

预制黄鳝加工技术研究进展

杨丽凤^{1,2}, 李旭海^{1,2}, 汪 兰¹, 周 志², 吴文锦¹,
李 平³, 熊光权^{1*}, 石 柳^{1*}

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室, 武汉 430064;
2. 湖北民族大学生物与食品工程学院, 恩施 445000; 3. 荆州市集创机电科技股份有限公司, 荆州 434020)

摘 要: 2022年全国黄鳝总产值超过200亿元, 黄鳝具有极高的营养价值和药用功效, 但其加工保鲜方式和产品类型单一, 主要以人工宰杀为主, 以鲜活和冷冻保鲜方式销售, 加工方式也仅局限于菜肴烹饪, 市场上成熟的预制黄鳝加工品和半成品较少, 精深加工产品比例低, 贮藏期短、品质劣变等问题严重地制约了黄鳝产业链的延伸和发展。未来可从黄鳝预制产品的研发创新、加工装备研发与配套集成以及养殖及加工过程中的安全管理等方面来促进黄鳝产业化发展。因此, 本文从黄鳝的产量价格、预制黄鳝产品类型、加工技术及食品安全方面进行综述, 并对未来黄鳝产业的走向和发展做出展望, 以期更好地利用和开发黄鳝产品, 为促进黄鳝产业发展提供理论支持。

关键词: 黄鳝; 营养功效; 加工工艺; 产品类型; 产品安全

Progress in the processing technology of prefabricated eel

YANG Li-Feng^{1,2}, LI Xu-Hai^{1,2}, WANG Lan¹, ZHOU Zhi², WU Wen-Jin¹,
LI Ping³, XIONG Guang-Quan^{1*}, SHI Liu^{1*}

(1. Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. College of Biological and Food Engineering, Hubei Minzu University, Enshi 445000, China;
3. Jingzhou Jichuang Electromechanical Technology Co., Ltd., Jingzhou 434020, China)

ABSTRACT: In 2022, the total output value of eel in China exceed 20 billion RMB. Eel has high nutritional value and medicinal efficacy, but its processing and preservation method and product type are single. It is mainly manual slaughter, sold in fresh and frozen preservation, and the processing method is only limited to cooking. There are few mature prefabricated eel processed products and semi-finished products in the market, the low proportion of deep processed products, short storage period, quality deterioration and other problems that seriously restrict the extension and development of the yellow eel industry chain. In the future, the industrialization development of eel can be promoted

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-46)

Fund: Supported by the Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs: National Modern Agricultural Industrial Technology System (CARS-46)

***通信作者:** 熊光权, 研究员, 主要研究方向为淡水产品加工。E-mail: xionguangquan@163.com

石 柳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。E-mail: shiliu@hbaas.com

***Corresponding author:** XIONG Guang-Quan, Professor, Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China. E-mail: xionguangquan@163.com

SHI Liu, Ph.D, Associate Professor, Key Laboratory of Agricultural Products Cold Chain Logistics, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agro-products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China. E-mail: shiliu@hbaas.com

from the aspects of research and innovation of prefabricated products, research and development and integration of processing equipment and supporting equipment, and the safety management of breeding and processing. Therefore, this paper reviewed the output price, prefabricated yellow eel product types, processing technology and food safety of yellow eel, and made a prospect for the future trend and development of eel industry, so as to better utilize and develop yellow eel products and provide theoretical support for promoting the development of eel industry.

KEY WORDS: eel; nutritional efficacy; processing technology; product classification; product security

0 引言

黄鳝(*Monopterus albus*)是温热带淡水鱼类, 属于合鳃目合鳃科黄鳝属。黄鳝主要分布在中国、日本、朝鲜、泰国等东南亚国家^[1]。黄鳝肉质细嫩, 味道鲜美, 营养价值丰富, 还具有一定的药用价值。黄鳝肉中蛋白质含量约占 19%, 脂肪含量占 0.9%, 还含有 18 种不饱和脂肪酸和 17 种氨基酸^[2]。其中黄鳝肉中富含 *n*-3 不饱和脂肪酸对心血管疾病、胆固醇水平、抑郁症和阿尔茨海默病等都有积极作用^[3-4], 还含有谷氨酸参与多种生理活性物质合成和脑组织生化代谢^[5]。黄鳝根据其品种体色主要分为深黄大斑鳝、金黄色小斑鳝、杂色鳝等。深黄大斑鳝体型细长略成圆型, 体色深黄, 全身分布不规则的黑褐色大斑点, 对环境适应能力强, 抗逆性强, 生长速度快, 肉质细嫩, 品质好, 是目前首选养殖品种。金黄色小斑鳝体型细长、匀称, 体色浅金黄, 全身分布不规则褐黑色小斑点, 斑点较细密, 对环境适应能力较强, 生长速度较快, 肉质较好, 是发展人工养殖、解决鳝种的重要来源^[6-7]。

我国黄鳝研究起源于上世纪 40 年代, 80 年代黄鳝逐渐供应市场, 走向餐桌^[8]。黄鳝作为经济鱼类, 是全面落实乡村振兴战略的重要抓手和助力。目前有关黄鳝的研究单位主要有中国水产科学研究院长江水产研究所、仙桃市黄鳝产业技术研究院、湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所以及江西农业大学等, 研究内容主要集中在养殖育种方面, 而关于其预制加工研究较少。黄鳝主要以人工宰杀为主, 以鲜活和冷冻保鲜方式销售, 加工方式也仅局限于菜肴烹饪, 市场上成熟的预制黄鳝加工品和半成品较少。因此, 本文现对黄鳝原料的产量和价格、营养价值、保鲜技术、预制产品加工工艺、副产物综合利用现状及食品安全等研究进展进行综述, 对其中存在的问题进行总结和展望, 以期更好地利用和开发预制黄鳝产品, 为黄鳝产业的发展提供方向。

