

수온에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비 리듬

변순규 · 정민환¹ · 이종하² · 이배익 · 구학동³ · 박상언⁴ · 김이청 · 장영진^{1*}
 국립수산물과학원 동해특성화연구센터, ¹부경대학교 양식학과, ²동해수산연구소,
³중보존연구센터, ⁴바다목장화사업단

Diel Rhythm of Oxygen Consumption of the Starry Flounder *Platichthys stellatus* by Water Temperature

Soon Gyu BYUN, Min Hwan JEONG¹, Jong Ha LEE², Bea Ik LEE, Hag Dong KU³,
 Sang Un PARK⁴, Yi Cheong KIM and Young Jin CHANG^{1*}

East Sea Mariculture Research Center, NFRDI, Ulsan 767-863, Korea

¹Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²East Sea Fisheries Research Institute, Gangneung 210-861, Korea

³Marine Species Conservation Center, NFRDI, Namjeju 699-800, Korea

⁴Marine Ranching Development & Management Center, NFRDI, Busan 619-902, Korea

Diel rhythm of oxygen consumption (OC) of the starry flounder *Platichthys stellatus* was measured at different water temperatures in a closed recirculating seawater system with a respiratory chamber. The fish consumed 70.5, 79.7, and 90.6 mg O₂/kg/hr at 15, 20, and 25 °C, respectively, showing a linear increase in OC with water temperature. The OC of fish showed a clear diel rhythm, with lower values during the day and higher values at night, in accordance with the light (09:00-21:00) and dark (21:00-09:00) phases of the diel cycle (12L:12D) in water at 15 and 20 °C. However, the OC of the fish showed an unclear diel rhythm with the light and dark phases of the diel cycle at 25 °C. The respective OC at 15, 20 and 25 °C was 63.8, 72.4, and 88.4 mg O₂/kg/hr during the light phases and 77.2, 87.1, and 92.8 mg O₂/kg/hr during the dark phase. The starry flounder is thought to be a nocturnal fish with a higher OC at night, while it rests during the day. Its OC was the most stable in the light, when it did not feed. Consequently, the night-time OC is the active OC and the day-time OC is the resting OC in the starry flounder.

Key words: Starry flounder, *Platichthys stellatus*, Oxygen consumption, Diel rhythm, Water temperature

서론

전 세계적으로 건강에 대한 관심이 높아지면서 해산식품의 소비량이 늘어나고 있는 실정이며, 이에 따라 수산물 생산량 역시 증가하고 있다. 더욱이 수산물 생산량 중 어업생산량은 정체되어 있는 반면, 양식생산량은 증대일로에 있어, 양식산업은 인간의 건강과 식량생산을 위한 중요한 수단으로 자리매김하고 있다. 따라서 세계 각국은 자국의 이익과 식량확보를 위해 양식생산량 확충을 위한 연구와 기술개발에 막대한 투자와 노력을 하고 있을 뿐만 아니라, 기존의 양식대상종을 대체할 새로운 종 확보에 많은 노력을 하고 있다. 새로운 양식대상종으로는 능성어 (*Epinephelus septemfasciatus*: Kim et al., 1997), 감성돔 (*Acanthopagrus schlegelii*: Chang et al., 2005), 황복 (*Takifugu obscurus*: Kang et al., 2004), 말쥐치 (*Thamnaconus modestus*: Lee et al., 2000), 강도다리 (*Platichthys stellatus*: Lim et al., 2006) 등 이외에 다수 어종이 연구되어 양식되고 있거나, 연구가 진행 중에 있는 실정이다. 운동성이 낮아 대사량이 적은 어류 즉, 섭취한 먹이의 대부분이 체중증가에 이용되는

어류를 양식대상종 선정 조건의 하나로 들 수 있는데, 일반적으로 어류는 항온성을 유지하기 위한 열에너지 소비가 적은 변온동물이기 때문에 대부분의 어류가 이 조건에 해당한다. 특히 저서 정착생활 습성을 지닌 가자미류와 같은 강측편형 (truncated form) 어류 (Kim et al., 2001)는 운동성도 적어 매우 적합하다고 할 수 있다. 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)는 강측편형 어류에 속하며 타 어종보다 성장이 우수하여 한국 어류양식장의 주력 종으로 자리를 잡고 있지만, 인건비와 같은 생산원가의 상승, 대량생산에 의한 가격경쟁력 하락 등으로 한국의 넙치 양식산업은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제 해결을 위해서 넙치를 대신할 고품질, 고가의 새로운 양식대상종으로 강도다리가 부각되고 있다. 새로운 어종의 양식을 위해서는 대상종의 생태 및 습성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 예를 들어, 대상어종이 주행성인지 야행성인지에 따라 사육실의 조도 및 사료공급 시간이 달라지며, 어종의 대사활성에 따라 사육밀도 및 산소 공급량이 결정된다. 따라서 새로운 양식대상종의 안전하고 효과적인 양식을 위해서는 어종의 대사량을 파악하는 것이 중요하며, 이러한 대사량 측정은 어류의 산소소비량을 측정함으로써 간접적으

