

网络优先数字出版时间:2015-01-14

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20150114.1023.009.html>

# 方格星虫种质资源及人工增养殖研究进展\*

## Advances in Germplasm Research and Artificial Culture of *Sipunculus nudus*

彭银辉, 黄国强\*\*, 刘旭佳, 杨家林, 蒋艳, 彭慧婧

PENG Yin-hui, HUANG Guo-qiang, LIU Xu-jia, YANG Jia-lin, JIANG Yan, PENG Hui-jing

(广西海洋研究所 广西海洋生物技术重点实验室, 广西北海 536000)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Biotechnology, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**以方格星虫研究热点领域如免疫活性成分、遗传多样性、繁殖生物学及繁育增养殖现状等为重点内容, 概述方格星虫种质资源及人工增养殖主要研究成果, 探讨当前存在的一些问题, 展望其资源开发利用前景。

**关键词:**方格星虫 种质资源 人工增养殖 进展

**中图分类号:**S968.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2015)01-0009-07

**Abstract:** Research achievements in germplasm resources of *Sipunculus nudus* were summarized in the article. The directions including active component, genetic diversity, reproductive biology, culture and artificial culture are reviewed. The paper elaborated the latest progress of the research achievements, discussed the problems that existed in the current research and prospect in utilization of *Sipunculus nudus* resource.

**Key words:** *Sipunculus nudus*, germplasm resources, artificial culture, advances

## 0 引言

方格星虫 (*Sipunculus nudus*) 又称光裸方格星虫、光裸星虫, 俗称“沙虫”, 隶属于星虫动物门、方格星虫纲、方格星虫目、方格星虫科、方格星虫属。其营养价值高, 素有“天然味精”之称, 干制品“沙虫干”味道鲜美, 价格昂贵, 在国内外市场广受欢迎。

国内外学者围绕方格星虫种质资源保护与利用这一目标开展了相关研究工作, 本文主要从方格星虫资源分布、营养和免疫活性成分、遗传多样性、繁殖生物学及增养殖现状等方面综述相关研究进展。

## 1 资源分布状况

方格星虫广泛分布于大西洋、太平洋和印度洋沿岸, 为世界广泛分布的暖水种类。我国沿海山东、福建、广东、广西和海南等地均有分布, 其中, 广西沙虫资源最为丰富<sup>[1~3]</sup>。20世纪八十年代, 梁广耀<sup>[3]</sup>对广西北海沙虫资源量进行调查表明, 广西北海、钦州和防城港沿海的沙质滩几乎都有方格星虫分布, 从中潮区至低潮区垂直分布, 总面积约17万多亩, 平均生物量22.73 g/m<sup>2</sup>, 平均密度2.83条/m<sup>2</sup>, 最高密度达9条/m<sup>2</sup>, 当时资源量约4000 t。近年来, 由于人工过度采挖, 加之港口工业和近海污染

收稿日期:2014-10-10

修回日期:2014-11-19

作者简介:彭银辉(1981-), 男, 助理研究员, 主要从事海水养殖与遗传育种研究。

\* 国家自然科学基金项目(31160532)和广西科技开发课题项目(桂科攻14121006-2-1)资助。

\*\* 通讯作者:黄国强(1973-), 男, 博士, 研究员, 主要从事水产养殖生态学研究, E-mail: hqghugq@yahoo.com.cn。

等,沙虫资源量在一定程度上有所降低,但在广西仍具一定规模,沿海渔民每年都可以靠采挖沙虫创收。目前,方格星虫已成功实现工厂规模化育苗和池塘中培,养殖产业得以推广,养殖区成体密度可达10~20条/m<sup>2</sup>,采挖时一般捕大留小,对经济创收和资源恢复都具有积极意义。

## 2 营养成分和活性物质研究

### 2.1 营养成分

方格星虫是一种高蛋白、低脂肪、呈味氨基酸丰富的海产体腔动物,我国多种本草中记载了其食用和药用价值。据报道,广西北海产地方格星虫蛋白质含量为79.90%,远高于一般的鱼类(<20%),含脂肪3.08%,总糖5.67%,氨基酸17种,其中6种呈味氨基酸占氨基酸总量的49.97%,高于石斑鱼(45%左右)、大黄鱼(42%)和鲷类(<30%)等,此外,还含有20种脂肪酸和多种微量元素<sup>[4~6]</sup>。

