

珠江口海域污染的水质综合污染指数和生物多样性指数评价

张景平^{1,2}, 黄小平¹, 江志坚^{1,2}, 黄道建¹, 黄良民¹

(1.中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室, 广东 广州 510301; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用水质综合污染指数和生物多样性指数分别对珠江口海域 2006 年 7 月和 2007 年 3 月调查的数据进行污染程度评价, 并讨论利用多样性指数评价的合理性。结果表明珠江口海域的污染等级处于中度污染至严重污染之间, 其中利用水质化学因子进行综合评价的结果为严重污染, 利用生物多样性指数进行评价的结果为轻中污染至重污染。本研究认为利用浮游动物多样性指数评价海域水质污染程度比利用浮游植物或底栖生物的多样性指数评价海域水质污染程度更加合理, 但其评价标准仍有待更多的调查来验证和修正。同时, 利用不同类群生物的多样性指数对海洋水质与生态环境质量进行评价时会存在一定差异。因此在实际评价中不能单从一种指数结果就轻易下定论, 结合理化监测结果, 才能得到符合实际的结论。

关键词: 水质综合污染指数; 多样性指数; 评价; 珠江口

中图分类号: P761.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)01-0069-08

Assessment of the Pearl River Estuary pollution by water comprehensive pollution index and biodiversity index

ZHANG Jing-ping^{1,2}, HUANG Xiao-ping¹, JIANG Zhi-Jian^{1,2}, HUANG Dao-jian¹, HUANG Liang-min¹

(1. Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China; 2. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: Two cruises were carried out to investigate the water quality and ecological status in the Pearl River Estuary in July 2006 and March 2007. Water comprehensive pollution index and biodiversity index (including phytoplankton, zooplankton and benthos) were used to assess the pollution status. In addition, rationality of the assessment by using the biodiversity index was also discussed. The results indicated that the pollution degrees of the Pearl River Estuary were between moderate to severe. Water comprehensive pollution index showed that it was at a severely polluted status both in wet and dry seasons. Biodiversity index led to different results, which varied from lightly-moderate pollution to severe pollution. Among the three biodiversity indices, we considered that zooplankton diversity index was more congruent than the other two indices in pollution status assessment. However, the evaluation criteria should be verified and modified in future study. It was concluded that assessment for the environment quality and ecological status by using different biodiversity indices may come to a varied result, and a simple conclusion could not be hastily deduced but should be associated with physicochemical factors.

Key words: water comprehensive pollution index; diversity index; assessment; Pearl River Estuary

由于受工业和生活污水排放、海水养殖排污以及地表径流带来的污染面源等的影响, 珠江口海域一直承受着巨大的环境压力, 其水质与生态环境质量近年来一直备受关注^[1]。根据最近发布的《2007

年广东省海洋环境质量公报》, 珠江口近几年仍然是广东省污染最严重的海域, 珠江口生态监控区生态系统连续 4 年来处于不健康状态。

目前对水质评价方法的研究已经比较成熟, 各

收稿日期: 2008-12-02; 修订日期: 2009-02-15。蔡卓平编辑

基金项目: 国家环保专项(SEAP-ME-BHZJ-07); 国家自然科学基金(40776086); 中国科学院南海海洋研究所知识创新工程领域前沿项目(LYQY200706); 广东省科技项目(2006A35101002)

作者简介: 张景平(1984—), 男, 广东省潮州市人, 博士生, 主要从事海洋环境研究。E-mail: zhangjingping@scsio.ac.cn

通信作者: 黄小平, 研究员, 博士生导师, 主要从事海洋环境研究。E-mail: xphuang@scsio.ac.cn

种方法均有其优缺点^[2]。应用于珠江口海域水环境质量的评价方法主要有指数法和模糊数学法。黄小平等利用 1998 年在珠江口连续同步观测资料, 研究该海域无机氮、活性磷酸盐的时空分布和富营养化状况, 认为珠江口海域的无机氮含量普遍超过二类海水水质标准值, 且大部分海域则已超过四类标准值^[3]。何桂芳等利用 1985 年至 2004 年的资料, 运用模糊数学综合评价模式, 对珠江口海域水质状况进行综合评价, 结果表明, 珠江口水质有不断恶化的趋向, 其主要污染物质也由初期的重金属过渡到后来的营养盐, 自 1990 年后珠江口海域水质基本处于四类(或劣四类)状态^[4]。上述在珠江口海域进行的环境质量评价均未涉及生态因子, 而对于珠江口海域生态环境质量的研究, 目前仅限于部分浮游植物、浮游动物及底栖生物的调查^[5-7], 且并未对其进行生态环境质量的综合评价。

近年来, 世界各国越来越重视将物理、化学、生物各方面的因子综合起来评价海洋环境与生态状况^[8-9], 然而到目前为止, 尚未形成一套全面、系统、定量的评价方法。贾晓平等人曾提出对海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法, 并将其应用于南海北部海域渔业生态环境健康状况诊断与质量评价^[10-11]; 蔡清海等人结合水质理化因子、浮游植物多样性和沉积物重金属分析了福建省三沙湾生态环境质量^[12]。但到目前为止, 利用水质化学因子并结合几种主要生态类群的多样性综合评价河口、海湾的生态环境质量的报道并不多, 对珠江口海域生态环境的综合研究更是罕见。本文根据 2006—2007 年在珠江口丰水期和枯水期两个季度的调查资料, 从水质化学因子以及 3 种主要生态类群生物的多样性指数综合判别珠江口海域的污染等级, 探讨综合评价方法, 以期反映珠江口海域污染水平的客观情况, 推进海洋环境与生态质量评价方法的进一步发展, 为该海域的环境生态研究以及与富营养化密切相关的其他污染问题研究提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

