

기후변화에 기인한 연안 수온상승에 따른 연안 어류의 바이러스성 질병 발생 예측

김위식 · 김석렬¹ · 박명애¹ · 이준수² · 사티샤 에분제³ · 김도형⁴ · 오명주^{3*}

전남대학교 수산과학연구소, ¹국립수산과학원 수산생물방역과, ²국립수산과학원 수산해양종합정보과,
³전남대학교 수산생명의학과, ⁴부경대학교 수산생명의학과

Changes in Fish Viral Disease Outbreaks in the Coastal Area of Korea Due to Increasing Water Temperature, an Impact of Climate Change

Wi-Sik Kim, Seok-Ryel Kim¹, Myoung-Ae Park¹, Joon-Soo Lee², Satheesha Avunje³,
Do-Hyung Kim⁴ and Myung-Joo Oh^{3*}

The Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 556-901, Korea

¹*Aquatic life disease control division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea*

²*Fishery and Ocean information division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea*

³*Department of Aqualife Medicine, College of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea*

⁴*Department of Aqualife Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

The impact of global warming on aquatic systems has been a priority research area in the past decade. However, the possibility that increased temperatures will cause shifts in viral disease outbreaks has not been well addressed. In the present study, with increasing water temperature (WT) in the coastal area of Korea, we estimated the possibility of changes in fish viral diseases. From the present time, WT may rise between 0.62 and 1.7 °C by 2050, and the effect on aquaculture could be more adverse than beneficial. Red seabream iridovirus disease (RSIVD) and viral nervous necrosis (VNN) cause high mortality above 22 and 24 °C, respectively, and outbreaks could commence earlier and persist for prolonged periods. Nevertheless, the period of occurrence of viral hemorrhagic septicemia (VHS), which outbreaks at a lower WT (<18°C), could be shorter than the current infectious period. Thermal stress in fish causes reductions in growth and immunocompetence; thus, increases in summer WT can lead to the development of new viral diseases. WT has a strong influence on fish population dynamics; therefore, entry of new viruses and changes in the prevalence of infection can be expected if carrier fishes are introduced or migrate to Korean waters.

Key words: Aquatic animals, Climate change, Global warming, Viral disease, Water temperature

서 론

최근 기후변화가 광범위한 지구환경 분야에 걸쳐 문제를 야기하면서 시급한 대책수립이 화두로 부상한 가운데, 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 협력이 강화되고 있다. 2007년에 발표된 inter government panel of climate change (IPCC) 4차 보고서에서는 지난 100년 (1906-2005) 동안 전 지구적인 기온 상승이 $0.74 \pm 0.18^\circ\text{C}$ 에 이르고, 특히, 동아시아 지역은 1.5°C 상승하여 지구 평균 2배에 달한다고 보고하였다.

기후변화는 환경, 농업, 수산업 등 광범위한 영역에 걸쳐 영향

을 미칠 것으로 예상되고 있는데, 이중 수산업 부문의 영향으로는 생산량 및 종다양성의 감소, 어획량 및 조업시기의 변화, 신규 유입종의 증가와 새로운 질병의 발생, 어업 활동의 수익성 악화 및 비용증가 등이 예상되어진다(FAO, 2007; 2009). 그러므로 기후변화에 능동적으로 대응하기 위해서는 온실가스를 감축시키는 노력과 동시에 기후변화와 관련된 모니터링과 생태계의 영향 평가, 수산어종과 수산업 변화의 예측과 전망, 수산업 분야의 취약성 평가와 적응방안 등이 모색되어야 한다.

최근 우리나라에서는 기후변화가 수산업에 미치는 영향을 분석하고 이에 대한 대응 방안을 마련하기 위한 연구들이 수행

Article history;

Received 12 August 2013; Revised 8 October 2013; Accepted 10 October 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 659. 3173 Fax: +82. 61. 659. 3173

E-mail address: ohmj@chonnam.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(5) 582-588, October 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0582>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

되고 있다. 대표적으로 연안 생물상의 변화(Jung et al., 2013; NFRDI, 2012), 기후변화 취약성 평가(Lee et al., 2011), 수산식품 공급에 미치는 영향과 대책(Lee, 2009), 수산자원 및 어장환경의 변동과 예측(NFRDI, 2012), 수산업 적응 전략 마련 및 정책 방향(NFRDI, 2012; Park, 2009) 연구가 수행되었다.

기후변화는 질병 분야에 있어서도 영향을 나타낼 것으로 예상되고 있다(FAO, 2009; Marcogliese, 2008). 수계환경의 변화는 수산생물의 대사 및 생리를 변화시키며, 병원체의 분포, 출현, 독력, 증식 등과도 밀접한 연관성이 있어 기후변화로 인해 질병은 확산될 것으로 추정되고 있다. 하지만 이와 관련된 연구는 국내에서 거의 보고된바 없다. 이에 본 연구에서는 연안 수온의 변화에 따른 어류바이러스성 질병의 추이를 예측하여 국내 환경에서 기후변화가 어류 질병에 미칠 영향을 우리나라 남해안의 모델을 적용하여 검토해 보고자 하였다.

