

海州湾圆筛藻与环境因子的关系研究

潘雪峰¹, 张鹰¹, 张东¹, 刘吉堂²

(1. 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 江苏 南京 210097;

2. 连云港海洋环境监测站, 江苏 连云港 222001)

摘要:通过对 2004 年海州湾圆筛藻等藻类与环境因子间的相关分析, 得出磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、水温与藻类细胞数量间为单调相关, 并且磷酸盐为藻类生长的主要限制因子; pH 值、气压、化学需氧量、盐度、氨盐和藻类细胞数量间为线性相关, 氨盐为藻类吸收无机氮的主要形式。另外, 以环境因子为自变量, 藻类细胞数量为因变量, 建立了回归模型, 该模型可为监测该藻类细胞数量变化和赤潮提供参考。

关键词:圆筛藻; 环境因子; 相关分析; 多元回归模型; 海州湾; 赤潮

中图分类号: X820.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1006-2009(2007)01-0015-04

随着连云港地区的经济发展和人口增长, 排入海域的工业废水和生活污水逐年增加, 环境污染也逐年加剧, 环境污染主要受重金属和有机物影响, 部分海域已达赤潮发生条件^[1]。连云港海州湾在 2004 年和 2005 年分别发生 2 次和 4 次赤潮事件, 2005 年发生赤潮的海域成灾面积超过 1 275 km², 是 2004 年的 12 倍, 并首次出现有毒赤潮。从赤潮发展趋势看, 发生频率在增大, 危害范围及造成的经济损失也在迅速扩大。因此, 研究该海域环境因子与各种赤潮藻类之间的关系具有重要意义。圆筛藻是海州湾的主要藻类类型, 研究圆筛藻细胞数量的变化和环境因子间的关系意义重大。

国内外许多学者对赤潮进行了大量的研究^[2], 但探讨某种藻类和环境要素间关系的研究并不多。齐雨藻等^[3]分析了南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮发生前后环境因素的变化及赤潮的成因; 顾海峰等^[4]探讨了长江口塔玛亚历山大藻孢囊的形成、发展及其与赤潮动力学的关系; 洪君超等^[5]对长江口中肋骨条藻赤潮发生过程环境要素中的营养盐状况进行了分析; 吴玉霖等^[6]分析了甲藻赤潮的海洋环境危害及其防治; 赵章元^[7]针对我国藻类泛滥的形势和研究成果, 阐述了藻类爆发的机理和治理方法。

藻类细胞数量与环境因子之间联系密切, 环境的变化导致了各种藻类细胞数量的变化, 而藻类细胞数量的变化又进一步改变了海域的环境, 它们表现了互相矛盾又互相依赖的关系^[5]。现基于海州湾 2004 年 05 月 21 日—2004 年 10 月 03 日的圆筛

藻细胞数量和相关环境指标数据, 通过相关分析研究环境因子和藻类细胞数量间复杂的相关关系, 同时利用它们之间的相关性建立藻类细胞数量反演模型。

1 研究区域概况与数据获取

海州湾是我国沿海中部的一个典型开敞式海湾, 北起绣针河口, 南至灌河口, 全长近 170 km, 呈新月型。由于陆地有 17 条河流注入, 带来大量的有机质和营养盐类, 加上浅海辽阔、光照充足、潮流通畅, 并且拥有沙质海岸 41 km、基岩底质海岸 51 km 和泥质海岸 110 km, 这些条件使海州湾浮游生物十分丰富, 成为各种鱼类、贝类和食饵生长的理想场所。

海州湾监测站在连云港赤潮监控区布设了 6 个监测点位, 见图 1。

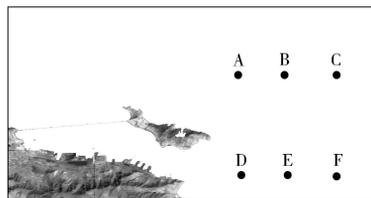


图 1 海州湾环境监测点位

收稿日期: 2006-03-31; 修订日期: 2006-11-20

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40606044)