珠江口(主要指伶仃洋, 下同)为一南北向的喇叭型河口湾, 南北长超过 80km, 面积为 2 100km²。东莞、深圳、香港位于其东岸, 中山、珠海、澳门位于其西岸, 广州则位于其北部。该海域的水动力条件主要受到珠江径流和南海潮汐的共同影响, 潮汐为不规则半日潮, 潮流基本为南北向往复流。

1.2 站位布设及分析方法

为了解珠江口海域污染情况, 于 2006 年 7 月和 2007 年 3 月在珠江口海域外布设 16 个站位进行水质调查(图 1)。对水深大于 10m 的站位进行表、底层采样(S15 和 S16), 采集的水样现场处理后带回岸上实验室进行分析测定。样品的现场处理及分析测量均按中华人民共和国国家标准 GB 12763.4—1991《海洋调查规范: 海水化学要素观测》和 GB 17378—1998《海洋监测规范》提供的标准方法执行^[13-14]。检测项目包括 DO、COD_{Mn}、DIN(NO₂-N、NO₃-N、NH₄-N)、PO₄³⁻-P、石油类和重金属(Cu、Zn、Pb、Cd)。

生物调查的站位与水质调查的站位相同。浮游植物采样工具为浅水型浮游生物网, 采样样品用碘液固定, 留待实验室内用显微镜进行物种鉴定和细胞计数; 浮游动物采样工具为浅水型浮游生物网, 样品用 5%的甲醛溶液固定、保存; 利用曙光采泥器采集底栖生物, 采泥器两瓣的张口面积为 0.05m²; 采用套筛进行生物收集, 套筛最小网目 0.5mm, 采泥标本用 5%甲醛溶液固定保存^[14]。

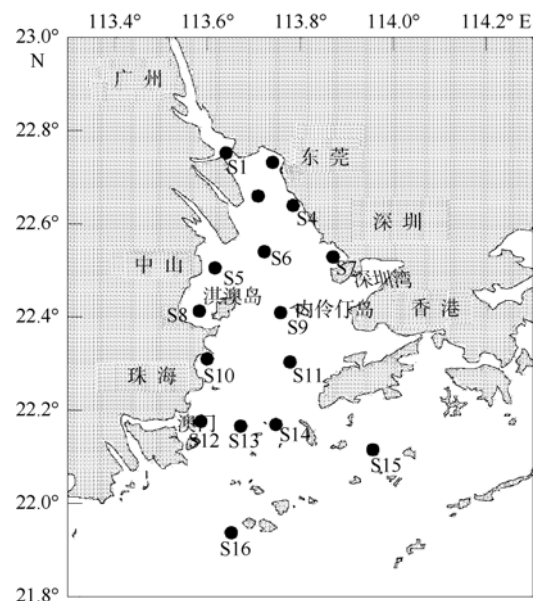


图 1 珠江口采样点的位置

Fig. 1 Map of the Pearl River Estuary showing the sampling stations

1.3 评价方法

1.3.1 水质化学指标及其评价方法

水质综合评价包括有机污染因子(DO、COD_{Mn}、无机氮、活性磷酸盐)、石油类和有毒重金属污染物(Cu、Zn、Pb、Cd)等污染因子。

根据文献^[15]和^[16]提出的水质综合评价模式, $A_{综合} = A_{有机} + A_{石油} + A_{有毒}$ 。式中 $A_{综合}$ 为水质综合污染指

数, $A_{\text{有机}}$ 、 $A_{\text{石油}}$ 和 $A_{\text{有毒}}$ 分别为有机污染指数、石油污染指数和有毒污染物综合指数; $A_{\text{有机}} = \alpha_{\text{DO}} + \alpha_{\text{COD}} + \alpha_{\text{DIN}} + \alpha_{\text{DIP}}$; $A_{\text{石油}} = \alpha_{\text{石油}}$; $A_{\text{有毒}} = (\alpha_{\text{Cu}} + \alpha_{\text{Zn}} + \alpha_{\text{Pb}} + \alpha_{\text{Cd}}) \times 1/4$ 。 α 为各水质参数的标准指数, 其计算方法见文献[15]和文献[16]。污染指数的计算采用 GB 3097—1997《海水水质标准》中的第一类海水标准。利用水质综合污染指数进行污染等级划分的标准见表1。

表1 水质综合污染指数划分等级

Tab. 1 Assessment standards for water comprehensive pollution index

级别	清洁	微污染	轻污染	重污染	严重污染
$A_{\text{综合}}$	0—1	1—2	2—7	7—9	> 9

1.3.2 多样性指数的评价方法

海域浮游植物、浮游动物、底栖生物评价标准采用多样性指数(H')分级标准, 种类多样性指数(H')应用 Shannon-Wiener 多样性指数公式计算:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中, H' 为多样性指数, s 为该站位的生物种类数, P_i

