

황복과 새우의 복합사육시 황복에 의한 흰반점바이러스(WSSV) 감염 새우의 선택적 포식 효과

장인권*, 조영록, 이재용, 서형철, 김봉래, 김종식, 강희웅¹
국립수산과학원 서해특성화연구센터, ¹국립수산과학원 서해수산연구소 증식연구팀

Selective Predatory Effect of River Puffer on WSSV-infected Shrimp in Culture of Shrimp with River Puffer under Laboratory Scale

In Kwon Jang*, Yeong Rok Cho, Jae Yong Lee, Hyung Chul Seo, Bong Lae Kim,
Jong Sheek Kim and Hee Woong Kang¹

West Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Taean 357-945, Korea
¹West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

White spot syndrome virus (WSSV) which is the most serious threat to cultured shrimp around the world has given enormous economic damages to shrimp culture industry every year since it was found from the shrimp ponds in the west coast of the South Korea in 1993. WSSV has strong infectivity as well as virulence and it can be rapidly transmitted among shrimps in ponds by cannibalism of infected ones. Polyculture of shrimps with carnivorous fish has been applied in commercial shrimp farms to suppress or delay the viral outbreak because the fish may selectively eat the moribund shrimps infected by virus. To determine the selective predatory effect of a carnivorous fish, river puffer *Takifugu obscurus* on white shrimp *Litopenaeus vannamei*, polyculture trials in laboratory scale of WSSV-infected and non-infected shrimps with river puffer were conducted in concrete round tanks of 28.26 m² in surface area as followings: 1) juvenile shrimps (B. W. 0.62 g) with 5 months old puffer (B. W. 11.60 g) cultured for 8 days, and 2) sub-adult shrimps (B. W. 6.84 g) with 16 months old puffer (B. W. 85.82 g) cultured for 5 days in order to know the effects according to size difference of cultured animals. In polyculture of juvenile shrimp with 5 months old puffer, survival rates of infected and non-infected shrimps were 46.0% and 89.1% respectively and in that of sub-adult shrimp with 16 months old puffer those were 4% and 48% respectively. The results showed that puffer tends to selectively prey on virus infected shrimps among infected and non-infected ones in a limited space with although there is difference in predatory rate with age and density of animals. Regardless of different densities and ages of animals as well as health condition of shrimps, however, there were low differences in daily biomass of shrimp consumed per kg body weight of puffer. This finding suggests that puffer preys on healthy shrimps when moribund shrimps were not sufficient. Therefore, farmers should consider the total biomass of puffer as well as density and stocking time when they stock puffer into shrimp ponds for polyculture.

Keywords: Polyculture, Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, River puffer, *Takifugu obscurus*, White spot syndrome virus

서 론

우리나라의 새우양식은 1990년대 이후 서해안을 중심으로 급속하게 발달하기 시작하여 2001년에는 전국 양식면적 2,600 ha에서 3,256 mt을 생산하였으나 이후 양식생산량은 해마다 감소하여 2004년에는 2,368톤이 생산되었다. 단위면적당 생산량도 2001년 1.25 mt/ha으로 최고치를 보인 이후 2002, 2003, 2004년에 각각 1.11, 1.07, 1.02 mt/ha으로 감소되었다(Jang and Jun, 2005). 이러한 생산량 감소의 원인 중의 하나는 바이러스성 질병

병, 특히 흰반점바이러스(white spot syndrome virus, WSSV)에 의한 대량폐사 때문인 것으로 알려져 있다(Heo et al., 2000; Jang et al., 2006). 흰반점바이러스는 1992년 중국에서 최초로 발견된 이래(Chen, 1995) 아시아, 인도-태평양을 거쳐 1990년대 말에는 미주를 포함한 전 세계의 새우양식장으로 확산되어 양식새우산업에 심각한 손실을 가져왔다(Inouye et al., 1994; Takahashi et al., 1994; Lo et al., 1996a, 1996b; Flegel et al., 1997; Lighter, 1999). 우리나라에는 1993년 서해안 지역의 대하와 보리새우 양식장에서 처음 발견되었으며 1994년 이후 현재까지 해마다 많은 피해를 가져왔다(Kim et al., 1997; Heo et

*Corresponding author: jangik@nfrdi.re.kr

al., 2000; Jang, 2000; Kim et al., 2004b).

축제식 양식장에서의 복합양식은 다품종에 의한 생산성 향상 목적도 있지만 서로 다른 영양단계 혹은 생태적 특성을 이용하여 영양염을 제거하고 수질을 향상시킴으로써 바이러스를 포함한 질병을 억제시키기 위한 목적으로도 응용된다(Brezeski and Newkirk, 1997; Neori et al., 2004). 해조류는 가장 이상적인 복합양식 대상종이지만 여름철 고수온에서의 생존에 문제가 있어 축제식양식장에서 적용된 예는 드물며(Yamasaki et al., 1997; Nelson et al., 2001), 중국을 비롯한 동남아시아 여러 나라에서는 틸라피아, 송어, 밀크피쉬 *Chanos chanos* 등의 어류와 가리맛조개, 바지락, 해만가리비 등의 패류가 주로 새우와 복합양식 되고 있다(Liu et al., 1992; Yue and Liu, 1992; Hopkins et al., 1993; Wang et al., 1998; Yang et al., 1998; Zhang et al., 1998). 이와 같이 수질 향상을 통하여 간접적으로 질병을 억제시키는 방법과는 달리 육식성 어류를 이용하여 질병을 억제하는 방법도 알려져 있다. 실제로 새우양식장에서의 바이러스 전염은 감염된 새우 혹은 기타 중간숙주의 공존 혹은 감염새우의 공식에 의해서 빠르게 확산되며 이러한 감염새우 및 숙주를 선택적으로 제거할 경우 바이러스의 발병은 억제 혹은 지연될 수 있다(Flegel et al., 1995; Soto and Lotz, 2001). 육식성어류인 농어 *Lateolabrax japonicus*는 적절한 밀도로 새우와 함께 양식할 경우 바이러스에 감염되어 활력이 약하거나 성장이 떨어진 새우를 선택적으로 잡아먹음으로써 바이러스 발병의 억제에 뛰어난 효과가 있다는 연구가 보고되어 있다(Wang et al., 1997). 이와 유사하게 일부 새우양식어가에서는 황복 *Takifugu obscurus*을 축제식 새우양식장에 함께 사육함으로써 흰반점바이러스 발병 억제에 효과를 거두었다는 사례들이 알려져 있으나 황복에 의한 바이러스 감염새우의 선택적인 포식 정도나 효과에 대한 자세한 연구는 보고된 바 없다.

