

국내산 고동류 5종의 영양성분 분석 및 비타민 분석법의 유효성 검증

박예슬 · 김영상 · 이윤미 · 윤나영 · 양진우^{1*}국립수산물연구원 기후환경연구부 식품안전과공과, ¹국립수산물연구원 남동해수산연구소

Validation of analytical methods for vitamin determination and evaluation of the nutritional composition of five gastropod species

Ye-seul Park, Young-Sang Kim, Yoon-Mi Lee, Na-Young Yoon and Jin-Woo Yang^{1*}

Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹ Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Republic of Korea

In this study, the proximate composition, including fat-soluble vitamins (retinol, tocopherol, and β -carotene) and water-soluble vitamins (vitamins B₁, B₂, and B₃), was analyzed in five gastropod species. The accuracy and precision of the analytical method were evaluated using Standard Reference Material (SRM 1869). The method used to quantify fat-soluble and water-soluble vitamins demonstrated acceptable accuracy (z-scores) and precision in accordance with official validation guidelines. In addition, vitamin recovery rates ranged from 83.4% to 106.2%. Among the five species, *Neptunea cumingii* exhibited the highest retinol content ($3.95 \pm 0.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$), and *Tristichotrochus unicus* showed the highest β -carotene content ($336.82 \pm 0.97 \mu\text{g}/100 \text{ g}$). The highest α -tocopherol content was observed in *Neptunea constricta* ($3.83 \pm 1.36 \text{ mg}/100 \text{ g}$). For the water-soluble vitamins, the highest thiamin and nicotinic acid levels occurred in *Fusinus perplexus* ($20.18 \pm 0.53 \text{ mg}/100 \text{ g}$ and $15.32 \pm 0.00 \text{ mg}/100 \text{ g}$, respectively). The vitamin B₂ content was the lowest in *F. perplexus* ($0.08 \pm 0.00 \text{ mg}/100 \text{ g}$), whereas the other four species showed similar levels, ranging from 0.21 ± 0.00 to $0.35 \pm 0.02 \text{ mg}/100 \text{ g}$. These results provide reliable analytical data on the fat-soluble and water-soluble vitamins in gastropod species.

Keywords: Gastropods, Fat-soluble vitamins, Water-soluble vitamins, Vitamin analysis

서론

최근 국민 소득의 증가와 더불어 건강한 식생활에 대한 관심이 증가하면서 균형 잡힌 영양소 섭취에 대한 관심이 꾸준히 높아지고 있다. 특히 비타민은 생체 내 에너지 대사 및 면역 기능 유지 등에 필수적인 미량영양소로 알려져 있으며, 노화 및 만성 질환 예방에 중요한 역할을 수행한다(Ames, 2006). 지용성 비타민인 비타민 A 및 E는 인체의 항산화 활성 및 면역 기능 등에 관여하며(Youness et al., 2022), 수용성 비타민인 비타민 B군은 체내 에너지 대사 과정에서 조효소로 작용하여 정상적인 생리 기능 유지에 필수적인 역할을 수행한다(Lykstad and Sharma, 2023). 수산물에는 단백질과 불포화지방산을 비롯한 다양한 비타민 및 무기질 성분을 함유한 대표적인 영양 공급원으로 활용되고 있다. 그중 연체동물류(Mollusca)는 전 세계적으로 소비되

는 주요 수산자원으로, 단백질뿐만 아니라 오메가-3 지방산, 타우린, 비타민 등 건강에 유익한 성분을 함유하여 높은 영양학적 가치를 가진다(Oehlenschläger, 2012). 특히 고동류는 해양 생태계의 중요한 구성원일 뿐만 아니라 고단백·저지방 식품으로서도 연구 가치가 크기 때문에 우리나라를 포함한 동아시아 지역에서 식용 및 가공용으로 널리 이용되고 있다(Mansoor et al., 2024). 최근 기능성 식품에 대한 수요 증가와 함께 지속가능한 식량자원으로서 blue protein에 대한 관심이 높아지면서, 해양 생물 유래 영양성분의 가치가 주목받고 있으며 고동류의 영양 성분과 관련한 연구 필요성도 커지고 있다.

지금까지의 연구는 주로 굴, 전복, 홍합 등 주요 패류를 대상으로 일반성분, 지방산 조성, 무기질 함량 등을 분석하는 데 집중되어 왔다(King et al., 1990). 고동류에 대해서도 일부 종에 대한 일반성분 분석이나 독성 성분 규명 연구가 보고된 바 있으나,

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 640. 4764 Fax: +82. 55. 641. 2135

E-mail address: jinwoo1127@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.2026.0429>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 429-439, August 2026

Received 29 May 2026; Revised 8 July 2026; Accepted 29 July 2026

저자 직위: 박예슬(연구원), 김영상(연구사), 이윤미(연구사), 윤나영(연구관), 양진우(연구사)

비타민을 포함한 영양성분의 중간 비교 연구는 매우 제한적이다. 특히 지용성 및 수용성 비타민은 인체 건강 유지에 중요한 역할을 함에도 불구하고, 고동류에서 이에 대한 중간 차이를 밝힌 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 국내 연안에 서식하거나 어획되는 대표적인 5종 고동류, 즉 갈색띠매물고동(*Neptunea cumingii*), 긴고동(*Fusinus perplexus*), 명주매물고동(*Neptunea constricta*), 방석고동(*Tristichotrochus unicus*), 피뿔고동(*Rapana venosa*)을 대상으로 하였다. 이들 종은 형태학적 특징과 서식 환경이 상이하며, 일부는 지역 특산물로 소비되는 반면, 다른 일부는 활용도가 낮거나 침입종으로 분류되기도 한다. 따라서 5종 고동류의 일반성분(수분, 조단백질, 조지방 및 회분)과 비타민(지용성 및 수용성) 함량을 비교 분석함으로써 각 종의 영양학적 특성을 규명하고, 나아가 수산식품으로서의 가치와 산업적 활용 가능성을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 연구에 사용된 고동류는 갈색띠매물고동(*N. cumingii*), 긴고동(*F. perplexus*), 명주매물고동(*N. constricta*), 방석고동(*T. unicus*), 피뿔고동(*R. venosa*)이며, 긴고동은 2019년 3월 삼천포, 방석고동은 2019년 3월 완도, 명주매물고동과 갈색띠매물고동은 2021년 3월 포항, 피뿔고동은 2021년 4월 여수에서 각각 구입하였다. 각 시료의 가식부율은 긴고동 19.84%, 명주매물고동이 54.30%, 갈색띠매물고동이 49.50%, 방석고동이 40.74%, 피뿔고동이 38.50%이다. 모든 시료는 탈각한 후 패육을 마쇄하였으며, -80°C 심온고에 보관하여 분석에 사용하였다. 본 연구에 사용한 레티놀 및 비타민 B₂ 표준품은 Sigma-Aldrich Co. (St. Louis, MO, USA), 베타카로틴 및 토코페롤 표준품은 Merck KGaA (Darmstadt, Germany)에서 구매하였으며, 추출 및 분석 시 사용된 시약은 HPLC 등급 이상을 구입하여 사용하였다. 분석법의 정확성 검증을 위해 사용된 표준인 증물질(standard reference materials, SRM 1869)은 National Institute of Standards and Technology (NIST, Gaithersburg, MD, USA)에서 구입하였다.