### 2.2 活性物质

现代医药研究表明,方格星虫含有多种活性物质,能够调节机体多种功能,具有显著的延缓衰老、抗氧化、抗疲劳、耐缺氧和耐高温等功效,是开发功能性保健品和药物的优选材料<sup>[7~13]</sup>。如沈先荣等<sup>[8]</sup>给予大鼠不同剂量的方格星虫提取物30d后,大鼠血清丙二醛含量显著降低,血清SOD活性显著增强,方格星虫提取物还能显著延长果蝇寿命。

方格星虫多糖具有抗菌活性,能提高小鼠的抗辐射能力,促进小鼠脾淋巴细胞增殖,对于机体发挥免疫监视和清除病变细胞等具有非常重要的作用<sup>[14~18]</sup>。此外,方格星虫纤维蛋白溶解酶具有直接溶解纤维蛋白和激活纤溶酶原的双重作用,对预防和治疗血栓性疾病具有一定的药用价值<sup>[19]</sup>。可见方格星虫富含多种活性成分,是值得进一步高值化利用的海洋生物。

## 3 种质鉴定和遗传多样性

### 3.1 分类归属

目前对方格星虫属乃至星虫动物门(Sipuncula)的分类主要是依据传统的形态学和解剖学等基本方法进行。国内学者李凤鲁<sup>[20]</sup>对中国沿海的方格星虫属动物进行了整理与描述,更正了一些同物异名现象,确认了不同学者对光裸方格星(*Sipunculus nudus*)的命名。根据分子进化生物学方面的论据,可帮助划分方格星虫的分类地位,如Adina等<sup>[21]</sup>根据线粒体全序列分析,提供了方格星

虫归属于环节动物门的分子证据。Maxmen等<sup>[22]</sup>利用DNA序列分析,对星虫动物门进行了系统发育分类的重新界定。Gisele等<sup>[23]</sup>利用28S rRNA、16S rRNA、组蛋白H3以及细胞色素c氧化酶亚基I多种手段对世界各地11个地区的形似方格星虫进行分析,结果显示,这些方格星虫明显分化成5个分支,最具代表的3个地区的星虫可以在形态学上区分,其它在形态学上极其相似,但存在不同种的分类。方格星虫隐种的相关研究在国内未见报道,对形态存在高度相似,但可能处于不同种分类地位的研究需进一步证实。

### 3.2 种群遗传多样性

物种遗传多样性高低反映的是该物种适应环境的能力和对环境变迁持续进化的潜力。通过分子标记,如RAPD、ISSR、SSR和线粒体基因,认知方格星虫群体遗传结构与遗传变异,可以为方格星虫这一重要水产资源的选育、繁育和保育提供依据。王庆恒等<sup>[24]</sup>和宋忠魁等<sup>[25]</sup>曾分别利用RAPD标记技术,对方格星虫地理群体的遗传多样性进行研究。结果显示,不同地理种群的多态位点比例和遗传多样性指数均较高,在目前海流作用下,方格星虫的浮游幼体并不能强有力地促进群体间的基因交流。影响广西沿海裸体方格星虫群体间遗传分化的重要因素是广西沿海海岸线高的岸曲比(8.6:1)特征,半岛等地形有效地阻断了群体间的基因交流。Du X等<sup>[26,27]</sup>利用16S rRNA和COI序列分析北海、三亚和厦门3个方格星虫地理种群的遗传多样性,发现3个群体间遗传分化明显,北海群体具有最多的单倍性和核苷酸多样性。宁岳等<sup>[28]</sup>根据线粒体COI基因序列测定发现,福建沿海及广西方格星虫主要分布区野生种群的遗传变异水平较高,野生种质资源处于较好状态。方格星虫由于地理间隔和生活环境的差异有助于提高分化程度,而海流的输送以及人工养殖等则可能增加基因交流,减少群体间的遗传分化。

