

강도다리(*Platichthys stellatus*) 흑화발현에 미치는 조도의 영향

김원진* · 신윤경

(국립수산과학원 남동해수산연구소)

Influence of Light Intensity on the Blind-side Hypermelanosis in Starry Flounder *Platichthys stellatus*

Won Jin KIM* · Yun Kyung SHIN

(Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS)

Abstract

To study the influence of light intensity on blind-side hypermelanosis of starry flounder, *Platichthys stellatus*, we compared growth, glucose, cortisol, ratio of malpigmented blind-side area, ambicolored fish ratio and expression of mch mRNA for 60 days in 0 lux (darkness) and 20 lux (low light density). The test was done in duplicate at 50 fish/tank with the selected ordinary juvenile flounder. The rearing was performed in FRP aquarium tanks (H100 cm × L100 cm × W100 cm). Growth was higher in the 0 lux. The ratio of malpigmented blind-side area and ambicolored fish ratio were significantly higher at the 0 lux than at the 20 lux. The result suggests that 20 lux could inhibit the hypermelanosis. The expression level of MCH 1, 2 mRNA was significantly lower in 0 lux, indicating that MCH 1, 2 and light intensity are related to blind-side hypermelanosis of starry flounder.

Key words : Starry flounder, Light intensity, Hypermelanosis, Growth

I. 서론

어류 양식산업의 발전으로 고품질 어류생산이 이루어지고 수산물 소비가 증가하면서 양식어류의 체색과 문양이 시장에서 중요한 품질평가 요소로 인식되고 있다. 가자미목 어류의 체표면은 눈이 존재하는 유안측(ocular side)에서 검정색이나 갈색을 띠고, 눈이 존재하지 않는 무안측(blind side)에서는 전면이 흰색을 띠는 상반된 색소형성을 보인다(Norman, 1934). 그러나 양식산 가자미류의 무안측에서 체색이 흑화(hypermelanosis, ambicoloration)되는 현상과 유안측의 체색이 백화

(hypomelanosis, pseudo-albinism)되는 현상이 빈번하게 발생되고 있다. 백화는 흑화에 비해 그 비율이 낮게 나타나고 치어기에 선별이 가능하며, 먹이생물의 영양강화(Estevez, 1996)나 변태과정 시기에 사료를 영양 강화시켜(Yamamoto et al., 1992) 감소시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다. 이와 달리 흑화는 바닥에 서식하는 저서성 어류의 특성 때문에 확인하기가 쉽지 않고 그 비율도 백화에 비해 높게 나타난다. 이러한 이체류의 무안측 흑화에 대한 문제점을 해결하기 위해 가자미목 어류의 대표적 양식 어종인 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 흑화 발현에 관한 연구가 진행되었지

* Corresponding author: 055-640-4731, kwj7073@gmail.com

※ 이 논문은 2016년 국립수산과학원 수산과학연구사업 “양식어장 적조피해 저감 연구” (R2016048)의 지원으로 수행된 연구입니다.

만(Kang et al., 2011), 넙치 대체어종으로 부상하고 있는 강도다리(*Platichthys stellatus*)의 흑화에 관한 연구는 미비한 실정이다.

어류는 정상적인 성장을 위해 빛을 필요로 하며(Blaxter, 1968), 빛은 어류의 성장뿐만 아니라 생리호르몬(Boeuf and Le Bail, 1989), 섭식(Petrell and Ang, 2001) 그리고 변태(Puvanendran and Brown, 2002) 등에 영향을 미친다. 하지만 종묘생산 시 부적합한 조도는 색소이상 발현에 관여할 수 있으며, 암흑 조건에서 부화된 가자미류 자어는 생활사 후반부에 체색이상 발현을 나타내는 경향(Dannevig and Hansen, 1952)을 보이거나, 체색이상 발현에 영향을 미친다(Boeuf and Le Bail, 1989). 그리고 적정 수준 이상의 고조도는 어류에 스트레스로 작용하여 성장, 성숙, 생존에 영향을 미치며 흑화를 유도할 수 있다(von Ubisch, 1951). 또한 어류에서 최초로 발견된 신경뇌하수체 호르몬 melanin concentrating hormone (MCH)은 17-amino acid peptide로, chum salmon (Kawauchi et al., 1983)이나 다른 경골어류의 멜라닌소체 응축을 야기한다. Yamanome et al. (2005)은 노랑가자미(*Verasper moseri*)에서 MCH가 무안축의 피부색을 하얗게 만들어 흑화 억제에 작용하는 것을 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 흑화억제를 위한 조도 실험을 통해 MCH의 연관성을 조사할 필요성이 있다고 판단된다.

