

# 동계기간 상업용 배합사료 공급비율에 따른 북방전복, *Haliotis discus hannai* 치패의 성장특성

김병학, 박정준, 손맹현, 김태익, 이시우<sup>1</sup>

국립수산과학원 남해수산연구소, <sup>1</sup>국립수산과학원 중앙내수면연구소

## Growth Characteristics of Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* by Commercial Artificial Diet Feeding rate during the Winter Season in Indoor Tank

Byeong-Hak Kim, Jung Jun Park, Maeng-Hyun Son, Tae-Ik Kim and Si-Woo Lee<sup>1</sup>

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Yeosu 59780, Korea

<sup>1</sup>Inland Fisheries research Institute, NIFS, Gyeonggi-do 12451, Korea

### ABSTRACT

This study investigated the growth characteristics of juvenile abalone when has been rearing as other different feed rates by the commercial abalone formulated feed on indoor tank, during the winter period that was maintaining on the low water temperature. Experimental abalones were use to 1 year old (shell length  $29.14 \pm 2.56$  mm, wet weight  $2.9 \pm 0.6$  g), and it has cultured at six feeding rate groups (0.75 DFW, 1.50 DFW, 2.25 DFW, 3.00 DFW, 3.75 DFW, 4.5 DFW) that were set up the daily feeding rate about total weight (DFW), and two replicated. The average water temperature in the experiment period was  $9.7 \pm 3.27$  °C. In the monthly change absolute growth rate (AGRSL) and specific growth (SGRSL) of shell length, at January, 3.00 DFW was significantly higher than all feeding rate groups ( $P < 0.05$ ). And in the monthly change of weight change and weight gain (WG), at March, 3.75DFW was significantly higher than all feeing rate groups ( $P < 0.05$ ). The growth coefficient of thermal units (TGC) was decreased rapid since January, and 3.75 DFW was show significantly higher than all feeding rate groups ( $P < 0.05$ ). In monthly change of feed efficiency (FE), at December, the 0.75 DFW was significantly higher than all feeding rate groups ( $P < 0.05$ ), and in February and March, there was no significant difference between all feeding period. Therefore, In this study, was show that juvenile abalones can do to maintain or increasing from weight to supply commercial artificial diet during winter period when rearing into the indoor tank.

**Keywords:** Abalone, *Haliotis discuss hannai*, Feeding rate, Commercial artificial diet, Winter season

### 서 론

전복류는 국내에서 완도를 중심으로 대량 양식되고 있는 대표적인 양식대상 종으로, 2015년도에는 생산량이 8,928톤, 생

산금액이 2,968억원에 이르고 있다 (KOSIS, 2016). 국내 전복류 양식은 주로 북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 을 대상으로 이루어지고 있으며, 주로 5-6월부터 육상 수조에서 인공산란 후 부착기질 저면이나 벽면에 부착 후 포복하는 초기에는 부착성 규조류 등을 섭취하여 성장하며 (Shon *et al.*, 2009), 각장 3 cm 전후까지 부착성 규조류 외에도 배합사료 등과 함께 공급하여 성장시킨 치패를 해상가두리와 중간 양식용 육상 수조로 이동시켜 출하 시까지 사육하게 되지만 (NFRDI, 2008; Shon *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2013), 최근 해상가두리에서 북방전복 치패 폐사가 발생하면서 육상수조에서 일정기간 사육하여 중간크기로 성장시킨 후 해상가두리에서 사육하는 사례가 점차 늘어나고 있다 (Kim *et al.*, 2013).

Received: June 1, 2016; Revised: June 27, 2016; Accepted: June 30, 2016

Corresponding author : Si-Woo Lee

Tel: +82 (31) 589-5190, e-mail: lsw7707@korea.kr  
1225-3480/24615

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.

북방전복 종묘생산에서는 단위면적 부착성 규조류 등의 먹이 부족으로 배합사료를 공급하였으나 (한, 1998), 전복 성장에 효과적인 배합사료 원료의 개발과 함께 절적향상이 이루어지 지면서 성장 촉진에 배합사료가 중요성이 점차 높아지고 있다 (Lee *et al.*, 1997; 1998; 2004; Kim *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 2006; 2010; 2013; Ferreira *et al.*, 2015). 그러나 배합사료가 먹이로서 차지하는 비중이 높아지면서, 일부 어가에서는 전복의 빠른 성장을 위해 배합사료 공급량을 무분별하게 다량으로 공급하거나, 또는 지속적으로 공급량을 늘리고 있다. 특히 전복 배합사료는 해조분말 등의 고가원료가 주요 성분으로 평균가격이 10만원 이상으로 타 양식대상어종 배합사료에 비교해 고가로 거래되고 있어 배합사료의 무분별한 과다공급은 양식어가들의 경제적 부담을 가중시키고 있다. 그러나 북방전복에 있어 배합사료에 대한 적정공급량에 대한 정보는 여전히 미흡한 편이고, 특히 육상수조에 있어 중간 양성 시에 배합사료를 공급하고 있지만, 저수온기를 거치는 동계기간에 대한 배합사료 적정공급량에 대한 정보는 전무하다. 북방전복 먹이의 과다공급은 사육 수질악화는 물론 사육생물의 건강에도 영향을 미칠 수 있으며, 폐사량 증가와 경제적인 낭비도 초래할 수 있다 (한, 1998; NFRDI, 2008, ; Kim *et al.*, 2013; 2014). 그러나 양식대상 종에 있어 너무 적은 먹이 공급은 정상인 성장이 보장될 수 없어 출하 시 정상적인 수입이 확보되지 않아 경제성에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

