

부유망식과 수하식 양성방법에 따른 참굴(*Crassostrea gigas*)의 선도와 항산화활성

최용준 · Nguyen Thanh Tri · 이정미¹ · 강석중 · 최병대*

경상대학교 해양식품생명과학과, ¹경상남도 수산자원연구소

Freshness and Antioxidant Activities in Pacific Oyster *Crassostrea gigas* Using Rack-and-Bag Culture or Suspended Culture Methods

Yong-Jun Choi, Nguyen Thanh Tri, Jeong-Mee Lee¹, Seok-Joong Kang and Byeong-Dae Choi*

Department of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

¹Fisheries Resources Research Institute, Gyeongnam, Tongyeong 50411, Korea

The nucleotides and their related compounds, including ATP (adenosine triphosphate), ADP (adenosine diphosphate), AMP (adenosine monophosphate), IMP (inosine monophosphate), HxR (inosine) and Hx (hypoxanthine), were nearly identical in oysters *Crassostrea gigas* from the two culture methods. The K-value was lower than the threshold value such as 11.2-12.1. Although oysters have low amount of IMP, it was detected in this experiment. DPPH radical scavenging activity did not vary significantly with sample amounts (100, 300, and 500 µg/mL). DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) radical scavenging activity was 76.0-80.7% compare with the ascorbic acid standard. Superoxide anion scavenging activity reached 49.3% in the rack-and-bag culture sample at 500 µg/mL. However, the reducing power and Fe²⁺ chelating activity were very low compared with their respective standard. The oyster culture methods did not affect oyster quality in terms of antioxidant activities.

Key words: *Crassostrea gigas*, K-value, DPPH, Superoxide anion, Reducing power

서 론

최근 수산물이 웰빙식품으로 주목 받으면서 수산물에 대한 관심이 증가하고 있으며, 식습관의 변화로 단백질과 지방이 다량 함유된 식품 위주로 소비구조가 변화됨에 따라 고단백 식품인 수산물의 소비가 점차 증가할 것으로 예측된다(Kang and Kim, 2013). 수산물 소비 패턴과 식문화의 변화에 따라 가공기술 개발과 유통구조도 변화하고 있다. 특히, 최근에는 가공식품보다는 신선식품의 선호도가 높아지고 있어, 신선식품의 선도유지와 안전성 확보기술 개발에 초점을 두고 있다(Son et al., 2014). 현재까지 굴의 식품학적 성분특성의 다양한 연구가 수행되어왔으며, 이들 연구결과에는 굴과 굴 가공품의 영양학적 가치와 품질특성의 구명(Kang et al., 2010), 수산가공용 주요 소재로의 활용(Lee et al., 2012), 지역에 따른 영양성분의 차이, 산란 전과 후 계절적 변화 따른 영양성분의 차이에 관한 연구도 이루어졌

다(Kim et al., 2014). 또한 생굴은 시중 유통되기 전 박신장에서 껍질을 제거하고 굴수협 경매를 통하여 도소매상에서 판매되고 있어 다양한 형태의 가공식품으로 활용이 가능하다.

수하식 양식산 굴의 경우는 24시간 영양분을 섭취하기 때문에 빨리 성장하는데 비하여 바위에 붙어 서식하는 자연산 굴(일명 어리굴)은 조소간만으로 인해 공기 중에 노출되는 동안은 영양분을 섭취할 수 없어 성장이 느리다. 자연산 굴은 만일의 사태에 대비해서 체내에 여러 영양분을 축적하므로 수하식과 자연산 양자 간에는 영양성분과 육질의 차이가 생길 것으로 추정된다(KORDI, 2004). 한편, 일반적으로 수하식 참굴보다는 조간대의 갯벌에서 나는 자연산 참굴류나 투석식, 수평망에 넣어 양식한 굴이 품질 면에서 더 좋다고 알려져 있다(Lee et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 굴을 이용한 고부가가치 제품을 개발하기 위한 개체굴 양식방안을 도입하고, 고성만을 중심으로 한 개체굴 양식에 따른 품질 특성을 평가하기 위하여 양식조건에 따

