

사육수 조성에 따른 대하(*Fenneropenaeus chinensis*)의 공식 및 혈액학적 성상의 변화

김수경* · 김석렬**†

*국립수산과학원 서해수산연구소, **공주대학교 스마트수산자원학과

Characterization of cannibalism and blood in fleshy shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* according to rearing water

Su Kyoung Kim* and Seokryel Kim**†

*West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science,
Taeon, 32132, Republic of Korea

**Dept. of Smart Fisheries Resources Science, Kongju National University, Yesan, 32439, Korea

This study investigated carnival behavior in the nursery stage of *Fenneropenaeus chinensis*. In order to suppress the carnival behavior and improve the survival rate, it was examined whether there was a carnivalism inhibitory effect according to the rearing water of shrimp. In addition, their blood physiological changes were observed. As a result, in the experimental group with the size difference of *F. chinensis*, the survival rate was the highest in the biofloc technology (BFT) rearing water of olive flounder (75%), and in the experimental group without the size difference, the survival rate was the highest in the seawater experiment group (93%). In both experimental groups, rate of carnival behavior was observed to be low in the fed experimental group regardless of the size difference of *F. chinensis*. As a result of blood cell analysis of *F. chinensis* according to the rearing water, the percentage of granulocytes was the highest in the BFT rearing water of flounder (75%) and the lowest in the filtered seawater group (66%). The proportion of semi-granulocytes was the highest at 11% in the shrimp BFT rearing water, and the lowest at 7% in the filtered seawater. The proportion of hyalinocytes was highest in filtered seawater (27%) and lowest in flounder BFT rearing water (16%). These results suggest that carnival behavior and blood composition of *F. chinensis* may be different depending on the conditions of the rearing water in the nursery stage.

Key words: *Fenneropenaeus chinensis*, Carnival behavior, Nusery state, BFT, Blood physiological

서 론

대하(*Fenneropenaeus chinensis*)는 십각 목(目), 보리새우 과(科), 대하 속(屬)으로 주 분포수역은 북

위 34° 이북의 중국의 북부 및 발해만과 우리나라의 남, 서해에 서식하는 대형 새우이다(Kim, 2012). 국내에서 대하 양식은 1990년대 이후 서해안을 중심으로 급속하게 발달하기 시작하여 2004년에는 전국 연안 양식면적 2,600ha에서 2,426 mt을 생산하였으나 이후 양식생산량이 해마다 급속히 감소하여(Jang et al., 2011), 2010년부터는 새우양식이

†Corresponding author: Seokryel Kim
Tel: +82-41-330-1141, Fax: +82-41-330-1172
E-mail: seokryel@kongju.ac.kr

대하에서 흰다리새우로 99% 이상 품종이 대체되었다(Fig. 1; KOSIS, 2021). 대하양식이 쇠퇴하게 된 이유는 여러 요인으로 분석되고 있지만 그중 하나가 바이러스성 질병인 흰반점병(white spot disease)에 의한 대량폐사가 주된 요인으로 알려져 있고(Chou et al., 1995; Jang, 2009), 다른 측면으로는 기존 축제식 새우양식장의 특성상 누적되는 사료찌꺼기, 배설물 등에서 유래된 많은 질소화합물에 의한 사육수의 부영양화와 수질악화가 질병을 가중 시킨 것으로 추정되고 있다(Liu et al., 2004).

새우양식장에서 질병과 수질악화를 극복하기 위해 외부 해양환경과 차단된 실내 바이오플락 기술(bio-floc technology, BFT)을 이용한 양식이 주목받고 있다(Cho et al., 2010; Browdy et al., 2001). BFT는 1990년 이스라엘 잉어(*Cyprinus carpio*), 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)를 이용한 담수양식에서 처음 개발되었고, 이후 미국에서 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*)를 적용한 연구가 이어졌으며, 초기에는 무환수(un-exchanging water), 고밀도(super-intensive) 양식으로 불렸으나 2008년도부터는 미생물의 기능성을 바탕으로 바이오플락의 효과가 강조된 BFT 양식 그리고 미생물을 최대로 활성화시키기 위해 갖춘 시스템을 BFT 양식시스템로 명명하게 되었다(McIntosh, 2000; Samocha et al., 2000;

Cho et al., 2010). BFT양식 기술은 국내에서 2000년 초반에 도입되어 2010여년부터 흰다리새우 양식장에 보급되었으며, '21년 국내 87개소 이상 육상 실내 새우양식이 운영되고 있다. 이러한 고밀도 BFT 기술을 이용하여 쇠퇴한 대하 양식의 가능성을 검토하기 위한 연구가 진행되고 있으나, 대하의 경우 초기 고밀도 성장 단계에서 서로 잡아먹는 공식(cannibalism) 현상이 흰다리새우 보다 강하게 나타나 생산성이 낮게 나타난다.

