

崎岖列岛附近海域浮游植物与水环境状况研究

朱根海^{1,3}, 施青松³, 张健³, 许卫忆^{2,3}, 朱德弟^{2,3}, 陈全震^{1,3}

(1. 国家海洋局 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 2. 国家海洋局 国家海洋局海洋动力过程与卫星海学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 3. 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 于2001年冬(2月)、春(4月)、夏(7月)、秋(10月)首次对崎岖列岛附近海域的浮游植物和赤潮生物与枯水期(2月)、丰水期(7月)的水质进行了调查研究。采用浮游植物细胞丰度法和环境质量单项评价标准指数法, 对该海域环境质量状况进行评估。结果表明: 崎岖列岛附近海域共有浮游植物6门45属90种, 其中赤潮生物有33种, 浮游植物平均细胞丰度从大到小的顺序为, 夏季(4.25×10^4 个 dm^3), 秋季(3.85×10^4 个 dm^3), 春季(2.66×10^4 个 dm^3), 冬季(5.20×10^3 个 dm^3)。底泥中发现的藻类有80种, 其中赤潮生物有31种, 并发现一些甲藻孢囊及休眠孢子。底泥藻类丰度为12~612 个 g , 平均值为68 个 g 。主要有害赤潮生物为具齿原甲藻 *Prorocentrum dentatum* (= 东海区的东海原甲藻 *P. donghaiense*), 链状亚历山大藻 *Alexandrium catenella*, 塔玛亚历山大藻 *Alexandrium tamarense*, 项圈亚历山大藻 *Alexandrium monilatum*, 尖刺伪菱形藻 *Pseudonitzschia pungens*, 具尾鳍藻 *Dinophysis caudata*, 夜光藻 *Noctiluca scintillans*, 裸藻 *Eutreptiella gymnastica* 等。主要赤潮生物优势种为中肋骨条藻 *Skeletonema costatum*。该海域化学需氧量、活性磷酸盐和无机氮则超标严重, 水质已处于严重富营养化状态。

关键词: 崎岖列岛 海域; 浮游植物; 赤潮生物; 孢囊; 环境质量评价

中图分类号: Q178.53

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2009)04-0149-10

1 引言

浮游植物是海洋中的最主要的初级生产者, 其物种组成和丰度分布与光照、水温、盐度、营养盐、竞争和摄食等物理、化学、生物因子有密切关系。崎岖列岛位于杭州湾口北部海域, 是舟山群岛的一部分。崎岖列岛由大、小洋山为主的南、北两列岛屿群组成, 大小岛屿有9个, 岛屿总面积约为10.72 km²。近年来, 随着沿海城市的发展, 大量工业废水和生活污水排入海域, 使近海海域的环境质量逐年恶化, 因此由浮游植物引发的赤潮频繁发生。

本项目调查旨在查明三大工程附近海域海洋生态环境的基本状况, 结合历史资料, 从生态学角度, 评估工程移山填海, 航道开挖和大桥建设等工程以及工程建成后的营运对海域生态系统的影响。崎岖列岛附近海域的水文泥沙和化学特征已有一些报道^[1-4]; 浙江沿岸水域和长江口海区的浮游植物调查研究已有不少的报道^[5-13], 而对崎岖列岛附近海域的浮游植物和赤潮生物, 过去还没有作过调查。本文根据2001年2月、4月和7月和10月首次对崎岖列岛附近海域的浮游植物、赤潮生物与水环境状况进行调查, 对调查结果作出评估和分析。本研究不仅为今后了解该水域有害

收稿日期: 2008-01-20; 修订日期: 2008-12-28。

资助基金: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA603B-06-02); 国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB409705); 国家科技支撑计划(2007BAD43B0D)。

作者简介: 朱根海(1961—), 男, 浙江省杭州市人, 主要从事藻类、赤潮生物、环境生态等方面的研究。E-mail: zhugenhai@126.com

赤潮发生提供科学依据,而且对保护及改善该海区的环境具有现实意义。

2 材料和方法

浮游植物样品于 2001 年冬(2 月)、春(4 月)、夏(7 月)、秋(10 月)采自洋山附近海域 20 个大面观察站(见图 1)。在大面站用有机玻璃采水器采集表层(0.5 m 水层)500 ml 水样作定量分析用。并用浅水 III 型浮游植物网自底至表层作垂直拖网采集作物种组成分析等用。样品用 5% 中性甲醛固定。底泥沉积物样品采集于 2001 年冬(2 月)与浮游植物采样同步进行,使用开口面积为 0.05 m² 采泥器采取,室内分析表层沉积物的有机质,总氮,总磷,石油类,重金属含量($\times 10^{-6}$)的质量现状。定量泥样藻类的处理主要采用浮选,加入适量过滤海水混匀,超声波处理,然后 100 μm 和 15 μm 筛绢过滤,定量在 15 ml,在显微镜下观察,鉴定,计数每克干重泥样中

的藻类丰度;部分定性泥样参考孢囊的处理方法^[14-15]。浮游植物样品经浓缩后用日本产 Olympus-VANOX-AHB:LB-2 万用显微镜观察,鉴定,计数。优势种是根据细胞丰度用 SPSS11.5 进行聚类分析。计算多样性指数 H ,

$$H = - \sum_{i=1}^S N_i \log_2 N_i,$$

式中, S 为样品中的物种总数; N 为样品中的总个体数; N_i 为样品中第 i 种的个体数。部分物种的定名参照孙军等修正^[16]。

水温($^{\circ}\text{C}$)、盐度、透明度(m)、pH 值、悬浮物(mg/dm^3)、溶解氧($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)、化学需氧量(mg/dm^3)、无机磷($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)和无机氮($\mu\text{mol}/\text{dm}^3$)的采样和测定仅在枯水期(2 月)和丰水期(7 月)与浮游植物采样同步进行,样品的采集、贮存、运输和预处理及其实验室分析测定均按《海洋调查规范》和《海洋监测规范》中规定的国标方法进行^[17-19]。

