

2004 和 2005 年长江口及其邻近海域富营养化程度比较

苏畅¹, 沈志良², 曹海荣³, 姚云⁴ (1. 辽宁医学院, 辽宁锦州 121001; 2. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东青岛 266071; 3. 淮北煤炭师范学院附中, 安徽淮北 235000; 4. 青岛科技大学计算机与化工研究所, 山东青岛 266042)

摘要 根据 2005 年 2、5、8、11 月 4 个季度月的调查资料, 利用人工神经网络模型对长江口及其邻近海域的营养水平进行评价, 并结合 2004 年研究结果, 比较 2 个年度富营养化程度。结果表明, 2 个年度中 5 和 8 月均有超过 70% 的站位评价结果为中营养型和富营养型; 而 2 和 11 月均有超过 40% 的站位呈现中营养型和贫营养型。无论从范围还是站位的多少上来看, 2005 年富营养化程度都比 2004 年严重; 2004 年从 2 到 11 月富营养化程度依次为 5、8、11、2 月; 而 2005 年则是 5、8、2、11 月。富营养化高发季节均为春季的 5 月。

关键词 长江口; 富营养化; 人工神经网络; 评价; 比较

中图分类号 X821; X131.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)06-02696-04

Comparison of the Eutrophication Extent in Yangtze River Estuary and Its Adjacent Waters in 2004 and 2005

SU Chang et al (Liaoning Medical University, Jinzhou, Liaoning 121001)

Abstract Based on the four months' investigations in 2005, and used the artificial neural network to assess eutrophication of the Yangtze River Estuary and its adjacent waters, this study aimed to integrate the research results in 2004, and compare the extent of eutrophication in the two years. The results showed that over 70% sample stations in May and August of both two years were mesotrophy and eutrophication; and over 40% sample stations in February and November were mesotrophy and oligotrophy in both years. It was more serious in 2005 than 2004, not only the sample stations of eutrophication, but also the extension of it; the eutrophication extent in 2004 from February to November were May, August, November and February; and in 2005 were May, August, February and November. The high incidence season of eutrophication was May in spring.

Key words Yangtze River Estuary; Eutrophication; Artificial neural network; Assessment; Comparison

河口是陆源污染物入海的主要通道, 世界上许多著名河口、海湾由于受营养盐、有机物和重金属等污染, 对近岸和邻近海域的生态环境构成严重威胁^[1-2]。长江口是我国最大的河口, 随着沿江经济快速发展, 使得该水域 N、P 含量不断增加, 富营养化程度加重, 生态环境日趋恶化^[3]。

笔者利用人工神经网络模型对长江口水域的富营养化现状进行评价, 分析 2005 年长江口及其邻近海域富营养化的水平分布、季节变化、年均变化等特征, 并结合 2004 年长江口及其邻近海域富营养化水平评价一文^[4], 比较了 2 个年

度富营养化的程度, 为控制长江口富营养化, 保护生态环境, 保障渔业生产可持续发展以及制订有关防治水体富营养化的对策都有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 调查和方法 于 2005 年 2、5、8、11 月对长江口及其邻近水域进行调查, 设采样站位 39 个。由于每次调查站位有所不同, 或者个别站位数据缺失, 为了增加可比性, 取 4 个季度月相同的站位 (28 个) 进行分析 (图 1)。2004 年相同的调查站位共 25 个^[4], 2 个年度相同的站位共有 20 个。根据水

