

저염분이 바리과 교잡종(*Epinephelus fuscoguttatus*×*E. polyphkadion*)의 성장, 생존 및 스트레스 반응에 미치는 영향

이일영¹ · 박종열² · 임한규^{2*}

¹부경대학교 수산생물학과, ²국립목포대학교 해양수산자원학과

Effect of Low Salinity on Growth, Survival and Stress Response of Juvenile Hybrid Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*×*E. polyphkadion*)

Il Young Lee¹, Jung Yeol Park² and Han Kyu Lim^{2*}

Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University, Muan 58554, Korea

We investigated growth, survival and stress response depending on salinity changes in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀×*E. polyphkadion* ♂, BCG) juvenile. Experiment I (Exp I), the hybrids were stocked at 32 psu and reared for 30 days under decreasing salinity at a rate of 5-7 psu per day (25, 20, 15, 10, 5 psu). Experiment II (Exp II), the salinity was decreased from 32 psu to 5 psu during a period of 24, 48 and 72 h. Experiment III (Exp III), acclimatized BCGs were exposed from 5 psu to decreasing salinity at 0, 1, 2, 3, 4 psu. In the Exp I, 90% survival only in the 5 psu. Growth were 5 and 32 psu had significantly low growth than other treatment. In the Exp II 100% survived by the end of the experiment. The plasma cortisol level was highest in the treatment the salinity rapidly dropped, but all the treatment recovered quickly after 24 h of salinity reduction. In the Exp III, the lower the salinity, the faster the mortality occurred in salinity below 5 psu. It is therefore concluded that the BCGs are highly tolerant of low salinity and the salinity tolerance threshold is 5 psu.

Keywords: Brown marbled grouper, Camouflage grouper, Growth, Hybrid, Salinity

서론

꼬리큰점바리(*Epinephelus polyphkadion*)는 열대 바리과 어종으로써 아프리카 동부와 홍해, 일본 남부, 동남아시아, 폴리네시아, 호주대륙에 주로 서식하며, 태평양과 인도양의 넓은 열대 해역에 걸쳐 서식지가 분포되어 있다. 주로 조간대의 수심 5-15 m, 연간 평균 수온 20-32°C 범위인 해양 저층의 암초나 산호초 및 해조류 덩굴 사이에서 보호색을 띄며 생활한다(Lau and Parry-Jones, 1999). 이 어종은 식용으로 인기가 있어, 서식지 주변국들의 어부들은 오랜 기간 낚시나 작살과 같은 재래식 어업방법으로 꼬리큰점바리를 어획해 왔다. 특히 독특한 체색으로 인해 바리과 어류의 주요 소비국인 중국에서 높은 기호성을 갖고 있다. 세계 바리과 유통량의 60% 이상을 차지하는 홍콩 시장에서는 필리핀, 인도네시아, 말레이시아, 호주 등지로부터

터 꼬리큰점바리가 수입되고 있다(Ahemad, 2015). 그러나 연안의 오염과 해양 저층의 서식지 파괴, 그리고 남획으로 인해 꼬리큰점바리의 개체수가 급격히 감소하고 있기 때문에 이 종의 생태조사와 자원 보호 및 양식 기술 개발에 관한 연구가 오래 전부터 이루어져 오고 있다(Sadovy et al., 2003). 꼬리큰점바리는 시장에서 기호성이 높은 어종임에도 불구하고 성장 속도가 느려 실제 양식 현장에서는 사육을 기피하는 경향이 있다. 그러므로 중동과 동남아시아 일대의 양식장에서는 꼬리큰점바리 순종보다는 다른 종류의 바리과 어류와 교잡종을 만들어 성장률과 생산성 향상을 꾀하여 왔다(James et al., 1998). 꼬리큰점바리와 교잡 대상종들 중 갈색점바리(*E. fuscoguttatus*)는 꼬리큰점바리와 서식지가 비슷하고 성장이 빠르기 때문에(Haemestra and Randall, 1993), 바리과 어류의 양식장에서 교잡 대상종으로 선호되는 종 중 하나이다. 특히 중국, 대만, 베트남

*Corresponding author: Tel: +82. 10. 9460. 6988 Fax: +82. 61. 452. 8875

E-mail address: limhk@mokpo.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0499>

Korean J Fish Aquat Sci 53(4), 499-505, August 2020

Received 24 June 2020; Revised 17 July 2020; Accepted 6 August 2020

저자 직위: 이일영(대학원생), 박종열(대학원생), 임한규(교수)

남, 인도네시아, 말레이시아 등지에서 이미 갈색점바리 양식이 활성화되어 있어, 어미 확보와 채란이 쉬워 다른 종들과 비교하여 교잡종을 만들기가 유리하다(James et al., 1999). 또한 국내 서식 중 중 붉바리(*E. akaara*)와 교잡을 통해 서식환경이 서로 다른 바리과 두 종간 잡종이 생산 가능한 것으로 조사된바 있다(Noh et al., 2015).

