

## 인공정화에 의한 참굴(*Crassostrea gigas*)의 유통기한 연장

이도하 · 강동민 · 박슬기<sup>1</sup> · 정민철 · 강민균 · 조두민 · 이재화 · 이다은 · 심윤아 · 정금재 · 조경진 · 김영목<sup>1\*</sup>

부경대학교 식품공학과, <sup>1</sup>부경대학교 식품연구소

### Shelf-life Extension of Raw Oyster *Crassostrea gigas* by Depuration Process

Do-Ha Lee, Dong-Min Kang, Seul-Ki Park<sup>1</sup>, Min-Chul Jeong, Min-Gyun Kang, Du-Min Jo, Jae-Hwa Lee, Da-Eun Lee, Yoon-Ah Sim, Geum-Jae Jeong, Kyung-Jin Cho and Young-Mog Kim<sup>1\*</sup>

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>1</sup>Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

The objective of this study was to evaluate the effect of the depuration process (artificial seawater sterilization using UV light) for extending the shelf life of raw oyster *Crassostrea gigas* and maintaining food quality. To confirm the effects of depuration, microbiological (viable cell count) and several physicochemical analyses (pH and glycogen levels in shucked oyster and pH, soluble protein, and turbidity in filling water) were carried out during the storage of raw oysters. The results showed that depuration could effectively extend the shelf life (2-3 days) of raw oysters with minimal change in food quality, including pH and glycogen content. Thus, the depuration process proposed in this study could successfully be applied to processing practices for other shellfish to extend their shelf life and contribute to the management of seafood safety issues.

Keywords: Depuration, Food quality, Oyster, Shelf-life

### 서 론

참굴(*Crassostrea gigas*)은 우리나라 남해안과 서해안에 널리 분포되어 있는 패류의 한 종류로서 국내 소비자는 굴 특유의 향과 신선함을 선호하며 글리코겐 함량이 높고, 비만도가 높은 11-3월에 주로 섭취한다(Kim et al., 1997; Choi et al., 2011; Lim et al., 2012; Jung, 2014; Park et al., 2017). 참굴은 패각을 제외하고 육 전체를 날 것으로 섭취하는 비율이 높으며 육 조직이 약하고 여과섭이를 통하여 증장선 등의 소화기관에 미생물, 바이러스 또는 중금속 등이 축적되는 특성을 가지기 때문에 미생물학적 및 이화학적 위해요소에 의해 빠르게 분해되거나 부패되는 특성을 갖고 있다(Lee et al., 2016; Park et al., 2017; Yoon et al., 2018). 이러한 특성 때문에 생굴은 병원성 미생물 등에 의한 식중독 발생률이 높아 위생적으로 취약하다고 보고되어 있다(Lee et al., 2016). 굴은 수확 후 탈각 및 세척 등의 공정을 거쳐 봉지 굴 형태로 제조된 후 전통시장이나 도·소매점으로 유통되고 있으며 가열 조리를 하지 않고 날것으로 섭취하는

경우가 많기 때문에 생산 및 유통 단계에서 식품학적 품질 변화로 인한 위해가 발생할 수 있다(Sobey and Jaykus, 1991; Kang et al., 2017). 또한, 생굴의 냉장 보관 시 일반적인 유통기한은 1-3일로 보고되어 있으나 가공 및 유통과정 중의 비위생적 관리로 생굴의 품질 저하를 초래할 수 있다고 보고되고 있다(Kong et al., 2006; Jeong et al., 2015). 굴의 위생 및 안전성을 확보하기 위하여 정부에서는 패류생산해역에 대한 위생관리를 실시하고 있으며, 생산자 단체 등은 경매단계에서 pH측정과 관능평가 등의 방법을 이용하여 신선하고 안전한 생굴이 국내에 유통되도록 하고 있다(Son et al., 2014; Jeong et al., 2015). 하지만 오염된 생굴 섭취에 의한 식중독 사고가 빈번하게 발생하여 이에 대한 대책으로 패류의 안전성 확보를 위하여 해역의 수질이 우수한 해역에서의 자연정화(relaying)와 살균 해수에 의한 인공정화(depuration)에 대한 연구가 수행되고 있다(Tamplin and Capers, 1992; FAO, 2008; Lees et al., 2010). 특히 인공정화는 해수를 염소, 오존 또는 UV (ultra violet)-lamp처리 등을 이용하여기 때문에 자연정화보다 빠르고 효과적으로 패류에 축적된

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5832 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: ymkim@pknu.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.2020.0842>

Korean J Fish Aquat Sci 53(6), 842-850, December 2020

Received 26 August 2020; Revised 11 October 2020; Accepted 27 November 2020

저자 직위: 이도하(대학원생), 강동민(대학원생), 박슬기(연구원), 정민철(대학원생), 강민균(대학원생), 조두민(연구원), 이재화(연구원), 이다은(대학원생), 심윤아(대학원생), 정금재(대학원생), 조경진(대학원생), 김영목(교수)

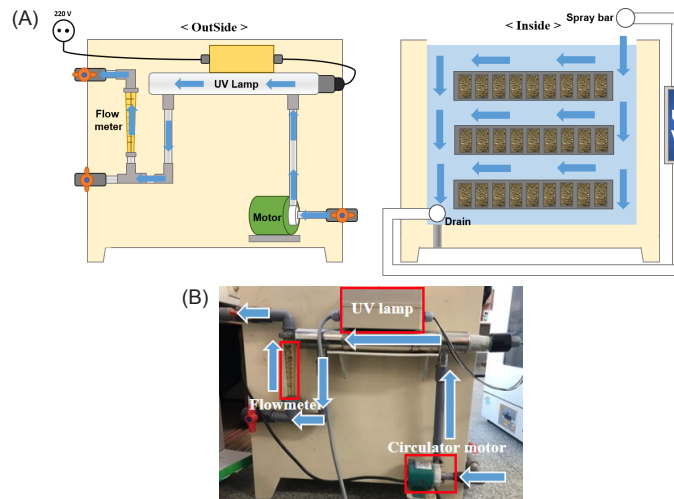


Fig. 1. The diagram of the depuration tank (50×55×60 cm; width×depth×height) with modification of a small-scale shallow tank of FAO (A, left). Water flow through a loaded line in the tank with a recirculation system (A, right). The actual picture of the depuration tank and recirculation system (B, bottom).

병원성 미생물 등의 오염 물질을 제어할 수 있는 장점을 가지며, 식품학적 품질 연장이 가능하다고 보고되어 있다(Oh et al., 2012; Rong, et al., 2014). 미국, 일본과 영국 등의 국가는 패류 등의 생산 해역의 위생 지표가 기준치에 도달하지 못하면 패류의 안전성을 확보하기 위한 방안으로 자연정화 등의 기술을 활용하고 있으나 우리나라의 경우 오염된 해역에서 생산된 패류에 대한 규정이나 오염해역에서 생산된 패류의 인공정화에 대한 연구와 적용 사례가 미비한 실정이다(Oh et al., 2012).

