

해상가두리 및 실내 육상수조에서 먹이 공급비율에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 성장 및 생존율

김병학, 박민우, 김태익, 손맹현, 이시우

국립수산과학원 남서해수산연구소

The Effect of Growth and Survival Rate on Feeding Rate of Abalone, *Haliotis discus hannai*, Rearing in Net Cage Culture or Indoor Tank Culture

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

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

ABSTRACT

The effect of different feeding rate on the growth and survival rate of the abalone, *Haliotis discus hannai*, were investigated in marine net cage culture and indoor tank culture. Feeding rate is determined that was fed 5, 10, 15 and 20 percentage to abalone at body weight once daily : 5 daily feeding rate (DFR), 10DFR, 15DFR and 20DFR. After that, it was conducted to reared during thirteen month with two replicates in net-cage culture and indoor tank culture. In the growth performance of reared abalone (initial mean shell length 54.18 ± 7.39 mm) in net cage culture, that the absolute growth rate (ARG), daily growth rate (DGR) and specific growth rate (SGR) to the shell length and shell breadth, as well as weight gain (WG), daily weight gain (DWG) and specific weight gain (SWG) to body weight of 20DFR were lower than those of different groups ($P < 0.05$). Also, survival rates of 20DFR was lower than those of different groups ($P < 0.05$). In the growth performance of reared abalone (initial mean shell length 49.70 ± 2.28 mm) in indoor tank culture, that the ARG, DGR and SGR to the shell length and shell breadth, as well as WG, DWG and SWG to body weight of 5DFR and 10DFR were lower than those of different groups ($P < 0.05$). And also, survival rates of 20DFR was lower than those of different groups ($P < 0.05$). Therefore, these results is showed that the daily feeding rate for natural feed in net-cage culture and indoor tank culture should be to supply among 5-10 percents, taking into account growth, survival rate and economical efficiency.

Keywords: Abalone, *Haliotis discus hannai*, feeding rate, growth, survival rate

서론

국내 전복류 양식은 1970년대부터 인공종묘생산기술이 개발되어 1980년대부터 종묘생산기술을 보급함으로써 본격적으로 시작되어 (한, 1998), 2013년도 국내 전복류 생산량은

7,479톤, 생산금액은 2,476억원에 이르고 있으며 (KOSIS, 2014), 이중 전복류 중 북방전복 (*Haliotis discus hannai*)의 중간양성은 전남 완도를 중심으로 대부분 해상가두리에서 실시되고 있으며, 완도 내 해상가두리 면허건수와 면적은 매년 연평균 14%이상씩 증가하고 있다 (Kim and Song, 2012). 국내 북방전복 양식은 크게 종묘생산과 양성 단계로 나눌 수 있다. 종묘생산 시기에는 부착성 규조류와 시판 배합사료 등을 공급하여 관리하고 3 cm 전후로 사육 시 해상가두리로 이동해 사육하게 되며, 해상가두리 양성 시 먹이로는 다시마 (*Laminaria japonica*) 와 미역 (*Undaria pinnatifida*) 과 같은 천연먹이를 공급하여 관리하고 있다 (Kim et al., 2013). 북방전복 양성단계에서의 먹이공급은 한번 공급된 먹이가 부패가 되지 않는 양을 계속 수시로 공급하는 것이 가장 이상적이다 (한, 1998). 그러나 해상가두리 양성 시에 공급되는 미역,

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
1225-3480/24533

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.

다시마 등의 천연먹이는 각 현장마다 해상가두리별 공급기준 없이 양식업자의 경험에 의존되어 공급되고 있다. 국립수산물학원에 발행한 전복표준양식지침서 (NFRDI, 2008)는 해상가두리 내 공급주기와 예상먹이소요량을 제안하고 있지만, 먹이섭식량은 수온, 크기, 지역별 사육환경에 따라 달라질 수 있어, 각 지역별 현장기준에 맞는 공급기준 제시가 요구되고 있다. 또한 북방전복 양식 현장 중 일부에서는 무조건 많이 공급하여 오랫동안 먹이를 먹는 것이 성장에 유리할 것이라는 막연한 추측으로 천연먹이가 무분별하게 과다 공급되는 사례가 늘고 있다. 이러한 먹이 과다공급은 다량으로 잔류하게 된 먹이의 부패와 이로 인한 수질악화로 가두리 사육환경이 악화되면서 폐사량 증가와 함께 경제적인 낭비를 초래할 수 있다(한, 1998; NFRDI, 2008).