본 연구에서는 외래종이지만 현재 우리나라 새우양식의 주종을 이루고 있는 흰다리새우 *Litopenaeus vannamei*를 대상으로 육식성 어류인 황복과 함께 실내사육을 통하여 황복에 의한 흰반점바이러스 감염새우의 선택적인 포식 효과를 조사하고 복합양식시 사육생물의 적정 밀도와 크기 등을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험구 및 실험기간

새우와 황복의 크기(연령)에 따른 효과를 구분하여 조사하기 위하여 사육실험은 2차례로 나누어 실시하였다. 1차 실험은 postlarva 후 3개월 사육한 중형 새우와 16개월산 황복을 사용하여 2006년 9월 4일부터 9월 8일까지 5일간 실시하였다. 새우양식장의 입식시 종묘크기와 비슷하게 수행한 2차 실험은 postlarva 30기의 치하와 5개월산 황복을 이용하여 2006년 10월 25일부터 11월 1일까지 8일간 실시하였다. 모든 사육실험에는 콘크리트 원형수조(Ø 6 m, 28.26 m²)가 사용되었다. 중형새

우와 16개월산 황복의 실험(1차 실험)에서는 3개의 수조에 table 1과 같이 각각 바이러스 비감염 건강새우(high health shrimp, HHS) 100 마리(tank 1), 황복 5마리와 건강새우 100 마리(tank 2), 황복 5 마리와 건강새우와 감염새우(virus-infected shrimp, VIS)를 각각 50마리씩(tank 3)과 같이 수용하였다. 치하와 5개월산 황복을 이용한 사육실험(2차 실험)에서는 실험구를 4개로 구분하여 새우와 황복을 Table 2와 같이 수용하였으며 황복과 새우의 평균 입식밀도는 각각 0.53, 42.5 마리/m²였다.

실험생물

실험에 사용된 새우는 2006년 충남 태안에 위치한 국립수산과학원 서해특성화연구센터의 방역사육 시설에서 종묘생산 및 중간육성을 거친 바이러스 비감염(specific pathogen free, SPF) 흰다리새우 *L. vannamei*로서 1차 실험에 사용된 중형새우의 평균 체중과 체장은 각각 6.84±2.03 g, 80.27±8.35 cm이며 2차 실험에 사용된 치하는 각각 0.62±0.32 g, 39.28±6.98 cm이다. 본 실험에 사용된 새우는 특정병원체(WSSV)를 완전 차단한 방역구역(bio-secured area)에서 사육되던 SPF 상태이지만 사육실험은 방역구역을 벗어나 실시하였기 때문에 일반적인 정의에 따라 본 연구에서는 건강새우(high health shrimp, HHS)로 기술하며(Briggs et al., 2004), 바이러스에 인위감염 시킨 새우는 감염새우(virus-infected shrimp, VIS)로 구분하여 기술하기로 한다. 수조 내에서의 감염새우와 건강새우의 구분을 위하여 각각 우측과 좌측 미지(uropod)의 일부를 절단하였다. 1차 실험에 사용된 황복은 2005년 5월에 부화되어 16개월 사육된 것이며, 2차 실험에 사용된 황복은 2006년 5월에 부화되어 5개월 사육된 것으로 경기도 김포시 소재 민간양식장의 실내순환여과 시설에서 5 psu의 저염분 조건에서 유지되었다. 양식장에서 분양받은 황복은 본 사육실험에 앞서 10일 동안에 걸쳐 서해특성화센터의 실내 수조에서 32 psu까지 서서히 염분을 상승시키며 순치하였다. 1, 2차 실험에 사용된 황복의 평균 체중과 체장은 각각 85.82±15.91 g, 133.53±6.75 cm 및 11.60±2.39 g, 73.87±3.71 cm이다.

실험동물의 사육관리와 수질환경 조사

모든 사육수는 3 µm 여과해수를 사용하였으며 본 실험에 앞서 약 10일 동안에 걸쳐 사육수에 인공배양된 규조류를 접종하고 시비를 하여 규조류를 충분히 번식시킴으로써 축제식 새우양식장의 사육수와 비슷하게 투명도를 약 50 cm (사육수 수심 1 m)로 유지하였다. 각 수조에는 30개의 에어스톤을 설치하여 충분히 폭기시켰다. 본 실험과는 별도로 황복의 새우 포식행동을 자세히 관찰하기 위하여 투명한 사육수에서 황복과 새우를 수용하고 황복의 행동을 동영상으로 촬영하였다. 새우의 먹이로서 새우전용 EP사료(CP 38%)를 새우 총중량의 5-8%의 비율로 하루 2회 공급하였으며 황복의 먹이는 별도로 공급하지 않았다. 사육수의 수온은 수조별 1 KW 전기히터를 설치하여

조절하였다. 사육수의 수질환경 조사는 매일 수온, 용존산소, 염분, 투명도, pH, alkalinity, TAN, NO₂를 측정하였으며, 일반 수질항목은 portable 수질측정기(YSI 85, U.S.A.)를, 영양염과 알칼리도는 간이수질분석키트(Merck Co., Germany)를 이용하였다.

새우의 흰반점바이러스 인위감염

본 실험에 사용된 감염새우는 건강새우에 인위적 방법으로 white spot syndrome virus (WSSV)를 감염시켜 만들어졌다. 즉 건강새우의 인위감염을 유도하기 위하여 WSSV로 인해 폐사된 새우의 육질(30%), wheat gluten(10%), 새우 배합사료(60%)를 분쇄, 혼합하여 pellet으로 제조하여 냉동건조 처리한 후 1일간 3회에 걸쳐 새우체중의 약 5%를 건강새우에 공급하였다. pellet을 섭취한 새우는 별도의 5톤 수조에서 3일간 방치하여 병리적 증상(유영력과 반응의 저하, 부속지와 체색의 적화현상, 갑각의 흰반점 형성 등)이 발현되는 것을 확인한 후 본 실험에 사용되었다. 실험에 사용된 새우는 감염 전과 후에 nested polymerase chain reaction (PCR)을 실시하여 WSSV 감염여부를 재차 확인하였다.

