

黄琪琳, 曹媛, 刘智禹. 河鲀的营养风味、毒素、贮藏保鲜及加工研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(6): 50-58.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.06.008

河鲀的营养风味、毒素、贮藏保鲜及加工研究进展

黄琪琳¹, 曹媛¹, 刘智禹²

1. 华中农业大学食品科学技术学院, 武汉 430070;

2. 福建省水产研究所, 厦门 361013

摘要 河鲀肉味鲜美, 蛋白质、氨基酸、不饱和脂肪酸、矿物质含量高, 脂肪含量低, 可作为人体优质的膳食来源。早先因其含有剧毒的河鲀毒素而被禁止销售与食用, 随着养殖与控毒、祛毒技术的趋于成熟, 国内外在逐步开放河鲀的市场, 河鲀的经济价值不断提升。本文分析总结了河鲀的营养价值, 综述了其风味、毒素、贮藏保鲜及加工研究进展, 并展望了河鲀的未来研究方向和发展趋势, 以期为我国河鲀的开发利用及产业发展提供科学参考。

关键词 河鲀; 营养价值; 风味; 河鲀毒素; 贮藏保鲜; 深加工; 祛毒技术

中图分类号 TS 254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)06-0050-09

河鲀肉味醇厚鲜美、肉质细嫩爽口、色泽洁白, 营养价值高, 是鱼中精品。以前河鲀在我国被禁止销售与食用, 但自 2016 年 9 月 7 日我国农业部办公厅、国家食品药品监督管理局公布《关于有条件放开养殖红鳍东方鲀和养殖暗纹东方鲀加工经营》文件以来, 江苏省颁布了《南京市食药监局关于进一步加强河豚鱼监督管理的通知》等文件, 这些都显示出河鲀的合法加工与规范食用正在逐步得到批许。

据中国渔业统计年鉴(2019 年)统计, 2018 年全国河鲀养殖总产量达到 3.57 万 t。2009 年以来近 10 年全国河鲀的养殖总产量如图 1 所示(<http://www.chinayearbook.com/yearbook/class/138.html>), 2011 年因日本地震, 我国的河鲀出口形势受到

了影响, 总产量有所减少, 之后河鲀总产量持续增加, 这与逐渐开放的解禁环境密切相关。随着国内外对河鲀需求的不断扩大, 加强对河鲀的深入研究对其产业发展具有重大意义。

1 河鲀的营养价值

河鲀因其具有高蛋白、低脂肪、富含矿物质和多种必需氨基酸的特点使其成为优质的营养补充来源。不同的年龄、地区、养殖方式等因素导致河鲀的生长及生理代谢不同, 营养成分及其含量会出现差异。此外, 河鲀不同品种、不同组织部位的营养成分也存在差异。河鲀种类多, 当前经营加工的主要是有条件解禁的暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)和菊黄东方鲀(*Takifugu flavidus*)3 种。

龚玺^[1]分析了不同年龄暗纹东方鲀、菊黄东方鲀和红鳍东方鲀的鱼肉营养成分, 3 种鱼的总氨基酸含量、呈味氨基酸含量与总氨基酸含量的比例都是幼鱼优于成鱼, 而必需氨基酸含量与总氨基酸含量的比例、必需氨基酸含量与非必需氨基酸含量的比例则是成鱼优于幼鱼。其他营养成分方面成鱼与幼鱼相差不大。王丽雅^[2]研究了来自江苏和上海地区养殖暗纹东方鲀的营养成分, 结果表明上海地区的鱼肉蛋白质品质更佳。于久翔等^[3]发现养殖红鳍

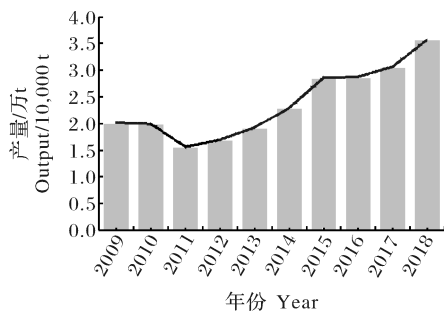


图 1 2009—2018 年全国养殖河鲀总产量

Fig.1 Total output of farmed puffer fish in China from 2009 to 2018

收稿日期: 2020-09-15

基金项目: 福建省海洋保护与发展专项(2020); 国家自然科学基金项目(31771996)

黄琪琳, 博士, 教授. 研究方向: 食品大分子的结构与功能特性, 水产品加工与贮藏. E-mail: hql@mail.hzau.edu.cn

东方鲀的氨基酸品质比野生红鳍东方鲀好,认为养殖红鳍东方鲀是优质的膳食氨基酸源。研究证明各营养成分的种类与含量在野生和养殖型河鲀之间无显著差异,两者的营养价值相当。

近年来关于河鲀不同品种及不同组织部位的营养成分分析的研究报道较多(表1)。陈晓婷等^[4]研究了暗纹东方鲀、菊黄东方鲀、红鳍东方鲀和双斑东方鲀的营养成分,发现菊黄东方鲀的鱼皮蛋白质含量最高,双斑东方鲀的总氨基酸含量、K含量最高,红鳍东方鲀鱼肉中的多不饱和脂肪酸含量最高。王

丽雅^[2]发现暗纹东方鲀鱼肉的蛋白质与氨基酸含量均高于精巢和肝脏,鱼肉的蛋白质品质最佳;鱼肉脂肪含量最低,多不饱和脂肪酸(PUFA)含量最高;鱼肉和精巢中微量元素Zn最高,肝脏中微量元素Fe最高。以上研究都表明不同品种河鲀的营养价值均较高,河鲀各组织也具有较高的营养价值,其中鱼肉蛋白质含量较高,氨基酸组成最符合FAO/WHO要求的理想模式(质量较好的蛋白质其氨基酸组成的必需氨基酸占总氨基酸的比值为40%左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值在60%以上)。脂肪

表1 河鲀不同品种及不同组织部位的营养成分(每100g鲜质量)

