

김(*Pyropia* spp.) 3종 유리사상체의 패각 잠입에 대한 패각 종류, 광과 온도의 영향

허진석 · 박은정 · 황미숙¹ · 최한길^{2*}

국립수산과학원 수산식품품질관리센터, ¹국립수산과학원 수산증자육종연구소, ²원광대학교 자연과학대학 생명과학부 · 기초자연과학연구소

Effect of Shell-type, Light and Temperature on the Shell Infiltration of Free-living Conchocelis of Three *Pyropia* Species

Jin Suk Heo, Eun Jung Park, Mi Sook Hwang¹ and Han Gil Choi^{2*}

Aquatic Plant Variety Center, National Institute of Fisheries Science, Mokpo 58746, Korea

¹Fisheries Seed and Breeding Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Korea

²Faculty of Biological Science and Institute of Basic Natural Sciences, College of Natural Sciences, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

To examine the optimal temperature, light intensity, and shell-type for shell-living conchocelis production, we tested the shell infiltration of free-living conchocelis fragments under various environmental conditions. Under a combination of various temperatures (10, 15, 20, 25 and 30°C) and light intensities (1, 5, 10, 20, 40, and 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), the optimal infiltration conditions of the evaluated three *Pyropia* species were 20-25°C and 5-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for *P. yezoensis*, 20-30°C and 20-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for *P. seriata*, and 20-25°C and 20-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ for *P. dentata*. The infiltration efficiency of free-living conchocelis for different shell types was greater in Korean and Chinese oyster *Crassostrea gigas* shells than that in scallop *Argopecten irradians* and clam *Meretrix lusoria* shells. These results suggest that oyster shells are suitable substrates for shell-living conchocelis production. In conclusion, the present results for optimal infiltration conditions for free-living conchocelis of the three examined *Pyropia* species will contribute significantly to the production of stable shell-living conchocelis.

Keywords: *Pyropia* spp., Shell-living conchocelis, Infiltration, Environmental condition

서론

국내에서 김류(*Pyropia* spp.)의 최초 기록은 경상도지리지(1424-25년)에서 해의(海衣)라고 기록되었으며, 이후 1481년 동국여지승람에는 전남 광양군 태인도의 토산품으로 기재되어 최초의 김 양식이 이루어졌다고 추정되고 있다(Bae, 1991). 이후 조선 인조(1623-1649년) 때 나무가지를 이용한 산죽발이 한국 김양식의 시작이었고, 현종과 철종 때(1836-1863년)에는 대나무를 재료로 한 떼발(염홍) 양식으로 개발되었다(Miyashita, 1970). 1928년경에는 김발을 말목에 고정하는 외말목 혹은 쌍말목을 이용한 수평식 뜬발(반부동식 떼발)이 개발되었다(Shon, 2009). 이후 무노출 부류식 김 양식방법은 1970년대에

도입되었으며, 완도에서는 스티로폼 부류식 방법이 최초로 사용되었다(Shon, 1993). 이처럼 한국의 김 양식은 양식방법, 재료 및 기술 발달로 생산량이 꾸준히 증가되어, 가공방법도 건조 김에서 조미김의 형태로 다변화되었다. 2018년에는 생산량 57만톤, 생산금액 5,728억원, 수출금액은 5.3억 달러로 수산분야 2위의 주요산업으로 성장하였다(MOF, 2019). 국내에서 양식되는 김은 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*), 모무늬돌김(*P. seriata*)과 잇바디돌김(*P. dentata*)의 3종이며, 김 산업은 종자, 양식, 가공 및 수출산업을 포함하여 3조원의 규모로 추정되고 있다. 김의 해면양식은 종자산업(유리사상체, 패각사상체)을 기반으로 성장되므로, 종자의 생산 및 관리기술은 김 양식산업 성공의 50%를 결정한다는 말처럼 종자산업의 중요성은 지속적으로

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 850. 6579 Fax: +82. 63. 850. 7313

E-mail address: hgchoi@wku.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.2021.0023>

Korean J Fish Aquat Sci 54(1), 23-30, February 2021

Received 28 July 2020; Revised 9 September 2020; Accepted 7 January 2021

저자 직위: 허진석(연구사), 박은정(연구관), 황미숙(연구관), 최한길(교수)

증가되고 있다(Stekoll et al., 1999; Jo et al., 2013; Baek, 2017).

김은 현미경적 크기인 사상형 포자체(filament-type sporophytes) 세대와 육안적 엽상형 배우체(thallus-type gametophytes) 세대가 이형세대교번을 하는 생활사를 가진다(Sahoo et al., 2002; Kim and Notoya, 2004). 김의 종자는 성숙한 김에서 방출된 접합포자(과포자)를 배양하는 유리사상체(free-living conchocelis)와 사상체 절편이 굴 패각에 잡입된 패각사상체(shell-living conchocelis)로 구분된다(Wang et al., 2010). 국내에서 패각사상체 배양은 평면식과 수하식 시설에서 이루어지며 온도와 광도를 조절하여 패각사상체를 성장·성숙시키고 각포자를 방출시켜 김망에 채묘하는데 사용된다. 현재까지, 김 종자산업을 위한 실내배양 연구는 유리사상체의 성장을 위한 최적 환경조건(온도, 광도, 광주기 등)의 탐색에 초점이 맞추어져 있었으며(Nelson et al., 1999; Wang et al., 2008; Zhong et al., 2016), 양질의 패각사상체 생산을 위하여 단계별(잡입, 성장, 성숙 등)로 요구되는 환경요인을 파악하기 위한 연구는 상대적으로 미흡하다. 이러한 이유로 국내에서 양식되는 김 3종의 패각사상체 생산을 위한 양식매뉴얼이 존재하지 않아 패각사상체 생산업자들은 개인의 경험에 의존하거나, 상대적으로 패각사상체 배양기술이 확립되어 있는 방사무늬김의 배양 매뉴얼을 그대로 적용하고 있다. 향후 양식김 3종의 안정적인 패각사상체 생산 및 공급을 위해서는 잡입, 성장과 성숙 단계별 온도와 광도 등 환경요인을 고려한 최적 배양 및 관리기술이 확립되어야 하므로(He and Yarish, 2006; Sahoo et al., 2006; Tada et al., 2010; Li et al., 2011; Lu and Yarish, 2011; López-Vivas et al., 2015), 종별 패각사상체의 성장 및 성숙에 요구되는 최적의 환경조건을 파악하는 것이 매우 중요하다(Notoya et al., 1993; Kim, 1999; Lu and Yarish, 2011).