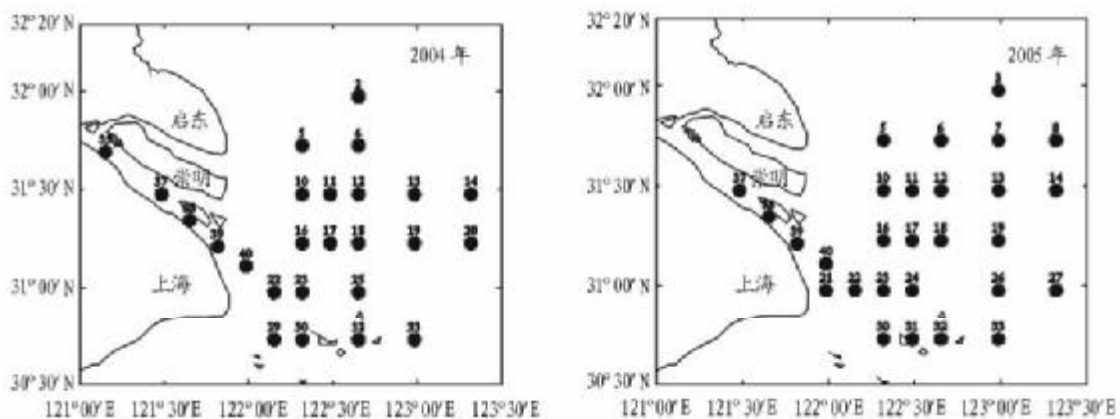


图 1 2004 和 2005 年长江口调查站位示意

Fig. 1 Sample stations in the Yangtze River Estuary in 2004 and 2005

深情况, 取表层、10 m、20 m、30 m、底层为采水水层, 用不锈钢颠倒采水器采水。测营养盐的水样经直径为 25 mm 预先

灼烧过的 Whatman GF/F 玻璃纤维滤膜过滤, 用浓度为 0.3% 氯仿固定, 低温冷冻保存, 带回实验室分析。溶解氧用碘量滴定法测定, 化学耗氧量用碱性高锰酸钾法测定, 硝态氮用镉还原法测定, 亚硝态氮用重氮-偶氮法测定, 氨氮用靛酚兰法测定, 磷酸盐用磷钼蓝法测定。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。硝态氮、亚硝态氮和氨氮之和为总溶解无机氮。叶绿素和盐度等数据由课题组其他研究人员提供。

基金项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-232) 资助; 国家自然科学基金重点基金 (50339040) 资助; 国务院三峡工程建设委员会资助项目 (SX2004-010) 资助。

作者简介 苏畅 (1980-), 女, 辽宁抚顺人, 硕士, 助教, 从事水域生态方面研究与教学。

致谢 感谢张启龙研究员提供盐度数据, 张芳博士提供叶绿素数据!

收稿日期 2009-01-09

1.2 评价方法及建模 参考已有的研究成果^[4-6],采用人工神经网络模型中多层前馈神经网络模型的 B-P 算法 (back propagation algorithm) 简称为 BP 神经网络模型 (图 2)。此种评价模型特别适用于机理复杂,影响因素较多及难以建立有效数学模型的非线性问题。评价因子选取化学耗氧量 (COD)、溶解氧 (DO)、活性磷酸盐 (PO₄-P)、溶解无机氮 (DIN) 和生物学参数叶绿素 a (Chl-a) 5 个主要指标。BP 网络结构为 3 层^[7],其中输入层有 5 个神经元 (分别为 5 个评价指标),隐含层有 3 个神经元,输出层有 1 个神经元。参考 GB3097-1997 海水水质标准和已有的研究成果^[5-6],将长江口水域富营养化水平评价标准分为 3 级,将三类等级的期望输出分别定为 1 (贫营养)、2 (中营养)、3 (富营养) (表 1)。

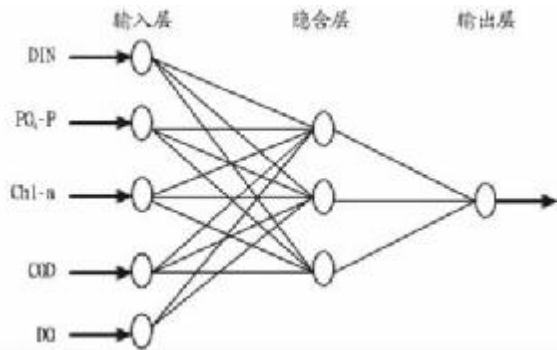


图 2 长江口富营养化评价的 BP 网络结构

Fig. 2 BP neural network structure for the Yangtze River Estuary eutrophication assessment

