

综述

珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的化学成分及其生物活性的研究进展[▲]

邓亚胜 梁天薇 黄慧 荣娜 林江
(广西中医药大学基础医学院,广西南宁市 530200)

【提要】 珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液是由多种有机物、无机物构成,包括微量元素、氨基酸、维生素、多糖、多肽等物质,因此具有多种生物活性,如成骨活性、抗氧化活性、促进成纤维细胞迁移、改善记忆障碍、抗惊厥和镇静催眠、抗炎和抗凋亡、增强免疫力等作用。故本文针对近年来珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的化学成分、生物活性的研究进展进行综述,旨在为珍珠的进一步研究和开发利用提供依据。

【关键词】 珍珠;珍珠母;珍珠贝肉;珍珠母液;化学成分;生物活性;综述

【中图分类号】 R 282.77 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 0253-4304(2023)13-1625-05

DOI:10.11675/j.issn.0253-4304.2023.13.20

珍珠为珍珠贝科动物马氏珍珠贝、蚌科动物三角帆蚌或褶纹冠蚌等双壳类动物受刺激后形成的产物。珍珠由珍珠袋的外套膜上皮细胞分泌,由壳角蛋白和碳酸钙结晶围绕一个核心重叠沉积形成,分为淡水珍珠和海水珍珠,又可分为有核珍珠和无核珍珠。目前应用较为广泛的是淡水养殖的无核珍珠。

珍珠贝壳由三层结构组成,包括角质层、棱柱层和珍珠层,珍珠母为珍珠贝壳的珍珠层。珍珠母亦是由外套膜上皮细胞分泌,故与珍珠具有相似的成分,除碳酸钙及有机质等基本成分外,其还含有微量元素、氨基酸、维生素、多糖、多肽及其他成分^[1-2]。珍珠母是由天然文石晶体和有机基质构成的生物复合材料,文石晶体以交错层叠方式镶嵌在连续的有机基质中,形成高度有序的分级结构,使珍珠母具有远超出组分材料的力学性能而被广泛应用于生物材料研究领域^[3-4]。

珍珠贝肉通常指珍珠贝进行珍珠加工后剩余的珍珠贝肉,其含有丰富的蛋白质、糖原、氨基酸、维生素,以及钙、锌、硒等具有特殊生理作用的矿物质^[5-6],主要应用于营养口服液、食品材料、化妆品等领域^[7-9]。此外,珍珠贝肉还含有牛磺酸、活性肽等生物活性物质,具有抗衰老、抗氧化、抗肿瘤、免疫调节、醒酒等生理作用^[10-11]。

珍珠贝肉内存在大型的生殖巢卵,其中存在雌雄

异体共有的精液和卵液,称为珍珠精卵液。利用生物技术去除珍珠精卵液中的大分子蛋白后,萃取得到的具有生物活性的成分为珍珠母液。珍珠母液含有丰富的氨基酸、牛磺酸及多种微量元素(钙、铁、锌、镁、铜等)^[12-13]。

近年来临床上关于珍珠的化学成分及其生物活性方面的研究较多^[14],本研究针对珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的化学成分、生物活性方面的研究进行综述,旨在为推动珍珠的进一步开发利用提供参考。

1 珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的化学成分研究

1.1 珍珠的化学成分 珍珠主要由无机物、有机物和水构成。不同种类及质量的珍珠,化学成分存在一定程度的差异,但差异不大。其中,无机物占91%~96%,主要由结晶的碳酸钙构成的文石、方解石、球文石,其次是碳酸镁、氧化硅、氧化钙、氧化铝及氧化铁等成分;有机物占2.5%~7.0%,主要包括壳角蛋白和各类色素,以及精氨酸、丙氨酸、亮氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸、脯氨酸等17种氨基酸;水占0.5%~2.0%。珍珠含有铜、镁、锰、锌、铁等多种微量元素,还含有少量的糖类、卟啉类、维生素、牛磺酸等^[15]。

▲基金项目:“全国高校黄大年式教师团队”广西中西医基础课程教师团队项目(教育部教师函[2022]2号);广西中医药大学多学科交叉创新团队项目(GZKJ2302);广西名中医传承工作室(桂中医药科教发[2021]6号);中医学广西一流学科(桂教科研[2022]1号);广西海洋药物重点实验室(桂科基字[2022]60号)

