

국내산 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)의 생산지에 따른 영양성분 비교

윤나영 · 인정진¹ · 안병규¹ · 한형구¹ · 손승아¹ · 이우진¹ · 이종봉¹ · 배연주¹ · 박혜민¹ · 주홍준² · 심길보^{1*}

국립수산과학원 식품위생가공과, ¹부경대학교 식품공학과, ²(사)한국송어양식협회

Comparison of the Nutritional Composition of Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* from Different Inland-based Trout Farms

Na Young Yoon, Jung Jin In¹, Byoung Kyu An¹, Hyeong Gu Han¹, Seung Ah Son¹, Woo Jin Lee¹, Jong Bong Lee¹, Yeon Joo Bae¹, Hye Min Park¹, Hong Jun Joo² and Kil Bo Shim^{1*}

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

¹Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

²Korea Trout Farmer's Association, Chungju 28191, Republic of Korea

This study compared the nutritional composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms. The proximate composition ranges of the fish were 67.10–72.77 g/100 g moisture, 19.13–21.35 g/100 g crude protein, 5.12–11.72 g/100 g crude lipid, and 1.24–1.97 g/100 g ash. In addition, rainbow trout contained significantly different mono- and poly-unsaturated fatty acid concentrations, ranging from 1.31 to 4.33 g/100 g and 1.21 to 3.2 g/100 g, respectively. The content of n-3 and n-6 fatty acids ranged from 0.68 to 1.68 and from 0.49 to 1.61 g/100 g, respectively. The n-6/n-3 ratio was in the range of 0.79–1.59. The vitamin content of the rainbow trout from the different farms was 14.83–49.30 µg/100 g vitamin A, 922.05–3,179.38 µg/100 g alpha-tocopherol, ND–73.59 µg/100 g, gamma-tocopherol, 2.97–14.55 µg/100 g vitamin D, and 76.63–126.03 µg/100 g vitamin B₂. Slight differences were observed in the crude lipid, fatty acid, and vitamins A and E contents among the of rainbow trouts from the different farms. The results suggest that the fish nutrient composition, especially that of lipids, was significantly different among rainbow trouts from different farms, but may not be related to the production area.

Keywords: *Oncorhynchus mykiss*, Rainbow trout, Inland-based trout farm, Vitamin A, Vitamin E

서론

우리나라 내수면어업 생산량은 2021년 42,672톤이며, 전체 수산물 생산량의 1.1%를 차지하고 있다. 이 중에서 어류 생산량은 33,502톤으로 뱀장어, 메기, 붕어류, 송어류, 향어, 잉어 순으로 생산량이 많다(KOSIS, 2023). 특히 송어 생산량은 2017년 3,358톤으로 매년 비슷한 수준이었으나 2020년 2,414톤으로 생산량이 감소하였으며, 2021년에는 2,483톤이 생산되었다. 최근 수입 연어 시장의 급속한 팽창에 따른 대체 어종으로 무지개송어가 주목받고 있다. 연어는 대부분 노르웨이, 핀란드 등 수입에 의존하고 있으며, 수입량은 2017년 30,271톤에서 2020년 62,730톤으로 급격히 증가하고 있지만(MOF, 2023), 국제

분쟁으로 인한 유통비 상승으로 도매가격이 급격히 인상되었다(KMI, 2022). 이러한 문제의 해결 방안으로 연어의 국산화와 연어대체품인 무지개송어의 시장 활성화 필요성이 강조되고 있다. 그러나 무지개송어는 수산물을 기피하는 20–30대 젊은 세대를 중심으로 소비량이 증가하는 연어와는 다르게 대부분 도시보다 산지 및 관광지에서 횡감과 매운탕 위주의 소비가 이루어지고 있으며 취식의 경험과 그 형태가 매우 제한적이다(Park et al., 2018). 그리고 연어는 아스타잔틴, 비타민, 칼륨, 요오드, 아연, 단백질, 오메가-3 지방산 및 기타 필수 영양소를 다량 함유하여 슈퍼푸드로 선정될 만큼 다양한 영양소 공급원으로 알려져 있으며(Friesen et al., 2008; Hixson et al., 2014), 이러한 결과를 바탕으로 심장질환, 암, 치매 및 기타 인지 장

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5834 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: kbshim@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.2023.0033>

Korean J Fish Aquat Sci 56(1), 33-43, February 2023

Received 7 February 2023; Revised 16 February 2023; Accepted 21 February 2023

저자 직위: 윤나영(연구사), 인정진(대학원생), 안병규(대학원생), 한형구(대학원생), 손승아(대학원생), 이우진(대학원생), 이종봉(대학원생), 배연주(대학원생), 박혜민(대학원생), 주홍준(협회장), 심길보(교수)

에 예방, 면역체계 강화 등의 효능을 보고하였다(Calder, 2015; Tocher, 2015).

반면, 국내 무지개송어의 영양학적 품질평가 연구는 생산 지역을 달리한 무지개송어의 식품학적 품질평가(Kang et al., 2014), 은연어와 무지개송어의 식품성분 분석(Kim and Choi, 1993), 해수순치 무지개송어의 식품학적 품질 특성(Kim et al., 2014), 수입산 및 국내산 담수어류 3종의 일반성분과 지방산 조성(Moon et al., 2012), 무지개송어의 성숙에 따른 식품성분 및 지질과산화물의 변화(Park and Kim, 1996) 등을 제외하고는 거의 전무한 상태이다.

따라서 본 논문에서는 국내에서 무지개송어가 주로 생산되고 있는 경상북도, 충청북도, 강원도 소재의 양식장으로부터 출하 전단계의 무지개송어에 대한 영양성분을 분석하고 대서양 연어와의 영양학적 품질을 비교평가하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 원료로 사용한 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)는 경상북도 4개소, 충청북도 3개소, 강원도 8개소에 위치한 양식장에서 12개월 동안 양식한 개체를 실험실로 운반하여 전처리한 후 시료로 사용하였다(Table 1).

일반성분 함량 분석

일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분 105°C 상압가열건조법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl법, 조지방은 Soxhlet법, 회분은 직접회화법을 이용하여 각각 분석하였다.

총 아미노산 및 타우린 함량 분석

총아미노산은 시료 200 mg을 6 N HCl 10 mL를 가하고 밀봉한 다음, 이를 heating block (MG-2200; Eyela Tokyo Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)에서 가수분해(110°C, 24시간)한 후 glass filter로 여과 및 감압 건조하였다. 감압건조물을 sodium citrate buffer (pH 2.2)로 정용한 후, 아미노산 분석기(Sykam DE/S-433D; Sykam, Eresing, Germany)로 분석하였다.

타우린 함량은 시료를 5 g 칭량하여 냉장상태의 5% trichloroacetic acid (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 15 mL를 가하고 5분간 균질화 시킨 후, 상온에서 30분간 방치하였다. 이 용액을 원심분리(8,000 g, 15분)하고 0.2 M lithium citrate buffer (pH 2.2)로 정용한 후, 아미노산 자동분석기(Sykam DE/S-433D; Sykam)로 분석하였다.

지방산 함량 분석

지방산 함량은 chloroform-methanol (2:1, v/v) 혼합액을 추출 용매로 사용하는 Bligh and Dyer (1959)법으로 추출하였으며, 추출된 지질의 methyl ester는 14% BF₃-Methanol 용액을 이용하여 조제하였다(AOCS, 1998). 내부 표준물질은 glyceryl triundecanoate (98%; Sigma-Aldrich) 1 mL를 chloroform 용액에 녹여 10 mL가 되도록 하였다. 지방산 함량은 SPTM-2560 fused silica capillary column (100 m × 0.25 mm, 0.2 μm; Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 사용하여 gas chromatography (Shimadzu 17A; Shimadzu Seisakusho Co. Ltd., Kyoto, Japan)로 분석하였다.

