Check for updates

JFMSE, 36(4),pp. 675~683, 2024.
수산해양교육연구, 제36권 제4호, 통권130호, 2024.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2024.8.36.4.675

참담치(*Mytilus unguiculatus*) 치패의 성장, 생존, 생리적 반응에 미치는 광색의 영향

이 선 식†
†인천광역시수산자원연구소(연구사)

The Effect of Light Color on Growth, Survival, Physiological Response of Korean Mussel (*Mytilus unguiculatus*) Juveniles

Seon-Sik LEE†
†Incheon Fisheries Resources Research Institute(researcher)

Abstract

The shell height growth rate (GR_{SH}), specific growth rate (SGR), survival rate (SR), and filtration rates (FR) were measured for five light color treatments (white, yellow, blue, red and green) of juvenile *M. unguiculatus* (shell length 5.13±0.47 mm, shell height 8.17±0.64 mm, total weight 0.067±0.015 g) reared for 182 days after hatching on April 4, 2023. GR_{SH} with light color of juvenile *M. unguiculatus* represented the significantly lowest value of 14.97±11.83% in the yellow treatment ($p<0.05$) and represented the significantly highest value of 25.99±11.06% in the green treatment ($p<0.05$). SGR with light color of juvenile *M. unguiculatus* represented the significantly lowest value of 1.33±1.19%/day in the yellow treatment ($p<0.05$) and represented the significantly highest value of 2.05±0.74%/day in the green treatment ($p<0.05$). SR with light color of juvenile *M. unguiculatus* represented no significant difference in all treatment ($p>0.05$), with a high value of more then 98%. FR with light color of juvenile *M. unguiculatus* represented the lowest value of 15.60±4.47 mℓ/g/hr in the yellow treatment the highest value of 22.28±6.63 mℓ/g/hr in the green treatment, but there was no significant difference from other groups ($p>0.05$). From the above results, it is considered that the most adaptable light color for artificial seed production of jevenile *M. unguiculatus* is green light.

Key words : Korean mussel, Light color, Growth, Survival, Filtration rate

Ⅰ. 서 론

참담치는 이매패강(Bibalvia) 홍합목(Mytilida) 홍합과(Mytilidae)에 속하는 식용 조개류로 분류상으로는 홍합(*Mytilus unguiculatus*)으로 기록되어 있으며, 참담치, 섭조개, 담채, 합자 등의 방언으로 불린다(Min, 2004). 우리나라 전 연안에 서식하나 주로 남해안과 서해안의 해수 염분이 높은 고함수역인 해류 흐름이 강하고 물이 맑은 외해의 특성을 가진 곳의 조간대 하부부터 수심 40 m 까지 서식하는데 주로 5～10 m 암반 표면에 족사로 부착하여 군집하여 서식한다. 최근 연안 오염과 남획 등으로 인해 그 자원량이 날로 감소하고 있으며, 특히 외래종인 지중해담치에 밀려 그 서식지가 점차 감소되고 있는 추세이다.

일반적인 이매패류에서는 보통 어두운 환경을

† Corresponding author : 032-440-6411, sslee75@korea.kr

제공하고 있지만, 이들이 서식하는 자연환경에서는 파도, 수중 부유 입자 및 동물·식물플랑크톤의 영향을 받아 해수에서의 조명 조건이 항상 달라질 수 있다. 그러므로 빛 조건은 참담치 양식에 있어서 성장, 생존 및 생리적 반응에 대한 중요한 조절 인자일 것이다.

해수는 자연환경에서 햇빛을 흡수하고 산란하며, 빛의 세기와 질은 수층에 따라 다양하다(Zhong et al., 2023). 햇빛이 맑은 바닷물을 투과할 때, 적색광의 더 긴 파장(620~750 nm)은 낮은 수준의 에너지를 가지며 일정 깊이 구배에 걸쳐 점진적으로 흡수되며 약 20 m의 깊이는 적색광의 침투가 방해된다(Chiang et al., 2011). 반면에 짧은 파장의 고에너지 청색광(450～495 nm)은 약 100～150 m의 깊은 수심까지 침투할 수 있다(Godwin, 2021). 이러한 조도와 광색은 먹이가 되는 식물플랑크톤의 분포에 영향을 주게 되어 빛을 인지할 수 있는 감각기관이 있는 바위 또는 해저면에 부착하는 표서생물의 수직적 분배를 결정하는 요인이 되기도 한다.

