

해상가두리 및 실내 육상수조에서 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 적정 수용밀도에 관한 연구

김병학, 박민우, 손맹현, 김태익, 명정인¹

국립수산과학원 남서해수산연구소, ¹국립수산과학원 전략양식연구소

A Study on the Optimum Stocking Density of the Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* Net Cage Culture or Indoor Tank Culture

Byeong-Hak Kim, Min-Woo Park, Tae-Ik Kim, Jae-Kwon Cho, Maeng-Hyun Son and Jeong-In Myeong¹

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

¹Aquaculture Research Institute, NFRDI, Gijang-gun, Busan 619-902, Korea

ABSTRACT

Experiments for net cage culture at sea were conducted in each 2.4 × 2.4 m in area and took the samples from four different densities: 150, 300, 450 and 600 per cross-sectional area (m²) of shelter. The same stocking densities applied to indoor tank culture to investigate the growth and survival rate. The size of juvenile abalone sample was 36.14 ± 2.28 mm for net cage culture and 38.62 ± 3.22 mm or indoor tank. Feed such as raw brown sea mustard, raw kelp and dried kelp was sufficiently provided to the abalone. In net cage culture experiment, the growth of the spat of juvenile abalone was the fastest 60.53 ± 5.75 mm in the 150 abalone cage per square meter (m²), followed by the 300 abalone cage at 54.01 ± 5.17 mm, 450 abalone cage at 51.48 ± 5.37 mm and 600 abalone cage at 51.09 ± 4.96 mm in order. In the meantime, in the indoor tank experiment, the 150 abalone indoor tank was the fastest 47.50 ± 6.31 mm per square meter, followed by the 300 abalone tank at 45.92 ± 5.23 mm, the 450 abalone tank at 44.24 ± 5.59 mm and the 600 abalone tank at 43.62 ± 4.44 mm in order. The survival rate was more than 97.9% in all the experiments, not showing a significant difference.

Keywords: Abalone, Spats, densities, *Haliotis discus hannai*

서 론

우리나라 전복 생산에 있어 가장 큰 제약 요인은 폐사량의 증가이다. 한국전복산업연합회의 자료에 의하면 2006년 이전에는 입식량 대비 출하량이 70-80% (폐사율 20-30%) 이었는데 2008년에는 53% (폐사율 47%), 2010년에는 30% (폐사율 70%) 인 것으로 발표하였다. 이에 따라 과거에는 칸 당 100 kg 정도를 출하하였으나, 최근에는 평균 25-35 kg 정도로 급

격히 감소하였다. 이러한 폐사의 원인은 여러 가지 복합적인 요인이 있을 것으로 생각되지만 내만에서, 가두리의 밀집시설과 가두리 사육 칸의 연장에 의한 조류 소통 악화, 먹이 해조류의 과다투여에 의한 용존산소의 부족이 폐사원인으로 생각될 수 있다.

또한, 전복의 적정 사육밀도, 적정 먹이 공급량 등 전복 양식 관리의 표준화 미비로 과학적으로 안정된 생산이 되지 못하고 있으며, 시설 자재의 규격화 및 시설 방법의 표준화 등이 되어 있지 않아 태풍 등의 자연재해에 취약한 구조를 하고 있다. 효율적인 양식을 위해서는 사육환경을 최적으로 유지하는 것은 매우 중요한 요인이다. 즉, 한정된 공간에 양식 대상종의 성장을 정상으로 유지하면서 사육밀도를 최대로 하는 것은 단위 면적당 생산량이 높아지므로 경영면에서 아주 중요하다. 특히, 우리나라와 같이 양식면적이 좁은 상황에서는 고밀도 양식이 불가피하기 때문에 양식 시 양식 대상종의 적정 사육밀도를 구명하는 것은 매우 시급하다. 적정 사육밀도는 양식 종, 개체 크

Received: July 23, 2013; Accepted: September 23, 2013

Corresponding author : Kim, Byoung-Hak

Tel: +82 (62) 690-8980 e-mail: bhkim1@korea.kr

1225-3480/24486

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

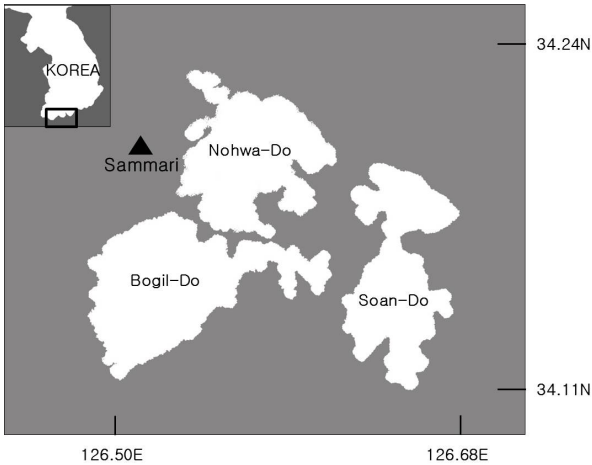


Fig. 1. Map showing the study site (dark triangle) in Wando-gun, South Korea.

