

황복 *Takifugu obscurus*의 성장, 꼬리지느러미 형태, 체조성과 체색에 미치는 조도의 영향

강희웅* · 강덕영 · 조기채 · 이진호 · 박광재 · 임치원¹ · 김규희

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹국립수산과학원 생명공학연구소

Effect of Light Intensity on Growth, Caudal Fin Shape, Body Composition and Skin Color of River Puffer, *Takifugu obscurus*

Hee Woong Kang*, Duk Young Kang, Ki Chae Jo, Jin Ho Lee, Kwang Jae Park, Chi Won Lim and Gyu Hee Kim¹

West Sea Fisheries Research and Development Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

¹Biotechnology Research Institute, NFRDI, Busan 619-705, Korea

The present experiment was carried out to study the effects of light intensity on growth, survival, caudal fin shape, body composition, skin color and blood component of river puffer, *Takifugu obscurus*. Four light intensities (0, 500, 1,000, 2,000 lx) were tested in duplicates for 60 days. Specific growth rate (SGR), daily feeding rate (FR) and food coefficient (FC) were reduced following to the decrease of light intensity. However in survival rate there was not significantly different among groups. The damage extent of caudal fin was increased in more strong light intensity. In body composition, moisture and crude protein were only significantly difference according to light intensity. In body color, *L* and *a* were the highest in 0 lx. In blood analysis, the content of AST, ALT, GLU significantly increased in more powerful the intensity groups. It is concluded that the supplement of low light intensity (e.g. 0 lx) recommended for the commercial scale aquaculture of river puffer in land-based tank without growth and survival retardation.

Key words : light intensity, growth, body composition, skin color, *Takifugu obscurus*

서 론

황복, *Takifugu obscurus*은 소하성 어류로서, 산란기에 번식을 위해 강으로 이동하며 부화된 유생은 바다로 이동하기 전에 몇개월 동안 강에서 성장하는 어류로 알려져 있다 (Yang and Chen, 2003). 또한 황복은 복어목 참

복과의 어류로서 자주복, 참복 등과 더불어 복어류 중 우리나라에서 가장 높은 시장가격에 팔리는 최고급 요리의 물고기에 속한다 (국립수산과학원, 2006). 대부분의 어류는 정상적으로 발달하고 성장하기 위한 먹이 포획과 섭식을 위해 최소한의 조도가 필요하다 (Blaxter, 1986; Boeuf and Le Bail, 1989). 그러나 높은 조도는 어류에게 스트레스를 제공하여, 과도할 경우 사망을 유도하기도 한다 (Almazán-Rueda *et al.*, 2004). 어류의 성장과 관련지어 광 (light)에 관해서는 성질 (wavelength), 양

*Corresponding author: hwwang@nfrdi.re.kr

(light intensity), 주기성 (photoperiod)에 대해 연구가 이루어져 있다 (Boeuf and Le Bail, 1989). 자어나 치어의 생존과 성장에 관한 조도의 영향은 넙치과 어류 자어 (Blaxter, 1986), 대구 자어 (Huse, 1994), 대구 치어 (Trippel and Neil, 2003) 등에서 연구되었다. 조도는 또한 어류의 유영행동 (Almazán-Rueda *et al.*, 2004)과 섭식 (Petrell and Ang, 2001), 공식 (Kestemont *et al.*, 2003), 체색 (Rotllant *et al.*, 2003; Van der Salm *et al.*, 2004), 생리호르몬 (Boeuf and Le Bail, 1989), 변태 (Appelbaum and Kamler, 2000) 등에 영향을 미친다. 비록 이런 연구들은 어류 유생기의 섭식과 행동에 관한 조도의 영향에 대한 일부 정보는 제공하였지만, 성장과 생존에 있어 조도의 장기간 영향은 밝혀지지 않았다.

어류의 성장에 관한 조도의 영향은 중요하며 생활양상에 따라 다른 양식전략을 필요로 한다. 오스트리아산 돛류, *Pagrus auratus*의 경우, 양식산이 자연산에 비해 체색이 검거나 옅은 색체를 나타내는데, 이런 색체의 차이는 조도에 의한 영향으로 보고 있으며, 상품을 판매할 때 낮은 가격을 받게 되어 경제적인 손실을 초래한다 (Booth *et al.*, 2004). 황복의 경우에도 양식장에서 사육되었을 때 체색이 옅게 나타나 중국산으로 오해받는 경우가 있어 특정 조도에서 사육시 체색의 변화 조사가 필요하다. 본 연구는 육상양식장에서 조도별 사육을 통해 성장, 꼬리지느러미의 정상도, 체성분, 혈액분석 등을 밝혀 황복 양식산업화 발전에 기여하는 기초자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어와 사육조건

실험용 황복은 경기도 김포의 육상수조식 황복양식장에서 사육 중이던 2005년산 종묘 (평균 체중 87.7 ± 1.9 g)를 이용하였다. 사료는 하루에 두번 (09:30, 16:00) 공급하였고, 시판용 황복 침강사료 (조단백질 45.0% 이상, 조지방 4.0% 이상, 조섬유 5.0% 이하, 조회분 20.0% 이하, 칼슘 1.20% 이상, 인 2.70% 이하, SCF社)를 사용하였다. 실험은 수조색이 녹색색인 FRP 사각수조 ($120 \times 120 \times 75$ cm, 수용적: 860 L)에서 유수식으로 수행하였다. 각 수조의 사육수 공급량은 시간당 200 L이었다. 사육수조내의 배설물은 매일 사이폰과 배수밸브를 열어 제거하였다. 실험기간 동안 수온, 염분, 용존산소는 Oxygen, Salinity and Temperature system (YSI Mode 85, USA)로 pH는 pH Meter (YK-2001pH, Taiwan)를 이용하여 매일 측정하였고, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 1주 간격으로 측정

