

축제식 양식장에서의 대하, 흰다리새우와 황복의 복합양식

장인권*, 전제천¹, 조국진, 조영록, 서형철, 김봉래, 김종식
국립수산과학원 서해특성화연구센터, ¹국립수산과학원 서해수산연구소 증식연구팀

Polyculture of Fleshy Shrimp *Fenneropenaeus chinensis* and White Shrimp *Litopenaeus vannamei* with River Puffer *Takifugu obscurus* in Shrimp Ponds

In Kwon Jang*, Je Cheon Jun¹, Gook Jin Jo, Yeong Rok Cho, Hyung Chul Seo,
Bong Lae Kim and Jong Sheek Kim

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

Shrimp culture in Korea had been rapidly developed during 1990's and the production of farmed shrimp reached 3,268 mt from 2,605 ha in 2001. However the shrimp production decreased to 2,368 mt in 2004 because of the mass mortality due to outbreak of white spot syndrome virus (WSSV). WSSV which is one of the most serious threats associated with cultured shrimp around the world has given the 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. Various polyculture technologies of shrimp with shellfish, finfish or seaweeds have been implemented to reduce economic damages by mass mortalities of shrimp. Among them, the polyculture of shrimp with carnivorous fish can suppress or delay the viral outbreak of shrimp ponds because the fish may selectively eat the moribund shrimps infected by virus. To determine the selective predatory effect of river puffer *Takifugu obscurus* on WSSV infected shrimp, postlarvae of *Litopenaeus vannamei* and *Fenneropenaeus chinensis*. One-year old river puffers were stocked to four earthen ponds of 1,616-1,848 m² in surface area as followings: polyculture LvP, *L. vannamei* (43.4/m²)+puffer (0.22/m²); control Lv, *L. vannamei* (46.9/m²); polyculture FcP, *F. chinensis* (30.3/m²)+puffer (0.25/m²); control Fc, *F. chinensis* (24.6/m²). Ponds of control Fc and polyculture FcP had mass mortalities by WSSV outbreak on the 51st and 57th days of culture respectively. The shrimps of polyculture LvP and control Lv were harvested on the 95th day. Shrimp survival rates of polyculture LvP and control Lv were 32.4% and 18.2% respectively and shrimp productivity of polyculture LvP was 69.2% higher than that of control Lv. Concentration of nutrients (TAN, NO₂-N, NO₃-N) was maintained within optimal ranges for shrimp growth although that of polyculture ponds showed at least two times higher than that of control ponds. The results suggest that polyculture of *L. vannamei* with river puffer is higher than monoculture in survival rate and productivity. In addition, *F. chinensis* should be carefully cultured because this species shows much higher susceptibility to WSSV than *L. vannamei*.

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

서론

새우양식은 1990년대에 들어와 서해안을 중심으로 빠르게 증가하였으며 2001년 전국의 새우양식장 면적 2,605 ha에서 3,268톤이 생산되어 양식양식 생산량은 최고에 달하였다. 그러나 양식면적은 변화가 없는데도 불구하고 2002, 2003, 2004년에는 생산량이 각각 2,850톤, 2,727톤, 2,368톤으로 해마다 크게 감소하였다(Jang, 2000; Jang and Jun, 2005). 이러한 이유 중의

하나는 바이러스성 질병, 특히 흰반점바이러스(white spot syndrome virus, WSSV)에 의한 대량폐사 때문인 것으로 알려져 있다(Heo et al., 2000; Jang et al., 2006). 특히 2004년에는 전국 468개 양식장 중 32.9%인 154개가 대량폐사 피해로 수확 전에 양식을 중단하였으며 이러한 양식장의 대부분이 직간접적으로 WSSV에 의해 피해를 입은 것으로 여겨진다(Jang, unpublished data). WSSV는 1992년 중국에서 최초로 발견된 이래(Cai et al., 1995; Chen, 1995) 1990년대 말까지 아시아, 중남미를 포함한 전 세계로 확산되어 새우양식산업에 막대한 피

*Corresponding author: jangik@nfrdi.re.kr

해를 가져왔다(Inouye et al., 1994; Takahashi et al., 1994; Chow et al., 1995; Lo et al., 1996a, 1996b; Lighter, 1999; Briggs et al., 2004). 우리나라에는 1993년 서해안 지역의 대하와 보리새우 양식장에서 처음 발견되었으며 1994년 이후 현재까지 해마다 많은 피해를 가져오고 있다(Kim et al., 1997; Jang, 2000; Kim et al., 2004b). WSSV에 감염된 새우는 유영력과 섭식활동이 저하되고 체색이 붉게 변하며 갑각 내측을 따라 미세한 흰색의 반점들이 형성되는데 이러한 증상들이 발현되기 시작하면 3~10 일 이내에 심할 경우에는 100%까지 폐사가 발생하기도 한다(Flegel, 1997; Lightner, 1999). WSSV는 숙주의 범위가 매우 광범위하여 보리새우과(family Penaeidae)를 포함한 새우류 뿐 아니라 가재류, 게류 등 많은 갑각류에 감염이 가능하다(Flegel et al., 1997; Hossain et al., 2001).

양식새우는 바이러스에 감염되어 있더라도 모두 발병되어 대량폐사로 이어지지는 않는다는 사실은 잘 알려져 있으며 수질 환경의 악화나 수온, 삼투압 등의 급격한 환경변화를 포함한 스트레스는 발병을 유발시키는 주요 요인 중의 하나로 작용한다(Flegel et al., 1995; Lightner and Redman, 1998; Briggs et al., 2004). 중국을 비롯한 동남아시아의 여러 나라에서는 오래전부터 새우양식장의 환경 스트레스를 감소시키는 방법의 하나로써 다양한 방법의 복합양식을 하고 있다(Brezeski and Newkirk, 1997; Neori et al., 2004). 새우와 함께 주로 복합양식되는 어류는 틸라피아 *Oreochromis spp.*, 송어 *Mugil cephalus*, 밀크피쉬 *Chanos chanos* 등이다(Apud and Benagua, 1981; Eldani and Primavera, 1981). 이중 여과식성인 틸라피아는 동물플랑크톤을 감소시킴으로써 식물플랑크톤의 구성에 기여하며 따라서 질소와 인의 순환을 향상시켜주어 양식장 생태계의 안정화에 도움을 줄 뿐 아니라(Gonzales-Corre, 1988; Yang et al., 1998; Wang et al., 1998) 세균 *Vibrio harveyi*의 성장을 억제시켜주는 효과도 있는 것으로 알려져 있다(Tendencia et al., 2006). 복합양식되는 패류로는 가리맛조개(Zhang et al., 1998), 바지락(Yue and Liu, 1992), 해만가리비(Wang et al., 1999a), 굴(Martinez-Cordova and Martinez-Porchas, 2006) 등으로 이들은 새우양식장의 먹이찌꺼기와 미세 유기물입자 등을 여과섭식하여 수질의 안정화에 기여한다. 꼬시래기류 *Gracilaria spp.*, 파래류 *Ulva spp.* and *Enteromorpha spp.* 등의 해조류와 새우와의 복합양식은 서로 상이한 영양단계를 보완하는 가장 이상적인 복합양식

의 형태로서 많은 연구가 이루어졌지만 대부분 실험적인 수준에 머물러 있으며 여름철 고수온에 대한 내성이 낮은 관계로 축제식 양식장에 실제로 응용된 경우는 거의 없다(Liu et al., 1997; Yamasaki et al., 1997; Nelson et al., 2001).

