

胶州湾大肠菌群丰度变化及对环境污染的指示*

董逸^{1,2} 刘敏^{1,2,3} 武洪庆^{1,2,4} 张翠霞^{1,2} 张文燕¹
于莹^{1,2} 丰美萍^{1,2} 徐剑虹¹ 肖天¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049;
3. 中国热带农业科学院热带生物技术研究所 海口 571101; 4. 河北工业大学海水资源高效利用化工技术
教育部工程研究中心 天津 300130)

摘要 采用 MPN 计数法对胶州湾大肠菌群丰度进行 7 年(84 个月)连续监测, 结果表明, 大肠菌群丰度的周年变化明显, 全年最高丰度与最低丰度相差约 2.2 倍。胶州湾大肠菌群丰度自 2005—2009 年明显下降, 降幅达 67%, 说明胶州湾环境质量有所好转。研究还发现大肠菌群丰度变化具有明显的区域特征, 河口区最高, 湾内区最低, 差异近 11 倍。大肠菌群丰度与环境因子的相关性分析表明, 大肠菌群丰度变化与胶州湾海水中总氮、溶解有机碳、叶绿素 *a* 浓度, 海水盐度及青岛市废水排放量均显著相关。

关键词 大肠菌群, 丰度, 环境污染, 胶州湾
中图分类号 Q938.1

胶州湾位于黄海西部, 山东半岛南岸(35°38′—36°18′N, 120°04′—120°23′E), 是一个典型半封闭中型浅水海湾(王倩等, 2010), 平均水深 7m(刘瑞玉, 1992)。其自然条件良好, 适宜的水文环境和周围河流提供的丰富营养盐为湾内生物提供了良好的生长繁殖条件(李新正等, 2005)。胶州湾生态系统既受东亚季风和黄海水团系统的影响, 也受到人类活动的影响(孙松等, 2005)。注入胶州湾的河流有十几条, 其中大沽河径流量较大, 而海泊河、李村河、娄山河等除汛期外基本无自身径流, 河道上游来水很少, 中、下游已成为市区工业废水和生活污水的排污河, 构成了胶州湾外源有机物质和污染物的重要来源(叶思源等, 2009; 张洪海等, 2010)。

大肠菌群(coliform bacteria)是指在一定培养条件下能发酵乳糖、产酸产气的需氧或兼性厌氧革兰氏阴性无芽胞杆菌(GB4789.3-2010)(中华人民共和国卫生部, 2010), 已被公认为海水水质标准检测的重要指标之一(GB3097-1997)(黄自强等, 2004)。大肠菌群丰度

的监测, 是对养殖海域、码头、海水浴场等环境评估及污染评价的一个重要微生物指标。

1991—1998 年, 王文琪等(2000)对胶州湾进行了每年 4 个季度、10 个常规监测站的大肠菌群丰度调查, 并分析了丰度与营养盐的关系, 推测大肠菌群的来源主要是陆源。2003 年 5 月—2004 年 12 月, 赵三军等(2005)对胶州湾 14 个站位的大肠菌群丰度进行监测, 认为胶州湾陆源污染状况令人担忧。2004 年 1 月—2010 年 12 月, 本文作者对胶州湾 14 个站位进行连续 7 年的逐月调查与分析, 得到大肠菌群周年、年际和区域分布变化特点及与环境因子的关系, 以期准确地评价胶州湾生态环境变化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间及站位

自 2004 年 1 月—2010 年 12 月, 每月在胶州湾进行调查, 采样站位是中国科学院海洋研究所胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站设置的长年

* 国家自然科学基金创新群体项目, 41121064 号; 中国科学院创新项目, KZCX2-YW-213-3 号; 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB409804 号。董逸, 博士研究生, E-mail: dongyi.2001@163.com

通讯作者: 肖天, 研究员, E-mail: txiao@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

连续调查站, 站位见图 1。

根据站位所处的不同地理位置及周边环境, 将 14 个站位分为河口区站位(A1. 大沽河河口附近; A5. 李村河河口附近; C4. 海泊河河口附近; Y1. 崂山河河口附近), 湾内区站位(A3、B2、C1. 养殖区; C3. 胶州湾中心; D1. 油码头附近), 湾口区站位(D3. 黄岛发电厂附近; D5. 胶州湾湾口)及湾外区站位(D6. 薛家岛东侧; D7. 大公岛西侧, D8. 五四广场南侧)。

