

유자 첨가 사료로 사육한 뱀장어의 영양학적 특성

황재호·이시우·라성주·정동희·한경호·신태선*
전남대학교 식품공학영양학부 및 해양기술학부

Nutritional Characteristics of Eels (*Anguilla japonica*) Fed a Diet of Yuza (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka)

Jae-Ho Hwang, Si-Woo Lee, Sung-Ju Rha, Dong-Hee Jeong,
Kyeong-Ho Han and Tai-Sun Shin*

Division of Food Science & Nutrition and Marine Technology,
Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

The study investigated the effect of diets supplemented with different levels (0 and 2.5%) of yuza (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) on the nutritional characteristics of eels (*Anguilla japonica*). Fish (9.8±1.3 g) was fed to apparent satiation twice daily for 8 months. There were no significant differences in proximate composition among the treatment groups, except for the ash and carbohydrate contents ($P<0.05$). The vitamin C content of eel muscle in the yuza-added group was two-times higher than in non-added groups ($P<0.05$). Among eight organic acids in eel muscle, lactic acid was predominant, followed by citric acid, oxalic acid, malic acid, and acetic acid. Eels fed a 2.5% yuza diet had the highest lactic acid content in all groups. Six sugars were found in all groups and glucose was the major sugar. Glucose and maltose were the dominant sugars in the yuza-added group. The abundant fatty acids in the yuza-added group were C18:1 n-9, C16:0, and C16:1 n-7, which comprised over 80% of the total fatty acids. The major amino acids in samples were glutamic acid, aspartic acid, lysine, and leucine. There were few differences in the free amino acid compositions among the groups. However, histidine was the predominant amino acid and constituted over 53% of the total free amino acids.

Key words: Eel, Yuza, Amino acid, Sugar, Organic acid, Fatty acid

서 론

뱀장어는 잉어 및 가물치와 함께 대표적 담수어종으로 우리나라 전역에 분포하고 있으며, 전라도 지역을 중심으로 대량 양식되고 있다 (Kang et al., 2000; Hong et al., 2005). 뱀장어는 국내는 물론 중국, 일본, 대만 등에서도 양식되는 고부가가치 양식어종으로서 단백질, 지방, 무기질, 비타민 등을 풍부하게 함유하고 있어, 건강 증진을 위한 대표적 보양식으로 이용되고, 농축물 형태의 건강보조식품으로도 인기가 높다. 양식산 뱀장어는 자연산 뱀장어와 달리 인위적인 사료공급을 통해 사육되는 만큼 자연산과 다른 영양적 특성을 통한 품질개선이 이루어질 수 있다. 이러한 양식 뱀장어의 품질개선을 위해 오매, *Prunus mume* 추출물 (Kim et al., 2009), yeast β -glucan (Kim et al., 2008), 맥반석과 BAISM의 혼합물 (Bae et al., 2008) 등을 첨가한 사료급이에 의한 성장과 면역반응, 생리기능 향상에 미치는 영향에 대한 연구가 보고된 바 있다.

유자는 운향과 감귤류 과일 중의 하나로 다양한 phytochemicals와 특히 다량의 비타민 C를 함유하고 있는 향기로운 과실로서 예로부터 감기예방을 위한 전통차로 이용되었으며 식초나 드레싱 등으로 이용되어 왔다 (Yoo et al., 2004). 최근에 유자 추출물의 생리활성에 대한 평가도 활발하게 진행되고 있는데, 플라보노이드류의 심혈관계 질환 발생을 감소

(Calabro et al., 2004; Cha and Cho, 2001)와 항산화능력과 항암 효과 (Yoo and Hwang, 2004; Yoo et al., 2005) 등 많은 연구가 보고되었다. 또한, 국내에서 수산물을 선호하는 이유가 독특한 맛(28.6%), 각종 영양이 풍부하여 (26.5%), 성인병예방 (21.1%) 등의 순으로 나타나 (Kim et al., 2003), 수산식품 소비의 기호성이 맛과 영양성분뿐만 아니라 식품의 기능성까지 고려되고 있어 (Kim et al., 2009), 영양학적으로 우수하며 기능성을 갖춘 수산식품 개발에 지속적인 연구의 필요성이 대두되고 있어 유자를 첨가 사료로 급이한 넙치의 영양성분과 향미 성분 관련 연구도 수행된 바 있다 (Kim et al., 2009; Kim and Shin, 2009).

따라서 본 연구는 양식산 뱀장어의 품질 개선과 생리적 기능 향상과 유자 소비의 활성화를 위한 연구의 일환으로 사료에 유자를 첨가하여 사육한 뱀장어의 영양학적 특성을 고찰하였다.

재료 및 방법

실험어

실험에 이용된 뱀장어 (*Anguilla japonica*)는 2009년 7월 전라남도 영광군 소재의 A 양식장에서 약 2만 마리를 수용하는 2개 수조를 대상으로 2개의 실험구를 설정하고 0, 2.5% 유자첨가사료를 각각 투여하면서 8개월간 사육하였다. 또한 유자 무첨가 대조구를 추가적으로 전라남도 함평군 소재의

*Corresponding author: shints@chonnam.ac.kr

B 양식장에 설정하여 동일기간 사육한 뱀장어를 본 분석에 사용하였고, 유자사료는 냉장 저장한 유자 과일 전체를 갈아서 냉동 보관하였다가 생사료와 함께 일정 비율만큼 혼합 및 성형하여 급이하였다.

실험어의 일반성분 및 영양성분 측정용 시료는 각 수조에서 무작위로 30 마리를 추출한 후 양식장으로부터 활어차로 실험실까지 운반하고 이중 크기가 일정한 것을 10 마리 선별하여 일반성분 및 영양성분 분석에 사용하였다. 각 실험구의 실험어는 3개조로 분리하여 장기와 근육을 분리하고 근육을 균질기로 마쇄한 후 -80℃에 저장하여 시료로 사용하였다.

