

참돔(*Pagrus major*) 알의 수정, 부화 및 부화 자어의 기형률에 미치는 산란 시기의 영향

김주경 · 윤병선¹ · 이한별 · 김승한 · 오승용^{2*}

한국수산자원공단 남해생명자원센터, ¹다한생태연구소, ²한국해양과학기술원 해양생명자원연구부

Effect of the Spawning Period on Fertilization and Hatching of Egg and Deformity of Hatched Larvae in Red Seabream *Pagrus major*

Ju Kyoung Kim, Byoung Sun Yoon¹, Han Byeol Lee, Seung Han Kim and Sung-Yong Oh^{2*}

Aquatic Living Resources Center of South Sea, Korea Fisheries Resources Agency, Jeonnam 59110, Republic of Korea

¹Dahan Ecological Research Institute, Gangwon 25417, Republic of Korea

²Marine Biotechnology & Bioresource Research Department, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

This study aimed to investigate the effect of five different spawning periods [from March 31 to April 9 (SP1), April 10 to 19 (SP2), April 20 to 29 (SP3), April 30 to May 9 (SP4), and May 10 to 19 (SP5), 2024] on the egg fertilization and hatching rates and the deformity rate of hatched larvae of red seabream *Pagrus major* broodstock (mean weight ♀ 2,211.9 g, ♂ 2,060.6 g) from 14.8 to 17.2°C. Eggs produced in SP1 under conditions below 16.0°C exhibited lower fertilization rates (71.5%), hatching rates (70.8%), and survival rates (51.3%) compared to those of SP2, SP3, SP4, and SP5. The diameters of egg and oil globules in SP4 and SP5 were higher than those of SP1, SP2, and SP3. However, larvae deformity rates are not affected by spawning periods. These results indicated that eggs produced in SP4 and SP5 maintained over 16°C were well in various indices and suitable for commercial aquaculture under our experimental conditions. This study provides valuable insights for managing seed production of red seabream in commercial hatchery.

Keywords: Egg quality, Spawning period, Hatching rate, Seed production, *Pagrus major*

서 론

어류 종자 배양장에서 생산되는 알, 자어 및 치어의 품질은 양식용 어류의 성장과 생산에 영향을 미치는 중요한 제한인자(Kjørsvik et al., 1990)일뿐만 아니라 방류 종자에 의한 생태계 건강도에도 많은 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다(Bromage, 1995; Moretti et al., 1999). 특히, 종자 배양장에서 수정란을 보급받아 치어를 생산하는 양식업자의 관점에서 수정란의 품질은 부화율, 자어 생산량 및 초기 생존율에 중요한 영향을 미치는 잠재적 요인으로 인식되기(Kjørsvik et al., 1990; Mihelakakis et al., 2001) 때문에 이에 대한 정확한 정보가 필수적이다. 알의 품질은 산란기간 동안 변화하는 다양한 인자들,

즉 암컷의 내분비 상태, 사료 공급량과 품질, 사육수의 물리화학적 변수 및 스트레스 인자 등에 따라 달라진다(Campbell et al., 1992; Bromage, 1995; Brooks et al., 1997; Christiansen and Torrisen, 1997; Carrillo et al., 2000). 또한 알의 외형적 크기 및 모양이나 무게, 투명도, 유구의 크기와 개수 및 분포 등(Kjørsvik et al., 1990; Bromage, 1995; Shields et al., 1997; Lahnsteiner and Patarnello, 2005)과 수정란의 부화율 및 부화된 유생 또는 자어의 형태적 측면과 기형률 등이 알 품질 평가 인자로 사용된다(Foscarini, 1988; Kjørsvik, 1994; Hood and Johnson, 2000; Machinandiarena et al., 2003). 이와 아울러 cod *Gadus morhua*와 halibut *Hippoglossus hippoglossus*을 포함한 해양 어류의 경우 초기 blastodisc 단계의 세포분열 대칭성

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 664. 3310 Fax: +82. 51. 955. 3981

E-mail address: syoh@kiost.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0717>

Korean J Fish Aquat Sci 57(6), 717-725, December 2024

Received 5 December 2024; Revised 9 December 2024; Accepted 10 December 2024

저자 직위: 김주경(센터장), 윤병선(연구원), 이한별(연구원), 김승한(연구원), 오승용(책임연구원)

이 정상적인 부화 및 유생 발달의 강력한 지표로 보고된 바 있으며(Sakai et al., 1985; Kjorsvik et al., 1990; Kjorsvik, 1994; Shields et al., 1997), 수정란의 부화 온도, 염분, 용존산소 등 사육환경 역시 생존력 높은 자손 생산에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Lam, 1994; Nagahama, 1995; Brooks et al., 1997; Radonić et al., 2005). 하지만 이전의 많은 연구에도 불구하고 알의 품질 평가를 위한 신뢰할 수 있는 정보는 여전히 부족한 실정이다(Aristizabal et al., 2009; Migaud et al., 2013). 수정란의 품질에 따른 부화율과 부화 자어의 생존력 등과 같은 정보는 종자 배양장을 경영하는 양식업자에게는 필수적인 정보로서, 좋은 품질의 알을 판정하기 위한 간단한 방법(Kim and Kim, 1990; Bromage, 1995)을 통해 생산성, 수정률 및 부화율 등이 높은 시기에 생산되는 품질이 좋은 수정란을 집중적으로 생산할 수 있는 방법을 계획화해야만 한다. 즉, 양식종자의 생산성 및 안정성을 높이기 위해서는 대상 어류의 산란기간에 생산된 알의 품질 변화에 대한 정확한 정보를 바탕으로 상업적 종자 배양장에서 알의 수집 및 유생 생산을 최적화하는 것이 매우 중요하다(Kim and Kim, 1990; Mylonas et al., 2004).

참돔(*Pagrus major*)은 우리나라, 중국, 일본, 대만 및 하와이에 걸쳐 분포하는 대단히 경제적으로 중요한 어업자원(Chyung, 1977; Jin et al., 2020)일뿐만 아니라, 일본의 경우 두 번째로 많은 양식 생산량과 가장 많은 종자 생산량을 기록할 정도로 주요 해산 양식어류로서도 그 가치가 매우 높다(Kato, 2023). 우리나라에서 본격적으로 참돔 양식이 이루어진 1990년 이후 어업활동을 통해 어획된 참돔은 평균 1,505톤이었던 반면 양식을 통한 생산량은 평균 3,609톤으로 2.4배에 달하며, 특히 최근 3년 동안 양식을 통한 생산량은 7,560톤(KOSIS, 2024)으로 앞으로도 생산량이 지속적으로 증가할 것으로 예상되는 고급 해산양식어종이다(Lim et al., 2023).

