

· 综 述 ·

中国7种养殖食用蛙类副产品精深加工的研究进展

李 健^{1,2}, 曹原浩^{1,2}, 苏德锦^{1,2}, 林丽婷^{1,2}, 邓 凝^{1,2},
李钰琦^{1,2}, 黄世英^{1,2}, 黄 镇³, 张铃玉^{1,2}

(1. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省海洋功能食品工程技术研究中心, 福建 厦门 361021;
3. 福建师范大学生命科学学院, 福建 福州 350117)

[摘要] 中国林蛙 (*Rana chensinensis*)、黑龙江林蛙 (*Rana amurensis*)、牛蛙 (*Rana catesbeiana*)、黑斑蛙 (*Pelophylax nigromaculatus*)、沼泽绿牛蛙 (*Rana grylio*)、棘胸蛙 (*Quasipaa spinosa*) 和棘腹蛙 (*Quasipaa boulengeri*) 这7种食用蛙类在食品和医药等领域有着巨大的研究价值与应用前景。为了解决蛙油、蛙卵、蛙骨和蛙皮等加工副产品的精深加工存在的瓶颈问题, 如: 目前蛙类副产品的相关研究与开发主要集中在林蛙的蛙油和蛙卵, 而其他6种蛙类的研究应用相对较少, 产品形式较为单一; 原料中的不良风味, 储存存在问题, 附加值较低, 综述了这7种蛙类副产物的研究和利用现状。并针对上述难点, 分析其可能对策, 以期为这些蛙类的副产品资源开发提供参考。

[关键词] 食用蛙类; 精深加工; 蛙类副产品; 资源开发

[中图分类号] S 986.1

Research Progress on Deep Processing of Seven Species of Edible Frog By-Products in China

LI Jian^{1,2}, CAO Yuanhao^{1,2}, SU Dejin^{1,2}, LIN Liting^{1,2}, DENG Ning^{1,2},
LI Yuqi^{1,2}, HUANG Shiyang^{1,2}, HUANG Zhen³, ZHANG Lingyu^{1,2}

(1. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Marine Functional Food Engineering Technology Research Center of Fujian Province, Xiamen 361021, China;

3. College of Life Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

Abstract: The seven edible frogs, *Rana chensinensis*, *Rana amurensis*, *Rana catesbeiana*, *Pelophylax nigromaculatus*, *Rana grylio*, *Quasipaa spinosa* and *Quasipaa boulengeri*, which are of important academic value and application prospects in the fields of food and medicine. Currently, there are some problems existing in deep processing of by-products such as frog oil, frog eggs, frog bones and frog skin. Moreover, the research and development of frog by-products mainly focus on the frog oil and frog eggs of Chinese forest frogs and these products come in a relatively single form with the poor flavor, storage problem and low added value in raw materials. Here, the research and utilization of these seven frog by-products was reviewed. Possible strategies were ana-

[收稿日期] 2022-08-24

[基金项目] 福建省科技厅高校产学研合作项目 (2021N5003); 泉州市科技重点项目 (2021N018); 福建省中青年
教师教育科研项目 (JAT200287); 全国农业教指委面上课题 (2021-NYYB-20)

[作者简介] 李健 (1980—), 男, 教授, 博士, 主要从事生物工程技术方向研究, E-mail:lijian2013@jmu.edu.cn

lyzed to provide reference for the development of these frog by-product resources against these difficulties.

Keywords: edible frogs; deep processing; frogs by-products; resource development

0 引言

蛙类具有食用营养价值与保健功效,养殖产业发达。据报道,2020年全国淡水养殖蛙类产量高达13.799 9万t,且近5a来的养殖蛙类总产量呈现逐年递增的趋势,其中,江西、湖南和湖北的养殖数量较多,合计共占60%^[1]。2020年3月4日,农业农村部发布《关于贯彻落实全国人大常委会革除滥食野生动物决定的通知》,其中,牛蛙、沼泽绿牛蛙被列入《国家重点保护经济水生动植物资源名录》和农业农村部所公告的水产新品种两栖爬行类动物范围内,并依照水生动物种进行管理。2020年5月28日,农业农村部发布了《国家林业和草原局关于进一步规范蛙类保护管理的通知》,规定了由渔业主管部门管理黑斑蛙、棘胸蛙、棘腹蛙、中国林蛙、黑龙江林蛙等养殖历史较长、人工繁育规模较大的相关蛙类。

部分学者与团队对中国林蛙副产物的研究与开发现状进行了整理与综述^[2-4],这些研究主要对中国林蛙的蛙油、蛙卵、蛙皮药理作用与活性成分的相关文献进行了回顾与分析,而对于黑龙江林蛙、棘胸蛙、棘腹蛙、黑斑蛙、牛蛙、沼泽绿牛蛙这6种蛙类副产物的研究进展则未见报道,仍需要进一步综合性分析7种养殖食用蛙类的副产品开发现状。因此,本文分析总结了这7种食用蛙类在副产品包括蛙油、蛙卵、蛙皮、蛙骨、蛙内脏等相关技术领域的研究成果,同时也归纳了其加工利用现状、技术难点与对策,以期能为副产品的精深加工与开发提供参考。