굴의 신선도 및 위생성 확보를 위한 선행 연구로는 남해안 지정해역의 수질 및 굴의 위생조사(Park et al., 2010), 온도에 따른 굴의 미생물, pH 및 휘발성 염기 질소 함량 변화 및 관능평가에 관한 연구(Cao et al., 2009), ice-bath에서 굴 저장 중 부패 세균의 변화에 관한 연구(Manatawee et al., 2011), modified atmosphere packaging (MAP) 굴의 bacterial microbiota profile에 관한 연구(Chen et al., 2017), 패류 중 자연정화 및 인공정화에 의한 위생지표세균의 변화 등에 관한 연구(Oh et al., 2012), 굴의 선도에 따른 pH, 글리코젠, 가용성 단백질 및 탁도 등의 상관관계를 검증한 연구(Son et al., 2014) 등이 보고되어 있다. 하지만 인공정화에 의한 생굴의 품질 유지 및 유통기한 연장에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 인공정화에 의한 생굴 시료에서의 미생물학적 오염도 및 pH, 글리코젠 등의 품질 지표 변화에 대한 분석을 통하여 생굴의 식품학적 품질과 유통기한에 대한 인공정화의 효과에 대하여 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 시료 준비

굴 시료는 경남 통영시에 소재한 수출용 패류생산 지정해역의

양식장에서 2019년 12월부터 2020년 1월까지 당일 수확한 패각이 온전하게 붙어 있는 상처 없는 각굴을 구매하여 사용하였다. 시료는 10°C 이하의 온도에서 3시간 이내에 실험실로 운송하여 무게 49.3±5.4 g, 길이 9.7±1.2 cm 및 너비 4.9±2.4 cm인 것을 선별하여 실험에 사용하였다. 선별된 각굴을 흐르는 수돗물로 세척하여 이물을 제거하고 인공정화에 사용하였다.

### UV-lamp를 포함하는 조개류 인공정화 시스템

인공정화 시스템 수조의 구조는 Fig. 1과 같으며 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 가 제안한 소규모 조개류 정화 조건을 일부 변경하여 제작하였다 (FAO, 2008). 수조의 크기는 50×55×60 (width×depth×height) cm로 직사각형 고밀도 폴리에틸렌(high-density polyethylene) 소재로 구성되어 있으며 총 용수 허용 용량은 100 L이며 수조 내 용수의 온도를 생굴의 생육 적온도인 15°C로 유지하기 위하여 순환 냉각기(DBI-050D; Daeil, Busan, Korea)를 사용하였다.

수조의 상단부에는 해수의 순환 및 용존산소량을 유지하기 위한 스프레이 바(spray-bar)가 설치되었으며 해수는 수조 하부에 연결된 펌프를 통해 8 L/min의 유량으로 순환되었다. 인공정화 수조의 해수 순환 과정 중 해수 살균을 위해서 사용한 UV-lamp (G22T5; 254nm, Sankyo Denki Co. Ltd., Kanagawa, Japan)는 22 W 및 30 V의 전압으로, 조사량은 단위면적당 14.271 μW/cm<sup>2</sup>이며, 조사 파장대는 UV-C 영역의 253.7 nm로 가스 와 수은으로 채워진 석영 튜브(diameter 4 cm, length 35 cm, thickness 0.2 cm; HANJIN QUARTZ CO., Seoul, Korea) 내에 UV-lamp가 고정되어 있으며 수조 내의 해수가 스테인리스 스틸과 폴리염화비닐(polyvinyl chloride)로 구성된 파이프 내

에서 석영 튜브를 평행하게 통과하게 되면서 UV-lamp를 통해 해수 살균이 진행된다.

### 각굴의 인공정화

UV-lamp를 이용한 각굴의 인공정화를 위해 인공해수를 사용하였으며, 인공 해수염(Reef Salt Mix; KENT Marine, San Mateo, CA, USA)과 정제 천일염(Hanju Salt; Hanju, Ulsan, Korea)을 1:1 (w/w) 비율로 1차 증류수에 녹여 염도 35 psu로 제조하였으며 인공해수의 안정화를 위해 12시간 동안 수조 내에서 순환시킨 후 사용하였다. 굴의 인공정화 과정은 총 24시간 동안 수행되었으며 이는 패류의 인공정화 과정 중 대장균군 및 분변계 대장균의 변화에 대해 보고한 Oh et al. (2012)의 연구 결과를 반영하여 설정하였다.

또한, 인공정화 된 굴의 저장 중 품질 변화를 관찰하기 위하여 패각을 제거한 알굴(이하 '생굴'이라 함)을 가장 보편적으로 판매되는 봉지굴 형태로 포장하였다. 인공정화 완료 후 생굴 100 g과 인공해수와 1차 증류수를 2:1 (v/v)의 비율로 혼합한 증진수 300 mL를 폴리에틸렌 포장지에 함께 포장하였다. 시료는 인공 정화하지 않은 생굴(non-depurated and generally packaged oyster, NGP)과 인공정화를 수행한 생굴(depurated and generally packaged oyster, DGP)로 두 가지 형태로 구분하였다.

### 대장균군 및 분변계 대장균 분석

인공정화가 생굴의 저장 중 미치는 미생물학적인 변화를 검증하기 위하여 위생지표세균인 대장균군 및 분변계 대장균 시험을 Recommended Procedure for the Examination of Sea Water and Shellfish (APHA, 1970)에 준하여 실시하였으며, 추정시험에는 LST (Lauryl Tryptose Broth; Difco, Detroit, MI, USA), 대장균군 및 분변계 대장균의 확정시험에는 각각 BGLB (Brilliant Green Lactose Bile Broth; Difco, Detroit, MI, USA) 및 EC Broth (*Escherichia coli* Broth; Difco, Detroit, MI, USA)를 사용하였다. 시험결과는 각 희석단계별로 5개 시험관을 사용하는 최확수법(most probable number, MPN)으로 측정하고, 그 결과는 MPN/100 g으로 나타내었다.

### 일반세균수 분석

일반세균수 분석은 식품공전(MFDS, 2020a)의 일반시험법 중 미생물 시험법에 준하는 방법으로 수행하였다. 생굴 시료 25 g에 225 mL의 0.1 M PBS (phosphate buffer saline, pH 7.2)를 가하여 2분간 Stomacher (BagMixer 400VW; Interscience, Saint Nom, France)로 균질화 하였다. 일반세균수는 시료 균질액 1 mL를 취하여 십진희석법에 따라 희석하고 각 단계 희석액을 PCA (Plate Count Agar; Difco, Detroit, MI, USA)에 분주하여 접종한 후, 35±1°C에 48±2시간 동안 배양하였다. 생성된 세균 집락수를 계수하여 생굴 시료 중의 일반세균수를 산출하였다.

### pH 측정

pH 측정은 생굴 시료와 증류수를 1:9 (w/v) 비율로 혼합한 후 균질화 하여 pH meter (Orion 3 star; Thermo Scientific Inc, Fort Collins, CO, USA)로 측정하였다(Son et al., 2014).

