

갈치(*Trichiurus lepturus*)의 선도 판정을 위한 관능평가 및 화학적 분석에 따른 품질 평가

유정완 · 김현재 · 설다운 · 고지윤 · 김성희 · 양지영 · 이양봉*

부경대학교 식품공학과

Evaluation of Largehead Hairtail *Trichiurus lepturus* Freshness Using Sensory and Chemical Analyses

Jeong-Wan Yu, Hyeon-Jae Kim, Da-Eun Seol, Ji-Yun Ko, Seong-Hee Kim, Ji-Young Yang and Yang-Bong Lee*

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

The purpose of this study was to measure pH, trimethylamine (TMA), and total volatile basic nitrogen (TVB-N) as indicators of freshness during largehead hairtail *Trichiurus lepturus* storage, and to compare these indicators with those obtained by the sensory evaluation of quality index method (QIM) sensory evaluation. Largehead hairtail samples were stored at 4°C and evaluated every 3 days until decay. The QIM sensory evaluation indicated scores of 0, 8.9, and 20 on storage days 0, 6, and 20, respectively. By day 15, the samples were completely decayed. The pH slowly increased during the storage period, reaching a maximum of 7.4. In the day 6, TMA and TVB-N contents were 2.97 and 15.57 mg/100 g, respectively. Thus, at 4°C, the largehead hairtail starts to decay after 6 days and, after 9 days, cannot be consumed safely.

Key words: *Trichiurus lepturus*, Quality evaluation, Freshness indicator, Trimethylamine, Total volatile basic nitrogen

서 론

갈치(*Trichiurus lepturus*)는 농어목 갈치과의 흰살생선으로 중국에 인접한 서해안과 제주도 남서해 등에 어장이 형성되어 있다(Kim and Nam, 2015). 갈치는 우리나라 국민의 선호도가 높은 수산물 중 하나로 고등어와 함께 대중성 어종이라 불릴 만큼 소비량이 많다(Nam and Cho, 2018). 2005-2014년 갈치의 전세계 어획량은 평균 131만톤이었으며 2016년에는 약 128만톤이 어획되어(FAO, 2018) 세계적으로도 어획량과 소비량이 높아 유용 자원으로 널리 사용되고 있는 어종이다(Kim and Jang, 2016; Luan et al., 2017). 국내에서 조업되는 갈치는 주로 당일 조업된 것은 냉장상태로, 원양에서 대량으로 조업된 것은 냉동상태로 유통된다. 이 중 냉장상태의 어류는 미생물 활동 및 효소 활동과 관련된 저장 수명이 제한적이라고 알려져 있어

(Luan et al., 2017) 유통 중 온도관리가 중요하기 때문에 이와 관련된 신선도 유지 및 품질 평가에 대한 연구가 필요하다. 특히 갈치는 회유성 어종으로 운동량이 많아 어획되면 산소부족에 의해 빠르게 폐사하여 부패가 시작되기 때문에 산지가 아니면 회로 먹기 힘들다고 알려져 있다. 또한 갈치 표면의 은빛을 내는 성분인 구아닌은 선도가 떨어지면 부패하여 보통, 두드러기를 유발한다고 알려져 있으며(Jeong, 2011) 국내에서 갈치회로 인한 식중독 사고가 다수 보고되어 갈치의 선도유지는 중요하다.

신선도는 수산물의 품질을 평가할 때 가장 중요한 속성으로 외관과 향 등 성상을 감각적인 방법으로 분석하는 관능검사와 이화학적 및 미생물학적 분석이 신선도를 평가하는데 사용된다(Özogul et al., 2005). 관능평가는 단시간에 신선도를 판정하는 보편적이고 효과적인 방법이지만 패널들의 숙련도와 주관적인 결과에 의한 차이가 크기 때문에 관능평가를 진행하면서 화

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5829 Fax: +82. 629. 5824

E-mail address: yblee@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.2019.0735>

