

조도 및 광주기가 명태(*Gadus chalcogrammus*) 자어의 생존과 성장에 미치는 영향

이기욱 · 한경식 · 변순규* · 김우진** · 김경덕* · 임현정** · 김소선†
국립수산과학원 (연구원 · *연구관 · **과장 · †연구사)

Effects of light intensity and photoperiod on survival and growth of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) larvae

Ki-Wook LEE · Gyeong-Sik HAN · Soon-Gyu BYUN* · Woo-Jin KIM** · Kyoung-Duck KIM* ·
Hyun-Jeong LIM** · So-Sun KIM†

National Institute of Fisheries Science (researcher · *chief researcher · **director · †senior researcher)

Abstract

This study investigated the survival rates and growth of larval walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) reared at different photomanipulation. Larval walleye pollock were reared at four light intensities (experiment 1: 50, 250, 1000 and 2500 lux) and five photoperiods (experiment 2: 24L:0D, 18L:6D, 12L:12D, 6L:18D and 0L:24D) from hatching (30 days post hatch). Survival of larval fish of experiment 1 was >15% and there was no significant difference between 50, 250, and 1000 lux, however, whole fish was dead at 16 days post hatch in 2500 lux. Growth of larvae at 1000 lux was greater than larvae at all other light intensities treatments. Survival rates of experiment 2 was >14% except for 0L:24D, and 18L:6D was significantly higher than that of larval fish reared at other photoperiods. In 0L:24D, the death occurred continuously after initial of experiment, whole larval fish died on 21 days post hatch. Growth of larvae that illuminated the light more than 12 hours were higher than that of larvae reared at 6L:18D. Considering these results, the optimal rearing light intensity and photoperiod was 1000 lux and 18L:6D, respectively. Further, intensive light or lightless condition cause mortality of walleye pollock larvae.

Key words : Light intensity, Photoperiod, Walleye pollock, Larvae, Survival

I. 서론

명태는 국내의 대표적인 한해성 어종으로 캄차카 반도, 베링해, 한국과 일본의 연안에서 북미 캘리포니아 연안에 걸쳐 분포하는 어종이다(Hiatt et al., 2010). 국내 명태 어획량은 1980년대에 약 16만톤 이상이었으나, 1990년대부터 감소하여

2010년대에는 약 10톤 이하로 감소하였다(KOSIS, 2021). 명태는 중국과 일본을 포함한 동아시아에서 중요한 해산물로, 특히 한국에서 가장 많이 소비되는 어종이다. 따라서 국내에서는 명태의 양식기술 개발을 위한 연구(Bang et al., 2018; Choi et al., 2020a, b; Kim et al., 2019; Park et al., 2018; Yoo et al., 2015)가 수행된 바 있다.

† Corresponding author : 033-660-8546, eastseaquaculter@korea.kr

* 이 논문은 2021년도 국립수산과학원 수산과학연구사업 동해특산품종 양식기술개발(R2021006)의 지원으로 수행된 연구입니다.

부화 자어 시기에는 다른 성장단계에 비하여 외부적 및 화학적 요인에 더욱 민감한 것으로 알려져 있다(Holliday, 1969; Lehtonen et al., 1996; Varsamos et al., 2005). 특히 자어 시기의 빛은 자어의 성장과 생존에 중요한 역할을 한다고 알려져 있으며(Blaxter 1975; Batty 1987), 빛의 조도, 파장 또는 광주기에 따라 어류의 행동에 영향을 미친다는 연구가 보고된 바 있다(Muntz 1975; Mcfarland 1986). 특히 초기 자어의 경우 빛은 눈의 발달에 영향을 미치며, 빛에 대한 반응은 어종에 따라 다르다고 알려져 있다(Blaxter 1986; Puvanendran and Brown 1998).