공식현상은 다른 동물을 먹는 행위로, 여기에는 이미 죽은 동물의 소비뿐만 아니라 다른 종 및 동종을 공격/먹는 행동이 포함되며, 공식은 많은 십각류 갑각류 그룹에서 관찰 된다(Polis, 1981; Claessen et al., 2003). 다른 동물들과 달리 갑각류는 크기가 커지기 위해 탈피과정을 거치면서 단단한 외골격을 제거해야 하는 단계적 성장을 하고, 탈피는 갑각류의 성공적인 번식과 교미에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 탈피 과정에서 갑각류는 스스로를 방어할 수 없으므로 새 껍질이 완전히 석회화 될 때까지 공식에 매우 취약하고, 성공적인 탈피 후에는 상대적으로 짧은 시간에 약 2배 상당한 크기 증가로 이어질 수 있으며, 잠재적 피해개체가 더 작은 종에 대한 공격자가 될 수 있다(Marshall et al., 2005). BFT 기술을 이용한 고밀도 대하 양식

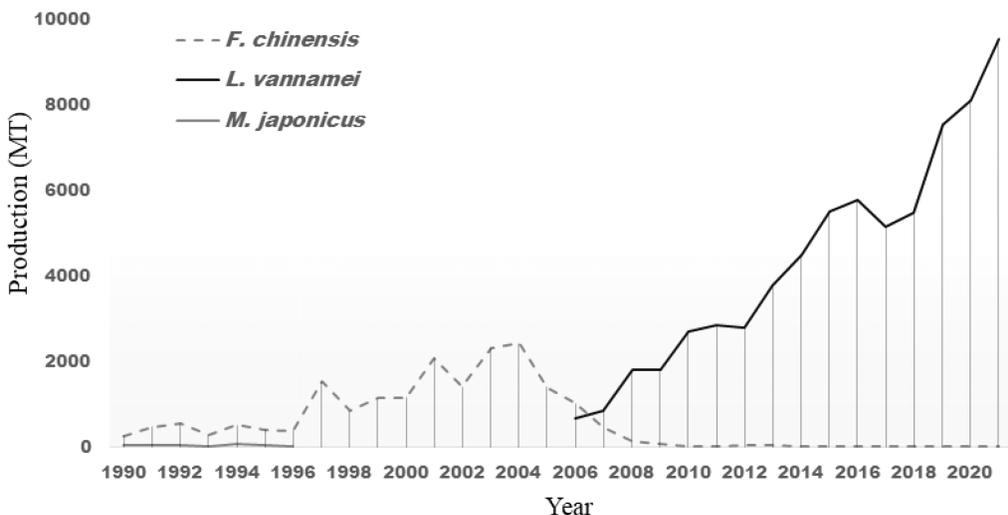


Fig. 1. Production of cultured shrimps (*Fenneropenaeus chinensis*, *Marsupenaeus japonicus*, *Litopenaeus vannamei*) in Korea.

을 위해서는 공식 문제가 반드시 해결되어야 하는 요소기술이다. 최근까지 갑각류 공식에 미치치는 요인으로 온도, 크기, 먹이, 은신처, 광도 등 다양한 연구가 진행되었으나, 사육수에 따른 연구는 진행된 바 없다.

이에 본 연구에서는 대하를 사용한 BFT 양식 과정 중 중간육성 단계에서 발생하는 공식문제를 해결하기 위해 특성이 다른 사육수에 따라 대하의 공식 현상이 달라지는가를 검토하였고, 이들의 혈액 성상이 변화하는지를 조사하였다.

재료 및 방법

사육수 및 공식 실험

공식 실험에 사용한 대하는 중간육성 한 0.8~2.0 g 치하를 이용하였다. 공식실험 설계로 크기 차이가 있는 그룹(Group I), 크기 차이 없는 그룹(Group II)로 나누고, 두 그룹으로 사육수에 따른 공식 현상이 다른지를 검토하기 위해 어류의 향취가 있는 넙치 BFT 사육수(Group I-1, II-1), 기존 새우 BFT 사육수(Group I-2, II-2), 여과 해수(Group I-3, II-3)와 먹이 공급에 따른 차이를 보기 위해 사료공급 유(Group A), 무(Group B)에 따른 실험구로 설정하여 같은 조건의 수조가 3배수가 되게 구성하였다