PCR reaction

건강새우와 인위감염새우의 바이러스 감염 여부를 조사하기 위하여 각각 10개체로부터 1-2개의 복지(pleopod)를 분리한 후 genomic DNA extraction kit (Qiagen Co., U.S.A.)를 이용, genomic DNA를 추출하여 PCR의 template로 사용하였다. WSSV의 primer는 서해특성화연구센터에서 제작한 1F/1R 및 4F/4R을 사용하여 nested PCR을 실시하였다(Jang et al., 2006). PCR reaction solution (1.0 unit Taq polymerase, 250 μM dNTP, 10 mM Tris-HCl, 40 mM KCl, 1.5 mM MgCl₂)에 template로서 1.0 μL의 genomic DNA와 2.5 pmol의 primer를 첨가하여 총 반응액이 20 μL/tube가 되게 하였다. PCR은 1차(94°C 5 min pre-reaction, denaturation 94°C×30 s, annealing 52°C×60 s, DNA extension 72°C×60 s), 2차 (94°C 5 min, 94°C×30 s, 55°C×45 s, 72°C×45 s)의 조건으로 DNA thermal cycler (Uno-II, France)를 이용하여 각각 30 cycle 반응시켰다. PCR product는 1.2% agarose gel에서 전기영동 후 UV transilluminator 하에서 관찰하여 바이러스 유전자 증폭 여부를 확인하였다.

결 과

새우의 바이러스 감염 조사

건강새우와 인위감염새우의 WSSV 감염 여부를 조사하기 위하여 광학현미경에 의한 갑각의 흰반점 형성을 관찰하였으며 genomic DNA를 추출하여 PCR을 실시하였다. 각각 10개체의 갑각을 관찰한 결과, 건강새우에서는 흰반점이 전혀 검출되지 않았으며 인위 감염새우의 갑각에서는 10마리 중 8마리에서 흰반점이 관찰되었다(Fig. 1). PCR 결과는 건강새우의 경우 10개

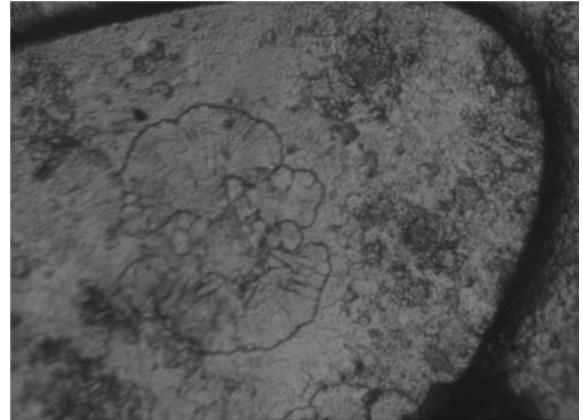


Fig. 1. Photomicrograph of white spots on the carapace of white spot syndrome virus (WSSV) infected shrimp (X 100).

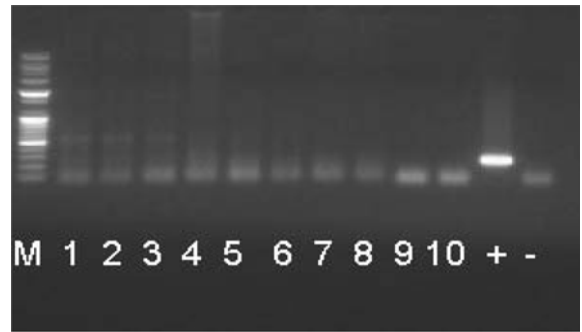


Fig. 2. Gel electrophoresis of nested polymerase chain reaction (PCR) products amplified for white spot syndrome virus (WSSV) with high health shrimps (HHS). No 1-10, high health shrimps; +, positive control; -, negative control.

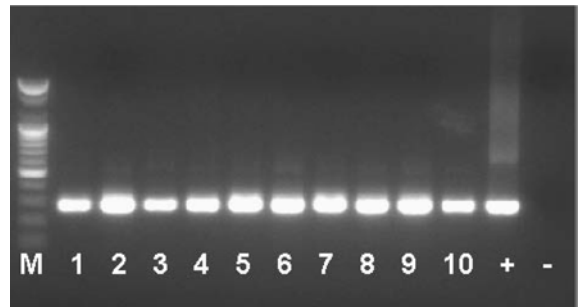


Fig. 3. Gel electrophoresis of nested polymerase chain reaction (PCR) products amplified for white spot syndrome virus (WSSV) with virus-infected shrimps. No 1-10, artificially virus-infected shrimps; +, positive control; -, negative control.

체 모두 negative로 나타났으며, 감염새우는 10개체 모두 positive로 나타나 확실하게 WSSV에 인위적으로 감염된 것이 확인되었다(Figs. 2, 3).

사육수 수질환경

1, 2차 사육실험기간 동안의 모든 실험수조의 사육수 수질환경변화의 전체 범위는 Table 2에 나타나 있다. 사육수 수온은

Table 1. Ranges of selected parameters of water quality during culture experiments

Parameters	WT (°C)	Salinity(psu)	DO(ppm)	TAN(ppm)	NO ₂ -N(ppm)	pH	Alkalinity(ppm)
1st culture	23.3-25.8	31.2-31.9	6.39-6.60	<0.1	<0.1	8.8-9.0	120-140
2nd culture	22.9-25.9	32.5-34.2	6.49-6.70	0.05-0.18	<0.1	8.0	132-135

Table 2. Survival rate of sub-adult shrimp and 16 month-old puffer after 5 days culture

	Animal	Initial No.	Final No.	Survival(%)
Tank 1	HHS	100	75	75
Tank 2	Puffer	5	5	100
	HHS	100	41	41
Tank 3	Puffer	5	5	100
	HHS	50	24	48
	VIS	50	2	4

HHS, high health shrimp; VIS, virus-infected shrimp.

22.9~25.9°C로서 흰다리새우의 성장 적정범위(23~30°C)를 유지하였으며 염분은 31.2~34.9 psu를 유지하였다. 용존산소(DO) 농도는 6.39~6.70 ppm으로서 최저 요구농도인 4.0 ppm 이상을 유지하였다. TAN은 0.1 ppm 이하로서 비이온화암모니아로 환산시 0.03 ppm 이하로 나타났다. NO₂-N은 모두 0.1 ppm 이하였으며 pH는 1차 실험시 적정범위(7.5~8.5)보다 약간 높은 8.8~9.0을 나타냈다. 알칼리도는 120~140 ppm으로 전 사육기간 동안 최저요구농도인 80 ppm 이상 유지되었다.