*Corresponding author: yjchang@pknu.ac.kr

로 추정할 수 있다. 양식어류의 산소소비는 수온 (Requena et al., 1997; Niu et al., 2003), 염분 (Forsberg, 1994; Via et al., 1998; Lim et al., 2004), 광주기 (Jo and Kim, 1999; Chang et al., 2005), 어체크기 (Yager and Summerfelt, 1993; Burtleson et al., 2001), 사료 공급량 (Forsberg, 1997; De la Gádara et al., 2002) 및 스트레스 정도 (Barton and Schreck, 1987; Lund and Tufts, 2003) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려져 있다. 특히 용존산소는 양식어류의 생산량을 결정하는데 매우 중요한 요인 중 하나이며, 수용밀도 (Kawamoto, 1977), 활어수송 (Wi and Chang, 1976; Ko et al., 1995) 및 사료 요구량 (Buentello et al., 2000)을 결정하는 중요한 기준으로도 작용한다.

따라서, 본 연구에서는 새로운 양식대상종으로 부상하고 있는 강도다리의 명암기별 수온에 따른 산소소비 특성과 산소소비 리듬을 파악하여, 이 종의 양식 시 원활한 산소수급 및 사료공급 방법에 대한 기초자료를 얻고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 실험방법

실험어는 국립수산물과학원 동해특성화연구센터 실내수조에서 사육중인 강도다리를 부경대학교 양식생리학연구실 실내수조로 옮겨, 3개월간 안정시킨 평균전장 25.0±0.6 cm, 평균체중 230.1±12.2 g의 어류를 실험에 사용하였다. 실험은 해수 순화여과 사육수조에서 사육하고 있는 강도다리 3마리를 실험개시 전 24시간 동안 절식시킨 후, 밀폐순환유수식 산소소비 측정장치 (Fig. 1) 내의 호흡실로 신속히 옮겼다. 호흡실에서 실험어는 12시간 이상 안정시킨 후, 수온 (15, 20, 25℃)과 광주기 (12L:12D)를 조절하면서 산소소비를 측정하였다. 수

온은 항온수조를 이용하여 수온을 15℃부터 25℃까지 5℃씩 수온을 점차적으로 올렸으며, 광주기는 명기동안에는 형광등을 사용하여 조도를 1,032 lux로 유지하고, 암기동안에는 차광막을 설치하여 빛을 완전히 차단하였다. 실험기간 동안 호흡실로 유입되는 수량은 일정하게 유지하였으며, 실험어의 호흡수는 각각의 실험수온에서 실험어의 아가미 개폐 횟수를 1분간 10회 측정 후, 평균값으로 하였다.

산소소비 측정장치 및 산소소비량 계산

산소소비 측정장치 내의 호흡실 (RC)은 실험 중 어체의 행동과 호흡수를 측정할 수 있도록 투명 아크릴제로 하였다. 실험용수는 계속 순환하도록 하였으며, 저수조 I (WR I)에서 순환되는 실험용수가 일정 수위에서 넘쳐 나가도록 하여 (흰색 화살표) 수압을 균일하게 유지함으로써, 실험기간 동안 호흡실로의 유입수량이 일정해지도록 조절하였다. 호흡실에서 유출된 실험용수는 저수조 II (WR II)에서 에어레이션을 충분히 하여 실험어에 의해 소비된 용존산소를 보충해 준 후, 항온수조 (WR & FU)에서 정밀여과와 수온조절을 하여 다시 호흡실에 유입되도록 하였다. 산소소비량 측정은 다채널 용존산소 측정시스템인 Oxyguard 6 프로그램 (Oxyguard International A/S, Birkerød, Denmark)을 사용하였으며, 용존산소량은 유입수 (IW)실과 유출수 (OW)실에 각각 부착되어 있는 용존산소 센서 (OS)에서 10분 간격으로 자동 측정된 유입수와 유출수의 용존산소량을 토대로 계산된 단위체중당 산소소비량 (mg O₂/kg/hr)과 호흡 당 산소소비량 (mg O₂/kg/ breath)의 평균값으로 나타냈다. 호흡당 산소소비량은 각각의 실험에서 실험어의 호흡수를 측정할 수 있었던 명기동안에만 계산하였다. 각 실험에서 산소소비량은 다음 식으로 산정하였다.

$$\text{단위체중당 산소소비량 (mg O}_2\text{/kg/hr)} =$$

$$\{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W$$

$$\text{호흡당 산소소비량 (mg O}_2\text{/kg/breath)} =$$

$$\{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / (W \times R \times 60)$$

여기에서, C_i=유입수의 용존산소량 (mg/L); C_o=유출수의 용존산소량 (mg/L); F=유입수량 (L/min); W=어체총중량 (kg); R=호흡수 (breath number/min)이다.