서로 상이한 생태적 기능을 보완함으로써 환경스트레스를 감소시키고 질병을 예방하고자 하는 방법과는 달리 육식성 어류는 질병에 심하게 감염되어 활력이 저하된 새우를 선택적으로 포식함으로써 새우양식장의 바이러스질병을 억제시키는데 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Briggs et al., 2004). 실제로 새우양식장에서의 바이러스 전염은 감염새우와의 공존 혹은 감염새우의 공식에 의해서 빠르게 확산된다는 사실이 밝혀져 있다(Soto and Lotz, 2001; Flegel et al., 1997). Wang et al. (1997, 2001)은 축제식 대하양식장에 육식성 어류인 농어 *Lateolabrax japonicus*를 함께 사육하여 새우바이러스를 억제하는데 좋은 효과를 얻은 바 있다. 우리나라에서는 일부 새우양식장에서 바이러스 억제를 위하여 육식성인 황복 *Takifugu obscurus*을 함께 사육하는 방법이 시도되고 있으나 이에 대한 정확한 효과나 황복의 입식밀도, 크기 등의 조건에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 현재 우리나라의 새우양식은 토착종인 대하 *Fenneropenaeus chinensis*와 외래종인 흰다리새우 *Litopenaeus vannamei* 2종만이 양식되고 있으며 흰다리새우는 대하의 대체종으로 2003년 우리나라에 처음 이식된 이래 서해안에서 양식이 급속히 확산되는 추세이다(Kim et al., 2004a).

본 연구는 새우양식 주요종인 대하와 흰다리새우를 축제식 양식장에서 황복과 함께 사육함으로써 황복에 의한 새우 WSSV의 억제효과를 조사하고 축제식 새우양식장의 바이러스질병 피해를 감소시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

새우와 황복의 복합양식과 새우 단독양식의 효과를 비교하기 위하여 충남 태안군 소재 (주)SCF 부설 수산시험장의 축제식 양식장을 이용하여 2005년 6월-9월에 걸쳐 다음과 같이 현장 사육시험을 실시하였다.

시험사육지 준비와 해수 소득

2005년 4월부터 트랙터 등 중장비를 이용하여 1,616~1,848 m²

Table 1. Description of the stocking information on cultured animals and experimental ponds

	Polyculture LvP		Control Lv	Polyculture FcP		Control Fc
Pond area(m ²)	1,848		1,616	1,624		1,716
Cultured animal	<i>L. vannamei</i>	<i>puffer</i>	<i>L. vannamei</i>	<i>F. chinensis</i>	<i>puffer</i>	<i>F. chinensis</i>
No. animal	85,000	400	70,000	40,000	400	52,000
Stocking density(/BŠ)	46.9	0.22	43.4	24.6	0.25	30.3
B.W.(g)	0.0013	73	0.0013	0.054	73	0.054
Stocking date	Jun. 11	Jul. 24	Jun. 11	Jun. 13	Jul. 24	Jun. 13

Lv, *L. vannamei*; LvP, *L. vannamei*+*puffer*; Fc, *F. chinensis*; FcP, *F. chinensis*+*puffer*.

크기의 5개 사육지(중앙의 1개 사육지는 저수지, 4개는 시험용으로 사용; Table 1)를 조성하고 바닥의 저질을 제거한 후 제방(높이 1.8~2.0 m)을 조성하였다. 사육지 조성 후 바닥을 건조시키고, 5월에 해수를 수심 0.5 m 깊이까지 취수한 후 사육수 내 바이러스 등 병원성 미생물과 바이러스 중간숙주를 죽이기 위하여 염소(유효농도 50 ppm)를 살포하였다. 2 주일 후 해수를 수심 1 m까지 입수하고 재차 동일 농도의 염소를 살포하여 2차 소독을 실시하였다. 종묘의 입식 전 사육수의 생태적 안정화를 위하여 유기비료(제분)를 각 사육지에 50 kg씩 살포하여 식물플랑크톤을 번식시켰다. 전 사육기간 동안 추가적으로 공급된 사육수는 저수지에서 염소 10~20 ppm의 농도로 소독하여 저장해 놓은 해수를 이용하였다. 산소공급과 사육수 교반을 위하여 각 사육지마다 paddle형 수차(2 HP) 2대씩을 설치하였다. 바이러스의 중간숙주인 게를 제거하기 위하여 양식장의 제방과 수로에 게 포획용 통발 100개와 게 함정(깊이 20 cm) 20개를 설치하고 제방 전체에 그물(높이 30 cm)을 이중으로 시설하였다.

종묘의 입식과 사육관리

흰다리새우는 2005년 6월 11일 충남 서산에 위치한 민간종묘배양장에서 생산된 postlarva 10기의 치하(PL10, B.W. 0.0013 g)를 구입하여 polyculture LvP (*Litopenaeus vannamei* + puffer), control Lv (*Litopenaeus vannamei*) 사육지에 각각 85,000(46.9/m²), 70,000(43.4/m²) 마리를 입식하였다(Table 1). 대하는 2005년 6월 13일 (주)SCF 부설 수산시험장에서 생산된 postlarva 20기의 치하(PL20, B.W. 0.054 g)를 polyculture FcP (*Fenneropenaeus chinensis* + puffer), control Fc (*Fenneropenaeus chinensis*) 사육지에 각각 40,000(24.6/m²), 52,000(30.0/m²) 마리씩 입식하였다. 황복은 2004년 종묘생산되어 실내에서 중간육성된 1년생 황복(B.W. 73.0 g)을 복합양식 시험구인 polyculture LvP와 polyculture FcP에 각각 400마리씩 넣었다. 황복은 염분 5 psu에서 사육 중인 것으로 구입 후 실내 수조에서 1 주일에 걸쳐 서서히 27 psu까지 염분적응을 시킨 다음 실험에 사용하였다. 먹이로는 새우전용 EP 사료(CP 37~40%)를 하루 3~4회(6~7월 4회/일, 8월 이후 3회/일) 공급하였으며, 별도의 황복사료는 공급하지 않았다. 일일 사료 공급량은 각 사육지에 설치한 먹이망(feeding tray, 직경 50 cm)과 새우의 주간 성장률을 참고하여 결정하였다. pH와 alkalinity 조절을 위해 필요시 탄산칼슘(CaCO₃)을 살포하였으며 타가영양세균에 의한 질소화합물 분해를 촉진하기 위해 암모니아 농도에 따라서 적당량의 당밀(molasses)을 공급하였다.

수질환경 조사 및 수질분석

수온, pH, DO, 염분은 YSI-85 DO meter(Yellow Springs Instrument, U.S.A.)와 pH meter (istek, Inc, Korea)를 이용하여 매일 2회 (07:00, 14:00) 측정하였으며 투명도는 14:00에 Secchi

disc를 이용하여 cm 단위로 측정하였다. 현장에서의 신속한 수질분석과 수질관리를 위하여 간이수질키트(Merck Co., Germany)를 이용하여 매일 TAN, NO₂-N 및 alkalinity를 측정하였으며, 사육수 영양염류의 정확한 분석을 위하여 매주 1 L씩 사육수를 채수하여 해양환경공정시험방법(해양수산부, 1999)에 따라서 TAN, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P를 분석하였다.

새우의 WSSV 감염률 조사

새우의 WSSV 감염률은 PCR 검사 및 광학현미경 하에서의 새우 갑각의 흰반점 형성 정도를 조사하는 두가지 방법으로 수행하였다. PCR에 의한 조사는 실험 시작 전과 종료시에 아래와 같은 방법으로 수행하였다. 종묘(postlarva)의 경우는 각 20 마리씩을 개체별로 whole body를, 성체는 각각 20마리씩 개체별로 1-2개의 복지(pleopod)를 분리한 후 DNA extraction kit (Qiagen Co., U.S.A.)를 이용하여 genomic DNA를 추출한 후 PCR의 template로 사용하였다. WSSV의 primer는 서해특성화 연구센터에서 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. 흰반점(white spot) 형성 강도는 사육 실험 중간에 1-3회 실시하였으며 각 20마리의 개체를 무작위 선택하여 광학현미경 하에서 갑각을 검경하여 갑각면적에 대한 흰반점의 상대적 면적률을 6단계(none=0; 1-20%=1; 21-40%=2; 41-60%=3; 61-80%=4; 81-100%=5)로 구분하여 평균값을 계산하였다.