일반성분

일반성분은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 semimicro Kjeldahl법, 조회은 건식회화법, 조지방의 경우 Soxhlet법으로 측정하였다. 그리고 탄수화물은 100 - (수분 함량 + 조지방 함량 + 조단백질 함량 + 조회분 함량)으로 계산하였다.

총 vitamin C 분석

총 vitamin C의 분석은 Romeu-Nadal et al. (2006)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 25 g에 10% 메타인산용액 75 mL를 가하여 균질화하고 10% 메타인산용액으로 250 mL 정용한다음, 이 용액 3 mL를 주사기에 취한 후 membrane filter (0.45 µm)로 여과하여 1 mL를 형광 검출기를 사용하기 위해 유도체화 하였다. 시료 1 mL에 4.5 M sodium acetate buffer 1.2 mL, 14.77 mg/mL 2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride 50 µL, 0.1% o-phenyendiamine 500 µL를 혼합하여 56℃ 수조에서 40분간 반응시킨 다음 Table 1의 조건에 따라 HPLC (Prominence HPLC, Shimadzu Co. Ltd., Japan)로 분석하였다.

Table 1. HPLC operating conditions for analyses of total vitamin C, organic acid, and free sugar

Vitamin C	
Column	Nova Pack 4 µm C ₁₈ (3.9×300 mm)
Mobile phase	phosphate buffer (pH 7.8)
Flow rate	0.8 mL/min
Detector	Fluorescence detector (Ex=365, Em=425)
Oven temperature	30℃
Organic acid	
Column	Shim-pack SPR-102H (7.8×250 mm) × 2
Mobile phase	4 mM p-toluenesulfonic acid
Flow rate	0.8 mL/min
Reagent	16 mM Bis-Tris aqueous solution containing 4 mM p-toluenesulfonic acid and 100 µM EDTA (0.8 mL/min)
Detector	Conductive detector (43℃)
Oven temperature	40℃
Free sugar	
Column	Shim-pack ISA-07 (4.0×250 mm)
Mobile phase	A: potassium borate (pH 8), B: potassium borate (pH 9)
Flow rate	0.6 mL/min, gradient
Reagent	1% arginine in 3% boric acid (0.5 mL)
Reaction temperature	150℃
Detector	Fluorescence detector (Ex=320, Em=430)
Oven temperature	65℃

유기산 및 유리당 분석

뱀장어 5 g을 균질기 (Tissue grinder, IKA, Germany)에 넣고 80% 에탄올 20 mL를 가하여 균질화 시킨 다음 250 mL의 정용플라스크에 옮기고 80% 에탄올 (v/v) 80 mL를 가한 후 환류냉각기에 연결하였다. 수욕조 상에서 3시간 동안 환류 추출한 후, 6000 rpm으로 30분간 원심분리하고, 여과지 (Whatman No.1)로 여과하였다. 여액은 회전증발농축장치 (CCA1110, Eylea Co. Ltd. Japan)를 이용하여 에탄올을 완전히 휘발시켜 약 1 mL로 농축한 후 증류수를 사용하여 10 mL로 정용하였다. 이 용액 3 mL를 0.45 µm membrane filter로 여과하여 유기산과 유리당의 분석 시료로 사용하였다. 뱀장어의 유기산 및 유리당은 Table 1의 분석 조건에 따라 HPLC (Prominence HPLC, Shimadzu Co. Ltd., Japan)로 분석하였다.

지방산 분석

뱀장어의 지방 추출은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 시료 50 g을 균질기 (Tissue grinder, IKA, Germany)로 마쇄한 후 chloroform-methanol (2:1, v/v)용액을 시료의 약 10배량 가하고 혼합하고 냉암소에서 하룻밤 방치한 후 상등액을 제거하고 하층 chloroform 부분을 무수 Na₂SO₄로 탈수 여과시켜 추출하였다. 3회 추출 후 농축기로 농축하여 얻어진 지질을 15% BF₃-methanol 용액을 사용하는 AOAC (2000)법에 따라 methylation을 하였다. 지방산 분석은 gas chromatography (Shimadzu GC-2010, Shimadzu Co. Ltd., Japan)를 사용하였으며 column은 SP-2560(100m×0.25 mm id, ×0.2 µm film thickness, Supelco Inc., Bellefonte, USA)과 oven의 온도는 15 0℃에서 5분간 머물고 3℃/min로 상승시켜 250℃에서 5분간 유지하였다. 운반기체는 헬륨을 사용하여 18 cm/sec로 유속을 설정하였으며, split rate는 1:50으로 하였다. FID (flame ionization detector)로 지방산을 검출하였고 이때 injection port와 FID의 온도는 각각 270℃와 250℃로 하였다.

총 아미노산

총 아미노산의 분석은 ampoule로 분쇄한 시료 0.5 g과 6 N HCl 용액 15 mL를 각각 가한 후 진공펌프를 이용하여 진공 하에서 밀봉하여 110℃에서 24시간 가수분해하고 45℃에서 감압농축하여 산을 완전히 증발시킨 후, 구연산나트륨 완충용액 (pH 2.2)을 사용하여 25 mL로 희석한 다음 0.45 µm membrane filter로 여과하여 분석시료로 사용하였다. 총아미노산 분석은 아미노산 자동분석기 (LC-10A/C-R7A, Shimadzu Co, Ltd., Japan)를 사용하여 형광검출기를 이용하는 OPA (O-phthalaldehyde)법으로 측정하였다. Column은 Shim-pack AMINO-Na (6.0×100 mm), buffer flow rate는 0.6 mL/min, OPA reagent flow rate는 0.3 mL로 설정하여 분석하였으며 형광검출기의 여기파장은 350 nm와 방사파장은 450 nm를 사용하였다.