하였다. 수온은 $21.6 \sim 27.6^\circ\text{C}$ ($24.7 \pm 0.2^\circ\text{C}$), 염분은 $25.8 \sim 31.0\%$ ($29.2 \pm 0.2\%$), 용존산소는 $5.1 \sim 7.6$ mg/L (6.3 ± 0.1 mg/L), pH는 $6.1 \sim 8.3$ (7.6 ± 0.1), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0 mg/L, $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 0 mg/L이었다.

2. 실험디자인

조도별 실험구는 0, 500, 1,000, 2,000 lx의 4개구였으며, 각 실험구는 2반복으로 설정하였다. 조도는 0 lx구를 제외하고 36 W 형광등을 각 수조위의 1 m에 설치하여 조절하였으며, 모두 검정색 천막을 이용하여 덮었다. 조도는 각 사육수조의 사육수 표면에서 조도계 (Lux meter, LX-3010, Japan)를 이용하여 측정하였다. 0 lx구를 제외하고 각각의 실험구는 자동타이머를 설치하여 12시간 명기 (07:00~19:00)와 12시간 암기 조건으로, 0 lx구는 24시간 암기였다. 실험어는 각 수조당 40마리씩 수용하여, 60일간 사육하였다. 매일 각 수조별로 반복 공급한 후 사료섭취량을 조사하였고, 죽은 개체는 체중을 측정 후 제거하였으며, 생존율을 계산하였다.

3. 성장 및 꼬리지느러미형태 비교

성장도는 실험 개시시, 실험 종료시에 총 60일 사육기간동안 모든 실험구의 사육개체를 조사하였다. 측정시 실험어를 Aquis 10 (Isoeugenol, Newzealand Ltd) 300 ppm 농도로 3분간 마취 후 전장, 체장, 체중을 조사하였다. 꼬리지느러미의 정상도는 실험 개시시와 종료시 육안으로 5단계 구별하여 정상형태인 E를 기준으로 A=10%, B=30%, C=60%, D=90%, E=100%로 구분하였다. 또한 실험 종료시 일간성장률 (specific growth rate; SGR) = $100 \times [\ln(\text{최종 평균체중}) - \ln(\text{최초 평균체중})] / \text{사육일수}$, 일일사료섭취율 (feeding rate: FR) = $100 \times \text{사료섭취량} / \{(\text{실험 개시시 체중} + \text{실험 종료시 체중}) / 2\} \times \text{사육일수}$, 사료계수 (food coefficient: FC) = $\text{먹이공급량} / \text{증중량}$, 비만도 (condition factor: CF) = $100 \times (\text{체중} / \text{체장}^3)$ 를 조사하였다.

4. 체성분 분석

어체의 성분분석을 위하여 실험 개시시와 종료시 각 실험수조에서 10마리의 시료를 채취하여 -75°C 로 냉동보관하였다. 어체의 수분은 105°C 의 dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조단백질 (N $\times 6.25$)은 Auto Kjeldahl System (VAP500T/TT125, Gerhard)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 ether로 추출하여 측정하였으며, 조회분은 550°C 의 회화로에서 4시간 동안 태운

Table 1. Effect of light intensity on growth and feed utilization of *T. obscurus* (Mean±SE)

Light intensity (lx)	0	500	1,000	2,000
Initial body weight (g)	87.1±1.8	86.9±2.0	86.1±1.9	90.5±1.9
Final body weight (g)	113.9±2.5 ^{bc}	104.6±2.4 ^a	108.7±2.3 ^{ab}	120.0±2.5
SGR (%/day)	0.5±0.0 ^{bc}	0.3±0.0 ^a	0.4±0.0 ^{ab}	0.5±0.0 ^c
FR (%/day)	1.2±0.0 ^a	1.3±0.1 ^a	1.3±0.0 ^{ab}	1.5±0.0 ^b
FC	1.3±0.0 ^a	1.7±0.1 ^c	1.6±0.1 ^{bc}	1.5±0.0 ^b
CF	3.0±0.3 ^b	2.9±0.3 ^a	3.1±0.3 ^b	3.1±0.5 ^b
Survival (%)	97.5±2.5	96.3±1.3	97.5±2.5	92.5±5.0

SGR: specific growth rate in wet weight; FR: feeding rate; FC: Food coefficient; CF: condition factor; Means with different superscripts in raw are significantly different ($P < 0.05$).

후 측정하였다.

