

钦州湾近岸海域水质污染状况评价*

Assessment of Pollution Status in Qinzhou Bay Coastal Waters

张荣灿,姜发军,陈宪云,雷 富,庄军莲,柯 珂,许铭本**

ZHANG Rong-can,JIANG Fa-jun,CHEN Xian-yun, LEI Fu,ZHUANG Jun-lian, KE Ke,XU Ming-ben

(广西科学院 广西近海海洋环境科学重点实验室,广西南宁 530007)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science,Guangxi Academy of Science,Nanning,Guangxi,530007,China)

摘要:【目的】调查及评价钦州湾近岸海域水质污染程度。【方法】2010年3月(春季)及2010年9月(秋季)在钦州湾近岸海域布设9个站位进行水质、浮游植物及浮游动物调查。采用水质综合污染指数及生物多样性指数对调查结果进行评价。【结果】钦州湾近岸海域春季、秋季水质综合污染指数平均值分别为3.20、3.68;浮游植物多样性指数分别为3.37、3.35;浮游动物多样性指数分别为2.33、2.89。【结论】以水质综合污染指数评价,2010年钦州湾近岸海域污染等级为轻污染;以浮游植物多样性指数评价,污染等级为轻度污染至无污染;以浮游动物多样性指数进行评价,污染等级为轻中污染。相对于浮游动物多样性指数,浮游植物多样性指数能更灵敏地指示和评价海洋环境的污染形势,但其评价标准和方法有待更多的调查和研究来进行验证和修正。单一利用生物多样性指数进行海域污染评价,具有一定的局限性,但仍可在一定程度上反映出海洋环境的污染程度。

关键词:钦州湾 污染状况 水质污染综合指数 生物多样性指数

中图分类号:X55 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)04-0403-08

Abstract:【Objective】The pollution status of Qinzhou bay coastal waters was investigated and assessed.【Methods】Nine stations were set up and two cruises were carried out to investigate the water quality, phytoplankton and zooplankton status in Qinzhou Bay coastal waters in March 2010 (spring) and September 2010 (autumn). Water comprehensive pollution index and biodiversity index (including phytoplankton and zooplankton) were used to assess the pollution status.【Results】The mean value of water comprehensive pollution index in Qinzhou Bay coastal waters in spring and autumn were 3.20 and 3.68, respectively. The mean value of phytoplankton diversity index in Qinzhou Bay coastal waters in spring and autumn were 3.37 and 3.35, respectively. The mean value of zooplankton diversity index in Qinzhou Bay coastal waters in spring and autumn were 2.33 and 2.89, respectively.【Conclusion】The pollution grade of Qinzhou Bay coastal waters by the method of water comprehensive pollution index, phytoplankton diversity index and zooplankton diversity index were light pollution, light pollution to non

pollution and light-middle pollution, respectively. Relative to the zooplankton diversity index, the marine environmental pollution status can be indicated and assessed more sensitive by the method of phytoplankton diversity index, but the standard and methods should be verified and modified by more investigation and study in the future. There was limitation to assess of the pollution status by single biodiversity index, however, the pollution level of the marine environment

收稿日期:2014-05-20

修回日期:2014-07-10

作者简介:张荣灿(1980-),男,助理研究员,主要从事海洋环境科学研究。

* 广西科技公关项目(桂科攻1355007-12),广西科学院科技创新项目(2010HY001),广西科学院基本业务费项目(11YJ24HY02)资助。

** 通讯作者:许铭本(1983-),男,工程师,主要从事海洋环境科学研究。E-mail:93501157@qq.com。

can be reflected to some extent.

Key words: Qinzhou Bay, pollution status, water comprehensive pollution index, biodiversity index

【研究意义】钦州湾位于北部湾顶部,广西沿岸中段,即 $108^{\circ}28'20'' \sim 108^{\circ}45'30''$, $21^{\circ}33'20'' \sim 21^{\circ}54'30''$ 。该湾由内湾(茅尾海)和外湾(钦州湾)构成,中间狭窄,两端宽阔,东、西、北3面皆为陆地环绕,南面与北部湾相通,是一个半封闭型天然海湾^[1]。虽然,广西海洋产业对近海水环境的影响不是很明显,但海水环境质量劣四类水质比例已成逐年增加趋势^[2],而且随着北部湾经济区的开发建设以及钦州保税港区的设立和运营,钦州湾近岸海域面临的生态环境压力尤为显著。一方面,沿岸城镇工农业及海水养殖发展迅速,入海污染物的排放量不断增加;另一方面,大规模围填海工程的建设造成了水质恶化、环境容量降低以及生态敏感区破坏等生态影响。开展钦州湾近岸海域环境污染调查及评价研究,对于保护海洋生态环境、促进经济和环境可持续发展,为管理部门的决策提供科学依据等方面均有着重要的意义。**【前人研究进展】**对钦州湾海域污染状况的报道,主要集中在富营养化^[3~8]、重金属污染物^[9~11]、有机污染物^[12]等方面的研究。也有文献对水质指标的变化趋势进行分析^[13~18],但其调查时间为上世纪八九十年代。**【本研究切入点】**近年来利用水质综合污染指数及生物多样性指数对钦州湾近岸海域污染状况进行整体评价的报道不多。**【拟解决的关键问题】**根据2010年3月及9月钦州湾近岸海域的水质、浮游植物及浮游动物调查数据,利用水质综合污染指数及生物多样性指数对该海域水质污染状况进行分析和评价,为保护该海域的生态环境、促进区域经济可持续发展提供科学依据。

