KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 47(5), 588-596, 2014

Original Article
Kor J Fish Aquat Sci 47(5),588-596,2014

강도다리(*Platichthys stellatus*) 치어의 섭식, 성장 및 흑화 발현에 있어 온도와 밀도의 영향

강덕영* · 김원진[1] · 김효찬 · 장영진[1]

국립수산과학원 서해수산연구소, [1]부경대학교 해양바이오신소재학과

Influences of Temperature and Density on the Feeding Growth, and Blind-side Malpigmentation of Fry Starry Flounder *Platichthys stellatus*

Duk-Young Kang*, Won-Jin Kim[1], Hyo-Chan Kim and Young Jin Chang[1]

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon 400-420, Korea
[1]Department Marine Bio-Materials and Aquaculture, Pukyoung National University, Busan 608-737, Korea

To examine the influences of water temperature and stocking density on feeding, growth and blind-side hypermelanosis of the starry flounder *Platichthys stellatus*, we performed an experiment with fry at two densities: 2 and 8 fish/L. The fry had a total length of 3.2±0.1 cm, body weight 0.6±0.1 g, and pigmented patches (pigmented ratio 2.6±0.4 %) on the blind side . Duplicate experiments were conducted in 93.7 L glass tanks for 120 days, from July to November. We determined daily food intake (DFI), food efficiency (FE), growth, survival rate, ratio of hypermelanic fish, and pigmented area rate on the blind side at 60-day intervals. The DFI was less than 50 mg/fish/day, and growth was delayed from July to September (water temperature [WT]> 20℃). After October, when WT < 20℃, the DFI increased significantly and the growth was accelerated, suggesting that the rearing temperature of starry flounder in artificial facilities should be < 20℃. While the FE, and survival did no differ between the two density groups, DFI and growth were significantly higher at 2 fish/L than at 8 fish/L. There was no difference in the pigmented area ratio between the two density groups. Although the hypermelanosis was not correlated with body size, the malpigmentation increased with growth. These results suggest that a high stocking density is not the main cause of blind-side hypermelanosis, although it can accelerate hypermelanosis in the starry flounder.

Key words: Ambicoloration, Blind side, Density, Hypermelanosis, Starry flounder

서 론

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae) 어류로서 한국, 일본, 오호츠크해, 베링해, 알래스카만에서 캘리포니아만에 이르는 북태평양의 전 해역에 광범위하게 분포하는 냉수성 해산어류이다(Bergstrom, 2007). 이 종은 자어~치어로 변태과정을 통해 눈이 한쪽으로 측편화되면서, 유안측만 체색을 보유하는 특성을 지니고 있다(Byun et al., 2007). 특히 지리적 서식 위치에 따라, 강도다리는 몸통 측편화가 높은 비율로 관찰되는 데, 북미대륙 계군의 경우 측편화 개체 비율이 거의 좌우 50:50인 반면, 아시아계군은 대부분 좌측으로 측편화된 특성을 나타낸다(Bergstrom, 2007; Bergstrom and Palmer, 2007; Kang et al., 2012). 우리나라의 경우 2005년 이후, 인공 번식과 대량생산 기술이 확립되면서 동해안을 중심으로 종묘생산과 양식이 이루어지고 있다. 그러나 현재 지구 온난화로 인해, 주변 연안 수온이 급격이 상승되는 가운데, 차가운 바다 물을 기반으로 생활을 영위하는 강도다리에게 여름철 25℃이상으로 상승하는 수온은 생존을 위협하는 요인이다(Ivankova, 1997; Bergstrom, 2007). 따라서 여름철 고수온기에 양식산 강도다리의 양성관리를 위해서는 온도별 생리대사 활성 정보와 생명 유지를 위한 임계수온에 대한 정보가 필요하다. 현재 이에 대한 자료는 국내외적으로 확보된 것이 없다.

http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial Licens (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.

Kor J Fish Aquat Sci 47(5) 588-596, October 2014

Received 15 May 2014; **Revised** 6 August 2014; **Accepted** 5 September 2014

***Corresponding author:** Tel: +82. 32. 745. 0711 Fax: +82. 32. 745. 0619

E-mail address: dykang69@gmail.com

Copyright © 2014 The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

한편 양성 단계에서 나타나는 무안측 착색증(blind-side hypermelanosis, 흑화)은 강도다리를 포함한 가자미류 양식에 있어서 해결해야 하는 숙제이다. 이 증상은 자연계에서 극히 드물게 나타나는 현상이지만, 대량으로 생산되는 양식 개체들에서 대부분 발현된다(Bolker and Hill, 2000). 특히 생태적 측면에서 형질 개체를 자원조성용 방류 종묘로 활용할 경우 자연계 내 강도다리의 고유 형질을 변형시킬 우려가 있다. 또한 경제적 측면에서는 유통시장에서 낮은 품질 평가로 생산자에게 금전적 손실을 입히고 있으나, 그 원인이 아직 뚜렷하게 구명되어 있지 않다. 단지 부적합한 서식환경이 원인으로 추측되고 있지만, 주요 요인은 불분명하다. 그런데 최근 Kang and Kim (2013)은 사육 중 받는 스트레스가 가자미류의 무안측 흑화의 원인으로 보고하였다. 이러한 스트레스는 높은 사육밀도에서 강제적 군집생활에 기인하는 것으로 보여지며(Bolasina et al., 2006), Takahashi (1994)와 Kang et al. (2011) 역시, 밀식이 가자미류의 기형적 무안측 체색발현과 관련성이 있음을 보고하였다. 실제 자연계에서 독립된 개체로 개별적인 생활하는 강도다리에게는 인공사육 중의 높은 서식밀도는 스트레스 인자로서 잠재된 무안측 색소포 발현을 촉발시킬 가능성이 있다. 그러나 이전의 다른 여러 연구자들은 가자미류의 무안측 착색증은 다른 사육환경(배경색상, 잠입기질, 영양 등)에 의한 것으로 보기 때문에(Iwata and Kikuchi, 1998; Haga et al., 2004; Amiya et al., 2005; Yamanome et al., 2005), 높은 사육밀도가 가자미류의 무안측 착색의 주요 원인이라고 정의 내리기는 어렵다.