Table 1 Nutritional components in different species and tissue parts of puffer fish(per 100 g, wet)

| 含量 Content | 暗纹东方鲀 ^[1-2,4-6] <i>Takifugu obscurus</i> | | | 菊黄东方鲀 ^[1,4-6] <i>Takifugu flavidus</i> | | 红鳍东方鲀 ^[1,3-4,6] <i>Takifugu rubripes</i> | | 双斑东方鲀 ^[4] <i>Takifugu bilobata</i> | | 黄鳍东方鲀 ^[7] <i>Takifugu xanthopterus</i> |
|---|--|--------------------|----------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|--------------------|--|
| | 鱼肉 Fish meat | 鱼皮 Fish skin | 肝脏 Fish livers | 鱼肉 Fish meat | 鱼皮 Fish skin | 鱼肉 Fish meat | 鱼皮 Fish skin | 鱼肉 Fish meat | 鱼皮 Fish skin | 鱼肉 Fish meat |
| | 蛋白质/% Protein | 18.4~ 23.3 | 21.8~ 32.7 | 3.2~ 3.9 | 18.1~ 20.9 | 37.6 | 17.8~ 20.2 | 35.1 | 18.1 | 20.2 |
| 总氨基酸/% Total amino acid | 18.1~ 19.6 | 18.5~ 26.0 | 2.3 | 15.2 | 20.2 | 16.9 | 27.4 | 20.4 | 30.0 | 17.6~ 16.1 |
| 必需氨基酸/总氨基酸/% Essential amino acids/ total amino acids | 39.0~ 42.1 | 20.5~ 23.4 | 44.3 | 43.1 | 16.6 | 41.2 | 18.8 | 41.7 | 18.3 | 38.8~ 39.4 |
| 必需氨基酸/非必需氨基酸/% Essential amino acid/non- essential amino acid | 65.3~ 72.8 | 25.7~ 30.6 | 79.4 | 69.4 | 19.8 | 69.5 | 22.8 | 71.6 | 22.3 | 80.3~ 81.8 |
| 呈味氨基酸/% Taste amino acid | 7.4~ 47.1 | 14.5~ 14.8 | 82.7 | 5.4 | 16.7 | 6.6 | 14.7 | 7.8 | 15.8 | — |
| 脂肪/% Fat | 0.2~ 1.3 | 0.3~ 0.4 | 63.9~ 73.7 | 0.2~ 0.8 | 0.2 | 0.4~ 0.7 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | — |
| 饱和脂肪酸/% ^a Saturated fatty acid | 38.8 | 38.9 | 26.2 | — | — | 29.0~ 30.1 | — | — | — | 36.2~ 41.1 |
| 不饱和脂肪酸/% ^a Unsaturated fatty acid | 61.2 | 61.1 | 73.8 | — | — | 69.1~ 69.9 | — | — | — | 21.4~ 28.5 |
| 多不饱和脂肪酸/% ^a Polyunsaturated fatty acid | 25.1 | 18.4 | 15.3 | — | — | 50.3~ 51.5 | — | — | — | — |
| K/mg | 340.7~ 342.2 | 181.0 | — | 301.4~ 383.6 | 32.1 | 266.5~ 402.3 | 116.1 | 439.0 | 184.4 | — |
| P/mg | 214.2~ 240.2 | 740.3 | — | 205.4~ 231.5 | 503.2 | 167.1~ 198.2 | 484.0 | 226.1 | 840.1 | — |
| Ca/mg | 5.6~ 6.6 | 1 399.7 | — | 5.3~ 5.4 | 1 737.5 | 4.9~ 8.8 | 1 034.6 | 7.7 | 1 589.4 | — |
| Zn/mg | 0.7 | 3.5 | — | 0.3~ 0.6 | 2.4 | 0.7~ 0.9 | 8.9 | 0.6 | 3.7 | — |
| Fe/mg | 2.1 | 0.9 | — | 1.8 | 1.0 | 0.5~ 1.5 | 4.3 | — | 0.8 | — |
| Mn/mg | — | 0.7 | — | — | 0.3 | — | — | — | 0.7 | — |
| Cu/mg | 0.01~ 0.40 | 0.09 | — | 0.02~ 0.30 | 0.04 | 0.02~ 0.50 | 65.9 | 0.02 | 0.05 | — |
| Se/mg | 0.03 | 0.04 | — | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | — |

注:a表示各脂肪酸的含量/总脂肪酸的含量。Note: a represents the content of each fatty acid/the content of total fatty acid.

含量较低,脂肪酸比例较均衡,矿物质含量丰富,鱼皮的蛋白质、矿物质含量高,肝脏的不饱和脂肪酸丰富,但基于安全性考虑,鱼皮、肝脏及性腺部位的河鲀毒素含量皆高于鱼肉,因此,鱼肉是最佳的食用组织部位。

2 河鲀的风味研究

在中国、韩国、日本,河鲀常用于制作鱼汤,其味道鲜美。由于河鲀具有独特的鲜味,对河鲀风味的研究可为了解其风味的形成机制、加工利用以及新型调味料的研发等提供参考。

河鲀的风味产生与其自身含有的组织蛋白酶密切相关,组织蛋白酶通过降解肌原纤维蛋白等形成不同的呈味肽,而呈味肽直接影响了河鲀的风味鲜美程度。李妍钰^[8]利用分子生物学技术,成功从红鳍东方鲀中得到含有组织蛋白酶 B 和 L 的粗酶液,并初步了解其酶液性质,为今后阐明河鲀中蛋白质的降解及风味物质产生机制奠定了基础。