갈색점바리 암컷과 꼬리큰점바리 수컷의 교잡종(Brown marbled grouper ♀ × Camouflage Grouper ♂, BCG)은 체색과 성장률이라는 두 가지 장점을 모두 충족시켜 주었기 때문에 양식 산업적 가치가 높다고 평가받고 있다. 따라서 이 교잡종은 주로 아열대와 열대해역 국가들의 가두리, 노지, 육상수조 양식 현장에서 인기 있는 양식종이 되고 있다(Ahemad, 2015). 그러나 이들 국가의 연안은 우기, 집중 호우, 태풍 등의 영향으로 대량의 담수 유입이 잦아 해수의 염분 변화가 심한 지역이 많다.

일반적으로 해산 어류양식장에서 사육수의 염분 변화는 주요 스트레스 요인으로 작용하며 어류의 성장, 생존, 생리 기능 및 면역 기능에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Boeuf and Payan, 2001; Min, 2006). 바리과 어류의 경우, 갑작스런 염분 변화가 *E. malabaricus*의 혈중 cortisol 농도에 미치는 영향 연구(Tsui et al., 2012), *E. fuscoguttatus*의 수온과 염분 내성에 관한 연구(Cheng et al., 2013), *E. itajara*의 저염분 순화와 삼투 조절에 관한 연구(Garcia et al., 2013; Chapman et al., 2014) 등과 바리과 교잡종을 대상으로 염분 내성이나 염분 변화가 성장, 생존 및 생리적 특성 변화에 미치는 연구(Othman et al., 2015; Sutthinon et al., 2015; Lim et al., 2016) 등이 보고되어 있다. 그러나 어류 양식업에서 바리과 어류의 중요성에 비해 염분 관련 생리학적 자료는 매우 부족한 실정이다. 어류 양식장에서 나타나는 부적절한 환경들 중 염분 변화가 어류의 생리 상태와 생존에 미치는 영향을 파악하는 것은 바리과 어류의 양식 적지를 선정하거나 양식 생산성을 높이는데 필요한 과정이다. 따라서 본 연구에서는 양식대상 종으로써 산업적 가치가 증대되고 있는 BCG 치어를 대상으로 저염분이 치어에 미치는 영향을 알아보고자 다양한 속도로 염분을 낮춘 후 치어의 생존과 성장 및 혈중 cortisol 농도 등을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육조건

실험어는 말레이시아 사바주 수산연구소(Ikan Marin Sabah, Sabah, Malaysia)에서 생산된 BCG (Brown marbled grouper ♀ × Camouflage Grouper ♂) 치어(전장 9.0 ± 1.6 cm, 체중 12.2 ± 0.5 g)를 사용하였다. 실험은 염분과 염분 변화 속도에 따라 3단계로 나누어 실시하였다. EXP I의 경우 자연 해수인 32 psu 해수에서 매일 5 psu (첫째 날은 7 psu 감소)씩 낮추어 각각 25, 20, 15, 10 및 5 psu로 실험구를 설정하였고 모두 30일째까지 사육하였다. EXP II은 자연 해수에서 24, 48, 72시간 동

안 5 psu까지 빠르게 염분을 각각 낮추어 급격한 염분변화에 따른 치어의 생존율과 혈중 cortisol 변화를 관찰하였다. EXP III은 5 psu에 적응한 실험어를 24시간만에 각각 4, 3, 2, 1, 0 psu로 낮추었을 때 BCG 치어의 생존율을 관찰하였다. 모든 실험은 80 L 용량의 사각 수조에 BCG 치어를 30마리씩 3반복으로 수용하여 실시하였다. 실험 기간 동안 수온은 $28-30^{\circ}\text{C}$ 였으며, 광주기는 자연 상태로 유지하였다. 먹이는 해산어 펠릿 사료(Aller Aqua, Christiansfeld, Denmark)를 1일 3회 만복 공급하였고, 먹이 공급 후 바닥에 떨어진 사료는 수거하여 잔량을 기록한 후 공급량에서 제외하였다. 모든 실험은 염분의 변화를 최소화하기 위해 사전에 염분이 조절된 사육수를 사용하여 지수식으로 사육하였으며, 수질의 악화를 예방하고자 매일 100% 환수해 주었다.