일반성분 분석

일반성분은 AOAC (2016) 방법에 따라 분석하였다. 분석에 사용된 시료는 패각 등의 비가식부를 제거하여 가식부만을 분리한 후 믹서기를 이용해 균질화하였으며, 이를 일반성분 분석에 사용하였다. 수분은 상압가열건조법을 이용하여 측정하였다. 시료를 건조기(VENTICELL® 222; MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, Planegg, Germany)에서 105°C로 향량이 될 때까지 건조한 후, 건조 전후의 중량 차이를 이용하여 수분 함량을 산출하였다. 조단백질은 켈달법(Kjeldahl method)에

따라 자동 질소분석기(Kjeltec™ 8400 Analyser; FOSS Analytical A/S, Hillerød, Denmark)를 이용하여 총 질소 함량을 측정 후, 질소-단백질 환산계수 6.25를 적용하여 산출하였다. 조지방은 속슬렛 추출법을 이용하여 용매 추출기(Soxtec 2043; FOSS Analytical A/S)로 에테르를 사용하여 추출한 후, 용매를 제거하고 잔류 지방의 무게를 측정하여 함량을 산출하였다. 회분은 시료를 도가니에 취하여 회화로(TMF-4200; Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)에서 550°C로 회화하여 향량이 될 때까지 처리한 후, 잔류 무기물의 무게를 측정하여 함량을 산출하였다. 모든 분석은 3회 반복 수행하였으며, 결과는 평균 ± 표준편차로 나타내었다.

알칼리 검화

균질화된 시료 5 g을 추출관에 취한 후, 6% pyrogallol in ethanol 용액을 10 mL 첨가하고 초음파 추출기(Branson Ultrasonics Corporation, Brookfield, CT, USA)로 10분간 추출하였다. 추출관에 60% KOH 용액을 8 mL 첨가한 후 20초간 질소를 주입하여 공기를 치환시켰다. 다음으로 75°C, 100 rpm 조건의 shaking water bath (LSB-045S; Daihan Labtech Co., Ltd., Namyangju, Korea)에서 1시간 동안 검화하였다. 반응이 끝난 후 충분히 냉각시킨 추출관에 2% NaCl 용액 20 mL와 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol (BHT)가 포함(0.01%)된 hexane:ethyl acetate=85:15, v/v 10 mL를 첨가하여 2분간 충분히 혼합한 후 hexane층이 완전히 분리되도록 10분간 방치하였다. 상층액은 sodium sulfate anhydrous가 채워진 유리관에 통과시켜 잔여 수분을 제거한 후 50 mL 정용 플라스크에 수집하였다. 이 추출 과정은 4회 반복하였고 50 mL로 정용하여 잘 혼합한 후 비타민 함량 분석에 사용하였다.

레티놀 및 베타카로틴 분석

레티놀과 베타카로틴 분석은 Kim et al. (2022)의 방법에 따라 동시분석하였다. 레티놀 분석을 위해 sonication 법으로 추출한 추출액 2 mL를 시험관에 취해 질소로 용매를 완전히 제거하고, hexane을 1 mL 가하여 재용해하고 0.2 µm PTFE syringe filter (Whatman, Cytiva, Marlborough, MA, USA)로 여과한 후 high performance liquid chromatography (HPLC, e2695; Waters Corporation, Milford, MA, USA)를 이용하여 분석하였으며, HPLC 분석조건은 Table 1에 제시하였다. 베타카로틴 분석은 추출액 5 mL를 시험관에 취해 질소로 용매를 완전히 제거하고, acetonitrile과 chloroform 혼합 용액(6:4, v/v)을 1 mL 가하여 재용해한 후 0.2 µm syringe filter (Whatman PTFE; Cytiva)로 여과한 후 HPLC (e2695; Waters Corporation)를 이용하여 분석하였으며, HPLC 분석조건은 Table 1에 제시하였다.

토코페롤 분석

토코페롤 분석은 Kim et al. (2022)의 방법에 따라 분석하였다. 토코페롤 분석을 위해 알칼리 검화법으로 추출한 추출액

1 mL를 시험관에 취해 질소로 용매를 완전히 제거하고, hexane을 1 mL 가하여 재용해한 후 0.2 µm PTFE syringe filter (Whatman, Cytiva)로 여과한 후 HPLC (e2695; Waters Corporation)를 이용하여 분석하였으며, HPLC 분석조건은 Table 1에 제시하였다.

비타민 B₁ 및 B₃ 분석

비타민 B₁ 분석은 Jeong et al. (2021)의 방법에 따라 분석하였다. 균질화된 시료 5 g을 conical tube에 취한 후, 5 mM sodium hexanesulfonate buffer를 25 mL 첨가하고 40°C 조건에서 30분간 초음파 추출하였다. 이후 15분간 14,800×g으로 원심분리한 후 filter paper (Whatman 110 mm; Cytiva)로 상층액을 여과하였다. 이를 50 mL로 정용한 뒤 0.2 µm syringe filter (Whatman PVDF; Cytiva)로 여과한 후 HPLC (e2695; Waters Corporation)를 이용하여 분석하였으며, HPLC 분석조건은 Table 1에 제시하였다.

비타민 B₂ 분석

비타민 B₂ 분석은 Jeong et al. (2021)의 방법에 따라 분석하였다. 균질화된 시료 3 g을 conical tube에 취한 후, HPLC water를 10 mL 첨가하고 상온에서 10분간 초음파 추출하였다. 20 mL의 water를 추가로 첨가한 후 80°C, 100 rpm의 조건에서 15분간 반응하였다. 이후 냉각시킨 뒤 12,000 rpm에서 15분간 원심분리하였다. 분리된 상층액을 0.2 µm syringe filter (Whatman PVDF; Cytiva)로 여과한 후 ultra performance li-

quid chromatography (UPLC, ACQUITY UPLC H-Class Plus; Waters Corporation)를 이용하여 분석하였으며, UPLC 분석조건은 Table 1에 제시하였다.

분석법 검증

지용성 및 수용성 비타민의 분석법 검증을 위해 AOAC 분석법 검증 가이드라인(AOAC, 2016)에 따라 직선성(linearity)과 정확성(accuracy), 정밀성(precision)을 확인하였다. 각 성분의 직선성은 각각의 표준용액을 단계적으로 희석한 후, 각 농도에 대해 3회 반복하여 HPLC로 분석함으로써 평가하였다. 표준용액에 대한 피크 면적과 농도를 변수로 하여 검량선(calibration curve)을 작성하였으며, 작성된 검량선의 상관계수(R²) 값을 이용하여 직선성의 유효성을 확인하였다. 분석법 검증을 위한 검출한계(limit of detection, LOD) 및 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 공시험액(blank)을 HPLC로 분석하여 얻은 signal-to-noise (S/N) 비를 이용하여 산출하였다. 각 성분의 peak로부터 얻은 S/N 값의 평균에 표준편차의 3배 및 10배를 각각 적용하여 LOD와 LOQ를 계산하였다. 정확성은 NIST에서 구입한 표준인증물질 SRM 1869를 사용하여 평가하였다. SRM 1869의 지용성 및 수용성 비타민의 함량을 분석한 후, NIST에서 제시한 인증값(certified value)과 분석값(analytical value)을 비교하여 회수율(recovery, %) 및 z-score를 산출하였다. 분석법의 정밀성(precision) 또한 SRM 1869를 시료로 사용하여 평가하였다. 반복성(repeatability)은 동일한 조건에서 하루에 5회 반복 분석하여 평가하였으며, 그 결과를 상대표준편차

Table 1. Analysis conditions for the determination of retinol, tocopherols, β-carotene, and water-soluble vitamins (B₁, B₂, and B₃)

	Retinol and tocopherols	β-carotene			Vitamin B ₁ and B ₃			Vitamin B ₂		
Instrument	HPLC (e2695; Waters Corporation, Milford, MA, USA)				UPLC (ACQUITY UPLC H-Class Plus; Waters Corporation, Milford, MA, USA)					
Column	Merck Lichrosorb 100 Diol	CAPCELL PAK C ₁₈			YMC Pack ODS-AM			Acquity UPLC BEH C ₁₈		
Detector	FLR detector	PDA detector			UV detector			FLR detector		
Flow rate	1.0 mL/min and 0.6 mL/min	1.0 mL/min			1.0 mL/min			0.1 mL/min		
Injection volume	20 μL	20 μL			50 μL			10 μL		
Column temperature	25°C	25°C			25°C			25°C		
Mobile phase	Retinol:5% isopropanol in hexane Tocopherol:1.3% isopropanol in hexane	Time (min)	A	B	Time (min)	A	B	Time (min)	A	B
		0–3.5	100	0	0–20	100	0	0–20	75	25
		3.5–22.0	0	100	20–35	50	50			
		22.0–28.5	0	100	35–45	100	0			
		28.5–30.0	100	0	45–55	100	0			
		30.0–40.0	100	0	A:5 mM sodium hexane sulfonate solution:acetic acid:trimethylamine=1 L:7.5 mL:200 μL B:methanol			A:10 mM NaH ₂ PO ₄ B:methanol		
		A:acetonitrile:methanol:di-chloromethane=70:20:5 (v/v/v) B:acetonitrile:methanol:di-chloromethane=70:10:30 (v/v/v)								

HPLC, High performance liquid chromatography; UPLC, Ultra performance liquid chromatography; FLR, Fluorescence; PDA, Photodiode array; UV, Ultraviolet; A and B, mobile phase solvents A and B.

