

강도다리(*Platichthys stellatus*) 흑화 발현에 미치는 수조색깔 및 자갈기질의 영향

김 원 진†
(국립수산과학원)

Influence of Background Color and Substratum on the Blind-side Hypermelanosis in Starry Flounder *Plathchthys stellatus*

Won-Jin KIM†
(National Institute of Fisheries Science)

Abstract

To study the influence of background color and substratum on hypermelanosis of starry flounder, we compared the daily food intake (DFI), the feed efficiency (FE), the survival, the growth, the ratio of pigmented area on the blind side and the ratio of hypermelanic fish dublicately reared for 180 days in dark-green FRP aquarium (control), white FRP aquarium together with dark-green substratum. The ratio of pigmented area on the blind side was significantly higher at the dark-green group than at the white group. DFI, FE and growth were higher in the dark-green substratum. Pigmented area rate and ratio of hypermelanic fish were significantly higher at the dark green group than at the high dark-green substratum. The results suggest that bright tank color and substratum bottom could inhibit the hypermelanosis.

Key words : Starry flounder, Hypermelanosis, Background color, Substratum

I. 서론

가자미목 어류의 무안측 흑화현상은 자연계에 서는 극히 드물게 나타나지만 양식시설에서는 높은 비율로 흑화현상이 나타난다(Bolker and Hill, 2000). 흑화비율이 높게 나타나는 양식시설과 자연계의 서식조건 차이점으로 밀도(Kang and Kim, 2012), 영양(Haga et al., 2004; Tarui et al., 2006), 조도(Amano and Takahashi, 2009) 등 연구가 진행되어 사육환경과 흑화현상의 관련성에 관한 연구 보고가 있다. 그러나 이러한 현상들이 무안측 흑화의 개별적 환경인자들로 작용하여 흑화억제에

부분적 작용을 하지만, 핵심원인 인지는 명확히 구명되지는 않았다. 따라서 본 연구에서는 가자미목 어류의 무안측 흑화 현상을 효율적으로 억제시킬 수 있는 환경인자를 찾을 필요성이 있다고 판단된다.

가자미목 어류에 있어 배경에 조화되기 위한 유안측의 생리학적 가역적 체색변화가 확인되었다(Ellis et al., 1997). 자연계의 주위 환경과 조화되기 위한 배경 색깔은 양식 환경의 수조색깔일 것으로 생각되며, 수조색깔의 밝기 정도가 무안측 흑화억제에 도움이 된다는 연구(Amiya et al., 2005, 2008)가 보고되었고, 수조색깔은 성어의 피

† Corresponding Author : 055-640-4731, kwj7073@gmail.com

부착색 유형과 자어의 착색 정도를 결정하는 요인일 수 있다는 연구결과가 보고되었다(Bransden et al., 2005). 또한 참돔 *Pagrus pagrus*, 노랑가자미 *Verasper moseri*의 경우, 흰색수조에 장기간 사육하였을 시 피부의 멜라닌이 감소하였고, 흑색소포의 크기와 밀도가 변화하여 수조색깔과 체색의 연관성을 보고 하였다(Yamanome et al., 2005, Pavlidis et al., 2008). 강도다리에서는 수조색깔과 흑화의 연관성이 아직 밝혀지지 않아, 수조색깔이 흑화 억제에 어느 정도 영향을 미치는지 조사할 필요가 있다.

