



刺参生物学

——理论与实践

杨红生 周 毅 张 涛◎著



科学出版社

刺参生物学——理论与实践

杨红生 周 毅 张 涛 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以中国科学院海洋研究所养殖水域生态学与生物资源修复研究团队近十几年来的主要研究进展为基础,总结了刺参生物学基本原理和增养殖关键技术等方面的核心研究成果。本书共 11 章,重点介绍了刺参的起源与进化、分类地位、消化生理特征、生态免疫特征、行为生态特征、夏眠特征、再生特征、白化特征、营养需求、刺参对海水养殖系统的生物修复作用、健康苗种繁育和增养殖设施与技术等方面内容。

本书可供高等院校及科研院所从事生物、水产等相关研究和生产的科研人员、教师、研究生及工程技术人员参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

刺参生物学:理论与实践/杨红生,周毅,张涛著. —北京:科学出版社,2014. 8
ISBN 978-7-03-041033-7

I. ①刺… II. ①杨… ②周… ③张… III. ①刺参-生物学-研究
IV. ①Q949. 763. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 125480 号

责任编辑:王海光 侯彩霞 付 聪 / 责任校对:张小霞
责任印制:赵德静 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏志印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 8 月第一次印刷 印张:19 插页:12

字数:450 000

定价:150.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《刺参生物学——理论与实践》著者名单

(按姓氏笔画排序)

于宗赫	马得友	王天明	王方雨	毛玉泽
邢 坤	刘石林	许 强	孙丽娜	孙景春
杨红生	苏 琳	邱天龙	张 涛	张立斌
张明珠	陈慕雁	林承刚	周 毅	赵 业
赵 欢	赵 鹏	赵鹤凌	柏雨岑	袁秀堂
夏苏东	徐冬雪	高 菲	潘 洋	

前言

闻香窗外千绯红,听涛海天万碧空;梦中水底沙嘿懒,苦思台前走笔匆。诗中“沙嘿”即海参。

深居北国,广布千里,棘皮娇佼。君天下千种,贵如人参。补肾养血,免疫老少。《本草纲目拾遗》早有记载“海参味甘咸,补肾,益精髓,摄小便,壮阳疗痿,其性温补,足敌人参,故名海参”。清乾隆年间所著《本草从新》称海参“补肾益精,壮阳疗痿”。仿刺参(*Apostichopus japonicus*),又名刺参,是海参纲中最具经济价值和开发潜力的一种。自然分布于 $35^{\circ}\text{N}\sim 44^{\circ}\text{N}$ 的广大西北太平洋沿岸,北起俄罗斯的海参崴,经日本海、朝鲜半岛南部到我国黄海、渤海,苏鲁交接的海州湾前三岛是刺参在我国自然分布的南界。

舔食菌藻,扰动滩底,行清道夫显功效。近夏日、惧暖风热水,静蛰含笑。20世纪50年代,刺参人工育苗和增殖技术得以研究和应用。近10年来,刺参产业发展迅速,刺参已经成为海水养殖产业中单一产值最大的养殖物种,2012年养殖面积18.15万 hm^2 ,占全国海水养殖面积的8.32%;年产量17.08万t,占全国海水养殖产量的1.04%;年产值342亿元,占全国海水养殖产值的16.09%。刺参产业快速发展的同时,一系列问题也日渐凸显,如良种匮乏、病害严重、养殖环境退化和产品安全等。因此,必须加强基础研究,开展良种选育、技术模式、病害防控、营养饲料、高值利用和体系构建等系统研究,形成新品种、新理论、新设施、新技术和新模式。

文学历史长河奔涌,海参风采依稀可寻。清初著名诗人吴伟业写下了著名的《海参》诗:“预使燂汤洗,迟才入鼎铛。禁犹宽北海,饌可佐南烹。莫辨虫鱼族,休疑草木名。但将滋味补,勿药养余生”。海参的自切与再生行为还深深地拨动了诺贝尔文学奖得主维斯瓦娃·希姆博尔斯卡的情弦,于是她有感而发写下了诗作《自切》。当代作家邓刚的长篇小说《白海参》叙述了大连海边十七岁小“海碰子”马里的“个人世界”——在那个动乱的年代,对“白海参”及美好友情和爱情的追求与向往,也让广大读者对这种白化刺参有了几多神秘与好奇之感。