재료 및 방법

남해안 연안의 수온 변화 분석

남해안 연안의 수온 변동 경향을 조사하기 위해, 국립수산물학원이 측정해온 정선관측자료(표층 수온)를 토대로 1985년부터 2010년까지 여수와 완도 연안 및 1990년부터 2010년까지 제주도 연안의 수온 변화를 분석하였다.

일별로 관측된 수온 자료는 월평균으로 환산한 후, 월별 온도를 이용하여 선형 추세선을 작성하여 수온의 추이를 분석하였으며, 또한 추세선 결과(Fig. 1, 제주: $y=0.002x + 17.97$, 완도: $y=0.003x + 14.9$, 여수: $y=0.005x + 15.18$)를 토대로 2050년도 제주, 완도 및 여수 연안의 수온을 예측하였다.

수온 변화에 따른 어류바이러스성 질병 변화 분석

2010년도의 연안 수온과 2050년도의 예측 수온을 토대로 수온 변화에 따른 어류바이러스성 질병의 변화를 분석하였다. 분석 방법은 국내 해산어류 양식장에서 만연하고 있는 바이러스성 질병인 참돔이리도바이러스병(red seabream iridovirus disease, RSIVD), 바이러스성출혈성패혈증(viral hemorrhagic septicemia, VHS) 및 바이러스성신경괴사증(viral nervous necrosis, VNN)을 대상으로 기존에 보고되어 있는 해당 질병 및 원인병원체의 특성에 대한 연구 결과(Cha et al., 2007; Do et al., 2005; Gomez et al., 2008; Jeong et al., 2008; Jung and Oh, 2000; Kim and Park, 2004; Kim et al., 2003; 2005; 2006; 2009; 2011; 2012; Lee et al., 2007; Lyu et al., 2006; Nishizawa et al., 2012; unpublished data; Oh et al., 1999; 2002; 2005; Sohn et al., 1991; 1998)를 토대로 수온 변화에 따른 질병의 변화를 예측하였다.

결과 및 고찰

남해안 연안의 수온 변화

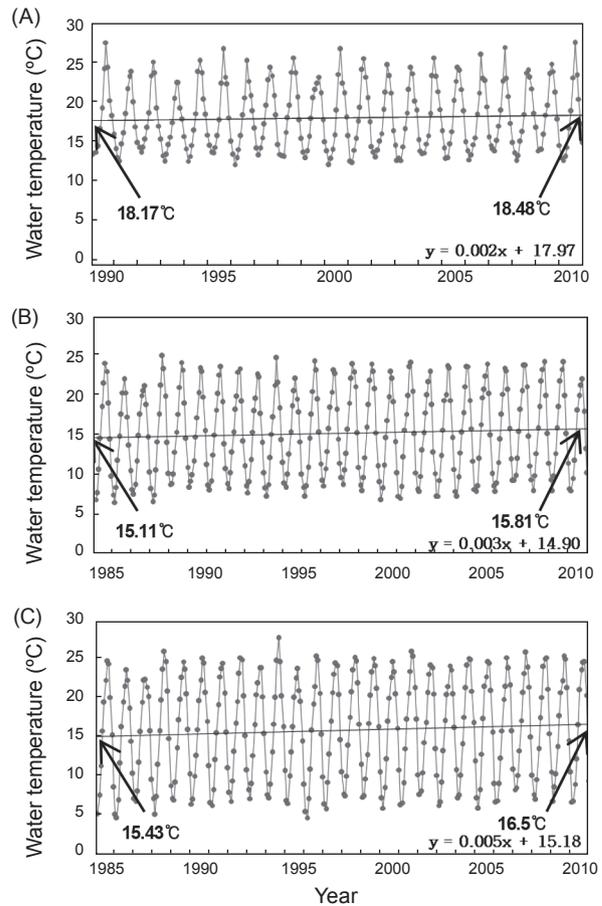


Fig. 1. Annual sea-surface temperature in Jeju (A) from 1990 to 2010, Wando (B) and Yeosu (C) from 1985 to 2010.

남해안 연안의 수온 변화를 분석한 결과, 모든 조사 지역(제주, 완도 및 여수)의 수온은 연도의 경과에 따라 상승하는 추세를 보였다(Fig. 1). 제주 연안의 경우, 최근 21년간 0.31°C 상승하였으며(Fig. 1A), 완도와 여수 연안은 최근 26년 동안 각각 0.7°C와 1.07°C 상승한 것으로 나타났다(Fig. 1B; 1C). 남해안 연안의 수온 상승 경향은 NFRDI (2007)의 연구에서도 보고된 바 있다. NFRDI (2007)은 한국 근해 해양조사에서 관측한 자료를 이용하여 1968년부터 2006년까지 39년간 주변해역의 수온 변동 경향을 분석한 결과, 남해의 표층 수온이 1.04°C 상승한 것으로 보고하였다. 이상의 결과로 남해안 연안은 지역별로 약간의 차이가 있으나 수온이 상승하는 것으로 확인되었다. NFRDI (2007)의 연구와 본 연구에서의 수온 상승 수치의 차이는 수온 측정 장소 및 수온 분석 기간의 차이에 의한 것으로 사료된다. NFRDI (2007)은 39년간(1968-2006년) 남해안 일대의 다양한 정점 자료를 토대로 수온을 분석하였다.