### 글리코겐 함량 측정

글리코겐 함량은 Cicik and Engin (2005)의 방법을 변형하여 분석하였다. 0.5 g의 생굴 시료에 5 mL의 30% KOH (Daejung Chem. Inc., Siheung, Korea)를 첨가하여 95°C에서 20분간 중탕 후 0.5 mL의 포화 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액과 5 mL ethanol을 첨가하여 95°C에서 다시 15분간 중탕한 후 원심분리(1,259 g, 10 분)하였다. 침전물에 2 mL 탈이온수와 2.5 mL ethanol을 첨가하고 원심분리(1,259 g, 10 분) 후, 침전물에 2 mL의 5 M HCl 첨가 후 완전히 용해시킨 다음 0.5 M NaOH로 pH 7.0으로 중화하여 50 mL로 정용 후 시료액으로 사용하였다. 5 mL의 시료액에 10 mL의 0.2% Anthron-sulfate solution (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 첨가하고, 95°C에서 10분간 중탕 후 냉각하여 분광 광도계(UV mini-1240, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 620 nm 흡광도를 측정하였다. 글리코겐 함량은 glucose를 표준 물질로 작성한 정량 곡선에 따라 측정하였으며, 글리코겐 전환 계수 0.9를 곱하여 계산하였다.

### 탁도

생굴 저장기간 중 증진수의 탁도는 Son et al. (2014)의 방법에 따라 휴대용 탁도계(Hanna HI 93414; Hanna Instruments, Woonsocket, RI)를 사용하였으며 0-1,000 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)로 나타냈다.

### 가용성 단백질

증진수의 가용성 단백질 함량은 Biuret assay (Robinson and Hogden 1940)를 이용하여 측정하였다. 1 mL의 증진수에 4 mL의 Biuret 시약을 넣고 혼합하여, 실온에서 30분간 방치한 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 540 nm를 측정하였다. 이때 가용성단백질 함량은 Bovine Serum Albumin (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 표준단백질로 작성한 정량곡선에 따라 측정하였다.

### 유통기한 설정

유통기한 설정은 미생물학적 및 이화학적 품질 지표(일반세균수, pH, 글리코겐, 가용성단백질, 탁도) 중 적합한 실험 값을 Visual Shelf Life Simulator for Foods (VSLSF; MFDS, 2020b) 프로그램에 입력하여 산출하였다. 인공정화 된 생굴의 유통온도에 따라 냉장온도인 4°C 및 10°C를 설정하였으며, 가혹조건 설정을 통한 유통기한 도출을 위해 20°C 조건을 설정하여 가속실험을 통해 유통기한을 예측하기 위해서 저장 온도를 4°C, 10°C 및 20°C로 총 3가지 온도 조건으로 설정하였고, 저장 기

간 6일 동안 1일 단위로 실험을 수행하였다. 산출된 유통기한에 안전 계수 0.8을 곱하여 유통기한을 예측하고, 실측을 통해 검증을 수행하였다.

**통계분석**

각 시료에서 얻은 결과는 3회 반복 실시하였고, 모든 측정치는 평균(mean)±표준편차(standard deviation)로 나타내었으며, 실험결과는 SPSS (Statistical Package for Social Sciences; SPSS Inc, Chicago, IL, USA) software package 프로그램 중 분산분석(ANOVA)을 실시하여 유의성이 있는 경우에 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 시료간의 유의성(P<0.05)을 검증하였다(Steel and Torrie, 1980).

**결론 및 고찰**

**대장균 및 분변계 대장균 분석 결과**

재료 및 방법에서 서술한 바와 같이 NGP와 DGP 2가지 시료의 4°C에서 6일 동안 저장 중 분변계대장균 및 대장균군의 최확수법 시험 결과는 모두 <18 MPN/100 g으로 나타났다(Table 1). 본 연구에서 사용한 굴은 수출용 패류 생산 지정해역에서 생산된 것으로, 인공정화를 하지 않더라도 식품원료로서 위생성과 안전성이 확보된 것이라 판단된다. Jeong et al. (2015)의 연구에 따르면 탈각한 생굴을 4°C에서 5일간 저장 중 분변계 대장균은 <18 MPN/100 g (불검출)으로 유지되었으며, 대장균군의 경우 저장 1-2일차에 20 MPN/100 g, 저장 4일차에 61 MPN/100 g, 5일차에는 220 MPN/100 g로 나타났다고 보고하였다. 본 연구 결과에서 분변계 대장균은 저장 중 <18 MPN/100 g으로 유사한 경향으로 나타났으나, 대장균군의 경우 상이하게 나타났으며 이는 Jeong et al. (2015)의 연구에서 사용한 시료가 굴 탈각 공정 중에서 작업자에 의해 교차 오염이 발생하였거나 패류 생산 지정해역에서 생산하지 않은 생굴 시료를 사용하였을 것

Table 1. Changes of coliforms and fecal coliforms in oysters *Crassostrea gigas* during storage at 4°C

Storage periods (day)	Coliforms (MPN/100 g)		Fecal Coliform (MPN/100 g)	
	NGP <sup>1</sup>	DGP <sup>2</sup>	NGP	DGP
0	<18	<18	<18	<18
1	<18	<18	<18	<18
2	<18	<18	<18	<18
3	<18	<18	<18	<18
4	<18	<18	<18	<18
5	<18	<18	<18	<18
6	<18	<18	<18	<18

<sup>1</sup>NGP, non-depurated and generally packaged oyster. <sup>2</sup>DGP, depurated and generally packaged oyster.

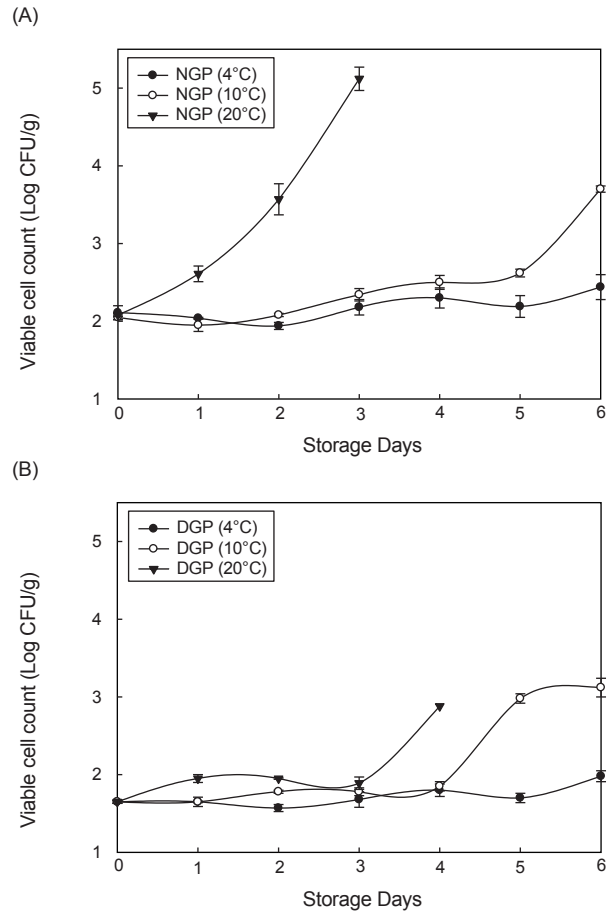


Fig. 2. Changes of viable cell count in oysters *Crassostrea gigas* during storage at 4, 10, and 20°C. A, Non-depurated and generally packaged oyster (NGP); B, Depurated and generally packaged oysters (DGP). NGP and DGP stored at 20°C were not tested after 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day respectively, due to spoilage. Error bars represent standard deviations of data from triplicate trials.

