

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

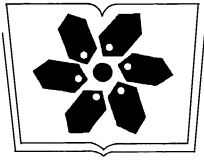
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说:外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites. chenjw@ 163. com

DOI: 10.5846/stxb201111021651

李斌, 白艳艳, 邢红艳, 马元庆, 宋秀凯, 张秀珍, 孙玉增, 刘义豪, 秦华伟. 四十里湾营养状况与浮游植物生态特征. 生态学报, 2013, 33(1): 0260-0266.

Li B, Bai Y Y, Xin H Y, Ma Y Q, Song X K, Zhang X Z, Sun Y Z, Liu Y H, Qin H W. Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0260-0266.

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征

李 斌, 白艳艳, 邢红艳, 马元庆, 宋秀凯, 张秀珍*, 孙玉增, 刘义豪, 秦华伟

(山东省海洋水产研究所 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006)

摘要:研究了 2006—2010 年 5 月、8 月和 10 月四十里湾的营养盐结构、海水营养级、有机污染状况、浮游植物数量及多样性变化特征,并对上述因子进行了相关性分析。结果表明,近 5 年 N/P 值先增加后降低,5 月和 8 月海水多为贫营养和磷限制中度营养,而 10 月多呈磷限制潜在性富营养;除 2006 年和 2007 年 10 月水质分别达到轻度 and 中度污染外,其他时期基本未受有机污染,四十里湾有机污染状况有向好趋势。浮游植物多样性指数年际变化显示,总体呈先降低后增加的趋势,与其数量变化趋势相反。相关性分析显示,有机污染指数 A 与无机磷(IP)浓度呈显著正相关($P < 0.01$),与 DIN 相关不显著($P > 0.05$),这说明 IP 是影响四十里湾有机污染水平的首要因素;浮游植物多样性指数与其数量呈负相关,而与 Si/P 和 IP 浓度分别呈正相关($P > 0.05$),浮游植物多样性指数与 Si/P 和 IP 的 Pearson 相关系数分别达到 0.446 和 0.413。IP 是四十里湾海水营养状况、有机污染及浮游植物多样性的主要影响因子之一。

关键词:四十里湾;营养状况;有机污染;浮游植物数量;多样性

Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay

LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, MA Yuanqing, SONG Xiukai, ZHANG Xiuzhen*, SUN Yuzeng, LIU Yihao, QIN Huawei

Shandong Key Laboratory of Marine Ecological Restoration, Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai 264006, China

Abstract: Sishili Bay is located in the northern Yellow Sea, China, and has importance for Yantai City as an aquaculture and tourism area. However, the rapid progress of the coastal economy has led to significantly deleterious effects on the inshore environment. The nutrient load and chemical oxygen demand has clearly increased within the bay, resulting in eutrophication and ecological imbalance. Harmful algal blooms have occurred frequently in recent years, resulting in heavy economic losses. Nutrient structure and trophic level may play an important role in phytoplankton ecology. To understand the effect of trophic state on phytoplankton diversity within the bay, a survey was carried out from 2006—2010. Six sampling sites were chosen, and nutrient composition, trophic state, organic pollution and phytoplankton quantity and diversity were studied in the months of May, August and October over the study period. Sampling and testing methods followed that of the Specifications for Oceanographic Surveys and Specifications for Marine Monitoring. Significance testing and the correlativity between the investigated parameters were analyzed using SPSS 17.0. The results showed that nitrogen/phosphorus (N/P) ratios increased during the initial part of the study period, and then decreased in recent years. Between 2008 and 2009, N/P ratios were generally higher than during the other periods, with the maximum ratio value of 162.05

基金项目:山东省农业重大应用技术创新项目(2011-2013);海洋公益性行业科研专项(200805031);烟台市科技发展计划项目(2011457);国家科技支撑计划(2009BADB7B02);水生动物营养与饲料“泰山学者”岗位经费资助(2007-2012)