为该站中第 i 种的个体数目与该站总个体数目的比值。当 $H' < 1$ 时表示水体为重污染; 当 $H' = 1—3$ 时表示水体中度污染, 其中, 当 $H' = 1—2$ 时表示 α -中度污染(重中污染), $H' = 2—3$ 时表示 β -中度污染(轻中污染); 当 $H' > 3$ 时表示水体轻度污染至无污染^[17-18]。

2 结果与讨论

2.1 综合污染指数及其评价结果

研究海域水质综合污染指数在丰水期的变化范围为 5.38—21.15, 均值为 10.79 ± 3.77 ; 枯水期的变化幅度为 3.50—21.26, 均值为 11.85 ± 5.54 (表2)。指数的变幅在枯水期大于丰水期, 平均值也略高于丰水期, 说明枯水期水体质量比丰水期略差, 两个季度的评价结果均指示为严重污染。

图2给出了丰水期和枯水期珠江口海域水质综合污染指数的平面分布。图3给出了丰水期和枯水期珠江口海域污染形势。由图可见, 丰水期珠江带来污染物浓度较高的径流, 在伶仃洋形成明显的污染物舌状分布, 舌尖直至桂山岛和外伶仃岛海域,

表2 各评价因子的指数值(或检测值)及评价结果

Tab. 2 Results of each evaluation factor and its indication

评价指标	2006年7月丰水期			2007年3月枯水期		
	范围值	平均值±标准偏差	评价结果	范围值	平均值±标准偏差	评价结果
化学因子污染综合指数	5.38—21.15	10.79 ± 3.77	严重污染	3.50—21.26	11.85 ± 5.54	严重污染
浮游植物多样性指数	0.03—3.43	0.99 ± 1.02	重污染	1.48—4.01	2.67 ± 0.66	轻中污染
浮游动物多样性指数	0.29—4.21	2.30 ± 0.83	轻中污染	0.87—3.60	2.29 ± 0.85	轻中污染
底栖生物多样性指数	0.59—2.45	1.48 ± 0.55	重中污染	1.08—2.98	2.18 ± 0.55	轻中污染

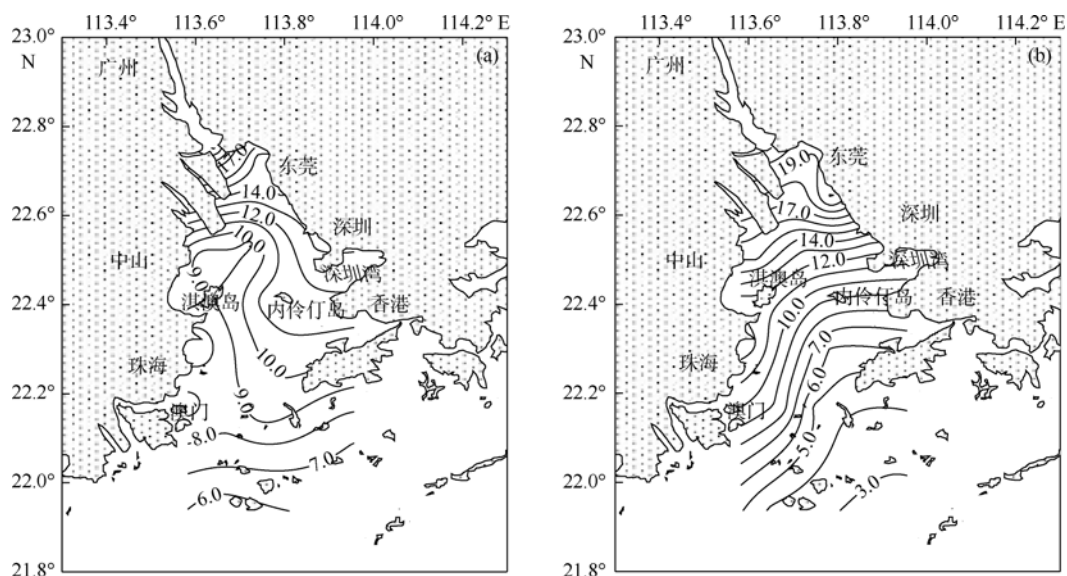


图2 珠江口丰水期(a)和枯水期(b)的污染指数分布

Fig. 2 Distribution of water comprehensive pollution indices in wet season (a) and dry season (b) in the Pearl River Estuary