살아있는 유기체의 생체 내 에너지 대사는 온도, 염분 및 빛과 같은 환경적 요인에 의해 변경될 수 있으며, 이는 살아있는 유기체의 에너지 대사를 향상시키거나 분해시키고 성장을 촉진하거나 환경 변화에 저항하는 에너지를 제공할 수 있다(Vera et al., 2006). 빛을 구성하는 각기 다른 스펙트럼에 대한 연구는 어류의 경우 성장과 생존, 멜라토닌, 스트레스 반응, 행동, 생식(Head and Malison, 2000; Volpato and Barreto, 2001; Bayarri et al., 2002; Noar et al., 2003; Marchesan et al., 2005)에 대해 비교적 많이 연구되었으나, 이매패류(Lee et al., 2024; Zhong et al., 2023), 복족류(Gao et al., 2016; Xiaolong et al., 2016a, b, c)가 일부 진행되었으며, 참담치에 대한 연구는 전무한 실정이다.

반도체 기술은 다양한 파장과 파워를 가진 발광다이오드(LED, Light emitting diode) 개발을 가능하게 하였는데 이것은 건강과 안전 측면에서 장점이 있고 폐기와 관련된 오염이 없다(Song et al., 2013). LED는 발열량이 적고 수명이 길며 정확한 파장 방출을 가지고 있어서 보다 정확한 광량, 광색 제어가 가능하기 때문에 효율적인 광원이 될 수 있다(Qin et al., 2009; Kim et al., 2015). 또한 LED 조명은 고품질의 무공해 식품을 생산할 뿐만 아니라 수생생물의 증식률을 향상시키는 것으로 나타났다(Qiu et al., 2015).

집중적인 실내 양식은 빛을 쉽게 조작할 수 있기 때문에 참담치(*M. unguiculatus*) 인공종자생산이 성공할 수 있도록 최적의 광색을 결정하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구는 발광다이오드(LED)를 이용하여 참담치 치패의 다양한 광색(백색, 적색, 황색, 녹색, 청색)에 대한 성장, 생존, 생리적 반응(여과율) 차이를 비교하여 최적의 광색을 규명하는 것을 목표로 하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 실험생물

실험에 사용한 참담치(*M. unguiculatus*) 치패는 2023년 4월 4일에 인공수정을 통해 부화시킨 후 182일 동안 인천광역시 수산자원연구소에서 직접 사육한 개체들이었다. 10월 3일에 참담치 치패(각장 5.13±0.47 mm, 각고 8.17±0.64 mm, 전중량 0.067±0.015 g)를 PE 사각수조(17×10×10 ㎝, 1.7 ℓ)에 20마리씩 담고 10일간 적응시킨 후 10월 13일부터 30일간 실험을 실시하였다.

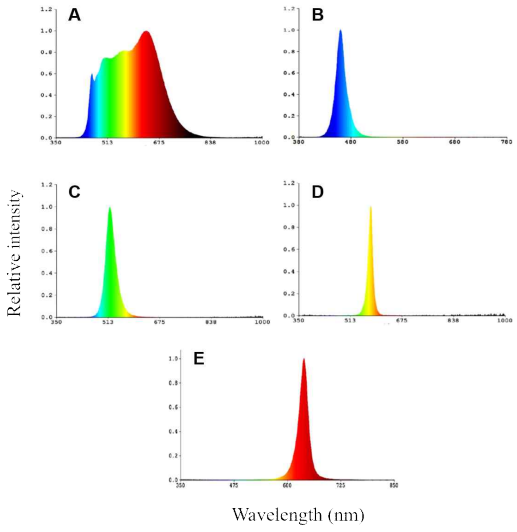
2. 실험환경

실험기간 중 사육환경은 다항목 수질측정기(YSI professional, Xylem Inc., USA)를 이용하여 1일 2회(10:00, 16:00) 측정하였으며, 수온 17.2～20.2℃, 용존산소 6.27～8.12 ㎎/ℓ, pH 7.93～8.11, 염분 28.08～30.55‰를 유지하였다. 먹이로는 *Isochrysis galbana, Monochrysis* sp., *Tetraselmis tetrathele*를 1 : 1 : 1 비율로 혼합하여 8～10×10^4 cell/㎖을 공급하였다. 좋은 수질을 유지하기 위하여 배양수는 1차로 고압모래여과기를 거치고 2차