황복의 포식율과 새우의 생존율

중형 새우(B.W. 6.84 g)와 2년생의 황복(B.W. 85.82 g)을 Table 1과 같이 3개의 수조에 넣고 5일간 사육한 결과(1차 실험), Tank 2, 3에 수용한 황복은 100%의 생존율을 보였다(Table 3). 건강새우만 수용한 새우(Tank 1)의 생존율은 75%였으며, 황복과 HHS(건강새우)를 함께 넣은 수조(Tank 2)의 새우 생존율은 41%였다. 황복과 HHS, VIS(감염새우)를 함께 사육한 수조(Tank 3)에서는 HHS는 48% 생존한 반면 VIS는 4%의 생존율을 보여주었다. 동 사육기간 동안 황복 1 마리가 포식한 새우의 수는 황복과 HHS만 수용한 Tank 2의 경우에는 11.8 마리였다(Table 4). 반면 황복과 HHS, VIS를 함께 수용한 경우(Tank 3)에는 평균 9.6 마리의 새우가 피식되었으며 HHS와 VIS가 각각 0.4, 9.2 마리로 감염새우는 건강새우에 비해 23배 높게 피식되었다.

Table 3. Number and body weight of shrimps preyed by one puffer during culture of sub-adult shrimp and 16 month-old puffer for 5 days

	Tank 2	Tank 3
No. of HHS	11.8	0.4
No. of VIS	-	9.2
Total No. of shrimp	11.8	9.6
Total B.W.(g) of shrimp	80.7	65.7
B.W.(g) of shrimp/kg of puffer/day	188.1	151.3

HHS, high health shrimp; VIS, virus-infected shrimp; B.W., body weight.

Table 4. Survival rate of juvenile shrimp and 5 month-old puffer after 8 days culture

Tank	Animal	Initial No.	Final No.	Survival(%)
Tank 1	HHS	1200	1119	93.3
Tank 2	HHS	400	371	92.8
	VIS	800	708	88.5
Tank 3	Puffer	15	15	100
	HHS	1200	917	76.4
Tank 4	Puffer	15	15	100
	HHS	800	713	89.1
	VIS	400	184	46.0

HHS, high health shrimp; VIS, virus-infected shrimp.

Tank 2와 3에서 황복 한 마리가 섭식한 새우의 총 중량은 80.7, 65.7 g이며 황복단위체중(kg) 당 1일 소비량으로 환산하면 188.1, 151.3 g/kg/day이다(Table 4). 본 실험과는 별도의 수조에서 황복과 새우를 수용하고 새우 포식활동을 관찰한 결과, 황복은 유영력이 떨어지거나 약한 새우만을 선택하여 측면 혹은 후방에서 매우 신속한 동작으로 잡아먹는 것이 관찰되었다.

흰다리새우의 치하와 당년생 황복을 4개의 수조에 수용하고 8일간 사육한 결과(2차 실험) 각 생물의 생존율은 Table 5과 같다. Tank 3과 4에 수용한 황복의 생존율은 100%였다. HHS만 수용한 Tank 1의 생존율은 93.3%였다. HHS와 VIS만 수용한 Tank 2의 생존율은 각각 92.8%, 88.5%로서 실험기간 동안 감염새우의 바이러스 발병에 의한 대량폐사는 발생하지 않았다. 황복과 HHS를 함께 사육한 Tank 3의 새우의 생존율은 76.4%였으며, 황복과 HHS, VIS를 함께 사육한 Tank 4의 경우 새우의 생존율은 각각 89.1%, 46.0%로서 감염새우가 건강새우에 비해 43.1% 낮은 생존율을 나타냈다. 동 사육기간 중 황복에게 포식된 새우의 평균 개체수와 총 중량은 Table 6에 나타나 있다. 황복과 HHS가 함께 사육된 Tank 3의 경우 황복 1 마리가 평균 18.8 마리(11.7 g)의 새우를 포식하였으며 황복과 HHS, VIS를 함께 사육한 Tank 4에서는 20.2 마리(12.5 g)의 새우를 포식하여 새우의 평균 피식 개체수는 Tank 2와 3에서 큰 차이를

Table 5. Number and body weight of shrimps preyed by one puffer during the culture of juvenile shrimp with 5 month-old puffer for 8 days

	tank 3	tank 4
No. of HHS	18.8	5.8
No. of VIS	-	14.4
Total No. of shrimp	18.8	20.2
Total B.W.(g) of shrimp	11.7	12.5
B.W.(g) of shrimp/kg of puffer/day	126.1	134.7

HHS, high health shrimp; VIS, virus-infected shrimp.

보이지 않았다. 이것을 황복의 단위체중당 1일 포식률로 환산하면 Tank 2와 3에서 각각 126.1, 134.7 g/kg/day이다(Table 6).

고 찰

감염새우에 대한 황복의 선택적 포식활동

흰반점바이러스(WSSV)에 감염된 새우와 건강한 새우가 실내 수조에서 황복과 함께 사육될 때 황복은 건강한 새우보다는 감염새우를 선택적으로 포식하는 것으로 조사되었다. 중형의 건강새우(HHS)와 감염새우(VIS)를 16개월산 황복과 함께 사육할 경우(Table 3), 건강새우의 생존율은 48%인 반면 감염새우의 생존율은 4%로서 대부분의 감염새우는 황복에 의해 포식되었다. 이러한 감염새우에 대한 황복의 선택적 포식활동은 치하와 5개월산 황복을 함께 사육한 실험에서도 관찰되었다(Table 5). 즉 건강새우의 생존율은 89.1%인 반면 감염새우의 생존율은 이것의 절반 정도인 46.0%로서 16개월산 황복의 경우보다 심하지는 않지만 황복의 감염새우에 대한 포식률이 여전히 높은 것을 알 수 있다. 그러나 두 실험에서 감염새우에 대한 황복의 포식강도가 크게 차이가 나는 것은 건강한 중형새우는 포식자에 대한 도피행동이 빠르기 때문에 감염새우에 대한 포식이 더욱 강해졌으며, 치하의 경우는 황복에 대한 도피행동이 상대적으로 느리기 때문에 감염새우에 대한 선택적 포식강도가 중형새우에 비해 낮아진 것으로 추측된다. 그럼에도 불구하고 이러한 황복의 감염새우에 대한 선택적 포식활동은 새우양식장에서의 감염새우의 선택적인 제거에 효과를 줄 수 있을 것으로 사료된다. 본 실험과는 별도로 준비된 수조에 감염새우와 건강새우를 함께 넣고 황복의 포식행동을 관찰한 경우에도 황복의 선택적 포식행동이 자주 관찰되어 실험의 결과를 뒷받침해준다.