따라서 해외에서는 조도가 어류 자어에 미치는 영향(Brown et al., 2003; Downing and Litvak, 1999; Van der Meeren and Jørstad, 2001)과 광주기가 어류 자어에 미치는 영향 (Chatain and Ounais-Guschemann, 1991; Fielder et al., 2002; Hart et al., 1996; Puvanendran and Brown, 2002; Trotter et al., 2003)에 관한 연구가 수행된 바 있다. 국내에서는 명태 자어의 먹이생물에 관한 연구(Park et al., 2018), 수온이 명태 자어에 미치는 영향(Choi et al., 2020a; Koenker et al., 2018; Yoo et al., 2015)과 염분이 명태 자어에 미치는 영향(Choi et al., 2020b)에 관한 연구가 보고된 바 있지만, 조도와 광주기가 명태 자어에 미치는 영향에 관한 연구는 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구에서는 명태의 성공적인 종자생산을 위하여 조도 및 광주기가 명태 자어의 생존과 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 연구 방법

1. 수정란 확보

조도와 광주기가 명태 자어에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 국립수산물품질관리원 동해수산연구소에서 양성 및 관리중인 인공 2세대 명태의 자연 방란과 방정을 통해 수정된 수정란을 채란하

여 실험에 이용하였다.

2. Experiment 1 (조도, light intensity)

조도가 명태 자어에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 채란한 수정란은 자연광주기에 맞게끔 조명을 비취 표층 조도 1000 lux 에서 부화할 때까지 관리하였으며, 이때 수온은 7.2 ± 0.21 °C (mean \pm SD)이었고, 수조당 환수량은 1.2 L/min 이었다. 수정란 수송 후 6일째부터 부화하였으며, 1일령의 자어(전장: 4.85 mm)를 표층 조도가 50, 250, 1000 및 2500 lux 로 설정된 250 L FRP (fiber-reinforced plastic) 사각수조(80 cm \times 62.5 cm \times 50cm; 가로 \times 세로 \times 높이, 수량: 200 L)에 각각 4,000 마리씩 수용하였다. 모든 실험구는 암막 처리하여 최대한 외부 빛의 영향을 받지 않도록 하였다. 실험기간은 30일 이었고, 실험기간 동안 조명은 24시간 비취주었으며, 모든 실험구는 3반복구를 두었다.

3. Experiment 2 (광주기, photoperiod)

광주기가 명태 자어에 미치는 영향을 조사하기 위하여 채란한 수정란은 experiment 1과 동일한 방법으로 부화시켰으며, 이때 수온은 7.2 ± 0.33 °C (mean \pm SD)이었고, 수조당 환수량은 1.5 L/min 이었다. 수정란 수송 후 5 일째부터 부화하였으며, 자동 타이머를 이용하여 광주기를 0L:24D, 6L:18D, 12L:12D, 18L:6D 및 24L:0D 로 설정한 300 L FRP 원형수조(ϕ 80cm, 높이: 60 cm, 수량: 250L)에 1일령의 자어(전장: 4.86 mm)를 각각 6,000 마리씩 수용하였다. 모든 실험구는 암막 처리하여 최대한 외부 빛의 영향을 받지 않도록 하였다. 실험기간은 30일 이었고, 실험기간 동안 표층 조도는 1000 lux를 유지하였으며, 모든 실험구는 3반복구를 두었다.

4. Rotifer 영양강화 및 공급

모든 실험에 이용된 rotifer는 국립수산물품질관리원

동해수산연구소에서 Yoo et al. (2016)의 방법을 따라 저온 순치된 rotifer를 이용하였다. Rotifer의 영양강화는 5 L 배양수조의 수온과 염분을 각각 10 °C와 20 psu로 세팅한 후, 24시간 동안 영양강화 하였으며, 이때 rotifer의 밀도는 25 개체/mL 이었다. 영양강화는 S. presso (INVE, Belgium)를 사용하였으며, 제조사에서 권고하는 첨가용량에 따라 배양수에 첨가하여 rotifer를 영양강화 하였다. 영양강화한 rotifer는 담수로 세척하여 명태 자어의 먹이원으로 1일 6회에 나누어 공급하였다.