강도다리는 저서성 어류로 수심 400 m의 바닥에서도 서식하지만 대부분 수심 150 m 내외에서 서식하는 것으로 알려져 있다(Kramer and Josey, 1995). 수심 150 m에서 서식하는 강도다리는 빛이 거의 존재하지 않는 환경에서 서식하지만 양식시설에서는 100 lux 이하의 환경에서 사육되고 있다. 조도의 영향에 따른 강도다리 체색의 변화 특히, 무안축 흑화에 관한 연구는 미비한 실정이다. 또한 가자미목 어류의 무안축 흑화는 비록 병원성을 나타내지 않더라도(Soutar, 1995), 자연 생태계에서 생존기회를 크게 감소시킨다(Koshiishi et al., 1991). 뿐만 아니라 흑화개체는 자연산과

쉽게 구분되어 자연산보다 싼 가격에 거래되어 어가 소득감소를 초래하며 종묘생산을 통한 흑화개체의 방류는 자연계의 무흑화 천연형질을 교란시킬 수 있다. 따라서 양식산 강도다리의 상품가치를 높이고 야생 강도다리 자원의 무흑화 천연형질을 보존하기 위해서는 강도다리 흑화 유발요인을 구명하고, 이를 바탕으로 흑화억제 방안을 개발할 필요성이 대두된다.

이에 본 연구에서는 강도다리의 무안축 흑화와 조도의 연관성을 확인하기 위해, 강도다리 양성시 자연환경 조도를 고려한 암흑(0 lux)과 저조도(20 lux)의 조건이 흑화발현 억제에 미치는 영향을 조사하여 체색발현 제어기술의 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어 및 사육조건

실험어는 실험구별 흑화가 진행되지 않은 강도다리 치어 50마리씩(0 lux : 9.2±0.1 cm, 12.5±0.3 g, 20 lux : 9.3±0.1 cm, 체중 12.4±0.3 g) 사용하였으며, 조도 0 lux와 20 lux의 2개 실험구를 설정하여 수조바닥이 편평한 FRP수조(1 m³)에서 60일간 2반복으로 사육하였다. 조도는 외부의 빛이 차단된 실내에 인공조명을 이용하여 20 lux를 유지하였고, 1.5 m × 1.5 m의 차광막을 사용하여 빛을 완전 차단하여 0 lux 실험을 진행하였다. 실험구별 조도는 조도계(DX-200, INS, Chinese Taipei)를 사용하여 수표면 위에서 측정하였다. 사육수는 여과해수를 유수식으로 공급하였고, 실험구별 동일하게 1일 50회 정도 환수되도록 해주었다. 사육환경은 수질측정기(YSI650 MDS, YSI incorporation, USA)를 이용하여 매일 측정하였으며, 실험기간 동안 평균 수온은 20.9±1.3°C, 염분은 31.1±0.7 psu였다. 사료는 1일 2회(오전 9시, 오후 2시) 반복으로 공급되었다. 사용된 강도다리 사료는 상업용 넙치 EP 부상사료로, 입자 크기는

1.5~1.6 mm였다.

2. 성장 및 흑화률 분석

성장도 측정은 실험 개시일로부터 30일 간격으로 실험구별 30마리씩 실시하였다. 전장은 버니어캘리퍼스를 이용해서 1 mm 단위까지 측정했고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 실험구별 무안측 흑화면적률을 조사하기 위해 0, 30, 60일에 실험구별 강도다리 30마리씩 2반복으로 MS-222(Sigma, USA)를 이용하여 100 ppm으로 마취 시킨 후 무안측면을 디지털 카메라로 촬영한 뒤 컴퓨터 영상분석시스템(Motic Images Plus 2.0 KSE, China)을 통해 흑화면적률(흑화부위 면적/무안측 총면적)×100%를 산정하였다. 측정된 개체별 무안측 흑화면적률을 바탕으로 무안측 흑화면적률을 보인 개체를 흑화로 구분하여, 실험구별 흑화개체율을 계산하였다.