유리아미노산

유리아미노산은 분쇄한 시료 5 g을 칭량하여 에탄올 30 mL를 가하고 균질기 (Tissue grinder, IKA, Germany)로 균질화한 후 4℃에서 24시간 방치하였다. 이 용액을 15분간 원심분리

Table 2. HPLC operating conditions for analyses of total amino acids

(9,500×g)하여 상층액을 분리하였다. 다시 침전된 시료에 70% 에탄올 30 mL를 가하여 잘 혼합하고 원심분리한 후 상층액을 모아 40°C에서 감압농축하였다. 농축된 시료는 증류수와 디에틸 에테르를 이용하여 메스실린더에 옮긴 후 1시간 방치하여 디에틸 에테르층을 분리하여 지방을 제거하였다. 이것을 다시 감압농축하고 lithium citrate buffer (pH 2.2)를 이용하여 25 mL로 희석하였다. 여기에 sulphosalicylic acid 1 g을 넣고 잘 혼합한 후 암실에 1시간 방치하여 단백질을 침전시켰다. 이 용액을 원심분리 후 상층액을 0.45 µm membrane filter로 여과하여 얻은 여액을 분석시료로 사용하였다. 유리아미노산 분석은 아미노산 자동분석기 (LC-10A/C-R7A, Shimadzu Co. Ltd., Japan)를 사용하였으며 형광검출기를 이용하는 OPA (O-phthalaldehyde)법으로 측정하였다. Column은 Shim-pack AMINO-Na (6.0×100 mm), buffer flow rate는 0.6 mL/min, OPA reagent flow rate는 0.3 mL로 설정하여 분석하였으며 형광검출기의 여기파장은 350 nm와 방사파장은 450 nm를 사용하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복한 평균치로 나타내었으며, 유의성 검증은 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software package (version 17)를 사용하여 $P<0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성을 검증하였다 (Lee et al., 1998).

결과 및 고찰

일반성분

유자가 2.5% 첨가된 사료로 사육된 뱀장어의 일반성분 함량은 수분이 62.9±1.9%이었으며, 조단백질이 18.1±0.5%, 조지방이 17.2±0.4%, 회분이 1.3±0.0%, 탄수화물이 0.5±0.0%를 나타내어, 유자 무첨가 뱀장어와 비교해 수분, 조단백질, 조지방에서는 유의적 차이가 없었으나 ($P>0.05$), 회분과 탄수화물에서는 유의적인 차이를 나타내었다 ($P<0.05$) (Table 2). 이는 동일한 종은 아니나 선행연구에서 넙치, *Paralichthys olivaceus*

Table 2. Proximate composition(%) of muscle in eels fed different diets¹⁾

Proximate composition (g/100 g)	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	Control	2.5% Yuza
Moisture	63.0±1.2	63.1±1.5	62.9±1.9	
Crude Protein	18.1±0.4	18.3±0.6	18.1±0.5	
Crude lipid	17.1±0.2	16.9±0.4	17.2±0.4	
Ash	1.4±0.0 ^{b1)}	1.4±0.0 ^b	1.3±0.0 ^a	
Carbohydrate ²⁾	0.4±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a	0.5±0.0 ^c	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

²⁾Carbohydrate % = 100%-(moisture + protein + fat + ash)%.

에 유자를 단계적으로 첨가하여 넙치의 일반성분을 살펴본 결과 유의적 차이가 없었고 (Kim et al., 2009), 유자에 다량으로 함유된 vitamin C를 첨가하여 사육된 넙치에서도 일반성분에서는 유의적 차이가 없다는 보고 (Jeong et al., 2003)와 비슷한 결과를 보인 반면, 회분에서 유의적 차이를 보여 본 연구 결과와 차이를 나타내었다. 그러나 조피볼락, *Sebastes schlegelii*에서는 L-ascorbic acid를 단계적으로 첨가한 반정제 사료로 장기간 사육한 체성분의 일반성분 분석에서도 수분, 조단백질, 조지방에서 유의적인 차이는 없었으나, 회분에서는 유의적인 차이를 보인 것으로 보고되어 (Bai et al., 1996), 본 연구 결과와 일치되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 넙치의 사육기간이 4개월로 비교적 짧았던 반면 조피볼락과 뱀장어는 모두 8개월 이상의 장기 사육이었다는 차이점을 가지고 있으며, 지속적인 vitamin C의 장기간 첨가는 회분에 영향을 줄 수 있는 것으로 추정된다. 그러나 넙치와 조피볼락, 뱀장어는 종이 다르고 각각 해수와 담수에서 사육되는 양식어종으로서 직접적인 비교가 어려울 뿐 아니라 유자가 vitamin C를 다량 함유하고 있으나, 그 외의 기능성 물질도 존재하는 만큼 유자 첨가로 인한 회분의 차이가 vitamin C의 영향을 받았는지에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 판단된다.

비타민 C

유자를 2.5% 첨가한 사료로 사육한 뱀장어의 근육 내 비타민 C 함유량은 Table 3에 나타내었다. 유자 첨가사료로 사육한 뱀장어 근육 내 비타민 C 함유량은 2.2±0.1 mg/100 g으로, 일반 뱀장어 사료로 사육한 뱀장어보다 유의적으로 높게 나타났다 ($P<0.05$).

