

흰다리새우 *Litopenaeus vannamei*의 생존과 혈장 삼투질 조절에 미치는 수온과 염분의 영향

김대현¹ · 김봉래 · 김종식 · 서형철 · 김수경 · 김종화 · 장인권*

국립수산과학원 서해수산연구소 갑각류연구센터

*국립수산과학원 서해수산연구소 양식연구팀

Combined Effects of Temperature and Salinity on Survival and Hemolymph Osmoregulation of *Litopenaeus vannamei*

Dae-Hyun Kim¹, Bong-Rae Kim, Jong-Seek Kim, Hyung-Cheul Seo, Su-Kyoung Kim, Jong-Hwa Kim and In-Kwon Jang*

Crustacean Research Center, NFRDI, Chungnam 357-945, Korea

*West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

Survival of 12.7 g (average body weight) *Litopenaeus vannamei* was examined at temperatures of 14, 16, 18, 28, 32, 34 and 36°C and salinities of 10, 20, 30 and 40 ppt after 7 days. Hemolymph osmolality was measured at 12 combinations of salinities (10, 20, 30 and 40 ppt) and temperature levels (18, 28 and 34°C) after 14 days. The results show that the species have their best survival between temperatures of 18 and 30°C and salinity above 20 ppt. Hemolymph osmolality increased with increased salinity at all temperatures tested. The isosmotic point calculated from the linear relationship between hemolymph osmolality and medium osmolality and recorded as 826, 809 and 1,117 mOsm/kg which is equivalent to 29.4, 28.8 and 40.2 ppt at 18, 28 and 34°C, respectively. The slopes obtained from the relationship between hemolymph osmolality and medium osmolality were 0.314, 0.276 and 0.541 for *L. vannamei* at 18, 28 and 34°C, respectively, suggesting that the shrimp at 34°C regulated osmotic concentration much worse than those at 18 and 28°C. This result also indicated that *L. vannamei* living at 34°C, showed more fluctuation in hemolymph osmolality than those at 18 and 28°C.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, Hemolymph osmoregulation

서 론

흰다리새우는 염분과 수온 변화에 잘 적응하며(Ponce-Palafox et al., 1997), 다른 보리새우류에 비해 낮은 단백질 요구량(Shiau, 1998)과 특정 산란기 없이 성숙 환경조건만 유지되면 연중 산란이 가능하여(Lotz and Ogle, 1994) 현재에는 원산지인 남아메리카 외에 세계 각지에서 널리 양식되고 있는 보리새우류의 일종이다.

우리 나라의 새우류 양식은 대하 단일 종으로만 이루어지고 있는 실정이며 90년대 초부터 아시아 전역으로 확산되어진 흰반점바이러스(WSSV, white spot syndrome virus)에 의해 해마다 많은 피해를 입고 있으며 앞으로도 지속될 전망이다. 하지만 이 바이러스에 대한 치료법이 아직 개발되지 않아 일차적으로 바이러스에 감염되지 않은 건강한 어미새우의 확보와 생식소 성

숙을 인위적으로 조절하여 건강한 수정란을 대량으로 확보할 수 있는 방법 개발이 무엇보다 중요하다.

최근 흰다리새우에 대해서는 산란용 어미새우로부터 전염되는 바이러스성 질병을 차단할 수 있는 바이러스 비감염 어미새우(SPF, specific pathogen free)와 건강종묘 생산 기술이 개발됨에 따라 다른 품종에 비하여 생산성이 높아 최근 들어 중국 및 동남아시아를 비롯한 세계 각국에서 양식 대상으로 인기가 매우 높은 품종이다. 우리 나라에서도 대하의 대체품종으로 보급하고자 국립수산과학원 갑각류연구센터에서 2003년부터 미국 하와이의 HHA (high health aquaculture Co. Inc)에서 SPF 어미새우를 도입하여 어미성숙 및 종묘생산 시험과 축체식 호지에서 양성시험을 진행하고 있다.

