利用胶州湾水环境指标分析青岛市环境经济关系

岳玲莉[1]， 高会旺[1]， 刘明君[1]， 邹 涛[2]， 陈小燕[1]

(1. 中国海洋大学 海洋环境与生态教育部重点实验室，山东 青岛 266100; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所 海岸带环境过程与生态修复重点实验室，山东 烟台 264003)

摘 要: 以青岛市-胶州湾为研究对象，选取胶州湾水体中 DIN、PO_4-P 和 COD 年均浓度为环境指标，以青岛市人均 GDP 为经济指标，分析了 1980 ~ 2010 年胶州湾水体环境质量变化与青岛市经济发展的关系。结果表明，胶州湾水体中 DIN 浓度随时间呈线性增长趋势，但与青岛市人均 GDP 的拟合关系具有显著的 *EKC* 单峰曲线特征，人均 GDP 约 4.5 万元/a 时出现转折点，此后 DIN 浓度随经济发展呈下降趋势。胶州湾水体中 PO_4-P 和 COD 浓度与青岛市人均 GDP 呈现"*N* 型"曲线关系，人均 GDP 约 5.2 ~ 5.7 万元/a 时出现转折点。胶州湾 PO_4-P 浓度随时间呈波动上升，但因胶州湾生态系统中 P 营养盐相对不足，PO_4-P 浓度会受到初级生产过程的影响，其随经济发展的关系并不完全由污染治理相关的经济活动所控制; COD 浓度随经济发展有先下降后上升、再下降的趋势，能够显示经济发展的贡献，但更多地反映了点源治理的影响。点源、非点源污染治理和产业结构调整等措施是环境经济关系改善的主因，充足的环保投资则是其经济保障。本研究可为认识其它沿海城市的环境经济关系提供借鉴。

关键词: 胶州湾; 青岛市; 水体环境; 环境经济关系; 环境库兹涅茨曲线(EKC)

中图分类号: X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2016)01-0106-07

DOI:10.13634/j.cnki.mes.2016.01.017

The relationships between environment and economy of Qingdao City by using water quality parameters in Jiaozhou Bay

YUE Ling-li[1], GAO Hui-wang[1], LIU Ming-jun[1], ZOU Tao[2], CHEN Xiao-yan[1]

(1. Key Lab of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: The relationships between water quality parameters in Jiaozhou Bay and GDP per capita in Qingdao city were analyzed based on the data from 1980 to 2010. It was indicated that DIN concentration in Jiaozhou Bay had a linear increase trend with time in the last 30 years, however, the fitting relationship with GDP per capita of Qingdao city shown a typical *EKC* curves with its pick at a GDP per capita of ~ 45000 /a. A "*N*-type" curve was shown between concentration of PO_4-P/COD in Jiaozhou Bay and GDP per capita in Qingdao city with the turning point at GDP per capita about 52000 ~ 57000 RMB/a. PO_4-P concentration in Jiaozhou Bay was fluctuating over time. It was affected by phytoplankton and their ecological responses to nutrient structure of the seawater due to its shortage comparing with DIN. COD concentration varied along with the economic index and had a previous trend of derease in the last few years. This trend reflected the influence of investment for environmental protection but more impacted by the con-

收稿日期: 2014-09-17，**修订日期:** 2014-11-21
基金项目: 国家自然科学基金-山东省政府联合资助海洋科学研究中心项目(U1406403); 国家自然科学基金(41306100)
作者简介: 岳玲莉(1972-)，女，山东荣成人，博士在读，主要研究方向为环境科学，E-mail: lly9190@126.com
通讯作者: 高会旺(1966-)，教授，博士生导师，主要从事环境科学研究，E-mail: hwgao@ouc.edu.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

trol of point sources. Both PO_4-P and COD were not entirely controlled by pollution govern-related economic activities. Control of waste water discharge by environmental protection measures and industrial structure adjustment to reduce emission of pollutants are always the direct reason to improve the relationships between environment and economic, however sufficient investment for environmental protection regulates this improving processes. This study may provide a reference for understanding the relationships of environment and economic to other coastal cities in China.

