

조도가 강도다리(*Platichthys stellatus*) 미성어의 성장, 체조성 및 Lysozyme 활성에 미치는 영향

이태훈 · 이기욱* · 김소선* · 변순규** · 김희성†

경상국립대학교(학생) · *국립수산과학원(연구사) · **국립수산과학원(연구관) ·
†경상국립대학교(교수)

Effects of Light Intensity on Growth Performance, Body Composition and Lysozyme Activity of Sub-adult Starry Flounder (*Platichthys stellatus*)

Tae Hoon LEE · Ki Wook LEE* · So-Sun KIM* · Soon-Gyu BYUN** · Hee Sung KIM†

Gyeongsang National University(student) · *National Institute of Fisheries Science(researcher) ·

**National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · †Gyeongsang National University(professor)

Abstract

This study investigated the effect of light intensity on growth performance, body composition and lysozyme activity of sub-adult starry flounder (*Platichthys stellatus*) reared at five light intensities (2, 20, 100, 500 and 1,000 lx). Survival of sub-adult fish was 100% and there was no significant difference between 2, 20, 100, 500 and 1,000 lx. Growth performance of sub-adult reared at 2 lx was significantly higher than sub-adult reared at 1,000 lx, whereas there were no significant differences in growth performance of fish reared among at 20, 100 and 500 lx treatments. The crude protein content of sub-adult subjected to 1000 lx was significantly higher than that of fish subjected to 2 lx treatment, whereas there were no significant differences in the crude protein content of fish among 20, 100, and 500 lx treatments. The Ash content of sub-adult reared at 100 and 500 lx were significantly higher than that of fish reared at 2, 20 and 1000 lx treatments. Lysozyme activity of sub-adult was not significantly different among different light-intensity treatments. Considering these results, the 2 lx appears to be the optimal light intensity for the optimal growth of sub-adult starry flounder.

Key words : Light intensity, Growth performance, Body composition, Lysozyme activity, Starry flounder

I. 서론

조도는 어류에 있어 생태학적 요인 중 하나로, 서식지, 수심 및 탁도와 같은 환경적 조건에 따라 발달 단계에 영향을 미치는 중요한 제한 요인이다(Boeuf and Le Bail, 1999). 불충분한 조도는

어류에게 있어 성장 저하, 폐사율 증가 등을 초래할 수 있으며(Copeland and Watanabe, 2006), 한계 이상의 높은 조도는 어류에게 스트레스를 유발하고 과도할 경우에는 폐사에 이를 뿐만 아니라 양식 운영에 있어서는 에너지 소비를 높여 생산 비용을 증가 시킨다(Hunter 1981; Boeuf and

† Corresponding author : 055-772-9254, bluesonn@gnu.ac.kr

※ 이 논문은 2023년도 해양수산부 국립수산과학원 수산시험연구사업 주요 양식품종 모니터링(R2023045)의 지원으로 수행된 연구입니다.

Le Bail, 1999). 이에 따라 조도가 어류의 생존과 성장(Trippel and Neil, 2003; Trotter et al., 2003) 및 스트레스 반응(Wang et al., 2013; Tian et al., 2015)에 미치는 많은 연구가 수행되었다. 최적의 조도는 어종에 따라 다르며, Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*)은 1-10 lx 및 Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)는 50 lx로 낮게 나타났으나(Wallace et al., 1988; Hole and Pittman, 1995), gilthead seabream (*Sparus auratus*) (Tandler and Mason, 1983), black sea bass (*Centropristis striata*) (Copeland and Watanabe, 2006), leopard coral grouper(*Plectromus leopardus*) (Yoseda et al., 2008) 및 Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) (Tamazouzt et al., 2000)와 같은 다른 어종에서는 최적의 조도가 각각 600-1,300, 1,000, 3,000 및 800 lx로 더 높게 나타났다. 그러나 일부 어종은 상대적으로 다른 어종에 비해 조도의 영향을 크게 받지 않는 것으로 알려져 있다. Daniels et al.(1996) 및 Stefansson et al.(1993)에 따르면, Southern flounder (*Paralichthys lethostigma*)는 340-1,600 lx, Atlantic salmon (*Salmo salar*)은 27-715 lx에서 성장 및 변태에 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

