

胶州湾海水富营养化水平评价

姚云^{1,2}, 沈志良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 2002 年 4 个季度调查资料, 选择活性磷酸盐、溶解无机氮、溶解氧、化学耗氧量、叶绿素 a 为评价因子, 利用模糊综合评价模型对胶州湾的营养水平及动态变化进行了评价。结果表明, 无论是季节变化还是年度总评胶州湾大部分水域的 N、P 浓度偏高, 处于中度营养和富营养化水平, 东部、东北部和西北部水域富营养化明显。

关键词: 胶州湾; 富营养化; 模糊综合评价

中图分类号: P734 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2004)06-0014-04

富营养化是指生态系统有机质积累速率的增加^[1]。引起富营养化可能的原因是 N、P 物质大量输入水域, 结果引起某些藻类异常繁殖, 发生赤潮, 破坏水生生态系统。现在, 富营养化已成为世界范围内水环境保护中的重大问题^[2]。胶州湾是一个典型的半封闭型海湾, 青岛市的工农业生产废水、水产养殖废水及城市生活污水排放入湾, 带入大量的营养物质^[3]。关于胶州湾营养盐^[4,5]和富营养化^[6]的研究已有不少报道。近年来, 胶州湾几乎每年都发生赤潮。1997 年 8 月, 胶州湾发生大面积的中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*) 赤潮^[7]。1998 年 7 月 3~8 日东北部女姑山海域发生赤潮^[8]。1999 年 7 月下旬, 胶州湾团岛嘴至沧口水道出现骨条藻和浮动弯角藻 (*Eucampia zoodiacus*) 引发的赤潮, 2000 年 7~8 月, 胶州湾再次发生褐藻引发的赤潮^[7]。目前评价富营养化水平的方法很多, 如营养指数方程法^[9]、综合营养状态指数法^[10]等, 而模糊综合评价模型因其更能准确客观的评价水域的营养水平, 从而得到较快的发展。如熊德琪等^[11]运用模糊评价理论模型对珠江口的富营养化水平进行了评价。孙耀等^[6]用单项和综合指标评价了胶州湾的富营养水平, 认为湾东北部、东部和西北部在不同的月份存在不同程度的富营养化。为了解和掌握胶州湾的营养水平和有机物污染程度, 保护胶州湾环境质量, 为合理开发利用胶州湾海洋资源提供科学依据, 作者通过结合多因子的监测值运用模糊综合评价模型对胶

州湾的营养状况及动态变化进行了初步评价。

1 调查和方法

1.1 调查和化学分析

2002 年 2, 5, 8, 11 月每季度一次由中国科学院海洋研究所科交 2 号调查船入胶州湾调查, 站位见图 1, 共设 10 个站, 湾内 (含湾口) 9 个, 湾外 1 个。调查内容包括溶解氧 (DO)、化学耗氧量 (COD)、硝酸盐 ($\text{NO}_3 - \text{N}$)、亚硝酸盐 ($\text{NO}_2 - \text{N}$)、氨氮 ($\text{NH}_4 - \text{N}$)、活性磷酸盐 ($\text{PO}_4 - \text{P}$)。根据水深情况, 取表层、10、20、30 m, 底层为采水水层, 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。

DO 用碘量滴定法, COD 用碱性高锰酸钾法, $\text{NO}_3 - \text{N}$ 用镉铜还原法, $\text{NO}_2 - \text{N}$ 用重氮-偶氮法, $\text{NH}_4 - \text{N}$ 用靛酚兰法, $\text{PO}_4 - \text{P}$ 用磷钼蓝法。各项营养盐测试在荷兰制造的 Skalar San & plus 微量自动分析系统上完成。 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2 - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 之和

收稿日期: 2003-09-24; 修回日期: 2004-03-31
 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40076021); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX3-SW-214)
 作者简介: 姚云 (1979-), 女, 在读硕士, 研究方向: 海洋生物地球化学, E-mail: yaoyun@msqdio.ac.cn; 沈志良, 通讯作者, E-mail: zhishen@ms.qdio.ac.cn

