Check for updates

JFMSE, 38(5), pp. 987~995, 2026.
수산해양교육연구, 제38권 제5호, 통권143호, 2026.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2026.10.38.5.987

마늘분말 첨가 사료로 양성된 황복(*Takifugu obscurus*)의 식품학적 영양 성분 특성

김성민 · 김광배 · 이동훈†
†경기도해양수산자원연구소(연구사)

Nutritional and Biochemical Quality of River Puffer (*Takifugu obscurus*) Fed Diets Supplemented with Garlic Powder

Seong-Min KIM · Kwang-Bae KIM · Dong-Hoon LEE†
†Gyeonggi Province Maritime and Fisheries Research Institute(researcher)

Abstract

This study evaluated whether dietary garlic powder (GP1.5) enhances the nutritional quality of cultured river puffer fish (*Takifugu obscurus*). Skin collagen, muscle proximate composition, amino acids, and fatty acid profiles were compared among wild-caught fish, a commercial diet group (COM), and a garlic-supplemented group (GP1.5). Skin collagen levels showed no significant differences among all groups ($P>0.05$), ranging from 13.83% to 18.32%. For proximate composition, both cultured groups exhibited significantly lower crude lipid contents than wild fish ($P<0.05$), while moisture, crude protein, and ash remained statistically similar ($P>0.05$). Free amino acid analysis revealed taurine as the most dominant component, with the GP1.5 group displaying the significantly highest value (2,542.92±90.74 mg/100g) ($P<0.05$). Total saturated fatty acids (SFA) were lowest in the COM group, and monounsaturated fatty acids (MUFA) were lowest in the GP1.5 group ($P<0.05$); however, polyunsaturated fatty acids (PUFA) did not vary significantly ($P>0.05$). These results demonstrate that dietary garlic powder effectively improves the biochemical and flavor profile of cultured river puffer fish, confirming its efficacy for premium aquaculture production.

Key words : *Takifugu obscurus*, River puffer, Garlic powder, Amino acid, Fatty acid

Ⅰ. 서 론

복어목 참복과에 속하는 황복(*Takifugu obscurus*)은 고유의 담백하고 깊은 풍미 덕분에 예로부터 최고급 식재료로 고가에 유통되어 왔다. 그러나 복어류 특유의 강력한 독성으로 인해 국내에서 안전하게 섭취할 수 있는 종류는 황복을 포함하여 자주복(*T. rubripus*), 참복(*T. chinensis*), 까치복(*T. xanthopterus*) 등 극히 일부 품종으로 제한되어 있다(Kang et al., 2007). 특히 황복은 지리적으로 동해 연안 일부와 서해안, 그리고 한강 및 임진강 수계에 한정적으로 분포하며, 산란기인 봄철(4월 중순~6월 중순)에만 한시적으로 어획되는 생태적 특성 때문에 대중들에게는 봄철에만 맛볼 수 있는 극히 희귀한 어종으로 인식되어 왔다(Kang et al., 2007). 통계청 자료에 따르면 2025년 기준 국내 황복 어획량은 73톤 수준이며, 양식 생산량 또한 경기와 충남 지역을

† Corresponding author : 031-8008-8357, leedh27@gg.go.kr/orcid.org/0000-0002-2150-6778

합쳐 1톤 미만에 불과해 공급량이 절대적으로 부족한 실정이다(KOSIS, 2025). 이러한 수급 불균형을 해소하고 안정적인 생산 기반을 마련하기 위해 황복의 사육 환경, 사료 공급 방법 등 양식 기술 개발에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다(Kang et al., 2015).

국내 시장에서 황복은 주로 회, 탕, 튀김 등으로 조리되며, 껍질은 데침 과정을 거쳐 근육과 함께 별미로 소비된다. 어류 껍질층에 다량 분포하는 콜라겐은 외피 조직의 구조적 안정성을 유지하는 주요 단백질로서, 가공 가치 및 식품 물성적 측면에서 황복 껍질의 부가가치를 결정짓는 부수적 품질 요인으로 평가된다(Zhang et al., 2009).

그동안 인공 양식산 어류와 자연계 채포 어류 간의 이학적·식품학적 영양성분 차이를 규명하기 위한 연구는 뱀장어, 가물치, 조피볼락 및 민어 등 다양한 품종에서 다각도로 수행되어 왔으며(Kim et al., 2000; Lee et al., 2000; Yoon et al., 2006), 황복의 경우에도 자연산과 양식산 간의 성분 비교 분석이 이루어진 바 있다(Kang et al., 2007).