채혈 및 혈액 분석

EXP I은 시작 시점과 종료 시인 30일째 실험어의 성장을 측정하였다. EXP II에서는 cortisol 수치를 확인하고자 실험 시작 시점부터 24시간 간격으로 채혈하였으며, 각 실험구의 염분이 5 psu에 도달 한 24, 48, 72시간 후에 24, 48시간까지 혈액을 채취하였다. 채혈 직전 실험어들을 150 ppm 3-aminobenzoic acid ethyl ester (Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시킨 후, heparin sodium (20 IU/mL, Choongwae Co., Seoul, Korea)이 처리된 주사기(1 mL, 23 G)를 사용하여 미병부 혈관으로부터 채혈하였다. 채혈된 혈액은 4°C 에서 10,000 rpm으로 5분간 원심분리하였고, 얻어진 혈장은 분석 전까지 -80°C 의 초저온 냉동고에 보관하였다. 혈장 cortisol 농도는 cortisol EIA kit (Oxford Biomedical Research, Inc., Oxford, MI, USA)를 사용하여 효소면역분석법(enzyme immunoassay, EIA)으로 측정하였다.

성장 및 생존율 측정

EXPI은 실험시작부터 종료 시까지 매일 사료 공급량과 잔존량을 기록하였고, 버니어캘리퍼스와 전자저울을 사용하여 실험어의 전장과 체중을 각각 0.1 cm와 0.1 g까지 측정하였다. 측정된 성장자료와 사료공급량을 바탕으로 성장관련 요인을 아래의 식을 이용하여 계산하였다. 실험기간 중 각 실험구에서 폐사한 개체를 매일 파악하고 그 수를 역산하여 생존율을 산정하였다.

통계분석

각 실험 결과로부터 얻어진 측정값(mean \pm SD)들의 유의차 유무는 SPSS-통계프로그램(version 23)을 이용하여 ANOVA 및 Tukey's test로 검정하였다($P > 0.05$).

결 과

EXP I의 결과, 전장은 10-32 psu 사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며($P > 0.05$), 5 psu 실험구만 9.8 ± 0.2 cm로 다

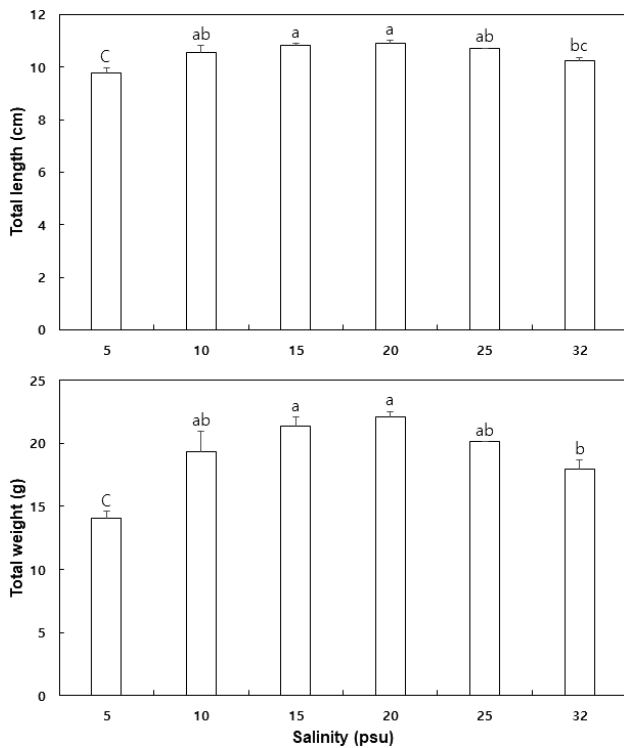


Fig. 1. Growth of total length and total weight in brown marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus*×camouflage grouper *E. polyphkadion* (BCG) juveniles reared at different salinities for experiment period.

른 실험구들보다 유의하게 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 체중도 전장 성장과 같은 경향으로 20 psu 실험구가 22.1 ± 0.4 g으로 가장 높았으나 10-25 psu 사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 그러나 체중의 경우 자연 해수 실험인 32 psu 실험구와 가장 낮은 염분인 5 psu 실험구는 20 psu 실험구보다 유의하게 낮은 성장을 보였다($P < 0.05$) (Fig. 1).

각기 다른 염분에서 30일간 사육 후 BCG 치어의 증중률, 일간성장률, 사료효율, 일간사료섭취율 및 비만도는 Table 1에 나타내었다. 증중률은 20 psu 실험구에서 $81.5 \pm 3.2\%$ 로 가장 높은 값을 보였으며, 5 psu에서 $26.1 \pm 5.8\%$ 로 다른 실험구와 비교하여 유의적으로 낮았다($P < 0.05$). 일간성장률도 증체율과 같은 경향으로 20 psu에서 2.0 ± 0.1 로 가장 높았고, 5 psu에서 0.8 ± 0.2 로 가장 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 사료효율은 20 psu에서 $154.8 \pm 11.1\%$ 로 가장 높았지만 15와 25 psu 실험구들과 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 사료섭취율이나 비만도의 경우 염분에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다($P > 0.05$).

