

大亚湾大鹏澳网箱养殖水域的浮游植物生态特征研究

李纯厚, 林 钦, 张汉华, 蔡文贵, 黄洪辉, 戴 明

(中国水产科学研究院南海水产研究所,农业部渔业生态环境重点开放实验室, 广东 广州 510300)

摘 要:采用现场采样及观察、计数、分析等方法,对大亚湾大鹏澳网箱养殖区及附近海域浮游植物生态特征进行研究。结果显示,养殖区与对照区种类组成基本一致,优势种发生一定变化,主要优势种为菱形海线藻、伏氏海毛藻、细弱海链藻、中肋骨条藻、尖刺菱形藻等。养殖区及附近水域浮游植物栖息密度范围为 $6.2\sim2\,010\times10^4\cdot\text{m}^{-3}$, 平均 $235.2\times10^4\cdot\text{m}^{-3}$, 养殖区与对照区平均密度分别为 141.8 和 $328.6\times10^4\cdot\text{m}^{-3}$ 。比较显示,密度均值除冬季养殖区约低于后者 2.4 倍外,其他季节 2 个区域基本接近,差异不明显。多样性指数在 0.97~4.08 范围内变化,养殖区和对照区四季均值分别为 3.12 和 3.15,两者差异不明显。种类组成均匀度变化范围为 0.19~0.94,养殖区与对照区无明显差异。多样性阈值在 0.23~3.64 范围变化,多样性处于 II~IV 级,即多样性差~多样性非常丰富水平,养殖区和对照区均值分别为 2.22 和 2.20,平均处于 III 级,即多样性较好水平。季节变化均以冬季最低,均值分别为 0.79 和 0.83,夏季最高,均值分别为 2.83 和 3.05。

关键词:网箱养殖; 浮游植物; 大亚湾

中图分类号:X835 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)04-0784-06

Ecological Characteristics of Phytoplankton in Caged Culturing Waters of Dapengao in Daya Bay

LI Chun-hou, LIN Qin, ZHANG Han-hua, CAI Wen-gui, HUANG Hong-hui, DAI Ming

(Key Laboratory of Fishery Ecology Environment, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: According to the data obtained from 2001 to 2002, the ecological characteristics of phytoplankton were studied around the waters of caged culturing area in Dapengao of Daya Bay. The species composition in the culturing area were the same as that in the control area, and the dominant species changed to a certainty in both of the two areas with the main *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassionthrix frauenfeldii*, *Thalassiosira subtilis*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia pungens*. Around the waters of the culturing area, the density of phytoplankton ranged from $6.2\times10^4\text{ cells}\cdot\text{m}^{-3}$ to $2010\times10^4\text{ cells}\cdot\text{m}^{-3}$ with the average of $235.2\times10^4\text{ cells}\cdot\text{m}^{-3}$. In the culturing area and the control area, the average densities were $141.8\times10^4\text{ cells}\cdot\text{m}^{-3}$ and $328.6\times10^4\text{ cells}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. The biodiversity index ranged from 0.97 to 4.08, and the averages were 3.12 and 3.15 in the culturing area and in the control area, respectively. The evenness of the species composition ranged from 0.19 to 0.94 and showed no difference between the two areas. The biodiversity threshold value varied from 0.23~3.64, and the average in the two areas were 2.22 and 2.20, respectively, which showed the better diversity level. In the seasonal variation, the threshold value in winter was the lowest in both of the areas with the average of 0.79 and 0.83, respectively, while that in summer was the highest with the average of 2.83 and 3.05, respectively.

Keywords: caged culture; phytoplankton; Daya Bay

我国的海水网箱养殖最早开展于广东省,起始于 20 世纪 70 年代末,由惠阳县和珠海市首次开展试养并获成功。1981 年转入生产性养殖,1984 年进入迅速发展阶段,进入 20 世纪 90 年代,随着网箱养殖技术的进步,网箱养殖品种和规模不断发展。目前,海水网箱养殖已发展到福建、浙江、广西、海南、江苏、山东和辽宁等沿海省份,其中以广东和福建养殖产量和规模最大。