통계처리

모든 측정값은 평균±표준편차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지 (version 10.0)를 이용하여 t-test와 one-way ANOVA-test를 실시한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 검정하였다 (P<0.05).

결 과

산소소비 리듬

광주기 12L:12D를 설정하여 수온 15℃부터 1일 간격으로 5℃씩 상승하여 20℃와 25℃까지 연속적으로 산소소비량을 나타낸 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 강도다리의 1일

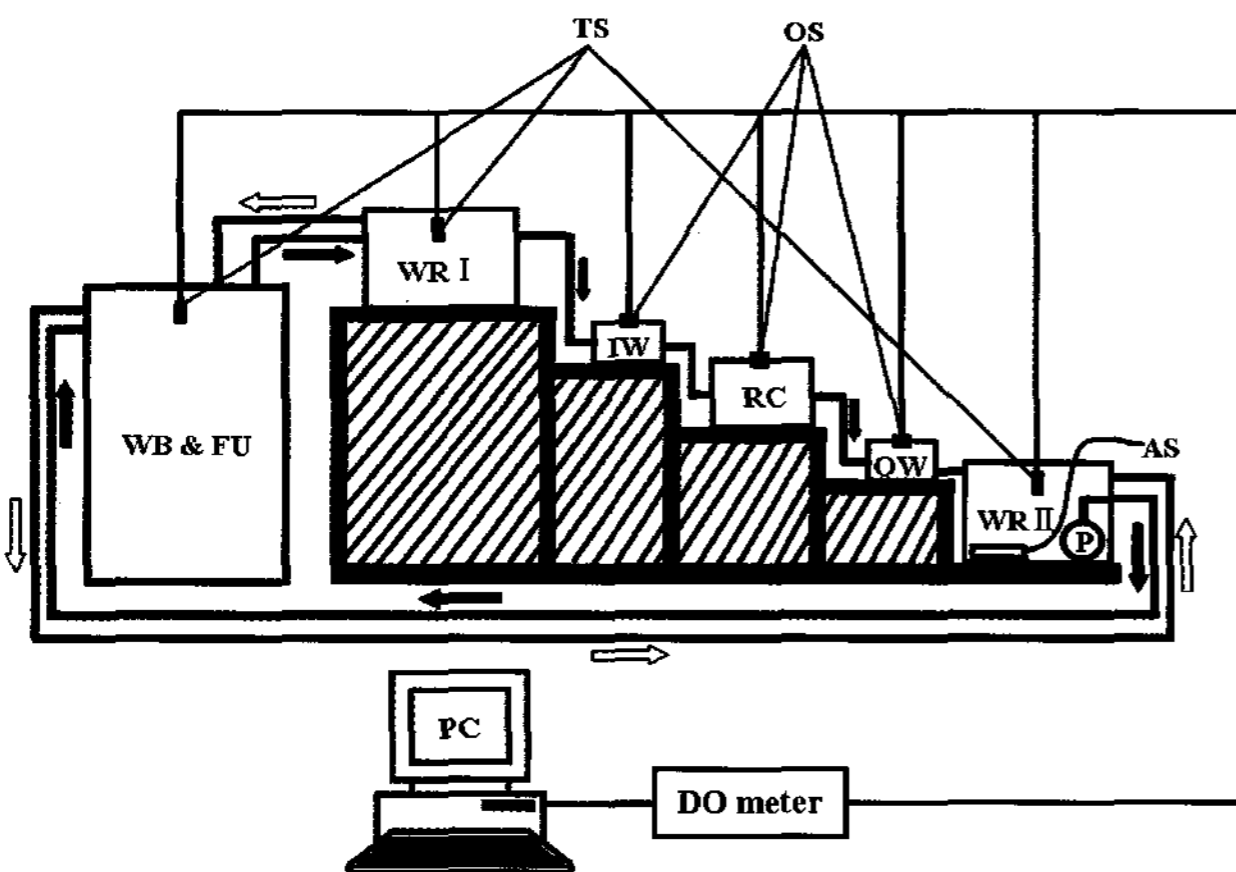


Fig. 1. Schematic diagram of oxygen consumption measurement. Solid and open arrows indicate circulating and overflowing water, respectively. AS, air supply; FU, filtering unit; IW, inlet water; OS, oxygen sensor; OW, outlet water; P, pump; PC, personal computer; RC, respiratory chamber; TS, temperature sensor; WB, water bath; WR I and II, water reservoirs I and II, respectively.