으로 사료된다. 이상의 결과를 종합적으로 고려해보면 본 연구에 사용한 굴 시료는 대장균군과 분변계 대장균에 오염되지 않은 것으로 판단되어 저장 온도 별 대장균군과 분변계 대장균수의 변화에 대한 분석은 진행하지 않았다.

**일반세균수 분석 변화 결과**

인공정화에 따른 NGP 및 DGP 시료의 일반세균수 변화를 나타낸 실험결과는 Fig. 2에 나타내었다. NGP 시료의 4°C 저장 중 일반세균수 범위는 2.11-2.44 log CFU/g로 나타났으며 10°C 저장한 경우 1.95-3.70 log CFU/g으로 저장 6일 차에 일반세균수가 증가한 것으로 나타났다. 4°C 저장 초기의 일반세균수는 Son et al. (2014)의 연구에서 보고된 생굴의 초기 일반세균수 2.36-2.68 log CFU/g과 유사한 경향을 나타내었다. 20°C 저장한 경우 2.08-5.12 log CFU/g의 범위로 나타났으며 저장 3일차

에 일반세균수가 5.00 log CFU/g을 초과하여 부패 초기상태로 판단되어 NGP 시료는 저장 3일차 이후에는 일반세균수를 측정하지 않았다(Fig. 2A). Son et al. (2014)의 연구에서는 20°C에서 생굴을 저장한 경우에 4일 경과 후 약 5.00 log CFU/g 이상으로 나타났으며 본 연구의 결과와 유사한 경향으로 인공정화하지 않은 시료의 경우 20°C 이상에서는 부패가 매우 빠르게 진행되는 것으로 판단된다. DGP 시료의 4°C 저장 중 일반세균수 범위는 1.65-1.98 log CFU/g으로 저장 6일차까지 큰 유의적 변화가 나타나지 않았으며, 10°C 저장한 시료는 저장 5일차부터 유의적인 일반세균수 증가가 나타나 저장기간동안 1.65-3.12 log CFU/g의 범위로 나타났다. 20°C 저장한 경우는 NGP 시료와 다른 경향을 나타냈으며 저장 3일차까지 초기 일반세균수를 유지하는 것으로 나타났으며 저장 4일차에 증가하여 약 3.00 log CFU/g으로 나타났다. DGP 시료는 NGP 시료와 비교하여 일반세균수는 저장기간동안 비교적 낮게 유지하였지만, 저장 4일차에 부패 초기 상태가 되었다. 따라서 저장 4일차 이후에는 측정하지 않았다(Fig. 2B). NGP와 DGP 시료의 저장 온도에 따른 일반세균수 변화 결과는 인공정화로 생굴의 미생물학적 오염도가 감소되어 미생물 증식에 의한 초기부패 도달 기간을 감소시킬 수 있는 것으로 판단된다. Kim et al. (2007)에 따르면 미생물과 수산물의 신선도의 관계에서 일반세균수가 5.00 log CFU/g 미만인 경우는 신선, 5.00-6.00 log CFU/g 의 범위인 경우는 초기 부패, 6.00 log CFU/g 초과인 경우에는 부패 단계로 보고되었다. 이에 따라 NGP 시료의 20°C 저장 3일부터 초기 부패에 해당되며, DGP 시료는 저장 4일차까지 5.00 log CFU/g 미만으로 유지되어 인공정화는 생굴의 저장성 증진의 효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

### 생굴 시료와 충전수의 저장기간 동안의 pH 변화

생굴 시료와 충전수의 pH는 신선도와 관계가 있으며 부패가 진행될수록 글리코젠 등이 분해되어 lactate가 생성되어 pH가 낮아지는 것으로 보고되어 있다(Park et al., 2006; Cao et al., 2009). 생굴 시료와 충전수의 pH 변화는 저장 기간에 따라 낮아지는 유사한 경향을 나타냈으며, NGP 시료에 비하여 DGP 시료의 pH 측정값이 더 높게 유지되는 경향을 보여 인공정화가 생굴의 pH 및 신선도 유지에 효과가 있는 것으로 판단된다(Table 2). NGP 굴과 충전수를 20°C에 저장한 경우 각각 저장 3일차 및 1일차에 pH가 5.90 미만으로 감소하였으며 DGP 굴 시료는 20°C에서 저장 4일에 pH 5.90 미만으로 나타났으며 저장 5일부터는 부패한 것으로 판단하여 pH 측정을 중단하였다. 굴의 신선도 지표로 pH가 사용되는 경우 pH 6.30 이상이면 “very good”, pH 6.20-5.90는 “good”, pH 5.80은 “off”, pH 5.70-5.50는 “musty”, pH 5.20이하는 “sour or putrid”로 판정한다고 보고되어 있다(Hunter and Linden, 1923; Pottinger, 1948). 4°C에서 저장한 경우 NGP 굴 시료는 6일차에 pH 5.90 미만으로 나타났으며, DGP 굴 시료는 저장 6일차에 pH 6.25로 pH 6.00 이상으로 나타나 pH 유지에 효과적이었다. 10°C에서 저장한 NGP 굴은 저장 5일차부터 pH 5.90 미만으로 나타났으며 DGP 굴은 저장 6일차까지 pH 5.90 이하로 감소하지 않았다. 충전수는 모두 굴 시료보다 더 빠르게 pH가 감소되는 경향을 나타냈다. 본 결과는 저장일수가 지남에 따라 굴의 신선도가 하락하고 이에 따라 pH가 감소한다는 여러 연구들의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다(Aaraas et al., 2004; Erkan 2005; Son et al., 2014). 이상의 결과를 종합해 보면 인공정화를 수행한 굴은 pH가 유지되

Table 2. Changes of pH in oysters *Crassostrea gigas* and package water during storage at 4°C, 10°C, and 20°C