## 4 繁殖生物学

国内学者对方格星虫的生殖周期和胚胎发育等繁殖生物学特征做了若干研究<sup>[29~32]</sup>。兰国宝等<sup>[30,31]</sup>通过观察方格星虫体腔生殖细胞发育时期的变化,研究广西海区方格星虫繁殖周期,指出其卵原细胞经过细胞增殖期(1~2 μm)、细胞质生长期(3~30 μm)、滤泡膜形成期(30~70 μm)、胶质膜形成期(70~160 μm)和成熟期(≥160 μm)5个发育

时期;精原细胞的发育经过细胞增殖期、细胞生长期、细胞分化期和成熟期 4 个发育时期。王庆恒等<sup>[32]</sup>则参考鱼类生殖细胞发育的分期方式,将雄性生殖细胞的发育分为增殖期、生长期、成熟期和变态期,将卵的发育分为小生长期、大生长期、成熟前期、成熟期。吴斌<sup>[33]</sup>通过解剖方格星虫肾管中的精卵进行人工授精,各期卵细胞相对含量的周年变化表明,光裸方格星虫属分批产卵类型,产卵期为 4~9 月。光裸方格星虫的精卵只有经肾管收集后才具受精能力,受精卵约经 3 h 发育为担轮幼虫,经 24 h 左右发育为海球幼虫。担轮幼虫为卵黄营养型,海球幼虫为浮游生物营养型,摄取单细胞藻类或有机碎屑为食,浮游生活 2~3 周后变态为稚星虫。

## 5 人工增养殖

### 5.1 人工育苗

目前,关于方格星虫人工育苗的研究主要有亲体培育、催产方法、幼体发育及变态等。国内学者兰国宝等<sup>[34,35]</sup>最早研究了方格星虫幼体生长发育与不同种类饵料的关系,并探讨了水温对方格星虫幼体发育及变态的影响。试验结果表明,9 种海产单细胞藻类和面包酵母都是方格星虫幼体的良好饵料,其中以扁藻、等鞭金藻、叉鞭金藻、绿色巴夫藻、牟氏角毛藻和三角褐指藻投喂效果最好,海球幼体的发育时间与温度变化的关系极密切,适宜的发育温度为 27.5~32.0℃。李进寿等<sup>[36]</sup>报道了成熟星虫亲体干露 5~8 h,可排放精、卵并达成受精和正常胚胎发育,是行之有效的人工催产方法。林向阳等<sup>[37]</sup>对裸体方格星虫规模化人工育苗技术进行研究。邹杰等<sup>[38,39]</sup>在水温 18~24℃、盐度 27.5~30.8 的条件下,对方格星虫亲体进行 50 d 水泥池培育至成熟试验,研究人工培育条件下方格星虫的生活习性与生殖细胞发育,结果显示,雌星虫成熟率为 93.3%,雄星虫成熟率为 40.0%,并成功实现亲体产卵受精。此外,对人工繁育的方格星虫苗种进行为期 26 个月滩涂养殖试验,于繁殖季节对养殖亲体人工催产并取得成功。试验结果表明,2 龄亲体适合人工催产,养殖成活率为 41.6%,平均体质量增加 22.29 g,雌雄比为 1.37:1;雌星虫最小性成熟个体质量为 6.46 g,性成熟最短时间为 11 个月,星虫怀卵量与体质量呈正相关;生殖细胞呈周期性发育。彭慧婧等<sup>[40]</sup>研究发现,光裸方格星虫雌雄异体、体外受精;卵母细胞分批成熟,分批产卵;产卵时间不固定,昼夜皆可产卵;6 月和 7 月的光裸方格星

虫产后具有较好的再繁殖能力。

### 5.2 人工养殖

依托人工育苗和中培技术的突破,方格星虫成功实现人工增养殖。目前,增养殖方式主要为粗放式,即投放到适宜的沙滩滩涂上,无需投放饵料,养殖成本主要为苗种和采挖费用,部分海区养殖户亩产利润高达 4000~7000 元。方格星虫全人工养殖是广西沿海的特色产业,尤其是北海沙质滩涂资源丰富,方格星虫养殖和加工产业规模颇大。

