

북방전복, *Haliotis discus hannai*의 해상가두리 양성 시 적정 수용밀도에 관한 연구

김병학, 박민우, 손맹현, 김태익, 이시우

국립수산과학원 남서해수산연구소

A Study on the Optimum Stocking Density of Abalone, *Haliotis discus hannai*, reared in Net Cage Culture

Byeong-Hak Kim, Min-Woo Park, Maeng-Hyun Son, Tae-Ik Kim and Si-Woo Lee

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

ABSTRACT

The effects of different stocking densities on the growth and survival rate of the abalone, *Haliotis discus hannai*, were investigated in marine net cage for two years. Stocking density was set 15, 30, 45 and 60 percentage (= per.) /m² with share to cross-sectional area per shelter. The primary rearing period (PRP) and the secondary rearing period (SRP) were conducted by a year. One year mean water temperature of PRP and SRS showed the difference about 2°C. In the growth (initial mean shell length of abalone : 36.14 ± 2.28 mm) of PRP, the absolute growth rate (ARG), daily growth rate (DGR) and specific growth rate (SGR) of the 15 per./m² were higher than those of density groups (P < 0.05). Survival rates of all density groups were showed no significant difference. In the growth (mean shell length of abalone : 55.26 ± 6.93 mm) of SRP, ARG, DGR and SGR of stocking density groups showed no significant difference except for 45 per./m² density group. Survival rate in the low-density (15, 30 per./m²) was more than 70%, and those of the high-density (45, 60 per./m²) were less than 31% and 9%, respectively. These results showed that the appropriate stocking density for 15 per./m² was seven hundred fifty number per one net cage (2.4 × 2.4 m), during PRP using 3–4 cm abalone in length. Also for the secondary rearing period, the optimal stocking density (shell length 5–6 cm of abalone) consider with the economical efficiency was determined to be 30 per./m², resulting the productivity improved.

Keywords: Abalone, *Haliotis discus hannai*, Stock density, Net cage culture, growth, survival rate

서 론

전복류는 국내에서 1970년대부터 인공종묘생산기술이 연구되어 1980년대부터 종묘생산기술을 보급함으로써 본격적으로 시작되어(한, 1998), 2013년 국내 전복생산량은 7,479톤, 생산금액은 2,476억 원에 이르고 있다(KOSIS, 2014). 전복류는

한국, 중국, 일본, 대만 등을 중심으로 지속적인 소비량 증가가 예상되고 있어 안정적인 생산량을 확보함과 동시에 꾸준한 생산량 증대가 요구되고 있다. 이에 따라 정부에서는 전복류, 특히 북방전복, *Haliotis discus hannai*을 수산물수출 전략품목 육성사업 대상 어종으로 선정하여 국립수산과학원을 중심으로 생산량 확대를 위한 연구가 진행 중에 있다.

전복류는 유수량 (Fleming *et al.*, 1997; Higham *et al.*, 1998), 수심 (Liu and chen, 1999), 수질다양성과 용존산소 (Leitman, 1992; Harris *et al.*, 1999), pH (Harris *et al.*, 1998a), 질소노폐물 (Harris *et al.*, 1998b), 먹이공급량과 질 (Hooker and Morse, 1985; La Touche *et al.*, 1993; Mercer *et al.*, 1993; Fleming *et al.*, 1998; Tahil and Juinio-Menez, 1999), 수조시설 (Hindrum *et al.*, 1995; Loipersberger, 1997), 수용밀도 (Koike *et al.*, 1979) 에 따라 성장과 생산량에 영향을 준다. 특히 수용밀도는 양식대상

Received: July 9, 2014; Revised: September 19, 2014;
Accepted: September 22, 2014

Corresponding author : Lee, Si-Woo

Tel: +82 (61) 690-8980 e-mail: ganrabbit@hanmail.net
1225-3480/24532

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.

중 생산의 단가절감, 효율적인 양식과 경영면에서 필수적이며 (Yoon *et al.*, 2004), 우리나라와 같이 양식면적이 좁아 고밀도 양식이 필수적인 곳에서는 양식 대상종의 적정 수용밀도를 구명하는 것이 생산성 향상을 위해 더욱 중요하다.

전복류는 어류와 달리 바닥면에 부착 후 먹이를 섭취하는 동물로서 서식범위가 한정되며 적당한 공간을 확보하여야 한다. 따라서 어류를 사육하는 개념으로는 적정 수용밀도를 산출하기는 어렵고, 부착면적을 기준으로 밀도를 적절히 조절하여 사육하는 것이 바람직하다 (Kim *et al.*, 2013). 특히 수용밀도는 먹이의 형태나 특성에 따라 달라질 수 있으며, 해조류의 경우 배합사료와 달리 해조류 자체에 전복이 부착할 수 있어 사육밀도에 영향을 주는 요인에 대한 다각적인 검토가 필요하다.