1 7种蛙类副产品的加工利用现状

1.1 中国林蛙

中国林蛙也被称为哈士蟆、田鸡、林蛙、雪蛤,雌性林蛙的输卵管干制品即林蛙油也称蛤蟆油、哈士蟆油,是我国名贵的滋补品,其药用价值与经济价值一直是专家学者研究与开发的热点。目前市面上的林蛙油加工制品在食品、药品和化妆品领域都有较多应用^[5-6],对林蛙油的开发利用已逐步商品化和规模化。雌性林蛙去油后会残留大量蛙卵,林蛙卵是林蛙油生产过程的主要副产物之一,其产量是林蛙油的近十倍^[7]。林蛙卵中含有18种氨基酸,富含雌二醇、孕酮和磷脂成分。随着对林蛙卵研究的不断深入,林蛙卵及其提取物的生物活性与保健价值得到更多的研究与应用,林蛙卵油在调节血脂、增强免疫等方面的研究与应用也相对成熟。如:刘洁等^[8]使用林蛙卵油对高脂家兔连续灌胃28d后,家兔血清中的甘油三酯和总胆固醇含量显著降低,高密度脂蛋白-胆固醇的含量显著增加;闫清伟等^[9]的研究表明,中国林蛙卵油对焦虑心理应激大鼠恢复及运动能力的提高有积极作用。基于林蛙卵油的药用价值,已有较多保健食品问世,如具有辅助降血脂功能的喜雪牌林蛙卵油软胶囊(国食健字G20050063)。由于林蛙卵油的不良风味与溶解性等问题,其产品形式多以胶囊为主,如吕集等^[10]将经过浸提、碱化、除臭和干燥等工艺处理后的林蛙卵油与玉米色拉油混合后制备胶囊,成品色泽气味适宜,操作简便,且收率可达10%。林蛙卵中的蛋白质与肽类约有425种^[11],分子质量在50~200 ku,在抗氧化、抗疲劳以及肿瘤抑制方面有较多研究^[12]。中国林蛙卵蛋白^[13]具有优异的保水性、保油性、Pickering乳液稳定性等,在黏性食品、烘焙食品和Pickering乳剂的生产上有较大的开发潜力。此外,林蛙皮与林蛙内脏等部位中也富含多种活性成分,而这些部位在加工过程中未得到充分利用,造成了较大的浪费^[14]。

1.2 黑龙江林蛙

在实际应用中,黑龙江林蛙也可剥取蛤蟆油,且与中国林蛙油的营养成分与药理作用基本相同^[15-16],是良好的滋补品与中药材。剥取蛤蟆油后的黑龙江林蛙卵在早期常被作为动物饲料低价出售,但随着对蛙卵研究的不断深入,蛙卵已逐渐产业化,每年可创造市值2亿元以上^[17]。黑龙江林

蛙卵中多糖成分的提取工艺较为成熟,如:文献[18-19]通过单因素实验和正交优化实验,确定了黑龙江林蛙卵多糖的最佳提取工艺为料液比 1:40、超声处理时间 10 min、温度 68 ℃,在该条件下多糖提取率为 4.096 mg/g;陈大勇等^[20]利用生物酶解技术进行了蛙卵多糖的提取,并通过 DPPH 自由基清除实验对其抗氧化活性进行了研究,结果表明,林蛙卵多糖对 DPPH 自由基的 IC_{50} 为 1.81 g/L,具有明显的抗氧化作用。动物多糖的毒副作用小,对机体的生物相容性好,在食品、医药和保健品等领域有着广阔的市场发展前景^[21]。黑龙江林蛙皮可用作局部抗菌药物或伤口敷料,这与蛙皮及其分泌物中的抗菌肽有一定关联。有许多学者对黑龙江林蛙皮中抗菌肽的提取与抑菌机制进行了深入探究,如:袁德崢^[22]的研究发现,从黑龙江林蛙皮中得到的新型抗菌肽 dybowski-2CA 对金黄色葡萄球菌有较强抑制效果,另外对耐药株大肠杆菌 EBSL 的最小抑菌浓度为 4 mg/L,在 500 mg/L 无溶血现象具有潜在的药用价值;Mei 等^[23]对黑龙江林蛙皮肤构建的 cDNA 文库进行测序并克隆了 5 个假定抗菌肽前体的 cDNA,其中 3 个是新型抗菌肽,另外 2 个是蛙皮肤家族的明显同源物,通过高效液相色谱与质谱联用技术对新型抗菌肽 amurins 1-3 的结构进行了解析。但抗菌肽提取率低,合成成本高,抑菌机理不明确,这些原因限制了黑龙江林蛙皮抗菌肽的进一步开发与应用。