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0500>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 50(5) 500-505, October 2017

Received 8 July 2017; Revised 11 August 2017; Accepted 16 September 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9147 Fax: +82. 55. 648. 2038

E-mail address: bdchoi@gnu.ac.kr

른 선도와 항산화활성을 비교하여 양성방법에 따른 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

굴은 경상남도 수산자원연구소(통영)에서 2015년 2월에 인공 종자 생산한 참굴 시료를 사용하였다. 본 실험에 사용한 시료종류는 5가지로 초기 개체화시켜 부유망 케이지에 수용하여 수산자원연구소 양식장(통영 풍화리 지선)에서 6월부터 11월까지 일정기간 양성한 개체굴(A1)과 하루에 3-4시간 간출시키면서 양성한 개체굴(A2), 기존의 전통방식인 수하식으로 6월부터 11월까지 통영 오비도 지선(해상)에서 양성 후 고성 of 축제식 양식장(기수지역)에서 약 53일간 양성한 굴(B1), 오비도 지선(해상)에서 수하식으로 양성한 굴(B2)을 이용하였고, 대조군으로 시판굴(Table 1)을 이용하여 양성방법별 참굴의 선도 및 항산화활성을 조사하였다. ATP (adenosine triphosphate) 및 관련 화합물은 Sigma-Aldrich Ltd. 제품을 사용하였고, 그 외 용매는 HPLC 급을 사용하였다.

핵산관련물질의 분석

핵산관련물질 추출은 Ryu et al. (2009)의 방법에 따라 시료 0.5 g에 10% HClO₄ (perchloric acid, PCA) 용액 10 mL를 가해 균질화 한 후, 4,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층을 분리하였다. 침전물에 대하여 10% PCA 용액 10 mL로 위와 같은 조작을 2회 반복하여 상층액을 합하였다. 상층액을 여과하고 5.0 N KOH로 pH 6.5로 조정 한 후, 10% PCA 용액을 첨가하여 100 mL로 정용하였다. 0°C에서 30분간 정치한 후 0.45 µm membrane filter로 여과한 시료액을 HPLC (Shimadzu Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 다음과 같은 조건으로 분석하였다. Column은 Phenomenex C18 (4.6×250 mm, 5 µm), 칼럼온도는 40°C, 이동상은 50 mM KH₂PO₄ (pH 7.5), 유속은 0.8 mL/min, 254 nm에서 10 µL를 주입하여 검출하였고, 표준용액의 retention time을 비교하여 핵산관련성분을 확인하였다. 핵산관련성분은 표준 검량선을 이용하여 각 시료용액의 peak 면적으로 환산하여 정량하였다. ATP, ADP (adenosine diphosphate), AMP (adenosine monophosphate), IMP (inosine monophosphate),

inosine, hypoxanthine 표준품은 Sigma-Aldrich Ltd. 제품을 사용하였고, 0.001-1.0 M 농도로 조제한 후, 위의 조건으로 분석하여 작성하였다. K-값은 Saito et al. (1959)이 제안한 ATP 분해과정에서 생성되는 HxR (inosine)과 Hx (hypoxanthine)이 ATP 분해산물 함량에서 차지하는 비율로 구하였다. K value (%)=(HxR+Hx)/(ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx)×100

DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) free radical 소거활성 측정

동결 건조한 시료를 탈이온수에 녹여 농도를 달리하여 측정 한 DPPH 라디칼 소거활성은 Jao and Ko (2002)가 기술한 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 즉, 각 시료를 다양한 농도(100, 300, 500 µg/mL)로 제조한 다음 시료 0.1 mL와 실험 직전 1.5×10⁻⁴ M로 제조한 DPPH 용액 0.1 mL을 96-well plate에 첨가하여 잘 혼합하고 실온에서 30분간 반응 시킨 후 UV 분광 광도계를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 시료 대신 메탄올을 넣었고, 모든 실험은 3회씩 측정하여 평균을 구하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 다음과 같은 공식에 의해 계산하였다. DPPH radical scavenging activity(%)=[1-(공시료군-시료군)/공시료군]×100

