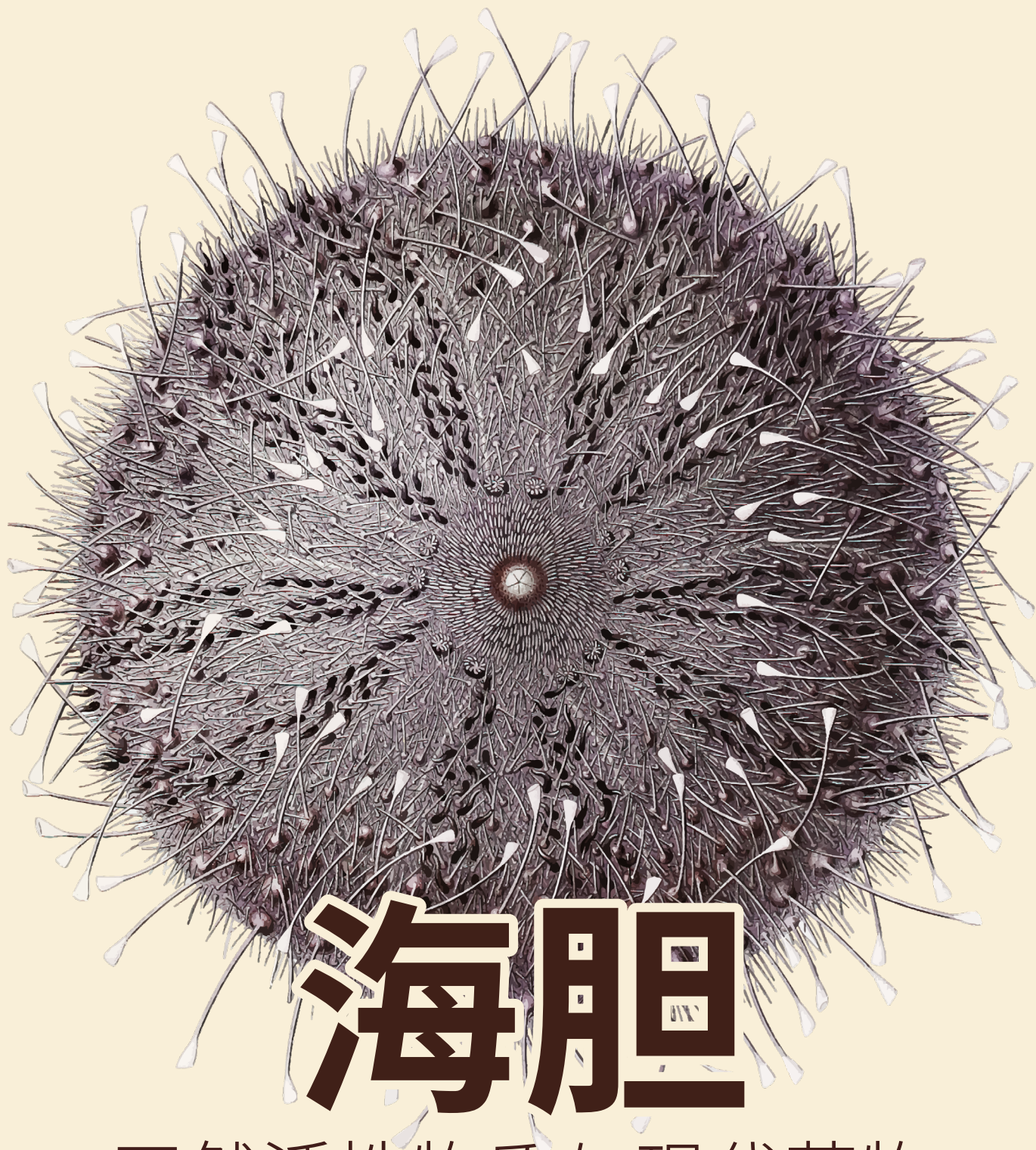




# 海胆

## 天然活性物质与现代药物 开发的桥梁

作者：伏成玉；Email: 550074745@qq.com

## 1. 引言

海胆 (Sea urchin) 是存在约 5 亿年的微小而多刺的海洋生物, 属于棘皮动物。海胆在形态、发育、成熟度和寿命等方面各不相同, 可作为生物学、生态学和胚胎学领域研究的模型动物<sup>[1]</sup>。海胆是最美味的食物之一, 富含硫酸化岩藻糖和半乳糖等必需多糖、饱和脂肪酸等脂肪酸、极性和非极性脂质以及肌动蛋白、肌球蛋白、动力蛋白和丝状蛋白等蛋白质。海胆的刺和壳还含有丰富的矿物质、蛋白质、多糖和色素 (图 1)<sup>[2]</sup>。食用海胆不仅能为人体提供良好的蛋白质、纤维、维生素和矿物质, 还能促进血液循环。很早以前, 海胆的干燥钙质贝壳就被称为“中药材”, 用于治疗炎症、化痰和痰积。目前, 由于海胆具有良好的药理应用和巨大的药用价值, 科学家们将研究重点放在海胆上。