1.3 牛蛙

牛蛙是一种传统的肉用型蛙类^[24],蛙皮作为牛蛙的主要加工副产物,存在保质期较短、易腐败、加工较为困难等问题。为了解决这些问题,部分学者直接将牛蛙皮加工为食品,这些产品多为粗加工制品,如:简少卿等^[25]开发了即食休闲食品“麻辣牛蛙皮”,生产工艺简单,口感爽脆无异味;胡泽敏等^[26]使用辣椒油、大蒜泥和生姜泥等对泡制漂烫漂洗后的牛蛙皮进行调味,这种麻辣味牛蛙皮味道鲜美,加工工艺简便,且易于贮运。除了直接加工以外,牛蛙皮还可用于胶原蛋白^[27]、抗菌肽^[28]和黑色素^[29]等成分的提取。从牛蛙肉加工后的脂肪组织中提取的牛蛙油具有抗氧化、抗炎和抗肿瘤等活性^[30],目前在药物研发领域已取得一定进展。如:Renata 等^[31]开发了一种可用作药物的口服牛蛙油纳米乳剂,牛蛙油中的不良风味明显降低,且具有理想的氧化稳定性和热稳定性;文献[32-33]研究发现,由于纳米结构系统在细胞中具有更强的递送能力,与游离牛蛙油相比,由牛蛙油制备的纳米胶囊和微乳液对人黑色素瘤细胞 A2058 的生长抑制效果更显著,有望成为黑色素瘤治疗的替代药物。牛蛙油纳米胶囊在细胞内还能通过调控活性氧、一氧化氮和白介素水平起到抗炎作用^[34]。此外,对于牛蛙卵的开发,东北医科医药大学 Tatsuta 团队有较多的研究成果^[35-37],他们从牛蛙卵中提取到的唾液酸结合凝集素(cSBL)是一种具有凝集素和核糖核酸酶活性的蛋白质,cSBL 能诱导乳腺癌、宫颈癌、口腔癌等肿瘤细胞凋亡,且与培美曲塞等部分肿瘤治疗药物之间有良好的协同作用,而对角质形成细胞、成纤维细胞和淋巴细胞等正常细胞没有影响,是极具潜力的新型肿瘤治疗候选药物。

1.4 黑斑蛙

黑斑蛙是我国重要的经济两栖动物之一,具有利水消肿、解毒止渴等药用价值,有着较大的市场需求量^[38]。蛙皮中抗菌肽的提取是黑斑蛙加工副产物研究的热点。文献[39-41]建立了一种黑斑蛙抗菌肽快速分离纯化的新方法,并从黑斑蛙皮分泌物中鉴定出 AMP1 和 AMP2 2 种抗菌肽,相对分子质量分别为 3 349.205,1 373.820 u,具有广谱抗菌效果,为新型环保饲料添加剂的研制提供了理论基础。张康^[42]对使用不同病原微生物刺激产生的黑斑蛙抗菌肽进行了转录组和蛋白组学分析,结果表明,差异基因主要富集在防御反应、肽酶抑制剂和调节剂活性的相关通路,并预测了基因 *FANCG* 与 *FGD1* 可能分别与黑斑蛙应对革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌的免疫应答相关。侯国宾^[43]采用构建 cDNA 文库的方法,从黑斑蛙皮肤中筛选得到 4 种新型抗菌肽(pelophylaxin-2GY、temporin-1GY、temporin-1KM 和 antioxidantin),这 4 种抗菌肽对大肠埃希菌、金黄色葡萄球菌和白假丝酵母菌有不同程度的抑制效果。Wang 等^[44]从黑斑蛙皮肤分泌物中获得的抗菌肽 tempolin FL 对革兰氏阳性菌和真菌均具有不同程度的抑制效果,对革兰氏阴性菌则没有效果,tempolin FL 及其类似物还能够引起耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)的膜结构断裂,同时使生物膜的形成受阻,因此,tempolin

FL 为治疗 MRSA 感染的新药研发提供了思路。宋玉竹等^[45]利用转录组学方法从黑斑蛙皮肤中获得了一种新型蛋白酶抑制肽,该肽分子质量为 1 965.894 u,由 17 个氨基酸组成,能够抑制多种丝氨酸蛋白酶,可应用在胃炎、胰腺炎或血栓性心脑血管疾病的预防或治疗。蛙肝常以食品原料的形式进行加工和出售,有时也会被直接丢弃,利用率和附加值极低。李凤伟^[46]以黑斑蛙肝脏为原料进行肝素的提取优化与活性研究,得到的最佳提取工艺为:超声前加热时间为 10 min、超声时间为 15 min,料液比为 1:25,醇用量为提取液量的 1.5 倍,此工艺下得到的黑斑蛙肝素具有较好的抗凝血活性,这为抗血栓药物的研究提供了新途径。

1.5 沼泽绿牛蛙

沼泽绿牛蛙原产于北美洲,1987 年被引进我国,是我国重点推广的肉用蛙种。目前,对于沼泽绿牛蛙副产物的研究主要集中于蛙皮抗菌肽。李燕燕^[47]使用电刺激法诱导沼泽绿牛蛙产生皮肤分泌物,并从分泌物中分离纯化出一种分子质量为 3 858.789 u 的抗菌肽 GUE I,通过序列比对分析发现,该肽与 RANATUERIN 3 的序列有 57.89% 的相似性,GUE I 对 4 种革兰氏阴性菌和 2 种革兰氏阳性菌均有抑制效果,为开发安全无毒副作用的天然食品防腐剂提供了理论基础^[48]。Kim 等^[49]从沼泽绿牛蛙皮肤分泌物中分离出 8 种抗菌肽,对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和白色念珠菌等具有不同程度的生长抑制作用,其中 temporin-1Gb (SILPTIVSFLSKFL) 和 temporin-1Gd (FILPLIASFLSKFL) 还能浓度依赖式地舒张大鼠胸主动脉环,在心脏舒缩功能药物领域具有一定的开发潜力。