然而,海水网箱养殖业快速发展的同时,其对养殖水域生态环境的影响效应越来越引起人们的关注^[1-8]。其中,浮游植物作为海洋生态系统中重要的初级生产者,在养殖水域中不仅是养殖对象的直接饵料,而且在维持养殖水环境的稳定和改善养殖生态环境质量中发挥极其重要作用。近年来,对养殖环境中浮游植物的生态特征及生态作用进行了不少报道^[9-17],郭皓等^[9,10]初步研究了贝类浮筏养殖区浮游植物的生态特征及其与养殖贝类饵料结构的关系,陈碧娟等^[11]、杜庆红等^[12]、卢敬让等^[13]对养殖水域浮游植物特征进行了初步探讨,毛芝娟等^[14]对养殖池水中浮游植物与细菌的关系进行了初步探讨,李宝林等^[15]、蒙仁宪等^[16]和许恒龙等^[17]利用浮游植物初步评价了水质污染与营养水平,但对海水网箱养殖水域浮游植物的生态特征研究甚少。

为了科学评价海水网箱养殖渔场的环境影响状况,促进和维护海水网箱养殖的健康、稳定、可持续发展,作者选择大亚湾的大鹏澳网箱养殖海域,对其养殖过程的生态环境要素进行了长期的跟踪监测和研究。现根据 2001 年 6 月—2002 年 4 月对该养殖海域浮游植物样品的分析数据资料,对养殖海域浮游植物的生态特征进行阐述。

1 材料与方法

选取大亚湾大鹏澳为研究海域,整个调查区域设 8 个采样站,分别于 2001 年 6 月、9 月、12 月和 2002 年 4 月采集浮游植物样品,其中 S1~S5 为网箱养殖

区,S6~S8 为对照区,采样站位示意图见图 1。样品的采集、固定、计数、计算及资料分析处理方法均按《海洋调查规范》^[18]执行。

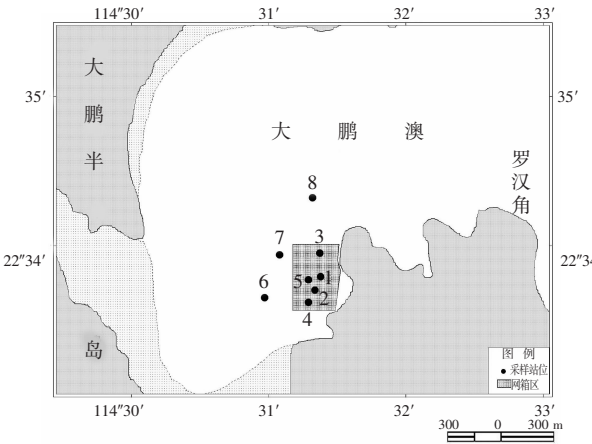


图 1 大亚湾大鹏澳网箱养殖区浮游植物采样站位图
Figure 1 The sampling sites for the phytoplankton in the caged culturing waters of Dapengao in Daya Bay

关于优势度、多样性指数、均匀度、多样性阈值和杰卡德(Jaccard)种类相似性指数的计算,参考陈清潮及林永水等报道^[19,20]。

2 结果与讨论

2.1 种类组成特征

经初步鉴定,大亚湾大鹏澳网箱及附近海域共出现浮游植物 147 种(包括变种和变型),其中硅藻 118 种,甲藻 21 种,蓝藻 5 种,金藻 3 种,以硅藻出现种类最多,占浮游植物总种数 80.3%,其次是甲藻,占 14.3%,其余门类占 5.4%。不同季节,网箱养殖区与对照水域种类组成基本相同,仅夏季比对照区多 2 种,但种类组成相似性指数仍达 95.3%。

不同测站出现的浮游植物种类数显示一定的变化,网箱区出现种类数变化范围为 8~48 种·站⁻¹,平均 21.6 种·站⁻¹,对照区变化范围为 8~44 种·站⁻¹,平均 25.2 种·站⁻¹,对照区出现种类数略高于养殖区,但无

表 1 网箱养殖水域浮游植物各测站出现种类数(种·站⁻¹)

季节	网箱养殖区					对照区		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
夏季	—	21	20	8	8	8	26	17
秋季	27	39	41	41	48	37	44	40
冬季	31	22	17	27	29	32	40	30
春季	27	34	35	32	24	23	41	41
平均	21.3	23.2	22.6	21.6	21.8	20	30.2	25.6