최적의 범위를 벗어난 빛의 세기는 일부 어종에게 스트레스의 원인으로 작용한다(Boeuf and Le Bail, 1999; Wang et al., 2013). 일반적으로 저서성 어종의 경우, 부적합한 조도는 색소 침착을 유발하여 상품 가치를 저하시킨다는 여러 연구가 보고된 바 있다(Matsumoto and Seikai, 1990; Denson and Smith, 1997; Bolker and Hill, 2000; Itoh et al., 2012; Kang et al, 2012; Kang et al., 2014). 또한, 빛은 저서성 어류의 행동 및 반응을 자극 시킬 수 있고, 이는 성장과 생존에 영향을 미칠 수 있다(Bögner et al., 2018).

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 냉수성 및 저서성 어류로서, 낮은 수온에서 먹이 섭식과 성장을 유지하는 특성을 가지고 있다. 또한 빛이 거의 존재하지 않는 환경인 수심 150 m 내외에서 서식하는 것으로 알려져 있으며(Kramer and Josey,

1995), 염분에 대한 내성이 뛰어날 뿐만 아니라 고부가가치 어종으로 평가된 바 있다(Park et al., 2016). 또한, 환경 변화에 대한 강한 적응력과 높은 성장률을 가지고 있어 한국과 중국에서 대규모 양식이 이루어지고 있으며(Lim et al., 2013), 높은 시장 가치로 인해 양식 생산이 확대되고 있다. 이에 따라 최근 강도다리의 양식생산 기술과 관련한 생식, 영양, 사육환경 등의 다양한 연구가 수행된 바 있으나(Lee et al., 2003; Schmidt et al., 2017; Wang et al., 2017; Hong et al., 2021; Yoon et al., 2021), 다양한 조도 조건이 강도다리 미성어에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다양한 조도 조건이 강도다리 미성어의 성장, 체조성 및 lysozyme 활성에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 연구 방법

1. 실험어 및 사육 조건

강도다리 미성어는 2주간 사육실험 환경에 순치시켰으며 순치 기간에는 1일 2회 충분한 양의 침강사료(천하제일사료, 한국)를 공급하였다. 실험에 이용한 강도다리는 평균 체장 18.7 ± 0.2 cm, 평균 체중 189.7 ± 0.2 g의 미성어를 이용하였으며, 500 L FRP 원형수조(유효수량 300 L)에 15마리씩 3반복으로 수용하였다. 조도별 실험구는 각각 2, 20, 100, 500 및 1,000 lx로 3반복으로 설정하였고, 조명등은 수조 위 1 m에 설치하였으며, 조도는 사육수 표면에서 조도계로 측정하여 각 조도를 유지하였다. 각각의 실험구는 자동 타이머를 이용하여 12시간 명기(07:00~19:00) 조건을 두었다. 사료(천하제일사료, 한국) 공급횟수는 1일 2회, 반복 공급하였으며, 총 12주간의 사육실험을 진행하였다. 사육실험 기간 동안의 수온 및 염분은 각각 $17.9 \pm 1.9^\circ\text{C}$ (mean \pm SD) 및 31.9 ± 0.8 psu 이었다.

2. 샘플 수집 및 어체 측정

사육실험 종료시 24시간 절식한 어류를 100 ppm tricaine methanesulfonate (MS-222; Sigma-Aldrich, St. Louis, MI, USA)를 이용하여 마취시킨 후 생존한 개체 수와 최종 무게를 측정하였다. 또한 각 수조당 10마리를 무작위로 선택하여 각 개체의 무게와 전장을 측정하고 어체중증가(weight gain), 일일성장률(specific growth rate), 사료효율(feed efficiency) 및 비만도(condition factor)를 계산하였다. 무게와 전장을 측정한 개체는 1 mL 주사기를 사용하여 미부정맥에서 혈액을 채취한 후 원심분리(4℃, 13,000 rpm 및 10분)하여 혈청 lysozyme 활성 분석 전까지 -80℃에 보관하였다. 혈액을 채취한 개체는 간 및 내장을 박리한 뒤 각 무게를 측정하여 간중량지수(hematosomatic index), 및 내장중량지수(viscerosomatic index)를 계산하였다. 추가적으로 5마리를 샘플하여 전어체 일반성분분석을 위해 -20℃에 보관하였다.

