

· 研究进展 ·

珍珠粉促进组织修复的化学成分 和药理作用研究进展

吴宇晴¹, 陈韵莉¹, 张朝晖^{1,2*}

1. 广东药科大学, 广东 广州 510006; 2. 天津中医药大学第二附属医院, 天津 300250

摘要 珍珠粉是一味具有收敛性质的传统中药材, 具有解毒生肌、安神醒目、祛浊消浊的功效。研究发现, 珍珠粉富含碳酸钙、多种氨基酸、微量元素以及多肽等生物活性成分。在组织修复方面, 珍珠粉具有促进细胞增殖与分化和胶原合成、抗菌、抑制炎症因子的释放、抗氧化、成骨活性等药理作用, 具有广泛的应用前景。本文对珍珠粉在组织修复中的化学成分和药理作用进行综述, 以验证其在创面修复中的安全性和有效性, 为临床用药提供参考。

关键词 珍珠粉; 组织修复; 化学成分; 药理作用

中图分类号: R282.76

文献标识码: A

文章编号: 1002-2392(2026)09-0121-06

DOI: 10.19664/j.cnki.1002-2392.260192

珍珠是一种天然生物矿物质, 由淡水贻贝(如海蚌属)或海珍珠贝(如珠母贝属)珍珠囊的表皮细胞分泌。其味甘、咸、寒, 归心、肝经, 具有解毒生肌、安神醒目、祛浊消浊的功效^[1]。为了提高其在药用方面的生物利用率, 会将天然的珍珠碾细后, 采用水飞法制成最细粉, 即珍珠粉来使用^[2]。一千多年来, 珍珠粉在药用、保健食用、化妆品方面得到了极大的利用^[3], 早在宋朝出土的装有女性胭脂的瓷盒中就发现有白色粉末, 质地与优质淡水珍珠粉类似^[4]。明代李时珍在《本草纲目》中提到, 珍珠粉可以滋润肌肤、祛斑美白^[5]。最近研究还表明, 珍珠粉具有多种功能, 包括伤口愈合和皮肤治疗、成骨活性、抗氧化和抗衰老活性、抗惊厥、抗纤维化和抗炎作用等^[6]。此外, 珍珠在现代临床中还被用于治疗失眠和焦虑^[7-8]。

随着科技的发展, 珍珠粉在组织修复中的作用逐渐成为研究的焦点。然而, 珍珠的活性成分、药理作用和临床疗效还有待进一步科学系统的研究^[9]。本文旨在综述珍珠粉在组织修复中的化学成分和药理作用的最新研究进展, 探讨其在现代医学中的应用潜力, 为珍珠粉的现代化提供科学依据。

1 珍珠粉的化学成分

多项研究表明, 珍珠含有丰富的钙(约占重量的90%)和氨基酸(氨基酸含量 $\geq 1.10\%$), 还有微量元素和一些生物活性成分等^[10-11]。以上这些成分是珍珠粉发挥药理作用的主要有效成分。

1.1 碳酸钙

碳酸钙是一种广泛存在于自然界的一种无机化合物, 天然钙化的外壳有保护机体的作用, 同时也是抵御细菌感染的物理屏障^[12]。珍珠粉的主要成分是碳酸钙, 碳酸钙又以钙盐为主, 可以减轻炎症、减少感染^[13]。高含量的 Ca^{2+} 会创造一个相对的高渗环境, 使细胞脱水死亡, 达到一定的抗菌功能, 有利于预防组织的水肿, 并使肉芽组织更好地生长^[14]。具体信息见表1。

表1 珍珠粉中的碳酸钙

化合物名称	分子式	分子量	各元素比重/%			文献
			C	Ca	O	
碳酸钙	CaCO_3	100.09	12.00	40.04	47.96	[15]

收稿日期: 2025-03-13 修回日期: 2025-10-03

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1709303); 天津市名中医传承工作室建设项目(津卫中[2022]303号); 天津中医药大学中医疮疡研究所建设项目(津中医科研[2022]6号); 天津市卫生健康委员会中医中西医结合研究所建设项目(津卫中[2024]55号)

作者简介: 吴宇晴(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 中医药防治疮疡病及周围血管病基础与临床研究。