目前,研究者在河鲀滋味分析方面做了许多研究工作。Yang 等^[9]发现煮熟后鱼肉中 11 种代谢产物发生了显著变化,包括 1 种有机酸(2-羟基丙酸)、1 种生物碱(三甲铵乙内酯)和 9 种氨基酸(丙氨酸、亮氨酸、蛋氨酸、酪氨酸、谷氨酸、甘氨酸、精氨酸、赖氨酸和牛磺酸),故鱼肉鲜味发生变化。Liu 等^[10]鉴定出经加热和超声处理后暗纹东方鲀中的 7 种鲜味肽(His-Leu-Gln-Leu-Ala-Ile-Arg、Asp-Pro-Leu-Arg-Gly-Gly-Tyr-Tyr、Ala-Gly-Leu-Gln-Phe-Pro-Val-Gly-Arg、Leu-Leu-Leu-Pro-Gly-Glu-Leu-Ala-Lys、Ala-Gly-Phe-Ala-Gly-Asp-Asp-Ala-Pro-Arg、Gly-Tyr-Ser-Phe-Thr-Thr-Thr-Ala-Glu-Arg、Asp-Ala-Gly-Val-Ile-Ala-Gly-Leu-Asn-Val-Leu-Arg),发现肌动蛋白是鲜味肽的重要前体物质。Yu 等^[11]从暗纹东方鲀中发现了 9 种鲜味肽(Arg-Pro-His-Arg、Arg-Pro-Trp-His-Arg、His-Phe-Arg、Val-Arg-Ser-Tyr、Tyr-Lys-Cys-Lys-Asp-Leu-Arg、Leu-Tyr-Glu-Arg、Arg-Trp-Asp-Gly-Arg-Gly、Lys-Gly-Arg-Tyr-Glu-Arg、Asn-Ser-Asn-Asp-Asn),并构建了 3D-QSAR 模型来阐明鲜味肽的结构和鲜味强度之间的关系。Zhang 等^[12]鉴定出暗纹东方鲀肌肉中未知滋味相关肽的序列(Tyr-Gly-Gly-Thr-Pro-Pro-Phe-Val),发现其对河鲀的特征滋味有贡献。Zhang 等^[13-14]分析了暗纹东方鲀的 28 种滋味活性成分(谷氨酸、丝氨酸、脯氨酸、精氨酸、赖氨酸、腺苷酸、肌苷酸、琥珀酸、钠、

钾、磷酸盐和氯化物等),发现 2 种多肽(Pro-Val-Ala-Ala-Arg-Arg-Cys-Arg 和 Tyr-Gly-Gly-Thr-Pro-Pro-Val)对暗纹东方鲀的鲜味有贡献。此外,他们也分析了暗纹东方鲀和红鳍东方鲀的滋味成分,利用滋味活度值(TAV)和当量鲜味浓度(EUC)评价了滋味活性成分作用于滋味味感的程度和鲜味成分的协同效应,发现在 2 类河鲀中,暗纹东方鲀中主要滋味成分的含量和 EUC 值高于红鳍东方鲀,EUC 值与鲜味感官评价以及接受度之间呈正相关,因此,暗纹东方鲀的鲜味更高,消费者接受度更高。上述研究表明呈味氨基酸、核苷酸(腺苷酸、肌苷酸及其关联产物)、肽类(寡肽、多肽)、矿物质(钠、钾、磷酸盐和氯化物)以及相互协同对河鲀鲜美浓郁味感的形成起了重要作用。

此外,在河鲀气味分析方面也有少量研究报道。Bi 等^[15]建立了菊黄东方鲀、暗纹东方鲀和红鳍东方鲀汤的分子指纹图谱,鉴定出 19 种化合物,这些化合物与河鲀汤的风味、营养和安全性密切相关。陈乐^[16]发现鱼肉蒸煮前后挥发性风味物质的种类和含量出现了明显的变化。Tao 等^[17]研究发现了河鲀中的 68 种挥发性成分,其中三甲胺、辛酸、(E)-2-辛烯、1-辛烯 3-醇、2-乙基-1-己硫醇、(E,E)-2,4-辛二烯醛、2-乙酰基噻唑、2-乙酰基吡咯等 31 种成分被确定为主要的气味物质。秦晓^[18]发现三甲胺、癸醛、二甲基三硫化物是暗纹东方鲀鱼肉整体风味中的主要气味物质;2-甲基萘、三甲胺和 2-乙基咪唑是鱼肝总体风味中的主要气味物质;而在煎鱼肝汤中,三甲胺、癸醛和壬醛对风味贡献较大。上述研究显示醇、醛、酸、含氮化合物、含硫化合物、芳香族化合物等对河鲀的特殊气味起贡献作用。

目前,国内外关于利用河鲀来制作调味剂的研究鲜有报道。Wang 等^[19]研究了暗纹东方鲀肌肉水解产物中的 3 种肽在美拉德反应后的理化和感官特性。结果表明,与对照组相比,3 种肽的美拉德反应中间风味产物更多,且挥发性化合物(呋喃、苯酚、吡嗪等)的含量更大,也表现为更强的浓厚味。Yang 等^[20]探究了暗纹东方鲀副产物的水解工艺并评价了蛋白质水解物的鲜味和苦味程度,即在温度 40 °C、pH 6.0、复合蛋白酶/底物质量比为 2 : 100 的条件下可获得高蛋白、高含量游离氨基酸以及低苦味、高鲜味的水解物。这些研究提供了有关从河鲀制备高品质调味剂的信息,为开发河鲀的调味料奠定了基础。

国内外对河鲀的风味物质研究处于起步阶段,未来的研究可以从以下方面进行:(1)关注河鲀种类、养殖方式以及加工方式等因素对河鲀风味的影响,建立并完善河鲀的气味及滋味信息库;(2)因为目前大部分提取、分析风味的方法仍存在一些不足,所以需对已有的研究鉴定方法进一步完善,继续挖掘出适合河鲀风味物质的分析鉴定方法;(3)目前关于河鲀风味物质的形成机制以及其不同成分间相互作用的影响尚不清晰,需要继续深入探究。

3 河鲀毒素

河鲀毒素作为神经毒素,其毒性是氰化物的1 250多倍^[21],但由于它具有独特的药理作用,在海洋生物毒素中已经成为研究热点。对河鲀毒素的基础研究,能进一步推动河鲀市场的合法化发展。

目前河鲀体内河鲀毒素的确切来源仍无定论,主要有外因说和内因说2种观点,外因说认为在多种动物群如蛛螯及其生存环境中都存在河鲀毒素,因此,河鲀本身不产生河鲀毒素,河鲀毒素来源于微生物;内因说认为河鲀体内的毒素量远大于产河鲀毒素的菌株,试验证明在不含河鲀毒素环境下圈养的蛛螯,后期在体内检测出河鲀毒素,表明河鲀毒素是内源性的。因此,目前河鲀毒素的生物合成途径尚不清晰^[22]。

