

利用模糊综合方法评价长江口海水富营养化水平

陈鸣渊^{1, 2}, 俞志明¹, 宋秀贤¹, 曹西华¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋生态和环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 根据 2004 年 4 个季度的调查数据, 以化学需氧量 (COD)、溶解无机氮 (DIN)、磷酸盐 (PO₄-P)、叶绿素 a (Chl-a) 和溶解氧 (DO) 作为评价指标, 运用模糊综合评价模型对长江口海域海水富营养化水平进行评价。结果表明, 约有一半的调查站点呈现富营养化, 长江口门及冲淡水区 (122.5°E 以西) 富营养化程度较高, 外海 (122.5°E 以东) 富营养化程度较低, 富营养程度从外海向近岸增加。富营养化区域全年大部分都分布于盐度小于 20 的一侧, 呈明显的季节分布和区域分布, 表明长江口海域的富营养化水平主要受到长江冲淡水的控制。

关键词: 长江口; 富营养化; 评价; 模糊方法

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2007)11-0047-08

富营养化是指水体中限制性营养盐的增加及其引起生态系统的相应变化^[1]。富营养化破坏了水域的生态平衡, 使原有的生态系统发生结构的改变^[2,3]和功能的退化^[4], 并引起赤潮的爆发^[5,6]。鉴于富营养化的范围越来越广, 危害越来越大, 富营养化问题已经受到国际社会广泛的关注, 长江口水域发生赤潮次数远高于渤海和南海。特别是 2004 年 5 月在长江口至杭州湾海域, 发生了特大规模的赤潮。了解长江口海域海水的富营养化水平, 对保护长江口海域的环境质量, 合理开发利用长江口海域, 并对预防和治理该海域的赤潮有重要的意义。目前评价富营养化水平的方法很多, 但尚没有统一的标准。模糊综合评价是目前较为准确客观的富营养化评价方法, 已被用于珠江口^[7,8]、厦门湾^[9]、胶州湾^[10]等河口海湾的富营养化水平的评价。为了解掌握长江口富营养化水平, 作者在现场调查基础上, 运用模糊综合评价模型对长江口海域富营养化进行评价。

1 研究方法

1.1 调查和分析

2004 年对长江口水域相关富营养化参数进行

了季度调查, 从河道内、口门、冲淡水区到外海, 共设调查站位 40 个, 具体站位位置见图 1。

调查的指标包括化学耗氧量 (COD)、溶解氧 (DO)、叶绿素 a (Chl-a)、硝酸盐 (NO₃-N)、亚硝酸盐 (NO₂-N)、氨氮 (NH₄-N)、正磷酸盐 (PO₄-P)。用不锈钢采水器采水, 溶解氧用碱性碘化钾和氯化锰固定, 当日测定, 营养盐用 0.3% 氯仿固定, 冷冻保存, 回实验室分析。COD 用碱性高锰酸钾法, Chl-a 用荧光法, DO 用碘量滴定法, NO₃-N 用铜镉还原法, NO₂-N 用重氮偶氮法, NH₄-N 用靛酚兰法, PO₄-P 用磷钼蓝法。其中各项营养盐测试在荷兰制 Skalar San&plus 微量自动分析系统上完成。

收稿日期: 2006-06-07; 修回日期: 2006-10-10

基金项目: 国家基金重点项目 (50339040); 中国科学院知识创新重点方向项目 (KZCX3-SW-232); 国家重点基础研究项目 (2001CB409710)

作者简介: 陈鸣渊 (1981-), 男, 浙江湖州人, 硕士, 研究方向: 海洋富营养化与评价方法, E-mail: chenmingyuan@ms.qdio.ac.cn; 俞志明, 通讯作者, E-mail: zyu@ms.qdio.ac.cn

1.2 模糊综合评价模型简介

1.2.1 评价标准的选择

选取评价的指标有 COD、DIN（总无机氮，NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N 之和）、PO₄-P、Chl-a、DO，采用表层水的测定值。COD、DIN、PO₄-P、DO 以国家海水水质标准（GB3097-1997）为基础。由于没有