*** 通信作者**: 张朝晖(1964-), 男, 博士, 教授, 主任医师, 博士生导师, 研究方向: 中医药防治疮疡病及周围血管病基础与临床研究。

1.2 氨基酸

在人体中,氨基酸参与组织蛋白质的合成,可转化为脂肪储存能量,氧化成二氧化碳和水提供能量,或转化为酶、激素、抗体和酸参与机体调节液体,对于新陈代谢和生长至关重要^[16]。珍珠粉中大概含有 15 ~ 18 种氨基酸^[17],包括 7 种人体必需氨基酸(赖氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和缬氨酸)和 10 种非必需氨基酸(天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、半胱氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸和精氨酸)^[18]。研究^[19]发现,淡水珍珠和海水珍珠的氨基酸含量稍有不同,通过主成分分析(Principal Component Analysis,PCA),如果亮氨酸与苯丙氨酸的面积比(Leu/Phe)的比值 > 1.8 被认为是海水珍珠;比值在 1.5 ~ 1.8 的样本被认为是淡水珍珠。Zhang 等^[20]采用超高效液相色谱(UPLC)结合 6-氨基喹啉基-N-羟基琥珀酰亚胺基氨基甲酸酯(AQC)柱前衍生法测定了珍珠粉中氨基酸组成。Zhang 等^[19]分析了珍珠粉中主要的 14 种氨基酸的含量。珍珠粉中氨基酸化合物的具体信息见表 2。

表 2 珍珠粉中的氨基酸

编号	化合物名称	分子式	含量/%	文献
1	苏氨酸(Thr)	C ₄ H ₉ NO ₃	0.009 ~ 0.031	[19]
2	脯氨酸(Pro)	C ₅ H ₉ NO ₂	0.010 ~ 0.044	[19]
3	酪氨酸(Tyr)	C ₉ H ₁₁ NO ₃	0.012 ~ 0.065	[19]
4	异亮氨酸(Lle)	C ₆ H ₁₃ NO ₂	0.013 ~ 0.031	[19]
5	缬氨酸(Val)	C ₅ H ₁₁ NO ₂	0.017 ~ 0.046	[19]
6	赖氨酸(Lys)	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂	0.021 ~ 0.054	[19]
7	谷氨酸(Glu)	C ₅ H ₉ NO ₄	0.025 ~ 0.069	[19]
8	精氨酸(Arg)	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂	0.028 ~ 0.093	[19]
9	苯丙氨酸(Phe)	C ₉ H ₁₁ NO ₂	0.031 ~ 0.079	[19]
10	亮氨酸(Leu)	C ₆ H ₁₃ NO ₂	0.039 ~ 0.106	[19]
11	丝氨酸(Ser)	C ₃ H ₇ NO ₃	0.039 ~ 0.119	[19]
12	天冬氨酸(Asp)	C ₄ H ₇ NO ₄	0.048 ~ 0.115	[19]
13	甘氨酸(Gly)	C ₂ H ₅ NO ₂	0.091 ~ 0.291	[19]
14	丙氨酸(Ala)	C ₃ H ₇ NO ₂	0.176 ~ 0.429	[19]

1.3 微量元素

珍珠粉蕴含铁、铝、锌等多种对人体有益的微量元素^[21],这些元素有助于提高人体的免疫系统,为机体正常生长、发育和生理机能所需要^[22-23]。如锌是多种重要酶的构成,参与皮肤修复与免疫调节,能加快皮肤和皮下组织在创面愈合中的速度^[24-25];铜可以通过催化人体代谢过程,参与骨骼的形成,还可以促进血红蛋白合成^[26-27]。不同颜色的珍珠在微量元素的组成上

会存在差异^[28],但其药理活性的具体差异仍需进一步研究。李尚蓉等^[29]收集我国山东、浙江、四川等地的珍珠,采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法和电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)法检测出了珍珠中含有的 15 种微量元素,具体信息见表 3。

表 3 珍珠粉中的微量元素

编号	微量元素名称	离子式	含量/(mg/kg)	文献
1	钙(Ca)	Ca ²⁺	37 800 ~ 42 300	[29]
2	钠(Na)	Na ⁺	2 520 ~ 3 280	[29]
3	锰(Mn)	Mn ²⁺ 或 Mn ⁴⁺	328 ~ 891	[29]
4	锶(Sr)	Sr ²⁺	267 ~ 397	[29]
5	钡(Ba)	Ba ²⁺	55.1 ~ 97	[29]
6	镁(Mg)	Mg ²⁺	19.2 ~ 67.5	[29]
7	铁(Fe)	Fe ²⁺ 或 Fe ³⁺	5.0 ~ 127	[29]
8	锌(Zn)	Zn ²⁺	0 ~ 6.6	[29]
9	砷(As)	As ³⁻ 或 As ⁵⁻	0 ~ 5.40	[29]
10	铬(Cr)	Cr ³⁺ 或 Cr ⁶⁺	0 ~ 4.90	[29]
11	镍(Ni)	Ni ²⁺	0 ~ 3.5	[29]
12	铜(Cu)	Cu ⁺ 或 Cu ²⁺	0 ~ 1.0	[29]
13	铅(Pb)	Pb ²⁺ 或 Pb ⁴⁺	0 ~ 0.84	[29]
14	钛(Ti)	Ti ²⁺ 或 Ti ⁴⁺	0 ~ 0.49	[29]
15	汞(Hg)	Hg ₂ ²⁺ 或 Hg ²⁺	0 ~ 0.27	[29]