检测河鲀毒素的方法主要分为生物检测法、免疫检测法、仪器分析法和理化检测法四大类。近年来还出现了更加灵敏快捷的检测方法如电化学免疫传感器法、纳米生物传感器法等,并已被成功运用到实际检测中^[23]。河鲀的河鲀毒素祛除缺乏系统的研究,现控毒、祛毒方法可分为2个方面,一方面,通过控制河鲀的繁殖、养殖环境可培育出弱毒或无毒的河鲀;另一方面,河鲀毒素长时间下不耐高温,不耐碱,耐酸、盐,常见的祛毒方法有高温加热法和碱剂分解法,此外,有研究者探索出了微生物转化降解法,即利用微生物代谢过程产生的某个或某一系列的酶对河鲀毒素进行结构修饰以减弱毒性。乔菊等^[24]发现在30℃、50 r/min的条件下,16 g酒醅降解河鲀毒素的能力最强。

由于全球气候的变化,以前没有发现河鲀的区域如意大利等国家在贝类等其他动物中也检测到了河鲀毒素,所以利用分子生物学技术开发新方法识别河鲀毒素、监控和评估风险起源等措施的意义愈

加重大^[25]。

李云峰等^[26]发现养殖河鲀的鱼肉完全无毒,仅肝脏和血液中存在一定量的毒素,为河鲀养殖品种的合法销售提供了科学依据。河鲀的加工与流通对其体内毒素的分布也会产生影响。崔浩等^[27]发现施氏东方鲀(*Takifugu snyderi*)、紫色东方鲀(*Takifugu porphyreus*)、斑点多纪鲀(*Takifugu poecilonotus*)、豹纹多纪鲀(*Takifugu pardalis*)和密点多纪鲀(*Takifugu stictonotus*)的肝脏及精巢中河鲀毒素毒性较大,鱼肉不含河鲀毒素,但冷冻处理后,斑点多纪鲀皮肤的毒素转移到了无毒的鱼肉。该研究表明河鲀产品加工及低温流通环节中可能会出现食品安全风险,但随着我国养殖、控毒、冷链物流技术的不断创新与升级,河鲀产业链的完善,这些潜在的安全风险将达到可预估及可控的状态。

4 河鲀的贮藏保鲜

养殖河鲀的鱼肉在市场流通过程中如何贮藏保鲜极其重要。研究者在冷冻贮藏河鲀鱼肉品质劣化及其原因、不同冷冻方式及贮藏温度对河鲀鱼肉品质的影响、不同保鲜方式的应用等方面进行了研究。

冷藏过程中河鲀鱼肉的品质发生了显著变化。Sreelakshmi等^[28]发现河鲀鱼片在(2±1)℃冷藏期间,河鲀鱼肉的理化、感官和微生物指标均发生了显著变化,品质下降。马妍等^[29]研究了河鲀在冷链流通中的品质变化规律,发现冷藏过程中河鲀的鲜度指标如菌落总数、挥发性盐基氮(TVB-N)、脂肪氧化值(TBA)及三甲胺值(TMA)随着时间延长呈现上升的趋势,这些指标的变化较好地拟合了一级动力学模型和Arrhenius方程,揭示了冷藏或冻藏中河鲀品质劣化的原因。杨静^[30]发现冷藏过程中内源蛋白酶和微生物对暗纹东方鲀鱼肉质劣化均有影响,其中内源蛋白酶是主要因素。Tadashi等^[31]发现-50℃下储藏1~6个月的暗纹东方鲀鱼肉会发生细胞内的冻结。景电涛等^[32]发现冰晶、内源蛋白酶以及氧化作用均影响了冻藏过程中暗纹东方鲀的品质,促使其劣化,其中冰晶的性质是最主要的影响因素。Yang等^[33]也发现冰晶的大小和分布是冷冻储藏中促使冷冻暗纹东方鲀鱼肉软化的主要因素,且在冷冻储藏初期,鱼肉品质下降较快,之后品质下降逐渐减缓。

不同的冷冻方式及贮藏温度对鱼肉品质会产生

不同的影响,有研究表明冷冻速率越快(如极冻和速冻)对鱼肉品质的保持效果越好。Yang 等^[34]发现浸没冷冻比空气冷冻能更好地抑制冷冻鱼肉的品质劣化,其具有代替液氮冷冻的潜力。汪经邦等^[35]研究了不同贮藏温度对河鲢鱼肉品质的影响,−3℃及−1℃贮藏下河鲢鱼肉变质减缓,货架期延长。马妍等^[36]发现冻藏温度愈低,河鲢鱼肉的变质程度愈小,−86℃的冷冻条件下效果最佳。

鱼产品富含水分及营养成分,极易发生腐败变质。近年来人们越来越关注天然保鲜剂的研究开发,如精油、壳聚糖等,也有研究者将保鲜剂与蛋白质、脂质或多糖等聚合物制成可食用薄膜用于鱼产品的包装,可延长其保质期。苏红等^[37-38]发现质量分数 0.68% 柠檬酸、1.45% 百里酚以及 1.94% 海藻酸钠的复合保鲜剂处理能将鱼肉的货架期延长至 12 d,在冰温下保鲜效果更显著。李萌等^[39]认为尼

泊金乙酯和山梨酸钾的复配可作为河鲢鱼片冷藏过程中良好的保鲜剂。马妍等^[40-41]发现在−18℃和−25℃下,海藻糖和多聚磷酸钠的复合使用对河鲢鱼肉抗冻效果优于单独使用海藻糖;另外采用不同取代位置、不同浓度的羧甲基壳聚糖溶液处理河鲢鱼肉,发现质量分数 1% 的 O-羧甲基壳聚糖溶液在 4℃ 下的保鲜效果最佳。Zhou 等^[42]发现电解水处理延缓了河鲢鱼肉中的肌原纤维蛋白降解,电解水/壳聚糖处理比电解水和电解水/羧甲基壳聚糖处理的贮藏保鲜效果更显著。冯豪杰等^[43]研究了微酸性电解水和臭氧水对暗纹东方鲀冷藏期间品质的影响,结果显示与无菌水对照组相比,电解水及臭氧水能延长鱼肉的货架期。这些研究表明除了保鲜剂处理,其他的处理方式对河鲢的保鲜也具有较好的效果。河鲢主要以整鱼的方式在市场流通,为保证其货架期,保鲜剂的应用较为广泛,表 2 总结了河鲢的常见保鲜方式及其作用机制和效果。