한편, 백합과 식물인 마늘(*Allium sativum*)은 면역 증진 및 생리활성 효과가 뛰어난 천연 기능성 소재로서, 수산양식 사료 첨가제로 널리 활용되고 있다(Gbekley et al., 2018; Subramanian et al., 2020). 사료 내 마늘 첨가는 어류의 성장 촉진뿐만 아니라 생체 내 단백질 축적 및 아미노산, 지방산 조성을 긍정적으로 변화시켜 영양학적 가치를 향상시킨다(Lee et al., 2012; Saleh et al., 2015; Esmaeili et al., 2017).

최근 황복 사료 내 마늘분말 첨가가 성장률과 사료 효율을 향상시킨다는 점이 확인되었으나(Lee, 2024), 최종 소비 관점에서의 식품학적 영양 품질 변화에 대한 정밀한 검증은 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 마늘분말(1.5%)을 첨가한 사료로 양성한 황복 가식부의 영양성분 및 이학적 품질 특성을 자연산 개체 및 상업용 사료 급이 개체와 비교·평가하고자 수행되었다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 실험어

본 실험에 사용된 양식산 황복 실험어는 경기도해양수산자원연구소 사육 실험실의 사육 수조 2개소(원형 5 m, 20톤)에서 18개월간 양식된 황복을 대상으로 하였다. 식품학적 영양성분 분석의 정밀성과 대표성을 확보하기 위해 수조 내 개체 간 성장 편차를 고려하여 전체 양성 개체 중 체장 20~22 cm, 체중 220~280 g 범위에 해당하는 균일한 표본만을 선별하였다. 이에 따라 넙치 상업용 사료 급이 대조구(COM) 5마리(평균 체중 247.0±18.4 g, 평균 체장 20.5±0.9 cm), 마늘분말 1.5% 첨가 사료 급이구(GP1.5) 5마리(평균 체중 268.4±29.7 g, 평균 체장 21.5±0.8 cm)를 최종 분석 표본으로 확보하였고, 실험구당 표본 수를 n=5로 제한하여 분석이 수행되었다. 자연산 황복(Wild)은 2024년 5월 경기도 파주시 임진강 수계에서 포획된 개체 중 5마리를 구입하여 사용하였으며, 평균 체중은 553.0±92.0 g, 평균 체장은 30.1±2.4 cm이었다(<Table 1>). 실험어는 머리와 내장을 제거하고 껍질과 근육을 분리하여 분석 시료로 사용하였다.

<Table 1> Mean fish weight (g) and length (cm) of wild and aquaculture river puffer (*Takifugu obscurus*) for food quality analysis.

Item	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
Fish weight (g)	553.0 ±92.0	247.0 ±18.4	268.4 ±29.7
Fish length (cm)	30.1 ±2.4	20.5 ±0.9	21.5 ±0.8

2. 실험어 껍질 콜라겐 분석

황복 실험어의 껍질 콜라겐 분석은 국제공인시험기관인 한국품질시험원(Korea Quality Testing Institute,

Suwon, Korea)에 의뢰하여 진행되었고, 하이드로프롤린(hydroxyproline) 분석법이 이용되었다.

3. 실험어 근육 일반성분 분석

황복 실험어의 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분에 대한 분석은 AOAC(1995)의 표준 절차에 따라 근육 내 화학적 분석이 수행되었다. 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법, 조회분은 직접회화법으로 측정되었다.

4. 실험어 근육 구성 및 유리아미노산 분석

황복 실험어의 근육 내 구성아미노산 분석은 시료 0.02 g을 15 mL 유리 튜브에 취하여 6 N HCl 15 mL를 첨가하고, dry oven에서 115~135°C, 18~24시간 동안 반응시킨 후, 감압농축기를 50℃, 130 rpm 조건에서 사용하여 농축하였다. 농축된 수기에 0.2 N 구연산나트륨 완충액(pH 2.2) 25 mL를 첨가한 후 0.2 μm membrane filter로 여과하여 아미노산 자동분석기 S433(Sykam GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였다. 유리아미노산은 시료 0.5 g에 70% 에탄올 50 mL를 첨가하여 30분 동안 추출한 후 10분간 방치하고 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하는 과정을 3회 반복하였다. 추출액은 감압 농축하고 0.2 N 구연산나트륨 완충액(pH 2.2) 25 mL를 첨가한 후 0.2 μm membrane filter로 여과하여 아미노산 자동분석기 S433(Sykam GmbH, Germany)을 통해 분석하였다.

