pISSN 1229-1153 / eISSN 2465-9223 *J. Food Hyg. Saf.*
Vol. 38, No. 6, pp. 464~475 (2023)
https://doi.org/10.13103/JFHS.2023.38.6.464

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

국내 온라인 유통 복어 제품의 종판별 및 표시사항 모니터링 연구

이지영 · 김건희 · 강태선*
서울여자대학교 자연과학대학 식품공학과

Species Identification and Monitoring of Labeling Compliance for Commercial Pufferfish Products Sold in Korean On-line Markets

Ji Young Lee, Kun Hee Kim, Tae Sun Kang*
Division of Applied Food System, Major of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul, Korea

(Received September 9, 2023/Revised October 25, 2023/Accepted November 3, 2023)

ABSTRACT - In this study, based on an analysis of two DNA barcode markers (*cytochrome c oxidase subunit I* and *cytochrome b* genes), we performed species identification and monitored labeling compliance for 50 commercial pufferfish products sold in on-line markets in Korea. Using these barcode sequences as a query for species identification and phylogenetic analysis, we screened the GenBank database. A total of seven pufferfish species (*Takifugu chinensis*, *T. pseudommus*, *T. xanthopterus*, *T. alboplumbeus*, *T. porphyreus*, *T. vermicularis*, and *Lagocephalus cheesemanii*) were identified and we detected 35 products (70%) that were non-compliant with the corresponding label information. Moreover, the labels on 12 commercial products contained only the general common name (i.e., pufferfish), although not the scientific or Korean names for the 21 edible pufferfish species. Furthermore, the proportion of mislabeled highly processed products (n = 9, 81.8%) was higher than that of simply processed products (n = 26, 66.7%). With respect to the country of origin, the percentage of mislabeled Chinese products (n = 8, 80%) was higher than that of Korean products (n = 26, 66.7%). In addition, the market and dialect names of different pufferfish species were labeled only as Jolbok or Milbok, whereas two non-edible pufferfish species (*T. vermicularis* and *T. pseudommus*) were used in six commercial pufferfish products described as JolboK and Gumbok on their labels, which could be attributable to the complex classification system used for pufferfish. These monitoring results highlight the necessity to develop genetic methods that can be used to identify the 21 edible pufferfish species, as well as the need for regulatory monitoring of commercial pufferfish products.

Key words: Pufferfish products, Food fraud, Species identification, DNA barcoding

최근 소득 수준 상승과 건강에 대한 관심 증가로 건강식품인 수산물의 소비가 증가하고 있으며, 2021년 기준 우리나라 국민 1인당 수산물 소비량은 65.6 kg로 주식인 쌀 소비량(56.9 kg)을 앞지른 것으로 조사되었다[1]. 이러한 추세에 따라 전 세계적으로 수산물을 대상으로 하는 식품사기가 급증하고 있는 실정이다. 가장 대표적인 식품사기로는 수산물의 구체적인 종명 또는 학명이 아닌 일반명(새우, 복어 등)을 사용하여 저가의 수산물을 고가의 수산물로 속여 판매하는 허위표시(mislabeling)로 보고되었으며, 전 세계적으로 수산물 허위표시의 비율이 25%에 달한다고 보고했다[2].

다양한 수산물 중 복어는 고품질의 맛과 영양으로 한국, 중국, 일본 등 일부 아시아 국가에서는 매우 중요한 수산자원 중 하나이다. 한반도 주변의 바다에는 참복(*Takifugu chinensis*), 검복(*T. porphyreus*), 까치복(*T. xanthopterus*) 등 약 25종의 참복속 근연종들이 서식하는 것으로 알려져 있으며[3], 이중 대다수의 자연산 복어종은 테트로도톡신(tetrodotoxin, TTX)이라는 신경독을 포함하고 있다[4]. 복어류의 경우 TTX를 생산할 수 있는 미생물이 먹이사슬을 통해 복어 내로 유입되고 이러한 미생물들과의 상호작용

*Correspondence to: Tae Sun Kang, Division of Applied Food System, Major of Food Science and Technology, Seoul Women's University, 621 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, 01797, Korea.
Tel: +82-2-970-5637, Fax: +82-2-970-5977
E-mail: missa1976@swu.ac.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal 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.

을 통해 체내에 TTX가 농축되는 것으로 알려져 왔다[5]. 복어류의 TTX 농도는 종별, 성별에 따라 다르며, 동일한 개체 내에서도 간, 근육, 껍질, 생식선 등의 조직 부위에 따라 다를 수 있으며, 계절에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 복어류에 의한 식중독은 입 및 혀끝의 마비에서 시작하여 구토, 이완성 마비 및 호흡 곤란을 유발하고 심할 경우 사망까지 유발할 수 있다[4]. 이러한 위험성 때문에 식품의약품안전처에서는 식품공전의 「식품일반의 기준 및 규격」 중 「수산물에 대한 규격」에서 식용가능한 복어의 종류를 21개 종 [복섬 (*T. niphobles*, *T. alboplumbeus*), 흰점복(*T. poecilonotus*, *T. flavipterus*), 졸복(*T. pardalis*), 매리복(*T. snyderi*), 검복(*T. porphyreus*), 황복(*T. obscurus*), 눈불개복(*T. chrysops*), 자주복(*T. rubripes*), 참복(*T. chinensis*), 까치복(*T. xanthopterus*), 민밀복(*Lagocephalus inermis*), 은밀복(*L. wheeleri*, *L. spadiceus*), 흑밀복(*L. gloveri*, *L. cheesemanii*), 불룩복(*Sphoeroides pachygaster*), 황점복(*T. flavidus*), 강담복(*Chilomycterus affinis*, *C. reticulatus*), 가시복(*Diodon holocanthus*), 리투로가시복(*D. liturosus*), 잔점박이가시복(*D. hystrix*), 거북복(*Ostracion immaculatus*), 및 까칠복(*T. stictonotus*)]으로 엄격하게 제한하고 있다[6].

이러한 엄격한 규정에도 불구하고 국내에서 복어독은 가장 빈번히 식중독 사고를 유발하는 자연독 유래 원인 물질 중 하나이며[4], 2021년 완도에서는 복어를 아귀로 착각하여 섭취한 후 마을 주민 2명이 사망하는 식중독 사고가 보고되었다[7]. 대부분의 복어독 식중독 사고는 낚시 또는 재래시장에서 판매되는 자연산 복어를 적절한 처리 과정 없이 조리하거나, 아귀 등의 유사 어종과 오인하여 부주의하게 섭취하여 발생하는 것으로 나타났다[8,9]. 전통적으로 복어의 종판별은 피부극의 유무 및 위치, 점무늬의 모양 및 위치 등 형태학적 차이를 기준으로 이루어진다[10]. 하지만 매리복(*T. snyderi*, 식용가능), 국매리복(*T. vermicularis*, 식용불가)과 같이 형태학적으로 매우 유사한 복어종을 정확히 구별하는 것은 매우 어려우며, 회, 탕, 건어물 등 가공 복어 제품을 형태학적 특징을 이용해 분류하는 것은 불가능한 실정이다. 따라서 복어독에 의한 식중독 사고를 예방하기 위해서는 형태학적 특징에 기반한 분류체계를 보완할 수 있는 방법이 필요한 실정이다.

