

河蚬营养成分的提取及其生理功能研究进展

王 春¹, 张玮伯², 孙卫军², 闫景坤^{1*}

(1. 江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013; 2. 宿迁市永生食品有限公司, 宿迁 223900)

摘 要: 河蚬(*Corbicula fluminea*)是一种双壳类软体动物, 富含蛋白质、多糖、不饱和脂肪酸、矿物质及维生素等营养物质, 具有清热解毒、醒酒护肝、利尿明目等多种生理功能。近年来, 研究发现河蚬提取物能够抑制肝癌细胞 HepG-2 的生长, 清除 $O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$ 、 $DPPH\cdot$ 自由基, 降低血清胆固醇, 甘油三酯的含量, 促进胆固醇代谢, 减少动脉粥样硬化, 调控乙醇代谢过程中的关键酶细胞色素 P4502E1(CYP2E1)的表达, 降低对人体有害自由基的生成, 抑制脂质过氧化反应, 减少脂质过氧化物的生成, 可以有效缓解酒精对肝脏造成的损伤。本文主要阐述了河蚬的营养成分、提取方式、生理功能及其开发研究现状, 为实现河蚬精深加工以及工业化生产提供理论依据。

关键词: 河蚬; 营养成分; 生理功能

Research progress in extraction of nutritional ingredients and their physiological functions of *Corbicula fluminea*

WANG Chun¹, ZHANG Wei-Bo², SUN Wei-Jun², YAN Jing-Kun^{1*}

(1. School of Food & Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;
2. Suqian Yongsheng Food Co. Ltd., Suqian 223900, China)

ABSTRACT: *Corbicula fluminea* is a bivalve mollusk which contains abundant nutritional ingredients, such as proteins, polysaccharides, unsaturated fatty acids, minerals and vitamins. It has exhibited a variety of physiological functions, including cleaning heat and detoxicating, sobering up and protecting liver, diuresis and improvement of eyesight. In recent years, the study found the *C. fluminea* extract can inhibit the growth of liver cancer cells HepG-2, scavenge $O_2^{\cdot-}$, $\cdot OH$ and $DPPH\cdot$ free radicals, reduce serum cholesterol (total cholesterol) and triglyceride level, promote the metabolism of cholesterol, reduce atherosclerosis, regulate the expression of CYP2E1 key enzymes in the process of ethanol metabolism, reduce the generation of harmful free radicals, inhibit lipid peroxidation and reduce the generation of lipid peroxides, and effectively alleviate the damage caused by alcohol to the liver. This paper mainly reviewed the nutritional ingredients, extraction methods, physiological functions and developments of *C. fluminea*, so as to provide a theoretical basis for the deep processing and industrial production of *C. fluminea*.

KEY WORDS: *Corbicula fluminea*; nutritional ingredient; physiological function

基金项目: 泗洪县重点科技研发计划(现代农业)项目(L201803)

Fund: Supported by Sihong County Key Technology Research and Development Plan (Modern Agriculture) Project (L201803)

*通信作者: 闫景坤, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品功能碳水化合物。E-mail: jkylan_27@163.com

*Corresponding author: YAN Jing-Kun, Ph.D., Associate Professor, School of Food & Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, 212013, China. E-mail: jkylan_27@163.com

0 引言

河蚬(*Corbicula fluminea*)又称为蚬、黄蚬、蜆仔、沙螺、沙喇、蜆仔等, 是一种淡水贝类, 广分布于我国各大湖泊、江河之中^[1]。据《本草纲目》记载, 河蚬可作为中药的药材, 不仅具有开胃、明目、利尿、去湿毒等功效, 还可以作为医治肝病、麻疹、退热、止咳化痰、解酒等疾病的原材料。相关研究表明, 干基河蚬中的蛋白质质量分数为 66.61%, 其中必需氨基酸总量为 39.60%^[2], 而且, 一些研究还发现, 河蚬中含有丰富的多糖、不饱和脂肪酸、矿物质、维生素等营养物质^[3]。同时, 相关研究发现河蚬及其提取物具有解酒护肝^[4-5]、抗氧化性^[6]、增强免疫活性^[7]等功效。