1.4 其他成分

珍珠粉还含有少量生物活性成分,主要包括蛋白质、多肽、糖蛋白、几丁质、脂质以及色素等^[30]。Chiu 等^[31]发现珍珠粉中的蛋白质和肽具有较强的抗氧化性,能够减轻组织损伤;糖蛋白也被证明有抗氧化、抗凝血等生物活性,有利于伤口愈合^[32];而几丁质的主要衍生物壳聚糖(Chitosan,CS)具有生物相容性、抗菌特性和生物降解性,由几丁质和 CS 制成的纤维通常作为可生物降解的缝合线和伤口敷料成分^[33]。另外,脂质如磷脂、鞘脂和神经酰胺,在膜结构、细胞信号传导和组织修复中起着至关重要的作用^[34]。Zhang 等^[20]从珍珠粉中提取并分析出不同类型的蛋白质,包括水溶性蛋白、酸溶性蛋白等。具体信息见表 4。

表 4 珍珠粉中的蛋白质

编号	蛋白质名称	英文名称	文献
1	珍珠水溶性蛋白	Pearl water-soluble protein	[31]
2	珍珠酸溶性蛋白	Pearl acid-soluble protein	[31]
3	珍珠角壳蛋白	Pearl conchiolin protein	[31]

2 珍珠粉在组织修复中的药理作用

珍珠粉中的不同成分可以提供皮肤的修复组织的营养需求^[35],这些成分具有协同作用,对组织修复产

生积极的影响。

2.1 促进细胞增殖与分化和胶原蛋白合成

珍珠粉在组织修复中的作用首先体现在其对皮肤细胞增殖和迁移的促进作用。研究表明,珍珠粉能够显著增加皮肤细胞的增殖和迁移能力,同时促进胶原蛋白的合成和皮肤血管生成^[36]。这一作用主要通过其含有的多种氨基酸(如甘氨酸、丙氨酸、精氨酸等)和微量元素(如锌、硒、铜等)实现,这些成分能够有效调节成纤维细胞的生理功能,从而推动组织修复的进程^[37]。成纤维细胞可以修复组织并维持细胞外基质稳态,在伤口愈合过程中,从炎症反应到组织重塑各个阶段都承担了重要职责^[38]。它不仅能够分泌胶原蛋白、纤维连接蛋白等细胞外基质成分,还能为伤口提供充足的营养和氧气,加速愈合过程^[39]。

胶原蛋白是皮肤结构的主要组成部分,对于维持皮肤的弹性和强度至关重要。在组织重建过程中,I型胶原蛋白与Ⅲ型胶原蛋白共同构建坚实的支架,促进伤口愈合^[40]。Luo等^[6]研究发现,珍珠粉的水溶性基质(Water-Soluble Matrix, WSM)、酸溶性基质(Acid-Soluble Matrix, ASM)和酸不溶性基质(Acid-Insoluble Matrix, AIM)组分中含有胶原样结构的贝壳基质蛋白(Shell Matrix Protein, SMP Hic52)和两个胶原 $\alpha-1(I)$ 链样蛋白。并且还鉴定出4个带丝结构域的I型角蛋白和2个带丝结构域的Ⅱ型角蛋白,这些珍珠类胶原蛋白为血液凝固和细胞黏附提供了支架。在此基础上,纳米晶化技术能够提高珍珠粉有效成分的溶出度、疗效和生物安全性,同时增加Ⅲ型胶原与I型胶原的比例,从而进一步增强珍珠粉的治疗效果^[17]。

这些作用为伤口愈合创造了一个更为有利的微环境,特别是在慢性难愈性创面(如糖尿病足溃疡、压疮等)的治疗中显示出良好的效果^[41-42]。具体而言,在压疮治疗中,珍珠粉与马应龙麝香痔疮膏联合时,通过“抗菌+促愈合”双重机制,总有效率提升至94.87%,愈合时间缩短至约14 d;珍珠粉与甲硝唑联合时,纳米珍珠粉的促肉芽组织生成作用弥补了甲硝唑缺乏促愈合的缺陷,使伤口面积60 d内减少超75%^[9,43]。

2.2 抗菌

珍珠粉作为一种天然的生物材料,具有一定的抗菌特性^[44]。它通过抑制感染、屏障构建、免疫调节多维度协同,直接推动伤口修复进程。

研究表明,珍珠提取物对多种病原菌具有显著的抑制作用,可以有效抑制病原体定植,为组织修复提供关键的无菌条件。例如,珍珠提取物对肺炎链球菌、溶血性链球菌和奈瑟菌具有较强的抗菌作用^[45],对金黄