지용성 비타민 함량 분석

Table 1. Location, total length, and body weight of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Region	Sample Code	Location	Total length (cm)	Body weight (g)	No.
Gyeongsangbuk-province	1	Mungyeong-city	406.2±17.8	940±73.8	5
	2	Gumi-city	438.0±12.1	1,136±180.6	5
	3	Sangju-city	396.2±17.8	978±40.9	5
	4	Andong-city	409.0±17.1	1,058±142.5	5
Chungcheongbuk-province	5	Cheongwon-gun	417.8±16.8	1,218±233.8	5
	6	Chungju-city	468.4±13.8	1,354±112.6	5
	7	Chungju-city	435.8±11.0	1,092±154.3	5
Gangwon-province	8	Jeongseon-gun	414.8±13.6	898±132.4	5
	9	Pyeongchang-gun	432.4±17.3	1,036±109.2	5
	10	Wonju-city	449.0±14.1	1,138±825.9	5
	11	Jungseon-gun	471.2±15.6	1,528±160.7	5
	12	Samcheok-city	420.4±12.1	1,152±150.1	5
	13	Pyeongchang-gun	396.2±17.8	935±53.8	5
	14	Yeongwol-gun	454.8±23.0	1,165±129.2	5
	15	Pyeongchang-gun	413.0±9.1	928±71.6	5

지용성 비타민 3종(비타민 A, E, D)의 전처리와 분석은 식품공전(MFDS, 2022a)에서 언급한 고속액체크로마토그래프에 의한 정량법에 따라 실시하였다. 비타민 A, E 함량은 식품공전(MFDS, 2022a)에 따라 시험용액을 제조하고, 시료용액은 C₃₀ column (4.6×250 mm, s-5 µm, RPAQUEOUS; Nomura Chemical, Aichi, Japan)을 사용하여 HPLC (high performance liquid chromatography; 1260 infinity; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 표준물질은 retinyl acetate [United States Pharmacopeia (USP) Reference Standard, Rockville, MD, USA], α-tocopherol, γ-tocopherol, δ-tocopherol (Supelco, Bellefonte, PA, USA)를 사용하였다.

비타민 D 함량은 식품공전(MFDS, 2022a)에 따라 시료 2.5 g, 증류수 3 mL, ethanol 40 mL을 순차적으로 섞은 후, 60% KOH 용액 10 mL를 가하여 환류냉각장치를 부착한 다음 수욕에서 30분간 비누화시킨 후에 실온으로 냉각시켰다. 갈색분액갈때기에 옮긴 다음 플라스크에 n-hexane 50 mL를 가해 10분간 진탕 후 침전이 생기면 n-hexane 층을 분리하고 다시 50 mL n-hexane 추출 과정을 2회 반복하였다. 분리한 n-hexane 층을 1 N KOH 100 mL와 진탕시킨 후 발생한 증류수 층은 분리하고, 0.5 N KOH용액 40 mL로 세척하는 과정을 hexane 용액에 페놀프탈레인 용액을 떨어뜨려도 지시색(분홍색)이 나오지 않을 때까지 반복하였다. 무수황산나트륨을 이용해 시험용액을 탈수한 후 40°C 이하에서 감압농축하였으며, 농축된 시료를 methanol 5 mL에 녹인 후 시험용액으로 사용하였다. 시험용액은 C₁₈ column (2.1×100 mm, 1.7 µm)을 사용하여 식품공전(MFDS, 2022a)에 따라 HPLC/MS (1290 Infinity II; Agilent Technologies)로 분석하였다. 이때 표준물질은 cholecalciferol (USP Reference Standard)을 사용하였다.

비타민 B₂ 함량 분석

비타민 B₂의 함량은 시료 5 g에 증류수 50 mL를 첨가한 후 80°C 조건의 항온수조(HB-205SW; Hanbaek scientific Co., Bucheon, Korea)에서 30분간 환류 추출하였다. 추출액을 10분간 15,000 rpm으로 원심분리하고, 상층액을 시험용액으로 사용하였다. 시험용액은 Capcell Pak S-5 C₁₈ MG (4.6×150 mm, 5 µm; Shiseido, Kyoto, Japan)를 사용하여 식품공전(MFDS, 2022a)에 따라 UPLC (ultra performance liquid chromatography; Waters ACQUITY UPLC system; Waters, Milford, MA, USA)로 분석하였다. 이때 표준물질은 riboflavin-5'-adenosyl diphosphate (FAD; Sigma-Aldrich), riboflavin-5'-phosphate (FMN; Sigma-Aldrich)를 사용하였다.

콜레스테롤 함량 분석

콜레스테롤 함량은 Jung et al. (2022)의 방법에 따라 시료 2.0 g에 ethanol 40 mL와 50% KOH 8 mL를 가한 후 85°C에서 60분간 비누화반응을 시켰다. Ethanol 60 mL를 넣고, 24시간 안정화 후, toluene 100 mL를 넣고 진탕한 뒤, 1 M KOH를 넣어

분획하였다. 상층액을 취한 후, 0.5 M KOH를 넣고 분획하여, 상층을 취한 후, 증류수로 3회 수세하고 여과하여 감압 농축하였다. 최종 농축물은 isopropyl alcohol에 녹여 C₁₈ column (1.7 µm, 2.1×50 mm; Acquity UPLC BEH, Waters)을 사용하여 UPLC (Acquity UPLC H-Class Plus, Waters)로 분석하였다.

아스타잔틴 함량 분석

아스타잔틴 함량은 건강기능식품공전(MFDS, 2022b)방법에 따라 시료 1 g을 50 mL conical tube에 취하여 acetone 10 mL를 넣어 희석하였다. 시험용액 3 mL, cholesterol esterase 3 mL를 넣고 37°C의 수욕상에서 10분마다 흔들어주면서 45분간 반응시켰다. 효소 분해 후 sodium sulfate decahydrate 1 g과 petroleum ether 4 mL를 첨가하여 30초간 혼합 후 2,000 g에서 3분간 원심분리하여 petroleum ether층을 시험관에 옮겼다. 증류수 층에 petroleum ether 4 mL를 가하여 1회 반복 추출하여 petroleum ether층을 합치고, 탈수된 petroleum ether층을 질소 가스를 이용하여 감압 농축하여 완전히 건조시킨 후 acetone 3 mL를 첨가하여 용해시켰다. 이 용액을 C₃₀ YMC Carotenoid column (4.6×250 mm, 5 µm; YMC, Wilmington, NC, USA)을 사용하여 UV/visible 검출기(474 nm), 칼럼 오븐 온도 25°C, 유속 1 mL/min, 이동상으로는 methanol, methyl tertiary-butyl ether, 1% phosphoric acid 용액을 이용하여 HPLC (1260 infinity; Agilent Technologies)로 분석하였다. 이때, 표준물질로 이성질체인 13-cis, trans, 9-cis 아스타잔틴(Sigma-Aldrich) 사용하였으며, 아스타잔틴 함량은 이들 함량을 모두 합한 값으로 표시하였다.

통계처리

무지개송어의 영양성분 분석결과는 평균±표준편차로 나타내었으며, 실험군 간의 통계적 유의성 검정은 SPSS 통계패키지 (SPSS for window, version 25.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석한 후, Duncan의 다중 범위 검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 P<0.05 유의수준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

생산지에 따른 일반성분 함량 비교

경상북도 소재 4개 양식장에서 생산된 무지개송어의 일반성분 함량은 수분함량이 67.82–70.75 mg/100 g, 조지방 함량이 8.90–11.72 g/100 g, 조단백질 함량이 20.56–20.88 g/100 g이었으며, 회분함량이 1.32–1.63 mg/100 g이었다. 양식장별로는 조지방 함량이 차이가 있었으며, 조단백질 함량은 유의적인 차이가 없었다. 충청북도 소재 3개 양식장에서 생산된 무지개송어는 조지방 함량이 5.93 g/100 g에서 11.20 g/100 g으로 상당한 차이가 있었다. 또한 조지방 함량이 낮은 양식장에서 조단백질

함량은 가장 높았다(Table 2). 강원도 소재 8개 양식장에서 생산된 무지개송어의 일반성분 함량은 다른 지역과 마찬가지로 조지방 함량이 4.51 g/100 g에서 10.31 g/100 g으로 상당한 차이가 있었다(Table 2).