第一作者简介:邓亚胜,硕士,住院医师,研究方向:特色方剂的配伍及成药化研究。

通信作者简介:林江,博士,教授,研究方向:海洋药物。



1.2 珍珠母的化学成分 珍珠母的化学成分中,92%以上为碳酸钙和贝壳硬蛋白,有机物仅占5%。珍珠母含有钙、钠、钾、铁、镁、铝、铜、硅等多种无机元素,以及锂、锰、钼、钴、铅等30多种微量元素。其中,贝壳硬蛋白由苏氨酸、甘氨酸、脯氨酸等17种氨基酸组成,含有牛磺酸、鸟氨酸、丝氨酸磷酸酯3种非蛋白质水解产物,珍珠层多糖、磷脂酰乙醇胺、半乳糖神经酰胺、羟基脂肪酸等氧化物,以及丰富的维生素等物质^[1]。

1.3 珍珠贝肉的化学成分 珍珠贝肉含有多种氨基酸、糖蛋白、脂肪酸和多肽,其中氨基酸以牛磺酸为主^[16],约占氨基酸类成分总量的80.6%^[17]。马氏珍珠贝肉所含的糖蛋白以血小板膜糖蛋白为主^[18],所含的脂肪酸以二十二碳六烯酸为主,含量达22.17%,其次是棕榈酸,含量为20.88%^[19]。马氏珍珠贝肉含有的多肽类物质繁多,目前值得深入研究的是具有二肽基肽酶-IV抑制活性且可促进胰岛素抵抗细胞摄取葡萄糖的降糖肽^[20],以及活性相对较高的血管紧张素转化酶抑制活性肽^[21]。

1.4 珍珠母液的化学成分 吴燕燕等^[5]的研究显示,珍珠母液是一种高蛋白、低脂肪的营养液,含有18种氨基酸,且人体所需的8种必需氨基酸占氨基酸总量的35.6%,每100 mL珍珠母液中含有517 mg牛磺酸、7.06 mg 锌、81.1 mg 钙。

2 珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的生物活性研究

2.1 成骨活性及应用于骨组织工程 研究表明,珍珠母的主要成分为碳酸钙,具备骨诱导和骨传导能力,可以促进骨的修复、再生,起到治疗骨损伤和坏死的作用,可以应用于骨质疏松等骨性疾病的防治及骨移植等骨科治疗^[22-23]。黄莹等^[24]采用珍珠母联合颅骨缺损模型兔的富含血小板纤维蛋白制备复合材料,对颅骨缺损模型兔进行骨修复,发现复合材料能够更好地促进新骨的增长,这可能是由于复合材料能够在早期通过释放生长因子促进骨再生,并在后期诱导血管快速再生、促进骨组织矿化,从而加速骨再生进程。Zhang等^[25]通过3D打印技术制作原始珍珠粉和不同浓度珍珠粉的聚己内酯复合骨再生支架,发现珍珠粉浓度与该支架的抗压强度、磷灰石的形成,以及细胞黏附能力、增殖能力和成骨分化能力呈正比。Li等^[26]采用纳米珍珠粉(nano-pearl powder, NPP)将壳聚糖-透明质酸多孔复合支架冷冻干燥,模仿骨组织组成和结构制作出支架,发现该支架的亲水

性和力学稳定性随着NPP含量的增加而增强,NPP含量越多,越有利于MC3T3-E1成骨细胞的增殖和分化。郑斌等^[27]将不同质量浓度的NPP与小鼠骨髓间充质干细胞共培养,以相同质量浓度的纳米羟基磷灰石(nano-hydroxyapatite, NHA)作为对照,作用24 h后对细胞的增殖率、凋亡率及细胞毒性级别进行测定,以分析NPP对小鼠骨髓间充质干细胞活性的影响。结果显示,NPP组骨髓间充质干细胞的毒性检测提示符合生物材料应用标准,且细胞增殖率高于NHA组,细胞凋亡率低于NHA组^[27]。廖军等^[28]的研究显示,纳米淡水珍珠粉组小鼠MC3T3-E1成骨细胞中Runt相关转录因子2、骨桥蛋白与I型胶原蛋白的mRNA表达量高于NHA组,表明纳米淡水珍珠粉对成骨细胞的早期矿化,骨缺损区成骨细胞及营养物质的扩散有重要意义。