5. 체색 측정

황복의 체색 (skin color)은 black와 white 스탠다드로 눈금이 조정된 10° 관찰앵글 (Konica minolta sensing, Inc., Japan)과 텅스텐램프가 장착된 Color Reader CR-10 (L, a, b 표색계)을 사용하여 실험종료시에 각 수조에서 5마리를 채집하여 1976년 국제조명위원회 (CIE)에서 규격화된 방법을 이용하여 측정하였다 (Trujillo *et al.*, 1996). *L* (lightness) 값은 명도를 나타내고 (black는 0, white는 100), *a* (Redness) 값은 적색의 양 (+)의 값과 녹색의 음 (-)의 값으로 적색/녹색 수치를 나타내고, *b* (Yellowness) 값은 황색의 양의 값과 청색의 음의 값으로 황색/청색 수치를 나타내었다. 또한 *W* (Whiteness) = $\sqrt{100 - (100 - L)^2 + a^2 + b^2}$ 와 *C* (Saturation) = $\sqrt{a^2 + b^2}$ 를 계산하였다. 체색의 색도값은 각 어체의 양면에 대하여 6회씩 조사하였다.

6. 혈액 분석

혈액분석을 위한 시료는 실험 종료시에 각각 15마리씩 채집하여, 채혈은 헤파린을 처리한 주사기를 이용하여 미부동맥에서 실시하였고, 4°C에서 원심분리 (12,000 rpm, 5분)하여 혈장을 추출하여 분석시까지 초저온냉동기에서 -75°C로 보관하였다. 혈장 aspartate amino-transferase (ALT), alanine aminotransferase (AST), glucose (GLU), total protein (TP) 및 전해질 (Na⁺, K⁺, Cl⁻)은 FUJI DRI-CHEM 3500 *i* (Co. Fujifilm, Japan)에서 분석하였다. 이때 ALT, AST, GLU, TP 전용 kit 슬라이드와 전해질 전용 슬라이드 Na⁺-K⁺-Cl⁻ (Co. Fujifilm, Japan)를 사용하였다.

7. 통계처리

실험결과와 통계처리는 SPSS program을 이용하여

one-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간의 유의성을 검정하였다 ($P < 0.05$).

결 과

1. 성장 및 생존율

조도별로 60일간 사육한 결과, 최종 평균체중은 Table 1에서와 같이 0, 500, 1,000, 2,000 lx 실험구가 각각 113.9±2.5 g, 104.6±2.4 g, 108.7±2.3 g, 120.0±2.5 g이었다. SGR은 2,000 lx구가 0 lx구와는 차이가 없었지만 500 lx구보다는 높게 나타났다 ($P < 0.05$). FR은 다른 실험구간에는 차이가 없는 반면 2,000 lx구에서 높게 나타났다 ($P < 0.05$). FC는 0 lx구가 1.3으로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮았고 500 lx구가 가장 높았다 ($P < 0.05$). CF는 0, 1,000, 2,000 lx구에서는 3.0~3.1이었으나, 500 lx구에서 2.9로 낮게 나타났다. 조도별로 60일간 사육한 결과, 최종 생존율은 전 실험구에서 92.5±5.0~97.5±2.5%로서 조도에 따른 실험구별 유의차는 나타나지 않았다 ($P > 0.05$).

2. 꼬리지느러미의 형태

각 실험구별 꼬리지느러미 형태는 Table 2와 같이 실험 개시시 D형 35.0±0.5%, E형이 65.0±0.4%였다. 실험 종료시 꼬리지느러미 형태는 저조도인 0, 500 lx구에서는 D형이 각각 41.0±3.9%, 36.4±0.8%, E형이 각각 59.0±3.9%, 63.6±0.8%로 실험초기와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 고조도인 2,000 lx의 꼬리지느러미 형태는 E형이 8.1±1.2% 뿐이었으며, A형 6.8±1.1%, B형 18.9±2.8%, C형 33.8±0.5%로 꼬리지느러미 및 뒷지느러미의 결손현상이 심하게 나타났다.

3. 체성분 조성

체성분 조성은 Table 3과 같다. 사육실험 종료 후 수

Table 2. The extent of caudal fin damage in *T. obscurus* reared under different light intensities for 60 days (%: observed rate, Mean±SE)

Experimental group	Fin shape				
	A	B	C	D	E
Initial				35.0±0.5	65.0±0.4
0 lx				41.0±3.9	59.0±3.9
500 lx				36.4±0.8	63.6±0.8
1,000 lx			12.8±1.7	33.3±0.5	53.9±3.2
2,000 lx	6.8±1.1	18.9±2.8	33.8±0.5	32.4±3.2	8.1±1.2

Degree of normality in caudal fin: A=10%, B=30%, C=60%, D=90%, E=100%.

Table 3. Body composition of *T. obscurus* under different light intensities for 60 days (Mean±SE)

Light intensity (lx)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
Initial	80.2±0.1	18.4±0.0	0.5±0.1	1.1±0.0
0	78.6±0.1 ^a	18.3±0.0 ^a	0.4±0.2	1.2±0.0
500	79.1±0.6 ^{ab}	19.2±0.3 ^b	0.4±0.1	1.2±0.1
1,000	80.2±0.1 ^{bc}	19.1±0.3 ^{ab}	0.5±0.1	1.3±0.0
2,000	81.2±0.2 ^c	18.5±0.0 ^{ab}	0.3±0.0	1.2±0.1