Key words: Jiaozhou Bay; Qingdao city; water environment; relationship between environment and economy; Environmental Kuznets Curve(*EKC*)

20 世纪 90 年代初，Grossman and Krueger[1]、Shafik and Bandyopadhyay[2] 在总结经验数据的基础上，提出了环境质量与经济增长之间的倒 U 型曲线关系，即环境库茨涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve，*EKC*) ，这是环境经济关系研究的经典之作，已被成功应用于环境经济发展趋势预测。Selden and Song[3]、Hilton and Levinson[4]、Panayotou[5] 等先后用观测和统计数据证明了 *EKC* 的存在。而另外一些研究则提出了经济与环境之间的其他关系，如 Friedl[6] 发现奥地利 CO_2 排放量与国内生产总值(GDP) 的关系呈三次方曲线(*N* 型) ，Arrow and Bolin[7] 认为经济发展对环境的影响关系复杂，不能一概而论。国内学者杨凯等对 EKC 进行了实证研究，发现有些环境指标符合 *EKC* 曲线，有些并不符合[8-13]。在已有的相关研究中，一般选取人均 GDP 作为经济指标，但环境指标的选择各不相同。对国内外相关研究的综合分析发现，在研究区域环境经济关系时，用水环境质量数据作为环境指标的较多，而用三废排放量作为环境指标的分析多数并不理想。理论上讲，三废排放量与环境保护投资之间的关系更为直接，但排放量的估算往往受统计口径、统计范围等因素的影响，导致得出的结论往往并不能反映实际情况。以污水排放量为例，从影响水环境质量的污染源看，非点源可能已成为影响水体环境质量的重要因素，但其贡献却难以准确统计[14]。可见，针对经济与环境之间的复杂关系，目前的认识仍存在较大的不确定性，特别是对沿海地区的环境经济关系缺乏研究，而沿海地区的环境经济关系对我国环境与经济的可持续发展均具有举足轻重的作用。

我国沿海地区经济发展迅速，同时环境问题也尤为突出，因此要实现沿海城市经济与环境的协调发展就必须深入认识二者之间的关系。青岛市是国务院批准的山东半岛蓝色经济区的核心区域和龙头城市，属典型的海湾型沿海城市。自改革开放以来，随着青岛市经济快速发展和城市化的加剧，环湾流域入海污染物总量增加，导致湾内海水水质下降、富营养化加剧等系列海洋环境问题。近年来，随着多项环境政策的出台及减排措施的推进，胶州湾水质趋于稳定并有所改善，部分污染物浓度开始呈下降趋势。但胶州湾水体环境变化趋势与城市经济发展之间的关系尚不明晰，特别是改革开放以来，经济发展与环境变化之间是否也遵循上述的变化关系(如 *EKC* 关系，*N* 型关系) 则需要论证和分析。

本研究在分析胶州湾水质变化与青岛市经济发展特点的基础上，以胶州湾水质因子总溶解无机氮(DIN) 、活性磷酸盐(PO_4-P) 、化学需氧量(COD) 年均浓度作为环境指标，以青岛市人均 GDP 为经济指标，分析了 30 a 来(1980 ~ 2010 年) 胶州湾水体环境质量与青岛市经济发展的关系，并讨论了这一关系的影响因素及变化趋势。

1　材料与方法

1.1　研究区域

胶州湾作为青岛市的母亲湾，总水域面积约 320 km^2，平均水深 8.8 m，湾口狭小，最窄处约 3.1 km，是典型的半封闭港湾，海水交换能力不强[14-16]。

作为典型海湾城市，青岛市因海而生，环胶州湾建设与发展是其经济发展的主要特点。改革开放以来，青岛市逐步形成了港口、旅游、海洋科技、制造业和高新技术产业为主的经济特色。十一五以来，确立了“依托主城、拥湾发展、组团布局、轴向辐射”的空间发展模式，构筑了环湾型大城市框架，2012 年，环胶州湾生产总值达到 2939 亿元，占青岛市生产总值的 68%[17]。与经济布局相对应，青岛城市排污单元主要围绕胶州湾设置，全市约 70% 的工业和生活污水最终流入胶州湾。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

影响胶州湾水体环境质量的污染源主要有陆源、大气沉降(气源)和海上污染源(海源)三部分。陆源污染物主要通过河流、直排口和混排口等排入胶州湾,是各类化学污染物的最主要来源。大气沉降包括干沉降和湿沉降,也是胶州湾化学污染物的来源之一[18]。海上污染源包括各种海上活动,如海上交通、海岸工程建设、海水养殖等,是胶州湾石油烃、营养盐等化学污染物的另一个来源。以DIN、COD、TDP(总溶解磷酸盐)为例,胶州湾陆源排海量占比分别达93%、97%和98%,气源分别占6%、0%和2%,海源的贡献为<1%、3%和<1%[16]。本文选取胶州湾水体中DIN、PO_4-P、COD等污染物浓度作为环境指标,研究青岛市经济发展对胶州湾环境质量的影响,重点分析环境指标与经济指标之间的定量关系。