收稿日期:2011-11-02; 修订日期:2012-04-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zxx0535501@126.com

occurring in May, 2009. Oligotrophic-medium trophic levels with an inorganic phosphorus (*IP*) limit usually occurred during May and August, while conditions of potential eutrophication with an *IP* limit usually occurred in October. With the exception of slight organic pollution (level three, $2 < A \leq 3$) and a moderate pollution (level four, $3 < A \leq 4$) determined in October 2006 and 2007 respectively, organic pollution was seldom detected during the other survey periods. Consequently, it was suggested that organic pollution within Sishili Bay may be gradually ameliorated. Phytoplankton quantity and harmful algal bloom occurrence were higher in 2008—2009. The diversity index (Shannon-Wiener index H') of phytoplankton fell during the study period up to 2009, but subsequently got higher. However, the change in phytoplankton quantity showed an inverse relationship to diversity. Correlation analysis revealed a positive and significant correlativity between the organic pollution index (A) and the *IP* concentration in seawater ($P < 0.01$) (the regression equation was: $A = 0.1105 IP - 0.3365$, $R = 0.753$, $n = 90$). A positive correlation coefficient was determined between the organic pollution index (A) and the dissolved inorganic nitrogen (*DIN*) concentration ($P > 0.05$). This indicated that *IP* was a major influencing factor of organic pollution within Sishili Bay. Phytoplankton diversity had a negative correlativity with phytoplankton quantity, but a positive correlation coefficient with the *Si/P* ratio (Pearson correlation coefficient of 0.446) and *IP* concentration (Pearson correlation coefficient of 0.413) ($P > 0.05$). *IP* may be the primary impact factor determining the trophic state, organic pollution status and phytoplankton diversity within Sishili Bay. Eutrophication and the unbalanced nutrient composition within Sishili Bay may have a negative impact on primary production and ecosystem health within Sishili Bay. The effect of anthropic activity on the bio-diversity and ecological health of the bay should be better understood, so as to achieve sustainable development of marine resources.

Key Words: Sishili Bay; Trophic state; Organic pollution; Phytoplankton diversity; Quantity

四十里湾($37^{\circ}29'—37^{\circ}35' N, 121^{\circ}25'—121^{\circ}35' E$)位于烟台市莱山区北部海域,为耳状半封闭海湾,毗邻北黄海,面积 13000 hm^2 ,平均水深为 $8—10 \text{ m}$ 。近年来,烟台市经济的快速发展对四十里湾生态系统造成了很大压力,对海水增殖业和滨海旅游业造成了巨大损失。四十里湾海水中化学需氧量(*COD*)呈上升趋势,5—9月赤潮频发,这与人类活动加剧、陆源污染物输入量增加及水文气象条件适宜等有关^[1]。2003—2008年,四十里湾海水中氮、磷、硅营养盐浓度均增加3倍以上^[2]。营养盐是海洋浮游植物生长繁殖的物质基础,营养盐结构及营养水平对浮游植物群落结构与动态具有重要的调控作用^[3-5]。水体富营养化是赤潮发生的主要诱因,而陆源污染可能是导致其富营养化的关键因素。营养盐结构与营养状况研究对弄清四十里湾浮游生物数量、结构变化及赤潮暴发原因具有重要意义,本文研究了近5年来四十里湾氮磷硅营养盐结构变化,比较了近5年不同季节海水的营养级,并探讨了其与浮游植物数量和多样性的关系,以期评价四十里湾的营养状况与生态健康水平提供科学依据。

1 试验方法与数据分析

1.1 站位布设及样品采集

在四十里湾布设6个定点测站S1—S6(图1),监测时间为2006—2010年5月、8月和10月各一次。样品采集按《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[6]和《海洋监测规范》(GB 17378.4—2007)^[7]进行,取表层水和网样浮游植物样品进行分析。

1.2 样品测定

溶解氧、化学需氧量、氨、硝酸盐、亚硝酸盐、无机磷、活性硅酸盐分别采用碘量法、碱性高锰酸钾法、锌-镉还原法、萘乙二胺分光光度法、次溴酸盐氧化法、磷钼

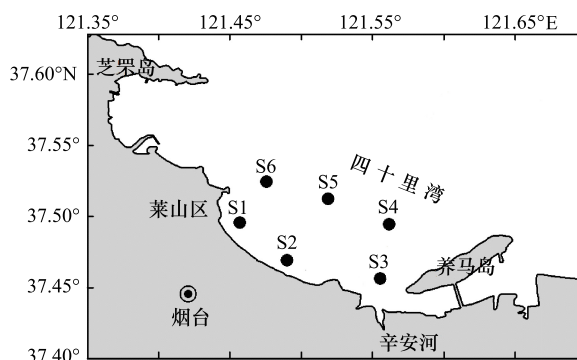


图1 四十里湾调查站位图

Fig.1 Survey stations in the Sishili Bay

蓝分光光度法、硅钼黄法。浮游植物样品用碘液固定、保存,带回实验室内用显微镜进行物种鉴定和细胞计数。所有样品分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763. 6—2007)^[6]进行。