미국 농무부의 Food Data Central에 보고된 양식산과 자연산 대서양 연어의 조단백질 함량은 20.4 g/100 g (양식), 19.80 g/100g (자연)이었으며, 조지방 함량은 13.40 g/100 g (양식), 6.34 g/100 g (자연)이었다. 이들 결과와 비교하면, 생산지에 따른 조단백질 함량은 유사하였으나, 조지방 함량은 양식산 대서양 연어에 비하여 낮고, 자연산에 비해서는 충북 1개소, 강원도 3개소를 제외하고는 높았다. 또한 본 연구결과는 생산 지역을 달리한 담수산 무지개송어의 조지방 함량이 3.7–4.3 g/100g으로, 양식 지역이 다른 무지개송어 4종 간 일반성분 함량은 일부 차이가 있으나 그 차이는 아주 미미하였다는 결과(Kang et al., 2014)와는 상당한 차이가 있었다. 따라서 무지개송어의 일반성분 함량의 차이는 생산 지역에 따른 차이보다는 양식장별로 사용하는 사료 종류, 영양 보충제, 양식방법에 의한 영향으로 판단된다.

생산지에 따른 총아미노산 및 타우린 함량 비교

경상북도 소재 4개 양식장에서 생산된 무지개송어의 총아미노산 함량은 18.64–19.08 g/100 g이었으며, 충청북도 소재 3개 양식장에서 생산된 시료의 총아미노산 함량은 17.54–18.95 g/100 g이었다. 또한 강원도 소재 8개소에서 생산된 시료의 총아미노산 함량은 16.74–19.87g/100g이었다(Table 3). 생산지역 및 양식장과 상관없이 모든 무지개송어육은 glutamic acid 함량이 2.46–2.90 g/100 g이며, 총 함량의 14.3–15.0% 차지하

여 가장 함량이 높았다. 다음으로는 aspartic acid 함량이 1.77–2.02 g/100 g (총아미노산 함량의 10.6–10.7%)으로 높았으며, lysine, leucine 순이었다. Leucine은 주요 필수 아미노산으로 전체 아미노산의 8.3–8.5%를 구성하고 있으며, 근육 단백질 합성을 자극할 수 있으며 스트레스 조건에서 치료 역할을 한다고 보고하였다(De Bandt and Cynober, 2006; Ospina-Rojas et al., 2020). Lysine은 전체 총아미노산 함량의 43.3–44.1%를 차지하며, 최적의 성장을 위하여 필요하며 결핍시 면역결핍을 유발한다(Chen et al., 2003). 그리고 생산지에 따른 무지개송어의 단백질은 단백질 품질 지표로 사용되는 필수와 비필수 아미노산의 비율(E/NE) 0.81–0.90으로 양질의 단백질 공급식품으로 판단된다. 청어(Oluwaniyi et al., 2010), 대서양 가다랑어(Ormanci and Colakoglu, 2015), 대구(Teixeira and Mendes, 2020)와 같은 어종의 주요아미노산도 무지개송어와 유사하다. 또한 대서양 연어의 주요 아미노산도 aspartic acid, glutamic acid, leucine, lysine으로 종류 및 조성에 있어서도 큰 차이가 없었다(Wilson and Cowey, 1985).

본 결과는 4개의 생산지역에서 생산된 무지개송어의 총아미노산 함량을 비교한 결과(Kang et al., 2014)와도 유사하였으며, 생산지역에 따른 총아미노산의 함량과 비율의 차이보다는 각 양식장에 따른 유의적인 차이가 있었다.

Taurine 함량은 어류 양식에 필수 불가결한 것으로 입증되어, 최근 송어 양식 시 사료 내 어분 함량의 감소와 물고기의 빠른 성장을 위하여 사용하고 있다. 특히 taurine은 무지개송어의 높은 성장에 영향을 주는 영양소로 알려져 황함아미노산과 taurine을 식이로 공급하는 경우 성장에 미치는 다양한 연구가 수행되었다(Biasato et al., 2022).

Table 2. Comparison of proximate composition (g/100g) of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Region	Sample Code	Moisture	Crude lipid	Crude protein	Ash
Gyeongsangbuk-province	1	70.75±0.44 ^{cd}	8.90±0.10 ^e	20.56±0.11 ^c	1.63±0.12 ^{cd}
	2	68.10±0.18 ^e	11.72±0.17 ^a	20.88±0.41 ^{abc}	1.36±0.11 ^{cd}
	3	69.11±0.31 ^d	9.57±0.04 ^{de}	20.67±0.36 ^{bc}	1.32±0.02 ^d
	4	67.82±0.26 ^e	9.62±0.04 ^{de}	20.54±0.10 ^c	1.39±0.04 ^d
Chungcheongbuk-province	5	67.97±0.41 ^e	11.20±0.13 ^{ab}	20.35±0.53 ^c	1.37±0.18 ^d
	6	68.47±0.25 ^e	9.71±0.26 ^{cd}	19.23±0.26 ^d	1.60±0.01 ^{bcd}
	7	71.68±0.28 ^b	5.93±0.19 ^g	21.35±0.10 ^a	1.51±0.10 ^{bcd}
Gangwon-province	8	70.10±0.28 ^c	7.41±0.20 ^f	21.15±0.20 ^{ab}	1.91±0.05 ^a
	9	70.48±1.08 ^c	5.05±0.08 ^g	21.33±0.07 ^a	1.97±0.13 ^a
	10	71.85±0.15 ^b	4.51±0.15 ^g	21.21±0.57 ^{ab}	1.24±0.03 ^{cd}
	11	67.10±0.18 ^e	10.31±0.09 ^{cd}	20.88±0.17 ^{abc}	1.42±0.10 ^{cd}
	12	69.28±0.23 ^d	9.70±0.71 ^{bc}	19.13±0.23 ^d	1.53±0.10 ^{bcd}
	13	70.33±0.16 ^c	7.83±0.27 ^f	20.46±0.16 ^c	1.68±0.08 ^{abc}
	14	72.77±0.30 ^a	5.12±0.01 ^g	20.71±0.24 ^{bc}	1.75±0.12 ^{ab}
	15	70.19±0.07 ^c	7.59±0.27 ^a	20.58±0.34 ^c	1.95±0.07 ^a

¹Values with different letters within the same column differ significantly (P<0.05).

무지개송어육의 taurine 함량은 37.4–48.7 mg/100 g으로 나타났다으며, 대서양 연어의 경우 60 mg/100 g으로 무지개송어육과 비교하여 taurine 함량이 높았다(Gaylord et al., 2007). Heu

et al. (2008)의 연구에서 무지개송어육의 taurine 함량은 31.4 mg/100 g, Park and Kim (1996) 연구에서 무지개송어육의 taurine 함량은 39.81 mg/100 g으로 나타났다.