전복류의 천연 먹이공급과 관련하여 *Haliotis laevigata*의 먹이조성물 (Hooker and Morse, 1985), 해조류별 먹이 공급에 따른 *Haliotis tuberculata*와 *Haliotis discus hannai*의 성장과 체조성 (Mercer *et al.*, 1993), *Haliotis asinina*의 천연먹이 밀도에 대한 급식주기성과 기능적 반응 (Tahil and Juinio-Menez, 1999), 해조류와 배합사료의 혼합 급이 (Naidoo *et al.*, 2006) 등이 보고되고 있다. 국내에서는 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 천연먹이와 관련하여, 육상 및 실내에서 배합사료와 생사료 공급에 대한 성장비교 (Lee *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2013) 가 보고되고 있지만, 미역, 다시마 등의 천연먹이 적정 공급량에 대한 연구는 수행되지 않았다. 특히 사육기간 동안 미역, 다시마만을 공급하는 해상가두리에서의 먹이공급과 관련하여 장기간 수행된 연구는 국내외적으로 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 북방전복 양성용 해상가두리의 천연 먹이공급비율에 따른 성장 및 생존율을 조사하고, 실내육상양식의 먹이공급을 비교를 통해 국내 주요 북방전복 양성방법인 해상가두리와 함께 실내 사육 시의 적정 천연먹이 공급율을 제안하여 북방전복의 생산성 향상을 유도하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험시설 및 실험구설정

1) 해상가두리

해상가두리 실험은 2013년 5월부터 2014년 4월까지 12개월 (365일) 동안 전남 완도군 노화읍 삼마리 앞바다에 설치된 해상가두리에서 실시하였다. 실험 전복은 2011년에 종묘 생산된 양성 2년생 (각각 평균 54.18 ± 7.39 mm) 을 사용하였으며, 실험가두리는 전남 완도군에서 주로 사용되는 PE (polyethylene) 해상가두리 (2.4 × 2.4 m) 를 반으로 나눈 가두리 (1.2 × 2.4 m) 를 사용하였다. 각 가두리 당 PC

(polycarbonate) 재질로 셸터 (Shelter, 100 × 90 cm) 를 3개씩 설치하였으며, 셸터의 단면적은 2.7 m² 로 하였다. 해상가두리의 먹이공급별 실험구 설정은 전복양식표준지침서 (2008) 를 참고하여 설정하였다. 즉, 해상가두리 입식밀도는 가두리 한 조당 셸터단면적의 30%를 수용하고 있으며, 따라서 가두리 반 조(1.2 × 2.4 m) 당 수용마리수는 405마리로 하였다. 먹이 공급율은 수용된 전복중량을 기준으로 일간공급량 (daily feeding rate, DFR) 을 각각 5% (5DFR), 10% (10DFR), 15% (15DFR), 20% (20DFR) 로 설정하여 미역과 다시마를 계절에 따라 공급하였으며, 각 실험구는 2반복으로 실시되었다.

2) 실내육상수조

육상수조 실험은 2013년 5월부터 2014년 4월까지 12개월 (365일) 간 전남 여수 남서해수산연구소 사육시설에서 실시하였다. 실험 전복은 2011년에 종묘생산된 양성 2년생 (각각 평균 49.70 ± 2.28 mm) 을 사용하였다. 실험 수조는 FRP 사각수조 (70 × 100 × 60 cm) 에 PE (polyethylene) 그물가두리 (65 × 90 × 40 cm) 를 설치하였고, 셸터 (Shelter) 는 PC 재질 셸터 (63 × 78 cm, 단면적 7,800 cm²) 를 가두리 내에 설치하여 실험전복을 수용하였다. 실험구 설정은 해상가두리와 같은 기준을 적용하여 셸터 단면적당 30%를 기준으로 한 수조당 49마리를 수용하였으며, 먹이 공급율은 해상가두리와 같이 전복중량 기준으로 일간공급율 (DFR) 로 5%, 10%, 15%, 20%를 설정하였다. 각 실험구는 2반복으로 실시하였으며 사육수조에는 우수식으로 실시하였으며 환수량은 1 회전/시간 이었고 각 수조마다 산소공급을 위해 에어레이션을 설치하였다.

2. 먹이공급 및 환경조사

해상가두리에서는 실험 기간 중 먹이를 완도지역 전복 양식 어업인과 동일하게 공급하였다. 즉 3월부터 9월까지의 생 다시마, 9월부터 10월까지의 소량의 건 다시마 및 염장 미역 그리고 11월부터 2014년 4월 실험 종료 시까지 생 미역을 먹이공급율별로 공급하였다. 먹이는 평균 7일 기준으로 공급하였으며, 매일 1회씩 잔량 먹이를 제거하여 주었다. 실내육상수조에서는 안정적인 먹이공급을 위해 건 다시마를 다시마 생 중량에서 수분량 (90%) 을 제외한 무게만큼 각 먹이공급율별로 공급하였다. 먹이는 해상가두리와 같이 7일 기준으로 공급하였으며, 새로운 먹이 공급 시 사료 잔량을 측정하고 수조 청소를 실시하였다.