5. 성장 및 생존율

각 30일 간의 사육실험 종료시 모든 실험구의 자어 100마리씩을 무작위로 추출하여 전장을 측정하였으며, 자어의 전장은 Axiocam 이 부착된 현미경(Zeiss, Stemi 2000-C, Germany)을 이용하여 0.01 mm 까지 측정하였다. 실험기간 동안 폐사한 개체는 수거하여 개체수를 counting한 후에 제거하였다.

6. 통계분석

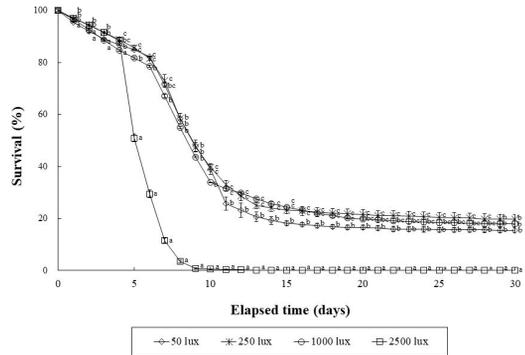
SPSS program (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 각 실험구간의 유의성을 검증하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. Experiment 1

30일간의 사육실험 종료시 조도에 따른 명태 자어의 생존 및 성장 결과를 [Fig. 1]과 <Table 1>에 나타내었다. 30일간의 사육실험 종료시 명태자어의 생존율은 50 ~ 1000 lux 실험구는 모두 15% 이상으로 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았지만(P>0.05), 2500 lux 실험구는 실험 개시후 5일째부터 폐사가 급격히 발생하여 16일

째 전량 폐사하였다. 사육실험 종료시 명태 자어의 전장은 1000 lux 실험구에서 8.87 ± 0.02 mm 로 가장 높게 나타났으며(P<0.05), 50 lux와 250 lux 실험구는 7.87 mm 이상으로 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.



[Fig. 1] Survival of walleye pollock larvae reared at different light intensity. Values (means of triplicate±SE) showing different letters in the same elapsed time indicated significant differences (P<0.05) among the treatments.

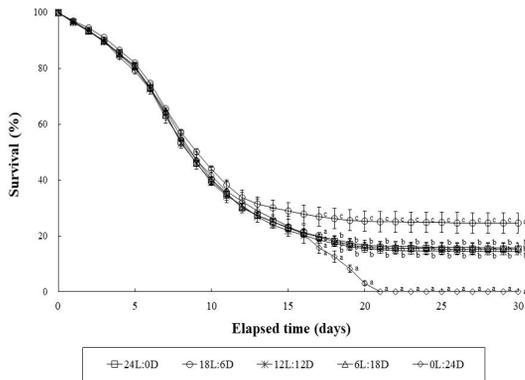
<Table 1> Survival rates and total length of walleye pollock larvae reared at various light intensities

Light intensity	Survival (%)	Initial total length (mm)	Final total length (mm)
50 lux	15.5 ± 1.0 ^a	4.85 ± 0.13 ^a	7.87 ± 0.10 ^a
250 lux	19.7 ± 2.0 ^a	4.86 ± 0.15 ^a	8.23 ± 0.17 ^a
1000 lux	18.0 ± 1.3 ^a	4.85 ± 0.12 ^a	8.87 ± 0.02 ^b
2500 lux	-	4.86 ± 0.08 ^a	-

Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different (P>0.05).

2. Experiment 2 (광주기)

30일간의 사육실험 종료시, 광주기에 따른 명태 자어의 생존 및 성장 결과를 [Fig. 2]와 <Table 2>에 나타내었다.



[Fig. 2] Survival of walleye pollock larvae reared at different photoperiod. Values (means of triplicate±SE) showing different letters in the same elapsed time indicated significant differences ($P < 0.05$) among the treatments.

