

명태의 수정란 부화 및 자어 생존에 미치는 염분의 영향

최진 · 이기욱* · 한경식* · 변순규** · 임현정*** · 김희성†
국립수산과학원(연구사 · *연구원 · **연구관 · ***과장) · †경상대학교(조교수)

Influence of Salinity on Hatching Rate of Fertilization Eggs and Larval Survival of Walleye Pollock *Gadus chalcogrammus*

Jin CHOI · Ki-Wook LEE* · Gyeong-Sik HAN* · Soon-Gyu BYUN** ·
Hyun-Jeong LIM*** · Hee-Sung KIM†

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

Abstract

The aim of this study was to investigate the influence of seawater salinity on hatching rate of fertilization eggs and larval survival of walleye pollock, *Gadus chalcogrammus*. The following water salinity was considered: 10, 15, 20, 25, 30 and 34 psu for the control (natural seawater). Survival of eggs maintained at 34 psu was greater than that of eggs maintained at different salinities for 12 days. The highest hatching rate was observed for larvae maintained at 34 psu, and higher than other salinity treatments. Time to first hatch of eggs maintained at 10, 15 and 20 psu was longer than at 25, 30 and 34 psu. However, time to 50% and 100% hatch of eggs maintained at 10 psu was shorter than those of eggs maintained at 25, 30 and 34 psu. Survival of larvae at 34 psu was greater than larvae at all other salinity treatments. Therefore, the best results of hatching rate of fertilization eggs and larval survival were obtained when eggs and larvae were reared in the salinity of 34 psu.

Key words : Salinity, Fertilization eggs, Larvae, Walleye pollock, Survival

I. 서론

1980년대 국내 명태의 어획량은 약 16만톤 이상으로 높았으나, 1990년대부터 감소하기 시작하여 2010년대에는 약 10톤 이하로 급격하게 감소하였다(KOSIS, 2019). 이러한 급격한 어획량 감소에 따라 국내 연구기관에서는 명태의 방류를 통한 자원량 회복과 양식기술 개발을 위하여 영양

al., 2015), 질병(Kim et al., 2017) 등의 몇몇 연구가 수행된 바 있다.

어류 종자생산에 있어서 발달 초기 단계인 수정란과 부화 자어 시기에는 다른 성장단계에 비하여 염분과 같은 외부적 및 화학적 요인에 더욱 민감한 것으로 알려져 있다(Holliday, 1969; Lehtonen et al., 1996; Varsamos et al., 2005). 특히 사육수의 염분 농도의 변화는 어류가 삼투압 및 이온 조절에 더 많은 에너지를 소비하게 되어 발

† Corresponding author : 055-772-9154, bluesonn@gnu.ac.kr

* 이 논문은 2020년도 국립수산과학원 수산과학연구소업 주요 양식품종 모니터링(R2020004)의 지원으로 수행된 연구입니다.

달과 성장에 적은 에너지가 이용되기 때문에 생산성을 감소시키는 요인이 된다(Febry and Lutz, 1987; Wootton, 1990).

명태는 한해성 어종으로 수온 5-7.5°C에서 수정란의 부화와 자어 생산에 안정적인 것으로 알려져 있다(Yoo et al., 2015). 그러나 겨울철을 제외한 다른 계절에는 명태의 생육에 알맞은 수온으로 냉각이 필요하나 수온을 유지하기 위한 많은 비용이 소요되고 있는 실정이다. 따라서 비교적 자연 해수보다 일정하게 낮은 수온(18°C)을 유지하는 지하 해수를 이용한 효율적인 양식기술에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 그러나 지하 해수의 경우 자연 해수보다 수온이 일정하게 유지되는 반면에 염분이 낮고 강우량에 따라 염분이 급격하게 변하는 것으로 알려져 있다(Lim et al., 2012).

따라서 명태 종자 생산에 있어 염분의 영향에 대한 연구는 전혀 이루어진 바 없으므로, 본 연구에서는 명태의 안정적인 종자 생산기술 개발에 대한 기초 자료를 제공하기 위하여 염분이 수정란 부화 및 자어 생존율에 미치는 영향에 대하여 평가하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 수정란 생존율 및 부화율 조사

