

대하 (*Fenneropenaeus chinensis*) 양식장 사육수에 미치는 Probiotics의 효과

임현정* · 박중현¹ · 장인권

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹국립수산과학원 남해수산연구소

Effect of Probiotics on Water Quality in the Shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) Ponds

Hyun Jeong LIM*, Joong Hyun PARK¹ and In Kwon JANG
West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea
¹South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yosu 556-823, Korea

Applications of probiotics to shrimp ponds were carried out to determine their effects on water quality. Fermented solutions consisting of *Bacillus* spp. and *Nitrosomonas* spp. were applied to a 4 ha shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*) pond from July to September, 2000. In the pond treated with probiotics, daily variations of DO and pH, and concentrations of DIN and DIP were lower than those in the ponds without probiotic treatment. Concentration of phytoplankton was less variable and the number of species was more variable in the probiotic-treated pond than those in the control pond. Variation of bacterial numbers and the number of *Vibrio* spp. were lower in the treated pond than those in the control pond. It is confirmed that the probiotics can be used to improve water quality of the shrimp ponds.

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*, Probiotics, *Bacillus* sp., *Nitrosomonas* sp., Water quality, Shrimp

서론

대하 (*Fenneropenaeus chinensis*)는 서해안의 가장 중요한 양식품종 중 하나이다. 그러나 매년 세균, 기생충 및 흰반점 바이러스 (White Spot Syndrome Virus) 등이 사육환경과 복합적으로 작용하여 양식 대하의 대량 폐사를 유발시킴으로써 막대한 경제적 피해를 입히고 있다. 이들 중 가장 심각한 피해를 일으키는 흰반점 바이러스의 경우, 1993년 국내에 최초로 보고된 이래 해마다 많은 새우 양식장에 대량 폐사를 유발시키고 있으므로 이에 대한 대응책을 마련하기 위하여 양식 대하의 질병 발생과 사육환경 요인과의 관계에 대한 연구가 지속적으로 행해져 왔다 (Chen, 1995; Jang, 2002a; Jang, 2002b). 이들 연구는 대하가 흰반점 바이러스에 감염되더라도 수질환경이 양호한 경우, 발병하지 않고 수확시까지 양식이 가능함을 밝혔다. 따라서 사육수 환경의 조절은 대하 양식에 있어 가장 중요한 항목으로 본 연구에서는 최근 세계적으로 사용이 증가하고 있는 probiotics를 이용하여 수질의 개선을 시도하였다.

Probiotics는 Metchnikoff (1907)가 lactic acid bacteria를 인간의 장속에 넣으면 다른 미생물의 활성이 억제됨을 보고한 이래, Lilley and Stillwell (1965)가 최초로 “다른 미생물의 성장을 촉진시키는 미생물에 의해 분비되는 물질”이라고 정의하였다. 이후 Fuller (1989)는 “숙주의 장에 미생물의 균형을 제공함으로써 숙주에 유익하게 영향을 미치는 살아있는 미생물

먹이 보충물”이라고 재정의하였다. Probiotics는 주로 인간과 육상 가축을 대상으로 사용되어져 왔으나 최근에는 수산생물의 양식분야까지 이용되게 되었다. 즉, 수질의 개선에 의한 생물학적 구제 혹은 병원균에 대한 길항작용으로 생물학적 조절을 하는 미생물에 대한 총칭으로 probiotics의 이용범위를 넓혀가게 되었다 (Gatesoupe, 1999). 수산양식에서 probiotics를 처음으로 이용한 것은 Kozasa (1986)에 의해서이며, 이후 여러 분야에 사용이 증가하여 식물먹이생물 (Fukami et al., 1997; Rico et al., 1998), Rotifer (Gatesoupe, 1991; Douillet, 2000), Artemia (Verschuere et al., 1999), 어류 (Beveridge et al., 1989; Skjermo and Vadstein, 1999), 패류 (Riquelme et al., 1997; Gibson et al., 1998) 및 새우류 (Rengpipat et al., 1998; Rengpipat et al., 2000; Shariff et al., 2001) 등 수산양식의 거의 모든 분야에 걸쳐 사용 효과가 보고되어 있다.

그러나 국내 양식현장에서는 아직 probiotics의 이용이 소개되어 있지 않은 실정이며, 세계적으로도 실제 양식 현장에서의 사용에 의한 복합적 효과는 아직 보고된 바 없다. 따라서 본 연구는 probiotics를 사용한 후 대하 양식장 사육수의 용존 산소 일간변화와 pH, 영양염 농도 (DIN, DIP), 총세균수와 비브리오균수 및 식물플랑크톤 조성 등을 분석하여 사육수의 안정에 미치는 효과를 파악하였다.