本文主要对河蚬中的营养成分、生理功能以及开发利用现状的研究进展进行综述, 为实现河蚬精深加工及工业化生产提供理论指导。

1 河蚬的营养成分及其提取方法

河蚬中的主要营养成分有蛋白质、多糖、不饱和脂肪酸、矿物质及维生素, 具有降血脂、降胆固醇、抗肿瘤、免疫调节和护肝等生理功能。

1.1 蛋白质

蛋白质作为河蚬的主要成分之一, 主要以糖蛋白和金属硫蛋白 2 种形式存在。糖蛋白是指蛋白质通过糖苷键或肽键连接而形成的结合蛋白, 具有抗肿瘤、免疫活性、抗氧化、抗炎、抗血栓等生物活性^[8]。相关研究表明, 河蚬蛋白中的氨基酸组成与酪氨酸相似, 主要是谷氨酸和甘氨酸, 且河蚬中的甘氨酸是酪蛋白中的 3 倍^[9]。CHIJIMATSU 等^[10]运用热水结合 β -淀粉酶提取河蚬蛋白, 运用 β -淀粉酶主要是为了断裂与蛋白结合的糖苷键, 获得较纯的蛋白质, 该法蛋白得率为 71%, 蛋白质含量高达 74.9%。通过表 1 可以看出 pH 值调节法的得率最高, 操作也较为简单。河蚬的金属硫蛋白(metallothionein, MT)是一种低分子质量(6~7 kDa), 与半胱氨酸残基和金属含量极高的金属结合, 可以解除重金属毒害、清除自由基、参与氧化应激、维持生物体内微量元素动态平衡、抗炎促进伤口

愈合^[11]。河蚬对重金属有着非常高的富集能力, 任静华等^[12]通过模拟实验发现河蚬对镉(Cd)最大的富集量为 11.40 mg/kg, 可以直接或间接地反映水体中重金属污染情况, 在生物学领域常被用来作为水体污染的重要标志生物, 监测水体富营养化、重金属和有机物污染状况等^[13], 而河蚬在重金属环境中仍能存活, 部分原因是由于部分重金属如 Zn、Cu 等是软体动物的必需微量元素, 参与机体生理功能的正常运行, 此外河蚬体内的一些物质可与重金属相结合^[14]。相关研究报道指出, 河蚬可作为水体污染指示生物主要是由于河蚬中含有丰富的金属硫蛋白和缩氨酸等物质, 它们可通过与重金属结合从而有效的减轻重金属对机体的毒害作用^[15-16]。目前国内对于河蚬蛋白的研究主要集中在其理化性质和生理功能, 以及其水解物多肽的醒酒护肝、抗氧化活性的研究, 而对其结构解析、氨基酸连接方式以及醒酒护肝机制等的研究还尚未见报道。

1.2 多 糖

多糖是指由多个单糖分子脱水聚合, 以糖苷键连接而成高分子碳水化合物, 水解后可得到相应的单糖和寡糖, 广泛存在于植物、微生物、藻类和动物中。动物多糖主要包括糖原、硫酸软骨素、肝素等^[17-19], 具有广泛的生物效用, 如抗肿瘤^[19-20]、抗氧化^[21]、降血糖^[22]、抗凝血^[23]等。河蚬中的多糖质量分数在 11.0%左右, 主要由葡萄糖、葡萄糖胺、岩藻糖等单糖组成, 通常通过糖苷键与蛋白相连接聚合而成蛋白聚糖^[5,24]。多糖作为河蚬的活性成分之一, 目前的提取方式主要有酶解法^[24]、超声辅助酶解提取法^[25]、三相分离法^[26]、热水浸提法^[27]等。不同的提取方式对河蚬多糖的结构、理化性质、功能活性都具有较大的影响。从表 2 中可以看出酶解辅助超声提取法的得率最高, 是普通酶解提取法的 3 倍左右。这可能是因为超声波具有机械作用、空化效应、热力学作用, 能提高溶剂的渗透性, 从而提高提取率; 而且, 通过酶解预处理, 能破坏细胞壁、细胞膜的结构, 使蛋白质发生酶解形成多肽, 与多糖连接的糖苷键发生断裂, 释放出更多的多糖。近年来, YAN 等^[26,28]提出的三相分离法在河蚬多糖的提取与分离方面也得到了广泛的应用。该方法不需要复杂的设备, 且省时省力、绿色环保, 且可一步实现对多糖的提取与分离(脱蛋白、脱色)。

表 1 河蚬蛋白的提取方法比较
Table 1 Comparison of proteins extraction methods from *C. fluminea*

提取方法	工艺参数	得率/%	参考文献
pH 值调节法(碱溶酸沉)	pH 12.5、液料比 44.3:1(V/w)、提取温度 67.2 °C、提取时间 60 min, 沉淀 pH4.5	74.97	[17]
超声提取法	料液比 1:20、提取时间 23 min、提取温度 48 °C、超声功率 920 W	67.70	[18]
热水结合 β -淀粉酶提取法	100 °C煮沸 40 min, 冷冻干燥获得河蚬粉, β -淀粉酶与河蚬粉酶底比 1:1000(w/w), 50 °C酶解 2 h, 灭酶 15 min, 3 倍体积丙酮-20 °C下过夜, 离心取沉淀, 室温下挥发除去丙酮	71.00	[10]

