

양식산 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 무안측 착색증 발현에 있어 만성적 스트레스 관련성

강덕영* · 김효찬 · 박광재 · 백재민

국립수산과학원 서해수산연구소

Possible Relevance of Blind-side Skin Hypermelanosis in Cultured Olive Flounders, *Paralichthys olivaceus* to Chronic Stress

Duk-Young Kang*, Hyo-Chan Kim, Kwang-Jae Park, Jae-Min Baek

West Sea Fisheries Research Institute, NFIS, Incheon 22383, Korea

Corresponding Author

Duk-Young Kang
 West Sea Fisheries Research Institute,
 NFIS, Incheon 22383, Korea
 E-mail : dykang69@gmail.com

Received : March 25, 2016
 Revised : April 04, 2016
 Accepted : April 27, 2016

본 연구는 넙치를 인공사육 시설에서 육성할 때 나타나는 무안측 흑화(착색증)의 스트레스 관련성을 확인하기 위해, 무안측에 체색이 없는 것(정상 그룹)과 체색이 있는 것(흑화 그룹)들 사이 스트레스 인자 비교 실험을 실시하였다. 본 실험에 사용된 실험어는 평균 전장 21.5±0.42 cm, 평균 무게 87.5±6.1 g였으며, 실험어의 무안측 착색면적률은 정상 그룹 0.63±0.12%, 착색증 그룹 16.7±4.7%였다. 분석한 스트레스 관련 인자는 혈중 GLU 및 TP, 코티졸 및 갑상선호르몬(FT₃ & FT₄) 농도 및 어체 성분(수분, 조단백, 조지방, 조회분)이었다. 실험 결과, 정상과 무안측 착색 넙치에 있어 혈중 GLU 및 TP의 농도는 정상 형질보다 착색증 형질에서 유의하게 높게 나타났다. 혈중 호르몬 농도에 있어 갑상선호르몬의 경우 정상과 착색증 그룹 사이에는 유의차를 찾아볼 수 없지만, 코티졸은 착색증 그룹이 정상 그룹에 비해 유의하게 높게 나타났다. 어체 중 영양 성분의 경우, 수분과 회분은 그룹 간 유의차가 없었지만, 조단백은 착색증 그룹이 정상보다 다소 낮으며, 조지방은 정상보다 유의하게 높았다. 이상의 스트레스 인자를 통한 정상과 착색증 그룹 간 비교를 통해 알 수 있듯, 양식산 넙치의 착색증은 만성적이 약한 스트레스에 관련되어 있을 가능성이 높은 것으로 확인되었다.

In the present study, to clarify a possible relevance of blind-side hypermelanosis to chronic stress in cultured flounders, *P. olivaceus*, a serial experiment was tried with comparison of biochemical stress factors between wild type and hypermelanic type in cultured olive flounders. The mean size of experimental animal was total length 21.5±0.42 cm and body weight 87.5±6.1 g. The initial malpigmented area rate on the blind side skin was 0.63±0.12% and 16.7±4.7%, respectively, in the wild type and the hypermelanic type. The stress factors surveyed in the experiment were glucose (GLU), total protein (TP), cortisol, free type-thyroid hormones (FT₃ and FT₄) in plasma, and also moisture, crude protein, crude lipid, and crude ash in body muscle. As a result, GLU and TP were higher in hypermelanic type than in wild type. Plasma cortisol was also higher in hypermelanic type than in wild type. In FT₃ and FT₄, any difference between two groups was not observed. In body nutrient factors, the moisture and the crude ash in body composition were not different between two groups, but the crude protein was low and the crude lipid was high in the hypermelanic type. Therefore, it is concluded that the blind-side hypermelanosis of cultured flounders could be related with a chronic stress.

Keywords: Blind-side skin(무안측), Hypermelanosis(흑화), Malpigmentation(착색이상), Olive flounder, *P. olivaceus*(넙치), Stress(스트레스)

