

连云港近岸海域富营养化水平的季节性变化 及其影响因素

李亚丽¹, 徐 敏¹, 李鹏飞², 丁言者³

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210023)

(2. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081)

(3. 国家海洋局南通海洋环境监测中心站, 江苏 南通 226005)

[摘要] 运用营养状态指数法,并结合 C_N/C_P 的潜在性富营养化划分方法,以 2012 年 5 月~2013 年 2 月连云港近岸海域 4 个季节的水质调查资料为基础,分析了该海域 4 个季节的富营养化水平及 C_N/C_P 的关系,同时对其影响因素进行探讨.结果表明:(1)连云港近岸海域水体基本呈富营养状态,4 个季节的富营养化指数的平面分布特征基本相同,主要表现为近岸高、离岸低,由沿岸向离岸方向逐渐降低的趋势;4 个季节的富营养化指数均值秋季 $EI(2.06)>$ 春季 $EI(1.58)>$ 冬季 $EI(1.53)>$ 夏季 $EI(1.42)$,富营养海域的面积由大到小依次为秋季、春季、夏季、冬季,富营养程度较严重的区域主要位于排淡河口和灌河口附近海域.(2)连云港近岸海域 4 个季节均处于磷中等限制潜在性富营养水平,不同季节 C_N/C_P 比值由大到小的顺序依次是夏季(138.1)、春季(110.7)、秋季(86.3)、冬季(65.1).(3)连云港近岸海域富营养水平与盐度、pH 和溶解氧有显著的负相关关系,表明陆源径流对该海域海水的富营养化水平起着重要的调控作用.

[关键词] 富营养,季节,环境因子,连云港近岸海域

[中图分类号] P734.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2014)03-0116-08

Seasonal Variations of Eutrophication and the Influential Factors in the Adjacent Water of Lianyungang

Li Yali¹, Xu Min¹, Li Pengfei², Ding Yanzhe³

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

(3. Marine Environmental Monitoring Station of Nantong, State Oceanic Administration, Nantong 226005, China)

Abstract: Based on the monitoring data of oceanographic survey from four seasons including 39 stations carried out in the adjacent water of Lianyungang from May 2012 to February 2013, the seasonal variations character of eutrophication was evaluated. A method of nutrient status index and C_N/C_P value were used in analysis, and the influential factors was discussed. Some conclusions were as follows: (1) The results showed that horizontal distributions of EI were similar in the four months, indicating that the EI value was high in the coastal waters, and decreased gradually away from the shore, and showed a sequence of autumn(2.06) greater than spring(1.58) greater than winter(1.53) greater than summer(1.42) in the seasonal variation. The major polluted areas lay at the mouth of Paidan and Guanhe. The area of the eutrophic waters of autumn was highest, followed by spring, summer, winter. (2) The adjacent water of Lianyungang could be classified as a phosphorus-medium limited potential eutrophication area, the value of C_N/C_P of summer(138.1) was highest, followed by spring(110.7), autumn(86.3), winter(65.1). (3) The eutrophication index (EI) showed significant negative relationship with salinity, pH and DO, which showed that the temporal and spatial distribution of eutrophication index were mostly regulated by runoff.

Key words: eutrophication, seasonal variations, environmental factors, the adjacent water of Lianyungang

收稿日期: 2014-03-19.

基金项目: 国家自然科学基金(41373112).

通讯联系人: 徐敏, 教授, 博士生导师, 研究方向: 海洋资源与环境. E-mail: xumin0895@njnu.edu.cn

近岸海域的富营养化问题近年来一直受到极大关注.特别是在河口、海湾区等特定环境条件下,由于受地表径流注入、工业和生活污水排放及海水养殖排污等的影响,这一问题尤为严重^[1-3].近十几年来,从辽东半岛的大连湾,到南海的湛江港,都不同程度地出现过赤潮^[4].地处我国沿海中部的连云港近海,由于沿岸有17条河流注入,带来大量的有机物和营养盐,使其成为江苏赤潮发生频率较高的海区^[5].根据江苏省海洋与渔业局2014年发布的《2013年江苏省海洋环境质量公报》,连云港近岸海域的水质劣于4类水质,属于江苏省污染较为严重的海域.