Superoxide radical 소거활성 측정

Superoxide 소거활성은 Nagai et al. (2003)의 방법에 따라 측정하였다. 동결건조된 시료를 다양한 농도(100, 300, 500 µg/mL)로 제조한 다음 시료에 62 µM NBT와 98 µM NADH를 함유한 20 mM Tris 용액(pH 8.0)을 혼합한 다음, 20 mM Tris 용액과 33 µM PMS를 각각 첨가하였다. 효소적 반응의 결과가 아닌 PMS/NADH에 의하여 유발되는 superoxide는 자주색의 formazan으로 환원되며, 이를 측정하기 위하여 560 nm에서 10분간 반응시켰다. 또한, 양성 대조군으로 catechin을 사용하여 superoxide 소거활성을 비교 조사하였다. Superoxide scavenging activity (%)=[(추출물무첨가군-추출물군)/추출물무첨가군]×100

FRAP (ferric ion reducing antioxidant power)에 의한 환원능 측정

동결 건조한 굴 시료의 FRAP 측정 방법은 Oyaizu (1986)법을 참고하여 FRAP 용액은 25 mL acetate buffer (300 mM,

Table 1. Sample code and sampling date of oysters *Crassostrea gigas*

Sample codes	Description	Sampling date
IO-A1	Individual, Cage for 24 hr	2016-01-04
IO-A2	Individual, Daily variation in cage for 3-4 hr on air	2015-12-04
IO-B1	Suspended and pond culture during 53 days in Gosung province	2015-12-08
IO-B2	Suspended culture	2015-12-08
MO	Market	2015-12-04

pH 3.6)를 37°C에서 가온한 후, 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) 5 mL과 20 mM ferric sulfate (FeSO_4) 2.5 mL을 가하여 제조하였다. 제조된 0.9 mL FRAP reagent에 추출물 0.03 mL와 증류수 0.09 mL를 넣은 후 37°C에서 10 min 반응시킨 후 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시료는 시료 대신 70% 에탄올을 넣어 측정하였다.

Ferrous ion (Fe^{2+}) 킬레이팅 활성 측정

Ferrous ion 킬레이팅 활성은 Decker and Welch (1990) 방법을 이용하여 측정하였다. 실험직전 제조된 0.1 mM FeCl_2 는 여러 농도의 시료와 혼합한 다음 96-well plate에 분주하고 30초 반응시킨 후(실온), 0.25 mM ferrozine을 첨가한 다음 10분간 방치한 후 562 nm에서 측정하였다.

통계처리

통계처리는 SPSS Version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncans multiple range test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

양성방법에 따른 핵산 및 그 관련물질의 변화

개체굴과 수하굴의 adenine nucleotide 및 그 관련물질을 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 개체굴의 핵산관련물질 변화는 ATP에서 Hx (hypoxanthine)으로 분해되는 과정에서 A1 시료의 ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx의 측정치는 각각 1.20, 0.72, 0.55, 0.07, 0.24 및 0.09 $\mu\text{mol/g}$ 이었고, A2 시료의 ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx의 측정치는 각각 1.12, 0.68, 0.51, 0.05, 0.22 및 0.08 $\mu\text{mol/g}$ 이었다. 수하굴 B1 시료의 ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx의 측정치는 각각 1.02, 0.60, 0.46, 0.05, 0.20 및 0.08 $\mu\text{mol/g}$ 이었고, B2 시료의 ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx의 측정치는 각각 1.05, 0.63, 0.49, 0.06, 0.21 및 0.07 $\mu\text{mol/g}$ 이었다. 그리고 마트산 시료의 ATP, ADP, AMP, IMP, HxR, Hx의 측정치는 각각 1.11, 0.65, 0.49, 0.07, 0.22 및 0.10

$\mu\text{mol/g}$ 이었다.