Korean J Fish Aquat Sci 52(6), 735-739, December 2019

Received 11 November 2019; Revised 30 November 2019; Accepted 5 December 2019

저자 직위: 유정완(대학원생), 김현재(대학원생), 설다운(대학원생), 고지윤(대학원생), 김성희(대학원생), 양지영(교수), 이양봉(교수)

학적인 지표를 함께 분석하는 것이 좋다. 수산물의 신선도와 관련된 화학적 지표로는 주로 trimethylamine (TMA), 휘발성 염기 질소(TVB-N), k-value 등이 있다(Shim et al., 2010). 하지만 TMA와 K-value 같은 화학적 지표들은 수산물의 종류에 따라 값이 크게 차이가 날 수 있어 측정결과가 실제 신선도와 차이가 있을 수 있기 때문에 어종에 따른 수산물 품질 지표에 대한 연구가 필요하다. 수산물 중 어류에 대한 품질 기준 규정은 횡감용, 가공식품용 그리고 냉동수산물에 대해서만 품질기준이 정해져 있으며, 이는 주로 어류의 형태, 향미 등 외관의 관능적 특성에 대한 것으로 보다 과학적이며 객관적인 기준마련이 필요하다(Park et al., 2016). 수산물의 신선도 및 품질변화에 대한 이전 연구들로는 냉장 저장 중 고등어의 품질 특성 평가 및 이화학적 지표 변화 연구(Park et al., 2016; Kim et al., 2016), 명태의 보관시간에 따른 품질 예측 모델링 연구(Shim et al., 2010), 관능평가와 화학분석 및 생물학적 분석을 통한 유럽뱀장어의 신선도 평가 연구(Özogul et al., 2005), 정어리의 손질에 따른 냉장 저장 중 품질 평가 연구(Erkan N and Özden Ö, 2008) 등 다양한 어종에 대해서 저장기간에 따른 품질변화 연구들이 이루어져 있다. 한편 갈치에 대한 이전 연구들로는 갈치 수리미의 품질 연구 및 갈치 단백질의 겔화 특성 연구 등(Xue et al., 2011; Zhang et al., 2015; Wu, 2019) 주로 수산가공품의 원료에 대한 연구가 대다수로 갈치의 선도 지표 개발에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 갈치의 유통 및 저장 시 신속하게 품질을 판정할 수 있는 품질관리 시스템에 적용하기 위한 선행연구으로써, 갈치의 화학적 지표로 저온저장 중 저장기간에 따른 pH, trimethylamine (TMA), total volatile basic nitrogen (TVB-N)의 변화를 측정하여 이를 관능평가 결과와 비교하여 선도 판정 지표를 제시하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 갈치는 당일 새벽에 제주도에서 주낙으로 어획된 은갈치로 부산의 자갈치시장에서 원물 상태의 선어로 구입하였다. 4°C에 냉장 저장하여 갈치가 부패할 때까지 3일 간격으로 실험을 진행하였다. 구입한 갈치는 길이 97-108 cm, 무게 600-750 g으로 화학적 분석 실험에 사용한 갈치는 실험 당일에 내장, 머리, 뼈를 제거한 후 육을 분리하여 실험을 실시하였다.

관능평가

관능평가는 4°C에서 저장 한 다음 갈치가 부패할 때까지 3일 간격으로 관능평가를 실시하였다. 관능검사의 패널은 부경대학교 식품공학과 대학원생 7명을 선정하였다. 패널들은 모두 갈치를 포함한 수산물에 대한 관능평가의 경험이 있으며 사전에 선어상태의 갈치와 부패하여 이취가 발생한 갈치를 제공하여 갈치의 성상에 적응하는 사전훈련을 실시하였다. 관능평가는 quality index method (QIM)을 갈치에 맞게 변형하여(Bernardi et al., 2013) 진행하였으며 평가 항목은 다음 Table 1과 같다.

pH

갈치의 pH는 잘게 다진 갈치 5 g에 증류수를 50 mL 가하여 균질기(Bag mixer 400, Interscience, France)로 2분간 균질화 한 후, pH meter (Orion star A211, Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA)를 이용하여 측정하였다.