对于连云港近岸海域生态系统的研究,有浮游植物^[6,7]、底栖生物^[8],但更多的是对水质状况和营养盐特征^[9-13]的关注,且多集中于连云港港口^[11]、海州湾^[12]等,对连云港近岸海域各个季节富营养化特征及其影响因素缺乏深入的了解.因此,本文根据2012~2013年4个航次的调查数据,系统分析了连云港近岸海域的富营养化特征及其影响因素,并初步探讨了富营养化指数与环境因子的关系,该研究对了解该海域的水质变化,加强该水域的水质监测及环境保护,防治该水域的进一步富营养化具有重要的现实意义.

1 研究区概况

连云港市位于江苏省东北部,是江苏沿海重要城市之一,紧邻黄海,海岸线全长约170 km,近海水域面积约360 km²,平均水深7 m,多年平均降水量为910~980 mm,主要集中在夏季.受南黄海旋转潮波的控制,潮流特征整体表现为涨潮流为SW向、落潮流为NE向.连云港水系属于淮河流域沂沭水系,沂沭地区的主要排海河道为新沭河,新沭河均从连云港市入海.境内还有大小支河流40余条,其中17条为直接入海河流.连云港沿海经济发展较快,分布有5个工业园区,同时有全国著名的海州湾渔场,海水养殖规模不断扩大(见图1).

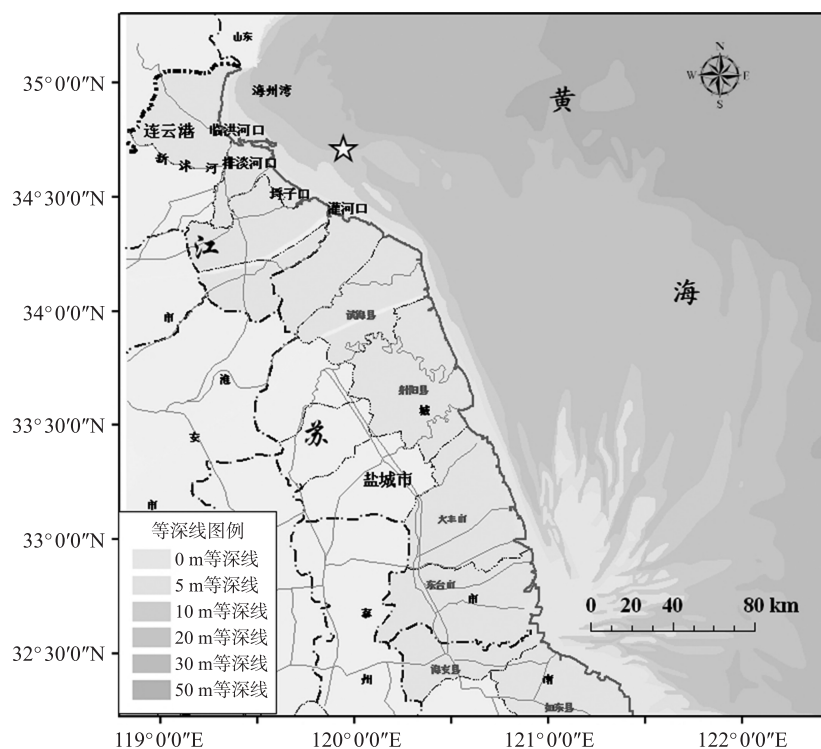


图1 研究区位置图

Fig.1 Map of the study area

2 材料与方法

2.1 站位布设与分析参数

在连云港连云区近岸海域共布设39个站位(图2),于春(2012年5月)、夏(2012年8月)、秋(2012年11月)、冬(2013年2月)4季的大潮期分别进行1次表层海水采样调查,调查要素包括温度、盐度、pH、

悬浮物、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、亚硝酸盐-氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸盐-氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)及磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$),共计 10 项.样品的采集、保存、运输和分析均按照《海洋监测规范》^[14]中的规定执行:盐度测定运用 SYA2-2 实验室盐度计,pH 测定运用 PHS-3C pH 计,溶解氧测定运用溶解氧测定仪,化学需氧量测定运用溶解氧测定仪,硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、铵盐测定运用 WJ2100 可见分光光度计,磷酸盐测定运用 UV-2102C 紫外分光光度计.

