

孙变娜,沈和定,吴洪喜,等. 石磺营养价值、活性物质的研究现状及开发前景[J]. 江苏农业科学,2013,41(8):14-17.

石磺营养价值、活性物质的研究现状及开发前景

孙变娜^{1,2}, 沈和定¹, 吴洪喜², 刘 宸¹

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325005)

摘要:本文分析了石磺科贝类的资源利用状况、营养价值、功效成分以及保健功能,系统地综述了其黏液、肉体及卵群中的生物活性物质研究现状,简述了瘤背石磺产品的开发现状,展望了瘤背石磺这一海洋生物资源诱人的研发前景。通过石磺资源的增殖保护、高值化开发,实现石磺资源的可持续利用,将产生良好的社会效益和经济效益。

关键词:石磺;营养价值;活性物质;保健功能;研究现状;开发前景

中图分类号: S937.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)08-0014-04

石磺科(Onchidiidae)隶属软体动物门(Mollusca)腹足纲(Gastropoda)肺螺亚纲(Pulmonata)缩眼目(Systellomatophora)石磺总科(Onchidiidae)。该科贝类身体柔软无贝壳,雌雄同体,大多有自由生活的幼虫期,被认为是一群进化的贝类,广泛分布于印度—太平洋沿岸的河口海域,大多栖息于浅海、潮间带或高潮带的岩礁、红树林、芦苇丛、大米草滩等沿岸湿

地及潮上带,少数种生活在热带雨林和淡水中,是能“肺”呼吸的两栖性贝类^[1]。下辖 6 个属,分别为 *Peronia*、*Platevindex*、*Paraoncidium*、*Onchidium*、*Onchidina*、*Onchidella* (Bouchet, 2005),有具体科学报道和得到承认的种类大约 30 种,东南亚的种类多达 20 种。已报道的我国石磺有 5 属 6 种,分别是瘤背石磺(*Onchidium struma*)、里氏拟石磺(*Paraoncidium reevesii*)、紫色疣石磺(*Peronia verruculata*)、平疣桑椹石磺(*Platevindex mortoni*)、*Platevindex* sp. (桑椹石磺属,种名未定)及 *Onchidella* sp. (*Onchidella* 属,种名未定)^[1-3]。目前我国水产品市场销售的主要有瘤背石磺、紫色疣石磺;紫色疣石磺主要从越南等国进口输入,而瘤背石磺是我国销售最广泛、市场认同度最高、产品品质最好、价格最高的种类,2012 年下半年福建福安农贸市场瘤背石磺干品的批发价高达 500 元/kg,所售产品均称来自江苏盐城。

瘤背石磺俗称土海参,又名海癞子,常分布于我国江苏、

收稿日期:2013-06-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:30972259、41276157);上海市教委创新项目(编号:12ZZ164)。

作者简介:孙变娜(1990—),女,河南商丘人,硕士研究生,主要从事海洋生物活性物质的研究与开发。E-mail: sun1998521@126.com。

通信作者:沈和定,博士,教授,从事贝类及贝类增殖养殖学、海洋生物资源利用等研究。Tel: (021) 61900446; E-mail: hdshen@shou.edu.cn。

性的初步研究[J]. 微生物学通报,2001,28(6):64-68.

[32] 张永杰,王建峰,黄耀坚,等. 4 种裸子植物内生真菌抗肿瘤菌株的筛选[J]. 厦门大学学报,2002,41(6):804-809.

[33] 陈 苹,吴 娇,戴好富,等. 海南粗榧内生真菌 S26 化学成分研究[J]. 中国药物化学杂志,2008,18(4):279-283.

[34] 袁 牧. 海南粗榧内生真菌的筛选与发酵产物的初步研究[D]. 海口:海南大学,2008.

[35] 戴文君,戴好富,陈 苹,等. 海南粗榧内生真菌抗肿瘤抗菌活性的筛选[J]. 微生物学通报,2009,36(8):1217-1221.

[36] 韩 洁,赵杰宏. 篦子三尖杉内生真菌 gyzy-9 的鉴定及其抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(12):2449-2452.