기, 수온, 수질, 사료종류 등 여러 가지 요인에 영향을 받는다. 사육밀도에 대해서는 수용밀도가 아주 중요한 요인으로 고려되고 있고 전복 양성에 관해서는 수하식 양성(채룡)에 의한 참전복 치패의 수용밀도와 성장(Jee *et al.*, 1998), 참전복 치패 성장에 미치는 수조형태 및 사육밀도(Jeong *et al.*, 1994) 그리고 폐쇄 순환 여과 시스템에서의 전복 치패 사육밀도와 성장(박, 1993)에 대한 연구보고가 있다.

전복은 어류와는 달리 부착하여 먹이를 섭취하는 동물로서 서식하는 범위가 한정되어 적당한 공간이 확보되어야 할 것으로 생각되며, 어류를 사육하는 개념으로는 적정 수용밀도를 산출하기는 어렵고, 육상 수조의 경우 부착면적을 기준으로 밀도를 적절히 조절하여 사육하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 수용밀도는 먹이의 형태나 특성에 따라 달라질 수 있을 것으로 간주되는데, 즉, 배합사료와 달리 해조류의 경우는 해조류 자체에 전복이 부착할 수 있어 사육밀도에 영향을 미칠 수 있는 등 다각적인 면에 검토가 필요하다.

따라서 본 연구는 해상가두리 및 육상수조에서 전복 가두리 양식 어업인이 주로하는 양식순기를 기준으로 수용밀도를 달리하여 성장 및 생존율을 조사하여 적정 수용밀도를 구명하여 생산성을 향상시키고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 해상가두리 수용밀도별 사육실험

해상가두리 실험은 2012년 3월 12일부터 2013년 3월 13일까지 1년간 전남 완도군 노화읍 삼마리 앞바다에서 실시하였다 (Fig. 1). 전복 치패는 2011년에 종묘 생산하여 양성 1년생인 각장 평균 36.1 ± 2.3 mm를 실험에 사용하였다. 실험구는 전남 완도군에서 주로 사용되는 해상 가두리 (PE., 2.4×2.4 m)를 반으로 나누어 (1.2×2.4 m) 사용하였다 (Fig. 2). 셸터



Fig. 2. Experiments for in net cage culture at sea were conducted in each 2.4×2.4 m in area.

터 (Shelter)는 100×90 cm (PC.)를 실험구당 3개씩 설치하였으며, 셸터 단면적은 2.7 m²로 하였다. 실험구의 수용밀도는 Kim *et al.* (1998) 및 Yoon *et al.* (2004) 결과를 토대로 실험구 m² 당 점유율 15% (150마리), 30% (300마리), 45% (450마리), 60% (600마리)로 설정하였다. 이에 따라 실험구당 전복 치패를 810, 1,620, 2,430 및 3,240 마리를 수용하였으며, 모든 실험은 2반복으로 실시하였다.

$$\text{수용밀도 (\%)} = \frac{\text{전복 점유면적 (cm}^2\text{)} / \text{전복 shelter 단면적 (cm}^2\text{)}}{\text{점유율 (\%)} = \frac{\text{각장} \times (\text{각장} \times 0.7) \times \text{수용개체수}}{\text{전복 shelter 단면적 (cm}^2\text{)}}$$

실험 기간 중 먹이 공급은 완도지역 전복 양식어업인과 동일한 방법으로 3월부터 9월까지의 생다시마, 9월부터 10월까지의 소량의 건다시마 및 염장미역 그리고 11월부터 2013년 3월 실험 종료 시까지 생미역을 공급하였다. 먹이공급량은 일간 섭취율이 전중의 10% 이상 되도록 충분히 공급하였다.

실험기간 중의 사육수온은 자연수온에 의존하였고, 수온 범위는 $7.6 - 26.1^\circ\text{C}$ ($16.8 \pm 9.3^\circ\text{C}$)로 2013년 2월이 가장 낮았고, 2012년 8월이 가장 높았다. 용존산소는 $7.3 - 11.8$ mg/L로 실험 개시월인 2012년 3월이 11.8 mg/L로 가장 높았고, 2012년 9월이 7.3 mg/L로 가장 낮았으나 비교적 안정된 수질을 유지하였다 (Fig. 3).

성장 조사는 실험개시 시에는 300마리의 치패를 무작위로 선택하여 각장, 각고, 전중을 측정하였고, 매월 각 실험구 당 30마리 이상 각장, 각고를 디지털 캘리퍼 (Digmatic Caliper, Mitutoyo)를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였고, 생존율은 실험 종료 시 전수조사를 하였다.