재료 및 방법

Probiotics 사용 효과를 비교 분석하기 위한 시험 양식장은 새우 치하를 40 마리/m²의 밀도로 2000년 5월 31일에 입식한

*Corresponding author: hylim@nfrdi.re.kr

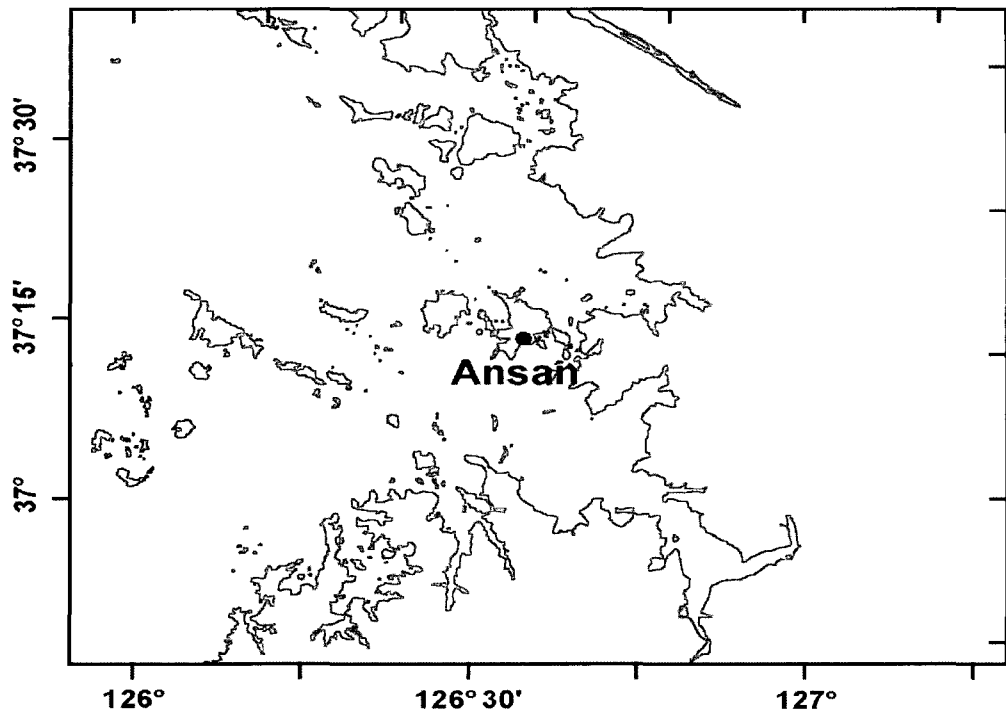


Fig. 1. A map showing the study area.

경기도 안산시 대부도 소재의 대하 양식장 2개 사육지 (각 4.0 ha)였으며 실험은 2000년 7월 14일부터 9월 21일까지 70일간 실시하였다 (Fig. 1).

Probiotics는 *Bacillus* subspecies 5종과 *Nitrosomonas* sp.를 혼합하여 동결건조한 powder로 American Standard Product Co. (USA)에서 제공받아 사용하였다. Probiotics의 사용은 혼합된 powder 900 g을 200 L 담수에 16-18시간 배양하여 7.0×10^8 CFU/g으로 증식시킨 후 1주일 간격으로 1 ha당 100 L씩 살포하였다.

수온, 염분 및 pH는 probiotics를 사용한 날부터 양식장에 수질연속측정기 (YSI 6000)를 설치하여 1일 간격으로 monitoring하였으며, 용존산소 (DO)는 8월 상, 중, 하순에 각 1일씩 1시간 간격으로 측정하여 평균값을 나타내었다.

영양염류 (Dissolved Inorganic Nitrogen, Dissolved Inorganic Phosphorus)와 식물플랑크톤, 총균수 및 비브리오균수는 10일 간격으로 조사하였다. 영양염류 (DIN, DIP)는 사육수를 500 mL씩 채수하여 실험실에 운반하여 APHA (1989)의 방법을 이용하여 분석하였다. 식물플랑크톤 조성 또한 500 mL씩 채수하여 lugol액으로 고정된 후 광학현미경 ($\times 100$ 배) 하에서 검경하였고, 세균의 정량은 양식장 현장에서 총세균수 조사를 위하여는 marine agar에, *Vibrio* sp.의 조사를 위하여는 TCBS media에 사육수의 원액과 10^2 , 10^3 희석액을 도말하여 30°C에서 2일간 배양 후 colony를 계수하였다.