3. 일반성분분석

전어체의 일반성분분석은 수분, 조단백질, 조지질 및 회분 함량을 AOAC (2005) 표준분석 방법에 따라 분석하였다. 수분은 105℃ dry oven에서 24시간 동안 건조하였고, 조단백질은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/ 412, Switzerland)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 에테르 추출법(ST 243 SoxtecTM; FOSS, Hillerod, Denmark)으로 분석하였으며, 회분은 550℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다.

4. 혈청 lysozyme 활성

혈청 lysozyme 활성은 Parry et al. (1965)의 turbidimetric method를 이용하여 측정하였다. 멸균 생리식염수 (pH 6.2)에 *Micrococcus lysodeikticus* (0.2 mg/mL) 현탁 후, 현탁액 950 μ L와 혈청 50 μ L를 혼합하여 25℃, 30초 및 4분 30초 반응시

킨 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. Lysozyme 활성은 units/mL로 나타내었으며, 1 unit는 흡광도 값이 0.001/min 감소한 값으로 표시했다.

5. 통계분석

모든 데이터는 SPSS program (version 27.0, SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 One-way ANOVA와 Tukey's multiple range test를 사용하여 각 실험구간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 성장 및 사료이용성

12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 강도다리 미성어의 성장 및 사료이용성 결과는 (<Table>) 1에 나타내었다. 본 연구에서의 조도에 따른 생존율은 모든 실험구에서 100%로 나타났다. 사육 종료시 무게, 어체중증가, 일일성장률 및 일일사료섭취량은 2 lx 실험구가 1,000 lx 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났으나(P<0.05), 20, 100 및 500 lx 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 사료효율, 비만도, 간중량지수 및 내장중량지수는 조도에 따른 유의한 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(P>0.05).

2. 일반성분분석

12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 강도다리 미성어의 전어체 일반성분분석 결과는 (<Table 2>)에 나타내었다. 전어체의 수분 및 조지질 함량은 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 조단백질 함량은 1,000 lx 실험구가 2, 20 및 100 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났으나(P<0.05), 500 lx 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 회분 함량은 100 및 500 lx 실험구가 2, 20 및 1,000 lx 실험구

보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$).

<Table 1> Effect of light intensity on growth performance and feed utilization of starry flounder, *Platichthys stellatus*

	Light intensity (lx)				
	2	20	100	500	1000
IBW (g/fish)	189.64 ± 1.16	189.63 ± 0.69	189.95 ± 0.41	189.45 ± 0.63	190.04 ± 0.14
FBW (g/fish)	302.22 ± 6.12 ^a	294.04 ± 1.79 ^{ab}	294.00 ± 5.16 ^{ab}	282.33 ± 4.62 ^{ab}	273.67 ± 6.43 ^b
Survival (%)	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
WG (%)	59.36 ± 3.85 ^a	55.06 ± 1.07 ^{ab}	54.78 ± 2.60 ^{ab}	49.02 ± 1.96 ^{ab}	44.00 ± 3.28 ^b
SGR (%)	0.55 ± 0.03 ^a	0.52 ± 0.01 ^{ab}	0.52 ± 0.02 ^{ab}	0.47 ± 0.02 ^{ab}	0.43 ± 0.03 ^b
DFI (%)	0.41 ± 0.01 ^a	0.38 ± 0.02 ^{ab}	0.39 ± 0.00 ^{ab}	0.36 ± 0.00 ^{ab}	0.35 ± 0.01 ^b
FE (%)	1.33 ± 0.07	1.36 ± 0.06	1.33 ± 0.04	1.30 ± 0.03	1.23 ± 0.04
CF	2.81 ± 0.05	2.98 ± 0.04	3.00 ± 0.06	2.84 ± 0.05	2.90 ± 0.09
HSI (%)	2.27 ± 0.14	2.33 ± 0.20	2.19 ± 0.18	1.97 ± 0.11	1.87 ± 0.11
VSI (%)	1.64 ± 0.06	1.86 ± 0.11	1.78 ± 0.06	1.81 ± 0.11	1.84 ± 0.03

Values (means of triplicate ± SE) in the same row sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$): IBW, initial body weight; FBW, final body weight; WG, weight gain; SGR, specific growth rate; DFI, daily feed intake; FE, feed efficiency; CF, condition factor; HSI, hematosomatic index; VSI, viscerosomatic index; LI, light intensity.

