

통영 바다목장 해역의 종속영양세균 군집의 연차적 분포

김 말 남* · 이 한 용 · 이 진 환

상명대학교 생물학과

Annual Distribution of Heterotrophic Bacterial Community in the Marine Ranching Ground of Tongyeong Coastal Waters

Mal Nam Kim*, Han Woong Lee and Jin Hwan Lee

Department of Biology, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

Abstract – The cell numbers of heterotrophic bacteria inhabiting the surface and bottom sea water harvested from the 5 stations in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters in 2003~2007 were examined, and species composition of the heterotrophic bacterial population and dominant species were analyzed as well. Sea water samples collected in summer season contained much higher number of heterotrophic bacteria than those harvested in winter, spring and autumn seasons due to the higher sea water temperature. However the cell number of heterotrophic bacteria did not show a significant dependence on the location of the sampling stations. The cell number of heterotrophic bacteria in the surface sea water harvested in October 2003 and in September 2004 was not discernibly different from that in the bottom sea water and sometimes the former was even fewer than the latter because of the typhoon and localized torrential down-pour. The number of heterotrophic bacteria decreased every year. The main bacterial species were *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Pasteurella multocida* TY7, *Comamonas acidovorans* TY8, *Actinobacillus ureae* TY9 and *Chryseobacterium indologenes* TY10. *P. fluorescens* TY1 and *A. lwoffii* TY3 were found to be the dominant species.

Key words : marine ranching ground of Tongyeong coast, heterotrophic bacteria, cell number, species composition

서 론

미생물 군집의 조성은 환경특성 및 조건에 크게 의존하므로 기후, 온도변화, 서식장소 및 영양 상태에 따라 미생물 군집의 분포가 다르게 나타난다 (Morelissen and Harley 2007). 수질이 부영양화 될수록 미생물 군집의 개

체수가 급격히 증가하므로 미생물 군집의 조성은 오염의 척도가 되며 수서환경의 오염도를 평가하는데 유용한 기준이 될 수 있다 (Pavlov *et al.* 2004). 특히 해양환경에 분포하는 종속영양세균의 개체수는 그 수역의 영양 상태와 오염도를 나타내는 중요한 척도가 된다 (신 등 2001).

종속영양세균 군집은 영양물질의 순환에 영향을 미치는 중요한 인자로서 (Jana *et al.* 2007), 생태계 내에서 생산자 또는 분해자 역할을 하며, 물속에 용존하고 있는 유기물을 무기질화시켜 생태계 유지를 위한 물질순환과

* Corresponding author: Mal Nam Kim, Tel. 02-2287-5150, Fax. 02-2287-0070, E-mail. mnkim@smu.ac.kr

에너지흐름에서 중요한 역할을 담당하고 있다.

미생물은 피식 및 포식관계로 이루어진 미생물 먹이사슬과 탄소순환에서 중요한 연결고리로 작용하며 (Schneider *et al.* 2007), 분해된 유기물은 새로운 효소와 영양분으로 전환되어 수서생태계 먹이사슬 하위에 존재하는 생물의 성장에 중요한 영향을 미친다 (Garcia *et al.* 2007).

해양 중속영양세균의 분포 및 생장은 계절에 따른 수온, 염분, 영양염류, pH의 변화 및 담수와 오염물질의 유입 등 생태계의 생물적 변이 또는 비생물적인 물질의 유입에 의하여 저해되거나 촉진될 수 있다 (Thingstad *et al.* 2007). 중속영양세균의 분포에 대한 계절적 조사와 정량 분석은 세균이 가지고 있는 생태학적 기능을 파악하는데 중요한 정보를 제공할 수 있으므로 수서환경에서 유기물의 흐름을 파악하고 환경변화를 이해하기 위해서는 이를 모니터링하는 것이 필수적이다 (안 등 1998).

바다목장은 해양자원의 감소와 어장 축소에 따른 문제점을 해결하기 위하여 연안 양식 산업을 발전시키고 동시에 바다가 가지고 있는 생산 잠재력을 극대화한 환경 친화적인 생산 시스템의 일환으로 시작된 사업이다.