1 黄鳝产量及价格

我国黄鳝养殖从 2000 年以来得到大力发展, 黄鳝养殖产量已接近 40 万 t, 产值超过 200 亿元, 主要产区为湖北、江西、安徽和湖南, 近 5 年产量见图 1, 其中湖北为黄鳝主要产区, 近 5 年产量均在 13 万 t 以上, 占全国总产量

的 40% 以上^[9]。本文统计了湖南岳阳洞庭湖渔都市场近 5 年黄鳝价格变化趋势^[10](图 2), 近 5 年黄鳝销售价格存在周年波动, 年初黄鳝产量较少, 价格相对较高, 最高约为 70 元/斤, 3~6 月份价格降低, 6 月出现价格低谷, 约为 26.5 元/斤。因此, 开发预制黄鳝产品不仅可以打破地域和季节限制, 稳定市场供给和需求, 还可以便捷黄鳝食用方式, 实现黄鳝增值最大化, 具有十分重要的意义。

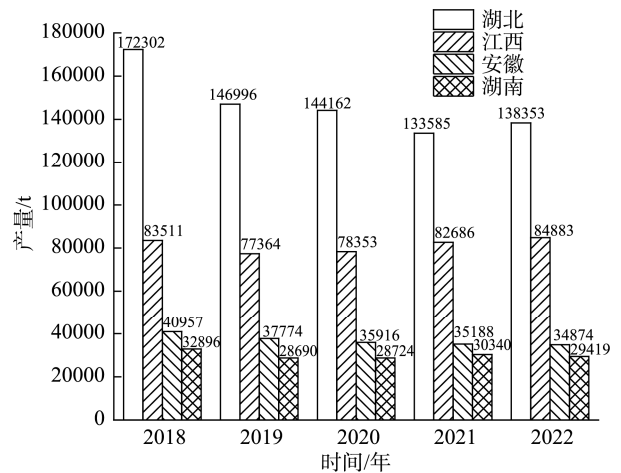


图 1 近 5 年湖北、江西、安徽和湖南 4 个产地黄鳝养殖产量^[9]
Fig.1 Eel production in Hubei, Jiangxi, Anhui and Hunan Provinces in recent 5 years^[9]

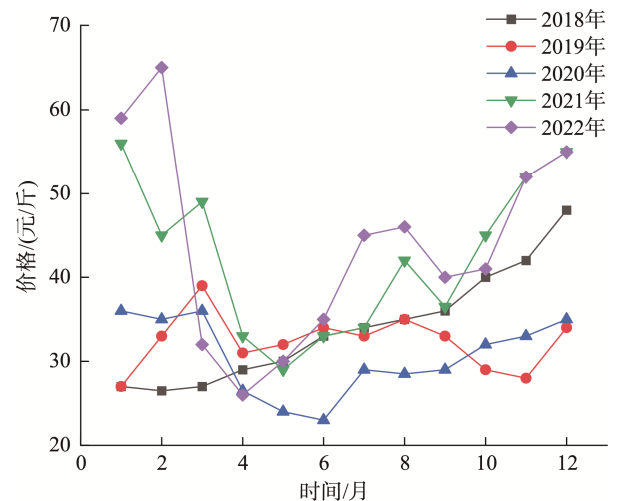


图 2 近 5 年湖南岳阳洞庭湖渔都市场黄鳝价格趋势变化图^[10]
Fig.2 Price trend of eel in Dongting Lake, Hunan in recent 5 years^[10]

2 预制黄鳝产品类型

目前市场上的预制黄鳝产品类型主要包括即配型和即食型。主要分为黄鳝冷冻食品、黄鳝油炸食品、黄鳝烘烤食品、黄鳝罐头、黄鳝熏制品、龙骨休闲食品等^[11-15]，见表 1。黄鳝体细长呈蛇形，头粗尾细，通常经过去头和去内脏后制成即配型冷鲜预制黄鳝片、黄鳝段、黄鳝条和黄鳝骨等。除冷鲜预制产品外，黄鳝还可通过简单冻结加工成冻鳝筒、冻鳝段、冻鳝丝、冻鳝片、冻鳝骨等，可保持黄鳝的营养和风味，有利于运输和贮藏^[11]。此外，即食型黄

鳝休闲食品因其食用方便、口味众多等特点深受消费者喜欢。黄鳝休闲食品主要有允泰坊的不同口味的即食鳝鱼片和蛮尤辣的麻辣紫苏鳝鱼即食产品，其价格约为食材价格的 2~3 倍，常温条件下其货架期约为 6~9 个月。黄鳝条和黄鳝骨的加工主要通过烘烤和煎炸两种方式，加入不同调味料及复配食品制成的休闲食品，以满足不同人群的营养需要^[12-14]。

尽管市场上已出现了预制黄鳝产品，但产品种类较少，市场占有率较低。开发针对不同消费人群的黄鳝预制产品，具有广阔的市场前景。

表 1 预制黄鳝产品类型
Table 1 Types of prefabricated eel products

产品类型	工艺流程	参考文献
黄鳝冷冻食品	原料→清洗→沥水→真空→包装→冷冻→成品。	[11]
黄鳝油炸食品	原料处理→腌制液配制→腌制→油炸→调制→真空包装→杀菌→保温检验→成品入库	[14]
黄鳝烘烤食品	原料→去头、去皮、去内脏→切串→漂洗→沥水→调味渗透→摊串→烤干→揭串→烘烤→滚压拉松→检验→称量→包装	[13]
黄鳝罐头	选料→宰杀与分割→检验→加工制作(腌制、油炸和杀菌处理)→装罐→灭菌→检验→包装	[15]
黄鳝熏制品	处理黄鳝→腌制→去盐、整理→干燥熏烟→包装	[3]
龙骨休闲食品	原料处理→漂洗、沥干、称重→配调味液→蒸煮软化→烘干→挂浆→油炸→包裹调味料→包装、封口→杀菌→成品	[12]