(relative standard deviation, RSD_r) 값으로 나타내었다. 재현성(reproducibility)은 동일 시료를 대상으로 5일 동안 반복 분석하여 평가하였고, 분석 결과의 상대표준편차(RSD_r) 값을 이용하여 나타내었다. 각 결과는 RSD (relative standard deviation, %)로 산출하여 분석법의 정밀성을 확인하였다.

분석품질관리(QC chart)

지용성 및 수용성 비타민의 분석 품질관리를 위해 SRM 1869를 내부 품질관리 시료로 사용하여 품질관리도표(quality control, QC chart)를 작성하였다. 본 연구 수행 기간 동안 품질관리 시료를 반복 분석하여 표준편차 5% 이내에 포함되는 10개의 데이터 값을 산출한 후, 이들의 평균값과 표준편차를 QC chart 작성을 위한 기준값으로 선정하였다. 품질관리도표의 관리상한선(upper control line, UCL)과 관리하한선(lower control line, LCL), 조치상한선(upper action line, UAL) 및 조치하한선(lower action line, LAL)은 AOAC 분석법 검증 가이드라인(AOAC, 2016)에 따라 계산하여 설정하였다. 또한 시료 분석 기간 동안 내부 품질관리 시료를 지속적으로 분석하여 QC chart를 작성함으로써 비타민 분석의 품질관리가 주기적으로 이루어지도록 하였다.

통계처리

비타민 및 일반성분의 분석 결과는 IBM SPSS Statistics (version 20.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 통계처리하였으며, 시료 간 유의성 검증은 Duncan's multiple range test ($P < 0.05$)를 실시하여 확인하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

지용성(레티놀, 베타카로틴 및 토코페롤) 및 수용성 비타민(B₁, B₂ 및 B₃)의 분석법 검증을 위해 직선성, 정확성, 정밀성을 평가하여 Table 2에 나타내었다. 직선성은 5-7개 농도 수준의 표준용액을 제조하여 각 3회 이상 반복 분석 후 검량선을 작성하여 평가하였다. 모든 분석 성분의 상관계수(R²)는 0.9997-1.0000 범위를 나타내어 본 분석법이 우수한 직선성을 확보하고 있음을 확인하였다(Table 2).

레티놀과 α -, β -, γ -, δ -토코페롤은 fluorescence detector (FLR detector)를 사용하여 분석하였으며 LOD는 각각 0.0086 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 0.0115 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0035 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0274 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0112 $\text{mg}/100\text{ g}$, LOQ는 각각 0.0261 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 0.0350 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0106 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0831 $\text{mg}/100\text{ g}$, 0.0341 $\text{mg}/100\text{ g}$ 으로 나타났다. FLR detector를 사용하여 레티놀을 분석한 Shim et al. (2012)은 LOD, LOQ값이 각각 1.48 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 4.50 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이라 보고하였다. 이에 비해 본 연구에서 적용된 분석법의 LOD와 LOQ는 약 45-74배 낮은 값을 나타내어, 수산 자원 및 식품에 함유된 미량 레티놀을 ppb 수준의 저농도에서도 정밀하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, Shim et al. (2012)은 토코페롤의 LOD가 0.0001-0.0041 $\text{mg}/100\text{ g}$ 수준이라고 보고하였으며, 본 연구에서 분석된 토코페롤 함량은 제시된 LOD 및 LOQ 값보다 충분히 높은 수준으로 나타나 신뢰성 있는 정량이 가능한 것으로 판단된다. 이러한 차이는 분석기기의 성능, 컬럼 특성 등의 분석조건 차이에 기인한 것으로 사료되며, 본 연구에서는 Merck Lichrosorb 100 Diol 컬럼을 사용한 반면, Shim et al. (2012)은 reversed-phase 기반의 RP-C18 UPLC 컬럼을 사용하여 분석을 수행하는 등 컬럼 특성의 차이가 있었기 때문으로 판단된다. Bell et al. (2014)은 fluorescence detection이 높은 sensitivity와 selectivity를 제공하며, chromatographic separation efficiency 향상에 의해 낮은 수준의 검출이 가능하다고 보고하였다. 또한 Armbruster and Pry

Table 2. Linearity and limits of detection and quantification for fat-soluble vitamin and water-soluble vitamin analyses

		Linear equation ($y=ax+b$)	Correlation of linearity (R^2)	LOD ¹⁾	LOQ ²⁾
Retinol ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		$y=1,804,343.1x-2,584.4$	1.0000	0.0086	0.0261
β -carotene ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)		$y=80,282.1x-7,725.4$	0.9999	0.3297	0.9991
Tocopherols ($\text{mg}/100\text{ g}$)	α -tocopherol	$y=12,889,800x-894,675$	0.9997	0.0115	0.0350
	β -tocopherol	$y=18,984,555x-674,406$	0.9998	0.0035	0.0106
	γ -tocopherol	$y=14,016,343x-374,465$	0.9999	0.0274	0.0831
	δ -tocopherol	$y=23,566,613x-293,360$	1.0000	0.0112	0.0341
Vitamin B ₁ ($\text{mg}/100\text{ g}$)	Thiamin	$y=62,258x-4,471$	0.9997	0.0192	0.0580
	FAD ³⁾	$y=12,311,757x-202,165$	1.0000	0.0123	0.0371
Vitamin B ₂ ($\text{mg}/100\text{ g}$)	FMN ⁴⁾	$y=44,511,352x-97,311$	1.0000	0.0055	0.0167
	Riboflavin	$y=45,540,731x-772,360$	0.9997	0.0381	0.1155
Vitamin B ₃ ($\text{mg}/100\text{ g}$)	Nicotinic acid	$y=56,163x+4,501$	1.0000	0.0147	0.0444
	Nicotinamide	$y=57,674x+2,314$	1.0000	0.0462	0.1400

¹⁾ LOD, Limit of detection; ²⁾ LOQ, Limit of quantification; ³⁾ FAD, Flavin adenine dinucleotide; ⁴⁾ FMN, Flavin mononucleotide.

(2008)는 LOD 및 LOQ가 signal-to-noise ratio와 분석 시스템의 성능에 영향을 받는다고 설명하였다. 따라서 본 연구의 분석법은 레티놀 및 토코페롤 분석에 있어 우수한 감도를 가지는 것으로 판단된다.