육식성 어류인 농어 *L. japonicus*도 황복과 마찬가지로 바이러스에 감염되어 약한 새우와 성장이 저하된 새우를 선택적으로 잡아먹어 새우양식장의 질병억제에 매우 효과적이라는 연구 결과가 중국에서 보고되어 있다(Wang et al., 1997). 농어는 자연상태에서 새우 등의 갑각류와 소형어류 등을 잡아먹는 육식성 어류로서(Chyung, 1977; Shoji et al., 2006) 적절한 밀도와 크기, 입식시기 등을 충분히 고려한다면 우리나라에서도 새우양식장의 질병억제 혹은 발병의 지연 및 질병 전염의 방지를 위하여 활용될 수 있을 것이다.

일정 기간 동안 한 마리의 황복이 잡아먹는 새우의 총 개체수는 바이러스에 감염된 새우나 건강한 새우에 관계없이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(Tables 4, 6). 16개월산 황복을 중형새우와 함께 사육할 경우, 건강새우만 함께 사육한 수조에서는 황복 1 마리가 5일 동안 평균 11.8 마리를 포식하였으며, 건강새우 및 감염새우를 함께 사육한 수조에서는 동 기간 동안 이와 비슷한 평균 9.6 마리의 새우를 포식하여 황복은 감염새우가 있다고 해서 보다 많은 새우를 포식하지는 않은 것으로 나타났다(Table 4). 이러한 경향은 5개월산 황복과 치하를

함께 사육할 경우에도 나타나는데(Table 6) 건강새우만 혹은 건강새우와 감염새우를 혼합하여 황복과 사육한 수조에서 포식된 새우의 평균 개체수는 각각 18.8, 20.2 마리로서 황복은 일정 기간동안 건강새우나 감염새우에 관계없이 일정량의 새우를 잡아먹었다. 또한 2차례의 실험에 사용된 황복과 새우의 크기, 밀도에 상당한 차이가 있음에도 불구하고 황복의 단위체중 당 포식된 새우의 증량은 두 실험에서 큰 차이를 보이지 않았다. 즉 16개월산 황복(B.W. 85.8 g)과 중형새우(6.8 g)의 밀도의 비율은 1:20, 이었으며, 5개월산 황복(B.W. 11.6 g)과 치하(B.W. 0.62 g)의 밀도의 비율은 1:80으로 밀도와 체중에서 크게 차이가 있었지만, 16개월산 황복은 5일 동안 체중 kg 당 756.6~940.3 g (1일 평균 169.7 g/day)의 새우를 소비하였으며(Table 4) 5개월산 황복은 8일 동안 1,008.6~1,077.6 g(평균 130.4 g/day)을 소비하여(Table 6) 새우와 황복의 밀도와 크기에 관계없이 황복이 단위체중 당 포식하는 새우의 총 증량은 크게 차이가 나지 않을 수 있다. 이와 같이 황복은 감염새우를 선택적으로 포식하기는 하지만 감염새우가 부족할 경우에는 새우의 건강상태와는 무관하게 일정량의 새우를 포식하기 때문에 새우양식장에 황복을 넣을 때는 황복의 입식시기와 밀도, 황복의 총증량 뿐 아니라 새우양식장의 건강도도 충분히 고려하여 결정되어야 할 것이다. 또한 황복은 강한 육식성 어류로서 배합사료보다는 새우를 더욱 선호하기 때문에 황복의 복합양식이 황복양식의 부수적인 수입보다는 새우질병의 억제 목적으로 하는 것이 바람직하다.

황복의 입식밀도와 시기

복합양식에서 입식생물의 밀도, 크기, 시기 등의 선택은 매우 중요하며 특히 육식성 어류를 새우와 함께 키울 경우에는 새우의 생존율, 즉 생산량에 결정적인 영향을 미치므로 매우 신중하게 결정해야 한다. 축제식양식장에서 어류를 새우와 복합양식을 할 경우 어류의 적정밀도와 크기를 제안한 연구들은 많지만(Eldani and Primavera, 1981; Wang et al., 1998; Li and Dong, 2000; Tian et al., 2001) 대부분 송어, 틸라피아, 밀크피쉬 등과 같이 수질안정 혹은 부가적인 수확을 목적으로 한 연구들이며 질병억제를 목적으로 육식성 어류를 대상으로 한 연구는 농어(Wang et al., 1997; 2001) 외에는 보고되어 있지 않다. Wang et al. (2001)은 농어, 새우, 틸라피어를 복합적으로 사육하고 입식밀도의 비율을 각각 1:(3-4):0.24, 농어의 적정밀도는 1.52 마리/m²로 제시하였지만 배합사료 대신 생사료를 공급하였으며 각 사육생물을 별도의 격막에 분리 수용하였기 때문에 질병억제 목적으로 적용하기에는 부적절하다. 이에 앞서 Wang et al. (1997)은 새우의 질병 억제를 목적으로 1995~1996년의 2년에 걸쳐 축제식양식장에 농어를 함께 넣고 그 효과를 조사하였다. 이들은 1.0~1.5 ha의 6개의 사육지에 대하여 농어와 복합 혹은 단독으로 입식하여 4개월 동안 사육한 결과, 농어를 넣지 않은 2개의 대조구에서 약 2개월 만에 대하는 바이