蒋艳等<sup>[41]</sup>对方格星虫中间培育阶段苗种的生长及成活率情况进行研究报道,指出铺设适宜底质及投喂适量人工饵料,是提高方格星虫池塘中间培育技术的重要方法。邹杰等<sup>[42]</sup>研究了方格星虫海区中培和养殖状况,发现其生长速度随放养密度增高而降低,变化显著( $P < 0.01$ ),方格星虫存活率受放养季节的影响较小;对滩涂放养的方格星虫的生长与密度变化情况进行多点混合式采样测定,发现试验养殖平均体质量增加 22.29 g,成活率为 41.6%。整个养殖过程中方格星虫的生长接近于匀速生长,温度较高的 6~9 月未呈现过快的生长速度,养殖前 8 个月密度变化较大,后期为 8~12 条/ $m^2$ 。据报道<sup>[43]</sup>,广西北海市侨港镇、福成镇和合浦县西场镇等地设立的方格星虫人工苗种养殖示范场,平均亩产达 94~221 kg,同期间的公共滩涂上,群众日采挖沙虫量为 2~5 kg/人,比 5 年前的日人均采获量 0.5~1.0 kg 增加了 5 倍以上,说明在方格星虫全人工养殖技术示范与推广项目的带动下,方格星虫的自然资源得到明显的恢复。

方格星虫还可与对虾、文蛤等进行混养<sup>[44~47]</sup>。文蛤通过过滤水体摄取浮游植物和有机颗粒,产生生物沉降作用,为养殖沙虫提供了丰富的饵料,降低了滩涂有机物质的沉积,提高养殖产量和效益。因此,该养殖模式是一种健康的、可持续发展的生态养殖模式。蔡德建等<sup>[46]</sup>在海区滩涂围网,2  $hm^2$  面积内分别放养文蛤和沙虫苗种 60 万粒和 40 万粒,养殖 23 个月后,养成壳长 4~5 cm 的商品文蛤 10500 kg,体长 8~14 cm 的商品沙虫 5040 kg,实现总利润 30.22 万元,平均每公顷利润 15.11 万元。在沙质底的虾塘混养沙虫<sup>[44,45]</sup>,沙虫专食残饵及有机碎屑可起到降低有机质和营养元素负荷的作用,使水色、pH 值和溶氧保持相对稳定。但由于方格星虫生长周期长(12~20 个月),而凡纳滨对虾的养殖周期较短(3~5 个月),换茬时如何消毒清洗虾塘等问题值得探讨。

## 6 展望

### 6.1 开展池塘养殖和生态混养

广西沿海滩涂面积辽阔,但适合进行高产养殖方格星虫的沙滩有限。且滩涂资源属公共资源,渔民私自划分海滩放养苗种经常引发与邻村利益冲突。因此,需要政府和相关部门进行协调分配,流转承包,合理分配好利益。同时应开展池塘高产、高效养殖,配合开发人工饲料,缩短养殖周期,考虑与其它互补品种生态混养,发展立体综合养殖。目前,关于方格星虫营养需求、饲料配方<sup>[48,49]</sup>及生态混养的研究已见报道,其应用价值需进一步深入开发。

### 6.2 加工及高值化利用

方格星虫加工方式主要为晒“沙虫干”,干品味鲜、价高,易储藏和运输,深受市场青睐。但是,由于加工过程中会使体壁肌肉带有少量细沙,大大影响口感,因此,应建立现代化标准的沙虫翻洗、晒烘加工及去沙工艺,制作无沙或含沙极少的干品。此外,方格星虫低脂高蛋白,富含多糖成分,研究报道称其多糖成分具有免疫、抗衰老疲劳功效,可以进一步开发,提取并精炼其精华,实现高值化利用。

### 6.3 资源可持续健康发展

方格星虫是广西沿海地方特色资源。近年来,广西海洋研究所成功突破方格星虫育苗、中培和养殖技术难关,带动发展广西沿海方格星虫养殖产业,使渔民受益,海区资源明显恢复,实现了经济和生态效益、社会效益多赢。