계절별 수온의 변화(제주도: 1990년과 2010년 비교, 완도 및 여수: 1985년과 2010년 비교)를 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다. 제주도의 경우, 1월, 9월, 12월의 수온은 1990년도

Table 1. Sea water temperatures of Jeju, Wando and Yeosu in 1985 or 1990, 2010 and 2050 year

Month	Jeju			Wando			Yeosu		
	1990 ¹	2010	2050	1985	2010	2050	1985	2010	2050
1	14.16 ²	13.92	13.44	8.38	9.06	10.14	6.61	7.41	8.69
2	13.30	13.42	13.66	7.83	8.33	9.13	5.87	7.62	10.42
3	13.76	13.76	13.76	9.10	10.00	11.44	8.24	9.96	12.72
4	15.09	15.35	15.87	11.98	12.71	13.87	12.14	13.59	15.91
5	16.67	17.15	18.11	15.11	15.89	17.13	16.12	17.45	19.57
6	18.96	19.54	20.70	18.01	18.71	19.83	19.55	21.05	23.45
7	22.78	23.14	23.86	20.81	20.99	21.27	22.62	23.22	24.18
8	25.10	25.90	27.50	23.54	23.34	23.02	24.53	25.33	26.61
9	23.77	23.59	23.23	22.30	23.90	26.46	23.56	24.79	26.75
10	20.45	21.87	24.71	18.92	20.27	22.43	20.13	21.38	23.38
11	18.15	18.55	19.35	14.60	15.15	16.03	15.73	15.56	15.28
12	15.82	15.54	14.98	10.74	11.39	12.43	10.11	10.64	11.48
	18.17 ³	18.48	19.10	15.11	15.81	16.93	15.43	16.50	18.20

¹year.²water temperature (°C).³Average water temperature (°C).

보다 약간 낮게 나타났으나(2010년 1월 수온: 13.92°C, 9월: 23.59°C, 12월: 15.54°C), 그 외의 달(10월 제외)에서는 수온이 약 0.1-0.8°C 상승한 것으로 나타났다. 10월은 수온이 1.42°C 상승하여 21.87°C를 나타내었다. 완도에서는 8월을 제외한 모든 달에서 수온이 상승하였다. 여름철 수온(7월: 20.99°C, 8월: 23.34°C)은 거의 변화가 없었으나 9월과 10월은 각각 1.6°C, 1.35°C 상승한 것으로 나타났다(9월: 23.9°C, 10월: 20.27°C). 그 외의 달에서는 0.5-0.9°C 상승하였다. 여수는 11월(15.56°C)을 제외한 모든 달에서 수온이 상승하였다. 2-6월, 9월, 10월에는 1.23-1.75°C의 수온이 상승하는 것으로 나타났으며(2월: 7.62°C, 3월: 9.96°C, 4월: 13.59°C, 5월: 17.45°C, 6월: 21.05, 9월: 24.79°C, 10월: 21.38°C), 1월, 7월, 8월, 12월은 0.53-0.8°C 상승하였다.

이상의 결과로 남해안 연안의 계절적 수온은 지역에 따라 수온 상승 정도에는 차이를 보이거나 전반적으로 상승하는 것으로 확인되었다. 특히 제주 연안은 겨울철 1월과 12월을 제외한 달에서 주로 수온이 상승하였고 완도 및 여수 연안은 각각 8월과 11월을 제외한 달에서 수온이 상승하였다.

2050년도 수온 변화 예측

2050년도 남해안 연안의 수온 변화를 예측한 결과, 모든 조사 지역(제주, 완도 및 여수)의 수온은 상승하였다(Table 1). 제주 연안의 경우, 19.1°C로 61년간 0.93°C 상승할 것으로 예측되며, 완도와 여수 연안은 66년 동안 각각 1.82°C(2050년 수온: 16.93°C)와 2.77°C(18.2°C)상승할 것으로 나타났다. NFRDI (2012)의 보고에 따르면, coupled global climate model (CGCM)을 이용하여 국내 연안의 표층수온을 분석한 결과, 2060년도에는 제주, 완도, 여수 연안의 수온이 각각 약 20°C, 17°C, 17.5°C로 상승할 것으로 예측되었다. NFRDI (2012)의

예측결과는 본 연구의 여수 연안의 예측 수온과는 약간의 차이가 있었으나 제주와 완도 연안의 예측 수온과는 유사하였다. 본 연구에서는 추세선을 이용하여 수온을 예측하였기 때문에 정확도에 있어서는 한계가 있으나 CGCM을 이용한 예측 결과와 유사한 것으로 나타났다.