[37] 韩 洁,赵杰宏. 篦子三尖杉产高三尖杉酯碱内生真菌的分离与鉴定[J]. 贵州农业科学,2011,39(1):158-161.

[38] 孙培欣. 三尖杉内生真菌次生代谢产物及其活性研究[D]. 上海:第二军医大学,2011.

[39] 方美娟,王建峰,赵玉芬,等. 用 HPLC-MS-MS 快速分析和鉴定三尖杉植物内生真菌发酵液中的 Brefeldin A[J]. 分析测试学报,2005,24(1):21-24.

[40] 何玉华,戈 梅,盛下放,等. 一株抗肿瘤活性的粗榧内生真菌的鉴定及其产物特性初步研究[J]. 生命科学研究,2007,11(3):233-237.

[41] Lu C H, Xiang L, Shen Y M. A new dihydroisocoumarin from the

strain *Aspergillus* sp. CMM, an endophytic fungus of *Cephalotaxus mannii*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2008, 44(5):569-571.

[42] 黄玖利,戴好富,王 辉,等. 海南粗榧内生真菌 S15 的细胞毒活性产物[J]. 微生物学杂志,2010,30(3):10-14.

[43] Xue H, Lu C H, Liang L Y, et al. Secondary metabolites of *Aspergillus* sp. CM9a, an endophytic fungus of *Cephalotaxus mannii*[J]. Rec Nat Prod, 2012, 6(1):28-34.

[44] 朱太平,马彦卿. 不同产地三尖杉中三尖杉酯碱和高三尖杉酯碱的含量测定[J]. 广西植物,1987,7(4):347-349.

[45] 蔡 坤. 海南粗榧内生真菌 CH1307 的初步鉴定与高三尖杉酯碱发酵条件研究[D]. 海口:海南大学,2010.

[46] 韩 洁,赵杰宏. 内生真菌 gyzy-20 产高三尖杉酯碱的成分分析及条件优化[J]. 安徽农业科学,2010,38(34):19291-19293.

[47] 王开梅,张亚妮,张志刚,等. 提高微生物次生代谢产物多样性的策略[J]. 湖北农业科学,2010,49(12):3207-3210.

[48] Castillo UF, Strobel GA, Ford EJ, et al. Munumbicins, wide-spectrum antibiotics produced by *Streptomyces* NRRL 30562, endophytic on *Kennedia nigricans*[J]. Microbiol, 2002, 148(9):2675-2685.

[49] 张晓伟,解修超,张 曼,等. 2 株三尖杉内生放线菌的分离鉴定与活性研究[J]. 江苏农业科学,2012,40(5):296-299.

上海、浙江、福建、广东、海南、香港等地的咸淡水交汇处的高潮带滩涂,新西兰以及东南亚国家沿海也有分布,是界于海洋和陆地过渡带的无脊椎动物,温度适应性强,分布范围广,资源量比较丰富。它作为一种美味珍品在沿海已被广泛认同,具有悠久的食用历史。民间传说有良好的滋补、保健作用。近 10 年来,石磺生物学研究在我国取得了很大进展,石磺的粗加工和饮食产业也有了长足的发展,鉴于丰富的石磺资源、广阔的市场潜力和深加工的产品需求,其研发潜力巨大。目前销售市场只有初级的干品、水发品或者鲜活品,其开发、利用仍处于初级阶段。

随着居民收入的增加,生活质量和生活品位不断提高,发达国家以厨房代替药房、以食品代替药品的新食思潮的引导,国人以食代补、以食代养、药食同源、医食并重新思潮的逐步兴起,寻找、研究并开发具有特定营养保健功能的新型海洋食物资源已成为海洋生物资源研究开发的热点之一。开展海洋生物系统性分析与评价是新型海洋生物制品技术创新和产业发展的需要。本文介绍了石磺科贝类的营养价值,系统综述了其肉体、黏液及卵群中的生物活性物质研究现状,探讨其体内功效成分与其保健功能的关系,以利于海洋生物资源的高效利用,为海洋生物活性成分的研究提供基础资料,也为海洋保健食品提供新型原料,促进海洋药源生物培养殖业的发展,为高效养殖利用造就市场空间。同时简单介绍了瘤背石磺产品的开发现状,展望了瘤背石磺这一海洋生物资源诱人的研发前景,旨在通过石磺资源的增殖保护及可持续利用,为进一步开发石磺科这一特色海洋生物资源提供理论依据。