<Table 2> Survival rates and total length of walleye pollock larvae reared at various photoperiods

Photoperiod	Survival (%)	Initial total length (mm)	Final total length (mm)
24L:0D	15.3 ± 2.0 ^a	4.86 ± 0.17 ^a	8.36 ± 0.33 ^b
18L:6D	24.3 ± 3.1 ^b	4.86 ± 0.04 ^a	8.53 ± 0.14 ^b
12L:12D	14.5 ± 1.3 ^a	4.85 ± 0.16 ^a	8.00 ± 0.16 ^b
6L:18D	15.8 ± 1.7 ^a	4.86 ± 0.20 ^a	6.29 ± 0.22 ^a
0L:24D	-	4.87 ± 0.13 ^a	-

Values (means of duplicate±SE) in the same column sharing the same superscript are not significantly different ($P > 0.05$).

실험 개시 17일 경과시부터 18L:6D 실험구의 생존율이 다른 모든 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 30일간의 사육실험 종료시 명태 자어의 생존율은 0L:24D 실험구를 제외한 모든 실험구에서 14% 이상으로 나타났으며, 18L:6D 실험구의 생존율이 24.3%로 가장 높았지만($P < 0.05$), 0L:24D 실험구는 실험개시 21일째 전량 폐사하였다. 30일간의 사육실험 종료시 명태 자어의 전장은 24L:0D, 18L:6D 및 12L:12D 실험

구가 8 mm 이상으로 높게 나타났으며, 6L:18D 실험구의 전장은 6.29 ± 0.22 mm로 0L:24D 실험구를 제외한 다른 모든 실험구보다 유의적으로 짧았다($P < 0.05$).

IV. 고찰

어류 양식에 있어 사육환경(수온, 염분, 용존산소, 빛 등)은 매우 중요한 요소이므로, 양식 대상종의 적정 사육환경을 제공하지 못한 경우 폐사, 성장 저하, 질병 발생 등 다양한 요인으로 인해 양식생산성이 감소할 수 있으며, 어린 개체는 사육환경에 매우 민감한 것으로 알려져 있다 (Lehtonen et al 1996; Sfakianakis et al., 2015). 대개의 초기 자어는 시각의존섭식자(visual feeder)로 알려져 있어(Blaxter and Staines, 1970; Hunter, 1981; Blaxter, 1986), 초기자어에게 빛은 먹이 섭취능력을 결정하는 중요한 요소이다. 자어는 발달을 거치며 망막의 형태가 변화하므로 초기자어 시기에는 다른 성장단계보다 더 많은 빛이 필요하다(Puvanendran and Brown 2002). 어중에 따라 빛에 대한 적정 요건은 다르지만, 빛(조도와 광주기)의 조절을 통하여 초기자어의 성장을 향상시킨 연구가 다수 보고된 바 있다(Brown et al., 2003; Downing and Litvak, 1999; Puvanendran and Brown 2002; Trotter et al., 2003). 따라서 본 연구에서는 명태 자어의 안정적인 생산을 위한 적정 조도와 광주기를 조사하였다.

30 일간의 사육실험 종료시 조도 실험구의 생존율은 2500 lux를 제외한 모든 실험구에서 15% 이상으로 나타났다. 하지만 본 연구에서 조도가 가장 강한 실험구인 2500 lux 실험구의 자어가 실험 개시 16일째 전량 폐사하였으며, 이는 강한 조도가 스트레스 요인으로 작용하여 자어의 폐사를 유발한 것으로 보여진다. 본 연구와 유사하게 Barahona-Fernandes(1979)는 sea bass (*Dicentrarchus labrax*) 자어를 1400~3500 lux와 300~700 lux에서 사육한 결과, 강한 조도에서 사육한 sea bass의

생존율이 감소하였다. Wang et al. (2013)은 너무 강한 조도에서의 사육은 어류에 있어 스트레스 요인으로 작용하여 혈장내 cortisol 농도를 높인다고 보고하였으며, 만성적인 스트레스는 장기간에 걸쳐 어류의 생리기능에 영향을 미쳐 면역체계를 저하시킨다는 연구가 보고된 바 있다(Migaud et al., 2007).