수용밀도에 따른 전복류 양성에 관한 연구로는 주로 북방전복 (*H. discus hanna*)를 중심으로 해상가두리와 실내 육상 수조 내 치패의 적정 수용밀도 및 연구 (Kim *et al.*, 2013), 해상가두리 내 사육밀도에 따른 성장과 생존율 (Yoon *et al.*, 2004), 수하식 양성 (채룡)에 의한 치패의 수용밀도와 성장 (Jee *et al.*, 1988), 치패 성장에 미치는 수조형태 및 사육밀도 (Jeong *et al.*, 1994) 그리고 폐쇄 순환 여과 시스템에서의 치패 사육밀도와 성장 (Park, 1993) 등의 연구가 보고되고 있다. 그러나 기존 연구는 치패를 중심으로 한 수용밀도 연구로 한정되어 있으며, 만 2년 이상 사육된 중간육성용 북방전복의 사육 조건의 수용밀도에 따른 연구는 보고되지 않고 있다. 따라서 본 연구는 해상가두리에서 2년 동안 수용밀도별로 사육된 북방전복 치패를 양식 어업인이 시행하는 양식순기를 기준으로 수용밀도를 설정하여 성장 및 생존율 조사를 통해 적정 수용밀도를 구명하고 생산성을 향상시키고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험시설 및 생물

해상가두리 실험은 2012년 3월부터 2014년 4월까지 약 25개월 (750일) 동안 전남 완도군 노화읍 삼마리 앞바다에 설치된 해상가두리에서 실시하였다. 중간양성용 전복 치패는 2011년에 종묘 생산하여 1년간 양성된 북방전복 치패 (각장 평균 36.1 ± 2.3 mm)를 실험에 사용하였다. 실험가두리는 전남 완도군에서 주로 사용되는 PE (polyethylene) 해상가두리 (2.4 × 2.4 m)를 반으로 나눈 가두리 (1.2 × 2.4 m)를 사용하였다. PC (polycarbonate) 재질로 된 쉘터 (Shelter, 100 × 90 cm)를 각 가두리 당 3개씩 설치하였으며, 쉘터 단면적은 2.7 m²로 하였다.

2. 실험구 설정

실험구의 수용밀도는 Kim *et al.* (1998) 및 Yoon *et al.*, (2004) 결과를 토대로 아래 식에 따라 실험구는 쉘터 단면적

m²당 점유율 (percentage/m² = per./m²)로 하여 15 per./m², 30 per./m², 45 per./m², 60 per./m²로 설정하였다. 설정된 실험구는 사육 시작 후 2012년 3월부터 2013년 4월까지 1차 양성을 실시하였고, 이후 전복 성장에 따라 수용밀도를 재설정하여 2차 양성을 2013년 5월부터 2014년 4월까지 실시하였다. 이에 따라 1차 양성기간 (the primary rearing period, PRP)은 각 실험구당 전복 치패를 810 (15 per./m²), 1,620 (30 per./m²), 2,430 (45 per./m²) 및 3,240 (60 per./m²)마리를 수용하였으며, 2차 양성기간 (the second rearing period, SRP)은 1차 양성 종료 후 측정된 실험전복을 재설정하여 203 (15 per./m²), 405 (30 per./m²), 608 (45 per./m²), 810 (60 per./m²)마리를 수용하였다. 모든 실험구는 2반복으로 실시하였다.

$$\text{수용밀도 (\%)} = \text{점유면적 (cm}^2\text{)} / \text{shelter 단면적 (cm}^2\text{)}$$

$$\text{점유율 (per./m}^2\text{)} = \text{각장} \times (\text{각장} \times 0.7) \times \text{수용개체수} / \text{shelter 단면적(m}^2\text{)}$$

3. 먹이공급 및 환경조사

실험 기간 중 먹이 공급은 완도지역 전복 양식어업인의 먹이 순기와 동일하게, 2년간 3월부터 9월까지의 생 다시마, 9월부터 10월까지의 소량의 건 다시마 및 염장 미역 그리고 11월부터 2014년 4월 실험 종료 시까지 생미역을 공급하였다. 먹이 공급량은 일간섭취율이 전중의 10% 이상 되도록 충분히 공급하였다.

실험기간 중의 사육수온은 자연수온에 의존하였고 일간 수온 조사를 위해 연속수온측정기 (HOBO TidbiT[®]v2 Temp, UTBI-001, Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA)를 실험 시작 시 설치하여 실험 종료 시 회수 후 조사하였다.

4. 성장 및 생존율

성장 조사는 실험개시 시에는 300마리의 치패를 무작위로 선택하여 각장 (shell length), 각폭 (shell width)을 측정하였고, 매월마다 각 실험구 당 30마리의 치패를 무작위로 채포하여 각장, 각폭을 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 각장을 이용하여 아래식에 따라 절대성장률 (absolute growth rate, ARG), 일간성장률 (daily growth rate, DGR), 특수성장률 (specific growth rate, SGR)를 산출하였고, 각폭 역시 각장과 같은 방식으로 ARG, DGR, SGR을 산출하였다.

$$\text{절대성장률 (AGR, \%)} = (L_e - L_i) / L_i \times 100 \text{ 또는 } (W_e - W_i) / W_i \times 100$$

일간성장율 (DGR, %/day) = $(L_e - L_i) / (T-t) \times 100$ 또는 $(W_e - W_i) / (T - t) \times 100$

특수성장율 (SGR, %/day) = $(\ln L_e - \ln L_i) / (T - t) \times 100$ 또는 $(\ln W_e - \ln W_i) / (T - t) \times 100$

여기서, L_e 과 L_i 는 각각 최종평균각장과 최초평균각장이며, W_e 와 W_i 는 각각 최종평균각폭과 최초평균각폭이고, $(T - t)$ 는 사육일수를 나타낸다.