한편 이전 연구 결과, 가자미류의 무안측 흑화 발현은 초기 발달과 성장과 함께 이루어진다는 사실이 밝혀졌다(Kang and Kim, 2012). 이에 따르면 시간 경과에 따른 크기 증가는 무안측 흑화 발현과 양의 상관관계가 있음을 보여준다. 이는 빠른 성장 개체가 보다 심한 무안측 체색 기형을 나타낼 수 있음을 의미한다. 그러나 현재까지 군집 내 동일 성장기의 어류들 사이 개체 차이가 무안측 흑화률에 관련되어 있는지는 보고된 바 없다. 그러므로 같은 발달 단계에 있는 강도다리 치어들 사이에서 빠른 성장을 보이는 개체가 높은 흑화률을 보이는 지 여부를 추가적으로 구명해 볼 필요가 있다.

따라서 본 연구는 강도다리의 먹이섭식 및 성장에 있어 계절적 수온의 영향을 조사하고, 더불어 무안측 흑화발현에 있어 밀도, 성장 및 개체 크기의 관련성을 파악하여, 강도다리 양성 단계 사육 관리를 위한 생리학적 기초 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

실험어와 실험구

본 연구에 사용된 실험어는 전장 3.2±0.1 cm, 체중 0.6±0.1 g의 강도다리 치어 (흑화면적률 2.6±0.4%; 체표면적 15.2±0.5 cm^2)를 사용하였으며, 실험 수조는 직사각형 유리수조[W61 cm×L37 cm×H41.5 cm=부피 93.7 L (면적 2,257 cm^2)]를 이용하였다. 실험 밀도는 수용적 50 L를 기준으로 2마리/L (이하 저밀도구; 100 fish/tank)와 8마리/L (이하 고밀도구; 400 fish/tank)로 하였으며, 실험은 3반복으로 하절기인 7월부터 추계인 11월 까지 약 120일간 실시하였다. 실험개시 그룹별 단위면적당 점유률[percentage of covering area (PCA), %]은 저밀도구 PCA 64.4%와 고밀도구 PCA 266.0%였다.

사육조건 및 사료공급

실험기간 동안 유수식으로 사육수를 공급하였으며, 사육 수온 및 기타 환경조건은 평균 수온 22.3±5.1℃, pH 7.7±0.1, DO 6.48±1.2 mg/L 및 염분 28.2±1.3 psu로서 실험기간 동안 실험구 모두 동일하게 유지하였다(Fig. 1). 먹이는 7월~8월에는 9시와 16시에 2회/일, 9월~11월에는 9시에 1회/일 공급하였다. 1회 공급량은 어체가 만복 상태까지 섭식한 량으로 결정하였다. 실험개체의 먹이로 사용된 강도다리 사료는 상업용 EP (Love larva Co., Japan)로써 입자 크기는 1.1- 1.3 mm였다(Table 1). 사료공급 후에는 일간 사료공급량을 기록하였고, 기록된 양을 바탕으로 일간 개체당 섭식량[daily food intake; DFI (mg/fish/day)=총사료섭식량/개체수 /사육일수] 및 사료효율[feed effi-

Ordinary flounder

Hypermelanic flounder

Fig. 1. Features of blind-side of ordinary and hypermelanic starry flounder *Platichthys stellatus*.

Table 1. Proximate composition of basal diet

Component	Composition(%)
Crude protein	52.0≤
Crude fat	12.0≤
Crude fiver	7.0≤
Crude ash	20.0≤
Calcium	2.0≤
Phosphorus	1.5≤

ciency; FE (%)=(증중량/사료섭식량)×100]을 구하였다.

성장 및 생존

실험어의 전장(TL) 및 체장(BL) 측정은 60일 간격으로 버니아캘리퍼스를 이용하여 전량 1 mm 단위까지 계측했고, 체중(BW)은 전자저울을 이용하여 0.01 g까지 측정하였다. 이들 값을 통해 비만도[condition factor, CF=(TL)^3/BW×1,000]을 산출하였으며, 그리고 매일 폐사 개체를 수집하여 계수한 뒤 생존율을 산정하였다.

무안측 흑화율(착색률)

실험구별 무안측 착색률은 실험개시 후 60일 간격으로 30마리씩 2반복으로 2-phenoxyethanol로 마취 시킨 후, 무안측면을 디지털 카메라로 촬영한 뒤 컴퓨터 영상분석시스템(Q_{WIN} V3 Leica, Germany)을 통해 측정하였다. 착색반문의 면적률은 착색 표면적을 총면적으로 나눈 뒤 백분율로 환산하여 구하였다. 또한 측정된 개체별 무안측 착색 면적률을 바탕으로 1% 이상 착색률을 보인 개체를 정상으로 구분하여, 실험구별 무안측 착색 발생빈도율을 계산하였다.

통계처리

실험구별 평균 값의 유의차 유무를 가리기 위해, SPSS 21.0 통계프로그램을 이용해 사료효율, 사료섭식량 및 생존율은 비모수적 방법인 Kruskall-Wallis test (n=2)를 통해 검증하였고, 성장은 모수적 방법인 Student's t-test (n=30)를 통해 실험구간 평균치 차이 유무를 확인하였고(P=0.05), 흑화률은 상관회귀분석으로 절편 값을 비교하였다.

결 과

DFI, FE, 성장 및 생존

DFI는 계절적으로 수온 20℃이상을 나타내는 7월~9월까지 30 mg/fish/day 이하를 낮았지만, 수온이 20℃ 이하로 감소하기 시작하는 10월부터 급격히 증가하였으며, 이때 평균 DFI는 77.3 mg/fish/day였다(Fig. 3). 또한, 120일간 밀도구별 DFI는 저밀도구가 평균 50.5±1.23 mg/fish/day, 고밀도구가 38.9±0.87 mg/fish/day로, 저밀도구 개체들이 고밀도에 비해 보다 많은 사료를 섭식하는 것을 알 수 있었다(P<0.05; Fig. 3). 성장의 경우 Fig. 4와 같이, 실험개시 3.24±0.08 cm인 평균 전장은 종료 시 저밀도구 8.89±0.05 cm 와 고밀도구 8.47±0.01 cm로 측정되었고, 그리고 0.56 g인 개시 체중은 종료 시 고밀도구 3.03±0.07 g과 저밀도구 2.73±0.06 g로 저밀도구의 성장이 고밀도에 비해 빨랐다(P<0.05). 저밀도구의 빠른 체중 성장은 일간 증중률 비교를 통해서도 확인이 된다. 그러나 사료효율의 경우 두 밀도구 사이에 차이는 없었다(P>0.05; Table 2). 비만도의 경우 수온 25.4℃를 나타내는 실험 60일에 현격히 낮아졌으면, 고밀도구가 저밀도구에 비해 유의하게 낮았다(P<0.05; Fig. 4). 그러나 수온 11.5℃를 나타내는 120일(11월)에는 두 실험구 모두 비만도가 정상을 회복하였으며, 실험구간 유의 차는 관찰되지 않았다(P>0.05; Fig. 4). 한편 생존율은 두 밀도구간 유의한 차이는 보이지 않았다(P>0.05; Table 2).