3. 혈액 채취 및 분석

강도다리 치어의 조도에 따른 무안측 흑화발현 영향에 대한 혈액의 생리생화학적 차이를 비교하기 위하여, 강도다리를 MS-222(Sigma, USA) 100 ppm으로 마취한 후 헤파린처리 주사기를 이용하여 미부동맥으로부터 신속하게 채혈하였다. 이후 4°C, 12,000 rpm으로 5분간 원심분리하여 혈장을 분리한 후 -74°C에 보관하면서 분석하였다. 치어의 치사 혈액채취량을 고려하여 3마리 pooled sample한 실험군별 8개 혈장을 FUJI DRI-CHEM 3500i (Fujifilm, Japan)에서 전용 분석 kit 슬라이드를 사용하여 글루코즈(glucose)를 분석하였다. 혈장 코티졸은 cortisol EIA kit (Oxford, USA)를 사용하여 효소면역분석법(enzyme immunoassay, EIA)으로 측정하였다. 혈장 100 µl에 ethyl ether를 사용하여 코티졸을 추출하고, 유기상(organic phase)을 분리하여 N2가스로 증발시켰다. 잔여물은 100 µl의 추출 buffer에 녹인 뒤, 이 중 10 µl를 다시 990 µl의 추출 buffer에 더하여 100배 희

석하여 샘플로 사용하였다. 샘플 50 µl를 microplate에 2반복으로 넣은 후, 동일한 양의 Cortisol-HRP Conjugate를 첨가하고 상온에서 1시간 동안 반응시켰다. Microplate를 wash buffer를 이용해 세척하고, 150 µl TMB 기질을 각 well에 넣은 후 30분 동안 반응시켜, microplate reader (ThermoScientific Multiskan Spectrum, Thermo, Finland)로 650 nm에서 값을 측정하였다.

4. MCH mRNA 발현

4-1. RNA 추출 및 cDNA 합성

실험 종료 시 실험구별 5마리의 강도다리 뇌 조직으로부터 AGPC (acid guanidinium thiocyanate- phenol-chloroform extraction)법에 근거한 TRI Regent® (Molecular Research Center, Inc., USA)를 사용하여 total RNA를 추출하였다. 추출한 total RNA는 genomic DNA 오염을 막기 위해 RQ1 RNase free DNase (Promega, USA)를 처리하였다. 이 total RNA (1µg)와 M-MLV (Moloney murine leukemia virus) reverse transcriptase (Promega), oligo (dT)₁₅ primer (Promega)를 이용하여 cDNA를 합성하였다.

4-2. Quantitative real-time PCR (qRT-PCR)

실험 구간별 시료의 뇌 조직에서 MCH1, MCH2 mRNA 발현량을 알아보기 위해 합성된 cDNA를 이용하여 qRT-PCR을 실시하였다. MCH1과 MCH2 primer는 Kang and Kim (2013)의 연구에 사용되어진 서열을 바탕으로 합성하였다 <Table 1>. 모든 qRT-PCR 반응은 Topreal™ qPCR 2X PreMIX SYBR Green (Enzynomics, Korea)을 이용하여 분석하였다. 반응액은 1 µl의 cDNA를 주형으로 사용하고, 10 µl Topreal™ qPCR 2X PreMIX SYBR Green, 1 µl primer sets, N.F.W (Nuclease-free water)를 혼합하여 총 20 µl의 volume으로 실시하였다. qRT-PCR의 수행은 CFX96 Touch™ Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad, USA)을 이용하여 MCH1, MCH2 모두

95°C에서 15분간 initial denaturation하였으며, 95°C에서 15초 denaturation, 56°C에서 15초 annealing, 72°C에서 30초 elongation하여 45 cycles을 반응시켜 주었다. 반응이 끝난 후에는 melting curve를 분석하였다. β -actin을 참조유전자로 사용하였으며, $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 방법(Livak and Schmittgen, 2001)을 이용하여 상대정량 하였다. 모든 샘플은 2반복으로 측정하였다.

<Table 1> Primers used for quantitative real-time PCR (qRT-PCR)

Gene	Sequence	PS	Tm
MCH1 F	5'-CAGTCCTGTGTCCATCGTC-3'	119	56°C
MCH1 R	5'-GAGGCGAAAGTCTCTGCTC-3'	bp	
MCH2 F	5'-GTAATAGAGCAAGACGGCCTGA-3'	132	56°C
MCH2 R	5'-GTAATAGAGCAAGACGGCCTGA-3'	bp	
β -actin F	5'-GTAATAGAGCAAGACGGCCTGA-3'	142	56°C
β -actin R	5'-CAGGCAGCTCATAGCTTCTC-3'	bp	

PS : product size, F: forward, R: reverse.