显著性差异,见表 1。

养殖区与对照区浮游植物优势种共出现 19 种(以优势度 ≥ 30.015 为标准),其中养殖区与对照区共有优势种 13 种,仅在养殖区成为优势的优势种 5 种,即中肋角毛藻、旋链角毛藻、悬垂角毛藻、短纹楔形藻和成列菱形藻,而在对照区成为优势的优势种仅 1 种,即秘鲁角毛藻,见表 2。

2.2 数量变化特征

大鹏澳网箱养殖及附近水域浮游植物细胞栖息密度化范围为 $6.2\sim 2010\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$,平均 $235.2\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$ 。

养殖区平均密度 $141.8\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$,明显低于对照区平均密度($328.6\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$),其中以冬季养殖区与对照区栖息密度差别最大,前者远低于后者,两者相差约 2.4 倍,其他季节基本接近,差异不明显,见表 3。季节不同,浮游植物栖息密度的平面分布显示较大差异,春季,养殖区近岸密度较高,呈现由西部向东部递增趋势;夏季由西南向东北方向递减,网箱区西北部形成最低分布区;秋季则由西北向东南递减,网箱区外西北部出现最高密集区;冬季,养殖区密度最低,并向西南方向递增,趋势明显;全年分析表明,高密集区呈现

表 2 网箱养殖水域浮游植物优势种及优势度
Table 2 The dominant species and dominant index of phytoplankton in the caged culturing waters

优势种		网箱区				对照区			
		春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
窄隙角毛藻	<i>Chaetoceros affinis</i>	0.026	—	0.023	—	0.021	—	—	—
中肋角毛藻	<i>Chaetoceros costatus</i>	—	—	0.020	—	—	—	—	—
旋链角毛藻	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	—	—	0.044	—	—	—	—	—
并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i>	—	—	0.147	—	—	—	0.297	—
异角角毛藻	<i>Chaetoceros diversus</i>	—	0.046	0.021	—	—	0.029	—	—
洛氏角毛藻	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0.082	—	0.152	—	0.068	—	0.142	—
悬垂角毛藻	<i>Chaetoceros pendulum</i>	—	0.039	—	—	—	—	—	—
秘鲁角毛藻	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	—	—	—	—	—	0.029	—	—
丹麦细柱藻	<i>Leptocylindrus danicus</i>	0.051	—	0.029	—	0.074	—	0.054	—
短纹楔形藻	<i>Licmophora abbreviata</i>	—	0.016	—	—	—	—	—	—
柔弱菱形藻	<i>Nitzschia delicatissima</i>	0.252	0.021	0.042	—	0.186	0.096	0.025	—
尖刺菱形藻	<i>Nitzschia pungens</i>	0.185	0.017	0.066	0.029	0.233	0.063	0.067	0.041
成列菱形藻	<i>Nitzschia seriata</i>	—	0.029	0.014	—	—	—	—	—
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	0.054	—	0.090	0.468	—	—	0.095	0.474
菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	—	0.205	—	—	0.015	0.103	—	—
细弱海链藻	<i>Thalassiosira subtilis</i>	—	0.031	—	0.362	—	0.061	—	0.280
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i>	—	0.023	—	—	—	0.140	—	—
伏氏海毛藻	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	0.028	0.141	—	—	0.029	0.136	—	—
叉角藻	<i>Ceratium furca</i>	—	—	0.082	—	0.015	—	0.029	—

表 3 网箱养殖水域浮游植物栖息密度比较($\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$)
Table 3 The comparison for the density of phytoplankton in the caged culturing waters($\times 10^4\cdot\text{m}^{-3}$)

季节	网箱养殖区						对照区			
	S1	S2	S3	S4	S5	均值	S6	S7	S8	均值
春季	56.2	101.0	140.0	96.6	41.0	87.0	50.6	99.7	109.2	86.5
夏季	—	15.5	6.8	6.2	6.4	8.7	11.6	11.9	11.4	11.7
秋季	94.2	176.2	170.1	181.5	230.8	170.6	171.3	371.7	51.6	198.2
冬季	399.5	218.4	413.3	340.4	133.0	300.9	2 010.4	838.1	205.8	1 018.1
平均	183.3	127.8	182.6	156.2	102.8	141.8	561.0	330.4	94.5	328.6