用 Niskin 采水器采集表层水, 水样装入 7ml 离心管中, 冰桶内低温保存, 6h 内带回实验室进行大肠菌群的培养检测。

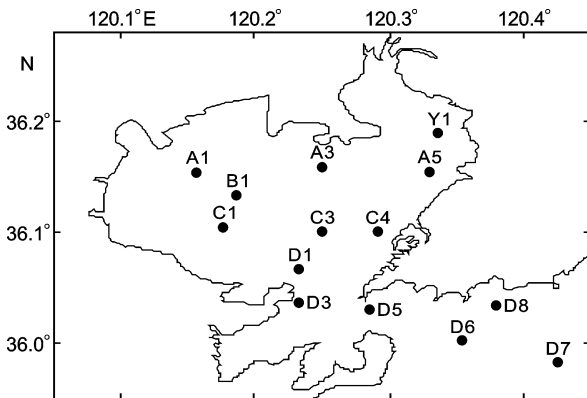


图 1 胶州湾大肠菌群调查站位

Fig.1 Sampling stations of coliform bacteria in Jiaozhou Bay

1.2 大肠菌群的培养及计数方法

将采集的表层水样品由冰桶取出, 于超净工作台中使用灭菌海水对样品进行稀释, 制备 10^{-1} 、 10^{-2} 两种稀释度的样品。分别取样品原液、 10^{-1} 和 10^{-2} 三种稀释度样品各 1ml 加入 9ml 灭菌的乳糖蛋白胨培养基中, 每个稀释度做三个平行, 采用三管发酵法检测大肠菌群的丰度。在 37°C 培养箱中培养(48 ± 2)h 后, 以产酸或产气的发酵管为阳性, 对照大肠菌群最大可能数(MPN)检索表(闾文威, 1976)得出大肠菌群的丰度。

1.3 环境因子数据来源

表层海水的化学需氧量、总磷、总氮、溶解有机碳、颗粒有机碳、颗粒有机氮、溶解氧、叶绿素 *a* 浓度、盐度和温度数据来自中国科学院海洋研究所胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站。废水排放量数据来自青岛市 2004—2009 年环境状况公报(青岛市环保局, <http://www.qepb.gov.cn/News/Second.aspx?id=1960>), 以每年废水排放总量与处理废水量之差为废水排放量数据。

1.4 数据处理方式

胶州湾大肠菌群月平均丰度: 将每月测定的不同站位大肠菌群丰度加和平均, 得到当月平均丰度, 再将多年相同月份的数据进行加和平均, 得到大肠菌群周年月平均丰度。

胶州湾大肠菌群年平均丰度: 将每年各月的大肠菌群平均丰度加和平均, 得到年平均丰度。

胶州湾大肠菌群站位平均丰度: 将每个站位多年获得的大肠菌群丰度加和平均, 得到站位平均丰度。

2 结果

2.1 胶州湾大肠菌群丰度的变化范围及月平均丰度

胶州湾大肠菌群丰度变化明显, 各月份、各站位间差异显著, 大肠菌群丰度变化范围为 $(0-1.10) \times 10^5$ 个/L。

胶州湾大肠菌群月平均丰度(图 2)显示大肠菌群丰度的最高值出现在 2005 年 9 月 [$(6.15 \pm 5.14) \times 10^4$ 个/L], 最低值出现在 2009 年 6 月 [$(0.04 \pm 0.05) \times 10^4$ 个/L], 丰度差距达 154 倍。逐年对大肠菌群丰度进行上、下半年平均值的统计, 发现各年均均为下半年高于上半年(仅 2006 年除外), 下半年平均丰度为上半年的 0.87—1.53 倍。

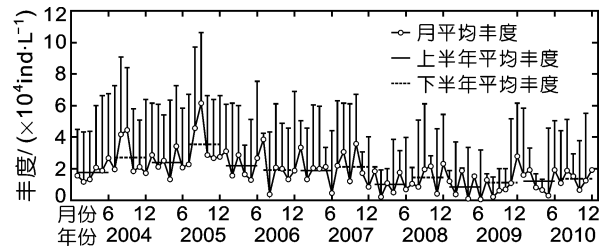


图 2 胶州湾大肠菌群月平均丰度

Fig.2 Monthly average abundance of coliform bacteria in the Jiaozhou Bay

2.2 胶州湾大肠菌群丰度的周年变化

胶州湾大肠菌群丰度周年变化(图 3A)显示大肠菌群丰度在 9 月份最高 [$(2.56 \pm 2.00) \times 10^4$ 个/L], 4 月份最低 [$(1.17 \pm 0.77) \times 10^4$ 个/L], 相差约 2.2 倍。丰度的周年变化趋势为夏、秋两季不断升高, 冬、春两季逐渐下降。