海胆中的生物活性成分具有很高的抗菌、抗氧化、抗癌、抗疲劳、抗溃疡和抗炎活性<sup>[3]</sup>。紫海胆、红海胆和绿海胆的壳、刺和色素是抗氧化剂的良好来源, 并应用于各种制药领域。

## 2. 海胆的营养价值

海胆深受世界各地人们的喜爱与食用。从营养维度剖析, 其是

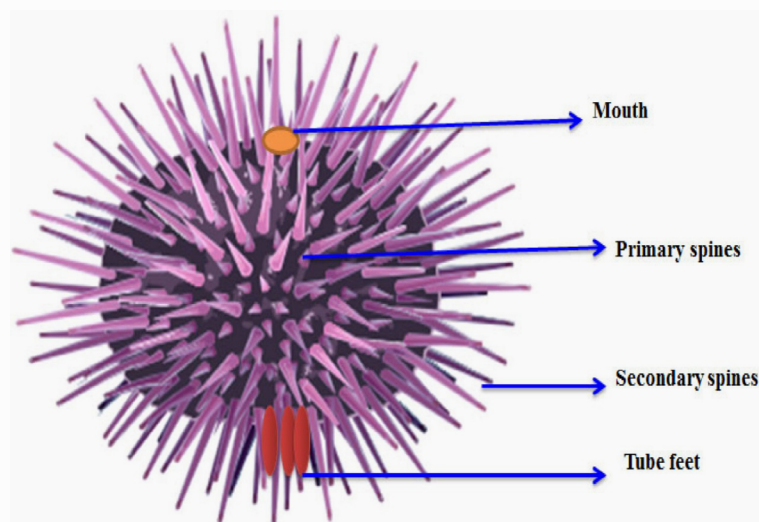


图 1 海胆的结构示意图<sup>[2]</sup>

注: 口 (Mouth)、主刺 (Primary spines)、副刺 (Secondary spines) 和管足 (Tube feet)

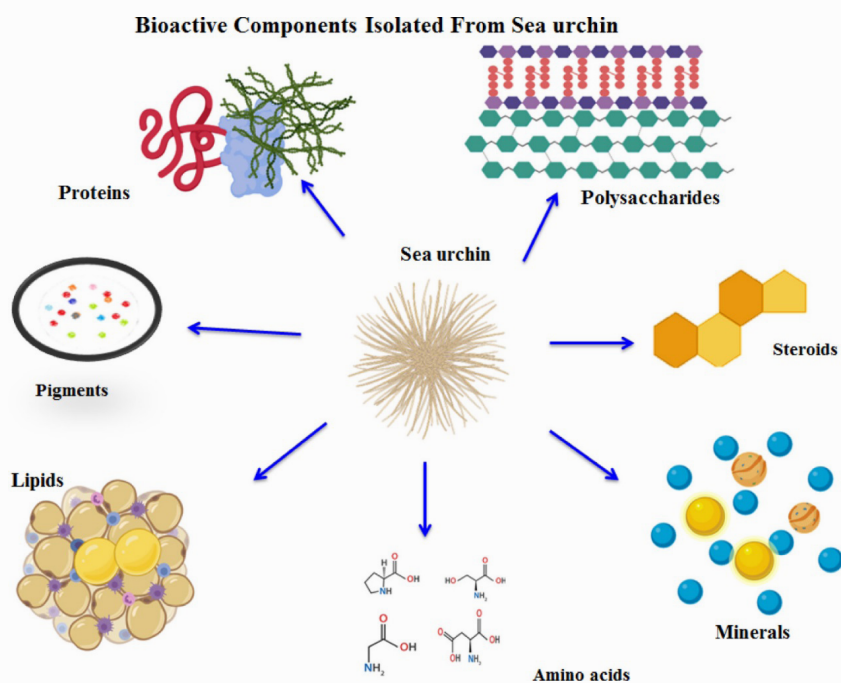


图 2 从海胆中分离出的生物活性成分<sup>[2]</sup>

注: 蛋白质 (Proteins)、多糖 (Polysaccharides)、类固醇 (Steroids)、矿物质 (Minerals)、氨基酸 (Amino acids)、脂质 (Lipids) 和色素 (Pigments)