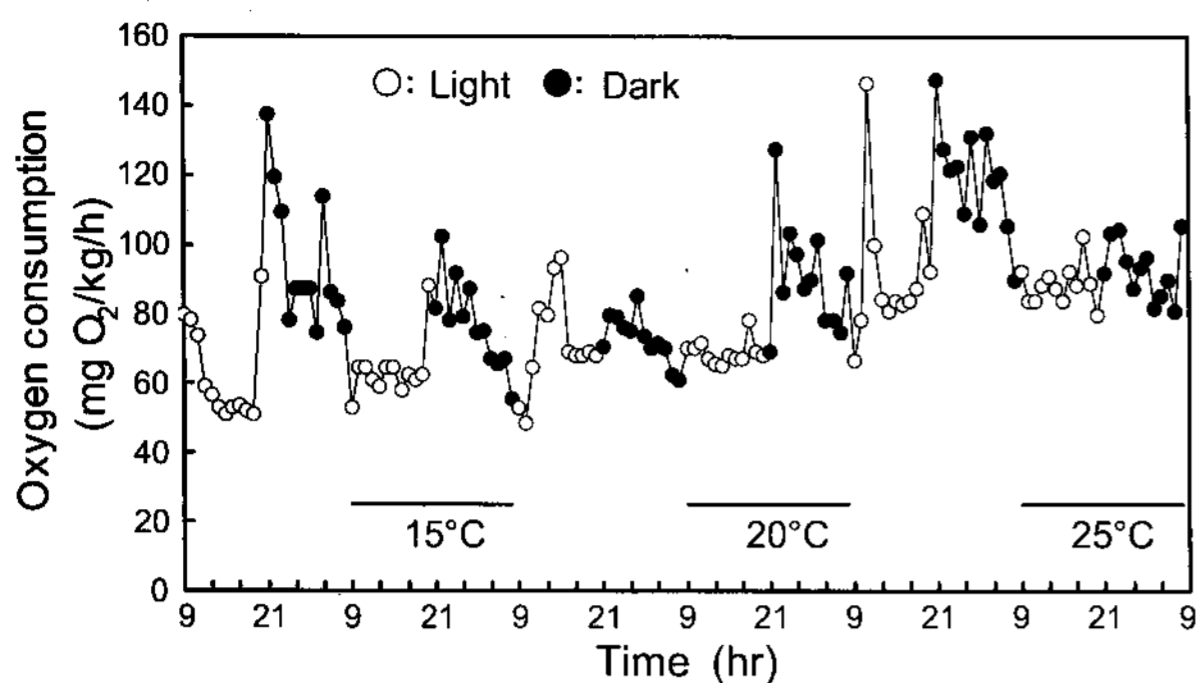


Fig. 2. Change of oxygen consumption in starry flounder under water temperature conditions of 15, 20 and 25°C.

평균 단위체중당 산소소비량은 15°C에서 70.5±12.5, 20°C에서 79.7±15.6, 25°C에서 90.6±7.4 mg O₂/kg/hr로 수온상승과 비례하여 산소소비가 많아지는 경향을 보였다. 산소소비 리듬은 수온 15, 20°C에서, 명기동안에는 산소소비가 낮고 일정한 반면, 암기동안에는 산소소비가 높고 일정하지 않은 산소소비 리듬을 보였다. 그러나 수온이 25°C로 상승하였을 때 명기와 암기의 산소소비 리듬은 사라지고, 일정하지 않은 산소소비 경향을 보였다. 각 설정수온으로 5°C씩 상승시키는 수온 적응기간의 산소소비가 실험기간의 산소소비에 비해 높게 나타나는 경향을 보였다. 또한 수온 적응기간 및 실험기간 모두 명기에서 암기로 바뀐 뒤 1시간 뒤에 산소소비가 가장 높게 나타났다.