강도다리를 포함한 가자미목 어류는 저서생활을 하기 때문에 모래나 자갈 그리고 펄 같은 잠입기질이 존재하는 곳에서 생활을 한다. 이들은 포식자로부터 자신을 보호하기 위해 주위환경 배경색과 자신의 표면색을 일치시키고, 바닥기질에 몸을 파묻는 서식 습성을 가지고 있다(Ellis et al., 1997). 그러나 일반 양식 환경에서는 관리상의 이유로 바닥이 편평하고 딱딱한 콘크리트나, 표면이 미끈한 FRP수조에서 대부분 사육되어, 가자미목 어류의 잠입 습성 및 색상 적응에 어려움이 있을 것으로 예상된다. Kang and Kim. (2013)은 콘크리트나 FRP수조는 어체가 자연계처럼 잠입 행동을 할 수 없는 인공시설이므로, 체색발현 기능을 이용하여 어체의 은폐, 위장을 위하여 표피 색소발현 장애 및 색소포 이상과다발현을 보일 수 있는 것으로 추측하였다. 또한 Benetti (1997)는 잠입기질에 따라 감각 신호를 통해 멜라닌 생산을 유발할 수 있다는 주장을 하였다. 따라서 자연계와 유사한 자갈기질을 이용한 환경을 제공하여 잠입성 생활을 통한 강도다리 무안측 흑화 발현의 연관성을 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 흰색, 암녹색의 수조색깔별 흑화에 미치는 영향과 자연계의 잠입 조건을 충족시키기 위한 자갈기질 유무에 의한 무안측 흑화 억제 여부를 검정하고자 실험을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어 및 조건

실험어는 전장 2.6 ± 0.2 cm, 체중 0.2 ± 0.06 g의 흑화현상이 전혀 없는 강도다리 치어를 각 수조별 50마리씩 수용하여 실험을 진행하였다. 실험용 수조는 FRP 수조(1 m³)를 이용하였다. 실험구는 편평한 수조 바닥을 그대로 사용한 암녹색(dark-green)수조와 수조색깔에 의한 효과를 파악하기 위해 흰색(white)수조, 그리고 자갈기질 유무에 의한 효과를 파악하기 위해 수조 바닥에 자갈(4-6 mm) 기질을 깔아준 암녹색-자갈수조(dark-green with substrata)를 사용하였다. 각 실험구는 2반복으로 설정하였으며, 180일간 실험하였다.

2. 사육조건

사육수는 실험구별로 동일하게 1일 60회 환수 되도록 해주었으며, 사육 수온 및 염분 등 환경 조건은 동일하게 유지하였다. 사육환경은 매일 측정하였으며, 사육기간 중 평균 수온은 24.0 ± 2.5 °C, 염분은 28.6 ± 1.5 psu였다.

먹이공급은 실험개시~70일까지 2회/일, 71일~실험 종료 시 까지 1회/일, 공급시간은 2회 공급 시 오전 9시 및 오후 4시에, 1회 공급 시 오전 9시에 반복으로 공급하였다. 사용된 강도다리 사료는 실험 개시~73일까지 입자 크기 0.47~1.7 mm의 상업용 EP(love larva, Japan)를 공급하였고, 74일부터 실험 종료 시 까지 입자 크기 1.8~2.3 mm의 상업용 EP(white, Japan)를 공급하였다. 사료공급 후에는 일간 사료 공급량을 기록하였고, 기록된 사료공급량을 바탕으로 일간 개체당 사료 섭취량(daily food intake, DFI; mg/fish/day) 및 사료효율(feed efficiency, FE; %)을 구하였다.

3. 성장 및 흑화면적을 분석

성장도 측정은 실험 개시일로부터 60일 간격으로 180일간 실시하였다. 전장은 버니어캘리퍼스를 이용해서 1 mm 단위까지 측정했고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 이때 길이 및 무게로부터 아래와 같이 성장률(daily growth rate, DGR %=[종료시 크기-개시시 크기]/[개시시 크기]×100)을 계산하였다. 더불어 성장도 값을 통해 군집 간 비만도(condition factor, CF=[체중/전장³]×1,000)를 구하였으며, 매일 폐사 개체를 수집하여 계수한 뒤 생존율을 산정하였다. 실험구별 무안측 흑화면적률을 조사하기 위해 실험개시 후 60, 120, 180일에 실험구별 강도다리 30마리씩 2반복으로 2-phenoxyethanol로 마취 시킨 후, 10% 포르말린에 고정시켰다. 이후 무안측면을 디지털 카메라로 촬영한 뒤 컴퓨터 영상분석시스템(QWIN V3 Leica, Germany)을 통해 흑화면적률(흑화부위 면적/무안측 총면적)×100%를 구하였다. 측정된 개체별 무안측 흑화면적률을 바탕으로 2% 이상 무안측 흑화면적률을 보인 개체를 흑화로 구분하여, 실험구별 흑화개체율을 계산하였다.