실험기간 중의 사육수온은 자연수온에 의존하였고 해상가두리 일간 수온 조사를 위해 연속수온측정기 (HOBO TidbiT[®] v2 Temp, UTBI-001, Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA) 를 사용하였고, 실내사육수조는 디지털

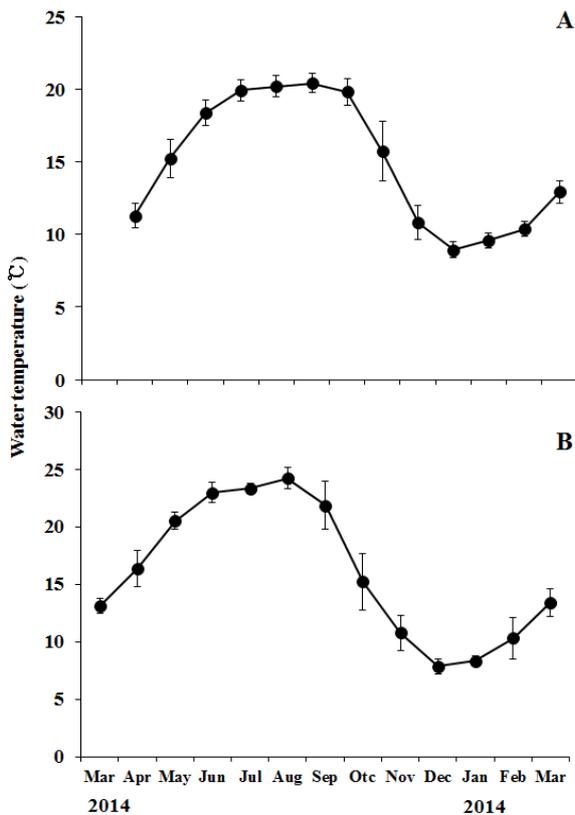


Fig. 1. Changes of water temperature in net cage (A) and indoor tank (B) culture at experiment area during rearing period.

털 온도측정기를 설치한 후 매일 오전 9시에 조사하였다.

3. 성장 및 생존율

성장 조사는 실험시작 시 100마리의 치패를 무작위로 체포하여 각장 (shell length), 각폭 (shell breadth), 전중 (total weight) 을 측정하였고, 매일마다 각 실험구 당 30마리의 치패를 무작위로 체포하여 각장을 측정하여, 월별 각장변화를 조사하였고, 실험종료 시에는 각장, 각폭, 전중을 측정하였다. 각장과 각폭은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm까지 측정하였고, 전중은 전자정밀저울 (MW-II, CAS Co., Yangju city, Gyeonggi-do, Korea) 이용하여 0.01 g까지 측정하였다. 측정된 각장과 각폭은 아래식에 따라 절대성장율 (absolute growth rate, AGR), 일간성장율 (daily growth rate, DGR), 특수성장율 (specific growth rate, SGR) 를 산출하였고, 각폭 역시 각장과 같은 방식으로 ARG, DGR, SGR을 산출하였다. 측정된 전중은 증중률 (weight gain, WG), 일간증중율 (daily weight gain, DWG), 특수증중율 (specific weight gain, SWG)을 산출하였다.

$$\text{절대성장율 (AGR, \%)} = (L_e - L_i) / L_i \times 100 \text{ 또는 } (B_e - B_i) / B_i \times 100$$

$$\text{일간성장율 (DGR, \%/\text{day})} = (L_e - L_i) / (T - t) \times 100 \text{ 또는 } (B_e - B_i) / (T - t) \times 100$$

$$\text{특수성장율 (SGR, \%/\text{day})} = (\ln L_e - \ln L_i) / (T - t) \times 100 \text{ 또는 } (\ln B_e - \ln B_i) / (T - t) \times 100$$

$$\text{증중률 (WG, \%)} = (W_e - W_i) / W_i \times 100$$

$$\text{일간증중율 (DWG, \%/\text{day})} = (W_e - W_i) / (T - t) \times 100$$

$$\text{특수증중율 (SWG, \%/\text{day})} = (\ln W_e - \ln W_i) / (T - t) \times 100$$

여기서, L_e 와 L_i 는 각각 최종평균각장과 최초평균각장, W_e 와 W_i 는 각각 최종평균각폭과 최초평균각폭이며, W_e 와 W_i 는 각각 최초평균전중과 최종평균전중을 나타낸다. $(T - t)$ 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 최종생존마리수와 최종생존마리수를 나타낸다.

4. 통계처리

성장 및 생존율 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 실시하였으며, $P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 수온변화

해상가두리의 수온 범위는 8.95-20.42°C이었으며, 평균 수온은 14.89 ± 4.46 °C이었다. 2013년 8월이 가장 높았고, 2013년 12월이 가장 낮았다. 실내육상수조의 수온범위는 7.86-24.24°C로 평균수온은 16.02 ± 5.96 °C로 2013년 8월에 가장 높았고, 2013년 12월에 가장 낮게 나타났으며, 해상가두리의 평균수온과 비교해 1-2 °C정도 낮게 나타났다 (Fig. 1).

2. 성장변화

1) 월별각장변화

해상가두리에서 먹이공급을별로 사육된 북방전복의 월별 각장변화에서 2013년 12월 (양성 9개월) 까지 각 실험구별로 각장성장률에 유의적 차이 없었으나, 2014년 01월부터 3월 (양성

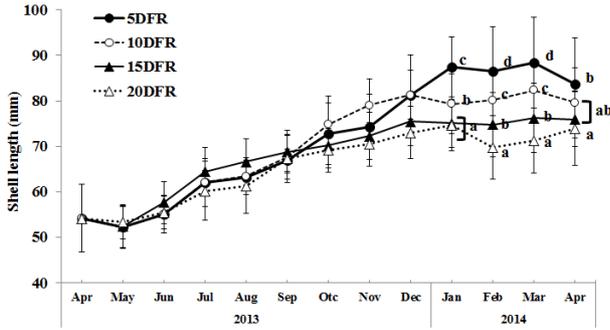


Fig. 2. Changes of shell length (mm) of abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different daily feeding rate (DFR) in net cage culture. Different letters differ significantly ($P < 0.05$).