1 石磺资源的利用现状

20 世纪 80 年代以前,我国瘤背石磺的自然资源数量极为巨大,甚至常被用作肥料。由于它具有极高的营养价值和食用保健作用,目前已被作为特色海鲜或高档滋补品广受消费者的欢迎。作为一种食用历史悠久、新近发展迅速的食用海鲜,石磺在水产品中所占的份额虽然不大,甚至无法在水产统计资料中找到它的位置,但已在江苏盐城(俗称海癞子)、浙江温州(俗称涂龟)、福建宁德(俗称土鲍)等地形成广泛的市场。民间流传石磺有治哮喘、治疗风湿病、滋补、助消化、消除疲劳、明目的功效,沿海居民食用石磺的历史悠久。江苏盐城、南通,上海南汇,浙江慈溪、温州、龙泉、瑞安,福建福安等地都有鲜食或干食瘤背石磺的习惯,并视其为滋补品及海产珍品^[1,4]。宁德、福安的地方特色菜——绿笋土鲍汤,是一道甘鲜脆嫩、爽口清逸、食之不腻的夏秋时令名菜,有清热化痰、益气和胃、生津止渴等功效,深深博得大众食客的普遍赞誉。

石磺科是一群保护价值较大、开发前景良好的经济贝类,其生存环境要求严格,自然生存能力脆弱。瘤背石磺以底泥中有机物为食的摄食习性也有利于滩涂底质的改良和环境的生物修复,是滩涂湿地重要的底栖动物。国外常将其作为海洋贝类向陆地辐射生活研究的最好代表,因其背部常含有带感光系统的背眼,神经系统也比较特殊,也常被国外学者用作光感受神经生理学的研究材料^[1]。20 世纪 80 年代以后,由于围海工程、环境污染、人为滥捕等原因,石磺的自然资源量正在迅速下降,生存环境受到严重破坏,甚至有些地区的野生种群已经绝迹。同时,石磺产品供不应求,货源日趋紧缺,价

格不断上涨,市场销售的产品已有很大一部分从国外(越南等国)进口(紫色疣石磺),开展石磺增殖和资源保护研究的呼声日益强烈^[1,4]。石磺资源具有良好的直接利用价值、生态功能价值、科学研究价值。

2 石磺营养成分分析和食用价值评价

张媛溶等首次对瘤背石磺的营养成分做过简单的分析,石磺肉体含有 20 多种氨基酸和多种人体所需的微量元素;每 100 g 可食蛋白质含量 8.6 g、脂肪 0.5 g、碳水化合物 2.7 g、灰分 1.5 g,是一种高蛋白低脂肪的食物^[5]。黄金田等详细分析了瘤背石磺的营养价值及其品质,测得瘤背石磺活体(鲜样)的水分、粗灰分、粗蛋白、粗脂肪质量分数分别为 88.78%、3.95%、6.30% 和 0.63%;其肌肉中含 17 种氨基酸,总质量分数为 55.77% (脱脂干样),其中 7 种人体必需氨基酸总含量为 15.63%,占氨基酸总量的 27.80%。瘤背石磺必需氨基酸比例符合联合国粮农组织/世界卫生组织标准,矿物质元素含量丰富,钙、磷、铁、锌、铜含量较多,比例适宜,脂溶性维生素 A、D、E 含量丰富^[6]。

石磺出肉率很高,可食部分(外套膜和腹足)占体重的 66%,石磺肌肉蛋白质的含量为褶牡蛎的 2 倍,谷氨酸含量高达 6.51%,甘氨酸含量也高达 4.77%,主要必需氨基酸含量比鲍鱼肉的含量还要高,镁、铜、钙、铁、硅、铝、锰、钾、硼等矿物质的含量也较高,并含有维生素 B₁、B₂ 等^[5-6]。营养成分分析结果表明瘤背石磺肉嫩味鲜,营养价值甚高,具有较高的食用价值和食疗功效。