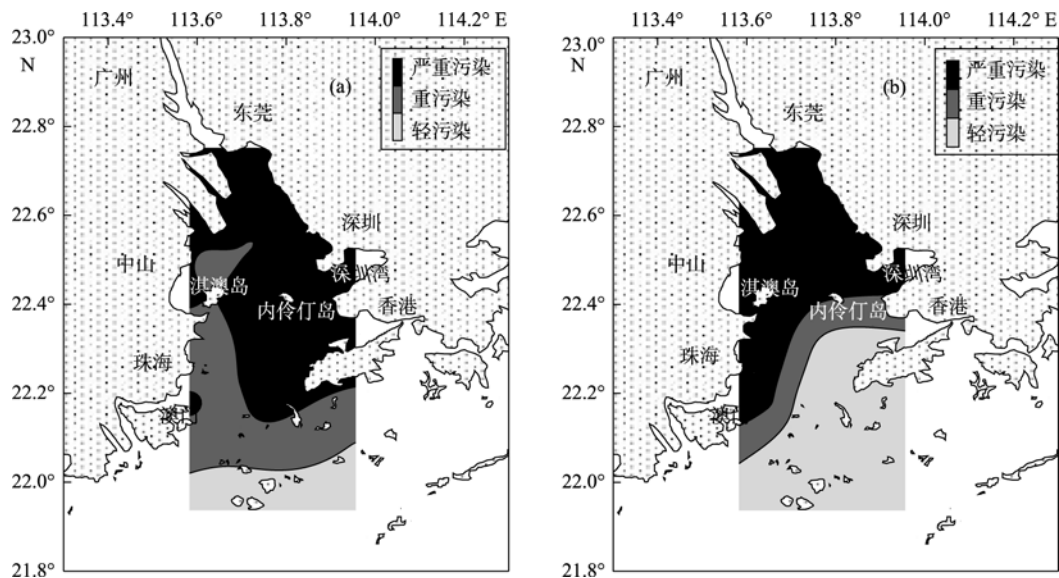


图3 珠江口丰水期(a)和枯水期(b)的水质污染形势

Fig. 3 Water pollution status in wet season (a) and dry season (b) in the Pearl River Estuary

此时重污染的范围向南延伸至万山群岛,说明珠江口海域大部分水质处于重污染和严重污染的范围(图3)。枯水期由于珠江径流量较小,在与外海洋流的混合消长过程中处于劣势,指数值并没有与丰水期一样形成明显的舌状分布(图2),虽然在入海污染物比丰水期有所减少的情况下(面源污染减少),但河口区的站位污染物浓度水平可能高于丰水期,这一点可以从虎门口及伶仃洋北部海域的指数值高于丰水期体现出来。但随着往南部延伸,外海潮流带来污染较低的海水与珠江径流相混合,内伶仃岛以南海域污染物浓度迅速降低,指示重污染指数值的等值线位于澳门南部海域至香港大屿山之间。从空间分布上看,珠江口海域重污染以及严重污染海域的面积在枯水期小于丰水期,但从指数值的平均水平上看,枯水期略大于丰水期(表2)。

2.2 多样性指数及其评价结果

2.2.1 浮游植物多样性指数及其评价结果

2006年7月,珠江口海域浮游植物种类多样性指数范围为0.03—3.43,平均值为 0.99 ± 1.02 (表2)。该季度的浮游植物多样性指数分布不均匀,无明显的分布规律。大部分海域出现了指数的低值,最低值为站位S11,指数值仅有0.03,位于内伶仃岛以南、桂山岛北面附近海域,出现较低值的S14站位同样位于该海域附近。优势种过于显著是导致所在个别站位浮游植物多样性指数低的直接原因。2007年3月,珠江口海域浮游植物种类多样性指数范围为1.48—4.01,平均值为 2.67 ± 0.66 (表2)。多样性指数分布不均匀,但大致呈现珠江口纵向中心线相对

较高、沿岸较低分布规律。多样性指数最高值4.01出现在桂山岛附近海域。

两次调查的浮游植物种类多样性的评价结果见图4。由图可以看出,2006年7月珠江口海域大多数站位的浮游植物多样性指数低于1.00,指示大部分海域的污染水平为重污染;2007年3月情况则明显不同,大部分站位浮游植物多样性指数高于2.00,指示大部分海域的污染水平为轻中污染。两个季度浮游植物多样性的评价结果差别甚大,主要原因是2006年7月浮游植物数量庞大($4.02 \times 10^8 \pm 5.63 \times 10^8 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$),优势种的优势度非常显著。

2.2.2 浮游动物多样性指数及其评价结果

2006年7月,珠江口海域浮游动物种类多样性指数范围为0.29—4.21,平均值为 2.30 ± 0.83 (表2)。该季度珠江口海域浮游动物多样性相对较高。位于香港大屿山南部的S15号站点的多样性指数最高,为4.21;S6号站点由于只有3个物种,在生物多样性指数上最低,仅有0.29。2007年3月,珠江口海域浮游动物种类多样性指数范围为0.87—3.60,平均值为 2.29 ± 0.85 (表2)。与2006年7月比较,2007年3月的浮游动物多样性相对均匀,变化幅度相对较小。指数最高是S15站位,为3.60;S1号站点位于虎门口,生物多样性指数最低,仅有0.87。两个季度浮游动物的多样性指数分布均有明显的湾内低湾外高的特点。