作者简介: 潘雪峰 (1981—), 男, 江苏海安人, 硕士研究生, 从事海洋信息和生态环境学研究。

6 个监测点位的地理位置分别为 : A (N34 °48 , E119 °31)、B (N34 °48 , E119 °33)、C (N34 °48 , E119 °35)、D (N34 °44 , E119 °31)、E (N34 °44 , E119 °33)、F (N34 °44 , E119 °35)。主要监测的环境因子 : 水温、气压、pH 值、盐度、化学需氧量和溶解氧 ; 营养盐因子 : 磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、氨盐、硅酸盐和圆筛藻藻类。

2 藻类细胞数量与环境因子的相关分析

2.1 方法概述

通过相关系数可以衡量变量之间的紧密程度, 通常所说的相关是指 Pearson 相关, 表示两变量之间的线性相关, 有时两变量间的关系并非简单的线性相关, 而是一种复杂的相关关系。通过传统的 Spearson 相关检验无法探求它们之间关系, 但是, 通过 Kendall 偏秩相关和 Speaman 秩相关检验可以探求因子之间的复杂关系。Kendall 和 Speaman 反映两变量间单调相关性^[8], 相关系数及显著性检验见表 1。

表 1 相关系数及显著性检验

	Pearson (线性)	P - 值	Kendall (偏秩)	P - 值	Speaman (秩)	P - 值
水温	0.096	0.373	0.279	0	0.433	0
气压	0.490	0	0.327	0	0.517	0
pH	0.493	0	0.280	0	0.393	0
盐度	-0.344	0.001	-0.466	0	-0.700	0
化学需氧量	0.405	0	0.465	0	0.671	0
溶解氧	0.359	0.001	-0.044	0.55	-0.044	0.684
磷酸盐	0.090	0.403	0.380	0	0.598	0
亚硝酸盐	-0.107	0.322	0.216	0.003	0.371	0
硝酸盐	-0.039	0.716	0.267	0	0.420	0
氨盐	-0.217	0.043	-0.211	0.004	-0.323	0.002
硅酸盐	-0.116	0.282	-0.008	0.911	0.009	0.934

2.2 结果分析

2.2.1 与营养盐关系

由表 1 可知磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、氨盐、硅酸盐与圆筛藻藻类细胞数量间的相关关系。其中磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐 3 个因子和藻类细胞数量间的 pearson 相关系数均较小, 且 P - 值检验 > 0.05, 表明 3 个因子和藻类细胞数量间不存在线性相关关系, 而 kendall 系数和 speaman 系数 P - 值检验均 < 0.05, 表明 3 个因子和藻类细胞数量间存在单调相关性。单调相关性表明 3 个因子的细胞数量变化和藻类细胞数量变化在时间上并不同步。磷酸盐和

圆筛藻藻类细胞数量间表现为正单调相关, 即磷酸盐的增加也会导致藻类细胞数量的增加, 磷酸盐成为限制藻类细胞数量增长的限制因子。

由表 1 可知, 氨盐与藻类细胞数量间表现为负线性相关; 氨盐、亚硝酸盐、硝酸盐也与藻类细胞数量间呈负相关, 相关性大小依次为氨盐 > 亚硝酸盐 > 硝酸盐, 说明氨盐是圆筛藻吸收无机氮的主要形式, 更说明藻类细胞数量的增加是因为藻类不断吸收水体中的营养盐。因此, 防止赤潮发生必须限制水体中的营养盐。另外, 检验结果表明, 硅酸盐质量浓度的变化和圆筛藻藻类细胞数量的变化无相关关系, 可以认为它们之间是相互独立关系。

2.2.2 与其他环境因子关系

检验结果表明, pH 值、气压、化学耗氧量、盐度和藻类细胞数量间呈线性相关, 相关性大小依次为 pH 值 > 气压 > 化学需氧量 > 盐度, 4 个因子中只有盐度和圆筛藻藻类细胞数量呈负相关, 表明藻类细胞数量的增加是以消耗营养盐为基础。随着水体 pH 值增大、气压升高、化学需氧量增加, 以及盐度降低, 海水中圆筛藻藻类细胞数量也呈增加趋势。水温的检验系数表明, 水温和藻类细胞数量间呈现的是正单调相关, 而不是简单的线性相关, 即随着水温的升高、藻类细胞数量有增加趋势, 但是两者没有直接的因果关系。气压较高、高温低盐的环境有利于圆筛藻藻类生存。

