년에 비

하여 김 양식 초기에 하굿둑 인근 지역에서의 낮은 강수량과 함께 적은 방류량, 그리고 금강 유역의 수질 개선에 따른 DIN 공급량의 전반적인 감소와 더불어 김양식 시설량의 급증 등의 원인이 복합적으로 작용되었을 것으로 사료된다. 일부 학자들은 황백화 현상의 원인을 김 양식장에서 김과 식물플랑크톤과의 경쟁 관계로 인한 DIN 농도의 부족을 주장하기도 하지만(Matsuoka *et al.*[2005]; Hori *et al.*[2008]; Ishii *et al.*[2008]; Kawamura[2012]; Tanda and Harada[2012]; [2013]), 2017년 동계의 식물플랑크톤의 이상 증식이 확인되지 않아(Kim *et al.*, unpublished data), 2017년에 발생한 금강 하구역 인근 지역 황백화에는 적용되지 않을 가능성이 높다.

우리나라 김 양식 총 생산 금액(KOSIS, <http://kosis.kr>)은 2008년 이후 지속적으로 증가 추세이며, 2017년 약 6천억원 규모까지 성장하였으며, 수출량도 증가하여 김의 가치는 더욱 높아질 것으로 판단된다. 이러한 중요 수산자원인 김의 생산성을 유지하고 품질을 개선하기 위해서는 김양식 어장의 주기적인 모니터링과 어장 주변 해역의 환경관리가 매우 중요하다. 2011년 이후로 국립수산물과학원 해조류연구센터에서 ‘김 양식장 해양 속보’를 김양식 어기 동안 매년 수 회 발행하여 지방자치단체와 김양식 어가에 영양염 농도 현황, 김 업체의 세포 상태, 수온 등의 자료를 공급하고 있는데(NFRDI[2014]), 이는 매우 바람직한 서비스로 생각된다. 그러나 이러한 많은 모니터링과 환경 관리에도 불구하고 만약 김 양식장에서 황백화 현상이 발생된다면 이 문제를 해결할 수 있는 확실한 대비책은 여전히 미비한 실정이다. 김을 양식할 때, 김 그물발의 잡조를 제거하고 김 업체의 색택을 개선하는 활성처리제 희석액을 수 초간 침지하여 긍정적인 효과를 얻어내기도 하지만, 부족한 DIN 농도를 높이기 위한 영양염 처리를 활성처리제 처리처럼 영양제 액에 짧은 시간 침지하는 방법으로는 완전하게 해결할 수 없는 어려움이 있다.