서론

어류는 육상 동물과 달리 특이적인 여러 생물학적 특성을 지니고 있다. 그 중에서도 자신의 생리적 상태나 주변 서식 환경에 따라 자신의 몸 색깔을 바꿀 수 있는 색상변이 능력을 지니고 있다 (Ramachandran et al., 1996; Aspengren et al., 2008; Manceau et al., 2011). 이러한 표피 색상 변화에는 외부 인자에 대한 단기적인 반응으로 나타나는 생리학적 색상 변화(Nery and Castrucci, 1997; Nilsson Sköld et al., 2013)와 발달과정에 의해 색소세포의 수적 변화에 의해 일어나는 형태학적 색상 변화(Sugimoto, 2002; Leclercq et al., 2010)가 있다. 전자는 색소세포들의 운동성 반응에 의해 유도되는 색소의 운동성에 의한 변화이며, 후자는 발생과정 또는 수 일 또는 수 주 이상, 주변 배경에 적응할 때 표피에서 색소세포의 수 및 색소량이 비가역적으로 변화하는 양적 색상 변화이다. 우선 생리학적 색상 변화는 외부의 자극을 받아 형성된 신호가 신경계를 통해 뇌로 전달되어 카테콜아민-분비 신경원을 자극하고, 이를 통해 색소세포의 멜라닌 분비를 조절하는 흑색소포농축호르몬(melanin concentrating hormone: MCH)과 흑색소포자극호르몬(melanophore stimulating hormone: MSH)의 분비로 이어지는 기작에 의해 일어난다(Kawauchi, 2006; Aspengren et al., 2008). 실제 일부 카테콜아민 계열, 특히 에피네프린(epinephrine), 노르에피네프린(norepinephrine) 및 도파민(dopamine) 등이 sand flounder, *Scophthalmus aquosus*의 흑색소포 발현 능력을 매우 활성화시키는 결과를 보여주고 있어, 외부 자극에 의한 스트레스가 생리학적 체색 변화의 주 원인임을 확인할 수 있다(Kawazoe et al., 1987; Van Der Salm et al., 2004; Itoh et al., 2012). 그에 반해 형태학적 색상 변화는 단기적인 외부 스트레스보다는 주변 서식 공간의 배경이 변화할 경우 장기간에 걸쳐 서식 공간의 주변 배경에 적응하는 과정에서 비가역적인 색소포 분화 또는 수적 변화에 의해 나타난다(Leclercq et al., 2010; Kang et al., 2014).

한편 가자미과 어류는 저서생활을 위해 진화과정을 통해 몸통은 납작한 체형으로 바뀌게 되었으며, 더불어 저면 바닥에 접촉하는 부위에 눈이 필요가 없어져, 상층부 체표면 쪽으로 모두 옮겨가게 되어, 비대칭 체형구조를 가지게 되었다(Ramachandran et al., 1996). 따라서 눈이 존재하는 유안측은 먹이 포획과 포식자로부터 자신을 몸을 숨기기 위해 색소포를 발달시켰으며, 반대로 눈이 없는 무안측은 생활사적으로 기능적 역할이 필요가 없어져 색소포 발달을 정지시켰다. 이에 가자미목 어류는 유안측은 다양한 색상을 가지게 되지만, 무안측은 아무런 색이 존재하지 않는 흰색의 형태를 지니는 countershading 특성을 지니게 되었다(Bolker and Hill, 2000; Okada et al., 2001; da Silva et al., 2007). 실제 우리나라에 서식하는 대표적인 가자미과 어류인 넙치의 경우, 자연산은 유안측면에 색소포가 분화되어 색상과 무늬를 지니고 있는 반면, 무안측은 흑색 및 황색소포 분화가 이루어지지 않아 백색의 상태로 비대칭적 색소형태를 나타낸다(Minami, 1982; Fukuhara, 1986; Matsumoto and Seikai, 1992). 그러나 인공배양 시설에서 사육되는 경우 3 cm 이상의 크기

에서 무안측면에 부분적 또는 전체적 색소포 발달에 의해 색상과 무늬가 생겨나는 기형적인 현상을 보이고 있으며(Venzelos and Benetti, 1999; Haga et al., 2004; Macieira et al., 2006; Aritaki and Tagawa, 2011), 이러한 무안측 착색반점은 자연계에 방류 후에도 사라지지 않는다는 문제점이 있다(Jeong and Jeon, 2008; An et al., 2011). 따라서 매년 바다에 이러한 기형적인 넙치 종묘들을 대량으로 방류함으로써 자연계 내 토종 넙치의 고유형질을 오염 또는 변형시킬 가능성도 완전히 배제할 수 없다(Tomiya et al., 2008). 실제 국내의 경우 자원 증강 목적으로 이러한 넙치 종묘를 지난 20년 이상 주변 연안에 방류해 온 결과, 현재 연안에서 포획되는 넙치의 상당 부분이 이러한 무안측 착색 현상을 나타냄을 확인하였다. Jeong and Jeon (2008)에 의하면 충남 태안 및 서천과 같은 우리나라 서해 연안의 연안 서식 넙치 중 20~50%가 무안측 착색 현상이 있는 것으로 확인되었고, 남해안의 경우 80~90%가 무안측 착색증을 지닌 것으로 나타나, 자연산 형질보존 측면에서 심각한 문제로 인식되고 있다. 따라서 국내 자연산 넙치의 고유형질 보존 및 관리측면에서 볼 때, 인공 종묘 시 나타나는 이러한 체색 기형의 원인과 기작을 밝혀 여기에 대한 치료 또는 예방 기술이 구축될 필요가 있다고 본다.

