

# 棘皮动物学研究现状与展望\*

杨红生<sup>1①</sup> 肖宁<sup>2</sup> 张涛<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071;

2. 中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室, 青岛 266071)

**摘要** 棘皮动物为海洋中特有的动物, 从热带海域到寒带海域, 从潮间带到数千米的深海都有分布, 其在海洋生态系统的结构和功能中发挥着重要作用。作为一类重要的经济动物, 棘皮动物与人类有着密不可分的关系, 发展棘皮动物学研究及其产业化十分紧迫。本文综述了棘皮动物学的发展和研究现状, 提出了未来的发展趋势及对策, 包括棘皮动物生物学与生物多样性、遗传与行为生态学、种质资源保护与遗传改良、健康苗种规模化繁育、病害预防与环境控制、健康养殖设施与模式、产品安全与质量控制、产业发展规划与市场管理等。

**关键词** 棘皮动物; 理论; 技术; 研究现状; 发展对策

**中图分类号** Q178.53 doi: 10.12036/hyxjk20160719004

棘皮动物门(Echinodermata)属无脊椎动物中的一类后口动物(deuterostomia), 在无脊椎动物进化中具有十分重要的地位。历史文献记载并描述过的棘皮动物化石种类接近 13 000 种(Pawson, 2007), 全世界现有 7000 余种, 我国约有 588 种(刘瑞玉, 2008)。尽管不同类群的棘皮动物在外形上差异很大, 有星状、球状、圆筒状和形似植物状, 但从解剖学和系统发生学看, 它们有着相同的基本特征: 幼体两侧对称, 成体多为辐射对称; 具独特的水管系统; 体中有与消化道分离的真体腔, 体壁有来源于中胚层的内骨骼; 口

从胚孔的相对端发生, 属后口动物(Brusca R and Brusca G, 2003)。根据动物的体形、有无柄和腕、步带沟开放或封闭, 以及管足的排列等可分为 2 个亚门 5 个纲: 有柄亚门(Pelmatozoa)下的海百合纲(Crinoidea), 游走亚门(Eleutherozoa)下的海星纲(Asteroidea)、蛇尾纲(Ophiuroidea)、海胆纲(Echinoidea)和海参纲(Holothuroidea)。

## 1 发展现状

### 1.1 国际棘皮动物学研究方兴未艾

综观国际棘皮动物研究现状, 不难发现

\* 资助项目: 国家自然科学基金-山东海洋科学中心联合资助项目(U1406403); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020700); 国家自然科学基金(31301864)。

① 通讯作者: 杨红生, 男, 研究员, 从事养殖生态学、生境修复、资源养护和海洋牧场建设等研究。E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

收稿日期: 2016-07-19, 收稿修改日期: 2016-07-29

相关学者针对棘皮动物2个亚门5个纲都已开展了一定的研究和认知。

### 1.1.1 海参纲(Holothuroidea)

海参纲是棘皮动物门中经济意义最大的一个纲,全世界现存约1400种,主要分布在印度-西太平洋区域。可食用的海参在分类学上主要属于楯手目(Aspidochirotida)的海参科(Holothuriidae)和刺参科(Stichopodidae),少数种类属于枝手目(Dendrochirotida)的瓜参科(Cucumariidae)。楯手目的大型种属,如海参属(*Holothuria*)、刺参属(*Stichopus*)、梅花参属(*Thelenota*)、辐肛参属(*Actinopyga*)、白尼参属(*Bohadschia*)等是常见的经济种类。联合国粮食与农业组织(FAO)在2012年出版的《世界重要经济海参种类》(*Commercially Important Sea Cucumbers of the World*)一书中列举了58种有经济价值的海参(Purcell et al., 2012)。我国海参资源丰富,约有20种可供食用,已被鉴定的种已达134种(廖玉麟, 1997)。海参的食药两用在我国已有悠久的历史。自古以来,海参就是一种滋补食品和中医药膳,被列为“八珍”之一。除蛋白质外,海参体壁含有大量的酸性黏多糖成分。近20年来,国内外学者对海参多糖的药效进行了广泛而深入的研究,概括起来,海参多糖主要有抑制肿瘤生长、提高机体细胞免疫力、抗凝血、抑制栓塞形成等作用,可用于辅助治疗某些疾病(赵杨等, 2012)。由于海参需求量的稳步增加,供需矛盾日益突出,我国已成为世界上最主要的海参进口国。据相关资料显示,我国年消费海参约一半以上来自于菲律宾、印度尼西亚、墨西哥、加拿大和非洲等国家和地区。海参生长缓慢,野外种群很容易因过度采捕而数量锐减。南太平洋许多海参出产国已经注意到海参资源面临过度捕捞的问题,并对海参的采捕和出口做了严格的规范和限制(徐永东和李可闻, 2013)。由于海参个体较大,多数以底泥或底沙为食,属于“海底清道夫”,对于海底的净化