ATP는 휴면상태의 어류 근육에서 중요한 핵산관련 성분이며, 효소적 탈인산화과정을 거쳐서 ADP와 AMP를 생성한다. ATP 분해산물 중 IMP는 어류의 정미성분 그리고 어류의 신선도 및 품질을 평가하는 지표로 작용한다고 한다(Fletcher and Statham, 1988). Watanabe et al. (1985)는 패류는 다량의 AMP를 함유하고 있으나 AMP-deaminase를 함유하고 있지 않으므로 IMP가 생성되지 않는다고 보고하였고, Joo et al. (1996)이 홍합 및 바지락의 핵산관련물질을 검정한 결과 IMP가 검출되지 않았다고 하였지만, 굴에 함유된 ATP 관련화합물을 측정할 결과 IMP가 소량 검출되었다는 결과와는 일치하지 않았다(Yokoyama et al., 1996).

수산물의 선도를 평가하는 K값은 ATP와 그 분해산물의 함량을 측정하여 HxR과 Hx의 함량을 비교한 것으로, 이는 수산물에 함유된 내인성 효소의 함량에 따라 그 분해정도가 달라진다. ATP에서 AMP로 분해되는 것이 제한되어 그 이후의 반응은 매우 천천히 일어나기 때문에 이를 활용하는 것보다는 HxR이 Xt (Xanthine)으로 완전히 분해될 때까지 관찰하여 선도를 평가하는 것이 적절하다고 하였다(Yokoyama et al., 1996). 본 실험결과 각 시료의 K 값은 11.2-12.1로 매우 선도가 좋은 상태이었으며, 특히 hypoxanthine (Hx)은 불쾌취를 야기하는 핵산관련성분으로 쓴 향(bitter flavor)에 기여하기 때문에 이의 함량이 높아지지 않도록 하기 위해서 선도유지가 중요한 이유이다.

DPPH 라디칼 소거활성

개체굴 및 수하굴의 DPPH 라디칼 소거활성을 측정하여 Table 3에 나타내었다. 개체굴 A1 및 A2는 100, 200 및 300 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 각각 62.8, 65.2, 74.4% 및 63.3, 64.1, 67.6%이었고, 수하굴 B1 및 B2는 100, 200 및 300 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 각각 64.6, 66.5, 69.8% 및 61.0, 65.6, 70.1%이었다. 마트에서 구입한 굴은 각각 62.4, 65.6, 68.5%로 농도의 증가에 따른 변화는 없었다. 소거활성을 비교하기 위하여 사용한 표품 ascorbic acid의 소거활성도 83.0-83.3%로 농도에 따른 변화는 없었는데 이것은 활성을 나타내는 농도 이상의 범위에서 측정된 결과라 여겨진다.

Table 2. Contents of nucleotide and their related compounds of the oyster *Crassostrea gigas* on different cultured conditions

Sample codes	Concentration ($\mu\text{mol/g}$)						
	ATP	ADP	AMP	IMP	HxR	Hx	K-Value
IO-A1	1.20±0.07	0.72±0.02	0.55±0.03	0.07±0.01	0.24±0.03	0.09±0.02	11.5
IO-A2	1.12±0.04	0.68±0.05	0.51±0.01	0.05±0.00	0.22±0.02	0.08±0.01	11.2
IO-B1	1.02±0.05	0.60±0.03	0.46±0.03	0.05±0.01	0.20±0.02	0.08±0.01	11.6
IO-B2	1.05±0.02	0.63±0.02	0.49±0.02	0.06±0.01	0.21±0.03	0.07±0.02	11.2
MO	1.11±0.06	0.65±0.04	0.49±0.03	0.07±0.02	0.22±0.03	0.10±0.02	12.1

Values are means±SD of triplicates. K value (%)=(HxR+Hx)/(ATP+ADP+AMP+IMP+HxR+Hx)×100. APT, adenosine triphosphate; ADP, adenosine diphosphate; AMP, adenosine monophosphate; IMP, inosine monophosphate; HxR, inosine; Hx, hypoxanthine.