리스질병으로 모두 폐사된 반면 4개 복합구에서의 새우 생존율은 22.9~31.7%로서 농어에 의한 새우의 바이러스질병 억제효과를 확인하였다. 이러한 결과는 그 당시 중국 새우양식장의 바이러스질병 피해 상황을 고려할 때 매우 고무적인 것이다. 1992년 중국에서 최초로 흰반점바이러스가 보고된 이후(Chen, 1995; Lightner, 1999), 1993년 207,000톤이었던 중국의 양식새우생산량은 1994/1995년에 64,000톤으로 급락할 만큼 흰반점바이러스로 인한 양식피해는 심각한 상태였으며(Briggs et al., 2004) 더구나 복합양식 실험이 실시되었던 1995~1996년 산동지방에서의 대해양식은 거의 불가능한 것으로 여겨졌기 때문이다(Wang, L., personal communications). 이들이 입식했던 대하의 밀도는 20~25 마리/m²로서 우리나라의 평균 입식밀도인 30~35 마리/m²보다 약간 낮지만 우리나라와 달리 수차가 설치되지 않은 점을 고려하면 정상적인 입식밀도이다. 농어는 체장 8~12 cm의 크기를 7.5~30 마리/ha의 밀도로 입식되었는데 일반 양식장에서의 성장률을 고려할 때 Wang et al. (1997)이 입식한 크기의 농어는 1년산 정도이며 이에 해당하는 크기의 황복은 2년산 정도로서 황복의 입식밀도를 결정할 때 충분히 참고할 만 하다. 그러나 농어와 황복의 섭식률, 포식습성, 성장률 등을 비교한 연구는 되어있지 않으므로 새우와의 복합양식시 황복의 적정밀도를 알기 위해서는 이에 대한 보다 정확한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 농어는 현재 남해안에서 산업적으로 양식이 이루어지고 있어 필요한 크기의 개체들을 손쉽게 확보할 수 있기 때문에(Kang et al., 2002) 황복과 더불어 농어도 새우질병의 억제를 위한 복합양식종으로 활용될 수 있을 것이다. 황복 *Takifugu obscurus*은 우리나라 서남해안과 중국 동남해의 황해수역에 분포하는 육식성 어류로서 현재 종묘생산과 양식기술이 개발되어 산업적으로 양식이 확산되고 있다(Lee et al., 2004; Lee and Huh, 2004). 일반적으로 서해안에서 황복은 6월경에 종묘생산이 이루어지는데 체중 1 g 정도의 종묘는 축제식 양식장에 바로 입식하기도 하지만 대개 실내에서 1년간 50 g 이상까지 중간육성된 중간종묘가 입식된다. 새우는 5~6월에 생산된 종묘(postlarva 10~20기, 체장 1 cm 전후)를 직접 축제식양식장에 입식하는데 흰반점바이러스는 TSV (Taura syndrom virus) 등과는 달리 수온이 급격하게 상승하는 시기(우리나라의 경우는 7월)에 바이러스질병이 가장 많이 발병한다(Jang, 2000; Briggs et al., 2004). 따라서 새우와 황복의 종묘생산과 양식시기, 새우의 도피반응이 가능한 크기까지의 성장시기, 흰반점바이러스의 발병시기 등을 종합적으로 고려하면 새우양식장에 황복을 입식하는 시기는 7월 이후가 적합하며 황복의 연령은 1년산이 바람직할 것으로 생각된다.

새우의 흰반점바이러스 인위감염과 활력

흰다리새우 *L. vannamei*는 원산지가 중남미의 태평양연안으로 바이러스질병에 대한 내성과 성장률이 비교적 높은 것으로 알려져 있다(Lightner, 1999; Briggs et al., 2004). 국립수산물

학원에서는 대하의 대체종으로서 2003년 미국(하와이)으로부터 바이러스 비감염(SPF, specific pathogen free) 흰다리새우 어미를 이식하여 종묘생산 및 축제식 양식기술을 개발, 보급한 이래(Kim et al., 2004a, 2006; Jang and Jun, 2005) 흰다리새우의 양식은 급속하게 확대되어 2006년에 전국 양식새우생산량의 약 40%를 점유하였다(Jang, unpublished data). 따라서 본 연구에서는 향후 우리나라 주요 새우양식종으로 예상되는 흰다리새우를 대상으로 수행되었다. 흰다리새우의 바이러스 인위감염은 per os (Wang et al., 1999), 침지(Wu et al., 2002), injection (Kim et al., 2004b) 등의 방법이 주로 사용되는데 인위감염원인 바이러스의 농도와 상태에 따라서 차이는 있지만 대개 인위감염 후 2-3일부터 병리적 증상과 함께 폐사가 시작된다. Wang et al.(1999)은 흰다리새우에게 WSSV 감염새우의 조직을 새우체중의 10%씩 2회 공급한 결과 3일 후부터 폐사가 발생하기 시작하여 1주일 후에는 약 70%가 죽었으며 2주일 만에 전량 폐사한 것으로 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 새우의 폐사 진행속도를 완화시키고 개체간 감염의 균등성을 높이기 위하여 WSSV 감염새우의 육질이 30% 혼합된 pellet을 체중의 5%씩 3회 공급한 후 3일 경과 후부터 사육실험에 투입하였다. 인위감염 후 3일째 PCR에 의한 확인 결과 모든 감염새우들이 WSSV에 양성반응을 보였으며 8일 후까지 생존한 새우들은 WSSV의 전형적인 병리증상인 흰반점이 갑각에서 관찰되어 인위감염이 정상적으로 진행되었음을 확인하였다. 감염새우와 건강새우만을 함께 8일간 사육한 결과, 각각의 생존율이 92.8%, 88.5%로서 감염새우의 생존율이 약간 낮았을 뿐 Wang et al. (1999)의 인위감염새우에서 나타난 WSSV로 인한 대량폐사는 발생하지 않았다. 또한 감염새우와 건강새우를 황복과 함께 사육한 실험구(tank 4)에서의 평균 생존율은 74.8%로서 황복과 건강새우만 사육한 실험구(tank 3)의 생존율 76.4%와 차이를 보이지 않았다(Table 5). 따라서 본 실험에서 실시된 감염새우와 황복의 복합사육구들에서 조사된 감염새우의 폐사율은 바이러스 발병에 의한 대량폐사에 의한 것이라기보다는 바이러스의 인위감염으로 인하여 유영력이나 도피반응이 저하된 새우에 대한 황복의 능동적인 포식활동의 결과로 판단된다. 또한 본 연구에서 적용된 WSSV의 인위감염 방법은 virus의 challenge 실험 등의 목적으로 대량의 새우를 균등한 정도로 감염시키기 위한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

흰반점바이러스(WSSV, white spot syndrome virus)는 세계적으로 새우양식산업에 가장 심각한 피해를 주는 질병으로 우리나라에는 1993년 서해안에서 처음 보고된 이래 해마다 축제식 새우양식장에 반복적으로 대량폐사를 가져오고 있다.

