

## 北部湾大型海藻资源研究及应用展望\*

# Resource Research and Application Perspective of Macroalgae of Beibu Gulf in China

丁兰平,王 展,黄冰心\*\*

DING Lan-ping, WANG Zhan, HUANG Bing-xin

(汕头大学,海洋生物研究所,广东省海洋生物重点实验室,广东汕头 515063)

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Marine Biology, Marine Biology Institute, Shantou University, Shantou, Guangdong, 515063, China)

**摘要:**对北部湾大型海藻物种多样性、地理分布、资源研究成果、研究现状以及开发利用等进行总结和分析,发现北部湾在大型海藻资源调查、开发利用和生态修复等方面还有巨大的研究空间,提出大力发展海藻生态养殖业,加大对大型海藻科研的支持和投入,扶助海藻产业链建设的观点,以期北部湾海洋经济持续发展提供参考。

**关键词:**北部湾 大型海藻 种类分布 可持续发展

**中图分类号:**S932 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)06-0561-08

**Abstract:** Combined with published literatures since 1995, the distribution of species, resource researches, present situation and industrial development of macroalgae along the coasts of Beibu Gulf, China were summarized and analysed. 59 species of marine macroalgae were recorded in the area, including 29 in Pheophyta, 18 in Rhodophyta and 12 in Chlorophyta, respectively. Their regional distributions were briefly introduced. The present situation and difference of various districts of macroalgae were analysed, which will provide a detailed reference for the sustainable development of marine economy of Beibu Gulf.

**Key words:** Beibu Gulf, macroalgae, species distribution, sustainable development

北部湾(Beibu Gulf),位于南海西北部,以海南岛和广东雷州半岛为东面,以广西壮族自治区为北面,以越南为西面,北部湾湾口南开<sup>[1]</sup>。由于各文献对北部湾定义不同<sup>[1-2]</sup>,本文主要研究的是东面以海南海口到雷州半岛一线,南面以海南天涯海角一线,西面以广西沿岸一线范围内的区域文献。

北部湾地处热带和亚热带,冬季受大陆冷空气的影响,多东北风,海面气温约 20℃;夏季,风从热带海

洋上来,多西南风,海面气温高达 30℃,时常受到台风的袭击,这里每年大概有 5 次台风。北部湾按行政区划分,可分为广东段,广西段,海南段。主要港口有中国防城港,钦州港和北海港。在海南岛的西部沿海包括澄迈、临高、儋州、昌江和东方。在海南岛的南部沿海包括乐东。在海南岛的北部沿海包括从海口的长流至秀英、东营、盈丰一带。

据国家渔业局历年发布的《中国环境状况公报》来看,近年来北部湾水质良好,主要污染物是无机氮,海洋环境下滑趋势明显。一方面北部湾经济圈划定后,沿海港口处于迅猛的发展过程中,而港口建设会导致港口海水重金属和磷含量超标<sup>[3]</sup>,北部湾最起码需要注意水质监测和污染治理。另一方面北部湾地处热带地区和亚热带地区,海岸线长,滨海旅游业日益火爆,而滨海旅游业也会带来一系列的环境问题。

北部湾海藻种类多,资源丰富,大型海藻是一类

收稿日期:2014-10-10

作者简介:丁兰平(1969-),男,教授,主要从事大型海藻学研究。

\* 国家自然科学基金青年基金项目(编号:31400186),国家自然科学基金面上项目(编号:31270257)和国家自然科学基金重大项目(编号:31093440)资助。

\*\* 通讯作者:黄冰心(1974-),女,副教授,主要从事大型海藻资源及海洋生物技术研究,E-mail:bxhuang@stu.edu.cn。

能依靠基部固着器固着在水底基质上生活,含有叶绿素 a,能进行光合放氧的多细胞海洋植物<sup>[4]</sup>。为了区分方便,目前一般将漂浮水中的微细藻类统称为浮游植物,而将大型海藻称为海藻。海藻广泛地分布于海洋潮间带及潮间带以下的透光层,是海洋植物中的重要组成成分,约占海洋初级生产力的 10%<sup>[5]</sup>。大型海藻种类繁多,形态多样,包括红藻、褐藻、绿藻和蓝藻等 4 大门类,广泛生长在潮间带或浅海海底的岩礁上或漂浮生长,和海洋浮游藻类一起构成海洋的主要初级生产者<sup>[6]</sup>。研究证明,大型海藻在食品<sup>[7]</sup>,胶体工业产品<sup>[8,9]</sup>,化妆品<sup>[10]</sup>,高增值化肥原料<sup>[11]</sup>,医药<sup>[12]</sup>和能源<sup>[13]</sup>等方面具有极大的应用价值。被用于人类食品和商业应用的大型海藻分别约 150 种和 250 种<sup>[14]</sup>。国内越来越多的利用大型海藻对富营养化海域进行生态修复<sup>[10,15]</sup>,对赤潮生态调控<sup>[13,16]</sup>的研究证明,大型海藻防治富营养化和赤潮藻等方面具有极大的生态价值。研究材料涉及江蓠、紫菜、石莼、马尾藻等大型海藻<sup>[17]</sup>。但有关海南海藻化学成分的研究尚不多见,北部湾的广西段的海藻产业基本空白<sup>[18]</sup>,关于广西段海洋环境现状调查分析的报道不多,针对大型海藻周年调查的研究报告基本空白。故笔者分析了北部湾海藻物种及分布,总结了北部湾区域的大型海藻研究进展,旨在为进一步开发和利用北部湾丰富的海藻资源奠定初步的基础,为北部湾海洋经济持续发展提供参考。