Sample	Depuration	Storage Temp.	Storage periods (day)						
			0	1	2	3	4	5	6
Oyster	NGP <sup>1</sup>	4°C	6.37±0.09 <sup>Ca3</sup>	6.35±0.10 <sup>Ba</sup>	6.33±0.05 <sup>Aa</sup>	6.34±0.05 <sup>Aa</sup>	6.29±0.06 <sup>ABa</sup>	6.11±0.07 <sup>Bb</sup>	5.88±0.08 <sup>BCc</sup>
		10°C	6.37±0.04 <sup>Ca</sup>	6.29±0.08 <sup>Bab</sup>	6.26±0.05 <sup>BCabc</sup>	6.20±0.08 <sup>Bbc</sup>	6.15±0.09 <sup>Bc</sup>	5.89±0.05 <sup>Cd</sup>	5.80±0.04 <sup>Cd</sup>
		20°C	6.37±0.06 <sup>Ca</sup>	6.08±0.02 <sup>Cb</sup>	5.95±0.02 <sup>Ec</sup>	5.59±0.05 <sup>Fd</sup>	- <sup>4</sup>	-	-
	DGP <sup>2</sup>	4°C	6.39±0.01 <sup>BCa</sup>	6.36±0.10 <sup>Ba</sup>	6.33±0.01 <sup>Aab</sup>	6.34±0.02 <sup>Aab</sup>	6.31±0.06 <sup>Aab</sup>	6.33±0.03 <sup>Aab</sup>	6.25±0.02 <sup>Ab</sup>
		10°C	6.39±0.02 <sup>BCa</sup>	6.32±0.02 <sup>Bab</sup>	6.29±0.03 <sup>ABb</sup>	6.27±0.04 <sup>ABb</sup>	6.14±0.05 <sup>Bc</sup>	5.99±0.09 <sup>Cd</sup>	5.98±0.08 <sup>Bd</sup>
		20°C	6.39±0.02 <sup>BCa</sup>	6.26±0.02 <sup>Bab</sup>	6.13±0.03 <sup>Dbc</sup>	6.01±0.06 <sup>Cc</sup>	5.33±0.15 <sup>Ed</sup>	-	-
Package water	NGP	4°C	6.45±0.05 <sup>ABa</sup>	6.28±0.03 <sup>Bb</sup>	6.22±0.05 <sup>Cb</sup>	5.95±0.01 <sup>CDc</sup>	5.93±0.06 <sup>Cc</sup>	5.54±0.07 <sup>DEd</sup>	5.45±0.08 <sup>Dd</sup>
		10°C	6.46±0.04 <sup>ABa</sup>	5.90±0.06 <sup>Db</sup>	5.56±0.02 <sup>Gc</sup>	5.53±0.03 <sup>Fc</sup>	5.50±0.04 <sup>Dc</sup>	5.43±0.05 <sup>Ed</sup>	5.35±0.01 <sup>Ee</sup>
		20°C	6.46±0.02 <sup>ABa</sup>	5.57±0.02 <sup>Eb</sup>	5.16±0.02 <sup>Hc</sup>	5.00±0.05 <sup>Gd</sup>	-	-	-
	DGP	4°C	6.49±0.01 <sup>Aa</sup>	6.47±0.05 <sup>Aa</sup>	6.08±0.01 <sup>Db</sup>	6.03±0.02 <sup>Cbc</sup>	5.96±0.06 <sup>Ccd</sup>	5.90±0.08 <sup>Cde</sup>	5.80±0.12 <sup>Ce</sup>
		10°C	6.46±0.02 <sup>ABa</sup>	6.09±0.03 <sup>Cb</sup>	6.00±0.02 <sup>Ebc</sup>	5.90±0.03 <sup>Dcd</sup>	5.82±0.04 <sup>Cd</sup>	5.56±0.07 <sup>De</sup>	5.54±0.15 <sup>De</sup>
		20°C	6.46±0.02 <sup>ABa</sup>	5.97±0.05 <sup>Db</sup>	5.83±0.06 <sup>Fbc</sup>	5.70±0.06 <sup>Ec</sup>	5.30±0.15 <sup>Ed</sup>	-	-

<sup>1</sup>NGP, non-depurated and generally packaged oyster. <sup>2</sup>DGP, depurated and generally packaged oyster. <sup>3</sup>Values are mean±SD. Values sharing the same lowercase letters within row are not significantly different at  $P<0.05$ ; values sharing the same uppercase letters within a column are not significantly different at  $P<0.05$ . <sup>4</sup>, NGP and DGP stored at 20°C were not tested after 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day respectively, due to spoilage.

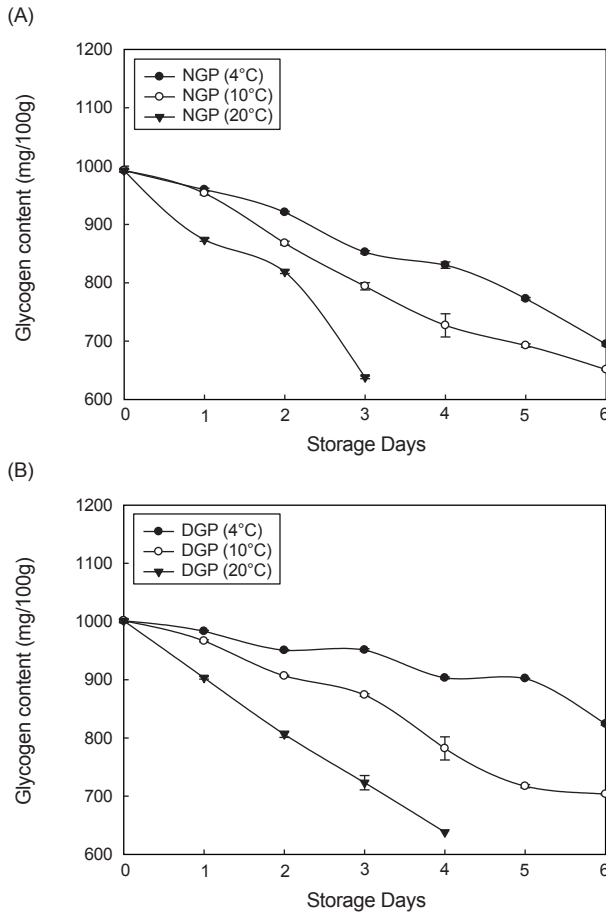


Fig. 3. Changes of glycogen content in oysters *Crassostrea gigas* during storage at 4, 10, and 20°C. A, Non-depurated and generally packaged oyster (NGP); B, Depurated and generally packaged oysters (DGP). Error bars represent standard deviations of data from triplicate trials. NGP and DGP stored at 20°C were not tested after 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day respectively, due to spoilage.

는 경향을 보였으며 4°C 저장한 경우 저장 6일차까지 pH 5.90 이상의 값을 나타내어 인공정화는 굴의 신선도 및 품질 유지에 효과가 있는 것으로 판단된다.

### 저장 기간 중 글리코겐 함량의 변화

저장 초기의 글리코겐 함량은 NGP 및 DGP 시료 모두 약 1,000 mg/100 g으로 나타났으며 저장 기간에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 4°C 저장한 NGP 시료는 저장 6일차에 664.70 mg/100 g, DGP는 824.13 mg/100 g으로 나타났다. 글리코겐은 패류에서 대사와 에너지 공급에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 있으며(Ruiz et al., 1992; Mathieu and Lubet, 1993; Dridi et al., 2007), 굴의 경우 종류와 채취 시기에 따라서 글리코겐의 함량은 차이가 있다고 보고되어 있다(Dridi et al., 2007). 굴에 다량 함유되어 있는 글리코겐은 pH 감소와