一座“营养宝藏”, 富含脂质、碳水化合物和蛋白质 (图 2)<sup>[2]</sup>, 同时涵盖维生素 A、维生素 B1 (硫胺

素)、维生素 B2 (核黄素) 和维生素 B3 (烟酸) 等多种维生素<sup>[4]</sup>。在矿物质方面, 钙、镁、铁、锌、硒、

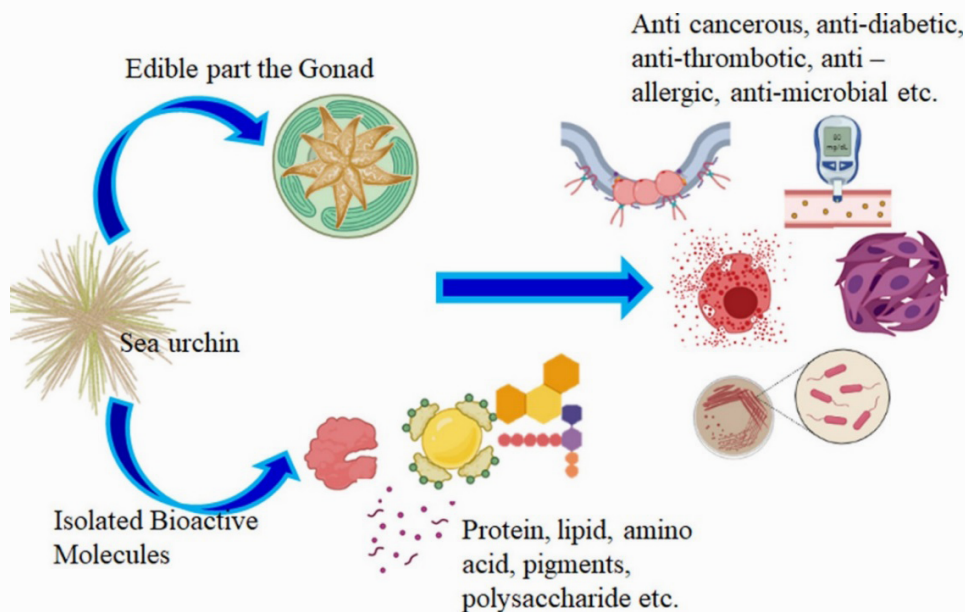
锗、锶、铜、锰和铝等对人体健康有益的微量元素，在海胆中均有存在。海胆的生殖腺更是“精华所在”，其中富含多不饱和脂肪酸，像二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸这类长链脂肪酸，经研究证实，对改善高血压、缓解炎症、调节心律失常以及抑制癌症发展，都有着积极意义。并且，生殖腺中的抗氧化剂，能够有效清除体内单线态氧和过氧化氢等氧自由基，助力人体对抗衰老进程。基于上述丰富营养与健康功效，海胆在食品领域价值凸显。除常见的鱼类和甲壳类动物外，海胆凭借其独特营养构

成，成为可替代的天然优质食品来源，为人们的膳食营养多样化，提供了新的选择方向，无论是从营养补充，还是健康调理角度，都展现出可观的应用潜力<sup>[5]</sup>。

### 3. 海胆生物活性化合物

自然，大多数海洋生物都富含具有生物活性的化合物，但海胆是一类尤为独特的物种，因其含有蛋白质、多糖、脂质以及多种矿物质，表现出令人惊讶的生物学特性（图3）<sup>[2]</sup>。例如，海胆壳富含蛋白质，如红海胆和绿海胆的壳中就含有精氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸和苏氨酸等多种氨

基酸。此外，从海胆的刺、壳与牙齿中亦提取出了多种具有药理活性的蛋白质<sup>[6]</sup>。令人关注的是，海胆在胚胎发育过程中可合成新的微管蛋白与针状基质蛋白，这些成分在其生物矿化过程中发挥着关键作用，有助于形成其坚硬的骨骼结构。除了蛋白质外，海胆还含有大量对人体有益的多糖与矿物质，其多糖主要分布于生殖腺、贝壳和肠道中。其中，从海胆肠道中提取得到的水溶性多糖表现出多种生物活性功能，具有潜在的药用与保健价值。海胆生殖腺中还检测到约40种不同的脂肪酸，并富含胆固醇、乙二