4. 통계분석

각 실험결과로부터 얻어진 자료값(mean±S.D.)에 대한 유의성 검정은 SPSS 19.0을 사용하여 성장도 및 흑화면적률은 one-way ANOVA로 통계처리 후, Duncan's multiple rang test로 사후 검정하였다. DFI, FE 및 생존율은 비모수적 방법인 Mann-Whitney U-test를 실시하여, 95% 신뢰수준에서 유의차 유무를 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 사료효율 및 생존율

일간 개체당 사료섭식량(DFI)은 암녹색-자갈에서 143.2±0.6 mg으로 가장 높았으며, 사료효율(FE)에 있어서도 암녹색(162.2±4.9%), 흰색

(156.3±4.6%)과 비교하여 암녹색-자갈에서 175.6±2.8%로 유의하게 높게 나타났다. 생존율은 암녹색-자갈 97.8%, 암녹색 92.9%, 흰색 84.8% 순으로 높게 나타났다(<Table 1>).

<Table 1> Daily food intake (DFI, g), food efficiency (EF, %) and survival rare(%) of three groups reared in different conditions(dark-green, white, and dark-green+substratum)

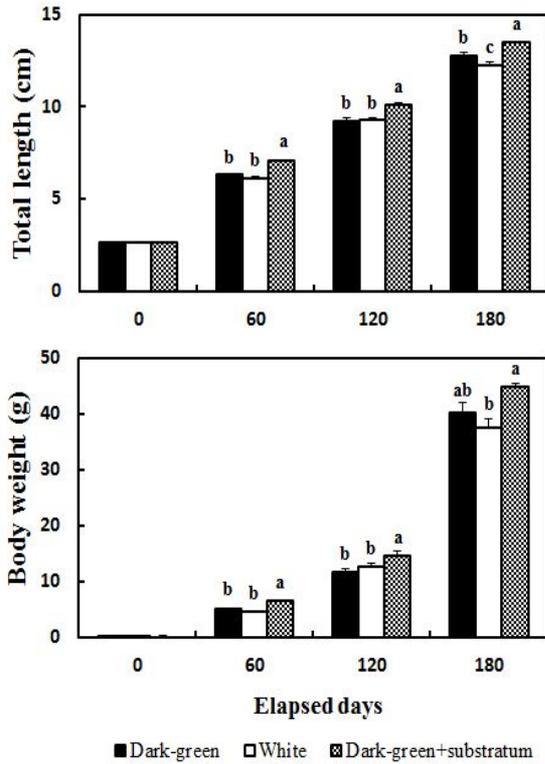
Factors	DFI (mg)	FE (%)	Survival (%)
Dark-green	138.7±1.5 ^{ab}	162.2±4.9 ^b	92.9±0.5 ^b
White	133.6±3.8 ^b	156.3±4.6 ^b	84.8±1.1 ^c
Dark-green+substratum	143.2±0.6 ^a	175.6±2.8 ^a	97.8±1.4 ^a

Statistical differences between values are indicated by different letters($P<0.05$).

2. 성장도

전장은 실험 개시 시 2.6±0.03 cm에서 180일 동안 암녹색-자갈 13.5±0.03 cm, 암녹색 12.8±0.2 cm, 흰색 12.3±0.2 cm로 성장하여 암녹색-자갈에서 유의하게 높은 수치를 보였다. 60, 120일도 실험 개시 후 암녹색-자갈에서 유의하게 높은 수치를 나타냈다. 체중 또한 전장과 유사한 결과를 나타냈고, 실험 종료 시 흰색은 37.4±1.7 g으로 암녹색-자갈 45.0±0.5 g과 비교하여 유의하게 낮았다([Fig. 1]).

180일간 일간성장률(DGR)에서 GRL(growth rate of length)은 암녹색-자갈이 2.3±0.01%로 가장 높게 나타났고, 흰색은 2.0±0.04%로 가장 낮은 수치를 보였다. GRW(growth rate of weight)는 암녹색-자갈 116.3±1.4%보다 암녹색 104.1±4.3%와 흰색 96.7±5.6%가 유의하게 낮았다. GRC(growth rate of condition)는 흰색에서 0.37±0.01로 높은 수치를 나타냈다(<Table 2>).



