

# 국내 김 양식종 참김(*Pyropia tenera*)과 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*)의 일반성분, 무기질 및 아미노산 함량 비교

남지연 · 김보연 · 김찬송 · 이학중 · 황일기 · 황형규 · 허진석\*

국립수산과학원 해조류연구소

## Proximate Composition, Mineral and Amino Acid of Cultivated *Pyropia* Species *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea

Ji Yeon Nam, Bo Yeon Kim, Chan Song Kim, Hak Jeung Lee, Il Ki Hwang, Hyung Kyu Hwang and Jin Suk Heo\*

Seaweed Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Republic of Korea

This study was conducted to compare the nutritional characteristics of *Pyropia tenera* with those of *P. yezoensis*, the predominantly cultivated species in Korea. The proximate composition, mineral content, total amino acids, and free amino acids were analyzed. The results showed that *P. tenera* had higher crude protein content and lower crude fat content than *P. yezoensis*. In terms of mineral composition, *P. tenera* had higher levels of most minerals, including calcium, magnesium, iron, and zinc. Furthermore, essential amino acids, such as leucine, lysine, and valine, as well as free amino acids associated with umami and sweetness, such as glutamic acid, glycine, and alanine, were more abundant in *P. tenera*. These findings indicate that *P. tenera* possesses superior nutritional and functional properties, suggesting its potential for reintroduction into aquaculture and development as a high value-added strain. This study provides fundamental data for the future breeding and industrial utilization of *P. tenera*.

Keywords: *Pyropia tenera*, *Pyropia yezoensis*, Proximate, Mineral, Amino acid

### 서 론

김(*Pyropia* spp.)은 한국을 비롯하여 일본, 중국 등 아시아 지역에서 주로 양식되는 대표적인 수산식물로, 식품 및 산업적 가치가 매우 높은 해조류이다(He et al., 2021; Kim et al., 2022). 이러한 김은 단순한 간식용 식품을 넘어 저렴한 가격 대비 우수한 영양성분을 갖춘 건강식품으로 각광받고 있으며, 한류 식문화 확산과 더불어 K-food의 대표 품목으로 자리매김하고 있다. 이에 따라 김 수출 또한 비약적인 성장을 거듭하고 있는데, 2010년 수출액 1억 달러를 돌파한 이후 2024년에는 9.97억 달러로 연평균 20.9%의 성장률을 보이며 김 수출 10억 달러 성을 앞두고 있다(MOF, 2024). 이러한 김 산업이 안정적이고 지속적으로 발전하기 위해서는 양식 생산성이 향상되어야 할 뿐만 아니라 환경 내성 품종, 기능성 강화 품종(고부가가치 품종) 등 다변화를 위한 연구가 요구된다. 현재 국내 김 양식종은

방사무늬김(*Pyropia yezoensis*), 잇바다돌김(*Pyropia dentata*), 모무늬돌김(*Pyropia seriata*) 3종이며, 과거에는 참김(*Pyropia tenera*) 또한 주요 양식종으로 널리 활용되었으나, 생산성과 번식력에서 우위를 가진 방사무늬김에 밀려 현재는 양식되지 않고 있다(Hwang et al., 2005, 2010). 그러나 참김은 고유의 풍미와 고품질로 인해 고부가가치 종으로 평가되고 있으며(Hwang et al., 2010), 일본에서는 이러한 참김류의 육상 증식 기술을 개발하고자 연구를 진행하고 있다(Kikuchi et al., 2015). 국내에서도 참김의 양식 복원과 활용을 위한 과학적 기반이 마련된다면, 기존 방사무늬김 중심의 생산 구조에서 벗어나 양식 대상종의 다양성과 차별성을 확보하고, 부가가치 향상에 기여할 수 있는 핵심 전략이 될 것으로 기대된다.