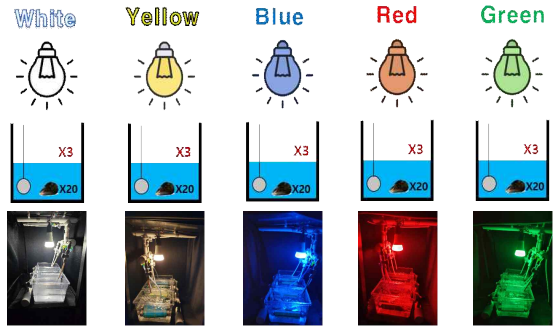
로 1 ㎛ 카트리지필터로 여과한 해수를 공급하였다. 오전 9시에 먹이 공급할 때에는 배양수 공급을 중단하고 먹이 섭이가 완료된 21시 이후에는 1일 8회전 환수하였다. 바닥에 있는 먹이 찌꺼기 및 배설물 등을 제거하기 위하여 3일에 한번씩 수조 청소를 실시하였다. 또한 먹이의 고른 확산과 산소 공급을 위하여 에어브러워에서 발생한 공기를 에어스톤을 이용하여 공급하였다.

3. 실험 디자인

실험구는 광색 기준으로 백색광(White, W), 황색광(Yellow, Y), 청색광(Blue, B), 적색광(Red, R), 녹색광(Green, G) 5개 실험구로 나누고, 조도 100 lx, 광주기는 24L:0D를 유지하여 3반복 실시하였다. 각 실험구별 조도와 광색은 spectroradiometer (PLA-30 Plant lighting analyzer, Hangzhou, China)를 이용하여 측정하였다[Fig. 1]. 광색별 최대 파장/광폭은 각각 백색광 634.8/235.6 nm (full-spectrum), 청색광 458.1/22.5 nm, 녹색광 523.4/36.5 nm, 황색광 584.4/16.8 nm, 그리고 적색광 621.8/24.2 nm로 나타났다. 각 실험구들은 서로의 간섭을 피하기 위하여 검은색 암막천으로 분리하여 외부의 빛이 전혀 들어오지 않도록 하였다. 실험을 시작하기 전 수조 바닥에 조도계(IM-2D, TOPCON, Japan)를 놓고 광세기를 조절하였다. 실험에 사용한 13W LED 전구(HUE, Philips, Netherlands)는 바닥에서 약 20 ㎝ 위쪽에 설치되었다[Fig. 2].



[Fig. 1] The spectral composition of full spectrum-white (A), blue (B), green (C), yellow (D), red (E) spectra LEDs on the water surface.



[Fig. 2] Schematic showing light color experiment of korean mussel, *M. unguiculatus* juveniles.

4. 측정항목

실험 조건별 생체량 비교를 위하여 참담치 *M. unguiculatus* 치패의 각고(Shell height, SH)는 실체현미경(SZX10, Olympus, Japan)으로 관찰하고 ImageView (Toup Tek Photonics Co. LTD., China)로 0.01 ㎜까지 측정하였고, 각고 성장률은 아래 식으로 계산하였다.

$$GR_{SH} = \frac{SH_f - SH_i}{SH_i} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

GR_{SH} : 각고 성장률(%)
SH_i : 실험시작 시 참담치 치패의 각고(mm)
SH_f : 실험종료 시 참담치 치패의 각고(mm)

참담치 치패의 전중량은 물기를 최대한 제거한

후 전자저울(FZ-200i, AND, Japan)로 0.001 g까지 측정하였으며, 상대성장률(Specific growth rate, SGR)은 아래식을 이용하여 산출하였다.

$$SGR = \frac{\ln W_f - \ln W_i}{t} \times 100 \quad \cdots\cdots (2)$$

SGR : 상대성장률(%/day)
W_i : 실험시작 시 참담치 치패 전중량(g)
W_f : 실험종료 시 참담치 치패 전중량(g)
t : 실험일수(day)

생존율은 실험이 종료된 후 폐사한 개체들을 계수하여 아래식을 이용하여 산출하였다.