일반적으로 DNA는 고온, 고압 등으로 가공된 다양한 종류의 식품에서도 뛰어난 안정성과 특이성을 유지한다. 따라서 수산물의 진위여부 판별을 위해 DNA에 기반한 다양한 분석법들이 개발되어 널리 활용되고 있다[11]. 이중 DNA 바코드 분석법은 중합효소연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)을 이용하여 *cytochrome c oxidase subunit I* (*CoI*) 유전자의 표준화된 염기서열(600-700 bp) 정보를 이용하여 다양한 생물종을 판별하는 가장 일반적인 방법이다[12]. 분석에 이용되는 미토콘드리아 DNA는 핵 DNA에 비해 염기 복제 수 및 염기 치환이 매우 높고, 염기서열 구성에 관한 방대한 정보가 밝혀져 있어 다양한 종류의 식품 원료 진위판별에 널리 활용되고 있다[13]. 특히 미토콘드리아 DNA 중 *CoI*과 *cytochrome b* (*Cytb*) 유전자는 다양한 종류의 일반 프라이머(universal primer)가 개발되어 수산물의 종판별 연구에 활발히 사용되고 있다[11-14].

본 연구에서는 다양한 복어의 종판별을 위해 DNA 바코드 분석을 수행하였다. 온라인 마켓에서 판매 중인 50개의 복어 제품을 대상으로 DNA를 추출한 후 *CoI* 및 *Cytb* 유전자를 선택적으로 증폭하여 각 유전자의 염기서열을 분석하였다. 분석된 염기서열을 미국 국립보건원(National Center for Biotechnology Information, NCBI) GenBank 데이터베이스에 등록되어있는 생물종의 염기서열과 비교 후 계통 분석을 수행하여 사용 원재료의 모니터링을 수행하였다.

Materials and Methods

검체 수집

온라인 마켓에서 유통되고 있는 복어 제품을 대상으로 선정하였으며, 졸복(panther puffer, n=13), 복어(pufferfish, n=12), 참복(eyespot puffer, n=10), 은복(half-smooth golden, n=5), 밀복(moontail puffer, n=4), 까치복(yellowfin puffer, n=3) 및 검은 밀복(brown-backed toadfish, n=2) 및 검복(geuin puffer, n=1)으로 판매되는 50개 복어 제품을 2022년 9월부터 2023년 3월까지 인터넷을 통해 구입하였다 (Table 1). 구매한 제품은 복어독 제거를 위한 손질 후 단순 냉동, 토막 등 형태적 특징을 확인할 수 있는 단순가공 제품(n=39)과 이러한 단순가공 복어를 열처리 등 2차 가공과정을 거쳐 형태적 특징을 확인할 수 없는 복어조미포, 말린복어, 복지리 등을 다중가공 제품(n=11)으로 분류하였다. 표준 복어 시료 8종 [(*T. niphobles*, 국매리복(*T. vermicularis*), *T. porphyreus*, *T. rubripes*, *T. chinensis*, *T. xanthopterus*, 흰점참복(*T. pseudommus*), *L. cheesemanii*)] 은 국립수산과학원(Busan, Korea)과 국립해양생물자원관(Chungcheongnam-do, Korea)에서 분양받았으며, 계통도 작성 및 최종 종판별에 사용하였다.

시료 전처리 및 DNA 추출

PCR 저해인자로 작용할 수 있는 염분, 가공과정 중 오염물, 양념 및 기타 불순물을 제거하기 위하여 증류수 및 70% ethanol (Daejung Chemicals&Metals, Siheung, Korea)을 이용하여 충분히 세척 하였으며, 각 시료에서 꼬리지느러미를 포함하는 가식 부위를 취하여 95% ethanol (Daejung Chemicals&Metals)에 담가 -20°C에서 보관하였다. 전처리 후 각 시료로부터 가식 부위 25 mg을 취하여 DNA 추출에 사용하였다. DNA 추출은 DNeasy Blood and Tissue Kit (Qiagen, Hilden, Germany)를 이용하여 제조사

Table 1. Commercial pufferfish products and their identification results

Sample	Commodity type	Species declared on label	Country of origin	NCBI (query coverage %/identity %)		Identified species	Labeling compliance
				CoI	*Cytb*		
S1	Dried fillet	Panther puffer[1)]	Korea	*Takifugu rubripes* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.85) *Takifugu flavidus* (99/99.85) *Takifugu chinensis* (98/99.5)	*Takifugu flavidus* (100/99.75) *Takifugu rubripes* (100/99.75) *Takifugu chinensis* (100/99.24)	*Takifugu chinensis*[2)]	NC[3)]
S2	Soup	Yellowfin puffer	Korea	*Takifugu xanthopterus* (100/99.7) *Takifugu pardalis* (100/98.51) *Takifugu poecilonotus* (100/98.37) *Takifugu obscurus* (98/98.35) *Takifugu fasciatus* (99/98.20)	*Takifugu xanthopterus* (99/100)	*Takifugu xanthopterus*	C
S3	Soup	Pufferfish	Korea	*Lagocephalus cheesemanii* (99/99.85) *Lagocephalus gloveri* (99/99.70)	*Lagocephalus gloveri* (98/100) *Lagocephalus cheesemani* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S4	Dried fillet	Moontail puffer	Korea	*Takifugu porphyreus* (99/99.85)	*Takifugu porphyreus* (100/99.49)	*Takifugu porphyreus*	NC
S5	Frozen fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.55)	*Lagocephalus gloveri* (98/100) *Lagocephalus cheesemanii* (97/100) *Lagocephalus guentheri* (97/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S6	Frozen fillet	Brown-backed toadfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.55)	*Lagocephalus gloveri* (98/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	C
S7	Frozen fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (99/99.85) *Lagocephalus gloveri* (99/99.70)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S8	Roasted fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (97/100) *Lagocephalus gloveri* (97/99.52)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S9	Fresh fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu alboplumbeus* (99/99.41)	*Takifugu alboplumbeus* (99/99.49)	*Takifugu alboplumbeus*	NC
S10	Frozen fillet	Moontail puffer	Korea	*Takifugu porphyreus* (98/98.84) *Takifugu obscurus* (98/98.08)	*Takifugu porphyreus* (99/100)	*Takifugu porphyreus*	NC
S11	Roasted fillet	Brown-backed toadfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (97/100) *Lagocephalus gloveri* (97/99.51)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	C
S12	Frozen fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemani*i (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.55)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S13	Frozen fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (97/99.84) *Lagocephalus gloveri* (97/99.68)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC

Table 1. (Continued) Commercial pufferfish products and their identification results

Sample	Commodity type	Species declared on label	Country of origin	NCBI (query coverage %/identity %)		Identified species	Labeling compliance
				CoI	*Cytb*		
S14	Frozen fillet	Yellowfin puffer	Korea	*Takifugu xanthopterus* (99/100) *Takifugu pardalis* (100/98.53) *Takifugu poecilonotus* (100/98.39) *Takifugu fasciatus* (99/98.22) *Takifugu exascurus* (99/98.22) *Takifugu obscurus* (99/98.22) *Takifugu chrysops* (99/99.08)	*Takifugu xanthopterus* (100/99.49)	*Takifugu xanthopterus*	C
S15	Dried fillet	Pufferfish	-	*Takifugu chinensis* (97/100) *Takifugu rubripes* (98/98.84)	*Takifugu rubripes* (99/100) *Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu basilevskianus* (99/99.75) *Takifugu chinensis* (99/99.49) *Takifugu pseudommus* (99/100)	*Takifugu chinensis*	NC
S16	Roasted fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.56)	*Lagocephalus gloveri* (99/99.55) *Lagocephalus cheesemanii* (97/99.49) *Lagocephalus guentheri* (97/98.73)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S17	Fresh fillet	Half-smooth golden	Korea	*Lagocephalus cheesemanii* (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.55)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S18	Fresh fillet	Pufferfish	Korea	*Takifugu porphyreus* (97/99.84)	*Takifugu porphyreus* (99/100)	*Takifugu porphyreus*	NC
S19	Roasted fillet	Pufferfish	China	*Lagocephalus cheesemanii* (99/100) *Lagocephalus gloveri* (99/99.55)	*Lagocephalus gloveri* (99/100) *Lagocephalus cheesemanii* (98/100) *Lagocephalus guentheri* (98/99.23)	*Lagocephalus cheesemanii*	NC
S20	Fresh fillet	Yellowfin puffer	Korea	*Takifugu xanthopterus* (98/99.55) *Takifugu pardalis* (98/98.35) *Takifugu poecilonotus* (98/98.2)	*Takifugu xanthopterus* (100/99.49)	*Takifugu xanthopterus*	C
S21	Blanched skin	Pufferfish	China	*Takifugu xanthopterus* (100/99.68) *Takifugu pardalis* (100/98.54) *Takifugu poecilonotus* (100/98.38) *Takifugu alboplumbeus* (100/98.38) *Takifugu obscurus* (100/98.36)	*Takifugu xanthopterus* (100/99.49)	*Takifugu xanthopterus*	NC
S22	Dried fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu vermicularis* (99/99.52)	*Takifugu vermicularis* (99/99.49)	*Takifugu vermicularis*	NC
S23	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu chinensis* (100/100) *Takifugu pseudommus* (100/100) *Takifugu rubripes* (100/100) *Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu obscurus* (99/98.85)	*Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	C

Table 1. (Continued) Commercial pufferfish products and their identification results

Sample	Commodity type	Species declared on label	Country of origin	NCBI (query coverage %/identity %)		Identified species	Labeling compliance
				CoI	Cytb		
S24	Frozen fillet	Pufferfish	Korea	*Takifugu porphyreus* (100/100) *Takifugu flavidus* (99/98.38) *Takifugu obscurus* (99/98.38) *Takifugu fasciatus* (99/98.23) *Takifugu rubripes* (99/98.08)	*Takifugu porphyreus* (100/99.77)	*Takifugu porphyreus*	NC
S25	Frozen fillet	Half-smooth golden	Korea	*Takifugu chinensis* (100/99.72) *Takifugu pseudommus* (100/99.72) *Takifugu rubripes* (100/99.72) *Takifugu chinensis* (100/99.72)	*Takifugu flavidus* (100/99.55) *Takifugu pseudommus* (100/99.55) *Takifugu rubripes* (100/99.55) *Takifugu chinensis* (100/99.10)	*Takifugu chinensis*	NC
S26	Frozen fillet	Half-smooth golden	Korea	*Takifugu pseudommus* (100/100) *Takifugu chinensis* (100/100) *Takifugu rubripes* (100/100) *Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu obscurus* (100/98.04)	*Takifugu flavidus* (100/99.55) *Takifugu pseudommus* (100/99.55) *Takifugu rubripes* (100/99.55) *Takifugu chinensis* (100/99.10)	*Takifugu chinensis*	NC
S27	Frozen fillet	Half-smooth golden	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99.99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.55) *Takifugu pseudommus* (100/99.55) *Takifugu rubripes* (100/99.55) *Takifugu chinensis* (100/99.10)	*Takifugu chinensis*	NC
S28	Frozen fillet	Half-smooth golden	Korea	*Takifugu rubripes* (100/100) *Takifugu pseudommus* (100/99.48) *Takifugu chinensis* (100/99.48) *Takifugu flavidus* (100/99.48) *Takifugu obscurus* (100/99.08)	*Takifugu rubripes* (100/99.32) *Takifugu flavidus* (100/99.09) *Takifugu pseudommus* (100/99.09) *Takifugu chinensis* (100/99.64)	*Takifugu chinensis*	NC
S29	Frozen fillet	Moontail puffer	Korea	*Takifugu porphyreus* (100/99.67)	*Takifugu porphyreus* (100/99.32)	*Takifugu porphyreus*	NC
S30	Frozen fillet	Moontail puffer	Korea	*Takifugu porphyreus* (100/99.58)	*Takifugu porphyreus (*100/99.1)	*Takifugu porphyreus*	NC
S31	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (100/99.86) *Takifugu pseudommus* (100/99.72) *Takifugu rubripes* (100/99.72) *Takifugu chinensis* (100/99.72)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu chinensis*	C
S32	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (98/100) *Takifugu flavidus* (98/99.43) *Takifugu pseudommus* (98/99.29) *Takifugu chinensis* (98/99.29)	*Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu flavidus (*100/99.54) *Takifugu pseudommus* (100/99.54) *Takifugu chinensis* (100/99.08)	*Takifugu chinensis*	C
S33	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu chinensis*	C

Table 1. (Continued) Commercial pufferfish products and their identification results