HPLC-photodiode array detector (PDA)를 사용하여 분석한 베타카로틴의 LOD와 LOQ는 각각 0.3297 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 0.9991 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 으로 나타났다. Andrés et al. (2014)은 HPLC-PDA를 사용하여 베타카로틴을 분석하였으며, 이때의 LOD와 LOQ는 각각 5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, 7 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이라고 보고하였다. 이에 비해 본 연구에서 사용된 분석법의 LOD와 LOQ는 약 7–16배 낮게 나타나, 수산 자원 및 식품에 함유된 미량의 베타카로틴을 보다 낮은 농도 수준까지 정밀하게 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 차이는 분석기기의 성능, 이동상 조성, gradient 조건 등의 분석조건 차이에 기인한 것으로 사료된다. Andrés et al. (2014)의 분석에서는 methanol, tetrahydrofuran 및 water가 이동상 용매로 사용된 반면, 본 연구에서는 methanol, acetonitrile 및 dichloromethane을 사용하여 분석하였기 때문에 이동상의 분리 특성에 차이가 있었던 것으로 판단된다. Tetrahydrofuran은 베타카로틴의 용해도 및 선택성을 향상시켜 분리 효율 향상에 기여하는 반면, dichloromethane은 높은 용출력을 통해 고소수성 carotenoid의 retention time 감소에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 이동상에 사용된 유기용매의 종류 및 조성 차이가 베타카로틴의 분리 특성과 검출감도에 영향을 미친 것으로 판단된다. Snyder et al. (2010)은 HPLC 분석에서 chromatographic separation efficiency와 baseline noise 수준이 검출감도에 직접적인 영향을 미친다고 보고하였으며, Dong (2006)은 PDA detector를 이용한 분석에서 최적화된 chromatographic condition이 peak resolution 및 sensitivity 향상에 기여한다고 설명하였다. 따라서 본 연구에서 적용된 분석법은 베타카로틴 분석에 있어 우수한 감도와 신뢰성을 가지는 것으로 판단된다.

수용성 비타민의 경우 UV detector로 분석한 thiamin의 LOD와 LOQ는 각각 0.0192 mg/100 g과 0.0580 mg/100 g이었으며, nicotinic acid와 nicotinamide의 LOD는 각각 0.0147 mg/100 g과 0.0462 mg/100 g, LOQ는 각각 0.0444 mg/100 g과 0.1400 mg/100 g으로 검출되었다. 이는 Yoon et al. (2019)이 보고한 thiamin, nicotinic acid 및 nicotinamide의 LOD (각각 0.0951, 0.0190, 0.0361 mg/100 g)와 LOQ (각각 0.1904, 0.0284, 0.0732 mg/100 g)와 유사한 수준이었다. 이러한 차이는 분석기기의 성능, 시료 전처리 방법 등의 분석조건 차이에 기인한 것으로 판단된다. Jeong et al. (2021)과 동일한 HPLC-DAD 및 FLD 분석법을 적용하였음에도 불구하고 분석값에 차이가 나타난 것은 시료의 종류 및 matrix 특성 차이에 기인한 것으로 판단된다. 수용성 비타민은 열, 산화 및 추출조건에 민감하며, 수분함량과 단백질 및 지질 조성 등의 시료 특성에 따라 추출효율과 안정성이 달라질 수 있는 것으로 알려져 있다(Belitz et al., 2009). 또한 본 연구의 패류 시료와 Yoon et al. (2019)의

수산자원 시료 간 생물학적 특성 차이에 의해 비타민 함량 및 검출 특성에 차이가 발생한 것으로 사료된다. Taylor (2020)는 HPLC-DAD 분석에서 baseline noise와 signal-to-noise ratio가 검출감도에 직접적인 영향을 미친다고 보고하였으며, detector wavelength setting 및 chromatographic condition 변화가 noise 수준에 영향을 줄 수 있다고 설명하였다. 그러나 본 연구에서 분석된 수용성 비타민 함량은 모두 LOQ 이상의 수준으로 나타나 신뢰성 있는 정량이 가능한 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 HPLC-FLR를 이용하여 분석한 flavin adenine dinucleotide (FAD), flavin mononucleotide (FMN) 및 riboflavin의 LOD는 각각 0.0123, 0.0055 및 0.0381 mg/100 g으로 나타났다, LOQ는 각각 0.0371, 0.0167 및 0.1155 mg/100 g으로 확인되었다. 이는 Yoon et al. (2019)이 HPLC-FLD를 이용하여 보고한 FAD, FMN 및 riboflavin의 LOD (각각 0.0189, 0.0177 및 0.0086 mg/100 g) 및 LOQ (각각 0.0202, 0.0387 및 0.0314 mg/100 g)와 비교하였을 때 전반적으로 유사한 수준을 나타내었다. 이러한 결과는 fluorescence detector의 높은 sensitivity와 selectivity에 의해 낮은 수준의 검출이 가능하였기 때문으로 판단된다. Lakowicz (2006)는 형광 검출법이 높은 signal-to-noise ratio를 제공하여 미량 성분 분석에 효과적이라고 보고하였으며, 분석조건 최적화는 chromatographic separation efficiency 및 detector response 향상에 영향을 미칠 수 있다고 설명하였다. 따라서 본 연구에서 적용된 분석법은 FAD, FMN 및 riboflavin 분석에 있어 우수한 감도와 신뢰성을 가지는 것으로 판단된다. 각 비타민 성분에 대한 분석법의 정확도는 인증표준물질인 SRM 1869를 이용하여 회수율 기준으로 평가하였다(Table 3). 레티놀의 경우 분석값은 $1,856.90 \pm 37.14\ \mu\text{g}/100\text{ g}$, 회수율은 96.36%, z-score는 1.89로 나타났으며, 베타카로틴은 $108.36 \pm 5.25\ \mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 분석값으로 106.24%의 회수율과 -1.21의 z-score를 나타내었다. α -, β -, γ -, δ -토코페롤의 분석값은 각각 $22.29 \pm 3.71\text{ mg}/100\text{ g}$, $0.40 \pm 0.06\text{ mg}/100\text{ g}$, $8.54 \pm 0.77\text{ mg}/100\text{ g}$ 및 $2.73 \pm 0.26\text{ mg}/100\text{ g}$ 으로 측정되었으며 각각 102.62%, 94.79%, 85.87% 및 83.92%의 회수율을 나타내었다. z-score 범위는 절댓값 2 이내를 나타내어 양호한 수준이었다. 수용성 비타민의 경우 thiamin, riboflavin 및 nicotinamide 분석값이 각각 $1.40 \pm 0.13\text{ mg}/100\text{ g}$, $1.27 \pm 0.03\text{ mg}/100\text{ g}$ 및 $10.33 \pm 0.95\text{ mg}/100\text{ g}$ 이었으며, 회수율은 105.58%, 93.40% 및 104.98%, z-score는 -0.56, -0.04 및 -0.52로 나타났다. AOAC 가이드라인(AOAC, 2016)에 따르면 1 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 수준의 성분에 대해 이용되는 회수율 범위는 70–125%로 제시되어 있으며, 본 결과는 해당 기준을 충족하는 것으로 나타났다. 분석법의 정밀성은 AOAC 가이드라인(AOAC, 2016)에 따라 평가되며, 시료 중 분석하고자 하는 성분의 함량 수준이 1 mg/100 g일 경우 반복성과 재현성의 relative standard deviation (RSD)는 각각 6%와 11% 이하, 1 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 수준에서는 각각 8%와 16% 이하로 규정하고 있

Table 3. Accuracy of fat-soluble vitamin and water-soluble vitamin analyses

			Analysis value ¹⁾	Assigned value ²⁾	Recovery ³⁾ (%)	z-score ⁴⁾	
Infant/Adult Nutritional Formula II (SRM 1869)	Retinol (µg/100 g)		1,856.90±37.14 ⁵⁾	1,927±32	96.36	1.89	
	β-carotene (µg/100 g)		108.36±5.25	102±20	106.24	-1.21	
	Tocopherols (mg/100 g)	α-tocopherol	22.29±3.71	21.72±2.60	102.62	-0.15	
		β-tocopherol	0.40±0.06	0.42±0.07	94.79	0.37	
		γ-tocopherol	8.54±0.77	9.94±0.51	85.87	1.83	
		δ-tocopherol	2.73±0.26	3.25±0.29	83.92	1.99	
	Vitamin B ₁ (mg/100 g)		Thiamin	1.40±0.13	1.33±0.03	105.58	-0.56
	Vitamin B ₂ (mg/100 g)		Riboflavin	1.27±0.03	1.36±0.15	93.40	-0.04
	Vitamin B ₃ (mg/100 g)	Nicotinic acid	N.D. ⁶⁾	N.D.	N.D.	N.D.	
Nicotinamide		10.33±0.95	9.84±0.22	104.98	-0.52		

¹⁾ The experimentally determined value.

