

马鞍列岛保护区海域水环境质量分区评价

胡益峰, 蒋红, 柳涛, 金敬林, 李卫丁, 徐灵燕

(国家海洋局东海分局舟山海洋工作站, 浙江 舟山 316100)

摘要:根据2012~2013年马鞍列岛保护区丰水期、平水期、枯水期3季的水质监测结果,利用富营养化指数(*E*)、营养状态质量指数(*NQI*)、有机污染指数(*A*),对水质富营养化程度和有机污染状况进行了分析。结果表明:水质COD、DO含量符合第一类水质标准,DIP含量基本符合第二类水质标准,而DIN含量超标严重;在丰、平两水期,各评价因子含量差异性比较明显,而枯水期则基本接近。该海域富营养化和有机污染较严重,不同季节均呈现富营养化,有机污染在平、枯两水期为中度污染状态,而丰水期则为严重污染状态,污染程度均为丰水期>枯水期>平水期;从分区上看,B、C、D 3个功能分区所处的中西部海域水质富营养化和有机污染最严重,A区(石斑鱼资源保护区)所处的北部海域居中,而E区(生态养殖区)所处的东南部海域相对最轻。

关键词:富营养化;有机污染;海水水质;马鞍列岛

中图分类号:X834 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2015)02-0240-05

Partition assessment of water environment quality of Ma'an Archipelago

HU Yi-feng, JIANG Hong, LIU Tao, JIN Jing-lin, LI Wei-ding, XU Ling-yan
(Zhoushan marine workstation of East China Sea Branch of SOA, Zhoushan 316100, China)

Abstract: according to the water quality monitoring results of three seasons (rainy season, average water season and dry season) in Ma'an Archipelago area in 2012~2013, we analyse the degree of water quality eutrophication and organic pollution by using eutrophication index (*E*), quality of nutrition state index (*NQI*) and organic pollution index (*A*). The results show that: the content of COD and DO meet the first category of water quality standards, the content of DIP basically meets the second category of water quality standards, while the content of DIN exceeds the standards seriously. In rainy and average water season, the difference of each evaluation content is obvious, while in dry season is nearly close. Eutrophication and organic pollution are serious, different seasons turn out to be eutrophic, organic pollution is in moderate state in average water season and dry season, while it is heavily polluted in rainy season, that is rainy season > average water season > dry season. Look from the partition, water eutrophication and organic pollution in the midwest are the most serious in functional B, C, D partitions, north coastal water in A partition (grouper resource reserve) is in moderate pollution state, while the southeast coastal water in E partition (ecological culture zone) is the lightest.

Key words: eutrophication; organic pollution; seawater quality; Ma'an Archipelago

嵊泗马鞍列岛国家级海洋特别保护区于2005年6月经由国家海洋局批准建立,位于长江口外东南、泗礁岛东北部,舟山群岛最北端,处于舟山渔场中心位置,共有岛屿135个,主要岛屿有

收稿日期:2013-11-08,修订日期:2014-01-07

基金项目:2011年中央分成海域使用金支出项目(环保类)

作者简介:胡益峰(1980-),男,浙江上虞人,高级工程师,主要从事海洋环境监测与评价,E-mail:2046hyf@163.com

嵯山、枸杞、花鸟、壁下和绿华山等,绝大多数岛屿为无人岛,保护区总面积 549 km²,其中岛礁面积 19 km²。保护区共设 10 个功能分区,分别为马鞍列岛海洋生态保护区、马鞍列岛无人岛岛礁资源保护区、马鞍列岛珍稀濒危生物保护区、马鞍列岛经济鱼类资源保护区、嵯山岛-枸杞岛厚壳贻贝和羊栖菜种质资源保护区、绿华山-花鸟岛-壁下岛石斑鱼资源保护区、花鸟山以东-求子山-黄礁人工鱼礁增殖放流区、绿华山-黄礁抗风浪深水网箱养殖区、马鞍列岛生态养殖区、马鞍列岛生态旅游风景区。近年来,由于海洋资源开发等人类活动的干扰,以及位于长江口和钱塘江口的特殊地理位置,马鞍列岛海洋特别保护区海域赤潮现象频繁发生,海水富营养化现状严重,导致保护区海域海洋环境质量下降,生态系统稳定性受到威胁。目前,仅有关于马鞍列岛保护区生物生态方面的研究^[1-5],而水环境质量方面鲜有报道。本文基于“2011 年中央分成海域使用金支出项目(环保类)”的环境监测资料,对保护区及不同功能分区海域的水质有机污染、海水富营养化等进行分析评价,为科学评估保护区建区效果、合理开发利用海洋资源提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 站位分区与样品采集