BCG치어를 저염분에서 30일 동안 사육한 결과 생존율은 10-32 psu 실험구들에서 100%였으나, 5 psu에서는 26일째부터 폐사하는 개체가 나타나기 시작하여 30일째 최종 생존율이 90%까지 낮아졌다(Table 1).

EXP II의 결과 모든 실험구에서 염분 저하에 따른 폐사가 관찰되지 않았다(data not shown). 그러나 급격한 염분 변화에 따른 혈장 cortisol 수준은 자연 해수일 경우 20.6 ± 0.2 ng/mL이었던 것이 24시간만에 32 psu에서 5 psu로 급격히 떨어진 실험구에서 염분 강하 후 혈장 cortisol 농도가 268.0 ± 1.8 ng/mL로 급격히 상승하였다가 48시간과 72시간 후에 각각 90.6 ± 7.2 ng/mL와 49.6 ± 5.1 ng/mL로 빠르게 낮아졌다. 48시간만에 5 psu까지 낮춘 실험구에서도 처음 염분을 낮춘 24시간만에 149.8 ± 0.6 ng/mL까지 빠르게 상승하였으나 이후 혈장 cortisol 농도가 더 이상 상승하지 않았고 5 psu까지 낮춘 뒤 48시간 후에는 49.3 ± 8.5 ng/mL으로 낮아졌다. 72시간만에 5 psu까지 낮춘 실험구도 48시간만에 낮춘 실험구와 같이 처음 염분 저하 때만 혈장 cortisol 농도가 상승하였다가 이후 서서히 낮아졌다(Fig. 2).

EXP III의 결과 BCG 치어의 생존율은 4 psu에서 24시간만에 모두 폐사하였고 염분이 낮아질수록 폐사까지 걸리는 시간은 점점 짧아져 0 psu에서는 2시간 만에 모두 폐사하였다(Fig. 3).

Table 1. Growth performance and survival of brown marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus*×camouflage grouper *E. polyphkadion* (BCG) juveniles reared at different salinities during the experiment period

| Salinity (psu) | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 32 |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| Final mean body weight (g/fish) | 14.0 ± 0.6^c | 19.3 ± 1.7^{ab} | 21.4 ± 0.7^{ab} | 22.1 ± 0.4^a | 20.4 ± 0.4^{ab} | 17.9 ± 0.8^{bc} |
| Weight gain (%) ¹ | 26.1 ± 5.8^c | 58.6 ± 13.8^{ab} | 75.5 ± 6.0^{ab} | 81.5 ± 3.2^a | 65.2 ± 0.6^{ab} | 47.4 ± 6.4^{bc} |
| Specific growth rate (%) ² | 0.8 ± 0.2^c | 1.5 ± 0.3^{ab} | 1.9 ± 0.1^{ab} | 2.0 ± 0.1^a | 1.7 ± 0.0^{ab} | 1.3 ± 0.1^{bc} |
| Feed efficiency (%) ³ | 67.8 ± 14.7^b | 119.2 ± 24.1^{ab} | 132.9 ± 7.7^a | 154.8 ± 11.1^a | 142.8 ± 3.6^a | 109.0 ± 16.6^{ab} |
| Feed intake (%) ⁴ | 1.1 ± 0.1 | 1.3 ± 0.0 | 1.4 ± 0.0 | 1.3 ± 0.1 | 1.1 ± 0.0 | 1.2 ± 0.1 |
| Condition factor | 1.7 ± 0.1 | 1.6 ± 0.0 | 1.7 ± 0.0 | 1.7 ± 0.0 | 1.6 ± 0.0 | 1.7 ± 0.0 |
| Survival rate (%) ⁵ | 90 | 100 | 100 | 100 | 98.3 | 100 |

¹Weight gain=[(final body weight-initial body weight)/initial body weight×100]. ²Specific growth rate=[ln (final body weight)-ln (initial body weight)]×100/days reared. ³Feed efficiency=(wet weight gain/feed intake)×100. ⁴Daily feed intake=feed intake×100/[(initial body weight+final body weight+dead fish weight)×days reared/2]. ⁵Condition factor=(body wt./total length³)×100. The values are mean±SD (n=30). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$).