## 1 北部湾大型海藻资源

根据表 1 和表 2 统计发现,北部湾各种经济海藻野生资源丰富,近年来北部湾地区被研究报道的大型海藻共计 3 门,20 属,59 种;红藻的物种最丰富,绿藻的种类最少,这和我国海藻各门物种数量情况一致<sup>[19]</sup>;海藻的发现地主要集中在广东徐闻、广西涠洲岛、海南临高、澄迈和乐乐莺歌海等地。

表 1 北部湾大型海藻分类系统及分布

Table 1 The hierarchy and distribution of macroalgae from Beibu Gulf

分类系统 Hierarchy	分布 Distribution area
褐藻门 Phylum PHEAOPHYTA	
团扇藻属 <i>Padina</i> Adanson	
树状团扇藻 <i>Padina arborescens</i> Holmes	海口 Haikou、临高 Lingao
南方团扇藻 <i>Padina australis</i> Hauck	海口 Haikou、临高 Lingao

续表 1

Continue table 1

分类系统 Hierarchy	分布 Distribution area
褐舌藻属 <i>Spatoglossum</i> Kützing	
褐舌藻 <i>Spatoglossum pacificum</i> Yendo	海口 Haikou、澄迈 Dengmai、临高 Lingao
铁钉菜属 <i>Ishige</i> Yendo	
铁钉菜 <i>Ishige okamurae</i> Yendo	湛江市徐闻北港澄迈 Xuwen Beigang Dengmai Zhenjiang City、临高 Lingao
喇叭藻属 <i>Turbinaria</i> Lamouroux	
喇叭藻 <i>Turbinaria ornata</i> (Turner) J. Agardh	乐东 Ledong
羊栖菜属 <i>Hizikia</i> Okamura	
羊栖菜 <i>Hizikia fusiforme</i> (Harv.) Okamura	临高 Lingao
马尾藻属 <i>Sargassum</i> C. Agardh	
狭叶马尾藻 <i>Sargassum angustifolium</i> (Turner) C. Agardh	广西涠洲岛 Guangxi Weizhoudao
鳞茎马尾藻 <i>Sargassum bulbiferum</i> Yoshida	湛江市徐闻北港 Xuwen Beigang Zhenjiang City
细枝马尾藻 <i>Sargassum capillare</i> Kützing	涠洲岛 Weizhoudao
粉叶马尾藻 <i>Sargassum glaucescens</i> J. Agardh	钦州 Qinzhou
半叶马尾藻中国变种 <i>Sargassum hemiphyllum</i> var. <i>chinense</i> (Turn) J. Agardh	临高 Lingao
亨氏马尾藻 <i>Sargassum henslowianum</i> C. Agardh	广西涠洲岛 Guangxi Weizhoudao、乐东 Ledong
匍枝马尾藻 <i>Sargassum polycystum</i> C. Agardh	临高 Lingao、儋州 Danzhou
纤细马尾藻 <i>Sargassum subtilissimum</i> Tseng et Lu	涠洲岛 Weizhoudao、临高 Lingao
瓦氏马尾藻 <i>Sargassum wachellianum</i> Greville	广西涠洲岛 Guangxi Weizhoudao
涠洲马尾藻 <i>Sargassum weizhouense</i> Tseng et Lu	广西涠洲岛 Guangxi Weizhoudao
莺歌海马尾藻 <i>Sargassum yingehaiense</i> Tseng et Lu	莺歌海 Yingge sea
红藻门 Phylum RHODOPHYTA	
紫菜属 <i>Porphyra</i> C. Agardh	
广东紫菜 <i>Porphyra guangdongensis</i> Tseng et Chang	澄迈 Dengmai、临高 Lingao
越南紫菜 <i>Porphyra vietnamensis</i> Tanoka et P. H. Ho	澄迈 Dengmai、临高 Lingao
凝花菜属 <i>Gelidiella</i> Feldmann et Hamel	
凝花菜 <i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskal) Feldmann et Hamel	临高 Lingao
拟鸡毛菜属 <i>Pterocladia</i> Santelices et Hommersand	
拟鸡毛菜 <i>Pterocladia capillacea</i> (Gmelin) Santelices et Hommersand	