무안측 흑화률

무안측 착색면적률은 개시 2.6±0.4%에서 실험 60일에 이르러 저밀도구가 7.2±0.8%로 유의하게 상승하였고(P<0.05), 고밀도구 역시 6.7±1.4%로 개시기보다 유의하게 상승한 것을 알 수 있었다(P<0.05). 그러나 두 밀도구간에 차이는 없었다(P>0.05). 이후 120일에는 저밀도구가 11.5±1.72% 및 고

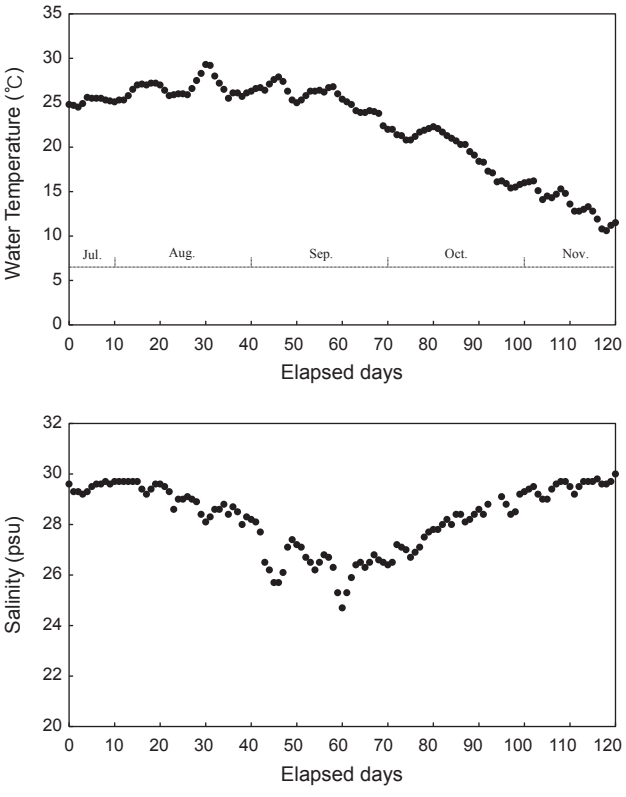

Fig. 2. Changes of rearing water temperature and salinity during experimental period.

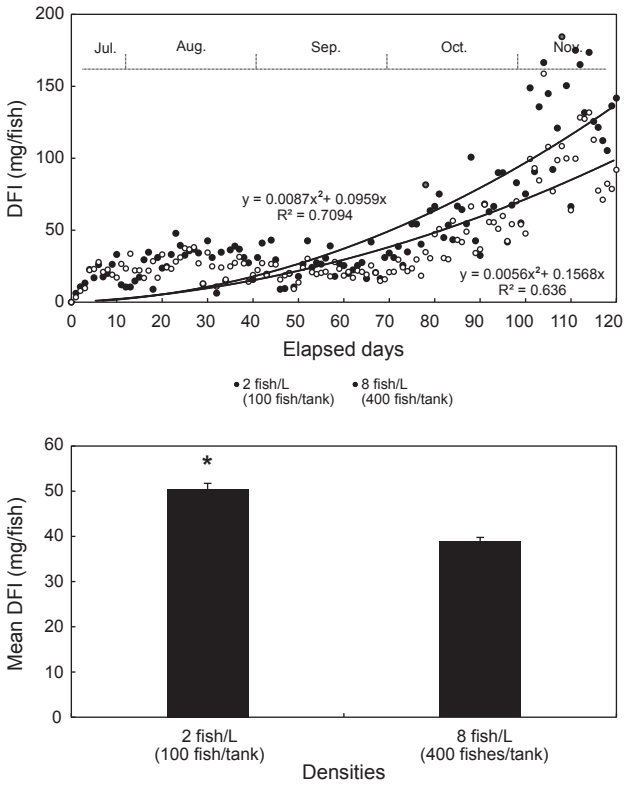

Fig. 3. Changes of daily food intake (DFI, g) during experimental period, and mean DFI of two density groups.

밀도구 10.3±0.8%로 60일 전에 비해 유의하게 상승하였다 (P<0.05). 실험구간 비교의 경우 앞선 60일과 마찬가지로, 실험구간 차이는 존재하지 않았다(P<0.05; Figs 5 and 6). 하지만 추세선 분석을 통해 기울기 값을 비교를 해 본 결과, 흑화 진행 속도는 성장이 빠른 저밀도구에서 가파르다는 사실을 알 수 있었다(Fig. 5).

한편 군집 내 흑화 개체비율은 개시 60.0±9.4%이던 것이, 60일에 이르러 저밀도구 70.3±4.1% 및 고밀도구 76.7±4.7%로, 두 실험구가 이전에 비해 흑화 개체수가 유의하게 늘어난 것을 확인할 수 있다(P<0.05). 그러나 실험구간 비교를 통해 두 밀도구 사이에 유의 차는 없었다(P>0.05; Fig. 6). 이후 120일에 흑화 개체 수는 저밀도구 77.9±3.9% 및 고밀도구 83.4±4.7%로 두 실험구 모두 앞선 60일에 비해 증가한 것을 알 수 있었다. 그러나 통계적으로 실험구간 유의 차는 확인할 수 없었다 (P>0.05). 한편 추세선 분석결과, 군집 내 흑화개체 수의 증가 속도는 고밀도구가 저밀도구에 비해 빠른 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6).