1 调查及评价方法

1.1 调查站位

在钦州湾外湾布设9个调查站位(图1)。调查时间为2010年3月及2010年9月。

调查项目包括海水水质(DO、COD、DIN、 PO_4-P 、石油类、Cu、Zn、Pb、Cd)、浮游植物、浮游动物。样品的采集、贮存、运输及分析均按《海洋监测规范》(GB/T17378—2007)^[19]及《海洋调查规范》(GB/T12763—2007)^[20]规定的方法执行。

1.2 评价方法

1.2.1 水质综合污染指数法

采用水质综合污染指数^[21~23]评价海水的污染程度。该指数综合考虑了有机污染因子(DO、COD、

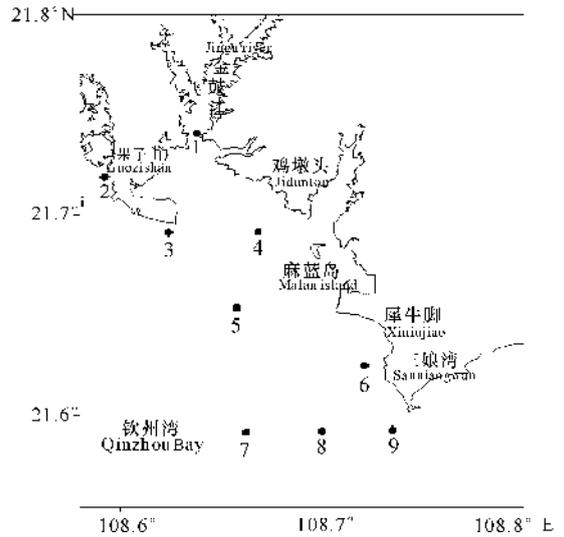


图1 调查站位

Fig. 1 Location of survey stations

DIN、 PO_4-P)、石油类和有毒重金属污染物(Cu、Zn、Pb、Cd)等因子的污染程度。计算公式如下:

$$A_{\text{综合}} = A_{\text{有机}} + A_{\text{石油}} + A_{\text{有毒}}$$

式中: $A_{\text{综合}}$ —水质综合污染指数; $A_{\text{有机}}$ —有机污染指数,计算方法为 $A_{\text{有机}} = \alpha_{\text{DO}} + \alpha_{\text{COD}} + \alpha_{\text{DIN}} + \alpha_{\text{PO}_4-P}$ (α_{DO} 、 α_{COD} 、 α_{DIN} 、 α_{PO_4-P} 分别为 DO、COD、DIN、 PO_4-P 的标准指数); $A_{\text{石油}}$ —石油类污染指数,计算方法为 $A_{\text{石油}} = \alpha_{\text{石油}}$, 即石油类的标准指数; $A_{\text{有毒}}$ —有毒重金属污染物污染指数,计算方法为 $A_{\text{有毒}} = (\alpha_{\text{Cu}} + \alpha_{\text{Zn}} + \alpha_{\text{Pb}} + \alpha_{\text{Cd}}) / 4$ (α_{Cu} 、 α_{Zn} 、 α_{Pb} 、 α_{Cd} 分别为 Cu、Zn、Pb、Cd 的标准指数)。

污染物的标准指数采用《海水水质标准》(GB3097—1997)^[24]中的第一类标准进行计算。水质综合污染指数等级划分如下: $0 < A_{\text{综合}} \leq 1$ 的为清洁; $1 < A_{\text{综合}} \leq 2$ 的为微污染; $2 < A_{\text{综合}} \leq 7$ 的为轻污染; $7 < A_{\text{综合}} \leq 9$ 的为重污染; $A_{\text{综合}} > 9$ 的为严重污染。

1.2.2 生物多样性指数法

采用 Shannon-Weaver 生物多样性指数法^[23,25,26]对调查海域的浮游植物及浮游动物进行评价。生物多样性指数的计算公式如下:

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

式中: H' —生物多样性指数; s —生物种类总数; P_i —第 i 种的个体数(n_i)与总个体数(N)的比值。

生物多样性指数对应的水质污染等级如下:当 $H' < 1$ 时表示水体为重污染;当 $H' = 1 \sim 2$ 时表示

重中污染(α -中度污染), $H'=2\sim 3$ 时表示轻中污染(β -中度污染);当 $H' > 3$ 时表示水体轻度污染至无污染。

2 结果与分析

2.1 调查结果及污染物浓度变化趋势

2.1.1 2010年3月调查结果

2010年3月(春季)钦州湾近岸海域调查结果如下:(1)DO变化范围为7.15~7.61mg/L,平均值为7.42mg/L,低值出现在勒沟河口、果子山附近的2号站,高值出现在7号站,所有站位的DO含量均符合国家一类海水水质标准;(2)COD变化范围为0.45~0.82mg/L,平均值为0.63mg/L,各站COD浓度无明显差异,所有站位COD浓度均符合一类海水水质标准;(3)DIN变化范围为0.04~0.18mg/L,平均值为0.08mg/L,低值出现在4、7号站,高值出现在2号站,各站DIN浓度均符合一类海水水质标准;(4) PO_4-P 变化范围为0.00~0.02mg/L,平均值为0.01mg/L,高值出现在2号站,除2号站外,其余各站浓度均符合一类海水水质标准;(5)石油类变化范围为0.016~0.029mg/L,平均值为0.022mg/L,各站石油类浓度无明显差异,所有站位浓度均符合一类海水水质标准;(6)Cu变化范围为1.1~9.6 $\mu\text{g/L}$,平均值为3.1 $\mu\text{g/L}$,各站Cu浓度无明显差异,所有站位Cu浓度均符合一类海水水质标准;(7)Zn变化范围为10~24 $\mu\text{g/L}$,平均值为16 $\mu\text{g/L}$,高值出现在麻蓝岛附近的5号站,4、5号站Zn浓度超出一类标准,其余各站Zn浓度均符合一类海水水质标准;(8)Pb变化范围为0.0~6.1 $\mu\text{g/L}$,平均值为1.5 $\mu\text{g/L}$,高值出现在三娘湾附近的6号站,5、6、8号站Pb浓度超出一类标准,其余各站Pb浓度均符合一类海水水质标准;(9)Cd变化范围为0.01~0.72 $\mu\text{g/L}$,平均值为0.12 $\mu\text{g/L}$,各站Cd浓度无明显差异,所有站位Cd浓度均符合一类海水水质标准;(10)2010年3月共采集到浮游植物50种,分属4门29属。浮游植物个体数量变化范围为 $325.84 \times 10^4 \sim 1103.45 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 639.86×10^4 个/ m^3 。调查海域浮游植物个体数量变化幅度相对较小,高值出现在7号站,低值出现在9号站;(11)2010年3月共采集到浮游动物24属26种。浮游动物个体数量变化范围为2~186个/ m^3 ,平均值为59个/ m^3 ,浮游动物个体数量变化差异较大,低值出现在1号站,高值出现在6号站。

2.1.2 2010年9月调查结果

2010年9月(秋季)钦州湾近岸海域调查结果如

下:(1)DO变化范围为5.61~7.55mg/L,平均值为6.35mg/L,低值出现在2号站,高值出现在7号站,除2、6号站外,其余各站的DO含量均符合国家一类海水水质标准;(2)COD变化范围为0.59~1.83mg/L,平均值为1.00mg/L,低值出现在9号站,高值出现在1号站,所有站位COD浓度均符合一类海水水质标准;(3)DIN变化范围为0.03~0.43mg/L,平均值为0.17mg/L,低值出现在6、8号站,高值出现在2号站,2、3、4、5号站DIN浓度均超出一类水质标准,其中2号站DIN浓度超出三类标准;(4) PO_4-P 变化范围为0.00~0.02mg/L,平均值为0.01mg/L,高值出现在2号站,除2号站外,其余各站浓度均符合一类海水水质标准;(5)石油类变化范围为0.002~0.015mg/L,平均值为0.009mg/L,各站石油类浓度无明显差异,所有站位浓度均符合一类海水水质标准;(6)Cu变化范围为0.4~2.3 $\mu\text{g/L}$,平均值为1.6 $\mu\text{g/L}$,各站Cu浓度无明显差异,所有站位Cu浓度均符合一类海水水质标准;(7)Zn变化范围为2~9 $\mu\text{g/L}$,平均值为7 $\mu\text{g/L}$,各站Zn浓度无明显差异,所有站位Zn浓度均符合一类海水水质标准;(8)Pb变化范围为0.0~7.0 $\mu\text{g/L}$,平均值为2.7 $\mu\text{g/L}$,高值出现在7号站,2、3、7号站Pb浓度超出一类标准,其余各站Pb浓度均符合一类海水水质标准;(9)Cd变化范围为0.00~0.03 $\mu\text{g/L}$,平均值为0.01 $\mu\text{g/L}$,各站Cd浓度无明显差异,所有站位Cd浓度均符合一类海水水质标准;(10)2010年9月共采集到浮游植物76种,分属4门44种。浮游植物个体数量变化范围为 $1214.29 \times 10^4 \sim 35388.24 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 12061.47×10^4 个/ m^3 ,高值出现在7号站,低值出现在1号站;(11)2010年3月共采集到浮游动物38属45种,浮游动物个体数量变化范围为 $2.77 \times 10^4 \sim 9.66 \times 10^4$ 个/ m^3 ,平均值为 5.74×10^4 个/ m^3 ,浮游动物个体数量变化差异较大,低值出现在1号站,高值出现在5号站。