Continue table 1

分类系统 Hierarchy	分布 Distribution area
海萝属 <i>Gloiopeltis</i> J. Agardh	海南 Hainan
海萝 <i>Gloiopeltis furcata</i> (Postels et Ruprecht) J. Agardh	澄迈 Dengmai, 临高 Lingao
蜈蚣藻属 <i>Grateloupia</i> C. Agardh	
蜈蚣藻 <i>Grateloupia filicina</i> (Lamouroux) C. Agardh	澄迈 Dengmai, 临高 Lingao, 儋州 Danzhou
茎刺藻属 <i>Caulacanthus</i> Kützing	
茎刺藻 <i>Caulacanthus usutulatus</i> (Turner) Kützing	海南 Hainan
沙菜属 <i>Hypnea</i> Lamouroux	
密毛沙菜 <i>Hypnea boergesii</i> Tanaka	海口 Haikou, 澄迈 Dengmai, 临高 Lingao, 东方 Dongfang, 万宁 Wanning
鹿角沙菜 <i>Hypnea cervicornis</i> J. Agardh	万宁 Wanning, 临高 Lingao, 澄迈 Dengmai
长枝沙菜 <i>Hypnea charoides</i> Lamouroux	海口 Haikou, 万宁 Wanning, 东方 Dongfang, 临高 Lingao, 澄迈 Dengmai
冻沙菜 <i>Hypnea japonica</i> Tanaka	万宁 Wanning
巢沙菜 <i>Hypnea pannosa</i> J. Agardh	万宁 Wanning, 东方 Dongfang
小沙菜 <i>Hypnea spinella</i> (C. Agardh) J. Agardh	万宁 Wanning
江蓠属 <i>Gracilaria</i> Greville	
弓江蓠 <i>Gracilaria arcuata</i> Zanardini	乐东 Ledong
异枝江蓠 <i>Gracilaria bailinae</i> (Zhang et Xia) Zhang et Xia	儋州 Danzhou, 临高 Lingao, 乐东 Ledong
芋根江蓠 <i>Gracilaria blodgettii</i> Harvey	湛江市徐闻北港 Xuwen Beigang Zhenjiang City, 海口 Haikou, 澄迈 Dengmai, 临高 Lingao, 儋州 Danzhou
绳江蓠 <i>Gracilaria chorda</i> Holmes	乐东 Ledong
凤尾菜 <i>Gracilaria eucheumoides</i> Harvey	临高 Lingao, 儋州 Danzhou
团聚江蓠 <i>Gracilaria glomerata</i> Zhang et Xia	乐东 Ledong
海南江蓠 <i>Gracilaria hainanensis</i> Chang et Xia	临高 Lingao, 儋州 Danzhou
红江蓠 <i>Gracilaria rubra</i> Chang et Xia	海口 Haikou, 澄迈 Dengmai, 临高 Lingao, 乐东 Ledong
刺边江蓠 <i>Gracilaria spinulosa</i> (Okamura) Chang et Xia	乐东 Ledong
细基江蓠 <i>Gracilaria tenuistipitata</i> Chang et Xia	海口 Haikou, 澄迈 Dengmai
细基江蓠繁枝变种 <i>Gracilaria tenuistipitata</i> var. <i>liui</i> Zhang et Xia	海口 Haikou, 澄迈 Dengmai, 儋州 Danzhou
山本江蓠 <i>Gracilaria yamamotoi</i> Zhang et Xia	乐东 Ledong

Continue table 1

分类系统 Hierarchy	分布 Distribution area
莺歌海江蓠 <i>Gracilaria yinggehaiensis</i> Xia et Wang	乐东 Ledong
散房江蓠 <i>Gracilaria coronopifolia</i> J. Agardh	海南 Hainan
菊花江蓠 <i>Gracilaria confervoides</i> (Linnaeus) Greville	从台湾引种到海南进行栽培 Introduced from Taiwan to cultivate in Hainan
绿藻门 Phylum CHLOROPHYTA	
礁膜属 <i>Monostroma</i> Thuret	
礁膜 <i>Monostroma nitidum</i> Wittrock	澄迈 Dengmai, 临高 Lingao
浒苔属 <i>Enteromorpha</i> Link in Nees	
条浒苔 <i>Enteromorpha clathrata</i> (Roth) Greville	儋州 Danzhou, 临高 Lingao
扁浒苔 <i>Enteromorpha compressa</i> (Linnaeus) Nees	儋州 Danzhou, 临高 Lingao
曲浒苔 <i>Enteromorpha flexuosa</i> (Wulfen) J. Agardh	儋州 Danzhou, 临高 Lingao
石莼属 <i>Ulva</i> Linnaeus	
蜃菜 <i>Ulva conglobata</i> Kjellman	澄迈 Dengmai, 临高 Lingao
石莼 <i>Ulva lactuca</i> Linnaeus	乐东 Ledong, 东方 Dongfang
蕨藻属 <i>Caulerpa</i> Lamouroux	
总状蕨藻盾叶变种 <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>peltata</i> (Lamx.) Eubank	湛江市徐闻北港 Xuwen Beigang Zhenjiang City
总状蕨藻 <i>Caulerpa racemosa</i> var. <i>typica</i> (Forsskal) J. Agardh	湛江市徐闻北港澄迈 Xuwen Beigang Dengmai Zhenjiang City, 临高 Lingao
杉叶蕨藻 <i>Caulerpa taxifolia</i> (Vahl) C. Agardh	澄迈 Dengmai, 临高 Lingao
针叶蕨藻 <i>Caulerpa sertularioides</i> (Gmelin) Howe	海南 Hainan
仙人掌藻属 <i>Halimeda</i> Lamouroux	
大叶仙人掌藻 <i>Halimeda macroloba</i> Decaisne	乐东 Ledong, 东方 Dongfang, 儋州 Danzhou, 临高 Lingao
绒扇藻属 <i>Avranivillea</i> Decaisne	
直立绒扇藻 <i>Avranivillea erecta</i> (Berkeley) A. et E. S. Gepp	海南 Hainan

表 2 北部湾大型海藻分类及物种数

Table 2 The hierarchy and species numbers of macroalgae from Beibu Gulf

门 Phylum	属 Genus	种 Species
褐藻门 Phylum Pheaeophyta	6	18
红藻门 Phylum Rhodophyta	7	29
绿藻门 Phylum Chlorophyta	7	12
共计 Total	20	59