[Fig. 1] Growth of starry flounders *Plathichthys stellatus* reared different conditions for 180 days. Values are mean±S.E. Different letters indicate signification difference ($P<0.05$).

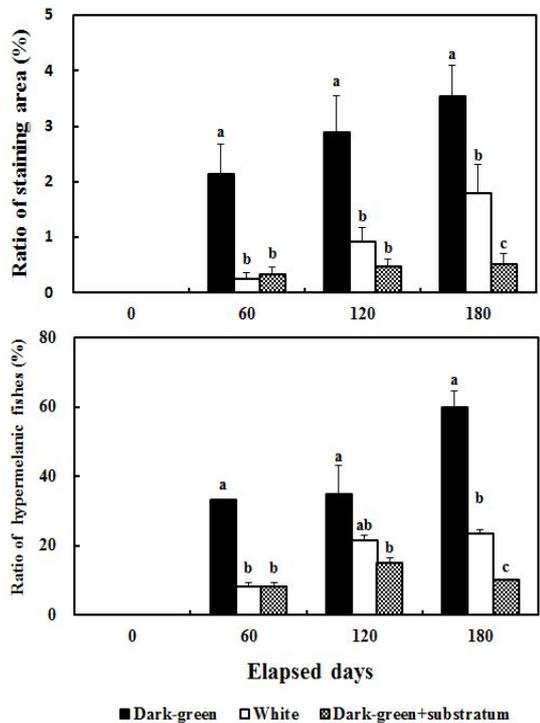
<Table 2> Daily growth rate (length, weight, condition) of starry flounder reared in different conditions (dark-green, white, and dark-green+substratum)

Factors	GRL (%)	GRW (%)	GRC (%)
Dark-green	2.2±0.06 ^b	104.1±4.3 ^b	0.34±0.02 ^b
White	2.0±0.04 ^c	96.7±5.6 ^b	0.37±0.01 ^a
Dark-green +substratum	2.3±0.01 ^a	116.3±1.4 ^a	0.29±0.01 ^c

Statistical differences between values are indicated by different letters($P<0.05$).

2. 흑화개체율 및 흑화면적률

흑화개체율은 60일에 33.3±0.1%의 암녹색이 흰색 8.3±1.2%, 암녹색-자갈 8.3±1.2%보다 유의하게 높게 나타났다. 이후 종료 시 까지 암녹색에서 흑화개체율이 유의하게 높게 유지되었다. 실험 종료 시 흰색은 암녹색보다는 낮은 수치를 나타냈지만, 암녹색-자갈보다는 유의하게 높은 수치를 보였다. 흑화면적률 역시 흑화개체율과 유사한 경향을 나타냈고, 60, 120, 180일 모두 암녹색에서 유의하게 높은 흑화면적률을 보였다. 실험 종료 시 흑화개체율과 흑화면적률 모두 암녹색에서 가장 높은 수치를보였고, 암녹색-자갈에서 유의하게 낮은 수치를 나타냈다([Fig. 2]).



[Fig. 2] Ratio of staining area and hypermelanic fishes of starry flounders *Plathichthys stellatus* reared different conditions for 180 days. Values are mean±S.E. Different letters indicate signification difference($P<0.05$).