用 MATLAB 中的 rand() 函数在每个评价等级规定的范围内进行随机取值,共生成 750 个学习样本,增加了 BP 网络的泛化能力。为了便于学习样本的训练,用 MATLAB 提供的最大最小函数 preminmx(): function [pn, minp, maxp, tn, mint, maxt] = preminmx(p, t) 对学习样本进行预处理,将各参数的值量化到范围 [-1, 1] 内。用工具箱提供的训练函数 Levenberg-Marquardt (简称 LM) 算法进行网络权重和阈值训练, LM 算法是一种改进的高斯-牛顿法,其形式为^[8]: $\Delta x = - [J^T(x) J(x) \mu]^{-1} J(x) e(x)$ 。在训练的过程中,网络的权重和阈值被反复调整,直到达到性能函数 $mse < 1e-3$, 停止学习。该网络经过学习训练后,全局误差趋于极小,满足收敛的要求,并且具有泛化性。根据 2004、2005 年调查结果,数据经最大最小函数 preminmx() 处理后,输入到上述训练好的 BP 网络模型,调用仿真函数 sim() 实现对长江口海区水体的富营养化评价输出,其中年平均结果是各个季度月各个评价指标在每个站位取平均值以后得到的平均值,再进行评价得出的结果。

表 1 长江口水域富营养化评价标准

Table 1 Assessment standards for eutrophication in the Yangtze River Estuary

营养等级 Nutrient level	DIN mg/L	PO ₄ -P mg/L	Chl-a mg/m ³	COD mg/L	DO mg/L	期望输出值 Desired output value
贫营养型 I	0.20	0.015	1.0	2.0	6.0	1
中营养型 II	0.30	0.030	3.0	3.0	5.0	2
富营养型 III	0.40	0.045	5.0	4.0	4.0	3

2 结果与分析

2.1 富营养化水平的水平分布特征 与 2004 年类似^[3], 2005 年河口内 37、38、39 站和口门外 40、16、21、22、23、24 站在 4 个季度月评价结果均为富营养化 (图 3)。2 月份除上述站位呈现富营养化外,远离河口的 11、26 站也呈现富营养化。5 月份出现的富营养化站位最多,范围扩大到口门外并向东和东北延伸至 19 站 (约 123°00'E); 8 月份富营养化站位数比 5 月少 2 个,范围退缩至 122°40'E 的 6 站; 11 月富营养化范围最小,退缩至口门附近的 24 站 (122°30'E)。中营养化范围分布没有富营养化有规律, 11 月最多, 5 月其次, 2、8 月份最少。贫营养化的范围 5 月最小, 8、11、2 月范围越来越大。2005 年的富营养化站位分布也是随盐度的变化而有一定的规律,除了 2、5 月少数站外,富营养化站位均位于 20 等盐线内侧。2005 与 2004 年共同的站位中, 2 月份的 11、16、23 站位为富营养化; 5 月份的 5、6、11、12、19 站位为富营养化; 8 月份的 5 站位为富营养化; 11 月份的 16、30 站位为富营养化,而 2004 年这些站位的评价结果均为非富营养化。

由图 4 可知, 2 月份出现异常现象。由于远离河口的 11、24、26 三个站位 DIN 平均含量为 0.90 mg/L, 严重超过富营养化评价标准 (0.40 mg/L); 而 PO₄-P 平均含量为 0.037 2 mg/L, 也超过中营养化标准 (0.030 mg/L), 导致该区出现富营养化, 因此富营养化范围分布不集中, 但还是以河口附近为主。

5 月份富营养化范围由口门向东扩展到约 123°E 处, 此区域内大片水域均为富营养化, 且分布较集中; 从口门向东, 富营养化程度逐渐降低, 由中营养型向贫营养型过渡。8 月份富营养化范围缩小至约 122°40'E。11 月份富营养范围主要集中在长江口口门内和河口附近, 范围又缩小到约 122°30'E。贫营养化的范围 2 月出现在调查区 122°30'E 以东的大片水域, 5 月仅仅出现在调查区东南部少量水域, 而从 8 月开始贫营养化范围扩大, 东部有大部分水域出现贫营养化。