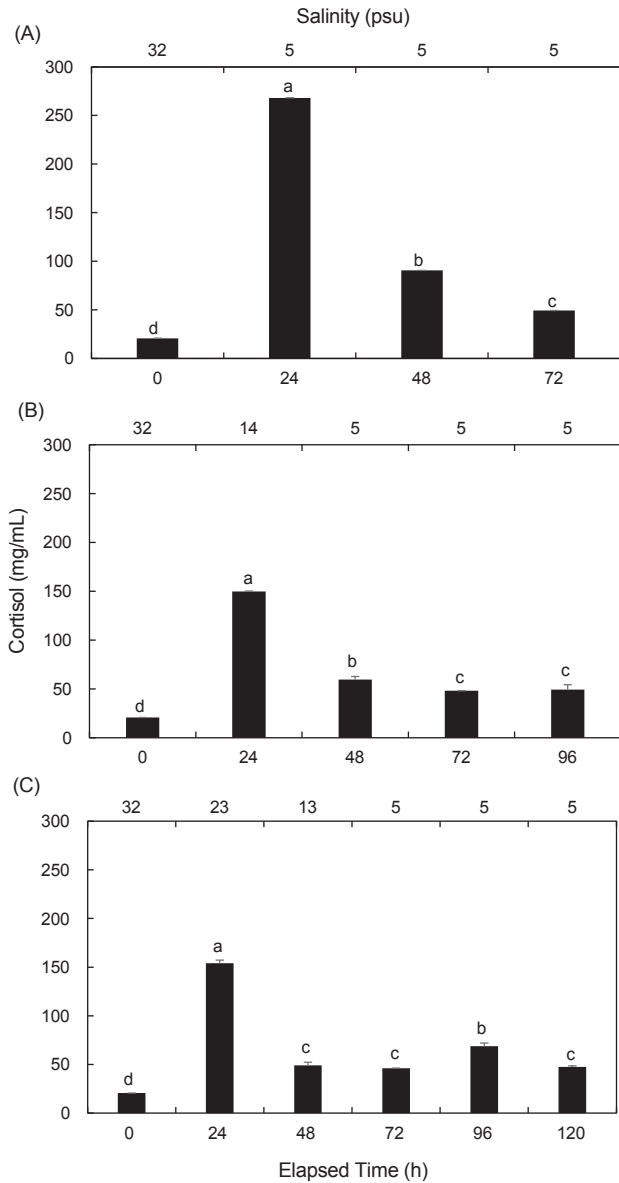


Fig. 2. Variations of cortisol level in plasma of brown marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* × camouflaged grouper *E. polyphkadion* (BCG) juveniles reared at rapid salinity changing from 32 psu → 5 psu during 72 h (A), 96 h (B), and 120 h (C). Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$).

고찰

해산 어류에게 염분의 갑작스런 변화는 심각한 스트레스 요인으로 작용한다. 어류가 염분 변화로 인해 스트레스를 받으면 1차 반응으로 혈중 카테콜아민과 cortisol의 수준을 상승시키고 (Schreck et al., 1989; Perry and Reid, 1993; Chang and Hur 1999; Min, 2006), 글루코스의 신생합성(gluconeogenesis)을 통

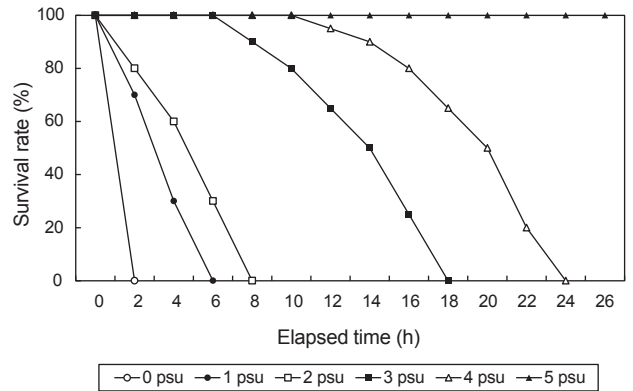


Fig. 3. Change of survival rate (%) in brown marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* × camouflaged grouper *E. polyphkadion* (BCG) juveniles reared at from 5 to 0 psu after rapid salinity changing.

한 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다. 2차 반응으로 혈액과 조직에 카테콜아민과 cortisol이 작용하여 심장 박동, 산소 소비, 에너지 동원의 증가 및 물이온의 평행이 깨지게 된다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald et al., 1997). 이러한 반응으로 인해 최종적으로 성장과 번식의 억제 및 면역력 감소로 이어진다(Wedemeyer and Yasutake, 1977; Min et al., 2005). Min (2006)은 장기적인 스트레스가 어류의 성장을 지연시킨다고 하였다. 본 연구에서 염분을 낮춘 후 30일간 사육하였을 때, BCG 치어는 5 psu에서 가장 낮은 체중 성장을 나타낸 반면 10-25 psu에서는 차이를 보이지 않았다. 또한 증중률과 일간성장률도 10-25 psu에서는 유의적인 차이를 보이지 않았고($P > 0.05$), 일반 해수인 32 psu나 5 psu 보다는 높은 값들을 보였다($P < 0.05$). 이것은 Boeuf and Payan (2001)이 주장한 것처럼 해산어류의 치어들은 중간 염분에서 성장이 좋다는 사실을 재확인해주고 있다. 즉 외부의 삼투질농도가 체액과 비슷할수록 삼투조절에 소비되는 에너지가 감소하기 때문에 성장에 긍정적인 효과를 주는 것이다. 또한 BCG 치어들이 중간 염분에서 성장이 빠른 이유 중 하나는 꼬리근점바리와 갈색점바리의 치어가 아열대나 열대의 조건대에서 서식한다는 사실과 연관시킬 수 있다. 이들 지역은 염분변화가 많은 지역으로 특히 저염분에 많이 노출되는 지역이다. 따라서 이러한 환경에 장기간 적응한 순종의 특성을 물려받은 BCG 치어도 저염분에서의 적응 능력이 뛰어난 것으로 판단된다. 그러나 5 psu에서는 다른 염분 시험구와 비교하여 성장이 낮게 나타났으며, 폐사하는 개체도 발생하여 실험 종료 시 생존율이 90%까지 낮아졌다. 따라서 BCG 치어의 성장도와 생존율만을 비교한다면 사육을 위한 적정 염분범위는 10-25 psu라고 할 수 있다.