较为明显的逆时针方向移动趋势。

2.3 多样性水平

养殖区及对照区浮游植物多样性指数、均匀度及多样性阈值统计结果见表 4。监测海域多样性指数范围为 0.97~4.02,平均 3.14,养殖区指数均值为 3.12,

略低于对照区的 3.15,高多样性指数出现在秋季,其次是春季和夏季,冬季最低。

多样性指数的平面分布表现为,春季,网箱养殖区西南部最低,并呈现由西南部向东北部递增趋势;夏季高多样性指数区分布在对照区和养殖区的东北

近岸一带, 养殖区范围呈现由东北向西南递减趋势; 秋季, 多样性指数达到全年最高水平, 以养殖区西南部最高, 由此向四周递减; 冬季, 多样性普遍下降, 为全年最低水平, 养殖区大部分水域均低于 2.0, 以北部最低。种类组成均匀度变化范围为 0.19~0.94, 养殖区与对照区无明显差异, 四季均值分别为 0.72、0.87、0.72、0.41 和 0.73、0.88、0.65、0.41, 均以夏季最高, 冬季最低。

从表 4 可见, 监测水域多样性阈值在 0.23~3.64

范围变化, 养殖区和对照区均值分别为 2.22 和 2.20, 季节变化均以冬季最低, 均值分别为 0.79 和 0.83, 夏季最高, 均值分别为 2.83 和 3.05。参照陈清潮等提出的^[19]热带海区生物多样性阈值范围来分析调查水域浮游植物多样性程度, 养殖区和对照区平均在Ⅱ~Ⅳ级变化, 以夏季多样性程度最好, 平均Ⅱ级水平, 冬季最差, 部分测站达到Ⅴ级水平(即多样性差), 平均处于Ⅳ级水平; 全年总体处于Ⅲ级水平, 即多样性较好, 见表 5。

表 4 网箱养殖海域浮游植物多样性指数、均匀度及多样性阈值

Table 4 The biodiversity index, evenness and threshold value of phytoplankton in the caged culturing waters

参数	季节	网箱养殖区						对照区			
		S1	S2	S3	S4	S5	均值	S6	S7	S8	均值
多样性指数	春季	3.65	3.89	3.32	3.615	3.14	3.52	3.42	3.89	3.75	3.69
	夏季	—	4.00	3.97	2.68	2.32	3.24	2.82	4.01	3.51	3.45
	秋季	3.42	4.02	3.57	3.82	4.08	3.78	3.68	3.53	3.11	3.44
	冬季	2.25	2.38	0.97	1.91	2.07	1.91	2.31	1.02	2.79	2.04
	平均	3.10	3.57	2.96	3.00	2.90	3.12	3.06	3.12	3.29	3.15
均匀度	春季	0.77	0.76	0.65	0.72	0.69	0.72	0.76	0.73	0.70	0.73
	夏季	—	0.91	0.92	0.89	0.77	0.87	0.94	0.85	0.86	0.88
	秋季	0.72	0.76	0.67	0.71	0.73	0.72	0.71	0.65	0.58	0.65
	冬季	0.45	0.53	0.24	0.40	0.43	0.41	0.46	0.19	0.57	0.41
	平均	0.65	0.74	0.62	0.68	0.65	0.68	0.72	0.60	0.68	0.67
多样性阈值	春季	2.80	2.98	2.16	2.60	2.15	2.53	2.58	2.83	2.62	2.68
	夏季	/	3.64	3.65	2.39	1.80	2.83	2.66	3.42	3.01	3.05
	秋季	2.46	3.06	2.38	2.72	2.99	2.72	2.61	2.29	1.82	2.22
	冬季	1.02	1.27	0.23	0.77	0.88	0.79	1.07	0.20	1.59	0.83
	平均	2.09	2.73	2.11	2.12	1.95	2.22	2.23	2.18	2.26	2.20

表 5 大亚湾大鹏澳网箱养殖海域浮游植物多样性程度评价

Table 5 Evaluation on biodiversity of phytoplankton in the caged culturing waters

季节	网箱养殖区					对照区		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
春季	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
夏季	—	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
秋季	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ
冬季	Ⅳ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅲ
平均	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

3 讨论

浮游植物作为海域主要初级生产力的供给者, 其种类组成及数量变化直接影响海域生产力水平的高低, 同时, 环境要素, 如潮流、温度、盐度、营养盐、微量元素等的变化也对浮游植物的生态特征产生较大影响。结果显示, 大亚湾大鹏澳网箱养殖及附近水域浮游植物的种类组成及数量变化与亚热带海湾呈现类似规律^[21], 种类组成以热带、亚热带生态类型为主, 四季数量变化无显著性差异, 平面分布与湾内逆时针海