2050년도 계절별 수온의 변화를 예측한 결과에서는 제주도의 경우, 2010년도의 수온과 비교 시 12월, 1-3월, 9월에서는 거의 변화가 없으나(12월: 14.98°C, 1월: 13.44°C, 2월: 13.66°C, 3월: 13.76°C, 9월: 23.23°C), 4월부터 수온이(15.87°C) 상승하기 시작하여 약 1°C 상승된 수온이 5-7월까지 지속되었다(5월: 18.11°C, 6월: 20.7°C, 7월: 23.86°C)(Table 1; Fig. 2A). 8월, 10월, 11월은 각각 1.6°C(27.5°C), 2.84°C(24.71°C), 0.8°C(19.35°C) 상승하였다. 이상의 결과, 2050년도 제주도 연안의 수온은 12월, 1-3월은 2010년도와 유사하나 4-11월에는(9월 제외) 수온이 0.52-2.84°C 상승할 것으로 예측되었다.

2050년도 완도 연안의 수온은 2010년도의 수온과 비교 시 7월과 8월에는 변화가 거의 없으나(수온: 21.27, 23.02°C) 11월, 12월, 1-6월은 수온이 약 1°C 상승하였다(11월: 16.03°C, 12월: 12.43°C, 1월: 10.14, 2월: 9.13°C, 3월: 11.44°C, 4월: 13.87°C, 5월: 17.13°C, 6월: 19.83°C) (Table 1; Fig. 2B). 9월과 10월은 각각 2.56°C(26.46°C), 2.16°C(22.43°C) 상승하였다. 이상의 결과, 2050년도 완도 연안의 수온은 7-8월은 2010년도와 유사하나 그 외의 달에서는 수온이 0.8-2.56°C 상승할 것으로 예측되었다.

2050년도의 여수 연안의 수온은 2010년도의 수온과 비교 시 11월의 경우는 변화가 거의 없으나(15.28°C), 1월, 7월, 8월, 12월은 수온이 약 1°C 상승하였다(1월: 8.69°C, 7월: 24.18°C, 8월: 26.61°C, 12월: 11.48°C) (Table 1; Fig. 2C). 2-6월, 9월, 10월은 수온이 약 2-3°C 상승하는 것으로 나타났다(2월: 10.42°C,

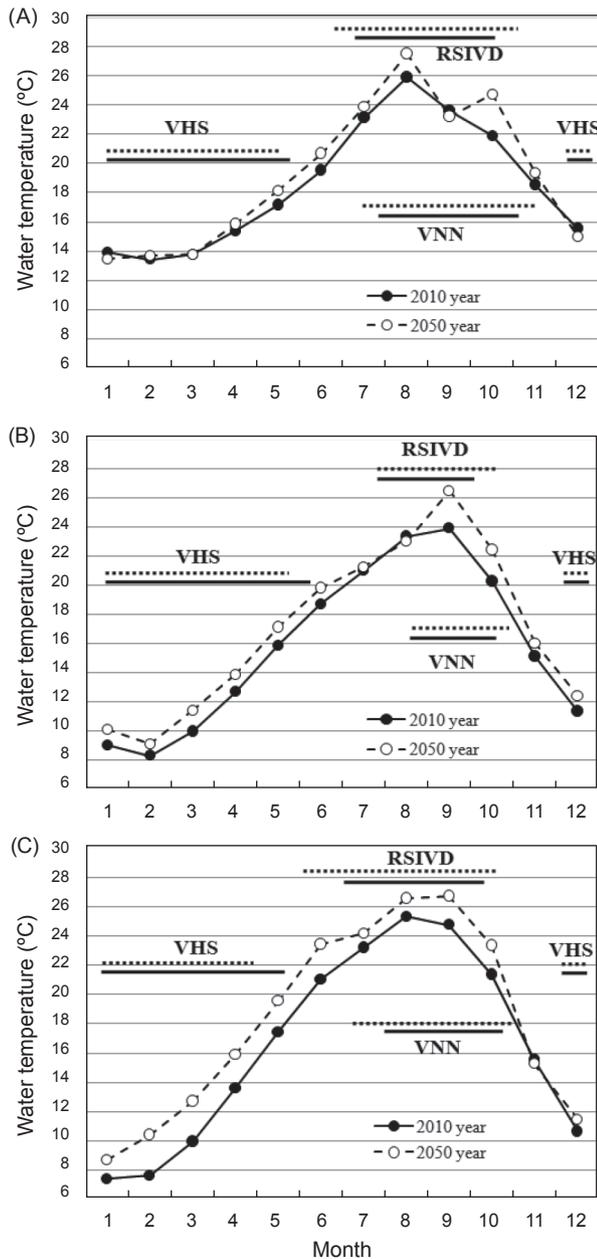


Fig. 2. Seasonal mean water temperature in Jeju (A), Wando (B) and Yeosu (C) (●-: 2010 year, -○-: 2050 year) and change of viral disease on increasing water temperature (—: outbreak of viral diseases in 2010 year,: outbreak of viral diseases in 2050 year). VHS: viral hemorrhagic septicemia, RSIVD: red seabream iridovirus disease, VNN: viral nervous necrosis.