本研究分析参数为:盐度、pH、DO、COD、无机氮(DIN)、无机磷(DIP)、亚硝酸盐-氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、硝酸盐-氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、氨-氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)及磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$).无机氮(DIN)含量为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 3 种氮化物含量之和.无机磷(DIP)含量用 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 含量表示.

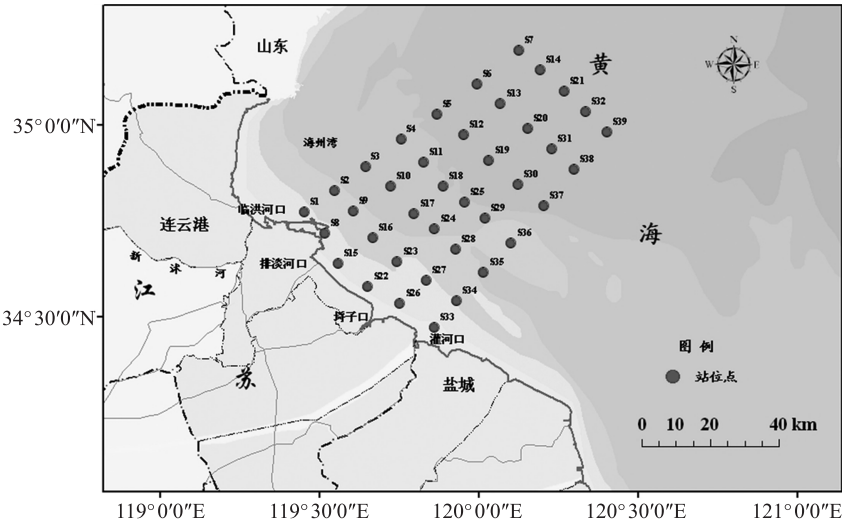


图 2 连云港近岸海域采样站位图
Fig. 2 Sampling stations in the adjacent waters of Lianyungang

2.2 评价方法

2.2.1 营养状态指数法^[15]

营养状态指数法计算公式如下:

$$EI = COD(\text{mg/L}) \times DIN(\text{mg/L}) \times DIP(\text{mg/L}) \times 10^6 / 4\ 500,$$

式中 COD 、 DIN 、 DIP 分别为化学需氧量、无机氮、无机磷,当该指数 $EI \geq 1$ 时,则表示海域水体已呈富营养化状态, EI 值越大,富营养化程度越高^[15].该方程自 1983 年由邹景忠教授引入国内后,被有关研究人员广泛应用于我国近岸海域富营养化现状评价.

2.2.2 潜在性富营养化法^[1]

海水中浮游植物一般按照 Redfield 比值摄取营养盐^[16],环境中过剩的氮、磷营养盐不能被浮游植物所利用,因而并未对富营养化有实质性贡献^[17].基于以上原因,本研究采用郭卫东等^[1]提出的富营养化评价模式(表 1)对研究区域进行评价.该评价模式同时兼顾氮、磷含量及 C_N/C_P ,其对富营养化等级的划分标准如表 1 所示.

表 1 营养级的划分标准
Table 1 Classification of nutrient level

级别	营养级	$DIN/(\text{mg/L})$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}/(\text{mg/L})$	C_N/C_P
I	贫营养	<0.2	<0.03	$8 \sim 30$
II	中度营养	$0.2 \sim 0.3$	$0.03 \sim 0.045$	$8 \sim 30$
III	富营养	>0.3	>0.045	$8 \sim 30$
IV _P	磷限制中度营养	$0.2 \sim 0.3$	—	>30
V _P	磷中等限制潜在性富营养	>0.3	—	$30 \sim 60$
VI _P	磷限制潜在性富营养	>0.3	—	>60
IV _N	氮限制中度营养	—	$0.03 \sim 0.045$	<8
V _N	氮中等限制潜在性富营养	—	>0.045	$4 \sim 8$
VI _N	氮限制潜在性富营养	—	>0.045	<4

2.3 数据处理方法

分析评价指标与主要水环境因子变化之间的相关性,用同步观测到的资料,取 39 个站位盐度、pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮和磷酸盐 6 个因子各个季节的平均值作自变量,富营养化指数作因变量,利用 SPSS19.0 统计软件进行数据处理,采用软件包 pearson 进行相关性分析;采用 Surfer10 绘制等值线分布图。