모무늬돌김과 잇바디돌김의 패각사상체 배양기술의 부재는 채묘율 감소, 패각사상체 사용량 증가, 중국산 굴패각의 수요 증가의 원인이 되고 나아가 사용된 패각처리에 의한 심각한 환경피해가 예상된다. 또한, 최근에 중국에서 굴패각 사용량의 증가는 국내로 수입되는 중국산 굴패각의 가격상승을 초래하고 있다. 한국에서 패각사상체 생산에 요구되는 중국산 굴패각은 2018년에 약 4,000톤이었으며, 2015년 대비 수입량이 64.8%가 증가되었고, 패각의 구입가격도 1,040원/kg으로 45.6% 상승되었다(KMI, 2019). 이처럼, 국내에서 김 생산량 증대로 인한 굴패각의 사용량 증가와 가격 상승은 해양환경문제와 패각사상체 생산업자의 경영악화로 연결되기 때문에 양식김의 종별 패각사상체 배양 및 관리기술의 확립은 매우 시급한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 양식 김 3종(방사무늬김, 모무늬돌김, 잇바디돌김)에 대한 국내의 패각사상체 배양시설, 배양과정과 환경을 확인하고, 패각사상체 생산의 첫 단계인 유리사상체 절편의 굴패각 잡입을 위한 최적 온도와 광도를 파악하는 것이었다. 또한, 양식김 3종의 유리사상체의 최적 잡입 기질을 파악하기 위하여 패각 타입별(중국산 굴, 국내산 굴, 국내산 가리비, 국내

산 백합 패각)로 잡입효율을 확인하였다.

재료 및 방법

패각사상체 생산 배양장 환경

국내에서 양식김의 패각사상체 생산에 이용되는 평면식(개체형 굴 패각사상체 생산) 및 수하식(세트형 굴 패각사상체 생산) 배양시설과 양식과정 및 환경조건을 확인하였다. 국내의 패각사상체 생산업체는 총 121개이며, 이 중에서 80% 이상이 전라남도에 있다. 본 연구에서는 전남 신안군, 진도군과 무안군에서 지역별로 평면식 패각사상체 생산업체 1개를 선정하여 온도와 광도를 모니터링하기 위하여 HOB0 Pendant (temp/light part #UA-002-64, Onsetcomp, Bourne, MA, USA)를 설치하였다. 패각사상체 배양기간(2019년 4-9월)에 일 평균 온도와 광도는 정오를 기준으로 3시간(11, 12, 13시)의 자료를 사용하였다.

온도와 광도

김 3종(방사무늬김, 모무늬돌김, 잇바디돌김)의 유리사상체는 국립수산물연구원 해조류연구센터에서 분양받았다. 각 종의 유리사상체는 14L (light):10D (dark), 20°C와 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건의 인큐베이터(MTI-202B, EYELA, Tokyo, Japan)에서 PES배지(Provasoli, 1968)가 담긴 삼각플라스크에 넣어 정지 배양(stock culture) 하였으며, 각포자낭이 형성되지 않은 것을 확인한 후 실험에 사용하였다.

온도와 광도가 김 3종의 유리사상체의 패각 잡입에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 유리사상체 0.1 g (wet weight)과 멸균 해수(50 mL)를 믹서기에 넣고 8,000 rpm에서 40초간 세절(약 300 μm)하여 사상체 원액(conchocelis solution)을 준비하였다. 잡입실험을 수행하기 위하여, 굴패각은 절편(크기 1-2 cm^2 , 두께 1-2 mm)으로 만들어 멸균시켰으며, 절편의 면적은 Image J 1.50i로 측정하였다. 준비된 Petri dish (\varnothing 5 cm)에 굴 패각 절편의 진주층이 위로 향하도록 배열한 후, 사상체 원액을 100배로 희석하여 10 mL씩 접종하였다. 패각사상체 평면식 배양장의 온도(10-30°C)와 광도(1-20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)를 고려하여, 실험 조건은 5개 온도(10, 15, 20, 25, 30°C) × 6개 광도(1, 5, 10, 20, 40, 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)의 조합으로 세팅하였으며, 7일간 배양하면서 사상체 절편의 잡입을 유도하였고, 광주기는 14:10 h L:D로 모든 실험구에서 동일하게 하였다. 굴패각에 잡입한 사상체의 수는 광학현미경(JP/BX53F, Olympus, Tokyo, Japan) 아래에서 계수하였으며(No. of conchocelis cm^{-2}), 실험구별 3개의 반복구를 두었다.