表 2 河蚬多糖提取方法比较
Table 2 Comparison of polysaccharides extraction methods from *C. fluminea*

提取方法	工艺参数	得率/%	参考文献
木瓜蛋白酶法	木瓜蛋白酶 1200 U/g, 酶解时间 24 h, 温度 60 °C	6.37	[24]
超声辅助酶解提取法	木瓜蛋白酶 150 U/g, 料液比 35:1(g/mL), 超声时间 32 min, 功率 300 W, 温度 62 °C	17.80	[25]
三相分离法	20%(w/V)硫酸铵, 叔丁醇 1:1.5(V:V), 温度 35.3 °C, 时间 30 min, pH 6.0	9.32	[26]
热水浸提法	料液比 1:30(g/mL), 提取时间 102 min, 提取温度为 91 °C	9.71	[27]

1.3 脂肪酸

不同湖泊以及季节捕捞的河蚬在脂肪酸含量和种类上有较大的差别。以洪泽湖河蚬为例, 冻干河蚬肉中含有约 10%的粗脂肪, 其中饱和脂肪酸占 39.47%, 不饱和脂肪酸占 60.53%, 而不饱和脂肪酸中的油酸和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)质量分数最高, 分别为 10.16%和 12.27%^[2], 具有降低胆固醇、降胆汁酸、预防心血管疾病等功能。CHIJIMATSU 等^[29]用 5 倍体积的氯仿-甲醇(2:1, V:V), 对冻干河蚬粉提取 12 h, 获得 18%的脂肪酸。通过硅胶柱层析将河蚬提取物的脂肪分为 9 个亚组分, 用薄层色谱法对这 9 种亚组分(FF1-FF9)进行了分析, 研究表明, 这 9 个亚组分的主要成分是鞘脂、三酰甘油、甾醇, 又通过气相色谱-质谱分析得出河蚬中的甾醇主要包含油菜素、胆固醇、豆甾醇和 β -谷甾醇。LIN 等^[30]利用乙醇提取法从河蚬肉中提取分离获得 12.9%的脂肪酸, 总甾醇含量为 22.3 mg/g, 主要包括胆固醇、菜子甾醇、 β -谷甾醇及豆甾醇以及油酸, 与 CHIJIMATSU 等^[31]的研究结果相似。研究发现, 河蚬中的脂肪酸可以通过减少新生脂肪生成和增加脂肪酸 β -氧化, 来抑制游离脂肪酸诱导的肝癌细胞 Hep G2 的脂质积累, 同时可以调节肝脏中的脂肪酸组成, 包括减少脂质积累、降低硬脂酰辅酶 A1(stearyl-CoA desaturase A1, SCD-1)活性和增加 n3/n6 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFAs)的比值。相关研究表明淡水蛤蚬提取物的低胆固醇效应主要是由于三酰甘油中的植物甾醇和多不饱和脂肪酸(PUFAs)的作用^[32-33]。

1.4 矿物质和维生素

河蚬富含钙、钠、镁、钾、铁等多种矿物元素^[34]。庄平等^[35]研究表明, 河蚬中 Fe、P、Mg、Zn 含量突出, 河蚬可作饵料为中华鲟幼鱼提供丰富的矿物元素营养。张帅等^[4]研究发现河蚬肉中的 Ca、Fe、Zn、Se 的含量分别为 286.00、8.61、1.14、2.17 mg/kg, 矿物质在人体的总量不及体重的 5%, 也不能提供能量, 但它却必不可少。例如, 铁具有造血功能, 参与血红蛋白、细胞色素及各种酶的合成, 促进生长, 在血液中起运输氧和营养物质的作用; 镁对胰脏受损、荷尔蒙减退、消化器官异常、神经系统紊乱等

有防治作用; 锌可促进生长发育, 增强机体免疫力和性功能等。钱耀森等^[36]在研究黄河三角洲河蚬时发现, 其软体部分不仅含有多种矿物质元素, 还富含维生素 A、B。目前国内关于河蚬中矿物质及维生素的提取鲜少有报道。