为充分保护和利用方格星虫资源,实现其可持续健康发展,首先,必须对广西沿海及周边方格星虫种质资源进行评估鉴定,借助资源调查、遗传多样性分析和品种品质分析等多种手段,摸清资源优势地点,划分方格星虫种质库区。其次,应及时开展选育工作,因为从养殖群体中选做亲本繁育多代后,种质开始出现退化,表现为生长速度减慢,成活率降低、品质下降等劣势。放养周边野生苗种如越南、海南苗种,则可能造成广西这一特色资源种质混杂,因此,应对外来野生苗种对当地资源影响进行科学评估。再次,要建设方格星虫良种场,建立种质资源保存与选育中心。最后是原种场的建立,旨在维持广西方格星虫原始基因的纯正性和产品的优越性能。另外,针对方格星虫这一优势资源,有关单位和部门应合力争取注册广西地理标识产品,形成品牌效应,加大宣扬力度,拓展消费市场。

### 参考文献:

- [1] 李凤鲁,周红,王玮. 中国沿海星虫动物门名录[J]. 青岛海洋大学学报,1992,22(2):72-88.  
Li F R, Zhou H, Wang W. The list of the phylum sipuncula in Chinese coast[J]. Journal of Ocean University of Qingdao,1992,22(2):72-88.
- [2] 陈细香,林秀雁,卢昌义,等. 方格星虫属动物的研究进展[J]. 海洋科学,2008,32(6):66-70.  
Chen X X, Lin X Y, Lu C Y, et al. Advances on research of *Sipunculus* [J]. Marine Science, 2008, 32(6):66-70.
- [3] 梁广耀. 广西沿海方格星虫资源的初步调查[J]. 广西农业科学,1990,1:46-48.  
Liang G Y. The preliminary investigation of resource of *Sipunculus nudus* in Guangxi coast[J]. Guangxi Agricultural Sciences,1990,1:46-48.
- [4] 李珂娴,沈先荣,蒋定文,等. 北海方格星虫营养成分分析[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志,2010,17(5):305-308.  
Li K X, Shen X R, Jiang D W, et al. Nutritional analysis of *Sipunculus nudus* in Beihai[J]. Naval Medical Research Institut, 2010,17(5):305-308.
- [5] 章超桦. 方格星虫干呈味及功能成分研究[J]. 湛江海洋大学学报,2000,20(2):24-27.  
Zhang C H. Study on tasty substance and functional components of the dried Sha - chong (*Sipunculus nudus*) [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2000,20(2):24-27.
- [6] 程波. 七带石斑鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 渔业科学进展,2009,30(5):51-57.  
Chen B. Nutritional components analysis and nutritive value evaluation in *Epinephelus septemfasciatus* muscles[J]. Progress in Fishery Sciences,2009,30(5):51-57.
- [7] 张桂和,赵谋明,巫光宏. 方格星虫酶解物成分分析及其抗氧化作用[J]. 食品与生物技术学报,2007,26(3):80-84.  
Zhang G H, Zhao M M, Wu G H. The nutritional components of enzymatic hydrolysate from *Sipunculus nudus* and effects on anti-oxidation[J]. Journal of Food Science and Biotechnology,2007,26(3):80-84.
- [8] 沈先荣,蒋定文,贾福星,等. 方格星虫延缓衰老作用研究[J]. 中国海洋药物,2004(1):30-32.  
Shen X R, Jiang D W, Jia F X, et al. Study on anti-senescence effect of *Sipunculus nudus* preparation[J]. Chinese Journal of Marine Drugs,2004(1):30-32.
- [9] 张桂和,李理,赵谋明,等. 方格星虫营养成分分析及抗