²⁾ The assigned value provided for the reference material.

³⁾ Recovery (%)=(analysis value/assigned value)×100.

⁴⁾ z-score=(assigned value-analysis value)/standard deviation of analysis values.

⁵⁾ Each value is presented as mean±standard deviation.

⁶⁾ N.D., Not detected.

다. Table 4에 제시된 본 연구 분석법의 반복성과 재현성은 각각 0.9–6.0%와 0.3–7.2%의 범위를 나타내 AOAC 가이드라인 (AOAC, 2016) 수용범위를 충족하여 분석법의 정밀성이 우수한 수준임을 확인할 수 있었다.

분석품질관리

분석 품질관리는 내부 품질관리 시료(SRM 1869)를 이용한 QC chart를 통해 수행하였으며, 이를 통해 분석 결과의 신뢰도

를 확보하였다(Fig. 1). 레티놀의 평균값은 1,843.28 µg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 1,920.24 µg/100 g, 1,766.31 µg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 1,894.59 µg/100 g, 1,791.97 µg/100 g이었다. 베타카로틴의 평균값은 108.36 µg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 124.12 µg/100 g, 92.61 µg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 118.87 µg/100 g, 97.86 µg/100 g이었다. 토코페롤의 경우 α-토코페롤의 평균값은 22.29 mg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 25.02

Table 4. Precision of fat-soluble vitamin and water-soluble vitamin analyses

		Repeatability ¹⁾		Reproducibility ²⁾		
		Mean±SD ³⁾	RSD _r ⁴⁾	Mean±SD	RSD _R ⁵⁾	
Retinol (µg/100 g)		1,837.65±17.57	1.0	1,840.37±34.01	1.8	
β-carotene (µg/100 g)		107.01±2.89	2.7	109.72±7.01	6.4	
Tocopherols (mg/100 g)	α-tocopherol	20.32±0.69	3.4	22.26±0.81	3.6	
	β-tocopherol	0.45±0.03	6.0	0.35±0.03	7.2	
	γ-tocopherol	7.94±0.32	4.0	9.13±0.60	6.5	
	δ-tocopherol	3.08±0.11	3.4	3.08±0.09	2.8	
Vitamin B ₁ (mg/100 g)		Thiamin	1.42±0.01	0.9	1.39±0.04	3.1
Vitamin B ₂ (mg/100 g)		Riboflavin	1.46±0.03	2.3	1.34±0.03	2.9
Vitamin B ₃ (mg/100 g)	Nicotinic acid	N.D. ⁶⁾	N.D.	N.D.	N.D.	
	Nicotinamide	9.84±0.04	0.4	9.83±0.03	0.3	

¹⁾ Relative standard deviation of five replicate analyses within one day.

²⁾ Relative standard deviation of five replicate analyses over five days.

³⁾ Each value is presented as mean±standard deviation.

⁴⁾ RSD_r, Relative standard deviation for repeatability.

⁵⁾ RSD_R, Relative standard deviation for reproducibility.

⁶⁾ N.D., Not detected.

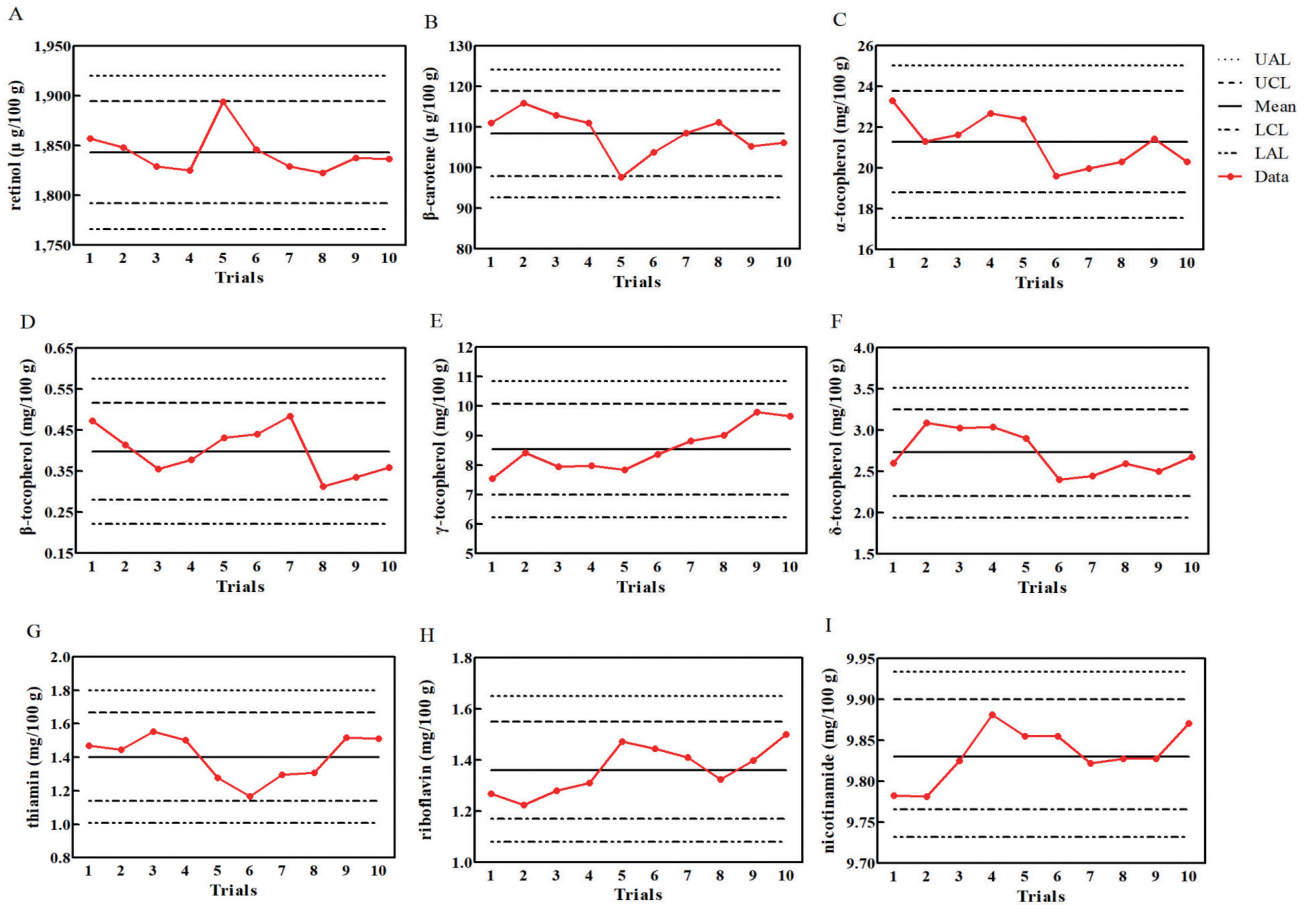


Fig. 1. Quality control charts of fat-soluble vitamins (A–F) and water-soluble vitamins (G–I) analyses. A, retinol; B, β -carotene; C, α -tocopherol; D, β -tocopherol; E, γ -tocopherol; F, δ -tocopherol; G, thiamin; H, riboflavin; I, nicotinamide; UCL, Upper control line; LCL, Lower control line; UAL, Upper action line; LAL, Lower action line. Upper and lower control lines (UCL and LCL)=mean $\pm$ 2 $\times$ standard deviation, upper and lower action lines (UAL and LAL)=mean $\pm$ 3 $\times$ standard deviation.