❶【图3】海胆（Sea urchin）可食用性腺（Edible part the Gonad）经提取分离生物活性分子（Isolated Bioactive Molecules）的示意图<sup>[2]</sup>

注：蛋白质（Protein）、脂质（Lipid）、氨基酸（Amino acid）、色素（Pigments）、多糖（Polysaccharide）、抗癌（Anti-cancerous）、抗糖尿病（Anti-diabetic）、抗血栓（Anti-thrombotic）、抗过敏（Anti-allergic）和抗微生物（Anti-microbial）等

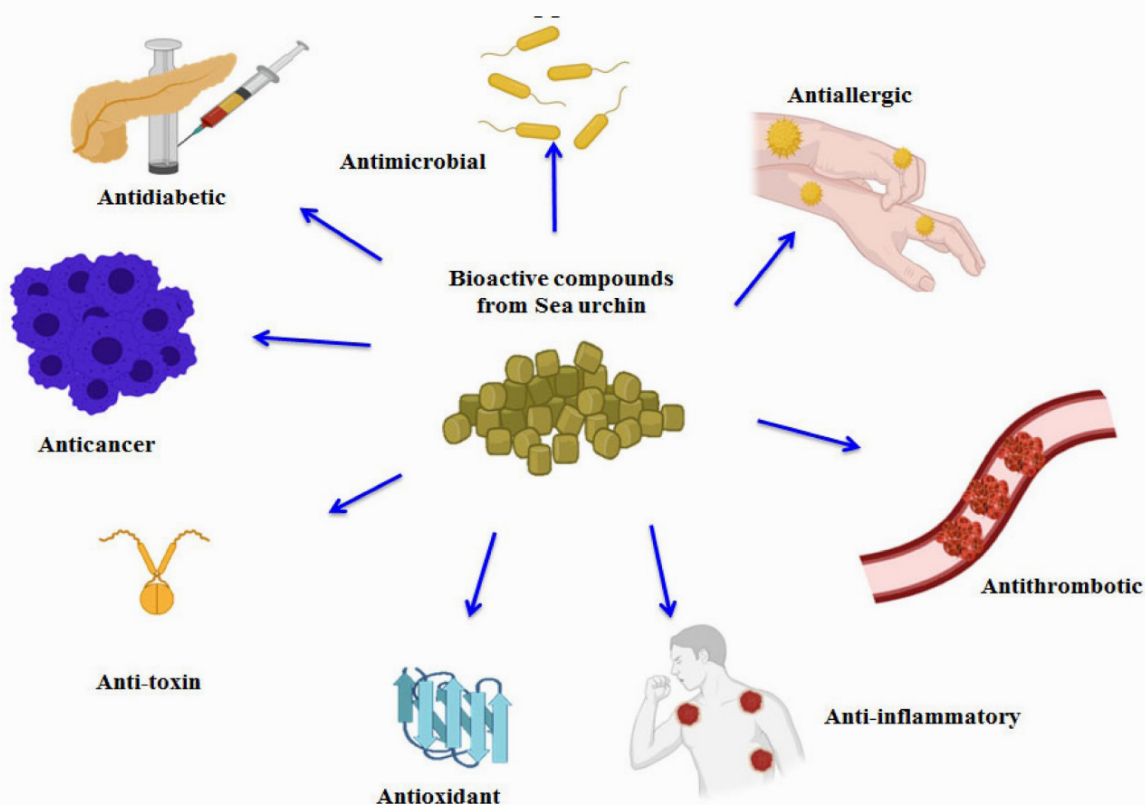
醇、醇类、甾醇、谷甾醇、心磷脂、磷脂酰肌醇、磷脂酰丝氨酸与磷脂酰胆碱等多种脂质<sup>[7]</sup>。基于这些丰富的营养与功能性成分，海胆生殖腺在全球多个国家和地区的饮食文化中被广泛使用，尤其在日本、中国沿海、智利、美国 and 欧洲一些国家中，已发展出多样化的烹饪应用。海胆常被制成酱料搭配意大利面，或涂抹于面包配红酒食用，因其细腻、甘甜、带有海盐与麝香的风味而备受推崇。近年来，全球对海胆相关生物活性化合物的需求快速增长，