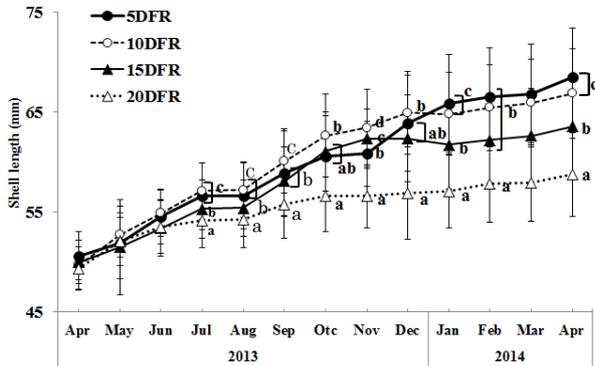


Fig. 3. Changes of shell length (mm) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with DFR in indoor tank culture. Month of not superscript is not significant. Different letters differ significantly ($P < 0.05$)

10-12개월) 까지 5DFR이 10DFR, 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높게 나타났으며 ($P < 0.05$), 4월에는 5DFR은 20DFR보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$) (Fig. 2). 실내 육상수조에서 먹이공급율별로 사육된 전복의 월별 각장변화에서 2013년 7월 (양성 4개월) 부터 5DFR, 10DFR의 각장이 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높았으며, 이후 5DFR은 20DFR보다 2014년 3월 (양성 11개월) 을 제외하고 매월 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 사육 최종 월인 2014년 4월 (양성 13개월) 에서는 5DFR과 10DFR이 15DFR과 20DFR보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$) (Fig. 3).

2) 성장특성

해상가두리에서 먹이공급율별로 사육한 북방전복 각장 성장의 FML에서는 5DFR이 20DFR보다 유의적으로 높았으며, 각장의 AGR, DGR, SGR에서도 5DFR이 20DFR보다 유의적으로 높았으며 ($P < 0.05$), 10DFR, 15DFR과 차이는 없었

다. 각쪽 성장에서도 FMB, AGR, DGR, SGR에서 5DFR이 20DFR보다 유의적으로 높고 ($P < 0.05$), 10DFR, 20DFR과는 차이가 없었다. 중량 성장에서는 FMW, WG, DWG에서는 각 실험구별로 유의적 차이가 없었으나, SWG에서는 5DFR이 20DFR보다 유의적으로 높았고 ($P < 0.05$), 10DFR, 15DFR과는 없었다 (Table 1). 실내육상수조에서 먹이공급율별로 사육한 전복의 각장 성장의 FML에서는 5DFR, 10DFR이 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높았으며 ($P < 0.05$), AGR, DGR, SGR에서도 5DFR, 10DFR이 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 각쪽 성장에서도 5DFR, 10DFR의 FMB, AGR, DGR, SGR은 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높았으며, 중량 성장에서도 FMW, WG, DWG, SWG 모두 5DFR, 10DFR이 15DFR, 20DFR보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$) (Table 2).

3. 생존율

해상가두리에서 사육된 북방전복의 생존율에서 5DFR, 10DFR은 20DFR보다 유의적으로 높았으며 ($P < 0.05$), 5DFR, 10DFR, 15DFR은 80% 이상의 생존율을 보였다 (Fig. 4). 실내육상수조에서 사육된 북방전복의 생존율에서는 5DFR, 10DFR, 15DFR은 유의적 차이를 보이지 않으며, 20DFR은 10DFR보다 유의적으로 낮은 생존율을 보였다 ($P < 0.05$). 다만 20DFR은 59% 생존율을 보였으나 80% 이상의 생존율을 보인 5DFR, 15DFR과는 유의적 차이는 없었다 (Fig. 4).

고찰

북방전복의 단위 체중 당 섭식율은 수온이 높을수록 또한 각장이 적을수록 높고, 반대로 수온이 낮거나 대형 크기일수록 낮아진다 (한, 1998). Sakai (1962) 는 전복은 수온에 따른 일간섭식률에 차이를 보여 성장에 영향을 주게 되며, 보통 7°C 이하에서는 전복 먹이 활동이 둔해지고 북방전복의 경우 성장적수온은 20°C 전후로 보고하였다. 또한 Yoon *et al.*, (2004) 은 해상가두리에서 1년간 사육한 *H. discus hannai* 역시 수온 18-22°C의 수온기간인 6월초에서 7월하순, 10월과 11월에 높은 일간성장율을 보고하였다. 본 연구에서는 해상가두리 내 수온이 상승되는 5월부터 다시 수온이 하강하는 11월까지 모든 실험구가 유의적 차이 없이 지속적인 성장을 보여 Yoon *et al.*, (2004) 과 다른 결과를 보였다. 이러한 결과는 실험기간동안 가두리가 설치된 완도연안은 냉수대 (冷水帶) 의 영향으로 고수온기인 7월에서 10월까지 수온이 20°C 전후로 형성되어 성장에 영향을 준 것으로 판단된다. 실내육상수조에서도 5-12월 사이에 집중적인 성장특성을 보이지만 수온이 24-26°C까지 상승되는 7, 8월에 각장 성장을 보이지 않고, 20°C 전후로 하강

Table 1. Growth performance of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different DFR in net cage culture.