Table 3. Comparison of total amino acid content (g/100g) of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Sample Code	Gyeongsangbuk-province				Chungcheongbuk-province			Gangwon-province							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Histidine	0.82 ±0.01	0.91 ±0.01	0.85 ±0.01	0.91 ±0.01	0.83 ±0.01	0.83 ±0.01	0.84 ±0.02	0.85 ±0.00	0.95 ±0.01	0.86 ±0.01	0.83 ±0.01	0.78 ±0.02	0.78 ±0.01	0.77 ±0.01	0.80 ±0.02
Isoleucine	0.97 ±0.00	0.97 ±0.02	0.93 ±0.01	0.92 ±0.00	0.91 ±0.02	0.86 ±0.00	0.95 ±0.01	0.98 ±0.00	1.02 ±0.01	0.97 ±0.02	0.94 ±0.00	0.88 ±0.01	0.88 ±0.02	0.90 ±0.00	0.87 ±0.01
Leucine	1.61 ±0.02	1.62 ±0.01	1.58 ±0.01	1.56 ±0.00	1.54 ±0.02	1.46 ±0.01	1.59 ±0.05	1.57 ±0.00	1.68 ±0.02	1.58 ±0.02	1.54 ±0.01	1.40 ±0.00	1.46 ±0.05	1.52 ±0.01	1.50 ±0.02
Lysine	1.91 ±0.01	1.94 ±0.00	1.89 ±0.00	1.86 ±0.00	1.84 ±0.00	1.74 ±0.00	1.85 ±0.02	1.86 ±0.02	2.01 ±0.03	1.83 ±0.04	1.84 ±0.07	1.63 ±0.02	1.71 ±0.06	1.76 ±0.01	1.74 ±0.03
Methionine	0.42 ±0.00	0.44 ±0.06	0.46 ±0.14	0.45 ±0.04	0.47 ±0.18	0.45 ±0.02	0.39 ±0.10	0.35 ±0.15	0.47 ±0.02	0.38 ±0.06	0.33 ±0.02	0.35 ±0.02	0.38 ±0.03	0.40 ±0.01	0.39 ±0.01
Phenylalanine	0.85 ±0.02	0.87 ±0.01	0.86 ±0.00	0.84 ±0.00	0.84 ±0.00	0.80 ±0.00	0.86 ±0.02	0.86 ±0.00	0.90 ±0.01	0.86 ±0.01	0.83 ±0.00	0.77 ±0.01	0.79 ±0.02	0.81 ±0.00	0.80 ±0.01
Threonine	0.89 ±0.03	0.88 ±0.00	0.86 ±0.01	0.87 ±0.00	0.85 ±0.01	0.81 ±0.00	0.90 ±0.04	0.85 ±0.01	0.93 ±0.01	0.87 ±0.02	0.84 ±0.00	0.76 ±0.01	0.80 ±0.02	0.85 ±0.00	0.83 ±0.02
Valine	1.09 ±0.07	1.16 ±0.01	1.11 ±0.01	1.12 ±0.02	1.09 ±0.03	1.05 ±0.05	1.14 ±0.04	1.14 ±0.00	1.10 ±0.01	1.15 ±0.01	1.12 ±0.02	1.03 ±0.07	1.04 ±0.00	1.09 ±0.00	1.03 ±0.02
Total E	8.56 ±0.14	8.79 ±0.01	8.54 ±0.13	8.53 ±0.08	8.37 ±0.10	8.01 ±0.01	8.53 ±0.09	8.47 ±0.11	9.07 ±0.12	8.51 ±0.16	8.26 ±0.07	7.59 ±0.03	7.86 ±0.16	8.09 ±0.02	0.80 ±0.02
Aspartic acid	2.01 ±0.03	2.02 ±0.00	2.00 ±0.00	1.97 ±0.00	1.94 ±0.02	1.88 ±0.01	2.01 ±0.05	1.99 ±0.01	2.10 ±0.02	1.99 ±0.02	1.93 ±0.02	1.77 ±0.00	1.86 ±0.06	1.93 ±0.01	1.89 ±0.04
Serine	0.78 ±0.03	0.77 ±0.00	0.76 ±0.00	0.76 ±0.01	0.74 ±0.02	0.71 ±0.01	0.79 ±0.05	0.72 ±0.02	0.79 ±0.00	0.74 ±0.00	0.73 ±0.00	0.64 ±0.01	0.69 ±0.03	0.73 ±0.00	0.73 ±0.02
Glutamic acid	2.84 ±0.08	2.72 ±0.03	2.69 ±0.01	2.68 ±0.04	2.64 ±0.09	2.52 ±0.01	2.84 ±0.12	2.77 ±0.09	2.90 ±0.01	2.73 ±0.00	2.70 ±0.01	2.46 ±0.03	2.53 ±0.11	2.74 ±0.02	2.63 ±0.06
Proline	0.66 ±0.00	0.64 ±0.00	0.64 ±0.02	0.64 ±0.01	0.61 ±0.03	0.61 ±0.01	0.68 ±0.04	0.66 ±0.00	0.68 ±0.00	0.68 ±0.02	0.67 ±0.02	0.66 ±0.01	0.65 ±0.04	0.67 ±0.03	0.66 ±0.02
Glycine	1.00 ±0.01	0.98 ±0.02	0.98 ±0.01	0.97 ±0.03	0.93 ±0.00	0.93 ±0.01	0.97 ±0.03	0.99 ±0.04	1.00 ±0.03	1.01 ±0.00	0.92 ±0.02	0.91 ±0.01	0.94 ±0.02	0.98 ±0.4	0.94 ±0.05
Alanine	1.23 ±0.01	1.21 ±0.01	1.20 ±0.00	1.18 ±0.01	1.16 ±0.01	1.11 ±0.00	1.19 ±0.03	1.18 ±0.01	1.27 ±0.01	1.18 ±0.01	1.15 ±0.05	1.06 ±0.01	1.13 ±0.05	1.12 ±0.01	1.14 ±0.04
Cysteine	0.08 ±0.01	0.08 ±0.01	0.09 ±0.02	0.09 ±0.02	0.10 ±0.01	0.09 ±0.00	0.10 ±0.02	0.08 ±0.01	0.09 ±0.00	0.10 ±0.01	0.09 ±0.01	0.07 ±0.01	0.08 ±0.00	0.09 ±0.00	0.09 ±0.00
Tyrosine	0.69 ±0.00	0.67 ±0.00	0.67 ±0.03	0.66 ±0.01	0.68 ±0.04	0.62 ±0.00	0.67 ±0.02	0.61 ±0.00	0.72 ±0.01	0.66 ±0.01	0.66 ±0.00	0.57 ±0.00	0.61 ±0.03	0.64 ±0.00	0.66 ±0.00
Arginine	1.21 ±0.01	1.20 ±0.01	1.18 ±0.00	1.15 ±0.02	1.15 ±0.01	1.08 ±0.01	1.17 ±0.05	1.13 ±0.03	1.25 ±0.01	1.14 ±0.03	1.13 ±0.02	1.01 ±0.01	1.07 ±0.04	1.12 ±0.02	1.10 ±0.01
Total NE	10.50 ±0.17	10.30 ±0.07	10.20 ±0.02	10.10 ±0.10	9.96 ±0.11	9.54 ±0.05	10.43 ±0.41	10.14 ±0.18	10.80 ±0.03	10.24 ±0.02	9.99 ±0.05	9.15 ±0.01	9.56 ±0.38	10.01 ±0.10	9.84 ±0.02
Total content	19.06 ±0.31	19.08 ±0.05	18.74 ±0.15	18.64 ±0.03	18.33 ±0.01	17.54 ±0.00	18.95 ±0.51	18.61 ±0.07	19.87 ±0.14	18.75 ±0.18	18.25 ±0.02	16.74 ±0.08	17.41 ±0.54	18.10 ±0.09	17.80 ±0.26
E/NE	0.81 ±0.00	0.85 ±0.01	0.84 ±0.01	0.84 ±0.02	0.84 ±0.02	0.84 ±0.01	0.82 ±0.02	0.84 ±0.03	0.84 ±0.01	0.83 ±0.01	0.83 ±0.01	0.83 ±0.01	0.82 ±0.02	0.81 ±0.01	0.80 ±0.40
Taurine (mg/100g)	48.7 ±1.17	43.4 ±0.14	46.3 ±0.30	45.5 ±0.44	41.6 ±0.24	41.0 ±0.00	40.8 ±0.14	38.4 ±0.26	39.4 ±0.14	39.6 ±0.31	41.6 ±0.28	37.4 ±0.04	45.3 ±0.31	43.8 ±0.15	40.4 ±0.49

생산지에 따른 지방산 함량 비교

생산지에 따른 주요 지방산은 포화지방산 C16:0, C18:0, 불포화지방산 C16:1 n-7, 18:1 n-9, 고도불포화지방산 C18:2 n-6, C18:3 n-3, C22:6n-3, C20:5n-3이었다. 생산지에 따른 무지개송어의 지방산 조성 함량은 포화지방산이 1.03–2.68 g/100 g 이었으며, 불포화지방산은 1.31–4.33 g/100 g, 고도불포화지방산은 1.25–3.20 g/100 g이었다. n-3 및 n-6 지방산 함량은 각각 0.68–1.68 g/100 g과 0.49–1.61 g/100 g이었으며, n-6/n-3 비율은 0.79–1.59이었다. 고도불포화지방산과 포화지방산의 비율은 2.20–3.04이며, 일반적으로 양식산 어류의 지방산은 n-3 지방산이 적어 n-6/n-3비율이 높다고 보고하고 있다(van Vliet and Katan, 1990). 본 연구에서도 대부분의 무지개송어가 n-6 지방산 함량이 높았으나 경상북도 소재 양식장 2개소, 강원도 소재 양식장 2개소는 n-3 지방산 함량이 n-6 지방산 함량보다 높았다(Table 4).