Sample	Commodity type	Species declared on label	Country of origin	NCBI (query coverage %/identity %)		Identified species	Labeling compliance
				CoI	Cytb		
S34	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (98/99.86) *Takifugu flavidus* (97/99.29) *Takifugu pseudommus* (97/99.15) *Takifugu chinensis* (97/99.15)	*Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu flavidus (*100/99.54) *Takifugu pseudommus* (100/99.54) *Takifugu chinensis* (100/99.08)	*Takifugu chinensis*	C
S35	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (98/99.72) *Takifugu flavidus* (96/99.29) *Takifugu pseudommus* (96/99.14) *Takifugu chinensis* (96/99.14)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	C
S36	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (99/99.57) *Takifugu chinensis* (98/99.56) *Takifugu pseudommus* (98/99.56) *Takifugu flavidus* (98/99.56)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu chinensis*	C
S37	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (98/00) *Takifugu pseudommus* (98/99.85) *Takifugu flavidus* (98/99.85) *Takifugu chinensis* (97/99.85)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu chinensis*	C
S38	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (98/100) *Takifugu flavidus* (97/99.43) *Takifugu pseudommus* (97/99.29) *Takifugu chinensis* (97/99.29)	*Takifugu flavidus (*100/99.54) *Takifugu pseudommus* (100/99.54) *Takifugu rubripes* (100/99.54) *Takifugu chinensis* (100/99.08)	*Takifugu chinensis*	C
S39	Frozen fillet	Eyespot puffer	Korea	*Takifugu flavidus (*99/99.86) *Takifugu pseudommus* (99/99.72) *Takifugu rubripes* (99/99.72) *Takifugu chinensis* (99/99.72)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	C
S40	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidu*s (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis (*99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu pseudommus*	NC
S41	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu rubripes* (100/100) *Takifugu pseudommus* (100/100) *Takifugu rubripes* (100/100) *Takifugu chinensis* (100/100)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu pseudommus*	NC
S42	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (100/99.86) *Takifugu pseudommus* (100/99.72) *Takifugu rubripes* (100/99.72) *Takifugu chinensis* (100/99.72)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC
S43	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.55) *Takifugu pseudommus* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC

Table 1. (Continued) Commercial pufferfish products and their identification results

Sample	Commodity type	Species declared on label	Country of origin	NCBI (query coverage %/identity %)		Identified species	Labeling compliance
				CoI	Cytb		
S44	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) Takifugu chinensis (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.31)	*Takifugu pseudommus*	NC
S45	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus (*99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC
S46	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu pseudommus* (100/99.53) *Takifugu chinensis* (100/99.53) *Takifugu rubripes* (100/99.53) *Takifugu flavidus* (100/99.53)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC
S47	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu pseudommus*	NC
S48	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/99.72) *Takifugu pseudommus* (100/99.58) *Takifugu rubripes* (100/99.58) *Takifugu chinensis* (100/99.58)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu pseudommus*	NC
S49	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC
S50	Frozen fillet	Panther puffer	Korea	*Takifugu flavidus* (99/100) *Takifugu pseudommus* (99/99.86) *Takifugu rubripes* (99/99.86) *Takifugu chinensis* (99/99.86)	*Takifugu flavidus* (100/99.77) *Takifugu pseudommus* (100/99.77) *Takifugu rubripes* (100/99.77) *Takifugu chinensis* (100/99.32)	*Takifugu chinensis*	NC

[1)] Ingredient was declared in the labels of commercial products and English common names of pufferfish were adapted from the pufferfish guidebook (Han et al.[10)]).
[2)] For *T. chinensis*, the final species identification was determined using typical morphological characteristics among the candidate species obtained from the NCBI BLASTn results.
[3)] NC and C represent noncompliance and compliance, respectively.

매뉴얼에 따라 수행하였다. 추출된 DNA의 농도 및 순도는 Nanodrop (Thermo Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, USA)을 사용하여 확인하였다. DNA 농도는 260 nm에서 UV 흡광도를 측정하여 결정하였으며, 순도는 260 nm에서 측정된 흡광도와 280 nm에서 측정된 흡광도의 비율을 계산하여 1.8-2.0 사이의 값을 확인하였다.

목적 유전자 증폭 및 염기서열 분석

복어 제품의 종판별을 위해 선행연구를 참고하여 *CoI* 및 *Cytb* 유전자를 목적 유전자로 선정하였으며[4], PCR 반응액 조성은 AccuPower PCR PreMix (Bioneer, Daejeon, Korea)를 이용하여 10 μM의 정방향 및 역방향 프라이머 (Table 2)[15-17]를 각각 0.5 μL, 주형 DNA 2 μL (10 ng/μL)를 첨가하였으며, 총 반응액의 부피가 20 μL가 되도록 멸균증류수를 첨가하였다. PCR 반응은 Thermal Cycle 2720 (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) 장비를 이용하여 Table 3에 제시된 조건에 따라 수행하였다. 특이적 PCR 증폭 산물의 생성 유무는 GreenStar (Bioneer)로 염색된 1.5% 아가로스 젤에서 전기영동(100 V, 30 min) 후 100 bp DNA 표지(Bioneer)와 비교하여 확인했다. PCR 증폭 산물은 AccuPrep PCR Purification Kit (Bioneer)를 사용하여 정제하였으며, 염기 서열 분석은 ㈜젠큐브플러스 (Seoul, Korea)에 의뢰하였다.

DNA 바코드 정보를 이용한 복어의 종판별

CoI 및 *Cytb* 유전자의 염기서열은 Chromas 프로그램 (Version 2.6.6)을 이용하여 편집하였으며 질적 점수(quality score) 20 이하의 염기서열은 분석에서 제외하였다. Labelfish Consortium[18]에서 제시한 방법에 따라 각 시료 별 정방향과 역방향의 두 상보적 염기서열을 하나의 공통 염기서열로 결합하여 최종 종판별에 사용하였다. 편집이 완료된 시료 별 *CoI* 및 *Cytb* 유전자의 공통 염기서열은 NCBI에서 제공하는 검색기능(Basic Local Alignment Search Tool, BLAST; https:// blast .ncbi. nlm.nih.gov/Blast.cgi)을 이용하여 GenBank에 등록되어있는 염기서열 정보와 비교하였다. 선행연구 결과를 참고하여 염기서열 「유사성(identity) ≥99%」 및 「쿼리 적용 범위(query coverage)≥98%」을 종판별을 위한 기준으로 사용하였다[4].

최근 복어의 분류 연구에 따르면, *L. cheesemanii* (Clarke, 1897)는 *L. gloveri* (Abe and Tabeta, 1983)의 선행명으로 형태학적 및 유전적으로 분류할 수 없는 동일종으로 보고했다[19]. 또한 Matsuura[20]는 형태학적 비교를 기반으로 *T. alboplumbeus* (Richardson, 1845)가 *T. niphobles* (Jordan and Snyder, 1901)의 선행명으로 두 종을 동일한 종으로 보고했다. 식품공전에서도 흑밀복의 학명을 *L. gloveri* 및 *L. cheesemanii*로 복섬의 학명을 *T. niphobles* 및 *T. alboplumbeus*로 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 흑밀복과 복섬의 학명을 선행명인 *L. cheesemanii*와 *T. alboplumbeus*로 통일하여 사용하였으며, BLAST 검색 결과 선행명과 후행명이 동시에 검색될 경우 선행명을 기준으로 최종 학명을 결정하였다(Table 1).