表 1 中的溶解氧和藻类细胞数量间存在特殊的相关关系, Pearson、Kendall 和 Speaman 系数检验表明, 溶解氧与圆筛藻藻类细胞数量之间为单调性较差的线性相关, pH 值、溶解氧和藻类细胞数量有着良好的正相关, 主要是圆筛藻藻类利用光合作用吸收了 CO₂, 释放了大量 O₂, 导致溶解氧升高。水体中 H⁺ 含量减少, pH 值增大。

3 多元回归模型

3.1 数据处理

赤潮发生时, 藻类细胞数量的变化呈几何级数增长和减小, 同时各环境因子的变化比较缓和, 二者之间无线性关系, 所以根据统计学原理, 需要将原数据做相关转化。根据藻类细胞数量变化和环境因子变化之间的关系, 对藻类细胞数量取以 10 为底的对数, 即 Lg(BI), 其中 BI 为圆筛藻藻类细胞数量。

3.2 模型建立

由上述相关分析可知, 水温、磷酸盐、亚硝酸盐

和硝酸盐 4 个因子与藻类细胞数量间为单调相关, 而不是简单的线性相关; pH 值、气压、化学需氧量、盐度、溶解氧和氨盐 6 个因子与藻类细胞数量间为线性相关。于是在运用统计方法建立藻类细胞数量的多元回归模型时, 仅将与藻类细胞数量间存在线性相关的 6 个环境因子作为自变量, 将 84 组数据中的 60 组用来进行回归分析, 其余 24 组用来检验数据。通过全回归分析得回归模型:

$$Y = -94.198 + 3.012x_1 + 0.077x_2 + 0.814x_3 - 0.061x_4 - 0.518x_5 - 10.325x_6 \quad (1)$$

式中: Y 代表 $Lg(BD)$, $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 分别代表 pH 值、气压、化学需氧量、盐度、溶解氧和氨盐。方程的相关系数为 0.856, F 值为 17.811, 显著性水平为 0, 表明用环境因子为自变量, 圆筛藻藻类细胞数量以 10 为底的对数为因变量回归时, 分析具有良好的相关性。

3.3 模型检验

将 24 组数据中的 pH 值、气压、化学需氧量、盐度、溶解氧和氨盐带入回归模型 (1) 即可得预测值 Y_i , 由方程:

$$Z_i = \frac{|Y_i - Y_i|}{Y_i} \times 100\%, \quad Z = \frac{\sum_{i=1}^{24} Z_i}{24}$$

式中: Y_i ——对实测藻类细胞数量取以 10 为底的对数值;

Z_i ——每个测点的预测值相对于实测值的相对误差百分比;

Z ——平均相对误差。

检验结果为 24 组数据的平均相对误差为 15.9%, 由此可见, 通过上述回归模型可以为圆筛藻藻类细胞数量的预测提供借鉴。

3.4 模型应用

根据安达六郎^[9]对赤潮发生的判断标准, 藻类直径在 100 μm ~ 299 μm 间, 当海域里该藻类细胞数量达到 $1 \times 10^5 \text{ L}^{-1}$ 时, 则可称发生此种藻类赤潮。圆筛藻藻类的直径为 180 μm ~ 300 μm , 当海域中圆筛藻藻类细胞数量达 $1 \times 10^5 \text{ L}^{-1}$ 时, 可称圆筛藻赤潮发生。为了对藻类进行动态监测, 当细胞数量达 $5 \times 10^3 \text{ L}^{-1}$ 时, 为圆筛藻赤潮的警戒值。

结果表明, 当藻类细胞数量取以 10 为底的对数, Y 值为 5 时, 表明圆筛藻赤潮发生, Y 值为 3.7 时, 为圆筛藻赤潮的警戒值, 此时政府和渔民应做好相关的防护工作, 同时需用更科学的方法加大监

测力度, 监测海域中各种藻类生物量。在 84 组实测数据中, 藻类细胞数量值超过警戒值的有 20 组, 通过回归模型可以检测出其中的 17 组, 此外还有 2 组为误判, 检验结果见表 2。该模型可以为圆筛藻藻类细胞数量变化和赤潮监测提供参考。