2.2 抗氧化活性 李端等^[29]的研究显示,珍珠层粉(以珍珠母为原料精制而成)可显著提高小鼠全血中谷胱甘肽过氧化物酶的活性,且特定剂量下可降低血清过氧化脂质含量和心脏脂褐素含量,提示珍珠母具有一定的抗氧化作用。高秋华等^[30]发现,珍珠母可保护大鼠晶状体内水溶性大蛋白、还原型谷胱甘肽和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的能力,具有一定的抗氧化活性,从而发挥预防白内障的作用。刘鹏等^[31]的研究显示,在过氧化氢诱导的氧化损伤人微血管内皮细胞1模型中,水解珍珠液可以抑制细胞自噬,减轻微血管内皮细胞的氧化损伤,并可以提高SOD活性,降低丙二醛和活性氧簇含量,从而减轻过氧化氢诱导的人微血管内皮细胞1氧化损伤。

2.3 促进成纤维细胞迁移 Li等^[32]的研究显示,在体外愈合模型中,含珍珠提取物(300 μg/mL)的DMEM内的成纤维细胞迁移数量是不含珍珠提取物的DMEM的3倍,表明珍珠提取物可通过促进成纤维细胞的迁移来加速伤口愈合。Jian-Ping等^[33]通过提取珍珠粉的水溶性基质,并将不溶性残留物进行脱矿质分级、冻干、截取等处理,将处理后的产物命名为MR14,发现珍珠粉的MR14、水溶性基质均能促进原代小鼠口腔成纤维细胞增殖、胶原蛋白积累和基质金属蛋白酶组织抑制因子1的产生。杨发明^[34]发现,采用酶法制备的珍珠贝肉的外套膜酶解物,对小鼠皮肤创伤的愈合有促进作用。研究表明,珍珠贝外套膜酶解产物可以促进伤口愈合,抑制炎症,促进成纤维细胞分化和肉芽组织的形成,并可经过转化生长因子β/Smad信号通路调控胶原合成,促进细胞周期蛋白D1及CD31、成纤维生长因子和表皮生长因子的表

达,从而促进伤口愈合,抑制瘢痕生成^[35]。

2.4 改善记忆障碍 Yamagami等^[36]的研究表明,从珍珠层中分离出的硫酸化多糖可通过减轻氧化应激和炎症反应,以及提高脑源性神经营养因子和神经生长因子的表达水平,来改善东莨菪碱引起的记忆障碍。研究显示,珍珠母提取物通过增加过氧化氢酶和SOD的表达来逆转大脑皮层中由淀粉样蛋白- β_{1-40} 引起的脂质过氧化,珍珠层提取物可减轻 β 淀粉样蛋白引起的记忆障碍,还能抑制乙酰胆碱酯酶活性和淀粉样蛋白- β_{1-40} 诱导的tau蛋白磷酸化^[37]。魏伟^[38]发现珍珠母的水提物、醇沉组分可提高老年斑马鱼脑组织的SOD、过氧化氢酶活力及白细胞介素10含量,同时可降低丙二醛、白细胞介素1 β 、肿瘤坏死因子 α 水平,且其提取物可上调星形胶质细胞的胶质纤维酸性蛋白表达量和小胶质细胞CD11b的mRNA表达量,提高脑源性神经营养因子蛋白的分泌与mRNA的表达,上调脑源性神经营养因子高亲和力受体——酪氨酸激酶受体B的表达,提高突触形成标志物——突触素和突触后致密蛋白95的mRNA表达量。

2.5 抗惊厥和镇静催眠 Zhang等^[39]分析珍珠粉、珍珠母及其相应蛋白提取物对大鼠脑组织中5-羟色胺和 γ -氨基丁酸含量的影响,实验结果显示经上述药物处理后大鼠脑组织的5-羟色胺表达下调, γ -氨基丁酸表达上调,说明珍珠粉、珍珠母具有抗惊厥和镇静催眠的作用。

2.6 抗炎和抗凋亡作用 海洋贝壳富含壳角质和碳酸钙,具有抗炎、抗过敏、抗补体等生物活性,能抑制组织中蛋白酶、透明质酸酶的活性,起到抗炎消肿的作用^[40]。Yang等^[41]探讨珍珠提取物对低剂量紫外线照射诱导的人角质形成细胞没有毒性作用,可以减轻人角质形成细胞的炎症反应,减少其凋亡。