자연산 참돔의 산란기간은 4-8월 사이이며, 주산란기는 5-6월 사이로 보고되고 있지만(Jin et al., 2020), 암컷과 수컷 모두의 생식숙도지수의 경우 3월 후반-5월 초순 사이가 가장 높은 것으로 알려져 있다(Gen et al., 2003). 참돔은 산란기 동안 여러 번에 걸쳐 산란하는 다회산란성 어종(Gen et al., 2003; Mylonas et al., 2004)이기 때문에 산란시기에 따른 알의 품질에 대한 평가가 필요하지만, 이에 대한 연구가 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 완도지역 종자 배양장에서 참돔의 주산란기인 4-5월 사이 매일 생산된 알을 대상으로 생산량, 수정률, 부화율 및 기형률 등과 수정란의 난경 및 유구경에 대한 조사를 통해 최적의 품질을 보이는 산란시기에 대한 기초자료를 수집하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

참돔 친어 및 참돔 알의 수집

전라남도 완도에 위치한 한국수산자원공단 남해생명자원

센터에서 사육 중인 4-5년생 참돔 암컷 34마리(평균 체장, 43.2 ± 3.6 cm; 무게, $2,211.9 \pm 506.7$ g)와 수컷 35마리(평균 체장, 42.1 ± 3.5 cm; 무게, $2,060.6 \pm 453.8$ g)에서 생산된 알을 사용하였다.

참돔 알은 친어 사육 원형 콘크리트 수조(지름 6.0 m, 깊이 2.5 m, 용적 70.7 m^3)의 상단에서 20 cm 아래 위치에 수면에서 부유하는 파이프(길이 2.0 m)를 설치해 부유 파이프에 걸리게 한 다음 같은 위치에 배수 파이프를 배출되는 사육수와 함께 수조 외부의 알 수집 시설에 모이게 하였다. 알 수집 시설은 플라스틱 수조(가로 $1.1 \text{ m} \times$ 세로 $0.8 \text{ m} \times$ 높이 0.65 m) 내에 가로 $0.8 \text{ m} \times$ 세로 $0.6 \text{ m} \times$ 높이 0.55 m (망목 $500 \mu\text{m}$) 크기의 채집망을 설치한 장치로서, 친어 사육 수조에서 흘러나오는 사육수와 함께 배출된 알을 채집망 내에 손실 없이 모이게 하였다. 알 수집시설은 전날 15:00-16:00시 사이에 설치해 익일 오전 09:00-10:00시까지 모인 알을 수집하였다. 수정란 수집은 2024년 3월 31일부터 5월 19일까지 매일 이루어졌다.

환경 조사

참돔 수정란 수집이 이루어진 기간 동안 수온, 염분, 용존산소 및 pH를 다목적수질측정기(YSI-ProPlus; Yellow Springs Instruments Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 사용하여 매일 10:00시에 측정하였다.

알 및 부화 자어 특성 분석

참돔의 일별 산란량과 참돔 알의 일별 수정률, 수정란의 난경과 유구경, 부화율과 부화된 자어의 기형률을 조사하였다. 조사 기간은 3월 19일부터 5월 19일까지 총 50일이었다. 이 기간 동안 일별 산란량, 수정률, 수정란의 난경 및 부화율과 전체 생존율, 부화된 자어의 기형률을 10일 간격으로 나누어 5개 산란기간으로 구분하여 기간별 변동 양상을 조사하였다. 즉, 3월 31일-4월 9일(SP1), 4월 10일-4월 19일(SP2), 4월 20일-4월 29일(SP3), 4월 30일-5월 9일(SP4), 그리고 5월 10일부터 5월 19일(SP5)로 구분하여 각 지표를 분석하였다.

참돔의 일별 산란량은 친어를 사육하는 원형 콘크리트 수조에서 수집된 알을 매일 메스실린더(용량 1,000 mL)로 측정하였고, 수정률은 참돔 알이 분리부성란이지만 수정이 이루어지지 않아 발생이 진행되지 않으면 바닥으로 침전되는 특성(Panini et al., 2001)을 활용하여 매일 산란한 알 중에서 20 mL를 메스실린더(용량 1,000 mL)에 넣고 사육수조와 동일한 해수(수온 $15-17^\circ\text{C}$, 33 psu)를 가득 채운 후 2시간 후에 부상되지 않고 침전된 알의 비율로 조사하였다. 수정란의 난경은 수정란 30개를 실제 현미경(SZ61TRC-ILST-5ET; Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하여 난막의 바깥쪽 부분의 지름을 측정하여 조사하였다.

부화율은 수정된 알 100립을 100 mL 비이커에 넣고 해수(33 psu)를 채운 후 항온배양기($16-17^\circ\text{C}$)에서 부화시까지 매일 1회씩 동일 수온의 해수를 50% 비율로 갈아주며 부화된 자어의 수

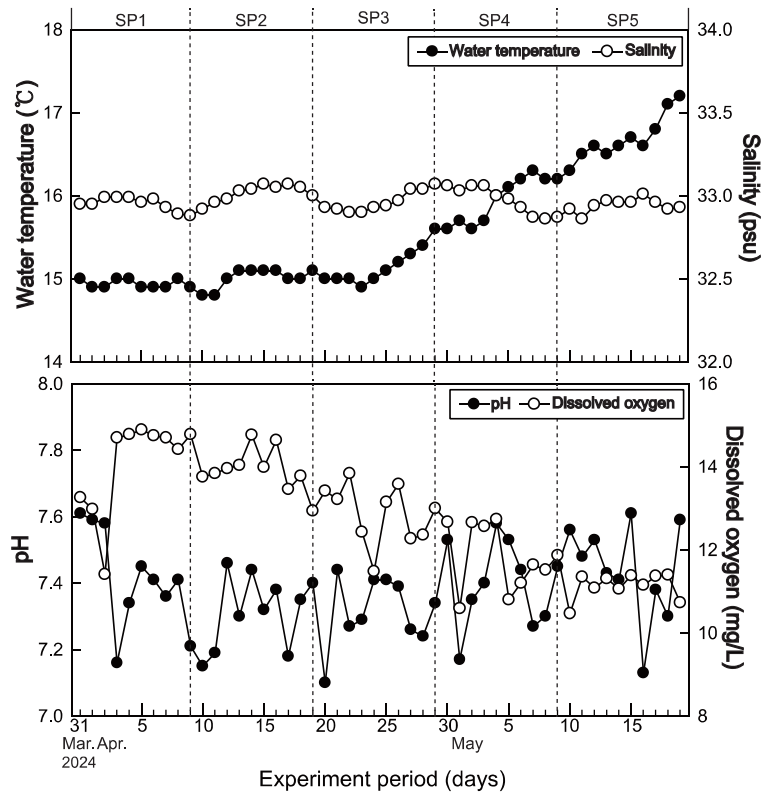


Fig. 1. Change of water temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH during the experiment period. SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