及营养盐的循环有重要作用。

### 1.1.2 海胆纲(Echinoidea)

海胆纲现有800种左右,很容易将它们区别为两类,即常用的正形海胆和歪形海胆。海胆分类研究早期取得最著名的成果当属Mortensen(1928~1951年)的《海胆专论》(*A Monograph of the Echinoidea*)系列巨著,包括15卷,记录了所有发表过的现生种和化石种。由于海胆有钙质硬壳,所以保存下来的化石种类也很多,积累了十分丰富的相关论文的资料。近些年,关于现生海胆的基础性工作涉及生物学、生态学、增养殖学等多个领域。海胆在实验胚胎学、细胞结构、受精机制的基础理论研究方面是最好的实验材料之一。海胆具有重要的经济价值,很多大型正形海胆的生殖腺可供食用,营养价值很高,并含有一些具有医疗保健作用的生理活性物质(潘南等, 2015)。我国的海胆产量主要来自辽宁、山东沿海的光棘球海胆(*Strongylocentrotus nudus*)、马粪海胆(*Hemicentrotus pulcherrimus*)、海刺猬(*Glyptocidaris crenularis*),以及南部沿海的紫海胆(*Anthocidaris crassispina*)等。由于过度采捕,海胆资源恢复成为人们关心的问题,我国已有几种经济性海胆被引入物种红色名录(汪松和解焱, 2005),成为濒危物种。以白棘三列海胆(*Tripneustes gratilla*)为例,它是珊瑚礁区的关键种,以礁岩上的藻类为食,对藻类生物量的调节,以及生活在珊瑚礁的其他海洋无脊椎动物的多样性影响颇大,但由于被作为经济性海胆而遭到过度捕捞,其野外种群数量锐减。

### 1.1.3 海星纲(Asteroidea)

海星纲是棘皮动物门中仅次于蛇尾纲的第二大类群。根据最新的研究报道(Mah and Blake, 2012),世界范围内海星纲包含36科370属约1900种。海星具有很强的繁殖能力和再生能力,多为肉食性,主要掠食双壳类。一些种类,如我国北部沿岸最常见的多棘海

盘车(*Asterias amurensis*), 是贝类养殖的重要敌害。海星还是大型底栖生物中对水体污染非常敏感的类群, 有些种类作为指示种被用于了解溢油等环境污染对生物多样性的影响(O'Clair and Rice, 1985; Georgiades et al., 2006)。因此, 该类群的生物学和生态学研究对海洋生态系统研究与保护具有重要意义。国际上, 海星纲分类研究的热点主要集中在以下 3 个方面: ①极端生境下的多样性研究, 海星纲 36 科中有 15 科仅分布于 200m 以下的深海生境(Mah and Blake, 2012), 以墨西哥的太平洋沿岸为例, 已知的深水(>500m)中海星就多达 60 种(Hendrickx et al., 2011)。在大西洋和太平洋的深海珊瑚礁(deep-sea corals, cold-waters corals)生态系统中, 海星是最主要的成员(Mah et al., 2010)。②隐存种的发现和近似种的区分。③高级阶元的系统划分, 有棘目(Spinulosida)和帆海星目(Velatida)的系统位置一直未得到解决, 柱体目(Paxillosida)在海星纲系统进化中的位置也是海星纲系统发育学研究的争论焦点之一。