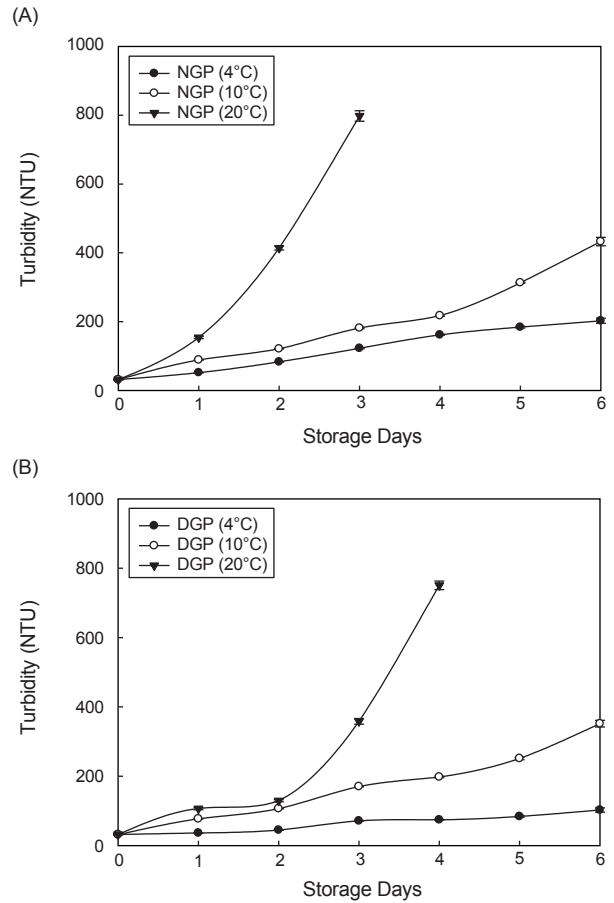


Fig. 4. Turbidity changes in packing water during storage at 4, 10, and 20°C. A, Non-depurated and generally packaged oyster (*Crassostrea gigas* (NGP); B, Depurated and generally packaged oysters (DGP). Error bars represent standard deviations of data from triplicate trials. NGP and DGP stored at 20°C were not tested after 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day respectively, due to spoilage.

연관이 깊으며 저장 기간 동안 pH 변화의 경향과 같이 지속적으로 감소하는 것으로 판단된다. 하지만, DGP 시료는 NGP 시료와 비교 시 글리코겐의 함량이 유지되는 결과를 나타내었으며 특히 4°C에서 저장 6일차에는 DGP 시료의 글리코겐 함량이 NGP 시료보다 약 160 mg/100 g 차이로 높게 나타났다.

### 충진수의 탁도 및 가용성단백질 함량 변화

인공정화 된 굴 충진수의 탁도 변화는 저장기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 4°C 저장한 DGP의 충진수는 NGP 충진수에 비하여 유의적으로 탁도가 증가하지 않고 유지하는 경향이 나타났다(Fig. 4). 20°C 저장의 경우에 DGP 충진수는 저장 2일차까지 낮은 수준의 탁도를 유지하였으나, NGP 충진수의 경우에는 매우 높은 수준으로 증가하였으며 저장 3일차에는 797.68 NTU 로 가장 높은 탁도값을 나타내었다.

4°C 및 10°C 저장한 DGP와 NGP 충전수 시료에서도 저장 기간이 경과함에 따라 탁도가 증가하였지만, DGP 시료의 증가폭이 NGP 시료에 비해 낮은 것으로 나타났다. 또한 4°C 저장한 DGP 시료의 경우에는 탁도의 유의적 변화가 매우 낮았으며 약 30 NTU 수준으로 유지되는 것으로 나타났다.

인공정화된 굴 충전수 중 가용성 단백질의 함량은 탁도의 영향과 마찬가지로 저장기간이 지남에 따라 증가하였으며 전체적으로 DGP 충전수가 NGP 충전수에 비하여 유의적으로 낮은 가용성 단백질 함량을 나타내었다(Table 3). 4°C에서 저장한 NGP와 DGP 충전수의 저장기간 동안의 가용성 단백질 함량은 각각 261.31-619.31 mg/100 g 및 240.91-602.64 mg/100 g 으로 나타났으며, 10°C에서 저장한 NGP와 DGP의 경우 각각 268.96-774.91 mg/100 g 및 240.91-653.56 mg/100 g, 20°C에서 저장한 NGP와 DGP의 경우 각각 268.84-1,249.67 mg/100 g 및 240.91-1052.85 mg/100 g으로 나타났다. 인공정화 유무(NGP, DGP)와 저장 온도(4°C, 10°C, 20°C) 및 기간(0-6일)에 따라 두 시료의 가용성단백질 함량 차이는 최대 약 200.00 mg/100 g으로 나타났다.

Son et al. (2014)의 보고에 따르면 충전수의 탁도 및 가용성 단백질의 함량은 굴의 유통 시 관능적 기호도 저하에 따른 소비자 구매 감소에 영향을 미칠 수 있으며, 또한 이화학적 성분간 상관관계 분석결과 충전수의 탁도 및 가용성 단백질의 함량은 일반세균수와 높은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 이에 따라, 본 연구에서 수행한 인공정화는 굴 내에 축적되는 일반세균수 등의 미생물학적인 감소를 통해 충전수의 탁도 및 가용성

단백질의 함량을 감소시켜 굴 품질 유지 및 소비에 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

### 생굴의 유통기한 예측 및 검증

인공정화 유무에 따른 생굴 시료인 NGP와 DGP의 유통기한 예측을 위해 3가지 온도(4°C, 10°C 및 20°C)에서 6일간 다양한 항목에 대한 품질 실험을 수행하였으며 VSLSF 프로그램을 이용하여 예측된 유통기한 및 실측한 유통기한 일수를 Table 4에 나타냈다. 일반세균수는 저장 일수에 따라 굴 중의 글리코젠이 분해되어 pH가 감소되면서 일반세균수에 영향을 미칠 수 있어 유통기한 변수로써 상관성이 낮으며(Jeong et al., 2015), 생굴 내 글리코젠 함량의 경우 품질, 수확시기 및 품종에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 정확한 품질 한계 기준 설정에 적합하지 않은 것으로 판단된다(Kim et al., 2014). Jung (2014)에 보고된 바에 따르면 충전수의 가용성 단백질은 온도별로 저장 시 자가규격 항목으로 가장 높은 유의성이 나타났으며 품질한계 기준을 확인한 결과 956.85 mg/100 g이라고 보고 되어 있어 본 연구의 품질한계기준으로 설정하였다. 또한 pH의 경우 저장기간 동안의 pH 변화 결과에서 서술한 바와 같이 품질한계를 pH 5.9로 설정하였다 (Hunter and Linden 1923; Pottinger, 1948).

생굴의 품질한계 지표로 pH와 충전수의 가용성 단백질로 선택하여 NGP와 DGP의 유통기한을 VSLSF 프로그램을 이용하여 산출한 결과, NGP 시료의 pH와 가용성 단백질 함량으로 유통기한 산출 결과 각각 5.04일 및 7.94일로 나타났으며 DGP 시료의 경우 9.64일 및 8.34일로 예상 유통기한이 산출되었다.