Trimethylamine (TMA)

AOAC (2000)법과 Shim et al. (2010)의 방법을 변형하여 측정하였다. 갈치의 육을 분리하여 5 g 채취한 후 7.5% trichlo-

Table 1. Quality index method (QIM) scheme for largehead hairtail *Trichiurus lepturus*

Quality parameter		QIM Score ¹			
		0	1	2	3
Appearance	Scale	Shining silver	Greyish color	Greyish, dark	
	Flesh color	Bright white	Milky	Slightly yellowish	Yellowish
	Clarity	Clear	Slightly cloudy	Cloudy	
Eyes	Shape	Flat	Slightly sunken	Sunken	
	Iris	Visible	Not visible		
	Mucus	Clear	Milky	Milky, dark	
Gills	Color	Red	Dark red	Brown	
	Shape	Normal	Dripping	Distortion	
Internal organs	Color	Red	Dark red	Brown	
	Odor	Fresh	Slightly fishy	Fishy	Sour, spoilt
	Freshness	Fresh	Slightly fishy	Fishy	Sour, spoilt

¹Sum of score is from 0 to 24.

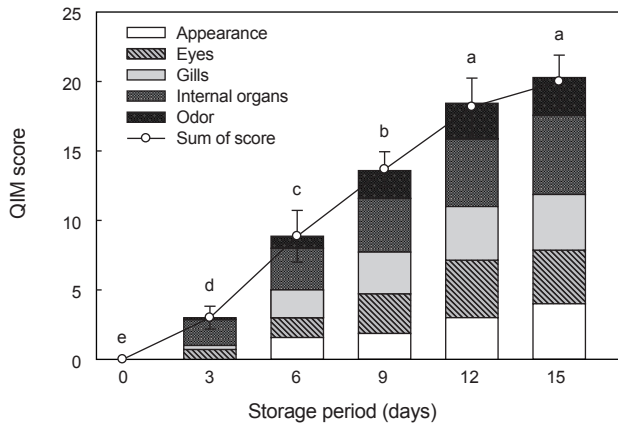


Fig. 1. Quality index method (QIM) score of largehead hairtail *Trichiurus lepturus* during storage of 15 days at 4°C. Means with different letters in superscripts (a-e) are significantly different (P<0.05).

roacetic acid 25 mL를 가하여 30분간 추출하였다. 추출액을 5,000 rpm에서 15분간 상층액이 투명해질 때까지 원심분리하여, 상층액 중 4 mL를 취하여 시험용액으로 사용하였다. 마개가 있는 시험관에 시험용액 4 mL를 취하고 10% formalin 용액 1 mL, 탈수 toluene 10 mL, K₂CO₃ 포화용액 3 mL를 가하여 1분간 voltexing하였다. 혼합액을 실온에서 10분간 정치한 후 분리된 toluene 상층액을 7-9 mL 취하여 0.1 g 무수황산나트륨이 들어있는 시험관에 넣고 흔들어 탈수하였다. 탈수된 toluene 용액 5 mL를 취하고 이에 0.02% picric acid 용액 5 mL를 혼합하여 분광광도계(UV-1800, Shimadzu, Japan)로 410 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Total volatile basic nitrogen (TVB-N)

TVB-N함량은 식품공전상의 conway법을 이용하여 측정하였다(KFDA, 2002). 갈치를 잘게 다진 후 10 g을 칭량하고 증류수를 50 mL 가하여 30분간 교반하여 침출시켰다. 침출된 용액은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리를 하여 상층액을 분리한 후 이를 여과시킨 뒤 5% H₂SO₄ 용액으로 pH 4.0으로 보정하여 100 mL로 정용한 것을 시험용액으로 사용하였다. Conway 확산기의 내실에 0.01 N H₂SO₄ 1 mL를 정밀하게 넣은 후 외실에는 시료용액과 포화 K₂SO₄를 1 mL씩 첨가한 후 즉시 덮개를 덮어 클립으로 고정한 후 좌우로 흔들어 외실의 시험용액과 포화용액을 섞어 25°C에서 1시간 반응시켰다. 이후 내실에 Brunswik 지시약을 한 방울 가한 후 마이크로뷰렛을 이용하여 0.01 N NaOH로 적정하였다.