를 계수하여 계산하였다. 알의 일간 생존율은 일별로 생산된 전체 알 중에서 수정 및 부화 단계까지 생존한 알의 비율을, 자어의 기형률은 항온 배양기에서 생산된 부화 직후 자어를 대상으로 척추 기형 개체의 비율로 구하였다. 산란시기에 따른 참돔의 일별 산란량, 수정률, 부화율, 기형률, 생존율, 난경과 유구경의 유사성을 분석하기 위하여 일별 항목별 값들의 유사도를 백분율(%)로 나타내었다.

자료 분석

모든 자료는 통계 프로그램 SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 실험구 사이의 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 유의한 차이가 있을 경우 Duncan’s multiple range test로 95% 신뢰수준에서 평균간 유의성을 검정하였다.

유사도 분석 시에 각각의 항목별로 값의 차이가 크기 때문에 항목별 특성 값에 의해 유사성이 편중되는 것을 피하기 위해 모든 자료는 fourth root로 변환하였으며 유사도 분석에는 Bray-Curtis 지수(Bray and Curtis, 1957)를 사용하였다. 일별로 분석된 유사도를 바탕으로 각각의 유사성에 대한 집괴분석을 실시하기 위하여 수지도(dendrogram)를 작성하고 집괴분석을 실시하였으며, 그룹간 연결 방식에는 complete linkage 방식을 사용하였다.

결 과

수질환경

조사기간 동안 수온, 염분, 용존산소 및 pH 변화와 각 기간별(즉, SP1, SP2, SP3, SP4, 그리고 SP5) 평균값을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 수온의 경우 전 기간 동안 14.80–17.20°C (평균 15.55±0.71°C) 범위였으며, SP1 (평균 14.94°C), SP2 (15.01°C), SP3 (15.15°C)의 평균 수온은 차이가 없었지만 (P>0.05), 산란 후반기인 SP4 (15.96°C)와 SP5 (16.69°C)에는 유의하게 상승하였다(P<0.05). 염분과 pH의 경우 산란기간 동안 유의한 차이는 없었지만(P>0.05), 용존산소의 경우 수온 상승과 함께 산란 후반기로 갈수록 유의하게 감소하는 경향을 보였다(P<0.05).

산란량과 수정률

조사기간 동안 참돔의 일간 산란량과 수정률 변화와 각 기간별 평균값을 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다. 전체 기간 동안 일간 산란량은 50–4,200 mL/d (평균 1,601.1±1,169.0 mL/d)이었으며, SP1, SP2, SP3, SP4 그리고 SP5의 평균 일간 산란량은 각각 179.3, 846.0, 1,440.0, 2,660.0, 그리고 2,880.0 mL/d로

Table 1. Mean value of water temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), and pH during the experiment period of red seabream *Pagrus major*

Parameter*	Experiment period**				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Water temperature (°C)	14.94±0.02 ^a	15.01±0.04 ^a	15.15±0.07 ^a	15.96±0.09 ^b	16.69±0.09 ^c
Salinity (psu)	32.95±0.01 ^{ab}	33.02±0.02 ^b	32.96±0.02 ^{ab}	32.97±0.03 ^{ab}	32.94±0.01 ^a
DO (mg/L)	14.07±0.36 ^c	13.92±0.17 ^c	12.88±0.23 ^b	11.83±0.26 ^a	11.13±0.10 ^a
pH	7.41±0.05 ^a	7.32±0.04 ^a	7.32±0.03 ^a	7.40±0.04 ^a	7.44±0.05 ^a

*Values (mean±SE, n=10) with different superscripts are significantly different (P<0.05). **SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

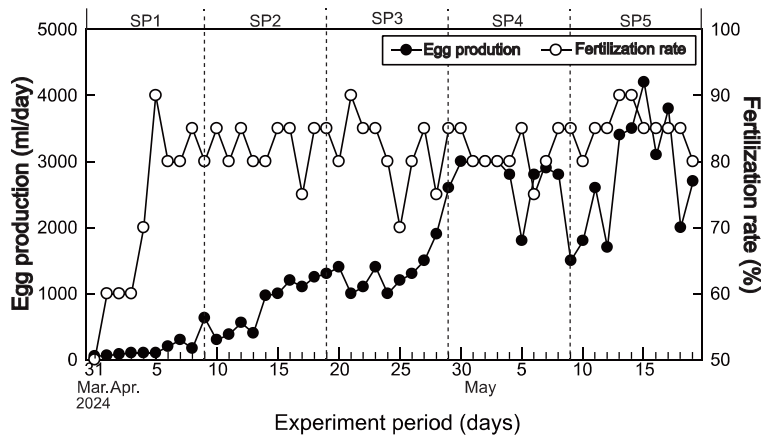


Fig. 2. Changes in egg production and fertilization rate of red seabream *Pagrus major* during the experiment period. SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

나타나 시간이 지남에 따라 유의하게 증가하였지만(P<0.05), SP4와 SP5는 차이가 없었다(P>0.05). 참돔 알의 수정률은 전 기간 동안 50.0–90.0% (평균 80.4±8.2%)이었으며, 산란 초기인 SP1 (71.5%)의 평균 수정률이 유의하게 가장 낮았으며

(P<0.05), SP2–SP5 (81.5–85.0%)의 평균 수정률은 차이가 없었다(P>0.05).