mg/100 g, 17.56 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 23.78 mg/100 g, 18.81 mg/100 g이었다. β -토코페롤의 평균값은 0.40 mg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 0.57 mg/100 g, 0.22 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 0.52 mg/100 g, 0.28 mg/100 g이었다. γ -토코페롤의 평균값은 8.54 mg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 10.84 mg/100 g, 6.23 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 10.07 mg/100 g, 7.00 mg/100 g이었다. δ -토코페롤의 평균값은 2.73 mg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 3.51 mg/100 g, 1.94 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 3.25 mg/100 g, 2.20 mg/100 g이었다. 수용성 비타민의 경우 B₁의 평균값은 1.40 mg/100 g, UAL과 LAL은 각각 1.80 mg/100 g, 1.01 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 1.67 mg/100 g, 1.14 mg/100 g이었다. Nicotinamide의 평균값은 9.83 mg/100 g이었으며, UAL과 LAL은 각각 9.93 mg/100 g, 9.73 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 9.90 mg/100 g,

9.77 mg/100 g이었다. B₂의 평균값은 1.36 mg/100 g, UAL과 LAL은 각각 1.65 mg/100 g, 1.08 mg/100 g이었고 UCL과 LCL은 각각 1.55 mg/100 g, 1.17 mg/100 g이었다. 분석 기간 동안 내부 품질관리 시료를 활용한 QC chart를 통해 품질관리를 수행한 결과 레티놀, 토코페롤, 베타카로틴, 비타민 B₁, B₂ 및 B₃의 분석값은 모두 UAL 및 LAL 범위 이내에 포함되었으며, 이를 통해 본 연구에서 제시한 분석 데이터가 신뢰할 수 있는 수준임을 확인하였다.

일반성분 함량

고동류 5종에 대한 일반성분 함량은 Table 5와 같다. 수분 함량은 방석고동(76.64 $\pm$ 0.07)에서 가장 높고 갈색띠매물고동(69.92 $\pm$ 0.36)에서 가장 낮았으며(P<0.05), 조단백질 함량은 갈색띠매물고동(20.06 $\pm$ 0.72)에서 가장 높고 방석고동(16.39 $\pm$ 0.12)에서 가장 낮았다(P<0.05). 조지방 함량은 명주

Table 5. Proximate composition of five gastropod species

	Proximate composition (g/100 g) ¹⁾			
	Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash
<i>Fusinus perplexus</i>	71.51±0.19 ^c	18.70±0.15 ^b	0.41±0.02 ^e	1.61±0.05 ^b
<i>Neptunea constricta</i>	71.21±0.22 ^c	17.78±0.49 ^c	5.90±0.09 ^a	1.38±0.01 ^c
<i>Neptunea cumingii</i>	69.92±0.36 ^d	20.06±0.72 ^a	4.89±0.06 ^b	1.33±0.04 ^c
<i>Rapana venosa</i>	73.25±0.15 ^b	17.23±0.41 ^c	1.24±0.01 ^d	1.70±0.05 ^{ab}
<i>Tristichotrochus unicus</i>	76.64±0.07 ^a	16.39±0.12 ^d	2.12±0.08 ^c	1.74±0.06 ^a

¹⁾Superscripts indicating different letters depict statistically significant differences as per $P < 0.05$ by using Duncan's multiple range test. Each value is presented as mean±standard deviation.

매물고둥(5.90 ± 0.09)에서 가장 높고 긴고둥(0.41 ± 0.02)에서 가장 낮았으며, 모든 시료 간 유의한 차이가 나타났다($P < 0.05$). 회분 함량은 방석고둥(1.74 ± 0.06)에서 가장 높고 명주매물고둥(1.38 ± 0.01) 및 갈색띠매물고둥(1.33 ± 0.04)에서 가장 낮은 수준을 나타냈다($P < 0.05$). Mok et al. (2007)의 보고에 따르면 갈색띠매물고둥의 수분, 조단백질 및 회분 함량은 각각 75.4, 17.5 및 2.0 g/100 g이었으며, 피뿔고둥에서는 각각 73.9, 16.8 및 2.6 g/100 g으로 나타났다. 본 연구 결과 또한 이와 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 본 연구에서 갈색띠매물고둥과 피뿔고둥의 조지방 함량은 각각 4.89 및 1.24 g/100 g으로, 선행연구에서 보고된 0.4 및 0.1 g/100 g보다 높게 나타났다. 이러한 차이는 시료의 채취 시기, 서식 환경, 먹이원 및 생리적 상태의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 특히 수산생물의 지질 함량은 산란기 여부 및 계절적 요인에 따라 큰 변화를 나타내는 것으로 알려져 있어(Li et al., 2007), 본 연구와 선행연구 간의 조지방 함량 차이에 영향을 미친 것으로 판단된다.

레티놀 및 베타카로틴 함량

비타민 A는 정상적인 시각 기능 유지에 필수적인 역할을 수행

하는 것으로 알려져 있으며, 면역 조절 및 세포 성장과 분화에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Combs, 2012). 베타카로틴은 대표적인 provitamin A carotenoid로 체내에서 비타민 A로 전환될 수 있으며, 항산화 작용을 통해 활성산소를 제거하는 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 활성산소를 제거하고 자유라디칼을 소거하는 항산화 활성을 통해 산화적 스트레스를 감소시키는 것으로 알려져 있다(Stahl and Sies, 2003; Krinsky and Johnson, 2005). 고둥류 5종 간의 지용성 비타민 및 관련 물질 함량은 Table 6과 같다. 레티놀 함량은 갈색띠매물고둥($3.95 \pm 0.53 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)과 명주매물고둥($3.91 \pm 0.74 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)에서 가장 높았으며, 두 종 간에는 유의한 차이가 없었으나 피뿔고둥($1.17 \pm 0.29 \mu\text{g}/100 \text{ g}$), 방석고둥($1.15 \pm 0.07 \mu\text{g}/100 \text{ g}$) 및 긴고둥($0.22 \pm 0.01 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)보다 유의하게 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 반면, 피뿔고둥, 방석고둥 및 긴고둥 간에는 유의한 차이가 없었다. 베타카로틴 함량은 방석고둥(336.82 ± 0.97)에서 가장 높았으며, 명주매물고둥(158.46 ± 47.45) 및 피뿔고둥(150.02 ± 9.14)보다 유의하게 높은 값을 나타냈다($P < 0.05$). 명주매물고둥과 피뿔고둥 간에는 유의한 차이가 없었으며, 갈색띠매물고둥(46.00 ± 6.05)과 긴고둥(30.16 ± 0.88)은 가장 낮

Table 6. Fat-soluble vitamin content of five gastropod species

		<i>Fusinus perplexus</i>	<i>Neptunea constricta</i>	<i>Neptunea cumingii</i>	<i>Rapana venosa</i>	<i>Tristichotrochus unicus</i>
Retinol (µg/100 g)		0.22±0.01 ^{b1)}	3.91±0.74 ^a	3.95±0.53 ^a	1.17±0.29 ^b	1.15±0.07 ^b
β-carotene (µg/100 g)		30.16±0.88 ^c	158.46±47.45 ^b	46.00±6.05 ^c	150.02±9.14 ^b	336.82±0.97 ^a
RAE ²⁾		2.73±0.08 ^d	17.12±4.69 ^b	7.78±1.03 ^c	13.67±1.05 ^b	29.22±0.15 ^a
Tocopherols (mg/100 g)	α-tocopherol	0.94±0.08 ^b	3.83±1.36 ^a	0.54±0.10 ^b	1.61±0.04 ^b	0.57±0.04 ^b
	β-tocopherol	N.D. ³⁾	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	γ-tocopherol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	δ-tocopherol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	α-TE ⁴⁾	0.94±0.08 ^b	3.83±1.36 ^a	0.54±0.10 ^b	1.61±0.04 ^b	0.57±0.04 ^b

¹⁾Superscripts indicating different letters depict statistically significant differences as per $P < 0.05$ by using Duncan's multiple range test. Each value is presented as mean±standard deviation.