3 预制黄鳝加工工艺流程

3.1 活 运

黄鳝以口腔和喉腔的内壁表皮作为辅助呼吸器官，离水后可生存较长时间^[16]，因此相较于其他鱼类运输方便。黄鳝活运的方法一般有两种，即带水法和干运法。黄鳝带水运输中，采用桶做容器，桶盖有透气孔，在运输途中定时换水并翻动黄鳝，运输方便，存活率高。黄鳝干运中，常采用木箱、木桶或蒲包等做运输的容器，运输途中需要保持黄鳝体表湿润性，以提高运输成活率。

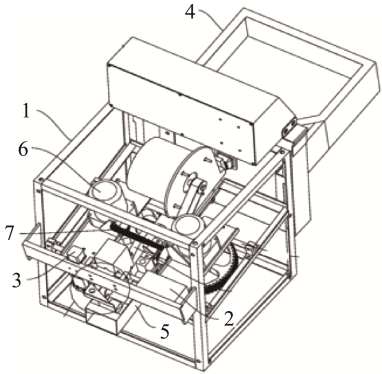
3.2 宰 杀

水产品致死方式主要有放血法、低温致死法、二氧化碳法、电击晕法^[17]。黄鳝宰杀主要是以人工宰杀为主，一般是先将黄鳝摔击致晕，固定头部后将腹部剖开，摘除内脏，剔骨，清洗干净。黄鳝体表光滑，且黏液丰富，不易抓牢，存在费时费力、易误伤宰杀者等问题，一定程度限制了黄鳝产业发展。目前国内已面市部分的黄鳝宰杀机类型见表 2。其中，荆州市集创机电科技股份有限公司研发的开背式黄鳝宰杀机原理图和实物图见图 3^[18]和图 4^[19]。使用时直接将鳝鱼放入进料槽中，不需要预处理，开背后的鳝鱼直接从出料口送出，操作简单，适应性好，宰杀效率高，安全性能高^[20]。另外，还有研究表明机械宰杀有利于保持鳝鱼肌肉颜色，贮藏期内鳝鱼品质更好^[21]。

表 2 国内黄鳝宰杀机类型
Table 2 Types of eel slaughtering machine

型号	公司	工作效率
XZ-490 泥鳅鳝鱼宰杀机	广州旭众食品机械有限公司	40 条/min
三艾斯 SSS-H06	安徽三艾斯机械科技有限公司	-
A02S01 泥鳅黄鳝开背去骨机	荆州市集创机电科技股份有限公司	10~15 条/min
r 小型黄鳝开膛机	上海达瑞宝食品机械有限公司	40~70 条/min

注：-数据未公开。



注：1. 机架；2. 调节电机；3. 摄像电机；4. 进料盘；5. 切切滑道；6. 输送电机；7. 收紧弹簧。

图 3 鳝鱼自动宰杀机原理图^[18]
Fig.3 Schematic diagram of eel automatic slaughter machine^[18]

图4 鳝鱼自动宰杀机实物图^[19]Fig.4 Physical diagram of eel automatic slaughter machine^[19]

3.3 清洗

黄鳝宰杀后表面有大量黏液和血液,清洗难度大。清洗不彻底会对黄鳝感官和品质产生不利影响。有研究指出,采用 12%的盐水可清洗水产品表面黏液^[22]。但是,去除黄鳝表面黏液的方法还未见相关研究报道。

3.4 加工

目前,预制黄鳝产品主要采用罐装、熏制、烘烤等方式加工。加工产品类型主要有黄鳝罐头、黄鳝片、黄鳝条和黄鳝骨等。

3.4.1 罐藏

罐头食品具有口味鲜美、营养丰富、保存期长、食用安全方便等特点^[23]。黄鳝的罐装工艺包括选料、宰杀与分割、加工制作(腌制、油炸和杀菌处理)、装罐、灭菌、检验、包装等。目前有清蒸黄鳝罐头和与其他食品配伍的黄鳝罐头^[24],如海带黄鳝肉丝罐头等,可满足不同人群的口味和营养需求。关于黄鳝罐头的研究主要包括贮藏期的品质变化以及不同食用油对罐头品质的影响。研究指出黄鳝罐头在贮藏 12 个月后甘氨酸含量下降,必需氨基酸(essential amino acid, EAA)评分和必需氨基酸指数(essential amino acid index, IEAA)增加,使用葵花籽油制成的黄鳝罐头品质最佳^[25-26]。对于黄鳝罐藏产品的品质已有研究报道,但是其产品市场占有率极低。

3.4.2 熏制

熏制是一种较为传统的食品加工方法。黄鳝的熏制工艺主要包括原料前处理、腌制、烟熏、包装等^[3]。熏制可以赋予黄鳝食品特殊风味,延长食品保质期等^[27],但在熏制过程中会带入一些有害物质,如苯并芘等^[28]。黄鳝熏制现多采用液熏法、水蒸气渗透熏法等以提高食品安全性^[29]。RIZO 等^[30]利用水蒸气渗透法改进了原有的熏制盐腌法,既延长了熏制品的货架期,也提高了食品安全性。GIANNOGLOU 等^[31]在熏制前先进行腌制,在 5℃下延长其货架期至 7.5 周。此外,现代熏制方法结合抗氧化剂可