Chl-a 的标准，根据本次调查的数据及长江口海域的历史资料^[11-13]，长江口水体中的 Chl-a 浓度不高，除发生赤潮等极端条件下，一般 Chl-a 的最高值在 5 μg/L 左右，因此参考文献资料^[8,9,14]暂定长江口海水营养评价标准（表 1）为长江口海域海水富营养化水平的评价标准。

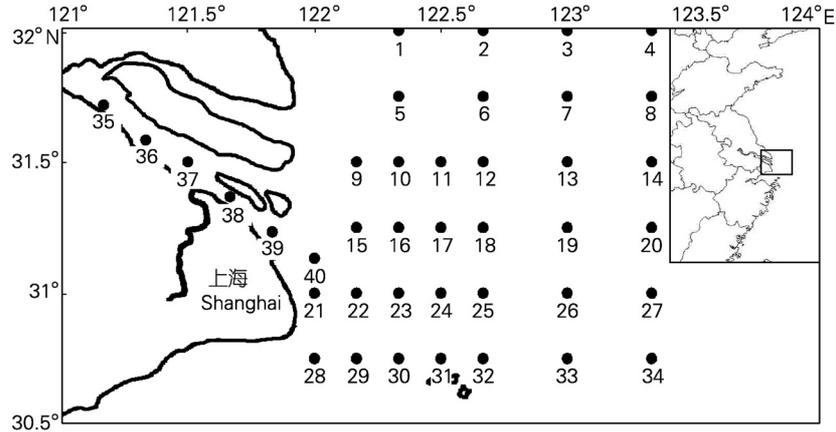


图 1 长江口调查站位

Fig.1 Survey stations in the Changjiang estuary

表 1 长江口海水营养评价标准

Tab.1 Trophic classes of seawater in the Changjiang estuary

指标	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (μg/L)	DO (mg/L)
I (贫营养)	2	0.20	0.015	1	6
II (中度营养)	3	0.30	0.030	3	5
III (富营养)	4	0.40	0.045	5	4

1.2.2 单因子隶属函数

各评价因子的隶属函数用下列通式表示：

$$f_{i1}(X_i) = \begin{cases} 1 & X_i \leq S_{i1} \\ \frac{S_{i2} - X_i}{S_{i2} - S_{i1}} & S_{i1} < X_i < S_{i2} \\ 0 & X_i \geq S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i3}(X_i) = \begin{cases} 0 & X_i \leq S_{i1} \\ \frac{X_i - S_{i2}}{S_{i3} - S_{i2}} & S_{i2} < X_i < S_{i3} \\ 1 & X_i \geq S_{i3} \end{cases}$$

由于溶解氧的标准值随等级的升高而降低，则计算式改为：

$$f_{i2}(X_i) = \begin{cases} 0 & X_i \leq S_{i1}, X_i \geq S_{i2} \\ \frac{X_i - S_{i1}}{S_{i2} - S_{i1}} & S_{i1} < X_i < S_{i2} \\ \frac{S_{i3} - X_i}{S_{i3} - S_{i2}} & S_{i2} < X_i < S_{i3} \\ 1 & X_i = S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i1}(X_i) = \begin{cases} 1 & X_i \geq S_{i1} \\ \frac{X_i - S_{i2}}{S_{i1} - S_{i2}} & S_{i2} < X_i < S_{i1} \\ 0 & X_i \leq S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i2}(X_i) = \begin{cases} 0 & X_i \leq S_{i3}, X_i \geq S_{i1} \\ \frac{X_i - S_{i3}}{S_{i2} - S_{i3}} & S_{i3} < X_i < S_{i2} \\ \frac{S_{i1} - X_i}{S_{i1} - S_{i2}} & S_{i2} < X_i < S_{i1} \\ 1 & X_i = S_{i2} \end{cases}$$

$$f_{i3}(X_i) = \begin{cases} 1 & X_i \leq S_{i3} \\ \frac{S_{i2} - X_i}{S_{i2} - S_{i3}} & S_{i3} < X_i < S_{i2} \\ 0 & X_i \geq S_{i2} \end{cases}$$