其市场占有率已达到 90%，反映出其作为高价值天然资源的重要潜力。

#### 4. 海胆的药理应用

近年来，海胆不仅在生态系统中具有重要地位，其体内富含的天然活性化合物也在药理学领域展现出显著潜力(图 4)<sup>[2]</sup>。近年来的研究表明，海胆的刺、壳、性腺、肠道及卵等组织可分离出多种具有生物活性的成分，包括多酚类、萜类、多肽、鞣质、甾体及脂类衍生物，这些物质在细胞

与动物模型中表现出良好的药理特性<sup>[8]</sup>。具体而言，其抗菌活性体现在对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌及多药耐药菌的广谱抑制作用；抗癌作用则通过诱导肿瘤细胞凋亡、阻断细胞周期及抑制肿瘤相关信号通路（如 PI3K/Akt、MAPK）等机制实现；其抗糖尿病效应与改善胰岛素敏感性、调节葡萄糖代谢酶活性密切相关。此外，海胆代谢物还可抑制 NO 和 TNF- $\alpha$  等炎症因子的表达，展现出明显的抗炎特性；抗氧化作用则依赖于其富含的天然抗氧化因子



④【图 4】海胆 (Sea urchin) 生物活性化合物的多种生物学活性<sup>[3]</sup>

注：抗糖尿病 (Antidiabetic)、抗菌 (Antimicrobial)、抗过敏 (Antiallergic)、抗癌 (Anticancer)、抗血栓 (Antithrombotic)、抗炎 (Anti-inflammatory)、抗氧化 (Antioxidant) 和抗毒素 (Anti-toxin) 等作用

如维生素 E、虾青素和多酚，能有效清除自由基，保护细胞免受氧化应激损伤<sup>[9]</sup>。

相较于传统合成药物，海胆来源的天然化合物因结构新颖、靶点明确及多靶协同作用，展现出独特的治疗潜力<sup>[10-11]</sup>。例如，性腺中的类黄酮和鞣质可同时抑制多条致癌信号通路，增强抗肿瘤效应；刺和内脏提取的糖肽能激活巨噬细胞、增强自然杀伤细胞功能，在肿瘤免疫治疗中具协同作用；某些多糖和硫酸多糖则具抗凝和抗病毒活性，尤其在阻断病毒附着和复制方面表现出应用前景。部分海胆活性成分已进入药理验证和药代动力学研究阶段，现代转录组、代谢组和蛋白组等组学技术的应用，结合高通量筛选与分子对接手段，正加速其药用成分的识别。未来，通过合成生物学和绿色提取工艺，有望实现海胆活性物质的规模化开发。综上，海胆不仅是优质营养来源，更是天然药物开发的重要资源库，其系统研究有望为临床提供更安全、可持续的治疗策略。

## 5. 海胆与人类

海胆不仅在营养学和药理学领域受到关注，其在进化生物学与人类医学研究中的重要性也逐渐凸显。作为一种进化上与脊椎动物分化较早的无脊椎

动物，海胆具有惊人的基因保守性。以紫海胆 (*Strongylocentrotus purpuratus*) 为例，其基因组中约有 23300 个基因，其中相当一部分与人类的感官功能、免疫系统、细胞信号通路和神经发育相关<sup>[12]</sup>。研究表明，这些基因在功能和结构上与人类基因存在显著同源性，特别是与视觉、听觉和神经信号传递有关的部分。这使得海胆成为研究人类疾病机制的宝贵模型。尤其值得关注的是，海胆在衰老机制研究中的应用前景日益受到重视<sup>[13]</sup>。与人类等哺乳动物不同，许多海胆种类（如红海胆和绿海胆）在整个成年期都能持续生长与繁殖，不表现出明显的年龄相关退化特征。这种被称为“逃逸衰老 (Negligible senescence)” 的现象，为揭示抗衰老机制提供了独特视角<sup>[14]</sup>。例如，在长寿海胆物种中，一些调控细胞周期、DNA 修复和细胞通讯的基因与哺乳动物中控制老化和神经退行性疾病（如阿尔茨海默病、帕金森病）相关的基因高度一致<sup>[15]</sup>。

此外，海胆胚胎具有快速、透明发育的特点，适用于观察细胞命运决定、形态发生与信号通路激活，这对于理解癌症、干细胞分化及组织再生等人类重大健康问题提供了理想平台。例如，

科学家最早通过海胆胚胎研究发现或深入研究了细胞的关键信号通路。基于这些特性，海胆被视为继果蝇、斑马鱼、线虫和小鼠之后的一个新兴的模型生物，尤其适用于研究进化保守的细胞通讯机制、环境因素对发育的影响、以及营养与健康老龄化之间的关联。海胆与人类在基因、细胞及组织水平上的相似性，使其成为跨学科研究的重要桥梁，对于深入理解人类生命活动规律、发现新药物靶点及优化营养干预策略具有巨大潜力。