2 河蚬的生理功能

2.1 抗氧化作用

活性氧(reactive oxygen species, ROS)主要包括超氧阴离子、过氧化物、羟自由基等, 活性氧积累过多是导致组织损伤和细胞死亡的主要致病机制^[37]。河蚬中还有丰富的多糖、蛋白质、脂肪酸等物质, 它们能够清除活性氧自由基, 因此河蚬具有抗氧化、抗衰老等生理功能。LIAO 等^[25]研究发现低分子量(22 kDa)、高硫酸基质量分数(8.14%)的 CFP-2 较 CFP(>500 kDa, 2.21%)具有更好的抗氧化活性, CFP-2 的 DPPH、O₂ 的 EC₅₀ 值分别为 4.3、0.6 mg/mL, FRAP 值为 417 μ mol Fe²⁺/g, 这表明河蚬多糖具有良好的抗氧化活性。赵琪等^[38]采用 DEAE-52 纤维素色谱法和 Sephadex™ G-100 葡聚糖凝胶色谱法对河蚬多糖进行分离纯化, 获得 CFP-1 和 CFP-2 2 个组分, 通过测定这 2 个组分的体外抗氧化活性发现 CFP-2 呈现出较好的抗氧化活性, 在浓度为 3 mg/mL 时其 DPPH 和羟自由基清除率分别为 52.04%和 63.75%, FRAP 值为 65.24 μ mol Fe²⁺/mg。徐浩^[6]利用胰蛋白酶在其最佳条件下对河蚬肉进行酶解处理, 获得河蚬多肽, 研究发现酶解产物的浓度为 10 mg/mL 时其抗氧化能力最强, 在该浓度下 DPPH 和羟自由基清除率分别为 62.22%和 67.82%。同时, 通过建立 H₂O₂ 氧化损伤 HepG-2 肝癌细胞模型, 研究多肽体内抗氧化活性。研究表明, 酶解产物可提高过氧化氢酶(catalase, CAT)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的酶活力, 从而减少生物体代谢过程中有害物质的生成, 提高细胞的生存能力。所以, 将河蚬作为外源性抗氧化补充剂可以提高机体抗氧化水平, 维持生物体的氧化还原平衡, 抵御自由基的损害, 有助于机体抵御疾病。

2.2 护肝作用

在中国的台湾、日本和韩国等地区常将河蚬汤视为护

肝良品。SOLIMAN^[39]研究发现,河蚬热水提取物可以降低脂质过氧化,降低肝脏中SOD、丙二醛(malonaldehyde, MDA)、CAT等肝脏氧化应激标志物的变化,对味精诱导的肝脏氧化应激具有改善作用。HSU等^[40]研究表明,口服淡水哈热水提取物可以降低大鼠血清谷丙转氨酶(glutamic-pyruvic transaminase, ALT)和谷草转氨酶(glutamic oxalacetic transaminase, AST)水平,在组织学研究中,蛤蜊提取物显著降低了CCl₄所致大鼠肝纤维化和坏死的损伤评分。王瑶瑶等^[5]通过酶解辅助三相分离法从河蚬肉中提取分离出河蚬多糖(PSP),研究发现PSP能够调控乙醇代谢过程中的关键酶CYP2E1的表达,降低对人体有害自由基的生成,抑制脂质过氧化反应,减少脂质过氧化物的生成,可以有效缓解酒精对肝脏造成的损伤。同时PSP能激活HO-1的表达,增强机体的抗氧化能力,缓解乙醇代谢引发的脂质过氧化作用,使过氧自由基得到清除,避免肝细胞结构遭到破坏。BAI^[41]等通过酶解辅助三相分离法从河蚬肉中提取分离出河蚬多糖PSP,研究认为抗氧化PSP可能通过减轻肝脏脂质代谢来保护肝脏免受酒精引起的肝细胞损伤,改善CYP2E1和HO-1的表达水平,从而提高抗氧化酶的活性,抑制免疫炎症损伤。从上述可以看出河蚬可作为一种有效的食品补充剂,可潜在地应用于酒精引起的肝损伤。

2.3 降血脂和降血糖作用

河蚬肉中含有丰富的脂肪酸、植物甾醇和多糖,具有降胆固醇和降血糖的作用。研究表明,河蚬提取物中的多不饱和脂肪酸可以通过提高低密度脂蛋白(low density lipoprotein, LDL)与高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)的比值,减少主动脉壁增厚来减轻高脂饲料喂养的罗非鱼肝脏胆固醇和三酰甘油的含量,从而减轻动脉粥样硬化,达到预防心脑血管疾病的效果^[42]。LIN等^[30]研究表明,河蚬肉中的甾醇可以通过减少新生脂肪的生成和增加脂肪酸的 β -氧化,来抑制游离脂肪酸诱导的肝癌细胞HepG-2的脂质积累,同时可以调节肝脏中的脂肪酸组成,包括减少脂质积累、降低SCD-1活性和增加n3/n6 PUFAs比值。相关研究表明淡水蛤蜊提取物的低胆固醇效应主要是由于三酰甘油中的植物甾醇和多不饱和脂肪酸(PUFAs)的作用^[33-34]。YAN等^[43]采用三相分离法提取河蚬多糖后再对其进行分离纯化,最后得到CFPs-11,通过体外降血糖实验发现,其 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶的 EC_{50} 值分别为3.92、4.86 mg/mL,由此可见分离纯化后的河蚬多糖有望作为治疗II型糖尿病的潜在药。