		5DFR	10DFR	15DFR	20DFR
Shell length	IML ²	54.18 ± 7.39			
	FML ³	84.49 ± 4.65 ^{1b}	79.58 ± 1.48 ^{ab}	75.94 ± 1.25 ^{ab}	74.14 ± 3.42 ^a
	AGR ⁴	55.94 ± 8.59 ^b	46.87 ± 2.73 ^{ab}	40.15 ± 2.31 ^{ab}	36.83 ± 6.30 ^a
	DGR ⁵	8.30 ± 1.27 ^b	6.96 ± 0.40 ^{ab}	5.96 ± 0.34 ^{ab}	14.24 ± 0.94 ^a
	SGR ⁶	3.34 ± 0.06 ^b	3.28 ± 0.02 ^{ab}	3.24 ± 0.02 ^{ab}	3.21 ± 0.05 ^a
Shell breadth	IMB ⁷	36.09 ± 4.95			
	FMB ⁸	56.11 ± 3.92 ^b	53.38 ± 0.96 ^{ab}	50.18 ± 0.81 ^{ab}	48.85 ± 0.95 ^a
	AGR	55.46 ± 10.87 ^b	47.91 ± 2.66 ^{ab}	39.03 ± 2.25 ^{ab}	35.34 ± 2.65 ^a
	DGR	5.48 ± 1.08 ^b	4.74 ± 0.26 ^{ab}	3.86 ± 0.22 ^{ab}	3.49 ± 0.26 ^a
	SGR	3.04 ± 0.07 ^b	2.99 ± 0.02 ^{ab}	2.93 ± 0.02 ^{ab}	2.91 ± 0.02 ^a
Total weight	IMW ⁹	22.16 ± 9.17			
	FMW ¹⁰	60.30 ± 9.76 ^{ns}	52.90 ± 2.26	46.60 ± 6.08	43.58 ± 2.72
	WG ¹¹	171.11 ± 44.03 ^{ns}	138.72 ± 10.21	110.29 ± 27.44	96.64 ± 12.29
	DWG ¹²	10.45 ± 2.67 ^{ns}	8.42 ± 0.62	6.70 ± 1.67	5.87 ± 0.75
	SWG ¹³	3.24 ± 0.16 ^b	3.12 ± 0.04 ^{ab}	2.99 ± 0.13 ^{ab}	2.92 ± 0.06 ^a

¹Values (mean ± S.D of two replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different (P < 0.05). Ns is not significant.

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 breadth. Unit is mm

⁸Final mean shell breadth. Unit is mm.

⁹Initial mean total weight. Unit is g.

¹⁰Final mean total weight. Unit is g.

¹¹Weight gain. Unit is %.

¹²Daily weight gain. Unit is %/day.

¹³Specific weight gain. Unit is %/day.

Table 2. Growth performance of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different DFR in indoor tank culture.

		5DFR	10DFR	15DFR	20DFR
Shell length	IML ²	49.70 ± 2.28			
	FML ³	68.57 ± 1.37 ^{1C}	66.78 ± 0.49 ^C	63.56 ± 0.82 ^b	58.85 ± 0.02 ^a
	AGR ⁴	37.97 ± 2.76 ^C	34.37 ± 1.00 ^C	27.89 ± 1.65 ^b	18.40 ± 0.04 ^a
	DGR ⁵	5.17 ± 0.38 ^C	4.68 ± 0.14 ^C	3.80 ± 0.22 ^b	2.51 ± 0.01 ^a
	SGR ⁶	3.16 ± 0.02 ^C	3.13 ± 0.01 ^C	3.08 ± 0.01 ^b	3.00 ± 0.00 ^v
Shell breadth	IMB ⁷	32.70 ± 1.72			
	FMB ⁸	44.74 ± 1.09 ^C	43.22 ± 0.18 ^C	41.43 ± 0.36 ^b	38.31 ± 0.33 ^a
	AGR	36.82 ± 3.33 ^C	32.16 ± 0.54 ^C	26.68 ± 1.10 ^b	17.16 ± 0.99 ^a
	DGR	3.30 ± 0.30 ^C	2.88 ± 0.05 ^C	2.39 ± 0.10 ^b	1.54 ± 0.09 ^a
	SGR	2.85 ± 0.02 ^C	2.81 ± 0.00 ^C	2.77 ± 0.01 ^b	2.69 ± 0.01 ^a
Total weight	IMW ⁹	13.64 ± 1.93			
	FMW ¹⁰	36.03 ± 2.81 ^C	34.73 ± 1.08 ^C	28.76 ± 1.03 ^b	21.91 ± 0.21 ^a
	WG ¹¹	164.15 ± 20.63 ^C	154.58 ± 7.93 ^C	110.81 ± 7.52 ^b	60.63 ± 1.56 ^a
	DWG ¹²	6.13 ± 0.77 ^C	5.78 ± 0.30 ^C	4.14 ± 0.28 ^v	2.27 ± 0.06 ^a
	SWG ¹³	2.87 ± 0.08 ^C	2.83 ± 0.03 ^C	2.64 ± 0.04 ^v	2.37 ± 0.01 ^a

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.