실제 양식장에서 사육되는 양식산 가자미과 어류의 경우, 이러한 countershading 특성이 파괴되는 기형적인 형태적 양상이 높은 비율로 관측되고 있다. 특히 체색이 없어야 하는 무안측에 색소포가 기형적으로 분화하여 흑색의 체색 반점이 나타나는 흑화 현상이 아주 높은 비율로 인공사육 시설에서 생산되는 양식산 가자미과 어류에서 관찰되고 있다(Takahashi, 1994; Haga et al., 2004; Tarui et al., 2006; Yamanome et al., 2007; Tomiyama et al., 2008; Kang and Kim, 2012b). 이전 연구를 통해 이 기형적 색소포 분화는 일시적인 생리학적 색상 변화가 아닌, 비가역적인 형태학적 색상 변화라는 사실이 밝혀졌지만(Kang and Kim, 2012a), 아직까지 그 원인과 기전이 무엇인지 완전하게 구명되지는 않았다. 현재까지 저면저질(Ottesen and Strand, 1996), 빛(Iwata and Kikuchi, 1998), 군집밀도와 먹이(Takahashi, 1994) 및 배경 색상(Yamanome et al., 2005) 등의 서식 환경과 조건 등이 이 현상을 유도하는 것으로 보고되고 있다. 그러나 생체 내에서 어떤 기전이 이러한 기형적인 색소포 분화가 일어나는 지에 대한 명확한 해답은 없다. 단지 우리는 대량 생산을 위해 양식장에서 제공되는 환경 조건들이 자연계와 달리 스트레스 요소로 작용하여, 자기 방어적 목적에서 기형적인 체색 기형을 만들어 내는 것으로 추정해 볼 수 있다. 특히 대량 생산을 위해 사용되는 콘크리트 구조물의 개방형 수조가 넙치의 고유 습성인 잠입행동을 제한함으로써 스트레스 요인으로 작용하는 지 여부를 확인할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 잠입행동을 제한하는 인공적 서식 조건과 잠입행동이 가능한 인공적 서식 환경에서 사육한 넙치를 대상으로 흑화의 발현 여부를 조사하고, 이 두 실험구간에 있어 생화학적 스트레스 인자들에 있어 차이가 존재하는 지 여부를 조사하였다.

Table 1. Fish sizes (total length and weight) and malpigmented area rates in the blind side of juvenile olive flounders used in this experiment

Group	Mean length (cm)	Mean weight (g)	Malpigmented area rate (%) ¹
Wild type (Gravel bottom)	21.5±0.42	87.5±6.1	0.63±0.12
Hypermelanic type (Flat bottom)	21.2±0.38	88.3±4.9	20.70±2.92*

¹Values with asterisk within the same column are significantly different ($p < 0.05$)

재료 및 방법

1. 실험어 및 실험구

본 실험에 사용된 넙치는 인공사육 시설에서 만들어진 생산된 부화 후 약 200일된 양성어(평균 전장 21.5±0.42 cm, 평균 무게 87.5±6.1 g)을 이용하였다. 이때 사용된 개체는 사전 선발 작업을 거쳐, 크기 차이가 없는 것들로 사용하였다. 정상 넙치(wild type)는 부화 후 60일 이후 치어기부터 수조 바닥에 소형 자갈을 제공하여 무안측에 흑화 현상이 나타나지 않게 한 실험구의 개체들을 확인 후 사용하였으면, 무안측에 흑색 반점을 지닌 개체(hypermelanic type)는 일반적으로 양식장에서 사용하는 사육 방법(수조가 바닥이 편평한 수조에서 사육)에 의해 길러진 것들 사용하였다(Fig. 1 & Table 1). 정상 개체는 무안측의 착색반문 면적이 평균 1% 이하일 때 인정되었으며, 무안측 체표면에서 흑색 반점의 면적비율이 1% 이상일 경우 흑화형질로 규정하였다. 무안측 착색비율은 각 개체의 무안측을 디지털 카메라로 촬영한 뒤, 컴퓨터의 영상분석시스템(Q_{WIN} V3, Leica, Germany)을 통해 면적을 계측한 뒤 계산식(착색반문 면적비(%) = [착색반문 면적/무안측 총면적] × 100)으로 구하였다. 본 실험에 이용된 두 군집의 무안측 착색 면적률은 Table 1과 같다.