일반적으로 틸라피아와 메기는 n-3 PUFA의 농도가 훨씬 낮고, n-6/n-3 PUFA의 비율이 매우 높으며, 높은 포화 지방산과 단일 불포화 지방산을 함유하고 있다. 반면에, 대서양 연어는 상대적으로 높은 농도의 n-3 PUFA, 낮은 n-6/n-3 비율을 함유하고 있다고 보고하였다(Weaver et al., 2008).

양식산과 자연산 대서양 연어의 EPA (eicosapentaenoic acid) 함량은 각각 0.86, 0.32 g/100g이며, DHA (docosahexaenoic acid) 함량은 각각 1.12, 1.10 g/100g으로 보고되었으며, 생산지에 따른 무지개송어의 EPA 및 DHA 함량에 비하여 높았다.

생산지에 따른 지용성비타민 함량 비교

경상북도 소재 4개 양식장에서 생산된 무지개송어의 비타민 A 함량은 16.14–45.24 µg/100 g이었으며, 충청북도 소재 3개 양식장에 생산된 시료의 비타민 A 함량은 23.38–49.30 µg/100 g이었다. 강원도 소재 8개 양식장에서 생산된 무지개송어의 비타민 A 함량은 15.85–37.78 µg/100 g이었다(Table 5). 비타민 A는 어류의 성장과 발달에 필수적인 영양소이며, 시력, 번식, 배아 발생, 성장 및 분화, 상피 세포 유지를 포함한 다양한 생리적 과정에서 중요한 역할을 한다. 특히 대부분의 어류는 비타민 A 요구량이 높기 때문에(Moren et al., 2004; Hu et al., 2006), 비타민 A 합성 능력이 부족하고 정상적인 성장을 위해 비타민 A의 식이 공급원이 필요하다(Henandez, 2004). 이러한 사실을 고려하여 양식 어가는 공급사료에 비타민 A를 보충하고 있다.

경상북도 소재 4개 양식장에서 생산된 무지개송어의 α-tocopherol 함량은 922.05–1806.36 µg/100 g이었으며, 충청북도 소재 3개 양식장에 생산된 시료의 α-tocopherol 함량은 1196.68–2501.31 µg/100 g이었다. 강원도 소재 8개 양식장에서 생산된 무지개송어의 α-tocopherol 함량은 993.27–3179.38 µg/100 g이었다. γ-tocopherol 함량은 32.40–73.59 µg/100 g이 검출되었으며, 양식장 5개소(경상북도 2개소, 충청북도 1개소, 강원도 2개소)의 양식장에서는 검출되지 않아 양식장별로 상당한 차이가 있었다(Table 5).

비타민 E는 정상적인 대사 기능과 생리학적 과정에서 근본적인 역할을 하는 α-tocopherol 형태로 존재한다(Combs and

Table 4. Comparison of fatty acid content (g/100g) of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Sample Code	Gyeongsangbuk-province				Chungcheongbuk-province			Gangwon-province							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
C16:0	1.01	1.13	0.95	1.22	1.2	1.7	0.78	0.8	1.02	0.92	1.27	1.15	1.11	0.68	1.1
C18:0	0.26	0.35	0.3	0.37	0.36	0.54	0.2	0.24	0.26	0.22	0.4	0.36	0.32	0.19	0.31
ΣSFA ¹	1.52	1.79	1.49	1.95	1.93	2.68	1.24	1.23	1.54	1.38	1.96	1.78	1.69	1.03	1.67
C16:1 n-7	0.3	0.4	0.29	0.39	0.38	0.49	0.25	0.23	0.38	0.35	0.36	0.33	0.35	0.21	0.38
C18:1 n-9	1.47	1.82	1.83	2.17	2.16	3.42	0.93	1.16	1.58	1.38	1.95	2.8	1.63	0.97	2.26
ΣMUFA	1.93	2.47	2.36	2.84	2.81	4.33	1.33	1.55	2.1	1.86	2.53	3.37	2.22	1.31	2.83
C18:2 n-6	0.43	0.62	0.63	0.88	0.88	1.24	0.47	0.9	0.41	0.39	1.43	1.37	1.05	0.78	0.69
C18:3 n-3	0.06	0.1	0.12	0.16	0.16	0.24	0.07	0.09	0.05	0.05	0.14	0.19	0.11	0.08	0.12
EPA	0.17	0.25	0.24	0.32	0.32	0.43	0.29	0.21	0.19	0.21	0.25	0.19	0.3	0.21	0.17
DHA	0.44	0.63	0.57	0.65	0.65	0.99	0.59	0.53	0.5	0.49	0.69	0.61	0.71	0.48	0.57
ΣPUFA	1.21	1.72	1.73	2.19	2.18	3.2	1.52	1.86	1.27	1.25	2.7	2.63	2.33	1.64	1.73
n-3	0.68	0.99	0.96	1.15	1.15	1.68	0.96	0.84	0.75	0.76	1.1	1.01	1.13	0.77	0.87
n-6	0.53	0.74	0.77	1.04	1.03	1.52	0.56	1.02	0.51	0.49	1.61	1.61	1.2	0.87	0.86
PUFA/SFA	2.41	2.43	2.36	2.46	2.46	2.36	3.08	2.99	2.33	2.42	2.84	2.31	2.81	3.04	2.20
n-6/n-3	0.79	0.96	1.16	1.12	1.13	1.19	1.22	1.51	0.82	0.90	1.38	1.47	1.38	1.59	1.04
Total	4.66	5.98	5.58	6.98	6.92	10.21	4.09	4.64	4.91	4.49	7.19	7.77	6.24	3.99	6.23

¹SFA, Saturated fatty acids; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids.

McClung, 2017). 비타민 A와 마찬가지로 어류는 모든 생물학적 활성 형태의 비타민 E를 합성할 수 없으며 식이 공급에 의존해야 한다(Peng et al., 2009). 식이 비타민 E의 정량적 요구 사항은 대서양 연어(*Salmo salar*, Hamre and Lie, 1995), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*; Hung et al., 1980; Cowey et al., 1983), 잉어(*Ctenopharyngodon idellus*; Li et al., 2014), cobia *Rachycentron canadum* (Zhou et al., 2013), 그루퍼(*Epinephelus malabaricus*; Lin and Shiau, 2005), Rohu *Labeo rohita* (Sau et al., 2004), mrigal *Cirrhinus mrigala* (Paul et al., 2004), 잡종 줄무늬 농어(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*; Kocabas and Gatlin III, 1999), 노랑 메기(*Pelteobagrus fulvidraco*; Lu et al., 2016), 잡종 뱀머리(*Channa argus* × *Channa maculata*; Zhao et al., 2018) 및 일본 장어(*Anguilla japonica*; Shahkar et al., 2018)의 식이량 범위를 6–200 mg/kg으로 보고하고 있다.