5. 실험어 지방산 분석

Folch et al.(1957)의 방법에 따라 chloroform: methanol (2:1, v/v) 혼합액으로 총지질을 추출한 후, 14% BF_3-methanol 용액을 이용하여 지방산을 메틸에스테르화(methyl ester)한 후, gas chromatography (GC-FID, Thermo Fisher Scientific, USA)를 사용하여 분석하였다.

6. 통계 처리

모든 분석 결과는 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었다. 통계 처리는 SPSS 소프트웨어(Ver. 10.0, IBM Corp, Armonk, NY, USA)를 이용하여 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였으며, 처리구 간 유의성 검증은 duncan's multiple range test를 적용하여 $P<0.05$ 수준에서 검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 콜라겐 함량

3종류의 황복 실험어에서 분리된 껍질 내 콜라겐 함량을 분석한 결과는 <Table 2>와 같다. 하이드로프롤린(hydroxyproline) 분석법으로 산출된 콜라겐 평균 함량은 Wild 실험구(18.32±0.20%)에서 높게 나타났으나, GP1.5 실험구 시료(16.13±2.88%)와는 유의한 차이를 나타내지 못했다($P>0.05$). 그리고 COM 실험구 시료의 경우는 가장 낮은 콜라겐 함량을 보였다($P<0.05$).

2. 일반성분 함량

3종류의 황복 실험어에서 분리된 근육 내 일반성분 조성은 <Table 3>에 나타내었다.

<Table 2> Collagen contents (%, as-is basis) in skin of wild and aquacultured river puffer (*Takifugu obscurus*)[1]

Content (%, as-is basis)	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
Fish skin collagen	18.32±0.20[a]	13.83±1.32[b]	16.13±2.88[ab]

[1]Different superscripts within same row letters indicate statistical difference ($P<0.05$).
COM, commercial diet; GP, garlic powder.

<Table 3> Proximate composition (%, as-is basis) of muscle of wild and aquaculture river puffer (*Takifugu obscurus*)[1]

Content (%, as-is basis)	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
Moisture	79.45±0.13^{ns}	79.75±0.40	79.29±0.32
Crude protein	18.04±0.08^{ns}	17.86±0.41	18.37±0.30
Crude lipid	0.33±0.01^{a}	0.24±0.03^{b}	0.26±0.04^{ab}
Crude ash	1.32±0.06^{ns}	1.22±0.09	1.21±0.03

[1]Different superscripts within same row letters indicate statistical difference (P<0.05).
COM, commercial diet; GP, garlic powder.

자연산 및 양식산 2종(COM, GP1.5)의 황복 시료의 수분 함량은 79.29~79.75%, 조단백질 함량은 17.86~18.37%, 조지방 함량은 0.24~0.33%, 그리고 회분 함량은 1.21~1.32%의 값을 보였다. 수분, 조단백질 및 조회분의 경우 자연산 및 양식산 2종(COM, GP1.5)의 황복 시료 사이에는 유의한 차이를 나타내지 못했으나(P>0.05), 조지방의 경우 Wild 실험구(0.33±0.01%)에서 가장 높은 값을 보였으며, COM 실험구 시료(0.24±0.03%)에서 가장 낮은 값을 보였다(P<0.05).

3. 구성 및 유리아미노산 함량

자연산 및 양식산 2종(COM, GP1.5)의 황복 시료의 구성아미노산 함량에 대한 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Content of amino acid composition in muscle of wild and aquaculture river puffer (*Takifugu obscurus*)[1]