수정란의 난경과 유구경

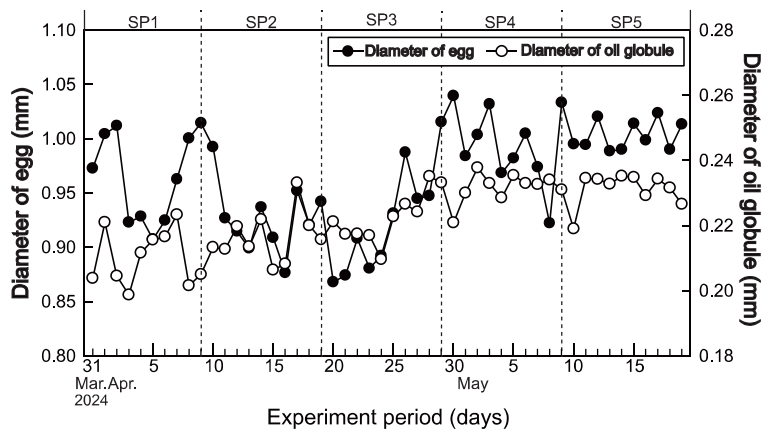


Fig. 3. Changes in the size of egg and oil globule of red seabream *Pagrus major* during the experiment period. SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

조사기간 동안 참돔 수정란의 난경과 유구경 변화와 각 기간 별 평균값을 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다.

참돔 수정란의 난경은 전 기간 동안 0.87–1.04 mm (평균 0.96 ± 0.05 mm)이었으며, SP1, SP2, SP3, SP4 그리고 SP5의 평균 난경은 각각 0.97, 0.93, 0.92, 0.99, 그리고 1.00 mm로 나타나, SP1보다 SP2와 SP3이 유의하게 감소하였다가 SP4와 SP5 (최대)에서 다시 유의하게 증가하는 경향을 보였다 ($P < 0.05$). 참돔 수정란의 유구경은 조사기간 동안 0.199–0.238 mm (평균 0.222 ± 0.011 mm)이었으며, 산란 초기인 SP1 (0.210 mm)과 SP2 (0.216 mm)의 유구경에 비해 시간이 지남에 따라 SP3 (0.223 mm), SP4 (0.232 mm) 및 SP5 (0.231 mm)의 유구경이 유의하게 증가하였다($P < 0.05$).

수정란의 부화율과 알의 전체 생존율

참돔 수정란의 부화율과 일간 알의 전체 생존율을 Fig. 4와 각 기간별 평균 값을 Table 2에 나타내었다. 참돔 수정란의 부화율은 전 기간 동안 55.0–85.0% (평균 $77.4 \pm 7.3\%$)이었으며,

SP1, SP2, SP3, SP4 그리고 SP5의 평균 부화율은 각각 70.8, 83.0, 78.0, 78.0 그리고 77.0% 나타나 SP1이 타 기간에 비해 유의하게 낮았지만($P < 0.05$) SP2, SP3, SP4와 SP5간에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 참돔이 산란한 알이 수정과 부화를 거치면서 죽은 알을 제외한 일간 알의 전체 생존율은 $33.0\text{--}72.3\%$ (평균 $62.4 \pm 9.6\%$)이었으며, SP1, SP2, SP3, SP4 그리고 SP5의 평균 일간 알의 전체 생존율은 각각 51.3, 68.5, 63.4, 63.6 그리고 65.5% 나타나 부화율과 마찬가지로 SP1이 타 기간에 비해 유의하게 낮았지만($P < 0.05$) SP2, SP3, SP4와 SP5간에는 차이가 없었다($P > 0.05$).

기형률

참돔 부화 자어의 기형률은 Fig. 5에 나타내었다. 부화 자어의 산란기간 SP1, SP2, SP3, SP4 그리고 SP5의 평균 기형률은 각각 2.3, 3.2, 3.0, 2.4 및 2.4%로 나타나 각 기간별 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$).

Table 2. The mean value of egg production, fertilization rate, egg diameter, oil globule diameter, hatching rate, deformity rate, and total survival rate of egg in red seabream *Pagrus major*

Parameter*	Experiment period**				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
Egg production (ml/d)	179.3±55.5 ^a	846.0±124.5 ^b	1,440.0±154.3 ^c	2,660.0±172.1 ^d	2,880.0±273.6 ^d
Fertilization rate (%)	71.5±4.2 ^a	82.5±1.1 ^b	81.5±1.8 ^b	81.5±1.1 ^b	85.0±1.1 ^b
Egg diameter (mm)	0.97±0.01 ^b	0.93±0.01 ^a	0.92±0.02 ^a	0.99±0.01 ^{bc}	1.00±0.00 ^c
Oil globule diameter (mm)	0.210±0.003 ^a	0.216±0.002 ^a	0.223±0.002 ^b	0.232±0.001 ^c	0.231±0.002 ^c
Hatching rate (%)	70.8±3.1 ^a	83.0±0.8 ^b	78.0±2.0 ^b	78.0±2.1 ^b	77.0±1.5 ^b
Egg survival rate (%)	51.3±4.6 ^a	68.5±1.2 ^b	63.4±1.6 ^b	63.6±1.8 ^b	65.5±1.7 ^b

*Values (mean±SE, n=10) with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). **SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

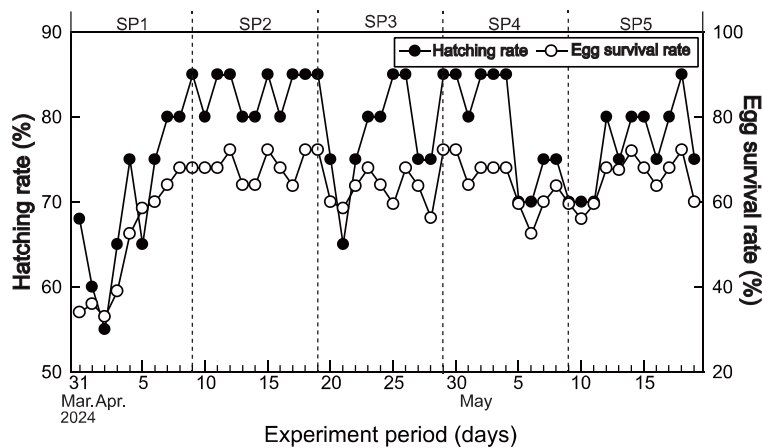


Fig. 4. Changes in egg hatching and survival rate of red seabream *Pagrus major* during the experiment period. SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