사육 어류에게 작용하는 스트레스 요인인 염분 변화는 어체의 혈중 cortisol 수준을 상승시키며(Schreck et al., 1989; Perry and Reid, 1993; Min, 2006; Lim et al., 2016), 혈액과 조직에

서 cortisol의 작용으로 심장박동, 산소소비, 에너지 동원의 증가와 함께 물과 이온의 평형이 깨지게 된다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald and Milligan, 1997). 그래서 어류의 혈장 cortisol과 글루코스는 어체가 받는 스트레스 지표로 사용되어 왔다(Wedemeyer and Yasutake, 1977). 빠른 염분변화 실험은 자연 해수인 32 psu에서 5 psu로 각기 다른 적응 시간 동안 염분을 낮추었다. 이때 24시간 만에 5 psu로 낮춘 직후 혈중 cortisol 농도가 가장 높았고 이후 빠르게 낮아졌다. 48시간과 72시간만에 5 psu까지 낮춘 실험구도 염분 하강과 함께 혈중 cortisol 농도가 상승하였다가 빠르게 낮아졌지만 원래의 상태(자연해수)인 20.6 ± 0.2 ng/mL까지 회복되지는 않았다. 염분의 하강 속도가 느렸던 실험구일수록 cortisol 농도의 상승폭이 적었다. 이러한 BCG 치어의 스트레스 반응은 안정되거나 스트레스를 받지 않은 일반적인 어류의 혈중 cortisol 농도가 30-40 ng/mL라는 Wedemeyer et al. (1990)의 연구를 참고로 검토할 필요가 있다. 즉 빠른 염분 변화 후 상승했던 혈중 cortisol 농도가 약 50 ng/mL로 회복되었기 때문에 BCG 치어는 저염분 때문에 심각한 스트레스 상황에 놓이지는 않았다고 판단된다. 이와 비슷한 경향은 광염성 어류인 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 치어에서도 관찰되었다(Hur et al., 2002). 사육수를 해수에서 담수로 빠르게 염분을 낮추었을 때 1시간만에 넙치 치어의 혈중 cortisol 농도가 상승하였다가 다시 낮아졌다. Barton et al. (1980)은 스트레스에 의해 상승된 혈중 cortisol 농도는 6시간 이내에 안정 값으로 회복된다고 하여 스트레스 후 혈중 cortisol의 회복 속도가 빠름을 보고하였다. Tahir et al. (2018)도 *E. fuscoguttatus* 치어의 경우 염분 스트레스 후 혈중 cortisol 농도가 5분부터 120분까지 빠르게 감소함을 보고하였다. 본 연구에서는 24시간 간격으로 혈액시료를 채취하였기 때문에 짧은 시간 동안 변화하는 혈중 cortisol의 양상을 알 수 없었다. 그러나 cortisol의 회복시간은 어종, 스트레스의 종류 및 정도에 따라 다르기 때문에(Barton and Iwama, 1991) 혈중 cortisol의 변화에 대한 정확한 정보는 차후 좀 더 자세한 연구를 통해 밝혀야 하겠다. 빠르게 염분을 낮춘 실험에서 BCG 치어의 생존율은 모든 실험구들에서 100%를 나타내었고, 각기 다른 염분에서 30일간 사육한 실험 결과 5 psu를 제외하고 모든 실험구에서 폐사가 발생하지 않았다. 이것은 BCG의 암컷 어미인 *E. fuscoguttatus* 치어가 염분을 빠르게 변화시켰을 때 15 psu부터 폐사가 발생하여 5 psu에서는 절반이 폐사한 실험 결과(Tahir et al., 2018)와 비교할 때 순종보다 BCG 치어가 더 강한 저염분 내성을 가지고 있음을 나타낸다. Lim et al. (2016)과 Park et al. (2018)이 보고한 붉바리교잡종(*E. akaara* × *E. lanceolatus*)과 자바리교잡종(*E. bruneus* × *E. lanceolatus*) 치어의 경우도 순종인 붉바리나 자바리보다 높은 저염분 내성을 보였다. 이들 교잡종의 경우 한 쪽 어미인 *E. lanceolatus*가 저염분에 매우 강하기 때문에 *E. lanceolatus*의 강한 저염분 특성을 이어 받았다고 예상된다(Kim et al., 2015; Singhabun and Kummee,