IV. 고찰

본 연구에서는 수조색깔과 자갈기질의 유무에 따른 강도다리의 성장과 흑화발현에 미치는 영향을 조사하였다. 사육환경의 배경색깔은 유영성 어류의 체색에 영향을 미치며(Doolan et al., 2007, 2008, 2009), 밝은 수조색깔(흰색, 노랑색)은 가자미류의 무안측 색소포 발현을 억제시키지만, 반대로 어두운 색깔(검정색)은 색소포 발현을 촉진시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Amiya et al., 2005; Yamanome et al., 2005). 본 연구에서도 흰색 수조와 암녹색 수조의 흑화율을 비교하였을 때, 흰색에 비해 암녹색에서 흑화개체율과 흑화면적률 모두 유의하게 높게 나타났다. 이는 5달 동안 흰색과 검정수조에서 사육한 flatfish에서 흰색수조의 흑화억제 효과와 유사한 결과를 나타냈다(Yamanome et al., 2007). 하지만 Kang and Kim. (2012a)의 결과에서는 60일까지 흰색수조에서 흑화발현 억제에 효과를 보였지만 90, 120일에는 어두운 색깔의 수조와 유의한 차이를 보이지 않았고, 이는 유사한 실험조건이라도 사육밀도에 의한 영향을 받을 수 있다고 보고하였다. 또한 노랑가자미를 대상으로 수조색깔별 흑화면적률을 조사한 결과, 흰색과 노랑색깔 수조가 검정색 수조보다 흑화면적률이 낮게 나타난 Yamanome et al. (2005)의 보고를 통해 가자미류에서 어두운 색깔의 수조보다 밝은 색깔의 수조에서 흑화억제의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 성장에 있어 흰색과 노랑색 수조가 검정색 수조보다 성장에 더 효과적으로 나타났다. 이러한 결과 차이를 1회의 실험으로 결론짓기는 어렵지만, 수조색깔별 성장의 차이는 수조색깔 이외의 사육조건이나 실험어의 크기에 따른 차이가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 세 그룹의 DFI, FE 그리고 생존율을 비교한 결과 암녹색과 흰색에 비해 암녹색-자갈에서 유의하게 높게 나타났다. 암녹색-자갈의 높은 섭식

률과 사료효율은 성장에 반영되어 일간성장률역시 높게 나타났다. 이는 일반양식장 콘트리트나 FRP수조의 편평한 바닥보다는 잠입기질을 제공함으로써 생산효율을 높일 수 있을 것으로 예상된다. 자연계에서 잠입생활을 하는 강도다리의 본능적인 습성이 지속될 수 있게 잠입환경을 제공해 줄 경우, 잠입기질의 효과는 어체의 성장과 흑화발현 억제에 효과적인 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 자연계에 서식하는 강도다리는 수심 150 m 해수면 저층에서 독립된 개별생활을 하며, 자갈, 모래 그리고 펄에서 잠입성 기질을 이용해 자신의 몸을 보호하고, 위장을 통해 먹이 섭식을 할 수 있다. 그러나 양식 강도다리의 경우 고밀도 군집생활, 잠입습성 제약, 은신처 부재 등으로 본래의 습성과 전혀 다른 생활환경으로 인해 만성적 스트레스가 작용할 수 있을 것으로 판단되며, 어류에 있어 만성적 스트레스는 성장 저해를 야기한다는 보고(Pickering et al., 1991; Procarione et al., 1999)가 이를 뒷받침 해 준다.

잠입기질의 제공은 잠입기질을 제공하지 않은 암녹색과 흰색을 비교하였을 때 흑화개체율 및 흑화면적률 모두 유의하게 낮게 나타났다. 밝은 수조색깔보다 흑화억제에 효과적으로 나타난 암녹색-자갈 수조는 자연계와 유사한 잠입환경(자갈기질)을 제공함으로써 억제되었던 잠입습성이 무안측 체색발현에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 수조색깔과 마찬가지로 자갈기질 색깔별(황토색, 흰색, 검정색) 흑화억제효과에는 유의한 차이가 없는 것으로 보고된다(Kang and Kim 2012a).

본 연구에서 잠입성 기질 제공은 강도다리의 무안측 체색발현 억제에 매우 효과적이었다. 따라서 고밀도 사육이 이루어지는 종묘생산 및 양식산업 현장에서 활용될 가능성이 높다. 이러한 주장은 모래 잠입기질을 이용해 흑화억제 효과를 보고한 Ottesen et al. (1996), Iwata and Kikuchi (1998) 및 Estevez et al. (2001)의 연구 결과에서도 뒷받침해 준다.