$$SR = \frac{N_i - N_f}{N_i} \times 100 \quad \cdots\cdots (3)$$

SR : 생존율(%)
N_i : 실험시작 시 참담치 치패 수
N_f : 실험종료 시 참담치 치패 수

여과율은 사각수조(7×10×10 ㎝, 1.7 ℓ)에 Millipore (0.45 ㎛) 여과해수 1 ℓ를 담고 Neutral red (Sigma, USA)를 첨가하여 1 ㎎ $ℓ^{-1}$ 농도를 맞춘 후 참담치 치패 20마리씩 입식하고, 실험 시작과 8시간 후에 10 ㎖ 해수를 샘플링하여 Fluorescence & Luminescence Microplate reader (SPARK 10M, TECAN, Switzerland)에서 540 nm 파장으로 측정하였고 5반복 실시하였다. Neutral red 감소량에 대한 여과율 측정값들은 아래식을 이용하여 계산하였다(Coughlan, 1969).

$$FR = \frac{\ln C_0 - \ln C_t}{n \times t \times W} \times M \quad \cdots\cdots (4)$$

FR : 여과율(㎖/g/hr)
C_0 : 실험개시 시 neutral red의 흡광도 측정값
C_t : t시간 후 neutral red의 흡광도 측정값
M : 실험액의 용량(㎖)
n : 실험에 사용된 참담치 치패 마리수
t : 실험진행시간(hour)
W : 참담치 치패의 전중량(g)

5. 통계 처리

SPSS 통계 프로그램 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원분산분석 (one-way ANOVA)를 실시하고 Tukey's Honest Significant Difference (HSD) test로 95% 신뢰수준으로 유의성을 사후검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 각고 성장률

참담치 치패(*M. unguiculatus*)의 실험 초기 및 종료 시 각고 성장률은 <Table 1>에 나타내었다. 실험 초기 및 종료 시 각고는 황색광 실험구가 각각 7.29±0.57 ㎜, 8.37±1.00 ㎜로 유의적으로 가장 작았다($p<0.05$). 각고 성장률은 황색광 실험구가 14.97±11.83%로 유의적으로 가장 낮았으며 ($p<0.05$), 녹색광 실험구가 25.99±11.06%로 유의적으로 가장 높게 나타났다($p<0.05$).

2. 전중량 상대성장률

참담치 치패 *M. unguiculatus*의 실험 초기 전중량, 실험 종료 전중량, 그리고 상대성장률(Specific growth rate, SGR)은 <Table 2>에 나타내었다. 실험 초기 및 실험 종료 시 전중량은 황색광 실험구가 각각 0.051±0.013 g, 0.076±0.024 g으로 유의적으로 가장 작았다($p<0.05$). 상대성장률은 황색광 실험구가 1.33±1.19%/day로 유의적으로 가장 낮았으며($p<0.05$), 청색광 및 녹색광 실험구가 각각 1.77±0.56%/day, 2.05±0.74%/day로 유의적으로 가장 높게 나타났다($p<0.05$).

<Table 1> Initial and final shell height and growth rate with light color of koeran mussel, *M. unguiculatus* juveniles

Light color	N	Initial shell height (mm)	Final shell height (mm)	SH Growth rate (%)
White	60	7.98±0.80^{b}	9.63±1.29^{b}	20.69±11.62^{bc}
Yellow	59	7.29±0.57^{a}	8.37±1.00^{a}	14.97±11.83^{a}
Blue	60	8.23±0.56^{bc}	10.0±0.80^{bc}	21.89±7.79^{bc}
Red	60	8.36±0.51^{c}	9.94±1.12^{bc}	18.96±11.87^{ab}
Green	59	8.10±0.59^{bc}	10.19±1.07^{c}	25.99±11.06^{c}
Statistic property		f = 27.307 p = 0.000	f = 27.941 p = 0.000	f = 8.024 p = 0.000

*SH : Shell height
*Values are express as means ± standard deviation. Different superscripts denote significant differences between treatments ($p<0.05$, Tukey's HSD test).

<Table 2> Initial and final total weight and specific growth rate with light color of korean mussel, *M. unguiculatus* juveniles

Light color	N	Initial total weight (g)	Final total weight (g)	Specific growth rate (%/day)
White	60	0.065±0.019^{bc}	0.109±0.035^{b}	1.67±0.78^{ab}
Yellow	59	0.051±0.013^{a}	0.076±0.024^{a}	1.33±1.1^{9a}
Blue	60	0.069±0.014^{bc}	0.118±0.026^{b}	1.77±0.56^{b}
Red	60	0.071±0.013^{c}	0.121±0.032^{b}	1.69±0.71^{ab}
Green	59	0.064±0.012^{b}	0.121±0.034^{b}	2.05±0.74^{b}
Statistic property		f = 17.829 p = 0.000	f = 23.269 p = 0.000	f = 5.791 p = 0.000

Values are express as means ± standard deviation. Different superscripts denote significant differences between treatments ($p<0.05$, Tukey's HSD test).