수온별 산소소비량

수온을 15, 20 그리고 25°C까지 5°C 간격으로 연속 상승시키면서 산소소비량을 측정한 결과를 광주기별로 Table 1에 나타내었다. 수온 15, 20°C에서는 명기의 산소소비량 보다 암기의 산소소비량이 유의하게 높았으나 (P<0.05), 25°C에서는 명기와 암기의 산소소비량은 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 명기와 암기 모두 수온의 상승과 비례하여 산소소비량은 증가하였으나, 명기에서 15 및 20°C, 암기에서는 20 및 25°C의

Table 1. Mean oxygen consumption in starry flounder under water temperatures conditions of 15, 20 and 25°C during light and dark phases. Mean values of the oxygen consumption with different superscripts in each column are significantly different. The mean values with asterisks at dark period is significant different from that at light period (P<0.05, one-way ANOVA). Parameters "b" and "a" are for the exponential model, OC=a×EXP (bT); r² is for the linearized transform of the exponential model, ln (OC)=ln (a)+bT

Water temp. (°C)	Light period	Dark period
15	63.8±8.4 ^a	77.2±12.7 ^{b*}
20	72.4±10.8 ^{ab}	87.1±18.2 ^c
25	88.4±5.9 ^c	92.8±8.4 ^c
b	0.033	0.019
a	38.01	57.37
r ²	0.625	0.207
Q ₁₀	1.39	1.21

산소소비량은 유의한 차이는 보이지 않았다 (P<0.05). 명기 조건에서 수온이 15°C에서 25°C로 10°C 상승했을 때, Q₁₀값은 1.39, 지수함수식의 기울기 (b)는 0.033, 암기 조건에서 Q₁₀값은 1.21, b는 0.019로 암기 보다 명기에서 산소소비 증가량이 높았다. 또한 r²은 명기에서 0.625, 암기에서 0.207로 명기의 산소소비는 급격히 증가한 반면, 암기의 산소소비는 완만하게 증가하는 경향을 보였다.

분당 호흡수 및 호흡당 산소소비량

명기동안 수온 15, 20 그리고 25°C에서 강도다리의 분당 호흡수와 호흡당 산소소비량은 Fig. 3과 같다. 강도다리의 호흡수는 각각의 수온에서 34, 41, 50회로 수온상승과 비례해서 증가한 반면, 호흡당 산소소비량은 0.0378, 0.0354, 0.0309 mg O₂/kg/breath로 감소하였다. 호흡수와 호흡당 산소소비량의 r²값은 각각 0.9985, 0.9735로 매우 높은 상관성을 보였다.