WSSV는 전염성이 매우 강한 바이러스로서 새우양식장에서 내에서 감염된 새우들 간에 공식에 의하여 빠르게 감염이 확산될

수 있다. 황복과 같은 육식성 어류는 감염새우 혹은 약한 새우를 선택적으로 포식함으로써 바이러스의 발병을 지연 혹은 억제시킬 수 있는 것으로 알려져 있어 양식현장에서 새우와 함께 복합적으로 양식이 시도되고 있지만 황복의 감염새우에 대한 선택적 포식의 정도와 효과에 대해서는 보고되어 있지 않다.

본 연구에서는 WSSV에 감염된 새우와 비감염된 건강한 새우를 대상으로 사육생물의 연령과 크기에 따른 황복의 선택적 포식효과를 조사하기 위하여 흰다리새우 *Litopenaeus vannamei*의 치하와 5개월산 황복, 중형 새우와 16개월산 황복으로 구분하여 원형수조(28.26 m²)에서 사육실험을 실시한 결과, 치하와 5개월산 황복의 복합사육의 경우 건강새우와 감염새우의 생존율은 각각 89.1%, 46.0%였으며 중형새우와 16개월산 황복의 실험에서는 건강새우와 감염새우의 생존율이 각각 48%, 4%로서 모두 감염새우가 건강새우에 비해 생존율이 크게 떨어져 황복은 건강새우보다는 감염새우를 선택적으로 포식하는 것으로 나타났다. 황복은 크기에 관계없이 단위체중당 하루에 포식하는 새우의 총 중량은 크게 차이가 나지 않으며 새우의 크기와 밀도의 차이에 따라서도 차이를 보이지 않았다. 또한 황복은 감염새우를 선택적으로 포식하기는 하지만 감염새우가 부족할 경우에는 새우의 건강상태와는 무관하게 일정량의 새우를 포식하기 때문에 새우양식장에 황복을 넣을 때는 황복의 입식시기와 밀도 뿐 아니라 황복의 총중량도 충분히 고려되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 수산시험연구과제인 갑각류양식 생산성향상연구 및 수산특정연구과제(서해안축체식복합양식 및 월동기술개발)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Brezeski, V. and G. Newkirk, 1997. Integrated coastal food production systems - a review of current literature. *Ocean Coast. Manag.*, 34, 55-71.
- Briggs, M., S. Funge-Smith, R. Subasinghe and M. Phillips, 2004. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. RAP Publication 2004/10. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 92 pp.
- Chen, S. N., 1995. Current status of shrimp aquaculture in Taiwan. (in) C. L. Browdy, C. L. and J. S. Hopkins (eds.), *Swimming through troubled water, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming, Aquaculture '95*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 29-34.
- Chung, M. K., 1977. *The Fishes of Korea*. Iljisa, Seoul, Korea, 727 pp. (in Korean)
- Eldani, A. and J. H. Primavera, 1981. Effect of different stocking combinations on growth, production and survival of milkfish (*Chanos chanos* Forskal) and prawn (*Penaeus monodon* Fabricius) in polyculture in brackishwater ponds. *Aquaculture*, 23, 59-72.
- Flegel, T.W., D. F. Fegan and S. Sriurairatana, 1995. Environmental control of infectious disease in Thailand. (in) C. L. Browdy, C. L. and J. S. Hopkins (eds.), *Swimming through troubled water, Proceedings of the Special Session on Shrimp Farming, Aquaculture '95*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 65-79.
- Flegel, T. W., S. Boonyaratpalin and B. Withyachumnarnkul, 1997. Progress in research on yellow-head virus and white-spot virus in Thailand. (in) T. W. Flegel and I. H. MacRae (eds.) *Diseases in Asian Aquaculture III*. Fish Health Section, Manila, Asian Fisheries Society. pp. 285-295.
- Heo, M. S., S. G. Sohn, D. S. Sim, J. W. Kim, M. A. Park, S. H. Jung, J. S. Lee, D. L. Choi, Y. J. Kim and M. J. Oh, 2000. Isolation and characterization of white spot syndrome baculovirus in cultured penaeid shrimp (*Penaeus chinensis*). *J. Fish Pathol.*, 13(1), 7-13. (in Korean)
- Hopkins, J. S., R. D. Hamilton, P. A. Sandifer and C. L. Browdy, 1993. The production of bivalve mollusks in intensive shrimp ponds and their effect on shrimp production and water quality. *World Aquacult.*, 24(2), 74-77.
- Inouye, K., S. Miwa, N. Oseko, H. Nakano, T. Kimura, K. Momoyama and M. Hiraoka. 1994. Mass mortalities of cultured kuruma shrimp *Penaeus japonicus* in Japan in 1993: electron microscopic evidence of the causative virus. *Fish. Pathol.*, 29, 149-158. (in Japanese)
- Jang, I. K., 2000. *Shrimp culture and disease control*. Technical Publication No. 7, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 127 pp. (in Korean)
- Jang, I. K. and J. C. Jun, 2005. Current status of shrimp diseases and its control in Korea. (in) Proc. the 1st Korea-U.S. Seminar and Workshop on the Sustainable Marine Shrimp Culture, August 8-12, 2005. Incheon, Korea. pp. 27-28.
- Jang, I. K., H. S. Han and H. J. Lim, 2006. Viral infection rate in wild broodstock of the fleshy shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* from Korean waters. (in) Proc. World Aquaculture Society, World Aquacult. Soc., Firenze, Italy. p. 95.
- Kang, D. Y., H. K. Han and J. J. Baek, 2002. Monthly gonadal and sex hormone changes of indoor-reared seabass, *Lateolabrax japonicus* during annual reproductive cycles. *J. Kor. Fish. Soc.*, 35(6), 614-620. (in Korean)
- Kim, C. K., S. G. Sohn, M. S. Heo, T. H. Lee, H. K. Jun and K. L. Jang, 1997. Partial genomic sequence of baculovirus associated with white spot syndrome (WSBV) isolated from penaeid shrimp *P. chinensis*. *J. Fish Pathol.*, 10(2), 87-95 (in Korean).
- Kim, D. H., B. R. Kim, J. S. Kim, H. C. Seo, S. K. Kim, J. H. Kim and I. K. Jang, 2004a. Combined effects of temperature and salinity on survival and hemolymph osmoregulation of *Litopenaeus vannamei*. *J. Aquacult.*, 246-250. (in Korean)
- Kim, D. K., I. K. Jang, H. C. Seo, S. O. Shin, S. Y. Yang and J. W. Kim, 2004b. Shrimp protected from WSSV disease by treatment with egg yolk antibodies (IgY) against a truncated fusion protein derived from WSSV. *Aquaculture*, 237, 21-30.
- Kim, S. K., D. H. Kim, B. R. Kim, J. S. Kim, Y. R. Cho, H. C.