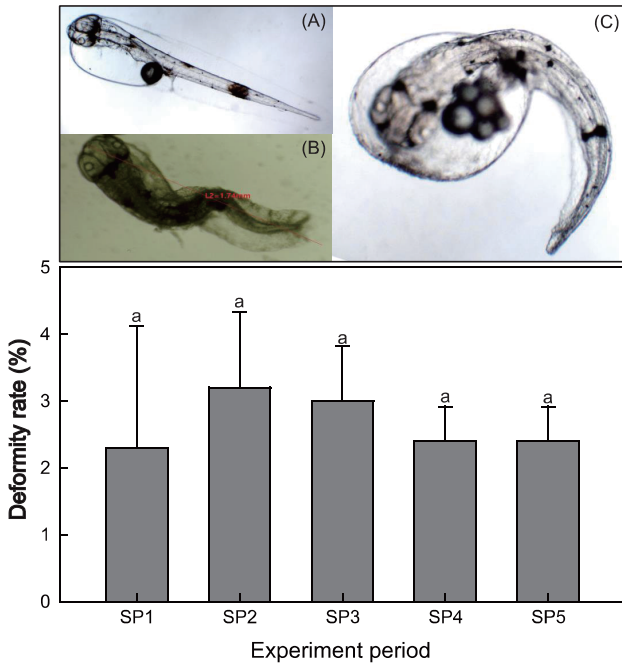


Fig. 5. Changes of larvae deformity rate from hatched egg of red seabream *Pagrus major* during the experiment period. A, Normal larvae; B and C, Deformed larvae. SP1: March 31–April 9, 2024; SP2: April 10–April 19, 2024; SP3: April 20–April 29, 2024; SP4: April 30–May 9, 2024; SP5: May 10–May 19, 2024.

참돔 알의 산란시기별 난질의 유사성

참돔의 일별 산란량과 수정률, 수정란의 난경과 유구경, 부화율과 알의 생존율, 부화 자어의 기형률 데이터를 이용하여 산란시기별 유사성을 분석한 결과 크게 2개의 그룹으로 구분되었으며, 그룹B는 다시 2개의 소그룹으로 분리되는 특성을 보였다. 그룹A는 3월 31일–4월 13일까지로 참돔이 산란을 시작하여 산란량이 매우 적고 부화율, 수정률과 생존율 등이 그룹B에 비해 낮은 특징을 보였다. 그룹B는 4월 14일–5월 19일까지로 산란량이 급격하게 증가하기 시작한 이후로 수정률, 부화율 및 생존율이 높았다. 그룹B는 그룹B-1과 그룹B-2로 다시 구분되는 특성을 보였는데, 그룹B-1에 비해 그룹B-2 시기에는 산란량이 더욱 증가하고 난경과 유구경이 더 큰 경향을 나타냈다(Fig. 6).

고 찰

참돔의 산란시기에 따른 산란량을 분석한 결과 수온 15°C 이하(즉, SP1)에서 산란량이 가장 적었고, 평균 15.96°C (SP4)부터 산란량이 증가하여 수온이 평균 16.69°C (SP5) 이상에서 더욱 증가하는 경향을 보였지만, SP4와 SP5에서는 차이가 없었다. 참돔의 산란 수온은 일본의 후쿠오카의 경우 주 산란시기의 수온이 14.3–19.8°C이었고(Matsuyama et al., 1987), 홍콩에

서는 16.9–23.4°C (Law and de Mitcheson, 2017), 한국의 남해에서는 15.8–19.3°C (Kwon et al., 2009)와 17.1–20.9°C (Jin et al., 2020)에서 주로 산란이 이루어진다고 보고된 바 있다. 본 연구에서도 평균 15.96°C 이상이 되면서 산란량이 급격히 증가하여 SP5 후반부의 17°C 이상의 수온 범위에서 최대의 산란량을 나타내었다. 이와 아울러 난질의 지표 중의 하나인 난경과 유구경도 16.0–17.0°C (즉, SP4와 SP5)가 되면서 상대적으로 높게 나타났다. Kim and Kim (1990)은 실내 조건에서 참돔은 16.5°C가 되면서 산란을 시작하여 수온이 17.5–17.7°C 범위에서 산란량이 증가한다고 하였고, Stephanou et al. (1995)는 실내의 사육환경에서 참돔의 산란량을 높이며 난질을 좋게 유지하기 위해서는 산란시기의 수온을 17°C 이상으로 유지할 것을 권고하였다. 본 실험 역시 17°C 이상으로 유지된 수온이 SP5 후반기의 높은 산란량을 나타낸 요인으로 생각된다.

참돔 알의 수정률은 친어 암:수 비율과 크기가 영향을 미친다고 알려져 있다(Mylonas et al., 2004; Radonić et al., 2005). Mylonas et al. (2004)은 암:수 비율이 각각 8:3 (비율 1:0.38)과 5:3 (1:0.6)마리일 때 평균 수정률이 36.9%로 낮았지만 6:3 (1:0.5)과 4:3 (1:0.75)마리로 수컷의 비율이 증가하였을 때 수정률이 68.9%로 증가한다고 보고하였다. Radonić et al. (2005)은 암:수 비율이 16:15 (1:0.94)마리였지만 작은 개체들이 포함되어 있어 수정률이 37.6%로 낮았다고 보고하였다. 본 연구의 경우 암:수 비율이 34:35 (1:1.03)마리였으며 암수 모두 평균 2 kg 이상의 체중과 체장 40 cm 이상의 4–5세 친어를 사용해서 수컷의 비율이 높고 충분히 산란 연령의 크기에 도달한 암수를 사용함으로써 평균 71.5–85.0% (Table 2)의 상대적으로 높은 수정률을 보인 것으로 생각된다. 국립수산물과학원(NIFS, 2020)에 따르면 참돔의 수정률을 높이기 위해서는 암컷과 수컷의 비율을 1:2–3을 유지하여야 한다고 보고하고 있어, 종자배양장에서 참돔 알의 수정률을 높이기 위해서는 사육환경과 함께 친어 암수 비율에 대한 관리가 필요할 것으로 사료된다. Kim and Kim (1990)은 총 96마리의 4년생 참돔이 생산한 알 중에서 산란량이 높고 일정하게 유지되는 5월 5일–19일 사이의 총 12회에 걸쳐 산란된 알의 수정률을 분석한 결과에서 30–100% (평균 80%) 범위의 수정률을 보고하여 본 실험의 산란기간 4월 30일에서 5월 19일 기간(즉, SP4–SP5)의 평균 수정률 81.5–85.0%과 유사하였다.

