

수평망식에서 개체굴 (*Crassostrea gigas*) 의 종자 유래에 따른 성장 특성

이수현¹, 한종철¹, 황인준¹, 강희웅¹, 임현정²

¹국립수산과학원 서해수산연구소, ²국립수산과학원 남동해수산연구소

Growth characteristics by spat origin on growth of the off-bottom cultchless oyster culture, *Crassostrea gigas*

Suhyun Lee¹, Jongcheol Han¹, Injoon Hwang¹, Heewoong Kang¹ and Hyunjeong, Lim²

¹West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, 14, Seonnyeobawi-ro, Jung-gu, Incheon, Korea

²Southeast Sea Fisheries Research Institute, NIFS, 397-68, Sanyang-eup, Tongyeong, Korea

ABSTRACT

This study attempted to confirm the growth characteristics according to different origin of cultchless oyster spat with off-bottom culture on West coast tidal flat using wild diploid, artificial diploid and artificial triploid spat. Oyster spats from different origin were compared with growth characteristics such as shell height, whole weight, flesh weight and survival rate. Round index and Cup index were also investigated to evaluate marketability. As a result of this experiment, the survival rate was 84-89%, and there were no difference between spat origins. The final shell height was 56.27 ± 5.45 mm for artificial triploid spat, 44.20 ± 2.66 mm for wild diploid spat and 26.15 ± 4.27 mm for artificial diploid spat, respectively. Artificial triploid spat increased by 56% compared to the initiation of an experiment, showing the highest growth rate in shell height. Among the shell shape indices, Round index was in the range of 60.70-64.08%, and there was no difference between spat origin and artificial diploid spats showed the highest value. Cup index was in the range of 36.94-41.90%, with no difference between spat origin, and artificial diploid spat showed the highest value.

Keywords : Off-bottom culture, Cultchless oyster, *Crassostrea gigas*, Spat origin

서 론

참굴 (*Crassostrea gigas*) 은 우리나라 양식 굴 중 생산량이 가장 많고, 환경내성이 높아 유럽, 미국, 호주 등 세계 많은 곳에서 양식되고 있다 (Svåsand *et al.*, 2007). 우리나라 참굴의 생산량은 중국을 제외한 세계 2위 생산국가로 1990년대 이후 꾸준히 25-30만 톤을 생산하고 있다 (KOSIS, 2022). 그러나 과거 일제 강점기인 1900년대 초 건조 굴의 중국 수출에 따른 수출물량 증대를 위한 남획으로 1904년부터 생산량 감소

문제점이 발생하여 굴 양식에 대한 필요성을 처음으로 인식하게 되었다 (Han, 2005).

우리나라 참굴 양식은 1950년대까지 투석식 위주의 생산이 주를 이루었고, 전남지역이 참굴 주 생산지역이었다. 참굴 투석식 양식은 만조선과 간조선 사이 노출되는 바닥에 돌을 시설하여 자연채묘 후 양성하는 방법이다 (Choi and Ko, 1968). 그러나 투석식은 갯벌 노출지역의 지반제약과 해적생물에 의한 피해로 생산성이 낮은 문제와 초기 시설비 문제점이 있다 (Yu, 1990). 참굴 수하식 양식은 시설방법에 따라 간이수하식, 펌프수하식, 연승수하식으로 나뉘며, 연승수하식은 굴이 물속에 계속 잠겨 있어 먹이생물을 지속적으로 섭취 가능하여 성장이 빠르고, 양성공간을 입체적으로 활용하는 장점이 있다 (Brown and Hatwick, 1988). 우리나라 1960년대 굴 생산량은 2-5만 톤이었으나, 연승수하식 양식기술이 보급된 1975년 이후 15만 톤 내외로 급증하였다. 이후 1970-80년대 수하식 채묘기술, 1993년 인공종자생산기술 등이 민간에 보급됨에 따라 우리나라 참굴 생산량은 현재와 같은 약 25-30만 톤이 되었다 (NIFS, 2016b). 이와 같은 대량생산 체계가 확립된 후

Received: September 16, 2022; Revised: September 26, 2022;
Accepted: September 29, 2022

Corresponding author: Jongcheol Han

Tel: +82 (32) 745-0712, e-mail: han0624@korea.kr
1225-3480/24825

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

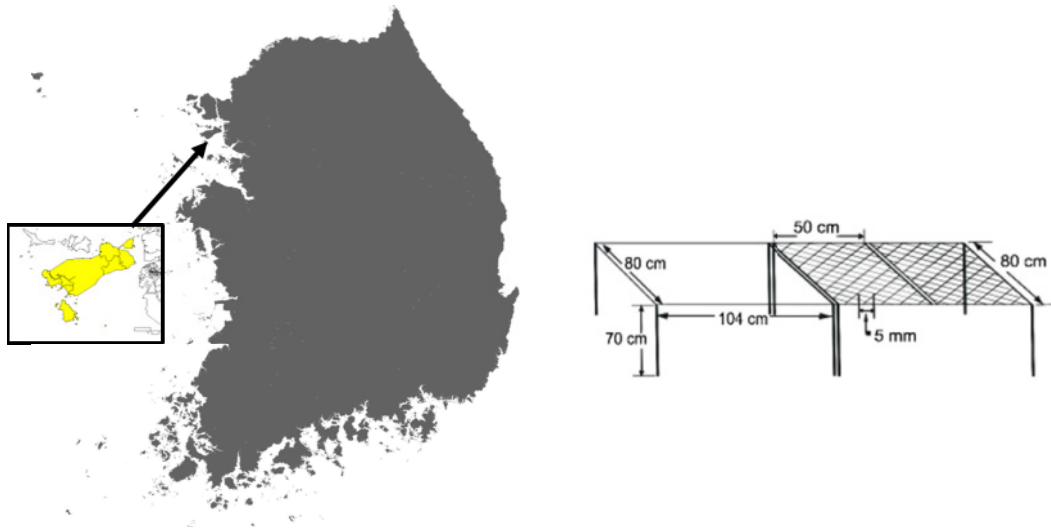


Fig. 1. A map showing geography for experimental site and an illustration of the off-bottom culture facility (Lim *et al.*, 2011).

굴 양식 방법은 투석식 (전남) 에서 수하식 (경남) 양식으로 전환되었다. 그러나 연승수하식 굴 양식장의 지속적인 이용은 어장 노후화 및 오염 발생과 연안환경 변화로 생산성이 저하되었고, 생산성 저하를 해결하기 위해 입식밀도를 높여 비만도 감소와 품질 저하 같은 악순환이 반복되었으며 부가가치가 높고, 지속적인 생산이 가능한 새로운 굴 양식기술에 대한 필요성이 대두되었다 (Eh, 2014; Park *et al.*, 2018b).