(Fig. 2). 각 실험구는 50 L 수조에 대해 20마리씩을 수용하고 10일간 공식현상을 관찰하였다. BFT 사육수는 자체 연구 중인 넙치와 대하 사육수를 사용하였는데, 새우 BFT 사육수는 대하를 90 m² 사각 수조에서 860마리/m² 밀도로 대하를 79일간 사육하여 암모니아, 아질산 농도 0.1 mg/L이하의 안정화된 사육수를 이용하였고, 넙치 BFT사육수는 넙치를 49 m² 사각수조에서 40마리/m² 밀도로 85일간 사육하여 암모니아 0.7 mg/L, 아질산 농도 3~6 mg/L이하의 사육수를 이용하였으며, 여과해수는 10 um 카트리지 필터를 통과시킨 해수를 이용하였다(Table 1). 개체 차이가 있는 실험구의 큰 개체 평균 체중은 2.00±0.95 g, 작은 개체 평균 체중은 0.79 ±0.39 g으로 각각 크기별로 10마리씩 총 20마리를 수용하였고, 사료공급 유무에 따른 실험구는 사료공급구에 1일 1회 총 생물량의 5% 공급하였으며, 공식 개체를 확인하였다.

수질분석

수조별 수온, 용존산소, 염분과 pH는 휴대용 수질분석기(YSI-EXO2, YSI Inc., USA)를 이용하여 측정하였고, 질소 화합물인 암모니아(NH₄), 아질산(NO₂) 및 질산(NO₃)은 분석용 키트(Merck & Co., Inc., USA)를 이용하여 매일 1회 측정하였다.

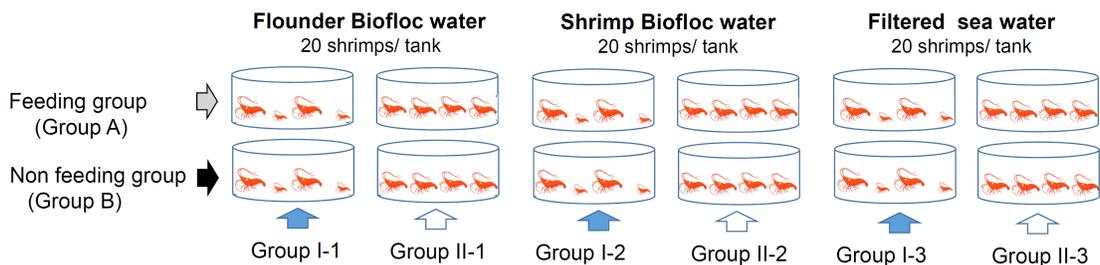


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup for cannibalism of fleshy shrimp, *F. Chinensis*.

Table 1. Water environment of each experimental trial for cannibalism of fleshy shrimp

Trial	Temp. (°C)	DO (mg/L)	Salinity (psu)	pH	NH ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Alkalinity (mg/L)
Flounder BFT	26.1±0.6	6.2±0.2	35±0.1	8.2±0.4	0.18±0.17	0.15±0.06	135.7±3.45
Shrimp BFT	25.7±0.8	6.4±0.2	32±0.2	8.2±0.3	0.69±0.81	3.22±3.55 ^a	139.3±3.45
Seawater	25.3±1.2	6.6±0.3	32±0.1	8.4±0.4	0.72±0.55	0.19±0.15	140.7±5.35

^a: Values with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$), BFT: biofloc technology.

혈구 종류(hemocytotype) 분석

사육수에 따라 대하 혈액의 변화가 있는가를 검토하기 위해 혈액은 Alsever's solution 처리된 주사기를 이용해 채취하였다. 혈림프액 중 혈구 형태별로 분류하기 위하여 DNA의 이중가닥에 부착할 수 있는 형광색소인 SYBR Green I (Sigma-Aldrich, USA)으로 다음과 같이 염색하였다. 150 μ L 혈림프액에 동일량의 3% 포르말린으로 고정시킨 후, 1,000 \times SYBR green I(final dilution=10 \times)을 첨가하여 실온의 암실에서 90분간 반응시키고, 유세포 분석기 (Accuri C6 flow cytometer, Becton-Dickinson, USA) FL-1 detector를 이용하여 SYBR green I에 염색된 세포들만을 선택하였다. 선택된 혈구들은 유세포 분석기의 forward scatter (FSC)와 side scatter(SCC)를 이용하여 세포의 크기와 내부 밀도에 따라 혈구의 종류를 분류하고 각 종류 별 구성 비율을 측정하였다. 혈림프액 중의 총 혈구의 수를 측정하기 위하여 총 10,000개의 세포를 계수한 시간을 기록하였다. 혈림프액 1 ml 당 혈구의 수는 다음과 같이 계산하였다. 총 혈구 수=[10,000/(A \times B)] \times 2, A는 10,000개의 혈구세포를 측정하는 시간이며, B는 1분당 유세포 분석기의 유속, 2는 희석배수이다. 총혈구 수에 대한 혈구 종류별 구성 비율을 계산하여 혈림프액 중 혈구 종류별 수를 계산하였다.