5. 통계분석

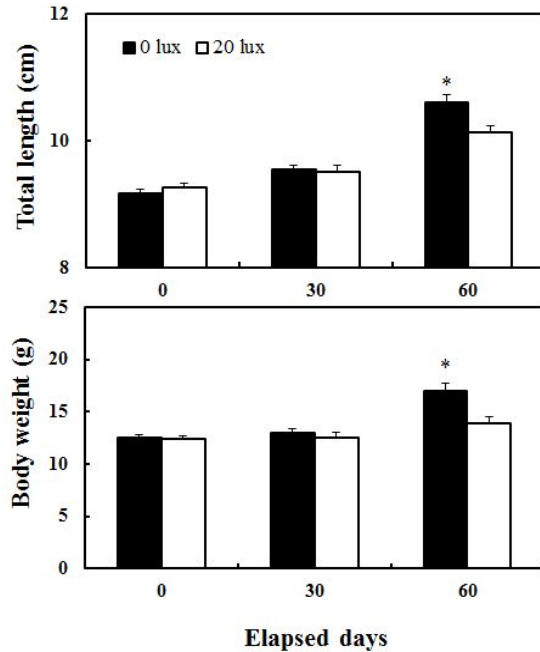
각 실험결과로부터 얻어진 자료값(mean±S.E.M)에 대한 유의성 검정은 SPSS 19.0을 이용하였으며, 혈액분석 및 MCH 분석은 비모수적 방법인 Mann-Whitney U-test를 통해 검증하였고, 성장과 흑화율은 모수적 방법인 Students t-test를 실시하였다(P=0.05).

III. 결 과

1. 성장

전장은 실험 개시 시 0 lux와 20 lux 각각 9.2±0.1 cm, 9.3±0.1 cm에서 30일 경과 후 0 lux 9.5±0.1 cm, 20 lux 9.5±0.1 cm로 차이를 보이지 않았지만, 60일에 0 lux 10.6±0.1 cm, 20 lux 10.1±0.1 cm로 나타나 0 lux에서 유의하게 높은 수치를 나타냈다. 체중 또한 전장과 유사한 결과를 나타냈고, 실험 개시 시 0 lux 12.5±0.3 g, 20 lux 12.4±0.3 g에서 실험 종료 시 0 lux는

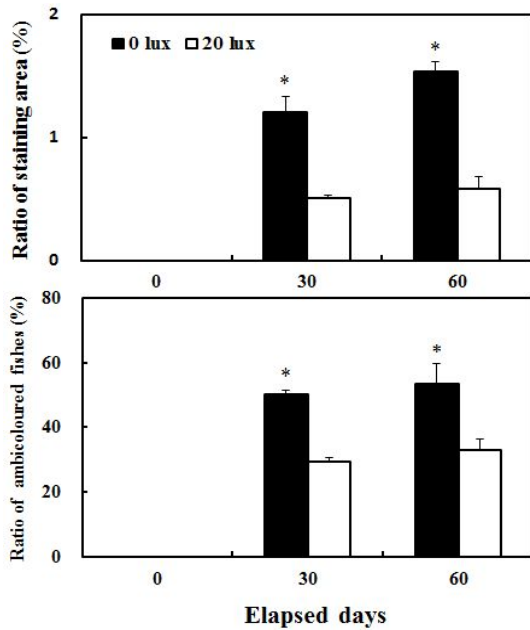
17.0±0.8 g으로 20 lux의 13.9±0.6 g 보다 유의하게 높게 나타났다([Fig. 1]).



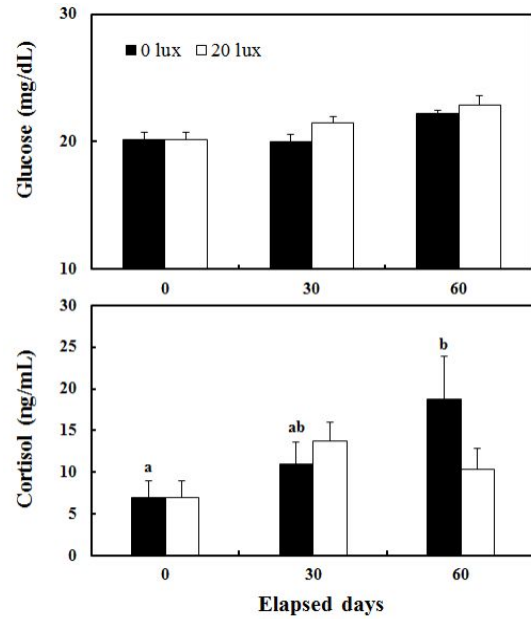
[Fig. 1] Growth of starry flounders *Platichthys stellatus* reared different conditions for 60 days. Values are mean±S.E.M (n=30). Asterisks indicate signification difference (P<0.05).

2. 흑화면적률과 흑화개체율

0 lux와 20 lux 조도별 흑화면적률을 30일 간격으로 측정한 결과 실험 개시 시 0%에서 30일째에 0 lux 실험구는 1.2±0.1%, 20 lux는 0.5±0.02%로 0 lux에서 20 lux보다 유의하게 높은 흑화면적률을 나타냈다. 또한 60일째에도 0 lux의 흑화면적률은 1.5±0.1%로 20 lux의 0.6±0.1%보다 유의하게 높았다. 흑화개체율은 30일째에 0 lux(50±1.2%)가 20 lux(29.3±1.2%) 보다 유의하게 높았다. 또한 60일째에도 0 lux 53.4±6.1%로 20 lux의 32.8±3.7%보다 유의하게 높게 나타나, 흑화면적률과 유사한 경향을 보였다([Fig. 2]).