김의 종별 영양학적 특성을 밝히고 기능적 가치를 규명하려는 성분분석 및 생리활성 관련 연구는 국내외에서 활발하게 이루어졌다(Dawczynski et al., 2007; Mok et al., 2011; Jung et al.,

\*Corresponding author: Tel: +82. 61. 530. 3908 Fax: +82. 61. 532. 5806

E-mail address: hjs6383@korea.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.2025.0426>

Korean J Fish Aquat Sci 58(4), 426-430, August 2025

Received 23 May 2025; Revised 8 July 2025; Accepted 24 July 2025

저자 직위: 남지연(연구원), 김보연(연구원), 김찬송(연구원), 이학중(연구원), 황일기(연구관), 황형규(소장), 허진석(연구원)

2016a, 2016b; Kang et al., 2018; Baek et al., 2019). 그러나 김의 영양성분은 같은 종이어도 생육시기, 지역, 해황 등의 환경 요인에 따라 변동이 심한 것으로 알려져 있으며(Noda, 1993; Shpigel et al., 1999; Cho et al., 2021), 특히, 참김과 방사무늬김 간의 직접적인 영양성분 비교 연구는 매우 제한적인 실정이다. 참김의 영양학적 가치를 과학적으로 규명하여 방사무늬김과의 차별성을 명확히 하는 것은 향후 참김의 산업적 이용 가능성을 평가하는데 중요한 자료가 될 수 있으며, 이를 위해서는 주요 영양성분에 대한 체계적이고 정량적인 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 동일한 환경의 양식장에서 확보한 참김과 방사무늬김을 대상으로 일반성분, 무기질, 아미노산 함량을 비교하여 참김의 영양학적 특성을 평가하고, 양식 대상종의 다변화와 참김의 산업적 활용을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시료 채취 및 전처리

본 실험에 사용된 시료는 2024년 12월에 인천 선재도의 참김 시험 양식장(37°12'35.80"N, 126°29'58.72"E)에서 채취하였으며, 참김(*P. tenera*)과 방사무늬김(*P. yezoensis*)은 핵 속의 ITS (internal transcribed spacer) DNA 영역에서 각 종의 특이 염기 서열을 분석하여 동정하였다. 시료는 증류수로 세척하여 drying oven (VS-1202D3, Vision Scientific Co., Ltd., Daejeon, Korea)에서 건조시킨 후, 분쇄기(HC-BC23, Hapycall Co., Ltd., Gimhae, Korea)로 분쇄하여 성분 분석에 사용하였다.

### 일반성분

일반성분 분석은 AOAC법 또는 식품공전에 의해 실험하였다(AOAC, 2005; MFDS, 2024). 수분 함량은 상압가열 건조법에 따라 측정하였고, 조지방은 에테르(ether)추출법, 조단백질은 단백질 분석기를 이용하는 방법, 회분은 550°C 고온 회화법, 그리고 탄수화물은 검체 100 g중에서 수분, 조지방, 조단백질, 회분의 양을 감하여 얻은 양으로 표시하였다.

### 무기질 함량

시료의 무기질 분석은 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 칼륨(K), 인(P), 철(Fe), 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 구리(Cu), 망간(Mn)을 대상으로 수행하였다. 분석을 위해 시료 0.5 g, HNO<sub>3</sub> 7 mL, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1 mL를 주입 후 Microwave digestion system (Multiwave PRO; Anton Paar GmbH, Graz, Austria)를 사용하여 습식 분해하였으며, 증류수로 희석한 후 50 mL로 정용하여 분석용액으로 사용하였다(Jung et al., 2016a). 무기질 정량은 Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES, Avio 500; Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하여 유도 결합플라즈마 방출분석법으로 분석하였으며, 분석 조건은 RF

power 1500W, argon gas, pump speed 2.5 rpm, nebulizer flow 0.7 L/min이었다.

### 아미노산 함량

아미노산은 구성아미노산과 유리아미노산을 분석하였으며, 모두 아미노산 자동분석기(L-8900; HITACHI, Tokyo, Japan)를 사용하여 수행하였다. 분석에는 이온교환 컬럼(Hitachi custom ion exchange resin, 4.6 mm×60 mm)을 사용하였다.

구성아미노산 분석을 위해 건조 시료 0.5 g에 6 N HCl 10 mL을 첨가한 후 즉시 밀봉하여 105°C drying oven (VS-1202D3; Vision Scientific Co., Ltd.)에서 22시간 동안 가수분해하였다. 가수분해된 시료는 실온에서 방냉 후 증류수로 정용하여 혼합하고, 이 중 1 mL을 취하여 증류수로 재정용한 후 PTFE membrane filter (0.2 μm)로 여과하여 분석용액으로 사용하였다(MFDS, 2024). 분석 조건은 검출 파장 570 nm, 440 nm, column flow는 0.999 mL/min이었다.