과거 갯벌에서 투석식으로 생산된 참굴은 향이 뛰어나고, 식감이 좋은 특징이 있다 (Hwang *et al.*, 2016). 투석식은 1차원적인 생산방법으로 노동력이 많이 소요되고, 생산성이 낮으며 적지 부족과 같은 한계로 갯벌에서 굴 생산은 제한적이다 (NIFS, 2016a). 그러나 최근 굴 껍질을 제거할 필요가 없으며 장기간 운송이 가능하여 수출이 쉬워져 개체굴 양식이 각광받고 있다. 개체굴은 알굴 소비 중심의 우리나라에서는 일반적이지 않지만, 유럽과 미국 등에서는 수요가 꾸준히 증가하고 있고, 국외에서는 개체굴이 알굴보다 상대적으로 부가가치가 높은 장점이 있다 (NIFS, 2014).

개체굴은 채묘연과 같은 부착기질을 다른 개체와 공유하지 않아 공간경쟁에 대한 영향이 적은 특징이 있다 (Jin, 2022). 따라서 개체굴의 폐각 외형은 일반적으로 수하식 굴보다 각고는 작지만, 각장과 각폭은 더 크다 (Mizuta and Wikfors, 2019). 폐각 외형은 개체굴 상품성에 중요한 요소로 평가되므로 종자 단계에서 외형이 그대로 나타나 전이되는 특성을 고려하여 종자생산 단계에서부터 수하식 채묘연과 달리 세심한 관리가 필요하다 (Laxmilatha *et al.*, 2011). 이러한 이유로 개체굴 종자생산은 기존 참굴 종자생산 과정과 차이가 있으며, 개체굴 종자는 부유유생을 미세한 부착기질에 부착유도하여

생산하거나, 탈락이 용이한 부착기질에 채묘 후 탈락시켜 개체화된 종자를 개체굴 양식에 사용하고 있다 (Park *et al.*, 2018a).

우리나라 갯벌에서 개체굴 생산방법은 수평망식이 주목받고 있고, 2010년 이후 민간에서 고부가 참굴 생산을 위한 방법으로서 개체굴 종자생산과 양성을 시도한 바 있다 (NIFS, 2014; KNURF, 2018). 그러나 우리나라에서는 연승수하식에 사용되는 종자의 경우 안정적인 공급체계로 인하여 산업화 및 생산성이 향상되었으나, 개체굴 종자생산은 기술이 민간에서 제한적으로 운영되어 서해안 수평망식 개체굴 양식에 필요한 종자공급 한계로 산업화로 연결되지 않았다. 최근 2015년 이후 국내에서도 개체굴 수요 증가와 집중적인 기술개발 결과로 개체굴 종자생산기술이 국가 및 지자체 연구소 중심으로 확보 및 대량생산이 가능하게 되었고, 민간에 기술보급되었다 (NIFS, 2016c).

본 연구는 서해안 갯벌 수평망식에서 개체굴 종자유래에 따라 성장 특성을 확인하고자 하였으며, 향후 산업화를 위한 안정적인 종자공급 체계 및 양식기술 개발을 위한 기초자료를 확보하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험 시설 및 위치

갯벌 수평망식 개체굴 양식실험은 2018년 8월부터 11월까지 4개월 동안 인천광역시 중구 을왕리 소재의 마을어장 (N 37.43°, E 126.37°) 에서 수행하였다. 수평망식 양식시설은 epoxy로 코팅된 철골 선반 구조물 (W104 × D80 × H70 cm) 에 polyethylene 재질의 사각형태 양성망 (W50 × D80 ×

H10 cm) 을 그 위에 고정하여 개체굴 종자를 양성하였다 (Fig. 1). 입식 초기 개체굴 종자의 유실을 방지하고자 5 mm 망목에서 양성하였고, 성장함에 따라 해수 유통을 원활하게 하기 위해 10 mm 망목으로 교체하였다.

2. 실험 종자

수평망식 개체굴 양식실험에 사용한 종자는 3가지로 2배체 자연산 종자, 2배체 인공산 종자, 3배체 인공산 종자를 이용하였다. 2배체 자연산 종자는 2017년 11월 수평망식 양식장에 채모기를 설치하여 자연적으로 부착된 어린 굴을 인위적으로 탈락시켜 개체화하여 종자로 사용하였다. 2배체와 3배체 인공산 종자는 남동해수산연구소 남해양식연구센터에서 관리 중인 참굴 어미를 이용하였고, 3배체는 4배체 수컷과 2배체 암컷을 인공수정시켜 자체 생산하였다. 2배체 및 3배체 인공산 종자 생산방법은 미세폐각분말 (입자 400-600 μm) 에 부착기 유생을 부착 유도하여 개체굴 종자를 생산하였다. 실험에 사용한 종자의 입식 크기 (각고, 전중량) 는 각각 2배체 자연산 종자 30.81 ± 5.38 mm (3.85 ± 1.69 g), 2배체 인공산 종자 21.72 ± 4.14 mm (0.73 ± 0.26 g) 그리고 3배체 인공산 종자 35.50 ± 5.39 mm (5.70 ± 1.91 g) 이었다.

3. 양식 환경 측정

수평망식 양식장의 양식 환경 적합성 판단을 위해 매월 1회 양식시설이 설치된 지역의 수온, 염분, 용존산소 및 pH를 YSI (ProQuatro, YSI, USA) 를 이용하여 측정하였다. 또한 현장에서 표층 해수 시료를 채취하여 냉장 상태로 실험실로 운반하여 분석하였다. 영양염류인 인산염인 (PO₄-P), 암모니아질소 (NH₄⁺-N), 아질산질소 (NO₂-N), 질산질소 (NO₃-N), 규산규소 (SiO₂-Si) 는 해양환경공정시험법 (MOMAF, 2005) 으로 분석하였다.