혈구 식세포율(phagocytosis rate)

사육수에 따른 혈구 식세포율을 측정하기 위하여 형광 bead(fluorescent bead; 2.0 μ m diameter, Polyscience Inc.)를 이용하였다. 150 μ L 혈림프액에 동일량의 멸균된 해수와 희석한 후, 30 μ L의 희석된 2% 형광 bead를 첨가하여 실온의 암실에서 120분간 식세포 작용을 유도하고, FSC/FL-1 dot plot에서 형광 bead를 식작용 한 혈구들만을 선택하여 FL-1/Count histogram에서 형광 bead를 3개 이상 식작용 한 혈구들을 선택한 후, 전체 혈구 수에 대한 비율을 계산하여 phagocytosis index로 나타내었다.

혈장성분 분석

사육수에 따른 혈장성분 분석 위해 채취한 혈림프액을 4 $^{\circ}$ C에서 3000 \times g로 15분간 원심 분리하여 혈장을 분리하였다. 분리된 혈장 유기성분으로

Cholesterol, Total protein, Glucose를 측정하였다. 콜레스테롤은 비색법, 총 단백질은 Biuret법, 글루코스는 효소법에 의해 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd)를 이용하였다.

통계분석 방법

혈액학적 성상 및 혈장성분 분석 결과에 대한 통계학적 유의성은 SPSS 통계 프로그램(SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA test를 실시하여 Tukey's multiple range test를 통해 $P < 0.05$ 일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

결과 및 고찰

공식 실험

수조별 공식 현상 관찰 한 결과, 개체 차이가 있는 경우(Group I), 넙치 BFT 사육수에서 생존율이 급이구(Group I-1-A) 75%, 비급이구(Group I-1-B) 43%이었고, 새우 BFT 사육수에서 급이구(Group I-2-A) 60%, 비급이구(Group I-2-A) 48%이었고, 여과 해수에서는 급이구(Group I-2-A) 63%, 비급이구(Group I-3-A) 58%이었다. 개체 차이가 있는 구간(Group I)에서는 넙치 BFT 사육수에서 급이한 경우(Group I-1-A)가 가장 낮은 공식율 25%를 보였고, 같은 사육수 비급이 구간(Group I-1-B)에서 공식율이 63%로 가장 높았다.

개체 차이가 없는 경우(Group II)에서는 넙치 BFT 사육수에서 생존율이 급이구(Group II-1-A) 73%, 비급이구(Group II-1-B) 60%이었고, 새우 BFT 사육수에서 급이구(Group II-2-A) 73%, 비급이구(Group II-2-B) 68%이었고, 여과 해수에서는 급이구(Group II-3-A) 93%, 비급이구(Group II-3-B) 63%이었다. 개체 차이가 없는 구간에서는 여과 해수에서 급이한 경우(Group II-3-A) 공식율이 7%로 가장 낮게 관찰되었고, 넙치 BFT 사육수에서 비급이한 경우(Group II-1-B) 공식율이 40% 가장 높았다. 전반적으로 개체차이가 없고, 급이한 사육조에서 공식율이 낮았고, 개체 차이가 있고 비급이 구간에서 공식율이 높았다(Table 2).

새우류의 후기 유생~중간 육성 단계의 공식 행동은 높은 대사율과 성장률과 밀접한 연관성이 있으며, 크기 차이는 갑각류의 잦은 탈피로 인해 중

Table 2. Survival rate of each experimental trial for cannibalism of fleshy shrimp

Trial	Survival rate (%)	Shrimp size different		Shrimp size not different	
		Fed	starved	Fed	Starved
Flounder BFT water		75	43	73	60
Shrimph BFT water		60	48	73	68
Seawater		63	58	93	63

BFT: biofloc technology.

간 육성 기간 동안 상대적으로 짧은 기간 내에 공식 현상이 촉진될 수 있다(Marshall et al., 2005; Sotelano et al., 2012; Mirera and Moksnes, 2015).

적절한 급이와 최적의 먹이 밀도는 갑각류의 중간 육성에 중요한 역할을 하는 것으로 잘 알려져 있으나(Zeng and Li, 1999; Baylon et al., 2004; Ventura et al., 2008), 이것은 시각적 관찰이 어려운 작은 시기와 새우류 중간 양성 단계에서 발생하는 폐사율 때문일 것이라는 의견도 있다(Sui et al., 2011).