BLAST 검색 후 판별된 종의 추가 검증을 위하여 Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) 프로그램(Version 11)을 이용하여 계통 분석(phylogenetic analysis)을 수행하였다. *CoI* 및 *Cytb* 유전자의 공통 염기서열을 ClustalW 방법을 이용하여 정렬한 후 각 염기서열의 양

Table 2. Information of primer sets used in this study

Marker	Primer set	Primer sequence (5'→3')	Reference
Cytb	H15140ad	GCTCCTCARAATGAYATTTGTCCTCA	[15]
	L14735	AAAAACACCGTTGTTATTCAACTA	
CoI	VF2_t1	TGTAAAACGACGGCCAGTCAACCAACCACAAAGACATTGGCAC	[16]
	FishF2_t1	TGTAAAACGACGGCCAGTCGACTAATCATAAAGATATCGGCAC	
	FishR2_t1	CAGGAAACAGCTATGACACTTCAGGGTGACCGAAGAATCAGAA	
	FRld_t1	CAGGAAACAGCTATGACACCTCAGGGTGTCCGAARAAYCARAA	[17]

Table 3. Optimal PCR conditions for amplification of DNA barcode markers

Step	*Cytb*			*CoI*		
	Temperature	Time	Cycle	Temperature	Time	Cycle
Pre-denaturation	94°C	5 min	1	94°C	5 min	1
Denaturation	94°C	40 sec		94°C	30 sec	
Annealing	52°C	40 sec	35	52°C	40 sec	35
Extension	72°C	1 min		72°C	1 min	
Final extension	72°C	7 min	1	72°C	7 min	1

말단을 동일하게 편집하였다. 편집이 완료된 시료 별 *CoI* 및 *Cytb* 염기서열을 하나의 *CoI-Cytb* 단편(919 bp)으로 연결하여 계통 분석에 사용하였다. 계통도(phylogenetic tree)는 Kimura 2-parameter 모델과 1,000 bootstrap 반복을 설정한 Neighbor-joining 방법을 이용하여 분석하였다. 외집단(outgroup)으로는 황아귀(*Lophius litulon*)의 염기서열(accession No. NC_023828.1)을 사용하였다.

Results

BLAST 검색 및 계통 분석 결과

50개 복어 제품의 BLAST 검색 결과 총 9개 복어 종(참복, 흰점참복, 자주복, 황점복, 까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복)이 최종 동정되었다(Table 1). 이 중 5개 종(까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복)의 경우 *CoI* 및 *Cytb* 유전자의 염기서열 정보만으로 종 단위 수준의 판별이 가능했다. 8개 제품(S3, S5, S6, S7, S12, S16, S17, S19)의 경우 종판별 기준을 모두 만족시킨 *L. cheesemanii* (=*L. gloveri*) 및 *L. guentheri* 중 BLAST 검색 결과 *CoI* 및 *Cytb* 유전자에서 공통으로 동정된 *L. cheesemanii*를 최종 학명으로 선정하였다. S8, S11 및 S13 제품의 경우 *CoI* 유전자의 쿼리 적용 범위 결과(97%)가 종판별 기준을 만족시키지 못했으나, 이를 제외한 모든 BLAST 검색 결과가 종판별 기준을 만족시켰으며 상기 8개 흑밀복 제품과 동일한 결과가 관찰되어 최종 흑밀복으로 판단하였다. 하지만 4개 종(참복, 흰점참복, 자주복, 황점복)의 경우 종판별 기준인 「염기서열 유사성≥99%」 및 「쿼리 적용 범위≥98%」를 모두 만족시켜 종 단위 수준의 판별이 불가능했다. BLAST 검색 결과의 검증을 위하여 표준 복어 시료에서 확보한 *CoI-Cytb* 단편의 염기서열을 이용해 계통 분석을 추가로 수행하였다(Fig. 1). 외집단으로 사용한 황아귀는 표준 복어 시료(n=8) 및 복어 제품(n=50)과는 독립된 계통(clade)을 형성하였으며, BLAST 검색 결과 종 단위 수준에서 판별된 까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복의 경우 각각의 표준시료와 함께 독립된 5개의 계통을 형성하였다. 하지만 참복, 흰점참복, 자주복 3개 종의 경우 표준시료 및 복어 제품 구별 없이 하나의 계통을 형성하였다. 따라서 참복, 흰점참복, 자주복 3개 종으로 동정된 27개 제품의 경우 복어류 검색 도감[10]에 제시된 표현형에 따른 분류 방법(뒷지느러미의 색, 등쪽과 옆쪽의 흰 점무늬 패턴)에 따라 최종 복어종을 동정하였다. 총 7개 복어 종(참복, 흰점참복, 까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복)이 온라인에서 판매되고 있는 50개 제품에 사용된 것으로 최종 확인되었다(Table 1).

사용 원재료와 표시사항 일치도 분석

분석에 사용된 50개 복어 제품의 제품명 또는 표시사항

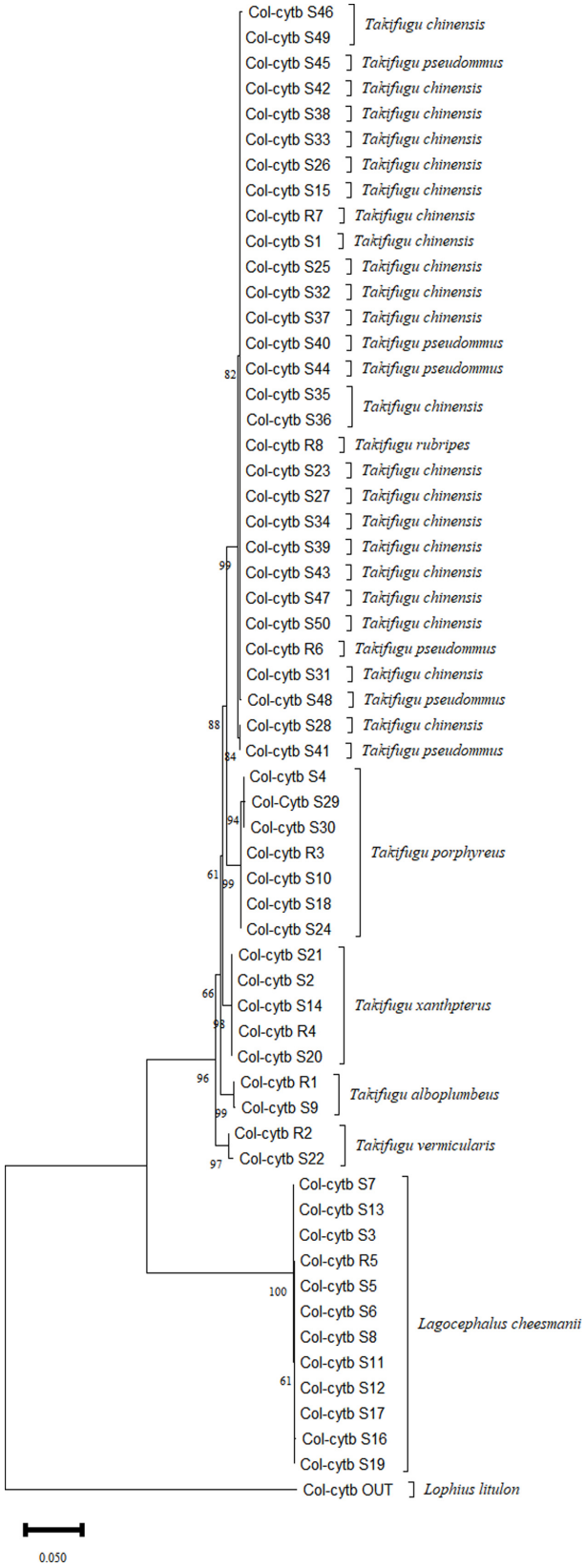

Fig. 1. Phylogenetic tree of *CoI-Cytb* sequences constructed by the Neighbor-Joining method. CoI-Cytb R1-R8: reference pufferfish specimens, CoI-Cytb S1-S50: commercial products, and CoI-Cytb OUT: outgroup.