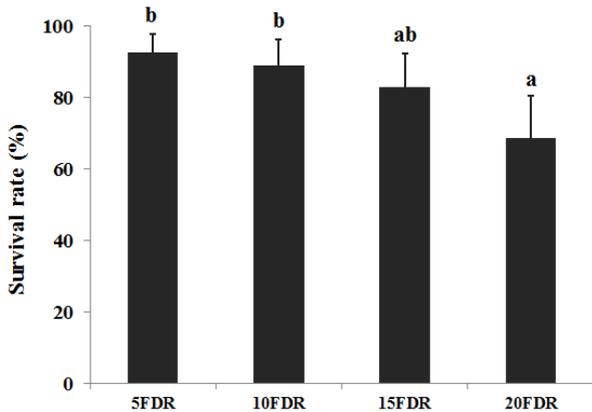


Fig. 4. Survival rate (%) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared with different DFR in net cage culture. Bar indicates standard deviation (n = 2). Bars with different letter differ significantly (P < 0.05).

하는 9월부터 11월까지 높은 성장변화를 보이고 있어 Yoon *et al.*, (2004) 의 결과와 일치하였으며, Kim *et al.*, (2003) 도 실내 육상수조에서 사육기간동안 평균수온이 성장 적수온에 가까울수록 성장효과는 크다고 보고하였다. 그러나 북방전복 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 있어, 기타 요인에 대한 정보가 함께 파악되어야 한다.

효율적인 양식 운영을 위해서는 우선 대상 어종의 사육에 적합한 질 좋은 먹이를 최대 성장과 효율을 얻을 수 있도록 적정 사료공급 방법을 결정하는 것이 양식대상 어종의 생산성 향상을 위한 중요한 조건이다 (Ng *et al.*, 2000; Mihelakakis *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2012). 양식대상 종에 적합한 사료 공급체계가 확립되어 있지 않을 경우에는 사료가 과잉 또는 부족하게 공급되기 쉽고, 사료의 과잉공급은 사료의 유실 뿐만 아니라, 허실을 초래하여 경제적 손실과 수질 오염원을 증가시킨다. 반대로 사료 공급이 부족하게 되면, 어류 최대 성장에 필요한 영양소 요구량을 충족시키지 못하여 성장 저하를 초래할 수 있다 (Tsevis *et al.*, 1992; Azzaydi *et al.*, 2000). 이처럼 사료 공급시간, 사료공급횟수, 공급량 및 주별 사료 공급일수와 같은 사료 공급방법은 상업적인 양식장 운영의 성공여부에 많은 영향을 미치는 요인이다 (Jobling *et al.*, 1995). 해상가두리에서 전복류 양성 시 주로 생미역과 생다시마를 주로 공급하여 양성하며, 조기 생산된 전복류 먹이용 미역의 경우 9월 중순경에 양성 시설을 하여 11월중순경부터 생미역을 채취하여 전복류의 먹이로 이용하고 있으며, 후기 생산된 미역의 경우 10월 중순경에 미역 양성장을 시설하여 12월 초순부터 이듬해 3월 하순경 채취하여 전복류의 먹이로 이용하고 있다. 대규모 양식장의 경우 관리선에 탑재된 크레인을 이용하여 가두리에

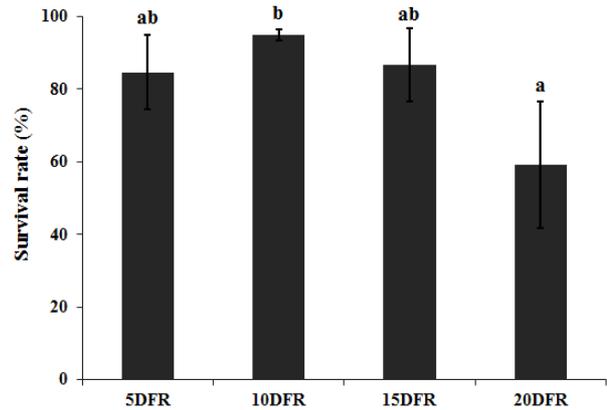


Fig. 5. Survival rate (%) juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*, reared with different DFR in indoor tank culture. Bar indicates standard deviation (n = 2). Bars with different letter differ significantly (P < 0.05).