유리아미노산 분석을 위해 시료 1 g에 16% 삼염화초산(trichloroacetate)용액을 동량 가한 후 15분간 진탕한 뒤, 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하여 상등액을 분석용액으로 사용하였다(MFDS, 2024). 분석 조건은 검출 파장 570 nm, 440 nm, column flow는 Pump1 0.350 mL/min, Pump2 0.300 mL/min, 칼럼온도는 main column 38–70°C, reaction column 135°C이었다.

## 결 과

### 일반성분 함량

참김과 방사무늬김의 일반성분을 분석한 결과는 Table 1에 나타내었다. 건조중량 100 g을 기준으로 비교하였을 때, 조단백은 참김 40.50 g, 방사무늬김 35.40 g으로 참김의 단백질 구성이 더 높게 나타났다. 조지방과 조회분은 각각 참김 0.34 g, 18.00 g, 방사무늬김 3.80 g, 19.70 g으로 방사무늬김이 높은 값을 보였으며, 탄수화물은 참김 33.16 g, 방사무늬김 31.80 g으로 참김에 더 많이 함유되어 있었다. 영양성분 중 조단백과 탄수화물은 참김이 방사무늬김에 비해 높았으며, 조지방, 조회분, 수분 함량은 방사무늬김이 더 높게 나타났다.

Table 1. Proximate composition of *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea

	(g/100 g dry laver)	
	<i>Pyropia tenera</i>	<i>Pyropia yezoensis</i>
Moisture	8.00	9.30
Crude protein	40.50	35.40
Crude lipid	0.34	3.80
Crude ash	18.00	19.70
Carbohydrate	33.16	31.80

## 무기질 함량

참김과 방사무늬김의 무기질 조성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 주요 무기질은 K, Na, P, Mg, Ca로 분석한 무기질 중 이들 무기질 함량이 99% 이상을 차지하였으며, 그 중 K이 가식부 100 g 당 각각 2,916.2, 5,213.7 mg으로 가장 많았고, 방사무늬김에서 높게 나타났다. 미량 무기질 중에서는 Fe가 9.0–25.0 mg/100 g으로 가장 풍부하였으며, 참김이 방사무늬김에 비해 2.5배 이상 높게 나타났다.

## 아미노산 함량

참김과 방사무늬김의 구성아미노산 함량은 Table 3에 나타내었다. 총 구성아미노산의 함량은 참김 34,438.5 mg/100 g, 방사무늬김 27,245.8 mg/100 g으로 참김이 더 높게 나타났으며, 이는 참김의 조단백이 40.50 g/100 g으로 방사무늬김(35.40 g/100 g)보다 높았던 것과 유사한 경향이였다(Table 1). 참김과 방사무늬김의 주요 구성아미노산은 alanine, glutamic acid, aspartic acid, leucine 순으로 나타났으며, 모두 참김에서 높은 함량을 보였고, 필수아미노산(leucine, isoleucine, lysine, threonine, valine 등) 또한 참김 12,307.5 mg/100 g, 방사무늬김 10,759.2 mg/100 g으로 참김에서 높게 나타났다. 총 아미노산에 대한 필수아미노산의 비율은 35.74–39.49%였다.

참김과 방사무늬김의 유리아미노산 함량은 Table 4에 나타내었다. 참김에서는 27종의 유리아미노산이 검출되었으며, 그 중 alanine이 1,460.2 mg/100 g (45.63%)으로 가장 풍부하게 함유되어 있었다. 그 다음으로는 taurine과 glutamic acid가 각각 855.5 mg/100 g (26.73%), 253.7 mg/100 g (7.93%)으로 높은 값을 보였다. 방사무늬김의 경우 23종의 유리아미노산이 검출되었으며, 그 중 taurine (453.2 mg/100 g, 46.55%)이 가장 높았고, 그 뒤로 alanine (314.7 mg/100 g, 32.33%), glutamic acid (65.8 mg/100 g, 6.76%) 순이었다.