²⁾RAE, Retinol activity equivalent; vitamin A activity is expressed as $\mu\text{g RAE}/100 \text{ g}$. 1 $\mu\text{g RAE}$ =1 $\mu\text{g retinol}$ +1/12 $\mu\text{g } \beta\text{-carotene}$.

³⁾N.D., Not detected.

⁴⁾α-T, α-tocopherol; α-TE, α-tocopherol equivalent; α-TE=α-T+β-T+γ-T+δ-T.

은 함량을 나타냈고 두 종 간에도 유의한 차이가 없었다. 레티놀과 베타카로틴 함량을 기반으로 산출한 retinol activity equivalent (RAE) 값은 방석고둥에서 29.22로 가장 높게 나타났으며, 명주매물고둥과 피뿔고둥이 그 다음 수준을 보였다. 반면 갈색피뿔고둥과 긴고둥에서 상대적으로 낮은 함량이 확인되었다. 본 연구에서 일부 시료는 레티놀 함량보다 베타카로틴 함량이 RAE 값에 더 큰 영향을 미치는 경향이 확인되었다. 특히 방석고둥은 레티놀 함량이 상대적으로 낮았음에도 불구하고 가장 높은 베타카로틴 함량을 나타내어 최종적으로 가장 높은 RAE 값을 보였다. 이는 베타카로틴이 provitamin A carotenoid로서 비타민 A 활성에 기여하였기 때문으로 판단된다. Fisher et al. (1956)은 연체동물에서 carotenoid와 retinoid가 함께 존재한다고 보고하였으며, 본 연구에서도 베타카로틴 함량이 높은 시료에서 높은 RAE 값을 나타내어 carotenoid가 비타민 A 활성에 기여할 가능성을 확인하였다. 그러나 현재까지 고둥류를 대상으로 레티놀 및 베타카로틴 함량을 동시에 비교·분석한 연구는 제한적으로 보고되어 있어, 본 연구는 국내 고둥류의 지용성 비타민 조성 특성을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

토코페롤 함량

토코페롤은 대표적인 지용성 항산화 비타민으로, free radical scavenging 활성을 통해 지질 과산화를 억제하고 세포막의 산화적 손상을 감소시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 항산화 작용을 통해 생체막의 불포화지방산을 산화로부터 보호하는 것으로 보고되었다(Brigelius-Flohe and Traber, 1999; Traber and Atkinson, 2007). 비타민 E의 8종 vitamers 중 4종의 함량을 분석한 결과와 비타민 E activity를 α -tocopherol equivalent (α -TE)로 Table 6에 나타내었다. 본 연구에서 분석한 고둥류 5종에서 α -토코페롤은 모두 검출되었으나, β -, γ -, δ -토코페롤은 검출되지 않았다. α -토코페롤은 명주매물고둥(3.83 ± 1.36 mg

α -TE/100 g)에서 다른 4종에 비해 유의하게 높은 함량을 나타냈으며($P < 0.05$), 나머지 4종 간에는 유의한 차이가 없었다. 국가표준식품성분표(NIFS, 2020)에 의하면, 고둥을 포함한 패류의 토코페롤 함량은 0.4–2.9 mg α -TE/100 g으로 보고되어 있다. 또한 Lee et al. (2005)의 연구에서의 어패류의 비타민 E 함량 범위는 0.01–4.38 mg α -TE/100 g으로 보고되었다.

비타민 B₁ 및 B₃ 함량

비타민 B군은 체내 에너지 대사에 필수적인 조효소로 작용하며, 신경계 기능 유지 및 세포 대사 조절에 중요한 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다(Kennedy, 2016). Thiamin은 탄수화물 대사 과정에서 조효소로 작용하여 에너지 생성 및 신경 기능 유지에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, riboflavin은 FMN 및 FAD의 전구체로 작용하여 체내 산화-환원 반응과 에너지 대사에 필수적인 기능을 수행한다. Niacin은 NAD 및 NADP의 구성 성분으로 작용하여 세포 내 에너지 생성과 산화-환원 반응에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다(Powers, 2003; Combs, 2012). 고둥류 5종에 대한 수용성 비타민(B₁, B₂ 및 B₃) 분석 결과는 Table 7에 나타내었다. 비타민 B₁ 및 B₃는 긴고둥(20.18 mg/100 g 및 15.32 mg/100 g)과 방석고둥(0.71 mg/100 g 및 11.01 mg/100 g)에서만 검출되었으며, 두 성분 모두 긴고둥에서 유의하게 높은 함량을 나타냈다($P < 0.05$). 이러한 중간 차이는 종별 대사 특성 및 먹이생물 조성의 차이와 관련될 가능성이 있으나, 해양생물의 비타민 함량은 먹이원, 계절, 서식환경 및 생리적 상태 등 다양한 요인의 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Ohwada and Taga, 1972; Fridolfsson et al., 2019). 따라서 본 연구에서 확인된 중간 차이는 이러한 요인들이 복합적으로 작용한 결과일 가능성이 있으며, 본 연구만으로 그 원인을 명확히 규명하기에는 한계가 있다. 또한 수용성 비타민은 체내 저장성이 낮고 환경적 요인의 영향을 크게 받는 것으

Table 7. Water-soluble vitamin content of five gastropod species

		<i>Fusinus perplexus</i>	<i>Neptunea constricta</i>	<i>Neptunea cumingii</i>	<i>Rapana venosa</i>	<i>Tristichotrochus unicus</i>
Vitamin B ₁ (mg/100 g)	Thiamin	20.18±0.53 ^{a1)}	N.D. ²⁾	N.D.	N.D.	0.71±0.01 ^b
	FAD ³⁾	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Vitamin B ₂ (mg/100 g)	FMN ⁴⁾	0.05±0.00 ^c	0.10±0.08 ^c	0.15±0.00 ^a	0.11±0.00 ^b	0.15±0.01 ^a
	Riboflavin	0.03±0.00 ^c	0.12±0.13 ^b	0.06±0.00 ^c	0.24±0.00 ^a	0.20±0.01 ^a
	Total	0.08±0.00 ^b	0.22±0.21 ^{ab}	0.21±0.00 ^{ab}	0.35±0.00 ^a	0.35±0.02 ^a
Vitamin B ₃ (mg/100 g)	Nicotinic acid	15.32±0.00 ^a	N.D.	N.D.	N.D.	11.01±0.00 ^b
	Nicotinamide	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Total	15.32±0.00 ^a	N.D.	N.D.	N.D.	11.01±0.00 ^b

¹⁾Superscripts indicating different letters depict statistically significant differences as per $P < 0.05$ by using Duncan's multiple range test. Each value is presented as mean±standard deviation.

²⁾N.D., Not detected.

³⁾FAD, Flavin adenine dinucleotide.

⁴⁾FMN, Flavin mononucleotide.

로 알려져 있으며, 특히 비타민 B₁은 열, 산화 및 pH 변화에 민감한 성분으로 알려져 있어 저장 및 전처리 과정 중 일부 손실이 발생했을 가능성도 배제할 수 없다(Voelker et al., 2021; Luo et al., 2025).