2.4 抗炎作用

HUA等^[44]发现,河蚬中的甾醇能够显著抑制脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)刺激的巨噬细胞核因子(NF)- κ B

的转录活性,通过抑制p38MAP激酶和NF- κ B通路的激活而发挥预防或改善炎症相关疾病的作用,同时可以有效抑制炎症细胞因子IL-1 β 和IL-6的表达,表明它可能成为预防糖尿病和糖尿病肾病的健康补充剂。PENG等^[45]研究表明,河蚬提取物可以通过降低血液中肿瘤坏死因子 α 水平和抑制促炎细胞因子TNF- α 、IL-10的表达水平来促进伤口愈合,伤口的愈合涉及细胞增殖和蛋白质合成,纤维细胞和胶原蛋白是皮肤组织再生的关键成分,而河蚬提取物中蛋白质的补充为细胞组织再生提供了原料。

3 河蚬的开发利用现状

河蚬在中国的养殖生产量巨大,是重要的经济水产品之一。随着河蚬的养殖量及其出口量的不断增加,河蚬产业规模也在逐步扩大。河蚬肉质鲜美、营养丰富特点,使其在日韩等国家享有较高的声誉。根据淮安地区海关数据统计显示,自2019年来,淮安向日本、韩国出口洪泽湖河蚬总量达6000 t左右,出口数量占两国河蚬产品市场总量的80%^[46]。目前,国内以河蚬为原料生产加工的产品主要有河蚬保健食品、蚬肉即食食品等,而在加工方式上也比较单一,仅仅局限于新鲜食用河蚬肉、冻煮河蚬肉、制成河蚬干和河蚬罐头等粗加工技术方面^[47-48],以小作坊加工形式为主,未形成完整的产业链。河蚬良好的营养价值未被深度挖掘,限制了河蚬资源的开发利用,导致河蚬的附加产值低,阻碍了河蚬产业的快速发展。因此,通过对河蚬基本营养组成及生理功能的概述,可为实现河蚬精深加工及工业化生产提供理论参考,具有重要的现实意义。

在国外,河蚬也还没有形成完善的精深加工体系,生产河蚬系列产品的企业也非常少。在韩国,河蚬资源的利用途径主要是作为珍贵的药用食品或将蚬肉与蚬汁掺在一起煮汤喝。他们尝试在蚬汁中加入小规格的蚬肉,做成酱汤的一种配料或速食酱汤在市场上销售。在日本,河蚬加工一般也是小企业,如日本小豆岛上的佃煮加工厂,将每年从中国进口的蚬肉经过传统的工艺(调味、煮制、包装)加工成佃煮蚬肉及汤料包中的添加物作为当地特产销售^[28]。日本的一些研究机构和企业,最近在研究蚬肉产品以及河蚬汁制成流质产品的开发。从国外的市场来看,河蚬的深加工产品主要是休闲食品、流质食品、汤料食品。

4 结论与展望

河蚬含有糖蛋白、金属硫蛋白、多糖、脂肪酸、矿物质及维生素等丰富的营养物质,具有抗氧化、抗肿瘤、醒酒护肝、降胆固醇等多种生理功能。通过对这些功能成分的理化性质的研究,以及对生理功能的作用机制的探讨,为将河蚬的功能成分运用到饮料、饼干、保健品中提供理

论依据。虽然河蚬具有优良的食药价值和良好的生理功效,但是目前国内外对河蚬的研究主要集中于其基本成分的理化性质和生理功能的研究,而关于如何实现河蚬精深加工和形成完整的产业链,并将河蚬运用到功能性食品或保健品的生产,进而提高河蚬的附加值等问题还尚未得到解决,这也将成为未来河蚬资源开发研究的热点。