2.2 富营养化水平的季节变化 根据人工神经网络方法评价长江口水域表层水富营养化的结果, 分析 2004 和 2005 年长江口富营养化的季节变化特征。

由表 2 可见, 2005 年富营养化程度为: 5 月 > 8 月 > 2 月 > 11 月。5 月富营养化分别占 64.3%; 2004 年 5 月富营养化站位占 56%。2005 年贫营养化站位总数 2 月最多, 11 月其次, 5 月最少; 中营养化站位总数 11 月最多, 5 月其次, 2、8 月最少。总的来说, 2005 年是贫营养型和富营养型占主导, 2005 年各个季度月的富营养化程度比 2004 年大。营养盐 DIN 以及 PO₄-P 的分布情况均是在河口以及河口附近浓度较高, 随着离岸距离的增加, 浓度逐渐减少^[9]。长江口富营养化各项评价指标中 DIN 的超标比较严重, 其他评价指标情况较好。推测 DIN 对整个评价过程的影响占主导地位。春季 5 月, 长江流域进入丰水期, 降水量增多, 携带大量地表径流及生活工业用水进入长江口, 使营养盐大大增多 (表 2)。比较各个月份各评价指标含量可知, 5 月的各项评价指标中, DIN 平均含量 0.74 mg/L, 处于高浓度水平; PO₄-P 平均含量 0.023 mg/L, 属于中营养化水平; Chl-a 平均含量 1.40 mg/m³, COD 平均含量为 1.87 mg/L, DO 平均含量为 10.57

mg/L,均不超标。因此,5月份富营养化现象最为严重,富营养化可能是引发长江口赤潮的重要原因之一。

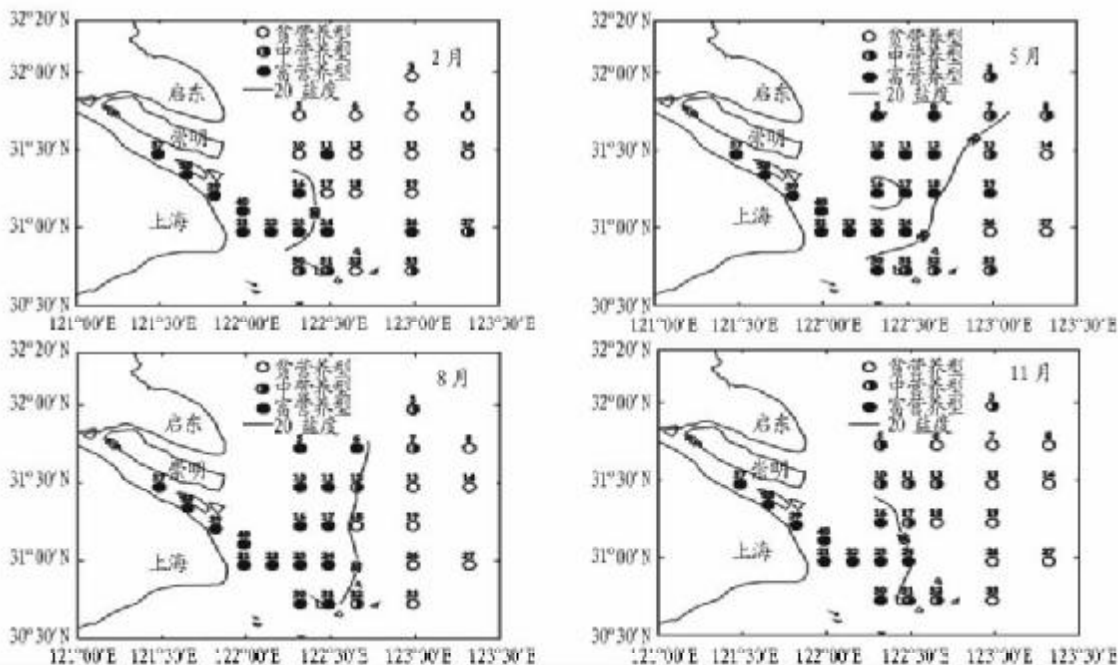


图3 2005年长江口富营养化评价的水平变化

Fig.3 Horizontal variations of eutrophication in the Yangtze River Estuary in 2005