실제로 대부분의 양식 새우 종들은 탈피시 기회적 먹이생물이 되고, 동종포식 행동을 보이기도 한다(Thomas 1980; Boddeke 1983). 흰다리새우의 경우 일반적으로 수용 가능한 수질과 함께 충분한 먹이가 제공되는 경우 중간육성 이후에 생존율이 높은 것으로 보고되어 있다(Wasielecky et al., 2006; Sookying et al., 2011). Zhang et al. (2010)은 흰다리새우의 고밀도 중간육성에서 인공 기질을 넣어 은신 공간을 만들면 생존율과 증체율 증가에 효과적이었다고 보고하였다. 본 연구에서도 은신처로서 물에 뜨는 미세 그물망과 다단 파관구조를 설치한 결과 은신처가 없는 대조구보다 공식 억제 효과가 있음을 확인하였다(데이터 미제출). 또한, 흰다리새우는 전형적으로 동기간의 암컷이 수컷보다 성장이 빠르지만 사료가 제한적일 경우 공식행동이 알려져 있고, 흰다리새우 성장에서 성별보다 크기

가 더 중요한 요인으로 작용하는 것으로 보인다(Moss and Moss 2006).

본 연구에서 광주기에 대한 연구는 진행되지 않았으나 여러 갑각류의 경우 급이 활동과 탈피는 광주기와 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되었다. 갑각류는 하루 종일 급이 활동을 하지만 종에 따라 급이 활동이 최대로 활발한 시기는 다르다. 계의 경우 일반적으로 새벽과 해질 무렵에 관찰되는 반면(Clark et al., 1999) 가재류는 주로 야행성이다(Crear et al., 2003; Frank et al., 2013). 이처럼 공식 현상에 탈피, 온도, 광주기 등이 영향을 미치는 요소로 보고되어 있고 이를 조절할 수 있는 순환여과 시스템이 공식을 완화할 수 있는 양식 방법으로 제시되기도 하였다(Franke et al., 2013).

수질 환경

실험기간 동안 수질 변화는 Table 1에 나타내었다. 평균으로 수온 25~26°C, 용존산소(DO) 6.2~6.6 mg/L, 염분 32.1~35.1 psu, pH 8.2~8.4, 암모니아 0.18~0.69 mg/L, 아질산 0.15~3.22 mg/L로 유지하였다. 넙치 BFT 사육수의 염분이 3 psu 정도 높았고, 새우 BFT 사육수의 아질산 농도 다른 실험구보다 3 ppm 정도 높게 유지 한 것을 제외한 나머지 항목들은 실험구간 큰 차이를 보이지 않았다. 대하의 아질산 급성 독성에서 반수 치사농도는 24 hr에 289 ppm, 48 hr에 105 ppm, 72 hr에 45ppm, 96 hr에

Table 3. Blood type rate in the hemolymph of each experimental trial for cannibalism of fleshy shrimp

Trial	Blood types (%)	Granulocytes	Semi-granulocytes	Hyalinocytes
		Flounder BFT water	75±0.10 ^a	9±0.06
Shrimph BFT water		71±0.09	11±0.08	18±0.08
Seawater		66±0.14	7±0.05	27±0.15

^a: Values with different superscripts are significantly different ($p<0.05$), BFT: biofloc technology.

39 ppm정도로 보고되어 있어(Jee and Kang, 2004), 본 연구에서 0.15~3.22 ppm은 대하의 생존에 영향을 미치는 농도는 아닌 것으로 사료되었다.

혈구 분포 특성

유세포 분석기를 이용한 대하 혈구내 세포 형태, 크기 및 내부 밀도에 따라 granulocytes, semi-granulocytes와 hyalinocytes의 3가지 종류로 구분되었다(Table 3). 이들 혈구 집단 내 세포 종류의 구성비는 granulocytes의 비율이 71%정도로 가장 많았으며, hyalinocytes가 평균 20%이며, semi-granulocytes가 평균 9%로 가장 적었다. 사육수별 비교해본 결과 granulocytes의 비율이 넙치 BFT 사육수에서 75%로 가장 높았고, 여과해수에서 66%로 가장 낮았다. Semi-granulocytes의 비율은 새우 BFT 사육수에서 11%로 가장 높았고, 여과해수에서 7%로 가장 낮았다. Hyalinocytes의 비율은 여과해수에서 27%로 가장 높았고, 넙치 BFT 사육수에서 16%로 가장 낮았다. Toney (1958)는 갑각류의 혈구를 과립의 크기에 따라 림파구(lymphocyte), 단핵구(monocyte)와 두종류의 explosive granulocyte로 구분하였으나, 이후 Martin 등(1987)은 *Sicyonia ingentis*의 혈구를 바탕으로 과립의 유무, 크기에 따라 투명혈구(hyaline cell)와 과립혈구(granular cell)로 구분되고 과립 혈구는 소과립혈구(small granulocyte)와 대과립혈구(large granulocyte)로 구분하였다. 본 연구에서 대하의 혈구는 과립의 크기에 따라 granulocytes, semi-granulocytes로 투명혈구 hyalinocytes 3가지로 나뉘어 비슷한 양상을 보였다.