1.3 评价分析方法与数据处理

采用郭卫东等^[8]的营养级分级模式(表1)对四十里湾富营养化进行评价,采用有机污染综合指数法及有机污染等级^[9](表2)对四十里湾有机污染状况进行分析,浮游植物多样性指数(H')的计算采用 Shannon-Wiener 公式^[10],采用 SPSS 17.0 统计软件进行 ANOVA 单因素方差分析和 Duncan's 多重比较进行显著性检验,差异显著度为 0.05,并进行 Pearson 相关性分析。

有机污染指数计算公式为: $A = \frac{\text{COD}_i}{\text{COD}_s} + \frac{\text{DIN}_i}{\text{DIN}_s} + \frac{\text{IP}_i}{\text{IP}_s} - \frac{\text{DO}_i}{\text{DO}_s}$, 式中 A 为有机污染指数; COD_i 、 DIN_i 、 IP_i 和 DO_i 分别为实测值; COD_s 、 DIN_s 、 IP_s 和 DO_s 分别为相应要素一类海水水质标准,分别为 2.0、0.2、0.015 和 6.0 (单位均为 mg/L)。浮游植物多样性指数(H')的计算公式为: $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$, 式中 S 为种类数, p_i 为第 i 种浮游植物数量占总数的比例。

表1 营养级分级标准

Table 1 Trophic level grading standard

级别 Grade	营养级 Trophic level	Dissolved inorganic nitrogen (DIN) /($\mu\text{mol/L}$)	Inorganic phosphorus (IP) /($\mu\text{mol/L}$)	N:P
I	贫营养	< 14.28	< 0.97	8—30
II	中度营养	14.28—21.41	0.97—1.45	8—30
III	磷限制中度营养	> 21.41	> 1.45	8—30
IV _P	富营养	14.28—21.41	—	> 30
V _P	磷中等限制潜在性富营养	> 21.41	—	30—60
VI _P	磷限制潜在性富营养	> 21.41	—	> 60
IV _N	氮限制中度营养	—	0.97—1.45	< 8
V _N	氮中等限制潜在性富营养	—	> 1.45	4—8
VI _N	氮限制潜在性富营养	—	> 1.45	< 4

表2 有机污染分级标准

Table 2 Organic pollution level grading standard

	污染指数 A					
	< 0	0—1	1—2	2—3	3—4	> 4
污染程度分级 Organic pollution level	0	1	2	3	4	5
水质评价 Water quality evaluation	良好	较好	开始受到污染	轻度污染	中度污染	严重污染

2 结果

2.1 营养盐结构变化

2006 年 5 月 N/P 值为 128.18, 显著高于其他两个月份 ($P < 0.05$), 而 Si/P 和 Si/N 则反之(表3); 8 月, 与 5 月恰好相反, 无机氮为限制因素。2007 年, N/P 值有增加趋势, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 而 Si/P 和 Si/N 则反之, 5 月表现为氮限制。2008 年, N/P 值普遍高于上年同期, 尤其 8 月和 10 月较明显 ($P < 0.05$); 而 Si/P 和 Si/N 则反之, 且营养盐含量季节变化较大; 8 月明显表现为磷限制。2009 年 5 月, N/P 高达 162.05, 为近 5 年各月份最高值, 8 月骤减 75% ($P < 0.05$); 而 Si/P 和 Si/N 均呈明显上升趋势。2010 年, N/P 呈逐渐升高趋势, 而 Si/P 和 Si/N 均在 8 月出现低值, 为近 5 年同期最低值; 在 5 月出现最高值, 与近 5 年同期相比属较高。