2.1.3 污染物浓度变化趋势

(1)DO:近20年来,钦州湾近岸海域的DO含量在5.83~10.66mg/L之间,以冬季含量最高,春季次之,夏秋季较低^[17]。(2)COD:近20年来,钦州湾COD的量值随时间和季节变化较大,其平均值均在0.43~2.64mg/L之间^[15]。(3)DIN:近30年来,钦州湾水体中DIN浓度为0.043~0.341mg/L,总体呈波动上升趋势^[7]。(4) PO_4-P :近30年来,钦州湾水体中 PO_4-P 浓度为0.004~0.022mg/L,总体呈下降趋势^[7]。(5)石油类:近20年来,钦州湾近岸海域石油类浓度为0.000~0.500mg/L,丰水期的夏季

和枯水期的冬季呈明显下降趋势,而平水期的春秋季节则呈上升趋势^[13]。(6)重金属:钦州湾近20年来重金属的含量变化具有明显的时间性和季节性^[14],但其规律性不十分明显。其中Cu含量呈明显递增趋势,其递增幅度以秋冬季明显大于春夏季;Pb含量春夏季表现为初、中期含量明显低于后期,秋冬季虽以中、后期略低于前期,但其差值不大;Zn含量变化最大,其中春夏季以初期含量较低,中后期含量较高,而在秋冬季节,则以初期含量较高,并呈规律性的递减趋势;Cd含量较低,其平均值以春夏季含量高于秋冬季。

2.2 水质综合污染指数及其评价结果

调查海域水质综合污染指数见表1。春季(3月)调查海域各站水质综合污染指数变化范围为2.14~4.47,平均值为3.20,低值出现在麻蓝岛附近的4号站,高值出现在果子山附近的2号站;秋季(9月)的变化范围为1.93~7.19,平均值为3.68,低值出现在外湾的8号站,高值出现在2号站。秋季的变化幅度大于春季。秋季的均值大于春季,表明秋季水质比春季差。两个季度的水质污染程度评价结果均为轻污染,但秋季(9月)2号站(污染指数为7.19)的污染等级已经达到重污染。

图2为钦州湾近岸海域春季和秋季水质污染综合指数的平面分布。从图中可以看出,春季(3月),由于淡水径流较小,且受到湾外海流的影响,污染物的空间分布特征不明显,水质综合污染指数并未显示出明显的趋势,茅尾海出海口(淡水径流带来污染物)、犀牛脚附近海域(渔业码头中的船舶带来的含油污水等污染物)指数较高,外部海域的指数较低。

秋季(9月),水质综合污染指数由钦州湾西北侧(茅尾海出海口、勒沟河口)向东南侧递减。分析其原因,主要是由于茅尾海为钦州湾内的封闭型河口湾,有钦江、茅岭江等大型淡水江河输入,其中茅岭江年均径流量为15.97亿m³,钦江年均径流量为11.69

亿m³。城市生活排水口、工业废水排放口通过淡水径流向茅尾海排出大量的营养物质和污染物。同时,茅尾海内分布有大量的海水养殖场,鱼、虾、蟹等养殖业发展迅速,腐烂的饵料和养殖生物的排泄物含有大量营养盐类物质,直接排入水中。钦州湾的咽喉段对茅尾海内的污染物迁移扩散起到明显的阻碍作用,以致茅尾海内污染物在湾内滞留较长时间。位于茅尾海出海口附近的勒沟河,上游分布有城市生活污水排放口;附近为勒沟作业区,分布有众多码头,雨污水、靠泊船只排放的压舱水也会带来油类及重金属等污染物。以上因素,使得茅尾海出海口及勒沟河口附近海水的污染程度较高。

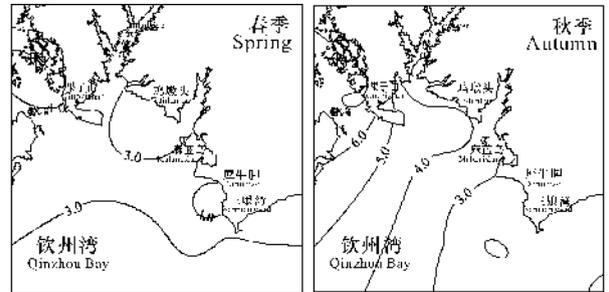


图2 钦州湾近岸海域水质综合污染指数平面分布

Fig. 2 Distribution of water comprehensive pollution index of Qinzhou Bay coastal waters

位于茅尾海东面的金鼓江并非淡水径流,而是钦州湾深入陆地的海汊,污水排放口不多,因而陆源污染物较少;金鼓江附近的污染物主要是上游海水养殖(饵料投放)产生的营养物质,因此,茅尾海出海口的污染物浓度高于金鼓江附近海域;而钦州湾东南侧(犀牛脚、三娘湾附近海域)较少有淡水径流输入,海水养殖也不多,因而水质综合污染指数较低。因此,秋季水质污染综合指数的分布特征并非由北向南递减,而是由茅尾海出海口(西北侧)向三娘湾附近海域(东南侧)递减。