또한 Fig. 7과 같이 흑화개체 비율과 흑화면적 비율의 군집 분포도로 비교해 본 결과, 저밀도구에서 0-2% 의 정상개체 비율이 다소 높지만, 전반적인 분포 비율에서는 큰 차이가 없었다 (P>0.05). 또한 개체 크기(무게와 길이)와 흑화률의 상관관계를 조사해 보았지만, 그 결과 Fig. 8과 같이 특이적인 상관관계는 없는 것으로 확인되었다(R^2<0.1).

고 찰

어류 양식에서 사육 개체의 성장과 생존을 최적화 하기 위해 관리되어야 하는 요인은 생물학적 요인, 화학적 요인 및 물리적 요인과 같이 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다. 생물학적 요인에 세균성 또는 바이러스성 질병, 공식현상, 군집화, 영양원 등이 있고, 화학적 요인에는 수질(암모니아, 아질산, pH농도, 산소) 및 화학 약제 등이 있으며, 물리적 요인에는 수온, 염분, 밀도, 소음 등이 있다(Deane and Woo, 2009). 특히 물리적 요인은 어류 양식에 있어서 어종 별 및 성장 단계별로 적정하게 관리되어야 하며, 이는 양식경영 측면에서 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 어류의 성장과 대사를 조절하는 감각계, 내분비계 및 신경 내분비계는 물리적 인자 중 수온에 매우 의존적이다(Deane and Woo, 2009; Inoue et al., 2014; Sun and Chen, 2014). 수온은 대상 동물의 섭식, 대사(Barton and Schreck, 1987), 성장(Clarke et al., 1981), 면역능력(Pickering, 1992), 성 분화(Shen and Wang, 2014) 및 번식(Carragher and Sumpter, 1990) 등을 조정하는 등 생명 현상을 유지하게 하는 가장 기본적이고 필수적인 요소이다. 특히 어류가 비정상적 수온 변화를 경험할 경우, 스트레스 반응에 의해 대사 감소, 성장 저해 및 면역력 약화 등에 의한 질병 발생과 폐사로 이어진다(Pickering, 1992; Deane and Woo, 2009; Binesh, 2014; Inoue et al., 2014). 특히 냉수성 해산 어종인 강도다리의 경우, 여름철 25℃이상의 수온에 노출될 경우 그 문제는 심각하다. 적정 서식수온 범위를 벗어난 고수온은 대사 항상성을 떨어뜨리고 과도한 생체에너지의 지출을 요구하여, 성장 둔화 및 건강도 악화에 의한 생존율 감소를 유발한다(Schreck, 1982; Barton and Iwama, 1991). 이는 곧 양식 채산성을 악화시키는 요인으로 작용할 수도 있다(Pickering,

Table 2. Daily food intake (DFI), food efficiency (FE) and survival rates of fry starry flounders *Platichthys stellatus* reared in flat-bottom glass aquariums for 120 days[1]

Groups	Daily weight gain rate (%)	FE (%)	Survival (%)
100 fish/tank (2 fish/L)	16.9±0.3*	203.68±8.7	99.3±0.8
400 fish/tank (8 fish/L)	13.0±0.1	205.7±5.8	99.1±0.1

[1]Statistical significance was evaluated by Kruskall-Wallis testes (n=2).

*Values with asterisk within the same column are significantly different (P<0.05).

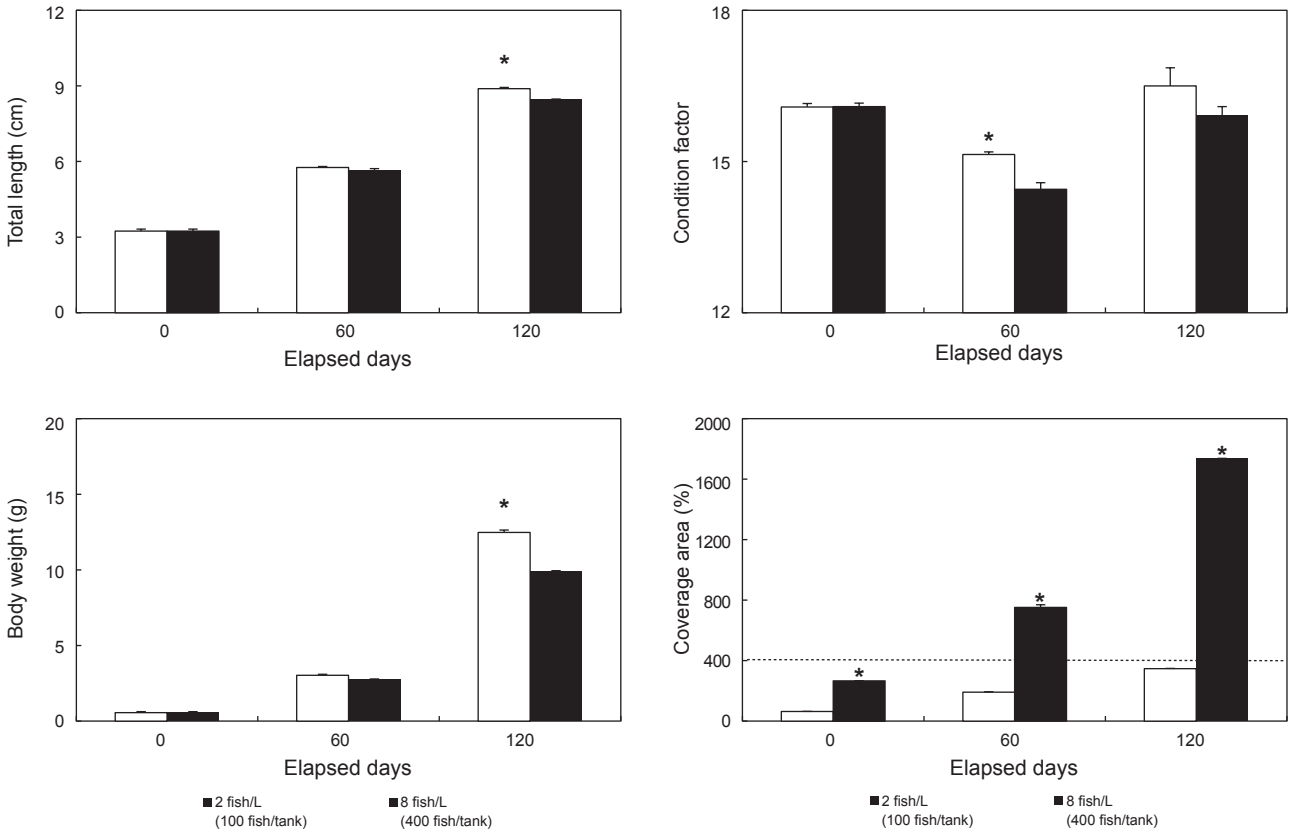

Fig. 4. Total length (cm), body weight (g), total biomass (kg/ton) and percentage of covering area (%) in starry flounders *Platichthys stellatus* reared at densities of 2 fish/L (initial PCA 64.4 %) and 8 fish/L (initial PCA 266.0 %) in glass background & flat bottom for 120 days. The variability presented as the mean±sem (n=30) was compared to respective group in the same day, and statistical analysis was performed with regression analysis.