2015). 그러나 본 연구에서 사용된 교잡종의 순종인 꼬리큰점바리의 저염분 내성에 관한 자료가 없기 때문에 BCG 치어의 저염분 내성이 어미로부터 물려받은 것인지 잡종강세적인 특성인지 명확하지 않다.

본 연구에서 BCG 치어는 저염분에 대해 매우 강한 내성을 가지고 있는 것으로 판단된다. 그러나 5 psu 이하의 염분에서는 낮은 염분일수록 폐사가 빨리 발생하였으며, 4 psu에서도 24시간 만에 모든 실험어들이 폐사하였다. 따라서 BCG 치어를 사육하기 위한 최저 한계 염분은 명확하게 5 psu임을 나타내고 있다. 본 연구의 결과를 요약하면 BCG 치어는 저염분 내성이 강하고, 저염분변화 스트레스로 인해 혈중 cortisol 농도가 상승하지만 빠르게 회복되었다. BCG 치어의 정상적인 사육을 위한 하한 염분은 5 psu였다. 그러나 이들 결과는 30일 간의 짧은 기간에 나타난 결과이기 때문에 BCG 치어의 양식 기술을 확립하기 위해 향후 저염분에서 장기간 사육한 치어의 성장과 생리적 반응에 관한 연구가 필요하겠다.

사 사

이 논문은 농림축산식품부, 해양수산부, 농촌진흥청, 산림청 Golden Seed Project에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahemad S. 2015. Groupers-high value species in Aquaculture Industry. Retrieved from <https://www.scribd.com/document/410141717/Grouper> on May 20, 2020.
- Barton, BA and Iwama, GK. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu Rev Fish Dis* 1, 3-26. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90019-G](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90019-G).
- Barton BA, Peter RE and Paulencu CR. 1980. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout *Salmo gairdneri* at rest, and subjected to handling, confinement, transport, and stocking. *Can J Fish Aquat Sci* 37, 805-811. <https://doi.org/10.1139/f80-108>.
- Boeuf G and Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth?. *Comp Biochem Physiol C* 130, 411-423. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00268-X](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00268-X).
- Campman FA, Garcia LN, Atencio VJ, Munoz RJ, Silva A and Flores H. 2014. Low-salinity acclimation of juvenile marine goliath grouper *Epinephelus itajara*. *J Appl Aquacult* 26, 179-186. <https://doi.org/10.1080/10454438.2014.905356>.
- Carmichael GJ, Tomasso JR, Simco BA and Davis KB. 1984. Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass, *Trans. Am Fish Soc* 113, 778-785. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1984\)113<778:CAAOS A>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1984)113<778:CAAOS A>2.0.CO;2).
- Chang YJ and HUR JW. 1999. Physiological responses of grey mullet *Mugil cephalus* and Nile tilapia *Oreochromis niloti-*