북방전복의 온도와 관련한 연구로는 저온과 고온 사육 시에 성장특성 (Hoshikawa *et al.*, 1998), 동계기간 이후 가숙 성장 및 생존율 (Qing *et al.*, 1996), 먹이형태와 온도 따른 성장 영향 (Cho *et al.*, 2012) 보고되고 있고 있다. 그러나, 먹이공급율에 대한 연구는 국내에서는 해상가두리와 육상 수조에서는 1년산 또는 2년산 북방전복에 대한 생먹이의 적정공급량이 보고되어 있을 뿐 (Kim *et al.*, 2013; 2014), 중간 양성 시 주로 공급하고 있는 상업용 배합사료에 대한 동계기간 내 적정공급율에 대한 연구는 국내는 물론 국외에서도 아직 보고되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 육상 수조에서 중간 양성 시 공급되는 상업용 북방전복 배합사료에 대한 제시하여 양식어민들의 경제적 부담을 낮추고자 실시하였으며, 특히 저수온이 유지되는 동계기간에서 다른 공급율에 따른 성장 등의 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험전복 및 사육관리

실험에 사용된 북방 전복은 2014년에 전라남도 여수시 화양면에 백야도에 위치한 종묘생산시설에서 춘계에 산란하여 부화시켜 사육한 1년생 전복치패 (평균 각장 29.14 ± 2.56 mm,

체중 2.9 ± 0.6 g) 를 사용하였다. 실험 전복은 동일지역 내 국립수산과학원 남서해수산연구소 (현 남해수산연구소) 사육시설로 이동하여 준비된 ABS (acrylonitrile + butadiene + styrene) 재질의 실내 사각수조 (980 × 680 × 400 mm) 에 즉시 수용하였으며, 각 수조에는 은신처로 PE (polyethylene) 재질의 shelter (45 × 100 cm) 를 넣어주었다. 실험 전복 수용밀도는 shelter 밀면적을 기준으로 사육밀도를 30%로 설정하여 250 마리씩 무위로 계수하여 수용하였고, 수용 시 총 어체중량을 전자정밀저울 (MW-II, CAS Co., Yangju city, Gyeonggi-do, Koera) 을 이용하여 0.1 g 단위까지 측정하였다. 사육수는 유수식으로 공급하였으며 환수량은 5 회전/hr 이었고 각 수조마다 산소공급을 위해 air-ration을 설치하였다. 실험기간 동안 사육수온은 자연수온에 의존하였고, 매일 오전 중 1회씩 수질측정기 (YSI-85, Yellow Springs co. ltd., Ohio 45387, USA) 로 수온, 용존산소, 염분을 측정하였다.

### 2. 실험구 설정

실험구는 배합사료의 일일 먹이공급량을 실험전복 체중의 6%을 최대 기준으로 하였으며 공급량은 국내 양식현장의 먹이공급 기준에 따라 설정하였다. 즉 총체중에 대한 일일 먹이공급율 (the daily feeding rate about total weight, DFW) 을 2일을 기준으로 하여 1일은 총중량의 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%로 공급하고 2일은 절반인 50%를 공급 (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%) 하여 최종적으로 1일에 각 수조에 수용된 실험전복 치패 총체중의 0.75%, 1.50%, 2.25%, 3.00%, 3.75%, 4.50%로 공급되도록 총 6개 구간을 설정 (0.75 DFW, 1.50 DFW, 2.25 DFW, 3.00 DFW, 3.75 DFW, 4.5 DFW) 하였으며, 실험구는 모두 2반복으로 실시되었다. 사료공급은 실제 전복 치패양식장 공급 방식을 참고하여 1일째는 100%, 2일째는 50%로 공급하였다. 또한 30일 간격으로 생존마리 수와 총중량을 측정하여 결과에 따라 공급량을 재계산하여 공급하였다. 각 실험구는 2일 간격으로 청소를 실시하며 잔류먹이를 50 μm 밀러가제로 걸러내어 회수하였으며, 회수된 잔류 사료는 dry oven을 이용해 60℃에서 수분이 5%이하까지 건조하여, 잔류량을 측정하였다. 사료공급은 매일 일몰 2-3 시간 전인 오후 3시-4시 사이에 공급하였다.

### 3. 성장, 사료효율 및 생존율

성장 조사는 실험시작 시 50 마리의 치패를 무작위로 체포하여 각장 (shell length, SL), 각폭 (shell breadth, SB), 총체중 (total weight) 을 측정하고, 매월마다 각 실험수조 내에 모든 전복 치패의 총 어체중량을 측정 후 30 마리의 치패를 무작위로 체포하여 각장, 각폭 체중을 측정하여 월별 변화를 조사하였다. 각장과 각폭은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.01

mm까지 측정하였고, 체중은 전자정밀저울을 이용하여 0.1 g 까지 측정하였다. 측정된 각장 (SL) 과 각폭 (SB) 은 아래 식에 따라 절대성장률 (absolute growth rate, ARG), 일간성장률 (daily growth rate, DGR), 특수성장률 (specific growth rate, SGR) 을 산출하였고, 각폭 역시 각장과 같은 방식으로 ARG, DGR, SGR을 산출하였다. 측정된 실험전복 체중에서는 월별 증중률 (weight gain, WG), 일간증중률 (daily weight gain, DWG), 특수증중률 (specific weight gain, SWG) 을 산출하였다. 또한 Hardy and Barrows (2002) 에 따라 사육기간 동안 수온 변화에 따른 성장률 조사를 위해 열단위 성장계수 (thermal unit growth rate coefficient, TGC) 를 월 단위로 산출하였다. 산출된 각 성장식은 다음과 같다.