色葡萄球菌的抗菌圈可达到 $(17.861 \pm 0.948) \text{ mm}$ ^[46]。另外,从珍珠粉中提取的珍珠肽不仅具有抗氧化性能,还表现出显著的抗菌活性^[47]。当珍珠粉中的微量元素铜离子浓度 $\geq 37 \mu\text{mol/L}$ 时,通过干扰细菌生理过程和破坏细菌细胞结构,抗菌活性会显著增强^[48]。铜离子还可以与氨基酸(如半胱氨酸)相互作用,进一步增强抗菌效果,因为半胱氨酸中的硫醇基团可以还原铜离子,保持其抗菌活性,从而形成一种高效的抗菌系统^[49]。珍珠粉含有其他氨基酸,如酪氨酸超分子水凝胶及丝氨酸衍生物也可通过抑制细菌代谢或破坏膜结构发挥抗菌作用^[50-51]。病原体清除可减少感染性炎症反应,避免组织二次损伤,为后续细胞增殖与基质重建奠定基础。

珍珠粉还可以通过多重屏障构建与免疫调控,限制细菌侵袭并加速修复。其一,碳酸钙可在表面形成物理屏障,阻碍细菌的附着和增殖,从而有效阻止细菌入侵和感染。其二,是对宿主细胞的调节,珍珠粉中的成分能够刺激成纤维细胞的有丝分裂,增强细胞之间的黏附力,并促进胶原沉积^[52]。这些作用有助于形成针对微生物感染的物理屏障,限制细菌的扩散与侵袭^[53-54]。其三,珍珠粉能够抑制金属蛋白酶组织抑制因子(Tissue Inhibitors of Metalloproteinases, TIMPs)-1的活性,从而相对增强基质金属蛋白酶(Matrix Metalloproteinases, MMPs)的活性^[55]。MMPs活性的增强可以降解细菌周围的细胞外基质成分,破坏细菌的黏附位置,使细菌难以在组织中稳定存活^[56]。同时,MMPs活性的改变还可能影响细胞因子和趋化因子的释放与活性,进而调节免疫细胞的功能,帮助免疫细胞更好地识别、吞噬和杀伤细菌,实现抗菌作用,促进修复进程^[57]。

珍珠粉通过发挥抗菌作用进而促进组织修复在临床实践中得到了广泛应用。例如,黄秀芳^[58]的研究表明,使用颗粒细小的珍珠粉可以保护创面,它能够减少对手术切口的刺激,并在切口处形成保护层,从而杜绝外部细菌的侵入,降低感染率。在压疮这种慢性创面治疗中,将珍珠粉与天然蜂蜜混合物涂抹于创面,通过杀菌与促上皮双重作用来加速愈合^[14]。

2.3 抑制炎症因子释放

珍珠粉抑制炎症因子释放的作用主要归功于其丰富的活性成分,如珍珠粉含有的精氨酸能够通过促进一氧化氮的生成,改善局部血液循环,减少炎症介质的释放,从而加速伤口愈合^[59]。同时,锌和硒能够增强抗氧化酶的活性,减少自由基对细胞的损伤,进一步促进组织修复^[60]。这些成分通过调节免疫系统,减轻炎症反应,从而有助于缓解炎症症状。研究^[61]显示,珍

珠粉成分能够减少炎症介质(如前列腺素 E2、白细胞介素-6 等)的释放,对过氧化氢和紫外线 B 诱导的人角质形成细胞(Human Keratinocytes, HaCaT)损伤具有保护作用,可以减少炎症介质的释放和外界有害物质的侵入,减轻炎症的损伤。

珍珠粉还展现出良好的细胞相容性,实验研究表明,将珍珠碎片植入动物组织后,未观察到明显的炎症反应,这表明珍珠粉在生物体内具有良好的耐受性和安全性^[42]。蔡松雨等^[62]研究发现,珍珠发酵液通过抑制炎症因子(如 IL-8、IL-1 β 和 KLK7)的分泌,显著减轻脂多糖(LPS)诱导的 HaCaT 炎症损伤。珍珠粉的加入进一步增强了发酵液的抗炎作用,可能是由于珍珠粉中的活性成分与木蹄层孔菌发酵液中的抗炎成分协同作用的结果。

2.4 抗氧化

研究证实,珍珠粉中的缬氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、色氨酸和半胱氨酸等疏水氨基酸具有强大的清除自由基的能力^[31]。这些氨基酸不仅能够破坏微生物的细胞膜和蛋白质等生物大分子,导致微生物死亡,还可以减轻自由基引起的溶解和对红细胞膜脂质/蛋白质的氧化损伤,从而保护机体免受自由基相关疾病的侵袭^[63]。

珍珠粉中含有丰富的氨基酸和矿物质,这些成分能够显著提高机体的总抗氧化能力、抗氧化活性、总硫醇和谷胱甘肽含量,同时抑制脂质过氧化物产物硫代巴比妥酸反应物(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)的生成^[31]。此外,珍珠粉中的微量元素(钙、镁、硒)作为抗氧化酶的辅助因子,也有利于抗氧化活性^[64]。谷胱甘肽作为一种重要的内源性抗氧化剂,能够直接中和自由基,减少氧化应激对细胞的损伤;珍珠粉中的微量元素则进一步增强了其抗氧化活性。