^aMeans with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

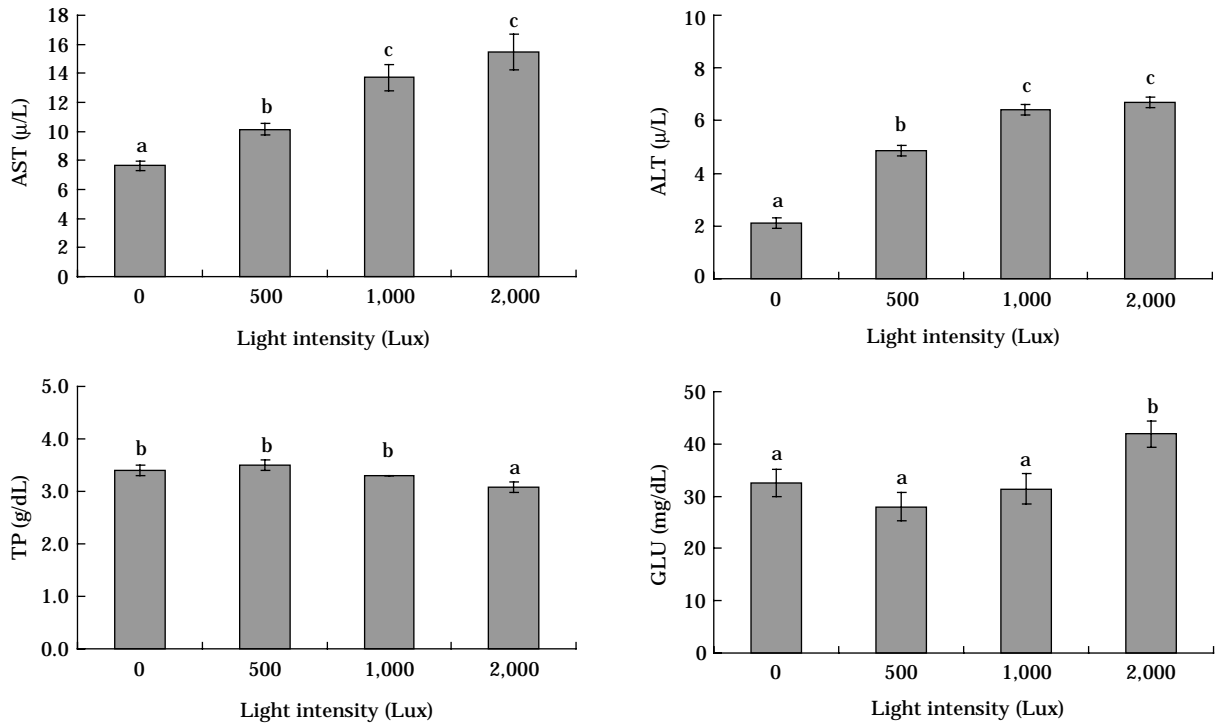


Fig. 1. AST, ALT, total protein, glucose levels in plasma of *T. obscurus* reared in different light intensities ($P < 0.05$).

분은 0, 500 lx구에서는 차이가 없었으며, 2,000 lx구에서는 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 조단백질 함량은 0 lx구와 500 lx구간에는 유의차가 있었고 ($P < 0.05$), 500,

1,000, 2,000 lx구에서는 유의차가 나타나지 않았다 ($P > 0.05$). 조지방과 회분함량에 있어서는 각 실험구별 유의차가 없었다 ($P > 0.05$).

Table 4. Instrumental color analyses of *T. obscurus* under different light intensities (Mean ± SE)¹

Light intensity (lx)	<i>L</i> ²	<i>a</i> ³	<i>b</i> ⁴	<i>W</i> ⁵	<i>C</i> ⁶
0	80.2 ± 0.7 ^b	-4.8 ± 0.5 ^b	25.2 ± 2.1	67.1 ± 1.4 ^b	25.7 ± 2.1
500	74.8 ± 0.8 ^a	-7.9 ± 0.6 ^a	24.4 ± 1.2	63.7 ± 0.6 ^{ab}	25.8 ± 1.1
1,000	75.8 ± 1.0 ^a	-7.5 ± 0.3 ^a	27.2 ± 1.6	62.6 ± 1.3 ^a	28.3 ± 1.5
2,000	79.8 ± 1.1 ^b	-6.9 ± 0.3 ^a	29.4 ± 1.7	63.0 ± 1.4 ^a	30.3 ± 1.6

¹Means with different superscripts are significantly different (*P* < 0.05). ²*L*, lightness; ³*a*, redness; ⁴*b*, yellowness; ⁵*W*, whiteness; ⁶*C*, Saturation.