먹이를 공급하며, 생먹이가 공급되지 않는 시기에는 염장 미역 및 다시마, 건 다시마를 공급하게 된다 (NFRDI, 2008). 본 연구가 수행된 해상가두리에서도 전복에 공급되는 먹이는 9월까지 생미역과 다시마를 공급하고 있으며, 9월 이후 한 2달 정도 건 다시마, 염장 미역 등을 공급하고, 11월부터 생미역으로 전환되고 있어 기존 양식순기에 따라 먹이공급이 이루어지고 있다. 그러나 전복 먹이 공급량에서는 특별한 기준없이 공급되고 있으며, 전복표준양식지침서 (NFRDI, 2008) 는 해상가두리에서의 전복 양성 시 공급되는 해조류의 사료효율은 5% 수준에서 산정될 경우, 전복 1 kg 성장에 해조류 20 kg이 필요하게 되고, 500,000 만 마리에 대한 3년간 총 먹이소요예상량은 약 700 kg이며, 가두리 한칸 당 80 kg 정도를 7-10일 간격으로 주도록 권장하고 있다. 그러나 전복의 크기 및 사육환경에 따라 먹이 섭취량이 달라질 수 있어 먹이공급량을 섭취량보다 다량으로 공급하여 먹이가 부족하지 않도록 할 것을 권장하고 있다. 본 연구에서 양식대상 전복체중을 기준으로 일간공급량이 20%가 이상이 되었을 때 그 이하로 공급되었을 때 보다 성장이 감소되는 것을 해상가두리와 실내육상수조 모두에서 확인할 수 있었다. 전복양성 시 해상가두리와 실내육상수조에서 자연먹이의 적정 먹이공급율에 대한 연구는 국내외적에서 아직 보고되고 있지 않다. 다만 전복표준양식지침서 (NFRDI, 2008) 에서 고수온기는 평상시와 동일하게 먹이를 공급한다면 먹지 않고 남는 먹이로 조류소통이 억제되어 사육환경이 악화되면서 전복의 성장저하와 질병을 초래할 수 있다고 하여, 먹이가 20%이상 공급된 가두리에서는 남는 먹이로 인한 사육환경 악화가 영향을 미쳤을 가능성을 추측할 수 있다. 특히 해상가두리에서는 5% 먹이공급구가 10%, 15% 먹이공급구와 유의적 차이는 없지만 높은 성장을 보이고 있어, 경제적인 측면에서도 5%먹이공급구가 효율적이라 할 수 있으며, 이러한 결

과는 실내육상수조에서도 유사하게 나타났다. 또한 생존율에서도 해상가두리의 경우 15% 먹이공급구까지 80%이상을 나타내었고 5% 먹이공급구는 90% 이상을 보였으며, 실내육상수조에서도 15%이하 먹이공급구는 생존율이 80-90% 이상을 나타내어 경제적 효율성에서 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. Yoon *et al.* (2004) 는 전복 해상가두리에서 주 폐사시기를 수온상승과 하강시기인 8월에서 11월중이며, 주 폐사원인으로 박리 시 상처 발생, 먹이과다 투여에 따른 잔류 먹이의 부패, 전복 쉘터 내부에 다량의 펄 침착에 의한 환경 악화 및 고수온기 섭이부진에 따른 활력저하 등으로 지적하였다. 본 연구에서는 지적된 주 폐사원인 중 먹이과다 투여에 따른 잔류 먹이의 부패가 폐사에 영향을 미쳤을 가능성이 있으며, 해상가두리의 경우 20%이상의 먹이공급 시 조류 소통의 방해로 인한 급격한 수질악화로 이어졌을 가능성이 있다. 또한 실내 육상수조에서는 잔류 먹이에 따른 수질 악화 방지를 위해 새로운 먹이공급 전 잔류 먹이를 제거와 수조 청소를 실시하고, 해상가두리 역시, 침적된 펄과 잔류먹이를 주기적으로 제거하여 대량 폐사를 방지하도록 하였음에도 불구하고 생존율에서 차이를 보여 수질악화 외에 과식 등으로 인한 질병 발생이 초래됐을 가능성도 배제될 수 없는 만큼 먹이공급율과 생존율에 대한 다각적인 검토가 필요하다.

본 연구에서 북방전복 해상가두리 양식에 있어 미역과 다시마 등 자연먹이의 일간 공급율은 어체중량의 15%이하로 공급하는 것이 성장과 생존율에 유리하며, 경제적인 측면을 고려하면 어체중량 5-10%의 일간먹이 공급율이 좋다. 또한 실내육상수조양식에서도 자연먹이의 적정 일간먹이 공급량 역시 유사하게 나타나 양성 2년차 약 5 cm 북방전복의 적정 일간먹이 공급량은 어체중량 5-10%에서 결정되어 공급되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 토대로 해상가두리양식에 있어 생산성 향상을 위해서는 북방전복 양성 2-4년차의 적정 먹이공급율에 대한 연구를 통해 북방전복의 생존율 및 성장은 물론 경제성도 높일 수 있도록 지속적으로 수행되어야 한다.

요 약

본 연구는 해상가두리의 먹이공급비율에 따른 성장 및 생존율을 조사하고, 실내육상양식의 먹이 공급율과의 비교를 통해 국내 주요 북방전복 양성방법인 해상가두리와 함께 실내 사육수조의 적정 천연먹이의 공급율을 제안하여 북방전복 생산성 향상을 유도하고자 실시하였다.