3 结果与分析

3.1 连云港近岸海域富营养化水平的季节变化

3.1.1 连云港近岸海域春季(2012 年 5 月)富营养化平面分布特征

图 3 为春季调查海区的富营养化指数平面分布图。由数值为 1 的等值线位置可以看出,临洪河口和排淡河口附近海域、灌河口附近海域均呈富营养状态,富营养化指数随着离岸距离的增加逐渐增大,在 $119^{\circ}38'E$ 、 $34^{\circ}50'N$ 和 $120^{\circ}0'E$ 、 $34^{\circ}33'N$ 附近出现 2 个高值区,随后,随着离岸距离的增加, EI 值逐渐减小,总体呈近岸高、离岸低的特征。

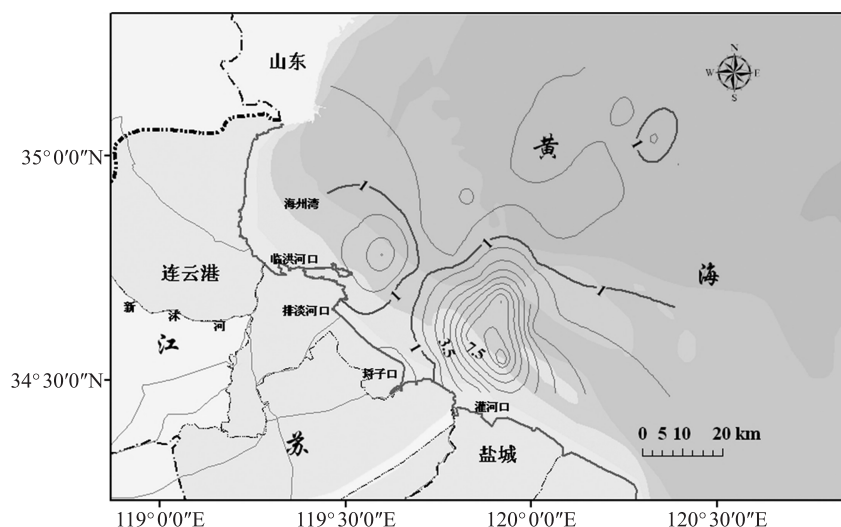


图 3 2012 年 5 月富营养化指数平面分布

Fig.3 Horizontal distributions of EI in May, 2012

在该海域 39 个调查站位中,富营养化指数值变化范围为 $0.32 \sim 9.61$, EI 值大于 1 的站位占调查站位数的 41%,均值为 $1.58 \geq 1$,表示春季该海域水体基本呈富营养化状态。最大值 9.61 出现在 34# 站位点,即灌河口附外侧浅滩区。

3.1.2 连云港近岸海域夏季(2012 年 8 月)富营养化平面分布特征

图 4 为夏季调查海区的富营养化指数平面分布图。由数值为 1 的等值线位置可以看出,与春季富营养分布特征不同,整个沿岸海域均呈富营养状态,随着离岸距离的增加富营养指数逐渐减小,呈现出明显的近岸高、离岸低的特征。夏季调查海域富营养化区域的面积比春季小,两个高值区分别位于排淡河口和灌河口附近海域,此外临洪河口外侧海域富营养化指数也较高。

夏季连云港近岸海域富营养化指数值变化范围为 $0.02 \sim 4.67$, EI 值大于 1 的站位占调查站位数的 44%,均值为 $1.42 \geq 1$,表示夏季调查海域水体基本呈富营养状态。最大值 4.62 出现在 15# 站位点,即排淡河口附近海域。

夏季各站位富营养指数均值 $EI(1.42) < \text{春季 } EI(1.58)$,且 $EI \geq 1$ 的海域较春季小,这可以从以下两个方面来解释:一方面,本研究采用的富营养化评价方法是从海水中的营养盐情况来考虑,反映的是海水中营养盐的实际情况,没有考虑浮游植物等有机物的存在状况。我们知道,海水中氮、磷营养盐是海洋浮游植物生长繁殖所必需的营养要素,即浮游植物生物量和营养盐之间处于一种此消彼长的动态变化关系之中。夏季是浮游植物生长和繁殖的活跃季节,5~9 月是营养盐的消耗时期,因此夏季是一年中营养盐含量的低谷;另一方面,由富营养化指数的计算公式可以看出海水中的氮、磷营养盐是海域富营养的主要贡献因子,一般来说,海域营养盐的输入途径主要有 3 种(垂直混合、水平输运和大气沉降),而在河口区域,主