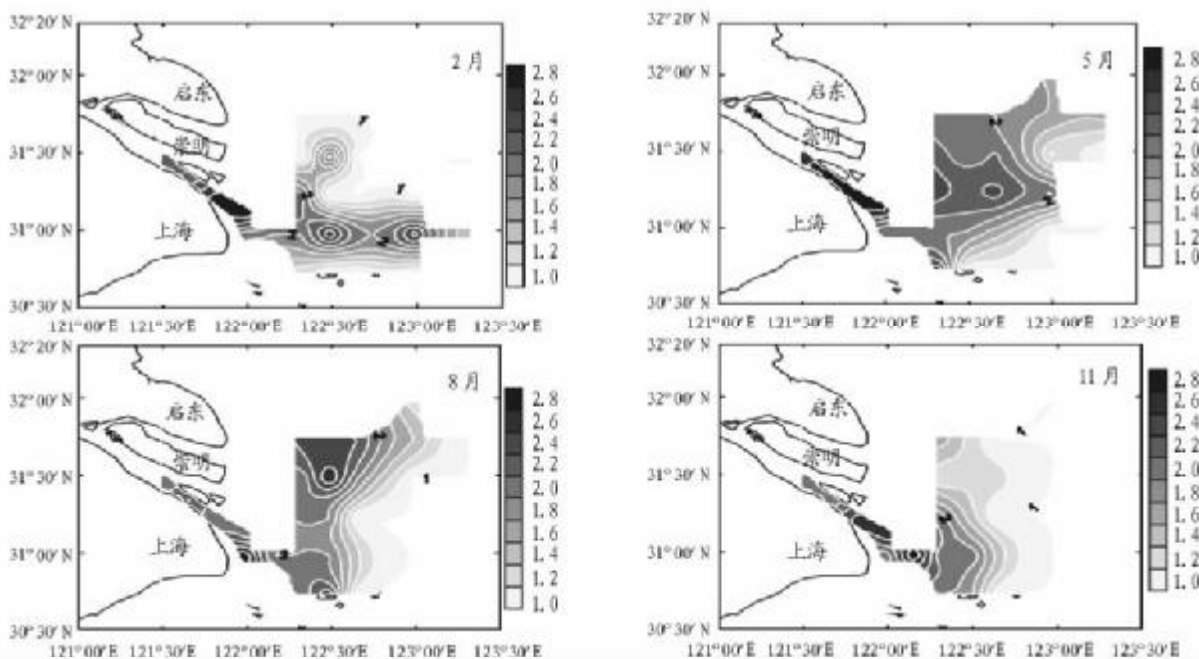


图4 2005年长江口富营养化评价的等值线分布

Fig.4 Isoline distributions of eutrophication in the Yangtze River Estuary in 2005

表2 2004和2005年各调查月份各营养等级分布

Table 2 Distribution of each nutrition grade in every investigated month in 2004 and 2005

%

营养等级 Nutrition level	2月		5月		8月		11月		年均 Annual mean	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
贫营养型 I	40	46.4	8	10.7	20	28.6	40	35.7	28	35.7
中营养型 II	36	14.3	36	25.0	28	14.3	32	28.6	32	10.7
富营养型 III	24	39.3	56	64.3	52	57.1	28	35.7	40	53.6

2.3 比较两个年度的富营养化水平变化 年均评价因子是根据各个季度月各个评价指标在每个站位取平均值以后得到的平均值,再进行评价得出的结果。根据人工神经网络方法评价富营养化的结果,分析长江口富营养化2004和2005

年的年度平均变化特征。由图5可见,两年共同站位共20个,2004年评价结果为富营养化的站位比例占40%(8个站位),其余站位的富营养化评价结果均为中营养化;由表3可见,2005年评价结果为富营养化的站位比例占60%(12个站