参考文献

- [1] 鲁爱芹, 赵妍. 河蚬胶囊用于肝病患者的临床观察[J]. 医学理论与实践, 2011, 24(16): 1938–1939.
LU AQ, ZHAO Y. Clinical observation of *Corbicula fluminea* capsule used in patients with liver disease [J]. J Med Theory Pract, 2011, 24(16): 1938–1939.
- [2] 刘晶晶, 徐云婕, 韩曜平, 等. 洪泽湖野生河蚬营养成分的分析与评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 360–364.
LIU JJ, XU YJ, HAN YP, *et al.* Analysis and evaluation of nutrient components of wild river clams in Hongze lake [J]. Food Ind Sci Technol, 2014, 35(15): 360–364.
- [3] 钱耀森, 孙同秋, 郑小东, 等. 黄河三角洲河蚬软体部营养成分的分析及评价[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(3): 454–458.
QIAN YS, SUN TQ, ZHENG XD, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional components of the soft parts of *Corbicula fluminea* in the yellow river delta [J]. J Anhui Agric Univ, 2010, 37(3): 454–458.
- [4] 张帅, 章超桦, 高加龙, 等. 河蚬肉酶解产物解酒护肝功效[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 166–171.
ZHANG S, ZHANG CH, GAO JL, *et al.* The effect of enzymatic hydrolysate of *Corbicula fluminea* meat on anti-alcohol and liver protection [J]. Food Mach, 2019, 35(3): 166–171.
- [5] 王瑶瑶. 河蚬多糖的制备、理化特性及对急性酒精性肝损伤的保护作用[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
WANG YY. Preparation, physicochemical properties and protective effects of polysaccharides from *Corbicula fluminea* on acute alcoholic liver injury [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [6] 徐浩. 河蚬多肽体内外抗氧化活性及其对急性肝损伤保护的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
XU H. Antioxidant activity *in vivo* and *in vitro* of clam polypeptide and its protection against acute liver injury [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.
- [7] 杜华英, 徐明生, 曾婷婷, 等. 河蚬糖蛋白体外免疫功能研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 21–27.
DU HY, XU MS, ZENG TT, *et al.* Study on *in vitro* immune function of clam glycoprotein [J]. Chin J Food Sci, 2012, 12(3): 21–27.
- [8] 杨向竹, 冯前进, 牛欣, 等. 天然糖蛋白的药理作用研究[J]. 世界中西医结合杂志, 2009, 4(5): 375–376.
YANG XZ, FENG QJ, NIU X, *et al.* Study on the pharmacological effects of natural glycoprotein [J]. World J Integr Tradit Chin West Med, 2009, 4(5): 375–376.
- [9] CHIJIMATSU T, TATSUGUCHI I, ODA H, *et al.* A freshwater clam (*Corbicula fluminea*) extract reduces cholesterol level and hepatic lipids in normal and xenobiotics-induced hypercholesterolaemic rats [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57: 3108–3112.
- [10] CHIJIMATSU T, UMEKI M, KOBAYASHI S, *et al.* Dietary freshwater clam (*Corbicula fluminea*) extract suppresses accumulation of hepatic lipids and increases in serum cholesterol and aminotransferase activities induced by dietary chloretone in rats [J]. J Agric Chem Soc Jap, 2015, 79(7): 1155–1163.
- [11] 何婧雯, 熊海容, 王靖, 等. 金属硫蛋白的研究现状及进展[J]. 农产品加工, 2019, (17): 72–75.
HE JW, XIONG HR, WANG J, *et al.* Current status and progress of metallothionein research [J]. Agric Prod Proc, 2019, (17): 72–75.
- [12] 任静华, 马宏瑞, 王晓蓉, 等. 太湖沉积物中镉的赋存形态及其与河蚬体内富集的关系[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 321–324.
REN JH, FEN MR, WANG XR, *et al.* The occurrence of cadmium in the sediments of lake Taihu and its relationship with the accumulation of river clams [J]. J Lake Sci, 2011, 23(3): 321–324.
- [13] 丁立云, 邓勇辉, 曹义虎, 等. 河蚬的水域生态环境指示作用[J]. 当代水产, 2014, (1): 78–79.
DING LY, DENG YH, CAO YH, *et al.* The indicator function of river clams on the ecological environment of water area [J]. Mod Fish, 2014, (1): 78–79.
- [14] 王健. 洞庭湖河蚬重金属富集及其环境指示作用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018.
WANG J. The enrichment of heavy metals in the river clams of Dongting lake and its environmental indicators [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018.
- [15] MARIE V, BAUDRIMONT M, BOUDOU A. Cadmium and zinc bioaccumulation and metallothionein response in two freshwater bivalves (*Corbicula fluminea* and *Dreissena polymorpha*) transplanted along a polymetallic gradient [J]. Chemosphere, 2006, 65: 609–617.
- [16] BAUDRIMONT M, ANDRES S, DURRIEU C, *et al.* The key role of metallothioneins in the bivalve *Corbicula fluminea* during the depuration phase, after *in situ* exposure to Cd and Zn [J]. Aquat Toxicol, 2003, 63: 89–102.
- [17] 朱小燕, 李相前, 王杰, 等. pH 调节法制备河蚬蛋白质及其营养评价[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 175–181.
ZHU XY, LI XQ, WANG J, *et al.* Preparation of *Corbicula fluminea* protein by pH adjustment method and its nutritional evaluation [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(1): 175–181.
- [18] 杨玉雯, 袁美兰, 陈丽丽, 等. 河蚬中水溶性蛋白的提取及其抗氧化性质[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 96–102.
YANG YL, YUAN ML, CHEN LL, *et al.* Extraction of water-soluble protein from *Corbicula fluminea* and its antioxidant properties [J]. Food