또한 생존율 (survival rate, SR) 은 아래식을 이용해 산출하였다.

$$\text{생존율 (SR, \%)} = (N_i - N_e) / N_i \times 100$$

여기서, N_e 와 N_i 는 각각 최종생존개체수와 최초생존개체수를 나타낸다.

5. 통계처리

성장 및 생존을 실험 결과는 2회 반복한 평균치로 나타내었으며, 통계프로그램인 SPSS (Statistical Package for Social Sciences) PASW Base ver. 21 (IBM Co. Ltd., New York, USA) 를 이용하여 one way ANOVA를 $P < 0.05$ 수준에서 실시하였으며, 유의성이 나타난 결과에 대해서는 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균간의 유의성을 사후 검정하였다.

결 과

1. 수온변화

PRP에서는 수온 범위가 7.6-26.1℃, 평균 수온은 $16.8 \pm 9.3^\circ\text{C}$ 이었으며, 2013년 2월이 가장 낮았고 2012년 8월이 가장 높았다. SRP의 수온범위는 8.4-21.7℃로 평균수온은 $14.5 \pm 4.5^\circ\text{C}$ 로 2013년 7월부터 10월까지 $19.8-20.2^\circ\text{C}$ 로 수온차이는 크지 않았으며, 2014년 1월이 가장 낮았다. SRP의 평균 수온은 PRP보다 약 2℃의 차이를 나타내었으며, 특히 7월부터 10월까지 SRP가 PRP보다 2-5℃의 낮은 수온을 보였다 (Fig. 1).

2. 성장변화

PRP의 월별 각장변화에서는 양성 4개월인 6월까지 차이를 유사한 각장 성장 변화를 보였으나, 7월부터 15, 30 per./m²와 차이를 보였으며, 그 이후로 15 per./m² 구만이 지속적인 성장 경향을 보였다 (Fig. 2). SRP의 월별 각장변화에서는 양성기간 동안 30 per./m²이하구와 45 per./m² 이상 실험구가 양성 1개월인 5월부터 차이를 보여 양성 마지막 시기까지 차

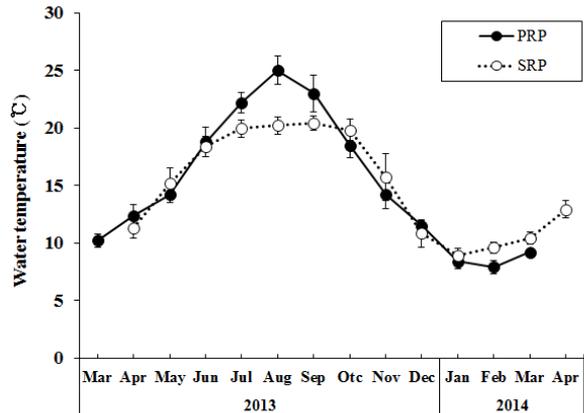


Fig. 1. Changes of water temperature in net cage culture at experiment area during two years. The primary rearing period (PRP) is March 2012 to March 2013 and the second rearing period (SRP) is April 2013 to April 2014.

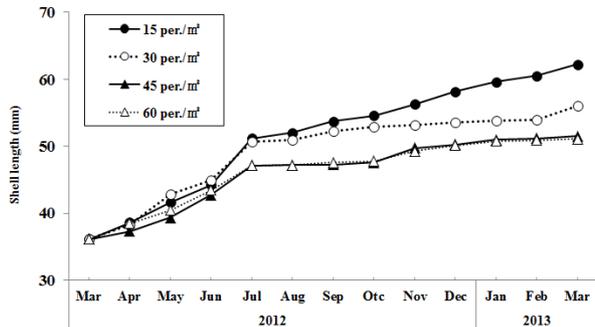


Fig. 2. Changes of shell length (mm) of abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different stocking density in net cage culture for PRP.

이를 보였으며, 특히 양성 11개월인 2월부터 15, 30 per./m² 구는 유사한 성장을 보였으며, 45, 60 per./m² 역시 유사한 성장을 나타내었다 (Fig. 3).