통영 바다목장은 1998년부터 2007까지 시범사업으로 수행되었으며, 통영 바다목장 수역은 어업뿐만 아니라 수산물 가공을 포함한 수산업의 여러 분야가 종합적으로 모여 수산자원을 지속적으로 생산할 수 있는 지역이므로 해양자원을 원활히 관리하고 해역의 환경상태를 점검하는 것이 필요하다 (강과 류 2003; 박과 강 2007). 우리나라 수산업에 막대한 영향을 미칠 통영 바다목장 해역에서 영양 상태와 특성을 밝히는 것은 중요한 의미가 있으며, 중속영양세균의 개체수 및 군집의 조성과 우점종을 조사하는 것은 통영 바다목장의 건강상태와 생산성을 예측하는데 있어 매우 중요하다고 할 수 있다 (김 등 2004).

본 연구에서는 2003~2007년 통영 바다목장 해역의 표층수와 저층수의 5개 정점을 대상으로 중속영양세균의 개체수를 측정하고, 2003~2006년 1개 정점에서 중속영양세균 군집의 종조성 및 우점종을 분석하였다. 또한 장 등 (2000)과 김 등 (2004)이 보고한 2000~2002년 사이의 통영 바다목장 해역의 중속영양세균 조사 결과를 본 연구결과와 함께 비교·분석하여 중속영양세균 군집의 계절 및 정점별 연차적 변화에 대한 종합적인 분석을 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사 시기와 정점

통영 바다목장 해역 5개 정점 (정점 2, 3, 5, 7 및 9)의

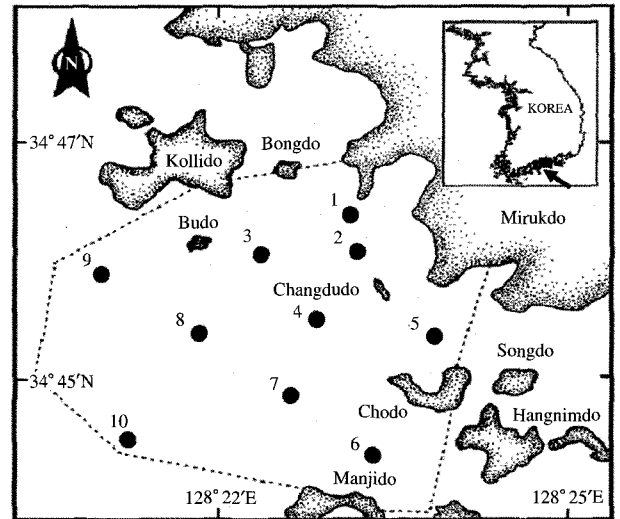


Fig. 1. Sampling stations in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters.

표층수와 저층수를 대상으로 2003~2007년 사이에서 연차별로 중속영양세균 조사를 실시하였다. 시료는 표층수의 수심 0.5 m에서, 저층수에서는 해저 1 m 상부에서 각각 50 mL씩 채집하였다.

2. 중속영양세균의 개체수 측정

해수시료를 Sea Water Nutrient Agar (SWNA) 평판배지에 각각 0.1 mL씩 분주·도말하고 $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 5 ± 2 일간 배양한 후 평판계수법 (Allena *et al.* 2005)에 따라 콜로니 수를 계수하였으며, 3회 반복실험을 통하여 평균값과 표준편차를 측정하였다.

3. 중속영양세균 군집의 종조성 및 우점종 분석

2003~2006년 조사 시기 중에서 중속영양세균의 개체수가 가장 많은 1개 정점의 표층수를 대상으로 배양 후 SWNA 평판배지에서 콜로니를 선별하여 순수분리하고 그람염색성, 형태적 특성 및 VITEK Microbe Identification System (BioMerieux)을 이용한 생화학적 성상시험을 통하여 동정한 후, 군집의 종조성과 우점종을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 중속영양세균의 개체수