염분이 명태 수정란의 생존율과 부화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2019년 2월 국립수산물학원 동해수산연구소에서 양성 중인 인공 1세대 어미 명태의 자연 산란을 통해 수정란을 확보하였다. 수정란은 담수와 자연 해수를 이용하여 설정한 염분 농도가 10, 15, 20, 25, 30 및 34 psu (자연해수)인 실험구별 1 L 비이커에 각각 100립씩 수용한 후 평균 수온이 7.9°C로 유지되고 있는 1 ton 사각 FRP (fiber-reinforced plastic) 수조 (수량: 900 L)에 두고 3반복구로 실험을 진행하였다. 또한 각 비이커내 에어레이션을 통해 충분한

산소를 공급하였다. 생존율은 가라앉은 사란을 계수하여 12일간 평가하였고, 부화율은 첫 부화 시점부터 완전(100%) 부화시점까지 6시간 간격으로 수정란의 부화를 관찰하면서 조사하였다.

2. 자어 생존율 조사

염분별 명태 부화 자어의 생존율을 평가하기 위하여 2019년 3월에 인공 1세대 어미 명태가 자연 산란한 수정란을 확보하였으며, 수정란을 18개의 40 L 유수식 플라스틱 사각 수조(수량: 30 L)에 각각 800립씩 스포이드로 계수하여 수용한 후 부화를 관찰하였다. 사육수는 자외선살균기와 마이크로필터(ϕ 50 μ m)로 살균 및 여과한 34 psu 해수를 공급하였다. 부화 후 1주 동안 34 psu에서 설정한 염분 농도구(10, 15, 20, 25, 30 및 34 psu)에 맞게끔 자연 해수와 담수를 이용하여 염분을 점차적으로 조절하였으며, 실험은 3반복구로 진행하였다. 사육실험 개시 전 각 실험수조의 자어 수를 계측하여 동일한 사육밀도(400마리/30 L 수조)로 맞춘 후 염분에 따른 생존율을 평가하였다. 총 관찰 기간은 5일이었으며, 사육기간 동안 먹이 공급은 S. presso (INVE, Dendermonde, Belgium)로 영양강화한 rotifer를 3-5 개체/ml 밀도로 공급하였으며, 실험기간동안 수온과 용존산소량은 각각 평균 7.8°C 및 8.24 mg/L이었다.

3. 통계분석

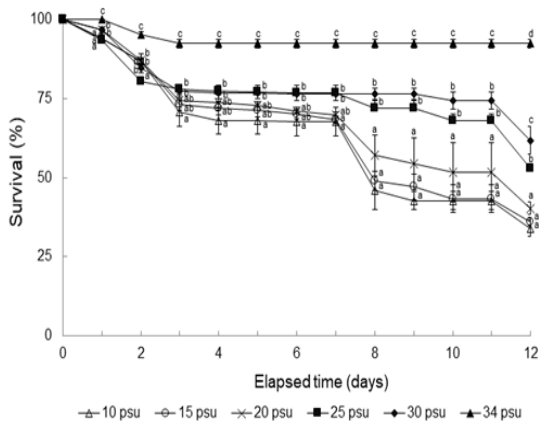
SPSS program version 25.0 (SPSS Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)를 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로서 각 실험구간의 유의성을 검증하였다.

III. 결 과

1. 수정란 생존율 및 부화율

첫 부화시점까지의 염분에 따른 수정란의 생존

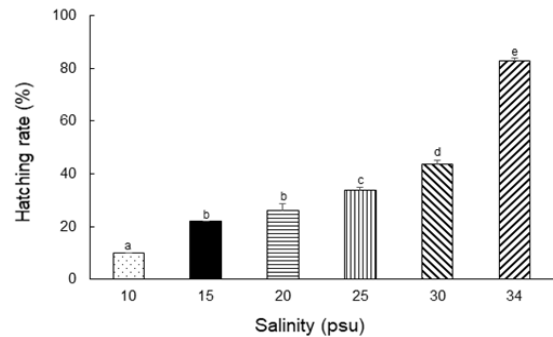
율을 12일간 관찰한 결과는 [Fig. 1]에 나타냈다. 염분별 배양 1일째에 생존율은 자연 해수(34 psu) 실험구가 다른 모든 실험구에 비하여 유의하게 높았으며($P<0.05$), 10 psu 실험구가 25 및 30 psu 실험구보다 유의하게 낮았으나($P<0.05$), 15와 20 psu 실험구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 사육 2일째는 15 psu 실험구의 생존율이 10 psu보다 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 34 psu보다 유의적으로 낮게 나타났으나($P<0.05$), 20, 25 및 30 psu 실험구와는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 사육 3일째부터 12일째까지는 10 psu 실험구의 생존율이 25, 30 및 34 psu 실험구보다 유의적으로 낮게 나타났으나($P<0.05$), 15와 20 psu 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$).