2.3 胶州湾大肠菌群丰度的年际变化

胶州湾大肠菌群丰度的年际变化明显(图 3B)。大肠菌群的年平均丰度最高值出现在 2005 年 [$(2.95 \pm 1.28) \times 10^4$ 个/L], 最低值出现在 2009 年 [$(0.97 \pm 0.81) \times 10^4$ 个/L], 2005—2009 年不断降低, 下降幅度达 67%, 2010 年又出现回升现象。

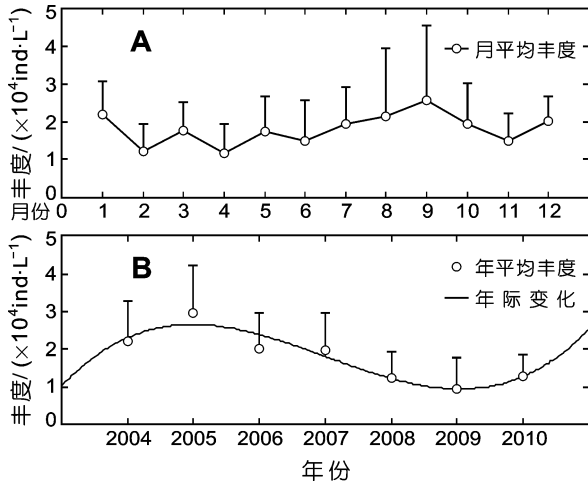


图3 胶州湾大肠菌群丰度的周年变化和年际变化

Fig.3 Annual and interannual variation of average abundance of coliform bacteria in the Jiaozhou Bay
A. 周年变化, B. 年际变化

2.4 胶州湾大肠菌群丰度的区域分布特点

胶州湾大肠菌群丰度的空间分布(图 4)具有明显的区域特征, 即河口区[(5.42 ± 2.47) $\times 10^4$ 个/L] > 湾口区[(1.18 ± 0.14) $\times 10^4$ 个/L] > 湾外区[(0.53 ± 0.32) $\times 10^4$ 个/L] > 湾内区[(0.50 ± 0.11) $\times 10^4$ 个/L], 河口区和湾内区的大肠菌群丰度差异近 11 倍。

平均丰度最高的站位为河口区的 A5 站[(7.27 ± 4.29) $\times 10^4$ 个/L], 最低的站位为湾外区的 D7 站[(0.23 ± 0.59) $\times 10^4$ 个/L], 丰度差距超过 31 倍。

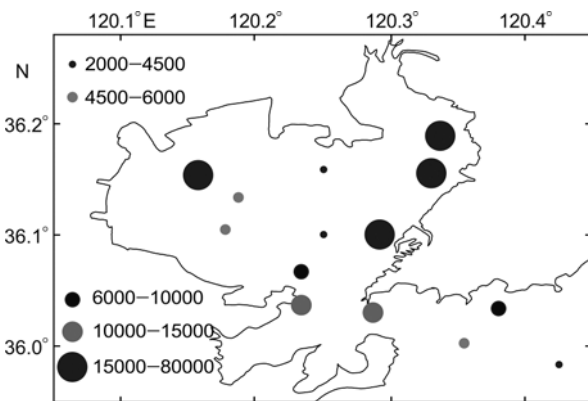


图4 胶州湾大肠菌群站位平均丰度(ind/L)的空间分布

Fig.4 The spatial distribution of average abundance (ind/L) of coliform bacteria in the Jiaozhou Bay

2.5 大肠菌群丰度与环境因子的关系

对胶州湾大肠菌群不同时期、不同站位的丰度与环境因子变化进行相关性分析。选取的数据有: 表层海水的化学需氧量、总磷、总氮、溶解有机碳、颗粒

有机碳、颗粒有机氮、溶解氧及叶绿素 a 浓度、盐度和温度、青岛市 2004—2009 年废水排放量。使用统计软件 SPSS 13.0 中的两变量相关性分析工具得到相关性关系结果(表 1)。