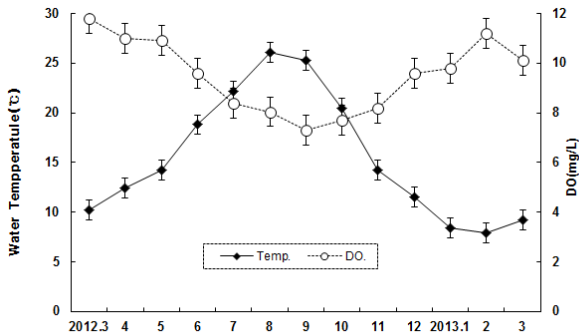


Fig. 3. Water temperature and dissolved oxygen in net cage culture.

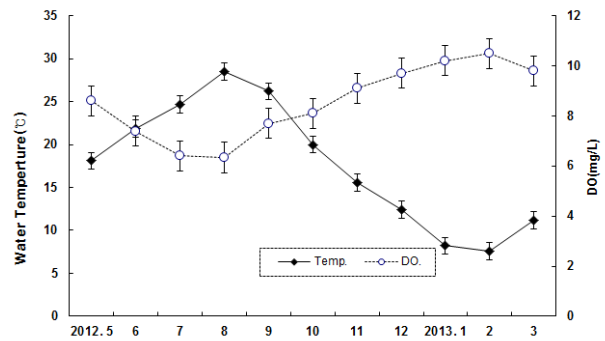


Fig. 4. Water temperature and dissolved oxygen in door tank culture.

2. 실내 육상수조 수용밀도별 사육실험

육상수조 실험은 2012년 5월 10일부터 2013년 3월 18일 까지 310일간 남서해수산연구소 내 사육수조에서 실시하였다. 전복 치패는 2011년에 종묘생산된 양성 1년생인 각장 평균 38.6 ± 3.2 mm를 실험에 사용하였다.

실험 수조는 사각수조(FRP, $70 \times 100 \times 60$ cm) 에 그물 가두리(PE망, $65 \times 90 \times 40$ cm) 를 설치하였고, 셸터 (Shelter) 는 63×78 cm (단면적 $7,800$ cm²)를 가두리 내에 설치하여 치패를 수용하였으며, 실험 설정은 해상가두리와 동일한 방법으로 셸터(Shelter) 단면적 m² 당 점유율 15% (150 마리), 30% (300마리), 45% (450마리), 60% (600마리) 로 설정하였다. 이에 따라 실험구당 전복 치패를 204, 405, 699 및 810마리를 수용하였으며, 모든 실험은 3반복으로 실시하였다.

실험 기간 중 먹이 공급은 해상가두리 밀도별 실험과 동일하게 하였고, 먹이공급은 잔류 먹이 및 배설물을 완전히 제거한 후 1주일 간격으로 일간섭취율이 전중의 10% 이상 되도록 충분히 공급하였다.

실내실험의 사육수온은 자연수온에 의존하였고, 수온 범위는 $6.4 - 28.5^{\circ}\text{C}$ ($17.5 \pm 11.0^{\circ}\text{C}$) 로 2013년 2월이 가장 낮았고, 2012년 8월이 가장 높았다. 용존산소는 $6.4 - 10.5$ mg/L 로 실험 개시월인 2012년 3월이 10.5 mg/L로 가장 높았고, 2012년 9월이 6.4 mg/L로 가장 낮았으나 비교적 안정된 수질을 유지하였다 (Fig. 4).

성장 조사는 실험개시 시에는 300마리의 치패를 무작위로 선택하여 각장, 각고, 전중을 측정하였고, 매월 각 실험구당 30 마리 이상 각장, 각고를 디지털 캘리퍼(Digmatic Caliper, Mitutoyo) 를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 생존율은 1주일 간격으로 폐사 개체를 확인하여 누적 폐사 개체 수를 생존율로 환산하였다..

3. 통계처리

실험 결과는 Statistical Analysis System (SAS Inc., 1999) program으로 ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1999) 로 평균 간의 유의성을 95% 신뢰한계에서 검정하였다.

결 과

1. 해상가두리 수용밀도별 사육실험

2012년 3월부터 2013년 3월까지 12개월 동안 해상가두리에서 사육한 각 실험구별 각장성장은 Table 1과 같다. 실험 시작 시 평균 각장은 36.14 ± 2.28 mm로 각 시험구간 차이는 없었다($P > 0.05$). 사육 90일째인 2012년 6월의 성장은 셸터 단면적 m² 당 300마리 실험구가 44.95 ± 4.34 mm, 150마리 실험구 44.28 ± 5.24 mm, 600마리 실험구 43.44 ± 4.51 mm 및 450마리 실험구 42.75 ± 3.73 mm 순으로 나타나 밀도가 높은 450 및 600마리 실험구와 밀도가 낮은 150마리 및 300마리 실험구와 유의한 차이를 나타내었다($P < 0.05$).