Table 3. Total vitamin C content of muscle in eels fed different diets¹⁾ (mg/100 g)

	Hampyeong	Yeonggwang	
	Control	Control	2.5% Yuza
Total vitamin C	0.9±0.0 ^c	1.1±0.0 ^{b1)}	2.2±0.1 ^a

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

Yoo et al. (2004)은 유자 내 비타민 C 함량을 88-107 mg/100 g으로 보고하였으며, Kim et al. (2009)은 비타민 C 함량이 72.01 mg/100 g인 마쇄 유자의 함유량을 단계적으로 첨가하여 4달간 사육한 넙치의 근육 내 비타민 C 함유량이 유의적으로 증가하였으며, 첨가량이 높을수록 체내 비타민 C 함유량은 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 2.5%의 유자를 첨가한 뱀장어의 비타민 C 함유량이 미첨가 사료로 사육한 뱀장어보다 약 2배정도 높게 나타났으며, 이러한 경향은 넙치에게 마쇄 유자를 2.5% 첨가하였을 때와 유사한 결과를 나타냈다 (Kim et al., 2009). 어류에 있어 조직 내 비타민 C의 영양상태를 나타내는 지표로서 간 (liver)과 전신 (anterior kidney)의 농도가 주로 사용되지만 (Halver et al., 1975; Thompson et al., 1993), Bae and Gatlin (1992)과 Bae et al., (1996)은 차벌메기와 조피볼

락 사료 내 비타민 C 함유량이 높으면 근육 내 비타민 C 축적이 이루어져 근육 내 비타민 C 농도의 측정치로 사용될 수 있다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 유자 첨가가 다량의 비타민 C를 지속적으로 공급하며, 유자 첨가 수준에 따라 체내의 비타민 C 함유량 또한 비슷한 수준을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 넙치와 뱀장어는 종과 사육환경, 체내 비타민 C 요구량이 다르며 같은 종간에도 어체크기와 다른 사료원료, 조성비, 사료 내 비타민 C 함유량에서 차이를 보일 수 있으며, 또한 체내 흡수율에서도 차이를 보일 수 있는 것도 배제할 수 없을 것으로 판단된다.

유기산

총 유기산 함량에서는 유자 첨가 뱀장어가 미첨가 뱀장어와 비교해 유의적으로 높게 나타났다 (Table 4). 어패류에서는 propionic acid, pyruvic acid, fumaric acid, malic acid, citric acid 등과 같은 다양한 유기산이 검출되며, 자연산 뱀장어에서는 propionic acid, butyric acid, valeric acid, oxalic acid가 주요 유기산이며, oxalic acid, fumaric acid, maleic acid, tartaric acid, citric acid는 흔적량에 불과한 것으로 보고되었다 (Yang and Lee, 1984). 본 연구에서 검출된 뱀장어 유기산은 lactic acid, oxalic acid, citric acid 등이 주로 검출되었으며, 자연산 뱀장어에서 주요 유기산이었던 butyric acid, valeric acid는 검출되지 않아 유기산 조성비와 함량에서 큰 차이를 보였다. 특히 lactic acid는 뱀장어 체내에서 검출량이 가장 높았으며, 그 검출량에서도 2.5% 유자 첨가 뱀장어가 135.8±3.1 mg/100 g으로 유의적으로 높은 값을 나타내었다 ($P<0.05$). Kim et al. (2009)은 유자를 첨가한 넙치의 lactic acid 함량은 자연산 넙치와 비슷한 함량을 보였으며, 2.5% 유자 첨가구가 가장 높은 값을 나타낸 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 유자 첨가 뱀장어의 lactic acid 함량이 유자 무첨가 뱀장어보다 높은 값을 나타내 실험적으로는 넙치와 유사한 결과를 나타내었다. 어류의 유기산 함량은 어획방법, 사후의 방치조건, 즉살방법에 따라 영향을

미치는 것으로 알려져 있으며, lactic acid는 활어가 즉살되었을 때 함량이 대체로 적고 stress나 운동량이 많을 때는 높은 함량을 나타내며, 백색육어류가 적색육어류보다 낮은 것으로 알려져 있다. 또한 회유성 적색어류의 경우 lactic acid 함량이 1% 이상을 함유할 때도 있으나 백색육어류의 경우 0.2% 이상을 함유할 때도 많다고 보고되었다 (Park et al., 1997). 본 연구에서는 유자 무첨가 뱀장어에서도 총 유기산 중 lactic acid가 50% 이상을 차지하였으며, 유자 첨가 뱀장어에서는 60% 이상을 나타내고 있어 유자 첨가가 유기산을 증가시키며 그 중 lactic acid의 함량에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

유리당

본 연구의 모든 뱀장어 구간에서 유리당은 총 6가지가 공통적으로 검출되었으며, 총 유리당은 유자 첨가 뱀장어가 89.5±2.2 mg/100 g으로 무첨가 뱀장어보다 유의적으로 높았으며 ($P<0.05$), glucose, maltose, ribose가 무첨가구와 비교해 높게 나타났다 (Table 5). 특히, glucose에서 유자 첨가구가 79.0 mg/100 g으로 무첨가구보다 1.5~2.0배 이상의 차이를 나타내었다. 어류의 주요 유리당은 glucose와 ribose이며, glucose는 생존상태에서 근육 중에 상당량 존재하나, 사후 glycogen으로부터 효소에 의해 분해되어 증가하여 (Park et al., 1997), 어체 사후에 방치시간, 방치조건에 따라 변하는 것으로 보고되어 있다 (Kim et al., 2009). 넙치에 유자를 단계적으로 첨가하여 급이하였을 때, 체내 유리당은 차이를 나타내었으나, glucose에서는 5.0% 첨가하여도 유의적인 차이를 보이지 않았던 것으로 보고되었다 (Kim et al., 2009). 그러나 본 연구에서 유자 첨가 뱀장어의 높은 유리당 함량, 특히 glucose의 검출량이 1.5~2.0배에 가까운 차이를 보여, 넙치와는 다른 결과를 나타내어, 유자첨가가 뱀장어에 있어 탄수화물의 이용성을 증가시킬 수 있는 가능성도 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 그러나, 넙치와 뱀장어의 실험 조건이 다르며, 또한 사후 조건에 따른 변화의 가능성도 배제할 수 없을 것으로 판단된다.