以进一步延长黄鳝制品的保质期。EL-OBEID 等^[32]研究发现 4℃真空包装条件下烟熏黄鳝片的保质期为 35 d,而添加百里香油保质期延长至 42 d,添加壳聚糖和壳聚糖-百里香油处理保质期超过 49 d。CHOULITOU DI 等^[33]制备了富含迷迭香活性物质的羧甲基纤维素食用涂层,发现迷迭香提取物提高了食用涂层的抗氧化和抗菌性能,并且延长熏制鳝鱼片冷藏储存期间的保质期。随着人们对健康生活的追求,绿色加工方式和天然添加剂在黄鳝产品中的应用,可以进一步提高预制黄鳝制品的品质,促进黄鳝产业化发展。

3.4.3 烘烤、油炸

烘烤、油炸加工处理赋予水产品特殊的风味及色泽,深受消费者欢迎,然而烘烤、油炸加工处理会使肌肉中的蛋白质、脂肪等在高温条件下发生裂解、环化及聚合反应,以及加速水分快速散失等,进而影响食品品质^[34-36]。科学设计预制烤、炸黄鳝的加工工艺有利于提高其品质和风味。HUANG 等^[37]研究得出烤黄鳝最佳工艺为先腌制 60 min,再 100℃蒸 6 min,最后 200℃烤制 4 min,不同加工时间烤鳝鱼制品的挥发性成分存在显著差异,腌制、蒸制和烘烤加工阶段特征挥发物存在差异;烤鳝鱼加工过程中主要特征挥发物为甲基丙基二硫化物、二甲基三硫化物、庚烷、辛烷和烷基挥发物^[38-39]。蒋国耘等^[40]发现与传统油炸工艺相比较,真空低温油炸黄鳝脆丝其产品脂肪含量降低 5.9%,得率提高 5.4%,复水率提高 8.3%,其保质期更长。目前有关黄鳝烘烤产品的研究较少,未来可以研究新型热加工方式在预制黄鳝产品中应用,开发更安全和更优质的预制烤、炸黄鳝制品。

3.5 保鲜、贮藏

水产制品由于其水分含量高和营养物质丰富,易受微生物污染而腐烂变质。由于黄鳝的理化特性、生长环境以及贮藏条件会导致一些致病性微生物侵入后可能迅速增殖,对公共健康构成潜在威胁。因此延长保质期以及改善贮藏过程中的品质变化尤为重要。现有研究的水产品保鲜主要分为物理保鲜、化学保鲜和生物保鲜。物理保鲜方法

主要有低温贮藏、冷冻保藏和气调包装等^[41-42]以及新型的物理保鲜技术如辐照保鲜技术、超高压保鲜技术、微冻保鲜技术、复合涂膜保鲜技术等^[43-44]。化学保鲜是通过向水产品中添加抑菌物质来保鲜^[45]。如植物提取物和精油中的酚类化合物等^[46]。生物保鲜是一种新颖的天然技术,它利用微生物来抑制腐败细菌的生长,以延长食品的保质期^[47]。黄鳝的保鲜方法目前仅有物理保鲜方法和化学保鲜方法。

预制黄鳝的物理保鲜方式主要有低温贮藏、冷冻保藏、气调包装以及辐照保鲜。赵海洋等^[48]研究了在 3℃冷藏条件下,黄鳝片的最佳食用期为 2 d,保质期为 8 d。王智能等^[49]探究了-10℃和-30℃的条件下黄鳝的品质变化,得出了黄鳝片的最佳抗冻剂配方:多聚磷酸钠 0.5 g/mL、海藻糖 6 g/mL、浸泡时间 30 min。吕凯波等^[50]研究了不同包装条件下黄鳝片在冰温贮藏过程中的品质变化,发现加盐腌制、真空包装以及 CO₂ 充气包装均能延长货架期。郑读等^[51]研究了 ⁶⁰Co-γ 射线辐照对黄鳝品质影响,发现辐照可延长 4℃条件下冷藏黄鳝片货架期至 15 d。除了保鲜方法之外,张洪臣^[52]以黄鳝的品质变化为依据建立了小型冷库制冷装置动态仿真技术,此研究将为开发黄鳝片专用贮藏设备提供一定的理论指导。

预制黄鳝的化学保鲜方式主要是通过外源添加保持其品质并延长货架期。LAMBRIANIDI 等^[53]研究了壳聚糖和牛至油对 4℃真空包装冷藏鳕鱼片品质的影响,发现对照组鱼片的保质期为 6 d,添加牛至油的鱼片保质期延长至 10 d,添加壳聚糖和壳聚糖-牛至油的鱼片保质期超过 18 d。关于更多一些天然添加剂在黄鳝保鲜研究中鲜有报道。

4 副产物综合利用

据《本草纲目》记载以及相关研究报道,鳝鱼血具有补中益气、养血固脱、温阳益脾、强精止血、滋补肝肾、祛风通络等功效^[54]。黄鳝血最多见的是用于治疗面瘫,研究指出黄鳝血与针灸结合可缓解 Hunt 面瘫急性期疼痛,促进症状恢复^[55]。此外,黄鳝血中分离出的铁蛋白血清白蛋白具有增强机体免疫力的生理功能^[56],还参与呼吸、细胞增殖和免疫系统的调节、铁离子平衡和能量平衡调节^[57]。