表 2 藻类细胞数量实测结果与模型检验

序号	优势藻类	采样编号	站位	实测		预测	
				Lg (BD)	超过警戒值	Lg (BD)	超过警戒值
1	圆筛藻	20040521	A	1.7	否	1.36	否
2	圆筛藻	20040521	E	2.4	否	1.34	否
3	夜光藻	20040525	A	2.51	否	1.87	否
4	夜光藻	20040525	B	2.23	否	1.65	否
5	夜光藻	20040525	C	2.01	否	1.45	否
6	夜光藻	20040526	A	1.2	否	0.78	否
7	夜光藻	20040526	B	1.15	否	0.84	否
8	夜光藻	20040528	B	0.9	否	1.21	否
9	夜光藻	20040528	D	0.6	否	0.75	否
10	夜光藻	20040528	E	0.78	否	0.93	否
11	夜光藻	20040607	A	0.48	否	0.58	否
12	圆筛藻	20040607	B	0.3	否	0.43	否
13	夜光藻	20040607	C	1.2	否	1.58	否
14	圆筛藻	20040607	D	0.3	否	0.41	否
15	圆筛藻	20040607	E	1.08	否	1.33	否
16	圆筛藻	20040607	F	1.32	否	1.63	否
17	圆筛藻	20040613	A	0.48	否	0.67	否
18	圆筛藻	20040613	B	0.3	否	0.41	否
19	圆筛藻	20040613	C	1.11	否	1.44	否
20	圆筛藻	20040613	D	1.41	否	1.76	否
21	圆筛藻	20040613	E	0.85	否	1.21	否
22	圆筛藻	20040621	A	0.95	否	0.91	否
23	圆筛藻	20040621	B	0.78	否	0.99	否
24	圆筛藻	20040621	C	1.77	否	1.94	否
25	圆筛藻	20040621	D	0.6	否	0.77	否
26	圆筛藻	20040621	E	1.23	否	0.99	否
27	圆筛藻	20040621	F	1.7	否	1.34	否
28	圆筛藻	20040628	A	2.68	否	2.94	否
29	圆筛藻	20040628	B	2.19	否	2.44	否
30	圆筛藻	20040628	C	1.64	否	1.62	否
31	圆筛藻	20040628	D	1.0	否	0.87	否
32	圆筛藻	20040628	E	0.78	否	0.63	否
33	圆筛藻	20040628	F	1.72	否	1.42	否
34	圆筛藻	20040707	A	2.11	否	1.92	否
35	圆筛藻	20040707	B	2.16	否	1.93	否
36	圆筛藻	20040707	D	2.06	否	1.85	否
37	角毛藻	20040713	A	2.25	否	1.74	否
38	角毛藻	20040713	B	1.51	否	1.17	否
39	角毛藻	20040713	C	1.72	否	1.4	否