결 과

수온은 실험 시작일부터 점차 상승하여 7월말에 34°C로 최고에 달한 후 8월에 27-30°C, 9월에 22-28°C로 유지되었다. 염분은 7월말까지 34 PSU 내외로 다소 높게 유지되다가 8월 이후 9월 초순까지 계속 낮아지다가 9월 중순부터는 20 PSU 내외였다 (Fig. 2).

용존산소의 일간 변화는 probiotics 사용 양식장 (Pond 1)은 5.67-9.59 mg/L, probiotics를 사용하지 않은 양식장 (Pond 2)은 2.70-10.15 mg/L로 Pond 1이 Pond 2에 비하여 변화의 정도가 적었다 (Fig. 3).

pH는 7월말까지는 8.0 내외로 유지되었으나 8월초에 Pond 1과 2 모두 8.5 이상의 수치를 나타내었다. 이후 Pond 1은 7.6에서 8.2 내외로 안정되는 경향을 나타내었으나 Pond 2는 8월 중순에 8.7로 급속히 상승하였다가 8월 하순에 7.2로 낮아지는 등 변화의 폭이 Pond 1에 비하여 컸다 (Fig. 4).

DIN의 농도는 probiotics 사용 초기에는 Pond 1과 Pond 2가 비슷하였으나 (3.55, 3.65 mg/L) 이후 Pond 1은 0.63-1.93 mg/L의 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 Pond 2는 DIN의 농도가 0.93-6.85 mg/L로 조사되어 변화의 정도가 심하였으며 특히 양식 말기인 9월 하순에는 Pond 1에 비하여 5.3배 높은 값을 나타내었다. DIP 또한 probiotics 사용 초기에는 Pond 1과 Pond 2가 비슷하였으나 (0.31, 0.32 mg/L) Pond 1은 0.3 mg/L 내외로 계속 안정된 수치를 나타내는 반면 Pond 2는 0.38-0.78 mg/L의 높은 값을 나타내어 9월 하순에는 Pond 1보다 1.8배 높게

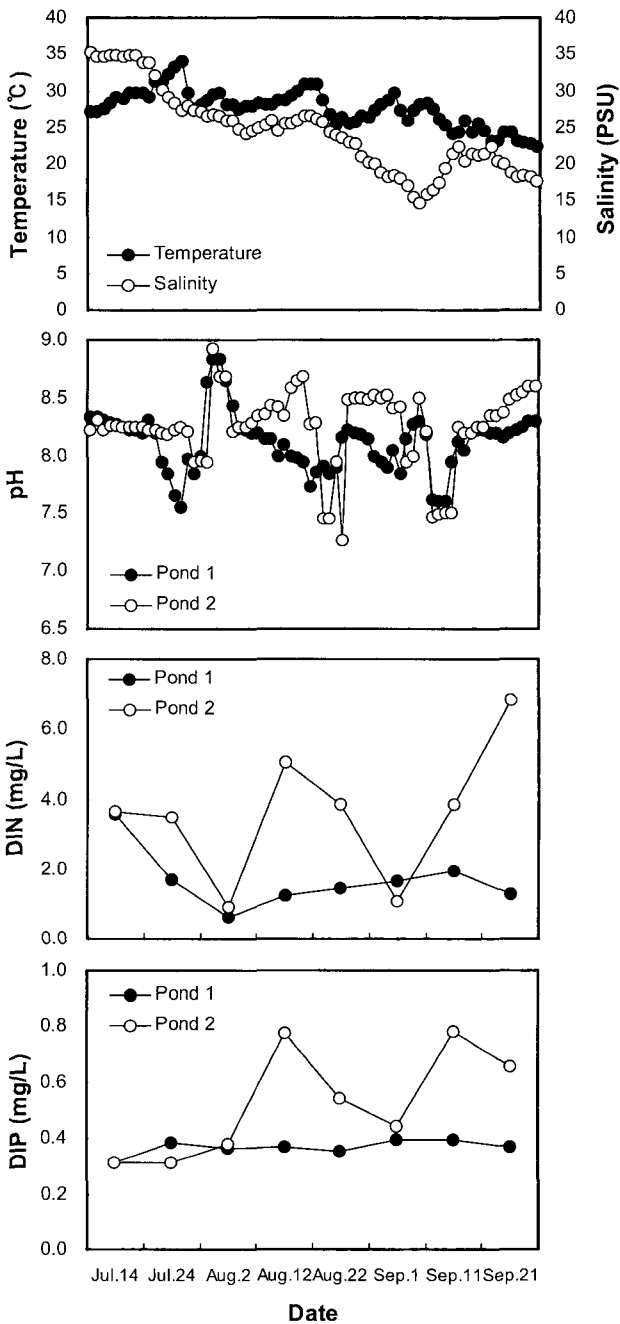


Fig. 2. The changes of water temperature, salinity, pH, DIN and DIP during the experimental period. Pond 1 represent probiotics treatment farm and pond 2 represent probiotics non-treatment farm.