黄鳝骨通常作为废弃物直接扔掉,或用于制备饲料,经济价值低,资源浪费严重。而研究表明黄鳝骨是抗氧化多肽和硫酸软骨素的重要来源^[58]。姚晓燕^[59]利用黄鳝骨提取硫酸软骨素多糖,具有降血脂功能,在小鼠体内实验发现硫酸软骨素能抑制小鼠甘油三酯水平。贾韶千等^[60]以黄鳝骨为原料,酶解得到了具有较高抗氧化活性的黄鳝骨多肽。以黄鳝骨为原料磨制成的黄鳝粉含有人体所需的常量营养素和微量营养素,有研究表明添加黄鳝粉的饼干可使发育迟缓儿童的年龄身高评分增加 0.93^[61]。尽管黄鳝血和黄鳝骨具有重要的功效,但其有效利用还未得到广泛重视,主要是由于现阶段工业化加工黄鳝的比例较低,导致原料

的收集及深加工存在一定的难度。随着黄鳝产业化的进一步发展,黄鳝加工副产物的综合利用率将大大提高,从而达到资源有效利用和增值最大化的目的。

5 预制黄鳝产品安全

预制黄鳝产品的质量安全问题主要包括人鱼共患寄生虫的感染、药物残留和重金属超标等^[62]。黄鳝作为经济鱼类,其质量安全问题受到越来越多的关注。

黄鳝受生活环境、摄取食物等各种因素的影响,体内有多种寄生虫,如颚口线虫、锥体虫、胃瘤线虫等^[63]。其中颚口线虫除可寄生在黄鳝内脏外,还寄生于肌肉中,是重要的人兽共患寄生虫病之一^[64]。颚口线虫幼虫在人体无法发育完全,但可在人体组织内游走移行并分泌毒素,严重时可导致癫痫、瘫痪,甚至死亡^[65]。可以在养殖黄鳝前,用生石灰清塘,清除锥体虫的中间宿主水蛭^[66]。

黄鳝体内农药残留和重金属污染主要来源于养殖环境、饲料以及非规范用药。这些有毒有害物质可以通过食物链及其他途径,在黄鳝体内富集,影响黄鳝产品的食用安全。杨代勤等^[67]对中国黄鳝养殖区域最大的湖北省、安徽省、江西省(南昌)、浙江省(湖州)和江苏省(苏州)等省份不同城市的黄鳝体内农药残留情况进行了分析检测,发现敌敌畏和氟虫腈都未检出,林丹和五氯酚钠仅在个别样品有检出。黄徽等^[68]用电感耦合等离子体质谱法测定水产品中 7 种(铅、砷、镉、汞、铬、镍、锰)重金属含量,发现黄鳝中锰的检出含量相对较高,但未超过国家限量标准值。

6 展 望

黄鳝具有极高的营养价值和药用功效,国内的养殖规模大。但目前黄鳝产业主要存在加工效率低、黄鳝预制产品类型较少、精深加工产品比例低、不易贮藏、品质劣变等问题。在黄鳝产业后续发展中可加强黄鳝预制产品的研发创新,提高其产品市场占有率。可通过黄鳝加工企业与相关科研单位开展合作,探索加工新技术、新手段在黄鳝加工中的适用性,提高黄鳝精细加工程度,开发黄鳝创新预制菜,保持产品品质,满足市场需求。针对黄鳝的重要营养功效,开发精深加工保健食品,提高技术含量及产品附加值,提升整体市场竞争力。

参考文献

- [1] 王玮玮. 黄鳝配合饲料应用现状及产业化推广策略[D]. 厦门: 集美大学, 2017.
WANG WW. Application status and industrialization promotion strategy of eel compound feed [D]. Xiamen: Jimei University, 2017.
- [2] 王锭安. 海带鳝鱼肉丝软罐头的研制[J]. 中国水产, 2009, (9): 53-55.
WANG DAN. Development of soft cans of kelp and eel [J]. China Fish, 2009, (9): 53-55.