## 2 研究与应用进展

### 2.1 研究进展

从1995年至今,研究北部湾大型海藻的学者先后有韩丽君、吉宏武、江海燕、赵素芬、徐秀丽、刘国强和王红勇等,主要来自中科院海洋所、海南大学和广东海洋大学等研究机构。广东段的研究主要是由广东海洋大学对海藻的营养成分的研究<sup>[7,20,21]</sup>,研究表明,海藻含有丰富的氨基酸、脂肪酸、矿物质和微量元素等营养源,具有极高的食用价值。因此,可以考虑将海藻开发为功能食品,但是需要注意重金属超标的问题。广西段的研究多是由中科院海洋研究所对各种经济海藻成分的研究<sup>[22]</sup>,研究发现,广西经济海藻的脂肪酸组成和提取物的活性特点为开发海藻药物提供了理论指导。

海南段的研究初步调查了海藻的种类组成和地理分布<sup>[23]</sup>,发现海南蕴含着丰富的海藻资源,初步摸清了海南潮间带海藻的种类和季节分布规律,而海藻的生物量研究还可以完善,有些物种的分类及种名采用的是旧规则。目前对地域大型海藻资源进行系统调查研究的也只有海南,广东段和广西段鲜见报道。

广西拥有1628.59 km海岸线,可供开发的海域面积逾6万 km<sup>2</sup>,500 m<sup>2</sup>以上的岛屿有651个,岛屿岸线531.20 km,广西段的大陆岸线和岛屿岸线分别占全国的8.9%和3.95%,可是广西的海藻产量在海洋局2013年渔业统计年鉴<sup>[23]</sup>里显示空白。海南岛海岸线总长度约为1823 km,属于北部湾区域的海岸线约有900 km,而海南的海藻产业起步较早,2013年海藻产量(干重)为20174 t,占全国总产量的1.1%,主产江蓠和麒麟菜。北部湾的海藻养殖产量和漫长的海岸线,巨大的养殖海域,优质的养殖海域水质形成巨大的反差。中国主要的经济海藻有海带、裙带菜、羊栖菜、龙须菜、条斑紫菜、坛紫菜和红毛菜,其中,羊栖菜和红毛菜在北部湾自然界中都有分布,但是经济海藻养殖尚在开发,经济海藻养殖在广西段更是空白。

### 2.2 应用进展

研究和开发大型海藻具有极大的科学价值、经济价值和生态价值,应用潜力不可估量。

#### 2.2.1 经济价值

##### 2.2.1.1 生物药物开发

大型海藻作为药物使用在东南亚已有数千年的历史,如用大型海藻酸制备微胶囊<sup>[24]</sup>;在广西涠洲岛采集的马尾藻中提取到的褐藻多酚的抗氧化效果优于常用的食品抗氧化剂BHA、BHT和PG,有明显的

抗氧化效果<sup>[21]</sup>。近年来,大型海藻因其在抗氧化、抗肿瘤、抗炎症和抗凝血等方面的优异性能<sup>[25]</sup>,已经被研究用于伤口治疗及作为抗癌的潜在药物。据国家海洋局《2013年中国海洋经济统计公报》报道,我国海洋生物医药业2013年增速高达20.7%。一旦加大对大型海藻的研究开发,大型海藻药物的巨大经济价值必然带来北部湾产业的蓬勃发展。

##### 2.2.1.2 食品开发

大型海藻作为食品在东亚各国历史悠久,由于大型海藻营养价值高,富含必需脂肪酸和矿物质,低脂肪,作为沙拉生食以及蒸煮后的干制品都受到大众的欢迎。研究发现,在湛江海域采集到的龙须菜、异枝麒麟菜、铁钉菜、海蒿子、总状蕨藻和总状蕨藻盾叶变种的各项分析指标显示,这些大型海藻是天然优质的保健品,其氨基酸组成齐全而且膳食纤维丰富、蛋白含量高、热能低、脂肪含量少<sup>[21]</sup>。需要注意的是,部分大型海藻的重金属含量超过食品安全标准<sup>[7]</sup>,应挑选洁净海域专门培养才能保证食用安全。

##### 2.2.1.3 胶体工业产品

卡拉胶(carrageenan)与琼胶(agar)都是构成海藻细胞壁的多糖<sup>[26]</sup>。提取琼胶的海藻原料主要有江蓠、石花菜、凝花菜、鸡毛菜和凹顶藻,研究发现,不同的氮磷比对龙须菜生长速率和胶含量影响较大,水域氮磷比为1:1时,龙须菜琼胶含量最高<sup>[8]</sup>。提取卡拉胶的海藻原料主要有麒麟菜、角叉藻、卡帕藻和沙菜。褐藻胶是构成褐藻细胞壁的水溶性多糖,提取材料主要有巨藻、海带和马尾藻<sup>[27]</sup>。北部湾拥有大量可用于提胶的大型海藻自然资源,海藻养殖除了江蓠和麒麟菜,其他品种的海藻养殖尚在起步阶段。

##### 2.2.2 生态价值

大型海藻不仅能给北部湾带来巨大的经济价值和产业发展,同时还能为北部湾的海洋生态保驾护航,保证海洋经济动物养殖业和旅游业的持续发展。自从2008年中国批准实施《广西北部湾经济区发展规划》,北部湾的经济发展就跨上了快车道。高速的经济发展往往伴随着环境问题的隐患,海洋工程建筑业往往会导致海水营养盐、有机物、石油烃和重金属等污染严重,破坏海域的生态系统<sup>[3]</sup>;滨海旅游业必然对沿海地区的水质、海洋生态系统造成严重影响<sup>[28]</sup>,海水养殖业的快速发展会带来水域富营养化,赤潮爆发的潜在危险<sup>[3]</sup>。

大型海藻需要大量氮素和磷素维持生长,而海藻本身又是优质的养殖业饲料,因此可以通过收获大型海藻便捷的将营养元素从海水中去除,大型海藻的栽培在碳汇、碳循环控制、富营养化治理、赤潮防治以及