上面各式中 f 为隶属函数, X 为各因子的实测值, i 为某评价因子, S 为海水标准值, 下标 1,2,3 为对应的海水标准级别。根据上述各式求出 i 因子分别对各级海水的隶属度, 并由此确定模糊矩阵 R 。

$$R = \begin{Bmatrix} f_{11}, f_{12}, f_{13} \\ f_{21}, f_{22}, f_{23} \\ \dots \\ f_{i1}, f_{i2}, f_{i3} \end{Bmatrix}$$

1.2.3 权重的计算

这里采用污染因子贡献率权重, 因为各因子对富营养化的贡献率大小不同。

$$\text{公式 } W_i = \frac{X_i}{\bar{S}_i}, \quad \bar{S}_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 S_{ij}$$

对于 DO, 则有 $W_i = \frac{\bar{S}_i}{X_i}$, 对 W_i 作归一化处

理, 则 $\bar{W} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$

组成模糊向量 $A = \{\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n\}$ 。上列各式中 i 为各单项因子, X_i 为 i 因子的实测值, S_{ij} 为 i 因子 j 级海水标准值 (这里为 3 级标准), \bar{S}_i 为 i 因子的各级海水标准值的平均值, n 为进行评价的因子的个数 ($n=5$)。

1.2.4 综合评价

综合评价矩阵 $Y = A \times R$ 。 Y 这里为 1×3 矩阵, 分别表示对 I, II, III 级的隶属度, 以隶属度最大的等级为该处海水的富营养化等级。

2 结果

2.1 季节的变化

为反映海水富营养化水平的季节性变化, 对各季度的数据分别进行了评价。选择数据完整有代表性的站点 2, 5, 6, 11~14, 16~20, 22, 23, 25, 29, 30, 32, 33, 35, 37~40 共 24 个站。

各站点的隶属度及海水等级见表 2。为便于直观分析, 将各站点的海水营养水平按季度画成图 (图 2)。

2.2 年平均水平

为反映长江口海水总的富营养化水平, 对上述站点各季度数据的平均值进行模糊评价, 结果见表 3。

3 讨论

3.1 几种评价方法的比较

长江口海域海水各项指标的年平均值中, COD 全部优于二类海水水质标准; $PO_4\text{-P}$ 除了 40 号站外也全部达到二类海水水质标准; 溶解氧则均达到一类海水水质标准; Chl-a 也只有 2 号和 11 号站高于 $5 \mu\text{g/L}$; 而 DIN 劣于二类海水水质标准的有 15 个站, 占总调查站位数的 62.5%, 其中劣于四类海水水质标准的有 10 个站, 达到总调查站位数的 41.7%; 可见长江口海域的主要污染物为 DIN。通过计算可知, 除了外海的 19, 20 号站, 绝大多数站点的 DIN/ $PO_4\text{-P}$ 摩尔比都大于 30, 口门内的 35, 37 号站最高达 139, 远远高于 Redfield 值 16, 说明长江口海域的营养盐结构不平衡, 而冲淡水带来的无机氮的量远大于磷酸盐的量可能是主要原因。同时, 绝大多数站点的 $PO_4\text{-P}$ 质量浓度小于 0.03mg/L ($0.97\mu\text{g/L}$), 说明长江口海域可能属于磷限制性的富营养化水平^[14]。一旦由于某种原因, 海水中的 $PO_4\text{-P}$ 浓度增大, 很可能发生赤潮。