1992). 따라서 강도다리 양식 시 하절기 사양관리를 위해 고수온에 대한 대사적 생리반응 정보가 필요하며, 이를 통한 사육관리 매뉴얼이 요구된다. 이에 본 연구는 하절기(7월 중순~11월 하순) 양성 중인 강도다리 치어의 표준 사양관리 지침을 마련하기 위해, 고수온기 강도다리의 식욕 및 성장과 같은 대사반응을 조사하고, 정상 성장과 대사가 유지되는 적정 수온 범위를 구명하였다. 이를 위해, 식욕, 사료효율, 성장도 및 생존율 등을 120일간 측정하였다. 그 결과, DFI 값은 평균 수온이 20℃ 이상을 나타내는 7월에서 9월까지 50 mg/fish/day이하를 나타내었지만, 평균 수온이 20℃ 이하를 나타내는 10월 이후 급격히 증가하였다. 또한 식욕 증진에 의한 체중 증가 역시 10월 이후 급격이 증가하여, 강도다리 치어 양성을 위한 하절기 사육 수온은 20℃ 이하로 관리해 주는 것이 적절할 것으로 확인되었다.

한편 밀도는 경골어류의 골격기형(Boglione et al., 2009), 변태(Hosfeld et al., 2009), 생존(Tagawa et al., 2004), 성비(Saillant et al., 2003), 성성숙 및 산란(Claudia et al., 2004), 부화율(Peck and Holste, 2006), 공식(Baras et al., 2003)과 더불어 성장(Bolasina et al., 2006; Merino et al., 2007)에 영향을 미친다. 따라서 특정 어종의 성장단계별 적정 사육 밀도 구명은 중요하다. 본 연구 결과, 성장은 DFI가 높은 저밀도구에서 유의하게 빠른 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 perch *Bidyanus bidyanus* (Rowland et al., 2004), Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* (Kristiansen et al., 2004), olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Bolasina et al., 2006), Dover sole *Solea solea* (Schram et al., 2006), California halibut, *Paralichthys californicus* (Merino et al., 2007), dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Boglione et al., 2009) 및 Atlantic salmon, *Salmo salar* (Hosfeld et al., 2009)등과 같은 양식 어류에서도 확인된다. 이러한 성장과 밀도의 관련 기작은 아직까지 완전하게 이해되지 않지만, 어체 수용량에 의해 수질이 영향을 받지 않고 먹이가 충분한 양으로 공급될 경우, 밀도에 따른 성장 차는 군집 내 서열화 및 지배적 관계에 기인할 수 있다(Papoutsoglou et al., 1998; Bolasina et al., 2006). 또한 밀도는 스트레스 반응을 통해 어류의 일시적인 체색변화에 영향을 미친다(Doolan et al., 2008). 그러나 밀도가 가자미류의 기형적 무안측 색소포 분화와 발달에 영향을 미치는지 여부는 잘 알려져 있지 않다. 단지