表 2 河鲢的保鲜方式及其作用机制和效果

Table 2 Different preservatives and treatment methods and their preservation effects

| 保鲜方式 Ways of preservation | 代表物 Representative | 保鲜作用机制 Preservation mechanism | 保鲜效果 Preservation effect | 参考文献 References |
|------------------------------|---|---|---|--------------------|
| | 柠檬酸、百里酚、植酸 Citric acid, thymol, phytic acid | 抗氧化活性 Antioxidant activity | TVB-N 增长减缓, 汁液流失降低, 抑制细菌生长 The growth of TVB-N weakened, drip loss reduced, and the growth of bacteria inhibited | [37-38] |
| | 乳酸链球菌素、山梨酸钾、尼泊金乙酯、ε-聚赖氨酸 Nisin, potassium sorbate, ethyl paraben, ε-polylysine | 抗菌活性 Antibacterial activity | 抑制腐败菌如荧光假单胞菌生长, 汁液流失降低, TVB-N 增长减缓 The growth of spoilage bacteria such as <i>Pseudomonas fluorescens</i> inhibited, drip loss reduced and the growth of TVB-N weakened | [38-39] |
| 食品添加剂 Food additive | 海藻糖、多聚磷酸钠 Trehalose, sodium polyphosphate | 抗冻保水性 Freeze resistance and water retention | 盐溶蛋白含量、巯基含量下降减缓, pH、TVB-N 增长减缓 The decrease of salt-soluble protein content and sulfhydryl content weakened, and the growth of pH and TVB-N weakened | [39] |
| | 壳聚糖、海藻酸钠 Chitosan, sodium alginate | 生物保护膜 Biological protective film | pH、TVB-N、TBA、TMA 增长减缓, 抑制细菌生长, 汁液流失降低 The growth of pH, TVB-N, TBA and TMA weakened, the growth of bacteria inhibited and drip loss reduced | [38, 40-41] |
| 其他处理 Other processing | 臭氧水、电解水、超高压 Ozone water, electrolyzed water, ultra high pressure | 减菌、灭酶 Sterilization, enzyme denaturalization | 色差变化、肌肉纤维分解、鱼肉剪切力、持水性下降减缓, 抑制细菌生长 The change of chromatic aberration, the breakdown of muscle myofibril, shear force and water-holding capacity weakened, and the growth of bacteria inhibited | [42-44] |

目前国内外对河鲢的保鲜研究处于发展阶段,未来的研究可以从以下方面进行:(1)贮藏过程中鱼肉中的内源性蛋白酶导致了河鲢的品质劣化,内源性蛋白酶较多,各内源性蛋白酶的降解机制及作用还有待深入研究;(2)冷藏及冷冻过程中影响鱼肉品

质的主要因素仍需不断探究验证,冷藏条件下保鲜剂的使用较为广泛,冷冻贮藏更能保证鱼产品的货架期,但冻藏河鲢品质劣化的问题已成为困扰相关企业的技术难关。因此,需继续探究适宜的抗冻剂及冷冻方式,探究其应用在河鲢上的抗冻机制,为冷

冻河鲀品质的提升提供理论支撑。

5 河鲀的加工现状

目前国内河鲀产品单一,产品附加值较低,市场销售均为冷冻产品,深加工技术缺乏。关于河鲀产品加工的研究主要停留在河鲀分割鱼肉、鱼片以及副产物的加工利用上。在韩国与日本,河鲀主要加工成生鱼片直接提供给消费者食用;我国河鲀主要以低温贮藏的整鱼或加工成盐干制品出口至日本、韩国。发展河鲀深加工技术,能有效推动河鲀产业链的形成以及河鲀资源的充分利用。

2005年大连建成了中国第1条河鲀加工生产线,以期为河鲀产品加工如河鲀鱼皮、鱼鳍、鱼罐头等起示范作用。近年来国内外许多研究者在河鲀的加工方面做了不断的探索。Shiba等^[45]将红鳍东方鲀宰杀后,立即去皮、去内脏、切成鱼片,真空包装后将鱼片浸泡在沸水中10 s,迅速用冰水冷却。此方法生产出的生鱼片可在冷藏条件下保质21 d以上,且在冷藏过程中鱼片中谷氨酸和丙氨酸的含量有所提高。以河鲀为原料加工制成烤鱼片,酥脆味香,广受消费者欢迎。李海波等^[46]成功生产出了调味烤黑鳍河鲀鱼片,并优化了其加工工艺;路海霞等^[47]在优化得到质量分数6.7%食用白砂糖、4.0%食用盐、4.2%食用酱油的香料液后,将河鲀鱼片浸没其中,再杀菌15 min,所得即食调味河鲀鱼片既味道可口又符合商业杀菌的要求。

到2020年末中国河鲀加工和消费产生的下脚料总量预计会超过700 t^[48]。合理利用下脚料将会创造出巨大的经济价值,目前关于河鲀副产物的用途如下:利用卵巢、精巢等提取河鲀毒素制作麻醉镇痛剂;利用精巢制作鱼精蛋白、精氨酸、鱼素,用于医药;此外,鱼精蛋白也是一种新型食品资源;河鲀皮中富含胶原蛋白,具有美容护肤功效,其也可用于制胶;利用鱼骨、鱼鳍制成鱼粉饲料和肥料;利用脏器提取的肝油、肝汁,用于医药、工业^[49]。总之,河鲀因其全身の利用价值而备受关注。

6 总结与展望

目前国内外关于河鲀的研究主要集中在河鲀的营养特性、河鲀的风味、河鲀毒素、河鲀的贮藏保鲜等方面,关于河鲀深加工利用的研究鲜有报道。河鲀的营养价值高,风味鲜美,养殖河鲀已是弱毒或无毒,国内河鲀的原料供给能力已大于行业加工能力,