통영 바다목장 해역에서 각각 2003~2007년에 조사

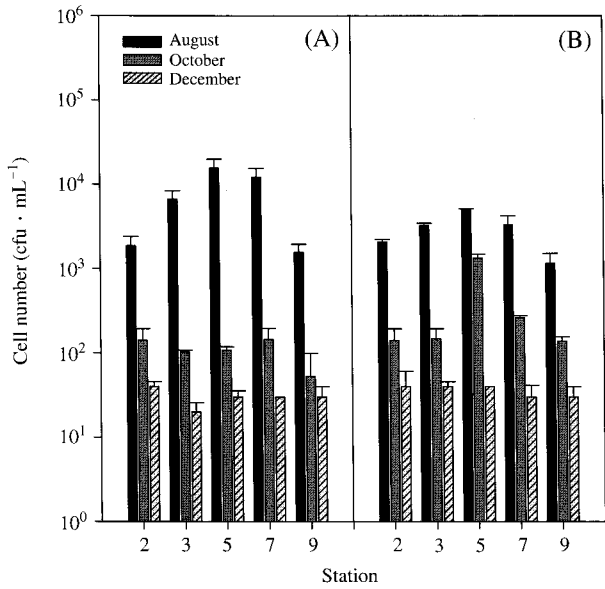


Fig. 2. Cell number of heterotrophic bacteria isolated from the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters in 2003. (A) Surface water, (B) Bottom water.

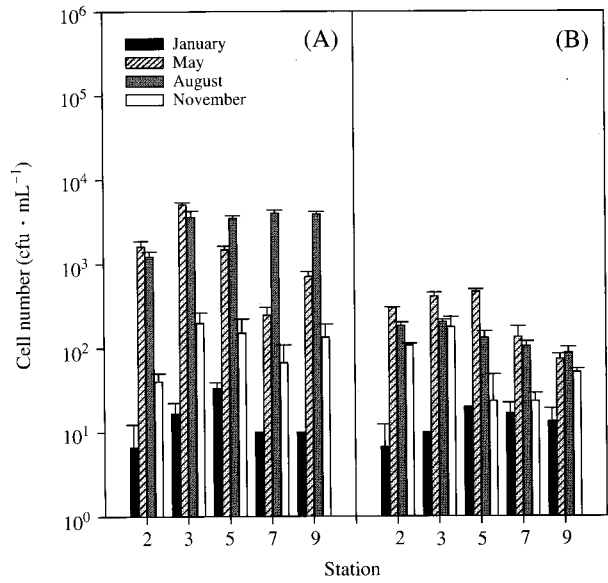


Fig. 4. Cell number of heterotrophic bacteria isolated from the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters in 2005. (A) Surface water, (B) Bottom water.

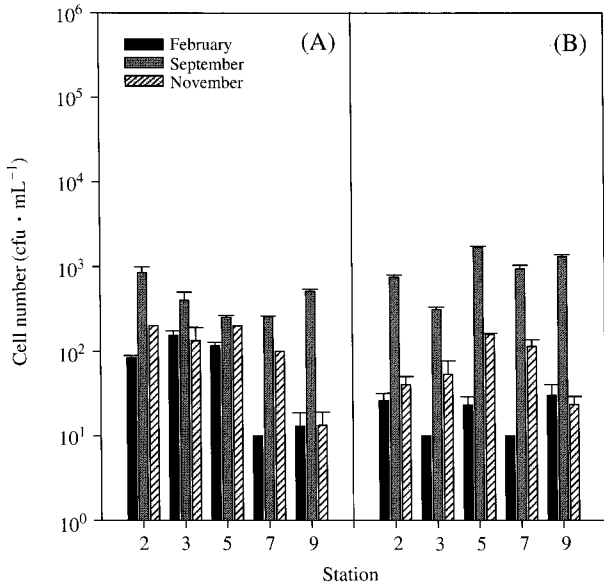


Fig. 3. Cell number of heterotrophic bacteria isolated from the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters in 2004. (A) Surface water, (B) Bottom water.

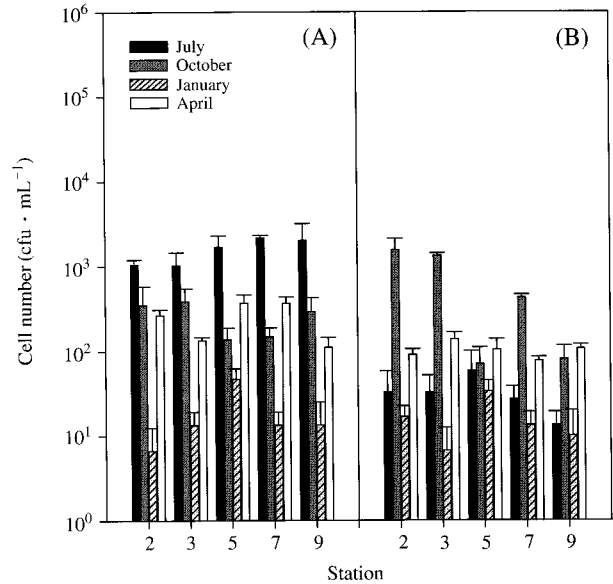


Fig. 5. Cell number of heterotrophic bacteria isolated from the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters during the period from 2006 to 2007. (A) Surface water, (B) Bottom water.