하지만 본 종을 대상으로 한 수온 및 염분 내성에 관해서는 수온 또는 염분 단일 조건에 의한 영향(Bray et al., 1994)을 조사하였거나, 20°C 이상의 수온에서 성장과 생존율에 미치는 수온과 염분의 영향에 관한 연구(Ponce-Palafox, et al., 1997) 등

*Corresponding author: hyoleem@yahoo.co.kr

이 보고되어 있을 뿐이다.

한편, 우리 나라의 새우양식은 봄, 가을철의 일교차에 의한 호지 수온의 급격한 변화가 일어나는 시기와 장마기간이나 여름철 폭우에 의한 단시간 내 급격한 염분 변화가 일어나는 시기에 양성되기 때문에, 이러한 사육환경의 급격한 변화가 새우의 생리상태에 미치는 영향을 정확히 파악하는 것은 매우 중요하며 이는 본 종의 국내 자연환경에서의 양식 가능성을 판단하는 기초 자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 사육수의 수온 및 염분변화에 따른 흰다리새우의 혈장 삼투질 농도의 조절과 생존에 미치는 영향을 알고자 하였다.

재료 및 방법

실험에 사용한 흰다리새우는 체중 12.7±2.3 g, 두흉갑장 22.4±2.1 mm 범위였다. 수온 25°C 전후에서 사육, 관리 중인 새우를 수온 및 염분 변화가 생존에 미치는 영향을 파악하기 위해 0.3 m³ 용량의 FRP 원형수조에 각 10마리 씩 수용하여 염분은 천일염과 담수를 사용하여 시간당 1.5 ppt의 농도로, 수온은 시간당 0.5°C씩 변화시켜, 수온은 3°C/일, 염분은 10 ppt/일의 농도로 급격히 변화시켜 수온 14, 16, 18, 28, 32, 34, 36°C 및 염분 10, 20, 30, 40 ppt 조건을 조합한 28개의 실험구에서 1주간의 생존율을 조사하였다.

한편, 혈장 삼투질에 미치는 수온과 염분의 영향은 1 m³ 용량의 FRP 원형수조에 각 20마리 씩 수용하여 수온 18, 28, 34°C 및 염분 10, 20, 30, 40 ppt 조건을 조합한 12개의 시험구에서 2주간 사육하여 새우의 혈장 삼투질 농도 및 조직 수분 함량의 변화를 조사하였다.

새우의 hemolymph는 intermolt C₁이나 early premolt D₀ 단계(Han, 1988)의 개체를 선별하여 다섯 번째 배마디와 꼬리마디 사이를 절단하여 채취하였으며, 채취한 hemolymph는 헤파린 처리 후, 원심분리(7,500 rpm, 5분) 하여 혈청을 추출한 다음 분석까지 -80°C에 보관하였다. Hemolymph의 삼투압은

mOsm/kg로 표기하였다. 사육수의 삼투압은 Chen and Lin (1994)이 제시한 관계식을 이용하여 mOsm로 환산하였다. 실험 개체의 수분함량은 dry oven (100°C)에서 중량의 변화가 없을 때까지 건조시킨 후 측정하였다. 각 실험구의 결과는 SPSS for Window 프로그램으로 one-way ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test로 처리, 평균간의 유의성 검정을 실시하였다.

결 과

사육수의 삼투질 농도의 변화에 대한 새우 조직의 수분 함량의 변화는 28°C가 가장 낮아 원활한 삼투조절이 이루어지는 것으로 판단된다. 한편, 새우 조직의 수분함량과 혈장 삼투질 농도로부터 산출한 기울기는 조직 수분함량과 사육수의 삼투질 농도로부터 산출한 기울기에 비해 1.8~4.8배 높은 값을 보임으로서 새우의 조직 수분의 변화는 사육수의 삼투질 농도보다 혈장 삼투질 농도에 보다 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 수온과 염분농도에 대한 새우의 혈장 삼투질 농도 변화의 경우, 동일 수온에서 사육수의 삼투질 농도에 따라 차이를 보이거나, 동일한 사육수의 삼투질 농도에서 온도에 따라서 새우의 혈장 삼투질 농도가 다르게 나타나 혈장 삼투질 농도는 수온과 염분의 상호작용에 의해 변화되고 있음을 보여주고 있다(Table 1 and 2).