海水生态养殖等方面具有巨大的应用空间<sup>[4]</sup>。

### 2.2.2.1 碳汇及碳循环控制

近年来,温室效应成为人们关注的热点。海藻的主要组成元素是C,海水中无机碳主要以 $\text{HCO}_3^-$ 的形式存在,游离态的 $\text{CO}_2$ 量很少<sup>[29]</sup>,在海水表面时刻进行着 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 的化学平衡,大型海藻可以直接吸收游离态的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{HCO}_3^-$ ,使得大气中的 $\text{CO}_2$ 持续的向海水中流入,从而将无机碳通过光合作用固定为有机碳。这种光合固碳作用在海洋碳循环中至关重要,在海域中栽培大型海藻,可显著增加海域的碳汇容量<sup>[30]</sup>。

### 2.2.2.2 富营养化治理及赤潮防治

中国近海普遍存在的问题是以氮磷高浓度为特征的海水富营养化现象,近年来,海水中氮流入显著增加<sup>[31]</sup>。海水富营养化带来的赤潮和养殖动物病害多发,不但破坏了海洋生态,而且限制了海水养殖业的高速发展。所以,高效、经济的防治高浓度氮磷为特征的富营养化技术,对防治赤潮、发展海水养殖业以及保护海洋生态都具有重要的价值。

大型海藻可以直接通过生理过程吸收海洋中溶解态的氮磷<sup>[32]</sup>,也可以通过和细菌共生促进细菌将有机氮磷降解为无机态继而吸收<sup>[4,33]</sup>,但大型海藻主要吸收海水中的无机磷酸盐,有些也可以利用有机磷<sup>[34]</sup>。大型海藻不但能通过吸收氮磷,控制海水的富营养化程度,而且还可以通过抑制赤潮藻,从而达到防治赤潮的效果。调查发现,当氮磷的可溶性浓度分别大于 $0.1 \text{ mg/L}$ 和 $0.02 \text{ mg/L}$ ,赤潮爆发的概率将大幅提高<sup>[35]</sup>;海洋动物养殖区的营养水平显著高于非养殖区,养殖区的赤潮爆发频率也较高<sup>[36]</sup>。研究发现,每公顷海域每年能收获 $258 \text{ t}$ 江蓠,去除 $1020 \text{ kg}$ 氮和 $374 \text{ kg}$ 磷<sup>[37]</sup>。江蓠、石莼和龙须菜等大型海藻和赤潮藻之间存在营养竞争,能抑制赤潮藻的生长,还可以提高海域溶解氧水平,修复赤潮海域<sup>[16,38]</sup>。由此可见,大型海藻在赤潮防治方面有巨大的科学价值,在富营养化高发海域栽培大型海藻可以有效控制氮磷浓度,降低赤潮发生危险以及提高养殖动物健康程度,增加养殖业经济效益。北部湾近年来已多次发生赤潮,甚至有发生频率上升的趋势<sup>[39]</sup>,而大型海藻为北部湾提供了一个成本低、效率高的赤潮生物防治方案。

### 2.2.2.3 生态养殖

随着人民生活水平的大幅提高,人均海产品的消费水平逐年上升,受经济利益驱动,我国鱼、虾和贝类等经济动物的养殖得到空前发展<sup>[18]</sup>,而中国沿海处于健康状态的生态系统不到 $20\%$ ,赤潮和海洋污染

相继发生<sup>[40]</sup>,海水养殖又给生态系统增添额外压力。养殖业带来的排泄物和残饵等是养殖海域的重要污染源<sup>[41]</sup>,其中,氨氮、硝酸盐和亚硝酸盐浓度均较高<sup>[42]</sup>,而高浓度的氨氮和亚硝酸盐会导致养殖动物病害频发,造成巨大的经济损失<sup>[43]</sup>。此外,近年来,公众对食品安全的重视程度愈来愈高,海产品中的重金属含量问题受到越来越多的关注,净化养殖废水的问题显得尤为迫切。

海水养殖若想维持持续发展,势必将养殖废物控制在养殖水体生态系统自净能力范围内,其中一条途径就是运用生态学发展生态型养殖<sup>[44]</sup>。在养殖水体的生态系统中,关键的一环就是初级生产者,若以浮游植物为主,由于受水体营养盐影响,极易出现浮游植物种群爆发性增殖或群体死亡等现象。但是,若以大型海藻作为主要初级生产者,由于其体内有一个营养库,能在营养盐不足时保证海藻仍能较快生长;在营养盐含量高时则吸收超过自身所需的营养盐以备不时之需<sup>[44,45]</sup>,所以,大型海藻对受污染海域有更强的耐受能力,生长也更为稳定。

研究表明,大型海藻和鱼、虾等经济动物混养,不但能吸收氨氮,降低亚硝酸盐浓度,还能增加水域溶解氧水平,去除水体中重金属的含量。如在大马哈鱼养殖池中混养江蓠,可降低水体中 $50\% \sim 95\%$ 的氨氮, $1 \text{ kg}$ 石莼能维持 $2 \text{ kg}$ 鱼对氧的需求<sup>[46,47]</sup>。微量的重金属元素对藻类无害,甚至有助于海藻生长,只有当重金属离子在藻体内富集到一定浓度时才对藻类产生毒害<sup>[48]</sup>。大型海藻对重金属铬的吸附最高能达 $181 \text{ mg/g}$ ,吸附容量甚至比活性炭和天然沸石还高,可以和离子交换树脂媲美,因此,用大型海藻吸附重金属具有成本低和操作简便的优点,最难得的是可以通过收割海藻回收金属,避免二次污染<sup>[49~51]</sup>。