两个季度的浮游动物多样性指数评价结果见图5。丰水期和枯水期的指数值指示珠江口海域污染情况基本一致,大部分海域的污染水平为轻中

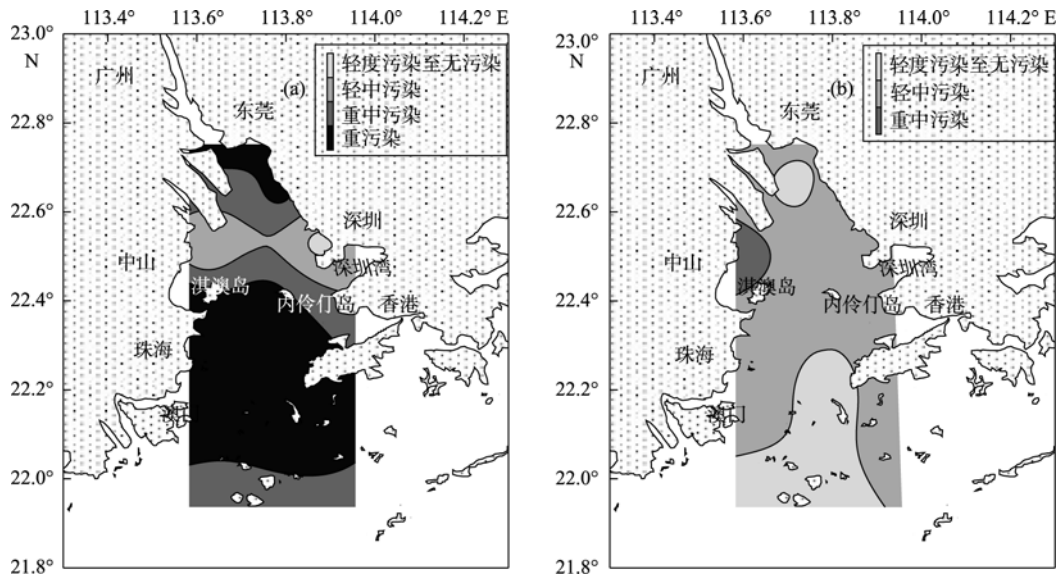


图4 珠江口丰水期(a)和枯水期(b)水质污染的浮游植物多样性指数评价

Fig. 4 Water pollution status in the Pearl River Estuary in wet season (a) and dry season (b) indicated by phytoplankton diversity index

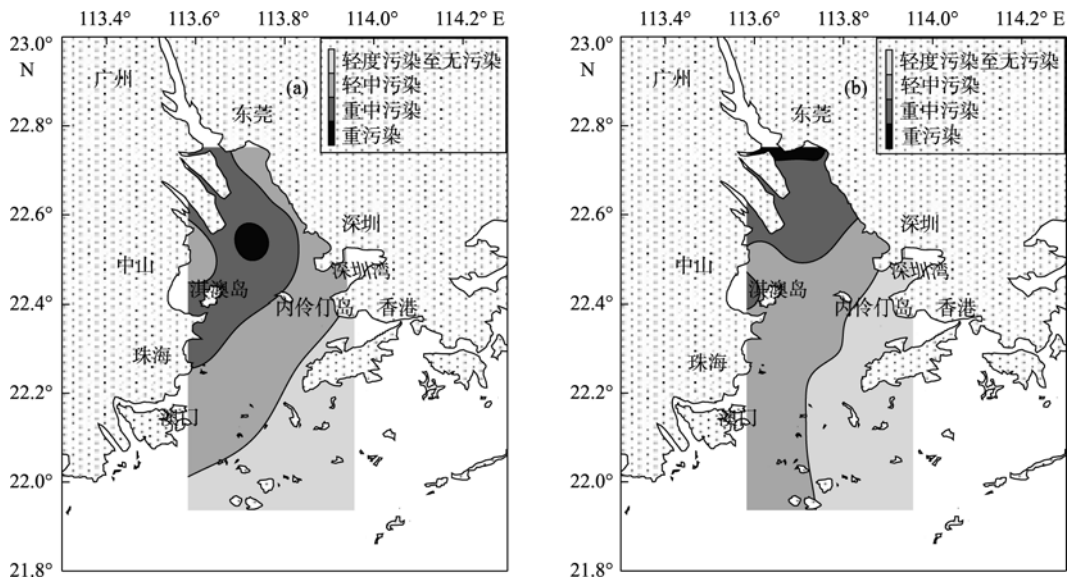


图5 珠江口丰水期(a)和枯水期(b)水质污染的浮游动物多样性指数评价

Fig. 5 Water pollution status in the Pearl River Estuary in wet season (a) and dry season (b) indicated by zooplankton diversity index

污染和轻度污染, 污染程度由湾内向湾外递减; 这与枯水期浮游植物多样性指数的评价结果基本一致。

2.2.3 底栖生物多样性指数及其评价结果

2006年7月, 珠江口海域底栖生物种类多样性指数范围为0.59—2.45, 平均值为 1.48 ± 0.55 。指数值的分布大致呈现由湾内向湾外递增的趋势。珠海淇澳岛海域出现了指数的低值, 大部分海域的指数值均较低, 说明该季度的底栖生物多样性缺失, 环境质量较差。2007年3月底栖生物种类多样性指数范围为1.08—2.98, 平均值为 2.18 ± 0.55 (表2)。指数值的分布与2006

年7月类似, 但多样性指数有所上升。两个季度的底栖生物多样性指数的评价结果见图6。丰水期多样性指数指示珠江口海域大部分为重中污染, 在枯水期与浮游植物、浮游动物多样性基本一致, 均指示为轻中污染。

2.3 各评价指数的关系及合理性分析

本次调查结果表明: 利用浮游植物、浮游动物和底栖生物多样性指数进行污染等级评价在2007年3月航次是一致的, 在2006年7月由于受浮游植物爆发的影响, 评价结果不一致。总体上讲, 用生