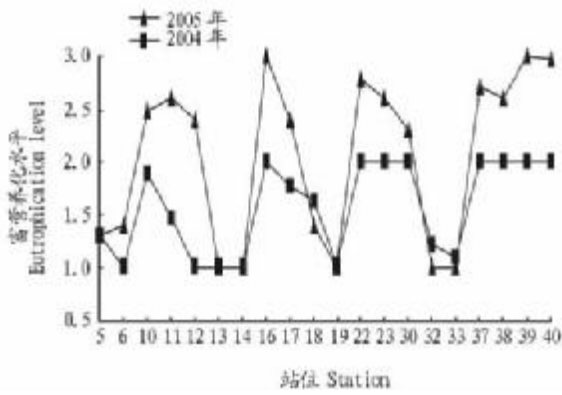


图 5 2004、2005 年共同站位评价结果比较

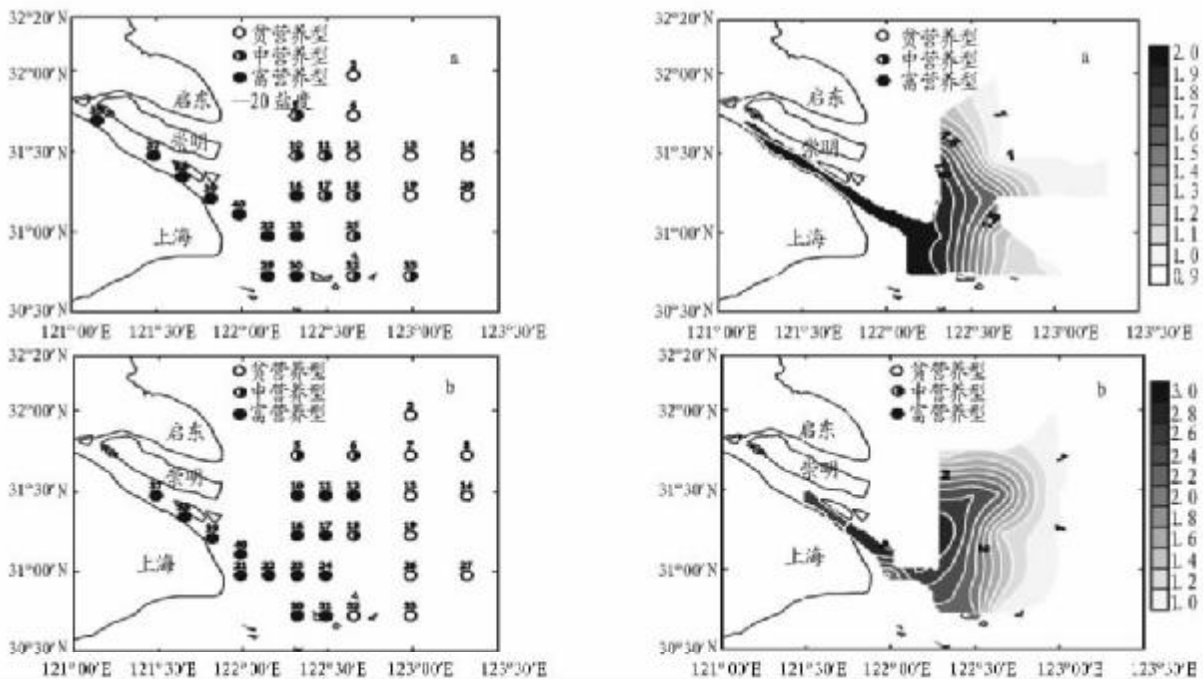
Fig.5 Comparison of the assessment results in common stations in 2004 and 2005
位), 中营养化站位占 15%, 贫营养化站位占 25%。

由图 6 可见,2004 年均富营养化水平最高的依然是 35、37、38、39 等河口内站位和 40、16、22、23、29、30 等口门附近站位。2005 年富营养化水平最高的也是 37、38、39 等河口内站位以及口门外的诸多站位。共同的站位中 2004 年的 37、38、39、40、16、22、23、30 站为富营养化,除了这 8 个站位以外,还有 35、29 两个富营养化站位;而共同的站位中 2005 年比 2004 年增加 4 个富营养化站位,除此之外还有 21、24、31 3 个富营养化站位。2005 年比 2004 年多 5 个富营养化站位,富营养化站位 2004 年为 40.0%,2005 年为 53.6%;中营养化站位 2004 年为 32.0%,2005 年为 10.7%;贫营养化站位 2004 年为 28.0%,2005 年为 35.7%。长江口年均富营养化评价结果等值线分布可见,2004、2005 年富营养化范围从口门区向东分别延伸至 122°20'E 和 122°40'E。可见无论是富营养化站位多少还是范围大小,2005 年都比 2004 年严重,长江口生态环境不容乐观。