- Sci, 2015, 36(6): 96–102.
- [19] XIE J. A mini-review of chemical and biological properties of polysaccharides from *Momordica charantia* [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 92: 246–253.
- [20] LIU LQ, ZHU M. Natural polysaccharides exhibit anti-tumor activity by targeting gut microbiota [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 121: 743–751.
- [21] YUAN Y, LIU Y, LIU M, *et al.* Optimization extraction and bioactivities of polysaccharide from wild *Russula griseocarnosa* [J]. Saudi Pharm J, 2017, 25: 523–530.
- [22] ZHENG Y, BAI L, ZHOU Y, *et al.* Polysaccharides from Chinese herbal medicine for anti-diabetes recent advances [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 121: 1240–1253.
- [23] LI N, LIU X, HE X, *et al.* Structure and anticoagulant property of a sulfated polysaccharide isolated from the green seaweed *Monostroma angicava* [J]. Carbohydr Polym, 2017, 159: 195–206.
- [24] LIAO NB, CHEN S, YE X, *et al.* Antioxidant and anti-tumor activity of a polysaccharide from freshwater clam, *Corbicula fluminea* [J]. Food Funct, 2013, 4(4): 539–548.
- [25] LIAO N, ZHONG J, YE X, *et al.* Ultrasonic-assisted enzymatic extraction of polysaccharide from *Corbicula fluminea*: Characterization and antioxidant activity [J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 60(2): 1113–1121.
- [26] YAN JK, WANG YY, QIU WY, *et al.* Three-phase partitioning for efficient extraction and separation of polysaccharides from *Corbicula fluminea* [J]. Carbohydr Polym, 2017, 163: 10–19.
- [27] 尹秀莲, 赵瑜辉, 管明, 等. 河蚬多糖提取工艺优化及其免疫活性初步研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(8): 1325–1333.
- YIN XL, ZHAO YH, GUAN M, *et al.* Optimization of extraction process of *Corbicula fluminea* polysaccharide and preliminary study on its immune activity [J]. Nat Prod Res Dev, 2018, 30(8): 1325–1333.
- [28] WANG YY, QIU WY, WANG ZB, *et al.* Extraction and characterization of anti-oxidative polysaccharide-protein complexes from *Corbicula fluminea* through three-phase partitioning [J]. Rsc Adv, 2017, 7: 11067–11075.
- [29] CHIJIMATSU T, UMEKI M, KATAOKA Y, *et al.* Lipid components prepared from a freshwater clam (*Corbicula fluminea*) extract ameliorate hypercholesterolaemia in rats fed high-cholesterol diet [J]. Food Chem, 2013, 136(2): 328–334.
- [30] LIN JJ, LIU YC, CHANG CJ, *et al.* Hepatoprotective mechanism of freshwater clam extract alleviates non-alcoholic fatty liver disease: elucidated *in vitro* and *in vivo* models [J]. Food Funct, 2018, 9(12): 6315–6325.
- [31] CHIJIMATSU T, UMEKI M, KATAOKA Y, *et al.* Lipid components prepared from a freshwater Clam (*Corbicula fluminea*) extract ameliorate hypercholesterolaemia in rats fed high-cholesterol diet [J]. Food Chem, 2013, 136(2): 328–334.
- [32] IRITANI N, FUKUDA E, INOBUCHI K. Effect of feeding the shell fish (*Coribula japonica*) on lipid metabolism in the rat [J]. Atherosclerosis, 1979, 34: 41–47.
- [33] IRITANI N, FUKUDA E, INOBUCHI K, *et al.* Reduction of lipogenic enzymes by shellfish triglycerides in rat liver [J]. J Nutr, 1980, 110: 1664–1670.
- [34] 韩鹏, 王勤, 陈清西. 河蚬软体部分营养成分分析及评价[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2007, (1): 115–117.
- HAN P, WANG Q, CHEN QX. Analysis and evaluation of the nutrient components in the soft part of *Corbicula fluminea vulgaris* [J]. J Xiamen Univ (Nat Sci Edit), 2007, (1): 115–117.
- [35] 庄平, 宋超, 章龙珍. 长江口河蚬营养成分的分析与评价[J]. 营养学报, 2009, 31(3): 304–306.
- ZHUANG P, SONG C, ZHANG LZ. Analysis and evaluation of nutrient components of *Corbicula fluminea* in the Yangtze river estuary [J]. Acta Nutr Sin, 2009, 31(3): 304–306.
- [36] 钱耀森, 孙同秋, 郑小东, 等. 黄河三角洲河蚬软体部营养成分的分析及评价[J]. 安徽农业大学学报, 2010, (3): 74–78.
- QIAN YS, SUN TQ, ZHENG XD, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional components of the soft parts of *Corbicula fluminea* in the Yellow river delta [J]. J Anhui Agric Univ, 2010, (3): 74–78.
- [37] BEDARD K, KRAUSE KH. The NOX family of ROS-generating NADPH oxidases: Physiology and pathophysiology [J]. Physiol Rev, 2007, 87(1): 245–261.
- [38] 赵琪, 赵利, 杨玉雯, 等. 河蚬多糖分离纯化及抗氧化、抗肿瘤活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 127–132, 138.
- ZHAO Q, ZHAO L, YANG YLX, *et al.* Isolation, purification, antioxidant and antitumor activity of polysaccharides from *Corbicula fluminea* [J]. Food Mach, 2017, 33(4): 127–132, 138.
- [39] SOLIMAN AM. Extract of *Coelatura aegyptiaca*, a freshwater clam, ameliorates hepatic oxidative stress induced by monosodium glutamate in rats [J]. Afr J Pharm Pharmacol, 2011, 5(3): 398–408.
- [40] HSU CL, HSU CC, YEN GC. Hepatoprotection by freshwater clam extract against CCl₄-induced hepatic damage in rats [J]. Am J Chin Med, 2010, 38: 881–894.
- [41] BAI FJ, CHEN YC, NING ZX, *et al.* Proteoglycan isolated from *Corbicula fluminea* exerts hepato-protective effects against alcohol-induced liver injury in mice [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 142: 1–10.
- [42] HUANG SC, LIN JJ, LEE MF, *et al.* Freshwater clam extracts alleviate dyslipidaemia of tilapia fed a high-fat diet as an animal model [J]. Funct Foods, 2016, 25: 559–567.
- [43] YAN JK, WANG YY, QIU WY, *et al.* Purification, structural characterization and bioactivity evaluation of a novel proteoglycan produced by *Corbicula fluminea* [J]. Carbohydr Polym, 2017, 176: 11–18.
- [44] HUA KF, CHEN GM, HO CL, *et al.* Freshwater clam extract inhibits inflammatory responses in LPS-activated macrophages by reducing the activation of mitogen-activated protein kinases and NF- κ B [J]. Nat Prod