조사되었다 (Fig. 5).

총균수는 9월 하순을 제외하고는 Pond 1이 Pond 2보다 전 기간에 걸쳐 높았다. Pond 1은 양식기간이 경과함에 따라 총균수가 점차 증가하여 9월 중순에 24,450 CFU/mL의 최고값을 나타낸 후, 수온이 하강함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 반면 Pond 2는 9월 초순까지는 4,050-6,250 CFU/mL의 낮

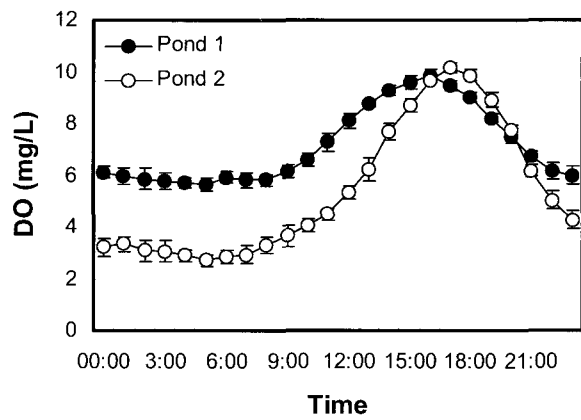


Fig. 3. The daily variations of DO. Pond 1 represent probiotics treatment farm and Pond 2 represent probiotics non-treatment farm. The vertical bar indicates standard deviation.

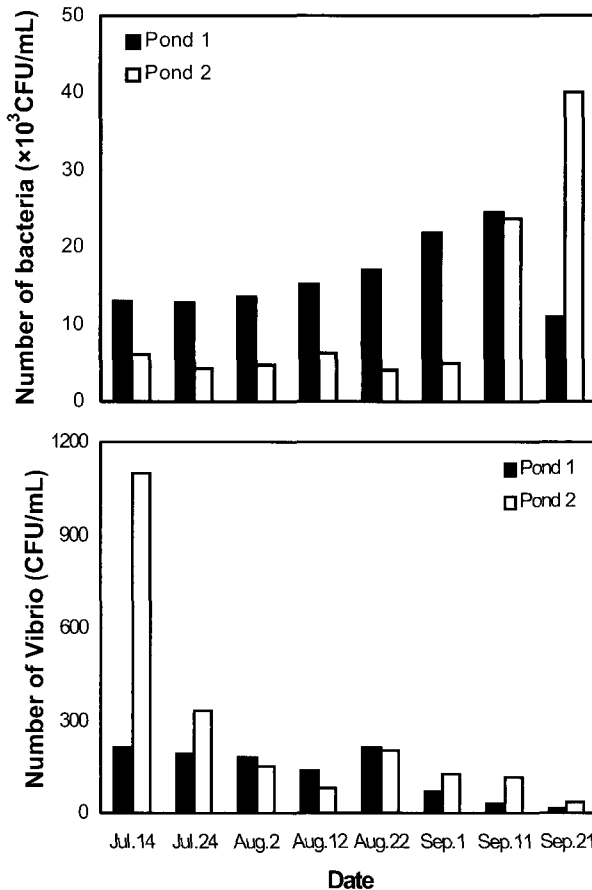


Fig. 4. The changes of number of total bacteria and *Vibrio* spp. during the experimental period. Pond 1 represent probiotics treatment farm and Pond 2 represent probiotics non-treatment farm.

은 값을 나타내다가 9월 중순부터 급격히 증가하여 실험 종료 시인 9월 하순에는 Pond 2가 Pond 1에 비하여 3.7배 높았다.

Vibrio spp.의 수는 Pond 1은 실험 전기간에 걸쳐 15-210 CFU/mL의 완만한 변화를 보인 반면, Pond 2는 실험 시작시 1,100 CFU/mL의 매우 높은 수치를 나타내었고 항생제 처리를 통하여 8월 한달간은 Pond 1보다 *Vibrio* spp.의 수가 적었으나 이후 다시 Pond 1보다 22-84 CFU/mL 가 높은 수치를 나타내었다 (Fig. 6).