4. 성장 조사

수평망식 개체굴 성장조사는 매월 1회 현장에서 시료를 채집하여 실시하였다. 종자유래별 2개의 양성망에 수용되어 있던 개체를 양성망별 무작위로 30개체씩 시료를 확보하여 성장 특성 조사에 활용하였다. 길이 요소인 각고, 각장, 각폭은 버니어 캘리퍼스 (CD-20CPX, Mitutoyo Corp., Japan) 를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였고, 무게 요소인 전중량과 육중량은 전자저울 (KB 2000-2N, KERN, Germany) 을 이용하여 0.01 g까지 측정하였다. 측정된 육중량과 전중량을 이용하여 비만도 (Fatness) 를 산출하였고, Akashige and Fushimi (1992) 의 방법으로 계산하였다. 측정값을 근거로 각고의 일간 성장률 (Daily Growth Rate, DGR)을 산출하였고, Degremont *et al.* (2010)의 방법으로 계산하였다.

$$Fatness (\%) = (Flesh\ weight / Whole\ weight) \times 100$$

$$Daily\ Growth\ Rate (\%) = \left(\frac{\Delta\ Shell\ height}{Initial\ Shell\ height \times Rearing\ days} \right) \times 100$$

5. 생존율 조사

생존율은 성장 조사와 동일한 시기에 조사하였고, 현장에서 무작위로 채취한 종자유래별 개체굴 양성망을 분해하여 안에 있는 개체를 전체 계수하였으며, 폐사 개체와 생존 개체의 비로서 백분율을 산정하였다. 모든 조사는 종자별 2회 반복하였다. 폐사 개체는 중복 폐사와 누적 폐사로 인한 오차방지를 위해 매월 조사 수행 시 양성망에서 제거하였다.

6. 폐각외형지수 조사

실험종료 시, 개체굴 상품성 평가를 위해 폐각외형지수를 조사하였다. 폐각외형지수는 측정한 각고 (SH), 각장 (SL), 각폭 (SW) 을 이용하여 종자유래별 Round index와 Cup index를 계산하였고, 이때 계산식은 Brake *et al.* (2003) 의 방법을 응용하여 고안하였다 (Fig. 2).

$$Round\ Index (\%) = \frac{Shell\ length\ (SL)}{Shell\ height\ (SH)} \times 100$$

$$Cup\ Index (\%) = \frac{Shell\ width\ (SW)}{Shell\ height\ (SH)} \times 100$$

7. 통계처리

실험기간 성장 특성 (길이 및 무게 요소) 및 폐각외형지수에 대한 유의차 유무는 SPSS 20 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) 을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's test로 평균 간의 유의성 검증을 하였다 (P < 0.05).

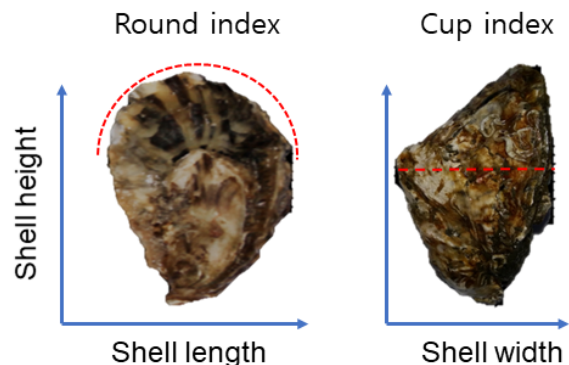


Fig. 2. Round index (RI) and Cup index (CI) from shell morphological characteristics.

Table 1. Monthly changes of water temperature, salinity, DO and pH during experimental period

| Month | Water temperature (°C) | Salinity | Dissolved oxygen (mg/L) | pH |
|-------|------------------------|----------|-------------------------|------|
| Aug. | 32.3 | 29.7 | 4.77 | 7.77 |
| Sep. | 26.4 | 29.2 | 5.16 | 7.97 |
| Oct. | 17.2 | 31.4 | 6.81 | 8.04 |
| Nov. | 13.4 | 30.4 | 6.76 | 7.98 |

Table 2. Monthly changes of seawater nutrient contents in experiment site

| Month | NO ₂ -N (mg/L) | NO ₃ -N (mg/L) | NH ₄ -N (mg/L) | PO ₄ -P (mg/L) | SiO ₂ -Si (mg/L) |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Aug. | 0.028 | 0.090 | 0.217 | 0.033 | 0.578 |
| Sep. | 0.028 | 0.167 | 0.123 | 0.029 | 0.561 |
| Oct. | 0.036 | 0.152 | 0.050 | 0.027 | 0.292 |
| Nov. | 0.004 | 0.224 | 0.088 | 0.027 | 0.263 |

Table 3. Monthly changes of shell height by different origins of oyster spat

| Month | Wild diploid spat (mm) | Artificial diploid spat (mm) | Artificial triploid spat (mm) |
|-------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Aug. | 30.81 ± 5.38 | 21.74 ± 3.77 | 35.50 ± 5.39 |
| Sep. | 36.81 ± 4.33 | 23.68 ± 4.31 | 51.93 ± 5.43 |
| Oct. | 43.30 ± 4.03 | 23.89 ± 5.68 | 53.03 ± 4.33 |
| Nov. | 44.20 ± 2.66 | 26.15 ± 4.27 | 56.27 ± 5.45 |

All data are reported as mean of 2 replicates ± SD.

결 과

1. 실험 지역의 수질환경

실험기간 갯벌 수평망식 개체굴 양식장의 환경 변화는 Table 1과 같다. 수온은 8월 32.3°C, 9월 26.4°C, 10월 17.2°C 그리고 11월 13.4°C로 8월 이후 계속적으로 낮아지는 경향을 보였다. 실험기간 수온 변화 범위 (Δt)는 18.9°C이었다. 염분은 29.2-31.4 (평균 30.18 ± 0.83)로 9월에 가장 낮았고 10월에 가장 높았다. 용존산소는 4.77-6.76 mg/L로 8월에 가장 낮았고, 이후 점진적으로 상승하여 11월에 가장 높았다. pH는 7.77-8.04로, 8월에 가장 낮았고 10월에 가장 높았다. 실험기간 수평망식 개체굴 양식장의 수질환경 (수온, 염분, DO, pH)은 굴 양식에 적합한 범위였다. 영양염 분석결과는 Table 2와 같다. 아질산질소 (NO₂-N)는 0.004-0.036 mg/L로, 8-10월은 값이 큰 차이를 보이지 않았고 11월이 높은 감소폭을 보였다. 질산질소 (NO₃-N)는 0.090-0.224 mg/L로, 8월이 가장 낮았고, 계속적으로 상승하여 11월에 가장 높았다. 암모니아질소 (NH₄-N)는 0.050-0.217 mg/L로, 8월에 가장 높은 값을 보이다 10월까지 감소하였고, 11월에 소폭 상승하

였다. 인산염인 (PO₄-P)은 0.027-0.033 mg/L로, 8월에 가장 높은 값을 보이다가 10-11월이 가장 낮았으나 큰 차이는 없었다. 규산규소 (SiO₂-Si)는 0.263-0.578 mg/L로, 8월과 9월에 높은 값을 보이다가 10월에 절반으로 감소하였고 이후로도 계속적으로 감소하였다.