表1 评价指标及评价结果

Table 1 Results of each evaluation index

评价指标 Evaluation index	2010年3月(春季) March 2010(Spring)			2010年9月(秋季) September 2010(Autumn)		
	范围 Range	平均值 Average	污染等级 Grade of pollution	范围 Range	平均值 Average	污染等级 Grade of pollution
水质综合污染指数 Water comprehensive pollution index	2.14~4.47	3.20	轻污染 Light pollution	1.93~7.19	3.68	轻污染 Light pollution
浮游植物多样性指数 Phytoplankton diversity index	2.29~4.05	3.37	轻度污染至无污染 Light pollution to non pollution	2.59~3.93	3.35	轻度污染至无污染 Light pollution to non pollution
浮游动物多样性指数 Zooplankton diversity index	1.00~3.17	2.33	轻中污染 Light-middle pollution	1.57~3.42	2.89	轻中污染 Light-middle pollution

图3为钦州湾近岸海域春季和秋季污染等级分布图。从图中可以看出,春季(3月)钦州湾近岸海域水质污染等级为轻污染,这是由于春季淡水径流较小,带来的陆源污染物浓度较低。秋季(9月)在茅尾海出海口(果子山附近)部分区域为重污染,其余区域为轻污染。果子山附近海域为茅尾海出海口与勒沟河交汇处,茅尾海上的淡水径流带来的污染物、海水养殖饵料投放带来的污染物以及勒沟河上的生活排水口、勒沟作业区带来的污染物在此处交汇,造成了该处水质污染程度较高。

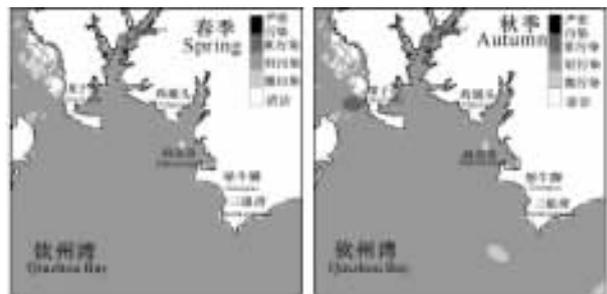


图3 钦州湾近岸海域水质污染等级

Fig. 3 Water pollution grade of Qinzhou Bay coastal waters

2.3 浮游植物生物多样性指数及其评价结果

两个季度的浮游植物多样性指数见表1。春季(3月)调查海域浮游植物的生物多样性指数变化范围为2.29~4.05,平均值为3.37;低值出现在金鼓江上的1号站,高值出现在三娘湾附近的9号站。秋季(9月)生物多样性指数变化范围为2.59~3.93,平均值为3.35;低值出现在果子山附近、勒沟河口的2号站,高值出现在三娘湾附近的6号站。从平均值来看,春季浮游植物多样性指数略高于秋季。两个季度,调查海域的污染等级均为轻度污染至无污染。

浮游植物生物多样性指数平面分布见图4。从图中可见,两个季度的浮游植物生物多样性指数分布特征均为:从钦州湾西北侧(茅尾海出海口)向东南侧(三娘湾附近海域)递增。这一分布特征与秋季(9月)水质综合污染指数的分布特征类似。

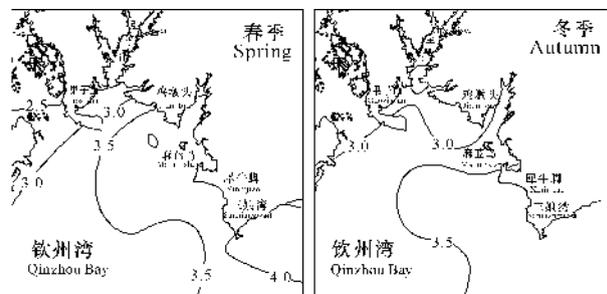


图4 钦州湾近岸海域浮游植物多样性指数平面分布

Fig. 4 Distribution of phytoplankton diversity index of Qinzhou Bay coastal waters

以浮游植物多样性指数评价的水质污染形势见图5。由图可见,春季(3月),茅尾海入海口附近以及金鼓江海域的污染等级为轻中污染,其余海域为轻度污染至无污染。秋季(9月)的污染形势与春季类似,但污染等级为轻中污染的区域面积要稍大于春季。

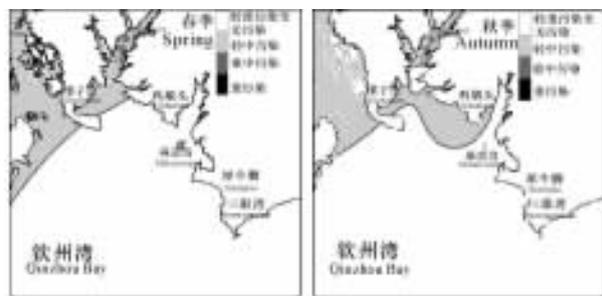


图5 钦州湾近岸海域水质污染形势(以浮游植物多样性指数评价)