在马鞍列岛保护区海域 5 个功能分区共布设 18 个水质监测站位(见图 1),其中 A 区为绿华山-花鸟岛-壁下岛石斑鱼资源保护区(1、2、3、4、10 号监测站位)、B 区为绿华山-黄礁抗风浪深水网箱养殖区(5、6、7 号监测站位)、C 区为花鸟山以东-求子山-黄礁人工鱼礁增殖放流区(8、9 号监测站位)、D 区为马鞍列岛无居民海岛岛礁资源保护区(11、12、13 号监测站位)、E 区为马鞍列岛生态养殖区(14、15、16、17、18 号监测站位),分别于 2012 年 7 月(丰水期)、2012 年 11 月(平水期)、2013 年 2 月(枯水期)进行海水水质样品采集(其中 Chl *a* 只采集 1、3、5、7、8、13、14、15、16、18 号站位),采集表、底层样品。样品贮存及运输严格按照 GB 17378.3-2007^[6]的要求执行。

1.2 分析方法

水质样品的分析测试按照 GB 17378.4-2007^[7]进行,其中 Chl *a* 按照 GB 17378.7-2007^[8]进行。化学需氧量(COD)和溶解氧(DO)样品分

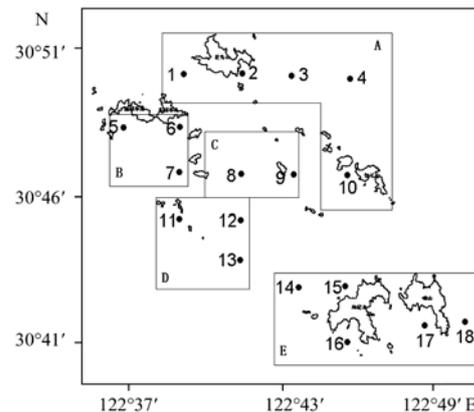


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

别采用碱性高锰酸钾法和碘量法测定;无机氮(DIN)和活性磷酸盐(DIP)样品分别采用次溴酸盐氧化法、锌-镉还原法、萘乙二胺分光光度法和磷钼蓝分光光度法测定;Chl *a* 采用分光光度法测定。

1.3 评价方法

根据分类标准,马鞍列岛保护区海域以第一类海水水质标准作为评价依据^[9],Chl *a* 含量的评价标准取值 5 μg/L。采用有机污染指数(A)^[10]、富营养指数(E)^[10]和营养状态质量指数(NQI)^[11]对海水水质进行有机污染状况和富营养化水平评价。计算公式如下:

$$A = \text{COD}_i / \text{COD}_s + \text{DIN}_i / \text{DIN}_s + \text{DIP}_i / \text{DIP}_s - \text{DO}_i / \text{DO}_s \quad (1)$$

$$E = \text{COD}_i \times \text{DIN}_i \times \text{DIP}_i \times 10^6 / 4500 \quad (2)$$

$$\text{NQI} = \text{COD}_i / \text{COD}_s + \text{DIN}_i / \text{DIN}_s + \text{DIP}_i / \text{DIP}_s + \text{Chl } a_i / \text{Chl } a_s \quad (3)$$

式中:COD_{*i*}、DIN_{*i*}、DIP_{*i*}、DO_{*i*}、Chl *a*_{*i*}为实测值;COD_{*s*}、DIN_{*s*}、DIP_{*s*}、DO_{*s*}、Chl *a*_{*s*}为标准评价值。

2 结果与讨论

2.1 水质含量分析

马鞍列岛保护区海域不同季节的各因子含量水平见表 1。可以看出,COD、DO 含量在不同季节均符合第一类水质标准。DIP 含量除在丰水期有 6 个站位符合第一类水质标准、1 个站位超第二类水质标准外,其余均符合第二类水质标准。DIN 含量均超过第二类水质标准,其中丰水期含量最高,是第二类水质标准的 2.74 倍,平水期和枯水期含量基本相当,分别是第二类水质标准的

1.80 倍和 1.97 倍。Chl *a* 含量在丰水期除 8 号站位外均超过 5 $\mu\text{g/L}$, 最大值出现在 16 号站位, 为 24.95 $\mu\text{g/L}$, 平均 15.09 $\mu\text{g/L}$; 平水期和枯水期均小于 5 $\mu\text{g/L}$, 平均分别为 4.55 $\mu\text{g/L}$ 和 1.84 $\mu\text{g/L}$ 。总体上看, COD、DO、DIP 含量在不同季节含量相对稳定; DIN 和 Chl *a* 含量变化明显, 丰水期含量明显高于平水期和枯水期, 这是因为该保护区所在的长江口及邻近海域是赤潮多发区^[12], 来