사육 180일째인 2012년 9월의 성장은 150마리 실험구가 54.55 ± 5.70 mm로 가장 높았고, 300마리 실험구 52.85 ± 4.65 mm, 450마리 실험구 47.26 ± 5.70 mm 및 600 마리 실험구 47.22 ± 4.28 mm 순으로 나타났다. 450 및 600마리 실험구는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 150마리 및 300마리 실험구와 유의한 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$).

사육 270일째인 2012년 12월의 성장은 150마리 실험구가 58.18 ± 5.13 mm로 가장 높았고, 300마리 실험구 53.62 ± 4.67 mm, 450마리 실험구 50.26 ± 3.71 mm 및 600마리 실험구 50.16 ± 3.92 mm 순으로 나타났다. 450 및 600마리 실험구는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 150 및 300마리 실험구와 유의한 차이를 나타내었고, 밀도가 낮은 실험구인 150마리와 300마리 실험구 사이에서도 성장 차이가 나타났다 ($P < 0.05$).

Table 1. Variations of shell length (mm) for juvenile abalone reared with different density in net cage culture¹

Month	Stocking density (individual/m ²)			
	150	300	450	600
2012. 3	36.14 ± 2.28 ^a	36.14 ± 2.28 ^a	36.14 ± 2.28 ^a	36.14 ± 2.28 ^a
4	38.62 ± 3.22 ^b	38.29 ± 3.13 ^b	37.32 ± 3.03 ^a	38.46 ± 3.11 ^b
5	41.61 ± 3.33 ^{bc}	42.29 ± 3.11 ^c	39.32 ± 3.03 ^a	40.46 ± 3.13 ^b
6	44.28 ± 5.24 ^b	44.95 ± 4.34 ^b	42.75 ± 3.73 ^a	43.44 ± 4.51 ^{bc}
7	51.21 ± 7.47 ^d	50.64 ± 4.09 ^c	47.10 ± 3.88 ^a	47.11 ± 4.75 ^a
8	52.01 ± 4.63 ^c	51.00 ± 4.71 ^b	47.20 ± 4.62 ^a	47.22 ± 4.28 ^a
9	53.71 ± 5.05 ^c	52.32 ± 4.75 ^b	47.26 ± 5.70 ^a	47.56 ± 4.01 ^a
10	54.55 ± 5.70 ^c	52.85 ± 4.65 ^b	47.61 ± 4.64 ^a	47.76 ± 4.90 ^a
11	56.26 ± 5.95 ^c	53.18 ± 5.60 ^b	49.73 ± 5.46 ^a	49.27 ± 7.08 ^a
12	58.18 ± 5.31 ^c	53.62 ± 4.67 ^b	50.26 ± 3.71 ^a	50.16 ± 3.92 ^a
2013. 1	59.60 ± 5.31 ^c	53.82 ± 4.67 ^b	50.96 ± 3.71 ^a	50.76 ± 3.92 ^a
2	60.53 ± 5.75 ^c	54.01 ± 5.17 ^b	51.21 ± 4.19 ^b	50.90 ± 6.01 ^a
3	62.23 ± 5.39 ^d	56.01 ± 4.73 ^c	51.48 ± 5.37 ^b	51.09 ± 4.96 ^a

¹Values (mean ± S.D of two replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different (P < 0.05).

Table 2. Variations of shell length (mm) for juvenile abalone reared with different density indoor tank culture¹

Month	Stocking density (individual/m ²)			
	150	300	450	600
2012. 5	38.79 ± 3.31 ^a	38.79 ± 3.31 ^a	38.79 ± 3.31 ^a	38.79 ± 3.31 ^a
6	39.81 ± 3.93 ^a	39.34 ± 3.60 ^a	38.92 ± 3.19 ^a	39.83 ± 2.98 ^a
7	40.07 ± 5.15 ^b	39.82 ± 6.24 ^a	39.12 ± 3.29 ^a	39.91 ± 3.65 ^a
8	41.07 ± 3.65 ^b	39.93 ± 3.66 ^{ab}	39.15 ± 3.86 ^a	40.00 ± 4.07 ^{ab}
9	41.68 ± 3.93 ^b	39.95 ± 4.15 ^a	39.44 ± 3.79 ^a	40.14 ± 3.79 ^{ab}
10	42.53 ± 4.38 ^b	41.31 ± 4.73 ^{ab}	40.16 ± 3.50 ^a	40.29 ± 4.41 ^a
11	43.69 ± 4.53 ^b	41.84 ± 4.67 ^{ab}	41.76 ± 4.01 ^{ab}	41.32 ± 5.64 ^a
12	45.50 ± 4.61 ^d	43.82 ± 4.86 ^c	43.18 ± 5.74 ^b	42.03 ± 4.11 ^a
2013. 1	45.55 ± 5.58 ^d	44.85 ± 4.81 ^c	43.60 ± 4.71 ^b	42.84 ± 4.97 ^a
2	46.13 ± 5.38 ^d	45.96 ± 4.97 ^c	44.02 ± 5.48 ^b	43.71 ± 6.09 ^a
3	50.28 ± 4.78 ^d	47.97 ± 5.03 ^c	44.09 ± 4.99 ^b	43.91 ± 4.43 ^a