## 3 展望

随着北部湾区域的不断发展,高速增长的经济对环境的需求更迫切,环境压力也更显著。为了维持北部湾海洋产业的持续健康发展,扭转海洋环境下滑趋势,探索一条经济、有效的环境修复之路势在必行。本文对北部湾大型海藻物种的种类及分布情况,历年来的研究问题及进展进行总结分析,发现北部湾在大型海藻资源调查、开发利用和生态修复等方面还有巨大的研究空间。

北部湾具有丰富的野生海藻资源,大型海藻在防治海水富营养化和赤潮,净化养殖废水,发展海水生态养殖方面具有不可替代的作用。此外,大型海藻自身具有巨大的经济价值,又便于收获,对经济发展贡

献大。如凭借在抗氧化、抗肿瘤、抗炎症和抗凝血等方面的优异性能,大型海藻未来的生物药物开发潜力巨大<sup>[25]</sup>;大型海藻营养价值高,深受大众喜爱;大力发展提胶海藻养殖业,引入提胶技术和设备,全面开发胶体加工产业。

因此,如果北部湾能够大力发展海藻养殖业,加大对大型海藻科研的支持和投入,扶助海藻产业链的建设,必将给北部湾海洋经济可持续发展带来更大的经济效益和生态效益。

#### 参考文献:

- [1] 崔乃夫. 中华人民共和国地名大词典[M]. 北京:商务印书馆,1998.  
Cui N F. The Dictionary of Placename in China[M]. Beijing: The Commercial Press,1988.
- [2] 丁莉. 中国地名词典[M]. 上海:上海辞书出版社,1990.  
Ding L. The Dictionary of Chinese Place Name[M]. Shanghai: Shanghai Lexicographic Publishing House, 1990.
- [3] 南春容,张海智,董双林,孔石莼水溶性抽提液抑制3种海洋赤潮藻的生长[J]. 环境科学学报,2004(4):702-706.  
Nan C R, Zhang H Z, Dong S L. Growth inhibition of aqueous extracts of *Ulva pertusa* on three species of microalgae in red tide[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004(4):702-706.
- [4] 杨宇峰,宋金明,林小涛,等. 大型海藻栽培及其在近海环境的生态作用[J]. 海洋环境科学,2005(3):77-80.  
Yang Y F, Song J M, Lin X T, et al. Seaweed cultivation and its ecological roles in coastal waters[J]. Marine Environmental Science, 2005(3):77-80.
- [5] 安鑫龙,李雪梅,徐春霞,等. 大型海藻对近海环境的生态作用[J]. 水产科学,2010(2):115-119.  
An X L, Li X M, Xu C X, et al. Ecological effects of seaweeds on the coastal environment[J]. Fisheries Science, 2010(2):115-119.
- [6] 丁兰平,黄冰心,谢艳齐. 中国大型海藻的研究现状及其存在的问题[J]. 生物多样性,2011(6):798-804.  
Ding L P, Huang B X, Xie Y Q. Advances and problems with the study of marine macroalgae of China seas[J]. Biodiversity Science, 2011(6):798-804.
- [7] 赵素芬,孙会强,王丹,等. 湛江海区8种常见海藻营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报,2008(6):30-34.  
Zhao S F, Sun H Q, Wang D, et al. Nutrient components analysis of eight kinds of seaweeds in Zhanjiang sea area [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008(6): 30-34.
- [8] 徐永健,陆开宏,管保军. 不同氮磷浓度及氮磷比对龙须菜生长和琼胶含量的影响[J]. 农业工程学报,2006(8): 209-213.  
Xu Y J, Lu K H, Guan B J. Effects of concentrations and

- ratios of nitrogen and phosphorus on the growth and agar content of *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) [J]. Transactions of the CSAE, 2006(8):209-213.
- [9] 胡亚芹,竺美. 卡拉胶及其结构研究进展[J]. 海洋湖沼通报,2005(1):94-102.  
Hu Y Q, Zhu M. Study progress of carrageenans and their structure[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2005(1):94-102.
- [10] 王凌云,岑颖洲,李药兰. 海藻的特殊功能及其在化妆品中的应用[J]. 日用化学工业,2003(4):258-260.  
Wang L Y, Cen Y Z, Li Y L. Special functions of algae and their applications in cosmetics[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2003(4):258-260.
- [11] 王泽文. 海藻植物生长调节剂的检测及促生长作用研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2010.  
Wang Z W. Study on the Determination of Seaweed Growth Regulator and Fertilizer Efficiency[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [12] 周文娟,王月红,印佳慧,等. 食品医药化妆品行业添加剂的新宠——海藻糖[C]//第二届中药现代化新剂型新技术国际学术会议论文集. 天津:[出版者不详], 2006(8):379-386.  
Zhou W J, Wang Y H, Yin J H, et al. Trehalose—the new darling of additives for food, pharmaceutical and cosmetics industry[C]//The Second Symposium of the Modernization of Traditional Chinese Medicine on Methodology and Technology Innovation. Tianjin:[s. n.], 2006(8):379-386.
- [13] 周志刚,毕燕会. 大型海藻资源化利用的研究与思考[J]. 海洋经济,2011(4):23-28.  
Zhou Z G, Bi Y H. Perspectives and thoughts on the seaweeds exploited in the biomass energy production [J]. Marine economy, 2011(4):23-28.
- [14] Kumari P, Kumara M, Gupta V, et al. Tropical marine macroalgae as potential sources of nutritionally important PUFAs[J]. Food Chemistry, 2010, 120(3):749-757.
- [15] 杨宇峰,费修缙. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版,2003(1):53-57.  
Yang Y F, Fei X G. Prospects for bioremediation of cultivation of large-sized seaweed in eutrophic mariculture areas[J]. Journal of Ocean University of Qingdao: Nature Science, 2003(1):53-57.
- [16] 孙琼花. 大型海藻对养殖废水营养盐吸收及海区的生物修复[D]. 福建:福建师范大学,2013.  
Sun Q H. Nutrients Absorption of Aquaculture Wastewater and Bioremediation of Sea Area by Macroalgae[D]. Fujian: Fujian Normal University, 2013.
- [17] 刘婷婷,杨宇峰,叶长鹏,等. 大型海藻龙须菜对两种海洋赤潮藻的生长抑制效应[J]. 暨南大学学报:自然科学与医学版,2006(5):754-759.