表 3 海水中 N/P、Si/P 和 Si/N 比值的季节与年际变化

Table 3 Seasonal and annual variations of N/P, Si/P and Si/N values in seawater

	时间 Date	2006	2007	2008	2009	2010
N/P	5 月 May	128.18	8.95	72.52	162.05	48.60
	8 月 August	8.63	35.68	143.24	40.05	66.27
	10 月 October	31.86	55.92	136.35	39.18	99.43
Si/P	5 月 May	12.80	46.59	9.46	6.48	49.03
	8 月 August	24.89	69.72	100.58	39.59	5.89
	10 月 October	15.48	13.52	29.74	121.55	33.58
Si/N	5 月 May	0.24	5.51	0.13	0.04	1.01
	8 月 August	3.83	2.01	0.70	0.99	0.09
	10 月 October	0.49	0.25	0.22	2.19	0.37

2.2 营养状况

从近 5 年海水营养级的季节变化趋势可以看出,四十里湾海域受磷限制,磷酸盐含量水平不高。5 月和 8 月,基本属于贫营养或磷限制中度营养或磷限制潜在性富营养(表 4);10 月,海水营养级有所升高,主要表现在磷的限制水平降低;2006 和 2007 年均为磷中等限制潜在性富营养,2008 年和 2010 年均为磷限制潜在性富营养。

表 4 海水营养级的季节与年际变化

Table 4 Seasonal and annual variations of the trophic grade in seawater

时间 Date	2006	2007	2008	2009	2010
5 月 May	VI _P	I	I	IV _P	I
8 月 August	I	I	IV _P	I	VI _P
10 月 October	V _P	V _P	VI _P	I	VI _P

2.3 有机污染状况

2006 年 8 月,有机污染指数 A 低于其他两个月份,10 月($A=2.80$)最高(表 5),水质为轻度污染;2007 年、2008 年均呈逐渐增加的趋势,尤其 2007 年 10 月($A=3.43$)水质达到中度污染;2009 年和 2010 年,则呈先升高后降低的趋势,均在 8 月份出现高值, A 值均不超过 2.0;尤其 2009 年,各月份水质均为较好。总体而言,四十里湾有机污染状况有向好趋势。

表 5 海水有机污染指数 A 的季节与年际变化Table 5 Seasonal and annual variations of the organic pollution index A in seawater

日期 Date	2006	2007	2008	2009	2010
5 月 May	1.24	0.01	-0.46	0.17	-0.20
8 月 August	0.02	0.11	1.09	0.36	1.69
10 月 October	2.80	3.43	1.55	0.03	0.47

2.4 浮游植物种类组成与丰度分布特征

2006—2010 年,浮游植物数量呈先增加后降低的趋势。除 2008 年外,其他年份的浮游植物月均数量均在 8 月最高(图 2)。2008 年最高值出现在 10 月,并且为 5a 中各月份最高值,达到 51.61×10^4 个/L,且各站位间差别显著($P < 0.01$),整个监测海域优势种为中肋骨条藻;10 月的 6 号站位最低,为 487.2 个/L,最高的 4 号站约高出约 140 倍;2009 年 8 月,浮游植物数量也高达 38.61×10^4 个/L,发生明显赤潮,且 3 个站位的优势种均为红色裸甲藻。2007 年 10 月,月均值最低,为 0.02×10^4 个/L。浮游植物数量年均值变化特征与透明度相似,2008 年最高,2009 年次之,2007 年最低;并基本呈现湾东部高于西部的趋势。8 月是赤潮多发期,且近

年来甲藻出现频次有增加趋势;5月和10月也有赤潮发生。一般,尖刺菱形藻和角毛藻是四十里湾的常见种类。

2.5 多样性指数

浮游植物多样性指数年际变化显示,总体呈先降低后增加的趋势(图3),与其数量变化趋势相反。2008、2009年,浮游植物多样性指数低于其他年份,尤其2009年5月、8月分别为近5年来同期最低,而10月为同期最高值,季节变化较大。2010年,浮游植物多样性指数平均值高于其他年份,且各月份多样性指数均在3.0左右,季节变化不大。