要以水平输运为主,河流输入和沿岸的污水排放占营养盐输入的绝大部分^[18],夏季是沿岸河流的丰水期,入海径流量携带着大量的营养盐,所以出现了富营养指数高值区出现在河口附近、由河口区域向外海减小的现象.夏季营养盐的这种消耗和补给关系反应在富营养化指数上总的结果是该海域富营养化指数呈现近岸较高、离岸逐渐降低,随着离岸距离的增加富营养指数逐渐减小的特征,可以看出,陆源径流是该海域夏季富营养程度的重要调控因子.

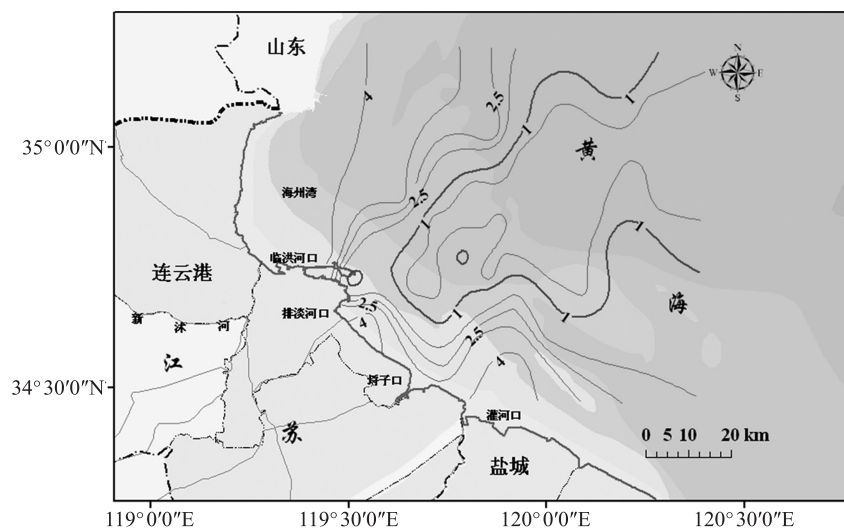


图4 2012年8月富营养化指数平面分布

Fig. 4 Horizontal distributions of EI in August, 2012

3.1.3 连云港近岸海域秋季(2012年11月)富营养化平面分布特征

图5为秋季调查海区的富营养化指数平面分布图,由图显示富营养指数由沿岸向离岸逐渐降低的趋势与夏季相同,但高值区出现的位置却与夏季有所不同,秋季也出现2个高值区,一个是在排淡河口附近海域,另一个高值区较夏季灌河口附近高值区向北移至 $34^{\circ}40'N$ 附近,且向外海扩展至 $120^{\circ}5'E$ 附近海域.

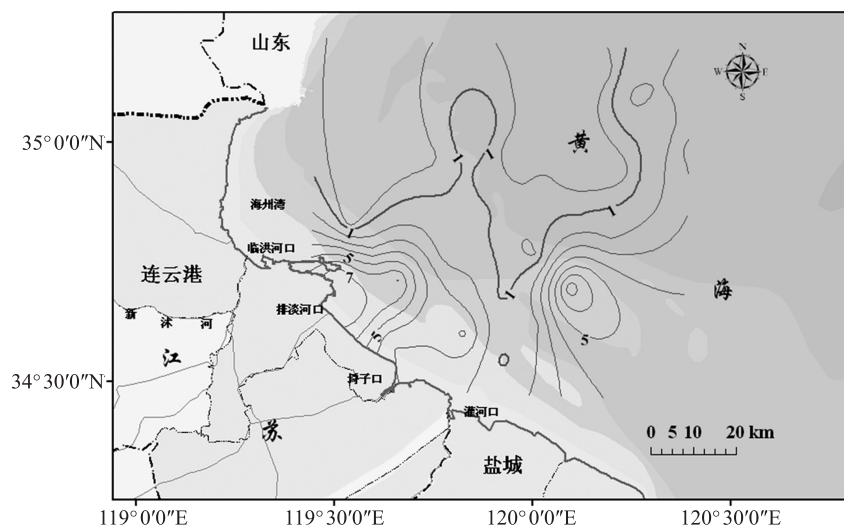


图5 2012年11月富营养化指数平面分布

Fig. 5 Horizontal distributions of EI in November, 2012

秋季连云港近岸海域富营养化指数值变化范围为 $0.17 \sim 7.98$, EI值大于1的站位占调查站位数的59%,均值为 $2.06 \geq 1$,表示秋季调查海域水体呈富营养状态.最大值7.98出现在8#站位点,即东西连岛附近海域.