流运动方向密切相关。

大鹏澳是位于广东中部沿海大亚湾西南部的一个半封闭式的浅海小内湾, 水面面积约 1 400 hm², 1985 年该海域开始海水鱼类网箱养殖。目前, 养殖水面约 30 hm², 平均水深 4~5 m, 投放浮桶式养殖鱼排 400 组, 每组由 9~12 个规格为 3 m×3 m×3 m 的养殖网箱构成, 年产量约 450 t。养殖投喂饵料主要为鲜杂鱼或冰鲜杂鱼, 日投饵量为鱼重量的 3%~10%。

研究显示, 养殖区内浮游植物种类组成与对照区基本类似, 无明显差异; 但优势种显示不同。中肋角毛

藻、旋链角毛藻、悬垂角毛藻、短纹楔形藻和成列菱形藻仅在养殖区成为优势种,而秘鲁角毛藻仅在对照区的夏季成为优势种,表明由于养殖区与对照区生态环境要素的差异,导致浮游植物优势种发生变化。但究竟是浮游植物种类的耐污性差异导致养殖区与对照区优势种的变化,还是其他生态原因,目前的研究资料未有明确的支持依据,有待进一步研究。

养殖区与对照区浮游植物数量变化除冬季差异明显以外,其他季节基本一致,导致冬季差异的原因或机制,目前仍不清楚。从同步分析的水环境和沉积物环境中无机氮、活性磷酸盐和硅酸盐含量看,并未显示明显的相关性差异^[1],差异的形成是否与冬季枯水期特征或综合因子的协同效应有关,有待探究。

值得关注的是,随着养殖规模的不断扩大,养殖水域富营养化问题日益突出,赤潮灾害爆发现象越发严重,因此养殖对浮游植物生态特征的影响也引起越来越多的关注^[10-17],特别是养殖对赤潮诱发的贡献水平,早已引起人们广泛的兴趣,但到目前对此仍未有直接的证据或明确的结论。郭皓等(1999)^[10]对贝类浮筏养殖区内外浮游植物的生态特征进行了研究,结果显示,养殖区内外浮游植物生态特性略有差别,但无显著性差异,与本文网箱养殖区内外浮游植物生态变化特征基本一致,养殖区内外浮游植物的种类组成、

优势种类、数量变化以及多样性水平均无显著性差异。生物多样性指数是某一区域内各种生物个体数量的出现概率之和,主要与生物种类组成和数量变化有关,因而多样性指数常被用来作为评价海域生物种类组成的多样性水平。研究表明,养殖区与对照区浮游植物多样性总体水平基本一致,春、夏和秋季均较高,而冬季均较低,这与冬季枯水期地表径流补充水量和淡水注入量减少,导致生物多样性下降相吻合。同时,生物多样性指数不仅可以衡量生物种类组成的多样性水平,而且也可作为评价水域环境质量的重要指标,林永水(1997)^[22]曾用于衡量赤潮发生的指标体系之一; 而根据多样性指数和均匀度计算的多样性阈值,能综合反映养殖水域生物多样性特点。根据上述观点,并参照有关研究报道^[21,23-25]文章,本研究提出了海湾养殖水域环境质量状况浮游植物评价预警指标,见表 6。多样性指数、多样性阈值预警值分别为 2.0 和 1.5,赤潮生物密度预警值则参照安达六郎提出的赤潮生物密度指标⁽²⁾。依照该预警评价指标体系,研究海域网箱区冬季浮游植物多样性指数和多样性阈值均低于预警值,显示环境质量已处于差的状态,应启动环境质量预警预报;其他季节环境质量达到一般或良好水平,显示质量状况基本良好。由于不同海域环境状况的差异,该预警值在应用过程中有待进一

表 6 海湾养殖水域环境质量状况浮游植物预警评价指标

Table 6 The index for forecast environment quality by using phytoplankton applying for the culturing waters in the bays					
指标体系		量值及描述			
多样性指数	>3.0	2.0~3.0	2.0	1.0~2.0	<1.0
多样性阈值	>2.5	1.5~2.5	1.5	1.0~1.5	<1.0
环境质量状况	良好	一般	预警值	差	很差

步优化。

参考文献:

[1] 李纯厚,林 钦,贾晓平. 我国海水网箱养殖可持续发展对策初步研究[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(2):72-76.