其产业现状前景可观。

我国在不断建立、健全涉及河鲀养殖、生产、加工经营等方面的法规与标准,如SC/T 3124—2019《鲜、冻养殖河豚鱼》,还需在原料把控、产品开发、生产监管等方面继续完善相关制度,为河鲀的产业发展提供坚实的法律法规依据。目前有条件解禁的主要是经过多年实践经验的红鳍东方鲀、暗纹东方鲀和菊黄东方鲀3个品种,我们需要学习日本和韩国等国家成熟的管理经验,从养殖、祛毒技术等多方面推动更多的品种加入“解禁”的队伍,为后续加工生产提供良好的品种来源。河鲀目前仍主要以生鲜鱼的方式在市场流通,低温贮藏与添加保鲜剂的方法是保证其品质及延长货架期的主要方式,冷冻贮藏方式较少,研究低温贮藏及其他的保鲜技术可及时供应市场,保证后续加工。我国河鲀加工产品结构单一,种类较少,创新性不足,需更新加工产品结构,开发适应国内外市场的河鲀产品。此外,我国的河鲀加工技术水平需持续提升以持续推进河鲀产业的健康发展。

参考文献 References

- [1] 龚玺. 养殖河豚鱼肉营养品质研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2011. GONG X. Evaluation of nutritional quality of bred puffer fish muscle[D]. Shanghai:Shanghai Ocean University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [2] 王丽雅. 养殖雄性暗纹东方鲀营养品质研究[D]. 上海:上海海洋大学, 2013. WANG L Y. Analysis and evaluation of the nutritional composition of farmed male pufferfish (*Taki fugu obscurus*) [D]. Shanghai:Shanghai Ocean University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [3] 于久翔,高小强,韩岑,等. 野生和养殖红鳍东方鲀营养品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2016, 28(9): 2987-2997. YU J X, GAO X Q, HAN C, et al. Comparative analysis on nutritional quality between wild and cultured *Taki fugu rubripes* [J]. Chinese journal of animal nutrition, 2016, 28(9): 2987-2997 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈晓婷,吴靖娜,许旻,等. 四种河豚鱼皮和鱼肉的营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 69-77. CHEN X T, WU J N, XU M, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components in fish skin and fish meat of four species of puffer fish[J]. Modern food science and technology, 2020, 36(1): 69-77 (in Chinese with English abstract).
- [5] 孙阿君,金武,闻海波,等. 暗纹东方鲀主要可食部分营养成分比较及品质评价[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(23): 50-54 (in Chinese). SUN A J, JIN W, WEN H B, et al. Comparison of nutrient components and quality evaluation of

- main eatable parts of pufferfish (*Takifugu obscurus*) [J]. Journal of Yangtze University (natural science edition), 2013, 10 (23): 50-54 (in Chinese).
- [6] TAO N P, WANG L Y, GONG X, et al. Comparison of nutritional composition of farmed pufferfish muscles among *Fugu obscurus*, *Fugu flavidus* and *Fugu rubripes* [J]. Journal of food composition and analysis, 2012, 28(1): 40-45.
- [7] 舒璇. 野生、养殖型黄鳍东方鲀河豚毒素测定及营养成分分析 [C]//中国科学技术协会学会, 福建省人民政府. 经济发展方式转变与自主创新-第十二届中国科学技术协会年会(第三卷). 福州中国科学技术协会学会, 福建省人民政府; 中国科学技术协会学会学术部, 2010: 10. SHU H. Determination and nutrient component analysis of wild and cultured pufferus orientalis [C]// China Association of Science and Technology, Fujian Provincial People's Government. Economic development modalities change and independent innovation-12th annual meeting of China Association of Science and Technology (Vol.3). Fuzhou China Association of Science and Technology, Fujian Provincial People's Government Academic Department of the Society of Associations, 2010: 10 (in Chinese).
- [8] 李妍钰. 红鳍东方鲀组织蛋白酶 B、L 的异源表达及粗酶液性质研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017. LI Y Y. Heterologous expression of cathepsin B and cathepsin L from *Takifugu rubripes* and properties of crude enzyme solution [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [9] YANG L, DAI B N, CHARFEDINNE A, et al. Comparing the metabolic profiles of raw and cooked pufferfish (*Takifugu flavidus*) meat by NMR assessment [J]. Food chemistry, 2019, 290: 107-113.
- [10] LIU Z Y, ZHU Y W, WANG W L, et al. Seven novel umami peptides from *Takifugu rubripes* and their taste characteristics [J/OL]. Food chemistry, 2020, 330: 127204 [2020-09-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127204>.
- [11] YU X Q, ZHANG L J, MIAO X D, et al. The structure features of umami hexapeptides for the T1R1/T1R3 receptor [J]. Food chemistry, 2017, 221: 599-605.
- [12] ZHANG M X, WANG X C, LIU Y, et al. Isolation and identification of flavor peptides from pufferfish (*Takifugu obscurus*) muscle using an electronic tongue and MALDI-TOF/TOF MS/MS [J]. Food chemistry, 2012, 135: 1463-1470.
- [13] ZHANG N L, CHARFEDINNE A, WANG W L, et al. Sensory-guided analysis of key taste-Active compounds in pufferfish (*Takifugu obscurus*) [J]. Journal of agricultural and food chemistry 2019, 67(50): 13809-13816.
- [14] ZHANG N L, WANG W L, LI B, et al. Non-volatile taste active compounds and umami evaluation in two aquacultured puffer fish (*Takifugu obscurus* and *Takifugu rubripes*) [J/OL]. Food bioscience, 2019, 32: 100468 [2020-09-15]. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100468>.
- [15] BI H Y, CAI D D, ZHANG R T, et al. Mass spectrometry-based metabolomics approach to reveal differential compounds in pufferfish soups: flavor, nutrition, and safety [J/OL]. Food chemistry, 2019, 301: 125261 [2020-09-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125261>.
- [16] 陈乐. 我国三种养殖河豚挥发性风味及活体检测鱼体中河豚毒素研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017. CHEN L. Study on volatile evaluation and tetrodotoxin detection by *in vivo* sampling in three species of *Fugus* of China [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [17] TAO N P, WU R, ZHOU P G, et al. Characterization of odor-active compounds in cooked meat of farmed obscure puffer (*Takifugu obscurus*) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry [J]. Journal of food and drug analysis, 2014, 22(4): 431-438.
- [18] 秦晓. 养殖暗纹东方鲀风味物质鉴定分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015. QIN X. Characterization of flavor substances of farmed *Takifugu obscurus* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [19] WANG W L, ZHANG L, WANG Z Q, et al. Physicochemical and sensory variables of Maillard reaction products obtained from *Takifugu obscurus* muscle hydrolysates [J]. Food chemistry, 2019, 290: 40-46.
- [20] YANG Y F, WANG W L, LIU Y, et al. Umami and bitterness profile of enzymatic protein hydrolysate from cultured *Takifugu obscurus* by-products [J]. Journal of food measurement and characterization, 2020, 14: 476-484.
- [21] 赖晓慧, 肖义军. 河豚毒素的研究进展 [J]. 福建畜牧兽医, 2019, 41(4): 23-24. LAI X H, XIAO Y J. Research progress of tetrodotoxin [J]. Fujian animal husbandry and veterinary medicine, 2019, 41(4): 23-24 (in Chinese with English abstract).
- [22] 李来好, 孙博伦, 赵东豪. 河豚毒素的检测与制备方法研究进展 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(3): 126-132. LI L H, SUN B L, ZHAO D H. Research progress in detection and preparation methods for tetrodotoxin [J]. South China fisheries science, 2018, 14(3): 126-132 (in Chinese with English abstract).
- [23] SANDRA L, SOTIRIS K, MARIA R A, et al. Detection of tetrodotoxins in juvenile puffer fish *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) from the North Aegean Sea (Greece) by an electrochemical magnetic bead-based immunosensing tool [J]. Food chemistry, 2019, 290: 255-262.
- [24] 乔菊, 代启虎, 李冉, 等. 酒酿发酵法降解河豚毒素的条件优化研究 [J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(2): 187-191. QIAO J, DAI Q H, LI R, et al. Study on optimization conditions for degradation of tetrodotoxin by the fermented grains zymotechnics [J]. Journal of Shandong Agricultural University (natural science edition), 2018, 49(2): 187-191 (in Chinese with English abstract).
- [25] GUARDONE L, GASPERETTI L, MANESCHI A, et al. Toxic invasive puffer fish (*Tetraodontidae* family) along Italian coasts: assessment of an emerging public health risk [J]. Food control, 2018, 91: 330-338.