2. 분석 항목

본 실험에서는 무안측 흑화 현상이 만성적인 스트레스와 관련되어 있는지 구명하기 위해, 정상과 흑화 넙치의 혈중 스트레스 인자들을 비교하였다. 이를 위해 아래와 같은 항목들을 각각의 분석 방법들을 측정하였다. 이를 위해 실험구별 넙치는 phenoxyethanol로 마취한 다음, 미부동맥으로부터 혈액을 채집하여 한 뒤, 원심분리로 혈장을 분리하였다. 분리된 혈장은 분석 시까지 -70°C에 보관하였다. 다음 체성분 분석을 위해, 어체로부터 근육을 떼어내어 표피를 제거한 후 -20°C에서 분석 시까지 보관하였다.

2.1. 혈중 glucose (GLU) 및 total protein (TP) 측정

실험구별 30마리의 혈장 GLU 및 TP를 FUJI DRI-CHEM 3500 (Co. Fujifilm, Japan)에서 전용 분석용 kit 슬라이드를 사용하여 분석



Wild type (Normal)



Hypermelanic type (Malpigmented)

Fig. 1. Photographs of normal (wild type) and hypermelanic olive flounders.

하였다. 이때 사용된 TP kit 슬라이드 측정범위는 2.0~11.0 g/dl의 TP-PIII (Co. Fujifilm, Japan)였으며, GLU kit 슬라이드 측정범위는 10~600 mg/dl의 GLU-PIII (Co. Fujifilm, Japan)이었다.

2.2. 혈중 호르몬 측정

넙치의 무안측 착색증과 스트레스 관련성을 확인하기 위해 스트

Table 2. Rate of hypermelanosis of juvenile olive flounder in each group

Group	GLU (mg/dl) ¹	TP (g/dl) ²
Wild type	20.2±1.0	4.0±0.1
Hypermelanic type	24.1±1.7*	4.4±0.1*

^{1,2}Values with asterisk within the same column are significantly different ($p < 0.05$)

레스 관련 호르몬인 코티졸(cortisol)과 생체활성 관련 호르몬인 유리상 갑상선호르몬 2종(Free L-Thyroxine: FT₄, Free 3,5,3'-triiodo-L-Thyronine: FT₃)을 분석하였다. 각 실험구별 10마리를 3반복으로 시행하였으며, 3가지 호르몬은 Wallac DELFIA 전용 kit을 이용해 fluorometer인 Victor 2D (PerkinElmer, USA)에서 chemiluminescent immunoassay에 의해 분석되었다. 이때 FT₄, FT₃ 및 cortisol의 일간 변동 C.V. (interassay coefficient of variation)은 FT₄=4.21, FT₃=3.54, cortisol=4.31였으며, 일내변동 C.V. (intraassay coefficient of variation)은 FT₄=1.00, FT₃=2.95, cortisol=3.64였다.

2.3. 근육 내 체성분 측정

정상과 흑화 넙치 사이의 체성분 차이 존재 유무를 가리기 위해, 실험구별 각 30마리의 근육에서 샘플하여, 수분은 상압가열건조법, 조단백은 Kjeldahl 질소정량법, 조지방은 Soxhlet 추출법 및 조회분은 건식회화법으로 함량을 측정 비교하였다(AOAC, 1995).

3. 통계처리

실험구별 평균값의 유의차 유무를 가리기 위해 SPSS 7.0 통계프로그램을 이용하여 Student's *t*-test ($n=30$)를 실시하였으며, 유의 확률은 95% 신뢰수준에서 이루어졌다.

결 과

1. 혈중 GLU 및 TP 농도

정상 체색과 흑화 넙치에서 혈중 GLU 및 TP의 농도를 비교해 본 결과, Table 2에 나타낸 바와 같이 자연산 형질의 정상 개체보다 양식산 형질인 무안축 흑화 개체들에서 두 항목 모두 농도가 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$).