본 연구에서 대하 혈구분석에 사용된 유세포 분석기는 다양한 분야에서 이용되고 있고, 1990년도 이후부터 해양 무척추동물인 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 등의 혈구 기능의 연중 변화를 모니터링 하는데 주로 사용되었는데(Soudant et al., 2004; Fly-Sainte-Marie et al., 2009), 새우와 같은 무척추동물의 혈구 분석에 유용한 것으로 판단되었다.

혈액 분석

혈액분석 결과(Fig. 3) 혈액 내 헤모시아닌 농도는 실험 시작 시 1.246±0.04 mmole/L로 10일간 새우 바이오플락 먹이공급 실험구를 제외한 나머지

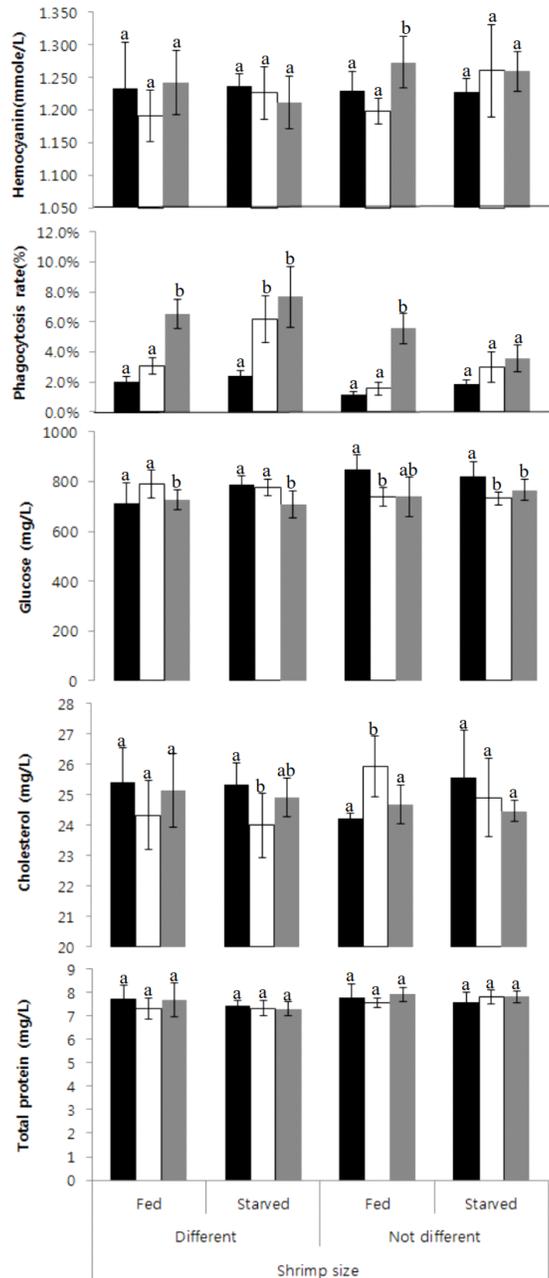


Fig. 3. The hematological parameter of fleshy, *F. chinensis* according to the different rearing environment for 10 days. Values with different letters indicate significantly different ($p < 0.05$) after one-way ANOVA following Tukey's multiple range test. (■: Founder BFT water, □: Shrimp BFT water, ▨: Filtered sea water). ^{a,b}: Values with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

실험구에서 유의적 차이가 없었다. 헤모시아닌 농도는 해수 먹이공급 실험구가 다른 실험구에 비해 높게 나타난 반면 혈구 사망률은 새우 바이오플락 사육수에서 높게 나타났는데 새우 바이오플락 사육수 내 높은 아질산농도가 혈구 생존에 영향을 미친 것으로 사료된다. 혈액 내 대식(phagocytosis) 작용을 보면 일반해수가 일부 바이오플락 실험구보다 유의적으로 높게 나타났는데, 이는 새우 혈구 세포 중 대식작용을 하는 것으로 밝혀진 hyaline cell이 일반해수가 바이오플락 사육수보다 10% 더 많이 관찰된 것과 관련이 있는 것으로 사료된다 (Llario et al., 2019). 갑각류의 혈구 중 hyaline cell 들은 외골격의 경화와 혈액의 손실 발지를 위한 응고와 외부에서 침입한 이물질을 식균작용하는 면역기능을 갖는 것으로 보고되어 있다(Bauchau, 1981). Kim 등 (2015)은 흰다리새우의 경우 바이오플락이 보조먹이로 이용되면서 양식생물의 성장과 면역력 향상에도 효과가 있음을 보고하였으나, 대하의 경우에는 일반해수가 혈구수도 많았고 대식작용도 활발한 것으로 판단되었다.