表 3 2005 年各评价指标的含量

Table 3 Contents of each assessment index in 2005

月份 Month	COD//mg/L		DO//mg/L		DIN//mg/L		PO ₄ -P//mg/L		Chl-a//mg/m ³	
	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean	范围 Range	平均 Mean
2	0.02 ~ 3.97	1.76	9.76 ~ 12.57	10.47	0.14 ~ 1.80	0.75	0.022 ~ 0.065	0.034	0.14 ~ 6.10	1.22
5	0.21 ~ 4.11	1.87	6.68 ~ 17.71	10.57	0.07 ~ 1.50	0.74	0.005 ~ 0.053	0.023	0.15 ~ 5.74	1.40
8	0.57 ~ 3.78	1.90	5.20 ~ 16.72	9.64	0.015 ~ 1.50	0.67	0.0009 ~ 0.053	0.019	1.93 ~ 9.86	4.80
11	0.35 ~ 2.34	1.13	7.63 ~ 9.14	8.01	0.04 ~ 1.38	0.51	0.004 ~ 0.062	0.026	0.29 ~ 1.94	0.62



注:a 为 2004 年;b 为 2005 年。

Note: a. 2004; b. 2005.

图 6 2004、2005 年长江口年均评价结果

Fig.6 Average annual assessment results of eutrophication in the Yangtze River Estuary in 2004 and 2005

3 结论

(1)2004 年长江口口门内 35、37、38、39 站和口门外 40、22 站在 4 个季度月评价结果均为富营养化,富营养化范围从 122°10'E (2 月)扩大到 122°40'E (5 月)。2005 年河口内 37、38、39 站和口门外 40、16、21、22、23、24 站在 4 个季度月评价

结果均为富营养化,范围从 122°30'E (11 月)扩大到 123°E (5 月)。从口门向东,富营养化程度逐渐降低,贫营养程度增大。

(2)2005 年 2 月富营养化站位分布不集中,出现异常现象 (下转第 2720 页)

品,为旅游者提供更多选择,以服务和产品质量吸引客源;设计合理的人才培养计划,为优秀人才提供基础支持。另外,散客时代的到来也为旅行社的改革提供一定的发展机遇。

5.3 改变目前导游薪酬现状 应提高导游自身的素质,加强自身修养,关注自身合法权益,树立形象地位,改变目前的收入现状,充分发挥导游在旅游业中的作用,改革导游薪酬体系,尝试实施小费机制;由于导游是旅游目的地的形象代表,应进一步提高导游人员的学历要求。

5.4 转变旅游购物商店经营模式 开拓更广泛的销售地点和销售模式,例如,在对到达桂林旅游的旅游者的调查中发现,45.4%的游客愿意在步行街形式的购物点购物,13.3%的游客愿意在定点购物商店购物,36.7%的游客愿意在大型购物超市中购物。这种现象说明旅游者更愿意在开放式的旅游购物地点进行购物。因此,应该建立专门的大型旅游商品销售场所,即可面对旅游者,也能满足当地居民的需要,及时向旅游者发布旅游商品相关信息,使旅游者能够更加便捷地了解目的地旅游购物商品信息,关注产品质量和特色,了解游客需求,加强与旅游生产商的反馈机制。降低经营成本,提高服务质量,避免一次性交易行为,以保证旅游购物商店地长远发展。

5.5 建立专门旅游商品生产基地 旅游商品生产基地的建立将为旅游购物市场健康长远发展提供有力的基础支持。开展旅游市场调查,及时挖掘游客需求,设计富有特色、类型多样的旅游产品,提高旅游产品质量,注重旅游专业设计人才的使用。