Table 2. Mineral composition of *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea

	(mg/100 g dry laver)	
	<i>Pyropia tenera</i>	<i>Pyropia yezoensis</i>
K	2,916.2	5,213.7
Na	2,712.6	2,697.1
P	622.2	494.1
Mg	410.2	403.8
Ca	143.1	102.9
Fe	25.0	9.0
Zn	3.2	2.4
Mn	2.7	1.5
Cu	0.5	0.6

## 고 찰

본 연구에서는 참김과 방사무늬김의 일반성분, 무기질, 구성 아미노산 및 유리아미노산 함량을 비교 분석하였다. 일반성분 분석 결과, 조단백질 함량은 참김에서 40.50 g/100 g, 방사무늬김에서 35.40 g/100 g으로 참김이 더 높은 값을 나타냈다. 단백질 함량은 김의 품질과 밀접한 관련이 있는데, Lee et al. (1987)은 단백질 함량이 높고 탄수화물이 적게 함유될수록 김의 품질 등급이 우수하다고 보고하였다. 또한, 단백질은 체내에서 항염증, 항산화, 항종양 등의 기능성을 보인다고 알려져 있다 (Thiviya et al., 2022). 본 연구의 참김 단백질 함량은 방사무늬김뿐만 아니라 돌김류에 비해서도 높게 확인되어(Baek et al., 2019; Cho et al., 2021), 참김이 고단백 건강식 소재로서 활용 가치가 높을 것으로 사료된다.

무기질 분석 결과, 김에 함유된 주요 무기질(K, Na, P, Mg, Ca)은 분석한 전체 무기질 함량의 대부분을 차지하였으며(Kim et al., 2014; Baek et al., 2019; Kim et al., 2021), 본 연구에서는 K를 제외한 주요 무기질이 참김에서 더 높게 나타났다. 무기질 함량은 지역, 채취시기에 따라 차이가 있으나, 참김의 무기질 함량은 방사무늬김, 돌김류에 비해 높은 값을 보였다(Cho et al., 2021; Kim et al., 2021). Rupérez (2002)는 해조류의 무기질이 뼈 건강, 혈압 조절, 산화 방지 등 다양한 생리활성에 기여

Table 3. Total amino acid contents of *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea

	(mg/100 g dry laver)	
	<i>Pyropia tenera</i>	<i>Pyropia yezoensis</i>
Threonine	2,111.0	1,725.7
Valine	1,854.5	1,582.8
Methionine	298.0	450.2
Isoleucine	1,175.2	1,096.5
Leucine	2,760.9	2,438.3
Phenylalanine	1,384.9	1,245.4
Histidine	432.8	395.6
Lysine	2,290.2	1,824.7
Total EAA	12,307.5	10,759.2
Aspartic acid	3,344.3	2,897.4
Serine	2,019.6	1,670.8
Glutamic acid	4,230.8	3,096.8
Proline	1,617.3	1,286.6
Glycine	2,039.7	1,840.9
Alanine	5,853.3	3,127.6
Tyrosine	960.2	865.5
Arginine	2,065.8	1,701.0
Total AA	34,438.5	27,245.8

EAA, Essential amino acid; AA, Amino acid.

Table 4. Free amino acid contents of *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea

	(mg/100 g dry laver)	
	<i>Pyropia tenera</i>	<i>Pyropia yezoensis</i>
Phosphoserine	33.5	17.9
Taurine	855.5	453.2
Aspartic acid	74.4	14.1
Threonine	56.5	5.1
Serine	13.5	2.8
Glutamic acid	253.7	65.8
Proline	58.6	-
Glycine	32.4	23.5
Alanine	1,460.2	314.7
Citulline	91.0	4.6
α-Aminobutyric acid	6.0	1.1
Valine	58.0	8.0
Cystine	3.4	0.8
Methionine	3.8	1.6
Cystathionine	3.2	-
Isoleucine	24.9	3.6
Leucine	26.3	6.0
Tyrosine	15.7	3.4
Phenylalanine	16.4	4.0
β-Alanine	9.1	6.9
γ-Amino-n-butyric acid	28.6	25.2
Histidine	5.1	1.2
Ornithine	13.3	-
Lysine	21.5	4.1
Sarcosine	15.9	-
Ethanolamine	4.0	2.7
Arginine	15.8	3.2

한다고 보고한 바 있으며, 특히 현대인의 식단에서 섭취가 부족한 영양소로 알려져 있는 Ca, Fe, Zn이 참김에 다량 함유되어 있어 무기질 보충원으로서 활용될 수 있을 것으로 보인다(Mok et al., 2011).