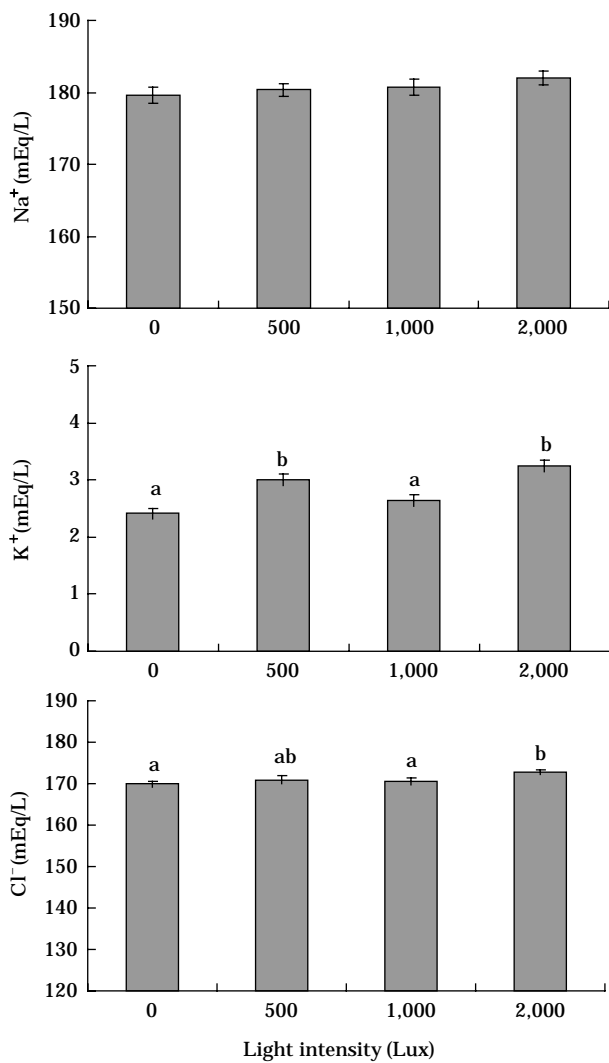


Fig. 2. Ions (Na⁺, K⁺, Cl⁻) levels in plasma of *T. obscurus* reared in different light intensities (*P* < 0.05).

4. 체 색

모든 색체요소에 관한 조도별로 영향은 Table 4와 같다. 황복의 체측면의 체색을 조사한 결과 *L* (명도) 값은 0과 2,000 lx구에서 각각 80.2 ± 0.7, 79.8 ± 1.1로 다른 실험구에 비해 높게 나타났다 (*P* < 0.05). *a* (적색) 값은 다

른 실험구에 비해 0 lx구에서 가장 높게 나타났으며, 모든 실험구의 색체는 옅은 청색이었다. *b* (황색) 값은 각 실험구간 차이가 없이 비슷한 황색을 나타냈다 (*P* > 0.05). *W* (백색) 값은 다른 실험구에 비해 0 lx구가 높게 나타났으며, *C* (채도) 값은 각 실험구가 차이가 없이 비슷하였다 (*P* > 0.05).

5. 혈액분석

사육조도별 혈액분석 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 60일간 사육실험 종료 후 AST는 0 lx구에서 7.6 ± 0.3 μ/L, 500 lx구에서 10.1 ± 0.4 μ/L으로 1,000 lx구 (13.7 ± 0.9 μ/L)와 2,000 lx구 (15.5 ± 1.2 μ/L) 보다 유의하게 낮았으며 (*P* < 0.05), 1,000 lx구와 2,000 lx구간에는 차이가 나타나지 않았다. ALT 농도 역시 0, 500 lx구에서는 2.1 ± 0.2 ~ 4.9 ± 0.2 μ/L으로 1,000 lx구와 2,000 lx구의 6.4 ± 0.2 ~ 6.7 ± 0.2 μ/L와는 유의한 차이가 나타나 AST와 동일한 양상을 보였다 (*P* < 0.05). TP는 0, 500 및 1,000 lx구간에서 3.3 ± 0.0 ~ 3.5 ± 0.1 g/dL으로 차이가 없었으며, 2,000 lx구가 3.1 ± 0.1 g/dL으로 유의하게 낮았다 (*P* > 0.05). GLU 농도는 0, 500 및 1,000 lx구에서 27.9 ± 2.7 ~ 32.5 ± 2.6 mg/dL으로 실험구간 차이가 없었으며 (*P* > 0.05), 2,000 lx구에서는 41.9 ± 2.6 mg/dL으로 다른 실험구에 비해 유의하게 높았다 (*P* < 0.05). Fig. 2에서와 같이 Na⁺ 농도는 179.6 ± 1.1 ~ 182.0 ± 1.0 mEq/L로 각 실험구간에 큰 차이를 보이지 않았다 (*P* > 0.05). K⁺ 농도는 0 lx구와 1,000 lx구에서 2.4 ± 0.1 ~ 2.6 ± 0.1 mEq/L로 차이가 없었으며, 500, 2,000 lx구에서는 3.0 ± 0.1 ~ 3.2 ± 0.1 mEq/L로 유의하게 높았다 (*P* < 0.05). Cl⁻ 농도는 169.9 ± 0.6 ~ 172.7 ± 0.5 mEq/L로 전 실험구간에 큰 차이가 없었다.

고 찰

광 (light)은 어류 유생의 성장과 생존에 중요한 역할을 하며, 조도의 변화, 일주성, 광주기의 계절적 변동을 포함해서 어류의 행동에 영향을 줄 수 있다 (Muntz,

1975; McFarland, 1986). 이 중 조도(light intensity)는 탁도와 수심에 좌우되는 양식에 있어 제한 요소 중의 하나이며, 어종에 따라 반응이 다르고 발달 단계에 따라 다른 것이 보고되어 있다(Boeuf and Le Bail, 1989). 많은 연구에서 대부분 어류는 발생과 성장을 위해 최소한계의 조도를 요구한다고 밝히고 있다. 그러나 광이 너무 강하면 어류에게 스트레스를 제공하고 심지어는 폐사에 이르게 하기도 한다.