- Liu T T, Yang Y F, Ye C P, et al. Inhibitory effects of seaweed *Gracilaria lemaneiformis* on the growth of two red tide microalgal species[J]. Journal of Jinan University: Nature Science and Medical Science, 2006(5):754-759.
- [18] 贺心然, 陈斌林, 展卫红. 连云港港口海域水体富营养化情况分析[J]. 污染防治技术, 2005(1):46-48.  
He X R, Chen B L, Zhan W H. Water eutrophication of sea area in seaport of Lianyungang[J]. Pollution Control Technology, 2005(1):46-48.
- [19] 胡兴. 湛江硇洲岛沿岸经济海藻的种类和生态分布[J]. 怀化师专学报, 1997(6):72-75.  
Hu X. The species and ecological distribution of algae in the inshore regions Naozhou Island of Zhanjiang[J]. Journal of Huaihua Teachers College, 1997(6):72-75.
- [20] 吉宏武, 何国祥, 李剑昆, 等. 湛江海域 14 种主要海藻 SOD 含量与活力测定[J]. 食品研究与开发, 2006(9):102-106.  
Ji H W, He G X, Li J K, et al. SOD contents and specific activities of 14 kinds of main seaweed from Zhanjiang sea zone[J]. Food Research and Development, 2006(9):102-106.
- [21] 江海燕, 吴思超, 岑颖洲. 湛江海域 6 种经济海藻的营养成分分析[J]. 广州化工, 2011(7):105-108.  
Jiang H Y, Wu S C, Cen Y Z. Nutrient component analysis of six kinds of economic algae in Zhanjiang sea area[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2011(7):105-108.
- [22] 吴佩, 李婷, 李敬, 等. 海藻多糖空心胶囊药物溶出度研究[J]. 海洋科学, 2010(2):19-22.  
Wu P, Li T, Li J, et al. The *in vitro* dissolution of algal polysaccharide hard shell capsules[J]. Marine Science, 2010(2):19-22.
- [23] 董金和. 《2013 中国渔业统计年鉴》解读[J]. 中国水产, 2013(7):19-20.  
Dong J H. The interpretation of China fishery statistical year book[J]. China Fishery, 2013(7):19-20.
- [24] Samaraweera A M, Vidanarachchi J K, Kurukulasuriya M S. Industrial applications of macroalgae[M]//Kim S K. Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology. Beijing: Wiley, 2011:500-521.
- [25] 赵素芬, 孙会强, 梁钧志, 等. 湛江海域 6 种常见经济海藻的营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2009(1):49-53.  
Zhao S F, Sun H Q, Liang J Z, et al. Nutrient components analysis of six kinds of seaweeds in Zhanjiang sea area[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009(1):49-53.
- [26] 汪春牛, 时杰, 葛思思, 等. 卡拉胶与琼胶提取工艺的研究进展[J]. 海洋科学, 2012(6):122-126.  
Wang C N, Shi J, Ge S S, et al. Progress of extraction of the carragenan and agar[J]. Marine Science, 2012(6):122-126.
- [27] 刘斌, 王长云, 张洪荣, 等. 海藻多糖褐藻胶生物活性及其应用研究新进展[J]. 中国海洋药物, 2004(6):36-41.  
Liu B, Wang C Y, Zhan H R, et al. New progress in the research on bioactivities and applications of algal polysaccharide[J]. China J Mar Drugs, 2004(6):36-41.
- [28] 张广海, 田纪鹏. 国内外滨海旅游研究回顾与展望[J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2007(6):5-9.  
Zhang G H, Tian J P. Overview and prospect of research on domestic and abroad tourism[J]. Journal of Ocean University of China: Social Sciences Edition, 2007(6):5-9.
- [29] 邹定辉, 高坤山. 大型海藻类光合无机碳利用研究进展[J]. 海洋通报, 2001(5):83-90.  
Zou D H, Gao K S. Progress in studies on photosynthetic inorganic carbon utilization in marine macroalgae[J]. Marine Science Bulletin, 2001(5):83-90.
- [30] 宋金明. 中国近海生物地球化学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004.  
Song J M. Biogeochemical in China Offshore[M]. Jinan: Shandong Science & Technology Press, 2004.
- [31] 李睿. 《2012 年中国海洋环境状况公报》发布近岸海域污染严重[J]. 珠江水运, 2013(11):28.  
Li R. 2012 State of the China ocean environment published that coastal waters were polluted[J]. Pearl River Water Transport, 2013(11):28.
- [32] 徐永健, 钱鲁闽, 焦念志. 江蓠作为富营养化指示生物及修复生物的氮营养特性[J]. 中国水产科学, 2004(3):276-280.  
Xu Y J, Qian L M, Jiao N Z. Nitrogen nutritional character of *Gracilaria* as bioindicators and restoral plants[J]. Journal of Fishery Science of China, 2004(3):276-280.
- [33] Lobban C S. Seaweed Ecology and Physiology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [34] Lundberg P, Weich R G, Jensen Paul, et al. Phosphorus-31 and nitrogen-14 NMR studies of the uptake of phosphorus and nitrogen compounds in the marine macroalgae *Ulva lactuca* [J]. Plant Physiology, 1989, 89(4):1380-1387.
- [35] Hodgkiss I J, Ho K C. Are changes in N:P ratios in coastal waters the key to increased red tide blooms? [C]// Wong Y S, Tam N F Y. Asia-Pacific Conference on Science and Management of Coastal Environment. Berlin: Springer Netherlands, 1997, 123:141-147.
- [36] Qian P Y, Wu M, Ni I. Comparison of nutrients release among some maricultured animals [J]. Aquaculture, 2001, 200(3):305-316.
- [37] Haglund K, Pedersén M. Outdoor pond cultivation of the subtropical marine red alga *Gracilaria tenuistipitata* in brackish water in Sweden. Growth, nutrient uptake, co-cultivation with rainbow trout and epiphyte control [J]. Journal of Applied Phycology,