통계처리

통계 분석은 SAS 9.4를 이용하였으며 Duncan의 다중범위검증을 실시하여 P<0.05에서 시료간의 통계적 유의성을 분석하였다.

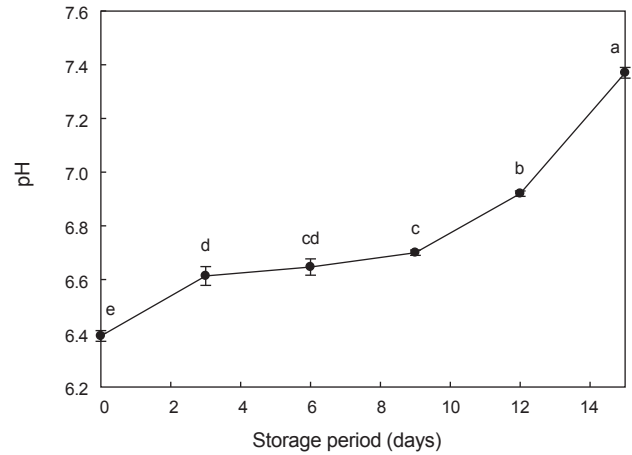


Fig. 2. Changes in pH of largehead hairtail *Trichiurus lepturus* during storage at 4°C. Means with different letters in superscripts (a-e) are significantly different (P<0.05).

결과 및 고찰

관능평가

QIM에 따른 냉장 저장 갈치의 관능평가 결과는 다음 Fig. 1과 같다. 외관, 눈, 아가미, 내장 그리고 향에 대한 관능평가의 각 항목별로 평균점수와 총점의 변화를 나타내었다. 구입 직후 갈치의 QIM 점수는 0점으로 매우 신선한 상태였으며, 저장 3일, 6일, 9일, 12일, 15차에서 각각 3, 8.86, 13.67, 18.17, 20점으로 증가하였다. 이 때 저장 6일차에서 총 7명 중 3명의 패널들이 식용에 부적합하다고 응답하여 부패가 시작되는 부패 초기 단계로 판단되며, 저장 9일차부터는 모든 패널들이 식용에 부적합하다고 응답하였다. 저장 12일차와 15일차에서 갈치의 관능평가 결과의 유의적 차이는 없었으며 12일차에서 갈치는 완전히 부패되었다고 판단된다. 각 항목별로 따른 QIM 점수 또한 갈치의 신선도가 떨어짐에 따라 유의적으로 증가하였다. 그 중 갈치 외관의 변화는 저장 3일차까지는 초기 상태와 차이를 보이지 않아 0점을 나타냈으나, 6일차부터는 갈치 비늘의 선명한 은빛이 사라지고 회색빛을 띄면서 차이를 보였다. 이는 갈치 표면의 구아닌이 선도가 떨어지면서 산소에 의해 산화되어 은빛을 잃고 흑변한 것으로 사료된다(Khanum et al., 1999). 내장과 아가미 내부의 색은 신선한 상태에서는 붉은 선홍빛을 띄었으나 선도가 저하되면서 어두운 붉은색에서 점차 회색빛이 감도는 갈색으로 변화하였다. 저장기간에 따른 갈치 향은 3일차까지 신선한 바다취를 유지하였으나, 6일차부터 약한 비린내가 나기 시작하여 9일차 이후에서는 상한 냄새가 나기 시작했다. 이는 갈치의 육 단백질이 미생물의 증식과 효소의 작용에 의해서 휘발성 저급 아민과 암모니아 등이 생성되었기 때문으로 사료된다(Reddy et al., 1994).