황복의 성장은 조도에 의해 유의하게 영향을 받았으며, 농어, *Dicentrarchus labrax* 자어에서 1,400~3,500 lx (Barahona-Fernandes, 1979), 대서양 대구, *Gadus morhua* 자어에서 2,400 lx (Puvanendran and Brown, 2002) 등 몇 종의 어류처럼 낮은 조도보다는 강한 조도에서 성장이 향상되었다. 본 연구에서 FR은 2,000 lx에서 가장 양호하였으며, 0 lx에서는 1.2로 가장 낮게 나타나 조도가 약한 사육환경에서는 황복의 먹이섭취율이 낮았다. SGR 역시 0, 2,000 lx에서 사육했을 때 유의하게 높게 나타났는데, 2,000 lx의 경우에는 사육실험 30일후부터 사육수조 벽면과 저면에 흑갈색 미세조류가 번식하여 약간 어두운 환경이 조성됨으로서 황복이 안정되어 성장이 빨라졌을 것으로 생각된다.

아프리카산 메기, *Claris gariepinus*의 경우 0 lx 전후의 낮은 조도하에서 유영력이 줄고 산소를 작게 소비하며 더욱 많은 에너지를 성장쪽으로 전환하였는데 (Appelbaum and Kamler, 2000), 황복에 있어서도 조도가 거의 없는 0 lx에서 활동성이 적어, SGR이 높게 나타났다고 볼 수 있다. FC는 다른 실험구에 비해 저조도인 0 lx에서 1.3으로 유의하게 낮게 나타났다. 본 연구에서 조도에 따른 생존율은 92.5~97.5%로 실험구간 유의한 차이는 없었다.

황복의 공격성에 의한 꼬리지느러미의 형태는 조도가 높아지면 유영행동이 활발해지면서, 어류간에 충돌 확률은 증가하므로 서로간에 공격하기가 쉽게 된다(Almazán-Rueda et al., 2004). 밝은 광에서, 낮에 활동하면서 먹이를 섭취하는 어류는 유영행동이 증가하고 반동적인 거리가 증가하면서 시각적인 예민함이 커진다(Puvanendran and Brown, 2002). 어류는 먹이 섭취행동이 시각, 화학적, 촉각 또는 전기적 감각에 따라 현저하게 다르게 분류된다(Schwassmann and Meyer, 1971). 어두컴컴한 때 먹이를 섭취하는 어류(crepuscular feeding fish)는 시각보다는 감각방식을 이용하는데 아마 촉각 또는 회미한 광에서 활동력이 증가하는 후각적인 자극을 포함하고 있다(Townsend and Risebrow, 1982).

조도별 사육에 따른 영양염의 변화는 사육실험 기간 동안 유수식 사육조건으로 NO₂-N이 0 mg/L, NH₄-N이

0 mg/L으로 나타나 실험구별 영양염 농도에 따른 황복 꼬리지느러미의 부식현상은 영향을 받지 않았다고 생각된다.

황복은 축제식 양식장의 매우 높은 조도에서는 낮 동안에 양식장 표층으로 올라오지 않고 일출 전이나 일몰 직후에 먹이 섭취가 활발하여 약간 어두컴컴한 때 먹이를 섭취하는 어류의 경향을 보인다. 어두컴컴한 때 먹이를 섭취하는 어류인 메기류, *Leiocassis longirostris*의 공식은 조도에 영향을 받으며 피부나 등지느러미에 많은 손상을 준다(Han et al., 2005). 메기류, *Claris gariepinus*의 경우 피부에 더 큰 상처를 주게 되면 질병에 감염되기 쉽고 심지어는 폐사하기도 하며(Kaiser et al., 1995), 농어류, *Dicentrarchus labrax*에서는 자어 공식이 70~80% 정도 유발되었다고 보고된 바 있으며, 자치어기에는 40~50%가 폐사되기도 한다(Cuvier-Péres et al., 2001).

본 연구에서 실험구별 황복 꼬리지느러미의 형태 차이는 Table 2에서와 같이 0, 500 lx구에서는 거의 정상형태를 보인 반면, 2,000 lx구에서는 꼬리지느러미의 많은 손상이 보여 조도가 높을 때 먹이 섭취시나 유영활동시 공격성(몰어뜯는 행동)으로 나타났고, 그것은 아마 세력권 행동에 의한 원인으로 볼 수 있다. 이러한 결과는 고조도에서 사람의 그림자에 민감하게 반응해서 신경질적으로 수조 벽면에 부딪히는 자주복에서도 비슷하게 나타나 고조도에 의한 스트레스 증대 가능성이 있다고 본다(Hiroyuki, 1997). 꼬리지느러미의 정상도 차이는 사육조건에 따라 나타나는 스트레스에 기인하는 것으로 수조의 색깔, 사육밀도에도 영향을 받을 것으로 생각된다. 꼬리지느러미의 정상도가 저조도에서 높게 나타나는 것은 이로 몰어뜯는 현상이 억제되기 때문이다.

황복 전이체 체성분의 수분 함량은 조도가 증가함에 따라 증가하여 2,000 lx구에서 81.2±0.2%로 가장 높게 나타났으며, 조지방과 회분 함량은 실험구별 차이가 나타나지 않았다. 조단백질 함량은 500~2,000 lx 실험구보다 0 lx 실험구에서 감소하였는데 이는 조도의 따른 환경적응단계에서 활동에너지원으로서 소모가 적었기 때문으로 판단된다.