이상의 연구결과 고밀도 강도다리 사육 시 어두운 색깔보다 밝은 색깔의 수조에서 흑화 억제에 효과적이었지만, 수조 내 자갈기질 제공은 무안측 흑화 발현을 보다 효과적으로 억제하였다. 더불어 자갈기질은 성장에도 영향을 미쳤으며, 높은 사료효율과 일간성장률을 통해, 일반 사육 기법에 비해 에너지 이용 효율과 생산성이 높게 나타났다. 따라서 무흑화 강도다리를 생산함에 있어 자갈기질이 중요한 환경적 요인으로 작용할 가능성을 확인하였다.

References

- 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. Bolker, J.A., Hill, C.R., 2000. Pigmentation development in hatcheryreared flatfishes. *J Fish. Biol.* 56, 1029~1052.
- Amiya, N. · Amano, M. · Takahashi, A. · Yamanome, T. · Kawauchi, 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.
- Amiya, N. · Amano, M. · Yamanome, T. · Yamamori, K. · Takahashi, A.(2008). Effects of background color on GnRH and MCH levels in the barfin flounder brain. *Gen. Comp. Endocrinol.* 155, 88~93.
- Benetti, D. D.(1997). Spawning and larval husbandry of flounder *Paralichthys woolmani* and Pacific yellowtail *Seriola Mazatlana.*, new candidate species for aquaculture. *Aquacult.* 155, 307~318.
- Bolker, J. A. · Hill, C. R.(2000). Pigmentation development in hatcheryreared flatfishes. *J Fish. Biol.* 56, 1029~1052.
- Brandsen, M. P. · Butterfield, G. M. · Walden, J. · McEvoy, L. A. · Bell, J. G.(2005). Tank colour and dietary arachidonic acid affects igmentation, eicosanoid production and tissue fatty acid profile of larval Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquacult.* 250, 328~340.
- Doolan, B. J. · Booth, M. A. · Jones, P. L. · Allan, G. L.(2007). Effect of cage colour and light environment on the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquacult. Res.* 38, 1395~1403.
- Doolan, B. J. · Allan, G. L. · Booth, M. A. · Jones, P. L.(2008). Effects of cage netting colour and density on the skin pigmentation and stress response of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquacult. Res.* 39, 1360~1368.
- 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 background colours. *Aquacult. Res.* 40, 542~550.
- Ellis, T. · Howell, B. R. · Hughes, R. N.(1997). The cryptic responses of hatchery-reared sole to a natural sand substratum. *J. Fish Biol.* 51, 389~401.
- Estevez, A. · Kaneko, T. · Seikai, T. · Dores, R. M. · Tagawa, M. · Tanaka, M.(2001). Ontogeny of ACTH and MSH cells in Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in relation to albinism. *Aquacult.* 202, 131~143.
- Haga, Y. T. · Takeuchi, Y. · Murayama, K. · Ohta, T. · 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.
- 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.(2012). Influence of density and background color to stress response, appetite, growth, and blind-side hypermelanosis of flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Fish Physiol. Biochem.* 39, 221~232.
- Kang, D. Y. · Kim, H. C.(2012a). Relevance of environmental factors and physiological pigment hormones to blind-side hypermelanosis in the cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult.* 356, 14~21.

- 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.
- Ottesen, O. H. · Strand, H. K.(1996). Growth, development, and skin abnormalities of halibut *Hippoglossus hippoglossus* juveniles kept on different bottom substrates. *Aquacult.* 146, 17~25.
- Pavlidis, M. · Karkana, M., Fanouraki, E., Papandroulakis, N.(2008). Environmental control of skin colour in the red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquacult. Res.* 39, 837~849.
- Pickering, A. D. · Pottinger, T. G. · Sumpter, J. P. · Carragher, J. F. · Le Bail, P. Y.(1991). Effects of acute and chronic stress on the levels of circulating growth hormone in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 83(1), 86-93.
- Procarione, L. S. · Barry, T. P. · Malison, J. A.(1999). Effects of high rearing densities and loading rates on the growth and stress responses of juvenile rainbow trout. *N. Am.J. Aquacult.* 61, 91~96.
- 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*. *Fish. Sci.* 72, 256~262.
- 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 : 02 May, 2016
 - Revised : 30 May, 2016
 - Accepted : 02 June, 2016