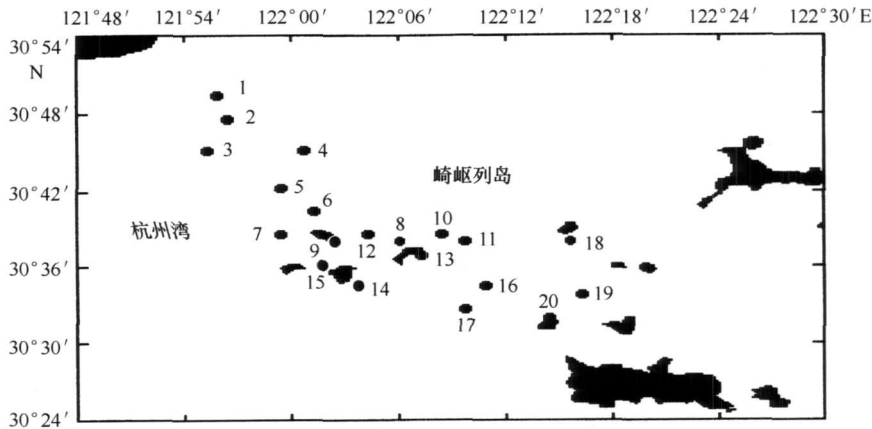


图 1 采样站位

3 结果

3.1 浮游植物物种组成

崎岖列岛附近海域共有浮游植物 6 门 45 属 90 种,其中赤潮生物有 33 种。底泥中发现的藻类有 80 种,其中赤潮生物有 31 种,种数多于冬季水体中赤潮生物种数。水体各季中,冬季浮游植物物种最少,为 67 种(赤潮生物仅 18 种);春季最多,为 76 种(赤潮生物有 31 种)。各类别中,硅藻门 32 属 70 种(占 77.8%);甲藻门 9 属 15 种(占 16.7%);金藻门 1 属 2 种(占 2.2%);裸藻门,蓝藻门和绿藻门分别为 1 属 1 种(各占 1.7%)(见表 1)。

3.2 浮游植物细胞丰度的分布

春季,崎岖列岛附近海域浮游植物细胞丰度在 1.92×10^3 (S19, S8 站) ~ 5.32×10^4 (S13 站) 个/ dm^3 ,平均细胞丰度为 2.66×10^4 个/ dm^3 。浮游植物最高丰度分布在 S13 站,细胞丰度大于 5.00×10^4 个/ dm^3 (5.32×10^4 个/ dm^3),低值区位于 S19, S8 站,细胞丰度小于 5.00×10^3 个/ dm^3 (1.92×10^3 个/ dm^3)(见图 2a)。

夏季,崎岖列岛附近海域浮游植物细胞丰度在 1.92×10^4 (S8 站) ~ 1.06×10^5 (S13 站) 个/ dm^3 ,平均细胞丰度为 4.25×10^4 个/ dm^3 。浮游植物丰度分布较均匀,变化幅度较小。浮游植物最高丰度值分

布在 S13, S15 站, 细胞丰度大于 1.00×10^5 个/ dm^3 (1.06×10^5 个/ dm^3), 低值区位于 S8, S14 站, 细胞丰度小于 2.50×10^4 个/ dm^3 (1.92×10^4 个/ dm^3) (见图 2b)。

秋季, 崎岖列岛附近海域浮游植物细胞丰度在

4.86×10^3 (S8 站) ~ 1.01×10^5 (S13 站) 个/ dm^3 , 平均细胞丰度为 3.85×10^4 个/ dm^3 。浮游植物最高丰度分布在 S13 站, 细胞丰度大于 1×10^5 个/ dm^3 (1.01×10^5 个/ dm^3), 低值区位于 S8 站, 细胞丰度小于 5.00×10^3 个/ dm^3 (4.86×10^3 个/ dm^3) (见图 2c)。