通过对多组数据间的两两相关性分析及合并, 得出胶州湾大肠菌群丰度变化主要与废水排放量、总氮、溶解有机碳及叶绿素 a 浓度显著正相关, 与海水盐度显著负相关。

3 讨论

3.1 胶州湾大肠菌群丰度的时间分布

以 GB3097-1997(黄自强等, 2004)中规定的海水水质分类标准衡量胶州湾海水水质, 发现胶州湾大肠菌群月平均丰度在全年中均超过 1.00×10^4 个/L(三类水质标准规定的丰度值上限), 相应海区只能用作海洋港口、开发作业区, 且在调查的 84 个月中, 胶州湾大肠菌群月平均丰度超过 1.00×10^4 个/L 的有 66 个月, 约占调查时段的 79%, 说明胶州湾海域整体水质状况并不理想。

胶州湾大肠菌群丰度的年际变化(图 3B)显示, 大肠菌群丰度在 2005—2009 年不断下降, 说明胶州湾海水水质有所好转。在调查时段中, 仅有 2009 年大肠菌群平均丰度低于 1.00×10^4 个/L, 符合三类海水水质标准。2010 年又有回升现象, 平均丰度达(1.27 ± 0.58) $\times 10^4$ 个/L, 说明环境治理不容乐观。

王文琪等(2000)通过对胶州湾大肠菌群 8 年的研究, 发现丰度在夏季最高, 且沿岸站位的丰度比湾心、湾口、湾外的站位高, 这与作者的监测结果一致; 但作者在 2004—2010 年的监测显示大肠菌群最高丰度为 1.10×10^5 个/L, 远低于 1991—1998 年的 4.6×10^7 个/L, 说明新世纪以来对胶州湾的环境治理起到一定的效果; 同时发现大肠菌群丰度最高的站位集中分布在河口区, 与 20 世纪 90 年代监测到湾内、湾口有高丰度站位的现象不同, 这也说明胶州湾湾内、湾口环境较以往有了很大改善。

通过与其它海域大肠菌群丰度变化的比较发现, 深圳东部海岸(郭伟等, 2007)和山东荣成湾月湖(李春雁等, 2000)的大肠菌群丰度均低于 1.00×10^4 /L, 皆低于胶州湾大肠菌群的平均丰度, 说明胶州湾环境质量还需要改善。

3.2 胶州湾大肠菌群丰度的空间分布

在胶州湾所设的 14 个调查站位中, 河口区大肠菌群平均丰度远大于其它区域, 且超过 1.00×10^4 /L 的

表 1 大肠菌群丰度与环境因子间的相关性分析
Tab.1 Correlation analysis between average abundance of coliform bacteria and environmental factors

相关性		Quantity	COD	TP	TN	DOC	POC	PN	DO	Salinity	Chl.a
Sewage	<i>P</i>	0.876*									
	Sig.	0.022									
	<i>N</i>	6									
COD	<i>P</i>	0.170*									
	Sig.	0.015									
	<i>N</i>	204									
TP	<i>P</i>	0.129	-0.087								
	Sig.	0.065	0.215								
	<i>N</i>	204	203								
TN	<i>P</i>	0.383**	0.440**	0.058							
	Sig.	0.000	0.000	0.412							
	<i>N</i>	204	203	204							
DOC	<i>P</i>	0.172*	0.399**	0.007	0.125						
	Sig.	0.014	0.000	0.925	0.075						
	<i>N</i>	205	204	204	204						
POC	<i>P</i>	0.292**	0.595**	-0.063	0.434**	0.445**					
	Sig.	0.000	0.000	0.372	0.000	0.000					
	<i>N</i>	205	204	204	204	205					
PN	<i>P</i>	0.312**	0.575**	0.006	0.390**	0.446**	0.937**				
	Sig.	0.000	0.000	0.931	0.000	0.000	0.000				
	<i>N</i>	205	204	204	204	205	205				
DO	<i>P</i>	-0.027	0.292**	-0.088	-0.030	0.289**	0.294**	0.252**			
	Sig.	0.734	0.000	0.272	0.705	0.000	0.000	0.001			
	<i>N</i>	158	157	158	158	158	158	158			
Salinity	<i>P</i>	-0.252**	-0.393**	0.107	-0.691**	-0.044	-0.472**	-0.400**	0.130		
	Sig.	0.000	0.000	0.138	0.000	0.541	0.000	0.000	0.117		
	<i>N</i>	588	192	192	192	193	193	193	146		
Chl.a	<i>P</i>	0.202**	0.344**	-0.092	0.217**	0.282**	0.754**	0.732**	0.264**	-0.357**	
	Sig.	0.000	0.000	0.192	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	
	<i>N</i>	825	203	203	203	204	204	204	157	586	
<i>T</i>	<i>P</i>	0.013	0.062	-0.022	0.222**	-0.184*	0.141*	0.152*	-0.657**	-0.418**	0.154**
	Sig.	0.755	0.392	0.761	0.002	0.010	0.050	0.035	0.000	0.000	0.000
	<i>N</i>	587	192	192	192	193	193	193	146	587	585