- [3] MIELCAREK K, PUŚCIONJAKUBIK A, GROMKOWSKAKĘPKA KJ, *et al.* Proximal composition and nutritive value of raw, smoked and pickled freshwater fish. [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2020. DOI: 10.3390/FOODS9121879
- [4] TAKTAK W, NASRI R, LOPEZ-RUBIO A, *et al.* Improved antioxidant activity and oxidative stability of spray dried European eel (*Anguilla anguilla*) oil microcapsules: Effect of emulsification process and eel protein isolate concentration [J]. Mater Sci Eng: C, 2019, 104: 109867.
- [5] 吴秀林, 丁炜东, 曹哲明, 等. 三种体色野生黄鳝肌肉营养成分的分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 351–359.
- WU XL, DING WD, CAO ZM, *et al.* Analysis of the muscle nutrients of three types of wild eel [J]. Food Ind Technol, 2016, 37(1): 351–359.
- [6] 长江水产研究所. 长江所黄鳝基因组染色体图谱研究取得新进展[J]. 水产科技情报, 2021, 48(2): 118–119.
- The Yangtze River Fisheries Research Institute. New progress has been made in the chromosome map of eel genome in Yangtze River [J]. Fish Sci Technol Inf, 2021, 48(2): 118–119.
- [7] LIU S, TENGSTEDT ANB, JACOBSEN MW, *et al.* Genome-wide methylation in the panmictic European eel (*Anguilla anguilla*) [J]. Mol Ecol, 2022, 31(16): 4286–4306.
- [8] TIAN HF, HU QM, LI Z. A high-quality de novo genome assembly of one swamp eel (*Monopterus albus*) strain with PacBio and Hi-C sequencing data [J]. G3 (Bethesda), 2021. DOI: 10.1093/G3JOURNAL/JKAA032
- [9] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Fishery and Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Extension Station, Chinese Fisheries Society. China fisheries statistical yearbook 2022 [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2022.
- [10] 水产养殖网. 黄鳝行情[EB/OL]. [2022-08-15]. https://www.shuichan.cc/article_list-144-460.html [2023-03-11].
- Aquaculture network. Eel market [EB/OL]. [2022-08-15]. https://www.shuichan.cc/article_list-144-460.html [2023-03-11].
- [11] 成春到. 冻鳝片加工技术[J]. 农村新技术, 2009, (18): 33.
- CHENG CD. Processing technology of frozen eel slices [J]. New Technol Aural Areas, 2009, (18): 33.
- [12] 高翔. 龙骨休闲食品主要工艺参数的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(11): 76–79.
- GAO X. Study on the main technological parameters of keel snack food [J]. Food Technol, 2009, 34(11): 76–79.
- [13] 杨成胜. 即食型香酥鳝鱼段的加工工艺[J]. 科学养鱼, 2018, (2): 74.
- YANG CS. Processing process of ready-to-eat crispy eel segments [J]. Sci Fish Farm, 2018, (2): 74.
- [14] 李燕, 汪亮, 雷晓中, 等. 即食鲜香鳝条的加工工艺[J]. 科学养鱼, 2014, (12): 75.
- LI Y, WANG L, LEI XZ, *et al.* Processing technology of instant fresh and fragrant eel strips [J]. Sci Fish Farm, 2014, (12): 75.
- [15] 朱德兴. 加工鳝鱼肉丝软罐头加工工艺[J]. 现代农业研究, 2011, (2): 51.
- ZHU DX. Processing of eel meat silk soft canned processing process [J]. Mod Agric Res, 2011, (2): 51.
- [16] 陈锋. 黄鳝黄鳝群体遗传结构的研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- CHEN F. Population genetic structure of yellow eel [D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [17] 吴燕燕, 王悦齐, 张涛, 等. 不同致死条件对冷鲜石斑鱼肉品质的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2019, (4): 1–19.
- WU YY, WANG YQ, ZHANG T, *et al.* Effect of different lethal conditions on the quality of cold grouper meat [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2019, (4): 1–19.
- [18] 李平, 黄和祥, 张黎, 等. 一种新型泥鳅鳝鱼宰杀机的导向调节装置: 中国, CN112544665B[P]. 2022-03-01.
- LI P, HUANG HX, ZHANG L, *et al.* Guide regulating device of a new loach eel culator: China, CN112544665B [P]. 2022-03-01.
- [19] 万鹏, 汪荣, 李梦珂, 等. 鲜活黄鳝剖切装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(22): 220–228.
- WAN P, WANG R, LI MK, *et al.* Design and test of fresh eel cutting device [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2022, 38(22): 220–228.
- [20] 李平. 一种黄鳝宰杀机简介[J]. 科技创新与应用, 2014, (4): 88.
- LI P. Introduction of an eel slaughtering machine [J]. Tdchnol Innov Appl, 2014, (4): 88.
- [21] 杨丽凤, 毛书灿, 汪兰, 等. 宰杀方式对鳝鱼肌肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 132–138.
- YANG LF, MAO SC, WANG L, *et al.* Effect of slaughter method on the muscle quality of eel [J]. Food Mach, 2023, 39(1): 132–138.
- [22] HYE JG, CHAN HK, JI BP, *et al.* Biochemical and molecular identification of a novel hepcidin type 2-like antimicrobial peptide in the skin mucus of the puffer fish *Takifugu pardalis* [J]. Fish Shellfish Immunol, 2019. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.08.017
- [23] KOWALSKA G, PANKIEWICZ U, KOWALSKI R. Determination of the level of selected elements in canned meat and fish and risk assessment for consumer health [J]. J Anal Methods Chem, 2020, 2020: 2148794.
- [24] 谢放华. 风味鳝鱼罐头的研制[J]. 食品研究与开发, 2002, (4): 38–39.
- XIE FH. Development of a canned flavored eel [J]. Food Res Dev, 2002, (4): 38–39.
- [25] GÓMEZ-LIMIA L, FRANCO I, MARTÍNEZ-SUÁREZ S. Effects of processing step, filling medium and storage on amino acid profiles and protein quality in canned European eels [J]. J Food Compos Anal, 2021, 96: 103710.
- [26] GÓMEZ-LIMIA L, COBAS N, FRANCO I, *et al.* Fatty acid profiles and lipid quality indices in canned European eels: Effects of processing steps, filling medium and storage [J]. Food Res Int, 2020, 136: 109601.
- [27] 杨星, 张美彦, 才让卓玛, 等. 肉制品烟熏加工技术的应用及发展[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(7): 142–144.
- YANG X, ZHANG MY, CAIRANG ZM, *et al.* Application and development of smoky processing technology for meat products [J]. Guizhou Agric Sci, 2018, 46(7): 142–144.
- [28] 闫晨红. 烟熏对肉制品风味及安全性的影响探析[J]. 现代食品, 2020, (15): 38–46.
- YAN CH. Analysis of the influence of smoking on the flavor and safety of meat products [J]. Mod Food, 2020, (15): 38–46.
- [29] 郭杨, 腾安国, 王稳航. 烟熏对肉制品风味及安全性影响研究进展[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 62–67.