성장률 및 생존율 조사

황복은 입식 및 수확 시에 전 개체에 대하여 체중, 체장을 측정하였다. 새우의 경우에는 입식 후 1주일 간격으로 사육지별 10 마리 이상 채집된 표본의 체중과 전장에 근거, 주간 성장률을 계산하였으며 최종 성장률은 사육지별 100마리 이상의 표본에 근거하였다. 생존율은 수확시 황복은 전수조사를, 새우는 최종 생산량 개체평균 중량으로부터 산출하였다.

결 과

일반 수질환경의 변화

실험기간 동안 4개 사육지의 수온, DO, 염분, pH, alkalinity

Table 2. Average and range of water quality variables in four shrimp ponds

Ponds	W.T. (°C)	DO (ppm)	Salinity (psu)	pH	Alkalinity (ppm)	Secchi disk visibility (cm)
Polyculture LvP	27.5(21.9-34.2)	7.15(3.63-11.8)	27.5(19.0-31.3)	8.1(7.7-8.8)	125.7(100-140)	43(20-100)
Control Lv	27.5(21.3-34.1)	7.03(4.14-10.68)	25.6(17.5-32.0)	8.2(7.8-8.7)	129.6(100-150)	40(20-80)
Polyculture FcP	27.5(20.5-32.1)	7.04(3.95-11.23)	24.7(17.0-31.5)	8.1(7.6-8.7)	122.7(100-140)	30(15-50)
Control Fc	27.4(23.2-31.3)	7.57(4.01-11.25)	26.8(20.0-31.0)	8.2(7.6-8.6)	129.0(105-145)	31(20-50)

Lv, *L. vannamei*; LvP, *L. vannamei*+puffer; Fc, *F. chinensis*; FcP, *F. chinensis*+puffer. Numbers are average values with minimal and maximal values in parenthesis.

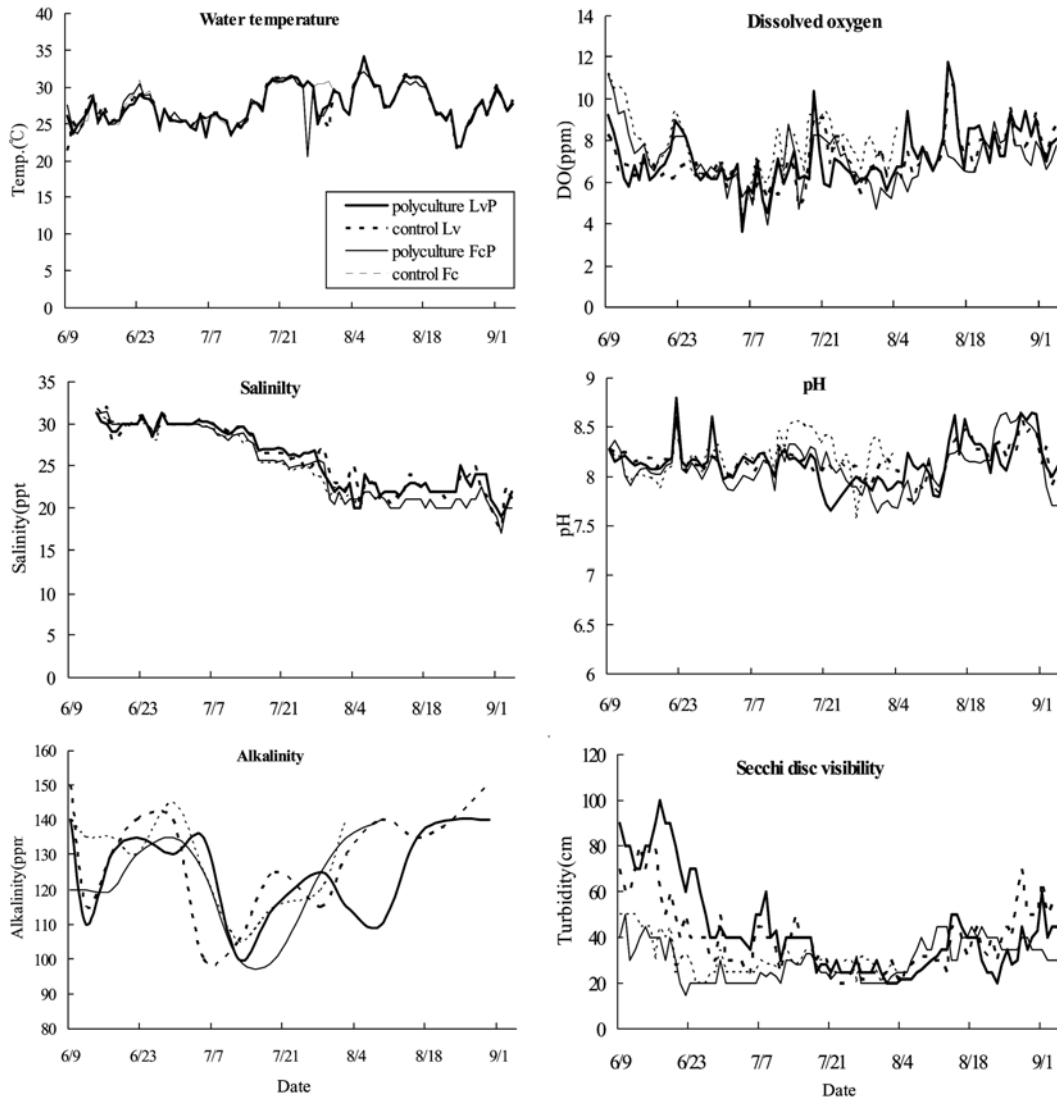


Fig. 1. Changes of water quality variables in four shrimp ponds during cultured period.

와 투명도(Secchi disc visibility)의 변화는 Table 2와 Fig. 1에 나타나 있다. 수온은 8월 초순 2일 정도 일시적으로 34°C로 상승된 시기 외에는 거의 32°C 이하를 보였으며 전 기간동안 20.5~34.2°C (각 사육지 평균 27.4~27.5°C)로 새우와 황복의 성장에 적합하게 유지되었다. 용존산소(DO)의 농도는 5월 초순 polyculture LvP에서 07:00 측정시 일시적으로 3.63 ppm으로 저하된 것 외에는 전 기간 최저 요구농도인 4.0 ppm 이상으로 유지되었으며 각 사육지의 평균 농도는 7.03~7.57 ppm였다. 염

분은 17.0~32.0 psu로서 실험 시작 시에는 4개 사육지 모두 31 psu 이상이었으나 점차 낮아져서 실험 종료시에는 20 psu 이하로 떨어졌지만 모두 대하와 흰다리새우의 성장범위를 벗어나지는 않았다. pH는 polyculture LvP와 control Fc에서 일시적인 일간 변화를 제외하고는 7.6~8.8 (각 사육지의 평균 8.1~8.2)의 범위 내에서 비교적 안정되게 유지되었다. Polyculture LvP에서는 6월 22일, 6월 29일과 8월 15일, control Fc에서는 7월 31일 일간 pH가 0.5 이상 상승 혹은 하강이 관찰되었다. Alkalinity

는 4개의 사육지가 100 ppm까지 저하된 것을 제외하면 전 기간 100~150 ppm (각 사육지의 평균 125.7~129.6 ppm)으로 새우의 성장에 안정된 범위를 유지하였다. Secchi disc로 측정된 투명도(turbidity)는 polyculture LvP와 control Lv가 각각 평균 43, 40 cm, polyculture FcP와 control Fc는 각각 30, 31 cm로서 흰다리새우를 입식한 사육지가 대하 사육지에 비해 평균 10~13 cm 높았다. Polyculture LvP와 control Lv는 실험 초기에 투명도가 80~100 cm 정도로서 식물플랑크톤의 번식이 좋지 않았지만 7월 중순 이후부터 50 cm 전후로 낮아지면서 수질이 안정화되기 시작하였으며 이후에는 polyculture FcP와 control Fc와 비슷한 농도를 유지하였다.