大浪狂淘沙,海嘿白化。亿年渐进成神侠。问就缘由为己任,入梦皆她。海参特殊形态与奇特功效,在民间留下了诸多传说。例如,“徐福寻参”发生于公元前219年,秦始皇派徐福入海寻找长生不老药,徐福没有完成任务,不敢返航。与千名童男童女一起落脚荒岛。徐福发现了一种奇丑无比的“怪物”(即海参),决定尝尝滋味,蒸煮清香飘来,令人食欲大开,感觉气运通畅,浑身充满活力。徐福长期坚持,年过九十,依然面如童颜,须发俱黑,百病皆无。由此顿悟,原来“长生不老药”在此!派人送至始皇,然始皇此时早已命归黄泉。徐福叹息曰:“早知土肉(海参)如此,尔岂会崩命焉”。

书法是中国文化核心之核心,是五千年中国传统文化艺术发展之经典标志与民族符号。海参的“参”字,最早可追溯至公元前1300年商朝的甲骨文。“参”字的楷书、行书、草书、隶书、篆书皆有佳作,王羲之、王献之、欧阳询、柳公权、褚遂良、米芾、孙过庭等书法大

家皆留有墨宝。

民以食为天。自古以来,海参就被誉为“海产八珍”之一,数百年来一直被列为筵席上的名菜。在中国,鲁、苏、粤、川、湘、徽、浙、闽八大菜系皆有体现,例如,鲁菜葱烧海参、川菜响铃海参、湘菜芙蓉海参、粤菜红焖海参、苏菜金汤海参、徽菜花蕊海参等,皆为各菜系的代表作。

考量夏眠蹊跷,观分子机理真奇妙。育抗逆品系,谐和环境;优适密度,规范大小。构筑珍礁,营造家园,还沙喂自在逍遥。施南移,兴辽阔疆域,人海不老。海参特殊的习性、神秘的功能和巨大的价值,激起了研究团队的浓厚兴趣和不懈追求。十几年来,研究团队针对刺参生物学、生理学、行为学,以及增养殖原理、设施、技术和模式等进行了系统研究。为了总结研究成果,撰写了《刺参生物学——理论与实践》专著,含前言、绪论、消化生理特征、生态免疫特征、行为生态特征、夏眠特征、再生特征、白化特征、营养需求与饲料、生物修复作用、健康苗种繁育、增养殖设施与技术、后记等章节,以期刺参研究人员和产业相关人员提供参考,不足之处,请多多指教。

著 者

2014 年 1 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 海参的起源与分类地位	1
一、海参的起源与进化	1
二、海参的分类地位	2
第二节 刺参的主要生物学特征	6
一、夏眠	6
二、排脏与再生	6
三、自溶	7
四、排异	7
第三节 刺参产业发展现状	7
一、产业技术现状	7
二、产业存在的问题	8
三、产业发展战略思考	9
主要参考文献	11
第二章 刺参的消化生理特征	14
第一节 刺参消化道结构与形态	14
第二节 消化酶活性季节变化	17
一、淀粉酶活性	17
二、纤维素酶活性	17
三、褐藻酸酶活性	17
四、胃蛋白酶活性	18
五、胰蛋白酶活性	19
六、脂肪酶活性	20
七、季节变化规律	20
第三节 水温对刺参消化酶活性的影响	21
一、相对消化道质量	22
二、淀粉酶活性	23
三、脂肪酶活性	23
四、胃蛋白酶活性	24
五、胰蛋白酶活性	24
第四节 刺参肠道微生物的群落特征	25
一、消化道微生物的来源	25

二、消化道微生物的数量	25
三、消化道微生物多样性	26
主要参考文献	27
第三章 刺参的生态免疫特征	30
第一节 刺参体液免疫相关细胞	30
一、体腔液细胞分类	30
二、血细胞分类	35
第二节 环境因子对刺参免疫机能的影响	37
一、棘皮动物免疫特征和应激反应	37
二、温度胁迫对刺参免疫活性的影响	38
三、盐度胁迫对刺参免疫活性的影响	41
第三节 环境因子对刺参激素水平的影响	45
主要参考文献	48
第四章 刺参的行为生态特征	52
第一节 刺参的摄食行为特征	52
一、刺参摄食和运动器官的结构与功能	52
二、刺参食物选择性	58
三、刺参对不同藻粉饲料的选择性	69
第二节 刺参的栖息地选择特征	74
一、栖息地	74
二、刺参对栖息地的选择性	74
主要参考文献	85
第五章 刺参的夏眠特征	89
第一节 刺参夏眠的生理生态学特征	89
一、刺参夏眠临界温度	89
二、刺参夏眠期间的能量收支	93
三、刺参夏眠期间消化道退化特征	96
第二节 刺参夏眠代谢调控	100
一、夏眠动物代谢调控机制	100
二、夏眠刺参代谢减退及基因表达调控	101
主要参考文献	106
第六章 刺参的再生特征	109
第一节 刺参消化道再生的生物学特征	109
一、刺参消化道再生的组织学	109
二、刺参消化道再生的细胞学	111
第二节 刺参再生的内在调控机制	115
一、再生消化道文库的构建	115
二、再生消化道表达谱的构建	117