물론 어떠한 하나의 간단하고 단순한 방법으로는 김 업체의 황백화 현상을 완전하게 해결할 수는 없을 것이다. 현재도 계속 수행

되고 있지만 김 양식어장의 주기적인 모니터링과 어장 주변 해역의 환경관리가 무엇보다 매우 중요하다. 만약 김 양식 어기에 매우 낮은 DIN 농도가 감지되었을 때 이를 개선할 수 있는 방법도 강구되어야 할 것이다. 물론 NFRDI[2014]에서도 다양한 영양제에 대한 실험을 수행하였지만 업체의 침지 방법으로는 제한적일 수 밖에 없기에, DIN 농도가 낮은 해역(황백화 현상이 발생할 가능성이 매우 높거나, 발생 초기에)에서 일정 기간 동안 서서히 영양염 성분을 용출하게 하는 고휘 시비제의 활용도 고려해 볼 필요가 있을 것이다. 아직까지 금강 하구역 인근의 김 양식의 황백화 현상과 금강 하굿둑의 방류량과의 밀접한 상관 관계를 단정할 수 없지만 전혀 무관하지 않을 것으로 사료된다. 물론 하굿둑의 방류는 육상에서의 농업용수나 공업용수의 이용과도 관련이 있으므로 김 양식 어민의 요구만을 전적으로 수용하여 시행할 수는 없겠지만 적어도 김 양식 어기에는 이 점도 고려하면서 서로가 수용할 수 있는 적절한 방류 횟수와 방류량을 검토해 보는 것도 황백화 현상을 예방할 수 있는 방법 중의 하나가 될 수도 있을 것으로 생각되며, 향후에는 정책적으로 김 양식장 적정 시설량 산정을 위한 연구 및 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2018년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(하구역 종합관리시스템 개발연구(II))의 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- [1] Fujiwara, T., Taruya, K. and Watanabe, Y., 2008, Nori color change and nutrient dynamics in the inner bay area, The Oceanographic Society of Japan, Fall meeting, Hiroshima, Japan, 22.
- [2] Hong, S.G., Kang, J.H. and Ma, L.Y., 1999, Policy Proposition of the Development of Laver Aquaculture. Korea Maritime Institute Research Report. 1-88.
- [3] Hori, Y., Mochizuki, S. and Shimamoto, N., 2008, Relationship between the Discoloration of Cultivated *Porphyra* Thalii and Long-Term Changes of the Environmental Factors in the Northern Part of Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 72, 107-112.
- [4] Ishii, M., Hasegawa, K. and Matsuyama, Y., 2008, Environmental Factors Influencing *Porphyra* (Nori) Farming in Tokyo Bay: Long-Term Changes in Inorganic Nutrients and Recent Proliferation of Diatoms. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 72, 22-29.
- [5] Jang, G.N., 2002, Algae·Shellfish Cultivation, Sam Gwang Publishing Company, Korea.
- [6] Kang, J.W. and Koh, N.P., 1977, Seaweed Cultivation, Taewha Press, Busan.
- [7] Kawamura, Y., 2012, Nori Cultivation and Nitrogen Budget in the Inner Area of Ariake Bay, Aquabiology, 34, 142-148.
- [8] Kim, Y.S., 2015, A Study on Development Motives of Laver Aquaculture Industry in Korea, Korean Island Research, 27, 113-129.
- [9] Korea Rural Community Corporation, KRC, <http://www.ekr.or.kr>, 2018 (accessed 2018. 09. 18).
- [10] Korean Statistical Information Service, KOSIS National Statistical Portal, <http://kosis.kr>, 2018 (accessed 2018. 09. 18).
- [11] Ma, L.Y., 2000, Policy Direction for the Development of Laver Culture, Monthly Marine Fisheries, 190, 49-54.
- [12] Matsuoka, S., Yoshimatsu, S., Ono, A., Ichimi, K., Fujiwara, M., Honada, K. and Tada, K., 2005, Discoloration of Nori (*Porphyra*) and Characteristics of Water Quality in Eastern Bisan Seto, Bull. Coastal Oceanography, 43, 77-84.
- [13] National Fisheries Research & Development Institute, 2014, Study on the Chlorosis Phenomena in Cultivated *Pyropia*, NFRDI Report.
- [14] National Institute of Environmental Research, Water Environment Information System, <http://water.nier.go.kr>, 2018 (accessed 2018. 09. 18).
- [15] National Institute of Fisheries Science, Monitoring Fishery Environment, <http://www.nifs.go.kr/femo/>, 2018 (accessed 2018. 09. 18).
- [16] National Institute of Fisheries Science, 2017, Seaweed Farm Damage Survey Report, NIFS Report.
- [17] Province of Chungcheongnam-Do, http://www.chungnam.go.kr/cnnet/content.do?mnu_cd=CNMMENU02269#, 2018 (accessed 2018. 09. 18).
- [18] Shim, J.H., Hwang, J.R., Lee, S.Y. and Kwon, J.N., 2014, Variations in Nutrients & CO₂ Uptake Rates of *Porphyra yezoensis* Ueda and a Simple Evaluation of *in situ* N & C Demand Rates at Aquaculture Farms in South Korea, Korean J. Environ. Biol., 32, 297-305.
- [19] Sohn, C.H., 1998, The seaweed resources of Korea, in: Critchley, A.T., Ohno, M. (Eds.), Seaweed Resources of the World, Kanagawa International Fisheries Training Center, Yokosuka, 15-33.
- [20] Tenda, M. and Harada, K., 2012, Nutrient Environment and Fishery Production in Harimananda, Eastern Seto Inland, Japan, Aquabiology, 34, 132-141.
- [21] Tenda, M. and Harada, K., 2013, Action to Improve Present Conditions and That of Nutrient Environment and Future Problem in the Eastern Seto Inland Sea, Aquabiology, 35, 116-124.

Received 8 October 2018

Revised 13 October 2018

Accepted 18 October 2018