30일간의 사육실험 종료시 조도 실험구의 생존은 2500 lux를 제외한 다른 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 종료시 전장은 1000 lux에서 가장 높게 나타났다. 이와 유사하게 Puvanendran and Brown (2002)은 대서양 대구 (*Gadus morhua*) 자어를 300, 600, 1200 및 2400 lux에서 42일간 사육한 결과, 2400 lux 실험구 자어의 생존과 성장이 다른 모든 실험구보다 우수하였다. 이는 약한 조도보다 강한 조도에서 자어의 성장이 향상되었다는 이전의 다수 연구결과와 일치하였다(Brown et al., 2003; Downing and Litvak, 1999; Puvanendran and Brown, 2002; Tandler and mason, 1983).

30일간의 사육실험 종료시 광주기 실험구의 생존은, 18L:6D 실험구에서 24.3%로 가장 높게 나타났지만, 종료시 전장은 24L:0D, 18L:6D 및 12L:12D 실험구간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 6L:18D 실험구에서 가장 낮게 나타났다. 0L:24D 실험구는 실험 개시 21일차에 전량 폐사하였다. Blaxter (1986)는 어류 자어의 먹이 공급시 해당 어종이 요구하는 임계조도가 제공되어야 먹이활동을 할 수 있다고 보고한 바 있으며, 대부분의 해산어류 자어의 먹이활동을 위한 임계조도는 0.1 lux로 알려져 있다. 따라서, 본 연구에서 0L:24D 실험구의 자어는 먹이공급시 빛을 제공받지 못해 먹이섭취 활동을 못하여 폐사한 것으로 보여진다. 본 연구에서 성장은 6L:18D를 제외한 다른 실험구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, 18L:6D 실험구의 생존율이 다른 실험구에 비해 높게 나타났다. 이와 유사하게 sea bass 자어를 24L:0D, 18L:6D 및 12L:12D 광주기

조건에서 30일간 사육한 결과, 24L:0D 실험구의 생존율은 감소하는 경향을 나타내었다 (Barahona-Fernandes 1979). 일반적으로 다수의 이전 연구들에서 명기가 길수록 어류의 생존 혹은 성장이 향상된다는 다수의 연구가 보고된 바 있지만(Chatain and Ounais-Guschemann, 1991; Duray and Kohno, 1988; Fielder et al., 2002; Hart et al., 1996; Puvanendran and Brown, 2002), 24L:0D의 조건에서는 기형율이 증가하고, 부레 발달 저하 등으로 자어에 부정적인 영향을 끼친다는 연구가 보고되어 있으므로(Villamizar et al., 2009; Blanco-Vives et al., 2010), 추후에 24L:0D 실험구 자어의 기형율과 부레 발달 저하로 인한 폐사에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 고려할 때, 조도 1000 lux, 광주기 18L:6D 일 때, 명태 자어의 안정적인 생산이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서 조도 1000 lux 에서 가장 우수한 성장을 보였지만, 2500 lux 에서 전량 폐사한 결과를 고려할 때, 1000~2500 lux 사이에 조도를 세분화하여 연구를 진행하여 명태 자어의 임계 조도 혹은 최적 조도에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구는, 조도와 광주기에 따른 명태 자어의 생존과 성장에만 근거하여 적정 사육환경을 제시하였으므로, 추후에 빛에 의한 명태 자어의 발생 및 생리학적 연구를 통하여 명태 자어의 적정 사육 환경에 대한 추가적인 근거가 필요할 것으로 보여진다.