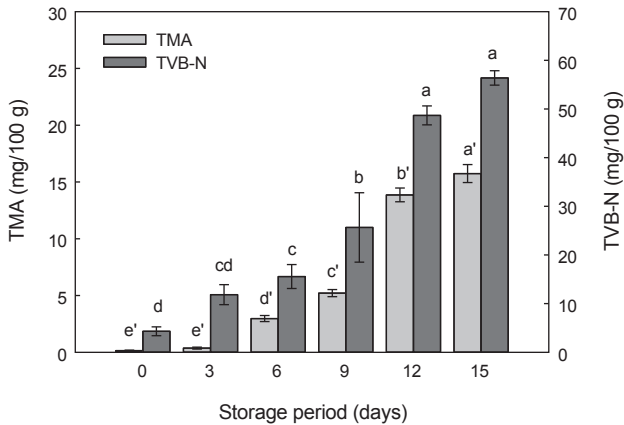


Fig. 3. Changes in trimethylamine (TMA) and total volatile basic-nitrogen (TVB-N) of largehead hairtail *Trichiurus lepturus* during storage of 15 days at 4°C. Means with different superscripts (a'-e' and a-d) are significantly different for TMA and TVB-N, respectively ($P < 0.05$).

pH 변화

갈치의 냉장 저장 중 pH 변화를 측정할 결과는 다음 Fig. 2와 같다. 사후 신선한 상태의 생선은 어중에 따라 보통 pH 5.5-6.5 전후로 알려져 있으며(Kim, 2004) 일반적으로 어류의 pH는 젖산의 생성으로 점차 저하된 후 자가 소화 및 염기성 물질의 생성으로 다시 상승하여 부패점에 이른다. 이 때 백색육 어류는 pH 6.7-6.8 범위, 적색육 어류의 경우에는 pH 6.2-6.4 범위에 이른다(Kim et al., 2007). 본 연구결과에서 갈치의 pH는 저장 0일차에서 pH 6.39였으며 저장기간 동안 완만한 증가를 보였으며, 저장 9일차에서 pH 6.7로 일반적으로 알려진 백색육 어류의 부패점인 pH 6.7-6.8의 범위로 증가하였으며 이는 저장 9일차에서 갈치가 부패하여 식용으로 적합하지 않다는 관능평가 결과와 일치하였다. 저장 6-9일차의 pH 측정 결과에서 유의적인 차이가 나타나지는 않았지만 전체적인 pH 변화의 차이가 크고 관능평가 결과와 유사한 경향성을 나타내므로 신선도 지표로 사용하기에 적합한 것으로 사료된다. 갈치의 초기 부패의 범위는 pH 6.5-6.7, 부패점의 범위는 pH 6.7-6.8으로 사료된다.

TMA 함량변화

TMA는 어패류에 함유되어 있는 trimethylamine oxide (TMAO)가 사후 세균 또는 어패류중에 존재하는 효소 등에 의해 환원되어 생성하며 비린내를 유발하는 물질로 수산물의 신선도를 측정하는 지표로 사용된다. 냉장 저장 중 갈치의 TMA 함량 변화는 다음 Fig. 3과 같다. 갈치 구입 직후의 초기 TMA 함량은 0.15 mg/100 g으로 신선한 상태였으며 저장 3일차와 유의적인 차이가 나타나지 않아 4°C에서 3일간 저장하였을 때에도 선도가 유지가 되었음을 알 수 있다. 저장 6일차에서부터