Amino acid (%, as-is basis)	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
Valine	0.99±0.06^{ns}	1.04±0.01	1.03±0.04
Leucine	1.45±0.06^{ns}	1.51±0.07	1.46±0.00
Histidine	0.57±0.01^{ns}	0.59±0.05	0.59±0.01
Isoleucine	0.95±0.06^{ns}	1.01±0.04	0.99±0.02
Phenylalanine	0.74±0.01^{ns}	0.76±0.03	0.74±0.00
Methionine	0.06±0.00^{ns}	0.06±0.00	0.05±0.00
Lysine	1.68±0.08^{ns}	1.75±0.06	1.72±0.01
Threonine	0.73±0.02^{ns}	0.73±0.01	0.69±0.01
Essential amino acids (EAA)	7.15±0.33^{ns}	7.43±0.27	7.26±0.07
Arginine	1.31±0.08^{ns}	1.19±0.05	1.23±0.03
Alanine	1.17±0.03^{a}	1.06±0.00^{b}	1.08±0.04^{ab}
Glutamic acid	2.76±0.01^{ns}	2.71±0.10	2.69±0.04
Proline	0.86±0.09^{a}	0.66±0.04^{b}	0.69±0.01^{ab}
Aspartic acid	1.81±0.01^{ns}	1.84±0.07	1.83±0.01
Glycine	1.26±0.30^{ns}	0.96±0.08	1.03±0.01
Serine	0.65±0.01^{a}	0.60±0.00^{b}	0.57±0.01^{c}
Tyrosine	0.47±0.03^{b}	0.54±0.01^{a}	0.49±0.01^{ab}
Cysteine	0.00±0.00^{ns}	0.00±0.00	0.00±0.00
Non-essential amino acids	10.27±0.47^{ns}	9.54±0.24	9.61±0.06
Total	17.42±0.14^{ns}	16.97±0.01	16.87±0.51

[1]Different superscripts within same row letters indicate statistical difference (P<0.05).
COM, commercial diet; GP, garlic powder.

분석된 3종류의 시료 모두 glutamic acid (2.69~2.76%) 함량이 가장 높았으며, aspartic acid (1.81~1.83%), lysine (1.68~1.75%), leucine (1.45~1.51%), arginine (1.19~1.31%), glycine (0.96~1.26%), alanine (1.06~1.17%)의 함량이 다른 아미노산에 비해 높은 값을 보였다. 황 함유 아미노산인 cysteine은 3종의 시료에서 검출되지 않았다. 3종류의 시료 간 유의한 차이를 나타낸 아미노산은 alanine, proline, serine 및 tyrosine이었으며($P<0.05$), tyrosine을 제외한 3종류의 아미노산은 Wild 실험구 시료에서 가장 높은 값을 보였다 ($P<0.05$).

그리고 3종류의 시료 모두에서 필수아미노산 함량(7.15~7.43%)에 비해 비필수아미노산 함량 (9.54~10.27%)이 높게 나타나는 결과를 보였다. 방향족 아미노산인 phenylalanine (0.74~0.76%) 및 tyrosine (0.47~0.54%)의 함량비는 낮은 경향을 보였다. 자연산 및 양식산 2종(COM, GP1.5)의 황복 시료의 유리아미노산 함량에 대한 결과는 <Table 5>에 나타내었다. 전체 유리아미노산 함량은 Wild 실험구 시료 3,685.83±69.40 mg/100g, COM 실험구 시료 3,098.10±147.21 mg/100g 및 GP1.5 실험구 시료 3,754.43±125.96 mg/100g의 값을 보였으나($P<0.05$), Wild 실험구 시료와 GP1.5 실험구 시료에서 유의한 차이는 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

<Table 5> Content of free amino acid composition in muscle of wild and aquaculture river puffer (*Takifugu obscurus*)[1]