Table 4. Organic acid contents of muscle in eels fed different diets¹⁾ (mg/100 g)

Organic acid	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	2.5% Yuza	
Oxalic acid	32.5±0.7 ^{c1)}	43.8±1.2 ^a	39.3±0.9 ^b	
Citric acid	34.1±1.0 ^b	39.8±0.9 ^a	40.1±0.8 ^a	
Tartaric acid	0.3±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	
Malic acid	3.2±0.1	3.2±0.1	3.2±0.1	
Succinic acid	1.2±0.0 ^a	1.0±0.0 ^c	1.0±0.0 ^b	
Lactic acid	79.3±1.7 ^b	98.1±2.7 ^b	135.8±3.1 ^a	
Formic acid	0.5±0.0 ^b	0.5±0.0 ^b	0.6±0.0 ^a	
Acetic acid	2.2±0.0 ^a	2.2±0.0 ^a	1.9±0.1 ^b	
Total acids	153.2±4.0 ^c	188.8±3.7 ^b	222.2±5.6 ^a	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

Table 5. Free sugar contents of muscle in eels fed different diets¹⁾ (mg/100 g)

Organic acid	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	2.5% Yuza	
Sucrose	- ²⁾	-	-	
Cellobiose	-	-	-	
Maltose	2.3±0.0 ^{c1)}	6.1±0.1 ^b	6.6±0.2 ^a	
Lactose	-	-	-	
Rhamnose	-	-	0.1±0.0 ^a	
Ribose	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	0.4±0.0 ^a	
Mannose	2.1±0.1 ^a	1.2±0.0 ^c	1.8±0.1 ^b	
Fructose	3.4±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b	1.4±0.0 ^b	
Galactose	0.2±0.0 ^c	0.4±0.0 ^a	0.3±0.0 ^b	
Xylose	-	-	-	
Glucose	57.6±1.7 ^b	34.4±0.8 ^c	79.0±1.7 ^a	
Total sugar	65.8±1.7 ^b	43.7±0.9 ^c	89.5±2.2 ^a	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

²⁾Not detected.

지방산

유자 첨가 뱀장어와 무첨가 뱀장어의 지방산 조성은 Table 6에 나타내었다. 뱀장어의 지방산은 C18:1 n-9, C16:0, C16:1 n-7등의 조성비가 높았는데, 이들이 전체 구성비의 약 80% 이상을 차지하였다. 유자 첨가 및 무첨가구 뱀장어의 지방산 조성은 monoenes의 조성비가 62.1~63.4%로 가장 높았고, 다음으로 saturates (28.5~30.8%), polyenes (7.1~8.5%) 순으로 나타났다. Jeon et al. (2003)은 자연산 뱀장어의 지방산 조성에 있어 monoenes, saturates, polyenes 순으로 나타났으며, Hong et al. (2005)은 양식뱀장어의 뼈와 근육의 지방산조성에 있어서도 같은 경향을 보인다고 보고하여, 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. Saturates, monoenes에서는 2.5% 유자첨가구가 무첨가구와 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 ($P>0.05$), polyenes에서는 2.5% 유자첨가구가 영광 무첨가구보다 유의적으로 낮았으며 ($P<0.05$), 함평 무첨가구와는 유의적인 차이가 없었다 ($P<0.05$). 유자를 단계적으로 첨가한 사료를 급여하여 사육한 넙치에서도 유자의 지방함량이 낮아 지방산 조성의 변화는 없는 것으로 보고되었는데 (Kim et al., 2009), 본 연구에서도 이와 유사한 경향을 나타내어, 뱀장어에서도 유자 첨가로 인한 지방산 조성에 영향은 없는 것으로 사료된다.

Table 6. Fatty acid composition of muscle in eels fed different diets¹⁾ (weight, %)

Fatty acid	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	Control	2.5% Yuza
C12:0	0.1±0.0 ^{b1)}	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^c	
C14:0	2.8±0.1 ^a	2.8±0.1 ^a	2.5±0.1 ^b	
C15:0	0.6±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b	0.5±0.0 ^c	
C16:0	21.9±0.7 ^a	20.7±0.5 ^b	21.8±0.5 ^a	
C17:0	0.4±0.0 ^b	0.5±0.0 ^a	0.4±0.0 ^c	
C18:0	3.3±0.1 ^a	2.3±0.1 ^c	2.6±0.1 ^b	
C20:0	1.3±0.0 ^a	1.3±0.0 ^{ab}	1.2±0.0 ^b	
C22:0	0.4±0.0 ^a	0.3±0.0 ^b	0.3±0.0 ^c	
C24:0	1.9±0.1 ^b	2.0±0.1 ^a	1.7±0.0 ^c	
Saturates	30.8±0.8 ^a	28.5±0.8 ^b	29.4±0.7 ^{ab}	
C14:1n-5	0.3±0.0 ^b	0.3±0.0 ^a	0.2±0.0 ^c	
C16:1n-7	10.5±0.2 ^b	10.2±0.2 ^b	11.1±0.2 ^a	
C18:1n-9	47.9±1.1 ^a	49.6±1.5 ^a	49.4±1.2 ^a	
C20:1n-9	2.6±0.1 ^a	2.2±0.1 ^b	2.0±0.1 ^c	
C22:1n-9	0.3±0.0 ^a	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	
C24:1n-9	0.6±0.0 ^a	0.6±0.0 ^b	0.5±0.0 ^c	
Monoenes	62.1±1.6 ^a	63.0±1.2 ^a	63.4±1.6 ^a	
C18:2n-6	1.7±0.0 ^c	2.7±0.1 ^a	1.9±0.0 ^b	
C20:2n-6	0.5±0.0 ^c	0.9±0.0 ^b	1.0±0.0 ^a	
C22:2n-6	1.2±0.0 ^a	1.2±0.0 ^a	1.2±0.0 ^a	
C18:3n-6	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^c	
C18:3n-3	0.6±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b	0.3±0.0 ^c	
C20:3n-6	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^a	0.2±0.0 ^b	
C20:3n-3	2.5±0.1 ^a	2.4±0.1 ^a	2.3±0.1 ^b	
C22:6n-3	0.4±0.0 ^a	0.4±0.0 ^b	0.3±0.0 ^c	
Polyenes	7.1±0.2 ^b	8.5±0.2 ^a	7.2±0.2 ^b	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