2. 코티졸 및 갑상선호르몬 농도

코티졸과 두 종류의 갑상선호르몬 FT₄, FT₃ 분석 결과, 2종류의

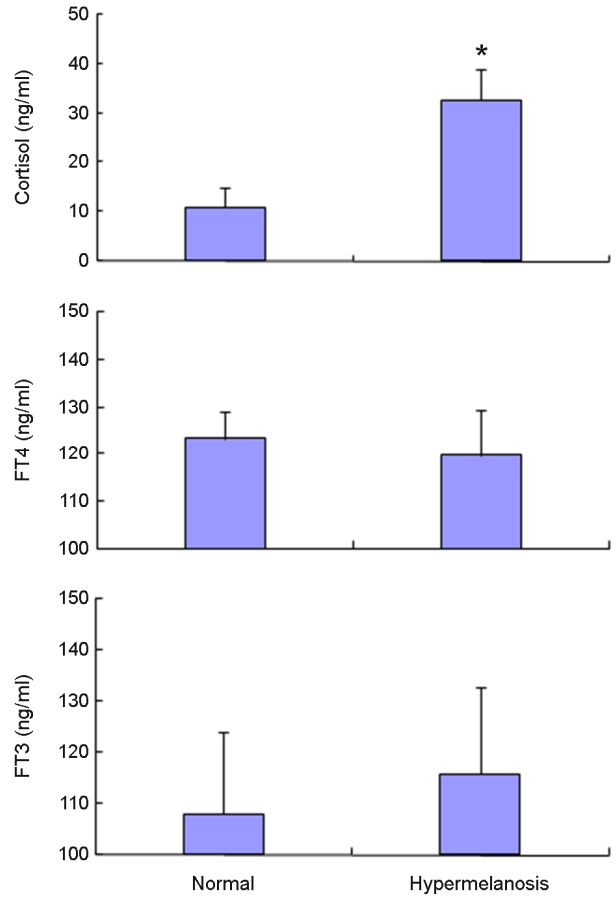


Fig. 2. Cortisol and thyroid hormone concentrations in plasma of blood between normal (wild type) and hypermelanosis olive flounders.

갑상선호르몬 모두 정상과 착색증 넙치 사이에는 어떠한 유의한 차이도 찾아볼 수 없었다. 그러나, 스트레스 관련 호르몬인 코티졸 분석의 결과는 정상 체색 넙치에 비해 착색증 넙치들의 경우 평균 혈중 농도가 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$; Fig. 2).

3. 근육 내 수분, 조단백, 조지방 및 조회분 농도

영양 성분의 차이를 알아보기 위해 각 실험구별 근육의 체성분을 분석한 결과, 조단백, 수분 및 회분은 성분에 있어 유의한 차이는 없었지만, 조지방은 흑화 개체체에서 유의하게 높은 것($p < 0.05$)으로 확인할 수 있었다(Table 3).

고 찰

현재까지 사육 환경 및 영양학적인 부분에서 많은 연구가 진행되

Table 3. Whole body proximate composition (% dry matter basis) of juvenile olive flounder in each group¹

Group	Moisture (%)		Protein (%)		Lipid (%)		Ash (%)	
	mean	s.e.m.	mean	s.e.m.	mean	s.e.m.	mean	s.e.m.
Wild type	74.45	0.22	21.99	0.22	2.95	0.10	1.45	0.02
Hypermelanic type	74.30	0.11	21.43	0.18	3.48*	0.13	1.52	0.01

¹Analyses were carried out on three samples (five fish per sample)

어 왔으나, 양식산 가자미류의 무안축 착색증(흑화 현상)이 어떤 원인에 의해 발생되고, 생체 내에서 어떤 과정과 경로로 발현되는지에 대한 명확한 답은 찾지 못했다. 이에 본 연구에서는 진화, 환경 및 생리학적 측면에서 그 원인을 추정해 보고자 시도하였다. 그것은 진화과정을 통해 획득한 서식 습성을 고려하지 않은 인공적 서식 환경이 사육 대상 동물인 넙치나 가자미류에게 만성적으로 스트레스로 작용하여, 자가 방어적 목적에 의해 퇴화되었던 무안축의 색소세포들의 분화를 야기한 것으로 추정된다. 실제 본 연구에서 정상 개체와 무안축 착색 개체간 생리학적 특성 비교를 통해, 그 가능성이 높다는 것을 알 수 있다. 비록 넙치의 유안축 색소포 분화 관여하는 것으로 알려진 갑상선호르몬(Yoo et al., 2000)이 무안축 색소 발현에도 관여하는 한다는 증거는 찾지 못했지만, 스트레스 지표인 혈중 코티졸, GLU 및 TP 농도 모두 무안축 착색 개체에서 유의하게 높게 나타난 것으로 볼 때, 무안축 착색증이 인공적으로 제공된 서식 환경에 의해 야기되는 지속적이고 만성적인 스트레스를 통해 유발될 가능성이 높음을 시사해주고 있다. 사실 사육밀도에 따른 농어의 코티졸 농도 변화(Di Marco et al., 2008) 및 수조 색상에 따른 snapper의 코티졸 농도 차이(Doolan et al., 2008)가 관찰되며, red porgy에서는 흰색과 검정색 cage에서 사육한 결과 glucose 농도가 스트레스 환경에서 보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