¹Values (mean ± S.D of three replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different (P < 0.05).

실험종료시인 사육 360일째 2013년 3월의 성장은 150마리 실험구가 62.23 ± 5.39 mm로 가장 높았고, 300마리 실험구 56.01 ± 4.73 mm, 450마리 실험구 51.21 ± 4.19 mm 및 600 마리 실험구 50.90 ± 6.01 mm 순으로 나타났다. 각 실험구간에 따라 사육밀도가 낮을수록 성장이 빠르게 나타났다 (P < 0.05).

2. 실내 육상수조 수용밀도별 사육실험

2012년 5월부터 2013년 3월까지 10개월 동안 실내 육상수조에서 사육한 각 실험구별 각장성장은 Table 2와 같다. 실험 시작 시 평균 각장은 38.79 ± 3.31 mm로 각 실험구간 차이는 없었다 (P > 0.05). 사육 90일째인 2012년 8월의 성장은

150마리 실험구가 41.68 ± 3.93 mm, 600마리 실험구 40.00 ± 4.07 mm, 300마리 실험구 39.82 ± 6.24 mm 및 450마리 실험구 41.76 ± 4.01 mm 순으로 조사되었다. 300마리와 450마리 실험구간 차이는 없었지만 (P > 0.05), 600마리와 150마리 실험구와는 유의한 차이를 나타내었다 (P < 0.05).

사육 180일째인 2012년 11월의 성장은 150마리 실험구가 43.69 ± 4.53 mm로 가장 높았고, 300마리 실험구 41.84 ± 4.67 mm, 450마리 실험구 41.76 ± 4.01 mm 및 600마리 실험구 41.32 ± 5.64 mm 순으로 나타났다. 300 및 450마리 실험구는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 150마리 실험구는 300, 450 및 600마리 실험구와 유의한 차이를 나타내었다 (P < 0.05).

Table 3. Growth of shell length (μm) per day and survival rate for juvenile abalone reared with in net cage culture or indoor tank culture¹

Group	Stocking density (individual/m ²)	Growth of shell length (μm) per day	Survival rate (%)
In the cage	150	72.47 ^g	98.8 ^b
	300	55.20 ^f	98.1 ^a
	450	42.61 ^e	97.9 ^a
	600	41.53 ^{dc}	98.8 ^b
Indoor tank	150	38.30 ^{cd}	99.4 ^c
	300	32.20 ^{bc}	98.8 ^b
	450	18.33 ^b	98.1 ^a
	600	17.34 ^a	97.9 ^a

¹Values (mean \pm S.D of two replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different ($P < 0.05$).

실험종료시인 사육 300일째 2013년 3월의 성장은 150마리 실험구가 50.28 ± 4.78 mm로 가장 높았고, 300마리 실험구 47.97 ± 5.03 mm, 450마리 실험구 44.02 ± 5.48 mm 및 600 마리 실험구 43.71 ± 6.09 mm 순으로 나타났다. 각 실험구간에 따라 성장 차이를 보였으며, 사육밀도가 낮을수록 성장이 빠르게 나타났다 ($P < 0.05$).

3. 해상가두리 및 육상수조의 일간성장량 및 생존율 비교

해상가두리와 육상수조의 일간성장량을 비교하면 해상가두리는 m² 당 150마리 실험구가 72.47 μm 로 가장 빨랐고, 300마리 실험구 55.20 μm , 450마리 실험구 42.61 μm , 600 마리 실험구 41.53 μm 로 나타났다. 육상수조는 m² 당 150 마리 실험구가 38.30 μm , 300마리 실험구 32.20 μm , 450 마리 실험구 18.33 μm 및 600마리 실험구 17.34 μm 로 나타났다 (Table 3). 해상가두리와 육상수조 간의 성장은 유의한 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$). 생존율은 육상 수조 600마리 실험구와 육상 수조 150마리 실험구간 유의한 차이가 있었으나 모든 실험 구에서 97.9% 이상으로 나타나 실험에 영향을 미치지 않았다.