- 疲劳作用研究[J]. 营养学报, 2008, 30(3): 318-320.
- Zhang G H, Li L, Zhao M M, et al. Study on the nutritional components of *Sipunculus nudus* and its anti-fatigue effects in mice[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2008, 30(3): 318-320.
- [10] 沈先荣, 蒋定文, 贾福星, 等. 海洋星虫提取物的抗疲劳作用研究[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2003, 10(2): 112-114.
- Shen X R, Jiang D W, Jia F X, et al. The anti-fatigue effect of *Sipunculidae* preparation on mice[J]. Chin J Naut Med & Hyperbar Med, 2003, 10(2): 112-114.
- [11] 蒋定文, 沈先荣, 贾福星, 等. 海洋星虫提取物的营养分析及免疫调节作用的初步观察[J]. 中国生化药物杂志, 2004, 25(2): 96-97.
- Jiang D W, Shen X R, Jia F X, et al. Nutrient analysis and immune regulation study on extract of *Sipunculidae* [J]. Chinese Journal of Biochemical Pharmaceutics, 2004, 25(2): 96-97.
- [12] Marsden J R. Classes of lipid in two polychaetes, an echiuroid and a sipunculid from the Coast of Kenya, East Africa[J]. Biochemistry and Molecular Biology, 1976, 53(2B): 225-229.
- [13] 刘培培, 陶洪文, 吴芬, 等. 裸体方格星虫甲醇提取物的化学成分研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2008, 27(5): 28-30.
- Liu P P, Tao H W, Wu F, et al. Study on the chemical constituents of methanol extracts from *Sipunculus nudus* [J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2008, 27(5): 28-30.
- [14] 李珂娴, 沈先荣, 蒋定文, 等. 方格星虫多糖对小鼠抗辐射能力的影响[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2011, 18(3): 139-141.
- Li K X, Shen X R, Jiang D W, et al. Protective effect of polysaccharides from *sipunculus nudus* on radiation injury in mice[J]. Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine, 2011, 18(3): 139-141.
- [15] 彭晓娜, 雷晓凌. 方格星虫多糖对小鼠免疫活性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(4): 54-57.
- Peng X N, Lei X L. Effect of polysaccharide extracted from *Sipunculus nudus* on the immunity of mouse [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2007, 27(4): 54-57.
- [16] 夏乾峰, 谭河林, 覃西, 等. 方格星虫多糖抗菌活性的初步研究[J]. 中国热带医学, 2007, 7(12): 2192-2193.
- Xia Q F, Tan H L, Qin X, et al. Preliminary observation on the antibacterial activity on polysaccharides in *Sipunculus nudus* [J]. China Tropical Medicine, 2007, 7(12): 2192-2193.
- [17] 董兰芳, 张琴, 童潼, 等. 方格星虫多糖抗菌和抗氧化活性研究[J]. 广西科学, 2013, 20(4): 289-293.
- Dong L F, Zhang Q, Tong T, et al. Studies on the antimicrobial and antioxidant activities of polysaccharide from *Sipunculus nudus* [J]. Guangxi Sciences, 2013, 20(4): 289-293.
- [18] 蒋定文, 沈先荣, 何颖, 等. 方格星虫多糖对 5.0 Gy ~ 60Co $\gamma$  辐射损伤小鼠的保护作用[J]. 中国辐射卫生, 2013, 22(6): 648-650.
- Jiang D W, Shen X R, He Y, et al. Protective effect of *Sipunculus nudus* polysaccharides on 5.0 Gy ~ 60Co $\gamma$  irradiation mice[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2013, 22(6): 648-650.
- [19] 雷丹青, 李肖肖, 廖共山. 广西沿海裸体方格星虫纤维蛋白溶解酶的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2013, 25(7): 897-902.
- Lei D Q, Li X X, Liao G S. Study of fibrinolytic enzyme from *Sipunculus nudus* Linnaeus in Guangxi Coastal Area[J]. Natural Product Research and Development, 2013, 25(7): 897-902.
- [20] 李凤鲁, 孔庆兰, 史贵田, 等. 中国沿海方格星虫属(星虫动物门)的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1990, 20(1): 93-99.
- Li F L, Kong Q L, Shi G T, et al. Studies on the genus *Sipunculus* (Sipuncula) of the China Coasts[J]. J Ocean Univ Qingdao, 1990, 20(1): 93-99.
- [21] Adina M, Achim M, Christoph B, et al. Mitochondrial genome sequence and gene order of *Sipunculus nudus* give additional support for an inclusion of Sipuncula into Annelida [J]. BMC Genomics, 2009, 10(27): 1471-2164.
- [22] Maxmen A B, King B F, Cutler E B, et al. Evolutionary relationships within the protostome phylum Sipuncula: A molecular analysis of ribosomal genes and histone H3 sequence data[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2003, 27(3): 489-503.
- [23] Gisele Y K, Gonzalo G. *Sipunculus nudus* Linnaeus, 1766 (Sipuncula): Cosmopolitan or a group of pseudocryptic species? An integrated molecular and morphological approach[J]. Marine Ecology, 2014, 35(4): 478-491.
- [24] 王庆恒, 杜晓东, 李康. 光裸星虫遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(3): 57-61.
- Wang Q H, Du X D, Li K. Genetic diversity of *Sipunculus nudus* as revealed by RAPD [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(3): 57-61.
- [25] 宋忠魁, 刘婷, 杨家林, 等. 广西沿海裸体方格星虫群