三、刺参再生关键基因	130
主要参考文献	137
第七章 刺参的白化特征	141
第一节 白刺参的生物学特征	141
一、研究背景	141
二、白刺参体壁基本营养成分的特征	142
三、白刺参体壁黑色素含量的特征	144
四、白刺参体壁组织学及超微结构的特征	145
第二节 刺参白化特征的发生机制	149
一、研究背景	149
二、刺参小眼畸形相关转录因子基因的克隆、表达及与白化相关性的分析	150
三、刺参 <i>astacin</i> 基因的克隆、表达及与白化相关性的分析	154
四、基于 454 测序技术的刺参白化发生机理研究	158
主要参考文献	162
第八章 刺参营养需求与饲料	164
第一节 刺参的食物来源	164
一、硅藻类食物来源季节变化	164
二、鞭毛藻或原生动物食物来源季节变化	165
三、大型绿藻食物来源季节变化	166
四、褐藻食物来源季节变化	166
五、细菌食物来源季节变化	166
六、刺参食物来源全年整体特征	167
第二节 刺参体壁营养成分分析	169
一、基本营养成分	169
二、氨基酸的组成和含量	171
三、脂肪酸的组成和含量	174
四、不同月份刺参体壁营养成分变化	178
第三节 刺参的营养需求与饲料配比	179
一、刺参的营养需求	179
二、刺参蛋白质营养对消化酶、免疫指标及代谢的影响	180
三、饲料组成对能量收支的影响	182
四、大叶藻碎屑作为饲料添加物对刺参生长的影响	186
主要参考文献	190
第九章 刺参对海水养殖系统的生物修复作用	193
第一节 刺参综合养殖模式及实践	193
一、刺参和对虾的综合养殖	193
二、刺参和鲍、海胆的综合养殖	194
三、刺参和双壳贝类的综合养殖	196

第二节 刺参在养殖系统中的生物修复潜力	197
一、刺参对浅海筏式贝类养殖系统的修复潜力	197
二、刺参对贝-藻养殖系统不同碳、氮负荷自污染物的生物清除效率	200
三、不同温度下刺参对贝-藻养殖系统自污染物的生物清除效率	202
主要参考文献	203
第十章 刺参健康苗种繁育	206
第一节 刺参苗种产业现状	206
第二节 刺参生态苗种培育	208
一、刺参生态苗种培育现状	208
二、潟湖生态苗种繁育技术	209
三、刺参生态苗种繁育展望	215
第三节 耐温速生刺参苗种培育	215
一、耐温速生亲参的选择	216
二、耐温速生刺参苗种选育技术参数确定	216
三、耐温速生刺参苗种培育技术	221
四、耐温速生刺参苗种选育效果	222
第四节 白刺参苗种培育	235
一、白刺参种参选择标准	235
二、白刺参种参收集和促熟培育	235
三、催产和受精卵孵化	236
四、浮游幼体培育	236
五、稚幼参中间培育	236
六、白刺参子代苗种体色分离现象	237
主要参考文献	238
第十一章 刺参增养殖设施与技术	240
第一节 刺参增养殖设施研制与应用	240
一、海水池塘多层板式立体海珍礁研制与应用	241
二、浅海近岸牡蛎壳海珍礁及其配套制作装置研制与应用	249
三、离岸岛屿多层组合式海珍礁研制与应用	257
四、新型底播养殖设施研制与应用	265
第二节 刺参增养殖技术	274
一、刺参池塘养殖技术与模式	274
二、刺参围堰养殖模式	275
三、海湾生境改良与底播增养殖模式	276
四、人工礁区刺参生态增养殖技术与模式	277
五、南移刺参筏式吊笼养殖模式	282
主要参考文献	288
后记	292
图版	