고 찰

해상가두리 및 실내육상수조의 수온은 7.6-26.1 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 1월 하순경에 가장 낮았고 8월 중 하순경에 가장 높게 나타났다. 보통 7 $^{\circ}\text{C}$ 이하에서는 전복이 먹이를 거의 먹지 않으며 활동이 둔해지는 경향이 있다 (Sakai, 1962). 또한 수온에 따라 일간섭식률이 차이를 보여 성장에 영향을 주게 되는데, 북방전복의 경우 성장 적수온은 20 $^{\circ}\text{C}$ 전후로 보고되고 있다 (Sakai, 1962). 본 연구결과에서도 20 $^{\circ}\text{C}$ 전후인 5월 하순부터 6월 하순경 및 10월 하순부터 11월 하순까지 일간성장량이 높은 경향

을 보여 상기의 연구 결과와 일치하였다. 북방전복의 사육 시 성장 및 생존율에 미치는 영향에 대해 石田 (1993) 은 종묘의 질, 질병, 수온, 수질, 사료의 질 및 사육밀도 등이 중요한 요인으로 작용한다고 지적한 바 있다. 불확정 요인인 종묘의 질, 질병 및 수질을 제외한 요인 중에서 사육 수온은 22.5 $^{\circ}\text{C}$ 이상이 되면 성장속도가 늦어진다는 Uki (1981)의 결과를 고려하면 본 실험의 사육기간 중 수온이 7.6-26.1 $^{\circ}\text{C}$ 인 것은 여름철인 7-9월의 기간을 제외하고는 북방전복의 사육 조건에 비교적 적합한 수온으로 보여진다. 또한 실험 기간 중 8월에 태풍 15호 “블라벤” 등으로 타 지역은 피해가 컸으나 시험어장인 전남 완도군 삼마리 지역은 내만에 위치하고 계류시설을 견고히 하여 태풍 피해가 적었다. 그러나 연이은 태풍으로 해조류 양식장이 유실되어 9-10월에 충분한 먹이를 공급할 수 없어 어려움이 있었다.

수용밀도에 관해서 石田 (1993) 은 제한된 사육수조에서 한 계생물체량을 파악하는 것이 매우 중요한 요인으로 고려하였다. 즉 한정된 사육공간에 있어 전복의 수용밀도는 매우 중요한 요인으로 생각되며, 적정 수용밀도를 정확히 구명하는 것은 수온, DO 등의 수질환경적인 요인과 개체크기, 건강상태 등의 생물적인 요인을 고려하여야 하기 때문에 어려운 것이 사실이다. 또한 적정 수용밀도에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 사육 환경에 대한 스트레스가 고려되는데, 여기에는 사육수조의 크기 및 형태, 유수량, handling 등이 있다. 사육수조의 용적이 작을수록 수용된 생물의 활동 범위가 좁아지므로 스트레스는 상대적으로 높아질 것이다. 본 실험에서는 해상가두리의 경우 일반적으로 양식 어업인이 가장 많이 사용하는 2.4 \times 2.4 m 크기를 사용하였지만 육상수조의 경우 FRP (70 \times 100 \times 60 cm) 를 사용하여 환경에 대한 Stress 가 성장에 영향을 미쳤을 것으로 추측된다. 따라서 이보다 수용적이 더 큰 사육수조

를 사용한다면 사육밀도가 더 높아질 가능성은 충분하다고 생각된다. 하지만 본 실험 결과에서와 같이 수용밀도가 높아짐에 따라 성장이 저하되기 때문에 실제 양식에 적용 시에도 이를 참조하여야 할 것이다. Jee *et al.* (1988) 은 채룽을 사용한 수하식 양성에서 밀도가 낮을수록 성장이 빨랐다고 하였으며, Jeong *et al.* (1994) 은 육상수조에서 사육 시 각장 20 mm의 치패는 m² 당 1,000-2,000마리인 경우 성장 차가 없었지만, 각장 40 mm와 50 mm의 치패는 수용밀도가 낮을수록 성장이 빨랐다고 보고하였다. 본 실험에서도 해상가두리에서 m² 당 150마리 실험구가 평균 각장 62.23 mm로 가장 높게 나타나 수용밀도가 낮을수록 성장이 빨랐다. 이는 수용밀도가 낮을수록 성장은 빠르지만 단위 면적당 생산되는 양을 경제적으로 고려한다면 역시 적정 성장을 유지하는 범위에서 수용밀도를 높일 필요가 있을 것으로 생각된다. 전복 치패의 크기, 사육 환경 및 사육 사육기간 등에 따라 다소 차이는 예상되지만 성장과 생존율 등을 고려하여 보면, 본 실험에 사용된 크기인 각장 36.14 mm일 때의 적정 사육밀도는 m² 당 300마리 이하가 적절하다고 여겨지며, 수용밀도를 무조건 높이는 것은 피해야 할 것이다. 즉, 경제적인 양식 경영면을 고려할 때 수용 밀도를 높일수록 양식 생산량이 높아질 것으로 예측되지만, 적정 밀도 이상으로 높이는 것은 성장을 저하시키고, 폐사율을 높일 뿐 아니라, 사육수중의 암모니아 농도 상승, DO 저하, 질병 유발 가능성 등 위험 요소들이 항상 잠재되어 있으므로 최적 밀도를 유지하는 것이 매우 중요하다. 금후 전복의 크기 단계별로 적정 사육밀도를 조사하고, 사육방법 등을 개선하는 등에 관한 연구가 계속 이어져야 할 것이다.