PRP와 SRP의 각장과 각폭에 대한 ARG, DRG, SRG를 각각 Table 1과 2에 나타내었으며, 각장의 월별 변화와는 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

PRP의 최종 각장 (FML) 은 15 per./m²구가 30, 45, 60 per./m² 구보다 유의적으로 높았으며, ARG, DGR, SGR에서도 15 per./m²구가 유의적으로 높았고, 30 per./m²는 45, 60 per./m²보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 최종 각폭 (FMW) 에서도 15 per./m²구가 다른 실험구보다 유의적으로 높았으며, ARG, DGR, SGR에서도 15 per./m²구가 모든 실험구보다 유의적으로 높았으며, 30 per./m²구는 45, 60 per./m² 구보다 높았다 ($P < 0.05$) (Table 1). SRP의 FML은 모든 실험구간 유의적 차이가 없었으며, ARG, DGR, SGR은 15, 30

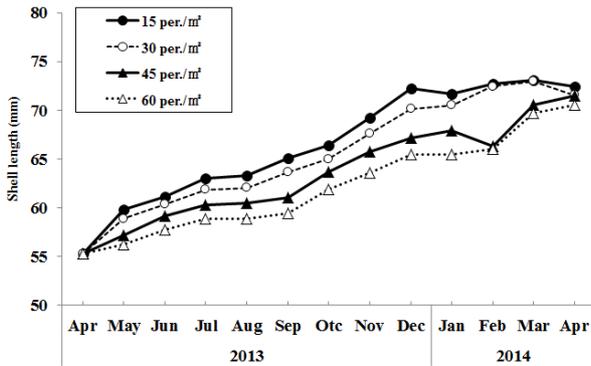


Fig. 3. Changes of shell length (mm) of juvenile abalone, *Haliotis discus hanna* reared with different density in net cage culture for SRP.

per./m²는 45, 60 per./m²구보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 각쪽의 FMW에서도 모든 실험구가 유의적 차이는 없었으며, AGR, DGR, SGR에서는 15, 30 per./m²구가 45, 60 per./m²구보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$) (Table 2).

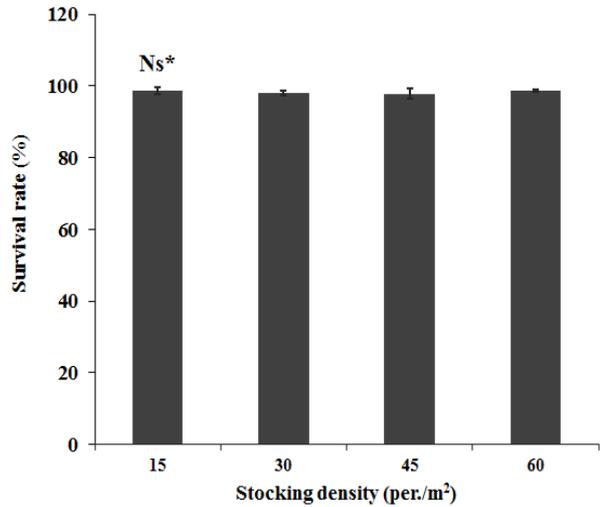


Fig. 4. Survival rate (%) of juvenile abalone, *Haliotis discus hanna* reared with different density in net cage culture for PRP. Bar indicates standard deviation (n = 2). Bars with different letter differ significantly ($P < 0.05$). *Ns is not significant.

Table 1. Growth performance of shell length (mm) juvenile abalone, *Haliotis discus hanna* reared with different density in net cage culture for PRP

| | | Stocking density (per./m ²) | | | |
|---------------|--------------------------|---|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 15 | 30 | 45 | 60 |
| Shell length | IML (mm) ² | 36.14 ± 2.28 | | | |
| | FML (mm) ³ | 60.85 ± 1.94 ^{1C} | 55.39 ± 0.87 ^b | 49.55 ± 2.40 ^a | 51.07 ± 0.19 ^{ab} |
| | AGR (%) ⁴ | 68.39 ± 5.38 ^C | 53.28 ± 2.41 ^b | 37.11 ± 6.65 ^a | 41.30 ± 0.53 ^{ab} |
| | DGR (%/day) ⁵ | 6.77 ± 0.53 ^C | 5.28 ± 0.24 ^b | 3.67 ± 0.66 ^a | 4.09 ± 0.05 ^{ab} |
| | SGR (%/day) ⁶ | 3.13 ± 0.03 ^C | 3.03 ± 0.02 ^b | 2.92 ± 0.05 ^a | 2.95 ± 0.00 ^a |
| Shell breadth | IMW ⁷ | 26.22 ± 2.24 | | | |
| | FMW ⁸ | 40.49 ± 4.43 ^C | 37.06 ± 3.53 ^b | 32.55 ± 3.82 ^a | 33.84 ± 3.31 ^{ab} |
| | AGR | 54.42 ± 3.83 ^C | 41.34 ± 2.54 ^b | 24.14 ± 7.61 ^a | 29.06 ± 0.16 ^{ab} |
| | DGR ¹ | 3.91 ± 0.28 ^C | 2.97 ± 0.18 ^b | 1.73 ± 0.55 ^a | 2.09 ± 0.01 ^{ab} |
| | SGR | 2.81 ± 0.02 ^C | 2.72 ± 0.02 ^b | 2.59 ± 0.06 ^{ab} | 2.63 ± 0.00 ^{ab} |

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

²Initial mean shell length. Unit is mm.

³Final mean shell length. Unit is mm.

⁴Absolute growth rate. Unit is %.

⁵Daily growth rate. Unit is %/day.

⁶Specific growth rate. Unit is %/day.