- 体遗传多样性及遗传分化[J]. 水产科学, 2011, 30(12):749-753.
- Song Z K, Liu T, Yang J L, et al. Genetic diversity and genetic structure of *Sipunculus nudus* in coastal Guangxi [J]. Area Fisheries Science, 2011, 30(12): 749-753.
- [26] Du X, Chen Z, Deng Y, et al. Genetic diversity of three wild populations of *Sipunculus nudus* in South China Sea as inferred from mitochondrial 16S rRNA sequences[J]. Israeli J Aquac, 2008, 60(4):237-242.
- [27] Du X, Chen Z, Deng Y, et al. Comparative analysis of genetic diversity and population structure of *Sipunculus nudus* as revealed by mitochondrial COI sequences[J]. Biochem Genet, 2009, 47(11/12): 884-891.
- [28] 宁岳, 巫旗生, 徐德华, 等. 不同地理群体裸体方格星虫遗传结构及种群分化研究[J]. 福建水产, 2012, 34(2):91-98.
- Ni Y, Wu Q S, Xu D H, et al. Genetic structure and population differentiation of *Sipunculus nudus* in China based on sequence analyses of mitochondrial COI gene[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2012, 34(2):91-98.
- [29] 郭学武, 李复雪. 光裸星虫生殖周期的研究[J]. 热带海洋, 1993, 12(2):69-75.
- Guo X W, Li F X. Studies on the reproductive cycle of *Sipunculus nudus* Linnaeus[J]. Tropic Oceanology, 1993, 12(2):69-75.
- [30] 兰国宝, 阎冰. 方格星虫繁殖生物学研究[J]. 水产学报, 2002, 26(6):503-509.
- Lan G B, Yan B. The reproductive biology of peanut worm, *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(6):503-509.
- [31] 兰国宝, 阎冰, 廖思明. 方格星虫胚胎与幼体发育的研究[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(6):70-75.
- Lan G B, Yan B, Liao S M. A Study on embryonic and development of *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(6):70-75.
- [32] 王庆恒, 杜晓东, 黄洪艳, 等. 湛江地区光裸星虫的生殖细胞发育和生殖周期[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(1):5-9.
- Wang Q H, Du X D, Huang H Y, et al. Development of germ cells and reproductive cycle of *Sipunculus nudus* in Zhanjiang[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2005, 25(1):5-9.
- [33] 吴斌. 光裸方格星虫生殖细胞及胚胎发育[J]. 广西科学, 1999, 6(3):222-226.
- Wu B. Development of genital cells and embryo of *Sipunculus nudus* Linnaeus [J]. Guangxi Sciences, 1999, 6(3):222-226.
- [34] 兰国宝, 廖思明, 阎冰, 等. 方格星虫幼体饵料研究[J]. 水产科学, 2005, 24(2):1-4.
- Lan G B, Liao S M, Yan B, et al. Natural food in larval peanut worm (*Sipunculus nudus*) [J]. Fisheries Science, 2005, 24(2):1-4.
- [35] 兰国宝, 廖思明, 阎冰. 水温对方格星虫幼体发育及变态的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(5):633-638.
- Lan G B, Liao S M, Yan B. Effect of water temperature on larval development and metamorphosis of *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(5):633-638.
- [36] 李进寿, 冯丹青, 周时强, 等. 光裸方格星虫 (*Sipunculus nudus*) 人工繁殖及生物学的初步研究[J]. 杭州师范学院学报:自然科学版, 2004, 3(2):136-139.
- Li J S, Feng D Q, Zhou S Q, et al. Primary studies on reproductive biology of *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Hangzhou Teachers College: Natural Science Edition, 2004, 3(2):136-139.
- [37] 林向阳, 李雷斌, 宁岳, 等. 裸体方格星虫规模化人工育苗技术研究[J]. 福建水产, 2012, 34(1):61-65.
- Lin X Y, Li L B, Ni Y, et al. The research on large-scale artificial breeding technique of *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2012, 34(1):61-65.
- [38] 邹杰, 彭慧婧, 蒋艳, 等. 方格星虫亲体培育试验[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3):30-33.
- Zou J, Peng H J, Jiang Y, et al. An experiment on probody cultivation of *Sipunculus nudus* broodstock[J]. Fishery Modernization, 2010, 37(3):30-33.
- [39] 邹杰, 彭慧婧, 童童, 等. 光裸方格星虫亲体养殖与生殖细胞发育[J]. 水产科学, 2011, 30(8):467-470.
- Zou J, Peng H J, Tong T, et al. Broodstock culture and germ cell development in *Sipunculus nudus* [J]. Fisheries Science, 2011, 30(8):467-470.
- [40] 彭慧婧, 杨家林, 邹杰, 等. 光裸方格星虫繁殖习性的初步观察[J]. 海洋渔业, 2012, 34(2):231-234.
- Peng H J, Yang J L, Zou J, et al. Preliminary observations on the breeding habits of *Sipunculus nudus* [J]. Marine Fisheries, 2012, 34(2):231-234.
- [41] 蒋艳, 蔡德建, 邹杰, 等. 方格星虫苗种池塘中间培育试验研究[J]. 广西科学, 2010, 17(2):175-177.
- Jiang Y, Cai D J, Zou J, et al. Experiment of intermediate culture of *Sipunculus nudus* Linnaeus seed in pond[J]. Guangxi Sciences, 2010, 17(2):175-177.
- [42] 邹杰, 彭慧婧, 童万平. 方格星虫海区围网中间培育研究[J]. 水产科学, 2013, 32(4):197-200.