3. Lysozyme 활성

12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 강도다리 미성어의 lysozyme 활성 결과는 <Table 3>에 나타내었다. 본 연구에서의 조도에 따른 실험구

들의 혈청 lysozyme 활성 결과, 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$),

<Table 2> Effect of light intensity on proximate composition (% wet weight basis) of whole-body of starry flounder, *Platichthys stellatus*

	Light intensity (lx)				
	2	20	100	500	1000
Moisture (%)	72.7 ± 0.46	74.2 ± 2.55	69.6 ± 1.72	69.5 ± 0.84	72.5 ± 0.64
Crude protein (%)	16.7 ± 0.10 ^a	16.6 ± 0.46 ^a	18.1 ± 0.21 ^b	19.3 ± 0.09 ^{bc}	20.1 ± 0.35 ^c
Crude lipid (%)	6.7 ± 0.09	6.3 ± 0.38	6.6 ± 1.21	7.0 ± 0.23	6.3 ± 0.38
Ash (%)	2.8 ± 0.09 ^a	3.0 ± 0.12 ^a	3.6 ± 0.19 ^b	3.5 ± 0.12 ^b	3.0 ± 0.09 ^a

Values (means of triplicate ± SE) in the same row sharing the same superscript are significantly different ($P < 0.05$): LI, light intensity.

<Table 3> Effect of light intensity on serum lysozyme activity of starry flounder, *Platichthys stellatus*

	Light intensity (lx)				
	2	20	100	500	1000
Lysozyme (units/mL)	2,493.8 ± 563.89	2,493.6 ± 482.01	2,646.0 ± 455.47	2,312.0 ± 591.46	2,131.7 ± 643.40

Values (means of triplicate ± SE) in the same row sharing the same superscript are not significantly different ($P > 0.05$): LI, light intensity.

IV. 결론

조도가 여러 어종에 미치는 영향은 지금까지 많은 연구에서 보고된 바 있으며(Tian et al., 2015; Biswas and Takii, 2016; Bögner et al., 2018), 대부

분의 어류가 최적의 성장을 이루기 위해서는 일정 수준의 조도가 필요하다(Tandler, 1983; Wallace et al., 1988; Chatain, 1991; Fermin and Seronay, 1997). 그러나 한계 이상의 높은 조도는 어류에게 스트레스로 작용할 수 있다(Biswas and Takii, 2016). 12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 생존율은 모든 실험구간에서 100%로 나타났으며, 이는 조도가 강도다리 미성어의 생존율에 영향을 미치지 않은 것으로 보여진다. 대부분의 어류에서 조도의 증가는 유영 활동을 증가시킨다고 알려져 있으며(Staffan, 2004), Almazán-Rueda et al.(2004)은 African catfish (*Clarias gariepinus*) 치어의 유영 활동이 증가함에 따라 개체들이 더 자주 마주치게 되어, 어류 간의 공격성이 증가할 수 있다고 보고하였다. 12주간의 강도다리 미성어 사육실험 종료시 어체중증가 및 일일성장률 결과, 2 lx 실험구가 1,000 lx 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 이는 2 lx 실험구의 일일사료섭취량이 1,000 lx 실험구에 비하여 높게 나타났기 때문이며, 이로 인해 1,000lx 실험구의 성장이 2 lx 실험구에 비해 낮게 나타난 것으로 판단된다. 이와 유사하게 강도다리 치어는 15 lx 실험구가 500 및 2,500 lx 실험구에 비하여 일일사료섭취량 및 일일성장률이 유의적으로 높게 나타났으며(Bögner et al., 2018), pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) 치어는 1 및 8 lx 실험구에서 최적의 성장이 나타났다(Kozłowski et al., 2010). 또한 저서성 어종인 Atlantic halibut에서도 500 lx 실험구보다 1-10 lx 실험구에서 성장이 향상되었다고 보고된 바 있다(Hole and pittman, 1995). 대부분의 어류는 조도가 높을수록 유영 활동이 증가하며(Staffan, 2004), 성장보다 유영 활동에 더 많은 에너지가 소비되는 것으로 알려져 있으며(Trippel and Neil, 2003), 반면에 낮은 조도는 유영 활동을 감소시키고 동시에 신진대사 에너지를 절약하여 성장에 더 많은 에너지를 사용할 수 있는 것으로 나타났다(Appelbaum and Kamler, 2000). 이와 대조적으로 gilthead seabream 유어는 600-1,300 lx에서 성