表 1 崎岖列岛附近海域主要浮游植物和赤潮生物物种名录

	水样+ 网样				泥样
	冬	春	夏	秋	冬
硅藻门 BACILLARIOPHYTA					
1. 曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp.	+	+	+	+	+
2. 八幅辐环藻 <i>Actinocyclus octonarius</i> Ehr.	+	+	+	+	+
3. 六幅辐环藻 <i>Actinoptychus senarius</i> (Ehr.) Ehr.	+	+	+	+	+
* 4. 派格棍形藻 <i>Bacillariapaxillifer</i> (Müller) Hendey	+	+	+	+	+
* 5. 中华齿状藻 <i>Odonotella sinensis</i> (Grev.) Grun.	+	+	+	+	+
6. 马鞍藻 <i>Campylodiscus</i> sp.	+	+	+	+	+
* 7. 窄隙角毛藻 <i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	+	+	+	+	+
8 卡氏角毛藻 <i>Chaetoceros castracanei</i> Kar.	+	-	-	+	-
* 9. 洛氏角毛藻 <i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grun.	+	+	+	+	+
10. 蛇目圆筛藻 <i>Coscinodiscus argus</i> Ehr.	+	+	+	+	+
* 11. 星脐圆筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Cleve	+	+	+	+	+
12. 具翼漂流藻 <i>Planktoniella blanda</i> (Schmidt) Syvertsen & Hasle	+	+	+	+	+
* 13. 中心圆筛藻 <i>Coscinodiscus centralis</i> Ehr.	+	+	+	+	+
14. 弓束圆筛藻 <i>Coscinodiscus curvatus</i> Grun.	+	+	+	+	+
15. 离心列圆筛藻 <i>Coscinodiscus excentricus</i> Ehr.	-	+	+	+	+
* 16. 琼氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus jonesianus</i> (Grev.) Ostenf.	+	+	+	+	+
17. 琼氏圆筛藻变化变种 <i>Cos. jonesianus</i> v. <i>commutata</i> (Grun.) Hust.	+	+	+	+	+
18. 细海链藻 <i>Thalassiosira leptopus</i> (Grun.) Hasle & Fryxell	+	+	-	+	+
19. 具边圆筛藻 <i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehr.	+	+	+	+	+
20. 小型圆筛藻 <i>Coscinodiscus minor</i> Ehr.	+	+	+	+	+
21. 虹彩圆筛藻 <i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehr.	+	+	+	+	+
22. 孔圆筛藻 <i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehr.	+	+	+	+	+
* 23. 辐射圆筛藻 <i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehr.	+	+	+	+	+
24. 有棘圆筛藻 <i>Coscinodiscus spinosus</i> Chin	+	+	+	+	+
25. 细弱圆筛藻 <i>Coscinodiscus subtilis</i> Ehr.	+	+	+	+	+
26. 苏氏圆筛藻 <i>Coscinodiscus thorii</i> Pav.	+	+	+	+	+
27. 圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+	+	+	+
28. 扭曲小环藻 <i>Cyclotella comta</i> (Ehr.) Kuetz.	+	+	+	+	+
29. 条纹小环藻 <i>Cyclotella striata</i> (Kuetz.) Grun.	+	+	+	+	+
30. 柱状小环藻 <i>Cyclotella stylonum</i> Brightw.	+	+	+	+	+
31. 小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	+	+
* 32. 新月筒柱藻 <i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reim. et Lew.	-	+	+	+	+
* 33. 布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grun.	+	+	+	+	+

续表 1

	水样+ 网样				泥样
	冬	春	夏	秋	冬
硅藻门 BACILLARIOPHYTA					
34. 太阳双尾藻 <i>Ditylum sol</i> Grun.	+	-	-	-	-
35. 披针异极藻 <i>Gomphonema planceolatum</i> Ehr.	+	-	-	+	+
36. 波罗的海布纹藻 <i>Gyrosigma balticum</i> (Ehr.) Rab.	+	-	+	+	+
37. 刀形布纹藻 <i>Gyrosigma scalproides</i> (Rab.) Cl.	+	-	+	+	+
* 38. 丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i> Cl.	+	+	+	+	+
39. 颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i> (Ehr.) Ralfs	+	-	-	+	-
40. 变异直链藻 <i>Melosira varians</i> C. Agardh	+	-	-	+	-
41. 极小舟形藻 <i>Navicula perminuta</i> Grun.	-	+	+	+	+
42. 舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+	+	+	+	+
43. 壳壁菱形藻 <i>Nitzschia frustulum</i> (Kuetz.) Grun.	+	+	+	+	+
44. 长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i> (Breb.) Ralfs	+	+	+	+	+
45. 洛伦菱形藻 <i>Nitzschia lorenziana</i> Grun.	+	+	+	+	+
46. 具点盘杆藻 <i>Tryblionella navicularis</i> (Br b. ex K t z.) Mann	+	+	+	+	+
47. 美丽菱形藻 <i>Nitzschia spectabilis</i> (Ehr.) Ralfs	+	+	+	+	+
48. 弯菱形藻 <i>Nitzschia sigma</i> (Kuetz.) W. Smith	+	+	+	+	+
49. 菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.	+	+	+	+	+
* 50. 具槽帕拉藻 <i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	+	+	+	+	+
51. 太阳漂流藻 <i>Planktoniella sol</i> (Wall.) Schuett	+	+	+	+	+
52. 宽角斜纹藻 <i>Pleurosigma angulatum</i> (Quek.) W. Smith	+	+	+	+	+
53. 美丽斜纹藻 <i>Pleurosigma formosum</i> W. Smith	+	+	+	+	+
54. 大斜纹藻 <i>Pleurosigma major</i> Liu et Chin	+	+	+	+	+
* 55. 翼根管藻 <i>Proboscia alata</i> (Brightw.) Sunds.	-	+	+	+	+
* 56. 尖刺伪菱形藻 <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grun. Ex Cl.) Hasle	+	+	+	+	+
57. 伯氏根管藻 <i>Rhizosolenia bergonii</i> Per.	+	-	-	-	-
* 58. 刚毛根管藻 <i>Rhizosolenia setigera</i> Brightw.	+	-	-	-	-
* 59. 中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve	+	+	+	+	+
60. 芽形石网藻 <i>Petrodictyon gemma</i> (Ehr.) Mann	+	+	+	+	+
61. 卵形双菱藻 <i>Surirella ovata</i> Kuetz.	-	+	+	+	+
62. 肘状针杆藻 <i>Syne dra ulna</i> (Nitz.) Ehr.	-	+	+	+	+
63. 楔形双菱藻 <i>Surirella cuneata</i> A. Schmidt	+	+	+	+	+
64. 线形海链藻 <i>Thalassiosira lineata</i> Jous	+	+	+	+	+
65. 海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp.	+	+	+	+	+
* 66. 菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grun.) V. H.	+	+	+	+	+
* 67. 伏氏海线藻 <i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grun.) Hallegraeff	+	+	+	+	+
68. 长海毛藻 <i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	+	+	+	+	+
69. 蜂窝三角藻 <i>Triceratium f avus</i> Ehr.	+	+	+	+	+
70. 卵形褶盘藻 <i>Tryblioptychus cocconeiformis</i> (Cl.) Hend.	+	+	+	+	+
甲藻门 PYRRROPHYTA					
* 71. 链状亚历山大藻 <i>Alexandrium catenella</i> (Whe. et Kof.) Balech	-	+	-	-	+