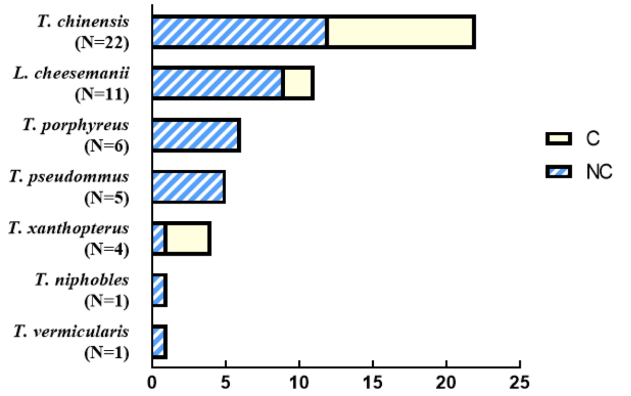

Fig. 2. Labeling compliance ratio by species used in the 50 commercial pufferfish products. NC: non-compliance, C: compliance.

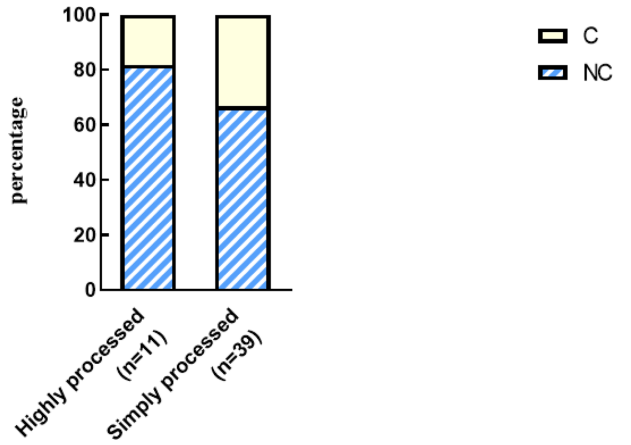

Fig. 3. Labeling compliance ratio by processed types of the 50 commercial pufferfish products. NC: non-compliance, C: compliance.

에 제시된 복어명(졸복, 까치복, 참복, 검은 밀복, 은복, 밀복 및 복어)과 「BLAST 검색 및 계통 분석 결과」에서 동정 된 학명의 일치 여부는 「식품일반의 기준 및 규격 (제2023-56호(2023.08.31.)」[6]에 제시된 식용가능한 복어의 학명과 국명을 이용하여 아래의 2단계 절차에 따라 판단하였다. 1)식품공전에 제시된 학명과 「BLAST 검색 및 계통 분석 결과」에서 제시된 최종 복어종의 학명이 일치하는지 확인 후, 2) 식품공전에서 제시된 해당 학명의 국명과 복어 제폼의 표시사항에 제시된 복어명이 일치 할 경우 최종적으로 같은 종으로 판별하였다. 분석에 사용된 50개 제품의 제품명 또는 표시사항에 제시된 복어명의 경우 졸복(n=13), 복어(n=12), 참복(n=10), 은복(n=5), 밀복(n=4), 까치복(n=3), 검은 밀복(n=2) 및 검복(n=1)순으로 나타났다(Table 1). 50개 복어 제품 중 30% 만 제품에 표기된 복어명과 종판별 결과가 일치하였다. 표시사항이 일치한 15개 제품은 참복(n=10), 까치복 (n=3) 및 흑밀복(n=2) 제품으로 S2, S11을 제외한 13개 제품은 사용된 복어의 형태적 특징을 확인할 수 있는 단순가공 제품이었다. 분석에

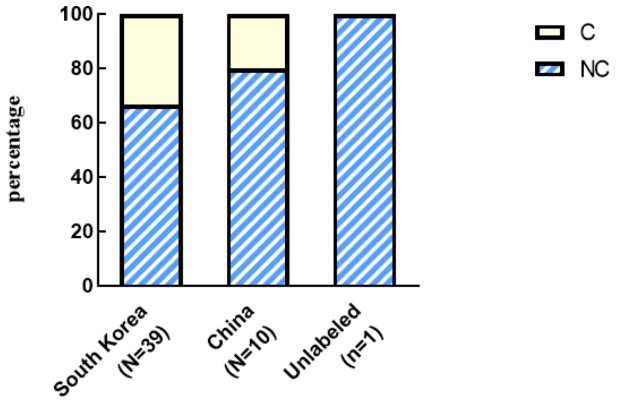

Fig. 4. Labeling compliance ratio by country of origin of the 50 commercial pufferfish products. NC: non-compliance, C: compliance.

사용한 35개 제품에서는 표시사항과 종판별 결과의 불일치를 보였으며, 이는 70%의 매우 높은 비율을 나타냈다. 표시사항과의 불일치를 보인 제품에 사용된 복어는 참복(n=12), 흑밀복(n=9), 검복(n=6), 흰점참복(n=5), 까치복(n=1), 복섬(n=1) 및 국매리복(n=1) 순이었다(Fig. 2). 참복이 사용된 제품은 총 22개로 분석 제품 중 가장 높은 비율을 보였으며, 이 중 12개 제품에서 표시사항의 불일치를 보였다. 흑밀복의 경우 11개 제품에 사용되었으며 이 중 9개 제품에서 불일치를 보였으며, 검복 및 흰점참복이 사용된 제품의 경우 모든 제품에서 표시사항 불일치를 보였다. 복어 제품의 경우 복어독 제거를 위해 손질 과정을 거친 제품만 판매가 이루어진다. 따라서 분석에 사용된 제품을 단순가공(n=39) 및 다중가공(n=11)으로 분류하였으며, 이러한 가공유형별 표시사항 불일치율은 단순가공 제품의 경우 26개 제품(66.7%)에서 관찰되었으며, 복합가공 제품의 경우 9개 제품(81.8%)에서 관찰되어 다중가공 제품에서 보다 높은 빈도의 불일치율이 관찰되었다(Fig 3). 분석에 사용된 복어 제품의 원산지는 대한민국(n=39), 중국(=10), 미표시(n=1) 순이었다. 원산지별 불일치율은 대한민국으로 표시한 복어 제품에서는 66.7%, 중국으로 표시한 복어 제품에서는 80%가 관찰되어 중국산 제품에서 보다 높은 불일치율이 관찰되었다(Fig. 4) 특히 중국산 복어 제품의 경우 S21(까치복)을 제외한 9개 제품에는 흑밀복이 사용된 것으로 확인되었다.