Table 3. DPPH free radical scavenging activity of different concentration of oyster *Crassostrea gigas*

Sample codes	Concentration ($\mu\text{g/mL}$, %)		
	100	300	500
Ascorbic acid	83.0 \pm 1.9 ^a	83.1 \pm 2.1 ^a	83.3 \pm 2.1 ^a
IO-A1	62.8 \pm 4.7 ^a	65.2 \pm 4.3 ^a	74.4 \pm 5.0 ^b
IO-A2	63.3 \pm 3.1 ^a	64.1 \pm 3.4 ^a	67.6 \pm 3.7 ^a
IO-B1	64.6 \pm 5.7 ^a	66.5 \pm 4.8 ^a	69.8 \pm 4.3 ^{ab}
IO-B2	61.0 \pm 5.9 ^a	65.6 \pm 6.3 ^{ab}	70.1 \pm 5.6 ^b
MO	62.4 \pm 1.1 ^a	65.6 \pm 5.8 ^a	68.5 \pm 4.7 ^{ab}

Values are means \pm SD of triplicates. Means followed by the different superscripts within the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

Shakila et al. (2016)에 의하면 오징어 육 단백질 가수분해물의 DPPH 라디칼 소거활성을 측정된 결과 77-79%의 활성을 나타내었고, 가수분해에 사용된 효소의 종류와 반응시간 등 최종산물의 분자량에 따라 그 활성이 다르게 나타났다고 하였다. 지방의 함량이 높아 전복의 먹이로 활용되는 우상목 규조류 (*Grammatophora marina*)를 Alcalase로 가수분해하여 DPPH 라디칼 소거활성을 측정된 결과 86.5%의 높은 값을 보였는데, 이는 세포벽에 함유된 폴리페놀, 질소화합물, 식물성스테롤, 카로테노이드 및 클로로필 등이 그 역할을 한다고 추정하였다 (Affan et al., 2006). 따라서 굴 동결건조 시료의 DPPH 라디칼 소거활성이 66-70%로 높은 것은 굴이 플랑크톤을 먹이생물로 하는 것과 연관이 있는 것으로 생각된다. Kim et al. (2015)은 굴 가수분해물의 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 저해 활성은 분자량 분포와 항산화 활성과의 상관관계는 없었다고 하였다. Mendis et al. (2005)은 어피 젤라틴 가수분해물로부터 정제한 펩타이드의 항산화 특성 연구에서 His-Gly-Pro-Leu-Gly-Pro-Leu (797 Da) 배열을 가지는 펩타이드가 항산화제인 BHT와 비슷한 높은 항산화능을 갖는다고 보고하여 어육 가수분해물은 분자량이 아닌 펩티드의 배열이 영향을 미친다고 하였다.

Superoxide anion 라디칼 소거활성

Superoxide anions는 자유 라디칼을 활성화하여 ROS (reactive oxygen species)를 생성시켜 지질, 단백질 및 DNA를 손상시키므로, 이를 소거하는 능력을 갖게 되면 수산식품의 산화안정화에 기여할 수 있다(Xie et al., 2008). 개체굴 및 덩이굴의 superoxide anion 라디칼 소거활성을 측정하여 Table 4에 나타내었다. 개체굴 A1 및 A2는 100, 200 및 300 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 각각 22.9, 37.1, 49.3% 및 24.0, 36.2, 49.2%이었고, 수하굴 B1 및 B2는 100, 200 및 300 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 각각 22.8, 25.2, 44.3% 및 21.4, 35.0, 44.3%이었다. 마트에서 구입한 굴은 각각 25.7, 34.3, 47.4%로 농도의 증가에 따라 증가하였지만, 표품 ascorbic acid의 소거활성은 83.0-83.3%로 농도에 따른 변화는