$$\text{절대성장률 (ARG, \%)} = (L_e - L_i)/L_i \times 100$$

$$\text{또는 } (B_e - B_i) / B_i \times 100$$

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

$$\text{또는 } (B_e - B_i) / (T - t) \times 100$$

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

$$\text{또는 } (\ln B_e - \ln B_i) / (T - t) \times 100$$

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

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

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

$$\text{열단위성장계수 (TGC)} = 100 \times (W_e^{1/3} - W_i^{1/3})/Sdd \text{ (}^\circ\text{C)}$$

여기서,  $L_e$ 과  $L_i$ 는 각각 최종평균각장과 최초평균각장,  $W_e$ 와  $W_i$ 는 각각 최종평균각폭과 최초평균각폭이며,  $W_e$ 와  $W_i$ 는 각각 최초평균체중과 최종평균체중을 나타낸다.  $(T - t)$  는 사육일수를 나타낸다.  $Sdd$ 는 일평균기온의 합 (sum degree day,  $^\circ\text{C}$ ) 을 나타낸다.

또한 공급된 배합사료 효율성을 비교하기 위하여 아래식과 같이 생존율 (survival rate, SR) 은 아래 식을 이용해 산출하였다.

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

여기서,  $N_e$ 와  $N_i$ 는 각각 최종생존마리수와 최초생존마리수를 나타낸다.

#### 4. 사료효율

동계기간 사료 공급량에 따른 북방전복 치어의 사료효율 (Feed efficiency, FE) 을 비교하기 위하여 아래와 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{사료효율 (FE, \%)} = (W_e - W_i)/(Tfv - RF) \times 100$$

여기서,  $W_e$ 와  $W_i$ 는 각각 최초평균무게와 최종평균무게를 나타내며,  $Tfv$ 는 사료총공급량 (Total feeding volume to provide) 에서  $RF$ 는 사료잔류량 (residue after feeding) 을 나타낸다.

#### 4. 통계처리

성장 및 생존율 실험 결과는 2회 반복한 평균치로 나타내었으며, 통계프로그램인 SPSS (Statistical Package for Social Sciences) PASW Base ver. 18 (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. 환경변화

실험기간인 동계기간에 실내 사육수의 월별 수온변화에서는 입식초기인 2014년 11월에  $15.2 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 로 시작하여 2015년 1월에 평균  $7.6 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 낮아지면서 3월까지 유지되었으며, 실험기간동안 평균수온은  $9.7 \pm 3.27^\circ\text{C}$ 이었다. 염분에서는 입식초기인 11월에 평균  $32.7 \pm 0.4$  psu 이었으며, 이후 상승하여 2월부터  $34.1 \pm 0.8$  psu 를 나타난 후 3월까지 유지되었고, 실험기간 동안 평균  $9.1$  mg/L 를 보였으며, 12월에  $10.0 \pm 0.5$  mg/L 로 가장 높았다 (Fig. 1).

#### 2. 월별성장변화

동계기간 상업용 배합사료를 공급비율에 따라 공급하여 사육된 북방전복 치어의 월별 각장과 각장 성장률 (AGRSL) 및 순간성장률 (SGRSL) 변화에서는 12월과 2월, 3월에 모든 실험구에서 유의적 차이가 없었으나, 1월에는 1.5 DFW와 2.25 DFW, 3.75 DFW 가 0.75 DFW, 3.00 DFW 보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 특히 2.25 DFW 는 0.75 DFW, 3.00 DFW, 4.50 DFW 보다 높았다 ( $P < 0.05$ ) (Fig. 2, 3, 4).

월별 폐쇄변화에서는 12월에 0.75 DFW 가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 다른 실험구들은 차이가 없었다. 1월 2월에는 유의적 차이가 없었으나 3월에는 3.75 DFW 가 모든 실험구보다 유의적으로 가장 높았고 0.75

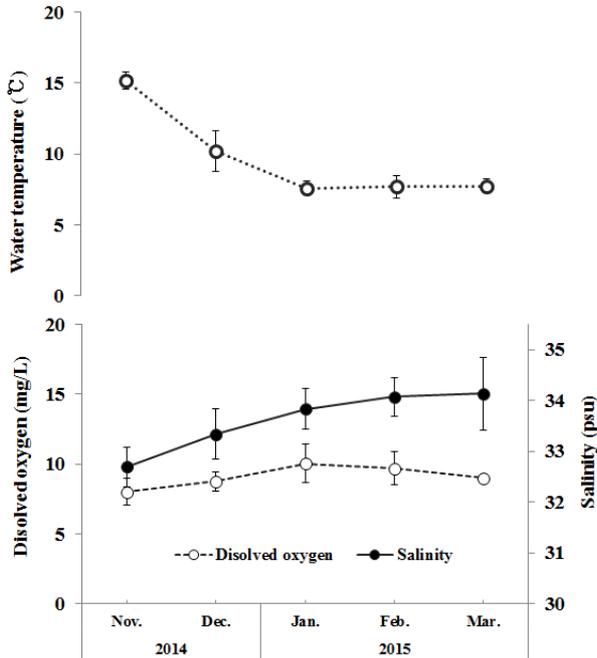


Fig. 1. Changes of water temperature, salinity and dissolved oxygen during an experiment period.