Radonić et al. (2005)과 Saka et al. (2005)은 참돔 수정란의 평균 난경을 각각 0.90 ± 0.03 mm와 0.95 ± 0.04 mm을 보고하여 본 실험 기간 동안의 평균 난경 0.96 ± 0.05 mm과 유사하였다. Mylonas et al. (2004)은 0.99–1.07 mm (평균 1.02 ± 0.02)의 범위를, Kim and Kim (1990)은 0.93–1.03 mm의 범위를 보고하여 본 연구의 0.87–1.04 mm 범위와 약간의 차이를 보였다. 이것은 이전 연구들의 경우 참돔의 산란량이 높은 시기의 알만을 대상으로 난경의 크기를 제한적으로 측정된 반면, 본 연구에서는 산란이 최초 시작된 날부터 50일에 걸쳐 난경을 측정하였기

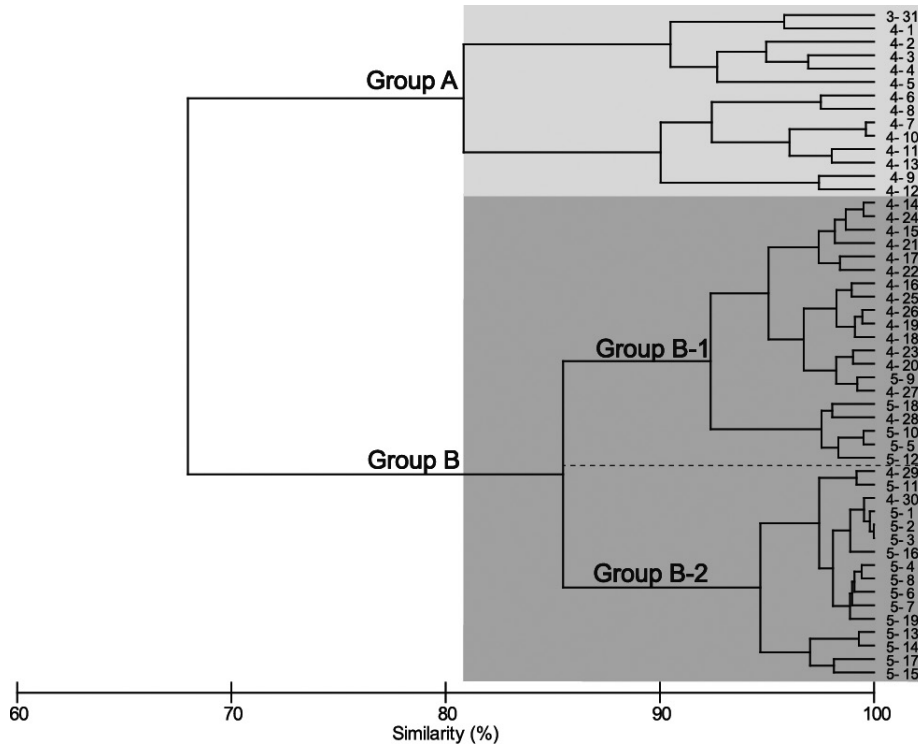


Fig. 6. Dendrogram based on Bray-Curtis similarity matrix of fourth root transformed data of daily egg production, fertilization rate, hatching rate, survival rate, deformity rate, the diameter of egg and oil globule of red seabream *Pagrus major*.

때문으로, 산란 초기(즉, SP1=0.97 mm)와 산란이 많고 안정적으로 유지되던 시기(SP4=0.99 mm, SP5=1.00 mm) 즉, 산란시기에 따라 참돔의 난경 차이가 나며 산란 성기의 난경이 유의적으로 더 크다는 것을 알 수 있다(Mylonas et al., 2004).

참돔 수정란의 유구경은 Kim and Kim (1990)의 경우 0.20–0.23 mm 범위를, Saka et al. (2005)는 평균 유구경 0.22 ± 0.01 mm을 보고하여 본 연구의 0.199–0.238 mm (평균 0.222 ± 0.011 mm)와 유사하였다. Mylonas et al. (2004)이 보고한 유구경은 0.228 ± 0.004 mm로서 본 연구의 산란 초기 (SP1=0.210 mm)에 비해 큰 것으로 나타났지만, SP4–SP5 기간(0.231–0.232 mm)의 유구경과 유사하였다. 이와 같은 유구경 차이는 산란기 직전 및 산란기 동안에 참돔 친어가 섭취하는 먹이의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 1990; Watanabe et al., 1991). 즉, 참돔 친어가 산란기 이전부터 산란기 동안에 고영양의 먹이원을 섭취하지 못할 경우 유구경이 1개가 아니라 작은 크기로 2–5개로 분할되어지며(Watanabe et al., 1984), 유구경의 수가 많아지면 발생이 정상적으로 이루어지지 않거나 부화하더라도 자어는 5일 이내에 사망할 수 있어, 참돔 알의 난질 평가에 유구경의 크기와 개수는 중요한 인자(Kim and Kim, 1990)로 간주된다. 향후 산란시기별 유구경의 크기뿐만 아니라 개수 및 친어의 영양 상태(Kim and Kim, 1990; Moretti et al., 1999; Machinandiarena et al., 2003)에 대

한 연구를 통해 각 인자간 상관관계에 대한 면밀한 조사가 요구된다.

본 연구의 참돔 수정란 부화율은 평균 $77.4 \pm 7.3\%$ 로 산란 초기(SP1=70.8%)는 부화율이 낮았지만, SP2–SP5에서는 평균 77.0–83.0% 부화율이 유지되는 것으로 나타났다. Radonić et al. (2005)은 37.6%의 낮은 수정률에서 평균 79.7%의 부화율로 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. Mylonas et al. (2004)은 36.9%의 수정률에서 부화율이 81.6%를, 68.9%의 수정률에서 85.5%의 부화율을 보고한 것으로 볼 때 수정률이 부화율에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이것은 본 연구에서도 낮은 산란율과 부화율을 보인 산란 초기(SP1)의 결과와 유사하며, 앞선 언급한 바와 같이 이 시기의 난경 및 유구경에 대한 이전 결과와도 유사하다(Mylonas et al., 2004; Radonić et al., 2005).