Table 3. Changes of soluble protein content in oysters *Crassostrea gigas* stored at 4°C, 10°C and 20°C

Sample	Depuration	Storage Temp.	Storage periods (day)						
			0	1	2	3	4	5	6
Soluble Protein (mg/100g)	NGP <sup>1</sup>	4°C	261.31±2.53 <sup>Bg3</sup>	291.00±3.25 <sup>Cf</sup>	327.52±4.25 <sup>De</sup>	403.85±3.25 <sup>Dd</sup>	423.12±1.05 <sup>Dc</sup>	489.50±2.68 <sup>Cb</sup>	619.31±10.54 <sup>Ca</sup>
		10°C	268.96±4.25 <sup>Ag</sup>	298.77±2.24 <sup>Bf</sup>	343.72±5.25 <sup>Ce</sup>	419.84±2.10 <sup>Cd</sup>	454.58±2.10 <sup>Bc</sup>	652.88±1.08 <sup>Ab</sup>	774.91±7.25 <sup>Aa</sup>
		20°C	268.85±4.25 <sup>Ad</sup>	305.65±2.24 <sup>Ac</sup>	646.35±5.25 <sup>Ab</sup>	1249.67±12.20 <sup>Aa</sup>	- <sup>4</sup>	-	-
	DGP <sup>2</sup>	4°C	240.91±2.52 <sup>Cg</sup>	261.40±5.26 <sup>Df</sup>	311.83±3.26 <sup>Ee</sup>	384.05±1.25 <sup>Ed</sup>	412.92±2.24 <sup>Dc</sup>	452.99±3.25 <sup>Db</sup>	602.64±9.52 <sup>Da</sup>
		10°C	240.91±4.25 <sup>Cg</sup>	291.38±2.65 <sup>Cf</sup>	314.29±3.25 <sup>Ee</sup>	403.09±3.24 <sup>Ed</sup>	436.68±5.26 <sup>Cc</sup>	503.01±8.26 <sup>Bb</sup>	653.56±7.25 <sup>Ba</sup>
		20°C	240.91±1.00 <sup>Ce</sup>	310.30±3.24 <sup>Ad</sup>	538.89±2.25 <sup>Bc</sup>	824.52±5.36 <sup>Bb</sup>	1052.85±15.25 <sup>Aa</sup>	-	-

<sup>1</sup>NGP, non-depurated and generally packaged oyster. <sup>2</sup>DGP, depurated and generally packaged oyster. <sup>3</sup>Values are mean±SD. Values sharing the same lowercase letters within row are not significantly different at P<0.05; values sharing the same uppercase letters within a column are not significantly different at P<0.05. <sup>4</sup>NGP and DGP stored at 20°C were not tested after 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day respectively, due to spoilage.

Table 4. Self-specification and shelf-life for oysters *Crassostrea gigas*

Experiment	Quality limits	Predicted shelf-life (day)		Measured shelf-life (day)	
		NGP <sup>1</sup>	DGP <sup>2</sup>	NGP	DGP
pH	> pH 5.9	5.04	9.64	6.00	9.67
Soluble protein	> 956.85 mg/100 g	7.94	8.34	8.33	9.33

<sup>1</sup>NGP, non-depurated and generally packaged oyster. <sup>2</sup>DGP, depurated and generally packaged oyster.

NGP 및 DGP의 예상 유통기한 산출 결과 중 유통기한 일수가 낮은 결과에 안전계수 0.8을 곱하여 NGP는 4.03일, DGP는 6.35일의 유통기한 예상 값이 산출되었다. 이는 가용성 단백질을 자가규격항목으로 설정한 뒤 예측한 유통기한이 약 6.06일이라는 Jung (2014)의 보고와는 다소 차이가 있다. 이는 본 연구에서는 가용성단백질과 pH 값을 자가품질규격으로 설정하였으며 두 가지의 자가품질규격 중 유통기한이 짧게 산출된 pH 결과값에 안전계수를 곱하여 도출되었기 때문에 판단된다. 도출된 예상 유통기한을 검증하기 위하여 실측 실험을 수행한 결과 NGP 시료의 품질 한계를 벗어나는 저장일수가 pH 기준 6.00일, 가용성 단백질 기준 8.33일로 나타났으며 DGP 시료는 pH 기준 9.67일, 가용성 단백질 기준 9.33일이 도출되었다. 안전계수를 반영하여 유통기한 산정 시 NGP 시료는 4.80일, DGP 시료는 7.46일로 나타났다. 국내에서 생굴 유통에 대한 기준은 없으며 부패성이 강한 특성 때문에 일반적으로 냉장 유통하고 있으며(Jeong et al., 2015) 통상적인 유통기한은 3-4일로 알려져 있다.

본 연구결과를 인공정화 된 생굴을 온도 별로 저장하는 동안의 품질 변화를 측정하여 생 굴의 품질 유지에 인공정화가 미치는 영향에 대해서 분석하였다. 인공정화 된 굴 시료(DGP)는 일반세균수, pH, 글리코겐, 탁도 및 가용성단백질의 모든 항목에서 인공정화하지 않은 굴 시료(NGP) 보다 우수한 품질 및 신선도를 유지할 수 있었으며, DGP 시료의 유통기한이 NGP 시료의 유통기한 보다 약 2일 연장되는 것으로 나타나 생굴의 유통기한 연장에 인공정화 기술의 효과가 나타났다. 현재 생굴은 원료(각굴) 입고, 보관, 탈각, 세척, 선별, 계량/내포장, 외포장, 보관/출하의 공정으로 유통 중인 경우가 많다(Kang et al., 2016). 하지만 본 연구 결과 원료(각굴)를 UV-lamp를 통해 인공정화 후 탈각한다면 보다 우수한 품질과 신선도가 유지되는 생굴이 유통될 수 있을 것이라 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(수산 환경 및 수산물 중 미생물학적 위해요소 현장형 진단시스템 개발).

## References

- Aaraas R, Hernar IJ, Vorre A, Bergslien H, Lunestad BT, Skeie S, Slinde E and Mortensen S. 2004. Sensory, histological, and bacteriological changes in flat oysters, *Ostrea edulis* L., during different storage conditions. J Food Sci 69, S205-S210. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb11006.x>.
- APHA (American Public Health Association). 1970. Recommended procedures for the examination of sea water and shellfish. In Recommended procedures for the examination of sea water and shellfish, 8-105.
- Cao R, Xue CH, Liu Q and Xue Y. 2009. Microbiological, chemical, and sensory assessment of Pacific Oysters *Crassostrea gigas* stored at different temperatures. Czech J Food Sci 27, 102-108. <https://doi.org/10.17221/166/2008-CJFS>.
- Chen H, Wang M, Lin X, Shi C and Liu Z. 2017. Bacterial microbiota profile in gills of modified atmosphere-packaged oysters stored at 4°C. Food Microbiol 61, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.08.006>.
- Choi JI, Kim HJ and Lee JW. 2011. Analysis of volatile flavor compounds in raw oyster and oyster cooking drips by gamma irradiation using headspace method. KSBB J 26, 177-181. <https://doi.org/10.7841/ksbbj.2011.26.2.177>.
- Cicik B and Engin K. 2005. The effects of cadmium on levels of glucose in serum and glycogen reserves in the liver and muscle tissues of *Cyprinus carpio* (L., 1758). Turkish J Vet Anim Sci 29, 113-117.
- Dridi S, Romdhne MS and Elcafsi M. 2007. Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert lagoon, Tunisia. Aquaculture 263, 238-248. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.028>.
- Erkan N. 2005. Changes in quality characteristics during cold storage of shucked mussels *Mytilus galloprovincialis* and selected chemical decomposition indicators. J Sci Food Agric 85, 2625-2630. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2331>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2008. Report of bivalve depuration: fundamental and practical aspects. FAO Fisheries Technical Paper 511, 5-50.
- Hunter AC and Linden BA. 1924. An investigation of oyster spoilage. J Franklin Inst 197, 409. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(24\)91001-5](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(24)91001-5).
- Jeong ET, Han HN, Kim YH, Lee EH, Kim DH, Kim JH, Yeom SM and Kim YM. 2015. The effects of natural food additives on the self-life and sensory properties of shucked and packed pacific oyster *Crassostrea gigas*. Korean J Fish Aquat Sci 48, 244-248. <https://doi.org/10.5657/kfas.2015.0244>.
- Jung WY. 2014. Prediction of oyster shelf life and quality improvement. M.S. Thesis, University of Pukyong, Busan, Korea.
- Kang KT, Park SY, Choi JD, Kim MJ, Heu MS and Kim JS. 2017. Safety monitoring of a processing plant for preparing raw oysters *Crassostrea gigas* for consumption. Korean J Fish Aquat Sci 50, 120-129. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2017.0120>.
- Kang KT, Kim MJ, Park SY, Choi JD, Heu MS and Kim JS. 2016. Risk assessment of oyster *Crassostrea gigas* processing site for an HACCP system model. Korean J Fish Aquat Sci 49, 533-540. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0533>.
- Kim JS, Heu MS, Kim HS and Ha JH. 2007. Fundamental and application of seafood processing. Hyoil Publishing Co.,