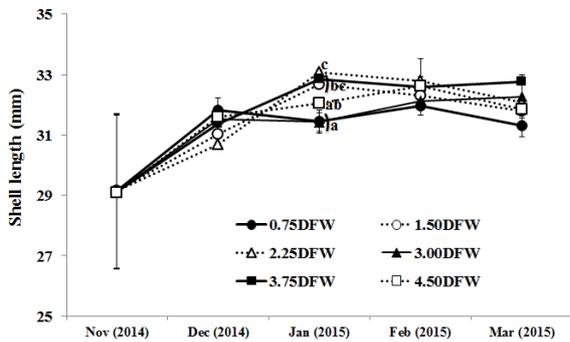


Fig. 2. Changes of shell length of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

DFW 는 가장 낮았으며 ( $P < 0.05$ ), 2.25 DFW 는 1.5 DFW, 0.75 DFW 보다 높았다 ( $P < 0.05$ ) (Fig. 5). 월별 증중률변화에서는 12월에 0.75 DFW 가 모든 실험구보다 유의적으로 낮았고 3.75 DFW 는 모든 실험구보다 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 1월에는 3.75 DFW 가 가장 높았다 ( $P < 0.05$ ). 2월에는 3.75 DFW 가 0.75 DFW, 1.50 DFW, 3.00 DFW 보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 3월에는 0.75 DFW 와 1.50 DFW 보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 다른 실험구와 차이는 없었다 (Fig. 6).

월단위성장계수 (TGC) 에서도 12월에는 3.75 DFW 가 모

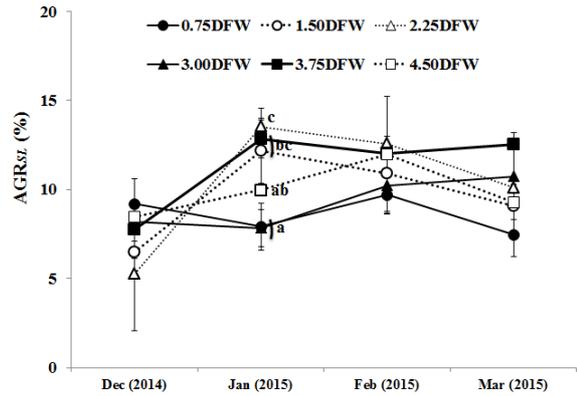


Fig. 3. Changes of absolute growth rate (AGR) by shell length (SL) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

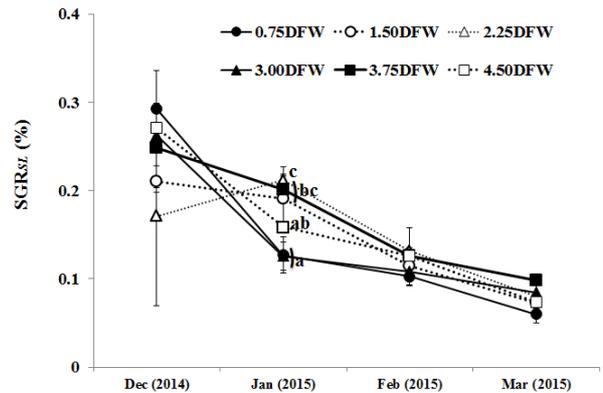
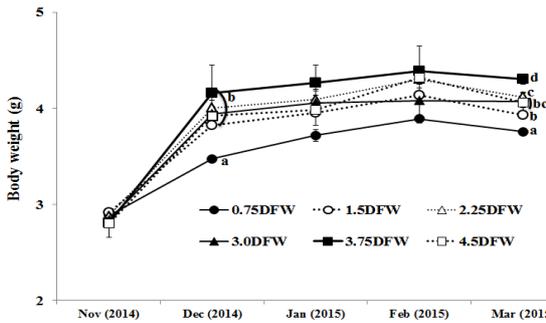


Fig. 4. Changes of specific growth rate (SGR) by shell length (SL) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

든 실험구보다 유의적으로 높았고 ( $P < 0.05$ ), 1월에는 3.75 DFW 가 0.75 DFW, 1.50 DFW 보다 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 다른 실험구와 유의적 차이는 없었다. 2월에는 3.75 DFW 가 2.25 DFW, 4.50 DFW 를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 높았고 ( $P < 0.05$ ), 3월에는 3.75 DFW 가 4.50 DFW 를 제외한 모든 실험구보다 높았다 ( $P < 0.05$ ) (Fig. 7).