본 연구의 산란시기별 부화 자어의 기형률은 차이가 나타나지 않았다. Hattori et al.(2003)은 1999–2001년 기간 동안 참돔 부화 자어의 12,949개체의 기형률을 조사한 결과 3.3–25.1%로 나타나 본 연구의 2.3–3.2%와는 차이를 보였다. 이와 같은 차이는 본 연구의 경우 척추 기형(lordosis)만을 다루었지만 이전 연구의 경우 척추 기형뿐만 아니라 짧아진 체형, 골격기형 및 체형 비율 등 세부적으로 나누어 조사한 차이에서 기인한 것으로 보인다. 본 실험에서 산란시기별 기형률에서 유의적인 차이가 없었지만 산란 초기 및 증기인 SP2–SP3 (즉, 3.0–3.2%)에서 가

장 높은 경향이 나타난 것으로 볼 때 안정적인 종자 생산용 알은 수온 16.0°C 이후인 SP4-SP5 (즉, 2.4%) 기간이 더 적절한 것으로 생각된다. 향후 참돔 부화 자어에서 나타나는 기형 형태별 비율에 대한 연구를 통해 산란 시기별 수온, 부화 자어의 기형 비율, 치어 생존율 및 생산성에 대한 종합적인 평가가 있어야 할 것으로 생각된다.

Kim and Kim (1990)은 참돔의 산란량이 높은 시기에 참돔 알의 생존율은 35.6-74.8% (평균 65.0%)로 본 연구의 SP2-SP5에서 나타난 52.5-72.3% (평균 65.2%)와 유사하였다(Table 2). Kim and Kim (1990)은 난질이 가장 좋은 시기의 19일에 걸쳐 이루어진 연구라는 것을 고려하면 본 연구의 초기 10일 이후의 40일 동안 지속적으로 높은 생존율을 나타낸 것을 볼 때 본 연구에서 참돔 알의 난질이 상대적으로 우수한 것으로 생각되지만, 친어관리 및 사육환경 등에 의한 차이에 의한 영향 역시 작용한 것으로 사료된다.

본 연구에서 참돔의 산란초기인 2024년 3월 31일부터 5월 19일까지 매일 조사한 알의 생산량, 수정률과 생존율, 수정란의 부화율과 기형률, 난경과 유구경의 7개의 항목의 일별 유사성을 분석한 결과 3월 31일-4월 13일까지 유사한 결과를 보였다. 또한 4월 14일-5월 19일까지의 기간 동안 각각의 항목이 유사한 결과를 나타내어 산란시기에 따라 알의 품질과 수정란의 수정률과 부화율에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Kolios et al. (1997)는 *Pagrus pagrus*의 양식장에서의 알의 생산량과 부화율이 산란시기에 따라 차이가 있다고 하였고, Zohar et al. (1996)도 *Sparus aurata*가 어미관리와 산란시기에 따라 알과 자어의 품질에 차이가 발생한다고 하여 다회산란을 하는 어종들은 어미 개체들의 영양상태와 산란시기에 따라 알의 품질에 차이가 발생하는 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 참돔은 수온 16.0°C 이상 조건에서 많은 산란량과 직경이 큰 난경 및 유구경의 수정란 생산, 안정적인 수정률과 부화율 그리고 기형률을 나타내어 가장 적절한 알의 품질을 보였다. 이와 같은 결과는 양식 및 방류용 종자 생산을 위한 참돔 알의 품질 평가를 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 2024년도 한국수산자원공단 남해생명자원센터 수산종자자원관리사업(FIRA-RP-24-004)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Aristizabal E, Suárez J, Vega A and Bargas R. 2009. Egg and larval quality assessment in the Argentinean red porgy (*Pagrus pagrus*). *Aquaculture* 287, 329-334. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.044>.
- Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349. <https://doi.org/10.2307/1942268>.
- Bromage NR. 1995. Broodstock management and seed quality-general considerations. In: *Broodstock Management and Egg and Larval Quality*. Bromage NR and Roberts RJ, eds. Blackwell, Oxford, U.K., 1-24.
- Brooks S, Tyler CR and Sumpter JP. 1997. Egg quality in fish: What makes a good egg?. *Rev Fish Biol Fish* 7, 387-416. <https://doi.org/10.1023/A:1018400130692>.
- Campbell PM, Pottinger TG and Sumpter JP. 1992. Stress reduces the quality of gametes produced by rainbow trout. *Biol Reprod* 47, 1140-1150. <https://doi.org/10.1095/biolreprod47.6.1140>.
- Carrillo M, Zanuy S, Oyen F, Cerda J, Navas JM and Ramos J. 2000. Some criteria of the quality of the progeny as indicators of physiological broodstock fitness. In: *Mediterranean Marine Aquaculture Finfish Species Diversification*. Basurco B, ed. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 47. CIHEAM, Zaragoza, Spain, 61-74.
- Christiansen R and Torrissen OJ. 1997. Effects of dietary astaxanthin supplementation on fertilization and egg survival in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 153, 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00016-1).
- Chyung MK. 1997. *The Fishes of Korea*. Ilji-sa, Seoul, Korea.
- Foscarini R. 1988. A review: Intensive farming procedures for red sea bream (*Pagrus major*) in Japan. *Aquaculture* 72, 191-246. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90212-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90212-8).
- Gen K, Yamaguchi S, Okuzawa K, Kumakura N, Tanaka H and Kagawa H. 2003. Physiological roles of FSH and LH in red seabream, *Pagrus major*. *Fish Physiol Biochem* 28, 77-80. <https://doi.org/10.1023/B:FISH.0000030480.97947.ba>.
- Hattori M, Sawada Y, Takagi Y, Suzuki R, Okada T and Kumai H. 2003. Vertebral deformities in cultured red sea bream, *Pagrus major*, Temminck and Schlegel. *Aquac Res* 34, 1129-1137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00915.x>.
- Hood PB and Johnson AK. 2000. Age, growth, mortality, and reproduction of red porgy, *Pagrus pagrus*, from the eastern Gulf of Mexico. *Fish Bull* 98, 723-735.
- Jin SY, Im YJ, Choi JH, Jeong JM, Nam KM, Kim DG, Choi YJ and Baeck GW. 2020. Maturation and spawning of the red seabream *Pagrus major* in the south sea of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 43-49. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0043>.
- Kato K. 2023. Breeding studies on red sea bream *Pagrus major*: Mass selection to genome editing. *Fish Sci* 89, 103-119. <https://doi.org/10.1007/s12562-022-01668-0>.
- Kim HB and Kim JM. 1990. Induced spawning of red sea bream, *Pagrus major*, by controlling photoperiod and water temperature. *J Aquat* 31, 1-11.
- Kjørsvik E. 1994. Egg quality in wild and broodstock cod *Gadus morhua* L. *J World Aquac Soc* 25, 22-29. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1994.tb00800.x>.
- Kjørsvik E, Mangor-Jensen A and Holmefjord I. 1990. Egg