- [26] 李云峰,马晨晨. 养殖河豚鱼毒素的研究[J]. 食品安全质量检测学报,2014,5(3):819-823. LI Y F, MA C C. Research on tetrodotoxin of breeding globefish fish[J]. Journal of food safety and quality, 2014, 5(3): 819-823 (in Chinese with English abstract).
- [27] 崔浩,长岛裕二. 冷冻贮藏对河豚鱼毒素分布的影响[J]. 黑龙江科技信息,2017(13):131-134. CUI H, YUJI N. Effects of frozen storage on the distribution of tetrodotoxin[J]. Heilongjiang science and technology information, 2017(13): 131-134(in Chinese).
- [28] SREELAKSHMI K R, REHANA R, RENJITH R K, et al. Quality and shelf life assessment of puffer fish (*Lagocephalus guentheri*) fillets during chilled storage[J]. Journal of aquatic food product technology, 2019, 28(1): 25-37.
- [29] 马妍,谢晶,周然,等. 暗纹东方鲀不同贮藏温度货架期模型的预测研究[J]. 食品工业科技,2012,33(6):390-393. MA Y, XIE J, ZHOU R, et al. Prediction model for the shelf-life of *Takifugu obscurus* stored at different temperatures[J]. Science and technology of food industry, 2012, 33(6): 390-393 (in Chinese with English abstract).
- [30] 杨静. 暗纹东方鲀冷藏过程中质构劣化和蛋白降解变化研究[D]. 无锡:江南大学,2017. YANG J. Study on texture softening and protein deterioration change of puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [31] TADASHI Y A, SHINYA K O, YUJI O H, et al. Change of meat quality in tiger puffer during frozen storage[J]. Food science technology, 2005, 11(2): 175-183.
- [32] 景电涛,杨方,余达威,等. 暗纹东方鲀冻藏品质劣化的原因解析[J]. 渔业科学进展,2019,40(5):166-174. JING D T, YANG F, YU D W, et al. Reasons for quality deterioration of *obscurus* puffer fish fillets during frozen storage[J]. Progress in fishery sciences, 2019, 40(5): 166-174(in Chinese with English abstract).
- [33] YANG F, JING D T, YU D W, et al. Differential roles of ice crystal, endogenous proteolytic activities and oxidation in softening of obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) fillets during frozen storage[J]. Food chemistry, 2019, 278: 452-459.
- [34] YANG F, JING D T, DIAO Y D, et al. Effect of immersion freezing with edible solution on freezing efficiency and physical properties of obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) fillets [J/OL]. LWT-food science and technology, 2020, 118: 108762 [2020-09-15]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108762>.
- [35] 汪经邦,李沛韵,谢晶,等. 不同贮藏温度对暗纹东方鲀水分迁移、质构和色泽的影响及其货架期预测[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 73-81. WANG J B, LI P Y, XIE J, et al. Effects of different temperatures on moisture migration, texture and color of *Takifugu obscurus* during storage and the prediction of shelf-life[J]. Food and fermentation industries, 2020, 46(6): 73-81(in Chinese with English abstract).
- [36] 马妍,谢晶,周然,等. 冻藏温度对河豚鱼肉微观结构及生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014, 42(5):141-146. MA Y, XIE J, ZHOU R, et al. Effects of frozen storage temperature on ultrastructure and biochemical properties of *Takifugu obscurus*[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (natural science edition), 2014, 42(5): 141-146 (in Chinese with English abstract).
- [37] 苏红,张晓梅,郭芮,等. 4种生物保鲜剂结合冰温贮藏对红鳍东方鲀的保鲜效果[J]. 食品工业科技,2018,39(3):276-280. SU H, ZHANG X M, GUO R, et al. Preservation effect of four kinds of biological preservatives combined with ice temperature storage on *Takifugu rubripes* [J]. Science and technology of food industry, 2018, 39(3): 276-280 (in Chinese with English abstract).
- [38] 苏红,申亮,毕诗杰,等. 复合生物保鲜剂结合冰温贮藏对红鳍东方鲀的保鲜效果[J]. 水产学报,2019,43(3):688-696. Preservation effect of complex biological preservatives on *Takifugu rubripes* during cold storage[J]. Journal of fisheries of China, 2019, 43(3): 688-696 (in Chinese with English abstract).
- [39] 李萌,马永生,李智博,等. 不同基质条件下食品防腐剂对冷藏河豚鱼片腐败菌的抑菌差异[J]. 中国食品学报,2019,19(6):185-192. LI M, MA Y S, LI Z B, et al. The difference of antimicrobial activity of food preservatives on spoilage bacteria of chilled puffer fish[J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2019, 19(6): 185-192 (in Chinese with English abstract).
- [40] 马妍,谢晶,周然,等. 不同取代基羧甲基壳聚糖对冷藏河豚鱼品质的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(15):3131-3135. MA Y, XIE J, ZHOU R, et al. Effects of different substituent of carboxymethyl chitosan on cold stored puffer fish quality[J]. Hubei agricultural sciences, 2011, 50(15): 3131-3135 (in Chinese with English abstract).
- [41] 马妍,谢晶,周然,等. 复合抗冻剂在暗纹东方鲀冻藏过程中的应用[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(5):543-548. MA Y, XIE J, ZHOU R, et al. Application of complex cryoprotectant on *Takifugu obscurus* during frozen storage[J]. Journal of food science and biotechnology, 2012, 31(5): 543-548 (in Chinese with English abstract).
- [42] ZHOU R, LIU Y, XIE J, et al. Effects of combined treatment of electrolysed water and chitosan on the quality attributes and myofibril degradation in farmed obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage [J]. Food chemistry, 2011, 129(4): 1660-1666.
- [43] 冯豪杰,蓝蔚青,刘大勇,等. 不同减菌化处理方式对暗纹东方鲀冷藏期间品质变化的影响[J]. 食品科学,2020,41(7):210-217. FENG H J, LAN W Q, LIU D Y, et al. Effects of different sterilization treatments on the quality of puffer fish (*Takifugu obscurus*) during refrigerated storage[J]. Food science, 2020, 41(7): 210-217 (in Chinese with English abstract).
- [44] 曹妍妍,吴靖娜,陈晓婷,等. 超高压处理对冷藏菊黄东方鲀品