2. 길이 및 무게 요소의 성장

수평망식 개체굴 실험기간 각고는 3배체 인공산 종자가 가장 높은 성장을 보였고, 2배체 자연산 종자 그리고 2배체 인공산 종자 순으로 나타났다. 2배체 자연산 종자를 입식한 8월 30.81 ± 5.38 mm, 실험 종료 시 11월 44.20 ± 2.66 mm로, 입식 초기와 비교하여 44% 증가하였다. 2배체 인공산 종자는 8월 21.74 ± 3.77 mm, 11월 26.15 ± 4.27 mm로, 입식 초기와 비교하여 20% 증가하였다. 3배체 인공산 종자는 8월 35.50 ± 5.39 mm, 실험 종료 시 11월 56.27 ± 5.45 mm로, 입식 초기와 비교하여 59% 증가하였다 (Table 3). 실험 종료 시 종자유래별 각고 성장 빈도분석을 실시하였고 (Fig. 3), 3배체 인공산 종자는 각고 50 mm를 초과한 시점은 누적 20%에서 시작하였고, 각고 60 mm를 초과한 비율은 전체 조사개

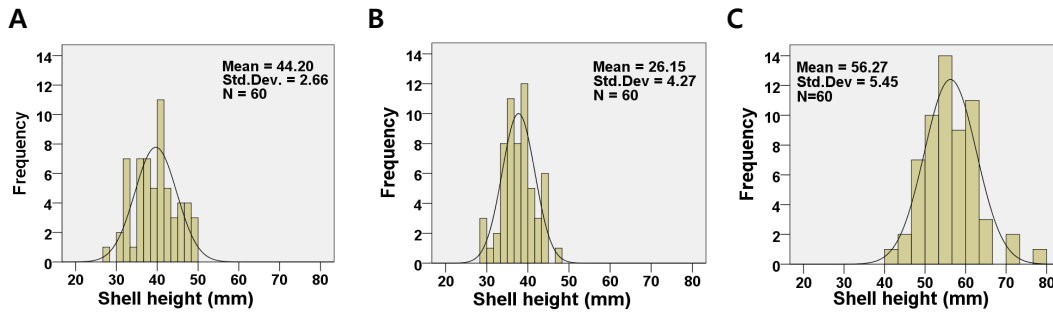


Fig. 3. Comparison of shell height frequency analysis under different origin of oyster spat on final experiment period. **A,** Wild diploid spat; **B,** Artificial diploid spat; **C,** Artificial triploid spat.

Table 4. Monthly changes of whole weight by different origin of oyster spat

| Month | Wild diploid spat (g) | Artificial diploid spat (g) | Artificial triploid spat (g) |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Aug. | 3.85 ± 1.69 | 0.73 ± 0.26 | 5.70 ± 1.91 |
| Sep. | 5.46 ± 1.87 | 1.01 ± 0.45 | 14.11 ± 3.78 |
| Oct. | 10.30 ± 2.04 | 1.08 ± 0.69 | 20.02 ± 3.50 |
| Nov. | 10.28 ± 1.34 | 1.58 ± 0.63 | 20.67 ± 5.74 |

All date are reported as mean of 2 replicates ± SD.

Table 5. Monthly changes of flesh weight by different origins of oyster spat

| Month | Wild diploid spat (g) | Artificial diploid spat (g) | Artificial triploid spat (g) |
|-------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Aug. | 0.36 ± 0.18 | 0.06 ± 0.04 | 1.77 ± 0.62 |
| Sep. | 0.54 ± 0.20 | 0.12 ± 0.06 | 1.63 ± 0.73 |
| Oct. | 1.49 ± 0.62 | 0.09 ± 0.09 | 2.42 ± 0.65 |
| Nov. | 0.96 ± 0.35 | 0.14 ± 0.07 | 2.51 ± 0.94 |

All date are reported as mean of 2 replicates ± SD.

체에서 26.3%였다. 2배체 자연산 종자는 제일 큰 개체가 각각 49.34 mm로 40 mm를 초과하는 비율은 48.3%였다. 2배체 인공산 종자는 제일 큰 개체가 각각 46.98 mm로 40 mm를 초과하는 비율은 23.3%였다.

전중량은 3배체 인공산 종자, 2배체 자연산 종자 그리고 2배체 인공산 종자 순서로 증가를 보였으며, 3배체 인공산이 262%로 가장 높은 성장을 보였다. 2배체 자연산 종자는 8월 3.85 ± 1.69 g, 11월 10.28 ± 1.34 g으로 입식 초기와 비교하여 실험 종료 시 167% 증가하였다. 2배체 인공산 종자는 8월 0.73 ± 0.26 g, 11월 1.58 ± 0.63 g으로 116% 증가하였다. 3배체 인공산 종자는 8월 5.70 ± 1.91 g, 실험 종료 시 11월 20.67 ± 5.74 g으로 262% 성장하였다 (Table 4).

육중량은 다른 요소의 성장과 다른 결과를 나타냈으며, 2배체 자연산 종자가 성장 변화가 가장 컸고, 2배체 인공산 종자 그리고 3배체 인공산 종자 순서였다. 2배체 자연산 종자는 입식 초기와 비교하여 약 167% 증가하였고, 8월부터 10월까지 계속 증가하다가 11월에 감소하였다. 2배체 인공산 종자는 입식 초기와 비교하여 133% 증가하였고, 월별 평균 육중량은 증감을 반복하였다. 3배체 인공산 종자는 입식 초기와 비교하여 42% 증가하였고, 감소가 있던 다른 종자와 비교하여 8월부터 값이 계속적으로 상승하였다 (Table 5).

3. 비만도 (Fatness)

비만도 (Fatness) 의 변화는 Table 6과 같다. 2배체 자연

Table 6. Monthly changes of fatness by different origins of oyster spat

| Month | Wild diploid spat | Artificial diploid spat | Artificial triploid spat |
|-------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Aug. | 9.29 ± 1.77 ^a | 8.46 ± 2.25 ^a | 12.92 ± 2.45 ^b |
| Sep. | 9.89 ± 1.50 ^b | 8.02 ± 1.45 ^a | 11.03 ± 3.21 ^c |
| Oct. | 14.53 ± 2.01 ^b | 7.50 ± 5.59 ^a | 13.84 ± 8.10 ^b |
| Nov. | 11.82 ± 3.69 ^b | 8.70 ± 2.65 ^a | 11.86 ± 1.91 ^b |

All data are reported as mean of 2 replicates ± SD. Comparison between groups was made using Duncan test. Means with the same letter with the same column are not significantly different at 5% probability level.

Table 7. Daily growth rate of shell height of different origin of oyster spat

| Index | Experimental group | Daily growth rate (%) |
|--------------|--------------------------|--------------------------|
| Shell height | Wild diploid spat | 0.19 ± 0.04 ^b |
| | Artificial diploid spat | 0.09 ± 0.04 ^a |
| | Artificial triploid spat | 0.18 ± 0.06 ^b |

All data are reported as mean of 2 replicates ± SD. Comparison between groups was made using Duncan test. Means with the same letter with the same column are not significantly different at 5% probability level.