第一章 绪 论

内容提要: 海参是海参纲动物的泛称,全世界约有 1200 种,均属海洋种类,我国海域分布有 140 多种。据统计,全世界有食用价值的海参约 40 种,我国约有 20 种。刺参具有夏眠、排脏与再生、自溶和排异等诸多独特生理生态习性,是我国北方重要的增养殖对象。我国刺参产业发展迅速,但存在种质、病害、环境和产品质量等诸多问题,必须加强基础研究,突破原理和技术,实现产业的高效、健康和可持续发展。

关键词: 刺参,起源,分类,产业

海参(holothurian, sea cucumber)属棘皮动物门,是海参纲动物的泛称。全世界海参约有 1200 种(McElroy, 1990),均属海洋种类,在我国海域分布的有 140 多种。据统计,全世界有食用价值的海参约有 40 种,我国约有 20 种,如仿刺参、糙海参(*Holothuria scabra*)、黑乳参(*Holothuria nobilis*)、梅花参(*Thelenotaa anas*)、花刺参(*Stichopus variegatus*)、绿刺参(*Stichopus chloronotus*)、白底辐肛参(*Actinopyga mauritiana*)、棘辐肛参(*Actinopyga echinites*)、图纹白尼参(*Bohadschia marmorata*)、蛇目白尼参(*Bohadschia argus*)等。

第一节 海参的起源与分类地位

一、海参的起源与进化

棘皮动物因其体壁结缔组织中含有内骨骼,且骨骼常突出于体表形成棘、叉棘等而得名。棘皮动物是一类既古老又特殊的动物,可能起源于前寒武纪浅海穴居的后口动物,在古生代的早期至中期多样性达到顶峰,到中生代时已大量减少且高度类群化(杨德渐等, 1999)。棘皮动物幼体为两侧对称,而成体呈次生五辐射对称,胚胎进行辐射卵裂,通过内陷法形成原肠腔,中胚层和次生体腔以体腔囊法形成,体壁中具有中胚层起源的钙化骨片所形成的内骨骼。中胚层来源的骨骼,以及体腔和中胚层形成方式等都与脊索动物相似,而不同于其他无脊椎动物。

许多学者把已经灭绝的海果类(carpoids)作为前棘皮动物,它们呈非辐射对称,具有小骨片,但缺少棘皮动物分类的一些基本特征。有些学者认为,海果类可能是现代棘皮动物与脊索动物共同的祖先,其生活于浅海底,营悬浮食性,具有一个与口相通的短腕(brachiole)。另一些学者则认为,真正的棘皮动物可能是由寒武纪早期的旋板类(helicoplacoids)演化而来。旋板类呈纺锤形,全身覆盖螺旋状排列的小骨板,板上有棘状突起,具有 3 个步带区,口位于一侧。已灭绝的 *Camptostroma* 可能是已知最早的五辐射棘皮动物,由它们分离出有柄类和游走类两大系列,其 5 个步带沟形成 2-1-2 模式,这可能是棘皮动物由三辐射对称的旋板类动物衍生出来的证据(Paul et al., 1984)。

在棘皮动物中,水管系统和五辐射对称的发生出现在中胚层骨骼形成之后,这些特征

可能改变其生活类型,使其由底内生活转为底上生活。棘皮动物利用吸盘式管足进行运动,从而增加了获得食物资源的机会。水管系统最初用于摄食悬浮物或碎屑,如海果类纤毛束状的短腕,而后是旋板类和有柄类的步带沟,最后在许多游走类中步带沟封闭并丧失摄食功能,获取食物的任务由其他器官承担(杨德渐等,1999)。

海参的体形与其他棘皮动物显著不同,有明显次生两侧对称的趋势,无大型骨板,只有微小骨片。海参骨片在考古方面有着重要的作用(王成源,1979)。国外较早就已展开对海参骨片化石的研究,Gilliland(1993)在已有的海参化石分类及古生态综合研究基础上,进一步对海参骨片化石进行了系统地形态分类,阐述了海参的演化历史。目前我国关于海参化石的报道并不多,如湖南中泥盆统到下石炭统海参骨片化石,河南上石炭统海参化石,吉林、新疆柯坪等地区晚古生代海参化石,贵州独山早石炭世上司组化石、贵州关岭上三叠统海参化石,以及川西、藏东晚三叠世海参骨片化石(丁惠,1985;张金鉴,1985,1986,1987,1993;王向东等,1992;何炎等,1995;陈辉明等,2003)。由于海参纲留下的化石很少,而且为分散的骨板,很难和现存种作深入的比较。