1.2 资料来源与分析方法

人均GDP常作为经济学中衡量经济发展状况的指标,因此文中选用青岛市人均GDP(万元/a)作为经济指标。青岛市人均GDP根据全市生产总值(按当年价格计算)和全年常住人口计算,数据来源于青岛市国民经济发展统计数据[17],为第二次经济普查(2008年)修订后数据。胶州湾水体中DIN、COD、PO_4-P浓度数据主要来自青岛市环保局1998~2010年在胶州湾海域的环境监测资料[19-20]。1980~1997年数据来自在胶州湾进行的多次以科研项目为依托的海洋环境综合调查数据,主要从已发表的文献中获得[21-31],对收集到的文献数据进行筛选与处理过程中,同一年份不同来源的资料取其算术平均值。

1998~2010年,青岛市环保局对胶州湾进行了连续的环境监测,监测点位分布如图1所示。对监测结果的年度均值进行分析,其计算公式为:

$$Y_k = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}X_i\right) \quad (1)$$

式中:Y_k为胶州湾第k种水质因子某一年度各监测点位平均浓度;k分别代表水质因子DIN(μmol/L)、COD(mg/L)和PO_4-P(μmol/L);j代表第j个监测点位;m为监测点位数;X_i为监测的水质因子浓度,i代表该年度的第i次监测;n为该年度监测频次,文中为3~4次/a(1998~2009每年,5、8、10月各取样监测1次,2010始增加了3月份的监测,即每年监测次数增加到4次。一般在高平潮水位取样)。

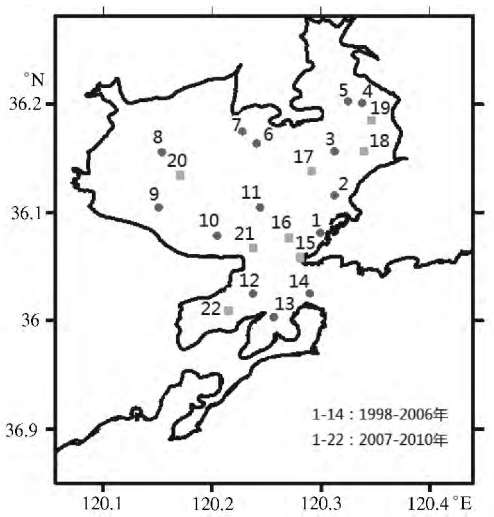

图1 1998~2010年胶州湾水体中环境监测点位

Fig. 1 Distributions of monitoring sites in Jiaozhou Bay in 1998~2010

2 结果与讨论

2.1 近30 a胶州湾水质因子浓度变化

如图2所示,30 a来胶州湾水体中DIN浓度总体上呈线性增长趋势。上世纪80年代初,DIN年平均浓度为6.14~6.78 μmol/L,1980~1993年多年平均浓度为9.00 μmol/L,90年代中期DIN浓度开始大幅度增加,1998年高达32.07 μmol/L,海水水质由一类降至四类,2000年前后略有回落,2003年再次呈上升趋势,2005年达峰值42.14 μmol/L后开始回落,2010年降至27.86 μmol/L。PO_4-P浓度在0.32~0.97 μmol/L间波动,基本介于一类与二类海水水质之间。COD浓度变化不大,有缓慢波动上升趋势,浓度值介于0.57~1.57 mg/L之间,但均保持在一类水质标准以内。比较这三类水质因子的时间变化趋势可见,胶州湾水质特征呈现的是DIN逐渐积累的富营化状态。

2.2 青岛市经济增长趋势与产业结构变化

EKC理论认为,在经济发展初期,环境会随经济发展而恶化,当经济发展到一定水平后,随着产业结构升级和环境意识增强,环境将得到治理与改善[1-4]。如图3所示,1980~2010年,青岛市GDP由48.65亿元/a增长到5666.19亿元/a。其中,第二、三产业增长较快,年均增长率分别达18%和21%。从产业占比看,第一产业占比由21%降至5%;第二产业占比45%~54%,2006年