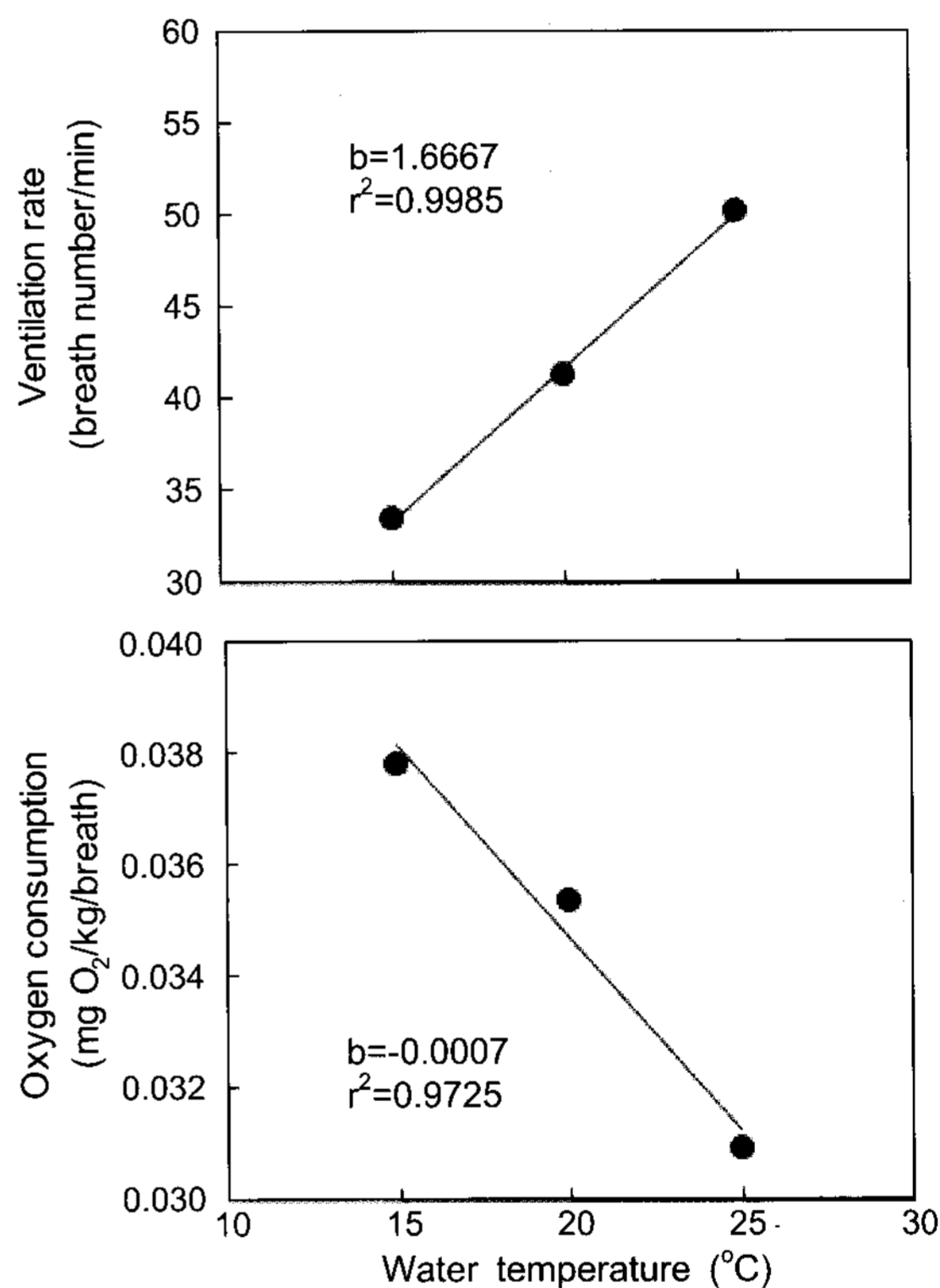


Fig. 3. Ventilation rate and oxygen consumption per breath of starry flounder at water temperatures of 15, 20 and 25°C. The numbers in the figure are the slope (b) and value of r², respectively.

고 찰

양식에 있어서 수중에 녹아있는 용존산소의 양은 양식동물의 생존과 밀접한 관계가 있으며, 양식동물의 생리·생태학적 조건에 큰 영향을 미친다. 어류는 일반적으로 명기에 산소소비량이 많은 어종, 암기에 산소소비량이 많은 어종, 그리고 명기와 암기의 산소소비량 차이가 없는 어종의 세 가지 산소소비 형태를 보이는 것으로 알려져 있으며, Spencer (1939)와

Spoor (1946)는 담수어류의 활성과 산소소비 관계를 3가지 형태(주간활동형, 야간활동형, 불규칙활동형)으로 나누었다. Wagner et al. (1995)은 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)를 사용하여 사료공급과 광주기에 따른 산소소비량을 측정하였는데, 사료공급 보다 광주기가 어류의 산소소비량에 미치는 영향이 더 크다고 하였다. Chang et al. (2005)과 Jeong et al. (2007)은 감성돔을 사용하여 수온과 광주기에 따른 산소소비량 변화를 측정한 결과에서 감성돔은 수온이 상승하면서 산소소비가 증가하고, 명기와 암기의 광주기 조건에서 명기동안에는 산소소비가 많고, 암기동안에는 산소소비가 적은 뚜렷한 리듬을 보여, 이 어종은 명기동안에 활성이 높은 주간활동형 어종이며 주간에 섭식활동이 왕성할 것으로 판정하였다. 이에 비하여 본 연구에서 사용한 강도다리는 명기와 암기의 광주기 조건에서 명기동안에는 산소소비가 적고 일정한 반면, 암기동안에는 산소소비가 많고 불규칙적인 소비경향을 보여, 암기동안에 활성이 높은 야간활동형 어종으로 판단된다. 또한 강도다리가 야간활동형 어종으로 밝혀짐에 따라 주간보다 야간에 섭식활동이 왕성할 것으로 생각되므로 강도다리의 양식에서는 주간보다 야간에 산소공급을 원활히 해주고, 사료를 일몰 직후에 공급하거나, 주간이라 하더라도 수조 내 밝기를 어둡게 하여 공급하는 것이 효과적이라 할 수 있다. 본 연구에서 강도다리의 호흡수는 수온상승과 비례하여 증가한 반면, 호흡당 산소소비량은 감소하는 경향을 보였다. 감성돔의 경우 Chang et al. (2005)과 Jeong et al. (2007)은 수온상승과 비례하여 호흡수와 호흡당 산소소비량이 증가하였다고 보고하여 본 연구의 결과와 상반되는 경향을 보였다. 이는 감성돔은 온수성 어류로서 20°C 이상의 수온에서 활성이 높아지는 반면, 강도다리는 냉수성 어류로서 20°C 이상의 수온에서는 체내의 산소결합 및 체내 산소운반 능력이 감소하여 활성이 낮아지는 것에 기인한 결과라 생각되나 이에 대한 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한, Iwama et al. (1997)은 호흡수와 산소소비량의 관계에서 호흡수가 산소소비량에 유의한 영향을 미치는 것이 아니며, 혈액의 산소분압을 함께 측정하지 않으면 해명하기 어렵다고 하였다. 따라서 앞으로 호흡수와 산소소비량과의 관계에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다. 한편, 수온 20°C에서 강도다리의 호흡수는 41회인데 비해, Chang et al. (2005)의 연구에서 감성돔은 20°C에서 100회 이상의 호흡수를 보였다. 이는 활발한 유영활동을 하는 감성돔은 유영을 하는데 많은 에너지가 필요하며, 에너지 생산을 위해서는 산소가 많이 필요하게 된다. 따라서 감성돔은 충분한 호흡을 위해 아가미 개폐운동이 많은 반면, 강도다리는 유영활동이 적은 저서성 어류로 에너지 소비가 적으므로 많은 양의 산소공급이 불필요하며, 이로 인해 호흡을 위한 아가미 개폐운동이 적은 것으로 생각된다. 많은 연구자들은 어류의 산소소비에 결정적인 영향을 주는 요인으로 수온을 들었고, 수온상승과 비례해서 산소소비량은 증가한다고 보고하였다 (Xie and Sum, 1990; Cai and Summerfelt, 1992). 본 연구에서도 강도다리는 수온상승과 비례하여 산소소비가 증