한 종속영양세균의 계절적인 분포 추이를 연차적으로 비교·분석한 결과이다(Figs. 2~5). 그림에서 보듯이 종속영양세균은 겨울이나 봄 및 가을철에 비하여 해수의 온도가 높은 여름철에 가장 많이 검출되어 2003년 8월에는 $1.1 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹, 2005년 8월에는 $8.7 \times 10^1 \sim 4.0 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹ 그리고 2006년 7월 표층수

에서 $1.3 \times 10^1 \sim 2.2 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹ 범위의 종속영양세균이 검출되었다. 한편, 봄과 가을에 해수 내 종속영양세균의 개체수는 상호 유사하고 겨울에는 사계절 중 가장 적은 수의 종속영양세균이 서식하고 있었으므로 통영 바다목장 해역의 종속영양세균 개체수는 해수온도의 변

화에 민감하게 영향을 받는다고 할 수 있다.

Kirchman *et al.* (2005)은 북극 해수의 종속영양세균 활성이 낮은 수온으로 인하여 크게 저해된다고 밝혔으며, Jiao *et al.* (2007)도 동중국해의 해수 온도가 높은 지역에서 미생물 군집의 종 다양성이 더 풍부하게 조사되었다고 보고하였다.

강과 여 (2001)는 낙동강과 진해만의 총세균수를 조사하여 하천이 유입되는 내만의 경우 유기물의 농도가 높아 유기물의 농도가 낮은 외만에 비하여 총균수가 더 많이 검출되었다고 보고하였다. 그러나 Figs. 2~5에 의하면, 통영 바다목장 해역에서는 정점의 위치에 따른 종속영양세균의 개체수 변화는 특별한 경향을 나타내지 않았다.

김 등 (2006)은 여수 가막만 해수 수괴의 특성 조사에서 기온이 상승함에 따라 표층수의 온도는 쉽게 상승하여 기초 생산력을 증가시키지만 저층수의 온도는 크게 변화하지 않으며 수온 약층을 형성한다고 보고하였다. 안 등 (1998)은 소양호에서 식물플랑크톤이 증식하기 쉬운 표층에서 총세균수가 높게 나타났다고 보고하였다. 통영 바다목장 해역에서도 Figs. 2~5와 같이 조사기간 중 대부분 저층수보다 표층수에서 더 많은 종속영양세균이 검출되었다. 이는 저층수보다 표층수에 식물플랑크톤이 더 많이 서식하며 이들이 배출하는 저분자유기물의 농도가 저층수보다 표층수에서 더 높은 것에 기인한다. 이것은 저분자유기물은 세균의 영양물질로 이용될 수 있기 때문으로 판단된다.

계절변화나 해수 위치에 따른 수온 변화 외에도 태풍과 집중호우 역시 종속영양세균의 개체수에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 태풍은 해수의 수직 혼합을 야기하기 때문에 2003년 10월 조사에서는 태풍 매미의 영향으로 저층수의 개체수 ($1.4 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹)가 표층수 개체수 ($7.3 \times 10^1 \sim 1.4 \times 10^2$ cfu · mL⁻¹)보다 더 높게 나타났으며, 2004년 9월에도 태풍 송다의 영향으로 표층수의 개체수 ($2.5 \times 10^2 \sim 8.5 \times 10^2$ cfu · mL⁻¹)가 저층수 ($3.1 \times 10^2 \sim 1.7 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹)보다 더 적게 검출되었다. Siewichi *et al.* (2007)은 강한 바람과 폭우는 연안 해수 저층의 침전물을 교란시켜 수계 내 세균수를 변화시키는 요인이 될 수 있다고 하였으며, 김 등 (2004)도 통영 바다목장 해역의 종속영양세균 조사에서 2002년 7월에는 태풍 라마순을 비롯한 여러 태풍과 집중호우의 영향으로 육상의 유입량이 많아 표층수의 개체수에 영향을 주었다고 보고하였다. 김 등 (2004)은 종속영양세균의 표층수와 저층수의 개체수와 태풍 빈도수의 상관관계를 조사한 결과 종속영양세균의 개체수는 태풍의 빈도수 이외에 태풍의 진로와 강도 및 태풍을 수반