许多学者认为海参的骨片与进化有直接关系,Deichmann(1958)认为海参的进化伴随着骨片由复杂到简单的演化,从桌形体(table)和扣形体(button)到比较简单的杆状体(rod)和花纹样体(rosette)。Levin等(1999)研究发现,原始掘穴的柄体参属(*Labidodemas*)含有桌形体和扣形体的骨片,而之后进化而来的底上游走类和滤食类含有杆状体和花纹体骨片,这一结果与Deichmann的结论基本一致。文菁等(2011)也发现桌形体和扣状体是较原始的骨片类型,随后进化为杆状体和花纹样体。然而Rowe(1969)却认为骨片是由简单向复杂演化。

近年来,随着分子生物学手段的发展与成熟,许多学者运用分子手段从基因层面对海参进行遗传和分类学研究(Kerr et al., 2004; 费来华等, 2008; 李慧等, 2009; Byrne et al., 2010; 严俊贤, 2012)。海参的系统发生和各种群间的系统演化关系还有待进一步研究。

二、海参的分类地位

世界上首先科学地命名海参的是林奈。1758年,在第10版《自然系统》(*Systema Naturae*)一书中,林奈将*Holothuria*这个词用于某些游泳动物。1767年,他在扩大版本《自然系统》中,把海参也放在*Holothuria*这个属内。1801年,拉马克把海参命名为*Holothuria*(廖玉麟,1997)。

目前发现印度-西太平洋区域是世界上海参种类最多的区域。Koehler等(1905)报告印度洋近海的海参共51种,其中多数为楯手目。Clark(1921)曾研究过印度-西太平洋中心区托列斯海峡的棘皮动物,发现多数隶属于楯手目,如图纹白尼参、蛇目白尼参、辐肛参(*Actinopyga lecanora*)、棘辐肛参、白底辐肛参、乌皱辐肛参(*Actinopyga miliaris*)、黑赤星海参(*Holothuria cinerascens*)、黑海参(*Holothuria atra*)、红腹海参(*Holothuria edulis*)、棘手海参(*Holothuria difficilis*)、丑海参(*Holothuria impatiens*)、沙海参(*Holothuria arenicola*)、黄疣黄参(*Holothuria hilla*)、玉足海参(*Holothuria leucospilota*)、虎纹海参(*Holothuria pervicax*)、豹斑海参(*Holothuria pardalis*)、糙海参、黑乳参、绿刺参、花刺参、梅花参和巨梅花参(*Thelenota anax*)。Cherbonnier(1955)报道了红海46种

海参种类,有约 26 种属于印度-西太平洋区域的热带种。Cherbonnier(1988)报道了 122 种马达加斯加的海参种类,很多种也属于印度-西太平洋普通种。

随着航海业和海洋考察的不断发展,发现的海参种类逐渐增多,关于海参的研究也逐渐增加和深入,这使得海参的分类系统发生改变。目前已有的海参分类系统包括以下 6 个版本(廖玉麟,1997)。

(一) Selenka(1867)的分类系统

有肺目 Pneumonophora

楯手科 Aspidochirodae

枝手科 Dendrochirodae

芋参科 Molpadidae

无肺目 Apneumona

锚参科 Synaptidae

(二) Semper(1868)的分类系统

海参亚纲 Holothurioidea

有肺目 Pneumonophora

芋参科 Molpadidae

枝手科 Dendrochirodae

楯手科 Aspidochirodae

无肺目 Apneumona

锚参科 Synaptidae

真肛科 Eupyrgidae

钩手科 Oncinolabidae

双口亚纲 Diplostomidea(葫芦参属 *Rhopalodina* 一属)