새우 조직 수분함량은 사육수의 삼투질 농도가 높을수록 낮아지는 경향을 나타내었는데 18°C의 경우 0.0016%/mOsm, 28°C는 0.0012%/mOsm 그리고 34°C에서는 0.0015%/mOsm의 비율로 감소하였다(Table 1 and 2). 또한 조직의 수분함량은 혈장 삼투질 농도가 높을수록 낮아져 18°C에서 0.0050%/mOsm, 28°C 0.0057%/mOsm 그리고 34°C 0.0027%/mOsm의 비율로 감소하였다(Table 2).

수온과 염분농도의 변화에 따른 사육수의 삼투질 농도와 새우의 혈장 삼투질 농도의 관계식에서 산출한 isosmotic point는 18°C의 경우 826 mOsm/kg, 28°C는 809 mOsm/kg 그리고 34°C는 1,117 mOsm/kg로 나타났다(Table 2 and Fig. 1).

Table 1. Water content of tissue (%), hemolymph osmolality (mOsm/kg) of *L. vannamei* reared at different temperature and medium osmolality

T (°C)	Medium osmolality (mOsm/kg)	Water content of tissue (%) (Mean±S.E.)	Hemolymph osmolality (mOsm/kg) (Mean±S.E.)
18	302	78.44±0.43 ^{bcd}	653.4±16.87 ^h
18	572	78.61±0.41 ^{abc}	734.8±17.00 ^{gh}
18	842	77.81±0.54 ^{def}	807.8±15.80 ^{cde}
18	1,113	77.29±0.43 ^{ef}	912.0±52.74 ^{bc}
28	302	77.65±0.35 ^{ef}	697.5±15.80 ^h
28	572	77.61±0.29 ^{cde}	745.3±13.00 ^{gh}
28	842	76.90±0.16 ^f	801.6±9.90 ^{def}
28	1,113	76.85±0.14 ^{ef}	927.7±15.20 ^b
34	302	79.69±0.38 ^{ab}	735.0±4.92 ^{fgh}
34	572	79.81±0.23 ^a	781.0±8.09 ^{efg}
34	842	79.20±0.48 ^{ab}	874.1±6.69 ^{bcd}
34	1,113	78.55±0.13 ^{bcd}	1,191.0±6.79 ^a

S. E., standard error.

Table 2. Relationships between hemolymph osmolality (Y) and medium osmolality (X) and between water content of tissue (Y) and medium osmolality (X) and between water content of tissue (Y) and hemolymph osmolality (X) for *L. vannamei* reared at different temperature and medium osmolality

Temperature (°C)	Relationship	R ²	isosmotic point (mOsm/kg) (ppt)	
<i>Between hemolymph osmolality (mOsm/kg) as Y and medium osmolality (mOsm/kg) as X</i>				
18	Y=554.86+0.314 X	0.994	826	29.4
28	Y=597.54+0.276 X	0.942	809	28.8
34	Y=512.85+0.541 X	0.994	1,117	40.2
<i>Between water content of tissue (%) as Y and medium osmolality (mOsm/kg) as X</i>				
18	Y=79.147-0.0016X	0.528		
28	Y=78.072-0.0012X	0.615		
34	Y=80.370-0.0015X	0.591		
<i>Between water content of tissue (%) as Y and hemolymph osmolality (mOsm/kg) as X</i>				
18	Y=81.937-0.0050X	0.829		
28	Y=82.547-0.0057X	0.870		
34	Y=80.485-0.0027X	0.861		