Fig. 5 Water pollution status of Qinzhou Bay coastal waters by phytoplankton diversity index

2.4 浮游动物生物多样性指数及其评价结果

两个季度的浮游动物生物多样性指数见表1。春季(3月)调查海域浮游植物的生物多样性指数变化范围为1.00~3.17,平均值为2.33,低值出现在金鼓江上的1号站及鸡墩头附近的4号站,高值出现在外湾的7号站。秋季生物多样性指数变化范围为1.57~3.42,平均值为2.89,低值出现在1号站,高值出现在三娘湾附近的9号站。从时间分布来看,秋季(9月)的生物多样性指数高于春季(3月)。两个季度,调查海域的污染等级均为轻中污染。

浮游动物多样性指数平面分布见图6。从图中可见,两个季度,浮游动物的生物多样性指数分布特征均为:由北向南递增,即由近岸向离岸递增,湾内低、湾外高。

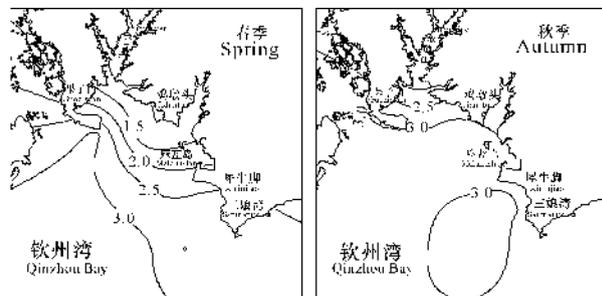


图6 钦州湾近岸海域浮游动物多样性指数平面分布

Fig. 6 Distribution of zooplankton diversity index of Qinzhou Bay coastal waters

以浮游动物多样性指数评价的污染形势见图7。由图可见,春季(3月)金鼓江上游区域及鸡墩头附近海域的污染等级为重污染,果子山西北部海域以及金鼓江下游、麻蓝岛附近海域污染等级为重中污染,茅尾海出口、犀牛脚、三娘湾附近海域为轻中污染,西南

部海域则为轻度污染至无污染。秋季(9月)的污染程度则相对较轻,金鼓江上游区域为重中污染,果子山西北部海域、金鼓江下游、犀牛脚附近海域为轻中污染,西北部及东南部海域为轻度污染至无污染。

两个季度的污染等级分布特征与浮游植物的污染等级分布趋势类似,但以浮游动物多样性指数进行评价,污染程度要高于以浮游植物多样性指数的评价结果。

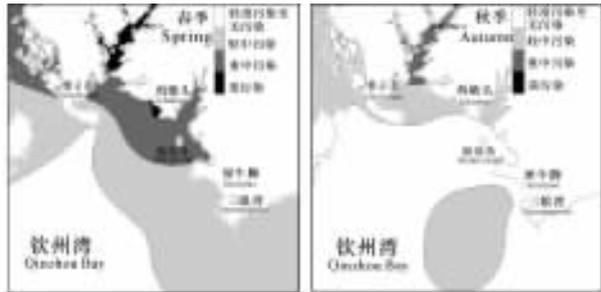


图7 钦州湾近岸海域水质污染形势(以浮游动物多样性指数评价)

Fig. 7 Water pollution status of Qinzhou Bay coastal waters estimated by zooplankton diversity index

2.5 各评价指数的相关性分析

2.5.1 水质综合污染指数与浮游植物多样性指数

在本研究中,浮游植物多样性指数在秋季小于春季,指示春季的水质优于秋季;水质综合污染指数在秋季大于春季,也指示春季的水质优于秋季。同时,二者之间呈现出显著的负相关关系($R = -0.540$, $P < 0.05$, $n = 18$),如图8所示。这表明,浮游植物多样性指数的评价结果与根据水质化学指标得出的结论基本一致,说明该评价方法对于指示和评价海域污染形势是比较灵敏的。

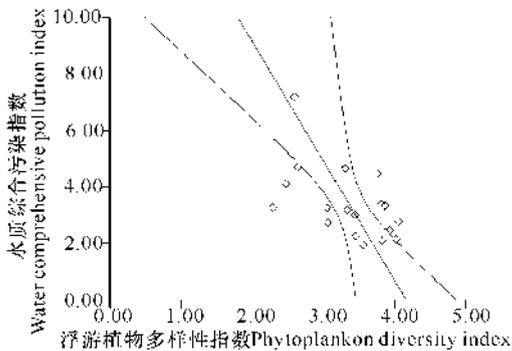


图8 浮游植物多样性指数与水质综合污染指数关系

Fig. 8 Relationship between phytoplankton diversity index and water comprehensive pollution index

但从污染等级来看,以浮游植物多样性指数评价,两个季度均为轻度污染至无污染,与水质综合污染指数的评价结果(轻污染)不一致。其原因可能是:其一,水质综合污染指数、生物多样性的等级划