어체의 성분 분석을 통해서도 그 가능성을 추정해 볼 수 있다. 일반적으로 어류는 스트레스 상황에 놓이게 되면, 행동학적, 생리학적 및 생화학적 적응에 필요한 높은 대사 에너지를 요구하게 된다. 이때 어류는 이 에너지를 제공하기 위해 신장에서 catecholamines 및 cortisol 분비를 촉진시키며(Schreck 1993; Wendelaar Bonga 1997), 이것은 간에서 gluconeogenesis 또는 glycogenolysis 과정을 통한 에너지원인 glycogen 합성으로 이어져 혈중의 hyperglycemia를 유도하게 된다. 즉 혈중에서 높아진 코티졸은 당신생합성(gluconeogenesis) 작용과 마찬가지로, 해당과정(glycogenolysis) 통해 간에서 glycogen 동원한다. 특히 만성적인 스트레스 상황에서는 코티졸은 당신생합성(gluconeogenesis)과 같은 대사과정에 중요한 역할을 담당하는 것으로 보인다(Mommsen et al., 1999). 아직 그 기작은 불분명하지만, 당신생합성에 사용되는 에너지원이 단백질, 지질 또는 lactate 및 glycerol이 제안되어 왔다(Vijayan et al., 1991). 따라서 만성적으로 코티졸의 농도가 높았던 착색증 군집에서 낮은 단백질

함량과 높은 지방 함량은 그러한 과정에 나타난 2차적 현상일 가능성이 높다. 즉 정상과 착색증 개체 사이에서 나타나는 어체 중 단백질과 지방의 함량비의 차이는 스트레스와 관련되어 있으며, 이것은 무안축의 착색증 개체들이 지속적으로 만성스트레스에 노출되어 있다는 간접적인 증거일 수도 있다는 것이다.

실제 넙치의 양식 역사와 방법을 세밀하게 들여다보면 그 가능성이 높다는 사실을 알 수 있다. 해양 동물인 넙치의 가축화 및 양식화가 본격적으로 진행된 것은 불과 20~30년 남짓에 불과하다. 이들은 여전히 자연계에서 생활하던 유전적 서식 습성을 지니고 있으며, 생체 대사와 생리 현상 역시, 이 서식 습성에 맞춰져 있다. 그러나 양식이라는 인공적 양육 환경은 자연계와 달리 그들의 고유의 유전적 서식 습성을 영위할 수 없게 만들 뿐 아니라, 그에 따른 정상적인 생명 현상의 발현을 왜곡할 수 있다고 보며, 그것이 무안축 표피에서 색소포의 비정상적인 발현 현상으로 나타났을 가능성이 높다. 달리 설명하면, 자연계에 서식하는 넙치가 나타내는 특징적 현상 중 하나는 먹이활동 이외에는 항상 수계 저면에 자신의 몸을 파묻고 유안축은 주변의 무늬와 색상에 맞추는 보호색을 띄는 것이 일반적인 특성이다. 이는 포식자로부터 자신을 보호하고 먹이감 사냥을 위한 은폐·위장 행동(camouflage)이다(Ramachandran et al., 1996). 이러한 습성으로 인해 자연스럽게 어체 바닥면의 색소세포 기능과 존재가 불필요하게 되었고, 오랜 기간 동안 진화과정을 통해 무안축(바닥면) 색소세포의 퇴화와 소실로 이어졌다(Friedman, 2008). 그러나 양식장에서의 넙치는 자연계와 달리 초고밀도로 사육되며, 서식 공간 역시 자연계와 달리 자신의 몸을 은폐할 수 있는 잠입성 모래나 자갈이 없는 콘크리트 바닥에서 키워진다. 따라서 제한된 공간에서 고밀도 삶을 영위해야 하는 넙치는, 어쩔 수 없이 군집 내 다른 개체들과 물리적 접촉을 통한 공간 확보 및 먹이 경쟁을 지속적 해야 하며 이로 인한 만성적인 스트레스 상태에 놓일 수 밖에 없다. 따라서 생화학적으로나, 내분비적으로 양식산 넙치의 생리 대사는 자연산 넙치에 비해 높은 스트레스 수치를 나타낼 것으로 보이면, 이러한 내인적 물질들의 변화가 자기 방어적 목적에서 무안축에 색소포의 역할을 강하게 요구하고 이는 비정상적으로 퇴화과정에 있는 색소포 분화를 유발할 수 있을 것으로 본다. 즉, 몸을 은폐할 수 있는 구조물이 없는 인공적인 서식 환경과 서식 공간 및 먹이 경쟁으로 인한 타 개체들의 공격적이고 적대적 신체 접촉으로부터 자신을