续表 1

	水样+ 网样				泥样
	冬	春	夏	秋	冬
硅藻门 BACILLARIOPHYTA					
* 72. 塔玛亚历山大藻 <i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech	-	+	-	-	+
* 73. 项圈亚历山大藻 <i>Alexandrium monilatum</i> (Howell) Balech	-	+	-	-	+
* 74. 斯氏藻 <i>Scrippsiella</i> sp.	-	+	-	+	+
* 75. 多沟藻 <i>Polykrikos</i> sp.	-	+	-	+	+
* 76. 具齿原甲藻 <i>Prorocentrum dentatum</i> (东海原甲藻 <i>P. donghaiense</i>)	+	+	-	-	+
* 77. 锥形原多甲藻 <i>Protoperdinium conicum</i> (Gran) Balech	+	+	+	+	+
* 78. 原多甲藻 <i>Protoperdinium</i> sp.	-	-	+	+	+
* 79. 纺锤角藻 <i>Ceratium fusus</i> (Ehr.) Dujardin	-	+	+	+	+
80. 卡氏角藻 <i>Ceratium karstenii</i> Pavillard	-	+	+	+	+
* 81. 三角角藻 <i>Ceratium tripos</i> (O. F. Mueller) Nitzsch	-	+	+	+	+
* 82. 三叉角藻 <i>Ceratium trichoceros</i> (Ehr.) Kofoid	-	+	+	+	+
* 83. 具尾鳍藻 <i>Dinophysis caudate</i> Saville-Kent	-	+	+	+	+
* 84. 夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i> (Mac.) Kofoid et Swezy	-	+	+	-	-
85. 瑟氏鸟尾藻 <i>Ornithocercus thurnii</i> (Sch.) Kof. et Skog.	-	+	+	-	-
金藻门 CHRYSOPHYTA					
* 86. 六等刺硅鞭藻 <i>Dictyocysta speculum</i> Ehr.	+	+	+	+	+
87. 硅鞭藻孢囊 <i>Dictyocysta</i> cyst	-	-	-	-	+
裸藻门 EUGLENOPHYTA					
* 88. 裸藻 <i>Eutreptiella gymnastica</i> Thr.	+	+	+	+	+
蓝藻门 CYANOPHYTA					
89. 脆席藻 <i>Phormidium fragile</i> (Menegh.) Gom.	+	+	-	-	-
绿藻门 CHLOROPHYTA					
90. 简单盘星藻棘球变种 <i>Pediastrum simplex</i> v. <i>echinulatum</i> Wittr	+	+	+	-	-
总数	70	79	74	78	80

注:“+”表示出现,“-”表示未出现,“*”表示为主要赤潮生物种。

冬季,崎岖列岛附近海域浮游植物细胞丰度在 0.64×10^3 (S19站) ~ 1.12×10^4 (S13站) 个/dm³, 平均细胞丰度为 5.20×10^3 个/dm³。浮游植物最高丰度分布在 S11, S13 站, 细胞丰度大于 1.00×10^4 个/dm³ (1.12×10^4 个/dm³), 低值区位于 S19, S8 站, 细胞丰度小于 1.00×10^3 个/dm³ (0.64×10^3 个/dm³) (见图 2d)。

3.3 浮游植物群落结构和赤潮生物优势种组成

冬季,崎岖列岛附近海域浮游植物多样性指数值(H)在 0~2.775, 平均值为 1.0369 ($SD \pm 0.7985$)。多样性指数最高值分布在 S11, S13 站, 多样性指数值大于 2.0; 而在 S4, S19, S20 站出现赤潮生物的中肋骨条藻单一物种, 多样性指数值为 0。夏季,崎岖列岛附近海域浮游植物多样性指数值

(H)在 0.1406 (S5站) ~ 1.9184 (S18站), 平均值为 0.9105 ($SD \pm 0.5863$)。多样性指数高值分布在 S18, S13, S7, S11, S20 站, 多样性指数值大于 1.5000, 这些测站物种多, 赤潮生物的中肋骨条藻、琼氏圆筛藻占优势。低多样性指数值出现在 S5, S6, S1, S4 站, 多样性指数值小于 0.3000, 这些测站物种少, 赤潮生物的中肋骨条藻占绝对优势。浮游植物群落结构主要由广温广布性的赤潮生物中肋骨条藻、琼氏圆筛藻、星脐圆筛藻、具槽帕拉藻等组成, 赤潮生物主要优势种为中肋骨条藻。主要有害赤潮生物为具齿原甲藻(东海原甲藻)、链状亚历山大藻、塔玛亚历山大藻、项圈亚历山大藻、尖刺伪菱形藻、具尾鳍藻、夜光藻、裸藻等(见图 3)。