이외에 식물플랑크톤의 총수는 Pond 1은 28,000-46,000 cell/L으로 비교적 변화의 정도가 적었으나, Pond 2는 7월말까지 13,000-15,000 cell/L로 식물플랑크톤의 수가 매우 적었으나 이후 *Nitzschia* sp.와 *Ceratium* sp. 등의 번식으로 인하여 수치가 증가하였다. 또한 관찰된 종의 수는 Pond 1에서 10-17종, Pond 2에서 6-12종이 관찰되어 Pond 1의 종 다양성이 다소 높은 것으로 분석되었다. 특히 8월 중순과 9월 하순에는 Pond 2가 Pond 1보다 식물플랑크톤 수에 있어 1.5-1.6배 높았으나 *Nitzschia* sp.와 *Ceratium* sp.가 67-68%를 차지하여 다른 종의

조성이 매우 빈약함을 보여주었다 (Table 1).

고 찰

대하의 성장 수온은 18-30°C로 보리새우보다 광온성이다. 최적 염분은 20-32 PSU이지만 5-40 PSU에서도 양식이 가능할 정도로 광염성이며, 특히 저염분에 강하다 (Jang et al., 2000). 실험기간 동안 수온과 염분은 Pond 1과 2가 차이가 없었으므로 Fig. 1에는 Pond 1의 수온과 염분만을 표시하였다. 시험기간의 수온은 시작일을 제외한 전 기간이 대하의 성장과 서식에 적합한 범위로 조사되었고 염분 또한 실험 시작일에 34 PSU로 다소 높긴 하였으나 환수를 통하여 적합한 염분이 유지되었고 이후 9월 들어서 강우로 인하여 염분이 더욱 낮아 지기는 하였으나 성장에 영향을 미칠 정도는 아니었다.

양식장에서의 용존산소량은 식물플랑크톤, 호기성 세균 및 유기물의 양과 밀접한 관계가 있으며 이 중 가장 큰 영향을

Table 1. Composition of phytoplankton in the experimental shrimp farms. A represents probiotics treatment farm and B probiotics non-treatment farm (unit: cells mL⁻¹)

	Jul. 14		Jul. 24		Aug. 2		Aug. 12		Aug. 22		Sep. 1		Sep. 12		Sep. 22	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<i>Asterionella</i> sp.	1				2		2						1			
<i>Bacteriastrium</i> sp.					1			1			1		2			2
<i>Ceratium</i> sp.	3	2	3	3	3	7	12	22	6	9	5	13	3	6	5	25
<i>Chaetoceros</i> sp.	8	5	10	3	5	1	13	3	6	7	6	5	6	3	5	1
<i>Cochlodinium</i> sp.								3	3	5	2		8	16	12	5
<i>Coscinodiscus</i> sp.	2		3		2	2	3	1	1			3			2	5
<i>Cylindrotheca</i> sp.	2		1		1		1					3	2			
<i>Ditylum</i> sp.			1							2						
<i>Eucampia</i> sp.							1									
<i>Guinardia</i> sp.	1		1		2											1
<i>Gymnodinium</i> sp.				1								1	2			1
<i>Heterosigma</i> sp.			1			2										1
<i>Katodinium</i> sp.													1			
<i>Lauderia</i> sp.		1	2		1		1						1			1
<i>Leptocylindrus</i> sp.	2	1	1		1		1	1				2				1
<i>Licmophora</i> sp.		1								1						
<i>Melosira</i> sp.					1		1	1					1			
<i>Navicula</i> sp.	2	1	3	1	2	3	2	3	2	3		3	3	5	2	
<i>Nitzschia</i> sp.	5	1	2	3	4	12	5	19	6	8		10			4	25
<i>Pleurosigma</i> sp.		2	1			2		2	2	2					2	2
<i>Prorocentrum</i> sp.								5			5					
<i>Rhizosolenia</i> sp.		1			3	4							2	2	2	2
<i>Skeletonema</i> sp.	5	1	3	2	4	4			6	2	3	5	2		4	1
<i>Stephanopyxis</i> sp.	1				2											1
<i>Thalassionema</i> sp.					2							3	1			1
<i>Thalassiosira</i> sp.			1									2				1
<i>Thalassiothrix</i> sp.												2				1
<i>Triceratium</i> sp.												3				2
Total number	32	15	34	13	36	37	42	61	35	41	28	49	30	32	46	74
Number of species	11	10	15	6	16	9	11	11	10	8	10	12	11	5	17	12

미치는 것은 식물플랑크톤이다. 따라서 DO의 일간변화량이 Pond 2가 Pond 1보다 컸던 것은 식물플랑크톤의 주간 광합성 작용과 야간 호흡작용으로 인한 것으로 판단된다 (Fig. 3).