- GUO Y, TENG ANG, WANG WH. Progress on the influence of smoking on the flavor and safety of meat products [J]. Meat Res, 2018, 32(12): 62–67.
- [30] RIZO A, FUENTES A, FERNÁNDEZ-SEGOVIA I, *et al.* Smoke-flavoured cod obtained by a new method using water vapour permeable bags [J]. J Food Eng, 2016, 179: 19–27.
- [31] GIANNOGLOU M, EVANGELOPOULOU AM, PERIKLEOUS N, *et al.* Time temperature integrators for monitoring the shelf life of ready-to-eat chilled smoked fish products [J]. Food Packag Shelf Life, 2019, 22: 100403.
- [32] EL-OBEID T, YEHIA HM, SAKKAS H, *et al.* Shelf-life of smoked eel fillets treated with chitosan or thyme oil [J]. Int J Bioll Macromol, 2018, 114: 578–583.
- [33] CHOULITOU DI E, GANIARI S, TSIRONI T, *et al.* Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets [J]. Food Packag Shelf Life, 2017, 12: 107–113.
- [34] JINAP S, MOHD-MOKHTAR MS, FARHADIAN A, *et al.* Effects of varying degrees of doneness on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and beef satay [J]. Meat Sci, 2013, 94(2): 202–207.
- [35] FENG R, BAO Y, LIU D, *et al.* Steam-assisted roasting inhibits formation of heterocyclic aromatic amines and alters volatile flavour profile of beef steak [J]. Int J Food Sci Technol, 2020, 55(9): 3061–3072.
- [36] 刘玉兰, 安柯静, 马宇翔, 等. 煎炸油中极性组分与多环芳烃相关性研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(6): 81–85.
- LIU YL, AN KJ, MA YX, *et al.* Correlation study between polar components and PAH in frying oil [J]. China Oils Fats, 2017, 42(6): 81–85.
- [37] HUANG XH, FU BS, QI LB, *et al.* Formation and conversion of characteristic volatile compounds in grilled eel (*Astroconger myriaster*) during different processing steps [J]. Food Funct, 2019, 10(10): 6473–6483.
- [38] HUANG XH, LUO Y, ZHU XH, *et al.* Dynamic release and perception of key odorants in grilled eel during chewing [J]. Food Chem, 2022, 378: 132073.
- [39] HUANG XH, ZHENG X, CHEN ZH, *et al.* Fresh and grilled eel volatile fingerprinting by E-nose, GC-O, GC-MS and GC×GC-QTOF combined with purge and trap and solvent-assisted flavor evaporation [J]. Food Res Inter, 2019, 115: 32–43.
- [40] 蒋国标, 笪云. 真空低温油炸技术对黄鳝脆丝质量影响的研究[J]. 农业装备技术, 2004, (6): 31–32.
- JIANG GY, DA Y. Research on the influence of vacuum low temperature frying technology on the quality of eel [J]. Agric Equip Technol, 2004, (6): 31–32.
- [41] 孙康婷, 潘创, 陈胜军, 等. 水产品微冻贮藏过程中冰晶形成与品质特性研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(6): 147–152.
- SUN KT, PAN C, CHEN SJ, *et al.* Research progress on the formation and quality characteristics of ice crystals during micro-frozen storage of aquatic products [J]. J Ocean Guangdong Univ, 2021, 41(6): 147–152.
- [42] SUN Q, SUN F, XIA X, *et al.* The comparison of ultrasound-assisted immersion freezing, air freezing and immersion freezing on the muscle quality and physicochemical properties of common carp (*Cyprinus carpio*) during freezing storage [J]. Ultrason Sonochem, 2019, 51: 281–291.
- [43] TAVARES J, MARTINS A, FIDALGO LG, *et al.* Fresh fish degradation and advances in preservation using physical emerging technologies [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(4): 780.
- [44] 崔蓬勃, 周剑, 丁玉庭, 等. 水产品物理保鲜技术的最新研究进展[J]. 浙江工业大学学报, 2022, 50(3): 341–348.
- CUI PB, ZHOU J, DING YT, *et al.* Recent research progress on the physical preservation technology of aquatic products [J]. J Zhejiang Univ Technol, 2022, 50(3): 341–348.
- [45] OLADIPUPO OO, SOOTTAWAT B. Natural preservatives for extending the shelf-life of seafood: A revisit [J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2018, 17(6): 1595–1612.
- [46] SAJID M, SOOTTAWAT B, AISHA A, *et al.* Phenolic compounds and plant phenolic extracts as natural antioxidants in prevention of lipid oxidation in seafood: A detailed review [J]. Compr Rev Food Sci Food Saf, 2014. DOI: 10.1111/1541-4337.12106
- [47] DONG H, GAI Y, FU S, *et al.* Application of biotechnology in specific spoilage organisms of aquatic products [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2022, 10: 895283.
- [48] 赵海洋, 高立琼, 崔文利, 等. 黄鳝片冷藏保鲜过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 293–298.
- ZHAO HY, GAO LQ, CUI WL, *et al.* Quality changes of eel slices in the refrigeration and preservation process [J]. Food Ind Sci Technol, 2018, 39(21): 293–298.
- [49] 王智能, 高立琼, 崔文利, 等. 黄鳝片冷冻保藏的质构变化与控制[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 214–219.
- WANG ZN, GAO LQ, CUI WL, *et al.* Structural changes and control of frozen storage of eel slices [J]. Food Ind, 2019, 40(5): 214–219.
- [50] 吕凯波, 熊善柏, 王佳雅. 包装处理方式对冰温贮藏黄鳝片品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2007, (5): 714–718.
- LV KB, XIONG SB, WANG JY. Effect of packaging treatment on the quality of ice-warm storage of eel slices [J]. J Huazhong Agric Univ, 2007, (5): 714–718.
- [51] 郑读, 白婵, 熊光权, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照对鳝鱼品质及挥发性物质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2457–2464.
- ZHENG D, BAI C, XIONG GQ, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ -ray irradiation on the quality and volatile substances of eel [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(8): 2457–2464.
- [52] 张洪臣. 小型冷库制冷装置动态仿真技术在黄鳝片贮藏设备开发中的运用[J]. 河北渔业, 2013, (4): 40–42.
- ZHANG HC. Application of dynamic simulation technology of small cold storage refrigeration device in the development of eel chip storage equipment [J]. Hebei Fish, 2013, (4): 40–42.
- [53] LAMBRIANIDI L, SAVVAIDIS IN, TSIRAKI MI, *et al.* Chitosan and oregano oil treatments, individually or in combination, used to increase the shelf life of vacuum-packaged, refrigerated european eel (*Anguilla anguilla*) fillets [J]. J Food Prot, 2019, 82(8): 1369–1376.
- [54] 美味黄鳝 药食俱佳[J]. 湖南中医杂志, 2021, 37(8): 104.
- Delicious eel has excellent medicine and food [J]. Hunan J Trad Chin Med, 2021, 37(8): 104.