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

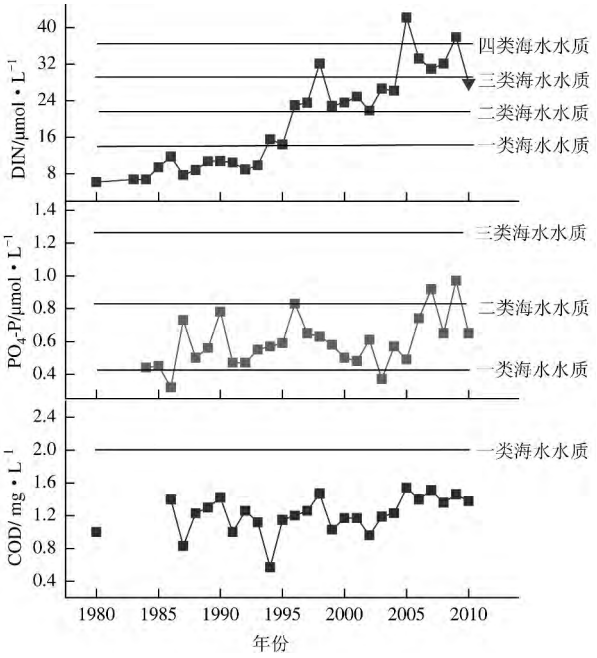

图 2　1980～2010 年胶州湾水体中 DIN、PO_4-P、COD 浓度变化

Fig. 2 Variations of annual mean concentrations of DIN, PO_4-P, COD in 1980～2010

始呈下降趋势；第三产业占比由 25% 上升至 46%，经济结构不断优化。人均 GDP 由 819 元/a 增长到 6.58 万元/a[17]，1990 年后，人均 GDP 呈快速增长趋势，年均增长率达 17.6%。

2.3　近 30 a 胶州湾水体中 DIN、COD、PO_4-P 浓度与青岛市人均 GDP 的关系

用 SPSS13.0 进行 Pearson 相关性分析表明，胶州湾水体中 DIN、PO_4-P、COD 浓度与青岛市人均 GDP 的关系分别是二次、三次及三次关系（表 1），即为 *EKC* 曲线和 *N* 型曲线关系。

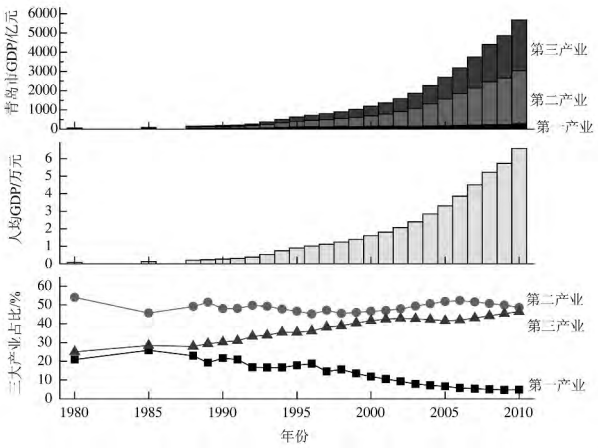

图 3　1980～2010 年青岛市 GDP、人均 GDP 及产业结构变化

Fig. 3 Total GDP, GDP per capita and the economic structure of Qingdao city in 1980～2010

表 1　青岛市人均 GDP 与胶州湾水质（DIN、COD、PO_4-P）的拟合关系

Tab. 1 Fitting relationships between GDP per capita of Qingdao city and water quality (DIN, COD, PO_4-P) of Jiaozhou Bay

因变量	方程	模型汇总					参数估计值				Pearson 相关性
		R^2	F	$df1$	$df2$	$Sig.$	常数	$b1$	$b2$	$b3$	
DIN	二次	.814	48.083	2	22	.000	6.722	12.394	−1.365		.815**
COD	三次	.308	3.119	3	21	.048	1.188	−.160	.096	−.010	.492*
PO_4-P	三次	.249	2.215	3	20	.118	.559	−.056	.039	−.004	.477*