전복의 수용밀도는 전복의 성장률과는 밀접한 관계가 있음이 밝혀졌는데, 이와 관련된 연구로서 전복의 수용밀도와 성장에 관하여 Shepherd (1986) 와 Douros (1987) 는 전복은 높은 수용밀도에서 때때로 큰 군집을 형성하여 발생하는 부착공간의 부족으로 겹으로 쌓이는 경향이 있으나 겹으로 쌓이는 것은 먹이섭식을 위해 움직일 때 제한요인이 되어 성장률을 저하시킨다고 하였다. 또한 전복의 해상가두리와 육상수조식 양식 방법에 있어 개체의 수용밀도가 증가할수록 성장률은 감소한다고 보고하였다(Koike *et al.*, 1979; Chen, 1984; Mgaya and Mercer, 1995; Marsden and Williams, 1996). 이는 본 해상가두리와 육상수조 실험결과 수용밀도가 증가함에 따라 성장률이 감소하는 결과에서도 확인된다. 이러한 결과는 전복의 경우 제한된 시간과 공간에서 먹이 찾기와 먹이 섭취가 이루어지기 때문에 고밀도에서는 개체간 경쟁이 증가되고 성장이 억제된다. 즉 부착 셀터 공간의 경쟁은 밀도효과가 전복 성장에 영향을 미치는 원인 중의 하나라고 보여진다(Fucum *et al.*, 2009). 따라서 본 실험에서도 전복 치패가 성장함에 따라 밀도가 높아지고 셀터에 대한 전복 치패의 점유율이 높아짐

으로써 성장이 둔화되는 것으로 추정된다.

생존율은 모든 실험구에서 97.9% 이상으로 나타나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 전복 가두리양식의 주 폐사원인으로는 박리 시 상처 발생, 먹이과다 투여에 따른 잔류 먹이의 부패, 전복 shelter 내부에 다량의 펄 침착에 의한 환경 악화 및 고수온기 섭이부진에 따른 활력저하 등으로 생각된다. 이러한 원인을 제거하기 위하여 박리 시 상처를 막기 위해 세심한 처리를 하였고, 먹이 투여는 공급 후 잔류 해조류가 남지 않도록 절식 및 가두리 청소를 통하여 가두리내부 환경을 청결히 유지함으로써 건강한 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 특히 침적된 펄을 관리선의 펌프를 사용하여 주기적으로 제거하여 줌으로써 대량 폐사를 방지하여 높은 생존율을 높일 수 있었다고 생각된다.

본 실험결과를 전복 해상가두리 양식에 적용하면 양성 1년차 전복 치패(각장 3-4 cm)의 일반적인 사육밀도인 m² 당 300마리(2.4 × 2.4 m, 1칸 당 1,500마리)로 1년간 사육할 경우에 사육개시 6개월 이후부터 성장이 급격히 둔화될 것으로 생각된다. 그러므로 기존의 방법으로 양성 1년차 전복 치패(각장 3-4 cm)를 사육할 경우 셀터 단면적 m² 당 150마리(2.4 × 2.4 m, 1칸 당 750마리)가 적정 수용밀도라 생각되고, 기존의 수용밀도인 m² 당 300마리로 사육할 경우 6개월 후 분조하여 밀도를 낮출 필요가 있으며, 이러한 방법을 도입하는 것이 양식 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 전복 가두리양식 생산성 향상을 위해서는 전복 양성 2-3년차의 적정 수용밀도, 적정 먹이공급량 등 생존율을 높일 수 있는 지속적인 기초연구가 필요하다.

요 약

전복 치패의 성장은 해상가두리의 경우 m² 당 150마리 실험구에서 60.53 ± 5.75 mm로 가장 빨랐고, 300마리 54.01 ± 5.17 mm, 450마리 51.48 ± 5.37 mm 및 600마리 51.09 ± 4.96 mm 순으로 나타났다. 육상수조의 경우 m² 당 150마리 실험구에서 47.50 ± 6.31 mm로 가장 빨랐고, 300마리 45.92 ± 5.23 mm, 450마리 44.24 ± 5.59 mm 및 600마리 43.62 ± 4.44 mm 순으로 나타났다. 생존율은 모든 실험구에서 97.9% 이상으로 나타나 유의적인 차이는 보이지 않았다.