常见的评价富营养化的方法有营养状态质量法 (I_{NQ})^[15], 公式为 $I_{NQ} = C_{\text{COD}}/C_{\text{COD0}} + C_{\text{DIN}}/C_{\text{DIN0}} + C_{\text{DIP}}/C_{\text{DIP0}} + C_{\text{Chla}}/C_{\text{Chla0}}$, 分子项为各指标的监测值, 分母项为它们的标准值 (本文采用表 1 中第 III 级的标准)。然后根据 I_{NQ} 值, $I_{NQ} > 3$ 为富营养水平, $I_{NQ} < 2$ 为贫营养水平, I_{NQ} 值介于 2 和 3 之间则为中等营养水平。还有营养指数法, 其营养指数计算式^[16]为: $E = C_{\text{COD}}(\text{mg/L}) \times C_{\text{DIN}}(\text{mg/L}) \times C_{\text{DIP}}(\text{mg/L}) \times 10^6 / 4500$, $E > 1$ 即为富营养化。上述两种方法评价的结果分别见图 3 和图 4。

表 2 长江口各站点营养水平的季节变化

Tab.2 The seasonal changes of the nutrient status of every station in the Changjiang estuary

站点	2004-02			等级	2004-05			等级
	隶属度				隶属度			
	I	II	III		I	II	III	
2	0.807	0.193	0	I	0.140	0	0.860	III
5	0.648	0.352	0	I	0.147	0.198	0.655	III
6	0.874	0.126	0	I	0.131	0.026	0.843	III
11	0.505	0.495	0	I	0.182	0.036	0.782	III
12	0.681	0.319	0	I	0.968	0.032	0	I
13	0.617	0.383	0	I	0.518	0.036	0.447	I
14	0.973	0.027	0	I	0.527	0.473	0	I
16	0.432	0.189	0.379	I	0.312	0.093	0.595	III
17	0.872	0.128	0	I	0.483	0.374	0.143	I
18	0.884	0.116	0	I	0.250	0.062	0.688	III
19	0.693	0.307	0	I	0.527	0.246	0.226	I
20	0.643	0.357	0	I	0.576	0.420	0.004	I
22	0.428	0.036	0.536	III	0.168	0.283	0.549	III
23	0.585	0.108	0.307	I	0.376	0.091	0.533	III
25	0.784	0.216	0	I	0.214	0.351	0.435	III
29	0.222	0.180	0.598	III	0.201	0.304	0.494	III
30	0.251	0.263	0.486	III	0.157	0.279	0.564	III
32	0.679	0.321	0	I	0.626	0.307	0.067	I
33	0.567	0.433	0	I	0.648	0.352	0	I
35	0.257	0	0.743	III	0.173	0.162	0.666	III
37	0.135	0.049	0.816	III	0.204	0.154	0.641	III
38	0.124	0.113	0.763	III	0.310	0.157	0.532	III
39	0.127	0.084	0.789	III	0.101	0.146	0.753	III
40	0.246	0.034	0.720	III	0.195	0.146	0.660	III

站点	2004-08			等级	2004-11			等级
	隶属度				隶属度			
	I	II	III		I	II	III	
2	0.760	0.240	0	I	0.974	0.026	0	I
5	0.390	0.357	0.253	I	0.983	0.017	0	I
6	0.559	0.004	0.437	I	0.941	0.059	0	I
11	0.465	0	0.535	III	0.613	0.260	0.127	I
12	0.825	0.175	0	I	0.997	0.003	0	I
13	1	0	0	I	0.836	0.164	0	I
14	1	0	0	I	0.928	0.072	0	I
16	0.140	0.168	0.692	III	0.579	0.255	0.166	I