Commun, 2012, 7: 1435–1440.

- [45] PENG YC, FWU LY, SUBEQ YM, *et al.* Freshwater clam extract supplementation improves wound healing by decreasing the tumor necrosis factor α level in blood [J]. J Sci Food Agric, 2016, 97: 1193–1197.

- [46] 陈春裕. 洪泽湖河蚬连续 26 年畅销日韩市场[N]. 江苏经济报, 2019-11-16(A02).

CHEN CY. Hongzehu river *Corbicula fluminea* has been sold well in Japan and South Korea for 26 consecutive years [N]. Jiangsu Economic News, 2019-11-16(A02).

- [47] 邱春江, 严宏忠. 五香肉干的生产工艺研究[J]. 食品工业科技, 2002, 23(4): 84–85.

QIU CJ, YAN HZ. Research on the production technology of dried spiced *Corbicula fluminea* clam meat [J]. Sci Technol Food Ind, 2002, 23(4): 84–85.

- [48] 张晋陆. 蚬肉的冷冻干燥及其模型[J]. 食品研究与开发, 1998, 20(4):

47–49.

ZHANG JL. Freeze drying of *Corbicula fluminea* and its model [J]. Food Res Dev, 1998, 20(4): 47–49.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



王 春, 硕士研究生, 主要研究方向为食品工程。

E-mail: 2356303549@qq.com



闫景坤, 副教授, 主要研究方向为食品功能碳水化合物。

E-mail: jkylan_27@163.com

“生物毒素研究”专题征稿函

随着社会经济的发展, 人民越来越关注食品的安全问题。在日常生活中, 食物中毒事件时有发生。在食品安全事件中, 生物毒素中毒事件占一定比例。生物毒素是生物体内所产生的有毒代谢产物, 包括微生物毒素、植物毒素、动物毒素和海洋毒素。生物毒素不仅对消费者的健康造成危害, 还会对养殖业、种植业、畜牧水产业等行业造成巨大的经济损失。因此, 关注食品中生物毒素的安全, 是一项具有重大经济意义和科学意义的事情。

鉴于此, 本刊特别策划“生物毒素研究”专题。专题将围绕生物毒素的产生与调控机制、生物毒素的快速检测与筛查技术、生物毒素的脱毒方法与机制、生物毒素的毒理研究与风险评估、生物毒素的标准物质研发、生物毒素型药物的开发研究等问题展开讨论, 计划在 2021 年 2~3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员及编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2021 年 1 月 31 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题生物毒素研究):

网站: www.chinafoodj.com(备注投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 生物毒素研究”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 生物毒素研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部