장이 우수하였고(Tandler, 1983), 부시리(*Seriola lalandi*) 유어 또한 14,850 lx에서 최적의 성장이 나타났다(Stuart and Drawbridge, 2011). 이에 따라, 조도는 어류의 성장 및 사료 섭취량에 있어 중요한 요인이며, 최적의 성장을 위한 조도의 범위는 어종마다 다른 것으로 판단된다.

12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 전어체 일반성분분석 결과, 수분 및 조지질 함량은 실험구간의 유의적인 차이가 나타나지 않았으나($P > 0.05$), 1,000 lx 실험구의 조단백질 함량은 2, 20 및 100 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났고($P < 0.05$), 회분 함량은 100 및 500 lx 실험구가 2, 20 및 1000 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). Wang et al.(2015)에 따르면, orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*)의 전어체 조단백질 함량은 0 lx 실험구가 다른 모든 실험구에 비하여 유의적으로 가장 낮게 나타났고, 10-50, 320-550 및 600-1,150 lx로 증가함에 따라 조단백질 함량은 증가하였다. 황복(*Takifugu obscurus*) 전어체의 조지질 및 회분 함량은 조도에 따른 유의한 영향을 받지 않았으나, 조단백질 함량은 500 lx 실험구가 0 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다(Kang et al., 2007). 또한, Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) 전어체의 수분, 조단백질 및 지질 함량은 조도(5, 74, 198, 312 및 434 lx)에 따른 유의한 영향을 받지 않았으나, 회분 함량은 조도에 따라 유의한 차이를 나타내었다(Han et al., 2005). 본 연구 결과와 대조적으로 Biswas and Takii (2016)에 따르면, 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)을 50, 100, 200, 400, 800 및 1,500 lx의 조도에서 사육한 결과, 전어체의 조단백질 및 회분 함량에 유의한 영향을 미치지 않았다. 결과적으로, 한계 이상으로 높거나 불충분한 조도는 잠재적으로 어류에게 스트레스로 작용하여(Boeuf and Le Bail, 1989), 어류의 행동 뿐만 아니라 대사율에도 영향을 미칠 수 있으며(De-Silva and Anderson, 1994), 이는 간접적으로 체조성의 변화로 이어질 수 있

다(Güroy et al., 2011), 그러나 조도가 강도다리 미성어의 신진대사 및 체조성의 상관관계에 관한 연구는 미비한 실정이므로, 추후 관련 연구가 추가로 수행되어야 한다.