源于长江等地表径流携带大量营养物质的冲淡水在丰水期达到峰值, 使得 DIN 含量急剧上升, 这种现象与舟山海域同一经度线的中街山列岛海洋特别保护区海域 DIN 含量在丰水期(夏季)明显高于平水期(秋季)^[13]的特征一致, 而在光照、水温等适宜条件下, 浮游植物大量繁殖, 爆发赤潮, 使得丰水期 Chl *a* 含量异常升高。

表 1 水质调查结果

Tab. 1 Survey date of seawater

时间	COD/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	DO/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	DIN/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	DIP/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Chl <i>a</i> / $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
丰水期 2012-07	0.36 ~ 1.04 0.63 \pm 0.18	6.66 ~ 7.87 7.33 \pm 0.32	0.768 ~ 0.890 0.822 \pm 0.032	0.005 ~ 0.032 0.02 \pm 0.008	2.80 ~ 24.95 15.09 \pm 7.76
平水期 2012-11	0.38 ~ 0.74 0.59 \pm 0.10	6.62 ~ 7.51 7.16 \pm 0.25	0.476 ~ 0.598 0.539 \pm 0.032	0.020 ~ 0.027 0.023 \pm 0.002	3.65 ~ 4.95 4.55 \pm 0.72
枯水期 2013-02	0.43 ~ 0.76 0.59 \pm 0.09	8.48 ~ 8.92 8.72 \pm 0.14	0.548 ~ 0.636 0.591 \pm 0.022	0.023 ~ 0.028 0.026 \pm 0.001	1.20 ~ 2.31 1.84 \pm 0.37

注:“—”上表示含量范围,“—”下表示平均值和标准差。

从功能分区上看:丰水期和平水期, DIN 含量在 E 区(生态养殖功能区)最高, 在 A 区(石斑鱼资源保护区)最低, B 区、C 区和 D 区含量基本接近。而 DO 和 DIP 含量在 E 区最低, 其他各区含量相差不大。这与 E 区存在浅海养殖行为有密切关系, 大规模的人工养殖使得 DIN 含量升高, 而养殖的生物体同时又消耗了水体中大量的 DO 和 DIP(该海域属于磷限制潜在性富营养, 对磷敏感), 同时 E 区的嵛山岛和枸杞岛是两个乡镇机构驻地, 居民日常生活产生的污水排放使得 DIN 含量局部升高; 丰水期, COD 和 Chl *a* 含量在 C 区和 D 区明显高于其他 3 个功能分区, 这是因为监测期间, 保护区海域发生赤潮现象, 而 C 区和 D 区所在海域的赤潮较其他各区严重。而在平水期, COD 和 Chl *a* 含量在各区基本相同; 枯水期, 5

个功能分区各因子平均含量基本接近, 差异不明显, 最大相对偏差 $RD < 0.08$, 这与枯水期外部输送的径流量减少有关, 在浪、流混合作用下不宜引起局地含量变化, 其次是在枯水期生态系统比较稳定, 不易发生赤潮等异常现象。

2.2 水质富营养化状况

海水中由于营养盐等过剩而造成海水富营养化, 在适宜的温、盐条件引起浮游生物大量繁殖, 从而诱发赤潮, 是近些年来出现的海洋生态环境异常现象之一, 因此富营养化评价研究已成为沿海国家普遍关心的问题。将实测结果代入式(2)和式(3), 分别得到马鞍列岛保护区海域不同季节和不同功能分区的富营养化指数(*E*)、营养状态质量指数(*NQI*), 所得结果分别列于表 2 和表 3。

表 2 水质有机污染指数(A)、富营养化指数(E)和营养状态质量指数(NQI)

Tab. 2 The water organic pollution evaluation index (A), quality nutrition exponential (E) and state performance figures of nutrition (NQI)

时间	A		E		NQI	
	A 值	水质质量状况	E 值	营养水平	NQI 值	营养水平
丰水期(2012-07)	4.53	严重污染	2.27	富营养	8.77	富营养
平水期(2012-11)	3.31	中度污染	1.61	富营养	5.42	富营养
枯水期(2013-02)	3.53	中度污染	2.01	富营养	5.35	富营养