Table 4. Superoxide anion scavenging activity of different concentration of oyster *Crassostrea gigas*

Sample codes	Concentration ($\mu\text{g/mL}$, %)		
	100	300	500
Ascorbic acid	48.3 \pm 3.9 ^a	57.5 \pm 1.1 ^b	66.5 \pm 0.8 ^c
IO-A1	22.9 \pm 9.1 ^a	37.1 \pm 5.4 ^b	49.3 \pm 4.0 ^c
IO-A2	24.0 \pm 2.3 ^a	36.2 \pm 6.9 ^b	49.2 \pm 4.0 ^c
IO-B1	22.8 \pm 4.9 ^a	25.2 \pm 6.2 ^a	44.3 \pm 4.1 ^b
IO-B2	21.4 \pm 6.8 ^a	35.0 \pm 4.2 ^b	44.3 \pm 8.9 ^c
MO	25.7 \pm 8.5 ^a	34.3 \pm 6.6 ^b	47.4 \pm 8.9 ^c

Values are means \pm SD of triplicates. Means followed by the different superscripts within the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

없었다. 굴(*Crassostrea gigas*) 가수분해물로부터 추출 정제된 펩티드가 쥐 대식세포(RAW 264.7)에 독성을 나타내지 않음과 동시에 DNA 손상으로부터 보호하는 superoxide radical 활성이 13.0-48.5%로 희분에 따라 다른 효과를 보였다고 하여 수산 가공 부산물을 효소가수분해하면 영양적으로 우수하고 기능이 높은 펩타이드를 활용할 수 있음을 강조하였다(Qian et al., 2008), 본 실험에서도 적절한 효소를 사용하지 않았지만 superoxide anion 소거활성은 표품인 ascorbic acid의 비교하였을 때 60-70%에 이르러 꽤 높은 활성을 보였다.

환원력

지질의 과산화반응이 진행되는 동안 산화된 중간물질에 전자를 주어 항산화활성을 나타내는 능력을 판별하는 환원력을 측정하여 Table 5에 나타내었다. 표품인 ascorbic acid가 농도가 증가함에 따라 직선적으로 증가하였다. 그러나 모든 시료의 각각 다른 농도에서 환원력은 매우 낮아 환원력에 의한 항산화활성을 기대하기는 어려운 것으로 판단되었다. Surendraraj et al. (2013)에 따르면 부레옥잠(*Eichornia crassipes*)의 열수 및 에탄올 추출물의 환원력을 평가한 결과 페놀화합물의 농도가 높을수록 열수 추출물의 ferric iron 환원력이 높은 것으로 나타나 페놀화합물이 적은 알굴 시료에서는 이 값이 매우 낮았다. 오징어 육 단백질을 여러 종류의 상업용 효소로 가수분해하고 그 가수분해물의 환원력을 측정된 결과 가수분해도와 가수분해되어 생성되는 펩티드의 함량이 펩티드 분자량보다 더 큰 영향을 미친다고 하여 가수분해도가 증가될수록 환원력도 함께 증가된다고 하였다(Shakila et al., 2016). 실험에 사용된 굴은 가수분해되지 않았기 때문에 매우 낮은 값을 보였다.