3월: 12.72℃, 4월: 15.91℃, 5월: 19.57℃, 6월: 23.45℃, 9월: 26.75℃, 10월: 23.38℃). 이상의 결과, 2050년도 여수 연안의 수온은 11월은 2010년도와 유사하나 그 외의 달에서는 수온이 0.84-2.8℃ 상승할 것으로 예측되었다.

2050년도 수온 예측에 근거한 주요 어류바이러스 질병 변화 예측

VHS

VHS의 원인병원체인 VHSV는 2000년도까지 국내 해산어류 및 연어과 어류에서 검출된바 없으나 2001년 포항에서 양식되는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에서 처음으로 보고된 후 전국적으로 넙치 양식장을 비롯한 자연산 해산어에서 검출되었다(Kim and Park, 2004; Kim et al., 2003; 2009; 2011; Lee et al., 2007). 일반적으로 넙치 양식장에서의 VHS는 1-5월 수온이 15℃ 이하의 저수온기에 치어뿐만 아니라 성어에서도 발생하며, 수온 상승(약 18℃ 이상)과 함께 자연적으로 종식된다. 특히, VHS에 의한 대량 폐사는 종묘장에서 생산된 넙치 치어를 육성장으로 입식시키는 시기인 3-4월에(수온: 약 12-14℃) 발생한다.

2050년도 예측 수온을 근거로 VHS 발병을 예측해 보면, 제주의 경우 12월, 1-4월에는 수온의 변동의 거의 없으므로(수온: 13.44-15.87℃), VHS 발병 패턴은 2010년도와 거의 유사할 것으로 추정되나 5월의 수온이 18.11℃(약 1℃ 상승)까지 상승하므로 VHS 종식 시기는 빨라질 것으로 추정된다(Fig. 2A). 완도와 여수의 경우는 12월, 1-4월에 수온이 상승하나 16℃ 이하를 나타내므로 VHS 발병 패턴은 기존과 유사할 것으로 추정된다(Fig. 2B; 2C). 그러나 5월의 경우, 수온이 17.13℃(완도)와 19.57℃(여수)까지 상승하므로 질병의 종식 시기는 현재에 비하여 앞당겨질 것으로 추정된다. 이와같이 2050년도에는 남해안의 수온 상승으로 인해 넙치 양식장에서의 VHS 발병 기간이 약간 짧아질 것으로 예측된다.

RSIVD

RSIVD는 1998년 남해안에서 양식중인 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*), 참돔(*Pagrus major*) 및 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)에서 처음으로 보고된 이래로(Jung and Oh, 2000; Oh et al., 1999), 본 질병의 원인 병원체인 RSIV는 남해안 및 동중국해에서 서식하는 자연산 어류와 양식 넙치에서 검출되었으며(Do et al., 2005; Lee et al., 2007), 또한 RSIV-like virus들이 양식산 터복(*Scophthalmus maximus*) 및 수입산 관상어에서 검출되었다(Jeong et al., 2008; Kim et al., 2005; Lyu et al., 2006). 본 질병은 해마다 여름철 고수온기(8-9월, 약 22℃ 이상)에 주로 돌돔 양식장에서 유행하여 대량 폐사를 유발하며, 어체의 크기에 따라 감수성의 차이는 있지만 치어에서 성어까지 모두 발병하게 된다(Jung and Oh, 2000; Kim et al., 2006).

2050년도 예측 수온을 근거로 RSIVD 발병을 예측해 보면, 제주의 경우 7월에 수온이 약 24℃(약 1℃ 상승)까지 상승하며(6월: 20.7℃, 7월: 23.86℃, 8월: 27.5℃, 9월: 23.23℃), 10월까지 24.71℃를 유지하므로(고수온이 점차적으로 조기 형성되고 길어지므로) RSIVD의 발생 시기는 빨라지며 종식시기가 늦어질

것으로 추정된다(Fig. 2A). RSIVD는 감염실험을 통해 수온이 높아질수록 급성으로 폐사(수온 21°C: 33일내에 100% 폐사, 28°C: 12일내에 100% 폐사) 된다고 보고되어 있다(Nishizawa et al., unpublished data). 따라서 수온이 27.5°C(1.6°C 상승)까지 상승하는 8월에 RSIVD가 발생하게 되면 약 10일 이내에 전멸하는 양식장도 생길 것으로 추정된다. 완도의 경우는 6월과 7월에 수온이 상승하나 약 21°C를 나타내며 8월에는 수온 변화가 거의 없으므로 RSIVD 발병은 기존과 유사할 것으로 추정된다. 그러나 9월의 경우 수온이 26.46°C(2.56°C 상승)까지 상승하며 10월에는 22.43°C(2.16°C 상승)로 유지되므로 9월에 RSIVD로 인해 급성 대량 폐사가 발생할 수 있으며, 질병의 종식 시기도 늦어질 것으로 추정된다. 여수의 경우는 6월부터 23.45°C(2.4°C 상승)를 보이며, 10월까지 23°C 이상의 수온을 유지하므로 RSIVD의 발생시기가 빨라져 6월부터 발생될 가능성이 있으며 10월까지 지속될 것으로 추정된다. 더욱이 9월에는 수온이 26.75°C(1.96°C 상승)까지 상승하므로 급성으로 인한 대량 폐사도 발생할 것으로 추정된다. 이와같이 2050년도에는 남해안의 수온 상승으로 인해 돌돔 양식장에서의 RSIVD의 발병 시점은 앞당겨지고 종식 시점도 늦춰질 것으로 예상되어 본 질병에 의한 피해는 더욱더 증가될 것으로 추정된다.