秋季各站位富营养指数均值 $EI(2.06) > \text{春季} EI(1.58) > \text{夏季} EI(1.42)$.由数值为1的等值线位置可以看出,富营养海域的面积秋季>春季>夏季.可以看出秋季该海域富营养化的程度较其他季节严重,这可以从浮游植物和营养盐之间的关系的角度来解释.秋季由于水温的降低与光照的减弱,致使浮游植物停止

生长,种群密度降低,不再消耗海水中的营养盐,同时部分浮游植物残体分解释放出氮、磷等营养盐,此时海水中营养盐浓度最高。

3.1.4 连云港近岸海域冬季(2013年2月)富营养化平面分布特征

图6为冬季调查海区的富营养化指数平面分布图,由图显示富营养指数由沿岸向离岸逐渐降低的趋势与夏秋季相同,冬季只有一个高值区,位于灌河口附近海域。

冬季连云港近岸海域富营养化指数值变化范围为0.13~14.81, EI 值大于1的站位占调查站位数的26%,均值为 $1.53 \geq 1$,表示冬季调查海域水体基本呈富营养状态。最大值15.79出现在35#站位点,即灌河口附近海域。

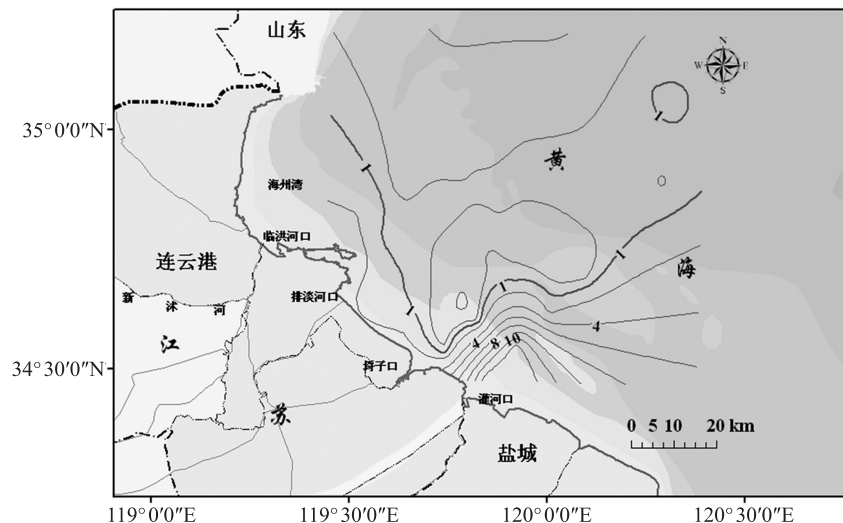


图6 2013年2月富营养化指数平面分布

Fig.6 Horizontal distributions of EI in February, 2013

由数值为1的等值线位置可以看出,冬季富营养海域的面积明显小于其他3个季节,这可能是因为冬季是沿岸河流的枯水季节,入海径流量小,携带的营养盐含量有限。而灌河口是连云港市的主要排海河道,入海径流量较其他河口大,携带入海的营养盐含量也较其他河口多,所以冬季富营养指数的高值区位于灌河口附近,由此可见陆源径流对该海域富营养程度的重要调控作用。