Fe²⁺ chelating activity

시료 농도에 따른 Fe²⁺ chelating 활성을 측정하여 Table 6에 나타내었다. 시료 농도 300 $\mu\text{g/mL}$ 에서 표품인 EDTA는 85.8%의 최고 값을 보였고, 개체굴 A1 및 A2는 시료농도 100,

Table 5. Reducing power activity of different concentration of oyster *Crassostrea gigas*

Sample codes	Concentration ($\mu\text{g/mL}$, @700 nm)		
	100	300	500
Ascorbic acid	0.122 \pm 0.003 ^a	0.398 \pm 0.006 ^b	0.671 \pm 0.072 ^c
IO-A1	0.008 \pm 0.002 ^a	0.011 \pm 0.001 ^a	0.012 \pm 0.001 ^a
IO-A2	0.007 \pm 0.000 ^a	0.009 \pm 0.000 ^a	0.013 \pm 0.001 ^a
IO-B1	0.007 \pm 0.002 ^a	0.008 \pm 0.002 ^a	0.012 \pm 0.002 ^a
IO-B2	0.005 \pm 0.003 ^a	0.007 \pm 0.001 ^a	0.011 \pm 0.003 ^a
MO	0.004 \pm 0.010 ^a	0.006 \pm 0.000 ^a	0.010 \pm 0.002 ^a

Values are means \pm SD of triplicates. Means followed by the different superscripts within the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

300, 500 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 최소 27.8%에서 최고 37.1%로 농도에 따른 차이가 적었다. 수하굴 B1 및 B2는 시료농도 100, 300, 500 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 최소 28.2%에서 최고 39.4%로 개체굴에 비하여 약간 높았고, 마트에서 구입한 굴도 chelating 효과가 낮아 39.1%이었다. 모든 시료에서 Fe^{2+} 이온을 포획하는 효과를 기대하기 어려웠다. 미네랄은 동물에 소량 존재하여 섭취하였을 때 얻는 항산화물질 중에서 적은 비율을 차지한다. 굴에 다량으로 함유된 아연은 항산화작용에 관여하지만, free 라디칼을 직접 공격하지는 않고 라디칼 형성을 방지하는데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다(Prasad et al., 2004). Nalinamon et al. (2011)에 따르면 펩티드 분자량과 금속이온 chelating 활성과는 밀접한 관계를 나타내어 펩티드의 크기가 적으면 적을수록 결합부위가 많아지고, histidine과 같이 imidazole 고리를 가지면 chelating 활성이 높아진다고 하였다. 따라서 효소가수분해 되지 않은 상태에서는 chelater로서의 역할은 낮을 수밖에 없고 굴은 다양한 아미노산을 함유하고 있어 환원력이 증가될 가능성은 충분하다고 여겨진다.

사 사

본 연구는 2015년도 경남수산자원연구소 '검은테 개체 참굴 양식개발' 사업의 일환으로 수행되었으며, 실험재료 지원에 감사드립니다.

References

Affan A, Karawita R, Jeon YJ, Kim BY and Lee JB. 2006. Growth characteristics, bio-chemical composition and antioxidant activities of benthic diatom *Grammatophora marina* from Jeju coast, Korea. *Algae* 21, 141-148. <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2006.21.1.141>.

Decker EA and Welch B. 1990. Role of ferritin as a lipid oxidation catalyst in muscle food. *J Agric Food Chem* 38, 674-677. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00093a019>.

Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometric*

11, 1-42.

Fletcher GC and Statham JO. 1988. Shelf life of sterile yellow-eyed mullet (*Aldrichetta forsteri*) at 4 °C. *J Food Sci* 53, 1030-1035. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13523.x>.

Jao CL and Ko WC. 2002. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging by protein hydrolysates from tuna cooking juice. *Fish Sci.* 68, 430-435. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2002.00442.x>.

Joo OS, Seo KI, Lee YS, Lee JH, Choi SD and Shim KH. 1996. Changes in contents of some taste compounds of dried mussel and baby clam during storage. *Korean J Food Sci Technol* 28, 882-887.

Kang JH and Kim TY. 2013. A study on current fisheries distribution laws and their improvement measures. Korea Maritime Institute (KMI), Seoul, Korea, 64-68.