영양염 농도의 변화

4개 사육지의 전 사육기간 동안의 영양염(TAN, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P) 농도의 평균값 및 최대, 최소 범위는 Table 3에 나타나 있다. 흰다리새우를 복합 혹은 단독 양식한 polyculture LvP와 control Lv에서 TAN 농도는 7월 중순부터 서서히 증가하기 시작하여 8월에 들어서는 1.0 ppm 이상으로 높아져 8월 말에는 최고 1.46 ppm까지 증가하였으며 polyculture LvP는 양식 후기까지 0.56 ppm 이하를 유지하였다. Polyculture LvP와 control Lv의 평균 TAN 농도는 각각 0.37, 0.08 ppm으로 polyculture LvP가 control Lv에 비해 4.6배 이상 높았다. NO₂-N의 농도도 TAN과 비슷한 경향을 보여주었다. Polyculture LvP는 7월 중순까지 거의 변화를 보이지 않다가 7월 20일 이후 급격히 증가하여 8월 초순까지 0.1 ppm 이상을 유지하였다. Control Lv는 polyculture LvP보다 늦은 8월 초부터 약간 높아져서 8월 17일 0.075 ppm을 정점으로 감소하였다. Polyculture LvP와 control Lv의 평균 NO₂-N 농도는 각각 0.05, 0.02 ppm으로 새우에게 영향을 줄 정도의 농도는 아니었으며 control Lv는

polyculture LvP에 비해 2.5배 높았다. NO₃-N 농도의 변화도 암모니아와 아질산염과 유사한 경향을 보였으며 평균 질산염 농도는 polyculture LvP와 control Lv에서 각각 0.15, 0.09 ppm으로 polyculture LvP가 control Lv에 비해 약 2배 정도 높았다. PO₄-P는 polyculture LvP의 경우, 초기에는 낮은 농도로 유지되었으나 7월 27일부터 점차 증가하기 시작하여 8월 17일 0.43 ppm으로 최고치를 보인 후에 약간 감소하였으며 control Lv는 7월 6일까지 0.1 ppm 이상의 농도를 유지하다가 이후 점차 감소하였다. PO₄-P의 평균 농도는 NO₃-N과 비슷하게 polyculture LvP가 control Lv에 비해 약 2배 높게 나타났다. 대하를 복합 혹은 단독 양식한 polyculture FcP와 control Fc에서 TAN의 평균 농도는 각각 0.14, 0.03 ppm으로 polyculture FcP가 control Fc에 비해 4.7배 높으며 control Fc에서 7월 27일 0.74 ppm으로 갑작스런 상승을 제외하고는 전 기간 낮은 농도를 유지하였다. NO₂-N의 농도는 전 기간 0.1 ppm 이하의 낮은 농도를 유지되었으며 polyculture FcP와 control Fc의 평균 농도는 각각 0.011, 0.003 ppm으로 polyculture FcP가 control Fc에 비해 3.7배 높았다. NO₃-N는 polyculture FcP에서는 8월 초순까지 낮은 농도를 유지하다가 8월 9일 0.35 ppm으로 상승된 것 외에는 전체적으로 낮은 농도를 유지하였으며 control Fc도 0.1 ppm 이하를 유지하였다. Polyculture FcP와 control Fc의 평균 NO₃-N는 각각 0.073, 0.033 ppm으로 polyculture FcP가 control Fc에 비해 약 2.2배 높게 나타났다. PO₄-P는 polyculture FcP와 control Fc에서 전 기간 0.1 ppm 이하를 유지하여 황복과 새우의 성장에 영향을 미치지 않은 것으로 조사되었다.

흰반점바이러스(WSSV) 감염률

종묘입식 전에 조사된 PCR에 의한 흰다리새우와 대하의 WSSV 감염률은 각각 35%, 45% 였으며 수확시의 감염률은 모

Table 3. Average and ranges of nutrient concentration in four shrimp ponds

Ponds	TAN (ppm)	NO ₂ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	PO ₄ -P (ppm)
Polyculture LvP	0.37(0.004-1.46)	0.05(0-0.177)	0.15(0.015-0.435)	0.15(0.006-0.43)
Control Lv	0.08(0.02-0.56)	0.02(0-0.075)	0.09(0.02-0.36)	0.07(0.022-0.134)
Polyculture FcP	0.14(0.003-0.741)	0.011(0-0.061)	0.073(0.019-0.355)	0.02(0-0.071)
Control Fc	0.03(0.006-0.076)	0.003(0-0.009)	0.033(0.018-0.057)	0.023(0.00.062)

Lv, *L. vannamei*; LvP, *L. vannamei*+puffer; Fc, *F. chinensis*; FcP, *F. chinensis*+puffer. Numbers are average values with minimal and maximal values in parenthesis.

Table 4. Rate of PCR-positive reactions for white spot syndrome virus (WSSV) and degree of white spot formation on carapace in *Litopenaeus vannamei* and *Fenneropenaeus chinensis* collected from four shrimp ponds

Ponds	Positive rate of PCR (%)			Degree of white spot formation*		
	Jun. 13	Aug. 9	Sep. 14	Jul. 20	Aug. 17	Aug. 31
Polyculture LvP	35	-	100	0	1.2	1.0
Control Lv	35	-	100	0	0.4	0.2
Polyculture FcP	45	100	-	0.2	-	-
Control Fc	45	100	-	1.2	-	-

*Degree of white-spot formation: percentage of relative white spot area to carapace area (none=0; 1-20%=1; 21-40%=2; 41-60%=3; 61-80%=4; 81-100%=5). Lv, *L. vannamei*; LvP, *L. vannamei*+puffer; Fc, *F. chinensis*; FcP, *F. chinensis*+puffer.

Table 5. Summary of results from monoculture and polyculture trials of *Litopenaeus vannamei* and *Fenneropenaeus chinensis* with river puffer

Species	Polyculture LvP		Control Lv	Polyculture FcP		Control Fc
	<i>L. vannamei</i>	puffer	<i>L. vannamei</i>	<i>F. chinensis</i>	puffer	<i>F. chinensis</i>
Stocking density(/m ²)	46.9	0.22	43.4	24.6	0.25	30.3
Initial B.W.(g)	0.0013	73.0	0.0013	0.054	73.0	0.054
Final B.W.(g)	14.58	129.4	16.51	4.38	140.5	4.17
Total production(kg)	401.5	47.6	210.3	7	32.9	-
Unit production(kg/m ²)	0.22	0.026	0.13	-	0.02	-
Survival rate(%)	32.4	92	18.2	4.0	58.5	-
Cultured period(day)	95	53	95	58	53	52
Date of mass mortality	-	-	mid-Aug.	Aug. 9	-	Aug. 3

Lv, *L. vannamei*; LvP, *L. vannamei*+puffer; Fc, *F. chinensis*; FcP, *F. chinensis*+puffer.

두 100%로 나타났다. 갑각에 형성된 흰반점의 상대비율은 흰다리새우의 경우 7월 20일에는 모두 0이었으며 8월 17일에는 polyculture LvP와 control Lv가 각각 1.2, 0.4, 8월 31일에는 1.0, 0.2로 관찰되었다. 대하를 입식한 polyculture FcP와 control Fc에서는 7월 20일 각각 0.2, 1.2로 조사되었다.

새우와 황복의 생존율 및 생산량

(1) 흰다리새우-황복 복합양식과 단독양식

흰다리새우와 황복의 복합양식(polyculture LvP), 흰다리새우 단독양식(control Lv)의 결과는 Table 5에 나타나 있다. 새우는 2005년 6월 11일부터 9월 14일까지 95일간 사육하였으며, 황복은 2005년 7월 24일부터 9월 15일까지 53일간 사육하였다. 새우의 생존율은 polyculture LvP와 control Lv에서 각각 32.4%, 18.2%로 polyculture LvP가 control Lv에 비해 78% 높았으며 생산량은 각각 401.4, 210.3 kg으로 polyculture LvP가 control Lv보다 91% 높게 나타났다. 면적당 새우의 단위생산량은 polyculture LvP와 control Lv가 각각 0.22, 0.13 kg/m²로서 polyculture LvP가 control Lv에 비해 69.2% 높게 나타났다. 수확시 새우의 체중은 polyculture LvP와 control Lv가 각각 14.58, 16.51 g으로 복합양식구가 단독양식구에 비해 7% 작았으며 이러한 체중의 차이는 7월 이후 전 기간에 걸쳐 관찰되었다(Fig. 2). Polyculture LvP에서는 WSSV에 감염된 새우(갑각의 흰반점 형성)가 발견되기는 하였지만 대량폐사는 발생하지 않았으며, control Lv에서는 8월 중순경 WSSV로 폐사된 새우들이 대량으로 발견되었다. 황복의 생존율은 92%였으며 수확시 체중은 129.4 g으로 입식시 체중 73 g에 비해 77.2% 성장하였다.