珍珠粉的抗氧化作用还与其能够调节细胞内抗氧化防御系统密切相关。研究表明,珍珠粉可以促进抗氧化酶(如超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等)的表达和活性,从而增强细胞对自由基的清除能力,维持细胞内氧化还原平衡^[65]。超氧化物歧化酶能够将超氧阴离子转化为过氧化氢,而过氧化氢酶则进一步将过氧化氢分解为水和氧气,从而减少自由基对细胞的损伤。自由基清除可减少氧化应激对组织的损伤,避免细胞凋亡和炎症反应加剧,为后续细胞增殖与基质重建奠定基础。

2.5 成骨活性

珍珠粉通过多靶点的成骨作用促进骨修复与再生^[66-69],一方面提供钙、磷等必需矿物质,另一方面通

过调控细胞信号通路发挥作用。研究^[66]表明,水溶性纳米珍珠粉可通过激活 MEK/ERK 信号通路增强自噬,进而促进成骨细胞分化。所含钙成分不仅能作为基质矿化的原料,还可刺激 MC3T3-E1 细胞分化,显著上调骨桥蛋白、I 型胶原蛋白 mRNA 和 Runt 相关转录因子(Runt-related transcription factor 2, Runx2)的蛋白表达水平,并提高碱性磷酸酶(Alkaline Phosphatase, ALP)活性,从而推动充质干细胞向成骨细胞分化;此外,珍珠中的 WSM 也被证实可促进 MC3T3-E1 细胞分化并加速基质矿化。

珍珠粉的骨诱导能力与其晶体物理结构密切相关,其文石晶体的有序排列可模拟天然骨基质^[66]。近年来,珍珠粉被广泛应用于骨组织工程支架的构建, Yang 等^[36]设计了一种负载血管内皮生长因子(VEGF)的新型珍珠粉混合鱼明胶甲基丙烯酸酯水凝胶支架。这种复合支架结合了珍珠粉的成骨作用和 VEGF 的血管生成作用,对大骨缺损具有显著的修复效果。值得注意的是,纳米珍珠粉因具有更大的比表面积和更高的细胞摄取效率,能更高效地发挥成骨活性。研究证实, Li 等^[70]制备的纳米珍珠粉/壳聚糖-透明质酸支架,随着纳米珍珠粉含量增加,支架的成骨活性会通过上述机制呈剂量依赖性增强,展现出良好的临床转化潜力。

3 结语和展望

本文系统综述了珍珠粉在组织修复中的核心化学成分(如碳酸钙、氨基酸及微量元素等)及其药理作用。研究表明,珍珠粉通过促进细胞增殖分化、促进胶原蛋白合成、抑制感染、抑制炎症因子释放、清除自由基以及激活成骨相关信号等机制,可改善创面愈合进程;并验证了珍珠粉在慢性溃疡、皮肤再生及骨修复中的潜在应用价值。尽管现有研究已初步阐明珍珠粉的生物活性基础,但其成分复杂性导致作用机制的精确解析仍存在挑战。

未来的研究可聚焦于蛋白质组学、糖组学及代谢组学技术,解析珍珠粉中多肽、糖蛋白的分子结构及修饰特征,明确其在促进组织修复方面的作用机制;还可以通过多中心临床试验,量化珍珠粉敷料对糖尿病足溃疡、烧伤等难愈性创面的疗效,并监测长期使用对肝肾功能的影响;或者结合纳米材料技术,提升珍珠粉活性成分的靶向递送效率。通过多学科交叉合作,珍珠粉有望在再生医学、慢性创面修复和皮肤护理等领域发挥更大的作用,为人类健康提供新的解决方案。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2020:291.
- [2] YANG H L, KORIVI M, LIN M K, et al. Antihemolytic and antioxidant