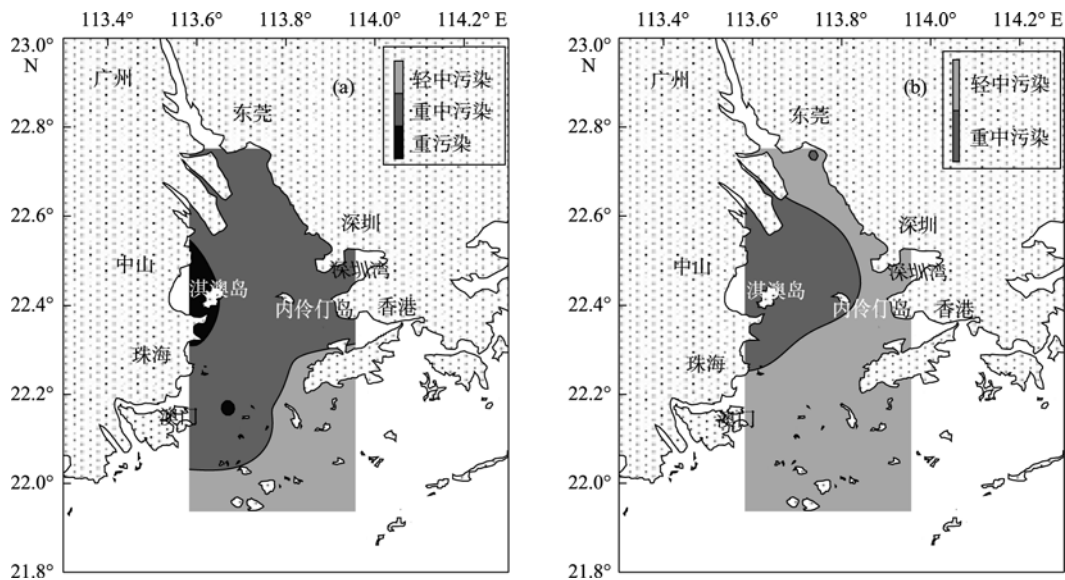


图 6 珠江口丰水期(a)和枯水期(b)水质污染的底栖生物多样性指数评价

Fig. 6 Water pollution status in the Pearl River Estuary in wet season (a) and dry season (b) indicated by benthos diversity index

物的多样性指数评价与水质综合污染指数评价结果不一致。枯水期用化学方法评价珠江口海域的水质为严重污染,生物多样性方法评价结果却为轻中度污染;丰水期化学方法评价和生物多样性方法评价珠江口海域环境结果分别为严重污染和轻中污染至重污染,表明水质化学评价方法与水质生物学评价结果有一定偏差。究其原因,一方面可能是多样性指数等级划分标准的制定存在一定的偏差,另一方面可能是由于化学指标测定的是采样瞬间的水质理化状况,容易受到潮汐涨落以及其他因素的影响,而多样性指数综合评价方法主要是利用水体中各种生物种类组成来反映水体的健康情况,是种类和数量分布的一个函数,但是,它有如下局限性:在单位时间内的取样,人们无法确定多样性指数值的上升是由于种类的增加还是由于个体的更均匀分布,也无法判断指数值的下降是由于种类数量的减少还是优势种的突显。可见,多样性指数不能很好地反映优势种类的更替,也没有反映出密度的变化^[19]。

2.3.1 浮游植物多样性指数

浮游植物的生长、繁殖与无机环境有着密切的关系,它的丰盛程度反映了水体生产力的大小,同时也反映水质的状况,因而浮游植物往往是海洋生态环境评价的主要参数之一,其多样性指数常用来评价水质及生态环境的健康程度。浮游植物在夏季生长比较旺盛,易出现明显的优势种,特别是赤潮爆发时对指数的影响很大,本研究中2006年7月多样性指数很低,指示珠江口海域环境为重污染,而

2007年3月却指示为轻中污染,两者相差甚大。说明以浮游植物多样性指数来评价海洋生态环境质量可能存在一定的偏差,其容易受某种浮游植物(一般是赤潮种)的爆发导致多样性指数出现极低值而影响整个海域的指数值。另外,浮游植物多样性指数与水质综合污染指数之间呈现不相关性($R=-0.042$, $P=0.819$, $n=32$)。利用浮游植物多样性评价结果显示,内伶仃岛以南海域的污染程度甚至高于内伶仃洋海域(图4),这显然与水质化学评价的方法相违背,尽管如此,利用浮游植物多样性指数评价的结果仍然反映了一个关键的事实,即该海域在2006年7月是处于一个不健康的状态。

2.3.2 浮游动物多样性指数

与浮游植物或底栖生物相比,浮游动物种类分布较广,对急性毒性能做出快速反应,从而反映出环境污染的综合效应^[20]。此外,它们的个体生活史较短,是监测水生生态系统健康状况的首选。不少研究认为浮游动物是相对较好的评价指标^[21]。本研究中,浮游动物多样性指数的平均值在丰水期为2.30,在枯水期为2.29,与李开枝等人在2002—2003年的调查结果十分接近(丰水期为2.30,枯水期为2.43)^[22],说明珠江口海域浮游动物多样性指数近几年比较稳定。如图7所见,本研究中指数值与水质综合污染指数之间有显著的负相关关系($R=-0.626$, $P<0.001$, $n=32$),其评价结论与根据水质化学指标得出的结论相对稳定,并基本一致,说明该评价方法对珠江口海域是适用的。特别是当枯水期虎门口海