비타민 E가 부족하거나 결핍된 어류는 성장 감소, 적혈구 생성 장애, 근이영양증, 어두운 피부, 삼출성 체질, 피부 탈색, 간 지방 변성 및 심지어 폐사로 이어질 수 있다(NRC, 2011). 반면에 과도한 비타민 E 공급은 무지개 송어(Tokuda and Takeuchi, 1999), 폴 잉어(Li et al., 2014), 점박이 가사류(*Channa punctatus*; Abdel-Hameid et al., 2012)의 과산화수소 생성에서 pro-oxidant로 작용하기 때문에 적정량의 비타민 E가 제공되어야 한다.

생산지역에 따른 무지개송어의 비타민 D 함량은 1.15–14.03 µg/100 g으로, 생산지역보다는 양식장에 따라 상당한 차이가 있었다. 일반 지용성비타민과 마찬가지로 비타민 D도 어류가

합성하지 못하기 때문에 식이공급에 의존하게 된다. 일반적으로 자연 환경에서 비타민 D는 플랑크톤 등의 수중 먹이 사슬에 의해 축적되기에 양식과정에서 사료공급으로 비타민 D 섭취량을 조절할 수 있다.

그러나 본 연구에서의 비타민 D 함량의 차이는 양식시설과 밀접한 관계에 있다. 비타민 D 함량이 높은 양식장은 야외노출식이거나 완전한 차광을 하지 않은 양식시설인 반면에, 비타민 D 함량이 매우 낮은 양식장은 차광막으로 인하여 외부 노출이 전혀 이루어지지 않은 시설이다. 따라서 비타민 D를 인위적으로 공급하지 않았다면, 양식시설 차이에 의한 플랑크톤에 축적된 비타민 D 식이활동으로 인한 어류근육에 축적된 것으로 판단된다. 무지개송어의 비타민 B₂ 함량은 0.08–0.12 mg/100 g으로 생산지역에 따른 차이는 미미하였다.

생산지에 따른 콜레스테롤 및 아스타잔틴 함량

무지개송어의 총 콜레스테롤 함량은 51.23–60.35 mg/100 g이었으며, 경상북도소재의 양식장에서 가장 함량(60.35 mg/100 g)이 높았으며, 충청북도 소재의 양식장에서 가장 함량(51.23 mg/100 g)이 낮았다(Table 6). 일반적으로 내수면 어종의 총 콜레스테롤 함량은 11.7–249.3 mg/100 g (평균 40.9 mg/100 g)으로 보고하고 있으며, 은연어의 총콜레스테롤 함량은 67.7 mg/100 g으로 알려져 있다(Jeong et al., 1998). 콜레스테롤은 인지질 및 단백질과 함께 생체막의 구성성분이자 지용성물질의 소화흡수에 불가결한 담즙산과 steroid hormone의 전구체이기 때문에 과다섭취만 피하면 어류 지질은 콜레스테롤의 좋은 공급원이 될 수 있을 것이다(Jeong et al., 1998).

Table 5. Comparison of vitamin A, E, D, and B₂ (g/100g) of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Region	Sample Code	Vitamin A (µg/100g)	Vitamin E (µg/100g)		Vitamin D (µg/100g)	Vitamin B ₂ (µg/100g)
			α-tocopherol	γ-tocopherol		
Gyeongsangbuk-province	1	24.18±2.05 ^{bcd}	1,253.02±324.16 ^{bcd}	18.16±0.41 ^{ced}	7.60	111.44±2.06 ^{de}
	2	16.14±1.01 ^d	922.05±34.01 ^d	ND ^e	3.77	76.63±4.01 ^h
	3	45.24±1.83 ^a	1,806.36±12.22 ^{bcd}	36.89±1.59 ^{bc}	2.97	88.67±4.06 ^h
	4	36.90±2.30 ^{abc}	1,252.10±28.70 ^{bcd}	41.88±1.42 ^{bc}	1.15	90.14±4.09 ^{gh}
Chungcheongbuk-province	5	46.56±1.68 ^a	2,110.53±136.13 ^b	50.24±5.77 ^b	6.86	96.68±1.44 ^f
	6	49.30±0.27 ^{ab}	2,501.31±64.66 ^{bc}	56.45±1.50 ^{bc}	12.25	110.83±0.97 ^{de}
	7	23.38±0.95 ^{bcd}	1,196.68±58.77 ^{bcd}	11.25±1.60 ^{de}	14.03	100.21±3.55 ^f
Gangwon-province	8	37.44±2.26 ^{abcd}	2,149.36±132.84 ^{bcd}	34.25±0.94 ^{bcd}	14.55	99.81±0.55 ^f
	9	15.85±1.03 ^d	1,217.92±24.57 ^{cd}	12.05±2.28 ^{de}	10.97	94.74±0.40 ^g
	10	14.83±0.74 ^{cd}	993.27±8.30 ^{bcd}	12.28±0.11 ^{bcd}	11.71	107.14±2.00 ^e
	11	37.73±1.53 ^{ab}	3,179.38±100.92 ^a	35.43±2.81 ^{bcd}	10.43	121.26±2.54 ^a
	12	24.15±0.16 ^{bcd}	1,659.61±12.54 ^{bcd}	73.59±0.94 ^a	9.23	126.03±0.94
	13	23.88±1.68 ^{bcd}	2,154.34±80.48 ^{bc}	32.40±0.75 ^{bcd}	8.19	121.88±2.87 ^{ab}
	14	25.74±0.22 ^{bcd}	2,027.98±5.18 ^{bc}	32.96±0.28 ^{bcd}	8.92	116.10±0.95 ^{bcd}
	15	18.82±0.45 ^{cd}	1,568.73±62.82 ^{bcd}	37.28±1.99 ^{bc}	10.46	115.69±3.45 ^{cd}

¹Values with different letters within the same column differ significantly (P<0.05).

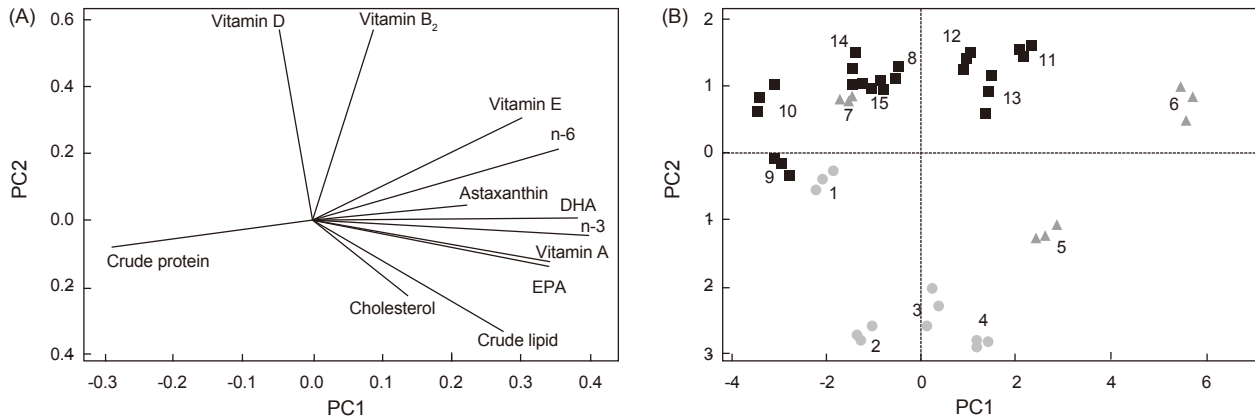


Fig. 1. Principal component analysis (PCA) plot showing the correlation of the nutrient composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms. A, Nutrient composition; B, Inland-based trout farms (●, Gyeongsangbuk; □, Chungcheongbuk; ■, Gangwon).

카로티노이드계 색소는 항암, 항산화와 같은 다양한 생리기능성을 가진 물질이다. 그 중 아스타잔틴은 활성산소를 안정화하거나 free radical의 제거, 퇴행성질환 지연(Krinsky, 1989), 항암작용(Gomes, 2007) 및 노화억제(El-Agameya et al., 2004) 등의 기능을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 미생물, 곰팡이, 조류 등은 카로티노이드계 색소를 스스로 생합성할 수 있으나 어류의 경우 아스타잔틴을 스스로 생합성할 수 없다(Tolasa et al., 2005). 따라서 대서양 연어와 무지개송어의 경우 스스로 생합성할 수 없으나 아스타잔틴은 hydroxy기와 keto기를 가지고 있어 송어육 및 연어육과 결합이 용이해 육색 개선을 위해 이를 함량한 사료를 주로 급여하게 된다(Henmi et al., 1989).