- properties of pearl powder against 2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride-induced hemolysis and oxidative damage to erythrocyte membrane lipids and proteins[J]. J Food Drug Anal, 2017, 25(4):898-907.
- [3] LOH X J, YOUNG D J, GUO H C, et al. Pearl powder - an emerging material for biomedical applications; a review[J]. Materials, 2021, 14(11):2797.
 - [4] YU Z R, WANG X D, SU B M, et al. First evidence of the use of freshwater pearls as a cosmetic in ancient China; analysis of white makeup powder from a northern song dynasty Lv tomb (Lantian, Shaanxi Province, China)[J]. Archaeometry, 2017, 59(4):762-774.
 - [5] HAN S Y, HUANG D L, LAN T J, et al. Therapeutic effect of seawater pearl powder on UV-induced photoaging in mouse skin[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2021, 2021:9516427.
 - [6] LUO W, CHEN Y, CHEN C, et al. The proteomics of the freshwater pearl powder; Insights from biomineralization to biomedical application[J]. J Proteomics, 2022, 265:104665.
 - [7] 李影, 孙佳明, 张静, 等. 珍珠母不同炮制品对小鼠抗抑郁作用研究[J]. 吉林中医药, 2014, 34(4):388-389, 392.
 - [8] 刘侗, 康馨元, 任伯颖, 等. 珍珠母超微粉蛋白及寡肽对小鼠镇静安眠作用比较[J]. 吉林中医药, 2014, 34(2):172-173, 176.
 - [9] NIU D L. Effect of Ma Yinglong Shexiang hemorrhoids cream combined with pearl powder on the pain and complications of severe pressure ulcer patients[J]. Medicine, 2021, 100(33):e26767.
 - [10] 童银洪, 刘永, 纪德安, 等. 不同粒径珍珠粉透皮吸收的研究[J]. 农业研究与应用, 2022, 35(6):10-16.
 - [11] SMAAL A C, FERREIRA J G, GRANT J, et al. Goods and services of marine bivalves[M]. Springer Nature, 2019:73-94.
 - [12] JIN C, CHENG K, JIANG R, et al. A novel kunitz-type serine protease inhibitor (HcKuSPI) is involved in antibacterial defense in innate immunity and participates in shell formation of *Hyriopsis cumingii*[J]. Mar Biotechnol, 2024, 26(1):37-49.
 - [13] 那缤文, 张锦. 珍珠粉有效成分促进肛瘘大鼠术后创面愈合的作用机制研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2024, 26(1):55-58.
 - [14] 胡飞娥, 谭丽霞, 黄仲如, 等. 天然蜂蜜联合珍珠粉用于压疮伤口换药的疗效观察[J]. 中国临床护理, 2022, 14(7):426-428.
 - [15] AL O M M H, RASHID I S, QINNA N A, et al. Calcium carbonate[J]. Profiles Drug Subst Excip Relat Methodol, 2016:31-132.
 - [16] LI M, WU Y Q, YE L. The role of amino acids in endothelial biology and function[J]. Cells, 2022, 11(8):1372.
 - [17] CHEN X, PENG L H, CHEE S S, et al. Nanoscaled pearl powder accelerates wound repair and regeneration *in vitro* and *in vivo*[J]. Drug Dev Ind Pharm, 2019, 45(6):1009-1016.
 - [18] SONG Y L, CHEN W Y, FU K, et al. The application of pearls in traditional medicine of China and their chemical constituents, pharmacology, toxicology, and clinical research[J]. Front Pharmacol, 2022, 13:893229.
 - [19] ZHANG J X, LI S R, YAO S, et al. Ultra-performance liquid chromatography of amino acids for the quality assessment of pearl powder[J]. J Sep Sci, 2015, 38(9):1552-1560.
 - [20] ZHANG J X, LI S R, YAO S, et al. Anticonvulsant and sedative-hypnotic activity screening of pearl and nacre (mother of pearl)[J]. J Ethnopharmacol, 2016, 181:229-235.
 - [21] ZHU D, GAO H, JIN L F. Study on the formation mechanism and basic characteristics of pearl[J]. Ija, 2023, 13(3):1-7.
 - [22] LIU S Q, WEI W, BAI Z Y, et al. Rapid identification of pearl powder from *Hyriopsis cumingii* by Tri-step infrared spectroscopy combined with computer vision technology[J]. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc, 2018, 189:265-274.
 - [23] AL-FARTUSIE F S, MOHSSAN S N. Essential trace elements and their vital roles in human body[J]. Indian J Adv Chem Sci, 2017, 5(3):127-136.