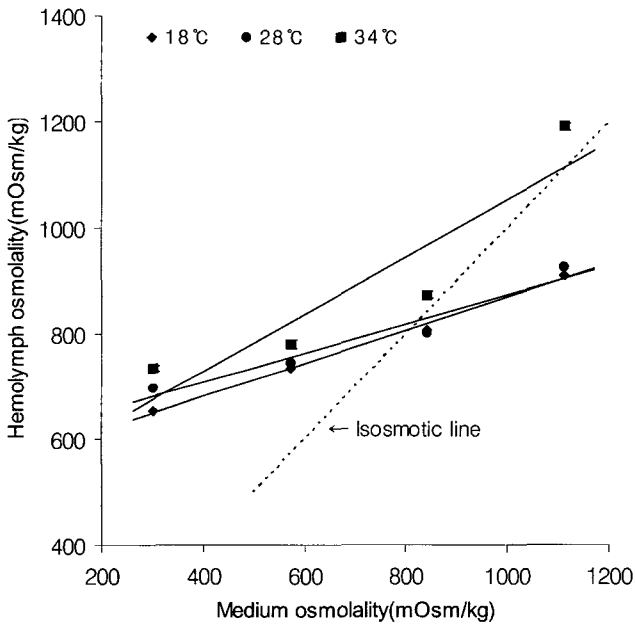


Fig. 1. Relationship between hemolymph osmolality (mOsm/kg as Y) and medium osmolality (mOsm/kg as X) after *L. vannamei* were acclimated to 10, 20, 30, and 40 ppt.

수온과 염분농도의 변화에 따른 생존율을 Fig. 2에 나타내었다. 본 종은 수온 18~30°C, 10~40 ppt 범위에서는 80%이상 높은 생존율을 보여 비교적 수온과 염분에 광범위한 내성을 보였다. 하지만 수온 34°C이상에서는 염분농도에 상관없이 40%의 생존율을 보인 반면, 14°C에서는 염분 10 ppt 시험구를 제외하고는 모든 시험구에서 70%이상 비교적 높은 생존율을 나타내었다.

고 찰

본 실험에서 흰다리새우의 혈장 삼투질 농도는 수온 18~34°C 범위에서 사육수의 염분농도의 증가와 함께 증가되는 양상을

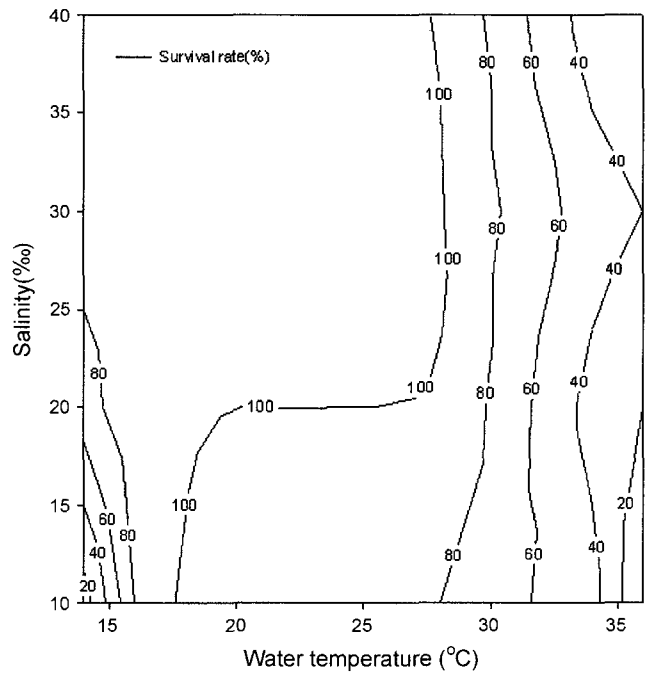


Fig. 2. Response surface showing the survival of *L. vannamei* at different temperature and salinity for 7 days. The isobars show percentage of survival.