Free amino acid (mg/100g)	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
Phosphoserine	26.81±0.35^{b}	33.05±1.68^{ab}	38.35±3.03^{a}
Taurine	2,276.09±53.26^{b}	2,053.69±39.39^{c}	2,542.92±90.74^{a}
Asparagine	0.00±0.00^{b}	0.00±0.00^{b}	57.58±6.83^{a}
Aspartic acid	45.46±1.18^{a}	33.88±0.47^{c}	36.90±0.28^{b}
Threonine	26.95±0.97^{ns}	21.66±3.85	20.48±1.23
Serine	32.38±2.42^{a}	28.02±0.01^{ab}	27.67±0.55^{b}
Glutamic acid	8.37±5.67^{ns}	6.35±2.14	7.42±2.72
Proline	113.08±1.20^{a}	26.06±2.11^{c}	32.40±1.41^{b}
Glycine	202.94±1.61^{b}	230.20±8.72^{a}	204.08±3.80^{b}
Alanine	267.30±2.56^{a}	84.04±2.12^{c}	121.36±2.73^{b}
α-Aminobutyric acid	10.46±0.58^{ns}	8.62±2.43	6.93±3.25
Valine	36.40±3.65^{a}	5.54±4.25^{b}	12.27±0.57^{b}
Methionine	13.26±2.33^{ns}	8.01±1.55	9.23±0.59
Isoleucine	32.34±0.77^{a}	8.01±2.76^{b}	9.40±3.09^{b}
Leucine	44.61±3.56^{a}	11.82±0.13^{b}	14.28±1.58^{b}
Tyrosine	14.50±1.39^{a}	6.99±1.55^{b}	9.88±1.51^{ab}
Phenylalanine	20.20±0.21^{a}	7.26±0.58^{b}	8.31±0.22^{b}
β-Alanine	21.54±10.32^{ns}	18.93±0.91	24.70±9.45
γ-Aminobutyric acid	15.79±1.75^{ns}	22.81±27.27	52.08±21.22
Histidine	15.99±0.97^{a}	11.23±0.35^{b}	14.73±0.64^{a}
Lysine	11.71±0.16^{ns}	31.57±25.82	27.90±8.70
Ammonia	163.63±0.15^{b}	130.39±0.12^{c}	179.22±7.73^{a}
Arginine	286.07±1.39^{ns}	310.03±42.96	296.40±1.77
Total	3,685.83±69.40^{a}	3,098.10±147.21^{b}	3,754.43±125.96^{a}

[1]Different superscripts within same row letters indicate statistical difference ($P<0.05$).
COM, commercial diet; GP, garlic powder.

3종류의 시료에서 공통적으로 taurine이 가장 많이 함유된 것으로 나타났으며(2,053.69~2,542.92 mg/100g), arginine (286.07~310.03 mg/100g), glycine (202.94~230.20 mg/100g) 및 alanine (84.04~267.30 mg/100g) 등의 순으로 높은 값을 보였다.

4. 지방산 조성

자연산 및 양식산 2종(COM, GP1.5)의 황복 시료의 지방산 조성에 대한 결과는 <Table 6>에 나타내었다. 3종류의 시료에서 포화지방산 조성은 공통적으로 palmitic acid (C16:0)가 주요 성분이었으며, Wild 실험구 시료(45.58±0.16%)에 비해 양식산 2종(COM 46.20±0.03%, GP1.5 46.12±0.03%) 시료에서 유의하게 높았고(P<0.05), 양식산 2종(COM, GP1.5) 시료 사이에는 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 단일불포화지방산(MUFA)에서 palmitoleic acid (C16:1)는 Wild 실험구 시료(1.32±0.00%)가 양식산 2종(COM 1.94±0.06%, GP1.5 1.59±0.01%) 시료에 비해 낮은 값을 보였다(P<0.05).

그러나 oleic acid (C18:1)는 Wild 실험구 시료(9.52±0.05%)가 양식산 2종(COM 8.56±0.00%, GP1.5 7.69±0.38%) 시료에 비해 높은 값을 나타내었다(P<0.05).

고도불포화지방산에서 eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5)의 경우 Wild 실험구 시료 5.01±0.12%, COM 실험구 시료 4.29±0.07% 및 GP1.5 실험구 시료 5.11±0.10%로 구성되어 있었고(P<0.05), GP1.5 실험구 시료가 가장 높은 값을 보였으나 Wild 실험구 시료와는 유의한 차이는

<Table 6>. Fatty acid profile (% of total fatty acids) in muscle of wild and aquaculture river puffer (*Takifugu obscurus*)[1].

Fatty acid (area %)	Wild	Aquaculture	
		COM	GP1.5
C12:0	0.50±0.00^{a}	0.00±0.00^{b}	0.00±0.00^{b}
C14:0	3.00±0.01^{a}	2.07±0.02^{c}	2.63±0.07^{b}
C15:0	0.46±0.01^{b}	0.52±0.00^{a}	0.42±0.00^{c}
C16:0	45.58±0.16^{b}	46.20±0.03^{a}	46.12±0.03^{a}
C16:1	1.32±0.00^{c}	1.94±0.06^{a}	1.59±0.01^{b}
C17:0	0.30±0.07^{ns}	0.40±0.02	0.37±0.00
C18:0	16.24±0.06^{b}	16.69±0.14^{a}	16.43±0.00^{ab}
C18:1n9	9.52±0.05^{a}	8.56±0.00^{b}	7.69±0.38^{c}
C18:2n6	4.03±0.06^{b}	1.37±0.01^{c}	5.63±0.13^{a}
C20:0	0.44±0.00^{b}	0.38±0.02^{b}	0.79±0.04^{a}
C20:1	0.71±0.01^{b}	0.71±0.01^{b}	1.59±0.06^{a}
C20:4n6	1.49±0.04^{b}	4.22±0.07^{a}	0.00±0.00^{c}
C20:5n3	5.01±0.12^{a}	4.29±0.07^{b}	5.11±0.10^{a}
C22:6n3	11.43±0.18^{b}	12.68±0.05^{a}	11.64±0.16^{b}
SFA	66.51±0.13^{ab}	66.25±0.23^{b}	66.76±0.06^{a}
MUFA	11.54±0.06^{a}	11.21±0.05^{ab}	10.86±0.33^{b}
PUFA	21.96±0.08^{ns}	22.55±0.18	22.38±0.38
Total	100.00±0.00^{ns}	100.00±0.00	100.00±0.00