#### 1.1.4 蛇尾纲(Ophiuroidea)

蛇尾纲是棘皮动物门中种数最多的一个纲, 现存约 2000 种。它们个体较小, 但在海底数量很多, 对于底栖生物群落研究具有十分重要的意义。很多底栖生物群落的优势种常为蛇尾, 并以蛇尾种名来命名。蛇尾的食物主要是底质或悬浮物中的有机质碎屑和一些小型底栖生物, 其在海洋生物食物链和经济上均具有重要意义。2008 年, 海洋生物普查计划(Census of Marine Life, CoML)的科学家们首次捕捉到了一个新奇的景象——“蛇尾之城”(brittle star city), 数千万的蛇尾栖息在一个海山上, 以大约每小时 4km 的速度随绕极流流动, 海流避开了捕食者, 并给它们带来充足的食物供给。深海的蛇尾类还在海底沉积物营养盐的循环上扮演重要的角色。我国的蛇尾纲种类十分丰富, 总种数占全球的 11%左右

(廖玉麟, 2004)。在黄海北部和中部的低温高盐水域里, 萨氏真蛇尾(*Ophiura sarsii vadicola*)的栖息密度很大, 为黄海冷水团区域的优势种。2007 年的野外调查中, 以约 20min 船速 2~3 节一次拖网可采集萨氏真蛇尾约 319 200 个, 密度达 123 个/m<sup>2</sup>(廖玉麟和肖宁, 2011); 这种蛇尾是一个广分布的冷水性种类, 也是冷水性底栖鱼类的重要饵料。

#### 1.1.5 海百合纲(Crinoidea)

海百合纲外形极像植物, 体色艳丽, 是一类很古老的类群, 在古代很繁盛, 化石种类超过 6000 种。现生海百合仅 650 种, 分为两种类型: 一类终生营固着生活, 为柄海百合类(stalked crinoids); 另一类成体无柄, 营自由或暂时性固着生活, 为海羊齿类(comatulids)或羽星类(feather-stars)。柄海百合类多分布在水深 200~6000m 的深海中, 其中深海固着性的海百合具有发达的茎状结构, 某些种类其茎可长达 60cm。海羊齿类一般出现在水深较浅的海域。关于我国现生的海百合类研究较少。

#### 1.1.6 同心纲(Concentricycloidea)

1986 年, 在新西兰深海采获一棘皮动物新种海菊花(*Xyloplax medusiformis*), 并建立了一个新纲——同心纲(Baker et al., 1986)。对于这种小圆盘状棘皮动物的分类地位, 科学家们一直存在争议, 而目前的观点倾向于将该类群划分到海星纲中(Mah, 2006)。

1963 年, 世界棘皮动物学术研讨会第一次在国际动物学会中被列为一个独立的研讨会举行, 会议针对棘皮动物相关研究开展学术研讨, 并出版论文集, 最近已成功举办了第十二次(2012 年)国际学术大会。此后, 多个国家组织举办了一系列世界性棘皮动物学术会议, 包括国际棘皮动物会议(International Echinoderm Conference, IEC)、欧洲棘皮动物会议(European Conference on Echinoderms, ECE)、北美棘皮动物大会(North American

Echinoderm Conference, NAEC)、棘皮动物国际研讨会 (Séminaire International sur les Échinodermes, SIE), 相关棘皮动物学术组织和学术会议对全球棘皮动物研究的发展起到了强有力的促进作用。

## 1.2 我国棘皮动物学研究成果丰硕

我国有关棘皮动物的研究始于 20 世纪 30 年代, 张凤瀛教授首先对中国黄海的棘皮动物进行了分类学研究, 自 50 年代才开始对我国各海区棘皮动物进行全面而深入的生态调查。随着海参、海胆等名优海产品的不断开发和利用, 棘皮动物与人类的关系也越来越密切。近年来, 国内大量学者开展有关棘皮动物起源与分类、生物学特征、生理生化特征、遗传学等方面的研究(常亚青等, 2004; 李海芳等, 2008; Xiao et al., 2011; 杨红生等, 2014; Yang et al., 2015)。同时, 棘皮动物的学科发展中仍存在诸多亟待进一步研究的问题, 如种类组成与多样性资源调查、再生等生理生态特征研究、营养价值和药用机理分析等。