패각 기질

김 3종의 종별 유리사상체의 잡입에 대한 패각 선호도를 확인하기 위하여, 중국산 굴패각(Chinese oyster shell)과 국내산 굴패각(Korean oyster shell), 국내산 가리비패각(Korean scallop

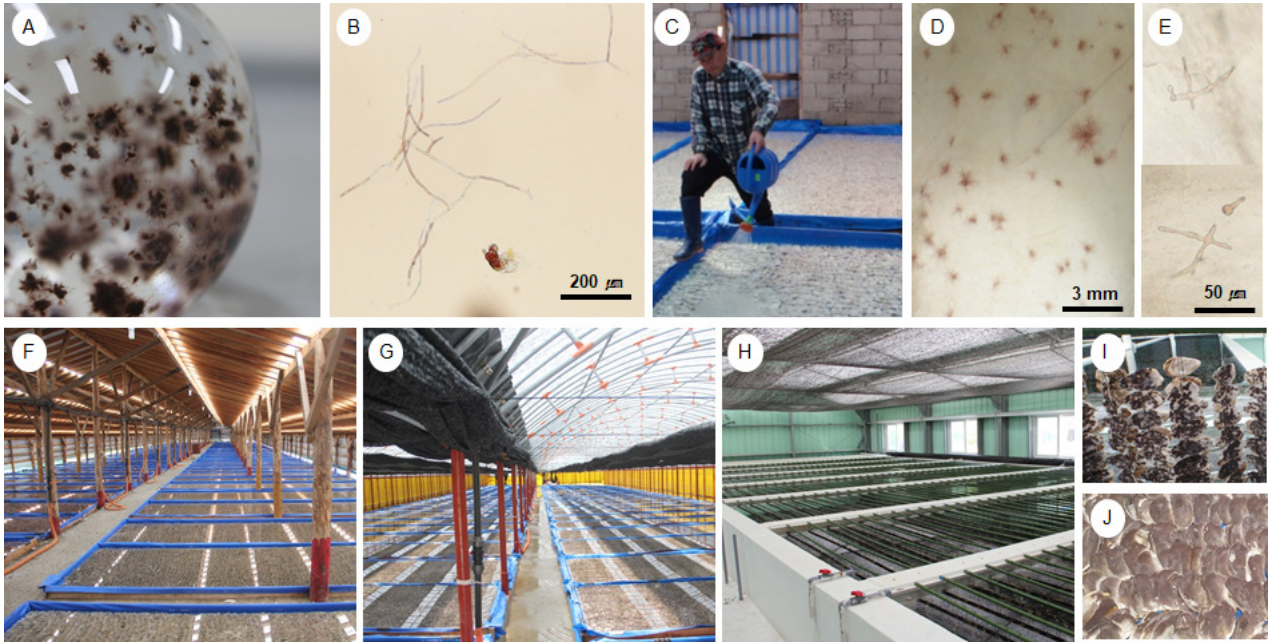


Fig. 1. Free-living conchocelis infiltration process (A-E) and culture facility (F-J) for shell-living conchocelis production of *Pyropia* species in Korea. A, free-living conchocelis; B, fragmented conchocelis with multi-cells; C, inoculating conchocelis solution; D, shell-living conchocelis in the early; E, conchocelis growing on an oyster shell; F, wood flat culture facility; G, Iron flat culture facility; H, vertical culture facility; I, shell-living conchocelis growing in vertical culture facility; J, shell-living conchocelis growing in flat culture facility.

shell), 국내산 백합패각(Korean clam shell)의 4종류를 사용하였다. 유리사상체의 패각 잠입실험은 온도와 광도별 조합실험과 동일하게 실시하였으며, 이 실험에서 최적 잠입온도와 광도로 확인된 20°C 와 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 수행되었다. 패각 종류별로 3개의 반복구를 두었으며 배양 7일 후에 패각에 잠입된 사상체를 계수하였고 단위면적(cm^2)으로 환산하였다. 또한, 중국산과 국내산 굴패각 30개를 무작위로 선택하여 패각면적과 진주층(pearl layer), 석회질층(lime layer)과 패주 부착부위(adductor muscle site)의 면적을 Image J 1.50i로 측정하고 굴 패각 면적에 대한 구성(%)을 비교하였다.

통계분석

패각에 잠입된 사상체의 수에 대한 통계분석은 Cochran의 등분산검정(test of homogeneity of variances)을 통해 데이터의 동질성을 확인한 후 Two-way 또는 Three-way ANOVA test를 실시하여 유의차를 검정하였고, Tukey's HSD test 방법으로 사후검정을 실시하였다(Sokal and Rohlf, 1995). 통계프로그램은 SPSS Statistics Ver. 20 (IBM, USA)을 사용하였다.

결 과

김 종자생산업자는 유리사상체를 해수에 넣고 세단하고 사상체 원액을 희석하여 배양장의 굴패각에 접종한 후 온도와 광

도를 조절하면서 배양하여 패각사상체를 생산한다(Fig. 1A-E). 패각사상체 배양시설은 평면식(개체형)과 수하식(꾸러미형)으로 구분되며, 김 종묘의 해상채묘에는 평면식에서 생산된 개체형 패각사상체를, 그리고 육상채묘에는 수하식 배양장의 패각사상체 꾸러미(패각 20개)를 주로 사용한다. 평면식 시설은 목재 혹은 철재 기둥을 가진 건물이며, 수하식 시설은 콘크리트 탱크가 설치된 철재 건물이 일반적이다(Fig. 1F-J). 전남 신안군, 진도군, 무안군에 위치한 평면식 패각사상체 양식 시설에서 배양 기간에 측정된 수온과 광도의 변화를 확인하였다(Fig. 2). 배양장의 수온 변화는 신안에서 $9.9\text{--}26.87^{\circ}\text{C}$ (2019. 4. 10 - 9. 16)였고, 진도에서 $11.04\text{--}27.93^{\circ}\text{C}$ (2019. 4. 5-10. 2), 무안에서 $12.43\text{--}26.88^{\circ}\text{C}$ (2019. 4. 25-9. 14)였다. 패각사상체 배양 개시는 지역별로 최대 20일 정도의 차이를 보였으며, 배양기간은 40일 정도 차이를 보였다. 또한, 수온은 모든 배양장에서 계절적 변화패턴을 보였으며 채묘시기에 근접한 9월부터 지역별 차이를 나타냈다(Fig. 2A). 평면식 배양장에서 굴패각이 노출된 최대 광도는 신안에서 약 $17.94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (897 Lux), 진도에서 약 $20.38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1,019 Lux), 무안에서는 약 $5.38 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (269 Lux)로 지역별 차이가 뚜렷하였다(Fig. 2B).