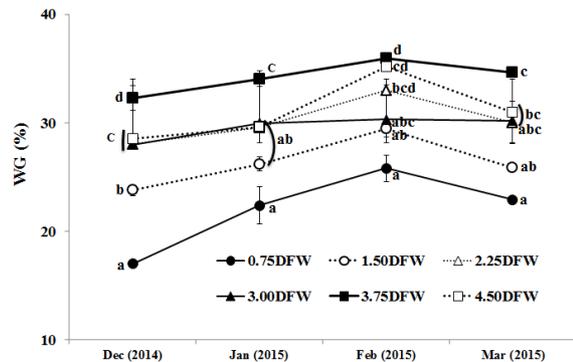
### 3. 성장특성 및 사료효율

동계기간 상업용 배합사료를 공급비율에 따라 공급하여 사육한 북방전복 치패의 성장특성을 Table 1에 나타내었다. 각 장에 대한 FML, AGRSL, DGRSL, SGRSL과 각쪽에 대한 FMB, AGRSB, DGRSB, SGRSB 에서는 모두 유의적 차이



**Fig. 5.** Changes of body weight of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

가 없었다. 다만 3.75 DFW가 가장 높은 값을 보였으며, 0.75 DFW가 가장 낮은 값을 나타내었다. 무게에 대한 FMW와 DWG에서는 3.75 DFW가 모든 실험구보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), WG와 SWG에서는 3.75 DFW가 0.75DFW, 1.50DFW보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ ).



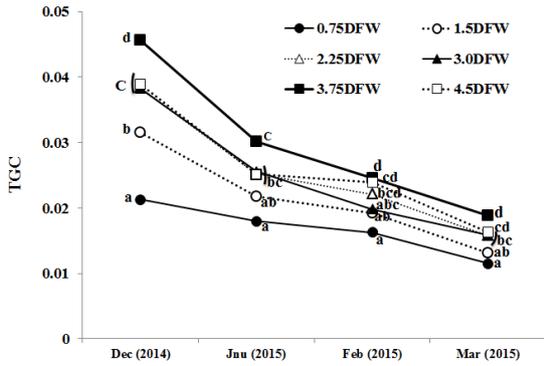
**Fig. 6.** Changes of weight gain (WG) by body weight of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

월별 사료효율에서는 12월에 0.75 DFW가 모든 실험구보다 유의적으로 높았으며, 4.50 DFW는 낮았다( $P < 0.05$ ). 1월에는 수치적으로는 0.75 DFW, 1.50 DFW, 2.25 DFW가

**Table 1.** Growth performance of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank

	0.75 DFW	1.50 DFW	2.25 DFW	3.00 DFW	3.75 DFW	4.50 DFW
IML <sup>2</sup>	29.14 ± 2.56					
FML <sup>3</sup>	31.32 ± 0.06 <sup>1ns</sup>	31.79 ± 0.43	32.08 ± 0.06	32.27 ± 0.71	32.76 ± 0.05	31.84 ± 0.89
AGRSL <sup>4</sup>	7.46 ± 0.22 <sup>ns</sup>	9.08 ± 1.48	10.09 ± 0.19	10.74 ± 2.43	12.54 ± 0.17	9.27 ± 3.06
DGRSL <sup>5</sup>	1.81 ± 0.05 <sup>ns</sup>	2.20 ± 0.36	2.45 ± 0.05	2.61 ± 0.59	3.04 ± 0.04	2.25 ± 0.74
SGRSL <sup>6</sup>	0.06 ± 0.00 <sup>ns</sup>	0.07 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.02	0.10 ± 0.00	0.07 ± 0.02
IMB <sup>7</sup>	19.34 ± 1.47					
FMB <sup>8</sup>	20.92 ± 0.03 <sup>ns</sup>	21.20 ± 0.21	21.18 ± 0.04	21.64 ± 0.37	22.07 ± 0.05	21.37 ± 0.39
AGRSB	8.17 ± 0.15 <sup>ns</sup>	9.59 ± 1.06	9.49 ± 0.18	11.87 ± 1.94	10.47 ± 0.26	10.47 ± 2.01
DGRSB	1.32 ± 0.02 <sup>ns</sup>	1.55 ± 0.17	1.53 ± 0.03	1.91 ± 0.31	2.27 ± 0.04	1.69 ± 0.32
SGRSB	0.07 ± 0.00 <sup>ns</sup>	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.08 ± 0.02
IMW <sup>9</sup>	2.88 ± 0.56					
FMW <sup>10</sup>	3.71 ± 0.68 <sup>a</sup>	3.88 ± 0.72 <sup>ab</sup>	3.99 ± 0.75 <sup>ab</sup>	4.04 ± 0.71 <sup>b</sup>	4.34 ± 0.88 <sup>c</sup>	3.95 ± 0.79 <sup>ab</sup>
WG <sup>11</sup>	22.92 ± 0.24 <sup>a</sup>	22.85 ± 0.27 <sup>ab</sup>	30.02 ± 1.95 <sup>abc</sup>	30.19 ± 3.02 <sup>bc</sup>	34.65 ± 2.76 <sup>c</sup>	30.98 ± 0.98 <sup>bc</sup>
DWG <sup>12</sup>	0.73 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.85 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.02 ± 0.13 <sup>b</sup>	1.24 ± 0.08 <sup>c</sup>	1.05 ± 0.05 <sup>b</sup>
SWG <sup>13</sup>	0.22 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.30 ± 0.04 <sup>bc</sup>	0.35 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.31 ± 0.01 <sup>bc</sup>