Table 7. Total amino acid content of muscle in eels fed different diets¹⁾ (mg/100 g)

Amino acid	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	Control	2.5% Yuza
Aspartic Acid	1127.7±21.7 ^{b1)}	1288.6±30.8 ^a	1154.0±34.0 ^b	
Threonine	528.7±11.3 ^b	602.0±12.0 ^a	543.9±12.1 ^b	
Serine	482.1±6.1 ^b	540.8±11.6 ^a	494.0±11.2 ^b	
Glutamic Acid	1698.9±40.6 ^b	1980.9±62.6 ^a	1752.4±44.0 ^b	
Proline	597.9±17.1 ^b	632.5±12.7 ^a	521.5±14.5 ^c	
Glycine	672.5±17.9 ^c	901.4±22.3 ^a	721.0±15.0 ^b	
Alanine	690.8±15.3 ^b	843.9±23.4 ^a	716.4±19.0 ^b	
Cystine	8.2±0.2 ^b	7.5±0.2 ^c	10.1±0.2 ^a	
Valine	613.4±19.3 ^b	699.5±16.7 ^a	624.0±13.1 ^b	
Methionine	342.8±7.9 ^b	392.0±9.1 ^a	351.6±11.2 ^b	
Isoleucine	513.7±15.5 ^b	593.9±14.2 ^a	522.0±11.0 ^b	
Leucine	911.4±23.4 ^b	1039.7±20.4 ^a	934.1±23.0 ^b	
Tyrosine	402.5±8.3 ^b	435.3±11.6 ^a	402.3±9.2 ^b	
Phenylalanine	492.1±13.8 ^b	553.8±12.6 ^a	504.6±9.9 ^b	
Histidine	491.1±12.0 ^b	590.3±16.8 ^a	508.4±11.6 ^b	
Lysine	1122.8±35.5 ^b	1561.3±34.5 ^a	1120.4±29.9 ^b	
Arginine	722.8±15.5 ^b	1068.3±25.1 ^a	757.3±16.5 ^b	
Total amino acids	11893.8±268.9 ^b	14231.6±432.8 ^a	12130.0±287.4 ^b	
Total EAA2)	5738.7±122.1 ^b	7100.6±196.9 ^a	5866.3±134.7 ^b	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

²⁾Essential amino acid.

총아미노산

유자 첨가사료로 사육한 뱀장어와 일반 사료로 사육한 뱀장어의 총아미노산을 분석한 결과는 Table 7에 나타내었다. 총아미노산에서 무첨가구 영광이 14,231.6 mg/100 g으로 가장 높게 나타났으며, 2.5% 유자 첨가 뱀장어, 무첨가구 함평은 각각 12,130.0, 11,893.8 mg/100 g으로 유자 첨가구가 높은 값을 보였으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P>0.05$). 분석된 총 17종의 아미노산 중 aspartic acid, glutamic acid, leucine, lysine 등이 높게 나타났으며, cystine이 7~10 mg/100 g의 낮은 값을 보였다. 자연산 뱀장어의 총아미노산과 필수아미노산 함량은 양식산 뱀장어보다 높았으며 (Kim et al., 2000), 양식산과 자연산에 관계없이 lysine, glycine, aspartic acid, glutamic acid가 전체 아미노산의 45%를 점하고 있다고 보고되었다 (Choi et al., 1986). 또한 고창과 사천 지역에서 채집된 자연산 뱀장어에 대한 구성아미노산 분석결과 어체중이 100 g인 뱀장어 개체간에는 각 지역별로 구성 아미노산에서 차이를 보였으나, 어체중 200 g 이상인 뱀장어 개체간에는 지역적인 차이를 보이지 않았다 (Jeon et al., 2003). 본 연구에서도 각 지역별 대조구와 유자 첨가 뱀장어간의 총아미노산과 각 아미노산별 함량에서는 차이를 보이지만 구성도에서는 기존 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

Table 8. Free amino acid content of muscle in eels fed different diets¹⁾ (mg/100 g)