Discussion

한반도 주변의 바다에는 약 25종의 복어가 서식하는 것으로 알려져 있으며, 이중 참복속 15개 복어종은 180만 년에서 530만 년 사이 빠른 종분화가 이루져 형태적으로 매우 유사한 근연종 관계에 있다고 알려져 있다[3]. 최근 해수온의 상승으로 인해 서식지가 다른 까칠복과 매리복 사

이의 교잡종이 일본에서 보고되었으며[21], Baek 등[22]은 자주복과 참복의 중간 형태를 보이는 교잡종을 보고했다. 이러한 복어의 근연관계와 교잡종의 출현은 복어의 형태학적 분류를 더욱 어렵게 만들고 있으며, 전통 방법인 형태학적 분류를 보완할 수 있는 분자생물학적 분류 방법의 개발이 필요한 실정이다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 *CoI* 및 *Cytb* 유전자의 염기서열 정보를 이용하여 온라인에서 유통되는 다양한 복어 제품의 종판별 및 표시사항 모니터링을 수행하였다.

분석에 사용된 50개 복어 제품에는 총 7개 복어종(참복, 흰점참복, 까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복)이 사용된 것으로 확인되었다. 하지만 참복, 흰점참복, 자주복의 경우 BLAST 검색 및 계통 분석으로 3개 종을 명확히 분류할 수 없었다. 최근의 선행연구에서 Park 등[23]은 참복, 흰점참복, 자주복의 *CoI* 유전형과 18개 단일염기다형성 분석을 통해 이들 3개 복어종이 유전적으로 동일하다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 참복, 흰점참복, 자주복이 분류되지 않은 이유는 분석에 사용된 마커 및 방법의 문제 보다는 근연관계에 있는 참복, 흰점참복, 자주복의 유전적 특수성에서 유래했을 것으로 사료된다. 참복의 경우 분석 제품 중 가장 많은 22개 제품에 사용되었으며, 참복(n=10), 졸복(n=7), 은복(n=4), 검복(n=1) 및 복어(n=1) 순으로 제품명 또는 표시사항에 제시되었다. 특히 졸복으로 표시된 13개 제품의 경우 참복(n=7), 흰점참복(n=5) 및 복섬(n=1)이 사용되었으며, 분석에 사용된 50개 제품 중 졸복의 학명인 *T. padalis*로 동정된 제품은 없었다. 밀복으로 표시된 4개 제품에는 모두 검복이 사용되었으며, 식품공전에는 밀복이란 일반명 대신 민밀복, 은밀복, 흑밀복을 식용가능한 복어로 명시하고 있다. 복어류 검색 도감[10]에 따르면 검복의 경우 동해안 지역에서는 밀복으로 불리고 있어, 검복의 지역 방언인 밀복이 제품에 표시된 것으로 사료된다. 하지만 졸복의 경우 학명, 국명, 지역 방언과 상관없이 불특정 다수의 복어종에 사용되는 것을 확인할 수 있었다. 까치복이 사용된 4개 제품의 경우 가공의 정도와 상관없이 1개의 제품에서만 일반명 사용으로 인한 표시사항 불일치가 관찰되어 가장 낮은 불일치율을 보였다(Fig. 2). 이는 까치복의 경우 다른 복어종에 비해 독특한 형태적 특징(검은 줄무늬 패턴)을 가지고 있어 다른 종과 쉽게 분류되기 때문으로 사료된다. 특히 모니터링 결과 식용 가능한 복어로 명시된 21종 이외의 복어인 흰점참복(n=5)과 국매리복(n=1)이 졸복 제품으로 판매되고 있는 것이 확인되었다.

한국에서 판매되는 주요 수산물의 모니터링 연구 결과에 따르며, 두족류 제품의 37.5%[24], 민어 제품의 21%[25], 대게 제품의 12%[13]에서 표시사항 불일치가 관찰되었다. 복어 제품의 경우 선행연구 결과에 비해 월등히 높은 70%의 표시사항 불일치율이 관찰되었다. 복어의 분류는 형태학적 특징을 기반으로 이루어지나 유사 어종, 근연종, 교잡종 등의 이유로 정확한 분류가 어려운 실정이며, 형태학적으로 유사한 복어에 다양한 종류의 시장명 및 방언이 사용되고 있어 식품공전에서 제시하고 있는 21종의 국명 및 학명과의 혼란을 유발하는 것으로 사료된다. 따라서 복어로 인한 식중독 사고 및 식품사기를 방지하기 위해서는 식용가능한 복어 21종을 정확히 분류할 수 있는 방법의 개발이 필요한 실정이다. 본 연구에서 사용한 *CoI* 및 *Cytb* 유전자의 염기서열 정보를 이용한 복어종의 판별 방법은 기존의 형태학적 분류법의 단점을 극복하고 형태학적 특징이 사라진 다양한 종류의 가공식품에 적용할 수 있음을 확인하였다. 하지만 참복, 자주복, 흰점참복의 경우처럼 유전적으로 매우 유사한 근연종의 분류를 위한 추가 연구가 절실히 필요한 실정이다. 또한 수산물 수입의 증가에 따른 의도적 또는 비의도적인 식품사기의 발생빈도가 증가할 것으로 예상된다. 따라서 수입 및 국내 유통 복어 제품의 주기적인 모니터링 연구가 필요하며, 본 연구 결과는 향후 모니터링 수행 및 복어 분류체계 개선을 위한 기초자료로 쓰일 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 2023년도 서울여자대학교 교내 연구비(2023-0114)로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