1.6 棘胸蛙

棘胸蛙又称石鸡、石蛙、棘蛙,具有“滋补强壮,治小儿疳积、消瘦”的功效^[50],有着“百蛙之王”的美誉。棘胸蛙皮是优质的动物蛋白来源,为了解决蛙皮加工程度低、功能性产品研发滞后等问题,李健等^[51]设计了一种棘胸蛙蛙皮酶解物的制备方法,蛙皮的木瓜蛋白酶酶解产物具有较强的抗氧化活性,可应用于抗氧化剂的制备。Dong 等^[52]从棘胸蛙皮肤中克隆出 4 条 cDNA,其中 Spinosan-D 具有明显的两亲性,且具有较多的 α -螺旋,且对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌以及 Hela 细胞都具有抑制作用,为蛙类抗菌肽和抗肿瘤肽产业化制备提供了参考^[53]。徐学清等^[54]首次在棘胸蛙皮中发现了皮肤胸腺肽- β_4 (pT β_4 -1 和 pT β_4 -2),这 2 种胸腺肽- β_4 均具有促进血管生成的作用,为治疗伤口愈合和缺氧性相关疾病提供了新的候选药物分子。棘胸蛙油是蛙体中的固体脂肪,丁荣吾等^[55]将棘胸蛙油与其他多种植物油复配,设计了一种复合棘胸蛙油软胶囊,其成分中富含亚油酸、亚麻酸、微量矿物质等,具有抑制血小板凝聚、降血脂、降血压等作用。苏进全等^[56]使用脱酸、脱臭、脱色处理后的棘胸蛙油制备了一种棘胸蛙软胶囊,最大程度保留了鲜棘胸蛙油中的营养成分,能够促进骨细胞生成,增强机体免疫力。除蛙皮和蛙油外,棘胸蛙加工过程中还会产生大量内脏,难以处理。李健等^[57]利用生物酶技术制备了一款以棘胸蛙内脏为主要原料的口服液,该产品易被人体吸收利用,同时能够提高机体免疫力,实现了对棘胸蛙副产物的高值化加工。

1.7 棘腹蛙

棘腹蛙是我国特有的两栖动物^[58],在生态系统中被视为环境检测的指示性动物。目前对棘腹蛙副产物的研究较少,主要是对蛙皮抗菌肽的提取。文献 [59–60] 基于棘腹蛙皮肤转录组数据库,克隆了编码 Cathelicidin-Pb 和 Japonicin-Pb 前体的核苷酸序列,并对其在不同组织或生长温度下表达量差异进行研究,为后续功能研究以及规模化应用提供了理论依据。Jiang 等^[61]的研究发现,与中国林蛙和沼水蛙相比,从棘腹蛙皮肤分泌物中提取的抗菌肽具有更强的抑菌活性,尤其是对枯草芽孢杆菌。

目前,黑斑蛙、沼泽绿牛蛙和棘腹蛙以餐饮销售和活体零售为主要营销方式,加工产品较为少见,产业链简单,加工产品形式单一,对这 3 种蛙类的研究也主要集中在养殖繁育、病害防治及生物学特征等方面,在精深加工领域没有得到有效的开发。这几种蛙类加工产品研究进展缓慢,产业链简单,产业结构失衡,是目前产品开发的主要问题。

2 7 种蛙类副产物精深加工的难点与对策

2.1 产业发展不均衡

目前我国这 7 种养殖食用蛙类的产业发展不均衡, 相关研究主要集中于中国林蛙、黑龙江林蛙、牛蛙和棘胸蛙, 对于另外 3 种蛙类副产物的相关研究较为匮乏。对于这些蛙类副产物的资源开发与利用, 高校科研团队和加工企业可参考中国林蛙的研究与开发模式, 增加科研投入力度。首先, 可以参照林蛙油、牛蛙油和棘胸蛙油, 对黑斑蛙等开展蛙油的提取与研究。天然油脂由于富含次生代谢产物, 且具有低毒性、高生物降解性与某些药理活性, 因此被广泛用于民间药物^[62], 但在加工中应注意其感官特性、扩散能力和皮肤吸收性较差的问题。其次, 可以利用蛙皮制备胶原蛋白, 胶原蛋白是人体皮肤真皮层的主要组成部分, 能够抑制紫外线照射引起的水分流失, 改善皮肤水分状况, 减少皱纹生成^[63], 具有良好的生物相容性、生物降解性和低抗原性^[64], 在生物医学材料、保健品和化妆品等领域都有广泛的应用前景。最后, 可以对副产物的生物活性成分进行深入挖掘和综合开发利用, 例如使用酶解法提取的林蛙头多糖^[65]具有良好的调节血脂和抗凝血功能, 这为降血脂和抗血栓药物的研究提供了新的途径。刘玉兰等^[66]的研究表明, 林蛙油及其甲醇、石油醚提取物能延长 SO_2 、 NH_3 对大鼠引咳的潜伏期, 并降低咳嗽次数, 增加大鼠痰液的排出量, 镇咳祛痰的效果明显, 可用于润肺止咳祛痰类药品的开发。