<sup>1</sup>Values (mean ± S.D of two replications) with a different Superscripts within the same row are significantly different ( $P < 0.05$ ). Ns is not significant. <sup>2</sup>Initial mean shell length. Unit is mm. <sup>3</sup>Final mean shell length. Unit is mm. <sup>4</sup>Absolute growth rate. Unit is %. <sup>5</sup>Daily growth rate. Unit is %/day. <sup>6</sup>Specific growth rate. Unit is %/day. <sup>7</sup>Initial mean shell breadth. Unit is mm. <sup>8</sup>Final mean shell breadth. Unit is mm. <sup>9</sup>Initial mean total weight. Unit is g. <sup>10</sup>Final mean total weight. Unit is g. <sup>11</sup>Weight gain. Unit is %. <sup>12</sup>Daily weight gain. Unit is %/day. <sup>13</sup>Specific weight gain. Unit is %/day.



**Fig. 7.** Changes of a thermal unit growth coefficient (TGC) by body weight of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

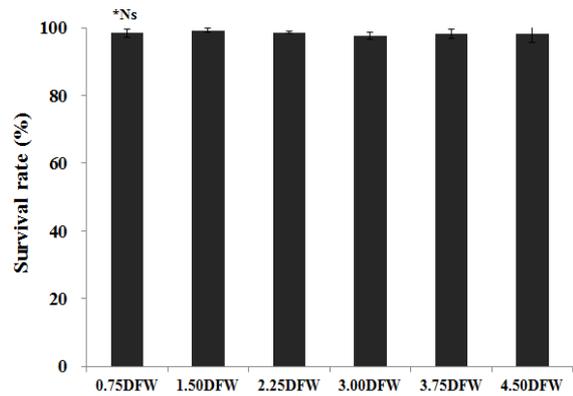
20%이상을 나타내었으나, 4.50 DFW 를 제외한 모든 실험구가 유의적인 차이는 없었다. 2월과 3월에는 모든 실험구간 유의적 차이는 없으며, 특히 2.25 DFW 와 3.75 DFW 를 제외한 모든 실험구에서 마이너스의 결과를 보여주었다 (Table 2).

#### 4. 생존율

고밀도 중간육성을 위하여 육상수조 내에서 다른 양성방법 별로 사육된 북방전복 치패의 생존율에서는 모든 실험구가 유의적 차이가 없었다 (Fig. 8).

#### 고찰

동계기간인 11월 중순부터 3월중순까지 북방전복치패의 적정공급량을 조사한 결과 평균 15°C인 11월 중순부터 평균 10°C인 12월 중순까지 성장 및 증육이 이루어지지만 평균 6-7°C로 낮아지는 1월부터는 성장이 정체되는 것을 확인할 수 있으며, 이 시기에 엽분과 용존산소의 증가하지만 성장에는 영



**Fig. 8.** Survival rate (%) of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* that reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank. Bar indicates standard deviation ( $n = 2$ ). \*Ns is not significant.

향을 주지 않았다. Sakai (1962) 는 북방전복에 있어 수온의 영향으로 일간섭식물에서 차이를 보이며, 이러한 영향은 곧 성장에 영향을 미치게 된다. 또한 북방전복의 경우 성장 적수온은 20°C전후이며, 7°C이하에서는 전복 먹이 활동이 둔해지게 되며, Britz *et al.* (1997) 은 *Haliotis midae*가 저온 (12°C) 과 고온 (24°C) 에서 14-22°C보다 먹이섭이가 유의적으로 감소된다고 보고하였다. 본 연구에서도 수온이 6-7°C로 급격히 낮아지는 1월부터 패각과 무게의 성장지표와 사료효율에서 정체를 보이는 것이 확인할 수 있었다. 그러나 저온기간에도 10°C이하로 떨어지는 시기인 12월과 1월에는 사료공급량에 따라 각장 성장차이를 보였으며, 특히 무게에서는 12월과 1월 사이에 2월과 3월사이에, 증중률에서는 동계기간동안 차이를 보였다. 이러한 결과는 북방전복의 먹이활동이 둔해지는 저온 시기인 7-8°C에서도 소량이지만 지속적인 먹이섭취를 하고있는 것으로 볼 수 있다. 다만 패각성장온 수온이 10°C이하로 낮아지는 1월부터는 사료공급량에 따른 소량의 먹이섭취가 성장에 영향을 미치지 않지만, 북방전복 치어 중량에는 영향을 주

**Table 2.** Feed efficiency of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* reared at different feeding rate by commercial diet during winter season in indoor tank

	0.75 DFW	1.50 DFW	2.25 DFW	3.00 DFW	3.75 DFW	4.50 DFW
Dec.	139.1 ± 6.91 <sup>d</sup>	117.4 ± 2.7 <sup>c</sup>	102.8 ± 3.3 <sup>c</sup>	82.5 ± 9.6 <sup>b</sup>	82.2 ± 4.6 <sup>b</sup>	64.3 ± 7.0 <sup>a</sup>
Jan.	69.0 ± 21.3 <sup>b</sup>	23.8 ± 4.5 <sup>b</sup>	21.9 ± 3.6 <sup>b</sup>	4.7 ± 2.6 <sup>b</sup>	7.1 ± 9.2 <sup>b</sup>	4.3 ± 4.2 <sup>a</sup>
Feb.	11.7 ± 13.5 <sup>ns</sup>	8.0 ± 3.3	2.5 ± 2.6	3.2 ± 1.9	5.1 ± 3.0	2.1 ± 2.3
Mar.	- 2.7 ± 15.5 <sup>ns</sup>	- 4.7 ± 2.0	2.6 ± 5.0	- 0.3 ± 2.9	- 0.5 ± 1.9	0.2 ± 0.1