다양한 온도와 광도가 조합된 배양실험에서, 김 3종의 유리사상체 절편이 굴패각에 잠입된 수가 최대인 조건은 20°C 의 $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 동일하였고, 이때 잠입수는 모무늬돌김이 최대

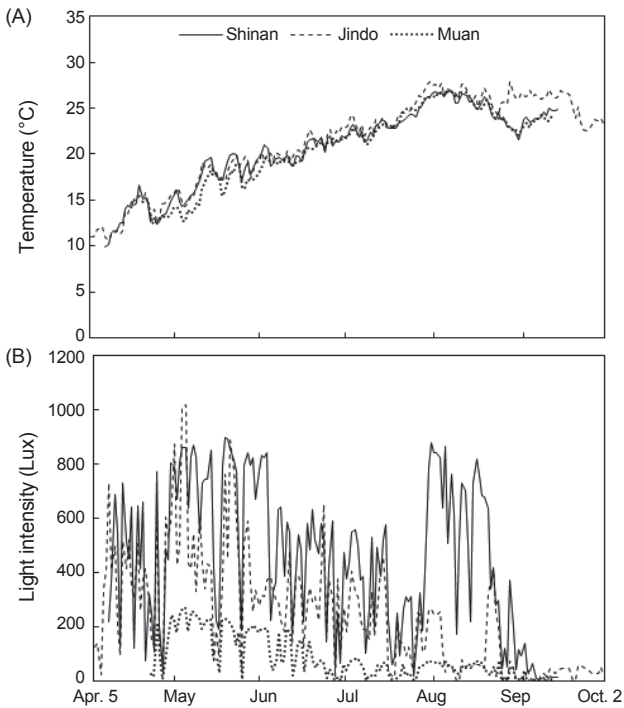


Fig. 2. Temperature (A) and light intensity (B) variations at three culture facilities of oyster shell-living conchocelis during the culture period from April 5 to October 2, 2019 production period in Korea. The three culture facilities was located at Shinan, Jindo and Muan country in Korea.

(93.16 ± 2.17 conchocelis cm^{-2})였고 방사무늬김(58.11 ± 4.18 conchocelis cm^{-2}), 잇바디돌김(28.70 ± 0.75 conchocelis cm^{-2})의 순서를 보였다(Fig. 3). 반면, 방사무늬김은 10, 15, 30°C의 모든 광도에서 22.20 ± 5.96 conchocelis cm^{-2} 이하의 잠입수를 보였으며, 모무늬돌김은 10, 15°C의 모든 광도에서 18.31 ± 3.43 conchocelis cm^{-2} 이하, 잇바디돌김은 모든 온도와 광도의 실험에서 28.70 ± 0.75 conchocelis cm^{-2} 이하로 종별 잠입수를 보였다. 굴패각에 잠입된 사상체의 수는 종별, 온도별 및 광도별로 유의한 차이를 보였고(Three-way ANOVA, $P < 0.001$), 김 3종은 모두 온도와 광도에 따라 잠입수가 변화함을 확인하였다. 또한, 김 3종 사상체의 굴패각 잠입수는 온도와 광도별로 종별 차이가 있었다($P < 0.05$, Table 1). Tukey's test 결과, 굴패각 잠입 잠입수는 동일한 환경조건에서 잇바디돌김에 비해 모무늬돌김에서 약 3배 높게 나타남으로써 유의차를 보였다($P < 0.05$). 김 3종의 공통적인 사상체 잠입조건은 온도에서는 20, 25°C에서 최대였고 30°C에서도 상대적으로 높았고 15°C 이하의 저온에서는 낮게 나타났으며($P < 0.05$), 광도별 굴패각 잠입 사상체 수는 $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최대였고 80, 20, 10, 5, $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 순서로 낮은 값을 보였다(Table 1).