2.2 原料的不良风味

蛙类加工副产物中的腥味、臭味等不良风味是影响感官的主要因素, 也是后续加工与推广的难点之一。水产品中的不良风味成分主要源于氧化三甲胺的降解、脂质氧化和外界环境次生代谢产物等^[67], 不良风味的脱除技术可分为物理法、化学法和生物法。其中在食品加工中较为常用的是物理法, 例如: 感官掩蔽法是使用具有独特风味的调味料和香辛料对食品原料的不良风味进行掩盖^[68]; 包埋法是通过使用 β -环糊精等笼型分子包裹异味物质达到脱腥除臭的目的^[69]。已有部分学者对蛙加工副产物中的风味进行了改良, 例如: 丁忠福等^[70]根据林蛙卵油各组分在 SC-CO_2 相中分配系数的差异, 利用超临界 CO_2 萃取-精馏技术制备林蛙卵油, 腥臭味基本消除, 且产物中不饱和脂肪酸的相对含量有所增加, 与水蒸气蒸馏、有机溶剂萃取等传统脱腥脱臭方法相比, 避免了高温操作、大量溶剂回收、有效成分损失过大和成本较高等问题; 张琪^[71]确定了物理-生物复合除腥法为林蛙油的最佳除腥工艺, 使用沸水和乙醇漂烫后进行酵母发酵, 此工艺使林蛙油的感官评分由 78 分提高到 92 分, 且甲苯、己醛、辛醛等呈腥味物质的含量明显下降; 侯如标等^[72]的研究发现, 金属催化剂 $\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 可将林蛙胶原蛋白肽中的腥味物质半胱氨酸转化为丙氨酸, 能够有效地去除腥臭味, 且不影响胶原蛋白肽的结构与活性。

2.3 储存问题

蛙类加工副产物中水分、蛋白质及脂肪含量丰富, 并且内源性蛋白酶活性高, 极易发生劣变, 进而降低其食用品质和商品价值^[73]。可以采用物理、化学或生物技术抑制内源酶和微生物, 延长保质期。传统的物理法是通过降低贮藏温度, 抑制酶的活性和微生物的生长繁殖, 例如冷冻保鲜、冰藏保鲜等^[74]。化学法通常是使用臭氧, 通过损伤微生物的膜结构引起代谢障碍从而杀灭微生物^[75-76]。生物技术则是使用从动植物、微生物中提制或经生物技术改良后获取的生物保鲜剂, 常见的生物保鲜剂包括壳聚糖、溶菌酶和乳酸链球菌素等。目前有研究针对蛙加工副产物的储存问题提出了解决方案, 赵丽娜等^[77]对林蛙油真空干燥的最佳工艺条件及其活性稳定性的影响进行了研究, 确定了在 $-50\text{ }^\circ\text{C}$ 、 1 Pa 真空度条件下快速冷冻后再提供升华热, 升华干燥温度不超过 $50\text{ }^\circ\text{C}$, 解析阶段温度不高于 $40\text{ }^\circ\text{C}$, 单层装料 $0.5\sim 1.0\text{ cm}$, 干燥 24 h , 即可有效解决林蛙油的酸败问题, 此法生产的冻干林蛙油酸价可控制在 1.9 以下; 侯召华等^[5]在不同条件下将林蛙卵油储存不同时间后测定过氧化值, 确定了林蛙卵油的最佳储存条件为 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 、避光。此外, 袁文彬等^[78]的研究表明, 真空冷冻干燥法处理后的林蛙油, 其蛋白质成分可以得到最大程度的保留。

2.4 作用机制不明确

尽管对这7种蛙类副产物的研究数量正在不断增长,但在商业化的应用过程中却存在许多困难。首先,活性成分的提取难以保证质量和纯度^[79],例如蛙皮分泌物中的抗菌成分、酶解蛙头制备的多糖组分等通常不是单一分子,有可能存在多个化合物的共同作用。其次,对于口服性食品、保健食品和药品的开发而言,虽然一些活性成分可以在局部发挥其生物功能,但能否以完整的结构或活性形式穿过人体肠道屏障进入血液,到达目标部位后发挥其生物活性还有待探究,在药效学和药代动力学方面仍然存在很大的研究空白^[80-81]。最后,研究人员应当关注从副产物中制备的活性物质的毒副作用和过敏作用,重视生物利用度和剂量问题^[82],只有补充代谢安全性和毒性的临床研究数据,才能够满足食品药品安全监管机构的要求和进行后续的商业化利用。