目前已有瘤背石磺体内重金属含量超标的报道。吴旭干等对成体瘤背石磺(崇明北支芦苇滩涂)体内重金属含量进行了测定,发现其体内的 Cd 含量偶有超标,不符合国家标准《农产品安全质量 无公害水产品安全要求》的要求^[7]。其质量状况的周年监察数据仍然缺乏,也尚无瘤背石磺体内重金属脱除技术的研究报道。

3 石磺主要功效成分与保健功能

食物中的营养和功能成分是滋养人类生命和健康的核心要素。众所周知,维持人体健康的共有 7 大营养要素:蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、膳食纤维、水、矿物质(又称微量元素)。瘤背石磺的可食部分是外套膜和腹足,其可食部分含 20 种氨基酸,蛋白质含量高达 58%,粗脂肪 5.6%,含多种微量元素,其中钙、铁和锌的含量特别高^[5-6]。精氨酸是精子蛋白的主要成分,有促进精子质量、提高精子运动能量的作用。微量元素在人体内的含量不多,但与人体的生存息息相关。钙是骨骼发育的基本原料,直接影响身高,调节酶的活性,参与神经、肌肉的活动和神经递质的释放,调节激素的分泌,调节心律、降低心血管的通透性,控制炎症和水肿,维持酸碱平衡等。铁在人体新陈代谢过程中起着非常重要的作用,它是人体中的运输和交换氧气的必需工具,人体缺铁会导致免疫功能下降、疲倦、抵抗力降低、发育不良。锌是人体内酶的重要组成部分,参与生长素的合成,加快细胞分裂,促进生长发育,它还参与体内多种生理活动,具有广泛的生理功能。锌对儿童生长发育有重要作用,并且是许多酶的组成成分,在红细胞中是碳酸酐酶的成分,调节细胞内酸碱平衡,可对抗衰

老、增强儿童营养、防治儿童营养不良或缺铁性贫血, 锌的缺乏也会引起多方面的机能障碍。在瘤背石磺肌肉的微量元素中, 铁、锌含量丰富, 分别高达 0.31%、107 $\mu\text{g/g}$ ^[6]。瘤背石磺据传有滋补、壮阳、清凉、祛火、祛湿等功效。其烹饪方法有生炒、清炖、红烧或是裹上薄面粉油炸, 沿海民众已把瘤背石磺作为高档佳肴和良好的滋补食品。

4 石磺体内生物活性物质研究现状

海洋生物活性物质是指海洋生物体内含有的对生命现象具有影响的微量或少量物质, 主要包括海洋药用物质、生物信息物质、海洋生物毒素产生物、功能材料等。海洋生物活性物质依据化合物种类分为蛋白质和肽类、氨基酸类、多糖类、酯类、萜类(脂环化合物)、生物碱类(杂环化合物)、皂苷类、聚醚类、大环内酯类、脂蛋白类、糖蛋白类、烯类等^[8]。主要药理作用包括抗菌、抗肿瘤、抗艾滋病、抗病毒、防治心血管疾病、延缓衰老及免疫调节功能等。海洋生物活性物质是研究海洋药物、海洋功能食品、海洋生物制品的基本前提, 与国民经济发展和人类健康事业息息相关, 在医药、保健食品、食品等领域一直受到重视。在全球已经开发上市的新药中, 约 30% 属天然产物来源, 其中海洋活性产物占有相当大的比例。在抗癌、抗感染药物、心脑血管等疾患药物、提高免疫药物地位中地位更为突出, 在保健食品领域更是举足轻重。我国海洋生物活性物质资源丰富, 海洋来源的中草药应用历史悠久, 传统药源生物是开展活性物质研究的宝库, 现代提取分离技术和先进的光谱测定技术, 使结构测定时间大大缩短, 发现了不少结构复杂且类型新颖的化合物^[8]。