김 3종 유리사상체의 종별로 굴패각 잠입의 최적 온도와 광

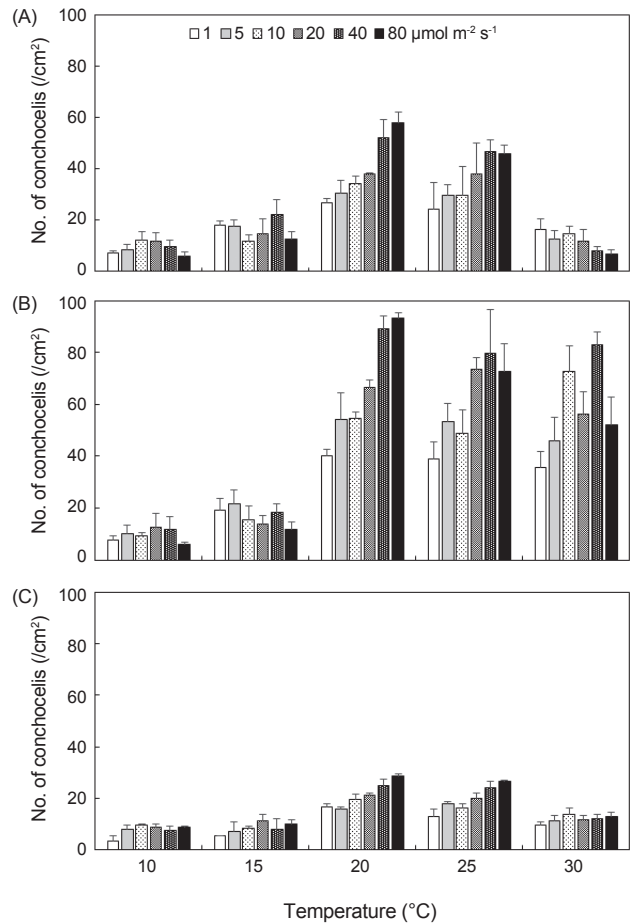


Fig. 3. Number of conchocelis infiltrated in oyster shell for three *Pyropia* species: *P. yezoensis* (A), *P. seriata* (B), *P. dentata* (C). They were cultured in a combination of temperatures (10, 15, 20, 25 and 30°C), light intensity (1, 5, 10, 20, 40, $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and photoperiod (14:10h L:D) for 7 days.

도를 Two-way ANOVA로 분석한 결과, 방사무늬김은 온도와 광도의 상호작용에서 유의한 차이를 보였고($F_{20,60} = 2.192$, $P < 0.05$), 온도는 20-25°C에서, 그리고 광도는 $5-80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건에서 다른 온도와 광도에 비해 많은 잠입 잠입수를 보였다(Tukey's test, $P < 0.05$).

모무늬돌김 사상체의 굴패각 잠입은 온도와 광도 변화의 상호작용에서 유의한 차이를 보였고($F_{20,60} = 3.231$, $P < 0.001$), 20-30°C에서 그리고 $20-80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 높게 나타났다(Tukey's test, $P < 0.05$). 하지만, 잇바디돌김의 경우, 굴패각에 잠입된 사상체의 수는 온도와 광도의 상호작용에서 유의차가 없는 것으로 확인되었으나($F_{20,60} = 1.662$, $P = 0.067$), 20-25°C에서 그리고 $20-80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 다른 온도와 광도에 비해 잠입 잠입수가 높게 나타났다(Tukey's test, $P < 0.05$). 따라서, 양식 김 3종 사상체의 굴패각 잠입의 최적온도는 방사무늬김과

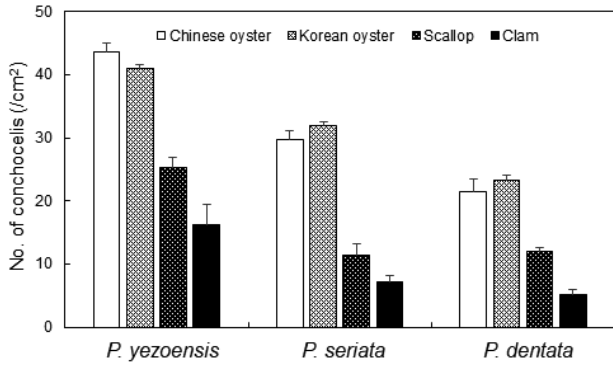


Fig. 4. The number of infiltrated conchocelis of three *Pyropia* species in the different shell types (Chinese and Korean oyster, scallop and clam shell). They were cultured for 7 days under 20°C, 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 14:10h L:D.

잇바디돌김은 20-25°C였고 모무늬돌김은 20-30°C로 광온성을 보였고 최적 광도는 방사무늬김이 5-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로서 잇바디돌김과 모무늬돌김의 20-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에 비해 넓은 범위를 보였다.

김 3종 사상체의 굴패각 잠입의 최적 온도인 20°C와 광도인 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 4종류의 패각에 잠입된 사상체의 잠입수를 종별로 보면, 3종 모두 사상체의 잠입 잠입수는 가리비와 백합 패각에 비해 굴패각에서 높았으나, 중국산과 국내산 굴패각에서는 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 4).

패각에 잠입된 방사무늬김의 사상체 수는 중국산 굴패각(43.66 ± 1.40 conchocelis cm⁻²)이 최대였고 백합패각(16.18 ± 3.24 conchocelis cm⁻²)에서 최소였다. 모무늬돌김 사상체의 패각 잠입 잠입수는 국내산 굴패각(31.79 ± 0.68 conchocelis cm⁻²)에서 최대였고 백합패각(7.13 ± 0.99 conchocelis cm⁻²)에서 최소였으며, 잇바디돌김도 국내산 굴패각(23.21 ± 0.95 conchocelis cm⁻²)에서 최대였고 백합패각(5.08 ± 0.89 conchocelis cm⁻²)에서 최소였다(Fig. 4). 패각별 잠입된 사상체의 잠입수는 김의 종별 및 패각의 종류에 따라 유의한 차이를 보였다(Two-way ANOVA, P < 0.001). 또한, 김의 종별 및 패각 종류별 상호작용이 확인되었으며(P < 0.01), 동일한 환경조건에서 패각 종류는 잠입된 사상체의 수에 영향을 미치는 것으로 확인되었다(P < 0.01). Tukey's test 결과(Table 2), 동일한 조건에서 종에 따른 잠입수 변화에 대한 유의차를 확인하였다(P < 0.05). 양식김 3종은 모두 중국산과 국내산 굴패각