References

- Bang M, Kang S, Kim S and Jang CJ(2018). Change in the biological characteristics of walleye Pollock related to demographic changes in the East sea during the late 20th century. Mar. Coast. Fish., 10, 91~99. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10004>
- Barahona-Fernandes MH(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. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(79\)90086-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(79)90086-3)
- Batty RS(1987). Effect of light intensity on activity and food searching of larval gerring *Clupea harengus*: a laboratory study. *Mar. Biol.*, 93, 323~327. <https://doi.org/10.1007/BF00428237>
- Blanco-Vives B, Villamizar N, Ramos J, Bayarri MJ, Chereguini O and Sánchez-Vázquez FJ(2010). Effect of daily thermos- and photo-cycles of different light spectrum on the development of Senegal sole (*Solea senegalensis*) larvae. *Aquaculture*, 306, 137~145. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.034>
- Blaxter JHS and Staines M(1970). Pure-cone retinae and retinomotor responses in larval teleosts. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 50, 449~460. <https://doi.org/10.1017/S0025315400004641>
- Blaxter JHS(1975). The role of light on the vertical migration of fish-a review. In: Evans GC, Bainbridge R, Rackham O(Eds), *Light as an Ecological Factor: Part II. The 16th symposium of the British Ecological Society*, 26-28 March 1974. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 189~210.
- Blaxter JHS(1986). Development of sense organs and behavior of teleost larvae with special reference to feeding and predator avoidance. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 115, 98~114. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1986\)115<98:NLFC DO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1986)115<98:NLFC DO>2.0.CO;2)
- Brown JA, Minkoff G and Puvanendran V(2003). Larviculture of Atlantic cod (*Gaids morhua*): progress, protocols, and problems. *Aquaculture*, 227, 357~372. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00514-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00514-3)
- Chatain B and Ounais-Guschemann N(1991). Improved rate of initial swim bladder inflation in intensively reared *Sparus auratus*. *Aquaculture*, 84, 345~353. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90099-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90099-9)
- Choi J, Han G, Lee KW, Byun G, Lim HJ and Kim HS(2020a). Effect of water temperature on the egg hatch and early growth of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*). *Kor. J. Ichthyol.*, 32(2), 78~83. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.2.6>
- Choi J, Lee KW, Han G, Byun SG, Lim HJ and Kim HS(2020b). Influence of salinity on hatching rate of fertilization eggs and larval survival of walleye Pollock *Gadus chalcogrammus*. *J. Kor. Soc. Fish. Mar. Edu.*, 32(3), 725~731. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.6.32.3.725>
- Downing G and Litvak MK(1999). The influence of light intensity on growth of larval haddock. *N. Am. J. Aquat.*, 61, 135~140.
- Duncan DB(1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1~42. [https://doi.org/10.2307/3001478\(duncan\)](https://doi.org/10.2307/3001478(duncan))
- Duray M and Kohno H(1988). Effects of continuous lighting on growth and survival of first-feeding larval rabbitfish, *Siganus guttatus*. *Aquaculture*, 72, 73~79. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90147-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90147-0)
- Fielder DS, Bardsley WJ, Allan GL and Pankhurst PM(2002). Effect of photoperiod on growth and survival of snapper *Pagrus auratus* larvae. *Aquaculture*, 211, 135~150. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00006-6)
- Hart PR, Hutchinson WG and Purser GJ(1996). Effects of photoperiod, temperature and salinity on hatchery-reared larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea tapirina* Gunther, 1862). *Aquaculture*, 144, 303~311. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(96\)01305-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)01305-1)
- Hiatt T, Dalton M, Felthoven R, Fissel B, Garber-Yonts B, Haynie A, Kasperski S, Lew D, Package C, Sepez J and Seung C(2010). Economic Status of the Ground Evaluation Report for the Groundfish Fisheries of the Gulf of Alaska and Bering Sea/Aleutian Islands Area, 254p.
- Holiday FGT(1965). Osmoregulation in marine teleost eggs and larvae. *Calif. Coop. Oceanic. Fish. Investg. Rep.*, 10, 89~95.
- 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, 33~77.
- Koenker BL, Laurel BJ, Copeman LA and Ciannelli L(2018). Effects of temperature and food availability on the survival and growth of larval Arctic cod (*Boreogadus saida*) and walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*). *ICES J. Mar. Sci.*, 75, 2386~2402. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy062>