Ireland 等于 1978 年从石磺属中分离出倍半萜^[9]; Manker 等于 1987 年也获得了 2 种石磺的倍半萜^[10]。倍半萜具有抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗癌等生理活性^[11]。Biskupiak 等于 1985 年^[12]从厚绒毛石磺(*Peronia peronii*)的皂化提取物中分离得到聚丙酸酯类物质 Peroniatriol I 和 Peroniatriol II, 两者均有细胞毒性。Redriguez 等 1992 年^[13]先后分离出聚丙酸酯类 Onchitriol I(A、B、C、D) 和 Onchitriol II(A、B、C、D), 这些化合物在体外对人表皮癌细胞 KB 有活性, 用 1~10 $\mu\text{g/mL}$ 的剂量就有 90%~98% 的抑制活性, 且能抑制肿瘤细胞 P388、A549、HT29 和抗 HSV-1 和 VSV 等病毒的作用。Arimoto 等连续多年进行了石磺科贝类活性物质研究, 并对 Onchitriol I 的结构进行了修正^[14-16]。Carbone 等于 2009 年从一种采自中国的石磺中分离获得一种吡喃酮聚丙酸酯^[17]。2011 年 Khodabandeh 等的最新研究发现, 从石磺的卵细胞中分离出的一种 320 ku 的蛋白质, 表现出对乳腺癌细胞系的抗癌活性。2012 年 Wang 等^[19]对 2009 年 Carbone 等从石磺(*Onchidium* sp.)中提取分离的 3 种聚丙酸酯进行了结构再鉴定。Fernández 等于 1996 年^[20]从石磺属(*Onchidium* sp.)分离出一种缩酚酸肽 Onchidin B。缩酚酸肽是一类包含酯键的多肽, 具有抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗炎、抗血栓和抗动脉粥样硬化等多种生物活性, 尤其以它的抗肿瘤活性最为显著^[21], 具有中等抗癌活性。迄今, 已报道的石磺科贝类活性物质有萜类、聚丙酸酯、环肽类、蛋白质等。

近年来, 活性物质的分离、提纯与结构鉴定工作的速度在加快, 发现新骨架、新结构、新活性化合物的数量越来越多, 从

大量的提取物中获得已知化合物的机会也在增加^[8]。上述工作的良好积累为我国石磺科贝类活性物质的研究奠定了良好基础。

5 石磺产业开发前景展望

5.1 难得的历史发展机遇

21 世纪是海洋的世纪, 开发海洋已成为重要的科技领域。我国海域辽阔, 海岸线漫长, 具有丰富的海洋生物资源。海洋中的生物为了生存繁衍, 在竞争中取胜并使自己适应海洋的独特环境, 如高压、低营养、低温(特别是深海)、无光照以及局部的高温、高盐等所谓生命极限环境, 在漫长的进化中各自形成了特殊的结构和奇妙的生理功能, 为人类提供了众多结构新颖、功能独特和生理活性很强的活性物质。例如由于适应海洋环境, 海洋微生物有了新的特异性, 因而产生相应的陆栖微生物所不能产生的新颖生物活性物质, 这些天然产物有许多(如褐藻酸、琼胶糖等)是陆地生物所没有的, 它们是人类保健品和药品的天然宝库^[8]。

近年来, 人类向海洋进军的步伐加快, 保健食品发展的趋势由陆地转向海洋, 海洋生物资源(包括食品新资源)产业发展迅猛, 将成为沿海国家和地区新的经济增长点, 海洋保健食品产业也成为保健食品业中一个异军突起的新分支。海洋保健食品是指具有调节机体功能, 预防疾病发生, 能够促进健康或有助于机体恢复, 但不以治疗为目的, 供人食用的无毒无害, 符合应有的营养要求的海产食物及由其加工而成的海产制成食品。目前经过审批上市的海产保健食品具有健脑益智、防癌抗癌、防止血栓形成、降血压、降血糖、抗菌、抗病毒、提高免疫力、抗衰老等多种功能。