[Fig. 1] Survival of fertilization eggs of walleye pollock reared at different salinity. Values (means of triplicate \pm SE) showing different letters in the same elapsed time indicated significant differences ($P<0.05$) among the treatments.

염분별 수정란 부화 결과는 [Fig. 2]와 <Table 1>에 나타냈다. 염분별 수정란의 부화율은 34 psu 실험구가 유의적으로 가장 높았으며($P<0.05$), 다음으로 30, 25, 20, 15 및 10 psu 순으로 높게 나타났다. 수정란의 첫 부화 시점(time to first

hatch)까지 소요시간은 25, 30 및 34 psu 실험구가 10, 15 및 20 psu보다 유의적으로 빨랐다($P<0.05$). 50% 부화까지 걸리는 시간(time to 50% hatch)은 10 psu 실험구가 25, 30 및 34 psu 실험구보다 유의적으로 빠르게 나타났으나($P<0.05$), 15 psu와 20 psu 실험구와는 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 부화 100%까지 걸리는 시간(time to 100% hatch)은 30 psu와 34 psu 실험구가 나머지 다른 모든 실험구보다 유의적으로 느리게 나타났다($P<0.05$).



[Fig. 2] Hatching rate (%) of eggs of walleye pollock reared at different salinity. Values (means of triplicate \pm SE) with different letters indicated significant differences ($P<0.05$) by Duncan's multiple range test.

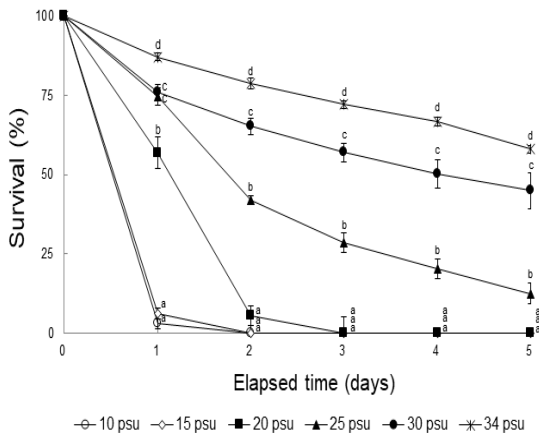
<Table 1> Hatching time (h) for walleye pollock eggs at different salinity

Salinity (psu)	Time to first hatch (h)	Time to 50% hatch (h)	Time to 100% hatch (h)
10	274.0 \pm 3.46 ^b	322.0 \pm 3.46 ^a	438.0 \pm 3.46 ^a
15	270.7 \pm 4.67 ^b	325.3 \pm 4.81 ^{ab}	438.7 \pm 3.53 ^a
20	268.0 \pm 2.31 ^b	328.0 \pm 4.62 ^{ab}	448.0 \pm 3.46 ^{ab}
25	253.3 \pm 1.76 ^a	336.0 \pm 3.46 ^{bc}	454.0 \pm 3.46 ^b
30	250.7 \pm 1.76 ^a	338.0 \pm 4.16 ^{bc}	477.3 \pm 4.67 ^c
34	250.0 \pm 1.15 ^a	343.3 \pm 2.91 ^{bc}	482.0 \pm 3.46 ^c

Values (means of triplicate \pm SE) in the same column sharing a common superscript are not significantly different ($P>0.05$).

2. 자어 생존율

염분이 부화 자어의 생존율에 미치는 영향을 5 일간 평가한 결과는 [Fig. 3]에 나타났다. 염분별 사육 1일째, 10과 15 psu 실험구에서 각각 3.0%와 6.3%의 생존율로 유의적으로 가장 낮았으며 ($P < 0.05$), 다음으로 20 (56.9%), 25 psu (74.7%), 30 (76.0%) 및 34 psu (87.1%) 순으로 유의하게 높은 생존율을 보였다($P < 0.05$). 그러나 사육 2일째, 10과 15 psu 실험구는 전량 폐사하였으며, 20 psu 실험구와 유의적인 차이가 관찰되지 않았다 ($P > 0.05$). 사육 3일째 20 psu 실험구도 전량 폐사하였으며, 34 psu 실험구가 72.1%의 생존율로 유의적으로 가장 높은 생존율을 보였고($P < 0.05$), 다음으로 30 (57.1%) 및 25 psu (28.6%) 실험구 순으로 유의적으로 높은 생존율을 보였다 ($P < 0.05$). 실험 종료시(5일째) 생존율은 34 psu 실험구(58.0%)가 30 (45.0%) 및 25 psu (12.5%) 실험구보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$).