- Seoul, Korea, 135-185.
- Kim MA, Shim KB, Park JS, Oh EG, Shin SB, Park K and Lim CW. 2014. Seasonal variation in the proximate composition, pH and glycogen content of oysters *Crassostrea gigas* collected in Geoje and Jaran Bay in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 47, 713-718. <https://doi.org/10.5657/kfas.2014.0713>.
- Kim SH, Park MS, Kim YH and Park DW. 1997. Genetic analysis of mitochondrial DNA from Korean oysters *Crassostrea gigas*. Korean J Fish Aquat Sci 30, 804-808.
- Kong CS, Ji SG, Choi JD, Kang JG, Roh TH and Oh KS. 2006. Processing and shelf-life stabilities of flavoring substances of the smoke-dried oysters. Korean J Fish Aquat Sci 39, 85-93. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.2.085>.
- Lees D, Younger A and Dore B. 2010. Depuration and relaying. In: Safe management of shellfish and harvest waters. Rees G, Pond D, Bartram J and Santo-Domingo J, eds. WHO, IWA Publishing, London, U.K., 145-181.
- Lee SJ, Jeong WG, Koo JH and Kwon JN. 2016. Sanitary characteristics of seawater and oyster *Crassostrea gigas* in Gosong bay, Korea. Korean J Malacol 32, 157-164. <https://doi.org/10.9710/kjm.2016.32.3.157>.
- Lim HJ, Back SH, Lim MS, Choi EH and Kim SK. 2012. Regional variations in pacific oyster, *Crassostrea gigas* growth and the number of larvae occurrence and spat settlement along the West Coast, Korea. Korean J Malacol 28, 259-267. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.3.259>.
- Manatawee S, Boonprasop N, Boonprasop S and Sutthirak, P. 2011. Spoilage bacteria changes during storage of oyster (*Crassostrea belcheri*) in ice-bath. Thai J Agric Sci 44, 443-446.
- Mathieu M and Lubet P. 1993. Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves-a brief review. Invertebr Reprod Dev 23, 123-129. <https://doi.org/10.1080/07924259.1993.9672303>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2020a. Korea food code. Retrieved from [https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01\\_03.jsp?idx=362](https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=362) on Mar 3, 2020.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2020b. VLSLF. Retrieved from <https://www.foodnara.go.kr/foodshelf> on Mar 3, 2020.
- Oh EG, Yoo HD, Yu HS, Ha KS, Shin SB, Lee TS, Lee HJ, Kim JH and Son KT. 2012. Removal of fecal indicator bacteria from bivalves under natural and electrolyzed water. Korean J Fish Aquat Sci 45, 11-16. <https://doi.org/10.5657/kfas.2012.0011>.
- Park K, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS and Lee HJ. 2010. Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in Gangjinman, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 614-622. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.614>.
- Park SY, Lee KD, Lee JS, Heu MS, Lee TG and Kim JS. 2017. Chemical and biological properties on sanitary of cultured oyster *Crassostrea gigas* intended for raw consumption or use in seafood products. Korean J Fish Aquat Sci 50, 335-342. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0335>.
- Park WJ, Jwa MK, Hyun SH, Lim SB and Song DJ. 2006. Microbial and quality changes during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure. J Korean Soc Food Sci Nutr 35, 1449-1455. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2006.35.10.1449>.
- Pottinger SR. 1948. Some data on pH and the freshness of shucked eastern oysters. In: Commercial fisheries review. Anderson AW, Johnson FF and Anderson FJ, eds. Michigan University Press, Washington D.C., U.S.A., 10. 1-3.
- Robinson HW and Hogden CG. 1940. The biuret reaction in the determination of serum protein. I. A study of the condition necessary for the production of the stable color which bears a quantitative relationship to the protein concentration. J Biol Chem 135,707-725.
- Rong R, Lin H, Wang J, Khan MN and Li M. 2014. Reductions of *Vibrio parahaemolyticus* in oysters after bacteriophage application during depuration. Aquaculture 418, 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.028>.
- Ruiz C, Abad M, Sedano F, Garcia-Martin LO and Lopez JS. 1992. Influence of seasonal environmental changes on the gamete production and biochemical composition of *Crassostrea gigas* (Thunberg) in suspended culture in El Grove, Galicia, Spain. J Exp Mar Bio Ecol 155, 249-262. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90066-J](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90066-J).
- Sobey MD and Jaykus LA. 1991. Human enteric viruses and depuration of bivalve molluscs. Molluscan shellfish deprivation. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A., 71-114.
- Son KT, Shim KB, Lim CW, Yoon NY, Seo JH, Jeong SG, Jeong WY and Cho YJ. 2014. Relationship of pH, glycogen, soluble protein, and turbidity between freshness of raw oyster *Crassostrea gigas*. Korean J Fish Aquat Sci 47, 495-500. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0495>.
- Steel RGD and Torrie JH. 1980. Principle and procedure of statistics; a biometrical approach (2nd ed.). MacGraw-Hill Book Company, New York, NY, U.S.A.
- Tamplin ML and Capers GM. 1992. Persistence of *Vibrio vulnificus* in tissues of Gulf Coast oysters, *Crassostrea virginica*, exposed to seawater disinfected with UV light. Appl Environ Microbiol 58, 1506-1510. <https://doi.org/10.1128/aem.58.5.1506-1510.1992>.
- Yoon HJ, Kwon JY, Lee KJ, Kwon SJ, Mok JS, Kim PH and Jung YJ. 2018. Assessment of the bacteriological safety of seawater and oysters *Crassostrea gigas* in Yongnam-Gwangdo Area, Korea 2014-2016. Korean J Fish Aquat Sci 51, 535-541. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2018.0535>.