我国棘皮动物研究成果颇丰。中国科学院海洋研究所、中国海洋大学、中国水产科学研究院黄海水产研究所、大连海洋大学等多个高等院校和科研单位都开展了棘皮动物研究工作, 完成了 973 计划、国家 863 计划、国家海洋公益性行业科研专项、自然科学基金等重大项目, 发表相关论文 2000 余篇, 出版多部海参、海胆相关专著, 自溶酶技术及其应用、生境修复与生态增养殖设施、良种培育与健康养殖等多个项目获国家级、省级奖励。2013 年 11 月, 由中国科学院海洋研究所、中国海洋大学等发起, 成立了中国海洋湖沼学会棘皮动物学分会, 开启了我国棘皮动物学研究与应用的新篇章。

## 1.3 重要种类产业体系基本形成

棘皮动物门海胆纲、海参纲的很多种类已成为重要的经济种类, 海星纲和蛇尾纲的一

些种类也在医学上展现出其独特的药用价值。

海胆养殖业始于 20 世纪 80 年代后期, 由大连水产学院引进日本虾夷马粪海胆 (*Strongylocentrotus intermedius*) 幼胆, 经过人工育苗和增养殖驯化, 增养殖范围扩大到辽宁和山东两省, 已形成一定的产业规模, 但我国的光棘球海胆 (*Strongylocentrotus nudus*)、紫海胆 (*Anthocidaris crassispina*) 等养殖技术亟待完善。目前, 筏式养殖与工厂化养殖技术基本完善, 包括选址、设施、饵料、养殖密度和管理等方面。

我国海参产业发展迅速, 20 世纪 50 年代开展的刺参人工育苗及增养殖技术研究是我国棘皮动物产业发展的基石。据《中国渔业年鉴》(农业部渔业渔政管理局, 2015) 统计, 2014 年海参养殖面积为 2141 km<sup>2</sup>, 占全国海水养殖的 9.29%, 年产量为 201 kt, 占全国海水养殖产量的 0.61%。由于资源过度捕捞、生境丧失、环境污染等问题, 经济物种的野生资源量急剧下降。例如, 20 世纪 60~70 年代到 2005 年的调查数据显示, 刺参 (*Apostichopus japonicus*) 野生资源在俄罗斯海域下降了 80%, 在中国海域下降超过 95%, 在韩国海域下降了 40%, 在日本海域下降了 30%。由此可见, 刺参在过去 50 年里, 全球资源至少下降了 60%。2013 年 2 月, 该物种被列入世界自然与自然资源濒危名录。与此同时, 海星、蛇尾等非经济物种的暴发引起了一系列生态灾害。

## 2 发展策略

棘皮动物在分类地位、生物进化及系统发生等方面都处于重要位置。棘皮动物属于后口动物, 是无脊椎动物的高等类群, 处于由无脊椎动物向脊椎动物开始分支进化的阶段。棘皮动物门的系统发生研究, 不仅从很大程度上影响着对后口动物谱系起源与演化的探索, 还有助于进一步推动脊椎动物演化“源头”的深入研究。

## 2.1 棘皮动物生物学与生物多样性

开展中国海域棘皮动物资源的全面调查和动态监测, 填补深海棘皮动物研究的空白; 实施棘皮动物种质资源的考察、收集、鉴定与评价, 探索优异种质资源鉴定、保存和利用, 以及核心种质库构建的新技术、新方法, 开展棘皮动物系统发生、进化和遗传多样性研究。选择棘皮动物关键物种, 开展基因组测序与分析, 以及宏基因组研究, 构建重要性状的遗传基础和调控信息网络; 促进代谢和调控信号网络、免疫应答网络的构建。

## 2.2 棘皮动物遗传与行为生态学

针对已开展研究的物种, 要进一步完善行为学、遗传学等相关基础研究; 未研发的物种, 探索其生物学特征、生理生化特性等, 揭示其科研、药用价值等。系统研究棘皮动物再生、夏眠等独特的生理特性, 使其成为比较生物学中的重要模式生物。研究生态灾害暴发对棘皮动物生物资源的影响, 阐明生态灾害对棘皮动物的影响及其响应特征, 探索生态灾害预警预报、防控原理与途径。