域污染指数较高时(见水质综合污染指数部分的分析), 浮游动物多样性指数同样指示出其污染程度大于丰水期, 说明浮游动物多样性指数在指示和评价海域污染形势是比较灵敏的, 但其评价结果与水质污染指数的评价结果有一定的差别。浮游动物指数值指示珠江口大部分海域的污染水平为轻中污染和轻度污染, 水质综合污染指数指示大部分海域为重污染及严重污染, 因此笔者认为传统的多样性指数评价标准对浮游动物应用于珠江口海域来讲, 显得不够严格。关于浮游动物多样性指数作为评价海域生态环境质量的指数值, 还有待更多的调查及实验来验证和修正。

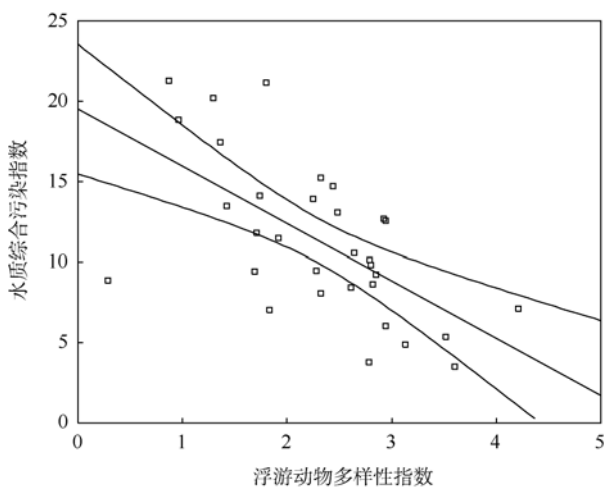


图 7 浮游动物多样性指数与水质综合污染指数的关系图
Fig. 7 Relationship between zooplankton diversity index and water comprehensive pollution index

2.3.3 底栖生物多样性指数

多样性指数在国内外常用来监测海洋底栖生物群落结构的变化, 被认为是个较好的评价污染程度的工具^[23-25]。底栖动物是海洋生态系统的一个重要组分, 其活动性小、地区性强, 利用底栖动物进行水质监测, 一般能较好地反映一段时间内的水质变化情况^[26]。但本研究中, 两个季度的底栖生物多样性指数出现了较大的差别, 这可能与 2006 年 7 月浮游植物爆发有关。大量浮游植物死亡后沉降于海底, 可能导致底层的缺氧加剧现象^[27], 从而造成底栖生物的死亡和多样性的丧失。同时, 底栖生物多样性指数与水质综合污染指数之间的相关性不明显($R=-0.185$, $P=0.310$, $n=32$), 这说明利用底栖生物多样性指数评价海洋环境有一定的局限性。这可能是由于底栖生物对环境的敏感性不及浮游植物和浮游动物, 一些底栖生物对污染的反应不敏感而变化滞后。在有些污染情况下, 多样性指数反而增高, 比

如, 美国罗德岛大学生态研究中心发现油污组底栖生物的多样性指数反而高于对照组^[19]。这也可能是多样性指数本身的局限性所造成, 如美国俄勒冈州 Yaquina 湾, 因疏浚引起了底栖生物优势种和密度发生了变化, 但多样性指数变化却很小^[19]。另外, 国外有些学者认为底栖生物多样性指数评价污染程度的值与研究区域沉积环境有关, 其评价标准难以统一^[28-29]。尽管如此, 底栖生物多样性指数并没有大于 3 的情况足以反映目前珠江口海域污染形势是比较严峻的。

不少研究者认为可利用多毛类(耐污种)与棘皮动物(污染敏感种)的数量判断海域的污染形势^[30-31]。此次调查, 珠江口海域底栖生物中, 两个季度的调查均以多毛类的种类占首位, 平均数量亦以多毛类最大。近岸站位特别是污染严重的珠江口各大口门附近监测点, 采集到的底栖生物中, 多毛类为最主要的组成部分。多毛类中异蚓虫 *Heteromastus filiformis*、奇异稚齿虫 *Paraprionospio pinnata* 为整个海域的主要优势种。而棘皮动物仅出现在远离近岸的站位如 S15 和 S16 等, 近岸海域几乎绝迹, 这表明珠江口海域近岸污染比较严重。因此, 从该方面考虑, 利用底栖生物多样性指数结合特殊种的指示作用来综合评价环境污染状况, 显得更加合理。

3 结论

1) 珠江口海域水质综合污染指数的变幅在枯水期大于丰水期, 平均值也略高于丰水期, 说明枯水期水体质量比丰水期略差, 但重污染以及严重污染海域的面积小于丰水期。利用水质化学因子评价珠江口海域的污染状况, 结果显示为严重污染。