2.7 增强免疫力 杨明晶等^[42]发现特定剂量的水溶性珍珠粉可以加强小鼠体内的淋巴细胞增殖能力、碳廓清能力、产生抗体生成细胞的能力、腹腔巨噬细胞吞噬能力,具有增强免疫力的作用。兰太进等^[43]的研究显示,水解南珠片能够增强免疫功能低下小鼠的固有免疫、细胞免疫和体液免疫功能。

2.8 抗衰老 王菁等^[44]发现,结果表明,使用珍珠提取液对过氧化氢损伤细胞进行预处理,可减轻过氧化氢对细胞的损害,其作用机制可能与珍珠提取液具有清除自由基的作用有关。

2.9 预防皮肤光老化 韩丝银等^[45]发现,南珠粉可使小鼠的光老化皮肤组织中活性氧簇、丙二醛、黑色素、基质金属蛋白酶1的含量和酪氨酸酶的活性下

降,使SOD、过氧化氢酶的活性和I型胶原蛋白表达量升高,起到减轻光老化的作用。

2.10 解酒及对酒精性肝损伤的防治作用 韩丽娜等^[46]发现,珍珠贝肉中的牛磺酸、糖原和氨基酸可以协同发挥醒酒的作用。王利霞等^[47]采用珠母贝肉各种提取物对急性酒精性肝损伤小鼠模型进行处理,发现珠母贝肉水提物、蛋白酶解超滤组分F-I(分子量 $<3\text{ ku}$)具有显著的解酒作用,同时对酒精性肝损伤起到改善作用,其作用机制可能是与提高酒精代谢酶乙醇脱氢酶、乙醛脱氢酶的活性及抗氧化指标SOD、还原型谷胱甘肽的水平,降低血清代谢酶AST、ALT活性及脂质代谢中丙二醛、三酰甘油的含量有关。

2.11 保护血管内皮细胞 岑妍慧等^[48]的研究表明,水解南珠液能促进体外培养的人微血管内皮细胞的增殖和迁移,并可促进其分泌一氧化氮及抑制其分泌活性氧簇,在保护内皮细胞功能方面可能具有积极的作用。

2.12 抗骨质疏松 Xu等^[49]分析由珍珠层提取纯化的珠光蛋白N16对糖皮质激素诱导的骨质疏松大鼠模型的影响,结果表明,经N16治疗后,大鼠骨密度和股骨极限负荷明显增加,N16在骨质疏松大鼠模型中表现出促进成骨和抑制骨吸收的双重调节作用。

2.13 美白作用 珍珠提取物可通过抑制内皮素的促B16黑色素瘤细胞生长作用,减少黑色素合成,降低酪氨酸酶活性,下调酪氨酸酶和酪氨酸酶相关蛋白1的mRNA表达水平,从而发挥美白效果^[50-51]。

2.14 降糖作用 李佳芸等^[20]发现,采用酶法制备的马氏珍珠贝软体降糖肽可通过抑制二肽基肽酶-IV的活性及减少胰岛素抵抗,发挥降糖作用。

2.15 降压作用 李姣等^[21]发现,采用超滤及Sephadex G-25凝胶色谱法分离马氏珍珠贝肉,获得的酶解物为高活性的血管紧张素转化酶抑制组分F2和F3肽序列,间接说明珍珠贝肉来源的活性肽具有降压作用。

2.16 抑菌作用 刘鹏等^[52]采用超声破碎联合酸解法制备合浦珍珠提取物,并采用牛津杯法及96孔法检测合浦珍珠提取物对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及最小抑菌浓度,结果表明,该提取物对金黄色葡萄球菌具有显著的抑菌活性,最小抑菌浓度为 0.94 mg/mL ,说明该提取物具有明显的抑菌活性。

2.17 其他生物活性 黄秀芳^[53]观察珍珠粉对会阴侧切缝合术后切口感染的预防性治疗临床效果,结果显示,珍珠粉可以降低切口感染率,提高切口愈合优良率,减轻产妇术后切口疼痛,治疗效果显著。居明