보호하기 위한 보호색을 통한 은폐 위장 기술의 필요성은 더욱 높아지며, 그로 인해 유안측과 마찬가지로 무안측면의 보호색 기능이 요구될 것으로 추정된다. 따라서 자기 방어적 목적에서 퇴화과정에 있는 무안측의 색소포 분화가 비정상적으로 발현될 것으로 추정된다.

이상의 연구 결과로 우리는 넙치의 무안측 착색증이 인위적 사육 환경에서 시작되는 만성적 스트레스와 관련되어 있을 가능성이 높은 것을 확인하였다. 따라서 인위적 서식 환경을 스트레스가 낮은 자연계 생활 환경과 유사하게 만들어 준다면, 양식산 넙치의 무안측 착색증을 예방할 수 있을 것으로 본다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 경상과제 "2016년 강도다리 체색형질 개선 연구(과제번호 11-AQ-08)" 과제에 의해 수행된 결과로 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- An HS, Byun SG, Kim YC, Lee JW, Myeong JI. 2011. Wild and hatchery populations of Korean starry flounder (*Platichthys stellatus*) compared using microsatellite DNA markers. *International Journal of Molecular Sciences* 12: 9189-9202.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC International.
- Aritaki M, Tagawa M. 2011. Pseudoalbinism and ambicoloration in hatchery-reared pleuronectids as malformations of asymmetrical formation. *Fisheries Science*: 1-9.
- Aspengren S, Hedberg D, Sköld HN, Wallin M, 2008. Chapter 6 New Insights into Melanosome Transport in Vertebrate Pigment Cells, pp 245-302.
- Bolker JA, Hill CR. 2000. Pigmentation development in hatchery-reared flatfishes. *Journal of Fish Biology* 56: 1029-1052.
- da Silva LC, de Andrade AC, de Andrade-Tubino MF, Vianna M. 2007. Reversal and ambicoloration in two flounder species (*Paralichthyidae*, *Pleuronectiformes*). *PANAMJAS* 2: 23-26.
- Di Marco P, Priori A, Finioia MG, Massari A, Mandich A, Marino G. 2008. Physiological responses of European sea bass *Dicentrarchus labrax* to different stocking densities and acute stress challenge. *Aquaculture* 275: 319-328.
- Doolan BJ, Allan GL, Booth MA, Jones PL. 2008. Effects of cage netting colour and density on the skin pigmentation and stress response of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquaculture Research* 39: 1360-1368.
- Friedman M. 2008. The evolutionary origin of flatfish asymmetry. *Nature* 454: 209-212.
- Fukuhara O. 1986. Morphological and functional development of Japanese flounder in early life stage. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52: 81-91.
- Haga Y, Takeuchi T, Murayama Y, Ohta K, Fukunaga T. 2004. Vitamin D3 compounds induce hypermelanosis on the blind side and vertebral deformity in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Sci* 70: 59-67.
- Itoh K, Washio Y, Fujinami Y, Shimizu D, Uji S, Yokoi H, Suzuki T. 2012. Continuous illumination through larval development suppresses dopamine synthesis in the suprachiasmatic nucleus, causing activation of α -MSH synthesis in the pituitary and abnormal metamorphic skin pigmentation in flounder. *Gen Comp Endocrinol* 176: 215-221.
- 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.
- Jeong DS, Jeon CY. 2008. Genetic variability and population structure of olive flounder *Paralichthys olivaceus* from stocked areas using microsatellite DNA markers. *Kor J Ichthyol* 20: 156-162.
- Kang DY, Kim HC. 2012a. Progression of blind-side hypermelanosis after metamorphosis in cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J World Aquacul Soc* 43: 848-858.
- Kang DY, Kim HC. 2012b. Relevance of environmental factors and physiological pigment hormones to blind-side hypermelanosis in the cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult* 356-357: 14-21.
- Kang DY, Byun S-G, Myeong J-I, Kim H-C, Min B-H. 2014. Morphological analysis of blind-side hypermelanosis of the starry flounder, *Platichthys stellatus* during early development. *Develop Reproduction* 18: 79-87.
- Kawauchi H. 2006. Functions of melanin-concentrating hormone in fish. *J Experiment Zool Part A: Comp Experimen Biol* 305: 751-760.
- Kawazoe I, Kawauchi H, Hirano T, Naito N. 1987. Characterization of melanin concentrating hormone in teleost hypothalamus. *Gen Comp Endocrinol* 65: 423-431.
- Leclercq E, Taylor JF, Migaud H. 2010. Morphological skin colour changes in teleosts. *Fish and Fisheries* 11: 159-193.
- Macieira RM, Joyeux JC, Chagas LP. 2006. Ambicoloration and morphological aberration in the sole *Achirus declivis* (*Pleuronectiformes*: *Achiridae*) and two other cases of color abnormalities in achirid soles from southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4: 287-290.
- Manceau M, Domingues VS, Mallarino R, Hoekstra HE. 2011. The developmental role of Agouti in color pattern evolution.