[2] 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(4):78-82.

[3] 林 钦,林燕棠,李纯厚,等. 我国海水网箱养殖环境氮磷负荷量的评估[A]. 见:贾晓平主编,海洋水产科学研究文集[C].广州:广东科技出版社,1999.217-225.

[4] 甘居利,贾晓平,林 钦,李纯厚. 海水网箱渔场老化风险初探[J]. 中国水产科学,2001,8(3):86-89.

[5] 林 钦,李纯厚,林燕棠,等. 柘林湾网箱养殖对周围海域环境的影响[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1998(增刊):36-46.

[6] 何国民,卢婉娴,刘豫广,等. 深湾网箱渔场老化特征分析[J]. 中国水产科学,1997,4(5):76-80.

[7] 黄洪辉,王寓平. 大亚湾网箱养殖区生物-化学特性与营养状况的周日变化[J]. 湛江海洋大学学报,2001,21(2):35-43.

[8] 王小平,蔡文贵. 深湾网箱养殖沉积物中全氮、有机碳及有机质的分布[J]. 湛江海洋大学学报,1998,18(3):75-78.

[9] 郭 皓,闫启仑,曹 丽. 大连常江澳浮筏养殖贝类的饵料结构与浮游植物的关系[J]. 上海水产大学学报,1999,8(2):112-118.

[10] 郭 皓,闫启仑,沈亮夫. 贝类浮筏养殖区内、外浮游植物生态特征[J]. 黄渤海海洋,1999,17(3):4-72.

[11] 陈碧娟,陈聚法,崔 毅,等. 莱州湾东部养殖区浮游植物的生态特征[J]. 海洋水产研究,2001,22(3):6470.

[12] 杜庆红,张跃平,陈 然,等. 大官坂垦区总渠的浮游植物与养殖环境[J]. 海洋科学,1996,(2):8-11.

[13] 卢敬让,李德尚,杨红生,等. 莱州湾虾池养殖罗非鱼的静水围隔生态系浮游植物的初步研究[J]. 中国水产科学,1996,3(1):56-63.

[14] 毛芝娟,陈昌福. 养殖池水中浮游植物与细菌关系的初步研究[J]. 水利渔业,1998,(5):15-18.

[15] 李宝林,王玉亭,张路增,等. 以浮游植物评价达赉湖水质污染及营

养水平[J]. 水生生物学报, 1993, 17(1): 28–34.

- [16] 蒙仁宪, 刘贞秋. 以浮游植物评价巢湖水质污染及营养水平[J]. 水生生物学报, 1988, 12(1): 14–26.
- [17] 许恒龙, 闫华超, 宋兴民. 以浮游植物和 MTSI 综合评价网箱养殖草鱼和鲤鱼对鱼塘水质的污染和富营养化的研究[J]. 椰城师范学院学报(自然科学版), 1997, 10(1): 77–84.
- [18] 国家技术监督局. 海洋调查规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [19] 陈清潮, 黄良民, 尹健强. 南沙群岛海区浮游动物多样性研究[A]. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队编, 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I[C]. 北京: 海洋出版社, 1994. 42–50.
- [20] 林永水, 周贤沛, 邱德全, 等. 多样性指数法在赤潮预测中的应用[A]. 见: 林永水主编, 近海富营养化与赤潮研究[C]. 北京: 科学出版社, 1997, 25–29.

- [21] 李纯厚, 林 钦, 贾晓平, 等. 粤东沿海养殖水域浮游植物的生态特征[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(1): 24–29.
- [22] 林永水, 周近明, 邱德全. 华南沿海赤潮生物及其生态特征[A]. 见: 林永水主编, 近海富营养化与赤潮研究[C]. 北京: 科学出版社, 1997. 1–10.
- [23] 张水浸. 厦门港赤潮发生区浮游植物的生态特征[A]. 见: 国家海洋局第三海洋研究所编. 厦门港赤潮调查研究论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 29–37.
- [24] 李永振. 浮游植物[A]. 见: 郭金富, 李茂照, 余免余主编. 广东海岛海域海洋生物和渔业资源[C]. 广州: 广东科技出版社, 1994. 35–54.
- [25] Yoshini H. Simultaneous construction of single-parameter and multi-parameter trophic state indices[J]. *Wat Res*, 1987, 21(12): 1505–1511.