 - [24] ALI SAGHIRI M, VAKHNOVETSKY J, VAKHNOVETSKY A, et al. Functional role of inorganic trace elements in dentin apatite tissue - Part 1: Mg, Sr, Zn, and Fe[J]. J Trace Elem Med Biol, 2022, 71:126932.
 - [25] LIN P H, SERMERSHEIM M, LI H C, et al. Zinc in wound healing modulation[J]. Nutrients, 2017, 10(1):16.
 - [26] JACOBS A, RENAUDIN G, FORESTIER C, et al. Biological properties of copper-doped biomaterials for orthopedic applications; a review of antibacterial, angiogenic and osteogenic aspects[J]. Acta Biomater, 2020, 117:21-39.
 - [27] YUAN Y, JIN M, XIONG J, et al. Effects of dietary dosage forms of copper supplementation on growth, antioxidant capacity, innate immunity enzyme activities and gene expressions for juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Fish Shellfish Immunol, 2019, 84:1059-1067.
 - [28] JIN C, ZHAO J Y, LIU X J, et al. Expressions of shell matrix protein genes in the pearl sac and its correlation with pearl weight in the first 6 months of pearl formation in *Hyriopsis cumingii*[J]. Mar Biotechnol, 2019, 21(2):240-249.
 - [29] 李尚蓉, 张静娴, 姚帅, 等. 珍珠和珍珠母的微量元素测定及其比较分析[J]. 世界中医药, 2015, 10(10):1594-1597.
 - [30] PEI J Y, WANG Y, ZOU X G, 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.
 - [31] CHIU H F, HSIAO S C, LU Y Y, et al. Efficacy of protein rich pearl powder on antioxidant status in a randomized placebo-controlled trial[J]. J Food Drug Anal, 2018, 26(1):309-317.
 - [32] ZHANG M, OU X Z, SHI H, et al. Isolation, structures and biological activities of medicinal glycoproteins from natural resources; a review[J]. Int J Biol Macromol, 2023, 244:125406.
 - [33] PAHLEVANZADEH F, EMADI R, VALIANI A, et al. Three-dimensional printing constructs based on the chitosan for tissue regeneration; state of the art, developing directions and prospect trends[J]. Materials, 2020, 13(11):2663.
 - [34] CHOUDHARY V, CHOUDHARY M, BOLLAG W B. Exploring skin wound healing models and the impact of natural lipids on the healing process[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(7):3790.
 - [35] EMAMI S, EBRAHIMI M. Bioactive wound powders as wound healing dressings and drug delivery systems[J]. Powder Technol, 2023, 423:118501.
 - [36] YANG L, FAN L, LIN X, et al. Pearl powder hybrid bioactive scaffolds from microfluidic 3D printing for bone regeneration[J]. Adv Sci, 2023, 10(34):2304190.
 - [37] LI Y C, CHEN C R, YOUNG T H. Pearl extract enhances the migratory ability of fibroblasts in a wound healing model[J]. Pharm Biol, 2013, 51(3):289-297.
 - [38] DILLER R B, TABOR A J. The role of the extracellular matrix (ECM) in wound healing; a review[J]. Biomimetics, 2022, 7(3):87.
 - [39] FAROOQ M, KHAN A W, KIM M S, et al. The role of fibroblast growth factor (FGF) signaling in tissue repair and regeneration[J]. Cells, 2021, 10(11):3242.
 - [40] FRIEDMAN D W, BOYD C D, MACKENZIE J W, et al. Regulation of collagen gene expression in keloids and hypertrophic scars[J]. J Surg Res, 1993, 55(2):214-222.
 - [41] WANG S, NEUFURTH M, SCHEPLER H, et al. Liquid-liquid phase transition as a basis for novel materials for skin repair and regeneration[J]. J Mater Chem B, 2024, 12(38):9622-9638.
 - [42] LIU M T, TAO J J, GUO H C, et al. Efficacy of water-soluble pearl powder components extracted by a CO₂ supercritical extraction system in promoting wound healing[J]. Materials, 2021, 14(16):4458.
 - [43] GUO J L, JI F, ZHANG X, et al. Combination of metronidazole and pearl powders for the treatment of stage 2 pressure injury wounds; case report and literature review[J]. Complement Ther Clin Pract, 2021,