경상북도 소재의 양식장에서 생산된 무지개송어의 아스타잔틴 함량은 불검출-5.34 mg/100 g이었으며, 충청북도 소재의 3개의 양식장에서 생산된 시료의 아스타잔틴 함량은 2.02-9.60 mg/100 g이었다. 강원도 소재의 8개 양식장에서 생산된 무지개송어의 아스타잔틴 함량은 4.05-6.06 mg/100 g으로 생산지역에 따른 차이보다는 양식장에서 따라서 함량이 차이가 컸다 (Table 6).

일반적으로 대서양 연어의 경우 60-80 mg/100 g (Choubert and Storebakken, 1989)이며, Choi et al. (2010)의 연구에 따르면 무지개송어에 아스타잔틴 첨가사료를 급여한 착색육과 비착색육의 아스타잔틴 함량을 비교한 결과 착색육이 비착색육 대비 6배 가량 높았다. 이는 어육에서 아스타잔틴 축적은 사료의 조성 및 색소 함량, 투여 기간에 따라 달라진다고 연구한 내용과 일치함을 알 수 있다(Torrissen, 1986). 따라서 무지개송어와 연어의 아스타잔틴 함량의 차이는 착색 사료 종류, 조성 및 급여여부의 영향을 많이 받는다고 판단된다.

이러한 연구를 통해서 생산지역에 따른 무지개송어의 영양성분은 단백질 성분이 양식산과 자연산 대서양 연어의 함량과 유사한 양질의 단백질이라고 판단된다. 반면, 지방계열 영양성분

은 자연산 대서양 연어에 비하여서는 낮았지만 양식산과 비교해서는 일부 시료는 매우 낮았으며, 특히 EPA 함량은 전반적으로 양식산 대서양 연어에 비해 많이 낮았다. 비타민 B₂와 지용성 비타민 A, E는 양식산 대서양 연어에 비하여 다소 낮았다.

또한 무지개송어의 영양성분이 생산지역에 따른 차이보다는 생산되는 양식장의 양식시설과 사료, 보충제 등에 의하여 지방계열의 영양성분이 큰 영향을 받는 것으로 판단된다(Fig. 1). 따라서 이러한 연구를 통하여 고품질의 무지개송어 생산을 위한

Table 6. Comparison of cholesterol and astaxanthin content (mg/100g) of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms

Region	Sample Code	Cholesterol	Astaxanthin
Gyeongsangbuk-province	1	58.01±0.18 ^{ab}	5.34
	2	52.66±0.37 ^{de}	4.02
	3	59.12±2.35 ^{ab}	ND
	4	60.35±1.96 ^a	4.62
	5	58.07±0.12 ^{ab}	9.60
Chungcheongbuk-province	6	56.73±2.91 ^{abcd}	5.70
	7	51.23±1.85 ^e	2.02
Gangwon-province	8	54.87±1.89 ^{bcd}	4.05
	9	59.07±1.32 ^{ab}	2.77
	10	53.58±0.70 ^{cde}	1.98
	11	56.83±0.69 ^{abcd}	0.42
	12	56.68±0.19 ^{abcd}	0.51
	13	57.86±3.34 ^{abc}	5.95
	14	55.59±2.74 ^{bcd}	3.12
	15	56.19±1.02 ^{abcd}	6.06

¹Values with different letters within the same column differ significantly (P<0.05). ND, Not detected.

자료개선 등을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 국립수산과학원 수산시험연구사업(R2023055) 및 (사)한국송어양식협회 송어자조금 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Abdel-Hameid NAH, Abidi SF and Khan MA. 2012. Dietary vitamin E requirement for maximizing the growth, conversion efficiency, biochemical composition and haematological status of fingerling *Channa punctatus*. *Aquac Res* 43, 226-238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02819.x>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis. 16th, ed. AOAC, Washington D.C., U.S.A., 69-74.
- AOCS (American Oil Chemists' Society). 1998. AOCS official methods of Ce 1b-89. In: Official Methods and Recommended Practice of the AOCS. 5th ed. Firestone D, ed. AOCS, Champaign, IL, U.S.A.
- Biasato I, Chemello G, Caimi C, Oddon SB, Capucchio MT, Colombino E, Schiavone A, Ceccotti C, Terova G and Gasco L. 2022. Taurine supplementation in plant-based diets for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth performance, whole body composition, and histomorphological features. *Anim Feed Sci Technol* 289, 115314. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115314>.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37, 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>.
- Calder PC. 2015. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids* 1851, 469-484. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2014.08.010>.
- Chen C, Sander JE and Dale NM. 2003. The effect of dietary lysine deficiency on the immune response to Newcastle disease vaccination in chickens. *Avian Dis* 47, 1346-1351. <https://doi.org/10.1637/7008>.
- Choi CS, Eom SH, Lee MS and Kim YM. 2010. Effect of an astaxanthin-supplemented diet on the nutritional composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 109-116. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.2.109>.
- Choubert G and Storebakken T. 1989. Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoid concentrations. *Aquaculture* 81, 69-77. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90231-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90231-7).
- Combs Jr GF and Mcclung JP. 2017. Chapter 8 vitamin E. In: *The Vitamins Fundamental Aspects in Nutrition and Health* Fifth Edition. Levy N, ed. Academic Press, London, U.K., 207-242.
- Cowey CB, Adron JW and Youngson A. 1983. The vitamin E requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing polyunsaturated fatty acids derived from fish oil. *Aquaculture* 30, 85-93. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90154-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90154-0).
- De Bandt JP and Cynober L. 2006. Therapeutic use of branched-chain amino acids in burn, trauma, and sepsis. *J Nutr* 136, S308-S313. <https://doi.org/10.1093/jn/136.1.308S>.
- El-Agameya A, Lowe GM, McGarvey DJ, Mortensen A, Philip DM, Truscotta TG and Young AJ. 2004. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Arch Biochem Biophys* 430, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2004.03.007>.
- Friesen EN, Ikonomou MG, Higgs DA, Ang KP and Dubetz C. 2008. Use of terrestrial based lipids in aquaculture feeds and the effects on flesh organohalogen and fatty acid concentrations in farmed Atlantic salmon. *Environ Sci Technol* 42, 3519-3523. <https://doi.org/10.1021/es0714843>.
- Gaylord TG, Barrows FT, Teague AM, Johansen KA, Overturf KE and Shepherd B. 2007. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 269, 514-524. [HYPERLINK "https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.011"](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.011)<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.011>.
- Gaylord TG, Barrows FT, Teague AM, Johansen KA, Overturf KE and Shepherd B. 2007. Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 269, 514-524. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.011>.
- Gomes FDS. 2007. Carotenoids: a possible protection against cancer development. *Rev Nutr* 20, 537-548. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000500009>.
- Hamre K and Lie Ø. 1995. Minimum requirement of vitamin E for Atlantic salmon, *Salmo salar* L., at first feeding. *Aquac Res* 26, 175-184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00900.x>.
- Henandez HLH, Teshima S, Ishikawa M, Cusió S and Tanaka Y. 2004. Dietary vitamin A requirement of juveniles red sea bream *Chrysophrys major*. *J World Aquac Soc* 35, 436-444. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00108.x>.
- Henmi H, Hata M and Hata M. 1989. Astaxanthin and/or canthaxanthin-actomyosin complex in salmon muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55, 1583-1589. <https://doi.org/10.2331/suisan.55.1583>.
- Heu MS, Kim HJ, Ham JS, Park SH, Kim HS, Kang KT, Jee SJ, Lee JH and Kim JS. 2008. Preparation and quality characteristics of seasoned and dried fish slice products using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Korean Soc Food Sci Nutr* 37, 348-356. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2008.37.3.348>.