Amino acid	Hampyeong		Yeonggwang	
	Control	Control	2.5% Yuza	
Phosphoserine	1.2±0.0 ^{a1)}	0.9±0.0 ^b	0.8±0.0 ^c	
Taurine	20.3±0.4 ^b	22.2±0.4 ^a	19.4±0.4 ^c	
Phosphoethanolamine	1.7±0.0 ^b	2.2±0.1 ^a	1.6±0.0 ^b	
Urea	7.5±0.2 ^b	19.7±0.6 ^a	5.4±0.1 ^c	
Aspartic acid	0.1±0.0 ^c	0.2±0.0 ^b	0.5±0.0 ^a	
Hydroxyproline	-	-	-	
Threonine	2.7±0.1 ^b	4.6±0.1 ^a	2.8±0.1 ^b	
serine	0.2±0.0 ^b	0.5±0.0 ^a	-	
Asparagine	-	-	-	
Glutamic acid	0.5±0.0 ^c	0.7±0.0 ^b	1.5±0.0 ^a	
Sarcosine	-	-	-	
α-amino adipic acid	-	-	-	
Proline	-	-	-	
Glycine	8.1±0.3 ^c	9.5±0.2 ^b	10.1±0.2 ^a	
Alanine	12.1±0.3 ^a	9.2±0.2 ^b	8.3±0.3 ^c	
Citrulline	-	-	-	
α-aminobutyric acid	-	-	-	
Valine	4.0±0.1 ^a	2.6±0.1 ^b	1.9±0.0 ^c	
Cystine	-	0.4±0.0 ^a	-	
Cystathionine	-	-	-	
Methionine	1.3±0.0 ^a	1.2±0.0 ^b	1.2±0.0 ^b	
Isoleucine	1.9±0.1 ^a	1.3±0.0 ^b	1.1±0.0 ^c	
Leucine	3.5±0.1 ^a	2.1±0.1 ^b	1.7±0.0 ^c	
Tyrosine	4.2±0.1 ^a	1.7±0.0 ^b	1.1±0.0 ^c	
phenylalanine	3.0±0.1 ^a	1.4±0.0 ^b	1.1±0.0 ^c	
Homocystine	-	-	-	
β-alanine	14.1±0.3 ^c	19.9±0.6 ^a	17.2±0.4 ^b	
β-aminoisobutyric acid	-	-	-	
γ-amino-n-butyric acid	1.7±0.0 ^a	1.8±0.1 ^a	1.8±0.0 ^a	
Histidine	152.0±3.5 ^c	201.4±4.6 ^a	183.2±4.2 ^b	
3-methylhistidine	-	-	-	
1-methylhistidine	24.3±0.5 ^a	-	-	
Carnosine	-	-	-	
Anserine	5.4±0.1 ^c	5.7±0.1 ^b	6.9±0.2 ^a	
Ornitine	4.2±0.1 ^b	11.1±0.3 ^a	11.3±0.3 ^a	
Lysine	30.1±0.5 ^a	27.9±0.6 ^b	23.6±0.5 ^c	
Ammomia	28.6±0.6 ^c	33.3±0.7 ^b	36.1±0.4 ^a	
Ethanolamine	-	-	-	
Arginine	2.5±0.1 ^c	4.3±0.1 ^a	4.0±0.0 ^b	
Total	334.9±7.9 ^b	385.8±8.4 ^a	342.4±7.3 ^b	

¹⁾Values with different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. Values are means±SD (n=3).

²⁾Not detected.

Kim et al. (2009)은 유자를 단계적으로 첨가한 사료를 급여하여 사육한 넙치의 구성아미노산에서 2.5% 유자 첨가구가 가장 높은 총 아미노산과 필수아미노산 함량을 나타내어 아미노산 조성이 양적 및 질적으로 우수하다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 유자첨가구가 무첨가구 (영광)보다 총아미노산과 필수아미노산에서 유의적으로 높은 값을 보였으며 ($P<0.05$), 무첨가구 (함평)과는 유의적인 차이를 보이지 않아, 넙치와는 다르게 2.5% 유자 첨가로 인한 구성아미노산의 조성에 영향을 미치지 못한 것으로 보인다.

유리아미노산

본 연구에서 뱀장어의 유리아미노산 분석결과 총 유리아미노산의 양에서는 무첨가구인 영광이 385.8±8.4 mg/100 g으로 2.5% 유자 첨가구와 무첨가구 함평의 342.4±7.3, 334.9±7.9 mg/100 g보다 유의적으로 높은 값을 나타내었다 ($P<0.05$). 검출된 유리 아미노산 중 histidine이 전체의 45% 이상을 차지하였으며, 무첨가구인 영광도 유의적으로 높은 결과를 보였다 ($P<0.05$). Kim et al. (2000)은 자연산과 양식산 뱀장어의 유리아미노산을 분석한 결과 총량에서는 자연산이 더 높았으며, 이중 carnosine이 40% 이상을 나타내었으며, histidine은 불과 0.7% 이하로 보고하였고, hydroxyproline은 자연산, 양식산 모두 5% 이상이었으며 taurine은 양식산, 자연산이 각각 5.2%, 7.3%로 보고하여, 본 연구결과에서 taurine을 제외하고 다른 결과를 나타내었다.

아미노산을 맛에 따라 분류하면 alanine, glycine, proline, serine, threonine 등은 단맛, arginine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, valine 등은 쓴맛, aspartic acid는 신맛, glutamic acid는 감칠맛으로 분류된다 (Shou, 1969). Kim et al. (2009)은 유자를 단계적으로 첨가하여 사육한 넙치의 경우 2.5% 첨가구가 단맛을 내는 아미노산 중 alanine, serine, proline, glycine 함량이 높았으며, 쓴맛을 내는 아미노산 중 methionine과 leucine이 낮았으며, 감칠맛을 내는 glutamic acid는 대조구가 가장 높은 값을 보였으며, 2.5%구만 같은 양을 나타내었다고 보고하였다. 본 연구에서는 단맛을 내는 아미노산 중 threonine, glycine, alanine, serine이 검출되었고, 이중 유자 첨가 뱀장어구는 glycine만이 유의적으로 높았으나 ($P<0.05$), 넙치와 유사한 결과를 보였고, 쓴맛을 내는 아미노산인 valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, arginine이 모두 검출되었으며, 2.5% 유자첨가구가 무첨가구에 비해 methionine과 arginine을 제외하고 모두 유의적으로 낮은 값을 나타내어 ($P<0.05$), 넙치와 비교해 쓴 맛의 감소가 더 큰 것으로 판단된다. 또한, glutamic acid는 2.5% 유자첨가구가 무첨가구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내, 넙치보다 뱀장어에서 유자첨가에 따른 감칠맛의 상승효과가 클 것으로 보이며, 2.5% 유자가 유리아미노산에 있어서 단맛과 감칠맛을 상승시키고, 쓴맛을 제거하는 효과를 나타낼 수 있는 것으로 사료된다.