3. 생존율

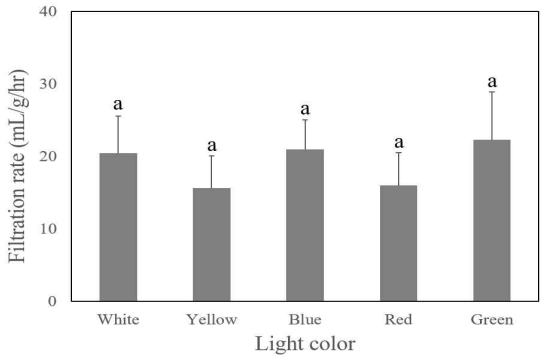
백색광, 청색, 적색광 실험구의 생존율은 100%였으며, 황색광 및 녹색광 실험구의 생존율은 98.3±2.9%로 다른 실험구에 비해 낮은 값을 보였지만 유의적인 차이는 보이지 않았다(f=1.000, p=0.411).

4. 여과율

참담치 치패(*M. unguiculatus*)의 여과율은 [Fig. 3]에 나타내었다. 참담치 치패의 광색별 여과율은 황색광 실험구에서 15.60±4.47 ㎖/g/hr로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 녹색광 실험구에서 22.28±6.63 ㎖/g/hr로 가장 높은 값을 나타났지만 실험구 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다(f=1.834, p=0.162).

Ⅳ. 결 론

빛은 세포 주기와 광합성을 조절하며, 적색광과 청색광은 광합성의 주요 스펙트럼 범위이다(Kühl et al., 1995). 빛을 인지할 수 있는 기관을 가지고 있는 표서생물들은 조도, 광주기, 광색 등의 빛에 의한 영향을 받을 수 있다. 특히 광색은



[Fig. 3] Filtration rate with different light color of korean mussel, *M. unguiculatus* juveniles. Error bars represent standard deviation (n=5). Same superscripts indicate non-significant differences (p>0.05, Tukey's HSD test).

특유의 파장에 의해서 투과할 수 있는 수심이 달라 식물플랑크톤 분포를 결정할 수 있는 요소이므로 이것을 포식하는 생물들의 수직적 분포를 결정할 수 있는 요인이 될 수 있다. 본 연구는 참담치 치패에 대해 광색에 따른 성장, 생존, 여과율을 분석, 비교함으로써 효율적인 육상양식시설 설치에 대한 기초자료로 활용되기 위하여 실시되었다.

참담치 치패의 광색에 따른 성장률 비교 연구에서 황색광 실험구가 각고 성장률(GR_{SH})과 전중량 상대성장률(SGR)이 각각 14.97±11.83%, 1.33±1.19%/day로 다른 광색 실험구에 비해 유의적으로 가장 낮게 나타났다($p<0.05$). 반면에 녹생광 실험구에서 각고 성장률과 전중량 상대성장률이 각각 25.99±11.06%, 2.05±0.74%/day로 다른 실험구에 비해 유의적으로 가장 높게 나타났다($p<0.05$). 녹색광은 효과적으로 어류의 스트레스 저항성을 강화할 수 있는 반면, 장파장인 적색광은 어류에 압력을 가하고 나아가 생리적 기능에 부정적인 영향을 미치는 경향이 있는 것으로 나타났다(Choi et al., 2014, 2015). 반면, 단파장인 청색광과 녹색광은 어류의 경우 barfin flounder, *Verasper moseri* (Yamanome et al., 2009), Spotted halibut *Verasper variegatus*, Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (Shimizu et al., 2019), turbot, *Scophthalmus maximus* (Wu et al., 2021), 갑각류는 giant freshwater prawn, *Macrobrachium osenbergii* (Wei et al., 2021), whiteleg shrimp, *Penaeus vannamei* (Fei et al., 2020a; b), 극피류 sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (Yang et al., 2020) 그리고 연체동물은 pacific ablone, *Haliotis discus discus* (Gao et al., 2016), *Babylonia areolata* (Zhong et al., 2023)의 성장을 촉진할 수 있는 것으로 나타났다. 백색 배경은 어류의 성장을 촉진하는 것으로 나타났으며, 흑색 배경에 비해 백색 배경에서 사육된 어류의 뇌에서 멜라닌 농축호르몬(Melatonin Concentration Hormone, MCH) 체세포 및 조직 함량의 증가에 근거하여 MCH와의 연관성을 제시하였다(Amiya et al., 2005, 2008; Yamanome et al., 2005). 또한 Takahashi et al. (2018)는 녹색광을 이용한 조도가 성장과 내분비 기능에 미치는 영향에 대한 연구에서 조도 의존적 성장이 관찰되었으며, 이는 MCH와 관련이 있는 것으로 제시되었다. Shimizu et al.(2019)도 녹색광과 청색광이 체세포 성장을 촉진하는 가장 효과적인 색이며, 더 긴 파장인 적색광에서는 약한 자극을 생성하였는데 이는 MCH와 연관이 있다고 하였다.