3.2 连云港近岸海域潜在性富营养程度的评价及 C_N/C_P

$N:P$ 比(原子比)是氮和磷两元素对水体富营养化的重要性指标。海水中的营养盐水平与结构对浮游植物的生长起着很重要的制约作用^[3]。海水中浮游植物一般按照 Redfield 比值 16:1 摄取营养盐^[16],即按照该比例吸收氮盐和磷盐。当海水中无机氮、磷浓度均达到一定水平以上时, $N:P$ 比对浮游植物才有实际意义,如果两者浓度均很低或者特别高,都可能引起浮游植物的生长受到某一相对低浓度元素的限制。近年来的海洋环境调查资料显示,我国近海主要河口、海湾水体中 $N:P$ (原子比)几乎都偏离 Redfield 值,低者可至 1~2 左右,高者可达数百。这种偏离程度还随季节不同而发生变化。用近海海水进行的生物培养实验发现, $N:P < 8$ 时,浮游植物生长受氮限制; $N:P > 30$ 时则受磷限制^[1]。根据划分标准(表1)及 C_N/C_P 的计算结果,对连云港近岸海域4个季节进行营养级划分结果见表2。由表2可以看出,该海域4个季节均处于磷中等限制潜在性富营养水平,不同季节 C_N/C_P 比值从大到小的顺序依次是夏季(138.1)、春季(110.7)、秋季(86.3)、冬季(65.1)。这表明该海域营养盐比例不平衡,浮游植物生长受制于磷盐相对不足的特性,而陆源径流带来的无机氮的量大于磷酸盐的量可能是主要原因,这也在一定程度上说明陆源径流是该海域营养盐的主要来源。同时,这与郭卫东提出的“磷限制构成了中国近海河口、海湾水体富营养的特色”研究结论一致^[1]。

3.3 富营养化指数与环境因子的关系

为了分析调查海域富营养化的影响因素,分别对盐度、pH、溶解氧进行了相关性分析,结果如表3所示。

表 2 C_N/C_P 值及营养级划分结果
Table 2 C_N/C_P value and the classification result of nutrient level

	$DIN/(mg/L)$	$PO_4^{3-}-P/(mg/L)$	C_N/C_P	营养级
春	0.513 42	0.010 60	110.710 512 10	V_P
夏	0.528 68	0.008 75	138.104 163 30	V_P
秋	0.521 92	0.013 83	86.258 857 560	V_P
冬	0.329 95	0.011 58	65.127 066 370	V_P

表 3 海域富营养化指数与环境因子相关分析
Table 3 The correlation of EI with environmental factors

项目	富营养指数	盐度	pH	溶解氧	化学需氧量	无机氮	磷酸盐
富营养化指数	1	-0.705 **	-0.449 **	-0.374 *	0.500 **	0.860 **	0.921 **
		0.000	0.004	0.019	0.001	0.000	0.000
盐度		1	0.017	0.069	-0.628 **	-0.652 **	-0.664 **
			0.917	0.675	0.000	0.000	0.000
pH			1	0.220	-0.272	-0.499 **	-0.346 *
				0.178	0.094	0.001	0.031
溶解氧				1	0.125	-0.152	-0.464 **
					0.448	0.356	0.003
化学需氧量					1	0.503 **	0.460 **
						0.001	0.003
无机氮						1	0.734 **
							0.000
磷酸盐							1

** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

由表可以看出,连云港近岸海域富营养化水平与盐度成显著的负相关性,此现象可能是由于陆源径流对海水有显著的冲淡作用,而径流中携带大量营养盐,造成了盐度与富营养化指数的负相关趋势;从富营养化指数的两大贡献因子——无机氮和无机磷均与盐度呈显著的负相关关系,可以看出该海域的无机氮和无机磷主要是由陆源径流提供,陆源径流的注入使得盐度逐渐下降,营养盐含量上升,该海域营养盐含量及分布主要受陆源径流与外海洋流的混合作用及相互消长。

调查海域富营养化水平与 pH 有显著的负相关关系,pH 在水体中主要受 CO_2 含量的控制,而水体中 CO_2 的来源一个是大气中 CO_2 的溶解,一个是浮游植物在光合作用中释放的 CO_2 ,即 CO_2 含量受浮游植物种类和数量、温度等因素的影响,但在富营养水体中, CO_2 含量主要受生物过程的控制^[19]。此外,海水中的 pH 比淡水高,富营养化水平与 pH 显著的负相关关系在一定程度上反映了海水中高浓度的氮、磷和化学需氧量可能来自沿岸河流的冲淡水,连云港近岸海域富营养化水平主要受陆源径流调控。