황복 체표면의 L(명도)과 W(백색)의 표색계 값의 차이는 0 lx 실험구에서는 유의하게 높게 나타났고, 500, 1,000 lx의 실험구는 체색이 약간 어둡게 변했다는 것을 의미하며, 메기류, *Leiocassis longirostris* 치어에 있어서도 조도가 증가함에 따라 체색이 어둡게 변하였다(Han et al., 2005). 2,000 lx구의 L 값은 청록색 사육수조에 흑갈색 부착구조류가 번식하여 수조 저층의 수중 조도가 400 lx 전후로 0 lx구와 비슷한 결과는 나타났다고 볼 수

있다. 2,000 lx 시험구에서 황복 체색의 L 값은 투과된 수직 조도보다는 부착 구조류에 의한 수조색(혹갈색)의 반사광에 의한 영향도 받았을 것으로 생각된다. 오스트리아산 돛류, *Pagrus auratus*는 수조의 차광율이 증가함에 따라 L 값이 유의적 증가하였는데 이것은 햇빛에 노출이 감소됨으로서 melanism(혹색증)이 감소한 원인으로 볼 수 있으며, 또한 조도가 양식산 돛류의 L 값에 영향을 미치는 중요한 요소로 보고하였다(Booth *et al.*, 2004). 황복 체색의 b 값은 24.4~29.4로 황복 특유의 노란색이 높게 나타났다.

축제식 양식장에서 사육한 황복의 경우에는 표색계에 의한 체색을 조사하지 않았지만 육안으로 관찰시 육상 양식장에 비해 밝은 색을 나타내어 축제식 환경이 자연 광인 햇빛에 직접 노출되었기 때문이라 생각된다.

혈액성분 분석은 매우 유용한 생태독성학적 방법으로 AST와 ALT는 아민기 전이 효소로서 척추동물의 간 기능을 나타내는 일반적인 지표로서 이용되며, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 괴사, 병적 증상이 일어날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다(池田 等, 1986; 민 등, 2006). 어류, 새우류에서 수온변화, 저산소, pH, 암모니아, 조도, 삼투압, 중금속 등에 의한 스트레스 반응을 평가하는 데에 사용되고 있다(Pan *et al.*, 2003; 민 등, 2006). 또한 Glucose도 어체가 스트레스를 받을 때 증가한다(McDonad and Milligan, 1997). 본 연구에서 AST와 ALT는 고조도인 1,000, 2,000 lx구에서는 0, 500 lx구와 비교하여 유의하게 높게 나타나 이것은 Table 2에서 보는 것처럼 고조도에서 황복이 스트레스를 받아 공격성이 높아졌으며 그로 인해 상처를 입은 지느러미에 의해 AST, ALT 값이 높아진 것으로 보인다. Glucose의 경우에도 2,000 lx구에서 유의하게 높게 나타나, 고조도에 의한 영향으로 간주된다. 어체는 급성 스트레스를 받으면 전해질 조절에 혼란이 일어나 이를 극복하기 위해서는 대사조절 능력이 저하되고, 이로 인해 외부 환경에 따라 혈중 전해질 농도가 변하게 된다(Davis and Parker, 1990; Avella *et al.*, 1991; 전 등, 2000). 본 연구에서는 조도에 따른 Na^+ 농도는 불균형이 일어나지 않았으나 K^+ , Cl^- 농도에 있어서는 장기간의 조도에 따라 삼투압 조절 능력이 떨어져 시험구별로 안정적이지 못한 결과를 나타내었다.

적 요

본 연구는 육상양식장에서 황복의 조도별 사육실험을 통해 성장, 꼬리지느러미 정상도, 체성분, 체색, 혈액분석

등을 조사하고자 하였다. 조도 0, 500, 1,000, 2,000 lx에서 60일간 사육한 결과, SGR은 0 lx와 2,000 lx구에서 높았으며, FR은 2,000 lx구에서 유의하게 높았다. FC는 0 lx구에서 다른 시험구에 비해 유의하게 낮았으며, 최종 생존율은 전 시험구에서 $92.5 \pm 5.0 \sim 97.5 \pm 2.5\%$ 로 유의차는 나타나지 않았다. 꼬리지느러미 정상도는 0, 500 lx구에서 59.0~63.6%로 저조도에서 양호하였다. 체성분 조성에 있어서는 조도별로 수분과 조단백질이 유의한 차이를 보였으며, 체색은 0 lx구에서 L 과 a 값이 가장 높게 나타났다. 혈액분석 결과, 조도가 높아짐에 따라 혈장 내 AST, ALT, GLU 농도는 유의하게 증가하였다. 육상양식장에서 황복의 상품성과 스트레스 안정면에서는 고조도보다는 0 lx 전후의 저조도가 적당한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 경상연구과제(서해 특산품 종 양식산업화 기술개발, RP-2007-AQ-030)의 일환으로 진행되었음에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 국립수산물과학원 서해수산연구소. 2006. 황복양식 매뉴얼. 서해 수산연구소, pp. 1~194.
- 민병화 · 노경언 · 정민환 · 강덕영 · 최철영 · 방인철 · 장영진. 2006. 담수 및 해수사육 감성돔, *Acanthopagrus schlegelii*의 생리활성과 성장에 미치는 감상선 호르몬의 효과. 한국양식학회지, 19 : 149~156.
- 전중균 · 김병기 · 박용주 · 명정구 · 김종만. 2000. 그물작업에 의한 은연어의 스트레스 반응. 한수지, 33 : 115~118.
- Almazán-Rueda, P. Schrama and J.W. Verreth. 2004. Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Charias gariepinus*) juveniles. Aquaculture, 231 : 347~359.
- Appelbaum. S. and E. Kamler. 2000. Survival, growth, metabolism and behaviour of *Charias gariepinus* early stages under different light conditions. Aquac. Eng, 22 : 269~287.
- Avella, M., C.B. Schreck and P. Prunet. 1991. Plasma prolactin and cortisol concentrations of stressed coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in freshwater. Gen. Comp. Endocrinol., 81 : 21~27.
- Barahona-Fernandes. M.H. 1979. Some effects of light intensity and photoperiod on the sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) reared at the Centre Oceanologique de Bretagne. Aquaculture, 17 : 311~321.