VNN

VNN은 1990년 남해안에서 사육중인 능성어(*Epinephelus Septemfasciatus*)에서 처음 보고된 이래로(Sohn et al., 1991; 1998), 양식산 넙치, 돌돔, 승어(*Mugil cephalus*), 홍민어(*Sciaenops ocellatus*) 및 황점볼락(*S. oblongus*)에서 질병이 발생되었고(Cha et al., 2007; Oh et al., 2002; 2005), 국내 연안에서 서식하는 자연산 해산어에서도 원인병원체인 VNN가 검출되었다(Gomez et al., 2008). 본 질병은 여름철 고수온기에 양식산 능성어에서 주로 발생하는데, 사육 수온이 약 24°C인 8월부터 발생하기 시작하여 10월까지 지속되며(약 20°C), 성어 보다는 치어에서 높은 치사율을 나타낸다(Kim et al., 2012).

2050년도 예측 수온을 근거로 VNN 발병을 예측해 보면, 제주의 경우 7월의 수온이 23.86°C(약 1°C 상승)까지 상승하고 10월까지 24.71°C를 유지하며(24°C의 수온대가 조기 형성되고 길어짐) 11월에도 수온이 약 20°C를 보이므로 VNN의 발생시기는 빨라져 7월부터 발생되며 11월까지 지속될 것으로 추정된다. VNN은 감염실험을 통해 사육수온이 높을수록 폐사율이 높게(20°C의 폐사율: 46.7%, 23°C: 93.3%, 26°C: 100%) 나타남이 확인되었다(Nishizawa et al., 2012). 따라서 수온이 27.5°C(1.6°C 상승)까지 상승하는 8월에는 VNN에 의한 피해가 더 늘어날 것으로 추정된다. 완도는 6-7월에 수온이 상승하나 22°C 이하를 나타내며 8월에 23.02°C, 9월에 26.46°C, 10월에 22.43°C를 보이므로 VNN 발병은 기존과 유사하게 8월부터 발생하나 종식시기는 약간 길어질 것으로 추정된다. 9월은 수온이 26.46°C(2.56°C 상승)까지 상승하므로 9월에는

VNN에 의한 피해가 늘 것으로 추정된다. 여수의 경우는 6월부터 23.45°C(2.4°C 상승)를 보이며, 10월까지 23°C 이상의 수온을 유지하므로 VNN의 발생시기는 빨라져 6월부터 발생되며 11월까지 지속될 것으로 추정된다. 더욱이 9월에는 수온이 26.75°C(1.96°C 상승)까지 상승하므로 질병 발생시 대량 폐사로 이어질 것으로 추정된다. 이와같이 2050년도에는 남해안의 수온 상승으로 인해 능성어 양식장에서의 VNN의 발생시기는 약 1개월 앞당겨지고 종식시기도 늦춰질 것으로 예상되어 본 질병에 의한 피해는 더욱더 증가될 것으로 추정된다.

지구온난화에 수반되어 예측되어지는 기타 바이러스 질병 발생

주요 양식어류

수온의 변화는 어획량, 어종분포, 어류이동 등에 영향을 줄 뿐만 아니라 생리, 대사, 성장에도 영향을 미친다(FAO, 2009). 국내 주요 양식어종인 넙치의 경우, 수온이 21-24°C에서 가장 성장이 좋으나 고수온에 대한 내성이 약해서 25°C 이상이 되면 먹이 섭취량이 저하하며, 고수온이 장기간 유지될 때에는 폐사하게 된다(Jang, 2002). 또한 조피볼락은 성장 적수온이 15-20°C이며, 저수온에는 강한 대신 고수온에는 약하여 23°C 이상이 되면 먹이 섭취량이 줄어들고 체중이 감소한다(Jang, 2002). 2050년도 여름철 남해안 연안의 수온을 보면, 제주에서는 8월에 27.5°C, 완도에서는 9월에 26.46°C, 여수에서는 8월과 9월에 각각 26.61°C와 26.75°C까지 상승할 것으로 예측된다. 따라서 2050년 8월과 9월에는 넙치와 조피볼락을 비롯한 고수온에 약한 어종들은 성장, 생리, 대사 등에 심각한 장애를 받을 것으로 추정된다. 더욱이 어체의 건강 상태가 악화되었을 경우, 신종 또는 기존에 보고된 바이러스 질병이 발생할 가능성이 있다. 이와 유사한 현상은 터벗에서 보고된 바 있다(Kim et al., 2005). 터벗은 성장 적수온이 14-18°C이며 20°C 이상에서는 적응력이 낮아진다(Jang, 2002). RSIV-like virus 질병은 주로 23°C 이상에서 유행하는데 터벗의 경우는 20°C에서도 발생된 바 있다.