먹이공급율은 전복 어체중량을 기준으로 일간공급율 (daily feeding rate, DFR) 5, 10, 15, 20% (5DFR, 10DFR, 15DFR, 20DFR) 를 설정하여, 해상가두리와 실내육상수조에서 2반복으로 13개월간 실시하였다. 해상가두리에서 사육한 전복 (최초 수용 시 평균각장 54.18 ± 7.39 mm) 성장에서 각

장과 각폭의 절대성장률 (absolute growth rate, ARG), 일간성장률 (daily growth rate, DGR) 및 특수성장률 (specific growth rate, SGR) 과 중량의 증중률 (weight gain, WG), 일간증중률 (daily weight gain, DWG) 및 특수증중률 (specific weight gain, SWG), 그리고 생존율에서 20DFR이 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 실내육상수조에서 사육한 전복 (최초 수용 시 평균각장 49.70 ± 2.28 mm) 의 각장, 각폭의 ARG, DGR, SGR과 중량의 WG, DWG, SWG에서는 5DFR, 10DFR이 유의적으로 높았고 ($P < 0.05$), 생존율은 20DFR이 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 따라서 해상가두리와 실내육상수조 전복양식 자연먹이의 일간 공급율은 성장과 생존율, 그리고 경제적 측면까지 고려하면 어체중량의 5-10%에서 공급해야 한다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (전복 가두리양식 생산성향상 및 표준화 연구 14-AQ-51) 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Azzaydi M., Martines F.J., Zamora S., Sanchez-Valzquez and Madrid J.A. (2000) The influence of nocturnal vs. diurnal feeding condition under winter condition on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L). *Aquaculture*, **182**: 329-338.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple F-tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- 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) Crustacean and mollusk Aquaculture in the United States. AVI Publishing co., Westport.
- Jobling, M., Arnesen A.M., Baardvik B.M. Christiansen J.S. and Jørgensen E.H. (1995). Monitoring feeding behaviour and food intake; method and applications. *Aquaculture. Nut.*, **11**: 248-262.
- Kim, H.S. and Song, J.H. (2012) A Study on the Efficiency Analysis of Abalone Aquaculture in Wando Region Using Stochastic Frontier Approach. *The J. of Fish. Busi. Admin.*, **43**(2): 67-77. (in Korean)
- Kim, S.Y., Park C.J., Nam. W.S., Kim J. M., Lee J.H., Noh J. K., Kim H.C., Park J.W. and Hwang I.J. (2013) Comparison of formulated feed and two seaweed-based diets on growth of Pacific abalone (*Haliotis discus hannai*). *Korean Journal Malacology*, **23**(3): 233-238.
- Kim, J.W., Lee S.M. Han S.J. Kim B.H. and Park S.R. (1998) Effects of Experimental Diet, Commercial Diets and Algae (*Undaria*) on Growth and Body Composition Among Juvenile Abalones (*Haliotis discus*, *H. sieboldii* and *H. discus hannai*). *Journal of Aquaculture*, **11**(4): 505-512. (in Korean)

- Kim, C.W., Lim S.G., Kim K.S. Baek J.M. and Park C.S. (2003) Influence of Water Temperature on Growth and Body Composition of Juvenile Abalone (*Haliotis discus hannai*) Fed an Artificial Formulated Diet and Macroalgae (*Laminaria japonica*). *Journal of Korean Fisheries Society*, **36**(6): 586-590.
- Kim, K.D., Kim K.W., Bae K.M., Son M.H. and An C.H. (2012) Effects of Different Numbers of Feeding days and Feeding Rate on Growth of Growing-out Flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean Journal Fisheries Aquatic Science*, **45**(5): 523-526. (in Korean)
- KOSIS (Korean statistical information service) (2014). Agriculture, Forestry and Fishery. Statistics Korea, Daejeon, Korea. <http://kosis.kr>
- Lee, S.M., Lee G.A., Jeon I.G. and Yoo S.K. (1997) Effects of Experimental Formulated Diets, Commercial Diet and Natural Diet on Growth and Body Composition of Abalone (*Haliotis discus hannai*). *Journal of Aquaculture*, **10**(4): 417-424. (in Korean)
- Lee, S.M., Lim Y.S., Moo Y.B., Yoo. S.K. and Rho S. (1998) Effects of Supplemental Macroalgae and *Spirulina* in the Diets on Growth Performance in Juvenile Abalone (*Haliotis discus hannai*). *Journal of Aquaculture*, **11**(1): 31-38.
- 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. *Invertebrate Reproduction Development*, **23**: 75-88.
- Mihelakakis A., Tsolkas C. and Yoshimatsu T. (2002) Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Journal of World Aquaculture Society*, **33**: 169-175.
- Naidoo, K., Maneveldt G, Ruck K. and Bolton J.J. (2006) A comparison of various seaweed-based diets and formulated feed on growth rate of abalone in an land-based *Aquaculture* system. *Journal of Applied Phycology*, **18**: 437-443.
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) (2008) Standard Manual of Abalone Culture. NFRDI, Busan, Korea.
- Ng, W.K., Lu K.S., Hashim R. and Ali A. (2000) Effect of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. *Aquaculture International*, **8**: 19-29.
- 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)
- 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. (Gastropoda). *Aquaculture Research*, **30**: 95-107.
- Tsevis N., Klaudatos S. and Conides A. 1992. Food conversion budget in sea bass *Dicentracus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *Aquaculture*, **101**: 293-304.
- 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)
- 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育密度の影響. *水産増殖*, **41**(4): 431-433.