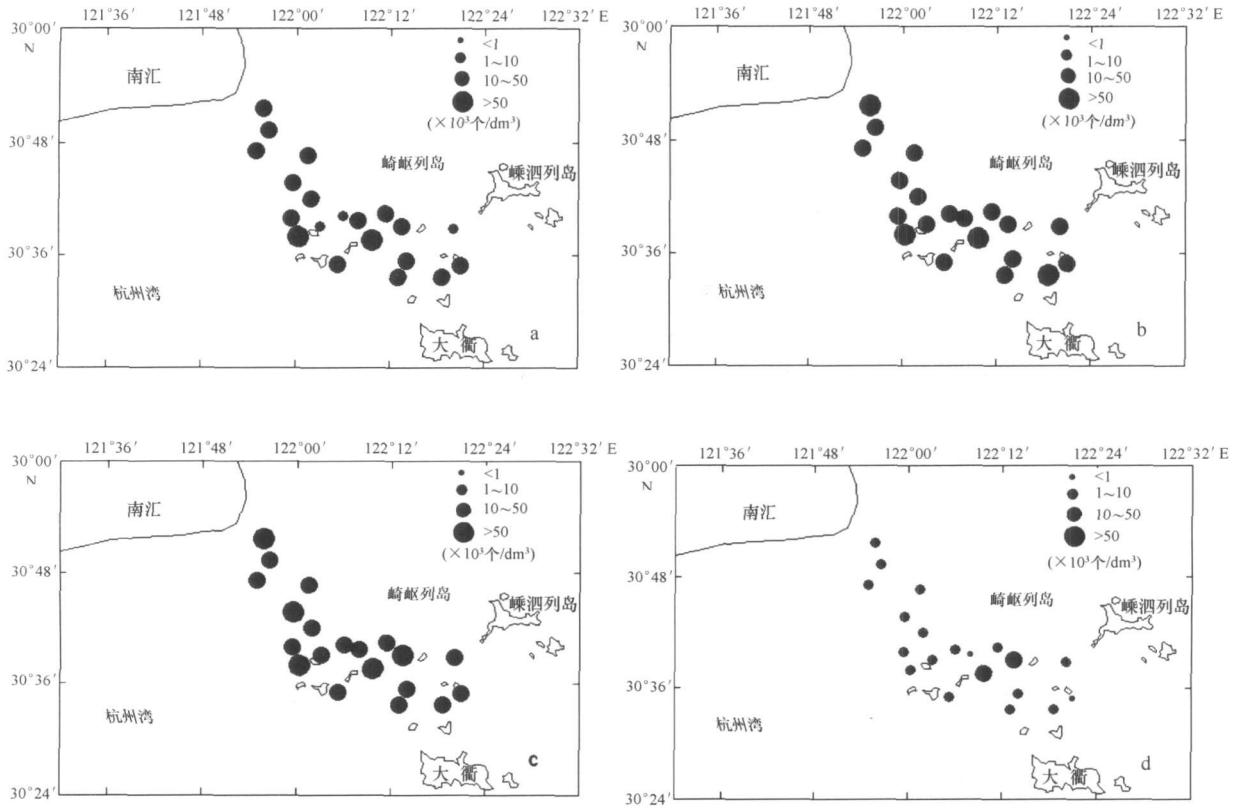


图 2 春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)浮游植物细胞丰度的分布

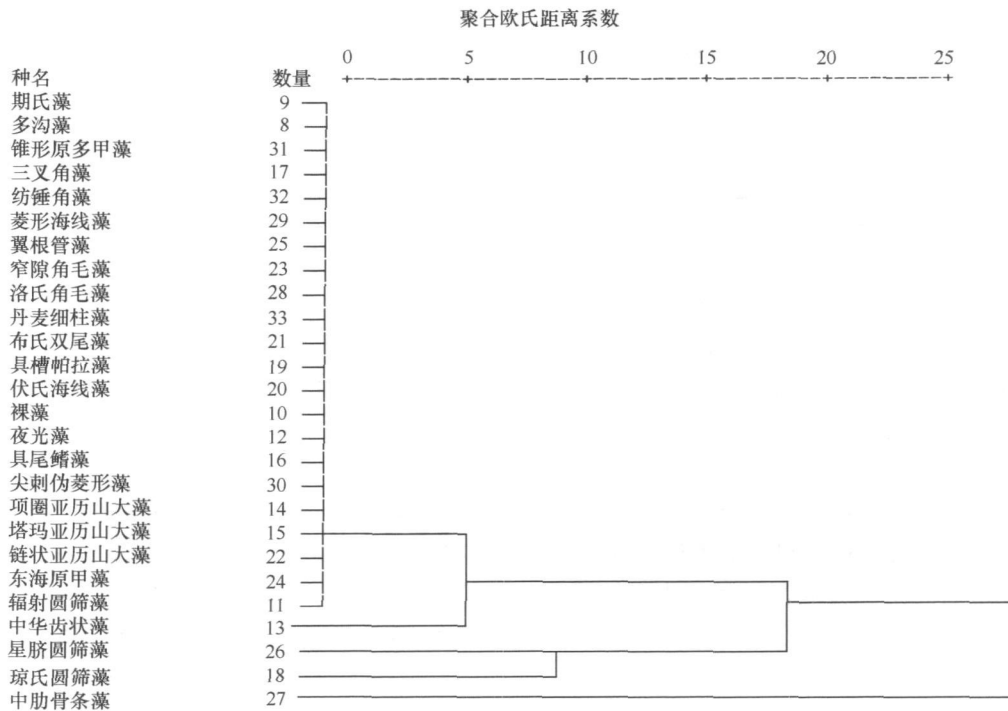


图 3 主要浮游植物和赤潮生物优势种的聚合

3.4 崎岖列岛海区水温、盐度、透明度、悬浮泥沙和海流

冬季水温为 7.6~11.4 °C, 均值 9.0 °C; 夏季水温为 23.9~30.1 °C, 均值 26.9 °C。冬季盐度为 13.425~28.104, 均值 20.202; 夏季盐度为 8.904~29.563, 均值 26.163。冬季透明度为 0.02~0.70 m, 均值 0.17 m; 夏季透明度为 0.02~1.00 m, 均值 0.34 m。崎岖列岛海区泥沙来源主要为长江口直接扩散泥沙和潮流携来的海域泥沙, 大、中、小潮实测平均含量为 0.932 kg/m³。崎岖列岛海流以潮流占主导地位, 而且浅海分潮流强, 潮流属非正规半日浅海潮, 潮流形式基本为往复流类型。港区和航道区实测点最大流速分别为涨潮 2 m/s 和 2.08 m/s, 落潮 2.5 m/s 和 2.02 m/s。