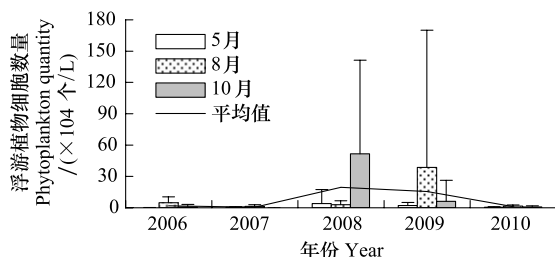


图2 浮游植物细胞数量的季节及年际分布特征

Fig. 2 Seasonal and annual variations of phytoplankton cell numbers

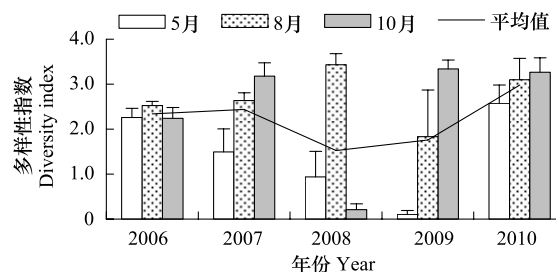


图3 浮游植物多样性指数的季节及年际分布特征

Fig. 3 Seasonal and annual variations of phytoplankton diversity index

2.6 相关性分析

各因子的相关性分析结果显示,有机污染指数A与IP浓度呈显著正相关($P < 0.01$),而与DIN相关性不显著($P > 0.05$)(表6),这说明IP是影响四十里湾有机污染水平的首要因素。A与IP浓度的相关方程是:

$$A = 0.1105IP - 0.3365, R = 0.753.$$

浮游植物多样性指数与其数量相关系数为-0.475,而与Si/P和IP相关系数分别为0.446和0.413,相关性均不显著($P > 0.05$),浮游植物多样性受IP和Si/P的影响较大。IP是四十里湾有机污染、营养水平及浮游植物多样性的主要限制因子。

表6 四十里湾各监测指标间的Pearson相关系数

Table 6 Pearson correlation among factors of seawater investigation

	DIN	IP	N/P	Si/P	Si/N	污染指数A	浮游植物数量 Cell number	浮游植物多样性指数 Diversity index
DIN	1	0.275	0.299	-0.085	-0.495	0.462	-0.066	0.253
IP		1	-0.395	-0.317	-0.084	0.753 **	-0.181	0.413
N/P			1	-0.119	-0.648 **	0.109	0.174	-0.321
Si/P				1	0.331	-0.315	0.000	0.446
Si/N					1	-0.410	-0.140	0.063
污染指数A						1	0.024	0.219
浮游植物数量 Cell number							1	-0.475
浮游植物多样性指数 Diversity index								1

** :相关性显著水平为0.01;样本数量 $n=90$

3 讨论

N/P比值(原子比)是衡量营养盐结构的主要指标,浮游植物的生长繁殖对无机氮和磷酸盐的摄取基本以N/P为16的比例(即Redfield比值)进行^[11],因此把这一比值作为研究生态环境中氮或磷缺乏的依据。多

种微藻生长所需的适宜 N/P 为 10—20,但不同种类的微藻对氮、磷的需求特征不同^[12]。表 1 显示,四十里湾仅在 2006、2007 年个别月份的 N/P 比低于 16,其他年份均超过 30,其中,2009 年 5 月高达 160 以上,说明 N 相对丰富而 P 相对缺乏的状态。有研究表明,2002—2007 年间,四十里湾 N/P 值有增加趋势^[13];本文结果显示,近两年 N/P 又有所降低趋势,且四十里湾近岸海域有机污染有所减轻,水质有向好趋势(表 5)。这与烟台市近年来加强了陆源污染治理,大力实施了海洋生态保护不无关系。

四十里湾海水通常并未达到富营养化水平,但随着营养盐含量的升高,赤潮爆发的频率也在增加,赤潮通常爆发在温度适宜、营养盐骤增的条件下,如夏季大雨过后的晴朗天气^[14]。从图 2 可知,2008、2009 年赤潮发生重于其他年份,浮游植物数量在 2008 年出现最高值,其次是 2009 年;而浮游植物多样性指数呈相反的变化趋势,2008、2009 年低于其他年份。这说明赤潮发生时,赤潮生物过度繁殖,可能抑制了其他浮游植物的生长。