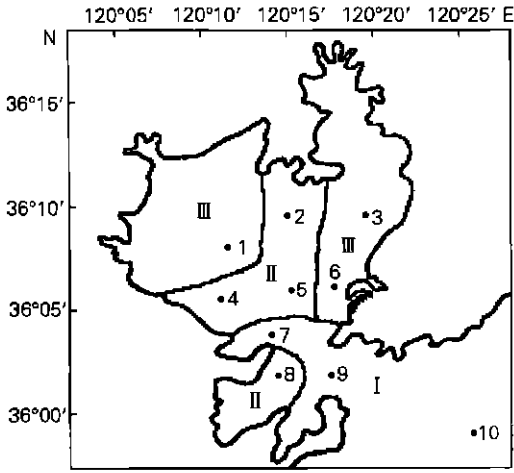


图 1 胶州湾采样站位

Fig. 1 Sampling stations in the Jiaozhou Bay

为总溶解无机氮(DIN)。

1.2 模糊综合评价模型简介

1.2.1 标准的拟定

以国家标准海水水质标准(GB3097-1997)为基础,根据胶州湾的具体情况和参考有关资料^[8,12,13],暂定以下标准作为胶州湾水域富营养水平的评价标准(表 1)。

1.2.2 模糊综合评价模型简介

模糊综合评价模型已有较完整的介绍^[14]。首先,根据相应的隶属函数计算各站位各因子对各级营养标准的隶属度,这些隶属度组成一个模糊矩阵 R 。

$$R = \begin{Bmatrix} f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1m} \\ f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2m} \\ \dots \\ f_{n1}, f_{n2}, \dots, f_{nm} \end{Bmatrix}$$

f 为隶属函数, f_{ij} 表示第 i 个指标可以被认为是第 j 级营养级的可能性,即 i 对 j 的隶属度。 i 为某

表 1 胶州湾海水营养评价标准

Tab. 1 Trophic classes of seawater in the Jiaozhou Bay

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

评价因子, n 为指标个数, m 为标准级数。

其次,计算各因子的权重。因为不同因子对于富营养化形成的贡献大小不同,所以这里采用污染

因子贡献率权重^[14]。公式为 $w_i = \frac{x_i}{S_i}$, $S_i = \frac{1}{m_j} \sum_{j=1}^m S_{ij}$,

对于 DO, 则有 $w_i = \frac{\bar{S}_i}{x_i}$, 然后对 w_i 作归一化处理, 即

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, w_i \text{ 表示 } i \text{ 因子在所有因子中对富营养化}$$

起作用的量度, 其组成模糊向量 $A = \{\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n\}$ 。

w_i 为因子的贡献率权重, \bar{S}_i 为因子各级标准的平均值, S_{ij} 为 i 因子的第 j 级标准值, \bar{w}_i 为归一化后 i 的贡献率权重。

最后,综合评价。海水水质综合评价矩阵为 $Y = A \otimes R$, 本文中 Y 是 1×3 矩阵, 这里复合运算“ \otimes ”为矩阵的代数乘法运算。由徐恒振^[14]对模糊综合评价模型中复合运算方法的讨论知道, 用矩阵代数乘法运算得出的评价结果因为能够充分利用所有监测数据信息, 所以较为准确。 Y 中各数分别表示海水所隶属营养级的隶属度。

2 结果

2.1 营养水平季节变化

为了了解胶州湾 4 个季度海水营养水平的季节变化, 作者利用模糊综合评价模型对各季度的监测数据进行计算, 评价海水的营养水平。选择 PO₄-P、DIN、DO、COD、叶绿素 a(Chl-a) 为评价因子。由第一部分模糊综合评价模型计算出各站位海水营养隶属度(表 2)和营养分级情况(表 3)。

2.2 营养水平的年度评价

为了反映海水营养的平均水平, 作者取每个站 4 次调查监测值(取表层水)的平均值进行评价(表 4), 表 5 列出了各评价因子的年平均均值。

表 2 海水对各级营养标准隶属度的季节变化

Tab.2 The seasonal changes of the subjection to every trophic status in the Jiaozhou Bay