산 종자가 9.29-14.53%로 나타났으며, 10월에 14.53%까지 증가하다 11월 11.82%로 감소하였다. 2배체 인공산 종자는 7.50-8.70%로 나타났고 입식 이후 계속 감소하다가 11월 8.70%로 다시 증가하였다. 3배체 인공산 종자는 11.03-13.84%로 나타나 다른 실험구와 비교하여 입식 초기부터 높은 값을 보였고, 입식 이후 수치가 증감을 반복하였으나 평균값은 종자 증가가 가장 높았다. 비만도는 입식한 8월 2배체 자연산과 2배체 인공산 종자가 유사성을 보였지만, 실험 종료 시 11월에는 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자가 유사성을 보였다.

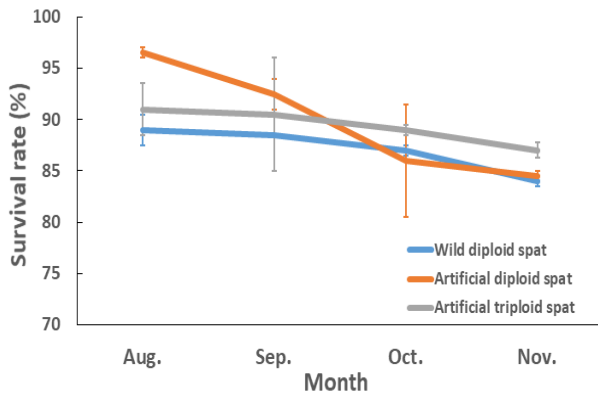


Fig. 4. Survival rate by different origin of oyster spat. Error bars mean standard deviations.

4. 일간성장률 (DGR)

각고에 대한 일간성장률은 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자가 유사성을 보였고, 2배체 인공산 종자가 가장 낮은 값을 보였다. 각고 최종값을 보면 실험 종료 시 상품 가능한 크기에 도달한 그룹은 3배체 인공산 종자뿐이었지만, 2배체 자연산도 1개월 이내에 상품 가능한 크기에 도달할 것으로 예상되었다. 길이요소인 각고에 대한 일간성장률은 2배체 자연산 종자가 0.19 ± 0.04%, 2배체 인공산 종자가 0.09 ± 0.04% 그리고 3배체 인공산 종자가 0.18 ± 0.06%를 나타내었다 (Table 7).

5. 생존율

종자유래별 생존율은 큰 차이를 보이지 않았으며, 결과는 Fig. 4에 나타났다. 2배체 자연산 종자 생존율은 8월 89.00 ± 1.50% 그리고 11월 84.00 ± 0.50%였다. 입식 초기에 폐사가 많이 발생하였지만 실험 종료까지 5% 감소폭을 보였다. 2배체 인공산 종자 생존율은 8월 96.50 ± 0.50%, 11월 84.50 ± 5.50%로, 입식 초기 폐사율은 높지 않았지만, 실험 종료까지 12% 감소하여 가장 높은 감소폭을 보였다. 3배체 인공산 종자 생존율은 8월 91.00 ± 2.50%, 11월에 87.00 ± 1.00%였다. 입식 초기 폐사는 많이 발생하지 않았고, 실험 종료까지 4% 감소하여 가장 안정적이었다. 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자는 입식 초기에 높은 폐사를 보였고, 이후 안정되어 실험 종료까지 낮은 폐사율을 보였다.

고찰

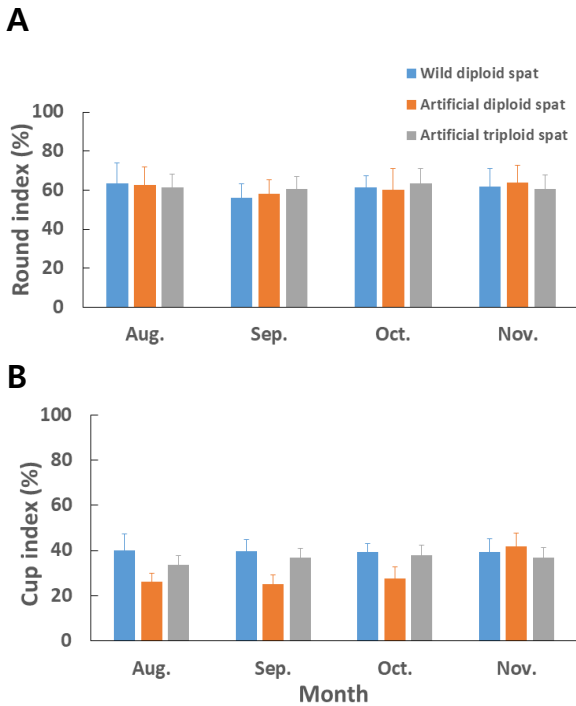


Fig. 5. Monthly comparison of Round index (A) and Cup index (B) by different origin of oyster spat. Error bars mean standard deviations.

6. 패각외형지수

종자유래별 패각외형지수는 길이지수인 Round index (SL/SH, %) 및 두께지수인 Cup index (SW/SH, %) 를 산출하였고, 각 지수의 월별 변화는 Fig. 5와 같다.

2배체 자연산 종자의 Round index는 56.0-63.6%, Cup index는 39.2-39.9%, 2배체 인공산은 Round index 51.7-64.1%, Cup index 25.2-41.9%였고 3배체 인공산 종자의 Round index 60.5-63.7%, Cup index 33.8-37.9%였다. 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자의 두께지수는 큰 변동 없이 성장하였고, 2배체 인공산 종자는 가장 낮은 값을 보이다가 11월에 큰 폭으로 상승하였다.

실험 종료 시 종자유래별 Round index와 Cup index의 빈도분석을 실시하여, 어떤 종자의 형태가 가장 원형에 가깝고 두껍게 성장하였는지를 확인하였다 (Fig. 6). 가장 원형에 가깝게 양성된 종자는 2배체 인공산 종자 (64.08 ± 8.78%) 였고, 2배체 자연산 (61.74 ± 9.39%) 그리고 3배체 인공산 종자 (60.70 ± 7.26%) 순서였으며 종자 간의 큰 차이는 없었다. 그리고 각폭이 넓어 패각 두께 및 내부용적률이 높은 종자는 2배체 인공산 종자 (41.90 ± 5.70%) 였고, 2배체 자연산 종자 (39.41 ± 6.39%) 그리고 3배체 인공산 종자 (36.94 ± 4.48%) 의 순서였다.