(三) Théel(1886)的分类系统

无足目 Apoda

无肺亚目 Apneumona

锚参科 Synaptidae

有肺亚目 Pneumonophora

芋参科 Molpadidae

有足目 Pedata

枝手科 Dendrochirodae

葫芦参科 Rhopalodinidae

楯手科 Aspidochirodae

平足目 Elasipoda

乐参科 Elipidiidae

幽灵参科 Deimatidae

蝶参科 Psychropotidae

(四) Ludwig(1892)的分类系统

辐管足目 Actinopoda

楯手科 Aspidochirodae

平足科 Elaspoda

 蝶参亚科 Psychropotidae

 幽灵参亚科 Deimatidae

 乐参亚科 Elipidiidae

枝手科 Dendrochirodae

芋参科 Molpadiidae

侧辐管足目 Paractinopoda

 锚参科 Synaptidae

(五) Mortensen(1927)的分类系统

平足目 Elaspoda

 浮游海参科 Pelagothuriidae

 幽灵参科 Deimatidae

 蝶参科 Psychropotidae

 深海参科 Laetmogonidae

 乐参科 Elipidiidae

楯手目 Aspidochirota

 辛那参科 Synallactidae

 刺参科 Stichopodidae

 海参科 Holothuriidae

枝手目 Dendrochirota

 瓜参科 Cucumariidae

 瓜参亚科 Cucumariinae

 沙鸡子亚科 Phyllophorinae

 菰参科 Psolidae

芋参目 Molpadonia

 芋参科 Molpadiidae

 尻参科 Caudinidae

无足目 Apoda

 锚参科 Synaptidae

 锚参亚科 Synaptidae

 指参亚科 Chiridotinae

深海轮参亚科 Myriotrochinae

(六) Pawson et Fell(1965)的分类系统

枝手亚纲 Dendrochirotea

枝手目 Dendrochirotida

板海参科 Placothuriidae

拟瓜参科 Paracucumariidae

箱参科 Psolidae

异赛瓜参科 Heterothyonidae

沙鸡子科 Phyllophoridae

硬瓜参科 Sclerodactylidae

瓜参科 Cucumariidae

指手目 Dactylochirotida

高球参科 Ypsilothuriidae

华纳参科 Vaneyellidae

葫芦参科 Rhopalodidae

楯手亚纲 Aspidochirotea

楯手目 Aspidochirotida

海参科 Holothuriidae

刺参科 Stichopodidae

辛那参科 Synallactidae

平足目 Elasipodida

幽灵参科 Deimatidae

深海参科 Laetmogonidae

乐参科 Elipidiidae

蝶参科 Psychropotidae

浮游海参科 Pelagothuriidae

无足亚纲 Apodacea

无足目 Apodida

锚参科 Synaptidae

指参科 Chiridotidae

深海轮参科 Myriotrochidae

芋参目 Molpadida

芋参科 Molpadiidae

尻参科 Caudinidae

真肛参科 Eupyrgidae

目前,采用较多的是 Pawson et Fell(1965)的分类系统。

第二节 刺参的主要生物学特征

仿刺参(*Apostichopus japonicus*)又称刺参,属棘皮动物门(Echinodermata)海参纲(Holothuroidea)楯手目(Aspidochirotida)刺参科(Stichopodidae)仿刺参属(*Apostichopus*),喜欢栖居在波流静稳、海藻丰茂、无淡水注入的岩礁或硬底港湾内,或是大叶藻丛生的细泥沙底海底丛林中。适宜水深3~5m,少数可达十多米,幼小个体多生活在潮间带。

每年5月底到7月初是刺参产卵的季节,各地区因水温不同而略有差异,一般当水温达18~20℃时开始排卵。刺参的个体发育包括受精卵—囊胚—原肠胚—小耳状幼体(auricularia)—中耳状幼体—大耳状幼体—樽形幼体(doliolaria)—五触手幼体(pentactula)—稚参等阶段。夏季水温较高时,刺参一般会钻到石下或石缝中进行“夏眠”(aestivation),等到水温下降,再出来活动和摄食。

刺参属狭盐性动物,适宜海水盐度范围为28~32。盐度的变化会引起刺参生理、免疫等多方面的反应(肖培华,2004;王吉桥,2009)。适宜pH为7.9~8.4。

刺参对气象具有一定的感应性。在大风暴来临前,它们常躲到石头底下或其他安全的地方,等风浪平静后,再出来活动和摄食。小个体喜生活在较浅水域,大个体生活在较深水域,夏季刺参有向深水移动的现象。

刺参主要摄食沉积于海底表层的泥沙、有机碎屑、细菌、底栖硅藻等。

一、夏眠

刺参是典型的温带种类,为了应对夏季高温,演化出了“夏眠”这一重要的生态习性。当夏季海水温度升高到一定范围后,刺参即迁移到海水较深、较安静的岩石间不动不食,这种现象称为“夏眠”(袁秀堂,2005)。刺参夏眠时长一般为2~4个月,在此期间,刺参生理状态会出现显著变化,主要表现为:摄食停止,活动降低;消化道退化;体重减轻;代谢降低;能量利用对策改变,降低或休止摄食排泄等机能(袁秀堂等,2007)。