본 연구 결과 유자 첨가 사료를 급여한 뱀장어는 영양성분에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 체내 비타민 C 함량과

lactic acid가 증가하고, 유리 아미노산 중 쓴맛을 내는 아미노산이 감소하며, 감칠맛이 증가되는 경향을 나타내었다. 그러나 첨가량이 다양하지 못하고 서로 다른 조건에서 사육이 이루어진 만큼 추후 보완될 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

사 사

본 연구의 사육실험을 적극적으로 도와주신 헤은양만 사장님께 감사드립니다.

참고문헌

- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistes, 17th ed. AOAC, Arlington, VA. U.S.A.
- Bae JY, Han KH, Lee JH, Kim SE, Lee JY and Bai SC. 2008. Effects of Dietary Quartz Porphyry and Feed Stimilants, BAISM Supplementation on Growth Performance and Disease Resistance of juvenile eel *Anguilla japonica*. J Aquaculture 21, 26-33.
- Bai SC, Lee KJ and Jang HK. 1996. Development of an Experimental Model for Vitamin C Requirement Study in Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Aquaculture 9, 169-178.
- Calabro ML, Galtieri V, Cutroneo P, Tommasini S, Ficarn P and Ficarra R. 2004. Study of the extraction procedure by experimental design and validation of a LC method for determination of flavonoids in *Citrus bergamin* juice. J Pharmacol Biomedical Analysis 35, 349-363.
- Cha JY and Cho YS. 2001. Biofunctional activities of citrus flavonoids. J Kor Soc Agric Chem Biotechnol 44, 122-128.
- Choi JH, Rhim CH and Choi YJ. 1986. Comparative Study on Protein and Amino Acid Composition of Wild and Cultured Eel. Bull Kor fish Soc 19, 60-66.
- Folch J, Lee M and Sloanestany GH. 1957. A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipid from Animal Tissues. J Biol Chem 226, 497-509.
- Halver JE, Smith RR, Tolbert BM and Baker EM. 1975. Utilization of ascorbic acid in fish. Ann J Y Acad Sci 258, 81-102.
- Hong SP, Kim SY, Jeong DY, Jeong PH and Shin DH. 2005. Mineral Contents and Fatty Acid Composition in Bone and Flesh of Cultured Eel. J Fd Hyg Safety 20, 98-102.
- Jeon MJ, Han KM, Yoo JH, Lee KA and Bai SC. 2003. Nutritional Properties of Body Composition Based on Captured Location and Size in Wild Eels, *Anguilla japonica*. J Aquaculture 16, 273-278.
- Jeong GS, Ji SC, Ahn CB, Shin TS and Yoo JH. 2003. Effects of Supplementary Vitamin C and E to Moist Pellet Diet on Growth and Body Composition of Juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. Kor J Fish Aquat Sci 36, 100-106.
- Kang EJ, Kim KS, Park SR and Shon SG. 2000. Species Identification of Japanese, American, and European Eel Elvers, and Changes in Morphometric Characters According to Growth. Kor J Ichthyol 12, 244-249.
- Kim HY, Kim EH, Kim DH, Oh MJ and Shin TS. 2009. The Nutritional Components of Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Fed Diets with Yuza (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka). Kor J Fish Aquat Sci 42, 215-223.
- Kim HY and Shin TS. 2009. Volatile Flavor Compounds of Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Fed Diets with Yuza (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka). Kor J Fish Aquat Sci 42, 224-231.
- 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 Cultured Eel, Puffer and Snake head. Korean J. Food. Sci. Technol. 32, 1058-1067.
- Kim JD, Woo SH, Kim YC, Lee JH, Cho YC, Choi SM and Park SI. 2008. The Effects of yeast β -glucan in the Diet on Immune response of Japanese eel, *Anguilla japonica*, by Oral Administration. J Fish Pathol 21, 321-228.
- Kim JD, Kim YC, Woo SH and Park SW. 2009. The effect of omae *Prunus mume* extract on the immune response and growth rate of Japanese eel *Anguilla japonica*. J Fish Pathol 22, 367-374.
- Kim SG, Hong JW and Lee SW. 2003. A study on the consumption pattern of aquacultured marine fishes. J Fish Business Adiministration 34, 53-73.
- Lee KH, Park HC and Her ES. 1998. Statistics and Data Analysis Method. Hyoil Press, Seoul, Korea, 253-296.
- Park YH, Jang DS and Kim SB. 1997. Processing of the Sea Food, Hyungsul Press, Seoul, Korea., 166-168.
- Shou H. 1969. Food component and taste. J. Food Industry Japan, 16, 83-87.
- Thompson I, White A, Fletecher TC, Houlihan DF and Secombes CJ. 1993. The effect of stress on the immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets containing different amounts of vitamin C.

- Aquaculture 114, 1-18.
- Yang ST and Lee EH. 1984. Taste Compounds of Fresh-Water Fishes. 7. Tastes Compounds of Wild Eel Meat. Bull Kor Fish Soc 17, 33-39.
- Yoo KM, Lee KW, Park JB, Lee HJ and Hwang IK. 2004. Variation in major an antioxidants and total antioxidant activity of yuza(*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) during maturation and between cultuvars. J Agri Food Chem 52, 5907-5913.
- Yoo KM and Hwang IK. 2004. In vitro effecto of Yuza(*Citrus Junos* SIEB ex TANAKA) extracts on proliferation of human prostate cancer cells and antioxidant activity. Kor J Food Sci Technol 36, 339-344.
- Yoo KM, Park JB, Seong KS, Kim DY and Hwang IK. 2005. Antioxant activities and anticancer effects of Yuza (*Citrus junos*). Food Sci Industry 38, 72-77.

2010년 9월 29일 접수
2010년 10월 20일 수정
2010년 12월 3일 수리