보여 다른 보리새우류의 관찰결과와 동일한 경향을 나타내었으며(Bishop et al., 1980; Chen and Lin, 1994; Cawthorne et al., 1983; Ferraris et al., 1986; Chen and Lin, 1998), 수온에 대해서는 대체로 음의 상관 관계를 보여 대하를 대상으로 한 결과와 유사하였다(Chen and Lin, 1994; Chen et al., 1995; Chen and Lin, 1998). 혈장 삼투질 농도와 사육수의 염분농도에서 산출한 관계식의 기울기를 통해 본 종의 삼투질 농도 조절능력은 28°C가 18 및 34°C에 비해 우수한 것으로 나타났다. 한편 다른 보리새우류인 *Penaeus indicus* (Parado-Esteva et al., 1987), *P. setiferus* (Castille and Lawrence, 1981) 및 *P. stylirostris* (Castille

and Lawrence, 1981) 보다는 삼투질 농도의 조절능력이 다소 낮은 것으로 나타났다. 그리고 Castille and Lawrence (1981)는 본 종의 후기유생에서의 기율기 값이 0.21로 보고하여 본 시험구의 28°C에서 산출한 0.28과 유사하였다.

본 연구에서 흰다리새우의 isosmotic point는 18°C의 경우 826 mOsm/kg, 28°C는 809 mOsm/kg 그리고 34°C는 1,117 mOsm/kg로 나타나 고수온, 고염분에서는 혈장 삼투질 농도의 조절이 현저히 저하됨을 시사하고 있다. 이러한 결과는 본 종을 포함한 보리새우류의 삼투조절에는 염분뿐만 아니라 수온도 주요한 영향을 미치고 있음을 지적하고 있다(Charmantier-Daures et al., 1988; Chen and Lin, 1998).

본 실험결과 수온 28°C 시험구에서 본 종의 isosmotic point는 809 mOsm/kg로 나타나 Castille and Lawrence (1981)이 제시한 718 mOsm/kg (24.7 ppt)와 다소의 차이를 보였는데, 이러한 차이는 탈피단계, 영양상태, 새우의 크기(Charmantier et al., 1994; Lignot et al., 1999) 등 생물학적 요인과 계절(Dehnel, 1962, Charmantier, 1975), 온도(Williams, 1960; Charmantier-Daures et al., 1988; Chen and Lin, 1998), 용존산소(Charmantier et al., 1994), 암모니아 농도(Lin et al., 1993) 등 무생물학적 요인이 생물에 영향을 미치기 때문인 것으로 알려져 있다.

새우 조직의 수분함량은 사육수의 동일한 염분농도에서 수온이 높을수록 변화가 작아지고, 염분농도가 높을수록 조직의 수분 함량이 낮아지는 경향을 보인다고 하였는데(Chen and Lin, 1998), 본 연구결과에서도 동일하였다.