续表

序号	优势藻类	采样编号	站位	实测		预测	
				Lg (B D)	超过警戒值	Lg (B D)	超过警戒值
40	角毛藻	20040713	D	1.62	否	1.33	否
41	角毛藻	20040713	E	1.46	否	1.25	否
42	角毛藻	20040713	F	1.52	否	1.16	否
43	角毛藻	20040721	D	2.15	否	2.14	否
44	圆筛藻	20040821	A	2.47	否	2.58	否
45	三角角藻	20040821	B	2.08	否	2.27	否
46	圆筛藻	20040821	C	2.12	否	2.42	否
47	圆筛藻	20040821	D	2.6	否	2.79	否
48	三角角藻	20040821	E	2.45	否	2.61	否
49	中肋骨条藻	20040828	A	2.89	否	3.11	否
50	中肋骨条藻	20040828	B	3.09	否	2.56	否
51	中肋骨条藻	20040828	C	3.12	否	2.51	否
52	中肋骨条藻	20040828	D	2.86	否	3.06	否
53	中肋骨条藻	20040828	E	3.01	否	2.67	否
54	中肋骨条藻	20040828	F	3.06	否	2.69	否
55	圆筛藻	20040906	A	3.79	是	3.51	否
56	圆筛藻	20040906	B	3.83	是	3.71	是
57	圆筛藻	20040906	C	3.84	是	3.73	是
58	圆筛藻	20040906	D	4.17	是	3.94	是
59	叉状角藻	20040913	A	4.85	是	4.31	是
60	叉状角藻	20040913	B	4.43	是	4.1	是
61	圆筛藻	20040913	C	3.68	否	3.22	否
62	叉状角藻	20040913	E	4.56	是	4.22	是
63	叉状角藻	20040913	F	3.77	是	3.31	否
64	叉状角藻	20040921	A	3.84	是	4.02	是
65	叉状角藻	20040921	B	3.47	否	3.83	是
66	叉状角藻	20040921	C	3.4	否	3.79	是
67	叉状角藻	20040921	D	3.53	否	3.14	否
68	叉状角藻	20040921	E	3.55	否	3.13	否
69	叉状角藻	20040921	F	3.4	否	3.01	否
70	多纹膝沟藻	20040929	A	3.45	否	3.39	否
71	圆筛藻	20040929	B	4.0	是	3.79	是
72	多纹膝沟藻	20040929	C	3.6	否	3.43	是
73	多纹膝沟藻	20040929	D	3.87	是	4.24	是
74	多纹膝沟藻	20040930	B	3.76	是	4.12	是
75	多纹膝沟藻	20040930	C	3.94	是	4.43	是
76	多纹膝沟藻	20040930	D	4.41	是	4.72	是
77	多纹膝沟藻	20040930	E	3.32	否	3.5	否
78	多纹膝沟藻	20040930	F	3.39	否	3.59	否
79	圆筛藻	20041003	A	4.65	是	4.25	是
80	圆筛藻	20041003	B	4.53	是	4.14	是
81	圆筛藻	20041003	C	4.56	是	4.18	是
82	链状亚历山大藻	20041003	D	3.77	是	3.32	否
83	圆筛藻	20041003	E	4.18	是	3.73	是
84	圆筛藻	20041003	F	4.19	是	3.84	是

4 结论

磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐与圆筛藻藻类细胞数量之间表现为单调相关,其中磷酸盐为藻类生长的主要营养盐限制因子;氨盐与藻类细胞数量间为负线性相关,且氨盐为藻类吸收无机氮的主要形式。硅酸盐浓度的变化与藻类细胞数量的变化是相互独立。

pH 值、气压、化学需氧量、溶解氧与藻类细胞数量之间为正线性相关,相关性大小为 pH 值 > 气压 > 化学需氧量 > 溶解氧,盐度与藻类细胞数量间为负线性相关,水温和藻类细胞数量间表现为正单调相关。

以环境因子为自变量,圆筛藻藻类细胞数量以 10 为底的对数值为因变量,进行多元回归分析,具有良好的相关性。根据回归方程可以为监测圆筛藻藻类细胞数量变化和赤潮发生提供参考。

[参考文献]

[1] 徐颖. 连云港附近海域水环境质量评价 [J]. 海洋环境科学, 2001, 20(4): 54 - 57.

[2] 黄蓉. 浙江沿海赤潮状况及防治对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(5): 29 - 30.

[3] 齐雨藻, 洪英, 吕颂辉, 等. 南海大鹏湾海洋褐胞藻赤潮及其成因 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 132 - 138.

[4] GU H F, LAN D Z, FANG Q, et al. Cyst Formation, Development of *Alexandrium Tamarense* from Yangtse River Estuary and Its Relation to Bloom Dynamics [J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(9): 1025 - 1031.

[5] 洪君超, 黄秀清, 蒋晓山, 等. 长江口中肋骨条藻赤潮发生过程环境要素分析 - 营养盐状 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(2): 179 - 184.

[6] 吴玉霖, 周成旭. 甲藻赤潮的海洋环境危害及其防治 [J]. 海洋环境科学, 1997, 16(4): 59 - 63.

[7] 赵章元. 我国江河湖海除藻的治标与治本浅析 [J]. 环境保护, 2000, (8): 29 - 30.

[8] JEAN D G, SUBHABRATA C. Nonparametric Statistical Inference [M]. New York: M. Dekker, 1992, 334 - 382.

[9] 安达六郎. 赤潮生物 赤潮生态 [J]. 水产土木, 1973, 9(1): 31 - 36.

本栏目责任编辑 张启萍