⁷Initial mean shell width. Unit is mm.

⁸Final mean shell width. Unit is mm.

Table 2. Growth performance of shell width (mm) juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different density in net cage culture for SRP

| | | Stocking density (per./m ²) | | | |
|--------------|------------------|---|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 15 | 30 | 45 | 60 |
| Shell length | IML ² | 55.26 ± 6.93 | | | |
| | FML ³ | 71.89 ± 0.13 ^{1ab} | 72.40 ± 0.66 ^b | 67.65 ± 0.20 ^a | 69.36 ± 0.90 ^{ab} |
| | AGR ⁴ | 30.09 ± 0.23 ^b | 31.02 ± 1.20 ^b | 26.04 ± 0.36 ^a | 25.52 ± 1.63 ^{ab} |
| | DGR ⁵ | 4.56 ± 0.03 ^b | 4.70 ± 0.18 ^b | 3.94 ± 0.05 ^a | 3.86 ± 0.25 ^{ab} |
| | SGR ⁶ | 3.18 ± 0.00 ^b | 3.18 ± 0.01 ^b | 3.14 ± 0.00 ^a | 3.14 ± 0.01 ^{ab} |
| Shell width | IMW ⁷ | 36.75 ± 4.88 | | | |
| | FMW ⁸ | 47.75 ± 5.77 ^b | 47.58 ± 5.66 ^b | 44.68 ± 5.28 ^a | 45.72 ± 6.38 ^{ab} |
| | AGR | 29.93 ± 0.00 ^b | 29.46 ± 2.17 ^b | 21.59 ± 2.33 ^a | 24.41 ± 3.12 ^{ab} |
| | DGR ¹ | 3.01 ± 0.00 ^b | 2.97 ± 0.22 ^b | 2.17 ± 0.23 ^a | 2.46 ± 0.31 ^a |
| | SGR | 2.88 ± 0.00 ^b | 2.87 ± 0.02 ^b | 2.81 ± 0.02 ^a | 2.83 ± 0.03 ^{ab} |

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

Superscripts numbers are shown in Table 1.

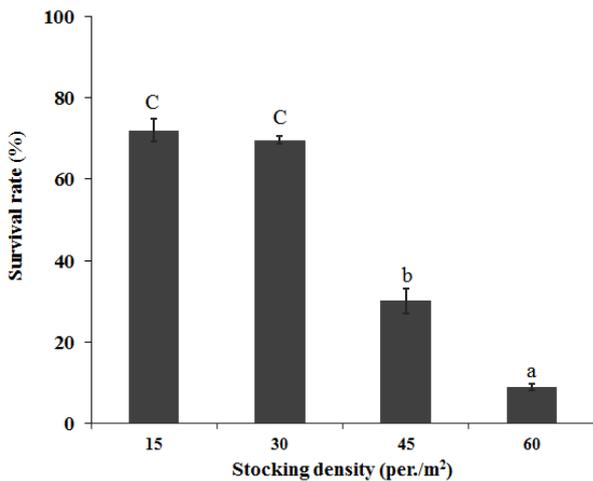


Fig. 5. Survival rate (%) juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different density in net cage culture for SRP. Bar indicates standard deviation (n = 2). Bars with different letter differ significantly (P < 0.05).

3. 생존율

PRP의 생존율에서는 97% 이상을 나타내었으며, 각 실험구 당 유의적인 차이는 없었다 (Fig. 4). 그러나 SRP에서는 15, 30 per./m²에서는 70%이상의 생존율을 보였으며, 45 per./m²

에서는 30% 이하의 생존율을 보였으며 15, 30 per./m² 실험구 간 유의적인 차이는 없었다 (Fig. 5).

고 찰

본 연구를 수행한 전남 완도의 노화도 해상가두리의 1차 양성 시 수온은 7.6- 26.1℃의 범위로 2차 양성 시 8.4-21.7 ℃ 보다 최저수온은 높았으나, 최고수온은 4℃이상 차이를 보였다. 이러한 수온차이는 겨울철 서해에서 발생하여 진도 부근에서 형성되던 저층 냉수대(冷水帶) 가 본 실험지역까지 영향을 미치면서 발생된 것으로 추정된다. Sakai (1962) 는 전복은 수온에 따른 일간섭식률에 차이를 보여 성장에 영향을 주게 되며, 보통 7℃ 이하에서는 전복 먹이 활동이 둔해지고 북방전복의 경우 성장 적수온은 20℃ 전후로 보고하였다. 또한 Yoo et al., (2004) 은 해상가두리에서 1년간 사육한 참전복 역시 수온 18-22℃의 수온기간 동안 높은 일간성장율을 보고하였다. 본 연구결과에서는 1차 양성 시기에는 20℃ 전후인 5월 하순부터 6월 하순경과 10월 하순부터 11월 하순에는 15 % 밀도에서만 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 다른 밀도구는 성장에 큰 차이가 나타나 Yoon et al., (2004) 와 다른 결과를 보였다. 그러나 2차 양성 시에는 고수온시기에 성장 적수온을 크게 벗어나지 않으면서 모든 실험구가 지속적으로 성장하였으며, 이러한 결과는 Yoon et al., (2004) 과 유사하였다. 해사가