[Fig. 2] Ratio of staining area and hypermelanic fishes of starry flounders *Platichthys stellatus* reared different conditions for 60 days. Values are mean±S.E.M. Asterisks indicate signification difference ($P < 0.05$).



[Fig. 3] Plasma levels of glucose and cortisol in starry flounder *Platichthys stellatus* between two light intensities for 60 days. Different letters indicate signification difference ($P < 0.05$).

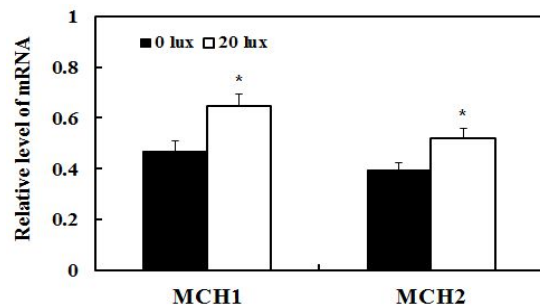
3. 글루코스 및 코티졸 농도

혈중 글루코스는 개시 시 20.1 ± 0.7 mg/dL였으며, 30일은 0 lux와 20 lux 각각 20.0 ± 0.6 , 21.5 ± 0.5 로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 60일 역시 0 lux와 20 lux 각각 22.3 ± 0.2 , 22.9 ± 0.7 로 유의한 차이를 보이지 않았다. 코티졸은 개시 시점을 포함해 30일, 60일 모두 0 lux와 20 lux 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 0 lux에서 0, 30, 60일 각각 7.0 ± 1.9 , 10.9 ± 2.6 , 18.7 ± 5.2 ng/mL으로 나타나, 코티졸 수치가 점차 증가하는 경향을 나타냈다([Fig. 3]).

4. MCH 1 및 2 mRNA 발현

MCH 1은 0 lux의 0.47 ± 0.04 보다 20 lux에서 0.65 ± 0.05 로 유의하게 높은 수치를 나타내었고,

MCH 2 역시 0 lux의 0.40 ± 0.03 보다 20 lux에서 0.52 ± 0.04 로 유의하게 높아, MCH 1, 2 모두 20 lux에서 높은 발현을 보였다([Fig. 4]).



[Fig. 4] Relative levels of MCH 1, 2 mRNA of starry flounder *Platichthys stellatus* between two light intensities for 60 days. Values are mean±S.E.M. Asterisks indicate signification difference ($P < 0.05$).

IV. 고찰

본 연구에서는 0 lux(darkness)와 20 lux(low light density)의 조도에 따른 강도다리의 성장과 흑화발현에 미치는 영향을 조사하였다. 빛은 어류의 성장과 생존에 중요한 역할을 한다(Trotter et al., 2003; Han et al., 2005; Strand et al., 2007). 하지만 black porgy, *Mylio macrocephalus*는 3000 lux (Kiyono and Hirano, 1981), haddock, *Melanogrammus aeglefinus*는 30 lux(Trippel and Neil, 2003) 그리고 halibut, *Hippoglossus hippoglossus*는 1~10 lux로, 어종에 따라 성장에 필요한 최적의 조도는 다르게 나타난다(Hole and Pittman, 1995). 1100 lux와 230 lux를 비교한 강도다리 양성어 조도 실험에서는 실험구별 성장의 차이가 나타나지 않았지만(Kang et al., 2014), 강도다리의 치어의 경우 사육 시 500 lux의 고조도에 비해 100 lux 이하의 낮은 조도에서 성장이 빠르게 나타나며, 조도가 낮을수록 빠른 성장을 보였다(NFRDI, 2009). 하지만 모든 빛이 흡수되는 150 m 이상의 수심에서 서식하는 강도다리(Kramer and Josey, 1995)의 서식환경을 고려한 암흑(0 lux)과 저조도(20 lux)를 비교하였을 때, 20 lux에 비해 0 lux에서 전장과 체장 모두 빠른 성장을 나타냈다. 이는 자연계와 유사한 조도환경(암흑)을 제공함으로써 억제되었던 습성이 성장에 영향을 미친 것으로 보여진다. 이러한 결과 차이를 단일 실험으로 결론짓기는 어렵지만, 조도별 성장의 차이는 밀도 이외의 사육조건이나 실험어의 크기에 따른 차이가 있을 것으로 판단된다.