흰다리새우는 온도와 염분 변화에 비교적 잘 적응하는 능력을 가지는 것으로 알려져 있다. 본 종의 후기유생은 수온 30°C 및 염분 40 ppt이하에서는 높은 생존율을 나타내며 35°C이상의 고수온에서는 현저히 생존율이 낮아져 생존과 성장에 가장 적합한 수온과 염분은 28~30°C와 33~40 ppt 범위라고 보고하고 있다(Ponce-Palafox et al., 1997). 본 연구에서도 수온 16~30°C 염분 20 ppt이상에서 80%이상 높은 생존율을 보여, 새우 양성이 주로 이루어지는 5~10월의 호지 수온이 평균 16~30°C 범위인 점을 고려할 때(구, 1999), 본 종은 우리 나라 축제식 양식장의 새로운 양식대상 품종으로 검토될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Bishop, J. M., J. G. Gosselink and J. H. Stone, 1980. Oxygen consumption and hemolymph osmolality of brown shrimp, *Penaeus aztecus*. Fish. Bull., **78**: 741-757.
- Bray, W. A., A. L. Lawrence and J. R. Leung-Trujillo, 1994. The effect of high salinity on the survival and growth of juvenile *Penaeus vannamei*, *P. stylirostris*, and *P. monodon*. in: Abstracts. World Aquaculture, 90, 121/CP6. National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada.
- Castille, F. L. Jr and A. L. Lawrence, 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium, and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. Comp. Biochem. Physiol., **68**: 75-80.
- Cawthorne, D. F., T. W. Beard, J. Davenport and J. F. Wickins, 1983. Response of juvenile *Penaeus monodon* Fabricius to natural and artificial seawaters of low salinity. Aquaculture, **32**: 165-174.
- Charmantier, G., 1975. Variations saisonnières des capacités ionorégulatrices de *Sphaeroma serratum* (Fabricius, 1787) (Crustacea, Isopoda, Flabellifera). Comp. Biochem. Physiol., **68**: 75-80.
- Charmantier, G., C. Soyeux and C. Aquacop, 1994. Effect of molt stage and hypoxia on osmoregulatory capacity of the penaeid shrimp *Penaeus vannamei*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **178**: 233-246.
- Charmantier-Daures, M., P. Thuet, G. Charmantier and J. P. Trilles, 1988. Tolérance à la salinité et osmorégulation chez les post-larves de *Penaeus japonicus* et *P. chinensis* Effect de la température. Aquat. Living Resource, **1**: 267-276.
- Chen, J. C. and J. N. Lin, 1994. Osmolality and chloride concentration in the hemolymph of subadult *Penaeus chinensis* subjected to different salinity levels. Aquaculture, **125**: 167-174.
- Chen, J. C. and J. N. Lin, 1998. Osmotic concentration and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles reared at different salinity and temperature levels. Aquaculture, **164**: 173-181.
- Chen, J. C., M. N. Lin, Y. Y. Ting and J. N. Lin, 1995. Survival, haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels. Comp. Biochem. Physiol., **110**: 253-258.
- Dehnel, P. A., 1962. Aspects of osmoregulation in the crab *Hemigrapsus nudus*. Can. J. Zool., **52**: 923-937.
- Ferraris, R. P., F. D. Parado-Esteva, J. M. Ladjá and E. G. De Jesus, 1986. Effect of salinity on the osmotic, chloride, total protein and calcium concentrations in the hemolymph of prawn *Penaeus monodon* (Fabricius). Comp. Biochem. Physiol., **83**: 701-708.
- Han, C. H., 1988. Physiological studies on the reproductive cycle of a freshwater prawn, *Macrobrachium nipponense* (De Haan). PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tokyo, 1988.
- Lignot, J. H., J. C. Cochard, C. Soyeux, P. Lemaire and G. Charmantier, 1999. Osmoregulatory capacity according to nutritional status, molt stage and body weight in *Penaeus stylirostris*. Aquaculture, **170**: 79-92.
- Lin, H. P., P. Thuet, J. P. Trilles and R. Mounet-Guillaume, 1993. Effect of ammonia on survival and osmoregulation of various development stages of shrimp *Penaeus japonicus*. Mar. Biol., **117**: 591-598.
- Lotz, J. M. and J. T. Ogle, 1994. Reproductive performance of the white-legged shrimp *Penaeus vannamei* in recirculating seawater systems. J. World Aqua. Soc., **22**: 167-172.
- Parado-Esteva, F. D., R. P. Ferraris, J. M. Ladjá and F. G. De Jesus, 1987. Response of intermolt *Penaeus indicus* to large fluctuations in environmental salinity. Aquaculture, **64**: 175-184.
- Ponce-Palafox, C., A. Martinez-Palacios and L. G. Ross, 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and sur-

- vival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture*, **157**: 107–115.
- Shiau, S. Y., 1998. Nutrient requirements of penaeid shrimps. *Aquaculture*, **164**: 77–93.
- Williams, A. B., 1960. The influence of temperature on osmotic regulation in two species of estuarine shrimps (*Penaeus*). *Biol. Bull.*, (Woods Hole, Mass) **119**: 560–571.
- 구자근, 1999. 대하, *Penaeus chinensis* 양식장의 환경 특성과 생산성에 관한 연구. 부경대학교 대학원 석사학위논문, 57 pp.

원고접수 : 2004년 6월 17일

수정본 수리 : 2004년 9월 2일

책임편집위원: 한경민