두리에서 전복 양식 시에 성장에 영향을 미치는 중요한 시기는 5월에서 11월의 고수온 시기이며, 특히 이 시기에 수온 대에 따라서 성장에 차이를 보이며, 특히 수용밀도 결정에도 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 결과는 본 실험에서도 확인되었다. 그러나 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 작용하며, 따라서 기타 요인에 대한 정보가 파악되어야 하고 제한된 사육수조에서 한계생물체량을 파악하는 수용밀도는 매우 중요한 요인으로, 적정 수용밀도를 정확히 구명하는 것은 수온, DO 등의 수질환경적인 요인과 개체크기, 건강상태 등의 생물적인 요인이 고려되어야 하는 만큼 쉽게 결정되기 어렵다고 하였다. 또한 적정 수용밀도에 영향을 주는 요인으로 사육 환경에 대한 스트레스도 포함되며, 여기에는 사육수조의 크기 및 형태, 유수량, handling 등이 있다. 특히, 사육수조의 용적이 작을수록 수용된 생물의 활동 범위가 좁아지므로 스트레스는 상대적으로 높아질 수 있다 (石田, 1993). 즉, 높아진 스트레스는 전복의 성장저하와 폐사를 유발 시킬 수 있으며, 이를 대비하기 위해서도 적절한 수용밀도를 파악하여 양성하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 그러나 폐류의 성장과 생존에 있어서 수용밀도, 즉 사육밀도는 증가함에 따라 성장률은 감소된다고 보고되고 있으며 (Parsons and Dadswell, 1992; Holliday *et al.*, 1993; Son *et al.*, 2003), *H. discus hannai*에서는 해상가두리에서 사육 시 수용밀도가 증가할수록 성장률은 감소한다고 보고하였다 (Yoon *et al.*, 2004, Kim *et al.*, 2013). 본 연구에서는 1차 양성에서도 수용밀도가 높아지면서 성장률이 감소되는 것으로 나타나 기존 연구와 일치하였다. 그러나 2차 양성에서는 30 per./m²이하의 저밀도와 60 per./m² 고밀도의 성장에서 유의성이 없는 것으로 나타나 기존 연구와 1차 양성과는 다른 결과를 나타내었다. 이러한 원인으로는 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 첫째로는 고수온기인 5월부터 10월까지 22 °C 이하로 유지되면서 고밀도에서도 성장이 지속적으로 이루어진 것으로도 볼 수 있다. 또 다른 원인으로는 생존율과 연관성이다. 1차 양성기간 동안 각 밀도별 전복은 97%이상의 높은 생존율을 보인 반면, 2차양성기간은 60 per./m²이상의 고밀도군의 생존율이 10%이하로 급격히 감소하면서 실제 수용밀도는 크게 낮아져 생존된 개체의 성장에 영향을 미쳤을 것으로 예상될 수 있다. 하지만 사육기간 동안 전복 폐사가 언제 집중적으로 이루어졌는지 확인되지 않아 생존율이 고밀도군의 성장율에 직접적인 영향을 미쳤는지에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 하지만 1차 양성 결과를 통해서 30 per./m² 이하의 저밀도가 성장에는 유리할 것으로 판단되며, 저밀도가 성장에 유리한 결과는 해상가두리 외에 양성시설인 폐쇄순환여과시스템 (Park *et al.*, 1995; Son *et al.*, 2003), 플라스틱 수조 (Kim

et al., 1998), 멀티 타이어 바구니 (Wu *et al.*, 2009) 에서도 저밀도가 고밀도보다 높은 성장률을 나타내었다고 보고하였다.