5.6 加强旅游购物市场信息的透明度 建立旅游者信息服

务系统,使旅游者能够更加便利地了解旅游目的地的相关旅游购物信息,借助市场和政府的双重力量建立信息服务系统,以网络为支持平台,及时发布相关信息。公布诚信旅游购物企业名单、特色旅游购物商品、产品质量信息等,还可以定期对违法违规经营企业进行曝光,设立游客在线咨询投诉版块,并保证信息的实效性。

5.7 加强旅游购物市场的监管力度 旅游当局是保证旅游购物市场健康运行的重要力量,要加强旅游市场监管,为旅游信息的透明度提供政府支持,加大旅游违法乱纪行为的打击力度,规范旅游商店与旅行社之间的最高佣金比率,加大对旅行社挂靠现象的查处,加强旅游立法,完善相关法律法规制度,为旅游购物市场地健康发展提供良好社会环境。

6 启示

散客旅游时代的到来,为旅游购物市场发展注入了新活力,旅游者购物需求的高弹性特征对旅游购物市场的发展提出了较高的要求。如何改变现有的购物关系,建立健康的旅游购物市场是保证旅游市场健康发展的重要方面。健康的旅游购物市场将是一个多方共同收益的格局,旅游者的合法权益得到保护,购物需求得到最大满足,促进旅游目的地经济发展并提供大量就业机会,多方共赢的局面需要旅游购物市场相关利益主体的共同努力。

参考文献

- [1] 林南枝,李天元. 旅游市场学[M]. 天津:南开大学出版社,1997.
- [2] 李瑞玲. 导游实务[M]. 郑州:郑州大学出版社,2003.
- [3] 陈丕积. 旅游市场信息不对称及政府行为[J]. 旅游学刊,2000(2):27-30.

(上接第2699页)

象,这主要是因为营养盐分布不集中,在离岸较远的站位出现高营养盐的现象。

(3) 2个年度中5月和8月均有超过70%的站位评价结果都为中营养型和富营养型;而2月和11月均有超过40%的站位都呈现中营养型和贫营养型。无论从范围还是站位的多少上来看,2004年从2月到11月富营养化程度依次为5、8、11、2月;而2005年则是5、8、2、11月。富营养化高发季节为春季的5月。

(4) 2年中共同的站位中2004年有8个富营养化站位,2005年有12个。2004年共有10个富营养化站位,2005年比2004年增加5个富营养化站位。

(5) 长江口水域两年富营养化年均评价结果显示,2004年为贫营养型和中营养型类水占大多数;2005年为富营养化型占大多数。富营养化水域从河口向东分别延伸至约122°20' E和122°40' E,可以说从河口到122°20' E这一区域是富营养化高发区。

(6) 无论是富营养化范围大小还是站位数量,总的来说

2005年富营养化程度比2004年相对严重一些。长江口富营养化现象比较严重,生态环境不容乐观。

参考文献

- [1] PEREIRA-FILHO J, SCHEITINI C A F, RORIG L, et al. Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and Chlorophyll a in the Camboriu River Estuary, Brazil[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2001,53(2):249-257.
- [2] SHEN Z L. Historical changes in nutrient structure and its influences on Phytoplankton composition in Jiaozhou Bay[J]. Estuarine, Coastal and Shelf, 2001,52(2):211-224.
- [3] 钟霞芸,杨鸿山,赵立清,等. 长江口水域氮、磷的变化及其影响[J]. 中国水产科学,1999,6(5):6-9.
- [4] 苏畅,沈志良,姚云,等. 长江口及其邻近海域富营养化水平评价[J]. 水科学进展,2008,19(1):99-105.
- [5] 王冬云,黄焱歆. 海水富营养化评价的人工神经网络方法[J]. 河北建筑科技学院学报,2001,18(4):27-29.
- [6] 姚云,沈志良. 胶州湾海水富营养化水平评价[J]. 海洋科学,2004,28(6):14-22.
- [7] 王伟. 人工神经网络原理[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995:20-76.
- [8] 阮仕平,党志良,胡晓寒,等. 人工神经网络在综合水质评价中的应用[J]. 水资源研究,2004,25(2):21-23.
- [9] 叶仙森,张勇,项有堂. 长江口海域营养盐的分布特征及其成因[J]. 海洋通报,2000,19(1):89-92.