- KOSIS(2021). Korean statistical information service.
- Lehtonen H, Sture H and Winkler H(1996). Biology and exploitation of pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.), in the Baltic Sea area. *Annales Zoologici Fennici*, 33(3), 525~535.
- McFarland WN(1986). Light in the sea-correlations with behaviours of fishes and invertebrates. *Am. Zool.*, 26, 389~401.
<https://doi.org/10.1093/icb/26.2.389>
- Migaud H, Cowan M, Taylor J and Ferguson HW(2007). The effect of spectral composition and light intensity on melatonin, stress and retinal damage in post-smolt Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 270(1), 390~404.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.064>
- Muntz WRA(1975). Behavioural studies of vision in a fish and possible relationships to the environment. In: Ali AM(Ed.), *Vision in Fishes: New Approaches in Research*. Plenum, NY, 705~717.
https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0241-5_55
- Park J, Hong W, Seo J, Nam WS and Kwon O(2018). Enriched rotifer feeding efficiency in the walleye Pollock *Theragra chalcogramma* depends on larval fatty acid composition. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 51(5), 549~555.
<https://doi.org/10.5657/KFAS.20180549>
- Puvanendran V and Brown JA(1998). Effect of light intensity on the foraging and growth of Atlantic cod larvae: interpopulation difference? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 167, 207~214.
- Puvanendran V and Brown JA(2002). Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture*, 214, 131~151.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00045-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00045-5)
- Sfakianakis DG, Renieri E, Kentouri M and Tsatsakis AM(2015). Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environ. Res.*, 137, 246~255.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.014>
- Tandler A and Mason C(1983). Light and food density effects on the growth and survival of larval gilthead seabream (*Sparus aurata*, *Linnaeus*, *Sparidae*). *World Maricult. Soc. Special Publ. Se.*, 3, 103~116.
- Trotter AJ, Battaglione SC and Pankhurst PM(2003). Effects of photoperiod and light intensity on initial swim bladder inflation, growth and post-inflation viability in cultured striped trumpeter (*Latris lineata*) larvae. *Aquaculture*, 224, 141~158.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00212-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00212-6)
- Van der Meeren T and Jørstad KE(2001). Growth and survival of Arcto-Norwegian and Norwegian coastal cod larvae (*Gadus morhua* L.) reared together in mesocosms under different light regimes. *Aquac. Res.*, 32, 549~563.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00578.x>
- Versamos S, Nebel C and Charmantier G(2005). Ontogeny of osmoregulation in postembryonic fish: a review. *Comp Biochem Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol.*, 141(4), 401~429.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2005.01.013>
- Villamizar N, Blanco-Vives B, Migaud H, Davie A, Carboni S and Sánchez-Vázquez FJ(2011). Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: A review. *Aquaculture*, 315, 86~94.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.10.036>
- 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.2013.08.004>
- Yoo HK, Byun SG, Yamamoto J and Sakurai Y(2015). The effect of warmer water temperature of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) larvae. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 4, 339~346.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.4.339>
- Yoo H, Byun S, Choi J, Nam M, Lee HM, Kang HW and Lee C(2016). Optimal enrichment temperature, time and materials for L-type rotifer *Brachionus plicatilis* cultured at a low temperature. *J. Kor. Soc. Mar. Environ. Saf.*, 22, 500~507.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.5.500>

-
- Received : 31 May, 2021
 - Revised : 06 July, 2021
 - Accepted : 21 July, 2021