3.5 崎岖列岛海区化学需氧量、溶解氧、活性磷酸盐和无机氮

冬季化学需氧量含量范围与夏季差异很小, 分别为 0.72~5.74 mg/dm³ 和 0.60~5.45 mg/dm³, 平均值则分别为 3.43 和 2.06 mg/dm³, 夏季化学需氧量含量与冬季相比有所降低。冬季溶解氧含量平均值为 627.5 μmol/dm³, 夏季则为 403.8 μmol/dm³, 夏季溶解氧含量比冬季明显偏低。活性磷酸盐冬季与夏季变化范围分别为 0.61~1.81 μmol/dm³ 和 0.32~2.00 μmol/dm³, 夏季比冬季变幅稍大, 平均值则无明显差别。无机氮冬季平均值为 58.57 μmol/dm³。

表 2 浮游植物与水质现状监测结果

调查项目	冬季(2月)		夏季(7月)	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值
浮游植物含量/ × 10 ³ 个 · dm ⁻³	0.64~11.2	5.2	19.2~106.4	42.5
水温/°C	7.6~11.4	9.0	23.9~30.1	26.9
盐度	13.425~28.104	20.202	8.904~29.563	20.163
透明度/m	0.02~0.70	0.17	0.02~1.00	0.34
pH 值	7.92~8.05	8.01	7.94~8.23	8.08
悬浮物含量/mg · dm ⁻³	23.0~5220.0	1299.9	10.6~3697.0	535.1
溶解氧含量/μmol · dm ⁻³	411.9~688.8	627.5	323.1~506.9	403.8
化学需氧量含量/mg · dm ⁻³	0.72~5.74	3.43	0.60~5.45	2.06
活性磷酸盐含量/μmol · dm ⁻³	0.61~1.81	0.97	0.32~2.00	1.10
无机氮含量/μmol · dm ⁻³	26.79~88.79	58.57	15.43~87.86	43.14

崎岖列岛附近海域底泥藻类在 12~612 个/g, 平均值为 68 个/g。总氮、总磷的最大值分别出现在

14 号和 18 号站位, 重金属镉、汞最大值分别出现在 3 号和 2 号站位 (表 3)。

表 3 底泥藻类与表层沉积物质量现状监测结果

调查项目 特征值	底泥藻/ 个 · g ⁻¹	有机质 (× 10 ⁻²)	总氮 (× 10 ⁻²)	总磷 (× 10 ⁻²)	石油类 (× 10 ⁻⁶)	重金属含量(× 10 ⁻⁶)				
						Cu	Pb	Zn	Cd	Hg
最小值	12	0.18	0.101	0.028	3.6	17.08	16.34	38.14	0.176	0.026
最大值	612	1.19	0.194	0.081	6.0	38.03	23.46	82.93	0.288	0.057
平均值	68	0.78	0.144	0.042	5.3	24.33	20.43	54.10	0.227	0.041

4 讨论

(1) 影响浮游植物物种组成和丰度分布主要

有光合作用、温、盐、流、营养盐等环境因子^[15]。崎岖列岛附近海域春、夏、秋季浮游植物的种数与冬季的比较表明, 春、夏、秋季浮游植物种数均多于

冬季 6~9 种,这主要是春、夏、秋季光合作用强,并出现了一些暖水性的甲藻类,而在冬季甲藻仅出现在底泥表层沉积物里,并发现一些甲藻孢囊及休眠孢子。这与过去在浙江沿岸其他海区的研究结果也是一致的^[5-11]。孢囊作为赤潮藻的“种子库”,对于赤潮的发生,连续和消亡过程有着重要的作用。崎岖列岛附近海域底泥藻类丰度在 12~612 个/g,平均值在 68 个/g。崎岖列岛附近海域底泥总氮在 $0.101 \times 10^{-2} \sim 0.194 \times 10^{-2}$,平均值为 0.144×10^{-2} ; 水体无机氮在 26.79~88.79 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,平均值为 58.57 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$; 底泥总磷在 $0.028 \times 10^{-2} \sim 0.081 \times 10^{-2}$,平均值在 0.042×10^{-2} ; 水体活性磷酸盐在 0.61~

1.81 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$,平均值为 0.97 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ 。这表明了冬季底泥表层沉积物中具有丰富的藻类与无机氮和无机磷含量高有一定的关系。沉积物中的甲藻孢囊数量与水体的富营养化程度密切相关,并可作为指示水体质量的生物标志^[21]。至今海洋中已发现 109 种甲藻可以产生休眠孢囊^[22]。崎岖列岛冬季底泥表层沉积物里出现的具齿原甲藻,尖刺拟菱形藻,具尾鳍藻,裸藻等有可能是附着在底泥表水中混入的,这些种类是否具有孢囊目前国际上还没有得到证实。但本次沉积物中发现的链状亚历山大藻、塔玛亚历山大藻、斯氏藻、多沟藻、锥形原多甲藻等甲藻孢囊在长江口多次沉积物调查中均有出现^[14-15]。