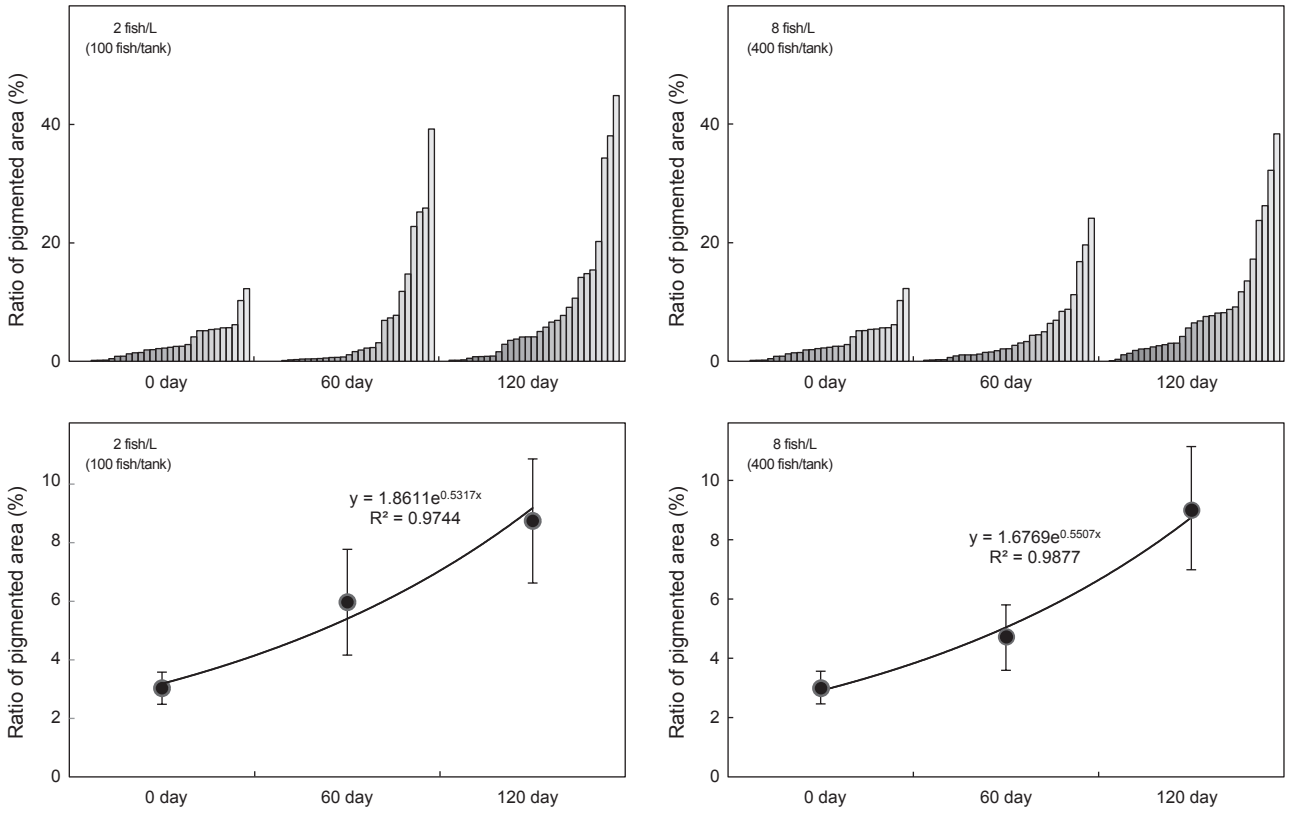

Fig. 5. Ratios of pigmented area of blind skin in starry flounders *Platichthys stellatus* reared at densities of 2 fish/L (initial PCA 64.4 %) and 8 fish/L (initial PCA 266.0 %) for 120 days. The variability presented as the mean±sem was compared to respective sample day, and statistical analysis was performed with regression analysis.

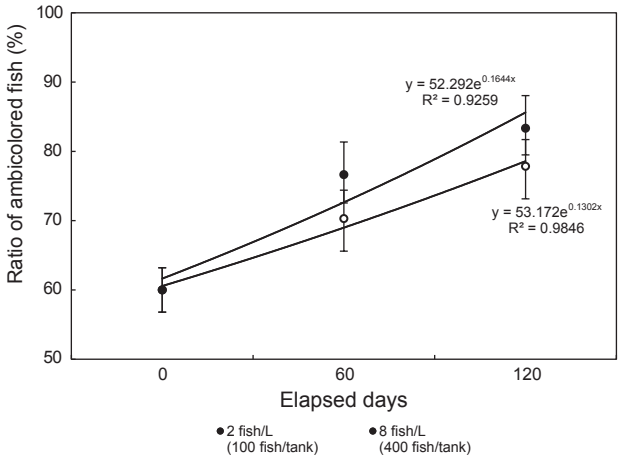

Fig. 6. Ratios of ambicolored starry flounders *Platichthys stellatus* reared at densities of 2 fish/L (initial PCA 64.4 %) and 8 fish/L (initial PCA 266.0 %) for 120 days. The variability presented as the mean±sem was compared to respective sample day, and statistical analysis was performed with regression analysis.

고밀도 서식환경 아래서 높은 먹이경쟁, 공간 경쟁 또는 공식 등에 의해 수반되는 스트레스 지수가 높다는 점에서(Bolasina et al., 2006), 자기 방어적 목적에서 위장기술을 강화하기 위해 무안측에서 색소포 분화를 유발할 가능성이 있다. 이에 본 연구에서는 실제 밀도가 강도다리의 무안측 흑화와 관련 있는지를 알아보았다. 그 결과, 밀도에 따른 흑화률에 있어서는 실험구간 유의한 통계적 차이는 보이지 나타나지 않았다. 그러나 높은 사료 석량과 보다 빠른 성장을 보인 저밀도구에서 흑화의 진행 속도가 다소 빠른 것을 Fig. 5의 추세선 절편 값을 통해 확인할 수 있었다. 이는 밀도가 흑화를 유발하는 직접적인 요인이 아닐지라도, 성장과 흑화가 상관관계가 있음을 암시한다. 이는 넙치 치어(전장 6.6 cm)을 대상으로 한 Kang et al. (2011)의 연구결과와 일치한다. 그러나 Takahashi (1994)에 의하면 27일령의 넙치 자어(전장 11.5 mm)를 대상으로 한 실험에서, 밀도가 높을수록 흑화 발현도가 높다는 사실을 보고한 바 있다. 따라서 본 연구와 같이 120일이라는 제한된 시간 이후 지속적으로 사육이 이루어질 경우, 밀도별 군집 성장 차로 인해 흑화률의 통계적 유의차가 관측될 가능성이 있다. 실제 본 연구의 흑화 발현 개체 수