서해안 갯벌 수평망식 개체굴 양성장장에서 종자유래를 달리 하여 성장 특성을 조사한 결과, 길이 성장 (각고) 은 입식 대비 각각 2배체 자연산 종자 \angle 13.39 mm, 2배체 인공산 종자 \angle 4.41 mm, 3배체 인공산 종자 \angle 20.77 mm로 종자유래에 따라 차이가 있었다. 육중량 변화는 2배체 자연산 종자가 \angle 0.57 g, 2배체 인공산 종자 \angle 0.08 g, 3배체 인공산 종자가 \angle 0.74 g였다. 수평망식에서 확인된 개체굴 성장은 인공산 3배체 종자, 2배체 자연산 종자, 2배체 인공산 종자의 순서로 확인되었고, 성장 차이는 초기 입식크기 영향인 것으로 생각한다 (Brown, 1988; Hand *et al.*, 1999; Hall, 1984). 이 실험 과정 중 조사한 수질환경 모니터링에서 염분 범위는 29.2-31.4로 큰 변화가 없었고, 그 외 환경적인 요소는 연안해역 환경지표 1등급에 준하는 수준으로 안정적이었다. 또한 이 실험에서 생존율은 3배체 인공산 종자가 87.2%, 2배체 인공산 종자는 84.5%, 2배체 자연산 종자는 84.0%로 종자유래에 따른 큰 차이를 나타내지 않았다. 육중량 변화는 3배체 인공산 종자가 \angle 0.74 g로 2배체 자연산 종자 \angle 0.57 g 보다 상대적으로 빠른 성장을 기록하였다. 그러나 실험 종료 시 비만도 (Fatness) 는 2배체 자연산 종자가 11.82%, 2배체 인공산 종자 8.70%, 3배체 인공산 종자 11.86%로 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자는 유사한 수준으로 3배체 인공산 종자의 빠른 성장은 육질과 패각 성장이 동시에 발생된 것으로 빠른 성장이 비만도 개선으로 직결되는 것은 아님을 이 실험으로 확인하였다. 그러므로 수평망식에서 개체굴 대량생산은 2배체 자연산 종자, 3배체 인공산 종자 모두 양성에 적합한 것으로 판단된다.

종자유래에 따른 수평망식 개체굴은 실험 종료 시 각고는 2배체 자연산 종자 44.20 ± 2.66 mm, 2배체 인공산 종자 26.15 ± 4.27 mm 그리고 3배체 인공산 종자 56.27 ± 5.45 mm로 큰 차이가 있었으나, 빈도를 조사한 결과에서는 2배체 자연산 종자가 히스토그램의 폭이 넓은 특성을 나타내었고, 2배체와 3배체 인공산 종자는 히스토그램의 폭이 좁은 특성이 있었다. 즉 2배체 자연산 종자는 전년도 자연채묘 된 것으로서 입식 시 연령 (year-old) 이 2·3배체 인공산 종자보다 상대적으로 높아 환경저항성이 높은 것으로 보인다. 2배체 자연산 종자는 연령일수가 약 300일 이상 되었고, 참굴 생물학적 최소형 크기 30 mm 이상 (Kasmini *et al.*, 2019) 에 도달한 것으로 보아 산란이 가능한 상태로 추정되고, 실험구 모두 생존율이 84% 이상인 점을 고려한다면, 2배체 자연산 종자의 환경저항성이 우수한 것으로 판단된다. 따라서 2배체 자연산 종자의 최종 비만도 11.82%, 각고 일간성장률 0.19%, 3배체 인공산 종자 최종 비만도 11.86%, 각고 일간성장률 0.18%로 성장이 유사하여 개체굴 2배체 자연산 종자를 이용한 갯벌 수평망식 양