温度是刺参夏眠的主要诱因(袁秀堂等,2007),而夏眠的临界温度因栖息地不同而存在差异,并随其体重的增大而降低。研究表明,体重72.3~139.3g的刺参,夏眠临界温度为24.5~25.5℃,而体重28.9~40.7g的刺参,夏眠临界温度为25.5~30.5℃(Yang et al., 2005)。

二、排脏与再生

排脏(evisceration)是指海参在受到损伤、遭遇敌害、过度拥挤、水质污浊、水温过高、氧气缺乏、盐度降低等强烈刺激或处于不良环境时,通过身体剧烈收缩,将消化道、呼吸树、居维尔氏小管、生殖腺甚至全部内脏器官由肛门排出体外的现象(聂竹兰和李霞,2006)。排出器官的种类和数量因海参种类、所受刺激强度及所处环境条件的差异而有所不同。对于刺参而言,排出的器官主要是肠道和呼吸树,在排脏后体腔内仅剩石灰环、咽—食道的残肢及泄殖腔。排脏的机理非常复杂,但主要可分为三部分:一是内脏连接韧带和

泄殖腔、肠系膜及体壁肌腱连接韧带的快速软化;二是体壁或泄殖腔强烈的局部软化;三是肌肉收缩并断裂、弱化,继而排出失去韧带连接的内脏(孙修勤等,2005)。刺参的排脏有帮助自身调节渗透压、防止代谢过快和修复受损内脏的功能(邢坤,2009)。

刺参在排脏之后,当环境条件适合时,能再生出新的内脏器官。少数种类海参被横切为2~3段,各段也能再生为完整个体。刺参具有很强的再生能力,其再生机制包括变形再生(morphallaxis)与新建再生(epimorphosis)两种(聂竹兰和李霞,2006)。

三、自溶

刺参在受到环境或其他因素[如紫外线照射(Zhang et al., 1994)、盐度降低(Qi et al., 2007)、细菌感染等]影响时,会发生高度的自溶反应(autolysis)(Mukundan et al., 1986)。这也是刺参养殖、加工和保存过程中的重要问题。刺参的自溶主要是由于肌肉和组织中高活性内源蛋白酶的作用(Goll et al., 1983; Nishimura et al., 1983)。目前,已经有一些针对刺参体壁中与自溶相关的蛋白水解酶的研究(Qi et al., 2007; Zhu et al., 2008)。

四、排异

目前,未见关于刺参排异反应(rejection reaction)的研究报道。在刺参标记技术的实验研究中发现,无论是在刺参体表还是穿透体壁进行标记,刺参都能将其排除,并且逐步消除标记留下的疤痕。其强大的排异能力,对于标记和进一步的行为学研究是一个挑战,合适的标记技术仍需进一步探索。

第三节 刺参产业发展现状

随着人们生活水平的提高及医疗保健意识的增强,海参的医疗保健作用逐步得到了世界的认同,形成了以中国、新加坡、日本、韩国、美国、印度尼西亚、菲律宾等国家为中心的贸易和消费市场(Battaglene et al., 1999; Hamel et al., 2003)。然而,需求量的不断增加引发了近年来海参的过度捕捞问题,尤其在印度洋和东太平洋地区,种群数量日益减少,自然资源面临枯竭的危机(Reyes-Bonilla and Herrero-Pérezrul, 2003)。为了解决市场与资源问题,海参增养殖业应运而生,主要在中国、日本等地蓬勃发展,成为了一项新兴的、前景广阔的行业。

一、产业技术现状

我国自20世纪50年代开展刺参人工育苗及增养殖技术的研究,70年代起在天然海域投放种苗进行人工增殖,80年代进行刺参大水体高密度人工育苗,90年代以后日益完善多形式的养殖模式和养殖技术,为刺参养殖提供了强有力的技术支撑(黄华伟和王印庚,2007)。目前,我国的刺参增养殖主要以池塘养殖和底播增殖为主,各地还因地制宜地发展了围堰养殖、海上沉笼养殖、浅海围网养殖、海底网箱养殖、人工控温工厂化养殖,以