表 2 续

站位	2004-08				2004-11			
	隶属度			等级	隶属度			等级
	I	II	III		I	II	III	
17	0.289	0.090	0.621	III	0.563	0.188	0.249	I
18	0.541	0.090	0.369	I	0.249	0.160	0.591	III
19	1	0	0	I	1	0	0	I
20	0.403	0	0.597	III	0.997	0.003	0	I
22	0.108	0.193	0.699	III	0.337	0.070	0.593	III
23	0.395	0.127	0.479	III	0.196	0.145	0.659	III
25	0.662	0.338	0	I	0.498	0.013	0.489	I
29	0.326	0.049	0.626	III	0.516	0	0.484	I
30	0.332	0.036	0.632	III	0.472	0.014	0.514	III
32	0.591	0.094	0.316	I	0.517	0.072	0.412	I
33	0.795	0.205	0	I	0.624	0.376	0	I
35	0.277	0.056	0.667	III	0.272	0.076	0.652	III
37	0.298	0	0.702	III	0.297	0.029	0.673	III
38	0.282	0.088	0.630	III	0.234	0.091	0.675	III
39	0.315	0.051	0.634	III	0.303	0.056	0.641	III
40	0.148	0.087	0.765	III	0.182	0.022	0.797	III

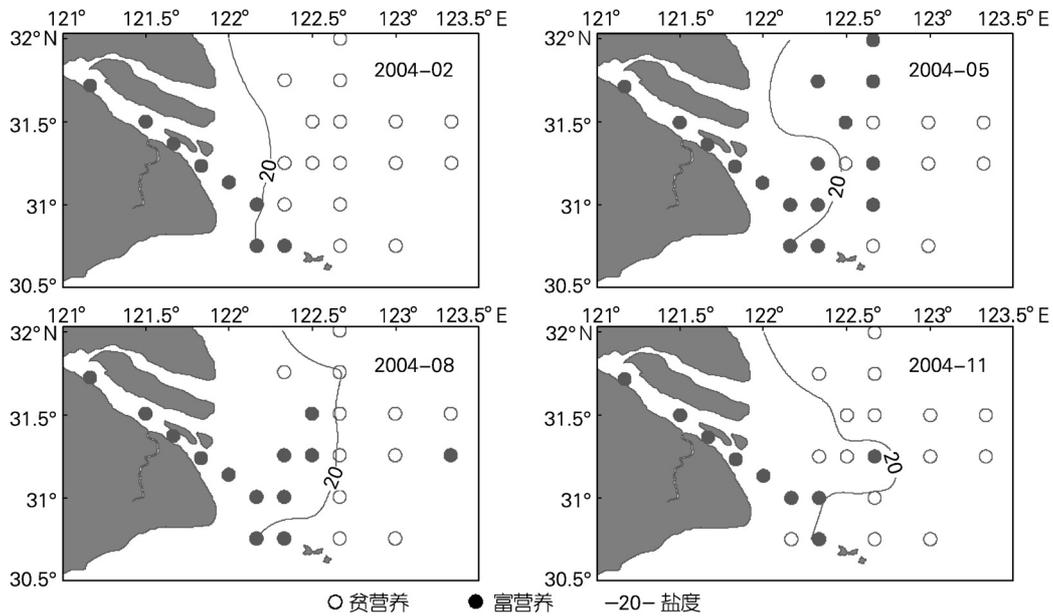


图 2 长江口各站点营养水平的季节变化

Fig.2 The seasonal changes of the nutrient status of every station in the Changjiang estuary

表 3 各站点平均富营养水平

Tab.3 The mean nutrient status of every station

站点	隶属度			等级
	I	II	III	
2	0.506	0.037	0.457	I
5	0.561	0.439	0	I
6	0.644	0.356	0	I
11	0.310	0.037	0.653	III
12	0.959	0.041	0	I
13	0.936	0.064	0	I
14	0.994	0.006	0	I
16	0.343	0.228	0.428	III
17	0.526	0.027	0.447	I
18	0.525	0.332	0.142	I
19	0.949	0.051	0	I
20	0.665	0.335	0	I
22	0.255	0.241	0.503	III
23	0.393	0.138	0.468	III
25	0.499	0.207	0.295	I
29	0.347	0.160	0.493	III
30	0.314	0.226	0.460	III
32	0.629	0.295	0.076	I
33	0.864	0.136	0	I
35	0.276	0.039	0.686	III
37	0.255	0.060	0.685	III
38	0.234	0.101	0.664	III
39	0.184	0.136	0.680	III
40	0.200	0.114	0.685	III