分标准不一致;其二,钦州湾近岸海域陆源污染物及海水养殖饵料带来的丰富营养物质,有利于浮游植物的生长;同时调查期间,调查海域没有合适的爆发赤潮的水文、气象条件,浮游植物没有明显的优势种,因而浮游植物多样性指数较高。因此,单一利用浮游植物多样性指数来指示海域污染状况,具有一定的局限性,必须结合水质化学指标及其他相关数据进行分析。利用浮游植物多样性指数作为评价海域生态环境质量的指标,还需要更多的调查(如在夏季、冬季进行调查,在赤潮爆发期进行调查等)和实验来进行验证和修正^[23]。

2.5.2 水质综合污染指数与浮游动物多样性指数

本研究中,浮游动物多样性指数在秋季大于春季,指示调查海域秋季水质优于春季,同时,二者之间呈现不相关性($R = 0.193$, $P = 0.442$, $n = 18$)。这表明,对于钦州湾近岸海域的污染状况,以水质综合污染指数、浮游动物多样性指数进行评价,结果不一致。究其原因,可能是由于水质化学指标指示的是采样瞬间的理化水平,容易受到潮汐、径流等因素的影响;而生物多样性指数主要是利用水体中生物种类的组成及数量来反映水体的健康状况,是种类和数量分布的一个函数;此外,生物多样性指数不能很好地反映优势种类的更替,也不能反映出生物密度的变化^[23]。

另一方面,浮游动物多样性指数的平面分布特征为由污染程度较高的区域向污染程度较低的区域递增,这表明浮游动物多样性指数仍能从一定程度上反映出调查海域的水质污染形势。

3 结论

本研究利用水质综合污染指数以及生物多样性指数对2010年3月(春季)及9月(秋季)钦州湾近岸海域的污染程度进行评价,结论如下:

(1)以水质综合污染指数进行评价,钦州湾近岸海域春季和秋季的污染等级均为轻污染,污染程度秋季高于春季。

(2)以浮游植物多样性指数进行评价,钦州湾近岸海域春季和秋季的污染等级均为轻度污染至无污染,春季浮游植物多样性指数大于秋季。以浮游动物多样性指数进行评价,春季和秋季污染等级均为轻中污染,春季浮游动物多样性指数小于秋季。

(3)相对于浮游动物多样性指数,浮游植物多样性指数能更灵敏地指示和评价海洋环境的污染形势,但其评价标准和方法有待更多的调查和研究来进行验证和修正。

(4)单一利用不同的海洋生物类群的多样性指数进行海域污染评价,具有一定的局限性,但仍可以在一定程度上反映出海洋环境的污染程度。

参考文献:

[1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第十二分册(广西海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1993.
Compiling Committee of Records of China Bays. Records of China bays 12th fascicule (Guangxi Bays)[M]. Beijing:China Ocean Press,1993.

[2] 陆海生,陈波. 海洋产业发展对广西近海水质环境的影响[J]. 南方农业学报,2014,45(7):1322-1326.
Lu H S, Chen B. Effects of the development of marine industry on offshore environment in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(7): 1322-1326.

[3] 韦蔓新,赖廷和,何本茂. 钦州湾丰、枯水期营养状况变化趋势及其影响因素[J]. 热带海洋学报,2003,22(3):16-21.
Wei M X, Lai T H, He B M. Change trend of nutrient conditions and influencing factors during high and low-water period in Qinzhou Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2003, 22(3): 16-21.

[4] 韦蔓新,赖廷和,何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标的变化趋势 I 平水期营养盐状况[J]. 海洋环境科学,2002,21(3):49-52.
Wei M X, Lai T H, He B M. Change trend of the chemical items in Qinzhou Bay in the last twenty years I Nutrient condition in usual discharged period[J]. Marine Environmental Science, 2002, 21(3): 49-52.

[5] 龙颖贤,檀笑,韩保新,等. 茅尾海营养状况及其来源研究[J]. 生态科学,2012,31(5):572-576.
Long Y X, Tan X, Han B X, et al. Research on status and sources of nutrients in the Maowei Sea[J]. Ecological Science, 2012, 31(5): 572-576.

[6] 杨斌,方怀义,钟秋平,等. 钦州湾夏季营养盐的分布特征及富营养化评价[J]. 海洋通报,2012,31(6):640-645.
Yang B, Fang H Y, Zhong Q P, et al. Distribution characteristics of nutrients and eutrophication assessment in summer in Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(6): 640-645.

[7] 徐敏,韩保新,龙颖贤. 钦州湾海域氮磷营养盐近 30 年变化规律及其来源分析[J]. 环境工程技术学报,2012,2(3):253-258.
Xu M, Han B X, Long Y X. Analysis of the variation trend and sources of nitrogen and phosphorus in Qinzhou Bay in the Last 30 years[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2012, 2(3): 253-258.