秋等^[54]的研究显示,珍珠母具有中和胃酸的作用,1 g 珍珠母粉可以中和 144.62 ~ 146.41 mL 浓度为 0.1089 mol/L 的人工胃酸,对胃溃疡患者的治疗效果优于部分碱性抑酸药物。张琳等^[55]通过醋酸铅溶液腹腔灌注大鼠建立铅中毒模型,而给予 NPP 处理后铅中毒大鼠血清 SOD 活性降低和丙二醛含量升高。

3 小结与展望

目前珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液被广泛应用于医疗保健、生物材料、化妆品等多个领域,是近年来的研究热点,其活性成分包括微量元素、氨基酸、维生素、多糖、多肽等。因其化学成分较多,故具有多种生物活性,包括成骨活性、抗氧化活性、促进成纤维细胞迁移、改善记忆障碍、抗惊厥和镇静催眠、抗炎和抗凋亡、增强免疫力等多种作用。在目前研究中,有关促进成纤维细胞迁移、成骨活性、增强免疫力、抗氧化活性等方面的研究更为深入,其中促进成纤维细胞迁移的作用不仅有助于体表皮皮肤破溃疮疡的治疗,还可以促进消化性溃疡等溃疡面的修复。近几年,珍珠贝肉的解酒作用及防治酒精性肝损伤的作用相关研究也逐渐增多,饮酒对肝脏造成的损伤较为普遍,因此针对此方面的研究具有很大的意义。珍珠等的美容、抗衰老作用是近几十年的研究热点,研究价值较高,值得更深层次的挖掘。珍珠、珍珠母、珍珠贝母、珍珠母液还具有良好的促进成骨作用,故在骨组织工程中的应用研究较为广泛。此外,因珍珠、珍珠母、珍珠贝母、珍珠母液具有良好的力学性能,近些年关于珍珠、珍珠母、珍珠贝母、珍珠母液的仿生合成材料亦是研究热点。

目前临床上珍珠提取物、珍珠母、珍珠贝母、珍珠母液的生物活性应用较广泛,而发挥作用的成分多数为多糖、多肽、氨基酸、脂肪酸等,因此未来仍需要对珍珠、珍珠母、珍珠贝母、珍珠母液的其他成分进行进一步的提取纯化,这也将成为未来的研究热点。此外,当前对于珍珠、珍珠母、珍珠贝肉、珍珠母液的功效作用机制研究仍不够深入,部分物质发挥作用的信号通路、作用靶点等仍不明确,今后仍需要不断深入探索。

参 考 文 献

[1] Pei J, Wang Y, Zou X, et al. Extraction, purification, bioactivities and application of matrix proteins from pearl powder and nacre powder: a review [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2021, 9: 649665.

[2] 何锦锋, 邓 旗, 蒲月华, 等. 珍珠粉与珍珠层粉的氨基酸组成分析 [J]. 食品工业, 2016, 37(4): 270 - 273.

[3] 卢子兴, 崔少康, 杨振宇. 珍珠母及其仿生复合材料力学行为的研究进展 [J]. 复合材料学报, 2021, 38(3): 641 - 667.

[4] 潘 慧, 温从众, 李 苹. 珍珠母的结构与力学性能 [J]. 信息记录材料, 2020, 21(11): 19 - 20.

[5] 吴燕燕, 李来好, 陈培基, 等. 马氏珍珠贝肉营养液的研制及营养评价 [J]. 上海水产大学学报, 2000, 9(4): 313 - 318.

[6] 章超桦, 吴红棉, 洪鹏志, 等. 马氏珠母贝肉的营养成分及其游离氨基酸组成 [J]. 水产学报, 2000, 24(2): 180 - 184.

[7] 王安凤. 合浦珠母贝肉调味料的制备及风味研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.

[8] 郑惠娜, 曾小勤, 廖建华, 等. 利用马氏珠母贝肉煮汁液开发调味酱 [J]. 中国调味品, 2012, 37(6): 61 - 64.

[9] 詹蔚娟, 许 锋, 陈 忻. 马氏珠母贝在化妆品中的应用 [J]. 广东化工, 2017, 44(18): 105, 102.

[10] 赵振宇, 张韻慧. 牛磺酸药理作用的研究新进展 [J]. 中国医院药学杂志, 2009, 29(16): 1390 - 1393.

[11] 何晓芳, 徐世永, 邓凯东, 等. 牛磺酸的生理功能及研究进展 [J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2022, 42(1): 40 - 46.