- cus* by rapid changes in salinity of rearing water. Korean J Fish Aquat Sci 32, 310-316.
- Cheng SY, Chen CS and Chen JC. 2013. Salinity and temperature tolerance of brown-marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus*. Fish Physiol Biochem 39, 277-286. <https://doi.org/10.1007/s10695-012-9698-x>.
- Eddy FB. 1981. Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. In: Pickering A.D. (ed.), Stress and Fish, Academic Press, London, U.K., 77-102.
- Garcia LN, Sierra CL, Perez J, Esquivel F and Chapman FA. 2013. Osmoregulation of juvenile marine goliath grouper *Epinephelus itajara* in low-salinity water. Rev Colomb Cienc Pec 26, 127-135.
- Haemestra PC and Randall JE. 1993. FAO Species catalogue. Vol. 16. Groupers of the world (family Serranidae, subfamily Epinephelinae). FAO fisheries Synopsis, Roma., 125, 1-382.
- Hur JW, Lee BK, Chang YJ, Lee JK, Lim YS, Lee JH, Park CH and Kim BK. 2002. Stress responses of olive flounder *Paralichthys olivaceus* to hyposalinity. J Aquaculture 15, 69-75.
- James CM, Al-Thobaiti SA, Rasem BM and Carlos MH. 1998. Comparative growth of brown-marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsskål) and camouflage grouper *E. polyphkadion* (Bleeker) under hatchery and growout conditions. Asian Fish Sci 11, 133-147.
- James CM, Al-Thobaiti SA, Rasem BM and Carlos MH. 1999. Potential of grouper hybrid (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. polyphkadion*) for aquaculture. Naga, ICLARM Quarterly 22, 9-10. http://www.worldfishcenter.org/Naga/na_2187.pdf
- Kim MJ, Lim HK and Jeong MH. 2015. Effects of low salinity acclimation on oxygen consumption in giant grouper, *Epinephelus lanceolatus*. J Fish Mar Sci Educ 27, 526-536. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.2.526>.
- Lau PF and Parry-Jones R. 1999. The Hong Kong trade in live reef fish for food. TRAFFIC East Asia and World Wide Fund for Nature Hong Kong, Hong Kong, 11-13.
- Lim SG, Han SB and Lim HK. 2016. Effects of salinity on the growth, survival and stress responses of red spotted grouper *Epinephelus akaara* and hybride grouper *E. akaara* ♀ × *E. lanceolatus* ♂. Korean J Fish Aquat Sic 49, 612-619. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0612>.
- McDonald DG and Milligan CL. 1997. Ionic, osmotic and acid base regulation in stress. In: Iwama GW, Pickering AD, Sumpter JP, Schreck CB. eds. Fish stress and health in Aquaculture. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 119-144.
- Min BH, Choi CY and Chang YJ. 2005. Physiological conditions on black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* acclimated and reared in freshwater and seawater. J Aquaculture 18, 37-44
- Min BH. 2006. Blood physiological and molecular endocrinological studies on osmoregulation of black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*; Teleostei) acclimated in freshwater. Ph.D. Dissertation Pukyong National University, Busan, Korea.
- Noh CH, Kim KS, Myoung JG, Cho JK, Yun NJ, Lim HG and Ban IC. 2015. The hatchability of fertilized eggs of interspecific hybrid between red spotted grouper *Epinephelus akaara* and Brown-Marbled Grouper *E. fuscoguttatus*. Korean J Ichthyol 27, 16-20
- Othman AR, Kawamura G, Senoo S and Fui CF. 2015. Effects of different salinities on growth, feeding performance and plasma cortisol level in hybrid TGGG (Tiger Grouper, *Epinephelus fuscoguttatus* × Giant Grouper, *Epinephelus lanceolatus*) juveniles. Int Res J Biol Sci 4, 15-20.
- Park JY, Yoon NJ and Lim HK. 2018. Effects of low salinity on growth, survival, and stress response in the longtooth grouper, *Epinephelus bruneus*, and *E. bruneus* × *E. lanceolatus* hybrid grouper. Isr J Aquacult 70, 1498-1509.
- Perry SF and Reid SD. 1993. β-adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. Fish Physiol Biochem 11, 195-203.
- Sadovy YJ, Donaldson TJ, Graham TR, McGilvray F, Muldoon GJ, Phillips MJ, Rimmer, MA, Smith A and Yeeting B. 2003. While stocks last: The live reef food fish trade. ADB Pacific studies series. Asian development bank, Manila, Philippines.
- Schreck CB, Bradford CS, Fitzpatrick MS and Patino R. 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. Fish Physiol Biochem 7, 259-265.
- Singhabun A and Kummee W. 2015. Effect of density, feeding frequency and salinity on growth and survival rate of juvenile giant grouper (*Epinephelus lanceolatus* Bloch, 1790). Int J Aquac Fish Sci 23, 671-682.
- Sutthithon P, Thongprajukaew K, Saekhow S and Ketmanee R. 2015. Juvenile hybrid grouper (*Epinephelus coioides* × *E. lanceolatus*) are euryhaline and can grow in a wide range of salinities. Int J Aquac Fish Sci 23, 671-682. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9845-8>.
- Tomasso JR, Davis KB and Parker NC. 1980. Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass × striped bass) during netting and hauling. In: Proceedings of the World Mariculture Society 11. Blackwell Publishing, Oxford, U.K., 303-310. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1980.tb00125.x>.
- Tahir D, Shariff M, Syuki F and Yusoff FM. 2018. Serum cortisol level and survival rate of juvenile *Epinephelus fuscoguttatus* following exposure to different salinities. Vet World 11, 327-331. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.327-331>.
- Tsui WC, Chen JC and Cheng SY. 2012. The effects of a sudden salinity change on cortisol, glucose, lactate, and osmolality levels in grouper *Epinephelus malabaricus*. Fish Physiol Biochem 38, 1323-1329. <https://doi.org/10.1007/s10695->

012-9620-6.

Wedemeyer GA, Barton BA and Mcleay DJ. 1990. Stress and acclimation. In: Schreck CB and Moyle PB, editors. Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Rockville, MD, U.S.A., 451-489.

Wedemeyer GA and Yasutake W. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and Wildlife Service, Washinton DC, U.S.A., 89.