또한 조도는 어류의 성장뿐만 아니라 체색에도 영향을 미친다(Rotllant et al., 2003). 실제 가자미목 어류 양식 시, 높은 수용밀도와 사료(Takahashi, 1994), 수조색깔(Yamanome et al., 2005) 및 바닥 은신처의 부재(Iwata and Kikuchi, 1998) 등이 무안측의 흑화를 야기하는 것으로 보고되고 있지만, Seikai (1991)와 Iwata and Kikuchi

(1998)는 가자미목의 무안측 흑화발현에 조도가 관련되며, Venizelos and Benetti (1999) 또한 가자미목 어류의 정상적인 색소 발달에 빛이 중요한 역할을 할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서도 조도에 따른 흑화발현을 비교하였을 때, 30일과 60일에 20 lux에 비해 0 lux에서 흑화개체율과 흑화면적률 모두 유의하게 높게 나타나 조도의 영향을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 결과는 자연계와 사육환경이 다른 일반 양식시설은 어류에게 스트레스로 작용(Barton and Iwama, 1991)하기 때문에, 조도에 따른 스트레스가 흑화발현에 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 스트레스 요인은 자연어와 치어 그리고 성어에 걸쳐 코티졸을 상승시키며(Barton, 2002; Alsop and Vijayan, 2008), 사육조건의 다양한 스트레스는 무안측 성어형 색소세포(adult type pigment cells) 발생을 촉진하여 흑화를 야기한다(Yamada et al., 2011). Spotted halibut, *Verasper variegatus*를 대상으로 한 Yamada et al. (2011)의 연구 결과, 10 µg/mL의 코티졸을 투여하였을 때, 유안측에서 나타나는 성체형 색소 세포가 무안측에서도 나타나 코티졸이 흑화발현에 영향을 미쳤다. 본 조도실험에서는 어류의 스트레스 지표로 이용되는 코티졸(Wendelaar Bonga, 1997)과 글루코즈(Hanson and Reshef, 1997)의 동반상승은 나타나지 않았다. Pickering and Pottinger (1989)는 일반적으로 안정 시 어류의 코티졸 농도는 5 ng/mL 이하라고 제시하였고, 그 기준에 따르면 두 실험군 모두 실험조건에 의해 지속적으로 스트레스를 받았지만, 0 lux에서 코티졸은 시간경과에 따라 흑화발현과 비례적으로 상승하는 경향을 보였다. 또한 60일차에는 0 lux가 20 lux보다 높은 수치를 보여 20 lux에 비해 0 lux의 스트레스가 더 높은 것으로 나타났고, 0 lux의 흑화면적률과 흑화개체율이 코티졸 상승과 유사한 경향을 보여, 0 lux의 암흑조건이 스트레스로 작용하여 흑화를 더 촉진시킬 가능성이 있을 것으로 사료된다.

또한 멜라닌소체 응축을 야기하여 체색을 하얗

게 만드는 MCH는 멜라닌소체를 확산시켜 체색을 검게 만드는 melanin stimulating hormone (MSH)과 길항작용 하는 것으로 알려져 있다. Yamanome et al. (2005)은 노랑가자미의 복강내 MCH (1 $\mu\text{g/g}$ body weight)를 주사하여 흑화발현된 개체의 무안측을 즉시 하얗게 만들고, 장기간 농도별 MCH의 주입으로 무안측 흑화 발현의 억제력을 확인하였으며, 수조 색깔의 밝기가 밝을수록 뇌 조직 내 MCH-immunoreactive cell의 수가 증가하여 노랑가자미의 무안측 흑화 현상을 완화시킬 수 있다는 결과를 보여주었다. 이처럼 MCH가 무안측 흑화와 관련 있다는 점을 고려해 보았을 때, 30, 60일에 0 lux에서 유의하게 증가하는 흑화와 반비례 경향을 보이며 60일차에는 MCH의 발현 수치가 유의하게 낮음으로 조도에 의한 MCH 1, 2 유전자와 흑화 발현에 관한 연관성을 확인할 수 있었다. 이 결과는 가자미목 어류에서 흑화개체에 비해 정상개체의 MCH 1, 2 mRNA 수치가 유의하게 높게 나타난 Kang and Kim (2013)의 연구결과와 유사하였다. 그리고 사육환경 중 배경색깔은 어류의 체색에 영향을 미치며 (Doolan et al., 2009), 밝은 수조색깔(흰색, 노랑색)은 가자미류의 무안측 흑화 발현을 억제시키고, 반대로 어두운 색깔(검정색)은 색소포 발현을 촉진시키는 효과가 있다(Amiya et al., 2005; Yamanome et al., 2005, 2007). 하지만 특정 파장의 빛은 송과체를 통한 멜라토닌 분비로 MCH 뉴런의 활성화뿐만 아니라, 배경색깔처럼 눈에 작용하여 MCH를 활성화시킬 수 있기(Amano and Takahashi, 2009) 때문에 본 연구에서도 20 lux는 밝은 배경색깔, 0 lux는 어두운 배경색깔처럼 작용 되어 유사한 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 강도다리를 치어 사육에 있어서 0 lux와 20 lux를 비교해 본 결과, 보다 높은 성장효과를 나타내는 조도는 0 lux였다. 하지만 0 lux에 비해 20 lux의 저조도에서 무안측 흑화 발현을 보다 효과적으로 억제하였고, 코티졸 상승과 MCH 1, 2 mRNA 발현 연관성을 나타냈다. 따라서 무흑화