대하의 성장에 적합한 pH의 범위는 8.0-8.9이며 최적범위는 8.4-8.6이다 (Kim and Lee, 1994). 본 실험이 진행되는 동안 pH 또한 대하의 서식과 성장에 심각한 영향을 미칠 정도는 아니었으나 Pond 1에 비하여 Pond 2는 pH의 변화가 급격한 경향을 나타내었다 (Fig. 4). pH 또한 식물플랑크톤과 밀접한 관계가 있다. 즉, 주간에는 광합성을 위한 이산화탄소와 중탄산염의 소비로 인하여 pH가 상승하고, 야간에는 호흡으로 인하여 pH가 하강한다. 따라서 Pond 1과 2의 pH 차이는 probiotics 사용에 의한 식물플랑크톤 양의 조절과 상관이 있을 것으로 판단된다.

pH의 변화 정도가 크면 사육수의 환경 변화가 대하에 스트레스로 작용하여 새우의 성장에 부정적인 영향을 미친다 (Kim and Lee, 1994). 따라서 본 연구에서 조사되지는 않았으나 Pond 2의 경우, Pond 1에 비하여 양식 대하의 생산성이 낮았을 가능성이 있을 것으로 사료되며 이후의 연구에서는 probiotics의 사용과 양식생물의 생산성과의 상관관계에 대하여도 추적해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

많은 종의 세균은 식물플랑크톤 특히 적조플랑크톤에 대한 "algicidal effect"를 가지는 것으로 알려져 있다 (Fukami et al., 1997). 본 연구에서도 Pond 2는 *Cochlodinium* sp., *Ceratium* sp. 등 적조 플랑크톤의 대량 증식이 있었으나 Pond 1은 적조 플랑크톤의 현저한 대발생이 없었다 (Table 1). 그러나 본 연구는 광학현미경으로 검경이 가능한 microplankton level에서 조사되었으나 chlorophyll *a*의 분석을 통한 picoplankton과 nanoplankton 양의 추정이 병행되었더라면 probiotics에 의한 사육수의 변화를 보다 잘 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 Pond 2의 경우 7월말까지 식물플랑크톤의 수가 너무 적어 사육수의 투명도가 높아 햇빛의 투과로 인한 대하의 스트레스로 먹이 섭취율이 저하되고 이에 따라 성장이 지연되는 등의 영향을 미칠 수도 있을 것으로 생각된다.

*Bacillus subtilis*를 비롯한 *Bacillus* 속은 부유물질에 대한 흡착성 및 점착성이 있어 flocc이 형성되어 분해를 촉진시키고 암모니아 (NH₄-N), 황화수소 (H₂S) 등을 직접 섭취 또는 분해한다. 또한 질소, 인 및 약취제거에 유용하여 하수처리 공정시 선택, 배양하여 사용되고 있다 (Ahn et al., 2001). 본 연구에서도 *Bacillus* 속은 양식장 사육수의 세균 생체 혹은 점착성 물질을 유기탄소로 전환하여 안정된 식물플랑크톤의 bloom을 촉진한 것으로 판단된다. 즉, *Bacillus* sp.로 인하여 호기성 세균의 biomass가 감소함으로써 BOD (Biochemical Oxygen Demand)가 낮아지고 또한 *Nitrosomonas* 속에 의한 양식장 사육수의 질산화작용을 통하여 수질개선 효과가 얻어진 것으로 생각된다. 질산화 반응은 호기성 상태하에서 독립영양의 박테리아들이 유기탄소원을 소모한 후 질소성분을 산화시키기 때문에 유기물이 없을 때 질산화가 잘 일어난다. 따라서 *Bacillus* sp.와

Nitrosomonas sp.를 양식장에 뿌려줌으로써 BOD의 감소와 DO의 안정, NH₄-N의 감소 효과를 동시에 거둘 수 있었던 것으로 사료된다. 본 연구 결과, Pond 1은 Pond 2에 비하여 DIN과 DIP 모두 낮은 경향을 나타내었는데 (Fig. 5), 이는 위에서 언급한 *Bacillus* sp.와 *Nitrosomonas* sp.의 사용 효과에 기인한 것으로 추정되며 식물플랑크톤의 번식 또한 일정한 수준을 유지함으로써 영양염의 소비가 계속적으로 원활하게 이루어진 것으로 생각된다. 그러나 Pond 2는 식물플랑크톤의 증식, 소위 "물만들기"가 제대로 되지 않아 영양염류의 소비가 적게 되었던 것으로 판단되며, 또한 8월 중순과 9월 중순 및 하순에 영양염류 농도가 갑자기 증가한 것은 강우에 의한 육지로부터의 영양염류 유입과 적조플랑크톤의 대증식시 다른 미생물의 사체 발생 때문인 것으로 판단된다.