从表 2 可以看出, 使用 *E* 值评价马鞍列岛保护区海域结果在不同季节均呈现富营养化, 富营

养化程度表现为丰水期 > 枯水期 > 平水期; 使用 *NQI* 值评价结果总体上与 *E* 值一致, 在不同季节

均为富营养化水平,表明使用 E 值和 NQI 值进行富营养化评价,具有较好的一致性,适用于马鞍列岛保护区海域的富营养化评价,但在富营养化程度排序与 E 值有出入,表现为丰水期 > 平水期 > 枯水期。这是因为 NQI 值相比 E 值,多引入了 $Chl a$ 作为评价参数,总体上不影响富营养水平的评价结果,但在富营养程度的季节排序上,出现了调整。

分析 E 值中的构成物质 DIN 、 COD 和 DIP ,通过计算得到它们所占百分比分别为 51.0%、

47.2% 和 1.8%, NQI 值中的的构成物质 DIN 、 COD 、 DIP 和 $Chl a$ 平均所占百分比分别为 50.0%、4.6%、23.4% 和 22.0%。通过比较可以看出, COD 和 DIP 对富营养化的贡献率有差异,但 DIN 均起到最大贡献率,占据绝对优势,表明高 DIN 含量是该区域富营养化的主导因素。根据陈慧敏^[14]、王江涛^[15]、LI^[16] 等的研究成果,增加的 DIN 主要来源为长江地表径流的外部输送,使得马鞍列岛保护区海域 DIN 浓度不断升高,呈现富营养化。

表3 A值、E值和NQI值分区评价结果

Tab.3 The results of partition assessment by using E value method, A value method and NQI value method

功能分区	A 值			E 值			NQI 值		
	丰水期	平水期	枯水期	丰水期	平水期	枯水期	丰水期	平水期	枯水期
A 区	4.47	3.15	3.51	2.02	1.61	2.01	8.40	5.50	5.22
B 区	4.82	3.42	3.75	2.08	1.95	2.35	8.96	5.55	5.50
C 区	5.22	3.46	3.32	4.65	1.84	1.81	7.94	5.48	5.28
D 区	4.56	3.38	3.55	2.84	1.59	2.03	10.88	5.80	5.27
E 区	4.11	3.33	3.50	1.29	1.31	1.80	7.85	5.34	5.25

注:(1) $3 \leq A < 4$, 水质中度污染; $A \geq 4$, 水质严重污染。(2) $NQI \geq 3$, 水质富营养。(3) $1 \leq E < 3$, 水质富营养化; $E \geq 3$, 水质高富营养^[10-11]。

从表3可以看出,马鞍列岛保护区的5个不同功能分区海域在不同季节均呈现富营养化。丰水期C区的 E 值最大(4.65),已达到高富营养状态,而平水期和枯水期,B区的 E 值最大,富营养化程度最严重;而E区在3个不同季节的 E 值均最小,富营养化程度最轻。总体上,B区、C区和D区3个功能分区所处的保护区中西部海域富营养化程度最严重,A区所处的保护区北部海域富营养化程度居中,E区所处的保护区东南部海域富营养化程度最轻。 NQI 值的分区评价结果与 E 值的评价结果趋势基本一致。这可能与马鞍列岛保护区海域特殊的地理位置有一定关系,B区、C区和D区所处海域位于保护区中心位置,周边有众多大小不等的岛屿分布,一定程度上阻碍了海水自由交换,致使地表径流带来的营养物质在该区域有积累,富营养化程度最重,这也是该区域赤潮发生最频繁、最严重的原因。而E区处于保护区东南部边缘最前沿海域,与外部开阔的东海海域可以进行充分的海水交换,另外E区存在规模较大的贝藻类人工养殖,消耗了海水中一定量的营养物质,使得富营养化程度最轻。

2.3 水质有机污染状况

海水有机污染评价指数法综合考虑了海水的

有机污染和无机污染指标,利用 COD 、 DIN 、 DIP 、 DO 这4个水质指标对海水质量状况进行评价,能反映水质的整体状况^[17]。将实测结果代入式(1),得到马鞍列岛保护区海域不同季节和不同功能分区的有机污染指数(A)值,所得结果列于表2和表3。从表2可以看出,马鞍列岛保护区海域水质在平水期和枯水期处于中度污染状态,在丰水期则为严重污染状态,污染程度表现为丰水期 > 枯水期 > 平水期,与 E 值的评价结果排序一致。虽然长江等地表径流输送冲淡水入海流量枯水期要小于平水期,但枯水期各指标的浓度远高于平水期,致使水质有机污染程度(或富营养化程度)表现为枯水期 > 平水期。