- Science 331: 1062-1065.
- Matsumoto J, Seikai T. 1992. Asymmetric pigmentation and pigment disorders in pleuronectiformes (flounders). Pigment cell research / sponsored by the European Society for Pigment Cell Research and the International Pigment Cell Society Suppl 2: 275-282.
- Minami T. 1982. The early life history of a flounder *Paralichthys olivaceus*. Nippon Suisan Gakkaishi 48: 1581-1588.
- Mommsen TP, Vijayan MM, Moon TW. 1999. Cortisol in teleosts: Dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. Reviews in Fish Biology and Fisheries 9: 211-268.
- Nery LEM, Castrucci AMDL. 1997. Pigment cell signalling for physiological color change. Comparative Biochemistry and Physiology - A Physiology 118: 1135-1144.
- Nilsson Sköld H, Aspengren S, Wallin M. 2013. Rapid color change in fish and amphibians - function, regulation, and emerging applications. Pigment Cell and Melanoma Research 26: 29-38.
- Okada N, Takagi Y, Seikai T, Tanaka M, Tagawa M. 2001. Asymmetrical development of bones and soft tissues during eye migration of metamorphosing Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Cell and Tissue Research 304: 59-66.
- Ottesen OH, Strand HK. 1996. Growth, development, and skin abnormalities of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles kept on different bottom substrates. Aquaculture 146: 17-25.
- Ramachandran VS, Tyler CW, Gregory RL, Rogers-Ramachandran D, Duensing S, Pillsbury C, Ramachandran C. 1996. Rapid adaptive camouflage in tropical flounders. Nature 379: 815-818.
- Sugimoto M. 2002. Morphological color changes in fish: Regulation of pigment cell density and morphology. Microscopy Research and Technique 58: 496-503.
- 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.
- Tarui F, Haga Y, Ohta K, Shima Y, Takeuchi T. 2006. Effect of Artemia nauplii enriched with vitamin A palmitate on hypermelanosis on the blind side in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Fisheries Science 72: 256-262.
- Tomiyaama T, Mizuno T, Watanabe M, Fujita T, Kawata G. 2008. Patterns and frequency of hypermelanosis on the blind side in wild Japanese flounder. Nippon Suisan Gakkaishi (Japanese Edition) 74: 171-176.
- Van Der Salm AL, Pavlidis M, Flik G, Wendelaar Bonga SE. 2004. Differential release of α -melanophore stimulating hormone isoforms by the pituitary gland of red porgy, *Pagrus pagrus*. General and Comparative Endocrinology 135: 126-133.
- Venizelos A, Benetti DD. 1999. Pigment abnormalities in flatfish. Aquaculture 176: 181-188.
- Vijayan MM, Ballantyne JS, Leatherland JF. 1991. Cortisol-induced changes in some aspects of the intermediary metabolism of *Salvelinus fontinalis*. General and Comparative Endocrinology 82: 476-486.
- Yamanome T, Amano M, Takahashi A. 2005. White background reduces the occurrence of staining, activates melanin-concentrating hormone and promotes somatic growth in barfin flounder. Aquaculture 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: Short paper. Fisheries Science 73: 466-468.
- Yoo JH, Takeuchi T, Tagawa M, Seikai T. 2000. Effect of thyroid hormones on the stage-specific pigmentation of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Zoological Science 17: 1101-1106.