국문요약

본 연구에서는 온라인 마켓에서 판매되는 50개 복어제품의 종판별 및 표시사항 일치여부 모니터링을 수행했다. 복어의 종판별을 위해 *cytochrome c oxidase subunit I* 및 *cytochrome b* 유전자의 염기서열을 분석하여 NCBI GenBank 데이터베이스에 등록되어있는 생물종의 염기서열과 비교 후 계통 분석을 수행했다. 참복, 흰점참복, 까치복, 복섬, 검복, 국매리복, 흑밀복 총 7종이 동정되었으며, 35개 제품(70%)에서 표시사항과의 불일치를 나타냈다. 12개의 제품(24%)에서는 식품공전에서 제시한 식용 가능한 복어 21종의 국명 대신 일반명(복어)을 사용하였다. 가공 정도별 불일치율은 다중가공 제품(n=9, 81.8%)이 단순가공 제품(n=26, 66.7%)보다 높은 비율을 보였으며, 원산지별 불일치율의 경우 중국산 제품(n=8, 80%)이 국산 제품(n=26, 66.7%)보다 높은 비율을 보였다. 시장명, 방언 등의 이름이 혼용되어 다수의 복어종을 밀복, 졸복으로 표시하였다. 이러한 분류체계의 어려움으로 인해 흰점참복, 국매리복과 같은 식용불가 복어가 식용 가능한 복어인 졸복으로 혼용되어 판매되는 것이 확인되었다. 따라서 식용 가능한 복어를 정확히 분류할 수 있는 방법의 개발이 필요하며, 수입 및 국내 유통 복어 제품의 주기적인 모니터링이 필요하다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Ji Young Lee https://orcid.org/0009-0006-6317-9695
Kun Hee Kim https://orcid.org/0000-0002-3906-9959
Tae Sun Kang https://orcid.org/0000-0001-5939-6247

References

1. National Federation of Fisheries Cooperatives, (2023, September 4). Weekly fisheries economy report (vol. 23). Retrieved from https://fei.suhyup.co.kr/synap/skin/doc.html?fn=temp_16784 14213646100&rs=/synap/result/bbs/100
2. Luque, G.M., Donlan, C.J., The characterization of seafood mislabeling: A global meta-analysis. *Biol. Conserv.*, **236**, 556-570 (2019).
3. Yamanoue, Y., Miya, M., Matsuura, K., Miyazawa, S., Tsukamoto, N., Doi, H., Takahashi, H., Mabuchi, K., Nishida, M., Sakai, H., Explosive speciation of *Takifugu*: another use of fugu as a model system for evolutionary biology. *Mol. Biol. Evol.,* **26**, 623-629 (2009).
4. Kim, K.H., Kang, T.S., A systematic approach for pufferfish identification at the species level using DNA-based methods. *Food Control*, **147**, 109574 (2023).
5. Guardone, L., Maneschi, A., Meucci, V., Gasperetti, L., Nucera, D., Armani, A., A global retrospective study on human cases of tetrodotoxin (TTX) poisoning after seafood consumption. *Food Rev. Int.*, **36**, 645-667, (2020).
6. Ministry of Food and Drug Safety, (2023, September 4). Food code, No. 2023-56. Retrieved from https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC
7. Hankyung NEWS, (2023. September 4). Two residents of a village of Wando died after eating pufferfish dish mistaken for anglerfish. Retrieved from https://www.hankyung.com/society/article/2021042062517
8. Jones, Y.L., Oliver, H.F., Deeds, J.R., Yancy, H.F., Real-time PCR assay for the detection of pufferfish products. *J. Food Prot.*, **73**, 1698-1702 (2010).
9. Panão, I., Carrascosa, C., Jaber, J. R., Raposo, A., Puffer fish and its consumption: To eat or not to eat?. *Food Res. Int.*, **32**, 305-322 (2016).
10. Han, K.H., Baek, J.I., Hwang, J.H., Shin, L.S., Kim, H.J., Youn, B.I., 2017. An illustrated guide book to the detailed puff fishes, MFDS, Cheongju, Korea, pp. 8-19.
11. Kang, T.S., Basic principles for developing real-time PCR methods used in food analysis: a review. *Trends Food Sci. Technol.*, **91**, 574-585 (2019).
12. Kang, T.S., Development of four PCR-based methods to differentiate tilefish species (*Branchiostegus japonicus* and *B. albus*). *Food Chem.*, **271**, 1-8, (2019).
13. Kang, T.S., Rapid and simple identification of two closely-related snow crabs (*Chionoecetes opilio* and *C. japonicus*) by direct triplex PCR. *LWT - Food Sci. Technol.*, **99**, 562-567 (2019).
14. Hebert, P.D., Cywinska, A., Ball, S.L., DeWaard, J.R., Biological identifications through DNA barcodes. *Proc. Biol. Sci.*, **270**, 313-321 (2003).
15. Velasco, A., Aldrey, A., Pérez-Martín, R.I., Sotelo, C.G., Assessment of the labelling accuracy of spanish semipreserved anchovies products by FINS (forensically informative nucleotide sequencing). *Heliyon*, **2**, e00124 (2016).
16. Ward, R.D., Zemlak, T.S., Innes, B.H., Last, P.R., Hebert, P.D.N., DNA barcoding Australia's fish species. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B.: Biol. Sci.*, **360**, 1847-1857 (2005).
17. Ivanova, N.V., Zemlak, T.S., Hanner, R.H., Hebert, P.D.N., Universal primer cocktails for fish DNA barcoding. *Mol. Ecol. Notes*, **7**, 544-548 (2007).
18. Labelfish Consortium, (2023 September 4). Standard operating procedure for the genetic identification of fish species using DNA barcoding (mitochondrial cytochrome-c-oxidase I sequencing). Retrieved from https://www. seatraces.eu/wp-content/uploads/2019/04/SOP.pdf
19. Matsuura, K., Satoh, T.P., Redescription of *Lagocephalus cheesemanii* (Clarke 1897), a senior synonym of *Lagocephalus gloveri* Abe and Tabeta 1983, based on morphological and genetic comparisons (Actinopterygii: Tetraodontiformes: Tetraodontidae). *Ichthyol. Res.*, **64**, 104-110 (2017).
20. Matsuura, K., Taxonomic and nomenclatural comments on two puffers of the genus Takifugu with description of a new species, *Takifugu flavipterus*, from Japan (Actinopterygii, Tetraodontiformes, Tetraodontidae). *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. A, Zool.*, **43**, 71-80 (2017).
21. Takahashi, H., Toyoda, A., Yamazaki, T., Narita, S., Mashiko, T., Yamazaki, Y., Asymmetric hybridization and introgression between sibling species of the pufferfish Takifugu that have undergone explosive speciation. *Mar. Biol.*, **164**, 1-11 (2017).
22. Baek, J.I., Han, K.H., Lee, S.H., Kim, J.K., Morphological and molecular comparison among three species and one unidentified *Takifugu* species. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, **51**, 404-410 (2018).
23. Park, Y.J., Lee, M.N., Noh, J.K., Noh, E.S., Kang, J.H., Park, J.Y., Kim, E.M., Classification of *Takifugu rubripes*, *T. chinensis* and *T. pseudommus* by genotyping-by-sequencing. *PLoS One*, **15**, e0236483 (2020).
24. Yu, Y.C., Hong, Y., Kim, J.J., Kim, H.S., Kang, T.S., Monitoring of commercial cephalopod products sold on the Korea market using DNA barcode information. *J. Food Hyg. Saf.*, **34**, 502-507 (2019).
25. Kang, T.S., Identification and authentication of commercial Mi-iuy Croaker (Miichthys miiuy) products by two PCR-based methods. *J. Food Prot.*, **84**, 463-471 (2021).