(2) 대하-황복 복합양식과 단독양식

대하와 황복의 복합양식(polyculture FcP) 및 대하 단독양식(control Fc)의 결과는 Table 5와 Fig. 3에 나타나 있다. 새우는 2개의 사육지에 모두 2005년 6월 13일 입식하여 control Fc에서는 대량폐사가 발생한 8월 3일까지 52일간 사육하였으며 polyculture FcP에서는 8월 9일까지 58일 사육하였다. 황복은 7월 24일 입식하여 9월 25일 수확하였다. WSSV에 감염되어

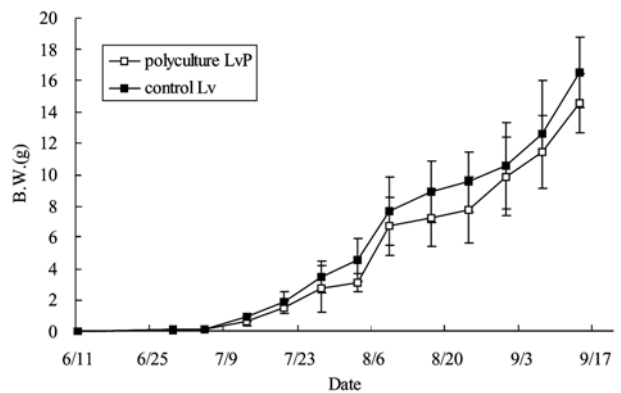


Fig. 2. Changes of body weight of *Litopenaeus vannamei* in ponds of polyculture LvP (*L. vannamei*+puffer) and control Lv (*L. vannamei*).

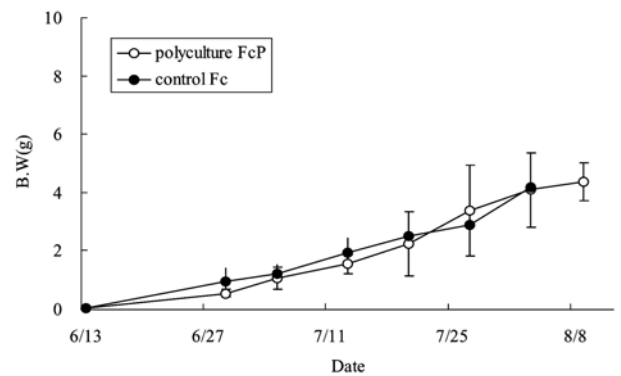


Fig. 3. Changes of body weight of *Fenneropenaeus chinensis* in ponds of polyculture FcP (*F. chinensis*+puffer) and control Fc (*F. chinensis*).

폐사된 새우는 7월 말 control Fc에서 처음으로 발견되기 시작하여 8월 3일 이전에 전량이 폐사되었다. Polyculture FcP에서는 1주일 정도 늦게 대량폐사가 진행되었으며 8월 9일에 거의 대부분 폐사되어 7 kg 만이 수확되었다. 수확시 생존한 개체들의 평균 체중은 polyculture FcP와 control Fc가 각각 4.38, 4.17 g이었으나, 7월 중순까지의 성장률은 흰다리새우에서와 마찬가지로 polyculture FcP가 control Fc에 계속 낮게 유지되었다(Fig. 3).

황복의 생존율은 58.5%였으며 수확시 체중은 평균 140.5 g으로 입식 체중(73 g)에 비해 약 2배 성장하였다.

고 찰

WSSV 감염과 새우의 생존율

새우의 WSSV 검출을 위하여 조직병리학적 방법(Wongteerasupaya et al., 1995), in situ hybridization (Durand et al., 1996), 면역학적 반응(Nadala and Loh, 2000), western blot (Nadala et al., 1997), polymerase chain reaction (Lo et al., 1996a) 등 다양한 방법들이 개발되었으며 이중 PCR은 가장 민감하면서도 편리하여 일반적으로 사용되고 있다. Nested PCR에 의해 조사된 실험 새우종묘는 흰다리새우와 대하의 WSSV 감염률이 각각 35%, 45%로서 입식 시기부터 이미 WSSV에 심하게 감염되어 있었으며 실험 종료시(수확 혹은 대량폐사 후)의 감염률은 모든 실험구에서 100%로서 모든 새우들이 감염된 것으로 나타났다(Table 4). WSSV는 사육수 내에 감염새우 혹은 감염된 숙주가 함께 서식하거나 감염새우의 공식을 통하여 매우 빠르게 전염될 수 있다. 또한 숙주의 범위도 매우 광범위하여 현재 양식되고 있는 모든 보리새우과(family Penaeidae)를 포함한 해산 및 담수산의 새우류와 가재류 등의 모든 십각류 뿐 아니라 요각류, 등각류 등의 갑각류(Lo et al., 1996c; Chakraborty et al., 2002; Sahul Hameed et al., 2003)와 심지어는 로티퍼(Yan et al., 2004), 이매패, 갯지렁이(Vijayan et al., 2005) 등에서도 발견되고 있다. 이러한 광범위한 감염의 경로를 고려해볼 때 본 실험의 종료 시에 나타난 높은 감염률이 어떠한 경로를 통하여 진행되었는지는 정확하게 추정하기는 어렵다. 그러나 실험 시작 전에 2회에 걸친 양식장 사육수의 염소 소독으로 해수에 존재할 수 있는 WSSV 중간숙주의 유생과 알을 제거하였으며 실험중간에 공급한 사육수도 염소로 소독하여 이용하였기 때문에 WSSV의 감염률 증가는 실험 시작 후에 유입된 감염원(중간숙주) 혹은 사육지 내의 감염새우에 의해 수평적으로 감염되었을 가능성이 높다. 실험새우 간의 수인성 및 공식(cannibalism)은 WSSV 감염 확산에 직접적인 영향을 미친다는 사실은 많은 연구와 경험에서도 확인되었으며(Flegel et al., 1997; Soto and Lotz, 2001) 특히 흰다리새우에 비해 공식습성이 강한 대하의 경우는 공식에 의한 감염확산이 더 빨리 진행될 것으로 판단된다. 이와 더불어 계는 새우양식장에 바이러스를 전염시키는 중요한 바이러스 중간숙주로 작용한다(Supamattaya et al., 1988; Kanchanaphum et al., 1998). 본 실험 양식장은 매년 반복적으로 WSSV가 발병하여 과거 5년간 새우가 정상적으로 수확된 적이 없었는데 주변에는 특히 계가 많이 서식한다. 사육실험이 진행되는 중에 계의 유입을 방지하기 위하여 양식장 제방을 따라 그물망을 설치하고 주변에 통발 및 함정을 설치하여 매일 계를 제거하였으나 실험기간 내내 상당수의 계가 여전히 양식장 내에서 발견되었다. 이러한 점으로 미루어 본 실험에서 계

도 새우의 WSSV 감염확산에 영향을 미친 주요 요인으로 작용했을 것으로 판단된다.