[12] 郭云飞, 蔡 捷, 陈汉东, 等. 合浦马氏珍珠母液生物活性成分的检测 [J]. 蛇志, 2011, 23(3): 242 - 243, 260.

[13] 苏承武, 蔡 捷, 李小平, 等. 天然珍珠母液及其配方产品实验结果的分析 [J]. 蛇志, 2012, 24(2): 111 - 113.

[14] 张 恩, 邢 铭, 彭明生. 珍珠的成分特点研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(4): 381 - 386.

[15] 欧阳茜茜, 杨 磊, 罗剑秋, 等. 珍珠的成分、结构及呈色机理研究进展 [J]. 广州化工, 2012, 40(12): 23 - 26.

[16] El Idrissi A. Taurine regulation of neuroendocrine function [J]. Adv Exp Med Biol, 2019, 1155: 977 - 985.

[17] 钱俊青, 陈 浚, 任建华. 珍珠贝母体中牛磺酸的提取 [J]. 氨基酸和生物资源, 2000, 22(1): 27 - 30.

[18] 李雨哲. 马氏珍珠贝糖蛋白提取纯化及其抗氧化活性的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2011.

[19] 方富永, 黄 甫, 邓陈茂, 等. 企鹅珍珠贝和马氏珠母贝软体部脂肪酸组成 [J]. 水产科学, 2007, 26(7): 384 - 386.

[20] 李佳芸, 王欣之, 韦源青, 等. 马氏珍珠贝软体酶法制备降糖肽的工艺优化及肽段分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(22): 202 - 211.

[21] 李 姣, 苏继磊, 陈 敏, 等. 马氏珍珠贝肉蛋白水解特征及其 ACE 抑制肽的筛选 [J]. 食品科学, 2022, 43(4): 119 - 126.

[22] Li L, Wang P, Hu K, et al. PFMG1 promotes osteoblast differentiation and prevents osteoporotic bone loss [J]. FASEB J, 2018, 32(2): 838 - 849.