본 연구는 대하의 중간육성 단계에서 공식행동을 억제시키고 생존율을 향상시키기 위해 중간육성 단계에서 사육수에 따라 공식 억제 효과가 있는지를 검토하였고 이들의 혈액 생리학적 변화가 어떻게 변하는지 관찰하여, 크기 차이가 있는 경 넙치 BFT사육수에서 가장 생존율이 높았고, 크기 차이가 없는 경우에는 해수에서 생존율이 가장 높게 관찰되었다. 이는 대하의 공식에 크기, 급이, 온도, 광주기 등 여러 요인이 있으나 사육수에 따라서도 생존율이 달라질 수 있음을 제시하였다.

사 사

본 연구는 2021년 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2022014)의 지원으로 수행되었습니다.

References

Bakhshi F., Najdegerami, E.H., Manaffar, R., Tukmechi, A. and Farah, K.R. Use of different carbon sources for the biofloc system during the grow-out culture of common carp (*Cyprinus carpio* L.) finger-

- lings. *Aquaculture* 484: 259-267, 2018
- Bauchau A.G. Crustaceans. *Invertebrate Blood Cells*. vol. 2. Academic Press, New York. pp 386-420, 1981.
- Baylon, J.C., Bravo, M.E.A. and Manigo, C. Ingestion of *Brachionus plicatilis* and *Artemia salina* nauplii by mud crab *Scylla serrata* larvae. *Aquacult Res*, 35: 62-70, 2004.
- Boddeke R. Survival strategies of penaeid shrimps and their significance for shrimp culture. In: Roger GL, Day R, Lim A (eds), *Proceeding of the 1st International Conference of Warmwater Aquaculture*. Louisiana, USA, pp 514-523, 1983.
- Browdy C.L., Bratvold D., Stokes A.D. and McIntosh R.P. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: *The new wave, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture*. Browdy CL and Jory DE, eds. *Aquaculture, The World Aquaculture Society*, Baton Rouge, Louisiana, U.S.A., 20-34, 2001.
- Cho Y.R., Kim, B.R. and Jang, I.K. Super-intensive culture of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), in HDPE-lined ponds with no water exchange. *Kor J Fish Aquat Sci*, 43(3): 331-339, 2010.
- Chou H.Y., Huang C.Y., Wang C.H., Chiang H.C. and Lo C.F. Pathogenicity of a baculovirus infection causing white spot syndrome in cultured penaeid shrimp in Taiwan. *Dis Aquat Org* 23: 165-173, 1995.
- Clark, M.E., Wolcott, T.G., Wolcott, D.L. and Hines, A.H. Foraging and agonistic co-occur in free-ranging blue crabs (*Callinectes sapidus*): Observation of animals by ultrasonic telemetry. *J Exp Mar Biol Ecol*, 233: 143-160, 1999.
- Crear, B.J., Hart, P.R. and Thomas, C.W. The effect of photoperiod on growth, survival, colour and activity of juvenile southern rock lobster *Jasus edwardsii*. *Aquacult Res*, 34: 439-444, 2003.
- Dauda A.B., Romano, N., Ebrahimi, M., Teh, J.C., Ajadi, A., Chong, C.M., Karim, M., Natrah, I. and Kamarudin, M.S. Influence of carbon/nitrogen ratios on biofloc production and biochemical composition and subsequent effects on the growth, physiological status and disease resistance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in glycerol-based biofloc systems. *Aquaculture* 483: 120-130, 2018.
- Franke, R., Wessels, S. and Horstgen-Schwark, G. Enhancement of survival and growth in crowded groups: The road towards an intensive production of the noble crayfish *Astacus astacus* L. in indoor recirculation systems. *Aquacult Res*, 44: 451-461,