일반적으로 김은 alanine, aspartic acid, glycine 등과 같은 중성 및 산성 아미노산이 많다고 알려져 있다(Kim et al., 2014; Baek et al., 2019). 본 연구에서도 구성아미노산 중 alanine, glutamic acid, aspartic acid, leucine의 함량이 높았으며, 특히 leucine, isoleucine, lysine, threonine, valine 등과 같은 필수아미노산은 참김이 방사무늬김에 비해 높게 나타났다. 필수아미노산은 체내에서 합성되지 않아 식이 공급이 필요하며, 단백질 합성 및 면역 기능을 유지하기 위한 중요한 조절인자로 작용하는 것으로 알려져 있다(Kimball and Jefferson, 2006; Li et

al., 2007). 또한, 유리아미노산은 핵산 관련물질과 상호작용하여 식품의 풍미를 형성하며, glycine, alanine, threonine은 단맛, leucine, isoleucine, methionine, phenylalanine, lysine은 쓴맛, aspartic acid는 신맛, glutamic acid는 감칠맛을 제공한다(Ruiz-Capillas and Moral, 2001; Mouritsen et al., 2019). 본 연구에서 참김은 방사무늬김에 비해 alanine, glutamic acid, aspartic acid, threonine, glycine 등 맛에 관여하는 유리아미노산의 함량이 높게 나타났다. 이러한 결과는 참김이 방사무늬김에 비해 단맛과 감칠맛에서 더 우수할 가능성을 시사하며, 기호성 측면에서 산업적 활용 가치가 클 것으로 판단된다.

결론적으로 참김은 방사무늬김에 비해 조단백질의 함량이 높고 조지방은 낮게 나타나 전반적인 단백질원으로서의 우수성을 보였으며, 무기질과 구성아미노산 분석에서도 대부분의 성분에서 참김이 방사무늬김에 비해 높게 나타났다. 또한, 인체 필수 무기질 중 일반적으로 섭취가 부족한 Ca, Fe, Zn 등과 같은 무기질과 인체 내에서 합성되지 않아 음식물로부터 섭취해야만 하는 leucine, isoleucine, lysine, threonine 등과 같은 필수 아미노산이 다량 함유되어 있는 것을 확인하였다. 유리아미노산 중에서는 감칠맛과 단맛에 관여하는 glutamic acid, glycine, alanine 등이 참김에서 높은 수준으로 분석되었다. 이러한 결과는 산업적 측면에서 참김이 우수한 영양학적 특성을 바탕으로 고품질 김밥용 김, 프리미엄 스낵김, 김 파우더를 활용한 조미료 및 가공식품, 기능성 건강식품의 소재 등 다양한 부가가치 제품 개발에 활용할 수 있음을 시사한다. 또한, 최근 김 육상양식 기술 연구에 대한 수요가 증가하고 있는 가운데, 고부가가치 김 생산 등 경제성을 확보할 수 있는 적합종으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물연구원 해조류연구소 「김 우량품종 개발 및 산업화 연구, R2025021」 과제의 일환으로 수행되었습니다.

## References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis. 18th ed. AOAC, Washington D.C., U.S.A.

Baek SY, Kim SJ, Kim DH and Kim MR. 2019. Comparison of quality characteristics and antioxidant activities between *Porphyra yezoensis* and *Porphyra dentata* in Korea. J Korean Soc Food Sci Nutr 48, 1233-1243. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2019.48.11.1233>.

Cho BM, Lee YJ, Park JW, Park IB, Cho JY and Moon JH. 2021. Constituents and antioxidant activities of lavers (*Pyropia* spp.) bred at the southwestern coastal area of Korea. Korean J Food Sci Technol 53, 669-681. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.6.669>.