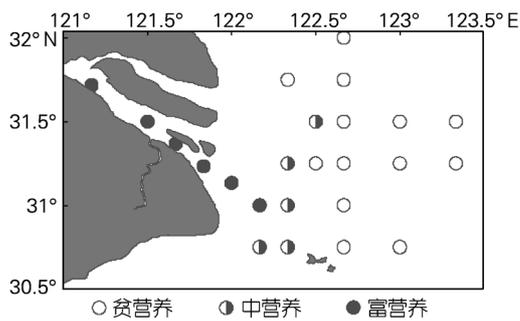


图 3 I_{NQ} 分布
Fig.3 Distribution of I_{NQ}

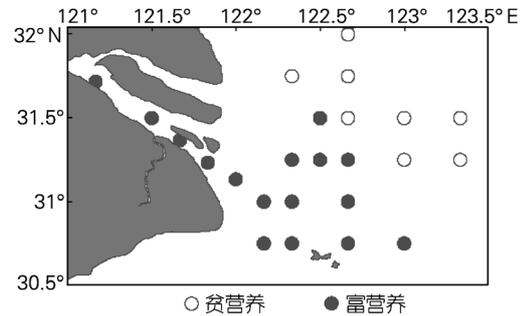


图 4 E 值分布
Fig.4 Distribution of E

由于 I_{NQ} 公式的特点,当只有一项指标很高而其余指标较低时,计算得到的 I_{NQ} 值可能较低而掩盖了高浓度指标的影响。而长江口海域的情况正是如此,水质指标大部分属于良好,只有 DIN 大幅超标。因此用 I_{NQ} 值评价长江口富营养化,可能会削弱 DIN 的影响。而根据富营养化的定义^[1],富营养化不仅应包括营养盐的增加,还应包括生态系统的变化。而 E 值公式中不含有生物相关的指标,而且从调查的数据看,长江口普遍存在高营养盐、低生物量的情况,因此用 E 值评价可能会夸大营养盐的作用。

从图 3 和图 4 可以看到,用 I_{NQ} 评价得到的富营养化范围较小,而用 E 值评价得到的富营养化范围较大。因此,评价长江口这样情况比较特殊的区域的富营养化水平, I_{NQ} 值和 E 值的方法就显得并不十分适用。

3.2 用模糊的方法评价

由表 2 可知,长江口海域海水营养化水平的季节变化比较明显。秋季和冬季(11 月和 2 月)水质好的站点数较多,而春季和夏季(5 月和 8 月)处于富营养水平的站点数明显增多。通过分析各季节的数据可知,这个变化主要是因为春夏两季各站点的营养盐和叶绿素 a 普遍增加所导致的。这与春夏季长江处于丰水期,冲淡水的流量增大、入海营养盐(主要为各种形式的 N, P)增多^[18,19]以及春夏季气温较高、生物生长繁殖较快的事实符合。

从图 2 可以看出,长江口海水营养化水平的区域分布也有明显的特征。秋冬季,富营养的区域主要分布在从口门内到杭州湾口的 21, 29, 35, 37, 38, 39, 40 等站点附近区域一带;春夏季富营养化的区

域扩大,除秋冬两季的区域,范围向北偏东扩展到 11, 16 等站点附近,5 月份范围最大,一直延伸到调查最北的 2 号站。长江冲淡水常年顺河道直下东南,5~6 月开始转向^[20,21],冲淡水的影响区域与处于富营养水平的水域范围大体一致。结合盐度的范围,长江口处于富营养化水平的站点,除了 5 月份少数几个站之外,大部分分布在盐度小于 20 的一侧。可见,长江口富营养水平的水域随着长江冲淡水的范围的变化而变化,一年四季长江冲淡水都是导致该海域水体富营养化的一个主要原因。