2003 年 5—9 月,四十里湾整个海域处于贫营养状态^[15]。从近 5 年海水营养级的变化趋势也可以看出,5 月和 8 月,四十里湾多呈贫营养和中度营养;而 10 月多为磷限制潜在性富营养(表 5)。这可能是由于 5—8 月份浮游植物快速繁殖消耗大量营养盐,随着雨季降水增多,大量的无机氮随河流排入导致 10 月出现潜在性富营养;而磷受陆源污染的影响较小。海底表层沉积物中的 IP 的向上输送,也是海水中 IP 补充的一个重要来源^[6]。四十里湾无机氮、磷酸盐与盐度呈显著负相关,说明无机氮、磷酸盐主要通过地表径流得到补充;硅酸盐主要以沉积物释放,经海水上下混合得到补充^[10]。7—8 月份烟台降水增多,大量的无机氮、磷随河流排入四十里湾。近年来,农业面源污染对水体营养状况的影响越来越明显,已成为水体富营养化的最主要原因之一^[16]。

以往研究表明,四十里湾春、夏和冬季硅是相对限制因子;秋季氮则成为硅藻的相对限制因子,1997—1998 年的 N/P 值不超过 16^[17]。而本研究表明,近年来,IP 成为了四十里湾的主要限制因子,N/P、Si/P 值均显著升高数十倍,其含量和比值的变化对海湾生态系统结构和功能可能产生重要影响。这与 Hao 等^[2]和刘义豪等^[15]的结果一致,磷酸盐是该海域浮游植物生长的限制因子。另外,磷对浮游植物的固碳强度的影响明显强于其他环境因素^[18],因此,四十里湾磷酸盐含量会影响该海域初级生产力和转移大气二氧化碳潜力。

四十里湾的浮游植物群落相对比较稳定,类群以广温广盐种为主,优势种主要由硅藻组成,其次是甲藻^[2]。角毛藻和尖刺菱形藻为近年来四十里湾最常见种类。四十里湾有机污染状况有向好趋势,浮游植物多样性有所增加(图 3)。浮游植物同海洋生态环境有密切的联系,其生物量的大小是反映海洋初级生产力的重要指标,对于海洋生物资源的开发起着重要的指示作用。海水富营养化不但表现为营养盐浓度的升高,而且还表现为初级生产力的升高^[19]。还有研究表明,秋季,山东半岛南部海湾的大型底栖动物多样性与硝酸盐呈负相关关系^[20],富营养化可能对整个海湾生态系统都具有一定的负面影响。有关四十里湾海洋浮游植物多样性及其影响机理研究有待深入,并加强人类活动对近海营养状况、有机污染及生态健康水平等方面的评估工作,为实现海洋经济与生态环境可持续发展提供技术保障。

References:

- [1] Wu Y L, Zhou C X, Zhang Y S, Pu X M, Li W H. Evolution and causes of formation of *Gymnodinium sanguineum* bloom in Yantai Sishili Bay. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2001, 32(2): 159-167.
- [2] Hao Y J, Tang D L, Yu L, Xing Q G. Nutrient and chlorophyll a anomaly in red-tide periods of 2003—2008 in Sishili Bay, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29(3): 664-673.
- [3] Flynn J K. How critical is the critical N:P ratio? *Journal of Phycology*, 2002, 38(5): 961-970.
- [4] Jean-François M, Wafar M, Madec C, Morin P, Denn E E. Nitrogen and phosphorus requirements of an *Alexandrium minutum* bloom in the Penzé estuary, France. *Limnology and Oceanography*, 2004, 49(4): 1108-1114.
- [5] Hodgkiss I J, Lu S H. The effects of nutrients and their ratios on phytoplankton abundance in Junk Bay, Hong Kong. *Hydrobiology*, 2004, 512(1/3): 215-229.
- [6] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the