站位	隶属度											
	2月			5月			8月			11月		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
10	0.759	0.241	0	0.852	0.148	0	0.446	0.489	0.065	0.559	0.160	0.281
9	0.651	0.040	0.309	0.829	0.171	0	0.488	0.362	0.150	0.601	0.079	0.320
8	0.797	0.203	0	0.863	0.137	0	0.284	0.323	0.392	0.404	0.222	0.374
7	0.695	0.074	0.231	0.731	0.269	0	0.407	0.404	0.189	0.582	0.092	0.326
6	0.391	0.237	0.372	0.533	0.346	0.121	0.003	0.620	0.377	0.085	0.338	0.577
5	0.681	0.023	0.296	0.764	0.236	0	0.234	0.382	0.384	0.484	0.169	0.347
4	0.728	0.225	0.047	0.331	0.281	0.389	0.408	0.354	0.238	0.553	0.100	0.347
3	0.365	0.118	0.517	0.293	0.251	0.456	0.009	0.343	0.648	0.182	0.052	0.766
2	0.426	0.074	0.500	0.384	0.329	0.287	0.317	0.315	0.368	0.481	0.189	0.330
1	0.415	0.034	0.551	0.232	0.166	0.602	0.129	0.400	0.471	0.536	0.133	0.331

表 3 各站位海水所属营养级

Tab.3 The seasonal changes of the trophic status in the Jiaozhou Bay

站位	营养级			
	2月	5月	8月	11月
10	I	I	II	I
9	I	I	I	I
8	I	I	III	I
7	I	I	I	I
6	I	I	II	III
5	I	I	III	I
4	I	III	I	I
3	III	III	III	III
2	III	I	III	I
1	III	III	III	I

表 4 各站位海水营养情况

Tab.4 The trophic status of every station

站位	隶属度			营养级
	I	II	III	
10	0.664	0.336	0	I
9	0.596	0.404	0	I
8	0.484	0.516	0.022	II
7	0.606	0.394	0	I
6	0.118	0.313	0.569	III
5	0.447	0.553	0	II
4	0.323	0.620	0.057	II
3	0.063	0.354	0.583	III
2	0.249	0.529	0.222	II
1	0.230	0.159	0.611	III

表 5 各评价因子的平均值 (n=4)

Tab.5 Averages of every index in 10 sampling stations in the Jiaozhou Bay

站位	C(PO ₄ -P) (mg/L)	C(DIN) (mg/L)	C(DO) (mg/L)	C(COD) (mg/L)	C(Chl-a) (mg/m ³)
10	0.015±0.002	0.221±0.101	5.35±1.73	1.43±0.28	1.141±0.870
9	0.015±0.004	0.208±0.109	5.25±1.66	1.38±0.14	2.114±0.259
8	0.017±0.003	0.245±0.254	5.10±1.96	1.55±0.40	1.541±0.656
7	0.015±0.007	0.204±0.143	5.19±1.63	1.41±0.05	1.869±0.504
6	0.024±0.007	0.455±0.132	5.24±1.93	1.80±0.20	5.928±1.520
5	0.017±0.003	0.247±0.230	5.11±1.70	1.37±0.04	2.372±1.434
4	0.016±0.003	0.319±0.293	4.98±1.43	1.44±0.25	1.729±0.181
3	0.029±0.019	0.605±0.114	5.05±1.10	1.63±0.37	5.549±3.457
2	0.017±0.008	0.311±0.139	5.33±1.43	1.49±0.13	4.312±1.026
1	0.016±0.004	0.401±0.342	5.60±1.97	1.64±0.38	6.602±1.736

注:叶绿素 a 数据由吴玉霖教授提供。

3 讨论

由表3可以看出,在2月份海水水质较差的区域主要分布在湾的西北部、北部和东北部(1、2、3号站)。到了5月份西部(4号站)水质也开始变差。在夏季可能由于降水量加大,由陆地径流带来大量的有机物和营养盐,同时此时也是浮游植物大量生长繁殖的季节,胶州湾大部分水域(1、2、3、5、6、8号站)呈现富营养化状态。随着季节的推移,生物生长变得缓慢,死亡率增加,气温降低,陆地径流变小或者断流,水质有所好转,但是东部和东北部(3、6号站)还处于富营养化状态。总的看来,胶州湾营养盐比较丰富,富营养化特征表现明显的还是集中在湾的西北部、东部和东北部。

由表4可以看出,10、9、7三个站的海水属于I类海水即贫营养级,其余7个站均超过II类海水,也就是说有70%的站位所在区域海水处于中度营养或富营养水平,且这7个站都位于湾内,6、3、1号站位所在海域海水对富营养级的隶属度分别为0.569, 0.583, 0.611,表明这些海域已进入富营养化状态。分区如图1。由图1海水营养分区可以看出,胶州湾内大部分水域都受到N、P的污染,沿岸海域污染较明显。