하는 집중호우와 해수의 온도 그리고 파도의 세기 및 빈도 등 여러 요인에 영향을 받는다고 하였다.

Figs. 2~5에서 년별 변화를 비교하면, 종속영양세균 개체수는 해를 거듭할수록 점차 감소하는 양상이었다. 여름철 표층수의 종속영양세균 개체수를 연도별로 비교하면, 2003년 8월에는 $3.6 \times 10^3 \sim 1.6 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹가 검출되었으나 2005년 8월에는 $1.2 \times 10^3 \sim 4.0 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹가 검출되어 3~4배 감소하였다. 저층수에서도 2003년 8월에는 $1.1 \times 10^3 \sim 5.7 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹이었고, 2005년 8월에는 $2.0 \times 10^1 \sim 2.0 \times 10^2$ cfu · mL⁻¹로 점차 감소하는 추세를 나타내었다.

장 등 (2000)의 보고에 따르면 통영 바다목장 해역 종속영양세균 개체수는 2000년 8월 표층수에서 $2.7 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^5$ cfu · mL⁻¹, 저층수에서 $4.0 \times 10^1 \sim 1.5 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹이었고, 김 등 (2004)은 2001년 8월 표층수에서 $3.9 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹, 저층수에서 $1.7 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹를 보고하였으며, 2002년 7월의 표층수에서는 $3.7 \times 10^3 \sim 2.8 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹, 저층수에서는 $7.4 \times 10^2 \sim 5.0 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹를 보고하였다. 2000~2002년과 본 연구의 2003~2007년 조사 결과를 종합적으로 분석하면 종속영양세균 개체수가 연차적으로 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 지속적인 바다목장 관리에 따른 해수 내 유기물 오염도가 점차 감소되고 있는 것에 기인한다고 사료된다.

손 등 (2000)은 6~11월 마산만의 종속영양세균 개체수는 $7.0 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^6$ cfu · mL⁻¹, 행암만에서는 $4.3 \times 10^3 \sim 1.2 \times 10^6$ cfu · mL⁻¹로 보고하였다. 정과 신 (1996)은 도시 하수가 유입되는 여수연안 해역에서 $1.0 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^4$ cfu · mL⁻¹, 청정해역인 동중국해의 외양해역에서는 $0.4 \times 10^1 \sim 2.4 \times 10^3$ cfu · mL⁻¹의 종속영양세균을 보고하였다.

2. 종속영양세균 군집의 종조성 및 우점종

Table 1은 2003~2006년에 걸쳐 년 1회, 가장 개체수가 많이 측정된 계절의 1개 정점에서 조사된 종속영양세균 군집의 연차별 종조성 변화를 수록한 것이며, 표 2는 우점종 분석 결과이다.

Table 1에 의하면, 2003년 8월 정점 2에서 종속영양세균의 종조성은 *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Pasteurella multocida* TY7, *Comamonas acidovorans* TY8, *Actinobacillus ureae* TY9 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10의 6종으로, 2004년 9월 정점 5에서 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Pasteurella*

Table 1. Species composition of heterotrophic bacterial population in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters during the period of from 2003 to 2006