가하는 경향을 보였으며, 수온 20°C 이하에서는 명기동안에는 산소소비가 적고 규칙적인 산소소비 리듬을, 암기동안에는 산소소비가 많은 불규칙적인 산소소비 리듬을 나타냈다. 하지만 수온을 25°C로 상승시켰을 때, 명기와 암기의 뚜렷했던 산소소비 리듬이 사라졌을 뿐만 아니라, 산소소비도 불규칙적인 경향을 보였다. So (2007)는 냉수성 어류인 무지개송어를 사용하여 수온변화에 따른 산소소비량을 측정한 결과, 23°C 이상의 수온에서 산소소비량 및 헤모글로빈량이 감소하는 등 어체의 대사리듬이 흐트러지고, 28°C 이상에서는 모두 폐사하여, 높은 수온은 정상적인 대사활동에 악영향을 미친다고 하였다. 또한, Horning and Pearson (1973)은 어체가 수온변화에 적응할 때 중요한 요인은 광주기와 적응온도로서, 고수온에 적응된 어류는 저수온에 약하고, 저수온에 적응된 어류는 고수온에 약하다고 보고하였다. 본 연구에서 수온을 20°C에서 25°C로 상승했을 때, 강도다리는 광주기에 따른 산소소비 리듬이 사라지고 산소소비량이 불규칙적으로 나타나 고수온으로 인한 스트레스가 증가하여 어체의 대사리듬이 흐트러진 것으로 판단된다. 또한 본 연구에 사용한 강도다리에 대한 저자들의 사육 경험에 의하면 성장과 활력이 좋았던 사육수온은 18°C 전후였으며, 22°C 이상의 수온에서는 섭식활동이 감소하고, 26°C 이상의 수온에는 폐사개체가 나타났다. 따라서 강도다리 성공적인 양식을 위해서는 수온을 20°C 이하로 유지하는 것이 중요하다고 판단되며, 본 연구조건과 달리 연속적인 저수온 및 고수온 자극, 장기간의 수온자극을 주었을 때 나타나는 결과는 미지수이므로 강도다리 산소소비 경향에 대한 심도 있는 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산시험연구과제인 양식어류 특산화 기술개발 (RP-2008-AQ-008)의 일부로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Barton, B.A. and C.B. Schreck. 1987. Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 116, 257-263.
- Buentello, J.A., W.H. Neill and D.M. Gatlin III. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, 182, 339-352.
- Burleson, M.L., D.R. Wilhelm and N.J. Smatresk. 2001. The influence of fish size on the avoidance of hypoxia and oxygen selection by largemouth bass. *J. Fish Biol.*, 59, 1336-1349.
- Cai, T. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture*, 104, 127-138.