## 2.3 种质资源保护与遗传改良

开展形态导向型育种(如体型、体色、壁厚、多刺等)、营养导向型育种(如活性物质含量)、环境导向型育种(如耐高温、抗病害等)和市场导向型育种(如速生优质等)。研究棘皮动物种质资源保护技术、核心种质库的构建和评价技术, 实现重要种质资源的保存和利用; 以提高生长率、抗病性及其他生产性状为目标, 利用选择育种和分子标记辅助育种技术, 建立综合、高效的棘皮动物育种技术, 提高遗传改良的效率; 建设和完善优良品种培育技术体系, 创制和积累优质育种材料, 加强优良品种的培育研究与种质优化, 提高良种覆盖率。

## 2.4 健康苗种规模化繁育

坚持提高苗种质量、稳定苗种数量, 强调针对性的发展思路, 研究棘皮动物工厂化、规模化高效苗种培育新技术, 提高单位水体的

出苗数量和质量; 优化浅海、滩涂、池塘和室内保苗技术, 建立苗种分级培育方法, 完善大规模苗种培育技术体系, 提高苗种质量和产量, 促进优质棘皮动物种苗生产的良种化和产业化。

## 2.5 病害预防与环境控制

查明我国养殖棘皮动物的主要病原, 深入研究病原生物学和病害发生的病理学特征和流行规律, 建立快速、准确的检测方法和病害预防技术体系。研究防高温和防低盐等环境控制设施与技术, 建立养殖棘皮动物病害生态调控技术, 实现对棘皮动物病虫害的有效控制。

## 2.6 健康养殖设施与模式

研究棘皮动物生态养殖模式与养殖水环境相互作用的机理, 完善棘皮动物养殖水域养殖容量评估技术与复合养殖水域健康养殖技术, 全面推广应用多元生态养殖模式和生态优化调控技术; 建立棘皮动物健康养殖技术体系, 提出可持续管理模式与操作规范, 为我国棘皮动物健康养殖和产业可持续发展提供技术支撑。

## 2.7 产品安全与质量控制

设施产业全程监控, 实现全过程的食品安全, 实现可追溯体系。建立棘皮动物养殖模式的环境监控技术, 针对棘皮动物净化过程的技术环节进行系统研究, 优化棘皮动物生物净化过程的工艺参数; 开发棘皮动物重金属和有机污染物净化技术, 研发高效棘皮动物净化设施, 提高产品质量和卫生水平; 研究和建立棘皮动物养殖生产与净化加工企业 HACCP 管理体系, 规范棘皮动物产品标识, 完善棘皮动物产品市场溯源体系, 确保棘皮动物食品安全。

## 2.8 产业发展规划与市场管理

阐明棘皮动物产业发展与管理中政府、市场和行业作用领域及三方良性互动的模式, 提出市场主体(生产者、加工者、流通商)有效

参与棘皮动物产业发展规划和棘皮动物行业政策制定与实施的机制和途径。我国人民对海参的取食可追溯到 1800 年前,且药食同源,因此必须弘扬海参文化,如诗歌、书法,特别是餐饮文化等;实施品牌效应,实现消费人群和市场稳定,最终实现产业的稳定、高效和可持续发展。