실험 결과 실험개시 후 3개월 이전에는 성장 차이가 나지 않았으나, 3개월 이후에는 성장 차이가 나타나기 시작하여 6개월부터는 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 고밀도 실험구인 450마리 및 600마리에서는 3개월 후부터 성장이 둔화되는 경향이 나타났고, 비교적 낮은 300마리 실험구에서도 6개월 후부터 150마리 실험구에 비해 성장이 둔화되는 경향이 나타났다.

본 실험의 결과를 종합하여 전복 가두리양식에 적용하면 일반적인 수용밀도인 m² 당 300마리(2.4 × 2.4 m, 1칸당

1,500마리) 로 1년간 사육 후 분조하는 방법에서는 사육개시 6개월 이후부터 성장이 급격히 둔화 될 것으로 생각된다. 그러므로 기존의 1년 후 분조하는 방법으로 사육할 경우는 m² 당 150마리 (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 750마리) 가 적정 수용밀도라 생각되고, 기존의 수용밀도인 m² 당 300마리로 사육할 경우 6개월 후 분조하여 밀도를 낮출 필요가 있으며, 이러한 방법을 전복 가두리양식에 적용하는 것이 양식 생산성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (전복 가두리양식 생산성 향상 및 표준화 연구 12-AQ-51) 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Chen, H.C. (1984) Recent innovations in cultivation of edible molluscs in Taiwan, with special reference to the small abalone, *Haliotis diversicolor* and the hard clam, *Meretrix lusoria*. *Aquaculture*, **39**: 11-27.
- Douros, W.J. (1987) Stocking behavior of an intertidal abalone: an adaptive response or a consequence of space limitation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **108**: 1-14.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple Ftests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Fucun, W., Liu, X., Zhang, G. and Wang, C. (2009) Effects of the initial size, stocking and sorting on the growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Research*, **40**: 1103-1110.
- Jee, Y.J., YOO, S.K., Rho, S and Kim, S.H. (1988) The stocking density and growth of young abalone, *Haliotis discus hannai* Ino cultured in the hanging net cage. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Agency*, **42**: 59-69. (in Korean)
- Jeong, S.C., Jee, Y.T. and Son, P.W. (1994) Indoor tank culture of the abalone *Haliotis discus hannai* II. Effects of diets on growth of young abalone. *Journal of Aquaculture*, **7**: 77-87. (in Korean)
- Kim, B.H., Lee, S.M., Go, C.S., Kim, J.W and Myeong, J.I. (1998) Optimum stocking density of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed formulated diet of macro-algae (*Undaria*). *Journal of Korean Fisheries Society*, **31**(6): 869-874. (in Korean)
- Koike, Y., Flassch, J.P. and Mazurier, J. (1979) Biological and ecological studies on the propagation of the ormer, *Halotis tuberculata* Linnaeus: II. Influence of food and density on the growth of juveniles. *La. Mer.*, **17**: 43-52.
- Marsden, I.D. and Williams, P.M.J. (1996) Factors affecting the grazing rate of the New Zealand abalone *Haliotis iris* Martyn. *Journal of Shellfish Research*, **15**: 401-406.
- Mgaya, Y.D. and Mercer, J.P. (1995) The effects of size grading and stocking density of growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *Aquaculture*, **136**: 297-312.
- Sakai, S. (1962) Ecological studies on the abalone, *Haliotis discus hannai* Ino - I. Experimental studies on the food habit. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **28**: 766-779. (in Japanese)
- Shepherd, S.A. (1986) Studies on southern Australian abalone (Genus *Haliotis*). VII. Aggregative behaviour of *H. leavigata* in relation to spawning. *Marine Biology*, **90**: 231-236
- Uki, N., (1981) Feeding of experimental populations of the abalone, *Haliotis discus hannai*. Bulletin of Tohoku. *Regional Fisheries Research Laboratory*, **43**: 53-58.
- Yoon, H.S., Rha, S.J., Cha, Y.B., Cho, J.H., Kim, K.Y. and Choi, S.D. (2004) Growth and Survival Rate on Density of *Haliotis discus hannai* in Cage Culture. *Journal of Korean Fisheries Society*, **37**(4): 287-294.
- 박무억, (1993) 폐쇄순환여과식 시스템에서 전복류 치패의 사육 밀도와 성장. 제주대 학석사학위논문.
- 石田 修, (1993) クロアワビにの成長に及ぼす飼育密度の影響. *水産増殖*, **41**(4): 431-433.