연체동물의 광색에 대한 연구는 많지 않지만, Gao et al.(2016)의 연구에서는 abalone, *Haliotis discus hannai* 유생이 청색 및 녹색광(단파장)에서 현저하게 증가된 성장을 보였으므로, 배아 발달 중에 발생된 조직이나 기관, 특히 안점(eye-spot) 출현 이후에, 서로 다른 광색에 반응할 가능성이 있으며, 안점의 일부 광색소는 유생의 광색 식별 능력에 상당한 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 또한 청색광 자극이 giant clam인 *Tridacna noae, T. squamosa, T. squamosa*의 성장 및 탄산염의 침착을 상당히 촉진한다고 하였다. 이러한 요인으로 청색광이 광합성 효율을 증가시키고, 내부 pH 및 탄산염 광물의 포화를 높여 조개 껍질 형성에

중요한 요소인 칼슘의 대사를 증가시키기 때문이라고 하였다(McConanughey et al. 1997; Ip et al. 2018; Chew et al. 2019; Rossbach et al. 2019). Blue mussel, *Mytilus edulis*는 적색광의 24시간 연속 노출이 그림자 반응(shadow response)를 담당하는 광수용체 세포의 더 낮은 증식률을 유도하면서 낮은 성장을 보였다(Nielsen and Strömgren, 1985).

참담치 치패의 광색에 따른 생존율 비교 연구에서는 황색광과 녹색광이 모두 98.3±2.9%로 다른 실험구보다 낮은 값을 보였지만 유의적인 차이가 없었으며, 98% 이상의 생존율을 보이고 있어 광색은 생존에는 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

참담치 치패의 광색에 따른 여과율 비교 연구에서는 황색광 실험구가 15.60±4.47 ㎖/g/hr로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 녹색광 실험구에서 22.28±6.63 ㎖/g/hr로 가장 높은 값을 나타났지만 실험구 간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. Christoforou et al.(2023)는 blue mussel, *M. edulis*가 녹색광 실험구에서 패각 개폐 빈도와 개방 시간 비율이 높아 백색광, 적색광에 비해 더 활동적인 모습을 보였다고 하였다. 또한 어류의 경우 녹색광 조건에서의 MCH 증가는 멜라토닌(melatonin) 분비를 촉진하며 이로 인해 먹이량 섭취 증가와 체세포 성장으로 연결되어진다(Shimizu et al., 2019). 이러한 이유로 녹색광에서 참담치 치패의 먹이 섭취 활동이 증가하였고, 다른 광색 조건보다 더 높은 각장, 각고, 전중량 성장을 보인 것이라고 추측된다. 하지만 이후 참담치의 광색에 대한 생리적 기작에 대한 추가 연구가 필요할 것이라고 사료된다.

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. General and Comparative Endocrinology 143(3), 251~256. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2005.04.012

Amiya N, Amano M, Yamanome T, Yamamori K and Takahashi A(2008). Effects of background color on GnRH and MCH levels in the barfin flounder brain. General and Comparative Endocrinology 155(1), 88~93. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2007.03.007

Bayarri MJ, Madrid JA and Sánchez Vázquez FJ (2002). Influence of light intensity, spectrum and orientation on sea bass plasma and ocular melatonin. Journal of Pineal Research 32(1), 34~40. https://doi.org/10.1034/j.1600-079x.2002.10806.x

Chew SF, Koh CZ, Hiong KC, Choo CY, Wong WP, Neo ML and Ip YK(2019). Light-enhanced expression of Carbonic Anhydrase 4-like supports shell formation in the fluted giant clam *Tridacna squamosa.* Gene 683, 101~112. https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.10.023

Chiang JY, Chen YC and Chen YF(2011). Underwater image enhancement: using wavelength compensation and image dehazing (WCID). In International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. Proceedings 13. Springer Berlin Heidelberg, 372~383.