将各调查站点调查数据的年平均值进行评价(表 3)后,可以将长江口海域划分为两个区域(图 5)。从长江口门内到 122.5°E 一线(图 5 中虚线)为一个区域,这个区域为长江冲淡水的主要控制区域, N, P 营养盐及有机物的浓度较高,海水富营养程度较高,水质较差。122.5°E 以东为另一区域,这里靠近外海,海水营养程度较低,水质较好。

模糊综合评价由于加上了权重的计算,既不会像 I_{NQ} 值那样削弱 DIN 的影响,也不会像 E 值那样夸大营养盐的作用,评价结果较为合理,与海洋环境质量公报^[17]的结果也较一致。可见长江口富营养化水平较适宜用模糊综合评价。

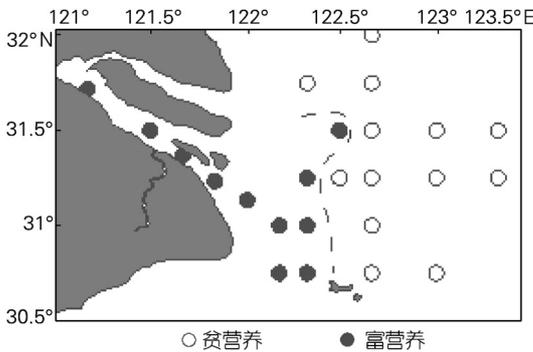


图 5 长江口海域海水营养状况

Fig.5 Nutrient levels of seawater for the Changjiang estuary

3.3 长江口富营养化的特点

长江口与珠江口、胶州湾等河口海湾富营养化的相同之处是靠近河口的区域富营养化程度较为严重,而靠近外海的海水水质较好,而且在长江口这种现象受长江冲淡水的影响更为明显,显示了河流对河

口附近海域海水营养程度有着很大的作用。随着人类活动加剧,对河流的影响越来越大,如果不加以控制,势必会影响到河口等海域的水质。

与上述河口海湾相比,长江口还有自己的特征,就是长江口海域的海水只属于贫营养和富营养而基本没有中营养的站点,这可能与长江冲淡水较明显的锋面有关,这从盐度 20 这条等盐线两侧不同的富营养程度可以看出。同时可能是由长江口高营养盐和相对较低的叶绿素含量决定,反映在评价上即为等级 I 和等级 III 的隶属度都较高,而等级 II 的隶属度就小得多。这两点都跟长江冲淡水有密切的关系。

4 结语

与 I_{NQ} 、营养指数 E 等方法相比,用模糊的方法评价能较客观地反映污染的综合实况,更适用于长江口海域的富营养化评价。长江口海域 DIN 超标较严重,呈现磷限制性的富营养化特点。长江口水域约有一半的调查站点呈现富营养化,富营养化程度由外海向近岸增加。

富营养化区域的季节变化与长江的枯水丰水期吻合,且呈富营养水平的站点全年均基本分布于盐度小于 20 的一侧,表明长江冲淡水对该海域海水的富营养化起重要作用。

参考文献:

- [1] Smetacek V. Coastal eutrophication: causes and consequences[A]. Mantoued M. Ocean Marine Processed in Global Change [C]. New York: John Wiley & Sons, 1991.251-279.
- [2] Telesh I V, Alimov A F, Golubkov S M, et al. Response of aquatic communities to anthropogenic stress: a comparative study of Neva Bay and the eastern Gulf of Finland[J]. *Hydrobiologia*, 1999,393: 95-105.
- [3] Capriulo G M, Smith G, Troy R, et al. The planktonic food web structure of a temperate zone estuary, and its alteration due to eutrophication[J]. *Hydrobiologia*, 2002,475-476: 263-333.
- [4] Diaz R J, Rosenberg R. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna[J]. *Oceanography Marine Biology Annual Review*, 1995, 33: 245-303.
- [5] Riegman R, Noordeloos A M, Cadée G. Phaeocystis blooms and eutrophication of the continental coastal zones