- [55] 周欢安, 蔡晓雯, 黄泳. 黄鳝血加冰片外敷治疗急性期 Hunt 面瘫临床观察[J]. 中国中医药现代远程教育, 2022, 20(7): 89–92.
ZHOU HAN, CAI XW, HUANG Y. Clinical observation of Hunt facial paralysis in acute stage [J]. Chin Med Mod Distance Educ China, 2022, 20(7): 89–92.
- [56] 张英霞, 陆露, 陈聪伟, 等. 黄鳝血清白蛋白的纯化及抗体制备[J]. 水产养殖, 2012, 33(1): 12–16.
ZHANG YX, LU L, CHEN CW, *et al.* Purification and antibody preparation of the yellow eel serum albumin [J]. J Aquacult, 2012, 33(1): 12–16.
- [57] AISEN P, LISTOWSKY I. Iron transport and storage proteins [J]. Annu Rev Biochem, 1980, 49(1): 357–393.
- [58] 陈丹青, 李燕, 张海涛, 等. 黄鳝骨硫酸软骨素提取纯化的初步研究[J]. 天然产物研究与开发, 2008, 20(6): 1075–1079, 1034.
CHEN DQ, LI Y, ZHANG HT, *et al.* Preliminary study on extraction and purification of chondroitin sulfate [J]. Nat Prod Res Dev, 2008, 20(6): 1075–1079, 1034.
- [59] 姚晓燕. 黄鳝骨硫酸软骨素多糖降血脂功能研究[J]. 中国医药导报, 2011, 8(30): 31–33.
YAO XY. Study on lipid lowering function of chondroitin sulfate in *L. albus* [J]. Chin Med Herald, 2011, 8(30): 31–33.
- [60] 贾韶千, 李艳霞. 黄鳝鱼骨多肽制备及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 133–138.
JIA SQ, LI YX. Preparation of the yellow eel bone polypeptide and its antioxidant activity [J]. Food Sci, 2016, 37(1): 133–138.
- [61] HERAWATI DMD, ASIYAH SN, WIRAMIHARDJA S, *et al.* Effect of eel biscuit supplementation on height of children with stunting aged 36–60 months: A pilot study [J]. J Nutr Metab, 2020, (378): 132037.
- [62] XU QQ, YANG DQ, TUO R, *et al.* Gene cloning and induced expression pattern of IRF4 and IRF10 in the Asian swamp eel (*Monopterus albus*) [J]. Zool Res, 2014, 35(5): 380–388.
- [63] XU Z, YANG C, GOFAROV MY, *et al.* A new freshwater leech species from Asian swamp eel stocks in China [J]. Parasitol Res, 2021, 120(8): 2769–2778.
- [64] COLE RA, CHOUDHURY A, NICO LG, *et al.* *Gnathostoma spinigerum* in live Asian swamp eels (*Monopterus* spp.) from food markets and wild populations, United States [J]. Emerg Infect Dis, 2014. DOI: 10.3201/eid2004.131566
- [65] SIEU TPM, DUNG TTK, NGA NTQ, *et al.* Prevalence of *Gnathostoma spinigerum* infection in wild and cultured swamp eels in Vietnam [J]. J Parasitol, 2009, 95(1): 246–248.
- [66] 徐志威. 一种寄生黄鳝体表水蛭新种的鉴定、分析及防治[D]. 荆州: 长江大学, 2022.
XU ZW. Identification, analysis and control of a new species of parasitic eel [D]. Jingzhou: Changjiang University, 2022.
- [67] 杨代勤, 何力. 黄鳝质量安全风险分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2021, 11(1): 1–10.
YANG DQ, HE L. Quality and safety risk analysis of yellow eel [J]. Chin Fish Qual Stand, 2021, 11(1): 1–10.
- [68] 黄徽, 朱晓玲, 余婷婷, 等. 湖北省水产品重金属污染状况分析[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 284–287.
HUANG H, ZHU XL, YU TT, *et al.* Analysis of heavy metal pollution in aquatic products in Hubei Province [J]. Food Ind, 2020, 41(1): 284–287.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介



杨丽凤, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工。
E-mail: ylifeng2022@163.com



熊光权, 研究员, 主要研究方向为淡水产品加工。
E-mail: xiongguangquan@163.com



石 柳, 博士, 副研究员, 主要研究方向为水产品加工与综合利用。
E-mail: shiliu@hbaas.com