[Fig. 3] Survival of hatched larvae of walleye pollock reared at different salinity. Values (means of triplicate±SE) showing different letters in the same elapsed time indicated significant differences ($P < 0.05$) among the treatments

IV. 고찰

성공적인 해산어류의 인공 종자생산을 위해서는 양식 대상어의 적정 사육환경(수온, 염분, 용존산소, 광주기 등) 조성이 중요한 핵심 요소 중 하나이다. 특히 한해성 어종인 명태의 안정적인 인공 종자생산을 위해서는 사육 수온이 7.5℃ 이하를 유지하는 것이 중요하다(Yoo et al., 2015). 그러나 최근 국내 해수 수온 상승(27℃ 이상)으로 인하여 명태의 안정적인 양식을 위한 수온 유지에 많은 비용이 들어가기 때문에 지하 해수를 활용한 명태 양식생산 기술로써 냉각수 활용으로 경제적인 장점이 될 것으로 판단되며, 이에 대한 연구가 필요함에 따라 본 연구는 지하 해수가 자연 해수보다 염분이 비교적 낮은 점을 고려한 염분 농도 구배에 따른 명태 인공 종자생산에 대한 연구를 수행하였다. 일반적으로 어류의 경우 다양한 사육 환경 요인 중 염분 농도는 서식 생태를 제한하는 요인 중 하나이며, 수정란과 부화 자어의 삼투압 및 이온 조절능력에 관여하여 발생, 생존 및 성장에 영향을 준다(Febry and Lutz, 1987; Wootton, 1990; Jun et al., 2002; Okamoto et al., 2009).

12일간의 염분별 수정란의 생존율과 부화율은 염분 농도가 낮을수록 낮은 생존율을 보였다. 경골어류의 수정란은 일반적으로 성어의 체액 삼투도에 가까운 삼투도를 유지하며 종에 따라서 다르지만 초기 발생동안 수정란은 삼투조절 능력이 아주 미세하므로(Alderdice, 1988), 본 연구에서도 낮은 염분 농도에서 수정란의 생존율과 부화율이 낮아진 것으로 판단된다. 또한, 경골어류의 종자생산에 있어서 환경 요인인 염분은 수정란의 생존뿐만 아니라 발생, 부화율 및 자어의 성장, 활력, 난황 흡수, 먹이효율 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Holiday, 1969). 30 psu 미만에서 부화한 자어들은 대부분이 기형 또는 폐사가 관찰되었다. 이와 유사하게 rabbit fish, *Siganus*

*gattatus*의 수정란 부화에 있어서도 다양한 염분 농도구(0~72 psu)에서 부화시간은 염분 농도가 높아짐에 따라 짧았으며, 저염분 농도구에서 부화율이 낮게 나타났다(Yonug and Dueñas, 1993). 참자가미, *Limanda herzensteini*에 있어 자연 35 psu (자연 해수)부터 38 psu 실험구의 수정란 발생과 부화율은 유사하였으나, 27 psu 이하에서는 전량 폐사하였다(Lee et al., 1997). 고등어, *Scomber japonicus*의 수정란을 대상으로 한 연구에서도 염분 농도가 낮을수록 부화율이 낮고, 자연 산란 시기의 염분 농도(33~35 psu)에서 가장 우수한 부화율을 보였다(Hwang et al., 2008). 이러한 결과의 원인으로 Hwang et al. (2008)의 보고에 따르면 염분이 높을수록 배체의 움직임과 심장 박동이 빠르게 증가하고 반대로 염분이 낮을수록 배체의 움직임과 심장박동이 미약하여 부화율이 감소하고 기형 출현율이 증가한다고 보고하였다. 이처럼 본 연구에서도 명태 수정란 또한 염분이 낮을수록 배체의 활동성에 악영향을 미친 것으로 판단되나, 이에 대한 명확한 원인에 대한 발생·생리학적 연구가 추후 필요한 것으로 사료된다. 염분별 명태 수정란의 첫 부화까지 걸리는 시간은 염분이 높을수록 빠르게 나타났으나, 이후 50%와 100% 부화까지 걸리는 시간은 염분이 낮을수록 빠르게 나타나는 경향을 보였다. 본 연구 결과와 유사하게 desert pupfish, *Cyprinodon macularis* (Kinne, 1964)와 Pacific herring, *Clupea pallasii* (Griffin et al., 1998)의 수정란 부화시간은 염분이 높을수록 길어지는 것으로 나타났으며, haddock, *Melanogrammus aeglefinus* (Laurence and Rogers, 1976) 수정란의 부화시간은 염분에 영향을 받지 않지만, yellowtail flounder, *Limanda ferruginea* (Laurence and Howell, 1981)와 rabbit fish (Yonug and Dueñas, 1993) 수정란의 부화시간은 염분과 역 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이처럼 해산어류에 있어 수정란의 부화시간과 염분의 상관관계는 중간 차이가 있는 것으로 사료된다. 또한 몇몇 어종에 있어서 원구(blastopore)가 완전히