WSSV에 감염된 새우라도 모두 발병으로 이어지지는 않는다는 사실은 잘 알려져 있으며 수온, 염분과 같은 환경요인의 급작스런 변화 등의 스트레스는 발병의 trigger로 작용할 수 있고 또한 새우 중에 따라서 바이러스에 대한 감수성도 차이가 있다(Flegel et al., 1995; Lightner and Redman, 1998). 대하를 사육한 polyculture FcP와 control Fc의 경우 각각 58일, 52일째 모두 폐사하였으나 흰다리새우를 사육한 polyculture LvP와 control Lv는 생존율의 차이는 있으나 실험종료시인 95일째까지 생존한 사실은 흰다리새우가 대하에 비해 WSSV에 대한 감수성이 낮다는 점을 시사하며 이러한 경향은 많은 새우양식장에서도 경험적으로 잘 알려져 있다. 또한 흰다리새우를 단독양식한 control Lv에서는 8월 중순경에 WSSV의 병리적 증상을 나타낸 새우들이 대량으로 폐사되는 일이 발생하였으나 일시에 대량으로 폐사한 대하와는 달리 수확시까지 18.2%가 생존하여 두 종간의 WSSV에 대한 감수성에 차이가 있음을 뒷받침해준다. 앞서 언급한 바와 같이 WSSV는 동일 공간에 서식하는 새우 개체 간에 물을 통하여 전염되기도 하지만 사육지 간의 전염도 물에 의해 이루어진다는 가능성이 본 실험에서도 관찰되었다. WSSV로 폐사된 새우는 7월 말경 대하 단독구인 control Fc에서 처음 발견되었으며 약 1주일 후인 8월 3일에 대량폐사가 발생되었다. 이후 6일 후인 8월 9일 polyculture FcP에서 대량폐사가 발생되었으며 이어서 1주일 후인 8월 중순경 흰다리새우 단독구인 control Lv에서 대량폐사가 일어났다. 실험사육지는 저수지를 중앙에 두고 4개가 일렬로 배열되어 있으며 배열된 WSSV의 발생은 사육지의 배열 순서대로 1주일 간격을 두고 일어났다. 각 사육지에는 paddle 형 수차가 설치되어 있어 항상 미세한 물방울이 주위 사육지로 확산되기 때문에 이러한 WSSV의 연속적인 발생은 물에 의한 수평적 전염에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 양식현장에서는 WSSV가 발병된 사육지는 신속하게 염소 등으로 소독을 실시하여 다른 사육지로의 전염을 방지하는 것이 바람직하다.

WSSV에 감염된 새우는 유영력과 섭식활동이 저하되고 체색이 붉게 변하며 갑각 내측을 따라 미세한 흰색의 반점들이 형성되는데 이러한 증상들이 발현되기 시작하면 3-10일 이내에 심할 경우에는 100%까지 폐사가 발생하기도 한다(Flegel, 1997; Lightner, 1999). 갑각의 흰반점은 이 바이러스(white spot syndrome virus)의 이름이 유래된 전형적인 병리적 증상의 하나로서 갑각 내면에 상피층으로부터 분비된 칼슘염의 축적에 의해 형성되는데(Chow et al., 1995) 큰 반점들은 육안으로도 식별이 가능하여 양식현장에서 WSSV 감염의 간접지표로 이용되기도 하지만 급성으로 진행될 경우에는 흰반점이 형성되지 않고도 폐사가 발생하기도 한다. 실험 시작 후 약 1개월째인 7월 20일 광학현미경에 의한 조사 시 흰다리새우에서는 흰반점이 전혀 관찰되지 않은 반면, 대하는 복합구와 단독구에서 흰반점 형성 강도

는 각각 0.2, 1.2로 나타나(Table 4) WSSV의 증식이 이미 상당히 진행되어 대하의 조기 폐사와 연관이 있음을 추측할 수 있다. 그러나 이후 8월 17일, 31일 2회에 걸쳐 조사된 흰다리새우의 흰반점 형성 강도는 0.2~1.2로서 7월에 조사된 대하와 비슷한 강도인데도 불구하고 수확시까지 생존한 점으로 미루어 두 종간에 WSSV에 대한 감수성의 차이와 관련이 있는 것으로 추측된다.

복합양식과 단독양식의 비교

본 실험에서 황복과의 새우와의 복합양식은 새우 단독양식에 비해 새우의 생존율과 생산량이 높은 것으로 나타났다. 흰다리새우의 경우 복합양식구(polyculture LvP)의 최종 생존율 32.4%로서 단독양식구(control Lv)의 18.2%에 비해 78% 높았으며 단위생산량은 0.22 kg/m²로 단독양식구의 0.13 kg/m²에 비해 69.2%가 높았다(Table 5). 흰다리새우 단독구의 경우 대하 사육구에서 WSSV에 의한 대량폐사 발생 1주일 후인 8월 중순경 부분적인 대량폐사가 발생하였으나 복합양식구에서는 이러한 현상이 발견되지 않은 것은 황복에 의한 감염새우의 선택적인 포식활동의 결과로 바이러스의 확산이 억제되었을 것으로 추측된다. 일반적으로 축제식 새우양식장에서는 postlarva 10~15기의 종묘를 입식하여 약 20 g의 성체를 수확하는데 질병 피해 등의 특별한 피해 없이 정상적으로 양성될 경우 최종 생존율인 약 50%에 이르며 단위생산량은 0.3 kg/m²에 달한다. 그러나 2004년 전국 새우양식장의 평균 생존율은 약 20%이며 단위생산량은 0.102 kg/m² (Jang and Jun, 2005)인 점을 고려하면 복합양식구의 생존율과 생산량은 여전히 높다고 할 수 있다. 그러나 대하를 사육한 polyculture FcP와 control Fc에서는 거의 모든 새우가 8월 초순에 폐사하여 복합양식의 효과를 비교하기가 힘들다. 비록 황복을 함께 사육한 polyculture FcP에서는 최종적으로 7 kg의 새우가 생존하였으며 단독구에 비해 WSSV 발병이 1주일 정도 늦게 발생하기는 하였지만 이러한 발병의 지연이 황복과의 복합양식 효과에 기인하는 것인지 아니면 그 밖의 다른 요인에 의하여 단독구에서 먼저 발병이 일어난 것인지는 확인하기 어렵다. 앞서 언급한 바와 같이 대하와 흰다리새우는 WSSV에 대한 감수성이 차이가 있기 때문에 동일한 조건 하에서라도 대하는 흰다리새우에 비해 WSSV에 의한 피해가 훨씬 심할 수 있다. 대하와 흰다리새우의 WSSV 감수성에 대한 정확한 비교는 보고되어 있지 않지만, 보리새우과의 다른 종간에는 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Wang et al., 1999b; Chen et al., 2004). 실제로 아시아지역에서 많이 양식되는 보리새우 *P. japonicus*, 홍다리얼룩새우 *P. monodon*, *P. semisulcatus*는 동일한 조건으로 WSSV를 인위감염 시킬 경우 2주 후의 폐사율은 *P. semisulcatus*의 26~47%인 반면 보리새우와 홍다리얼룩새우는 80%로서 WSSV 감수성은 종에 따라서 크게 차이가 난다(Chen et al., 2004). 본 연구에서 대하는 흰다리새우에 비해 황복과의 복합양식에 적합하지 않은 것으로