注: *表示在 $P < 0.05$ 条件下显著相关; **表示在 $P < 0.01$ 条件下显著相关; *P* 表示皮尔逊相关系数; Sig. 表示显著性高低; *N* 表示进行分析的数据量; Quantity 表示胶州湾大肠菌群丰度; Sewage 表示废水排放量(万 t); COD 表示化学需氧量(mg/L); TP 表示总磷(mg/L); TN 表示总氮(mg/L); DOC 表示溶解有机碳(mg/L); POC 表示颗粒有机碳(mg/L); PN 表示颗粒有机氮(mg/L); DO 表示溶解氧(mg/L); Salinity 表示海水盐度; Chl.a 表示叶绿素 *a* 浓度($\mu\text{g/L}$); *T* 表示海水温度($^{\circ}\text{C}$)

国家水质标准中三类水质要求, 这可能与河口区存在一些污水排放口及河流大量径流入海带入的污染物有关。河口区丰度明显偏高与沈晓盛等(2006)在杭州湾北岸上海段奉贤水域的研究结果(排污口附近大肠菌群丰度高)相似。

湾口区两站位(D3、D5)大肠菌群平均丰度虽然较

河口区有显著降低, 但仍超过 1.00×10^4 个/L 的标准, 这可能与 D3 站附近存在发电厂, D5 站距陆地较近, 都易受到人类活动的影响有关。

湾外和湾内站位大肠菌群丰度平均值均低于 1.00×10^4 个/L, 说明相应海域的海水质量明显好于河口及湾口区, 相应海区符合海洋渔业、水产养殖、工

业用水或人体直接接触的水质标准。由图4可知,湾外区站位多位于远离陆地的海岛附近或奥运帆船赛海域,受污染较少,而湾内区站位主要是养殖区,且距排污河口较远,这可能是上述两个海域大肠菌群丰度较低的原因。湾内区站位多数处于养殖区,水文环境变化小,水质标准要求高,且养殖的双壳类有很强的滤水能力,对海水中的大肠菌群可能有一定的滤食作用(张少军等, 2010; 黄备等, 2010), 养殖的藻类可能释放抑制大肠菌群生长的抗生素(徐涤等, 2004), 这都可能是湾内区大肠菌群丰度低于湾外且波动较小的原因。

胶州湾大肠菌群丰度的年际变化有一定的下降趋势, 分析显示 2005—2009 年河口区大肠菌群丰度的下降量最高, 湾外区大肠菌群丰度的下降量最低。为比较下降幅度, 将不同海域的丰度下降量与同时期该海域的平均丰度比较, 发现降幅最大的是湾内区和湾外区, 说明在胶州湾综合治理过程中应更加重视河口区与湾口区。

赵三军等(2005)于 2003—2004 年对胶州湾大肠菌群丰度调查的结果显示: A1、Y1、A5、C4 站位(河口区)丰度最高, 相应水质严重低于国家三类标准, 污染严重, 这与作者的监测结果一致, 说明河口区污染严重的现象未得到根本改变。

3.3 胶州湾大肠菌群丰度对陆源污染的指示

通过胶州湾大肠菌群丰度及环境因子的相关性分析可知, 显著相关的环境因子有废水的排放量、总氮、溶解有机碳、叶绿素 *a* 浓度及海水盐度。

显著相关的因素中相关性最高的是废水排放量, 未处理废水可以将大量陆源污染物带入胶州湾中, 这可能是大肠菌群丰度与废水排放量显著相关的原因。

总氮含量可以作为海水富营养化和污染的一项指标, 其来源与人类活动密切相关。有研究表明, 总氮浓度高可能是由于农业污染(倪燕, 2010)、养殖区饲料污染(周小壮等, 2004; 何本茂等, 2005; Simon *et al.*, 1998)、生活垃圾、废水或人畜粪便的排泄(石明岩等, 2010)等污染造成的。通过对比胶州湾不同时期、不同站位的总氮浓度数据, 作者发现河口区站位的总氮平均浓度最高(1.49mg/L), 湾口区次之(0.90mg/L), 湾内区(0.58mg/L)和湾外区(0.57mg/L)最低, 这与大肠菌群丰度的区域分布变化特点基本一致。