비타민 B₂ 함량

리보플라빈(B₂)의 경우, FMN 및 riboflavin 형태는 모든 고등류 시료에서 검출된 반면, FAD는 전 시료에서 검출되지 않았다. 일반적으로 FAD는 생체 내에서 단백질과 결합된 조효소 형태로 존재하며(Gregory, 1998), 전처리 및 추출 과정 중 가수분해를 통해 FMN 또는 riboflavin 형태로 전환될 수 있는 것으로 알려져 있다(Ball, 2005). 따라서 본 연구에서 FAD가 검출되지 않고 FMN 및 riboflavin만 검출된 것은 시료 내 존재 형태의 차이와 함께 추출 및 분석 과정 중 FAD의 분해에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 고등류는 비타민 A, E 및 B군을 함유한 영양학적 가치가 있는 수산식품으로 평가되며, 본 연구는 수산식품의 영양성분 데이터베이스 구축, 기능성 식품 소재 개발 및 수산자원의 산업적 활용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산시험연구사업(R2026056)의 지원에 의해 수행된 논문이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ames BN. 2006. Low micronutrient intake may accelerate the degenerative diseases of aging through allocation of scarce micronutrients by triage. *Proc Natl Acad Sci USA* 103, 17589-17594. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608757103>.
- Andrés V, Villanueva MJ and Tenorio MD. 2014. Simultaneous determination of tocopherols, retinol, ester derivatives and β-carotene in milk- and soy-juice based beverages by HPLC with diode-array detection. *LWT* 58, 557-562. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.025>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official methods of analysis of AOAC International, appendix F: Guidelines for standard method performance requirements. AOAC International, Rockville, MD, U.S.A.
- Armbruster DA and Pry T. 2008. Limit of blank, limit of detection and limit of quantitation. *Clin Biochem Rev* 29, S49-S52.
- Ball GF. 2005. Absorption of dietary vitamin B₂. In: *Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability*. CRC Press, Boca Raton, FL, U.S.A., 171-172.
- Belitz HD, Grosch W and Schieberle P. 2009. *Food Chemistry*. 4th ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>.
- Bell EC, John M, Hughes RJ and Pham T. 2014. Ultra-performance liquid chromatographic determination of tocopherols and retinol in human plasma. *J Chromatogr Sci* 52, 1065-1070. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmt161>.
- Brigelius-Flohé R and Traber MG. 1999. Vitamin E: Function and metabolism. *FASEB J* 13, 1145-1155. <https://doi.org/10.1096/fasebj.13.10.1145>.
- Combs GF. 2012. *The Vitamins: Fundamental Aspects in Nutrition and Health*. 4th ed. Academic Press, San Diego, CA, U.S.A. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63016-6>.
- Dong MW. 2006. *Modern HPLC for Practicing Scientists*. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, U.S.A. <https://doi.org/10.1002/0471973106>.
- Fisher LR, Kon SK and Thompson SY. 1956. Vitamin A and carotenoids in certain invertebrates: IV. Mollusca: Loricata, Lamellibranchiata, and Gastropoda. *J Mar Biol Assoc UK* 35, 41-61. <https://doi.org/10.1017/S0025315400008961>.
- Fridolfsson E, Bunse C, Legrand C, Lindehoff E, Majaneva S and Hylander S. 2019. Seasonal variation and species-specific concentrations of the essential vitamin B₁ (thiamin) in zooplankton and seston. *Mar Biol* 166, 70. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3520-6>.
- Gregory JF III. 1998. Nutritional properties and significance of vitamin glycosides. *Annu Rev Nutr* 18, 277-296. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.18.1.277>.
- Jeong BM, Park SJ, Park YE, Gwak YJ, Kim J, Yoon NY, Kim YK and Chun JY. 2021. Validation of vitamin B₁, B₂, and B₃ analyses of seafood consumed in Korea by reverse-phase HPLC coupled with DAD and FLD. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50, 1308-1319. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.12.1308>.
- Kennedy DO. 2016. B vitamins and the brain: Mechanisms, dose and efficacy—a review. *Nutrients* 8, 68. <https://doi.org/10.3390/nu8020068>.
- Kim J, Gwak YJ and Chun JY. 2022. Evaluation of the levels of retinol, β-carotene, tocopherols, tocotrienols and folate in bakery products consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 54, 578-586. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2022.54.6.578>.
- King I, Childs MT, Dorsett C, Ostrander JG and Monsen ER. 1990. Shellfish: Proximate composition, minerals, fatty acids, and sterols. *J Am Diet Assoc* 90, 677-685. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(21\)01602-3](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(21)01602-3).
- Krinsky NI and Johnson EJ. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Mol Aspects Med* 26, 459-516. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.10.001>.
- Lakowicz JR. 2006. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*. 3rd ed. Springer, New York, NY, U.S.A. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-46312-4>.
- Lee SM, Lee HB and Lee JS. 2005. Analysis of vitamin E in some commonly consumed foods in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 1064-1070.
- Li D, Zhang Y and Sinclair AJ. 2007. Seasonal variations of

- lipid content and composition in *Perna viridis*. *Lipids* 42, 739-747. <https://doi.org/10.1007/s11745-007-3078-9>.
- Luo W, Wang D, Tang Y, Cheng Q, Ma X, Yu S and Qiu L. 2025. Water-soluble vitamins stability by robust liquid chromatography-mass spectrometry. *Ann Nutr Metab* 81, 32-40. <https://doi.org/10.1159/000541587>.
- Lykstad J and Sharma S. 2023. Biochemistry, water soluble vitamins. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island, FL, U.S.A.
- Mansoor S, Lee JH, Bashir KMI, Sohn JH and Choi JS. 2024. Nutritional composition and safety aspects of deep-sea whelks (*Buccinum tenuissimum* Kuroda). *Foods* 13, 1169. <https://doi.org/10.3390/foods13081169>.
- Mok JS, Lee DS, Yoon HD, Park HY, Kim YK and Wi CH. 2007. Proximate composition and nutritional evaluation of fisheries products from the Korean coast. *Korean J Fish Aquat Sci* 40, 259-268. <https://doi.org/10.5657/kfas.2007.40.5.259>.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2020. Korean seafood composition table. NIFS, Busan, Korea, 1-393.
- Oehlenschläger J. 2012. Seafood: nutritional benefits and risk aspects. *Int J Vitam Nutr Res* 82, 168-176. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000108>.
- Ohwada K and Taga N. 1972. Distribution and seasonal variation of vitamin B₁₂, thiamine and biotin in the sea. *Mar Chem* 1, 61-73. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(72\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0304-4203(72)90007-2).
- Powers HJ. 2003. Riboflavin (vitamin B-2) and health. *Am J Clin Nutr* 77, 1352-1360. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.6.1352>.
- Shim YS, Kim KJ, Seo D, Ito M, Nakagawa H and Ha J. 2012. Rapid method for the determination of vitamins A and E in foods using ultra-high-performance liquid chromatography. *J AOAC Int* 95, 517-522. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.11-045>.
- Snyder LR, Kirkland JJ and Dolan JW. 2010. Introduction to Modern Liquid Chromatography. 3rd ed. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, U.S.A. <https://doi.org/10.1002/9780470508183>.
- Stahl W and Sies H. 2003. Antioxidant activity of carotenoids. *Mol Aspects Med* 24, 345-351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X).
- Taylor T. 2020. The LCGC blog: HPLC diagnostic skills—noisy baselines. Retrieved from <https://www.chromatographyonline.com/view/hplc-diagnostic-skills-noisy-baselines> on May 6, 2026.
- Traber MG and Atkinson J. 2007. Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radic Biol Med* 43, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.03.024>.
- Voelker AL, Taylor LS and Mauer LJ. 2021. Effect of pH and concentration on the chemical stability and reaction kinetics of thiamine mononitrate and thiamine chloride hydrochloride in solution. *BMC Chem* 15, 47. <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00773-y>.
- Yoon J, Chung H and Kim Y. 2019. Analysis of selected water-soluble vitamin B₁, B₂, B₃, and B₁₂ contents in namul (wild greens) consumed in Korea. *Korean J Food Nutr* 32, 61-68. <https://doi.org/10.9799/ksfan.2019.32.1.061>.
- Youness RA, Dawoud A, ElTahtawy O and Farag MA. 2022. Fat-soluble vitamins: updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout life cycle with sex differences. *Nutr Metab* 19, 60. <https://doi.org/10.1186/s12986-022-00696-y>.