- quality in fishes. *Adv Mar Biol* 26, 71-113. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60199-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60199-6).
- Kolios P, Kiritis S and Katribusas N. 1997. Larval-rearing and growout of the red porgy (*Pagrus pagrus*) in the Riopesca hatchery (Greece). *Hydrobiologia* 358, 321-325. <https://doi.org/10.1023/A:1003132903785>.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2024. Survey on the Status of Fish Culture. Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on Dec 03, 2024.
- Kwon HC, Zhang CI, Shin YJ, Kim KH, Kim JI and Seo YI. 2009. Maturation and spawning of black seabream, *Acanthopagrus schlegelii* in the Southern Sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 21, 93-99.
- Lahnsteiner F and Patarnello P. 2005. The shape of the lipid vesicle is a potential marker for egg quality determination in the gilthead seabream, *Sparus aurata*, and in the sharpnose seabream, *Diplodus puntazzo*. *Aquaculture* 246, 423-435. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.018>.
- Lam TJ. 1994. Hormones and egg/larval quality in fish. *J World Aquac Soc* 25, 2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1994.tb00798.x>.
- Law SW and de Mitcheson YS. 2017. Reproductive biology of black seabream *Acanthopagrus schlegelii*, threadfin porgy *Eyynnis cardinalis* and red pargo *Pagrus major* in the northern South China Sea with consideration of fishery status and management needs. *J Fish Biol* 91, 101-125. <https://doi.org/10.1111/jfb.13331>.
- Lim J, Eom G, Noh CH and Lee KJ. 2023. Effects of dietary prebiotics and probiotics on growth, immune response, antioxidant capacity and some intestinal bacterial groups of the red seabream *Pagrus major*. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 89-98. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0089>.
- Machinandiarena L, Müller M and López A. 2003. Early life stages of development of the red porgy *Pagrus pagrus* (Pisces, Sparidae) in captivity, Argentina. *Investig Mar* 31, 5-13. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782003000100002>.
- Matsuyama M, Matsuura S, Ouchi Y and Hidaka T. 1987. Maturity classification and group maturity of the red sea bream *Pagrus major*. I. Female maturity. *Mar Biol* 96, 163-168. <https://doi.org/10.1007/BF00427015>.
- Migaud H, Bell G, Cabrita E, McAndrew B, Davie A, Bobe J, Herráez MP and Carrillo M. 2013. Gamete quality and broodstock management in temperate fish. *Rev Aquaculture* 5, S194-S223. <https://doi.org/10.1111/raq.12025>.
- Mihelakakis A, Yoshimatsu T and Tsoikas C. 2001. Spawning and early life history of cultured red porgy, *Pagrus pagrus*. *Aquaculture* 199, 333-352. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00560-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00560-9).
- Moretti A, Pedini Fernandez-Criado M, Cittolin G and Guidastrì R. 1999. Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream. Vol. 1. FAO, Rome, Italy, 194.
- Mylonas CC, Papadaki M, Pavlidis M and Divanach P. 2004. Evaluation of egg production and quality in the Mediterranean red porgy (*Pagrus pagrus*) during two consecutive spawning seasons. *Aquaculture* 232, 637-649. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00534-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00534-9).
- Nagahama Y. 1995. Teleost oocyte maturation-actuality and potentiality. *Aquaculture* 135, 75-76.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2020. Technical Manual for Sea Bream Aquaculture. Kang SJ, Hong ST, Jeon JC, Hwang HK, Kim HC, Choi J, Do YH, Kim MS, Park JJ, Park MS, Seo JS, Jeong MH and Kim SH, eds. NIFS Press, Busan, Korean, 226.
- Panini E, Mylonas CC, Zanuy S, Carrillo M, Ramos J and Bruce M. 2001. Incubation of embryos and larvae of marine fish using microtiter plates. *Aquac Int* 9, 189-196.
- Radonić M, López AV, Oka M and Aristizábal EO. 2005. Effect of the incubation temperature on the embryonic development and hatching time of eggs of the red porgy *Pagrus pagrus* (Linne, 1758) (Pisces: Sparidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 40, 91-99.
- Saka S, Firat K, Kamac HO and Buke E. 2005. The Effect of temperature on embryonic development of the red porgy (*Pagrus pagrus*) eggs. *J Fish Aquatic Sci* 22, 95-99.
- Sakai K, Minoru N, Masaaki I, Yoshioki S and Masatoshi T. 1985. Quality variation of naturally spawned eggs of red sea bream. *Suisan Zoshoku* 33, 7-11.
- Shields RJ, Brown NP and Bromage NR. 1997. Blastomere morphology as a predictive measure of fish egg viability. *Aquaculture* 155, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00105-1).
- Stephanou D, Georgiou G and Shoukri E. 1995. Reproduction and larval rearing of the common sea bream (*Pagrus pagrus*), an experimental culture. *Cah Options Mediterr* 16, 79-87.
- Watanabe T, Arakawa T, Kitajima C and Fujita S. 1984. Effect of nutritional quality of broodstock diet on reproduction of red sea bream. *Bull Japanese Soc Sci Fish* 50, 495-501.
- Watanabe T, Fujimura T, Lee MJ, Fukusho K, Satoh S and Takeuchi T. 1991. Effect of polar and nonpolar lipids from krill on quality of eggs of red seabream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57, 695-698. <https://doi.org/10.2331/suisan.57.695>.
- Zohar Y, Harel M, Hassin S and Tandler A. 1996. Gilthead sea bream (*Sparus aurata*). In: *Broodstock Management and Egg and Larval Quality*. Bromage NR and Roberts RJ, eds. Blackwell Science, Oxford, U.K., 94-117.