강도다리를 생산함에 있어 저조도(20 lux)가 환경적 요인으로 작용할 가능성을 확인하였다.

References

- Alsop, D. · Vijayan, M. M.(2008). Development of the corticosteroid stress axis and receptor expression in zebrafish. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 294, R711-R719.
- Amano, M. · Takahashi A.(2009). Melanin concentrating hormone: A neuropeptide hormone affecting the relationship between photic environment and fish with special reference to background color and food intake regulation. *Peptides* 30, 1979~1984.
- Amiya, N. · Amano, M. · Takahashi, A. · Yamanome, T. · Kawachi, H. · Yamamori, K.(2005). Effects of tank color on melanin concentrating hormone levels in the brain, pituitary gland, and plasma of the barfin flounder as revealed by a newly developed time-resolved fluoroimmunoassay. *Gen. Comp. Endocrinol.* 143, 251~256.
- Barton, B. A. · Iwama, G. K.(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.
- Barton, B. A.(2002). Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integr. Comp. Biol.* 42, 517~525.
- Blaxter, J. H. S.(1968). Visual thresholds and spectral sensitivity of flatfish larvae. *J. Exp. Bio.* 51, 221-230.
- Boeuf, G. · Le Bail, P. Y.(1989). Does light have an influence on fish growth. *Aquacult.* 177, 129~152.
- Dannevig, A. · Hansen, S.(1952). Faktorer av betydning for fiskeeggnes of fiskeyngelens oppvekst. *Fisk. Dir. Skr., Serie Havundersokelser* 10, 5~36.
- Doolan, B. J. · Booth, M. A. · Allan, G. L. · Jones, P. L.(2009). Changes in skin colour and cortisol response of Australian snapper *Pagrus auratus* (bloch & schneider, 1801) to different back-ground colours. *Aquacult. Res.* 40, 542~550.
- Estevez, A.(1996). Effects of lipids and vitamin A on pigmentation success of flatfish. Ph. D. Thesis.