- People's Republic of China. Specifications for Oceanographic Survey-Part 6: Marine Biological Survey. Beijing: Standards Press of China, 2007: 56-62.
- [7] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for Marine Monitoring-Part 4: Seawater Analysis. Beijing: Standards Press of China, 2007: 57-119.
- [8] Guo W D, Zhang X M, Yang Y P, Hu M H. Potential eutrophication assessment for Chinese coastal waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1998, 17(1): 64-70.
- [9] Xia B, Zhang X L, Cui Y, Chen B J, Chen J F, Guo F, Zhang Y, Huang C L. Evaluation of the physicochemical environment and nutrition status in Laizhou Bay and adjacent waters in summer. *Progress in Fishery Sciences*, 2009, 30(3): 103-111.
- [10] Ma K P. Measurement of Biotic Community Diversity-Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. Beijing: China Science and Technology Press, 1994: 141-165.
- [11] Yuan M L, Wang Z H, Li Y F. Effects of nitrogen and phosphorus limitation on the growth of *Chattonella marina*. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 430-436.
- [12] Riegman R. Nutrient related selection mechanisms in marine phytoplankton communities and the impact of eutrophication on the planktonic food web. *Water Science and Technology*, 1995, 32(4): 63-75.
- [13] Liang A P, Jiang X M. The trend of the main environmental factors at Yantai red tide sea area. *Environmental Pollution and Control*, 2008, 30(8): 92-94.
- [14] Liang A P, Zhang T, Liu W. Red tide forecasting method for Yantai Sishili Bay waters. *Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition*, 2007, 20(4): 304-308.
- [15] Liu Y H, Liu X J, Xing H Y, Jin Y, Ma Y Q, Liu X B. Analysis of the water quality in the sea area of Si-shili Bay of Yantai in 2003. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006, (3): 93-97.
- [16] Quan W M, Yan L J. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 291-299.
- [17] Zhao W H, Jiao N Z, Zhao Z X. Forms of nitrogen in the Yantai Sishili Bay cultivated water. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2000, 31(1): 53-59.
- [18] Song J M, Li X G, Yuan H M, Zheng G X, Yang Y F. Carbon fixed by phytoplankton and cultured algae in China coastal seas. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 551-558.
- [19] Pätzsch J, Radach G. Long-term simulation of the eutrophication of the North Sea: temporal development of nutrients, chlorophyll and primary production in comparison to observations. *Journal of Sea Research*, 1997, 38(3/4): 275-310.
- [20] Zhang Y, Lü Z B, Xu Z F, Liu Y H, Jin Y. Ecological characteristics of macrobenthic communities and their relation to water environmental factors in four bays of southern Shandong Peninsula. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4455-4467.

参考文献:

- [1] 吴玉霖, 周成旭, 张永山, 蒲新明, 李伟华. 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因. *海洋与湖沼*, 2001, 32(2): 159-167.
- [6] 国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007: 56-62.
- [7] 国家质检总局, 国家标准化委员会. 海洋监测规范第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2007: 57-119.
- [8] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 胡明辉. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价. *台湾海峡*, 1998, 17(1): 64-70.
- [9] 夏斌, 张晓理, 崔毅, 陈碧鹃, 陈聚法, 过锋, 张艳, 黄翠玲. 夏季莱州湾及附近水域理化环境及营养现状评价. *渔业科学进展*, 2009, 30(3): 103-111.
- [10] 马克平. 生物群落多样性的测定方法·生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141-165.
- [11] 袁美玲, 王朝晖, 李友富. N、P 营养盐对海洋卡盾藻 (*Chattonella marina*) 生长的影响. *生态学报*, 2008, 28(1): 430-436.
- [13] 梁爱萍, 姜雪梅. 烟台市赤潮多发海域主要环境因子的变化趋势. *环境污染与防治*, 2008, 30(8): 92-94.
- [14] 梁爱萍, 张涛, 刘伟. 烟台市四十里湾海域赤潮预报方法研究. *烟台大学学报: 自然科学与工程版*, 2007, 20(4): 304-308.
- [15] 刘义豪, 刘晓静, 邢红艳, 靳洋, 马元庆, 刘晓波. 2003 年烟台四十里湾海域主要水质指标分析. *海洋湖沼通报*, 2006, (3): 93-97.
- [16] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施. *生态学报*, 2002, 22(3): 291-299.
- [17] 赵卫红, 焦念志, 赵增霞. 烟台四十里湾养殖水域氮的存在形态研究. *海洋与湖沼*, 2000, 31(1): 53-59.
- [18] 宋金明, 李学刚, 袁华茂, 郑国侠, 杨宇峰. 中国近海生物固碳强度与潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 551-558.
- [20] 张莹, 吕振波, 徐宗法, 刘义豪, 靳洋. 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系. *生态学报*, 2011, 31(15): 4455-4467.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.1 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元