2) 研究海域在 2006 年 7 月的浮游植物多样性指数值较低, 指示大部分海域的污染水平为重污染, 这主要是由浮游植物数量庞大、优势种非常显著所造成; 2007 年 3 月的评价结果则为轻中污染。浮游动物多样性指数在两个季度的评价结果均为轻中污染。底栖生物多样性指数在丰水期指示珠江口海域大部分为重中污染, 在枯水期与浮游植物、浮游动物一致, 为轻中污染。

3) 单一地采用不同的海洋生物生态类群的多样性指数进行海域污染评价有较大的局限性, 但仍可在一定程度上反映出海域环境的污染形势。利用浮游动物的多样性指数评价海域水质污染程度的方法相对于浮游植物和底栖生物更加适合, 但其评价

标准有待更多的调查来验证和修正。

4) 利用不同类群生物的多样性指数对海洋水质与生态环境质量进行评价有时会存在一定差异。

因此,在实际评价中不能单从一种指数结果就轻易下定论,应结合理化监测结果,才能得到符合实际的结论。

参考文献

- [1] 许振成. 珠江口海域环境及其综合治理问题辨析[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(6): 88-93.
- [2] 李如忠. 水质评价理论模式研究进展及趋势分析[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2005, 28(4): 369-373.
- [3] HUANG X P, HUANG L M, YUE W Z. The characteristics of nutrients and eutrophication in the Pearl River estuary, South China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 47: 30-36.
- [4] 何桂芳, 袁国明. 用模糊数学对珠江口近 20a 来水质进行综合评价[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(1): 53-57.
- [5] HUANG L M, JIAN W J, SONG X Y, et al. Species diversity and distribution for phytoplankton of the Pearl River estuary during rainy and dry seasons[J]. Marine Pollution Bulletin, 2004, 49: 588-596.
- [6] LI K Z, YIN J Q, HUANG L M, et al. Spatial and temporal variations of mesozooplankton in the Pearl River estuary, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 67: 543-552.
- [7] 黄洪辉, 林燕棠, 李纯厚, 等. 珠江口底栖动物生态学研究报告[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 603-607.
- [8] BORJA A, BRICKER S B, DAUER D M, et al. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal systems worldwide[J]. Marine Pollution Bulletin, 2008, 56(9): 1519-1537.
- [9] BORJA A, DAUER D M. Assessing the environmental quality status in estuarine and coastal systems: Comparing methodologies and indices[J]. Ecological Indicators, 2008, 8(4): 331-337.
- [10] 贾晓平, 杜飞雁, 林 钦, 等. 海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 160-164.
- [11] 贾晓平, 李纯厚, 甘居利, 等. 南海北部海域渔业生态环境健康状况诊断与质量评价[J]. 中国水产科学, 2005, 12(6): 757-765.
- [12] 蔡清海, 杜 琦, 钱小明, 等. 福建省三沙湾海洋生态环境质量综合评价[J]. 海洋学报, 2007, 9(2): 156-160.
- [13] 国家海洋局. GB/T 12763—1991 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [14] 国家海洋局. GB 17378—1998 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [15] 葛仁英, 韩正玉, 邵明福, 等. 海阳港附近海域污染现状评价[J]. 海洋环境科学, 1997, 16(4): 26-31.
- [16] 何雪琴, 温伟英, 何清溪, 等. 海南三亚湾海域水质状况评价[J]. 台湾海峡, 2001, 20(2): 165-170.
- [17] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 162-163.
- [18] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 641-646.
- [19] 李永祺, 丁美丽. 海洋污染生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 445-449.
- [20] SIOKOU-FRANGOU I, PAPATHANASSIOU E. Differentiation of zooplankton populations in a polluted area[J]. Marine Ecology Progress Series, 1991, 76: 41-51.
- [21] CAIRNS J Jr, MCCORMICK P V, NIEDERLEHNER B R. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health[J]. Hydrobiologia, 1993, 263: 1-44.
- [22] 李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 珠江口浮游动物的群落动态及数量变化[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 60-68.
- [23] 蔡立哲, 洪华生, 黄玉山. 香港维多利亚港大型底栖生物群落的时空变化[J]. 海洋学报, 1997, 19(2): 65-70.
- [24] 张雅芝, 陈灿忠, 王渊源, 等. 福建红树林区底栖生物生态研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 896-901.
- [25] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2002, 41(5): 641-646.
- [26] ELLIOTT M. The analysis of macrobenthic community data[J]. Marine Pollution Bulletin, 1994, 28: 62-64.
- [27] HARRISON P J, YIN K D, LEE J H W, et al. Physical-biological coupling in the Pearl River Estuary[J]. Continental Shelf Research, 2008, 28(12): 1405-1415.
- [28] WEISBERG S B, RANASINGHE J A, DAUER D M, et al. An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay[J]. Estuaries, 1997, 20(1): 149-158.
- [29] Van DOLAH R F, HYLAND J L, HOLLAND A F, et al. A benthic index of biological integrity for assessing habitat quality in estuaries of the southeastern USA[J]. Marine Environmental Research, 1999, 48: 269-283.
- [30] 何明海. 利用底栖生物监测与评价海洋环境质量[J]. 海洋环境科学, 1989, 8(4): 49-54.
- [31] BELAN T A. Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbour[J]. Marine Environmental Research, 2003, 57: 89-101.