Kang JY, Roh TH, Hwang SM, Kim YA, Choi JD and Oh KS. 2010. The precursors and flavor constituents of the cooked oyster flavor. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 606-613.

Kim HA, Park SH, Lee SS, and Choi YJ. 2015. Anti-wrinkle effects of enzymatic oyster hydrolysate and its fractions on human fibroblasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44, 1645-1652. <http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2015.44.11.1645>.

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. <http://doi.org.10.5657/KFAS.2014.0713>.

KORDI (Korea Ocean Research & Development Institute). 2004. Encyclopedia of Fish and Seafood. In: 2. Edible Fish and Shellfishes. Sambo Pub Co. Seoul, Korea, 40-43.

Lee YM, Lee SJ, Kim SG, Hwang YS, Jeong BY and Oh KS. 2012. Food component characteristics of cultured and wild oysters *Crassostrea gigas* and *Ostrea denselamellos* in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 586-593. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0414>.

Mendis E, Rajapakse N and Kim SK. 2005. Antioxidant properties of a radical-scavenging peptide purified from enzymatically prepared fish skin gelatin hydrolysate. *J Agric Food*

- Chem 53, 581-587. <http://dx.doi.org/10.1021/jf048877v>.
- Nagai T, Inoue I, Inoue H and Suzuki N. 2003. Preparation and antioxidant properties of water extract of propolis. Food Chem 80, 29-33. [http://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00231-5](http://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00231-5).
- Nalinanon S, Benjakul S, Kishimura H and Shahidi F. 2011. Functionalities and antioxidant properties of protein hydrolysates from the muscle of ornate threadfin bream treated with pepsin from skipjack tuna. Food Chem 124, 1354-1362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.089>.
- Oyaizu M. 1986. Antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine. Jap J Nutri 44, 307-315.
- Prasad AS, Bao B, Beck FWJ, Kuck O and Sarkar FH. 2004. Antioxidant effect of zinc in humans. Free Radic Biol Med 37, 1182-1190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.07.007>.
- Qian ZJ, Jung WK, Byun HG and Kim SK. 2008. Protective effect of an antioxidative peptide purified from gastrointestinal digests of oyster, *Crassostrea gigas* against free radical induced DNA damage. Bioresour Technol 99, 3365-3371. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.018>.
- Ryu KY, Shim SL, Kim W, Jung MS, Hwang IM, Kim JH, Hong CH, Jung CH and Kim KS. 2009. Analysis of the seasonal change of the proximate composition and taste components in the conger eels (*Conger myriaster*). J Korean Soc Food Sci Nutr 38, 1069-1075.
- Saito T, Arai K and Matsuyoshi M. 1959. A new method for estimating the freshness of fish. Nippon Suisan Gakkaishi 24, 749-750.
- Shakila RJ, Fathiraja P, Jeyasekaran G and Rajendran S. 2016. Antioxidative properties of squid protein hydrolysates prepared using seer fish visceral enzymes in comparison with commercial enzymes. J Aqua Food Prod Tech 25, 986-1000. <http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2015.1004499>.
- 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>.
- Surendraraj A, Farvin KHS and Anandan R. 2013. Antioxidant potential of water hyacinth (*Eichornia crassipes*): In vitro antioxidant activity and phenolic composition. J Aquat Food Prod Tech 22, 11-26. <http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2011.621582>.
- Watanabe K, Uehara H, Sato M and Konosu S. 1985. Seasonal variation of extractive nitrogenous constituents in the muscle of the ascidian *Halocynthia roretzi*. Bull Japan Soc Sci Fish 51, 1293-1298.
- Xie Z, Huang J, Xu X and Jin Z. 2008. Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate. Food Chem 111, 370-376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.078>.
- Yokoyama Y, Sakaguchi M, Azuma Y, Kawai F and Kanamori M. 1996. Postmortem changes of ATP and its related compounds in oyster tissues in the presence of antibiotic chloramphenicol. Fish Sci 62, 312-316.