- Seo, J. H. Kim, C. H. Hang and I. K. Jang, 2006. Post feeding trypsin activity in the digestive organs and the gastric evacuation rate of *Litopenaeus vannamei* (Boone). J. Aquacult., 19, 1-6. (in Korean)
- Lee, B. K. and M. K. Huh, 2004. Effects of varying salinity on the growth and hematological response of juvenile pufferfish, *Takifugu obscurus*. Kor. J. Ichthyol., 16(4), 254-260.
- Lee, B. K., M. K. Huh, Y. W. Kim, J. S. Choi and B. K. Kim, 2004. Effects of water temperature on the growth and haematological response of juvenile river puffer, *Takifugu obscurus*. Kor. J. Ichthyol., 16, 27-33. (in Korean)
- Li, D. and S. Dong, 2000. Summary of studies on closed-polyculture of penaeid shrimp with fishes and molluscs. Chin. J. Oceanol. Limnol., 18, 61-66.
- Lightner, D. V., 1999. The penaeid shrimp viruses TSV, IHNV, WSSV, and YHV: current status in the Americas, available diagnostic methods and management strategies, J. Appl. Aquacult., 9, 27-52.
- Liu, Y., Y. Qin and S. Wang, 1992. Experiment on polyculture of *Argopecten irradians* with prawns in prawn ponds. Shandong fisheries/Qilu Yuye Yantai, 4, 15-17. (in Chinese)
- Lo, C. F., J. H. Leu, C. H. Ho, C. H. Chen, S. E. Peng, Y. T. Chen, C. M. Chou, P. Y. Yeh, C. J. Huang, H. Y. Chou, C. H. Wang and G. H. Kou, 1996a. Detection of baculovirus associated with white spot syndrome (WSBV) in penaeid shrimps using polymerase chain reaction. Dis. Aquat. Org., 25, 133-141.
- Lo, C. F., C. H. Ho, S. E. Peng, C. H. Chen, H. C. Hsu, Y. L. Chiu, C. F. Chang, K. F. Liu, M. S. Su, C. H. Wang and G. H. Kou, 1996b. White spot syndrome baculovirus (WSBV) detected in cultured and captured shrimp, crabs and other arthropods. Dis. Aquat. Org., 27, 215-225.
- Nelson, S. G., E. P. Glenn, J. Conn, D. Moore, T. Walsh and M. Akutagawa, 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. Aquaculture, 193, 239-248.
- Neori, A., T. Chopin, M. Troell, A. H. Buschmann, G. P. Kraemer, C. Halling, M. Shpigel and C. Yarish, 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. Aquaculture, 231, 361-391.
- Shoji, J., T. Ohta and M. Tanaka, 2006. Effects of river flow on larval growth and survival of Japanese seaperch *Lateolabrax japonicus* (Pisces) in the Chikugo River estuary, upper Ariake Bay. J. Fish Biol., 69(6), 1662-1674.
- Soto, M. A. and J. M. Lotz, 2001. Epidemiological parameters of white spot syndrome virus infections in *Litopenaeus vannamei* and *L. Setiferus*. J. Inverteb. Pathol., 78, 9-15.
- Takahashi, Y., T. Itami, M. Kondo, M. Maeda, S. Tomonaga, K. Supamattaya and S. Booyaratpalin. 1994. Electron microscopic evidence of bacilliform virus infection in Kuruma shrimp (*Penaeus japonicus*). Fish. Pathol., 29, 121-125.
- Tian, X., D. Li, S. Dong, X. Yan, Z. Qi, G. Liu and J. Lu, 2001. An experimental study on closed-polyculture of penaeid shrimp with tilapia and constricted tagelus. Aquaculture, 202, 57-71.
- Wang, L., Z. Liu, H. Lin, Z. Chang and Y. Gao, 1997. On polyculture of perch and prawn. Shandong Fish./Qilu Yuye, 14(2), 30-31. (in Chinese)
- Wang, J., D. Li, S. Dong, K. Wang and X. Tian, 1998. Experimental studies on polyculture in closed shrimp ponds. I. Intensive polyculture of Chinese shrimp (*Penaeus chinensis*) with tilapia hybrids. Aquaculture, 163, 11-27.
- Wang, Q., L. Brenda, R. White, M. Redman and D. Lightner, 1999. Per os challenge of *Litopenaeus vannamei* postlarvae and *Farfantepenaeus duorarum* juveniles with six geographic isolates of white spot syndrome virus. Aquaculture, 170, 179-194.
- Wang, J., D. Li, S. Dong, K. Wang and X. Tian, 2001. Intensive polyculture of sea perch with Chinese shrimp and red Taiwanese tilapia hybrids. J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Xue, 7(4), 37-41. (in Chinese)
- Wu, J. L., T. Nishioka, K. Mori, T. Nishizawa and K. Muroga, 2002. A time-course study on the resistance of *Penaeus japonicus* induced by artificial infection with white spot syndrome virus. Fish Shellfish Immunol., 13, 391-403.
- Yamasaki, S., F. Ali and H. Hirata, 1997. Low water pollution rearing by means of polyculture of larvae of kuruma prawn *Penaeus japonicus* with a sea lettuce *Ulva pertusa*. Fish. Sci. 63(6), 1046-1047.
- Yue, Z. and S. Liu, 1992. A study on the technique for polyculture of prawns and Philippine clams in prawn pond. Shandong fisheries/Qilu Yuye, 6, 7-9. (in Chinese)
- Zhang, H., D. Li and Y. Wang, 1998. The impact of constricted tagelus polycultured in shrimp ponds on the structure of plankton communities. J. Ocean Univ. Qingdao/Qingdao Haiyang Daxue Xuebao, 28(2), 211-216. (in Chinese)

원고접수 : 2007년 10월 11일

수정본 수리 : 2007년 11월 23일