Table 1. Three-way ANOVA and Tukey tests for the effect of species, temperature and light intensity on the number of infiltrated conchocelis for the three *Pyropia* species

Source of variation	df	SS	MS	F	P
Species (S)	2	38,439.451	19,219.726	264.460	<0.001
Temperature (T)	4	47,780.083	11,945.021	164.361	<0.001
Light intensity (L)	5	6,031.383	1,206.277	16.598	<0.001
S×T	8	21,922.456	2,740.307	37.706	<0.001
S×L	10	2,387.799	238.780	3.286	<0.01
T×L	20	7,644.226	382.211	5.259	<0.001
S×T×L	40	4,600.286	155.007	1.582	<0.05
Tukey test (P=0.05)					
Species (S)	<i>P. seriata</i> > <i>P. yezoensis</i> > <i>P. dentata</i>				
Temperature (T)	20=25>30>15>10°C				
Light intensity (L)	40=80>80=20>20=10=5>5=1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$				

Table 2. Two-way ANOVA and Tukey tests for the effect of species and substrate type on the infiltrates number of conchocelis for the three species

Source of variation	df	SS	MS	F	P
Species (S)	2	1643.405	821.702	114.223	<0.001
Shell type (ST)	3	3453.210	1151.070	160.008	<0.001
S×ST	6	163.064	27.177	3.778	<0.01
Tukey test (P=0.05)					
Species (S)	<i>P. yezoensis</i> > <i>P. seriata</i> > <i>P. dentata</i>				
Shell type (ST)	Korean oyster=Chinese oyster>Scallop>Clam				

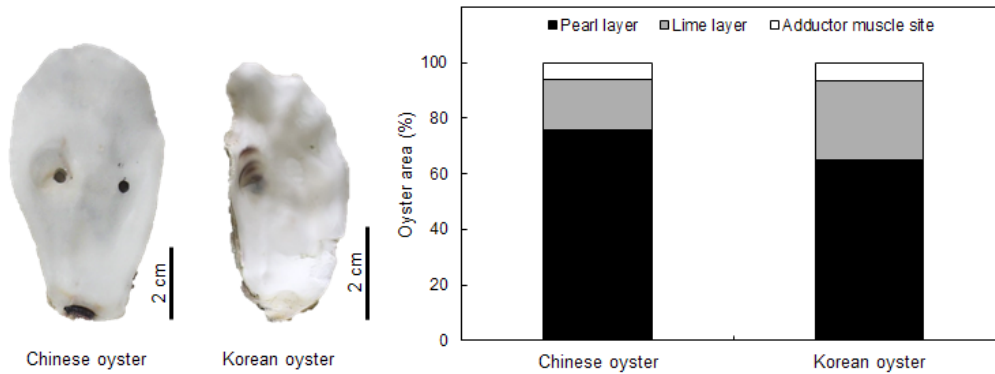


Fig. 5. Oyster area (%) of pearl layer, lime layer and adductor muscle parts for Korean and Chinese oyster shells. Data were collected for thirty oyster shells from each of Chinese and Korean oyster shells.

에서 잠입된 사상체의 수가 가리비패각과 백합패각에 비하여 높게 나타나는 경향을 보였다($P < 0.05$).

고 찰

본 연구에서 양식김 3종의 굴패각에 잠입된 사상체의 수는 다양한 온도와 광도의 조합 실험 결과, 종, 온도 및 광도에 따라서, 그리고 이들의 상호작용에서 모두 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 종에 따라 패각사상체 생장에 요구되는 환경조건이 다를 수 있다는 것을 나타내며, Notoya et al. (1993) 역시 종에 따라 유리사상체 생장에 요구되는 환경조건은 다를 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 온도와 광도의 조합조건에서 사상체의 굴패각 잠입은 모무늬돌김이 가장 높았고, 방사무늬김, 잇바디돌김 순으로 확인되었다. 잇바디돌김 사상체의 패각 잠입은 다른 2종에 비하여 현저하게 낮았으므로 패각사상체의 안정적인 생산을 위해서는 더 많은 양의 유리사상체를 사용해야 할 필요성을 보여준다. 온도와 광도의 조합실험에서 김 3종 유리사상체의 굴패각에 대한 잠입은, 3종 모두 전반적으로 20과 25°C에서 높게 나타났으며, 40과 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도에서 상대적으로 높았다. 본 연구의 결과는 김 3종 사상체의 공통 잠입조건을 확인하였으며, 향후 패각사상체의 성장 및 성숙과 같은 단계별 실험 디자인을 위한 기초자료로서 활용할 계획이다.

그러나, 다양한 온도와 광도의 조합조건에서 김 종별 사상체의 굴패각 잠입의 최적 온도와 광도는 방사무늬김이 20-25°C, 5-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 모무늬돌김이 20-30°C, 20-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 잇바디돌김은 20-25°C, 20-80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로서 종별로 차이가 있음을 확인하였다. 선행연구의 패각사상체의 원료로 사용되는 유리사상체 최적성장조건은 방사무늬김의 경우 20-25°C (Een et al., 1979), 모무늬돌김은 15-20°C, 20-80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Notoya et al., 1993; Kim and Notoya, 2004), 잇바디돌김은 20-25°C, 1-80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Notoya et al., 1993;

Kim, 1999)으로 종별 차이를 보였으며, 유리사상체 생장에 관여하는 광합성효율에서도 방사무늬김이 10-12°C (Kang et al. 2014), 잇바디돌김이 15-20°C (Kim et al., 2019)로 차이를 보였다. 따라서, 패각사상체의 안정적인 생산을 위해서는 김 종에 따라 배양시설을 달리하여 온도와 광도를 설정하는 것이 유리할 것이며, 이러한 유리사상체의 잠입과 생장에 필요한 최적 온도 및 광도조건 차이는 패각사상체 생산 단계별 주어지는 환경조건을 달리해야 할 필요성을 나타낸다.