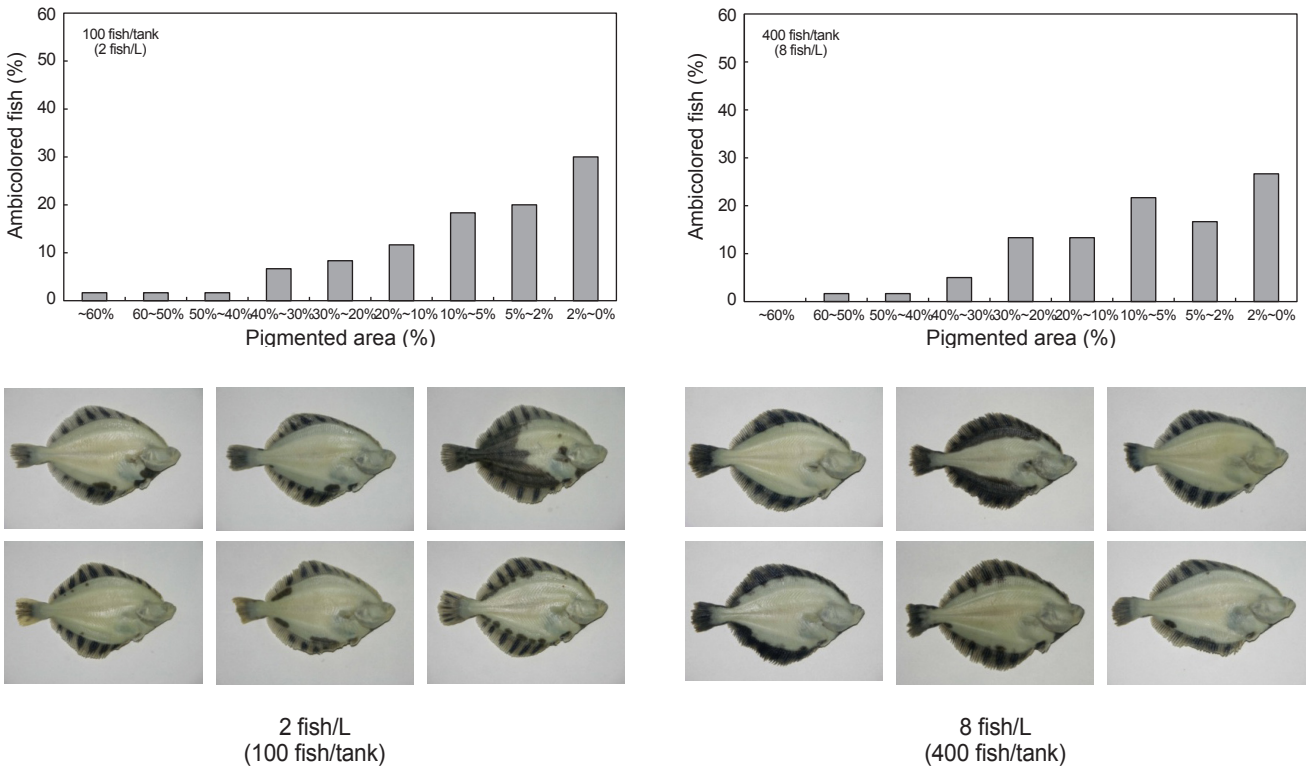

Fig. 7. Distribution of malpigmentation fish and features of blind-side of starry flounders *Platichthys stellatus* reared at densities of 2 fish/L (initial PCA 64.4 %) and 8 fish/L (initial PCA 266.0 %) at 120-day.

는 저밀도구보다 고밀도구에서 빠르게 증가한다는 사실이 되었다. 그러므로 밀도와 흑화의 상관관계를 완전히 배제할 수 없다. 향후 밀도, 성장 및 무안측 흑화의 정확한 상관관계를 구명하기 위해, 120일 이상의 장기간 사육 실험이 필요할 것으로 보인다. 한편 본 연구에서는 추가적으로 개체 크기와 흑화률의 상관관계를 조사해 보았지만, 그 결과는 크기와 흑화의 상관관계는 성립되지 않았다. 따라서 무안측 흑화 발현은 밀도가 주원인이 아닐지라도 간접적으로 밀도에 의한 성장 차에 의해 흑화 발현 속도에 영향을 미칠 수 있으나, 발현 정도는 개체 크기와는 상관이 없다는 것을 알 수 있다.

이상의 연구결과, 하절기 20℃ 이상의 수온에서 낮은 섭식량과 성장률, 20℃~10℃ 사이 수온에서 높은 섭식량과 빠른 성장을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 200% PCA 이상의 높은 밀도는 먹이경쟁에 의한 섭식량을 감소시켜 성장을 저하시킬 수 있으며, 흑화 진행 속도에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이는 무안측 흑화 발현과 성장 사이 상호 관련성이 있음을 의미한다. 그러나 동일 성장기 개체들을 표본 조사한 결과, 크기는 흑화와는 아무런 상관관계가 없는 것을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 경상과제 “2014년 강도다리 체색 형질 개선 연구(과제번호 11-AQ-08; RP 2014-AQ-094)”과제에 의해 수행된 결과로 이에 감사 드립니다.

References

Amiya N, Amano M, Takahashi A, Yamanome T, Kawauchi H and 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.ygcen.2005.04.012.

Baras E, Kestemont P and Mélard C. 2003. Effect of stocking density on the dynamics of cannibalism in sibling larvae of *Perca fluviatilis* under controlled conditions. Aquaculture 219, 241-255. http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00349-6.

Barton BA and Schreck CB. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture 62, 299-310.

Bergstrom CA. 2007. Morphological evidence of correlational

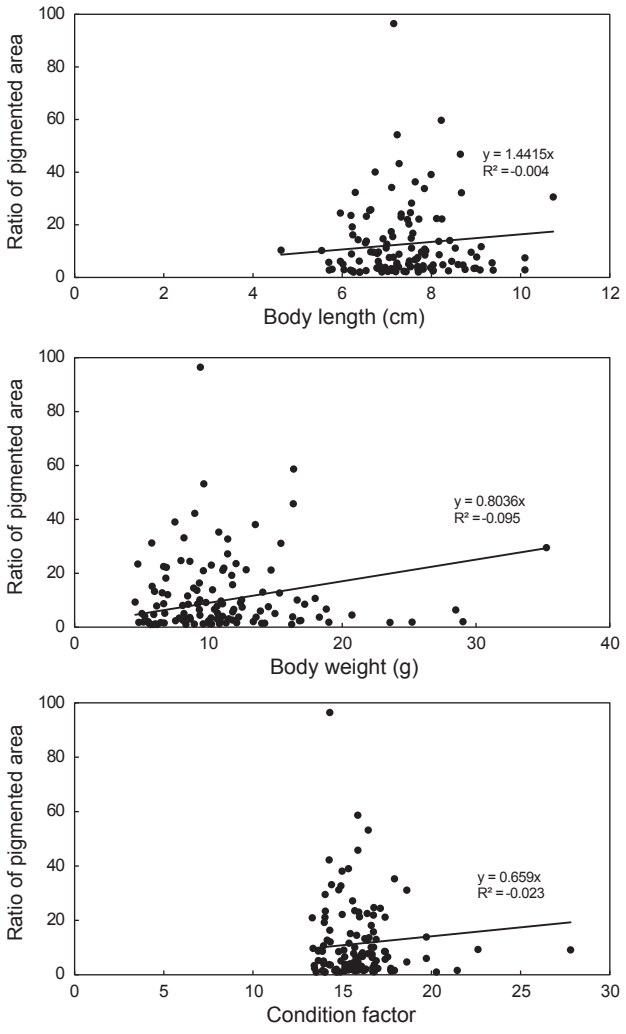

Fig. 8. Correlation between pigmented area ratio of blind-side and body size in starry flounders *Platichthys stellatus* reared at artificial facility at 120-day. The statistical analysis was performed with regression analysis.

selection and ecological segregation between dextral and sinistral forms in a polymorphic flatfish, *Platichthys stellatus*. J Evol Biol 20, 1104-1114. http://dx.doi.org/10.1111/j.1420-9101.2006.01290.x.

Bergstrom CA and Palmer AR. 2007. Which way to turn? Effect of direction of body asymmetry on turning and prey strike orientation in starry flounder *Platichthys stellatus* (Pallas) (Pleuronectidae). J Fish Biol 71, 737-748. http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01531.x.