나타났지만 대하도 육식성 어류와의 복합양식에서 좋은 효과를 얻을 수 있는 것으로 보고되어 있다. Wang et al.(1997)은 1.0~1.5 ha의 축제식 양식장에 대하를 육식성인 농어와 복합 혹은 단독으로 양식한 결과, 2개의 대하 단독구는 바이러스 발병으로 모두 폐사되었지만 황복과의 복합사육한 4개의 사육지의 생존율은 22.9~31.7%로서 농어에 의한 감염새우의 포식활동이 대하의 바이러스 발병을 효과적으로 억제시킴으로써 대하도 복합양식 대상종으로의 충분한 가능성을 보여 주었다. 새우양식장에서 질병의 발병과 그것의 정도는 사육조건과 사육수의 수질 등을 포함한 환경요인, 새우의 발생단계 및 종묘의 초기 감염 정도 등에 의해서 달라질 수 있지만 바이러스의 독성(pathogenicity) 차이도 하나의 요인으로 작용할 수 있다. WSSV는 지리적으로 많은 변이가 있으며 이들 간에 병원성도 차이가 있지만 병원성은 종간의 감수성만큼 심한 차이를 보이는 것 같지는 않다. Wang et al.(1999b)은 중국, 태국, 미국을 포함한 6개의 서로 다른 지역에서 분리된 WSSV를 흰다리새우의 유생에 각각 인위감염시킨 결과 시간 경과에 따른 폐사율의 차이는 관찰되지만 결국 2주일 후에는 모든 실험구에서 100% 폐사하였으나, *Farfantepenaeus duorarum*의 경우는 지역에 따라 35~60% 만이 폐사되어 WSSV의 경우에는 종간의 감수성 차이가 지리적 변이보다 영향이 크다는 것을 보여주었다. 본 실험에서 관찰된 WSSV에 대한 대하의 높은 폐사율과 복합양식의 효과가 흰다리새우에 비하여 상대적으로 낮은 이유가 WSSV에 대한 종간의 감수성 차이에서 기인한 것인지 혹은 그 밖의 환경적인 요인에 있는 것인지는 보다 정확한 연구가 이루어져야 할 것이다. 수온, 용존산소, 염분, pH, 알칼리도 및 투명도 등의 일반 수질환경은 전기간 동안 새우의 성장에 적합한 범위를 유지하여 이러한 환경요인이 실험구의 생존율 차이에 영향을 주지는 않은 것으로 판단된다(Fig. 1, Table 2). 사육수의 영양염 농도는 대하와 흰다리새우의 복합구가 단독구에 비하여 높았지만 새우의 생존율과는 상관관계는 관찰되지 않았다(Table 3). 흰다리새우의 복합구는 단독구에 비하여 질소화합물(TAN, NO₂-N, NO₃-N) 및 인산염의 농도가 2배 이상 높았으며, 대하의 경우 복합구는 인산염을 제외하고는 단독구에 비해 2.2~4.7배 높게 나타났지만 전체적인 범위는 새우의 생존과 성장에 영향을 미치는 농도 이하로 유지되었다. 그러나 보다 큰 면적에서 복합양식을 시도할 경우에는 단독양식에 비해 영양염 농도가 보다 높아질 수 있는 점에 유의할 필요가 있다.

복합양식구의 흰다리새우는 단독양식에 비하여 생존율과 단위생산량은 높았지만 수확시 평균 체중은 13.2%가 작았다(Table 5). 양식생물에서 성장률과 사육밀도와는 역의 상관관계를 보여주는 것이 일반적이지만 두 실험구 간의 성장률의 차이는 새우의 밀도 및 생존율의 차이가 나지 않는 실험 초기부터 나타나기 시작하여 실험기간 내내 유지되었다(Fig. 2). 대하의 경우도 대량폐사로 인하여 최종 체중은 정확하게 비교할 수 없지만 비교적 성장 초기인 7월까지 이러한 경향을 보여주었다(Fig. 3). 새

우의 성장은 발생단계, 먹이, 영양, 수질, 에너지 대사 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다(Racotta and Hernandez-Herrera, 2000; Lemos and Phan, 2001). 그러나 본 실험에서 황복과의 복합사육을 제외하고는 이러한 요인들이 거의 비슷했던 점을 고려한다면 사육 초기단계부터의 복합구와 단독구의 새우 성장률의 차이는 황복의 포식활동에 의한 새우의 도피반응에 소비되는 에너지가 복합구의 새우 성장률 저하에 영향을 주었을 가능성도 있다. 육식성 어류와의 복합양식시 성장률의 저하의 원인을 알기 위해서는 새우의 도피반응과 활동에너지 등에 대한 보다 자세한 연구가 필요할 것이다.

복합양식에서의 효과를 최대한 높이기 위해서는 각 양식종의 밀도는 매우 신중하게 결정되어야 한다. 생산성 향상 혹은 수질정화의 목적으로 하는 복합양식에서 각 생물종의 적정 밀도 혹은 생물량에 대한 연구는 많이 이루어졌으나(Wang et al., 1998; Yang et al., 1998) 육식성어류에 의한 질병생물의 제거를 목적으로 하는 복합양식에서는 Wang et al. (1997)을 제외하고는 거의 보고되지 않았다. Wang et al. (1997)은 대하 20~25 마리/m²와 1년산 농어 0.00075~0.01 마리/m²의 밀도로 사육하였으며 이중 농어 0.00075~0.003 마리/m² (7.5-30 마리/ha)의 밀도에서 새우의 생존율은 22.9~31.7%의 좋은 결과를 얻었다. 본 연구에서는 흰다리새우 46.9 마리/m²와 황복 0.22 마리/m²의 밀도로 입식하여 32.4%의 새우가 생존하였으나 비록 좋은 다르지만 Wang et al. (1997)이 제안한 농어의 적정밀도에 비하여 여전히 높은 밀도이며 황복의 적정밀도에 대한 자세한 연구가 이루어져야 할 것이다. 황복은 강한 육식성 어류로서 현재 서해안 지역에서 양식이 확산되고 있어 연중 쉽게 구할 수 있으므로(Chyung, 1977; Kang et al., 2007) 새우와의 복합양식에 충분히 활용될 수 있다. 따라서 새우의 질병억제를 목적으로 황복과의 복합양식을 보다 효율적으로 수행하기 위해서는 황복의 적정밀도 및 입식시기와 크기 등에 관한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

요 약

새우양식은 90년대 서해안을 중심으로 빠르게 발달하여 2001년에는 2,605ha의 면적에서 3,268톤이 생산되었으나 2004년에는 2,368톤으로 해마다 감소되고 있다. 이러한 원인 중의 하나는 흰반점바이러스(WSSV)에 의한 대량폐사에 기인하는 것으로 알려져 있다. 흰반점바이러스는 현재 세계적으로 새우양식 산업에 심각한 피해를 입히는 바이러스로 우리나라에는 1993년 처음 보고된 후 해마다 새우양식장에 반복적인 대량폐사를 유발시킨다. 축제식 새우양식장의 질병 피해를 감소시키기 위한 방법의 하나로서 새우와 어류, 패류, 해조류를 함께 복합양식하는 방법이 많은 연구되어 있으며 또한 육식성 어류와의 복합양식은 질병새우를 선택적으로 포식함으로써 새우의 바이러스 발병을 지연 혹은 억제시키는 것으로 알려져 있다.

새우양식장에 육식성 어류인 황복 *Takifugu obscurus*을 복합적으로 사육함으로써 바이러스 억제 효과를 조사하기 위하여 수면적 1,616~1,848 m²의 4개 축제식 양식장에 각각 흰다리새우(46.9/m²), 흰다리새우(43.4/m²)+황복(0.22/m²), 대하(24.6/m²), 대하(30.3/m²)+황복(0.25/m²)의 밀도로 입식하고 95일간 사육하였다. 대하 단독구와 복합구는 각각 51일, 57일째 WSSV 발병으로 전량 폐사하였다. 흰다리새우 단독구의 생존율은 18.2%인 반면 복합구의 생존율은 32.4%이며 단위생산량은 단독구에 비해 69.2%가 높아 흰다리새우는 황복과 복합양식이 단독양식에 비해 훨씬 유리한 것으로 나타났다. 사육수의 영양염(TAN, NO₂-N, NO₃-N) 농도는 복합구가 단독구에 비해 2배 이상 높았으나 전체적으로 새우의 성장에 적정범위를 유지하였다. 대하는 흰다리새우에 비해 WSSV에 대한 감수성이 높은 것으로 나타났으며 따라서 대하와의 복합양식은 이러한 점이 충분히 고려되어야 할 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