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

는 것으로 나타났다. 특히 증중률 (WG) 에서는 동계기간동안 3.75 DFW 가 0.75 DFW 와 1.50 DFW 보다 유의적으로 높은 값을 유지하고 있어 동계기간 체중과 성장을 유지하기 위해서는 3.75 DFW 가 적절한 공급율이 될 수 있다. 저수온에서 사료 공급율에 따른 전복류의 체중과 증중률 (W) 과 관련한 연구는 보고되지 않고 있으며, 다만 Britz *et al.* (1997) 이 *Haliotis midae*가 저수온에서 비만도 (condition factor, CF) 가 증가되며, 가능성 있는 이유로는 온도로 축적된 glycogen 내에서 에너지의 분할적 증가가 발생 될수 있고 그로 인해 유지에너지 요구량이 감소될 것으로 추측하였다. 즉, 축적된 에너지의 일부 사용량이 증가는 체내 에너지요구량을 낮춰 사료섭이량은 낮아도 비만도가 증가될 수 있으며, 본 연구에서도 체중과 증중률은 일부 증가되는 결과를 보였으며, 특히 사료 공급량에 따라 육중량에서 차이를 보이고 있으며 특히 어체중의 1.50%이하는 어체중을 유지하는 데 불리하게 적용될 수 있음을 보여준다. 비록 이러한 결과가 수온상승기에 패각 성장에 영향을 미칠 수 있는 가능성도 배제할 수 없다. 특히 국내 해상가두리에서는 동계기간에 지속적으로 미역, 다시마 등의 먹이를 공급하고 있으며 이때, 성장도 소폭 이루어지고 있어 (Yoon *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2013; 2014), 육상수조에서도 북방전복을 사육 시에도 배합사료를 일정량 이상 먹이공급은 성장에 도움이 될 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 사료효율에 있어 2월과 3월에는 모든 실험구가 차이가 없어 사료섭이량이 거의 발생되지 않는 것으로 볼 수 있으며, 특히 3월에는 오히려 육중량이 낮아지면서 사료효율이 마이너스로 값으로 나타나 육상수조에서 상업용 사료를 통한 동계기간 사육 시에는 사료공급을 어체중의 0.75%이하로 공급하거나, 공급하지 않아도 될 것으로 보인다. 수온변화에 따른 일단위 성장을 나타내는 열단위성장계수 (TGC) 는 12월과 1월에 수온이 급격히 변화는 시기에 TGC가 낮아졌으며, 특히 사료공급율이 높을수록 감소 폭이 커지는 것으로 나타났다. 북방전복에 있어 TGC에 대한 결과는 아직 보고되고 있지 않아 정확한 이유를 알 수 없다. 다만, 수온 하강에 따라 사료섭이량이 급격히 감소고 육중량 증가가 둔화되면서 열 단위 성장이 낮아지는 것으로 추측될 수 있으며, 이러한 결과 체중 및 증중율 (WG) 결과와도 일치한다. 그러나 낮은 사료공급율은 TGC에서도 지속적인 낮은 값을 보이고 있어, 역시 일정량 이상의 사료공급이 필요할 수 있음을 시사하였다. 따라서 본 연구에서는 북방전복 치패를 육상수조에서 동계기간 내 사육 시 상업용 배합사료는 일정량 이상을 공급하는 것이 패각성장에는 영향을 미치지 않지만, 육중량을 유지 또는 일부 증가시킬 수 있다. 그러나, 2월과 3월에 수온이 10°C이하로 장기간 유지되는 기간에는 사료 공급율을 어체중의 0.75%미만의 최소량만 공급해야 할 것으로 판단된다. 향후 동계기간의 사료공급율에 따른 육중량의 변

화가 수온상승기에 가져올 수 있는 성장 변화를 연결하여 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 육상 수조에서 중간 양성 시 공급되는 상업용 북방전복 배합사료를 저수온이 유지되는 동계기간에 공급량을 다르게 할 시 성장특성을 조사하였다. 실험어는 1년생 전복치패 (평균 각장  $29.14 \pm 2.56$  mm, 중량  $2.9 \pm 0.6$  g) 를 사용하였으며, 실험구는 총체중에 대한 일일 먹이공급율 (the daily feeding rate about total weight, DFW) 을 각 수조에 수용된 실험전복 치패 (250 마리) 총체중의 0.75%, 1.50%, 2.25%, 3.00%, 3.75%, 4.50%로 공급되도록 총 6개 구간을 설정 (0.75 DFW, 1.50 DFW, 2.25 DFW, 3.00 DFW, 3.75 DFW, 4.5 DFW) 하였으며, 실험구는 모두 2반복으로 실시되었다. 실험기간인 동계기간에 평균수온은  $9.7 \pm 3.27^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 월별 각장과 각장 성장률 (AGRSL) 및 순간성장률 (SGRSL) 은 1월에는 1.50 DFW 와 2.25 DFW, 3.75 DFW 가 0.75 DFW, 3.00 DFW 보다 유의적으로 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 월별 체중변화 3월에 3.75 DFW 가 모든 실험구보다 유의적으로 높았고 ( $P < 0.05$ ), 월별 증중률변화에서는 3.75 DFW 가 실험구보다 0.75 DFW 와 1.50 DFW 보다 유의적으로 높았다 ( $P < 0.05$ ). 열단위성장계수 (TGC) 에서는 1월부터 급격히 낮아졌으며, 3.75 DFW 가 모든 실험구보다 높은 값을 보였다, 1월에는 3.75 DFW 가 0.75 DFW, 1.50 DFW 보다 높았으며 ( $P < 0.05$ ), 다른 실험구와 유의적 차이는 없었다. 2월에는 3.75 DFW 가 2.25 DFW, 4.50 DFW 를 제외한 모든 실험구보다 유의적으로 높았고 ( $P < 0.05$ ), 3월에는 3.75 DFW 가 4.50 DFW 를 제외한 모든 실험구보다 높았다 ( $P < 0.05$ ).