- 1993,5(3):271-284.
- [38] 刘国强,史海燕,魏春雷,等. 广西涠洲岛海域浮游植物和赤潮生物种类组成的初步研究[J]. 海洋通报, 2008(3):43-48.  
Liu G Q, Shi H Y, Wei C L, et al. Preliminary studies on phytoplankton and red tide organism composition in the coastal water of the Weizhou Island, Guangxi[J]. Marine Science Bulletin, 2008(3):43-48.
- [39] 贾晓平,蔡文贵,林钦. 我国沿海水域的主要污染问题及其对海水增养殖的影响[J]. 中国水产科学, 1997(4):79-83.  
Jia X P, Cai W G, Lin Q. The effects of major pollutions on mariculture and fishery resource enhancement along the coastal waters of China[J]. Journal of Fishery Science of China, 1997(4):79-83.
- [40] 苗卫卫,江敏. 我国水产养殖对环境的影响及其可持续发展[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(z1):319-323.  
Miao W W, Jiang M. Environmental impacts and sustainable development of aquaculture in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(z1):319-323.
- [41] 曲克明,崔毅,辛福言,等. 莱州湾东部养殖水域氮、磷营养盐的分布与变化[J]. 海洋水产研究, 2002(1):37-46.  
Qu K M, Cui Y, Xin F Y, et al. The plane distributions and seasonal variations of nutrients in the east of Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries Research, 2002(1):37-46.
- [42] 孙国铭,汤建华,仲霞铭. 氨氮和亚硝酸氮对南美白对虾的毒性研究[J]. 水产养殖, 2002(1):22-24.  
Sun G M, Tang J H, Zhong X M. Toxicity research of ammonla nitrogen and nitrite nitrogen to *Penaeus vannamei* [J]. Journal of Aquaculture, 2002(1):22-24.
- [43] Troell M, Rönnbäck P, Halling C, et al. Ecological engineering in aquaculture; Use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture[J]. Journal of Applied Phycology, 1999, 11(1):89-97.
- [44] 胡海燕,卢继武,杨红生. 大型藻类对海水鱼类养殖水体的生态调控[J]. 海洋科学, 2003, 27(2):19-21.  
Hu H Y, Lu J W, Yang H S. Ecological function of macroalgae in fish culture system[J]. Marine Sciences, 2003, 27(2):19-21.
- [45] Suzuki Y, Kametani T, Maruyama T. Removal of heavy metals from aqueous solution by nonliving *Ulva* seaweed as biosorbent[J]. Water research, 2005, 39(9):1803-1808.
- [46] Neori A, Chopin T, Troell M, et al. Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture[J]. Aquaculture, 2004, 231(1):361-391.
- [47] 周洪英,王学松,李娜,等. 关于海藻吸附水溶液中重金属离子的研究进展[J]. 科技导报, 2006(12):61-66.  
Zhou H Y, Wang X S, Li N, et al. On the advances of the biosorption of heavy metals from aqueous solution by algae[J]. Science & Technology, 2006(12):61-66.
- [48] 赵素达. 海洋重金属污染及其对海藻的毒害作用[J]. 青岛教育学院学报, 1999(1):40-42.  
Zhao S D. The ocean heavy metal and its toxicity to algae[J]. Journal of Qingdao Education College, 1999(1):40-42.
- [49] Rodríguez R H, Pérez B C, Fernández P L, et al. Interactions of cadmium (II) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp. [J]. Marine Chemistry, 2006, 99(1):106-116.
- [50] Cochrane E L, Lu S, Gibb S W, et al. A comparison of low-cost biosorbents and commercial sorbents for the removal of copper from aqueous media[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137(1):198-206.
- [51] 王淼,胡本强,辛万光,等. 我国海洋环境污染的现状、成因与治理[J]. 中国海洋大学学报:社会科学版, 2006(5):1-6.  
Wang M, Hu B Q, Xin W G, et al. The situation, analysis and governance of marine environmental pollution in China[J]. Journal of Ocean University of China; Social Sciences Edition, 2006(5):1-6.

(责任编辑:陆雁)