닫히기 전에 저염분에 대한 내성이 떨어지고 (Holiday and Jones, 1967), 난황기(blastomer stage)보다 낭배기(gastrula stage)에 염분에 대한 내성이 우수한 것으로 알려져 있다(Lee and Menu, 1981). 따라서 본 연구에서도 명태 수정란의 발달단계에 따라 염분에 대한 내성 조절기작이 서로 달라 부화시간이 염분 농도구별로 다르게 나타난 것으로 판단된다.

염분별 사육실험 종료시 부화 자어의 생존율은 30 psu 이하의 모든 실험구가 12.5% 이하로 낮은 생존율을 보였으며, 생존한 개체들 대부분이 기형을 보였다. 자주복, *Takifugu rubripes*을 대상으로 한 연구에서도 낮은 염분 농도구인 3.5 psu에서 사육함에 따라 기형률의 증가 또는 높은 폐사가 나타났다(Go and Rho, 1996). 그러나 placie, *Pleuronectes platessa*와 cod, *Gadus callarius*의 부화 자어는 각각 낮은 염분인 5 psu와 10 psu에서 생존이 가능하였다(Holliday, 1965). Holliday (1969)는 이를 부화 자어의 외피 구조와 염분 투과도와 밀접한 관계에 의한 것으로 보고하였으며, 염분은 부화 자어의 난황 흡수 및 이용 효율 (May, 1974; Swanson, 1996), 대사에너지 (Morgan and Iwama, 1991) 및 소화 능력(Ferraris et al., 1986)에 관여하여 생존율에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

이상의 연구를 고려한다면 본 연구 조건에서 한해성 어종인 명태의 종자생산에 있어서 수정란의 생존율과 부화 및 자어의 안정적인 생산을 위해서는 자연 해수(34 psu)에서 사육하는 것이 바람직하며, 30 psu 이상 34 psu이하에서의 명태 수정란과 자어의 염분 내성에 대한 세밀한 발생·생리학적 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 어류의 성장에 있어 염분의 영향은 어체 크기 및 발달 시기 등에 따라 다르므로, 치어기, 미성어기 및 성어기 명태를 대상으로 한 연구 수행을 통하여 자연 해수보다 비교적 수온이 안정적인 지하해수를 이용한 명태 양식생산 기술 적용을 위한 세분화된 연구가 필요하며, 이를 통하여 보다 실

용적이고 경제적인 명태 양식생산 기술의 발전이 가능할 것으로 예상된다.