- Hixson SM, Parrish CC and Anderson DM. 2014. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. *Food Chem* 157, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.026>.
- Hu CJ, Chen SM, Pan CH and Huang CH. 2006. Effects of dietary vitamin A or β -carotene concentrations on growth of juvenile hybrid tilapia *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*. *Aquaculture* 253, 602-607. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.09.003>.
- Hung SSO, Cho CY and Slinger SJ. 1980. Measurement of oxidation in fish oil and its effect on vitamin E nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can J Fish Aquat Sci* 37, 1248-1253. <https://doi.org/10.1139/f80-160>.
- Jung SH, Jeong YR, Shin HY, Kim YK and Yoon NY. 2022. Improvement and verification of a cholesterol analytical method to analyze cholesterol content in seafood. *Korean J Fish Aquat Sci* 55, 218-223. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0218>.
- Jeong BY, Choi BD and Lee JS. 1998. Proximate composition, cholesterol and α -tocopherol content in 72 species of Korean fish. *J Korean Fish Soc* 31, 160-167.
- Kang SI, Kim KH, Lee JK, Kim YJ, Park SJ, Kim MW, Choi BD, Kim DS and Kim JS. 2014. Comparison of the food quality of freshwater rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in different regions. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 103-113. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0103>.
- Kim KH, Kang SI, Jeon YJ, Choi BD, Kim MW, Kim DS and Kim JS. 2014. Food quality of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* domesticated in seawater. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 114-121. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0114>.
- Kim KS and Choi YJ. 1993. Food components of coho salmon and rainbow trout. *Korean J Food Nutr* 6, 73-80.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2022. The impacts and policy implications of Russia's aggression against Ukraine on fisheries market. *Fishery Monitoring and Issues Weekly* 181, 8-27.
- Kocabas AM and Gatlin III DM. 1999. Dietary vitamin E requirement of hybrid striped bass (*Morone chrysops* female×*M. saxatilis* male). *Aquac Nutr* 5, 3-7. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1999.00074.x>.
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). 2023. Statistical Database. Retrieved from https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTITLE&menuId=M_01_01 on Feb 1, 2023.
- Krinsky NI. 1989. Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radic Biol Med* 7, 617-635. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(89\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0891-5849(89)90143-3).
- Lu Y, Liang XP, Jin M, Sun P, Ma HN, Yuan Y and Zhou QC. 2016. Effects of dietary vitamin E on the growth performance, antioxidant status and innate immune response in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture* 464, 609-617. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.009>.
- Li J, Liang XF, Tan Q, Yuan X, Liu L, Zhou Y and Li B. 2014. Effects of vitamin E on growth performance and antioxidant status in juvenile grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. *Aquaculture* 430, 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.019>.
- Lin YH and Shiau SY. 2005. Dietary vitamin E requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, at two lipid levels, and their effects on immune responses. *Aquaculture* 248, 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.020>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022a. General testing method (Vitamin A, E, D and B₂). In: Food Code. Chapter 8. Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC> on Feb 1, 2023.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022b. Testing methods for health functional food (Astaxanthin). In: Health Functional Food Code. Chapter 4.. Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FF> on Feb 1, 2023.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2023. Status of the Imports and Exports of Fisheries Products in Korea. Retrieved from <https://www.fips.go.kr/p/S020702/> on Feb 1, 2023.
- Moon SK, Lee DS, Yoon HD, Kim YK, Yoon NY, Kim IS and Jeong BY. 2012. Proximate and fatty acid compositions of three species of imported and domestic freshwater fishes. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 612-618. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0612>.
- Moren M, Opstad I, Bemtsen MHG, Zambonino-Infante JL and Hamre K. 2004. An optimum level of vitamin A supplements for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles. *Aquaculture* 235, 587-599. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.030>.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press, Washington D.C., U.S.A.
- Ormanci HB and Colakoglu FA. 2015. Nutritional and sensory properties of salted fish product, *lakerda*. *Cogent Food Agric* 1, 1008348. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1008348>.
- Ospina-Rojas IC, Pozza PC, Rodrigueiro RJB, Gasparino E, Khatlab AS and Murakami AE. 2020. High leucine levels affecting valine and isoleucine recommendations in low-protein diets for broiler chickens. *Poult Sci* 99, 5946-5959. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.053>.
- Oluwaniyi OO, Dosumu OO and Awolola GV. 2010. Effect of local processing methods (boiling, frying and roasting) on the amino acid composition of four marine fishes commonly consumed in Nigeria. *Food Chem* 123, 1000-1006. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.051>.

- Park KI, Baek JY and Park MJ. 2018. An analysis on perception of trouts for trout consumption. *J Fish Mar Edu* 30, 47-55. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.47>.
- Park SY and Kim HR. 1996. Changes of food components and lipid peroxides in rainbow trout with growth. *Korean J Food Nutrition* 25, 928-931.
- Paul BN, Sarkar S and Mohanty SN. 2004. Dietary vitamin E requirement of mrigal, *Cirrhinus mrigala* fry. *Aquaculture* 242, 529-536. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.037>.
- Peng S, Chen L, Qin JG, Hou J, Yu N, Long Z, Li E and Ye J. 2009. Effects of dietary vitamin E supplementation on growth performance, lipid peroxidation and tissue fatty acid composition of black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) fed oxidized fish oil. *Aquac Nutr* 15, 329-337. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00657.x>.
- Sau SK, Paul BN, Mohanta KN and Mohanty SN. 2004. Dietary vitamin E requirement, fish performance and carcass composition of rohu (*Labeo rohita*) fry. *Aquaculture* 240, 359-368. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.02.008>.
- Shahkar E, Hamidoghli A, Yun H, Kim DJ and Bai SC. 2018. Effects of dietary vitamin E on hematology, tissue α -tocopherol concentration and non-specific immune responses of Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture* 484, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.036>.
- Teixeira B and Mendes R. 2020. The nutritional quality of dried salted cod: the effect of processing and polyphosphates addition. *J Food Nutr Res* 8, 304-312. <https://doi.org/10.12691/jfnr-8-7-1>.
- Tocher DR. 2015. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture* 449, 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>.
- Tokuda M and Takeuchi M. 1999. Effects of excess doses of α -tocopherol on the lipid in serum and muscle of rainbow trout. *Fish Sci* 65, 496-497.
- Tolasa S, Cakli S and Ostermeyer U. 2005. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid. *Eur Food Res and Technol* 221, 787-791. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0071-5>.
- Torrissen OJ. 1986. Pigmentation of salmonids-a comparison of astaxanthin and canthaxanthin as pigment sources for rainbow trout. *Aquaculture* 53, 271-278. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90357-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90357-1).
- van Vliet T and Katan MB. 1990. Lower ratio of n-3 to n-6 fatty acids in cultured than in wild fish. *Am J Clin Nutr* 51, 1-2.
- Wilson RP and Cowey CB. 1985. Amino acid composition of whole body tissue of rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture* 48, 373-376. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90140-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90140-1).
- Weaver KL, Ivester P, Chilton JA, Wilson MD, Pandey P and Chilton FH. 2008. The content of favorable and unfavorable polyunsaturated fatty acids found in commonly eaten fish. *J Am Diet Assoc* 108, 1178-1185. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.04.023>.
- Zhao H, Ma HJ, Gao SN, Chen XR, Chen YJ, Zhao PF and Lin SM. 2018. Evaluation of dietary vitamin E supplementation on growth performance and antioxidant status in hybrid snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*). *Aquac Nutr* 24, 625-632. <https://doi.org/10.1111/anu.12552>.
- Zhou QC, Wang LG, Wang HL, Wang T, Elmada CZ and Xie FJ. 2013. Dietary vitamin E could improve growth performance, lipid peroxidation and non-specific immune responses for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquac Nutr* 19, 421-429. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2012.00977.x>.