[1]Different superscripts within same row letters indicate statistical difference (P<0.05).
SFA, Saturated fatty acids; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids; COM, commercial diet; GP, garlic powder.

나타나지 않았다(P>0.05). 그러나 docosahexaenoic acid (DHA, C22:6)는 COM 실험구 시료(12.68±0.05%)가 가장 높은 값을 보였으며(P<0.05), Wild 실험구 시료(11.43±0.18%)가 가장 낮은 값을 나타내었으나 GP1.5 실험구 시료(11.64±0.16%)와는 유의한 차이를 보이지 않았다(P>0.05).

전체 포화지방산(SFA)에서 COM 실험구 시료(66.25±0.23%)가 가장 낮은 값을 보였고(P<0.05), 단일불포화지방산(MUFA)은 GP1.5 실험구 시료(10.86±0.33%)가 가장 낮은 값을 나타내었으며(P<0.05), 고도불포화지방산(PUFA)은 3종류의 시료에서 유의한 차이를 나타내지 못했다(P>0.05).

Ⅳ. 결 론

본 연구는 마늘분말을 첨가한 기능성 사료로 양성한 황복 가식부인 껍질(콜라겐 함량) 및 등근육(일반성분, 구성 및 유리아미노산, 지방산 조성)의 생화학적 조성을 정밀 분석하여, 자연산 황복 및 일반 상업용 배합사료 급이 개체와의 식품학적 품질 차이를 평가하고자 수행되었다.

동물성 기원의 구조 단백질인 콜라겐은 피부와 골격 기질을 형성하는 성분으로, 피부 건강 및 관절 보전 등 다양한 영역에서 연구되고 있다(Perlish et al., 1998; Yang and Hong, 2014). 황복 표피 부위는 콜라겐을 함유하여 조리 시 육질과 함께 소비되는 특성이 있다. 본 실험에서 황복 껍질 내 콜라겐 평균 함량은 13.83%에서 18.32% 범위로 관찰되었으며, 이는 명태 표피층의 저분자 콜라겐 함량 보고(Yang and Hong, 2014)와 비교했을 때 황복 껍질 역시 가식성 결합조직 단백질 공급원으로서의 기초적 활용 가치를 지니고 있음을 보여준다.

실험에 사용된 황복 등육의 일반성분을 검토한 결과, 수분(79.29~79.75%), 조단백질(17.86~18.37%), 조회분(1.21~1.32%)은 실험구 간 명확한 통계적 차이를 보이지 않았다. 이는 과거 Kang et al.(2007)이 보고한 황복의 일반성분 데이터(수분 79.49~80.88%, 조단백질 16.43~17.14%)와 비교 시 본 연구의 단백질 함량이 다소 높게 측정되었으며, 반대로 지방과 회분 함량은 상대적으로 낮게 나타났다. 이와 같은 분석치의 차이는 야생 개체의 채포 환경 및 사육 수조 내 개체 간 성장 편차에 따른 균일 규격(체장 20~22 cm, 체중 220~280 g) 선별 제약으로 소표본(n=5) 설정에서 기인할 수 있으나, 무엇보다 양식 시험에 사용된 배합사료의 영양적 조성 차이가 황복 어체의 최종 성분 축적 양상에 변수로 작용했기 때문으로 판단된다. 실제로 과거 연구에 사용된 사료는 조단백질 45.0% 수준의 일반 시판 사료였던 반면(Kang et al., 2007), 본 연구의 대조구와 시험구에 적용된 사료는 조단백질 함량이 58.0% 이상으로 설계된 고단백 사료였기에 어체 내 단백질 축적이 높게 나타났다는 가능성을 추측할 수 있다.