Sampling date	Isolated strain
Aug. 2003	<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1
	<i>Pseudomonas stutzeri</i> TY2
	<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> TY4
	<i>Burkholderia mallei</i> TY5
	<i>Pasteurella haemolytica</i> TY6
	<i>Pasteurella multocida</i> TY7
	<i>Comamonas acidovorans</i> TY8
	<i>Actinobacillus ureae</i> TY9
	<i>Chryseobacterium indologenes</i> TY10
Sep. 2004	<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1
	<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> TY4
	<i>Pasteurella haemolytica</i> TY6
	<i>Actinobacillus ureae</i> TY9
Aug. 2005	<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1
	<i>Pseudomonas stutzeri</i> TY2
	<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> TY4
	<i>Burkholderia mallei</i> TY5
	<i>Pasteurella haemolytica</i> TY6
	<i>Chryseobacterium indologenes</i> TY10
Jul. 2006	<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1
	<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3
	<i>Burkholderia mallei</i> TY5
	<i>Pasteurella haemolytica</i> TY6
	<i>Comamonas acidovorans</i> TY8
<i>Chryseobacterium indologenes</i> TY10	

haemolytica TY6, *Actinobacillus ureae* TY9 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10의 6종으로 이루어져 있었다. 2005년 8월 정점 2에서 종속영양세균 군집은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10의 7종으로 구성되어 있었으며, 2006년 7월 정점 2에서는 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Comamonas acidovorans* TY8 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10의 6종으로 종조성이 이루어져 있었다.

김 등(2004)은 2002년 10월 통영 바다목장 정점 2의 종속영양세균 군집은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4의 4종으로 종조성이 이루어져 있음을 보고하였다.

Table 2에 제시된 바와 같이 2003~2006년 사이에 조사된 통영 바다목장 해역의 종속영양세균 군집의 우점

Table 2. Dominant species among the heterotrophic bacterial population in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters during the period from 2003 to 2006

Isolated strain	Sampling date (year)			
	2003	2004	2005	2006
<i>P. fluorescens</i> TY1	√	√	√	√
<i>P. stutzeri</i> TY2	√		√	
<i>A. lwoffii</i> TY3	√	√	√	√
<i>S. paucimobilis</i> TY4	√	√	√	
<i>B. mallei</i> TY5	√		√	√
<i>P. haemolytica</i> TY6	√	√	√	√
<i>P. multocida</i> TY7	√			
<i>C. acidovorans</i> TY8	√			√
<i>A. ureae</i> TY9	√	√		
<i>C. indologenes</i> TY10	√	√	√	√

종은 *Pseudomonas fluorescens* TY1과 *Acinetobacter lwoffii* TY3으로 나타났다. 최 등(2000)은 1999년 군산 내만에서 *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Moraxella*, *Escherichia coli*, *Bondetella*, *Alcaligenesis*, *Staphylococcus*, *Flavobacterium*의 검출을 보고하였으며, David (2004)는 영국의 Wevern Trent지역 표층수에서 본 연구와 동일 균종인 *Pseudomonas fluorescens*와 *Acinetobacter lwoffii*를 분리하여 보고하였다.