월별 사료효율에서는 12월에 0.75 DFW 가 모든 실험구보다 유의적으로 높았으나 ( $P < 0.05$ ), 이후 1월을 제외한 2월과 3월에는 모든 실험구간 유의적 차이는 없었다.

따라서, 본 연구에서는 북방전복 치패를 육상수조에서 동계기간 내 사육 시 상업용 배합사료는 일정량 이상을 공급하는 것이 육중량을 유지 또는 일부 증가시킬 수 있으며, 향후 동계기간의 사료공급율에 따른 육중량의 변화가 수온상승기에 가져올 수 있는 성장 변화를 연결하여 조사할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2016년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구소 「전복 가두리양식 생산성 향상 및 표준화 연구 (R2016006)」의

지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Britz, P.J., Hecht T. and Mangold S. (1997) Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. *Aquaculture*, **152**: 191-203.
- Cho, S.H. and Kim D.S. (2012) Effects of feed type and temperature on growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Journal of the World Aquaculture*, **43**: 114-119.
- Cho, S.H.(2006) Effect of the Various Sources of Dietary Additives on Growth, Body Composition and Shell Color of Abalone *Haliotis discus hannai*. *Journal of Aquaculture* 19 (4): 275-280. (in Korean)
- Cho, S.H. (2010) Effect of fishmeal substitution with various animal and/or plant protein sources in the diet of the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Research*, **41**(10): 587-593.
- Cho, S.H., Park J. Kim C. and Yoo J.H. (2008) Effect of casein substitution with fishmeal, soybean meal and crustacean meal in the diet of the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture Nutrition*, **14**(1): 61-66.
- Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple F-tests. *Biometrics*, **11**: 1-42.
- Ferreira, F.M., Deysolong L.B., Park G.H., Yun H.H., Jang I.K., Kim K.W. and Bai S.C. (2015) Corn Starch as a Dietary Seaweed Powder Replacer in Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai*. *Journal of the World Aquaculture Society*, **46**(1): 69-75.
- Hoshikawa, H., Sakai Y. and Kijima A. (1998) Growth characteristics of the hybrid between pinto abalone, *Haliotis kamtschatkana* Jonas, and ezo abalone, *H. discus hannai* Ino, under high and low temperature. *Journal of Shellfish Research*, **17**(3): 673-677.
- Kim, B.H., Lee S.M., Koh C.S., Kim J.W. and Myeong J.I. (1998) Optimum Stocking Density of Juvenile Abalone (*Haliotis discus hannai*), *J. Korean Fish. Soc.*, **31**(6): 869-874. (in Korean)
- Kim, B.H., Park M.W., Kim T.I., Son M.H. and Lee S.W. (2013) A Study on the Optimum Stocking Density of the Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* Net Cage Culture or Indoor Tank Culture. *Korean Journal of Malacology*, **29**(3): 189-195. (in Korean)
- Kim, B.H., Park M.W., Kim T.I., Son M.H. and Lee S.W. (2014) The Growth and Survival Rate of Juvenile Abalone, *Haliotis discus hannai* at Different Intermediate Culture Type in Net Cage of Indoor Tank. *Korea Journal of Malacology*, **30**(3): 235-242. (in Korean)
- 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, 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.
- KOSIS (Korean statistical information service) (2016). Agriculture, Forestry and Fishery. Statistics Korea, Daejeon, Korea. <http://kosis.kr>
- Lee, S.M. (2004) Utilization of dietary protein, lipid, and carbohydrate by abalone *Haliotis discus hannai*: a review. *Journal of Shellfish Research*, **23**(4): 1027-1031. (in Korean)
- 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. (in Korean)
- National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) (2008) Standard Manual of Abalone Culture. NFRDI, Busan, Korea.
- Qing, N.Z., Fang, J.M. and Ping, Y.J. (1996). Preliminary studies on increased survival and accelerated growth of overwintering juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture*, **140**(1), 177-186.
- Shon, 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)
- Shon, M.H., Park M.W., Kim K.W., Kim K.D. and Kim S.K. (2010) Statures of the abalone (*Haliotis discus hannai*) aquaculture for optimal rearing technique in marine net cage. *Jour. Fish. Mar. Sci. Edu.*, **22**(3): 362-373. (in Korean)
- 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.