김 3종의 유리사상체 패각 잠입효율은 가리비와 백합패각에 비해 중국산과 국내산 굴패각에서 높게 나타남으로써 굴패각이 패각사상체 생산에 적합한 기질로 확인되었다. 중국산과 국내산 굴패각에 대한 유리사상체 잠입효율은 유의한 차이가 없음에도 불구하고, 김 패각사상체 생산업체는 국내산 굴패각이 사상체가 잠입할 수 있는 진주층이 상대적으로 적고 패각이 쉽게 깨지며, 고가이므로 중국산 패각을 선호하는 것으로 나타났다. 중국산과 국내산 굴패각의 진주층, 석회질층과 패주 면적을 비교한 결과(Fig. 5), 진주층은 중국산(75.97 ± 1.70%, n=30)이 국내산(64.82 ± 1.45%, n=30)에 비해 높았으나, 석회질층은 국내산(28.50 ± 1.80%)이 중국산(18.10 ± 1.56%)에 비해 높았으며, 패주 면적은 중국산과 국내산의 차이가 없는 것으로 확인되었다(unpublished data). 패각의 구성 성분은 패류의 종에 따라 다르다(Kobayashi, 1964; Cho et al., 1985). 동일한 종 내에서도 서식환경과 스트레스에 따라 패각의 성분이 달라지는 것으로 알려져있다(Lowenstam and Weiner, 1989; Weiner et al., 2003; Ma et al., 2007). 한국 남해안의 수하식 굴은 서해안의 반수하식 굴에 비하여 패각의 면적이 큰 것으로 알려져 있으며(Park et al., 2013), 서해안 굴은 조석에 따른 주기적인 대기 노출로 패각은 작지만 두꺼운 것으로 알려져 있다(Mo et al., 2012; Ha et al., 2017). 중국산과 국내산 굴패각 형태의 차이는 양식방법 혹은 해양환경의 영향을 받는 것으로 사료되며, 굴 패각 내 유리사상체의 잠입효율은 중국산과 국내산 패각에서 유

의한 차이가 없음을 최초로 확인하였다.

결론적으로, 김 패각사상체 생산에 있어 첫 단계인 유리사상체의 굴 패각 내 잠입을 유도할 때, 종별 온도와 광도 조건을 다르게 하여야 하며, 잠입효율의 차이를 고려한 유리사상체 사용량 조절이 효율적 생산을 위해 필요함을 시사한다. 최적 온도와 광도조건에서 잠입되는 김 3종의 유리사상체 수의 차이에 대한 원인을 구명하기 위해서는 종별로 잠입에 필요한 적정한 사상체의 양 등과 같은 물리적인 요인에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 중국산과 국내산 굴패각에서 사상체의 잠입에 차이가 없음을 확인하였으므로 향후, 굴패각을 구성하는 물질의 발현과 굴 양식 방법의 개선을 통한 패각사상체의 원재료인 굴 패각의 국산화 유도할 수 있는 연구가 이루어 진다면, 해양 폐기물(중국산 굴패각 수입) 문제 완화와 패각사상체로서의 고품질의 굴 패각을 공급할 수 있는 기회가 될 것이라 생각된다. 본 연구의 결과는 추후 김 종별 안정적인 종자생산 및 관리기술을 확립을 위한 연구의 기초자료로서 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원(해조류 품종보호제도 운영, R2012024)과 한국연구재단의 이공분야기초연구사업(NRF-2019R1F1A1062459)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bae SH. 1991. The origin and development process of laver culture industry in Korea. Bull Kor Fish Soc 24, 153-166.
- Baek EY. 2017. Research on *Pyropia* production status and development measures in Korea. J Kor Island 29, 53-71.
- Cho DH, Kwon OK and Park SB. 1985. On the formation of nacreous layer of freshwater bivalves. Kor J Limnol 18, 61-66.
- Een G, Cui G, Fei X, CK T, Li C and Liu Q. 1979. The effect of temperature on the growth and development of the conchocelis of *Porphyra yezoensis* ueda. Oceanologia Sinica 1979, 37-1149.
- Ha SH, Cha MK, Kim KJ, Kim SH and Kim YK. 2017. Mineralogical and chemical characteristics of the oyster shells from Korea. J Miner Soc Kor 30, 149-159. <https://doi.org/10.9727/jmsk.2017.30.4.149>.
- He P and Yarish C. 2006. The developmental regulation of mass cultures of free-living conchocelis for commercial net seeding of *Porphyra leucosticta* from Northeast America. Aquaculture 257, 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.017>.
- Jo JH, Ryu JG, Kim DY and Nam JO. 2013. Research on fishery seed observation. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea, 1-299.
- Kang JH, Lee SW and Cho SM. 2014. Comparative study on physicochemical characteristics of oyster shells, *Crassostrea gigas*, cultured in various waters in Korea. Kor J Malacol 30, 165-168. <https://doi.org/10.9710/kjm.2014.30.2.165>.
- Kim JH, Choi SJ and Lee S. 2019. Effects of temperature and light on photosynthesis and growth of red alga *Pyropia dentata* (Bangiales, Rhodophyta) in a conchocelis phase. Aquaculture 505, 167-172. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.058>.
- Kim NG and Notoya M. 2004. Life history of *Porphyra seriata* Kjellman (Bangiales, Rhodophyta) from Korea in laboratory culture. Algae 19, 303-309. <https://doi.org/10.4490/AL-GAE.2004.19.4.303>.
- Kim NG. 1999. Culture studies of *Porphyra dentata* and *P. pseudolinearis* (Bangiales, Rhodophyta), two dioecious species from Korea. Hydrobiologia 398, 127-135. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4449-0_15
- KMI (Korea Maritime Institute). 2019. Korea maritime institute trend analysis. 117, 1-15.
- Kobayashi S. 1964. Studies on shell formation, X. A study of the proteins of the extrapallial fluid in some molluscan species. Biol Bull 126, 414-422. <https://doi.org/10.2307/1539310>.
- Li X, Yang L and He P. 2011. Formation and growth of free-living conchosporangia of *Porphyra yezoensis*: effects of photoperiod, temperature and light intensity. Aquacult Res 42, 1079-1086. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02691.x>.
- López-Vivas JM, Riosmena-Rodríguez R, Jiménez-González de la Llave AA, Pacheco-Ruiz I and Yarish C. 2015. Growth and reproductive responses of the conchocelis phase of *Pyropia hollenbergii* (Bangiales, Rhodophyta) to light and temperature. J Appl Phycol 27, 1561-1570. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0434-z>.
- Lowenstam HA and Weiner S. 1989. On biomineralization. Oxford university press, New York, NY, U.S.A.
- Lu S and Yarish C. 2011. Interaction of photoperiod and temperature in the development of conchocelis of *Porphyra purpurea* (Rhodophyta: Bangiales). J Appl Phycol 23, 89-96. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9541-7>.
- Ma Z, Huang J, Sun J, Wang G, Li C, Xie L and Zhang R. 2007. A novel extrapallial fluid protein controls the morphology of nacre lamellae in the pearl oyster, *Pinctada fucata*. J Biol Chem 282, 23253-23263. <https://doi.org/10.1074/jbc.M700001200>.
- Miyashita A. 1970. History of nori. Nationwide Nori Wholesale Cooperative Association, Kyoto, Japan, 735-827.
- Mo KH, Park YJ, Jung EY, Kim YG, Jeong CH and Han KN. 2012. Comparisons of growth and mortality of the tidal flat oyster *Crassostrea gigas* by the net bag rack culture system in two districts in Western Korea. Kor J Malacol 28, 45-54. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.1.045>.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2019. Fisheries information portal. Retrieved from <http://www.fips.go.kr/p/main/> on Jul 19, 2020.
- Nelson WA, Brodie J and Guiry MD. 1999. Terminology used to describe reproduction and life history stages in the genus

- Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta). *J Appl Phycol* 11, 407-410. <https://doi.org/10.1023/A:1008174307352>.
- Notoya M, Kikuchi N, Matsuo M, Aruga Y and Miura A. 1993. Culture studies of four species of *Porphyra* (Rhodophyta) from Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 431-436. <https://doi.org/10.2331/suisan.59.431>.
- Park SW, Kim Y, Kim JH, Chung SW and Han KN. 2013. Effect environment factors on growth and mortality cupped oyster *Crassostrea gigas*. *Korean J Malacol* 29, 273-281. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.273>.
- Provasoli L. 1968. Media and prospects for the cultivation of marine algae. In: Watanabe, H. & Hattori, A. Eds. Culture and Collection of Algae. Proceedings U. S.-Japan Conf. Hakone. *Jap Soc Plant Physiol* 63-75.
- Sahoo D, Baweja P and Kushwah N. 2006. Developmental studies in *Porphyra vietnamensis*: a high-temperature resistant species from the Indian coast. *J Appl Phycol* 18, 279-286. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5670-3_7.
- Sahoo D, Tang X and Yarish, C. 2002. *Porphyra*-the economic seaweed as a new experimental system. *Curr Sci* 83, 1313-1316.
- Sohn CH. 1993. *Porphyra*, *Undaria* and *Hizikia* cultivation in Korea. *Algae* 8, 207-216.
- Sohn CH. 2009. New seaweed culture. *Dign Communications*, Seoul, Korea, 10-19.
- Sokal RR and Rohlf FJ. 1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman, New York, NY, U.S.A., 826-837.
- Stekoll MS, Lin R and Lindstrom SC. 1999. *Porphyra* cultivation in Alaska: conchocelis growth of three indigenous species. *Hydrobiologia* 398/399, 291-297. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4449-0_34.
- Tada K, Fujiwara M and Honjo T. 2010. Water quality nori *Porphyra* culture in the Seto Inland Sea. *Bunseki Kagaku/Japan Analyst* 59, 945-955.
- Wang WJ, Zhu JY, Xu P, Xu JR, Lin XZ, Huang CK, Song W, Peng G and Wang GC. 2008. Characterization of the life history of *Bangia fuscopurpurea* (Bangiaceae, Rhodophyta) in connection with its artificial cultivation in China. *Aquaculture* 278, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.01.008>.
- Wang J, Jiang P, Zhou W, Cui Y and Qin S. 2010. Rapid methods for extracting high-quality DNA from shell-boring "Conchocelis". *Botanica Marina* 53, 63-68. <https://doi.org/10.1515/BOT.2010.007>.
- Weiner S, Gotliv B, Levi-Kalisman Y, Raz S, Weiss IM and Ad-dadi L. 2003. Biomineralization (BIOM2001): formation, diversity, evolution and application. Tokai University Press, Kanagawa, Japan.
- Zhong ZH, WangWJ, Sun XT, Liu FL, Liang ZR, Wang FJ and Chen WZ. 2016. Developmental and physiological properties of *Pyropia dentata* (Bangiales, Rhodophyta) conchocelis in culture. *J Appl Phycol* 28, 3435-3445. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0877-5>.