근육 내 구성아미노산 분석 결과에서는 선행 문헌과 일관되게 모든 실험구에서 glutamic acid가 가장 높은 함량을 나타내었고, 필수아미노산의 총량이 비필수아미노산 총량보다 낮게 형성되는 전형적인 특성을 공유하였다(Kang et al., 2007). 다만, 과거 연구와 달리 본 실험에서는 황 함유 아미노산인 cysteine이 전 샘플에서 검출 한계 미만으로 나타나 다소간의 분석적 차이를 보였다(Kang et al., 2007). 유리 상태로 존재하는 아미노산은 체내 유용 대사 물질의 전구체 역할을 할 뿐만 아니라, 그 자체로 수산물 고유의 감칠맛과 풍미를 결정하는 핵심 맛 물질이다(Ohta, 1976). 이는 다양한 수산동물(뱀장어, 복어, 가물치 등)에서 taurine이 주요 유리아미노산으로 높은 비중을 차지한다는 보고(Kim et al., 2000)와 황복 육질에서도 taurine, proline, glycine, alanine 등이 다량으로 분포한다는 보고(Kang et al., 2007)와 일치하는 결과이다.

지방산 조성 면에서는 대다수 어류가 고도불포화지방산(PUFA) 우점형을 보인다는 일반적 경향과 달리(Jeong et al., 1999), 본 황복 샘플들은

palmitic acid(C16:0)를 중심으로 한 포화지방산(SFA)의 구성 비율이 가장 높게 발현되는 독특한 지질 대사 특성을 나타내었다(Kang et al., 2007). 이는 황복의 종 특이성을 규명한 과거 연구들과 유사한 결과이다. 기존 자주복 연구에서는 자연산 개체의 C16:0 비율이 높은 반면 양식산은 DHA(C22:6) 비율이 비정상적으로 비대해지는 사료 의존성 편중이 보고된 바 있으나(Kim et al., 2000), 본 연구의 마늘분말 첨가구(GP1.5) 황복은 자연산 개체와 비교했을 때 명확한 차이를 보이지 않았다. 양식산 복어 종류들은 사료 종류에 따라 지방산 구성비가 확연히 달라지는데, 일반적으로 어류 조직의 지질 변동은 사료 내 지질 성분에 직접적인 영향을 받기 때문이다(Aoki et al., 1991).

결론적으로, 본 연구를 통해 배합사료 내 마늘 성분(1.5%)의 유입이 황복 근육 내의 기능성 유리 타우린(taurine) 수치를 통계적으로 유의미하게 대폭 증가시켰을 뿐만 아니라, 오메가-3 계열의 고도불포화지방산인 EPA(C20:5)의 체내 구성비를 향상시키는 사실이 확인되었다. 다만 본 연구는 사육수조 내 규격 개체 선별 제약으로 인해 소표본(n=5) 조건에서 수행되었다는 한계가 있으며, 자연산(평균 553 g)과 양식산(평균 247~268 g) 간의 생태적 성숙도 및 체급 차이가 성분 대사의 교란 요인으로 작용했을 가능성이 존재한다. 그럼에도 불구하고 본 결과는 사료 내 기능성 마늘 분말의 첨가가 황복의 근육 내 유리아미노산 및 지방산 조성에 영향을 미칠 가능성을 확인하였고, 향후 대단위 현장 검증을 거쳐 고품질 양식 황복 생산을 위한 사료 첨가제 활용 기초 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

AOAC(1995). Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 16th ed.. Washington DC, USA.

Aoki T, Takata K and Kunisaki N(1991). Comparison of nutrient components of six species of wild and cultured fishes. Nippon Suisan Gakkaishi, 57, 1927~1934. https://doi.org/10.2331/suisan.57.1927

Esmaeili N, Abedian-Kenari A and Rombenso AN(2017). Effects of fish meal replacement with meat and bone meal using garlic (*Allium sativum*) powder on growth, feeding, digestive enzymes and apparent digestibility of nutrients and fatty acids in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*, 1792). Aquacult Nutr, 23(6), 1225~1234. https://doi.org/10.1111/anu.12491

Folch J, Lees M and Sloane Stranley GH(1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. Journal of Biological Chemistry, 226, 497~500. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5

Gbekley HE, Karou SD, Katawa G, Tchacondo T, Batawila K, Ameyapoh Y and Simpore J(2018). Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the management of hypertension in the maritime region of Togo African. Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 15, 85~97. https://doi.org/10.21010/ajtcam.vi15.1.9

Jeong BY, Moon SK, Choi BD and Lee JS(1999). Seasonal variation in lipid class and fatty acid composition of 12 species of Korean fish. Journal of koreascience Fish Soc 32, 30~36. Retrieved from https://koreascience.kr/article/JAKO199923607620405.pdf on July 10, 2024.