Binesh CP. 2014. Elevation of temperature and crowding trigger acute viral nervous necrosis in zebra fish, *Brachydanio rerio* (Hamilton-Buchanan), subclinically infected with betanodavirus. J Fish Diseases 37, 279-282. http://dx.doi.org/10.1111/jfd.12080.

Boglione C, Marino G, Giganti M, Longobardi A, De Marzi P and Cataudella S. 2009. Skeletal anomalies in dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) juveniles reared with different methodologies and larval densities. Aquaculture 291, 48-60. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.041.

Bolasina S, Tagawa M, Yamashita Y and Tanaka M. 2006. Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 259, 432-443. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.021.

Bolker JA and Hill CR. 2000. Pigmentation development in hatchery-reared flatfishes. J Fish Biol 56, 1029-1052. http://dx.doi.org/10.1006/jfbi.2000.1260.

Byun S-G, Lee B-I, Lee J-H, Ku H-D, Park S-U, Yun S-M, Hwang S-Y, Kim Y-C and Han H-G. 2007. Egg Development and Morphological Change of Larvae and Juveniles of the Starry Flounder, *Platichthys stellatus*. Korean J Ichthyol 19, 350-359.

Carragher JF and Sumpter JP. 1990. The effect of cortisol on the secretion of sex steroids from cultured ovarian follicles of rainbow trout. Gen Comp Endocrinol 77, 403-407. http://dx.doi.org/10.1016/0016-6480(90)90230-j.

Clarke WC, Shelbourn JE and Brett JR. 1981. Effect of artificial photoperiod cycles, temperature, and salinity on growth and smolting in underyearling coho (*Oncorhynchus kisutch*), chinook (*O. Tshawytscha*), and sockeye (*O. nerka*) salmon. Aquaculture 22, 105-116.

Claudia CO, Miguel RS, Miguel Angel ON and Gutiérrez-Yurrita PJ. 2004. Effect of density and sex ratio on gonad development and spawning in the crayfish *Procambarus llamasi*. Aquaculture 236, 331-339. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.02.031.

Deane EE and Woo NYS. 2009. Modulation of fish growth hormone levels by salinity, temperature, pollutants and aquaculture related stress: A review. Rev Fish Biol Fish 19, 97-120. http://dx.doi.org/10.1007/s11160-008-9091-0.

Doolan BJ, Allan GL, Booth MA and 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). Aquacult Res 39, 1360-1368. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02003.x.

Haga Y, Takeuchi T, Murayama Y, Ohta K and 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. http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2003.00771.x.

Hosfeld CD, Hammer J, Handeland SO, Fivelstad S and Stefansson SO. 2009. Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon

(*Salmo salar* L.). Aquaculture 294, 236-241. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.003.

Inoue N, Iwasaki T and Kaji S. 2014. Changes in growth and food consumption of the two fishes *Epinephelus bruneus* and *E. septemfasciatus* in tank culture at lower temperatures. Nippon Suisan Gakkaishi 80, 56-58. http://dx.doi.org/10.2331/suisan.80.56.

Ivankova ZG. 1997. Side reversal in two flounder species of Peter the Great Bay. Russian J Mar Biol 23, 157-159.

Iwata N and 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 DY and Kim HC. 2012. Progression of blind-side hypermelanosis after metamorphosis in cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*. J World Aquac Soc 43, 848-858. http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00610.x.

Kang DY and Kim HC. 2013. 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. http://dx.doi.org/10.1007/s10695-012-9693-2.

Kang DY, Kim HC and Chang YJ. 2011. Effects of stocking density on the blind-side hypermelanosis of cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Fish Aquat Sci 14, 123-129. http://dx.doi.org/10.5657/fas.2011.0123.

Kang DY, Lee JH, Kim WJ and Kim HC. 2012. Morphological specificity in cultured starry flounder *Platichthys stellatus* reared in artificial facility. Fish Aquat Sci 15, 117-123. http://dx.doi.org/10.5657/fas.2012.0117.

Kristiansen TS, Fernö A, Holm JC, Privitera L, Bakke S and Fosseidengen JE. 2004. Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared at three stocking densities. Aquaculture 230, 137-151. http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00436-8

Merino GE, Piedrahita RH and Conklin DE. 2007. The effect of fish stocking density on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles. Aquaculture 265, 176-186. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.028

Papoutsoglou SE, Tziha G, Vrettos X and Athanasiou A. 1998. Effects of stocking density on behavior and growth rate of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a closed circulated system. Aquacult Engineer 18, 135-144. http://dx.doi.org/10.1016/s0144-8609(98)00027-2.

Peck MA and Holste L. 2006. Effects of salinity, photoperiod and adult stocking density on egg production and egg hatching success in *Acartia tonsa* (Calanoida: Copepoda): Optimizing intensive cultures. Aquaculture 255, 341-350. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.055.

Pickering AD. 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. Aquaculture 100, 125-139.

Rowland SJ, Allan GL, Hollis M and Pontifex T. 2004. Production of silver perch (*Bidyanus bidyanus*) fingerlings at three stocking densities in cages and tanks. Aquaculture 229, 193-202. http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00391-0.

Saillant E, Fostier A, Haffray P, Menu B, Laureau S, Thimonier J and Chatain B. 2003. Effects of rearing density, size grading and parental factors on sex ratios of the sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) in intensive aquaculture. Aquaculture 221, 183-206. http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00539-2.

Schram E, Van Der Heul JW, Kamstra A and Verdegem MCJ. 2006. Stocking density-dependent growth of Dover sole (*Solea solea*). Aquaculture 252, 339-347. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.07.011.

Shen ZG and Wang HP. 2014. Molecular players involved in temperature-dependent sex determination and sex differentiation in Teleost fish. Gen Selec Evol 46. http://dx.doi.org/10.1186/1297-9686-46-26.

Sun L and Chen H. 2014. Effects of water temperature and fish size on growth and bioenergetics of cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture 426-427, 172-180. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.02.001.

Tagawa M, Kaji T, Kinoshita M and Tanaka M. 2004. Effect of stocking density and addition of proteins on larval survival in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture 230, 517-525. http://dx.doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00409-5

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.

Yamanome T, Amano M and 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. http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.020.