연안 자연생태계 어류

최근 우리나라 연근해 어장은 살오징어(*Todarodes pacificus*), 멸치(*Engraulis japonica*), 고등어(*Scomber japonicus*), 참다랑어(*Thunnus thynnus*) 등의 난류성 어종은 생산이 증가하는 반면, 명태(*Theragra chalcogramma*), 도루묵(*Arcotocopus japonicus*) 등의 냉수성 어종은 생산이 감소하고 있다(Joung, 2010). 또한 제주도 주변 해역에서는 1990년대부터 말쑤치(*Thamnaconus modestus*)가 거의 사라지고 고등어, 갈치(*Trichiurus lepturus*), 참조기(*Larimichthys polyactis*), 전갱이(*Trachurus japonicus*)가 우점을 보이고 있으며(Jung et al., 2013), 동해의 왕돌초 및 독도 해역에서 아열대성 어종인 자리돔(*Chromis notatus*), 황늘래기(*Pseudolabrus Japonicus*), 줄도

화돔(*Apogon semilineatus*) 등의 어종 출현 빈도가 증가하고 있다(Joung, 2010). 이와같이 최근 국내 연안은 기후변화로 인해 어류의 이동뿐만 아니라 어종의 분포가 바뀌고 있다. 국내에 새로운 어종의 유입 및 난류성 어종의 출현 빈도 증가는 외래 병원체의 출현 및 바이러스 질병에 의한 피해를 증가시킬 수 있다. Kim et al. (unpublished data)은 지구온난화에 의한 외래 병원체의 유입여부를 조사하고자 2010년부터 2013년까지 남해안 및 제주도에서 채집되는 자연산 어류를 대상으로 바이러스 검사를 실시한 결과에서 다양한 어종(볼락류, 송어, 넙치, 인상어(*Neoditrema ransonneti*), 쥐치(*Stephanolepis cirrifer*), 솜뱅이(*Sebasticus marmoratus*))으로부터 핵거대화의 세포변성효과(cytopathic effect, CPE)를 유발하는 신종으로 추정되는 바이러스를 검출한 바 있다. 더욱이 남해안 연안에서 생산량 및 우점 빈도가 상승한 어류 중, 고등어는 VHSV, RSIV 및 NNV 감염 숙주로 알려져 있으며, 갈치, 참다랑어, 전갱이는 각각 VHSV, RSIV, NNV에 감염된다고 보고되어 있다(Gomez et al., 2008; Kim and Park, 2004; Kim et al., 2011; OIE, 2009). 따라서 2050년도 연근해 어장에 위와 같이 병원성 바이러스에 감수성이 있는 어종의 출현빈도 및 생산량이 증가한다면 바이러스-캐리어로서 작용하여 양식장에서는 바이러스성 질병이 더욱 증가될 가능성이 있다. 또한 국내에 보고되어 있지 않는 바이러스에 감수성이 있는 어종들이 국내로 유입된다면 외래 병원체의 출현으로 인한 피해도 예상된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 수산기술개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Cha SJ, Do JW, Lee NS, An EJ, Kim YC, Kim JW and Park JW. 2007. Phylogenetic analysis of betanodaviruses isolated from cultured fish in Korea. *Dis Aquat Org* 77, 181–189.
- Do JW, Cha SJ, Kim JS, An EJ, Park MS, Kim JW, Kim YC, Park MA and Park JW. 2005. Sequence variation in the gene encoding the major capsid protein of Korean fish iridoviruses. *Arch Virol* 150, 351–359.
- FAO. 2007. Building adaptive capacity to climate change: policies to sustain livelihoods and fisheries. *New Directions in Fisheries – A Series of Policy Briefs on Development Issues* No. 8.
- FAO. 2009. Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge (Cochrane K, De Young C, Soto D and Bahri T. eds.). *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* No. 530.
- Gomez DK, Baeck GW, Kim JH, Choresca Jr CH and Park SC. 2008. Molecular detection of betanodavirus in wild marine fish populations in Korea. *J Vet Diagn Invest* 20, 38–44. <http://dx.doi.org/10.1177/104063870802000107>.
- Jang GN. 2002. *Fish farming*. SamGwang Publishing Co., Korea.
- Jeong JB, Kim HY, Jun LJ, Lyu JH, Park NG, Kim JK and Jeong HD. 2008. Outbreaks and risks of infectious spleen and kidney necrosis virus disease in freshwater ornamental fishes. *Dis Aquat Org* 78, 209–215.
- Joung MS. 2010. Impact and countermeasures of climate change on fisheries. *Agriculture, Fishery and environment*, 109, 54–65.
- Jung SG, Ha SM and Na HN. 2013. Multi-decadal changes in fish communities Jeju island in relation to climate change. *Kor J Fish Aquat Sci* 46, 186–194. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0186>.
- Jung SJ and Oh MJ. 2000. Iridovirus-like infection associated with high mortalities of striped beakperch, *Oplegnathus fasciatus* (Temmincket Schlegel) in southern coastal areas of the Korean peninsula. *J Fish Dis* 23, 223–226.
- Kim CS, Kim WS, Nishizawa T and Oh MJ. 2012. Prevalence of viral nervous necrosis (VNN) in sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* farms. *J Fish Pathol* 25, 111–116.
- Kim JH, Park SW, Park CI, Oh MJ, Jung SJ and Heo MD. 2006. *Infectious and parasitic diseases of fish and shellfish*. Life Science Publishing Co., Korea.
- Kim SM, Lee JI, Hong MJ, Park HS and Park SI. 2003. Genetic relationship of the VHSV (viral hemorrhagic septicemia virus) isolated from cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus* in Korea. *J Fish Pathol* 16, 1–12.
- Kim SM and Park SI. 2004. Detection of viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) in wild marine fishes in the coastal region of Korea. *J Fish Pathol* 17, 1–10.
- Kim WS, Oh MJ, Jung SJ, Kim YJ and Kitamura SI. 2005. Characterization of an iridovirus detected from cultured turbot *Scophthalmus maximus* in Korea. *Dis Aquat Org* 64, 175–180.
- Kim WS, Kim SR, Kim DW, Kim JO, Park MA, Kitamura SI, Kim HY, Kim DH, Han HJ, Jung SJ and Oh MJ. 2009. An outbreak of VHSV (viral haemorrhagic septicemia virus) infection in farmed olive flounder *Paralichthys olivaceus* in Korea. *Aquaculture* 296, 165–168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.019>.
- Kim WS, Jung SJ, Kim JO, Kim DW, Kim JH and Oh MJ. 2011. Genetic positioning of Korean viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) from cultured and wild marine fishes. *J Fish Pathol* 24, 1–9.
- Lee BD, Kim BT, Cho YS. 2011. A study on vulnerability assessment to climate change in regional fisheries of Korea. *J Fish Bus Adm* 42, 57–70.
- Lee EK. 2009. Impact and countermeasures of climate change on seafood supply. *Fisheries policy study*, 95–116.
- Lee WL, Yun HM, Kim SR, Jung SJ and Oh MJ. 2007. Detection of viral hemorrhagic septicemia virus (VHSV) from marine fish in the South Western coastal area and East China Sea. *J Fish Pathol* 20, 201–209.
- Lee WL, Kim SR, Yun HM, Kitamura S, Jung SJ and Oh MJ. 2007. Detection of red sea bream iridovirus (RSIV) from marine fish in the Southern coastal area and East China Sea.