전복류의 수용밀도는 성장률과는 밀접한 관계가 있으며, 전복류는 높은 수용밀도에서 때때로 큰 군집을 형성하여 발생하는 부착공간의 부족으로 겹으로 쌓이는 경향이 있으나 겹으로 쌓이는 것은 먹이섭식을 위해 움직일 때 제한요인이 되어 성장률을 저하시킨다 (Shepherd, 1986; Douros, 1987). 이러한 현상은 본 실험의 1차 양성 시 고밀도 실험구에서 직접 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 결국 제한된 시간과 공간에서 먹이 찾기와 섭취가 이루어지기 때문에 고밀도에서는 개체 간 경쟁이 증가 되고 성장이 억제된다. 즉 부착 셀터 공간의 경쟁은 밀도효과가 전복 성장에 영향을 미치는 원인 중의 하나라고 보여진다 (Wu *et al.*, 2009). 그러나 본 실험에서는 1차 양성의 경우 전복이 성장함에 따라 밀도가 높아지고 셀터에 대한 전복의 점유율이 높아짐으로써 성장이 둔화되는 것으로 추정될 수 있지만, 2차 양성 시에는 낮은 생존율로 인하여 1차 양성과 동일한 결론을 내릴 수 없다. 다만 30 %이상을 생존율을 나타낸 고밀도구는 저밀도보다 성장지수가 유사하거나 유의적으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 생존율은 1차 양성 시에는 모든 실험구에서 97% 이상으로 나타나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 2차 양성 시에는 저밀도군 (15, 30 %/m²) 에서는 70% 이상을 보이며, 고밀도군 (45, 60 %/m²) 에서는 30% 이하를 나타내었다. Yoon *et al.* (2004) 는 전복 해상가두리에서 주 폐사시기를 수온상승과 하강시기인 8월에서 11월중이며, 주 폐사원인으로는 박리 시 상처 발생, 먹이과다 투여에 따른 잔류 먹이의 부패, 전복 셀터 내부에 다량의 펄 침착에 의한 환경 악화 및 고 수온기 섭이부진에 따른 활력저하 등으로 지적하였다. 본 연구에서도 지적된 주 폐사원인을 제거하기 위하여 박리 시 상처 방지를 위해 박리제 처리를 통해 실시하였고, 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 펌프로 주기적으로 제거하여 대량 폐사를 방지하도록 실시하여, 1차 양성 시에는 높은 생존율을 올릴 수 있었다. 그러나 2차 양성에서는 1차 양성과 비교해 생존율이 급격히 낮아진 것은 수온 상승기와 하강기의 나타난 수온변화가 사육환경에 직접적인 변화를 일으켜 고밀도에서 대량 폐사를 발생시킨 것으로 보여, 환경변화에 대한 적절한 대응을 위해서도 적정 수용밀도가 필요한 것으로 판단된다.

본 실험결과 해상가두리 양식 시 북방전복의 적정 수용밀도는 각장 3-4 cm의 1년 양성기간 동안 셀터 단면적 기준으로 15 per./m² (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 750마리) 가 빠른 성장과 생존율을 유지하기에 가장 적절한 수용밀도라 판단되고, 경제

성을 고려할 경우 30 per./m² (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 1500마리) 도 가능하지만 6개월 후 분조를 통해 밀도를 낮출 필요가 있다. 또한 2차 양성에서 나타난 각장 5-6 cm의 육성용 북방전복은 쉘타 단면적 당 15 per./m² (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 405마리) 와 30 per./m² (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 810마리) 는 성장과 생존율에서 유의적 차이를 보이지 않아 경제성을 고려하여 30 per./m²인 양성하는 것이 양식 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 저수온 환경에서는 고밀도 사육은 대량폐사가 발생할 수 있는 만큼, 적정 수용밀도를 유지하는 것이 필요하다. 아울러 전복 가두리양식 생산성 향상을 위해서는 전복 양성 3-4년차의 적정 수용밀도, 적정 먹이공급량 등 생존율을 높일 수 있는 지속적인 기초연구가 수행되어야 한다.

요 약

본 연구는 해상가두리에서 2년 동안 수용밀도별로 사육된 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 의 성장 및 생존율 조사를 통해 적정 수용밀도를 구명하고 생산성을 향상시키고자 수행하였다. 수용밀도는 쉘타 단면적 당 점유율로 15, 30, 45, 60 percentage (= per./m²)로 설정하여 약 1년을 기준으로 1차 양성기간 (the primary rearing period, PRP), 2차 양성기간 (the second rearing period, SRP) 으로 실시하였다. PRP와 SRP의 1년간 평균 수온은 2°C의 차이를 보였다. PRP의 북방전복 (평균각장 36.14 ± 2.28 mm) 은 성장에서 각장과 각폭의 절대성장률 (absolute growth rate, ARG), 일간성장률 (daily growth rate, DGR), 특수성장률 (specific growth rate, SGR) 에서 15 per./m² 유의적으로 높았고 (P < 0.05), 생존율은 차이가 없었다. SRP의 북방전복 (평균각장 55.26 ± 6.93 mm) 은 ARG, DGR, SGR에서 45 per./m²제 외한 실험구간 유의적 차이는 없었으며, 생존율은 저밀도인 15, 30 per./m²는 70% 이상을 보였으나, 고밀도인 45, 60 per./m²는 각각 31%, 9%이하였다. 본 실험결과 해상가두리 내에서 각장 3-4 cm 북방전복의 1차 양성기간 적정 수용밀도는 15 per./m² (2.4 × 2.4 m, 1칸 당 750마리) 가 적절하였다. 2차 양성기간 육성용 북방전복 (각장 5-6 cm) 은 경제성을 고려하여 30 per./m²인 양성하는 것이 양식 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (전복 가두리양식 생산성향상 및 표준화 연구 14-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 F-tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.

Fleming A.E., Van Barneveld R.J., Hone P.W. Hone, Vandepuer M.E. and Kruk J.A. (1998) Complementary additivity of the digestibility coefficients of feed ingredients fed to juvenile greenlip abalone (*Haliotis laevis*). *Journal Shellfish Research*, **17**: 641-647.

Fleming, A., Hone P., Higham J. (1997) The effect of water velocity on consumption and growth of greenlip abalone in tanks. *In*: Hone P.W., Fleming A. (eds) Proceedings of the 4th annual abalone aquaculture workshop, Port Fairy, Victoria, FRDC. Canberra, Australia, pp. 16-23.