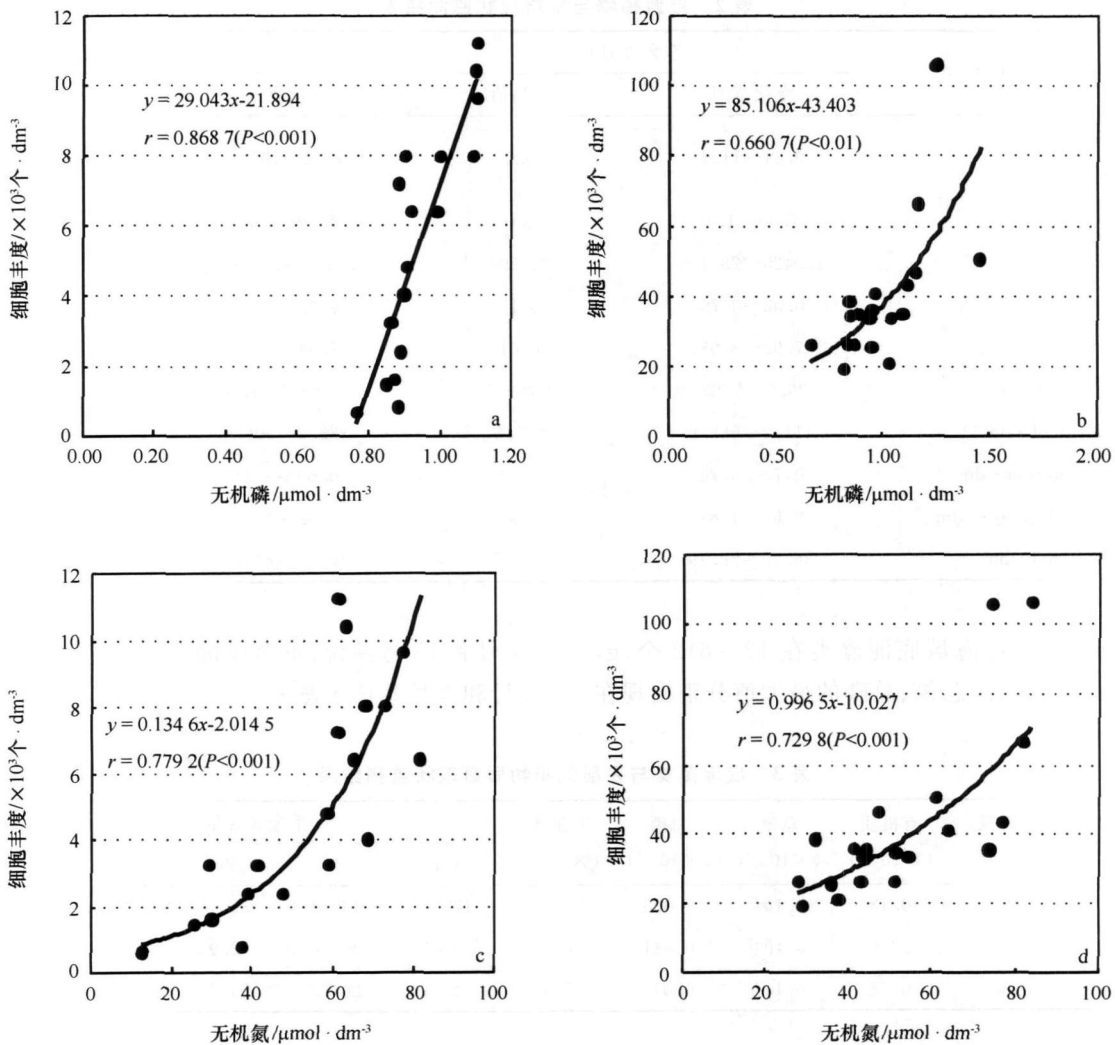


图 4 浮游植物与无机磷,无机氮的正相关关系

a 枯水期无机磷; b 丰水期无机磷; c 枯水期无机氮; d 丰水期无机氮

(2) 崎岖列岛附近海域浮游植物平均细胞丰度从大到小顺序为, 夏季(4.25×10^4 个/ dm^3), 秋季(3.85×10^4 个/ dm^3), 春季(2.66×10^4 个/ dm^3), 冬季(5.20×10^3 个/ dm^3)。这主要是春、夏、秋季光合作用强, 浮游植物繁殖速度快, 尤其在春季是赤潮生物的发生期。这一季节变化趋势与杭州湾浮游植物基本相同^[5]。

(3) 崎岖列岛附近海域 pH 值、溶解氧和石油类基本满足一类海水水质标准的要求, 化学需氧量、活性磷酸盐和无机氮含量则严重超标, 崎岖列岛海区营养盐对浮游植物生长不起限制作用, 这是的无机营养盐与浮游植物丰度具有正相关关系(见图 4)。但在南海海域, 当浮游植物高度密集, 消耗大于营养补充时, 无机营养盐与浮游植物丰度具有负相关关系^[20]。

此外, 在冬季和夏季, 化学需氧量分别有 45.5% 和 8.8% 的测值超三类海水水质标准, 活性磷酸盐分别有 31.2%、69.8% 的测值超三类海水水质标准, 无机氮分别有 96.8% 和 81.1% 的测值超三类海水水质标准。该区水质已处于严重富营养化状态, 其中夏季的富营养化程度比冬季略低。造成这种状况的原因主要有杭州湾沿岸直接入海的点源污染和长江、钱塘江入海径流携带了污染物质。长江、钱塘江径流量大, 沿途接纳了大量工业、农业和生活污水, 崎岖列岛附近海域正处于这些径流入海扩散的范围内, 这表明了入海径流对调查海域无机氮和活性磷酸盐的分布有着很大的影响。沉积物中有机质的所有指数均小于 1, 没有超标, 底质环境整体状况尚好^[4]。

表 4 崎岖列岛附近海域水质冬、夏季评价因子的标准指数

	冬季(2月)			夏季(7月)		
	最小值	最大值	超标率	最小值	最大值	超标率
浮游植物	0.6×10^3	1.1×10^4	0	1.9×10^4	1.1×10^5	0
pH 值	0.66	0.68	0	0.70	0.74	0
溶解氧	0.18	0.36	0	0.60	1.04	10%
化学需氧量	0.82	2.20	95%	0.57	1.57	50%
活性磷酸盐	1.68	2.38	100%	1.60	2.80	100%
无机氮	2.28	5.01	100%	1.68	4.56	100%