- Apud, F. D. and S. H. Benagua, 1981. Survival, growth and production of *Penaeus monodon* and *P. indicus* at different density combinations with milkfish. Q. Res. Rep. Aquacult. Dep. Southeast Asian Fish. Dev. Cent., 5, 5-9.
- 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.
- Cai, S. L., J. Huang, C. M. Wang, X. L. Song, X. Sun, J. Yu, Y. Zhang and C. H. Yang, 1995. Epidemiological studies on the explosive epidemic disease of prawn in 1993-1994. J. China Fish., 19, 112-117.
- Chakraborty A., S. K. Otta, B. Joseph, S. Kumar, M. S. Hossain., I. Karunasagar, M. N. Venugopal and I. Karunasagar, 2002. Prevalence of white spot syndrome virus in wild crustaceans along the coast of India. Current Science (Bangalore), 82, 1392-1397.
- Chen, L. L., H. L. Hsia, H. C. Hsu, C. F. Chang, S. E. Peng, C. F. Lo and G. H. Kou, 2004. Susceptibility of *Penaeus japonicus*, *P. monodon*, and *P. semisulcatus* to White Spot Syndrome Virus (WSSV). J. Fish. Soc. Taiwan. 31, 101-114.
- 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.
- Chow, H. Y., C. Y. Huang, C. H. Wang, H. C. Chiang, and C. F. Lo, 1995. Pathogenicity of a baculovirus infection causing white spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Taiwan. *Diseases of Aquatic Organisms*, 23, 165–173.
- Chyung, M. K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa, Seoul, Korea, 727 pp (in Korean).
- Durand, S., D. V. Lightner, L. M. Nunan, R. M. Redman, J. Mari and J. R. Bonami, 1996. Application of gene probes as diagnostic tools for white spot baculovirus (WSSV) of penaeid shrimp. *Dis. Aquat. Org.*, 27, 59–66.
- 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 brackish water ponds. *Aquaculture*, 23, 59–72.
- Flegel, T. W., 1997. Major viral diseases of the black tiger prawn (*Penaeus monodon*) in Thailand. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 13, 433–442.
- 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.
- 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.
- Gonzales-Corre, K., 1988. Polyculture of the tiger shrimp (*Penaeus monodon*) with the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in brackishwater fish ponds. (in) R. S. V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai, J. L. Maclean (eds.), *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Manila, Philippines, pp. 15–20.
- 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)
- Hossain, Md. S., A. Chakraborty, B. Joseph, S. K. Otta and I. Karunasagar, 2001. Detection of new hosts for white spot syndrome virus using nested polymerase chain reaction. *Aquaculture*, 198, 1–11.
- 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 Aquaculture Society, Firenze, Italy. p. 95.
- Kanchanaphum, P.; C. Wongteerasupaya, N. Sitidilokratana, V. Boonsaeng, S. Panyim, A. Tassanakajon, B. Withyachumnarnkul and T. W. Flegel, 1998. Experimental transmission of White Spot Syndrome Virus (WSSV) from crabs to shrimp *Penaeus monodon*. *Dis. Aquat. Org.*, 34, 1–7.
- Kang, H. W., K. B. Shim, D. Y. Kang, K. C. Jo, K. C. Song, J. H. Lee, H. I. Hong, S. G. Son and Y. J. Cho, 2007. Sitological quality evaluation of cultured and wild river puffer, *Takifugu obscurus* (Abe). *J. Aquacult.*, 20, 147–153. (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.
- Lemos, D. and V. N. Phan, 2001. Energy partitioning into growth, respiration, excretion and exuvia during larval development of the shrimp, *Farfantepenaeus paulensis*. *Aquaculture*, 199, 131–143.
- Lightner, D. V., 1999. The penaeid shrimp viruses TSV, IHHNV, WSSV and YHV: Current status in the Americas, available diagnostic methods and management strategies. *J. Appl. Aquacult.*, 9(2), 27–52.
- Lightner, D. V. and R. M. Redman, 1998. Shrimp diseases and current diagnostic methods. *Aquaculture*, 164, 201–220.
- Lightner, D. V., 1999. The penaeid shrimp viruses TSV, IHHNV, WSSV, and YHV: current status in the Americas, available diagnostic methods and management strategies. *J. Appl. Aquacult.*, 9, 27–52.
- 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 shrimps, crabs and other arthropods. *Dis. Aquat. Org.*, 27, 215–225.
- 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,

- 1996c. White spot syndrome baculovirus (WSBV) detected in cultured and captured shrimp, crabs and other arthropods. *Dis. Aquat. Org.*, 27, 215–225.
- Martinez-Cordova, L. R. and M. Martinez-Porchas, 2006. Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas* and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, Mexico. *Aquaculture*, 258, 321–326.
- Nadala Jr., E. C. B., L. M. Tapay, S. Cao and P. C. Loh, 1997. Detection of yellow head virus and Chinese baculovirus in penaeid shrimp by the western blot technique. *J. Virol. Methods*, 69, 39–44.
- Nadala, E. C. B. and P. C. Loh, 2000. Dot-blot nitrocellulose enzyme immunoassays for the detection of white spot virus and yellow-head virus of penaeid shrimps. *J. Virol. Methods*, 69, 39–44.
- 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.
- Racotta, I. S. and R. Hernandez-Herrera, 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 125, 437–443.
- Sahul Hameed A. S., G. Balasubramanian, S. S. Musthaq and K. Yoganandhan, 2003. Experimental infection of twenty species of Indian marine crabs with white spot syndrome virus (WSSV). *Dis. Aquat. Org.*, 57, 157–161.
- Soto, M. A. and J. M. Lotz, 2001. Epidemiological parameters of white spot syndrome virus infections in *Litopenaeus vannamei* and *L. setiferus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 78, 9–15.
- Supamattaya, K.; R. W. Hoffmann, S. Boonyaratpalin and P. E. Kanchanaphum, 1998. Experimental transmission of white spot syndrome virus (WSSV) from black tiger shrimp *Penaeus monodon* to the sand crab *Portunus pelagicus*, mud crab *Scylla serrata* and krill *Acetes* sp. *Dis. Aquat. Org.*, 32, 79–85.
- 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.
- Tendencia, E. A., M. R. Pena and C. H. Choresca Jr., 2006. Effect of shrimp biomass and feeding on the anti-*Vibrio harveyi* activity of *Tilapia* sp. in a simulated shrimp-tilapia polyculture system. *Aquaculture*, 253, 154–162.
- Vijayan, K. K., V. Stalin Raj, C. P. Balasubramanian, S. V. Alavandi, V. Thillai Sekhar and T. C. Santiago, 2005. Polychaete worms - a vector for white spot syndrome virus (WSSV). *Dis. Aquat. Org.*, 63, 107–111.
- 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, J., D. Li, S. Dong, K. Wang, and X. Tian, 1999a. Experimental studies on intensive polyculture of Chinese shrimp with bay scallop. *J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue*, 6(1), 97–102. (in Chinese)
- Wang, Q., L. Brenda, R. White, M. Redman and D. Lightner, 1999b. 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 Kexue*, 7(4), 37–41. (in Chinese)
- Wongteerasupaya, C., J. E. Vickers, S. Sriurairatana, G. L. Nash, A. Akarajamorn, V. Boonsaeng, S. Panyim, A. Tassanakajon, B. Wityachumnarnkul and T. W. Flegel, 1995. A non-occluded, systemic baculovirus that occurs in cells of ectodermal and mesodermal origin and causes high mortality in the black tiger prawn *Penaeus monodon*. *Dis. Aquat. Org.*, 21, 69–77.
- 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.
- Yan D. C., S. L. Dong, J. Huang, X. M. Yu, M. Y. Feng and X. Y. Liu, 2004. White spot syndrome virus (WSSV) detected by PCR in rotifers and rotifer resting eggs from shrimp pond sediments. *Dis. Aquat. Org.*, 59(1), 69–73.
- Yang, H., D. Li, S. Dong and K. Wang, 1998. Basic studies on polyculture of Chinese shrimp and Taiwan red tilapia in fertilized seawater ponds. *J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue*, 5(2), 35–39. (in Chinese)
- 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. *Journal of Ocean University of Qingdao/Qingdao Haiyang Daxue Xuebao*, 28(2), 211–216. (in Chinese)

원고접수 : 2007년 10월 11일

수정본 수리 : 2007년 11월 23일