2.97 mg/100 g으로 TMA 함량이 급격히 증가하기 시작하여 어류의 초기 부패 값으로 알려진 3 mg/100 g에 거의 도달하였다. 이는 3일에서 6일차 사이에 효소 및 세균의 활성이 증가하여 TMA 함량 변화가 크게 나타난 것으로 보이며, 냉장 저장 중 고등어에서 TMA 함량 변화를 측정한 Park et al. (2016)의 연구와 유사한 경향을 보였다. 한편 5°C에서 저장 중인 명태의 TMA의 함량 변화를 측정한 Shim et al. (2010)의 연구에 따르면, 36시간 저장하였을 때 TMA 값이 3 mg/100 g을 초과하여 부패하였다. 이는 어중에 따라 TMAO의 함량 또는 부패되는 속도 등이 다르므로 저장 중 TMA 함량 변화의 차이가 있기 때문으로 사료된다. 갈치의 저장 9일차에서 TMA 값은 5.21 mg/100 g으로 초기 부패 값을 초과하여 관능검사 결과와 동일한 결과를 보였다. 따라서 갈치의 저장 중 부패 과정에 따른 TMA 함량의 변화는 일반적으로 알려진 초기 부패 값인 3 mg/100 g과 유사하며, 신선도 지표로 사용하기에 적합한 것으로 사료된다.

TVB-N 함량 변화

휘발성염기질소(TVB-N)는 어육이 부패되면서 생성되는 물질들로 단백질과 같은 질소 화합물의 분해로 인한 암모니아의 생성과 TMAO의 환원에 의한 TMA, DMA 등 아민류의 생성에 의해 증가하여, 선도가 떨어짐에 따라 증가하기 때문에 어육의 신선도 판정의 지표로 활용된다(Lee et al., 2014). TVB-N 함량에 따른 어육의 신선도 판정 기준으로는 신선한 어육에서 5-10 mg/100 g, 보통 선도의 어육에서 15-25 mg/100 g, 초기 부패단계에서 30-40 mg/100 g, 완전히 부패한 어육에서는 50 mg/100 g 이상으로 알려져 있으며, 수산 가공 원료의 선도 한계점으로는 20 mg/100 g을 제시하고 있다(Song et al., 2005; Park et al., 2016). 본 실험에서 구입 직후 갈치의 TVB-N 함량은 4.32 mg/100 g으로 매우 신선한 상태였으며 저장기간에 따라 비례적으로 증가하였다(Fig. 3). 저장 6일차에서는 15.57 mg/100 g으로 수산 가공 원료의 선도 한계점인 20 mg/100 g보다 적은 양의 TVB-N이 검출되었다. 관능평가 및 TMA 함량 측정 결과에서 저장 6일차에서는 부패 초기단계이며 9일차 이후로는 이미 부패한 것으로 판단되었으나 TVB-N 함량은 9일차에서 25.66 mg/100 g으로 보통 선도의 어육단계에서 부패 초기단계로 진행되는 수준으로 검출되었다. 이는 다른 화학적 품질 지표와 마찬가지로 어중에 따라 기준 범위와 실제 함량의 차이가 있을 수 있음을 보여준다. 따라서 갈치의 경우에는 일반적으로 알려진 TVB-N의 부패 기준 범위에는 적합하지 않은 것으로 보인다.

사 사

이 논문은 2019년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(과제명: 미래수산식품 연구센터).