溶解有机碳的组成复杂, 是不同数量和组分的氨基酸、核苷、碳水化合物、油脂类、芳香烃、非芳香烃和大分子量腐殖酸等的混合物(Otto *et al.*, 1998)。

现有研究认为, 海水中溶解有机碳浓度与浮游植物的溶解(刘诚刚等, 2010)密切相关, 并可以反映陆源及海洋沿岸的污染影响(贺志鹏等, 2006)。本研究中大肠菌群丰度与溶解有机碳、叶绿素 *a* 浓度的显著相关关系可能是由于胶州湾表层海水中浮游植物的降解, 使溶解有机碳浓度升高, 同时提供了大肠菌群生长的必要条件造成的。

胶州湾大肠菌群的丰度与胶州湾表层海水的盐度呈显著负相关, 这可能与胶州湾环境中淡水注入有关。分析发现胶州湾表层海水盐度的最低值均出现在夏季, 可能是相应时期降水增多, 地表径流量加大, 注入胶州湾的淡水丰富造成的。而夏季是大肠菌群丰度较高的季节, 可能是由于胶州湾周边径流将污染物大量带入湾内造成的。

胶州湾大肠菌群丰度及环境因子的相关性分析显示, 大肠菌群丰度变化对周边环境起到了很好的指示作用。

4 结论

(1) 胶州湾大肠菌群丰度作为指示环境状况的一项重要指标, 其丰度在夏秋季呈上升趋势, 冬、春两季呈下降趋势。自 2005—2009 年, 胶州湾大肠菌群丰度不断下降, 说明胶州湾环境有好转趋势。

(2) 胶州湾大肠菌群丰度在不同区域(河口、湾内、湾外、湾口)分布不同。通过大肠菌群的丰度分析, 胶州湾的河口区和湾口区的环境污染状况较严重, 应该作为今后环保工作的重点。

(3) 胶州湾大肠菌群的丰度变化对周边环境起到了很好的指示作用, 为更全面评价和保护胶州湾生态环境提供了科学依据。

致谢 中国科学院海洋研究所胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站为本研究分析提供环境数据, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王文琪, 钱振儒, 2000. 胶州湾水域异养细菌、大肠菌群和石油降解菌的生态分布. 海洋科学, 24(1): 37—39
- 中华人民共和国卫生部, 2010. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数, GB 4789.3-2010. 北京: 中国标准出版社, 1—7
- 石明岩, 莫东华, 冯兆继等, 2010. 垃圾渗滤液、粪便废水与城市废水合并处理研究. 中国市政工程, 2: 64—66
- 叶思源, 原晓军, 丁喜桂等, 2009. 胶州湾水生系统中 Pb、Zn 的分布特征及其在生物体中的浓缩. 海洋与湖沼, 40(4): 400—406