3 结论

我国养殖食用蛙类副产物的研究和开发潜力巨大,对蛙类副产物的合理加工不仅可以提高资源利用率,还能够降低产业成本,减少环境污染。但目前在实际应用中还受限于产业发展不均衡、原料的不良风味、保存期限较短和作用机制不明确等问题,研究人员可以基于以上问题科学地利用这些蛙类资源,预计未来会出现更多生物活性强、利用率高和感官特性良好的产品,并在食品、药品、化妆品等领域创造可观的经济价值和社会效益。

[参考文献]

- [1] 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. 2021年中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2021.
- [2] 刘洋,赵鹤鹏,张扬. 林蛙皮、卵活性成分提取方法及药理作用的研究进展[J]. 吉林化工学院学报,2019,36(1):15-20.
- [3] 方妍,贾雪巍,翁丽丽,等. 林蛙油的营养保健功能及其产品研究进展[J]. 亚太传统医药,2018,14(9):67-70.
- [4] 郭宪一,范红艳. 林蛙油的药理作用研究进展[J]. 吉林医药学院学报,2020,41(3):209-211.
- [5] 侯召华,赵慧,于滨,等. 林蛙油营养成分综合分析[J]. 食品工业科技,2017,38(4):348-352.
- [6] 李俊峰. 中国林蛙资源的综合利用和开发[J]. 安徽农学通报(上半月刊),2009,15(3):159-160.
- [7] 王春清,郑华艳,吕树臣,等. 中国林蛙卵的药理作用及开发利用[J]. 黑龙江畜牧兽医,2016(2):131-132.
- [8] 刘洁,曲绍春,刘宏雁等. 中国林蛙卵油防治实验性高血脂血症及抗脂质过氧化[J]. 白求恩医科大学学报,1997,23(4):30-31.
- [9] 闫清伟,田青. 中国林蛙卵油对焦虑大鼠运动能力影响研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2013,41(3):138-140.
- [10] 吕集,杜景新. 林蛙卵油软胶囊的生产方法:1189185C[P]. 2005-02-16.
- [11] 张叶,赵昌辉,张铁华. 林蛙卵蛋白的功能特性及组分鉴定[J]. 农产品加工,2021(11):39-45.
- [12] 赵媛媛,马莹,王战勇,等. 林蛙油加工副产品综合利用研究进展[J]. 应用化工,2016,45(12):2339-2342.
- [13] LI N, WANG Y S, GAN Y S, et al. Physicochemical and functional properties of protein isolate recovered from *Rana chensinensis* ovum based on different drying techniques[J]. Food Chemistry, 2022, 396:133632.
- [14] 王萌萌,刘仁杰,陈光. 林蛙皮胶原蛋白提取工艺的优化与相关性研究[J]. 食品科技,2017,42(8):237-242.
- [15] 黄皓. 东北林蛙和黑龙江林蛙肠道菌群比较及免疫功能初步分析[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2019.
- [16] 宋百军,李长生,黄朝云,等. 中国林蛙与黑龙江林蛙产油性比较研究[J]. 中药材,2016,39(12):2711-2715.
- [17] 刘永祥,张志明. 黑龙江林蛙卵综合开发增效显著[N]. 中国食品质量报,2004-11-09(004).
- [18] 李凤伟,刘娟,王超. 黑龙江林蛙卵多糖提取工艺研究[J]. 黑龙江医药科学,2013,36(4):3-4.
- [19] 刘娟,李凤伟,王超. 黑龙江林蛙卵中粗多糖提取工艺的研究[J]. 时珍国医国药,2014,25(2):328-329.
- [20] 陈大勇,杨靖,李硕,等. 林蛙卵多糖的提取工艺及其抗氧化作用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(12):149-154.