## 6. 结论

海胆作为重要的海洋无脊椎动物，因其丰富的营养价值和多种生物活性，在食品、生物医药和基础科研等领域具有广阔应用前景。其生殖腺富含优质蛋白、多不饱和脂肪酸、氨基酸、维生素和矿物质，是开发保健食品的优选原料；海胆体内的多糖、类胡萝卜素、皂苷和甾醇等天然活性物质具有抗氧化、抗炎、抗癌和免疫调节等作用，成为新型海洋药物的重要资源。此外，海胆因胚胎发育清晰、操作性强等优势，已广泛用于发育生物学、毒理学和环境监测等基础研究。随着组学与合成生物学的发展，海胆活性物质的结构、功能及合成机制逐步被揭示，推动

其高效开发与利用。然而,当前研究仍面临物种利用单一、人工养殖技术不成熟、活性成分机制研究薄弱等挑战。未来应重点

加强以下方向:拓展种质资源,挖掘新活性成分;整合多组学数据,解析生物合成机制;开发绿色提取技术,实现产品转

化;结合AI和高通量筛选,加快药效验证;优化养殖体系,推动海胆资源的可持续利用和产业化发展。

## 参考文献

- [1] Wang Z C, Chang Y Q. Economic sea urchin aquaculture research progress and prospect[J]. Mar Sci, 1997, 6: 20-22.
- [2] Sibiya A, Jeyavani J, Sivakamavalli J, et al. Bioactive compounds from various types of sea urchin and their therapeutic effects-A review[J]. Reg Stud Mar Sci, 2021, 44: 101760.
- [3] Zhang Z L, Liu Y M, Han J X, et al. Study on the antitumor effect of the extractive from sea urchin intestine[J]. Cancer Res Clin, 2002, 14: 302.
- [4] Cirino P, Brunet C, Ciaravolo M, et al. The sea urchin *Arbacia lixula*: A novel natural source of astaxanthin[J]. Mar Drugs, 2017, 15: 187.
- [5] Galasso C, Orefice I, Toscano A, et al. Food modulation controls astaxanthin accumulation in eggs of the sea urchin *Arbacia lixula*[J]. Mar Drugs, 2018, 16: 186.
- [6] Kuwahara R, Hatate H, Yuki T, et al. Antioxidant property of polyhydroxylated naphthoquinone pigments from shells of purple sea urchin *Anthocidaris crassispina*[J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42(7): 1296-1300.
- [7] Amarowicz R, Synowiecki J, Shahidi F. Chemical composition of shells from red (*Strongylocentrotus franciscanus*) and green (*Strongylocentrotus droebachiensis*) sea urchin[J]. Food Chem, 2012, 133: 822-826.
- [8] Archana A, Babu K R. Nutrient composition and antioxidant activity of gonads of sea urchin *Stomopneustes variolaris*[J]. Food Chem, 2016, 197: 597-602.
- [9] Jiao H, Shang X, Dong Q, et al. Polysaccharide constituents of three types of sea urchin shells and their anti-inflammatory activities[J]. Mar Drugs, 2015, 13(9): 5882-5900.
- [10] Li S, Xiao Y, Li Q, et al. Recent advances in natural products derived from marine echinoderms and endophytic microbes: Chemical insights and therapeutic potential[J]. Mar Drugs, 2025, 23(1): 33.
- [11] Pozharitskaya O N, Shikov A N, Makarova M N, et al. Antiallergic effects of pigments isolated from green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) shells[J]. Planta Med, 2013, 79(18): 1698-1704.
- [12] Sodergren E, Weinstock G M, Davidson E H, et al. The genome of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*[J]. Science, 2006, 314(5801): 941-952.
- [13] Polinski J M, Kron N, Smith D R, et al. Unique age-related transcriptional signature in the nervous system of the long-lived red sea urchin *Mesocentrotus franciscanus*[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 9182.
- [14] Adonin L, Drozdov A, Barlev N A. Sea urchin as a universal model for studies of gene networks[J]. Front Genet, 2021, 11: 627259.
- [15] Polinski J M, Castellano K R, Buckley K M, et al. Genomic signatures of exceptional longevity and negligible aging in the long-lived red sea urchin[J]. Cell Rep, 2024, 43(4): 114021.