(4) 崎岖列岛海区不仅是长江口和杭州湾水沙交换的特殊地带, 而且更重要的是本身具有岛屿峡道地形的特点^[2]。崎岖列岛海域与长江口具有相似的高悬沙浓度区分布特征^[3]。在崎岖列岛附近海

域, 水质已严重富营养化, 出现了 33 种赤潮生物, 但大部分水体都比较混浊, 泥沙含量高, 赤潮生物仅在个别水质较好的站出现且丰度也较低。因此, 崎岖列岛附近海域很难形成大规模的赤潮。

参考文献:

- [1] 谢文辉, 陈沈良, 谷国传, 等. 崎岖列岛邻近海域的水文泥沙特征[J]. 东海海洋, 2000, 18(2): 1—8
- [2] 陈沈良. 崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应[J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 123—131.
- [3] 李玉中, 陈沈良. 象山港海域与长江口相似性研究[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 662—670
- [4] 施青松, 张健. 崎岖列岛附近海域环境质量现状评价与分析[J]. 东海海洋, 2002, 20(2): 23—30
- [5] 朱根海, 陆斗定, 张志道, 等. 秦山核电站附近水域浮游植物的研究[J]. 东海海洋, 1991, 9(2): 81—97.
- [6] 朱根海. 浙江宁波协和石油化工厂附近水域浮游植物的研究[J]. 东海海洋, 1998, 16(1): 45—52
- [7] 朱根海, 山本民次, 大谷修司, 等. 浙江舟山群岛邻近海域微、小型浮游植物与赤潮生物研究[J]. 东海海洋, 2000, 18(1): 28—36
- [8] 朱根海. 象山港浮游植物物种组成与丰度分布[G] // 宁修仁. 象山港养殖生态和网箱养鱼的养殖研究与评价. 北京: 海洋出版社, 2002: 53—67.
- [9] 朱根海, 许卫忆, 朱德弟, 等. 长江口赤潮高发区浮游植物与水动力环境因子的分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1135—1139
- [10] 朱根海. 乐清湾浮游植物季节变化特征[G] // 宁修仁. 乐清湾, 三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价. 北京: 海洋出版社, 2005: 79—88
- [11] 朱根海. 三门湾浮游植物季节变化特征[G] // 宁修仁. 乐清湾, 三门湾养殖生态和养殖容量研究与评价. 北京: 海洋出版社, 2005:

151—160

- [12] 高亚辉, 虞秋波, 齐雨藻, 等. 长江口附近海域春季浮游硅藻的种类组成和生态分布[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1044—1048
- [13] 孙军, 刘东艳, 王宗灵, 等. 春季赤潮频发期东海微型浮游动物摄食研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1073—1080
- [14] 顾海峰, 方琦, 李瑞香, 等. 长江口甲藻孢囊的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(5): 413—423
- [15] 王朝晖, 齐雨藻. 甲藻孢囊在长江口海域表层沉积物中的分布[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1039—1043
- [16] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(3): 271—286
- [17] 国家技术监督局. 海洋调查规范——海洋生物调查, GB12763[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991: 1—6.
- [18] 国家技术监督局. 海洋监测规范. GB 17378—1998[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 1—7.
- [19] 国家环境保护总局环境工程评估中心. 环境影响评价技术导则与标准汇编[G]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 112—132, 690—695
- [20] 朱根海, 宁修仁, 蔡昱明, 等. 南海浮游植物种类组成和丰度分布的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(sup 2): 143—158
- [21] MATSUOKA K. Eutrophication process recorded in dinoflagellate cyst assemblages— a case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan[J]. The Science of the Total Environment, 1999, 231: 17—35
- [22] MATSUOKA K, FUKUYO Y. Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study[M]. Westpac—Hab/Westpac/loc, 2000: 1—26

Studies on phytoplankton and water environmental quality in sea area near Qiqu Archipelago

ZHU Gen-hai^{1,3}, SHI Qing-song³, ZHANG Jian³, XU Wei-yi^{2,3}, ZHU De-di^{2,3}, CHEN Quan-zhen^{1,3}

(1. Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, State Oceanic Administration; 2 Key Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography of State Oceanic Administration Hangzhou 310012, China; 3 Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The phytoplankton and Harmful Algal Bloom (HAB) and the current environmental quality of water and sediment in sea area near Qiqu Archipelago were investigated in February, April and July, 2001. Phytoplankton cell density and environment quality standard index were adopted to assess environmental quality conditions in the sea area. 90 that species belonged to 45 genera were identified in total, among which, 80 algal rest stages and cysts and 31 HAB species. The mean algal rest stages and cysts in deposit was 68 cells/g (12~612 cells/g). The mean phytoplankton density in Summer, and Autumn and Spring (4.25×10^4 cells/dm³, and 3.85×10^4 个/dm³ and 2.66×10^4 个/dm³) were more than that in Winter (5.2×10^3 cells/dm³). The main HAB species were *Skeletonema costatum*, *Prorocentrum dentatum* (*P. donghaiense*), *Alexandrium catenella*, *Alexandrium tamarense*, *Alexandrium monilatum*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Noctiluca scintillans*, *Dinophysis caudate* and *Eutreptiella gymnastica* etc. The results showed that COD, PO₄-P, TIN severely exceed the standard. The water environmental quality was in severe eutrophication state.

Key words: Qiqu Archipelago sea area; phytoplankton,; HAB (Harmful Algal Bloom),; cysts,; environment quality assessment