적 요

2003~2007년 통영 바다목장 해역 5개 정점을 대상으로 표층수와 저층수의 종속영양세균의 개체수를 측정하고, 종속영양세균 군집의 종조성 및 우점종을 분석하였다. 종속영양세균은 겨울이나 봄 및 가을에 비하여 해수의 온도가 높은 여름에 더 많이 검출되었으며, 정점별 변화는 특별한 변화 경향이 없었다. 2003년 10월 및 2004년 9월에는 태풍과 집중호우의 영향으로 표층수와 저층수의 개체수가 큰 차이를 나타내지 않거나 저층수의 개체수가 표층수보다 오히려 더 많은 경우도 있었다. 통영 바다목장 해역의 종속영양세균 개체수는 해를 거듭할수록 감소하는 추세를 나타내었다. 종속영양세균 군집의 종조성은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Pasteurella multocida* TY7, *Comamonas acidovorans* TY8, *Actinobacillus ureae* TY9 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10으로 조사되었고, *P. fluorescens* TY1과 *A. lwoffii* TY3이 우점종으로 분석되었다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 통영해역 바다목장화 개발 연구용역(생태계 특성)에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 강종호, 류정곤. 2003. 통영 바다목장의 유통체계 구축과 상품화 계획에 관한 연구. 한국수산경영학회지. 34:91-107.
- 강 현, 여환구. 2001. 연안해역에서 분변오염의 생화학적 지표(coprostanol)에 관한 연구. 한국해양환경공학회지. 4:40-52.
- 김말남, 임아현, 이진환, 김종만. 2004. 통영 바다목장 해역의 종속영양세균의 계절적 변화. 환경생물. 22:75-82.
- 김정배, 이상용, 유 준, 최양호, 정창수, 이필용. 2006. 가막만 빈산소 수괴의 특성. 한국해양환경공학회지. 9:216-224.
- 박경동, 강용주. 2007. 통영 바다목장에 서식하는 조피 볼락, *Sebastes schlegeli*의 연령과 성장. 한국어류학회지. 19: 35-43.
- 손재학, 안태영, 김상진. 2000. 마산만과 행암만 수층의 종속 영양세균과 엽록소 *a* 함량 분포에 미치는 환경요인. 한국해양환경공학회지. 3:65-75.
- 신재기, 박경미, 황순진, 조경재. 2001. 경안천과 팔당호에서 총세균의 분포 및 동태. 육수지. 34:119-125.
- 안태석, 최승익, 변명섭, 박호환. 1998. 소양호에서 세균수와 세균 체적의 계절적 수심별 변화. 육수지. 31:186-190.
- 장지철, 김말남, 이진환, 김종만. 2000. 통영 바다목장 해역의 미생물 분포. 환경생물. 18:403-409.
- 정규진, 신석우. 1996. 여수연안 및 동중국해의 세균상, 1. 일 반 세균, *Vibrio* spp., 대장균군 군수에 따른 수평분포. 한국수산학회지. 29:9-16.
- 최민순, 심현빈, 정경민. 2000. 군산 내만의 해양수에서 분리 되는 세균의 분포. 한국어병학회지. 13:67-73.
- Allena MJ, SC Edberg and DJ Reasonerc. 2005. Heterotrophic plate count bacteria-what is their significance. Int. J. Fd. Microbiol. 92:265-274.
- Almeida A, A Cunha, S Fernandes, P Sobral and F Aleantara. 2007. Copper effects on bacterial activity of estuarine silty sediments. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. accepted 19 March 2007.
- David PS. 2004. Heterotrophic plate count monitoring of treated drinking water in the UK: A useful operation tool. Int. J. Fd. Microbiol. 92:297-306.
- Garcia AM, DJ Hoeinghaus, JP Vieira and KO Winemiller. 2007. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 73:399-408.
- Jana TK, RD Banerjee and BB Jana. 2007. Responses of some biogeochemical cycling bacteria and their activities to management protocols under polyculture with Indian major carps and freshwater giant prawn. Aquaculture 264:184-196.
- Jiao N, Y Zhang, Y Zeng, WD Gardner, AV Mishonov, MJ Richardson, N Hong, D Pan, XH Yan, YH Jo, CTA Chen, P Wang, Y Chen, H Hong, Y Bai, X Chen, B Huang, H Deng, Y Shi and D Yang. 2007. Ecological anomalies in the East China Sea: Impacts of the Three Gorges Dam? Waters Res. 41:1287-1293.
- Kirchman DL, RR Malmstorm and MT Cottrell. 2005. Control of bacterial growth by temperature and organic matter in the Western Arctic. Deep-Sea Res. II. 52:3386-3395.
- Morelissen B and CDG Harley. 2007. The effects of temperature on producers, consumers, and plant-herbivore interactions in an intertidal community. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 348:162-173.
- Pavlov D, CME de Wet, WOK Grabow and MM Ehlers. 2004. Potentially pathogenic features of heterotrophic plate count bacteria isolated from treated and untreated drinking water. Int. J. Fd. Microbiol. 92:275-287.
- Schneider O, V Sereti, EH Eding and JAJ Verreth. 2007. Heterotrophic bacterial production on solid fish waste: TAN and nitrate as nitrogen source under practical RAS conditions. Bioresour. Technol. 98:1924-1930.
- Siewicki TC, T Pullaro, W Pan, S McDaniel, R Glenn and J Stewart. 2007. Models of total and presumed wildlife sources of fecal coliform bacteria in coastal ponds. J. Environ. Manage. 82:120-132.
- Thingstad TF, H Havskum, UL Zweifel, E Berdalet, MM Sala, F Peters, M Alcaraz, R Scharek, M Perez and S Jacquet. 2007. Ability of a "minimum" microbial food web model to reproduce response patterns observed in mesocosms manipulated with N and P, glucose, and Si. J. Marine Syst. 64:15-34.

Manuscript Received: July 30, 2007
Revision Accepted: August 10, 2007
Responsible Editor: Seung Bum Kim