- [21] 金鑫,王玉华,朴春红,等. 东北林蛙不同组织多糖的研究现状[J]. 食品工业,2017,38(9):241-245.
- [22] 袁德崢. 黑龙江林蛙皮抗菌肽 dybowski-2CAMA 的表达及抗菌活性的初步研究[D]. 沈阳:辽宁大学,2011.
- [23] MEI Z,LIU Y,CHEN T B,et al. Components of the peptidome and transcriptome persist in *lin wa pi*:the dried skin of the Heilongjiang brown frog(*Rana amurensis*) as used in traditional Chinese medicine[J]. Peptides,2006,27(11):2688-2694.
- [24] 沈烨,高丽芳,纪强,等. 出口冻牛蛙腿的加工技术及质量控制[J]. 海洋与渔业,2008(11):45-46.
- [25] 简少卿,吴流政,洪一江,等. 即食麻辣味牛蛙皮加工工艺[J]. 科学养鱼,2018(6):72-73.
- [26] 胡泽敏,虞鹏程,李旋艳,等. 一种麻辣味牛蛙皮加工工艺:CN103719929B[P]. 2015-05-20.
- [27] 杨远帆,李杏,陈申如,等. 弹性蛋白酶提取牛蛙皮胶原蛋白的工艺优化[J]. 中国食品学报,2013,13(10):66-72.
- [28] 夏一赫,杭柏林,黄东明,等. 牛蛙背皮抗菌肽粗提物的抑菌活性[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2017,45(2):43-49.
- [29] 孙传伯,张晶,胡馨怡,等. 牛蛙皮黑色素的提取工艺研究[J]. 齐齐哈尔医学院学报,2022,43(9):858-861.
- [30] ALENCAR E N,XAVIER-JÚNIOR F H,MORAIS A R V,et al. Chemical characterization and antimicrobial activity evaluation of natural oil nanostructured emulsions[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology,2015,15(1):880-888.
- [31] RENATA R,XAVIER F H,MORAIS A R D V,et al. Therapeutic bullfrog oil-based nanoemulsion for oral application:development,characterization and stability[J]. Acta Pharmaceutica,2019,69(1):33-48.
- [32] OLIVEIRA W N,ALENCAR E N,ROCHA H A O,et al. Nanostructured systems increase the *in vitro* cytotoxic effect of bullfrog oil in human melanoma cells (A2058)[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy,2022,145:112438.
- [33] AMARAL-MACHADO L,WÓGENES N O,ÉVERTON N A,et al. Bullfrog oil(*Rana catesbeiana* Shaw) induces apoptosis, in A2058 human melanoma cells by mitochondrial dysfunction triggered by oxidative stress[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy,2019,117:109103.
- [34] AMARAL-MACHADO L,OLIVEIRA W N,TORRES-RÊGO M,et al. Anti-inflammatory activity of bullfrog oil polymeric nanocapsules:from the design to preclinical trials[J]. International Journal of Nanomedicine,2021,16:7353-7367.
- [35] TATSUTA T,MASAHIRO H. Discovery of antitumor effects of lecylzymes[J]. Glycoconjugate Journal,2022,39:157-165.
- [36] TATSUTA T,TOSHIYUKI S,SHIGEKI S,et al. Sialic acid-binding lectin from bullfrog eggs inhibits human malignant mesothelioma cell growth *in vitro* and *in vivo*[J]. PLoS ONE,2018,13(1):0190653.
- [37] TATSUTA T. Basic research on bullfrog egg-derived sialic acid-binding lectin for cancer treatment[J]. Yakugaku zasshi: Journal of the Pharmaceutical Society of Japan,2022,142(10):1045-1053.
- [38] 刘文舒,郭小泽,陈彦良,等. 养殖黑斑蛙肠道微生物结构与功能分析[J]. 经济动物学报,2021,25(2):68-76.
- [39] 郝镔,王承宇,孟轲音,等. 野生黑斑蛙皮肤抗菌肽快速分离、纯化方法的建立[J]. 黑龙江畜牧兽医,2018(19):176-179.
- [40] 郝镔,李楠,王雅丽,等. 东北黑斑蛙皮肤抗菌肽的分离及抗菌活性检测[J]. 饲料工业,2014,35(12):41-44.
- [41] 王雅丽,李吉平,郝镔,等. 黑斑蛙皮肤抗菌肽的纯化及抑菌活性研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(11):167-168.
- [42] 张康. 常见病原微生物诱导黑斑蛙皮肤抗菌肽表达谱差异及其机制研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2021.
- [43] 侯国宾. 黑斑侧褶蛙皮肤生物活性肽的筛选与性质研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2012.
- [44] WANG W J,YANG W Q,DU S Y,et al. Bioevaluation and targeted modification of temporin-FL from the skin secretion of dark-spotted frog (*Pelophylax nigromaculatus*)[J]. Frontiers in Molecular Biosciences,2021,8:707013.
- [45] 宋玉竹,孟庆雄,余旭亚,等. 黑斑蛙抗菌肽及其基因和应用:CN102229659A[P]. 2011-11-02.
- [46] 李凤伟. 黑龙江省三种蛙肝脏中化学成分及其药理作用研究[D]. 佳木斯:佳木斯大学,2014.
- [47] 李燕燕. 沼泽绿牛蛙皮肤抗菌肽的分离纯化与活性检测[D]. 南昌:南昌大学,2008.
- [48] 虞鹏程,李燕燕,涂琪,等. 沼泽绿牛蛙皮肤抗菌肽的分离纯化与活性检测[J]. 南昌大学学报(理科版),2008,32(1):75-79.
- [49] KIM J B,HALVERSON T,BASIR Y J,et al. Purification and characterization of antimicrobial and vasorelaxant peptides from skin extracts and skin secretions of the North American pig frog[J]. Regulatory Peptides,2000,90(1/3):53-60.
- [50] 王瑞君. 石蛙的酶解液化及风味改良[J]. 食品科技,2012,37(9):108-110.
- [51] 李健,李钰琦,林雨婷,等. 一种棘胸蛙皮制品的制备方法及应用:CN114652752A[P]. 2022-06-24.
- [52] DONG B J,ZHAN Z G,ZHENG R Q,et al. cDNA cloning and functional characterisation of four antimicrobial peptides from