Choi JY, Song JA, Shin HS, Choi YJ, Kim BS, Yun SG and Choi CY(2014). Effect of LED light spectra on circadian rhythms in goldfish *Carassius auratus*: expression profiles following thermal stress. Biological Rhythm Research 45(6), 895~908. https://doi.org/10.1080/09291016.2014.929854

Choi YJ, Yang SG, Jung MM, Kim BS, Yun SG and Choi CY(2015). Effects of waterborne selenium on toxic and physiological stress response in goldfish, *Carassius auratus.* Molecular & Cellular Toxicology 11, 35~46. https://doi.org/10.1007/s13273-015-0005-7

Christoforou E, Dominoni D, Lindström J, Diamantopoulou C, Czyzewski J, Mirzai N and Spatharis S(2023). The effects of artificial light at night (ALAN) on the gaping activity and feeding of mussels. Marine Pollution Bulletin 192, 115105. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115105

Coughlan J(1969). The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. Marine Biology 2(4), 356-358.
https://doi.org/10.1007/BF00355716

Fei F, Gao X, Wang X, Liu Y, Bin H and Liu B(2020a). Effect of spectral composition on growth, oxidative stress responses, and apoptosis-related gene expression of the shrimp, *Penaeus vannamei*. Aquaculture Reports 16, 100267.
https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100267

Fei F, Liu B, Gao X, Wang X, Liu Y and Bin H(2020b). Effects of supplemental ultraviolet light on growth, oxidative stress responses, and apoptosis-related gene expression of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 520, 735013.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735013

Gao X, Li X, Zhang M, Chi L, Song C and Liu Y(2016). Effects of LED light quality on the growth, survival and metamorphosis of *Haliotis discus hannai* Ino larvae. Aquaculture Research 47(12), 3705~3717.
https://doi.org/10.1111/are.12980

Godwin B(2021). Penetration of visible radiation from sunlight through water. University of Minnesota Sea Grant Program.

Head AB and Malison JA(2000). Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress responses of yellow perch *Perca flavescens.* Journal of the World Aquaculture Society 31(1), 73~80.
https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00700.x

Ip YK, Hiong KC, Lim LJY, Choo CYL, Boo MV, Wong WP, Neo ML and Chew SF(2018). Molecular characterization, light-dependent expression, and cellular localization of a host vacuolar-type H^+-ATPase (VHA) subunit A in the giant clam, *Tridacna squamosa,* indicate the involvement of the host VHA in the uptake of inorganic carbon and its supply to the symbiotic zooxanthellae. Gene 659, 137~148.
https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.03.054

Kim JK, Mao Y, Kraemer G and Yarish C(2015). Growth and pigment content of *Gracilaria tikvahiae* McLachlan under fluorescent and LED lighting. Aquaculture 436, 52~57.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.037

Kühl M, Cohen Y, Dalsgaard T, Jørgensen BB and Revsbech NP(1995). Microenvironment and photosynthesis of zooxanthellae in scleractinian corals studied with microsensors for O_2, pH and light. Marine Ecology-Progress Series 117(1-3), 159~172.
https://pure.mpg.de/rest/items/item_3154399/component/file_3163696/content

Marchesan M, Spoto M, Verginella L and Ferrero EA(2005). Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest. Fisheries Research 73(1-2), 171~185.
https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.12.009

McConnaughey TA, Burdett J, Whelan JF and Paull CK(1997). Carbon isotopes in biological carbonates: respiration and photosynthesis. Geochimica et Cosmochimica Acta 61(3), 611~622.
https://doi.org/10.1016/S0016-7037(96)00361-4

Min DG(2004). Mollusks in Korea, Hangul graphics. 375~383.

Nielsen M and Strömgren T(1985). The effect of light on the shell length growth and defaecation rate of *Mytilus edulis* (L.). Aquaculture 47, 205~211.
https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90066-3

Noar A, Segev N and Bressler K(2003). The influence of the pineal organ and melatonin on the reproductive system and of light intensity and wavelength on melatonin in the gilthead sea bream (*Sparus aurata*). Virtual 1(1), 230~239.
https://sid.ir/paper/648838/en

Qin YX, Lin DY and Hui SYR(2009). A simple method for comparative study on the thermal performance of light emitting diodes (LED) and fluorescent lamps. In 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 152~158.