5.2 贝类入药的历史悠久

我国是最早将贝类用作药物的国家。远在公元前 3 世纪, 我国最早的医学文献《黄帝内经》中, 有海洋贝类乌贼骨的药用记载, 《神农本草经》中有以鲍鱼汁治疗贫血的药用记载, 随后历代的医药专著均有海洋生物药物, 而海洋贝类在海洋中药中占有不可或缺的重要一席。石决明(鲍的贝壳)、海巴(宝贝的贝壳)、珍珠、海螵蛸(乌贼的贝壳), 以及蚶、牡蛎、文蛤、青蛤等的贝壳都是海洋中药的常用材料。已有从鲍鱼、凤螺、海蜗牛、蛤、牡蛎、乌贼等可以提取抗生素和抗肿瘤药物的报道。肺螺亚纲贝类蛞蝓具有抑制肿瘤的作用。高浓度黄蛞蝓(*Limax flavus* L.)粗提物可诱导肺癌细胞 H14 发生凋亡达到抑制作用。其他多种双壳贝类和腹足纲贝类也具有良好的药理作用。

5.3 生物产业发展规划和海洋强国政策的有力支持

海洋保健食品是具有发展远景的朝阳产业。可以预知, 21 世纪, 海洋保健食品将在人们的生活中占有越来越重要的地位, 在维护人们身体健康中发挥越来越重要的作用。海洋无脊椎动物种类多, 资源丰富, 不少种类具有特异的生物活性, 有可能获得具有特效的新型保健食品, 其中贝类资源的应用发展已由早期滋补品转向保健品和药品。

根据国家海洋“十二五”规划纲要和科技部“十二五”国家海洋技术领域的研究重点, 海洋生物资源保护和高效利用技术已被列入优先发展的重点领域, 新型海洋生物制品的技术创新和产业发展已成为国家战略。加快培育海洋战略性新

兴产业是发展海洋经济的重点之一。在国家发改委、工信部联合印发的《食品工业“十二五”发展规划》中,“营养与保健食品制造业”首次被列为我国重点发展的行业。“十二五”海洋规划也明确提出,重点开发基于功能基因、功能酶和活性物质等功效因子的生物材料和生物制品。同时,卫生部新的医改方案将预防和控制疾病放在首位,这表明政府已经充分认识到了预防为主的极端重要性。

5.4 前期基础研究为石磺产业化开发奠定了良好基础

瘤背石磺生物学、实验生态、人工增殖技术和系统分类等基础研究已取得明显成绩,瘤背石磺种质标准也正在制订中。石磺科贝类化学成分和次级代谢产物研究的不断开展以及石磺较高的营养价值,不仅能为顺利生产第一代保健食品奠定良好基础,体内丰富的活性物质和现代生物技术则为其第二、第三代保健食品研发展示了良好的发展前景。

5.5 产业开发着力点

江苏盐城滩涂是中国沿海地区面积最大的滩涂湿地,全市海岸线绵延 582 km,占江苏省海岸线长度的 61%,其中沿海滩涂长达 444 km,为中国最长。盐城滩涂面积达到 45.53 万 hm^2 ,其巨大潜力还表现在它每年仍以 1 333 hm^2 的速度淤长。预计到 2020 年,盐城射阳河口至南通东灶港之间的辐射沙洲等地能围垦出 18 万 hm^2 地来;而从远期看,起码还有 46.7 万 hm^2 土地,可能成为后备资源。由于淤长速度较快,滩涂人口较少,对环境破坏较少。江苏盐城沿海滩涂珍禽国家级自然保护区,为全世界最大的丹顶鹤越冬地,区内珍稀濒危野生动物很多。该区面对黄海,由古黄河三角洲和长江三角洲的泥沙在黄海和东海波浪冲撞作用及潮汐作用下形成,为淤泥质平原海岸的典型代表。区内河流众多,沼泽湿地发育良好,生物资源丰富,核心区的生态系统基本处于原始状态。人工培养增殖技术的推广应用,为石磺资源的永续利用提供了原料保障。瘤背石磺以底泥中有机物为食的摄食习性也有利于滩涂底质的改良和环境的生物修复,是滩涂湿地重要的底栖动物。盐城优良的环境条件为石磺资源的高值化利用提供了得天独厚的优势,产业形态难以被复制。因此,瘤背石磺资源的产业化开发潜力巨大、市场前景广阔。

参考文献:

- [1] 沈和定. 中国大陆沿海石磺生物学实验研究及系统分类[D]. 上海:上海海洋大学,2009:112.
- [2] 吴旭峰,沈和定,吴文健,等. 我国华东沿海 4 种石磺形态学比较[J]. 动物学杂志,2010,45(6):92-100.
- [3] 陈 诚. 基于三种基因的中国石磺科系统分类及瘤背石磺亲缘地理学研究[D]. 上海:上海海洋大学,2012:25.
- [4] 沈和定,李家乐,张媛溶. 石磺的生物学特性及其增殖前景分析[J]. 中国水产,2004(1):60-63.
- [5] 张媛溶,周昭曼,卢卫平. 上海沿海蛤蟆石磺的初步研究[C]//中国

- 贝类学会. 贝类学论文集第二辑. 北京:科学出版社,1986:153.
- [6] 黄金田,王爱民. 瘤背石磺营养成分分析及品质评价[J]. 海洋科学,2008,32(11):29-35.
- [7] 吴旭干,刘富平,唐伯平,等. 成体瘤背石磺不同组织中的重金属含量及其评价[J]. 海洋渔业,2007,29(4):319-324.
- [8] 李八方. 海洋生物活性物质[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2007.
- [9] Ireland C M, Faulkner D J. The defensive secretion of the opisthobranch mollusc *Onchidella binneyi* [J]. J Bioorg Chem, 1978, 7: 125-131.
- [10] Manker D C, Faulkner D J. Diterpenes from the marine pulmonate *Trimusculus reticulatus* [J]. Tetrahedron, 1987, 43: 3677-3680.
- [11] 赵爱华,魏均炯. 倍半萜类化合物生理活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发,1995,7(4):65-70.
- [12] Biskupiak J E, Ireland C M. Cytotoxic metabolites from the mollusc *Peronia peronii* [J]. Tetrahedron Letters, 1985, 26: 4307-4310.
- [13] Redriguez, J, Riguera, et al. New marine cytotoxic bispyrones: Absolute stereochemistry of Onchitriols I and II [J]. Tetrahedron Letters, 1992, 33(8):1089-1092.
- [14] Arimoto H, Cheng J F, Nishiyama S, et al. Synthetic studies on fully substituted γ - pyrone - containing natural products: the absolute configurations of ilikonapyrone and peroniatriols I and II [J]. Tetrahedron Letters, 1993, 34: 5781-5784.
- [15] Arimoto H, Nishiyama S, Yamamura S. Synthetic studies on fully substituted γ - pyrone - containing natural products: the first total synthesis of Onchitriol II [J]. Tetrahedron Letters, 1994, 35: 9581-9584.
- [16] Arimoto H, Okumura Y, Nishiyama S, et al. Synthetic studies on fully substituted γ - pyrone - containing natural products: total synthesis and structural revision of Onchitriol I [J]. Tetrahedron Letters, 1995, 36: 5357-5358.
- [17] Carbone M, Gavagnina M, Mattia C A, et al. Structure of onchidione, a bis - γ - pyrone polypropionate from a marine pulmonate mollusk [J]. Tetrahedron, 2009, 65(22):4404-4409.
- [18] Khodabandeh S, Maleki D, Abdolzadeh M. Isolation of a 320 kDa protein from the eggs of *Onchidium* (sea slug) that exhibits anticancer activity against breast cancer cell line (T47D) [J]. The Breast, 2011, 20: S18-S19.
- [19] Wang J R, Carbone M, Gavagnin M, et al. Assignment of absolute configuration of bis - γ - pyrone polypropionates from Marine pulmonate molluscs [J]. European Journal of Organic Chemistry, 2012: 1107-1111.
- [20] Fernández R, Rodríguez J, Quiñoá E, et al. Onchidin B: a new cyclodepsipeptide from the mollusc *Onchidium* sp. [J]. Journal of the American Chemical Society, 1996, 118: 11635-11643.
- [21] 吕 敏, 厉保秋, 王凤山. 海洋缩酚酸肽类药物的研究进展[J]. 中国海洋药物, 2007, 26(5): 44-52.