- Kagoshima University, Japan, 1~160.
- Han, D. · Xie, S. · Lei, W. · Zhu, X. · Yang, Y.(2005). Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish. *Aquacult.* 248, 299~306.
- Hanson, R. W. · Reshef, L.(1997). Regulation of phosphoenol pyruvate carboxykinase (PEPCK) gene expression. *Ann. Rev. Biochem.* 66, 581~611.
- Hole, G. · Pittman, K.(1995). Effects of light and temperature on growth in juvenile halibut *Hippoglossus hippoglossus* L.). In: Pittman, K., Batty, R.S., Verreth, J. (Eds.), ICES Marine Science Symposia, Mass Rearing of Juvenile Fish. Bergen, 21-23 June, vol. 201, p. 197.
- Iwata, N. · Kikuchi, K.(1998). Effects of sandy substrate and light on hypermelanosis of the blind side in cultured Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Environ. Biol. Fish.* 52, 291~297.
- Kang, D. Y. · Kim, H. C. · Chang, Y. J.(2011). Effects of stocking density on the blind-side hypermelanosis of cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish. Aqua. Sci.* 14, 123~129.
- Kang, D. Y. · Kim, H. C.(2013). Functional characterization of two melanin concentrating hormone genes in the color camouflage, hypermelanosis, and appetite of starry flounder. *Gen. Comp. Endocrinol.* 189, 74~83.
- Kang, D. Y. · Kim, W. J. · Kim, H. C. · Chang, Y. J.(2014). Influence of Water Temperature, Background Color, and Light Intensity in Feeding, Growth and Blind-Side Hypermelanosis of Starry Flounder, *Platichthys stellatus*. *Kor. J. Ichthyol.* 26(3), 185~193.
- Kramer, D. E. · Josey, T.(1995). Guide to Northeast Pacific flatfish : families Bothidae, Cynoglossidae and Pleuronectidae. *Sea Grant.* 62.
- Kawauchi, H. · Kawazoe, I. · Tsubokawa, M. · Kishida, M. · Baker, B. I.(1983). Characterization of melanin concentrating hormone in chum salmon pituitaries. *Nature* 305, 321~323.
- Kiyono, M. · Hirano, R.(1981). Effects of light on the feeding and growth of black porgy, *Mylio macrocephalus* (Basilewsky), postlarvae and juveniles. *Rapp. P.-v. Reun.-Cons. Int. Explor. Mer.* 178, 334~336.
- Koshiishi, Y. · Itano, H. · Hirota, Y.(1991). Artificial stock-size improvement of the flounder *Paralichthys olivaceus*: present status of technological achievement. *NOAA Techn. Rep., NMFS* 102, 33~43.
- Livak, K. J. · Schmittgen, T. D.(2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *Methods* 25, 402~408.
- NFRDI(2009). Manual of Starry Flounder Culture. National Fisheries Research and Development Institute, Busan. 60~61.
- Norman, J. R.(1934). A systematic monograph of the flatfishes (Heterosomata), Vol. 1, Psettodidae, Bothidae, Pleuronectidae. British Museum of Natural History, London. 14(81), 336~338
- Petrell, R. J. · Ang, K. P.(2001). Effects of pellet contrast and light intensity on salmonid feeding behaviours. *Aquac. Eng.* 25, 175~186.
- Pickering, A. D. · Pottinger, T. G.(1989). Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish. Physiol. Biochem.* 7, 253~258.
- Puvanendran, V. · Brown, J. A.(2002). Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquacult.* 214, 131~151.
- Rotllant, J. · Tort, L. · Monteroc, D. · Pavlidis, M. · Martinez, M. · Wendelaar Bongae, S. E. · Balme, P. H. M.(2003). Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquacult.* 223, 129~139.
- Seikai, T.(1991). Influences of fluorescent light irradiation, ocular side pigmentation, and source of fishes on the blind side pigmentation in the young Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Suisan Zoshoku* 39, 173~180.
- Soutar, R.(1995). The veterinary approach to turbot. In: Brown, L. Ed., *Aquaculture for Veterinarians*. Pergamon, New York, 357~377
- Strand, A. · Alanara, A. · Staffan, F. · Magnhagen, C.(2007). Effects of tank colour and light intensity on feed intake, growth rate and energy expenditure of juvenile Eurasian perch *Perca fluviatilis*. *Aquacult.* 272, 312~318.
- Takahashi, Y.(1994). Influence of stocking density

- and food at late phase of larval period on hypermelanosis on the blind body side in juvenile Japanese flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi* 60, 593~598.
- Trippel, E. A. · Neil, S. R. E.(2003). Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture* 217, 633~645.
- Trotter, A. J. · Battaglione, S. C. · Pankhurst, P. M.(2003). Effects of photoperiod and light intensity on initial swim bladder inflation, growth and post-inflation viability in cultured striped trumpeter (*Latris lineata*) larvae. *Aquacult.* 224, 141~158.
- Venizelos, A. · Benetti, D. D.(1999). Pigment abnormalities in flatfish. *Aquacult.* 176, 181~188.
- von Ubisch, L(1951). Untersuchungen uber Pleuronektiden: II. Ambikoloration, Inversion und Bilateralitat. *Wilhelm Roux Arch. EntwMech. Org.* 145, 61.
- Wendelaar Bonga, S. E.(1997). The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77, 591~625.
- Yamada, T. · Donai, H. · Okauchi, M. · Tagawa, M. · Araki, K.(2011). Induction of ambicoloration by exogenous cortisol during metamorphosis of spotted halibut *Verasper variegatus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 160B, 174~180.
- Yamamoto, T. · Fukusho, K. · Okauchi, M. · Tanaka, H. · Nagat, W. D. · Seikai, T. · Watanabe, T.(1992). Effect of various foods during metamorphosis on albinism in juvenile of flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 499~508.
- Yamanome, T. · Amano, M. · Takahashi, A.(2005). White background reduces the occurrence of pigmented, activates melanin concentrating hormone and promotes somatic growth in barfin flounder. *Aquacult.* 244, 323~329.
- Yamanome, T. · Amano, M. · Amiya, N. · Takahashi, A(2007). hypermelanosis on the blind side of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* is diminished by rearing in a white tank. *Fish. Sci.* 73, 466~468.
-
- Received : 17 June, 2016
 - Revised : 15 July, 2016
 - Accepted : 26 July, 2016