- 质的影响[J/OL]. 食品工业科技, 2020; 1-14 (2020-06-23) [2020-09-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200623.1057.006.html>. CAO Y Y, WU J N, CHEN X T, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on the quality of *Takifugu flavidus* during cold storage[J/OL]. Science and technology of food industry, 2020; 1-14 (2020-06-23) [2020-09-15]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20200623.1057.006.html> (in Chinese with English abstract).
- [45] SHIBA T, SHIRAKI N, FURUSHITA M, et al. Free amino acid and ATP-related compounds in sterile tiger puffer fish (*Takifugu rubripes*) fillets stored at 4 °C[J]. Journal of food processing and preservation, 2014, 38(3): 791-797.
- [46] 李海波, 李丽, 金剑雄, 等. 调味烤河豚鱼片加工工艺研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2001, 20(4): 292-293. LI H B, LI L, JIN J X, et al. A research on the processing craft of flavouring roasted globefish fillets[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (natural science edition), 2001, 20(4): 292-293 (in Chinese with English abstract).
- [47] 路海霞, 吴靖娜, 刘智禹, 等. 调味河鲀休闲制品工艺研究[J]. 渔业现代化, 2017, 44(5): 54-59. LU H X, WU J N, LIU Z Y, et al. Study on the processing technology for the leisure food-seasoned sliced Tetraodontidae [J]. Fishery modernization, 2017, 44(5): 54-59 (in Chinese with English abstract).
- [48] 陈燕婷, 王松发, 陈何东, 等. 福建河鲀产业发展形势分析[J]. 中国水产, 2019(1): 63-66. CHEN Y T, WANG S F, CHEN H D, et al. Analysis of development situation of puffer fish industry in Fujian Province[J]. China Fisheries, 2019(1): 63-66 (in Chinese).
- [49] 郭芮, 张晓梅, 苏红, 等. 河豚鱼的营养价值及副产物可利用性的研究现状[J]. 食品科技, 2018, 43(3): 113-116. GUO R, ZHANG X M, SU H, et al. The research status of nutrition value and by-products utilization of puffer fish[J]. Food science and technology, 2018, 43(3): 113-116 (in Chinese with English abstract).

Research progress of puffer fish's nutrition, flavor, toxin, preservation and processing

HUANG Qilin¹, CAO Yuan¹, LIU Zhiyu²

1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University,

Wuhan 430070, China;

2. Fisheries Research Institute of Fujian Province, Xiamen 361013, China

Abstract Puffer fish has a long history of food culture in China. Its taste is extremely delicious. It is rich in protein, amino acid and unsaturated fatty acid, but low fat content. Therefore, it can be used as a good dietary source for people. Earlier, puffer fish was forbidden to be sold and eaten for its highly toxic tetrodotoxin. As the breeding, tetrodotoxin controlling, and detoxification technologies developing, the domestic and internal market for puffer fish is gradually opening. Therefore, the economic value of puffer fish is gradually improving. We summarized the nutritional value of puffer fish, reviewed the research progress on puffer fish's flavor, toxin, storage and processing. Meanwhile, we put forward the future research direction and developing trend of puffer fish, to provide a scientific reference for the development and utilization of puffer fish and its industry development in China.

Keywords puffer fish; nutrition; flavor; tetrodotoxin; storage and preservation; deep processing; detoxification

(责任编辑: 赵琳琳)