Harris, J.O., Maguire G.B. and Edward S.J. and Hindrum S.M. (1998a) Effect of pH on growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* and blacklip abalone, *Haliotis rubra*. *In*: Hone P.W. (ed) Proceedings of the 5th abalone aquaculture workshop, Hobart, FRDC. Canberra, Australia.

Harris, J.O., Maguire G.B. and Edward S.J. and Hindrum S.M. (1998b) Effect of ammonia on growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture*, **160**: 259-272.

Harris, J.O., Maguire G.B. and Edwards S.J. (1999) Low dissolved oxygen reduces growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. *Aquaculture*, **174**: 265-278.

Higham J., Hone P., Clarke S. Baudinette R. and Geddes M. (1998). The effect of flow on growth in juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* (Donovan). *In* Hone P.W. (Ed.), *Proceedings of the 5th annual abalone aquaculture workshop*. Hobart. FRDC, Canberra, Australia, pp. 115-122.

Hindrum, S.M., Cropp M. and Maguire G.B. (1995) Evolution of abalone growth tank design at Marine Shellfish hatcheries, Bicheno, Tasmania. *In*: *Proceedings 2nd annual FRDC/CRC workshop on abalone culture*, CSIRO Marine Laboratories, Hobart, FRDC, Canberra.

Holliday, J.E., Allan G.L. and Nell. J.A. (1993) Effects of stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*). *Aquaculture*, **96**: 7-16.

Hooker, N. and Morse D.E. (1985) Abalone: the emerging development of commercial cultivation in the United States. *In*: Huner J.V. and Brown E.E. (eds) Crustaceans and mollusk aquaculture in the United States. AVI Publishing co., Westport.

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)
- Kim, B.H., Park, M.W., Shon M.H., Kim T.I, Cho J.K. and Myeong J.I. (2013). A Study on the Optimum Stocking Density of the Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* net Cage Culture or Indoor Tank Culture. *Korean Journal Malacology*, **29**(3): 189-195.
- 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.
- KOSIS (Korean statistical information service) (2014). Agriculture, Forestry and Fishery. Statistics Korea, Daejeon, Korea. <http://kosis.kr>
- La Touche, B., Moylan K. and Twomey W. (1993) Abalone on-growing maunal. *Aquacult. Expl.*, **14**: 39.
- Leitman A. (1992) The effects of gas supersaturation on the behaviour, growth and mortality of red abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson). *In*: Shepherd S.A., Tegner M.J., Guzman del. Proo. S.A. (eds) Abalone of the world: biology, fisheries and culture. Fishing New Books, Oxford.
- Liu, K.M. and Chen W.K. (1999) Examining the effects of stocking density and depth on growth of intensive cultured abalone, *Haliotis diversico,or supertexta* Lischki, *J. Fish Soc., Taiwan*, **26**: 23-33.
- Loipersberger, M. (1997) SAABDEV tank report. *In*: Hone P.W. (ed) Proceedings of the 4th annual abalone aquaculture workshop, Port Fairy, Victoria, FRDC, Canberra, Australia.
- Mercer, J.P., Mai K.-S. and Donlon J. (1993) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus and *Haliotis discus hannai* Ino: I. Effects of algal diets on growth and biochemical composition. *Invertebrates Reproduction Development*, **23**: 75-88.
- Park, M.E., Rho S. and Song C.B. (1995) Density Effect on the Growth of Juvenile Abalones (*Haliotis discus hannai*) Reared in the Closed Recirculating Water System. *Bull. Mar. Res, Inst. Cheju Nat. Univ.*, **19**: 93-102. (in Korean)
- Parson, G.C. and Dadswell M.J. (1992) Effect of stocking density on growth, production and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in Passamaquoddy Bay, New brunswick. *Aquaculture*, **103**: 291-309.
- 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
- Son, M.H., Cho K.C., Kim K.K. and Jeon I.G. (2003) Optimum stocking density of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* in recirculating culture system. *J. of Aquaculture*, **16**(4): 257-261. (in Korean)
- Son, M.H., Lee J.U., Park M.W., Lim H.K., Kim D.J. and Hwang H.G. (2009). State of Optimal Rearing Technique on the Abalone (*Haliotis discus hannai*) Juvenile. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**(6). 621-627. (in Korean)
- Tahil, A.S. and Juinio-Menez M.A. (1999) Natural diet, feeding periodicity and functional response to food density of th abalone, *Haliotis asinina* L. (Gstropoda). *Aquaculture Research*, **30**: 95-107.
- Wu, F., Liu X., Zhang G. and Wang C. (2009) Effects of the initial size, stocking density and sorting on the growth of juvenile Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Research*, **40**.
- 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. (in Korean)
- 박무억, (1993) 폐쇄순환여과식 시스템에서 전복류 치패의 사육 밀도와 성장. 제주대 학석사학위논문.
- 한석중, (1998) 전복양식. pp. 9-14. 구덕출판사. 부산.
- 石田 修, (1993) クロアワビにの成長に及ぼす飼す飼育密度の影響. *水産増殖*, **41**(4): 431-433.