Kang HW, Shim KB, Kang DY, Jo KC, Song KC, Lee JH, Song HI, Son SG and Cho YJ(2007). Sitological quality evaluation of cultured and wild river puffer, *Takifugu obscurus* (Abe). Journal of Aquaculture, 20(3), 147~153. Retrieved from https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO200707341591961&dbt=JAKO&koi=KISTI1.1003%2FJNL.JAKO200707341591961 on July 10, 2024.

Kang HW, Cho JK, Son MH, Hong CG and Park JY(2015). Effect of feeding frequency on growth and body composition of juvenile river puffer, *Takifugu obscurus* in Winter season. JFMSE, 27(3), 718~724.

http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.3.718

KOSIS(2025). Korean Statistical Information Service. Statistics by type of fishery, breed and fishing method for 2006-2025 period. KOSIS. Daejeon, South Korea.

Kim HY, Shin JW, Sim GC, Park HO, Kim HS, Kim SM, Cho JS and Jang YM(2000). Comparison of the taste compounds of wild and culture eel, puffer and snake head. Kor. Journal of Food Sciences Tech., 32(5), 1058~1067. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/263436743_Comparison_of_The_Taste_Compounds_of_Wild_and_Cultured_Eel_Puffer_and_Snake_head on July 10, 2024.

Lee HM, Park MW and Jeon IG(2000). Comparison of nutritional characteristics between wild and cultured juvenile black rockfish, *Sebastes schlegeli*. Korean Fish Soc, 33, 137~142.

Lee DH, Lim SR, Ra C and Kim JD(2012). Effects of Dietary Garlic Extracts on Whole Body Amino Acid and Fatty Acid Composition, Muscle Free Amino Acid Profiles and Blood Plasma Changes in Juvenile Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus*. Asian-Australas Journal of Animal Sciences, 25(10). 1419~1429. https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12184.

Lee DH(2024). Effect of dietary garlic powder on growth and feed utilization in river puffer fish, *Takifugu obscurus*. JFMSE, 36(1), 174~185. https://doi.org/10.13000/JFMSE.2024.2.36.1.174

Ohta S(1976). Food seasoning. Saiwaisyobow, Tokyo, Japan. 146~187.

Perlish JS, Lemlich G and Fleischmajer R(1998). Identification of collagen fibrils in scleroderma skin. Journal of Invest Dermatol, 90(1), 48~54. https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12462561

Saleh NE, Michael FR and Toutou MM(2015). Evaluation of garlic and onion powder as phyto-additives in the diet of sea bass (Dicentrarcus labrax). Egypt Journal of Aquatic Research, 41(2), 211~217. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.03.008

Subramanian MS, Nandagopal G, Amin Nordin S, Thilakavathy K and Joseph N(2020). Prevailing knowledge on the bioavailability and biological activities of sulphur compounds from alliums: a potential drug candidate. Molecules, 25(18), 4111. https://doi.org/10.3390/molecules25184111

Yang SU and Hong JH(2014). Physicochemical properties and biological activities of collagens with different molecular weights from alaska pollack (*Theragra chalcogramma*) skin. Journal of Korean Soci Food Science Nutr, 43(10), 1535~1542. http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.10.1535

Yoon HS, Seo DC, An YK and Choi SD(2006). Seasonal changes of body composition and elasticity between wild and cultured brown croaker, *Miichthys miiuy*. Korean Journal of Environ Bio, l 24, 179~185. Retrieved from https://koreascience.or.kr/article/JAKO200629734084337.pdf on July 10, 2024.

Zhang M, Liu W and Li G(2009). Isolation and characterisation of collagens from the skin of largefin longbarbel catfish (*Mystus macropterus*). Journal of Food Chemistry, 115(3), 826~831. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.006

• Received : 01 July, 2026
• Revised : 10 August, 2026
• Accepted : 17 August, 2026