从表3可以看出,马鞍列岛保护区的5个不同功能分区水质有机污染在丰水期均呈现严重污染状态,在平水期和枯水期则为中度污染状态。最大 A 值出现在丰水期的C区,与最大 E 值出现一致。总体上,B区、C区和D区3个功能分区所处的保护区中西部海域水质有机污染程度最严重,A区所处的保护区北部海域水质有机污染程度居中,E区所处的保护区东南部海域水质有机污染程度最轻,与 E 值的评价结果分布一致。表明同时使用富营养化指数和有机污染指数对马鞍

列岛保护区海域进行水质评价,具有较好的一致性。

3 结 论

(1) 马鞍列岛海洋特别保护区海域 COD、DO 含量符合第一类水质标准, DIP 含量基本符合第二类水质标准, DIN 含量均超第二类水质标准, Chl *a* 含量在丰水期因发生赤潮, 平均值达到 15.09 $\mu\text{g/L}$; COD、DO、DIP 在不同季节含量相对稳定, 而 DIN 和 Chl *a* 含量则表现为丰水期明显高于平、枯两水期。

(2) 在丰、平两水期, 5 个不同功能分区海域的各评价因子含量差异性比较明显, DIN 含量在 E 区最高、A 区最低, DO 和 DIP 含量在 E 区最低; 在丰水期, C 区和 D 区的 COD、Chl *a* 含量明显高于其他 3 区, 而在平水期, 各区则基本相同; 在枯水期, 各区各评价因子含量基本接近, 未有明显差异。

(3) *E* 值评价结果显示保护区海域在 3 个水期均呈现富营养化, *A* 值评价结果为丰水期水质处于严重污染状态, 平、枯两水期为中度污染状态, 富营养化和有机污染水平均表现为丰水期 > 枯水期 > 平水期; 从分区, B 区、C 区、D 区 3 个功能分区所处的保护区中西部海域水质富营养化和有机污染最严重, A 区所处的北部海域居中, 而 E 区所处的东南部海域最轻。

(4) 该保护区海域受长江冲淡水影响较大, 在一定时期内, 水质富营养化和有机污染仍将严重, 可以考虑在保护区海域开展大型海藻类养殖以吸收消耗剩余营养物质等方面的研究工作。

参考文献:

[1] 章守宇, 梁君, 汪振华, 等. 浙江马鞍列岛海域潮间带底栖海

藻分布特征[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2299-2307.

- [2] 罗文俊, 章守宇. 马鞍列岛海域浮游植物优势种粒径组成及影响因子分析[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(5): 571-578.
- [3] 汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(1): 41-51.
- [4] 胡益峰, 蒋红. 嵊泗马鞍列岛国家级海洋特别保护区海域养殖紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 重金属含量分析[J]. 福建水产, 2012, 34(6): 461-465.
- [5] 陈清满, 章守宇, 林军, 等. 枸杞岛紫贻贝生长状况及其与环境因子关系[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(5): 809-815.
- [6] GB17378. 3-2007, 海洋监测规范[S].
- [7] GB17378. 4-2007, 海洋监测规范[S].
- [8] GB17378. 7-2007, 海洋监测规范[S].
- [9] GB3097-1997, 海水水质标准[S].
- [10] 李巧香, 周永召, 李鹏山. 夏季三亚湾近岸海域海水水质状况分析与评价[J]. 海洋湖沼通报, 2010, (3): 100-106.
- [11] 吴金浩, 刘桂英, 王年斌, 等. 2008-2009 年青堆子湾水质状况与富营养化水平[J]. 水产科学, 2011, 30(11): 708-710.
- [12] 徐韧, 洪君超, 王桂兰, 等. 长江口及其邻近海域的赤潮现象[J]. 海洋通报, 1994, 13(5): 25-29.
- [13] 蒋红, 胡益峰. 夏秋季中街山列岛养殖海域营养盐水平及有机污染状况评价[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(6): 525-528.
- [14] 陈慧敏, 孙承兴, 仵彦卿. 近 23 a 来长江口及其邻近海域营养盐结构的变化趋势和影响因素分析[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(4): 551-553, 563.
- [15] 王江涛, 曹婧. 长江口海域近 50 a 来营养盐的变化及其对浮游植物群落演替的影响[J]. 海洋环境科学, 2012, 31(3): 310-315.
- [16] LI M T, XU K J, WATANABE M, et al. Long-term variations in dissolved silicate, nitrogen, and phosphorus from the Yangtze River in to the East China Sea and impacts on estuarine ecosystem[J]. Estuarine Coastal And Shelf Science, 2007, 71: 3-12.
- [17] 蔡真珍, 王宪, 郑盛华. 湄洲湾水质季节变化特征及评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 161-164.