- 2013.
- Jang I.K. and Jun J.C. Current status of shrimp diseases and its control in Korea. In: The first Korea-U.S. Seminar and Workshop on the sustainable marine shrimp culture: Challenges and opportunities for the future of marine shrimp farming. August 8-12, 2005.
- Jang I.K., Kim J.S., Seo H.C. and Cho K.J. Intensive culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, under limited water exchange. II. Indoor post-nursery culture of juvenile shrimp. *J Aquacult* 22: 42-50, 2009.
- Jang I.K., Kim J.S., Kim B.R. and Meng X.H. Comparison of white spot syndrome virus quantification of fleshy shrimp *Fenneropenaeus chinensis* in outdoor ponds between different growing seasons by Taq Man real-time polymerase chain reaction. *Aquacult Res*, 42: 1869-1877, 2011.
- Lee J.H. and Kang J.C. Acute toxicity of nitrite, ammonia and hydrogen sulfide for early developmental stage of *Fenneropenaeus chinensis*. *J Fish Pathol*, 17(3): 199-205, 2004.
- Kim, J.H., Jeong, E.H., Kim, S.R., Kim, S.K., Kim, S.K. and Hur, Y.B. Changes in water quality and hematological parameters according to the stocking density of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* raised in bio-floc environment. *Korean J Environ Biol*, 37(2): 155-163, 2019.
- Kamilya, D., Debbarma, M., Pal, P., Kheti, B., Sarkar S. and Singh, S.T. Biofloc technology application in indoor culture of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings: The effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity. *Chemosphere* 182: 8-14, 2017.
- Kim, J.N. Invertebrate Fauna of Korea; Shrimps I. 21(14): 13, 2012.
- Kim, S.K., Guo, Q. and Jang, I.K. Effect of biofloc on the survival and growth of the postlarvae of Penaeids (*Litopenaeus vannamei*, *Fenneropenaeus chinensis*, and *Marsupenaeus japonicus*) and their biofloc feed efficiencies, as related to the morphological structure of the third maxilliped. *J Crusta Biol*, 35: 41-50, 2015.
- Korean Statistical Information Service, <http://www.kosis.kr>. 2021
- Liu, C.H. and Chen, J.C. Effect of ammonia on the immune response of white shrimp *Liopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus*. *Fish Shellfish Immunol* 16: 321-334, 2004.
- Mansour, A.T. and Esteban, M.A. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol*, 64: 202-209, 2017.
- Marshall, S., Warburton, K., Paterson, B. and Mann, D. Cannibalism in juvenile blue-swimmer crabs *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1766): Effects of body size, moult stage and refuge availability. *Appl Anim Behav Sci*, 90: 65-82, 2005.
- Martin, G.G., Hose, J.E. and Kim, J.J. Structure of hematoxic nodules in the ridgeback prawn *Sicyonia ingentis*: light and electron microscopic observations. *J Morph*, 192: 193-204, 1987.
- McIntosh, R.P. Changing paradigms in shrimp farming: V. Establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquaculture Advocate* 3: 52-54, 2000.
- Mirera, D.O. and Moksnes, P.O. Comparative performance of wild juvenile mud crab (*Scylla serrata*) in different culture systems in East Africa: Effect of shelter, crab size and stocking density. *Aquacult Int*, 23: 155-173, 2015.
- Moss, D.R. Moss, S.M. Effects of gender and size on feed acquisition in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 37: 161-167, 2006.
- Samocha, T.M., Blacher, T., Cordova, J. and De Wind, A. Raceway nursery production increases shrimp survival and yields in Ecuador. *Global Aquaculture Advocate* 3: 66-68, 2000.
- Sookying, D., Silva, F.S.D., Davis, A. and Hanson, T.R. Effects of stocking density on the performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured under pond and outdoor tank conditions using a high soybean meal diet. *Aquaculture*, 319: 232-239, 2011.
- Sotelano, M.P., Lovrich, G.A., Romero, M.C. and Tapella, R.F. Cannibalism during intermolt period in early stages of the Southern King Crab *Lithodes santolla* (Molina 1872): Effect of stage and predator-prey proportions. *J Exp Mar Biol Ecol*, 411: 52-58, 2012.
- Sui, L., Wille, M., Cheng, Y., Wu, X. and Sorgeloos, P. Larviculture techniques of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. *Aquaculture*, 315: 16-19, 2011.
- Thomas, M. Food and feeding habits of *Penaeus semisulmatus* de Haan at Mandapam. *Indian Journal of Fisheries* 27: 130-139, 1980.
- Toney, D. Morphology of the blood cells of some crustacea. *Growth*, 22: 35-50, 1958.
- Ventura, R., da Silva, U.A.T., Perbiche-Neves, G., Ostrensky, A., Boeger, W.A. and Pie, M.R. Larval cannibalism rates in the mangrove crabs *Ucides cor-*

- datus* (Decapoda: Ocypodidae) under laboratory conditions. *Aquacult Res*, 39: 263-267, 2008.
- Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A. and Browdy, C.L. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258: 396-403, 2006.
- Zeng, C. and Li, S. Effects of density and different combinations of diets on survival, development, dry weight and chemical composition of larvae of the mud crab, pp 159-166. In: *Scylla paramamosain*. (Keenan, C., and A. Blackshaw. Eds). Canberra, Australia: Mud Crab Aquaculture and Biology. ACIAR Proceedings. 1999.
- Zhang B., Lin, W., Huang, J., Wang, Y. and Xu, R. Effects of artificial substrates on the growth, survival and spatial distribution of *Litopenaeus vannamei* in the intensive culture condition. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 9: 293-304. 2010.

Manuscript Received : Nov 02, 2022

Revised : Nov 14, 2022

Accepted : Nov 28, 2022