- [23] Green DW, Kwon HJ, Jung HS. Osteogenic potency of nacre on human mesenchymal stem cells [J]. *Mol Cells*, 2015, 38(3):267-272.
- [24] 黄莹, 马福娟, Al-Aroomi AM, 等. 珍珠层粉复合富血小板纤维蛋白对颅骨缺损模型兔的修复作用[J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2021, 47(5):1162-1170.
- [25] Zhang X, Du X, Li D, et al. Three dimensionally printed pearl powder/poly-caprolactone composite scaffolds for bone regeneration [J]. *J Biomater Sci Polym Ed*, 2018, 29(14):1686-1700.
- [26] Li X, Xu P, Cheng Y, et al. Nano-pearl powder/chitosan-hyaluronic acid porous composite scaffold and preliminary study of its osteogenesis mechanism [J]. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2020, 111:110749.
- [27] 郑斌, 徐普, 李晓妮, 等. 纳米珍珠粉对小鼠骨髓间充质干细胞活性影响研究[J]. *中国实用口腔科杂志*, 2019, 12(1):26-30.
- [28] 廖军, 徐普. 纳米淡水珍珠粉对成骨相关基因表达的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(27):4325-4329.
- [29] 李端, 徐翔, 吴佩君, 等. 水解珍珠层粉在小鼠体内的抗氧化作用[J]. *中成药*, 1996, 18(12):30-31.
- [30] 高秋华, 黄开勋, 杨祥良, 等. 珍珠层粉水解液预防白内障的作用机理探讨[J]. *广东药学院学报*, 1999(3):167-170, 173.
- [31] 刘鹏, 林江, 贾微, 等. 水解南珠液抑制细胞自噬减轻人微血管内皮细胞氧化损伤[J]. *生物技术*, 2020, 30(4):389-396.
- [32] Li YC, Chen CR, Young TH. Pearl extract enhances the migratory ability of fibroblasts in a wound healing model [J]. *Pharm Biol*, 2013, 51(3):289-297.
- [33] Jian-Ping D, Jun C, Yu-Fei B, et al. Effects of pearl powder extract and its fractions on fibroblast function relevant to wound repair [J]. *Pharm Biol*, 2010, 48(2):122-127.
- [34] 杨发明. 珍珠贝外套膜酶解产物促进小鼠皮肤软组织创伤愈合作用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020.
- [35] 杨发明, 林海生, 秦小明, 等. 珍珠贝外套膜酶解产物促进小鼠皮肤创伤愈合作用研究[J]. *大连海洋大学学报*, 2019, 34(4):492-498.
- [36] Yamagami H, Fuji T, Wako M, et al. Sulfated polysaccharide isolated from the nacre of pearl oyster improves scopolamine-induced memory impairment [J]. *Antioxidants (Basel)*, 2021, 10(4):505.
- [37] Yotsuya Y, Hasegawa YSH. Nacre extract from pearl oyster attenuates amyloid beta-induced memory impairment [J]. *J Nat Med*, 2022, 76(2):419-434.
- [38] 魏伟. 马氏珠母贝肉改善老年斑马鱼学习记忆活性及功效成分的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2021.
- [39] Zhang JX, Li SR, Yao S, et al. Anticonvulsant and sedative-hypnotic activity screening of pearl and nacre (mother of pearl) [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 181:229-235.
- [40] 郭雪申, 张云丽, 于爽, 等. 湿疹膏治疗湿疹的药理作用研究[J]. *中国海洋药物*, 2007, 26(4):45-47.
- [41] Yang YL, Chang CH, Huang CC, et al. Anti-inflammation and anti-apoptosis effects of pearl extract gel on UVB irradiation HaCaT cells [J]. *Biomed Mater Eng*, 2015, 26(Suppl 1):S139-S45.
- [42] 杨明晶, 吕中明, 俞萍. 水溶性珍珠粉对小鼠免疫调节功能的影响[J]. *江苏预防医学*, 2005, 16(3):65-67.
- [43] 兰太进, 林江, 莫明月, 等. 水解南珠片对免疫低下小鼠免疫功能的影响[J]. *基因组学与应用生物学*, 2017, 36(5):1811-1817.
- [44] 王菁, 杨安全, 陈志雄, 等. 珍珠提取液抑制过氧化氢诱导人皮肤成纤维细胞凋亡的研究[J]. *药物生物技术*, 2018, 25(5):402-405.
- [45] 韩丝银, 吴永沛, 王映彪, 等. 南珠粉预防小鼠皮肤光老化的作用及其机制研究[J]. *时珍国医国药*, 2021, 32(2):308-312.
- [46] 韩丽娜, 秦小明, 林华娟, 等. 马氏珠母贝肉的醒酒作用机理初探[J]. *食品科技*, 2010, 35(10):180-183.
- [47] 王利霞, 章超桦, 高加龙, 等. 马氏珠母贝肉提取物对小鼠急性酒精性肝损伤的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2021, 41(6):99-107.
- [48] 岑慧慧, 林湧, 林江, 等. 水解南珠液能促进人微血管内皮细胞的增殖和迁移[J]. *中国组织工程研究*, 2018, 22(16):2564-2569.
- [49] Xu ZY, Liu YL, Lin JB, et al. Preparative expression and purification of a nacreous protein N16 and testing its effect on osteoporosis rat model [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 111:440-445.
- [50] Wang J, Chen ZX, Lu YJ, et al. Soluble pearl extract provides effective skin lightening by antagonizing endothelin [J]. *J Cosmet Dermatol*, 2021, 20(8):2531-2537.
- [51] 金佳颖, 陈露, 王欣之, 等. 珍珠灵芝复配物美白功效与机理初步研究[J]. *日用化学工业*, 2022, 52(2):166-171.
- [52] 刘鹏, 刘瑜倩, 兰太进, 等. 合浦珍珠提取物对金黄色葡萄球菌的体外抑菌活性及稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(14):108-113.
- [53] 黄秀芳. 珍珠粉预防性治疗产妇产会阴侧切缝合术后切口感染的临床效果[J]. *临床合理用药杂志*, 2019, 12(30):97-98.
- [54] 居明秋, 金玲, 居明乔. 珍珠母中和胃酸酸量的测定[J]. *中国海洋药物*, 2000, 19(6):28-29.
- [55] 张琳, 谢建英. 纳米珍珠粉驱铅作用研究[J]. *广东微量元素科学*, 2012, 19(1):21-24.

(收稿日期:2023-03-12 修回日期:2023-05-19)