- 43;101323.
- [44] 莫明月, 林江, 韦明婵, 等. 珍珠粉解毒生肌作用与临床应用研究进展[J]. 广西中医药大学学报, 2015, 18(3): 77–79.
- [45] 吴符火, 阮时宝, 林元桐. 珍珠口疮冲剂主要药效学研究[J]. 福建中医学院学报, 1996, 6(3): 24–27.
- [46] 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.
- [47] HUANG C, DONG L L, ZHAO B H, et al. Anti-inflammatory hydrogel dressings and skin wound healing[J]. Clin Transl Med, 2022, 12(11): e1094.
- [48] LI K Q, XIA C, QIAO Y Q, et al. Dose-response relationships between copper and its biocompatibility/antibacterial activities[J]. J Trace Elem Med Biol, 2019, 55: 127–135.
- [49] MODAN E M, SCHIOPU A G, MOGA S G, et al. Advanced copper oxide chemical and green synthesis; characterization and antibacterial evaluation[J]. Crystals, 2025, 15(1): 7.
- [50] XIE Y Y, ZHANG Y W, QIN X T, et al. Structure-dependent antibacterial activity of amino acid-based supramolecular hydrogels[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2020, 193: 111099.
- [51] NOWAK M G, SKWARECKI A S, MILEWSKA M J. Amino acid based antimicrobial agents – synthesis and properties[J]. Chem Med Chem, 2021, 16(23): 3513–3544.
- [52] DAI J P, CHEN J, BEI Y F, 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.
- [53] WANG G, YANG F F, ZHOU W Y, et al. The initiation of oxidative stress and therapeutic strategies in wound healing[J]. Biomed Pharmacother, 2023, 157: 114004.
- [54] BONAZZI M, COSSART P. Impenetrable barriers or entry portals? The role of cell-cell adhesion during infection[J]. J Cell Biol, 2011, 195(3): 349–358.
- [55] CABRAL – PACHECO G A, GARZA – VELOZ I, CASTRUITA – DE LA ROSA C, et al. The roles of matrix metalloproteinases and their inhibitors in human diseases[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(24): 9739.
- [56] JABŁOŃSKA – TRYPUĆ A, MATEJCZYK M, ROSOCHACKI S. Matrix metalloproteinases (MMPs), the main extracellular matrix (ECM) enzymes in collagen degradation, as a target for anticancer drugs[J]. J Enzyme Inhib Med Chem, 2016, 31(sup1): 177–183.
- [57] OKAMOTO T, AKUTA T, TAMURA F, et al. Molecular mechanism for activation and regulation of matrix metalloproteinases during bacterial infections and respiratory inflammation[J]. Biol Chem, 2004, 385(11): 997–1006.
- [58] 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.
- [59] RAJAPAKSE N W, HEAD G A, KAYE D M. Say NO to obesity-related hypertension; role of the L-arginine-nitric oxide pathway[J]. Hypertension, 2016, 67(5): 813–819.
- [60] MALYAR R M, LI H, LIU D D, et al. Selenium/Zinc-Enriched probiotics improve serum enzyme activity, antioxidant ability, inflammatory factors and related gene expression of Wistar rats inflated under heat stress[J]. Life Sci, 2020, 248: 117464.
- [61] CHATURVEDI R, SINGHA P K, DEY S. Water soluble bioactives of nacre mediate antioxidant activity and osteoblast differentiation[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e84584.
- [62] 蔡松雨, 李泽亚, 张佳婵, 等. 药食用真菌珍珠发酵液对 LPS 诱导 HaCaT 炎症损伤的抵抗作用[J]. 食品工业, 2024, 45(6): 124–130.
- [63] 王姣姣, 徐迪辉, 周婧, 等. 不同来源珍珠粉中氨基酸类成分的 HPLC-ESI-MS/MS 分析与评价[J]. 中药材, 2021, 44(7): 1668–1674.
- [64] IRANZO O. Manganese complexes displaying superoxide dismutase activity; a balance between different factors[J]. Bioorg Chem, 2011, 39(2): 73–87.
- [65] ZHANG Z M, XU Y L, LAI R C, et al. Protective effect of the pearl extract from *Pinctada fucata martensii* dunker on UV-induced photoaging in mice[J]. Chem Biodivers, 2022, 19(3): e202100876.
- [66] CHENG Y N, ZHANG W B, FAN H, et al. Water-soluble nano-pearl powder promotes MC3T3-E1 cell differentiation by enhancing autophagy via the MEK/ERK signaling pathway[J]. Mol Med Rep, 2018, 18(1): 993–1000.
- [67] 王凯, 魏博, 谭佳妮, 等. 珍珠粉对 MC3T3-E1 细胞增殖、分化、矿化及骨相关基因表达的影响[J]. 中国骨质疏松杂志, 2014, 20(6): 666–672.
- [68] 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.
- [69] SUWANNASING C, PRAPAN A, SURINLERT P, et al. The osteoinductive effect of water-soluble matrix from nano-nacre particles of *Haliotis diversicolor* (H. diversicolor) abalone on MC3T3-E1 osteoblasts[J]. Appl Sci, 2025, 15(6): 2907.
- [70] LI X N, XU P, CHENG Y N, et al. Nano-pearl powder/chitosan-hyaluronic acid porous composite scaffold and preliminary study of its osteogenesis mechanism[J]. Mater Sci Eng C, 2020, 111: 110749.

Research Progress on the Chemical Constituents and Pharmacological Effects of Pearl Powder in Tissue Repair

Wu Yuqing¹, Chen Yunli¹, Zhang Zhaohui^{1,2}

1. Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China;

2. Second Affiliated Hospital of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300250, China

Abstract Pearl powder is a traditional Chinese medicinal with astringent properties, traditionally used to remove toxins, promote granulation, calm the mind, improve vision, and eliminate turbidity. Studies have revealed that pearl powder is rich in various bioactive components, including calcium carbonate, multiple amino acids, trace elements, and peptides. In the context of tissue repair, pearl powder facilitates wound healing through diverse pharmacological mechanisms. These include promoting cell proliferation and differentiation, enhancing collagen synthesis, exerting antibacterial effects, inhibiting the release of inflammatory factors, providing antioxidant activity, and demonstrating osteogenic potential. Consequently, it exhibits a promising application prospect in this field. This review aims to summarize the chemical constituents of pearl powder and its pharmacological actions in tissue repair, thereby validating its safety and efficacy in wound management and providing a reference for clinical application.

Key words Pearl powder; Tissue repair; Chemical constituents; Pharmacological efficacy