调查结果表明,连云港近岸海域富营养化水平与 DO 呈显著的负相关性,海水中的 DO 来源主要有大气中氧的溶解和海水中的浮游植物光合作用释放的氧。对于近岸海域海水中 DO 的分布变化,除受海水运动和温度影响外,河水的流入、降雨等带入了含有丰富氧气的水,对沿岸海域海水中 DO 的分布变化也有较大影响^[20]。如果只考虑溶解作用,从自然规律来看,应出现夏季 DO 最小而冬季时相对较大的情况,从实测数据的平均值可以看出,溶解氧含量由小到大顺序依次是夏季(7.02)、秋季(8.68)、春季(9.46)、冬季(11.02),本研究符合上述规律,因此,溶解氧与富营养化指数的相互作用关系有待进一步研究。

4 结论

(1)2012.05~2013.02 的 4 个季节连云港近岸海域水体基本呈富营养状态,富营养化指数的平面分布特征基本相同,主要表现为近岸高、离岸低,由沿岸向离岸方向逐渐降低的趋势;4 个季节的富营养化指数均值秋季 $EI(2.06)>$ 春季 $EI(1.58)>$ 冬季 $EI(1.53)>$ 夏季 $EI(1.42)$,富营养海域的面积由大到小为:秋季、春季、夏季、冬季,富营养程度较严重的区域主要位于排淡河口和灌河口附近海域。

(2)采用潜在性富营养化评价方法,连云港近岸海域 4 个季节 C_N/C_P 比值由大到小依次是夏季(138.1)、春季(110.7)、秋季(86.3)、冬季(65.1),均处于磷中等限制潜在性富营养水平。

(3)连云港近岸海域富营养水平与盐度、pH 和溶解氧有显著的负相关关系,表明陆源径流对该海域海水的富营养化水平起着重要的调控作用,溶解氧与富营养化指数的关系有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] 郭卫东,章小明,杨逸萍,等. 中国近岸海域潜在富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡,1998,17(1):64-70.
- [2] 张景平,黄小平,江志坚,等. 2006~2007年珠江口富营养化水平的季节性变化及其与环境因子的关系[J]. 海洋学报,2009,31(3):113-120.
- [3] 孙丕喜,王波,张朝晖,等. 莱州湾海水中营养盐分布与富营养化的关系[J]. 海洋科学进展,2006,24(3):329-334.
- [4] 张树洪. 临洪河口区域富营养化的初步探讨[J]. 海洋环境科学,1993,12(2):48-51.
- [5] 丘耀文,王肇鼎,朱良生. 大亚湾海域营养盐与叶绿素含量的变化趋势及其对生态环境的影响[J]. 台湾海峡,2005,24(z):131-138.
- [6] 韩照祥,何冠东. 连云港港区海洋环境质量状况[J]. 环境监测管理与技术,2010,22(6):46-50.
- [7] 程军利,张鹰,张东,等. 海州湾赤潮发生期生态环境要素分析[J]. 海洋科学进展,2009,27(2):217-222.
- [8] 贺心然,陈斌林,王淑军. 连云港港口海域秋季底栖动物群落组成及多样性研究[J]. 淮海工学院学报:自然科学版,2009,18(3):78-81.
- [9] 田慧娟,葛修军. 连云港近海海域水质状况调查与评价[J]. 环境科学与管理,2006,31(9):164-167.
- [10] 田慧娟,杨华. 连云港近海海域水质的季节和年际变化[J]. 海洋湖泊通报,2009(4):139-144.
- [11] 贺心然,陈斌林. 连云港港口海域水体富营养化情况分析[J]. 污染防治技术,2005,2(18):45-48.
- [12] 陶菲,张鹰. 连云港海州湾海域水质分析[J]. 水利渔业,2006,26(6):77-78.
- [13] 王敏,张晴. 连云港近岸海域水质状况初步调查与分析[J]. 淮海工学院:自然科学版,2011,20(4):50-53.
- [14] 国家质量技术监督局. 海域监测规范(GB/T 12763—2007)[S]. 北京:标准出版社,1998.
- [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,1983,2(2):41-54.
- [16] Redfield A C, Ketchum B A, Richards F A. The influence of organisms on the composition of sea-water[M]//Hill M N. The Sea. New York:Wiley,1963:26-77.
- [17] 曲丽梅,姚德,丛丕福. 辽东湾氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养评价[J]. 环境科学,2006,27(2):263-267.
- [18] 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):55-57.
- [19] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [20] 韦蔓新,童万平,何本茂,等. 北海湾无机磷和溶解氧的空间分布及其相互关系研究[J]. 海洋通报,2000,1(4):29-35.

[责任编辑:丁 蓉]