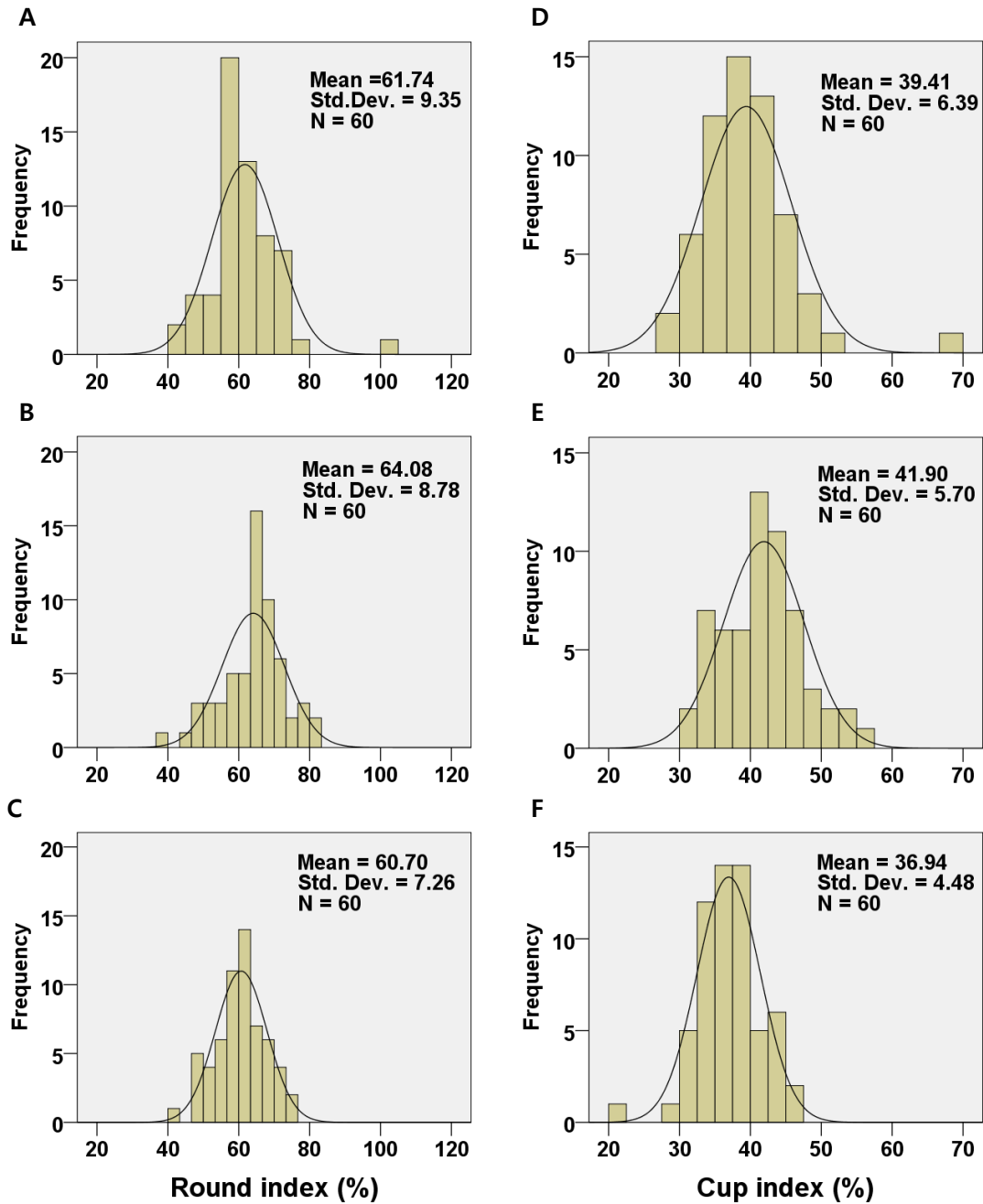


Fig. 6. Comparison of Round and Cup index frequency analysis under different origin of oyster spat on final experimental period. **A,** Wild diploid spat; **B,** Artificial diploid spat; **C,** Artificial triploid spat; **D,** Wild diploid spat; **E,** Artificial diploid spat; **F,** Artificial triploid spat.

식이 경제적인 개체굴 양식방법으로 고려할 수 있다.

우리나라 서해안은 조석간만의 차로 공기노출이 있어, 여과 섭이 생태인 굴의 생리특성을 고려한다면 생산성을 수하식과 같이 극단적으로 높일 수 있는 근본적인 해결책이 없는 것으로 판단된다. 따라서 서해안에서는 우수한 품질 (향, 식감) 과 양

성관리 효율을 바탕으로 하는 생산기술이 중요한 것으로 판단 된다. 이 실험에서 종자유래를 달리하였을 때 약 4개월 (8-11 월) 양성으로도 양식생산 가능성을 확인하는 계기가 되었다. 굴 수출시장에서 개체굴 판매 소형크기는 각고 40-50 mm 이상부터 수출이 가능하며 (Murray, 2005), 소형크기 개체굴

시장은 유럽중심으로 카테일 굴이라는 한입 맞춤형 상품 선호하고 있다 (Hache *et al.*, 2021). 따라서 소형 개체굴 시장을 고려한다면, 우리나라 갯벌 수평망식에서는 향과 육질부식감을 더 높이는 전략적 양식기법 개발이 중요한 것으로 판단되며, 이 실험에서 종자유래에 따라 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자가 효과적인 것으로 나타났다. 개체굴 상품성 평가는 크기, 비만도, 패각외형도 평가요인으로 (Mizuta and Wikfors, 2019; Ward *et al.*, 2005) 패각외형지수는 크게 Round index (각고-각장 비), Cup index (각고-각폭 비) 2가지 요인을 조사한다 (Brakes *et al.*, 2003; Thomas *et al.*, 2019). Round index는 밀도경쟁의 여부를 확인할 수 있는 요소로 패각이 원형에 가까울수록 카테일 굴로 선호된다. Cup index는 비만과 관련된 요소로 일반적으로 값이 높을수록 폭이 두꺼워 육질의 양이 많아지는 장점을 나타낼 수 있다 (Marshall and Dunham, 2013). Round index는 2배체 자연산 종자가 61%, 2배체 인공산 종자 64%, 3배체 인공산 종자 60%로 2배체 자연산 종자와 3배체 인공산 종자 간 큰 차이가 없었다. Cup index는 2배체 자연산 종자 39%, 2배체 인공산 종자 41%, 3배체 인공산 종자 36%로 유사한 결과로 조사되었다. 따라서 패각외형지수 중 Round index, Cup index 2가지 요소를 고려하였을 때 2배체 자연산 종자와 인공산 종자 모두 3배체 인공산 종자보다 더 좋은 것으로 나타났다. 따라서 이 실험결과를 종합하면 자연산 굴 종자라도 상품성 있는 개체굴 생산이 가능함을 확인하였고, 또한 3배체 인공산 종자를 이용한다면 더 빠른 수확도 가능한 것으로 확인하였다. 특히 이 실험의 최종 성장 조사 시 각고 빈도분석에서 양성 4개월만에 수출 최소크기에 도달하는 것으로 보아 향후 당해 연도 출하도 가능할 것으로 예상된다. 특히 크리스마스 및 같이 국제시장에서 수요가 높은 계절에 수출이 가능하다면 조기 수확으로 인건비 절감, 동절기 대량폐사 (Lauckner, 1983; Smith *et al.*, 2000) 와 같은 문제점을 해결할 수 있어 운영적 측면에서 2배체 자연산 굴 종자의 적용도 효과적일 것으로 보여진다.

이 실험의 결과로 생존율, 비만도, 일간성장률 등을 고려하였을 때, 3배체 인공산 종자는 4개월 양식으로 출하가 가능한 크기에 도달하였고, 2배체 자연산 종자도 출하 가능한 크기에 근접한 결과로 보아 서해안 갯벌 수평망식에서 종자공급을 효과적으로 수행한다면 조기출하도 가능할 것으로 판단된다. 특히 2배체 자연산 종자는 대량생산과 확보가 가능하여 향후 갯벌 수평망식 개체굴 대량생산 체계 확립에도 활용될 것으로 보여진다. 그러나 2배체 인공산 굴 종자의 느린 성장문제는 중간양식기술 고도화를 통해 빠른 성장을 달성한다면, 안정적인 종묘공급체계를 바탕으로 수하식과 유사하게 빠른 생산성 향상이 가능할 것으로 예상된다. 또한 수평망식의 낮은 생산성을 고부가 수출상품 생산으로 극복한다면, 향후 수평망식 개체굴

양식의 발전 가능성을 예견할 수 있다.