- 刘诚刚, 宁修仁, 郝 镡等, 2010. 海洋浮游植物溶解有机碳释放研究进展. 地球科学进展, 25(2): 123—132
- 刘瑞玉, 1992. 胶州湾生态学和自然资源. 北京: 科学出版社, 4—9
- 孙 松, 张永山, 吴玉霖等, 2005. 胶州湾初级生产力周年变化. 海洋与湖沼, 36(6): 481—486
- 李春雁, 杨永亮, 牟晓燕等, 2000. 山东荣成湾月湖细菌生态学. 青岛大学学报, 13(1): 67—71
- 李新正, 王洪法, 张宝琳, 2005. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. 海洋与湖沼, 36(6): 527—533
- 何本茂, 董万平, 韦蔓新, 2005. 不同模式对虾养殖水体中硝酸盐和亚硝酸盐的变化特征及其影响因素. 广西科学, 12(1): 76—79
- 沈晓盛, 陈亚瞿, 陈 琼, 2006. 杭州湾北岸奉贤水域大肠菌群异养细菌的生态分布. 海洋环境科学, 25(1): 20—23
- 张少军, 周 毅, 张延青等, 2010. 滤食性双壳贝类对工厂化养殖废水中悬浮物的生物滤除研究. 农业环境科学学报, 29(2): 363—367
- 张洪海, 杨桂朋, 2010. 胶州湾及青岛近海微表层与次表层中二甲基硫(DMS)与二甲基巯基丙酸(DMSP)的浓度分布. 海洋与湖沼, 41(5): 683—691
- 周小壮, 林小涛, 林继辉等, 2004. 不同模式对虾养殖的自身污染及其环境效应. 生态科学, 23(1): 68—72
- 赵三军, 肖 天, 李洪波等, 2005. 胶州湾异养细菌及大肠菌群的分布及对陆源污染的指示. 海洋与湖沼, 36(6): 541—547
- 贺志鹏, 宋金明, 张乃星, 2006. 南黄海溶解有机碳的生物地球化学特征分析. 海洋科学进展, 24(4): 477—488
- 倪 燕, 2010. 云龙水库氮、磷污染原因分析及对策措施. 环境科学导刊, 29(2): 45—48
- 徐 涤, 秦 松, 庞国兴等, 2004. 青岛和大连海区海带 (*Laminaria japonica*) 外生细菌的 16S rRNA 基因序列分析. 高技术通讯, 2: 81—86
- 郭 伟, 李书恒, 朱大奎, 2007. 深圳东部海岸地貌环境与可持续发展. 地理学报, 62(4): 377—386
- 黄 备, 唐静亮, 胡颢琰等, 2010. 舟山市海洋贝类生物体内的细菌学研究. 中国环境监测, 26(1): 31—33
- 黄自强, 张 克, 许昆灿等, 2004. 海水水质标准, GB 3097-1997. 北京: 中国环境科学出版社, 1—2
- 闾文威, 1976. 水界微生物生态研究法. 东京: 共立出版株式会社, 31
- Otto S, Balzer W, 1998. Release of dissolved organic carbon (DOC) from sediments of the N. W. European continental margin (Goban Spur) and its significance for benthic carbon cycling. Progress in Oceanography, 42(1—4): 127—144
- Simon J, Matthew R P, 1998. Nutrient budgets in intensive shrimp ponds: implications for sustainability. Aquaculture, 164(1—4): 117—133

VARIATION OF COLIFORM BACTERIA ABUNDANCE IN THE JIAOZHOU BAY AND ITS INDICATION TO ENVIRONMENTAL POLLUTION

DONG Yi^{1,2}, LIU Min^{1,2,3}, WU Hong-Qing^{1,2,4}, ZHANG Cui-Xia^{1,2}, ZHANG Wen-Yan¹,
YU Ying^{1,2}, FENG Mei-Ping^{1,2}, XU Jian-Hong¹, XIAO Tian¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, 571101; 4. Engineering Research Center of Seawater Utilization Technology, Hebei University of Technology, Tianjin, 300130)

Abstract A 7-year monitoring of coliform bacteria abundance in the Jiaozhou Bay showed clear annual variations. On an annual basis, the maximum abundance of coliform bacteria appeared in September $[(2.56 \pm 2.00) \times 10^4/\text{L}]$ and the minimum appeared in April $[(1.17 \pm 0.77) \times 10^4/\text{L}]$, the maximum was about 2.2 times of the minimum. Analysis on the interannual variations showed that the coliform abundance declined by about 67% from $(2.96 \pm 1.28) \times 10^4/\text{L}$ (2005) to $(0.97 \pm 0.81) \times 10^4/\text{L}$ (2009), suggesting that the environmental quality of Jiaozhou Bay had improved. The distribution of the coliform bacteria exhibited regional patterns. The maximum abundance appeared in the estuary area $[(5.42 \pm 2.47) \times 10^4/\text{L}]$, followed by the bay-mouth $[(1.18 \pm 0.14) \times 10^4/\text{L}]$, the outer bay $[(0.53 \pm 0.32) \times 10^4/\text{L}]$, and the inner bay $[(0.50 \pm 0.11) \times 10^4/\text{L}]$. The abundance in the estuary area was almost 11 times of the abundance from the inner bay. Correlation analysis between the abundance of the coliform bacteria and the environmental factors showed that the abundance was significantly correlated with sewage discharged in Qingdao, salinity, concentration of total nitrogen, dissolved organic carbon, and chlorophyll-*a* in the Jiaozhou Bay seawater.

Key words Coliform bacteria, Abundance, Environmental pollution, Jiaozhou Bay