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. In: Association of Official Analytical Chemists. 17th ed. Washington DC, U.S.A.
- Bernardi DC, Mársico ET and de Freitas MQ. 2013. Quality index method (QIM) to assess the freshness and shelf life of fish. *Braz Arch Biol Technol* 56, 587-598. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132013000400009>.
- Erkan N and Özden Ö. 2008. Quality assessment of whole and gutted sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice. *Int J Food Sci Tech* 43, 1549-1559. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01579.x>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO, Roma, Italy, 1-210.
- Jeong IA. 2011. Secrets of ingredients made by nature. Book 21, Seoul, Korea, 126-127.
- KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2002. Official book for food. Korean Food and Drug Administration, Cheongju, Korea, 221-222.
- Khanum MN, Yamaguchi T, Hiroishi S, Muraoka F, Takamura H and Matoba T. 1999. Radical-scavenging activities of fish and fishery products. *Food Sci Technol Res* 5, 193-199. <https://doi.org/10.3136/fstr.5.193>.
- Kim CH and Nam JO. 2015. A causality analysis of the hairtail price by distribution channel using a vector autoregressive model. *J Fish Bus Adm* 46, 90-107. <https://dx.doi.org/10.12939/FBA.2015.46.1.093>.
- Kim IS. 2004. Food and health. Shinkwang Press, Seoul, Korea, 338.
- Kim JU and Jang YS. 2016. A study on seafood market segmentation by seafood preference and formation process of seafood familiarity market. *J Fish Bus Adm* 47, 1-14. <https://doi.org/10.12939/FBA.2016.47.3.001>.
- Kim JS, Heu MS, Kim HS and Ha JW. 2007. Fundamentals and applications for seafoods. Hyoil Publishing Co., Seoul, Korea, 11-140.
- Kim YM, Choi JW, Lee MK, Kim CR, Jung JH, Park JH, Kim KBWR, Ahn DH, Hong CW, Lee WO, Choi JH, Jang MK and Nam TJ. 2016. Changes in physicochemical indicators in mackerel *scomber japonicus* muscle according to refrigerated storage duration. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 737-742. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0737>.
- Lee SJ, Sung NJ and Kang SK. 2014. Effect of acidic electrolyzed water on the quality improvement of boiled-dried anchovy. *Korean J Food Preserv* 21, 357-364. <http://dx.doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.3.357>.
- Luan L, Fu S, Yuan C, Ishimura G, Chen S, Chen J and Hu Y. 2017. Combined effect of superchilling and tea polyphenols on the preservation quality of hairtail *Trichiurus haumela*. *Int J Food Prop* 20, 992-1001. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1325903>.
- Nam JO and Cho HS. 2018. Estimation of the optimal harvest and stock assessment of hairtail caught by multiple fisheries. *Ocean Polar Res* 40, 237-247. <https://doi.org/10.4217/OPR.2018.40.4.237>.
- Özogul Y, Özyurt G, Özogul F, Kuley E and Polat A. 2005. Freshness assessment of European eel (*anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods. *Food Chem* 92, 745-751. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.035>.
- Park SH, Kim MJ, Kim GU, Choi HD, Park SY, Kim MJ, Kim KBWR, Kim YM, Nam TJ, Hong CW, Choi JH, Jang MK, Lee JW and Ahn DH. 2016. Assessment of quality changes in mackerel *scomber japonicus* during refrigerated storage: Development of freshness indicator. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 731-736. <https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0731>.
- Reddy NR, Schreiber CL, Buzard KS, Skinner GE and Armstrong DJ. 1994. Shelf life of fresh tilapia fillets packaged in high barrier film with modified atmospheres. *J Food Sci* 59, 260-264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb06943.x>.
- Shim SD, Kim DU, An SR, Lee DS, Kim SB, Hong KW, Lee YB and Lee SJ. 2010. Using modeling to predict alaska pollock quality during storage. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 195-204. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.195>.
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK and Hwang IK. 2005. Quality changes of salted and semi-dried mackerel fillets by UV treatment during refrigerated storage. *Korean J Food Preserv* 13, 18-23.
- Wu S. 2019. Effect of *opuntia dillenii* polysaccharide on gelling properties of *trichiurus lepturus* myofibrillar protein. *Int J Biol Macromol* 130, 636-639. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.024>.
- Xue Y, Liu X, Zhang L, Lin D, Xu J and Xue C. 2011. Effects of alginate gel on rheological properties of hair-tail (*Trichiurus lepturus*) surimi. *J Ocean Univ China* 10, 191-196. <https://doi.org/10.1007/s11802-011-1752-2>.
- Zhang Y, Wei H, Zhang Q, Yang W, Xu D and Lou Y. 2015. Application of Response surface methodology to optimize extraction of protein from *trichiurus lepturus* surimi wash-water by sodium alginate. *J Nucl Agric Sci* 29, 1344-1350.