요 약

본 연구는 서해안 갯벌 수평망식에서 개체굴 종자유래에 따른 성장 특성을 확인하고자 하였으며, 2배체 자연산 종자, 2배체 인공산 종자, 3배체 인공산 종자를 사용하였다. 종자유래별로 양성된 굴은 각고, 전중량, 육중량과 같은 성장 특성과 생존율을 조사하였고, 또한 상품성을 평가하고자 Round index와 Cup index를 조사하였다. 실험 결과, 생존율은 84.89%로 종자간 큰 차이는 없었다. 길이 성장요소인 각장은 실험종류시 3배체 인공산 종자가 56.27 ± 5.45 mm, 2배체 자연산 종자가 44.20 ± 2.66 mm, 2배체 인공산 종자가 26.15 ± 4.27 mm로, 3배체 인공산 종자가 입식 대비 56% 증가하여 가장 높은 증가율을 보였다. 패각외형지수 중 Round index는 60.70-64.08%로 종자간 큰 차이는 없었고, 2배체 인공산 종자가 가장 높은 값을 나타냈다. Cup index 또한 36.94-41.90%로 종자간 큰 차이는 없었으며, 2배체 인공산 종자가 가장 높은 값을 나타냈다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산물연구사업 (R2022005) 및 정책과제 (P2018021) 의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Akashige, S. and Fushimi, T. (1992) Growth, survival, and glycogen content of triploid Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the waters of Hiroshima, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**(6): 1063-1071.
- Brake, J., Evans, F. and Langdon, C. (2003) Is beauty in the eye of the beholder? Development of a simple method to describe desirable shell shape for the Pacific oyster industry. *Journal of Shellfish Research*, **22**(3): 767-771.
- Brown, J. R. (1988) Multivariate analyses of the role of environmental factors in seasonal and site-related growth variation in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, **45**(3): 225-236.
- Brown, J. R. and Hartwick, E. B. (1988) Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*: I. Absolute and allometric growth. *Aquaculture*, **70**(3): 231-251.
- Choi, K. S. and Ko, N. P. (1968) An observation on the rock method oyster culture. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **1**(2): 259-266.
- Dégremont, L., Bédier, E. and Boudry, P. (2010)

- Summer mortality of hatchery-produced Pacific oyster spat (*Crassostrea gigas*). II. Response to selection for survival and its influence on growth and yield. *Aquaculture*, **299**(1-4): 21-29.
- Eh, Y. Y. (2014) Productivity of aquaculture facility utilization. *The Journal of Fisheries Business Administration*, **45**(2): 85-95.
- Haché, R. and Bardon-Albaret, A. (2021) Rearing density: A tool to shape Eastern oysters (*Crassostrea virginica*). *Aquaculture Research*, **52**(7): 3157-3163.
- Han, S. M. (2005) A study on the development process of the oyster hanging aquaculture. Master Dissertation, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea, 1-30.
- Hand, R. E., Nell, J. A., Reid, D. D., Smith, I. R. and Maguire, G. B. (1999) Studies on triploid oysters in Australia: effect of initial size on growth of diploid and triploid sydney rock oysters, *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley). *Aquaculture research*, **30**(1): 34-42.
- Hall, S. (1984) A multiple regression model of oyster growth. *Fisheries research*, **2**(3): 167-175.
- Hwang, I. J., Han, J. C., Hur, Y. B. and Lim, H. Y. (2016) Seasonal variation in the body composition, amino acid, fatty acid and glycogen contents of triploid Pacific oyster, *Crassostrea gigas* in western coastal waters of Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **32**(4): 269-277.
- Jin, G. J. (2022) A Study on the development process of oyster farming industry-focusing on the last 20 years. *The Journal of Korean island*, **34**(1): 87-106.
- Joo, H. M., Lee, J. W. and Jung, S. W. (2011) Correlations between cell abundance, bio-volume and chlorophyll a concentration of phytoplankton communities in coastal waters of Incheon, Tongyeong and Ulsan of Korea, *Korean J. Environ. Biol.*, **29**(4): 312-320.
- Kasmini, L., Barus, T. A., Sarong, M. A., Mulya, M. B. and Batubara, A. S. (2019) Reproductive biology of Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*): A decade after the tsunami disaster in Aceh, Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences*, **12**(5): 553-560.
- Kunsan National University R and DB Foundation. (2018) Development of a multi layered rack oyster culture to improve the productivity and reduce the cultural pollution load. final report. 11-15.
- Korean Statistical Information Service (2022) Annual oyster production. A survey on fishery production trend from 1970~2022, 2022.09.15.
- Lim, H. J., Lee, T. S., Cho, P. G., Back, S. H., Byun, S. G. and Choi, E. H. (2011) The Production efficiency of cupped oyster *Crassostrea gigas* spat according to clutch and growth comparing diploid and triploid oysters in off-bottom culture for tidal flat utilization. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **44**(3): 259-266.
- Lauckner, G. (1983) Diseases of marine animals. Vol II: Introduction, Bivalvia to Scaphoda, 477-961.
- Marshall, R. D. and Dunham, A. (2013) Effects of culture media and stocking density on biofouling, shell shape, growth, and survival of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the Manila clam (*Venerupis philippinarum*) in suspended culture. *Aquaculture*, **406**: 68-78.
- Mizuta, D. D. and Wikfors, G. H. (2019) Seeking the perfect oyster shell: a brief review of current knowledge. *Reviews in Aquaculture*, **11**(3): 586-602.
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries). (2005) Standard methods for the examination of sea water, sediment and marine organism. Seoul, Korea. 389.
- Murray, T. J. (2005) Pilot-scale production economics of *C. ariakensis* oysters summary of Virginia seafood council industry grow-out trials (2003-2005).
- NIFS. (2014) Research for the productivity improvement of pacific cupped oyster, *Crassostrea gigas* on tidal flats of the West sea, Korea. Annual report. 16-22.
- NIFS. (2016a) Standard manual for oyster culture in Korea. Report, 77-80.
- NIFS. (2016b) Aquaculture technology development for individual and triploid oyster in the suspended cages and longlines. Annual report. 6-7.
- NIFS. (2016c) Development of healthy artificail seed production technology of oyster, *Crassostrea gigas*. Annual report. 6-7.
- Park M. S., Do Y. H. and Rho S. W. (2018a) Development direction of individual oyster aquaculture industry in Korea. *Journal of the Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, **30**(3): 913-922.
- Park, S. Y., Kim, D. Y., Lee, J. M. and Kim, J. S. (2018b) Comparison of taste, odor and texture characterizations between rack-and-bag and suspended cultured pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition*, **47**(4): 455-461.
- Smith, I. R., Nell, J. A. and Adlard, R. (2000) The effect of growing level and growing method on winter mortality, *Mikrocytos roughleyi*, in diploid and triploid Sydney rock oysters, *Saccostrea glomerata*. *Aquaculture*, **185**(3-4): 197-205.
- Svásand, T., Crosetti, D., García-Vázquez, E. and Verspoor, E. (2007) Genetic impact of aquaculture activities on native populations. Genimpact final scientific report (EU contract n. RICA-CT-2005-022802), 77-80.
- Thomas, L. L., Allen Jr, S. K. and Plough, L. V. (2019) The effect of aquaculture gear on the growth and shape of the oyster *Crassostrea virginica* during a "finishing period" in Chesapeake Bay, USA. *Aquaculture*, **508**: 1-9.
- Ward, R. D., Thompson, P. A., Appleyard, S. A., Swan, A. A. and Kube, P. D. (2005) Sustainable genetic improvement of Pacific oysters in Tasmania and South Australia. Fisheries Research and Development Corporation final report, 7p.
- Yu, S. G. (1990), Coastal culture, SaeroBook, 86p.