Qiu DG, Xu SH, Song CB, Chi L, Li X, Sun GX, Liu BL and Liu Y(2015). Effects of spectral composition, photoperiod and light intensity on the gonadal development of Atlantic salmon *Salmo salar* in recirculating aquaculture systems (RAS). Chinese Journal of Oceanology and Limnology 33(1), 45~56.
https://doi.org/10.1007/s00343-015-4011-3

Rossbach S, Saderne V, Anton A and Duarte CM(2019). Light-dependent calcification in Red Sea

giant clam *Tridacna maxima*. Biogeosciences 16(13), 2635~2650.
https://doi.org/10.5194/bg-16-2635-2019

Shimizu D, Kasagi S, Takeuchi R, Maeda T, Furufuji S, Mizusawa K, Andoh T and Takahashi A(2019). Effects of green light on the growth of spotted halibut, *Verasper variegatus*, and Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus,* and on the endocrine system of spotted halibut at different water temperatures. General and Comparative Endocrinology 271, 82~90.
https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.11.005

Song CB, Qiu DG, Wang JL, Yu KS and Liu Y(2013). The application analysis of LED light source in recirculating aquaculture industry. China Illuminating Engineering Journal 16(24), 127~132. [in Chinese]

Takahashi A, Kasagi S, Murakami N, Furufuji S, Kikuchi S, Mizusawa K and Andoh T(2018). Effects of different green light intensities on the growth performance and endocrine properties of barfin flounder *Verasper moseri.* General and Comparative Endocrinology 257, 203~210.
https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.04.003

Vera LM, Madrid JA and Sanchez-Vazquez FJ(2006). Locomotor, feeding and melatonin daily rhythms in sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). Physiology & Behavior 88(1-2), 167~172.
https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.03.031

Volpato GL and Barreto RE(2001). Environmental blue light prevents stress in the fish Nile tilapia. Brazilian Journal of Medical and Biological Research 34, 1041~1045.
https://doi.org/10.1590/S0100-879X2001000800011

Wei J, Tian L, Wang Y, Yu L and Zhu X(2021). Effects of salinity, photoperiod, and light spectrum on larval survival, growth, and related enzyme activities in the giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii.* Aquaculture 530, 735794.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735794

Wu LL, Wang YN, Li J, Song ZC, Xu SH, Song CB, Han MM, Zhao HX, Zhou L, Wang YF, Li X and Yue XL(2021). Influence of light spectra on the performance of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture 533, 736191.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736191

Xiaolong G, Mo Z, Huiqin T, Jimeng Z, Xian L, Changbin S and Ying L(2016a). Effect of LED light quality on respiratory metabolism and activities of related enzymes of *Haliotis discus hannai.* Aquaculture 452, 52~61.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.005

Xiaolong G, Mo Z, Xian L, Ce S, Changbin S and Ying L(2016b). Effects of LED light quality on the growth, metabolism, and energy budgets of *Haliotis discus discus*. Aquaculture 453, 31~39.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.033

Xiaolong G, Xian L, Meijie L, Changbin S and Ying L(2016c). Effects of light intensity on metabolism and antioxidant defense in *Haliotis discus hannai* Ino. Aquaculture 465, 78~87.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.010

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(1-4), 323~329.
https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.020

Yamanome T, Mizusawa K, Hasegawa EI and Takahashi A(2009). Green light stimulates somatic growth in the barfin flounder *Verasper moser*i. Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological Genetics and Physiology 311(2), 73~79.
https://doi.org/10.1002/jez.497

Yang M, Chen Z, Hu F, Sun J, Ding J, Chang Y and Zhao C(2020). Light spectra regulated foraging and feeding behaviors shed light on stock enhancement of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. Aquaculture Reports 18, 100480.
https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100480

Zhong MC, Liu XK, Xu R, Liu XJ, Jiang QC, Song XY, Lu YN, Luo X, Yue CY, Qin S and Lü WG(2023). Effects of light quality and intensity on the juvenile physiological metabolism of *Babylonia areolata.* Aquaculture Reports 33, 101758.
https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101758

• Received : 30 May, 2024
• Revised : 02 July, 2024
• Accepted : 08 July, 2024