[8] 龙晓红,蒋清华,邓琰. 广西钦州湾近岸海域“十一·五”广西科学 2014 年 8 月 第 21 卷第 4 期

期间营养盐变化趋势分析及污染控制重点[J]. 环境科学与管理,2011,36(8):65-68.
Long X H, Jiang Q H, Deng Y. Study on nutrient salt variation trend and control countermeasures of offshore marine area in Qinzhou Bay during “the 11th five-year plan” [J]. Environmental Science and Management, 2011, 36(8): 65-68.

[9] 张少峰,林明裕,魏春雷,等. 广西钦州湾沉积物重金属污染现状及潜在生态风险评价[J]. 海洋通报,2010,29(4):450-454.
Zhang S F, Lin M Y, Wei C L, et al. Pollution assessment and potential ecological risk evolution for heavy metals in the sediments of Qinzhou Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 450-454.

[10] 杨斌,钟秋平,李宗活,等. 钦州湾表层海水重金属分布特征及其污染评价[J]. 广州化工,2012,40(11):146-147.
Yang B, Zhong Q P, Li Z H, et al. Distribution and pollution evaluation of heavy metals in the surface seawaters of Qinzhou Bay[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(11): 146-147.

[11] 雷富,韦重霄,何小英,等. 钦州湾近岸海域底栖生物体内重金属含量与污染评价[J]. 广西科学院学报,2011,27(4):351-354.
Lei F, Wei C X, He X Y, et al. Heavy metals content and pollution assessment in benthon of Qinzhou Bay coastal waters[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2011, 27(4): 351-354.

[12] 蓝文陆. 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响[J]. 生态学报,2011,31(20):5970-5976.
Lan W L. Variation of organic pollution in the last twenty years in Qinzhou Bay and its potential ecological impacts[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 5970-5976.

[13] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势 II 油类的分布特征及其污染状况[J]. 海洋环境科学,2003,22(2):49-52.
Wei M X, He B M. Trend of environmental index in the recent 20 years in Qinzhou Bay II Characteristic distribution and polluted situation of oils[J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(2): 49-52.

[14] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势 III 微量重金属的含量分布及其来源分析[J]. 海洋环境科学,2003,23(1):29-32.
Wei M X, He B M. Change trend of water environment index in recent 20a in Qinzhou Bay III Content distribution of trace metal and its source analysis [J]. Marine Environmental Science, 2003, 23(1): 29-32.

[15] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势

- IV 有机污染物(COD)的含量变化及其补充、消减途径[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 48-51.
- Wei M X, He B M. Change trend of the water environmental index in Qinzhou Bay in recent 20 years IV Change of the content of the organic contamination (COD) and the process of the supplement, digestion and attenuation of COD [J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(4): 48-51.
- [16] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势 V 浮游植物生物量的分布及其影响因素 [J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 253-257.
- Wei M X, He B M. Change trend of water environmental index in the last 20a of Qinzhou Bay V Biomass distribution of phytoplankton and effect factor[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(3): 253-257.
- [17] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势 VI 溶解氧的含量变化及其在生态环境可持续发展中的作用[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(4): 403-409.
- Wei M X, He B M. Change trend of water environmental index in Qinzhou Bay in the last 20 years VI variation and effect of DO content on sustainable development of ecological environment [J]. Marine Environmental Science, 2009, 28(4): 403-409.
- [18] 韦蔓新, 何本茂. 钦州湾近 20a 来水环境指标变化趋势 VII 水温、盐度和 pH 的量值变化及其对生态环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(1): 51-55.
- Wei M X, He B M. Change trend of water environment indices in Qinzhou Bay in the last 20 years VII Quantitative change of water temperature, salinity and pH and effect of environment [J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(1): 51-55.
- [19] 国家海洋局. GB 17378—2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- State Oceanic Administration of the People's Republic of China. GB 17378—2007 The specification for marine monitoring[S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2008.
- [20] 国家海洋局. GB/T 12763—2007 海洋调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- State Oceanic Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763—2007 Specification for oceanographic survey [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2007.
- [21] 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.
- Ge R Y, Han Z Y, Shao M F, et al. Assessment of marine pollution in Haiyang Harbour waters [J]. Marine Environmental Science, 1997, 16(4): 26-31.
- [22] 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.
- He X Q, Wen W Y, He Q X, et al. Assessment of water quality in sea area of Sanya Bay, Hainan [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(2): 165-170.
- [23] 张景平, 黄小平, 江志坚, 等. 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[J]. 热带海洋学报, 2010, 29(1): 69-76.
- Zhang J P, Huang X P, Jiang Z J, et al. Assessment of the Pearl River Estuary pollution by water comprehensive pollution index and biodiversity index [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(1): 69-76.
- [24] 国家环境保护局, 国家海洋局. GB 3097—1997 海水水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, State Oceanic Administration of the People's Republic of China. GB 3097—1997 Sea water quality standard [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 1997.
- [25] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- Kong F X. Environmental biology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [26] 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.
- Cai L Z, Ma L, Gao Y, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2002, 41(5): 641-646.

(责任编辑: 陈小玲)