Lysozyme은 다양한 미생물, 동물 및 식물에서 발견되고(Wu et al., 2019), 세균 세포벽에서 peptidoglycan을 분해하여 감염성 미생물의 성장을 비특이적으로 억제하는 효소로, 어류의 면역능에 중요한 역할을 하며(Wu et al., 2013), 그람 양성균과 그람 음성균에 대해 상당한 항균 활성을 가지고 있다(Saurabh and Sahoo, 2008). 12주간의 사육실험 종료시 조도에 따른 혈청 lysozyme 활성 분석 결과, 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 본 연구 결과와 대조적으로 green mud crab (*Scylla paramamosain*)의 lysozyme 활성은 95 lx 실험구가 2,850 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났다(Li et al., 2020). Tian et al.(2015)에 따르면 blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) 치어를 대상으로 100, 200, 400, 800 및 1,600 lx에서의 혈청 lysozyme 활성 결과, 400 lx 실험구가 100, 200 및 1,600 lx 실험구에 비하여 유의적으로 높게 나타났고, 800 lx 실험구와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 blunt snout bream이 최적의 조도가 아닌 사육환경에 노출되었을 때 면역억제가 나타났으며, 조도에 따른 어류의 혈청 lysozyme 활성 변화는 스트레스의 수준과 지속 기간에 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다(Hajji et al., 1990; Möck and Peters, 1990). 본 연구에서 강도다리 미성어의 혈청 lysozyme 활성 수치가 조도에 따른 유의한 영향이 나타나지 않은 것은, lysozyme 활성의 높은 변동성 때문인 것으로 사료되며, 조도가 강도다리 미성어의 비특이적 면역에 미치는 영향에 관한 연구는 추가적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

이상의 연구 결과에 따르면, 본 실험의 조건 하에서는 강도다리 미성어(189.7 ± 0.2 g)의 최적의 성장을 위한 조도는 2 lx로 판단된다.

References

- Almazán-Rueda P, Schrama JW and Verreth JA(2004). Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquaculture*, 231(1-4), 347~359.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.016>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis (18th edn). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Appelbaum S and Kamler E(2000). Survival, growth, metabolism and behaviour of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) early stages under different light conditions. *Aquac Eng*, 22(4), 269~287.
[https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00054-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00054-6)
- Biswas A and Takii K(2016). Effects of light intensity on the growth performance and stress response in striped knifejaw, (*Oplegnathus fasciatus*). *J World Aquac Soc*, 47(6), 806~811.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12313>
- Boeuf G and Le Bail PY(1999). Does light have an influence on fish growth?. *Aquaculture*, 177(1-4), 129~152.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00074-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00074-5)
- Bögner M, Schwenke C, Gürtzgen T, Bögner D and Slater MJ(2018). Effect of ambient light intensity on growth performance and diurnal stress response of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) in recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquac Eng*, 83, 20~26.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.08.001>
- Bolker JA and Hill CR(2000). Pigmentation development in hatchery reared flatfishes. *J Fish Biol*, 56(5), 1029~1052.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb02121.x>
- Chatain B(1991). The relationships between light and larvae of *Sparus aurata*. In Larvi'91-Fish and Crustacean Larviculture Symposium, Ghent, Belgium. *Eur Aquac Soc*, 310~313.
- Copeland KA and Watanabe WO(2006). Light intensity effects on early life stages of black sea bass, *Centropristis striata* (Linnaeus 1758). *Aquac Res*, 37(14), 1458~1463.

- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01582.x>
 Daniels HV, Berlinsky DL, Hodson RG, and Sullivan, CV(1996). Effects of stocking density, salinity, and light intensity on growth and survival of southern flounder *Paralichthys lethostigma* larvae. J World Aquac Soc, 27(2), 153~159.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1996.tb00264.x>
- De Silva SS and Anderson TA(1994). Fish nutrition in aquaculture. Springer Science & Business Media 1.
- Denson MR, Smith TI(1997). Diet and light intensity effects on survival, growth and pigmentation of southern flounder *Paralichthys lethostigma*. J World Aquac Soc, 28(4), 366~373.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00283.x>
- Fermin AC and Seronay GA(1997). Effects of different illumination levels on zooplankton abundance, feeding periodicity, growth and survival of the Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch), fry in illuminated floating nursery cages. Aquaculture, 157(3-4), 227~237.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00167-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00167-1)
- Güroy D, Güroy B, Merrifield DL, Ergün SEBAHATTİN, Tekinay AA and Yiğit MURAT(2011). Effect of dietary Ulva and Spirulina on weight loss and body composition of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), during a starvation period. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl), 95(3), 320~327.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01057.x>
- Hajji N, Sugita H, Ishii S and Deguchi Y(1999). Serum bactericidal activity of carp (*Cyprinus carpio*) under supposed stressful rearing condition. Bulletin of the College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University, 47, 50~54.
- Han D, Xie S, Lei W, Zhu X and Yang Y(2005). Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). Aquaculture, 248(1-4), 299~306.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.03.016>
- Hole G and Pittman K(1995). Effects of light and temperature on growth in juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). In: Pittman K, Batty RS, Verreth J (eds.) ICES Marine Science Symposia, Mass Rearing of Juvenile Fish. 201, 197~197.
- Hong BS, Lee HB, Park JY, Yoon JH, Lee IY and Lim HK(2021). Effects of Photoperiod, water temperature, and exogenous hormones on spawning and plasma gonadal steroid in starry flounder, *Platichthys stellatus*. Isr. J. Aquac. 73, 1~12.
<https://doi.org/10.46989/001c.28425>
- Hunter JR(1981). Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: Lasker, R. (Ed.), Marine Fish Larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries. University of Washington Press, Seattle, 33~79.
- Itoh K, Washio Y, Fujinami Y, Shimizu D, Uji S, Yokoi H and 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(2), 215~221.
<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2012.01.017>
- Kang DY, Byun SG, Myeong JI, Kim HC and Min BH(2014). Morphological analysis of blind-side hypermelanosis of the starry flounder, *platichthys stellatus* during early development. Development and Reproduction, 18(2), 79.
<https://doi.org/10.12717/DR.2014.18.2.079>
- Kang DY, Lee JH, Kim WJ and Kim HC(2012). Morphological specificity in cultured starry flounder *Platichthys stellatus* reared in artificial facility. Fisheries and aquatic sciences, 15(2), 117~123.
<https://doi.org/10.5657/FAS.2012.0117>
- Kang HW, Kang DY, Jo KC, Lee JH, Park KJ, Lim CW and Kim GH(2007). Effect of Light Intensity on Growth, Caudal Fin Shape, Body Composition and Skin Color of River Puffer, *Takifugu obscurus*. Korean J Ichthyol, 19(3), 185~192.
- Kozłowski M, Zakeś Z, Szczepkowski M, Wunderlich K, Piotrowska I and Szczepkowska B(2010). Impact of light intensity on the results of rearing juvenile pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), in recirculating aquaculture systems. Fisheries and Aquatic Life, 18, 77~84.
<https://doi.org/10.2478/v10086-010-0009-9>
- Kramer DE, Josey T(1995). Guide to Northeast Pacific flatfish : families Bothidae, Cynoglossidae and Pleuronectidae. Sea Grant 62.
- Lee SM, Lee JH and Kim KD(2003). Effect of

- dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture*, 225(1-4), 269~281.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3)
- Li N, Zhou J, Wang H, Wang C, Mu C, Shi C and Liu L(2020). Effect of light intensity on digestion and immune responses, plasma cortisol and amino acid composition of *Scylla paramamosain* during indoor overwintering. *Aquac Res*, 51(12), 5005~5014.
<https://doi.org/10.1111/are.14836>
- Lim HK, Min BH, Kwon MG, Byun SG, Park MS, Jeong MH and Chang YJ(2013). Blood physiological responses and growth of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus* exposed to different salinities. *J Environ Biol*, 34(5), 885.
- Matsumoto J and Seikai T(1990). Asymmetric pigmentation and pigment disorders in pleuronectiformes (flounders). *Pigment Cell Research*, 3, 275~282.
- Möck A and Peters GJOFB(1990). Lysozyme activity in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), stressed by handling, transport and water pollution. *J Fish Biol*, 37, 873~885.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb03591.x>
- Park Y, Moniruzzaman M, Lee S, Hong J, Won S, Lee JM and Bai SC(2016). Comparison of the effects of dietary single and multi-probiotics on growth, non-specific immune responses and disease resistance in starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Fish Shellfish Immunol*, 59, 351~357.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.11.006>
- Parry JrRM, Chandan, RC and Shahani KM(1965). A rapid and sensitive assay of muramidase. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 119(2), 384~386.
<https://doi.org/10.3181/00379727-119-30>
- Saurabh S and Sahoo PK(2008). Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system. *Aquac Res*, 39(3), 223~239.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01883.x>
- Schmidt J, Bischoff AA, Weiß M, Kim SK, Frickenhaus S, Slater MJ and Buck BH(2017). Effect of beta-1-3-glucan and mannans on growth and fitness of starry flounder (*Platichthys stellatus*): A potential new candidate for aquaculture in temperate regions. *J Fishscicom*, 11(3), 17.
- Staffan F(2004). Food competition and its relation to aquaculture in juvenile *Perca fluviatilis*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Stefansson, SO, Hansen, TJ and Taranger, GL(1993). Growth and parr-smolt transformation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different light intensities and subsequent survival and growth in seawater. *Aquac Eng*, 12(4), 231~243.
[https://doi.org/10.1016/0144-8609\(93\)90014-3](https://doi.org/10.1016/0144-8609(93)90014-3)
- Stuart KR and Drawbridge M(2011). The effect of light intensity and green water on survival and growth of cultured larval California yellowtail (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, 321, 152~156.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.023>
- Tamazouzt L, Chatain B and Fontaine P(2000). Tank wall colour and light level affect growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis* L.). *Aquaculture*, 182(1-2), 85~90.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00244-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00244-6)
- Tandler A(1983). Light and food density effects on growth and survival of larval gilthead seabream (*Sparus aurata*, Linnaeus, Sparidae). *World Maricult Soc Spec Publ Ser*, 3, 103~116.
- Tian HY, Zhang DD, Xu C, Wang F and Liu WB(2015). Effects of light intensity on growth, immune responses, antioxidant capability and disease resistance of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. *Fish Shellfish Immunol*, 47, 674~680.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.08.022>
- Trippel EA and Neil SR(2003). Effects of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture*, 217(1-4), 633~645.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00198-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00198-9)
- Wallace JC, Kolbeinshavn A and Aasjord D(1988). Observations on the effect of light intensity on the growth of Arctic charr fingerlings (*Salvelinus alpinus*) and salmon fry (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 72, 81~84.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90148-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90148-2)
- Wang J, Li B, Ma J, Wang S, Huang B, Sun Y and Zhang L(2017). Optimum dietary protein to lipid ratio for starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquac Res*, 48(1), 189~201.

- <https://doi.org/10.1111/are.12873>
- Wang T, Cheng Y, Liu Z, Yan S and Long X(2013). Effects of light intensity on growth, immune response, plasma cortisol and fatty acid composition of juvenile *Epinephelus coioides* reared in artificial seawater. *Aquaculture*, 414, 135~139.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.00>
- Wang T, Cheng YZ, Liu ZP and Long XH(2015). Effects of light intensity on husbandry parameters, digestive enzymes and whole body composition of juvenile *Epinephelus coioides* reared in artificial sea water. *Aquac Res*, 46(4), 884~892.
<https://doi.org/10.1111/are.12241>
- Wu T, Jiang Q, Wu D, Hu Y, Chen S, Ding T, Ye X, Liu D and Chen J(2019). What is new in lysozyme research and its application in food industry? A review. *Food Chem*, 274, 698~709.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.017>
- Wu YR, Gong QF, Fang H, Liang WW, Chen M and He RJ(2013). Effect of *Sophora flavescens* on non-specific immune response of tilapia (GIFT *Oreochromis niloticus*) and disease resistance against *Streptococcus agalactiae*. *Fish Shellfish Immunol*, 34(1), 220~227.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.10.020>
- Yoon JH, Cho YS, Lee HB, Park JY and Lim HK(2021). Dead-End (dnd) gene cloning and gonad-specific expression pattern in starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Animals*, 11(8), 2256.
<https://doi.org/10.3390/ani11082256>
- Yoseda K, Yamamoto K, Asami K, Chimura M, Hashimoto K and Kosaka S(2008). Influence of light intensity on feeding, growth, and early survival of leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) larvae under mass-scale rearing conditions. *Aquaculture*, 279(1-4), 55~62.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.04.002>
-
- Received : 27 September, 2023
 - Revised : 16 October, 2023
 - Accepted : 20 October, 2023