- Blaxter, J.H.S. 1986. Visual thresholds and spectral sensitivity of flatfish larvae. *J. Exp. Bio.*, 51 : 221~230.
- Boeuf, G. and P.Y. LeBail. 1989. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, 177 : 129~152.
- Booth, M.A., R.J. Warner-Smith, G.L. Allan and B.D. Glencross. 2004. effects of dietary astaxanthin source and light manipulation of the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus*. *Aquac. Res.*, 35 : 458~464.
- Cuvier-Peres, A., S. Jourdan, P. Fontaine and P. Kestemont. 2001. Effects of light intensity on animal husbandry and digestive enzyme activities in sea bass *Dicentrarchus labrax* post-larvae. *Aquaculture*, 202 : 317~328.
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass : effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91 : 349~358.
- Han, D., S. Xie, W. Lei, X. Zhu and Y. Yang. 2005. Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther). *Aquaculture*, 248 : 299~306.
- Hiroyuki, H. 1997. Influence of the tank color, light intensity and rearing density on the growth and the shape of caudal fin in juvenile tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 63 : 734~738.
- Huse, I.J. 1994. Feeding at different illumination levels in larvae of three marine teleost species: cod, *Gadus morhua* L., plaice, *Pleuronectes platessa* L., turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *Aquac. Fish. Manage.*, 25 : 687~695.
- Kaiser, H., O. Weyl and T. Hecht. 1995. Observations on agonistic behaviour of *Claris gariepinus* larvae and juveniles under different densities and feeding frequencies in a controlled environment. *J. Appl. Ichthyol.*, 11 : 25~36.
- Kestemont, P., S. Jourdan, M. Houbart, C. Mélard, M. Paspatis, P. Fontaine, A. Kentouri and E. Baras. 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*, 227 : 333~356.
- McDonald, G. and L. Milligan. 1997. Ionic, osmotic and acidbase regulation in stress. In: Iwama, G.W., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck, C.B. (Eds.), *Fish stress and Health in Aquaculture*. University Press, Cambridge, pp. 119~144.
- McFarland, W.N. 1986. Light in the seacorrelations with behaviour of fishes and invertebrates. *Am. Zool.*, 26 : 389~401.
- Muntz, W.R.A. 1975. Behavioural studies of vision in a fish and possible relations to the environment. In: Ali, A.M. (Ed.), *Vision in Fishes: New Approaches in Research*. Plenum, New York, pp. 705~717.
- Pan, C.H., Y.H. Chien and B. Hunter. 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 297 : 107~118.
- Petrell, R.J. and K.P. Ang. 2001. Effects of pellet contrast and light intensity on salmonid feeding behaviours. *Aquac. Eng.*, 25 : 175~186.
- Puvanendran, V. and J.A. Brown. 2002. Foraging, growth and survival of atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture*, 214 : 131~151.
- Rotllant, J., L. Tort, D. Monteroc, M. Pavlidis, M. Martinez, S.E. and P.H.M. Balme. 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquaculture*, 223 : 129~139.
- Schwassmann, H.O. and D.J. Meyer. 1971. Refractive state and accommodation in the eye of three species of *Paralabrax* (*Serranidae*, *Pisces*). *VidenK. Medd. Dan. Naturhist. Foren. Kbh.*, 134 : 103~108.
- Townsend, C.R. and A.J. Risebrow. 1982. The influence of light level on the functional response of a zooplanktonivorous fish. *Oecologia*, 53 : 293~295.
- Trippel, E.A and S.R.E. Neil. 2003. Effect of photoperiod and light intensity on growth and activity of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Aquaculture*, 217 : 633~645.
- Trujillo, O., P. Vanezis and M. Cermignani. 1996. Photometric assesment of skin colour changes and lightness using a tristimulus colormeter: reliability of inter and intrainvestigator observations in healthy adult volunteers. *For. Sci. Int.*, 81 : 1~10.
- Van der Salm, A.L., M. Martinez, G. Flik and S.E. Wendelaar Bonga. 2004. Effects of husbandry conditions on the skin colour and stress response of red porgy, *Pagrus pagrus*. *Aquaculture*, 241 : 371~386.
- Yang, Z. and Y.F. Chen. 2003. Induced ovulation using LHRHa in anadromous obscure puffer *Takifugu obscurus* cultured entirely in freshwater. *Fish Physiology and Biochemistry*, 29 : 323~326.
- 池田彌生 · 尾崎久雄 · 瀬崎哲次郎. 1986. 魚類血液圖鑑. 綠書房, 東京, pp. 1~361.

Received : April 12, 2007

Accepted : July 7, 2007