位于湾东部、东北部和西北部的6、3和1号站属于III区,沿岸有海泊河、李村河、娄山河、墨水河和大沽河等河流,城市生活污水、工农业生产的废水以及农用化肥经雨水冲刷淋洗都汇入河流,进而流入胶州湾内,这些水中都含有大量有机物和无机氮、磷。东北部、北部和西北部有大片养殖区,养殖废水的排放也增加了胶州湾的营养盐负荷。2002年青岛市工业废水排放量为 9.292×10^4 t,比1980年增加了近1倍;农业化肥使用量近20年来也增加了约1.7倍;从1997年至2002年青岛市水产养殖面积增加了 2.2×10^4 hm²。这是胶州湾营养盐大量增加,造成沿岸水域富营养化的主要原因。2003年6月30日调查时又发现胶州湾北部发生大面积的赤潮。胶州湾是个典型的半封闭海湾,湾内平均水深7 m左右,在潮汐、风浪等水动力的作用下,沉积物中丰富的营养盐很容易释放到海水中,使得海水中营养盐浓度升高,特别在水浅的沿岸区。

计算表明胶州湾10个调查站的平均DIN/PO₄-P摩尔比为30.3~55.1,远高于Redfield N/P比

(16:1),说明胶州湾的营养盐结构已偏离了原有的平衡,这与沈志良^[5]的研究结果一致。其中,6、4、3、2、1号站海水的DIN/PO₄-P分别为42.2、45.5、46.5、41.1、55.1,明显高于其它站,即胶州湾沿岸海域营养盐结构偏离Redfield比最远。营养盐结构的变化很可能影响胶州湾浮游植物的组成。

4 结语

由矩阵代数复合运算进行的模糊评价法评价胶州湾的海水营养状况,认为胶州湾内大部分水域处于中度和富营养化水平。无论是季节变化还是年度总评,胶州湾内富营养化状态比较明显的区域是湾内东部、东北部和西北部。分析表明,河流输入、工农业废水和生活污水排放及养殖带来的污染是胶州湾富营养化形成的重要因素,但其形成机制还需要进一步探讨。

参考文献:

- [1] Nixon S W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns[J]. *Ophelia*, 1995, 41: 199-219.
- [2] 马经安,李红清. 浅谈国内外江河湖库水体富营养化状况[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(6): 575-578.
- [3] 张均顺,沈志良. 胶州湾营养盐结构变化的研究[J]. *海洋与湖泊*, 1997, 28(5): 529-535.
- [4] 沈志良,陆家平,刘兴俊. 胶州湾水域的营养盐[J]. *海洋科学集刊*, 1994, 35: 115-129.
- [5] Shen Z L. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2001, 52: 211-224.
- [6] 孙耀,陈聚法,张友晓. 胶州湾海域营养状况的化学指标分析[J]. *海洋环境科学*, 1993, 12(3-4): 25-31.
- [7] 顾红卫. 青岛市海洋赤潮发生及管理[J]. *海洋环境保护工作通讯*, 2001, 3: 10-15.
- [8] 郝建华,崔文毅,俞志明. 胶州湾增殖养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.
- [9] 陈彬. 福建福州湾海域营养状态趋势预测[J]. *台湾海峡*, 2002, 21(3): 322-327. (下转第22页)

- [10] 王明翠. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 40-43, 49.
- [11] 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.
- [12] 李亚治. 福建东山湾水质状况分析与污染防治对策[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(1): 64-67.
- [13] 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.
- [14] 徐恒振. 海水水质级别的模糊综合评价方法[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(2): 41-48.

Assessment of seawater eutrophication in the Jiaozhou Bay

YAO Yun^{1,2}, SHEN Zhi-liang¹

(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 Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Mar., 31, 2004

Key words: Jiaozhou Bay; eutrophication; fuzzy synthesis evaluation

Abstract: Based on seasonal data for 2002, fuzzy synthesis evaluation is applied to assess the eutrophication levels in Jiaozhou Bay (Qingdao, China). PO_4 -P, DIN, DO, COD, Chl-*a* as assessing indexes. Result showed the major coastal waters of Jiaozhou Bay are polluted by N, P and have become medium-eutrophic and eutrophic. The eastern, north-eastern and north-western waters have become eutrophic.

(本文编辑: 张培新)