- Dawczynski C, Schubert R and Jahresis G. 2007. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chem* 103, 891-899. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.041>.
- He B, Niu J, Xie X and Wang G. 2021. Development of free-living sporangial filaments regulated by light and culture density in *Neopyropia yezoensis*. *Algal Res* 58, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102378>.
- Hwang MS, Kim SM, Ha DS, Baek JM, Kim HS and Choi HG. 2005. DNA sequences and identification of *Porphyra* cultivated by natural seeding on the southwest coast of Korea. *Algae* 20, 183-196. <https://doi.org/10.4490/AL-GAE.2005.20.3.183>.
- Hwang MS, Kim SO, Lee YS, Park EJ, Kim SC, Ha DS, Gong YG, Baek JM and Choi HG. 2010. Isolation and characterization of pure lines of pigmentation and morphological mutants in *Porphyra tenera* Kjellman (Bangiales, Rhodophyta). *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 495-502. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.495>.
- Jung SM, Kang SG, Lee HJ, Son JS, Jeon JH and Shin HW. 2016a. Proximate composition and mineral content, amino acid of laver based on culture areas. *Korean J Environ Ecol* 30, 98-103. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2016.30.1.098>.
- Jung SM, Kang SG, Son JS, Jeon JH, Lee HJ and Shin HW. 2016b. Temporal and spatial variations in the proximate composition, amino acid, and mineral content of *Pyropia yezoensis*. *J Appl Phycol* 28, 3459-3467. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0862-z>.
- Kang MG, Jeong MC, Park SK, Lee JW, Cho JH, Eom SH, Huh MK and Kim YM. 2018. Analysis of seasonal and regional changes in major food components of raw laver *Pyropia* sp. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 510-517. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0510>.
- Kikuchi N, Nakada T and Niwa K. 2015. Proposals of a new combination and a valid name for two Bangiales taxa (Rhodophyta) used for nori cultivation in Japan. *J Jpn Bot* 90, 380-385.
- Kimball SR and Jefferson LS. 2006. Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. *J Nutr* 136, 227S-231S. <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.227S>.
- Kim HS, Choi HG, Hwang MS, Jeon YJ, Yarish C and Kim JK. 2022. Concise review of the genus *Neopyropia* (Rhodophyta: Bangiales). *J Appl Phycol* 34, 1805-1824. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02776-1>.
- Kim KW, Hwang JH, Oh MJ, Kim MY, Choi MR and Park WM. 2014. Studies on the major nutritional components of commercial dried lavers (*Porphyra yezoensis*) cultivated in Korea. *Korean J Food Preserv* 21, 702-709. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2014.21.5.702>.
- Kim W, Kim JY, Jeong SJ, Yang HC and Cho JY. 2021. Physicochemical characteristics and antioxidant activities of laver cultivars harvested at different times. *Korean J Food Preserv* 28, 705-715. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2021.28.6.705>.
- Lee KH, Song SH and Jeong IH. 1987. Quality changes of dried lavers during processing and storage; 1. Quality evaluation of different grades of dried lavers and its changes during storage. *Korean J Fish Aquat Sci* 20, 408-418.
- Li P, Yin YL, Li D, Kim SW and Wu G. 2007. Amino acids and immune function. *Br J Nutr* 98, 237-252. <https://doi.org/10.1017/S000711450769936X>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2024. Korea Food Code. Retrieved from [https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01\\_01.jsp](https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp) on Apr 20, 2025.
- MOF (Ministry of Ocean and Fisheries). 2024. Fisheries Information Portal. Retrieved from <http://www.fips.go.kr/p/main> on Apr 30, 2025.
- Mok JS, Lee TS, Son KT, Song KC, Kwon JY, Lee KJ and Kim JH. 2011. Proximate composition and mineral content of laver *Porphyra yezoensis* from the Korean coast. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 554-559. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0554>.
- Mouritsen OG, Duelund L, Petersen MA, Hartmann AL and Frøst MB. 2019. Umami taste, free amino acid composition, and volatile compounds of brown seaweeds. *J Appl Phycol* 31, 1213-1232. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1632-x>.
- Noda H. 1993. Health benefits and nutritional properties of nori. *J Appl Phycol* 5, 255-258. <https://doi.org/10.1007/BF00004027>.
- Ruiz-Capillas C and Moral A. 2001. Changes in free amino acids during chilled storage of hake (*Merluccius merluccius* L.) in controlled atmospheres and their use as a quality control index. *Eur Food Res Technol* 212, 302-307. <https://doi.org/10.1007/s002170000232>.
- Rupérez P. 2002. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chem* 79, 23-26. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00171-1).
- Shpigel M, Ragg NL, Lupatsch I and Neori A. 1999. Protein content determines the nutritional value of the seaweed *Ulva lactuca* L for the abalone *Haliotis tuberculata* L. and *H. Discus Hannai* Ino. *J Shellfish Res* 18, 227-233.
- Thiviya P, Gamage A, Gama-Arachchige NS, Merah O and Madhujith T. 2022. Seaweeds as a source of functional proteins. *Phycology* 2, 216-243. <https://doi.org/10.3390/phycol2020012>.