이밖에 용존산소의 양이 적절하면 암모니아 (NH₃), 황화수소 (H₂S), 메탄 (CH₄)과 같은 유해한 질소, 유황 및 탄소 대사물질이 미생물에 의하여 질산염 (NO₃⁻), 황산염 (SO₄²⁻), 이산화탄소 (CO₂)와 같은 무해하거나 해가 적은 형태의 물질로 전환된다. 따라서 Pond 1은 용존산소가 일정하게 유지됨으로써 본 연구에서 측정되지는 못하였으나 유해 질소와 황화수소의 농도 또한 Pond 2에 비하여 낮았을 것으로 추정되나 이에 대하여는 급후 실험을 통한 확인이 요구되며, 이에 따른 생산성 향상 효과 또한 평가해 보아야 할 항목으로 여겨진다.

총균수는 probiotics를 양식장 사육수에 뿌려준 다음 날 조사하였으므로 활성화된 세균의 수가 Pond 1이 Pond 2에 비하여 높게 나타났으나 *Vibrio* spp.의 수는 Pond 2가 대체적으로 높게 나타났다 (Fig. 6). 그러나 8월 한달은 Pond 2의 *Vibrio* spp. 수치가 적게 조사되었는데 이는 7월말 항생제 처리의 효과로 여겨진다.

Vibrio spp.에 의한 질병은 새우 양식에서 발생하는 주요 질병 중의 하나로 *V. harveyi*와 같은 독성종은 대량폐사를 유발하는 것으로 보고되어 있다 (Ruangpan and Kitao, 1991). 세균과 마찬가지로 식물플랑크톤 중 특히 규조류는 일부 세균에 대하여 항균작용을 하는 것으로 보고되어 있으며 (Cooper et al., 1983; Reichelt and Borowitska, 1984; Viso et al., 1987) 특히 *Skeletonema costatum*의 경우, *Vibrio* 속에 대한 항균작용이 널리 보고되어 있다 (Rico-Mora et al., 1998; Naviner et al., 1999). 또한 probiotics로 사용된 *Bacillus* sp.도 새우 양식장에서 *Vibrio* sp.의 수를 조절하는 데 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다 (Moriarth, 1998). 본 연구에서도 Pond 1은 항생제 처리없이 *Vibrio* spp.의 수가 낮게 유지되었다. 이는 *Bacillus* sp.와 잘 증식되고 유지된 식물플랑크톤, 특히 규조류의 영향인 것으로 판단된다. 따라서 probiotics의 사용으로 새우 양식장에서 문제가 되는 세균성 질병의 발생도 낮추고 남용으로 인한 문제가 야기되고 있는 항생제의 사용도 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

이상의 결과, *Bacillus* sp.와 *Nitrosomonas* sp.를 혼합한 probiotics의 사용은 새우 양식장 사육수의 안정과 세균성 질병