- of the North Sea[J]. **Marine Biology**, 1992,112:479-484.
- [6] Margalef R. Red tides and ciguatera as successful ways in the evolution and survival of an admirable old phylum[A]. Reguera B, Blanco J, Fernandez M L.Harmful Algae[C]. Vigo, Spain:proceedings of the VIII Interational Conference on Harmful Algae,1997.3-7.
- [7] 熊德琪, 陈守煜. 海水富营养化模糊评价模式[J]. 海洋环境科学, 1993, **12** (3-4): 104-110.
- [8] 彭云辉, 王肇鼎. 珠江河口富营养化水平评价[J]. 海洋环境科学, 1991, **10** (3): 7-13.
- [9] 林辉, 张元标, 陈金民. 厦门海域水体富营养程度评价[J]. 台湾海峡, 2002, **21** (2): 154-161.
- [10] 姚云, 沈志良. 胶州湾海水营养化水平评价[J]. 海洋科学, 2004, **28** (6): 14-17, 24.
- [11] 沈新强, 蒋玫, 袁骥. 长江河口区叶绿素 a 分布的研究[J]. 中国水产科学, 1999, **6** (5): 1-5.
- [12] 夏滨, 吕瑞华, 孙丕喜. 2000 年秋季黄、东海典型海区叶绿素 a 的时空分布及其粒径组成特征[J]. 黄渤海海洋, 2001, **19**(4): 37-42.
- [13] 周伟华, 袁翔城, 霍文毅, 等. 长江口邻域叶绿素 a 和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2004, **26** (3): 143-150.
- [14] 郝建华, 霍文毅, 俞志明. 胶州湾增殖海域营养状况与赤潮形成的初步研究[J]. 海洋科学, 2000, **24** (4): 37-41.
- [15] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨[J]. 海洋环境科学.1983, **12**(2): 41-55.
- [16] 陈于望. 厦门海域水质的评价[J]. 海洋环境科学, 1989, **8** (1): 27-33.
- [17] 国家海洋局. 2004 中国海洋环境质量公报[R].北京: 国家海洋局, 2005.
- [18] 王保栋, 战闰, 藏家业. 长江口及其临近海域营养盐的分布特征和输送途径[J]. 海洋学报, 2002, **24** (1): 53-58.
- [19] 沈志良. 长江氮的输送通量[J]. 水科学进展, 2004, **15** (6): 752-759.
- [20] 潘玉球, 王康培, 黄树生. 长江冲淡水输运和扩散途径的分析[J]. 东海海洋, 1997, **15** (2): 25-34.
- [21] 周名江, 颜天, 邹景忠. 长江口临近海域赤潮发生区基本特征初探[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (7): 1 031-1 038.

Evaluation of fuzzy synthesis to assess the seawater eutrophication in the Changjiang estuary

CHEN Ming-yuan^{1,2}, YU Zhi-ming¹, Song Xiu-xian¹, Cao Xi-hua¹

(1. The Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. The Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Received: Jun., 7, 2006

Key words: Changjiang estuary; eutrophication; evaluation; fuzzy synthesis

Abstract: Based on seasonal data for 2004, COD, DIN, phosphate, Chl-a, and DO were chosen to be the assessment parameters, and fuzzy synthesis evaluation is applied to assessing the eutrophication levels in the Changjiang estuary. The result showed that about half the sampling sites are at the stage of eutrophication. The outlets and the dilution zone of the Changjiang river (on the west of 122.5°E) are characterized as eutrophication. The off-sea of the Changjiang estuary (on the east of 122.5°E) is at the oligotrophic stage. The eutrophication levels are gradually increasing from off-sea to offshore. Most of all the areas characterized as eutrophication are located at the areas below salinity 20. The obvious seasonal and regional variabilities showed that, the eutrophication levels of this area are dominated by the diluted water in the Changjiang River.

(本文编辑:张培新)