## 参 考 文 献

- 常亚青,丁君,宋坚,等. 2004. 海参、海胆生物学研究与养殖. 北京: 海洋出版社
- 李海芳,陈瑶,杨梦甦,等. 2008. 棘皮动物天然产物的研究进展. 中国海洋药物, 27(4): 52-59
- 廖玉麟. 1997. 中国动物志: 棘皮动物门 海参纲. 北京: 科学出版社
- 廖玉麟. 2004. 中国动物志 无脊椎动物 第四十卷: 棘皮动物门 蛇尾纲. 北京: 科学出版社
- 廖玉麟,肖宁. 2011. 中国海棘皮动物的种类组成及区系特点. 生物多样性, 19(6): 729-736
- 刘瑞玉. 2008. 中国海洋生物名录. 北京: 科学出版社
- 农业部渔业渔政管理局. 2015. 2015 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社
- 潘南,乔琨,吴靖娜,等. 2015. 海胆壳棘化学成分、生物活性及潜在药用价值研究进展. 福建水产, 37(5): 415-425
- 汪松,解焱. 2005. 中国物种红色名录 第三卷: 无脊椎动物. 北京: 高等教育出版社
- 徐永东,李可闻. 2013. 我国海参产业现状分析. 渔业信息与战略, 28(2): 117-122
- 杨红生,周毅,张涛. 2014. 刺参生物学——理论与实践. 北京: 科学出版社
- 赵杨,王生,陶丽,等. 2012. 海参粘多糖对肿瘤细胞介导的凝血过程的影响. 中国药理学报, 28(6): 797-802
- Baker A N, Rowe F E W, Clark H E S. 1986. A new class of Echinodermata from New Zealand. Nature, 321(6073): 862-864
- Brusca R C, Brusca G J. 2003. Invertebrates. 2nd edn. Sunderland, MA: Sinauer Associates
- Georgiades E T, Danis B, Gillan D C, et al. 2006. Effect of crude oil contaminated sediment exposure on cytochrome P450 enzymes in the Australian asteroid *Coscinasterias muricata*. Chemosphere, 65(10): 1869-1877
- Hendrickx M E, Mah C, Zárate-Montes C M. 2011. Deep-water Asteroidea (Echinodermata) collected during the TALUD cruises in the Gulf of California, Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82(3): 798-824
- Mah C L, Blake D B. 2012. Global diversity and phylogeny of the asteroidea (Echinodermata). PLoS One, 7(4): e35644
- Mah C L. 2006. A new species of *Xyloplax* (Echinodermata: Asteroidea: Concentricycloidea) from the northeast Pacific: comparative morphology and a reassessment of phylogeny. Invertebrate Biology, 125(2): 136-153
- Mah C, Nizinski M, Lundsten L. 2010. Phylogenetic revision of the Hippasterinae (Goniasteridae; Asteroidea): systematics of deep sea corallivores, including one new genus and three new species. Zoological Journal of the Linnean Society, 160(2): 266-301
- O'Clair C E, Rice S D. 1985. Depression of feeding and growth rates of the seastar *Evasterias troschelii* during long-term exposure to the water-soluble fraction of crude oil. Marine Biology, 84(3): 331-340
- Pawson D L. 2007. Phylum Echinodermata. Zootaxa, 1668: 749-764.
- Purcell S W, Samyn Y, Conand C. 2012. Commercially Important Sea Cucumbers of the World. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Xiao N, Liao Y L, Liu R Y. 2011. Records of the genus *Henricia* Gray, 1840 (Echinodermata: Asteroidea: Echinasteridae) from Chinese waters. Zootaxa, 3115: 1-20
- Yang H S, Hamel J F, Mercier A. 2015. The Sea Cucumber *Apostichopus japonicus*: History, Biology and Aquaculture. Amsterdam: Academic Press

## Present Status and Prospect of the Study of Echinoderms

YANG Hong-Sheng<sup>1\*</sup>, XIAO Ning<sup>2</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>

(1. *Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*; 2. *Department of Marine Organism Taxonomy and Phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

\*Corresponding author, E-mail: hshyang@qdio.ac.cn

**Abstract** Echinoderms are restricted to the marine realm. They are widely distributed in all oceans and at all depths. Some play important roles in marine ecosystems. Echinoderms have a close relationship with the life of people due to its high economic value. Thus, it is urge to develop industries and to promote the studies of echinoderms. This paper summarized current situations and developing history of the study of echinoderms, and based on this, proposing solutions to varieties of future researches. These researches included biology and biodiversity, genetic and behavioral ecology, germplasm resources conversation and genetic improvement, a large scale breeding of health fingerlings, disease prevention and environmental control, facility and pattern of health aquaculture, production securities and quality control, industries development plan and market management *et al.* of echinoderms.

**Key words** echinoderms; theory; technology; research status; countermeasure of development