- Zou J, Peng H J, Tong W P. Purse seine holding culture of *Sipunculus nudus* in sea area [J]. Fisheries Science, 2013, 32(4):197-200.
- [43] 杨家林, 邹杰, 蒋艳, 等. 方格星虫全人工养殖技术示范推广 [J]. 水产养殖, 2013(12):19-21.  
Yang J L, Zou J, Jiang Y, et al. Demonstration and extension of artificial culture technology of *Sipunculus nudus* [J]. Journal of Aquaculture, 2013(12):19-21.
- [44] 陈福. 南美白对虾与沙虫生态混养技术 [J]. 中国水产, 2009, 12:39-40.  
Chen F. The technology of ecological mixed breeding of white shrimp and *Sipunculus nudus* [J]. China Fisheries, 2009, 12:39-40.
- [45] 文雪, 王志成, 梁志辉, 等. 方格星虫与凡纳滨对虾池塘混养试验 [J]. 水产科技情报, 2012, 39(5):263-265.  
Wen X, Wang Z C, Liang Z H, et al. The mixed breeding experiment of white shrimp and *Sipunculus nudus* in pond [J]. Fisheries Science & Technology Informatio, 2012, 39(5):263-265.
- [46] 蔡德建, 蒋艳. 沙虫与文蛤滩涂生态混养初试 [J]. 科学养鱼, 2011, 11:37-38.  
Cai D J, Jiang Y. Preliminary examination of ecological mixed breeding of *meretrix meretrix* and *Sipunculus nudus* on the tidal flat [J]. Scientific Fish Farming, 2011, 11:37-38.
- [47] 陈振国, 劳赞, 班庭辉, 等. 光裸方格星虫与皱肋文蛤生态混养模式初探 [J]. 海洋与渔业, 2013(3):66-67.  
Chen Z G, Lao Z, Ban T H, et al. Preliminary study on polyculture of *Meretrix lyrata* and *Sipunculus nudus* [J]. Ocean and Fishery, 2013(3):66-67.
- [48] 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响 [J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1):86-92.  
Zhang Q, Tong W P, Dong L F, et al. Effects of dietary protein level on growth performance and body composition of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus [J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(1):86-92.
- [49] 许明珠, 张琴, 童万平, 等. 饲料糖水平对方格星虫稚虫生长、体组成和消化酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(3):534-542.  
Xu M Z, Zhang Q, Tong W P, et al. Effects of dietary carbohydrate level on growth, body composition and digestive enzyme activities of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* [J]. Acta Zoonutrimenta Sinic, 2013, 25(3):534-542.

(责任编辑:陆雁)