의 발생율을 낮추는 데도 매우 효과가 있는 것으로 확인되었으며 앞으로는 새우의 성장과 건강도도 증진시킬 수 있는 probiotics를 개발하여 사료에 혼합 투여하여 공급한다면 새우 양식 생산성을 보다 향상시킬 수 있는 방안이 마련될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 서해수산연구소 연구과제 “새우 양식 기술개선 연구”의 일부로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Ahn, T.S., S.H. Hong, O.S. Kim, J.J. Yoo, S.O. Jeon and S.I. Choi. 2001. The changes of *Bacillus* spp. in municipal waste water treatment plant with B3 process. *Kor. J. Microbiol.*, 37, 209-213. (in Korean)
- APHA, 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed. American Public Health Association, pp. 1532.
- Beveridge, M.C.M., M. Begum, G.N. Frerichs and S. Miller. 1989. The ingestion of bacteria in suspension by the tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 81, 373-378.
- Chen, S.N. 1995. Current status of shrimp aquaculture in Taiwan, Swimming through troubled water. In: Proceedings of the Aquaculture '95 on Special Session of Shrimp Farming. Browdy, C.L. and J.S. Hopkins, eds. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 29-34.
- Cooper, S., A. Battat, P. Marot and M. Sylvester. 1983. Production of antibacterial activities by two bacillariophyceae grown in dialysis culture. *Can. J. Microbiol.*, 29, 338-341.
- Douillet, P.A. 2000. Bacterial additives that consistently enhance rotifer growth under synxenic culture conditions. 2. Use of single and multiple bacterial probiotics. *Aquaculture*, 182, 241-248.
- Fukami, K., T. Nishijima and Y. Ishida. 1997. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. *Hydrobiologia*, 358, 185-191.
- Fuller, R. 1989. Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.*, 66, 365-378.
- Gatesoupe, F.J. 1991. The effect of three strains of lactic bacteria on the production rate of rotifers, *Brachionus plicatilis*, and their dietary value for larval turbot, *Scophthalmus maximus*. *Aquaculture*, 96, 335-342.
- Gatesoupe, F.J. 1999. The use of probiotics in aquaculture. *Aquaculture*, 180, 147-165.
- Gibson, L.F., J. Woodworth and A.M. George. 1998. Probiotic activity of *Aeromonas media* on the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, when challenged with *Vibrio tubiashii*. *Aquaculture*, 169, 111-120.
- Jang, I.K., M.W. Park, D.S. Jeong, J.H. Song, Y.S. Choi, H.J. Lim and J.H. Kim. 2000. Shrimp Farming and Disease Control. Youngin Press, Seoul, pp. 127. (in Korean)
- Jang, I.K. 2002a. Current status of shrimp farming industry in Korea and strategies for the control of viral diseases. In: Proceedings of the 1st Korea - U.S. Joint Coordination Meeting for Aquaculture Cooperation. Kim, Y. and J. McVey, eds. Natl. Fish. Res. Develop. Inst., Busan, Korea, pp. 15-16.
- Jang, I.K. 2002b. Specific pathogen free seed production of shrimp. Recovering the production capabilities of shrimp farming. In: Proceedings of the third Korea-Japan-China Joint Symposium for the exchange of marine and fishery science and technology. Jo, J.Y. ed. Pukyong Natl. Univ., Busan, Korea, pp. 51-55.
- Kim, J.H. and J.H. Lee. 1994. Penaeid Shrimp Farming. Academic Press, Seoul, Korea, pp. 399. (in Korean).
- Kozasa, M. 1986. Toyocerin (*Bacillus toyoi*) as growth promotor for animal feeding. *Microbiol. Aliment. Nutr.*, 4, 121-135.
- Lilly, D.M. and R.H. Stillwell. 1965. Probiotics: Growth promoting factors produced by microorganisms. *Science*, 147, 747-748.
- Metchnikoff, E. 1907. The prolongation of life. In: Optimistic Studies. Heinema, W., ed. London.
- Moriarty, D.J. 1998. Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. *Aquaculture*, 164, 351-358.
- Naviner, M., J.P. Berge, P. Durand and H.L. Bris. 1999. Antibacterial activity of the marine diatom *Skeletonema costatum* against aquacultural pathogens. *Aquaculture*, 174, 15-24.
- Reichelt, J.L. and M.A. Borowitska. 1984. Antimicrobial activity from marine algae: results of a large scale screening programme. *Hydrobiologia*, 116(7), 158-168.
- Rengpipat, S., W. Phianphak, S. Piyatiratitivorakul and P. Menasveta. 1998. Effects of a probiotic bacterium on black tiger shrimp *Penaeus monodon* survival and growth. *Aquaculture*, 167, 301-313.
- Rengpipat, S., S. Rukpratanporn, S. Piyatiratitivorakul and P. Menasveta. 2000. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiont bacterium (*Bacillus* S11). *Aquaculture*, 191, 271-288.
- Rico-Mora, R., D. Voltolina and J.A. Villaescusa-Celaya.

1998. Biological control of *Vibrio alginolyticus* in *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae) cultures. *Aquacult. Eng.*, 19, 1-6.
- Riquelme, C., R. Araya, N. Vergara, A. Rojas, M. Guaita and M. Candia. 1997. Potential probiotic strains in the culture of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture*, 154, 17-26.
- Ruangpan and Kitao. 1991. *Vibrio* bacteria isolated from black tiger prawn. *Penaeus monodon* Fabricius. *J. Fish Dis.*, 14, 383-388.
- Shariff, M., F.M. Yusoff, T.N. Devaraja and P.S. Srinivasa Rao. 2001. The effectiveness of a commercial microbial product in poorly prepared tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius), ponds. *Aquacult. Res.*, 32, 181-187.
- Skjermo, J. and O. Vadstein. 1999. Techniques for microbial control in the intensive rearing of marine larvae. *Aquaculture*, 177, 333-343.
- Verschuere, L., G. Rombaut, G. Huys, J. Dhont, P. Sorgeloos and W. Verstraete. 1999. Microbial control of the culture of *Artemia* juveniles through preemptive colonization by selected bacterial strains. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 2527-2533.
- Viso, A.C., D. Pesando and C. Baby. 1987. Antibacterial and antifungal properties of some marine diatoms in culture. *Bot. Mar.*, 30, 41-45.

2003년 12월 24일 접수

2004년 3월 25일 수리