References

- Alderdice DF(1988). Osmotic and ionic regulation in teleost eggs and larvae. pp. 163-251. (in) Fish Physiology (eds.) Hoar WS and Randall DJ. Vol. 11, Part A, Academic press, New York.
[http://dx.doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60200-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60200-9)
- Choi J, Byun S, Lim HJ and Kim HS(2020). Determination of optimum dietary protein level for juvenile walleye pollock, *Gadus chalcogrammus* Pallas 1811. Aquacult. Rep., 17, 100291.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100291>
- Duncan DB(1955). Multiple range and multiple F tests. Biometrics, 11(1), 1~42.
- Febry R and Lutz P(1987). Energy partitioning in fish: the activity related cost of osmoregulation in a euryhaline cichlid. J. Expe. Biol., 128, 63~85.
- Ferraris RP, Catacutan MR, Mabelin RL and Jazul AP(1986). Digestibility in milkfish, *Chanos chanos*: Effect of protein source, fish size and salinity. Aquaculture, 59(2), 93~105.
[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90123-7](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(86)90123-7)
- Go HB and Rho S(1996). Low salinity tolerance of eggs and juveniles of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. J. Aquacult., 9(1), 43~55.
- Griffin JF, Pillai MC, Vines CA, Kääriä J, Hibbard-Robbins T, Yanagimachi R and Cher GN(1998). Effects of salinity on sperm motility, fertilization, and development in the Pacific herring, *Clupea pallasii*. Biol. Bull., 194(1), 25~35.
<http://dx.doi.org/10.2307/1542510>
- Holliday FGT(1965). Osmoregulation in marine teleost eggs and larvae. Calif. Coop. Oceanic. Fish. Investg. Rep., 10, 89~95.
- Holliday FGT(1969). The effects of salinity on the eggs and larvae of teleosts. In: Fish Physiology, Vol. IV (ed. by Hoar WS and Randall DJ), pp. 293~311. New York, USA.
[https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60085-0](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60085-0)
- Holliday FGT and Jones MP(1967). Some effects of salinity on the developing eggs and larvae of the plaice (*Pleuronectes platessa*). J. Mar. Biol. Assoc. UK, 47(1), 39~48.
<https://doi.org/10.1017/S0025315400033543>
- Hwang H, Kim D, Park M, Yoon S and Lee Y(2008). Effect of water temperature and salinity on the egg and larval of chub mackerel *Scomber japonicus*. J. Aquacult., 21(4), 234~238.
- Jun J, Kim C, Chung E, Lee C and Kim B(2002). Influence of water temperature and salinity on early development of the stone flounder, *Kareius bicoloratus* from West Sea of Korea. Korean J. Ichthyol., 14(3), 190~197.
- Kim KI, Byun S, Kang HW, Nam M, Choi J, Yoo H and Lee C(2017). Disease monitoring of Alaska pollock (*Gadus chalcogrammus*) based on growth stage. Korean J. Ichthyol., 29(1), 62~68.
- Kinne O(1964). The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity combinations. Oceanogr. Mar. Biol. A Rev., 2, 281~339.
- KOSIS(2019). Korean statistical information service.
- Laurence GC and Howell WH(1981). Embryology and influence of temperature and salinity on early development and survival of yellowtail flounder *Limanda ferruginea*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 6, 11~18. <http://dx.doi.org/10.3354/meps006011>
- Laurence GC and Rogers CA(1976). Effects of temperature and salinity on comparative embryo development and mortality of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). J. Cos. Int. Explor. Mer., 36(3), 220~228. <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/36.3.220>
- Lee CS and Menu B(1981). Effects of salinity on egg development and hatching in grey mullet (*Mugil cephalus*). J. Fish Biol., 19(2), 179~188.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb05822.x>
- Lee JY, Kim WK and Chang YJ(1997). Influence of water temperature and salinity on egg development of flatfish, *Limanda Herzensteini*. J. Aquacult., 10(3), 357~362
- 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.
- Lim H, Kim Y, Son M, Kim K, Jeong M and Chang Y(2012). Quality characteristics of starry flounder *Platichthys stellatus* meat reared in

- different salinity. J. Fish. Mar. Sci. Edu., 24(2), 324~332.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2012.24.2.324>
- May RC(1974). Effects of temperature and salinity on yolk utilization in *Bairdiella icistia* (Jordan & Gilbert) (Pisces: Sciaenidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 16(3), 213~225.
[http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(74\)90026-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(74)90026-4)
- Morgan JD and Iwama GK(1991). Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48(11), 2083~2094.
<http://dx.doi.org/10.1139/f91-247>
- Okamoto T, Kurokawa T, Gen K, Murashita K, Nomura K, Kim S, Matsubara H, Ohta H and Tanaka H(2009). Influence of salinity on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption. Aquaculture, 293(1-2), 113~118.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.005>
- 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.2018.0549>
- Swanson C(1996). Early development of milkfish: effects of salinity on embryonic and larval metabolism, yolk absorption and growth. J. Fish Biol., 48(3), 405~421.
<https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01436.x>
- Varsamos 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>
- Wootton RJ(1990). Ecology of Teleost Fish. Chapman and Hall, London, U.K., 404.
- Yoo H, Byun S, Yamamoto J and Sakurai Y(2015). The effect of warmer water temperature of walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) larvae. J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf., 21(4), 339~346.
<http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.4.339>
- Young PS and Duñas CE(1993). Salinity tolerance of fertilized egg and yolk-sac larvae of the rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bolch). Aquaculture, 112(4), 363~377.
[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90396-G](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(93)90396-G)

-
- Received : 01 April, 2020
 - Revised : 04 May, 2020
 - Accepted : 15 May, 2020