- J Fish Pathol 20, 211–220.
- Lyu JH, Jeong JB, Kim HY, Jun LJ, Cho HJ, Lee JW and Jeong HD. 2006. Detection and distribution of iridoviruses in five freshwater ornamental fish species. J Fish Pathol 19, 197–206.
- Marcogliese DJ. 2008. The impact of climate change on the parasites and infectious diseases of aquatic animals. Rev Sci Tech Off Int Epiz 27, 467–484.
- National Fisheries Research & Development Institute. 2007. Technical report of national fisheries research and development institute, Korea Maritime Institute. In: Study for impact and countermeasures of climate change on oceanic ecosystem and fisheries resources. Change of ocean environmental factors and interaction. Seo YS, Han IS, Sung GT, Ko WJ, Choi YG, Yoon WD, Yang JY, Kim SW, Kang YS, Jung HD, Jung GK, Kang DJ and Kim JY, eds. 309–335.
- National Fisheries Research & Development Institute. 2012. Countermeasure and research about impact on climate change of fisheries (I). Fishery & ocean information division.
- Nishizawa T, Gye HJ, Takami I and Oh MJ. 2012. Potentiality of a live vaccine with nervous necrosis virus (NNV) for sevenband grouper *Epinephelus septemfasciatus* at a low rearing temperature. Vaccine 30, 1056–1063.
- Oh MJ, Jung SJ and Kim YJ. 1999. Detection of RSIV (red sea bream iridovirus) in the cultured marine fish by the polymerase chain reaction. J Fish Pathol 12, 66–69.
- Oh MJ, Jung SJ, Kim SR, Rajendran KV, Kim YJ, Choi TJ, Kim HR and Kim JD. 2002. A fish nodavirus associated with mass mortality in hatchery-reared red drum, *Sciaenops ocellatus*. Aquaculture 211, 1–7.
- Oh MJ, Jung SJ and Kitamura SI. 2005. Comparison of the coat protein gene of nervous necrosis virus (NNV) detected from marine fishes in Korea. J World Aquac Society 36, 223–227.
- OIE. 2009. Manual of diagnostic tests for aquatic animals. Infectious haematopoietic necrosis. Office International des Epizooties.
- Park SK. 2009. Fisheries policy to respond to the climate change. Fisheries study, 1–14.
- Sohn SG, Park MA, Oh MJ and Chun SK. 1998. A fish nodavirus isolated from cultured sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. J Fish Pathol 11, 97–104.
- Sohn SG, Park MA, Lee SD and Chun SK. 1991. Studies on the mass mortality of the cultured grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. J Fish Pathol 4, 87–94.