- Paa spinosa* [J]. Zeitschrift fur Naturforschung C: A Journal of Biosciences, 2015, 70(9/10): 251-256.
- [53] 董宝娟. 基于 MHC 基因选育的棘胸蛙后代遗传稳定性及抗病性分析 [D]. 金华: 浙江师范大学, 2015.
- [54] 徐学清, 刘文君. 双团棘胸蛙皮肤胸腺肽- β_2 的基因克隆及活性检测 [J]. 中国药理学通报, 2015, 31(2): 237-241.
- [55] 丁荣吾, 朱娜玲, 苏进全. 复合棘胸蛙油软胶囊及其制备方法: 109924502A [P]. 2019-06-25.
- [56] 苏进全, 李健, 周永波. 一种棘胸蛙软胶囊的制备方法: 114568642A [P]. 2022-06-03.
- [57] 李健, 张铃玉, 李钰琦, 等. 一种棘胸蛙口服液及其制备方法: 114766682A [P]. 2022-07-22.
- [58] 徐世博, 徐敬明, 杨帆, 等. 棘腹蛙生物学特性及资源保护研究进展 [J]. 动物学杂志, 2020, 55(1): 105-109.
- [59] 姜玉松, 陈德碧, 邹勇, 等. 棘腹蛙 Japonicin-pb 抗菌肽的分离及表达谱分析 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(5): 1613-1619.
- [60] 姜玉松, 张文琪, 樊汶樵, 等. 棘腹蛙皮肤抗菌肽 Cathelicidin-Pb 的克隆及表达分析 [J]. 淡水渔业, 2015, 45(4): 26-30.
- [61] JIANG Y S, FAN W Q, XU J M. De novo transcriptome analysis and antimicrobial peptides screening in skin of *Paa boulengeri* [J]. Genes & Genomics, 2017, 39(6): 653-665.
- [62] YAQOOB P. Monounsaturated fats and immune function [J]. Proceedings of the Nutrition Society, 1998, 57(4): 453-465.
- [63] 倪旻, 方翔, 李全发, 等. 牛蛙皮胶原蛋白酸提取条件优化及其对细胞生长和粘附性的影响 [J]. 激光生物学报, 2012, 21(4): 379-384.
- [64] 衣铭慧, 袁海恋, 孙志双, 等. 中国林蛙皮保湿性研究 [J]. 临床皮肤科杂志, 2018, 47(4): 205-208.
- [65] 姜丽冬, 田海娟, 代伟长, 等. 林蛙头多糖的提取工艺优化及其降血脂功能 [J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(10): 107-111.
- [66] 刘玉兰, 尤越人, 翁鸿博, 等. 哈蟆油及其甲醇、石油醚提取物的镇咳祛痰作用 [J]. 沈阳药科大学学报, 1997(1): 51-54.
- [67] 王子凌, 王海滨, 周晓荣, 等. 水产品、畜禽肉异味物质及其脱除技术的研究进展 [J]. 肉类工业, 2022(9): 41-47.
- [68] 王晓谦. 鱼制品腥味脱除的研究进展 [J]. 现代食品, 2020(1): 8-10.
- [69] 胡苑, 施文正, 卢瑛. 鱼类腥味脱除技术研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 282-287.
- [70] 丁忠福, 金莉莉, 李强, 等. 超临界 CO_2 萃取精馏技术在林蛙卵油脱腥中的应用研究 [J]. 特产研究, 2007(2): 18-21.
- [71] 张琪. 林蛙油除腥工艺优选及其果味罐头的制备 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [72] 侯如标, 张学宇, 吕智慧, 等. 金属催化剂 $\text{Pd}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 对胶原蛋白肽粉脱腥除臭处理 [J]. 核农学报, 2016, 30(2): 313-322.
- [73] 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.
- [74] 吴锁连, 康怀彬, 李冬姣. 水产品保鲜技术研究现状及应用进展 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47(22): 4-6.
- [75] 陈胜军, 陶飞燕, 潘创, 等. 虾产品低温贮藏保鲜技术研究进展 [J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(1): 68-75.
- [76] 郭姗姗, 荣建华, 赵思明, 等. 臭氧水处理对冰温保鲜脆肉鲩鱼片品质的影响 [J]. 食品科学, 2009, 30(24): 469-473.
- [77] 赵丽娜, 吕集, 杜鹤, 等. 真空冷冻干燥法对林蛙油活性的稳定性研究 [J]. 数理医药学杂志, 2015, 28(9): 1372-1373.
- [78] 袁文彬, 李宜平, 王淑敏. 林蛙油不同干燥处理方法蛋白质含量测定 [J]. 吉林中医药, 2011, 31(2): 163-164.
- [79] KADAM S U, TIWARI B K, ÁLVAREZ C, et al. Ultrasound applications for the extraction, identification and delivery of food proteins and bioactive peptides [J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 46(1): 60-67.
- [80] DUFFULER P, BHULLAR K S, DE CAMPOS Z S C, et al. Bioactive peptides: from basic research to clinical trials and commercialization [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(12): 3585-3595.
- [81] KAISER S, MELANIE M, DIANA L, et al. Tryptophan-containing dipeptides are bioavailable and inhibit plasma human angiotensin-converting enzyme *in vivo* [J]. International Dairy Journal, 2016, 52(1): 107-114.
- [82] GABRIELLA A M T H, PIETER C V D P, ARIE K K, et al. Enhanced lacto-tri-peptide bio-availability by co-ingestion of macronutrients [J]. PLoS ONE, 2017, 10(6): 0130638.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)