- Chang, Y.J., M.H. Jeong, B.H. Min, W.H. Neill and L.P. Fontaine. 2005. Effects of photoperiod, temperature, and fish size on oxygen consumption in the black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *J. Fish. Sci. Tech.*, 8, 142-150.
- De La Gandara, F., A. Garcia-Gomez and M. Jover. 2002. Effect of feeding frequency on the daily oxygen consumption rhythms in young Mediterranean yellowtails (*Seriola dumerili*). *Aquacult. Eng.*, 26, 27-39.
- Forsberg, O.I. 1994. Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. *Aquacult. Int.*, 2, 180-196.
- Forsberg, O.I. 1997. The impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquacult. Res.*, 28, 29-41.
- Horning, W.B.I. and R.E. Pearson. 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 1226-1230.
- Iwama, G.K., A. Takemura and K. Takano. 1997. Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, sea water, and hypersaline sea water. *J. Fish Biol.*, 51, 886-894.
- Jeong, M.H., Y.S. Kim., B.H. Min and Y.J. Chang. 2007. Effect of fish number in respiratory chamber on routine oxygen consumption of Black porgy *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater or freshwater. *J. Aquacult.*, 20, 121-126.
- Jo, J.Y. and Y.H. Kim. 1999. Oxygen consumption of far eastern catfish *Silurus asotus*, on the different water temperatures and photoperiods. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 56-61.
- Kang, H.W., D.Y. Kang, K.C. Cho, J.H. Lee, K.J. Park and J.H. Kim. 2004. Effect of food and salinity on larval growth and survival of the river puffer, *Takifugu obscurus*. *J. Aquacult.*, 17, 221-227.
- Kawamoto, N. 1977. *Fish Physiology*. Koseisha-Koseikaku, Tokyo, Japan, 1-605.
- Kim, B.H., K.M. Kim, Y.D. Lee, C.B. Song and S. Rho. 1997. Reproductive biology of the sevenband grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. I. The effect of HCG on ovulation induction. *J. Aquacult.*, 10, 55-61.
- Kim, Y.U., J.G. Myoung, Y.S. Kim, K.H. Han, C.B. Kang and J.G. Kim. 2001. *The Marine Fishes of Korea*. Seo, J.B., ed. Hanguel, Pusan, Korea, 1-308.
- Ko, Y.S., Y.J. Chang and J.Y. Kwon. 1995. Changes of dissolved oxygen concentrations during the transportation of the olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) seedlings. *J. Aquacult.*, 8, 251-260.
- Lee, S.J., Y.B. Go and Y.C. Choi. 2000. Egg development and morphological changes of larvae of the file fish, *Thamnaconus modestus*. *Kor. J. Ichthyol.*, 12, 208-214.
- Lim, H.K., C.M. An, M.H. Son, M.W. Park, E.O. Kim and S.G. Byun. 2006. Effect of diluents and temperature on sperm storage in starry flounder (*Platichthys stellatus*). *J. Aquacult.*, 19, 47-51.
- Lim, H.K., M.H. Jeong, H.K. Han., J.H. Lee and Y.J. Chang. 2004. Oxygen consumption of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) exposed to different temperature, salinity and photoperiod. *J. Aquacult.*, 17, 258-261.
- Lund, S.G. and B.L. Tufts. 2003. The physiological effects of heat stress and the role of heat shock proteins in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) red blood cells. *Fish Physiol. Biochem.*, 20, 279-292.
- Niu, C., D. Lee, S. Goshima and S. Nakao. 2003. Effects of temperature on food consumption, growth and oxygen consumption of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man 1879) postlarvae. *Aquacult. Res.*, 34, 501-506.
- Requena, A., J. Fernández-Borrás and J. Planas. 1997. The effects of a temperature rise on oxygen consumption and energy budget in gilthead sea bream. *Aquacult. Int.*, 5, 415-426.
- So, S.Y. 2007. Oxygen consumption of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Walbaum by the water temperature change and acclimation. Master Thesis, Kunsan National University, Korea, 1-45.
- Spencer, W.P. 1939. Diurnal activity rhythms in freshwater fishes. *Ohio J. Sci.*, 39, 119-132.
- Spoor, W.A. 1946. A quantitative study of the relationship between the activity and oxygen consumption of the goldfish, and its application to the measurement of respiratory metabolism in fishes. *Biol. Bull.*, 91, 312-325.
- Via, J.D., V. Paolo, G. Edmund and N. Harald. 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture*, 169, 303-313.
- Wagner, E.J., S.A. Miller and T. Bosakowski. 1995. Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. *Prog. Fish-Cult.*, 57, 199-205.
- Wi, J.H. and Y.J. Chang. 1976. A basic study on transport of live fish (I). *Bull. Fish. Res. Dev. Inst.*, Kor., 15,

91-108.

Xie, X. and R. Sun. 1990. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen): I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. *Physiol. Zool.*, 63, 1181-1195.

Yager, T.K. and R.C. Summerfelt. 1993. Effects of fish

size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. *Aquacult. Eng.*, 12, 19-36.

2008년 1월 25일 접수
2008년 4월 4일 수리