**、* 分别表示 0.01、0.05 的显著水平

胶州湾水体中各水质因子浓度与人均 GDP 变化关系的拟合曲线见图 4。虽然 DIN 浓度随时间呈现线性增长趋势（图 2），但从随经济指标变化的曲线看，胶州湾 DIN 浓度与青岛市人均 GDP 的关系符合 *EKC* 特征，为典型的倒 U 型曲线，随着人均 GDP 的增长，DIN 浓度不断增高，至人均 GDP 约为 4.5 万元/a 时达到转折点，此后呈下降趋势。PO_4-P 与 COD 浓度随经济指标的变化曲线均呈三次方型，即 *N* 型曲线，先下降后上升，达到转折点后再下降，第一次下降的低点均出现在 1996 年人均 GDP 约 1.0 万元/a 的时期，此后随人均 GDP 增长再次上升，至人均 GDP 约 5.7 和 5.2 万元/a 时达到最高点，然后呈下降趋势。

2.4　胶州湾水质因子与青岛市经济增长关系趋势与影响因素分析

从图 4 显示的环境指标的转折点看，胶州湾 DIN 浓度在人均 GDP 约 4.5 万元/a 时达到转折点，PO_4-P 浓度在人均 GDP 约 5.7 万元/a 时达到转折点，COD 浓度在人均 GDP 约 5.2 万元/a 时达到转折点。结果与 Grossman and Krueger[1]、Selden and Song[3] 提出的 *EKC* 转折点一般在约 0.8 万～1 万美元的结论基本一致。

近 20 a 来，胶州湾海水 N/P 比值一直处于较高水平，由 1981～1984 年的 9～18 上升到 1994

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

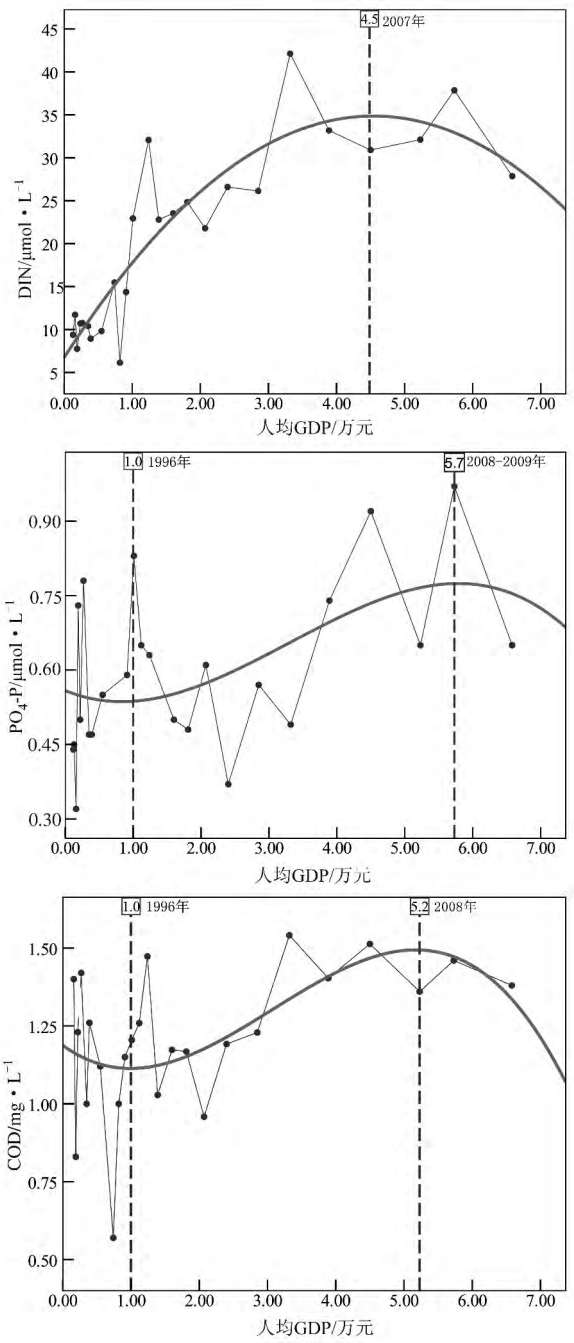

图4 1980～2010年胶州湾水体中DIN、PO_4-P、COD浓度与青岛市人均GDP变化关系的拟合曲线

Fig. 4 Relationships between concentrations of DIN、PO_4-P and COD in Jiaozhou Bay and GDP per capita in Qingdao city during 1980～2010

年的最高值64.5和2001年的次高值57，2001年后N/P比有所下降，2007～2008年降至20.1，但仍高于浮游植物吸收营养盐的参考比例(Redfield比值N/P=16)，海湾初级生产过程依然处于磷限制的状态[23]。因此，胶州湾DIN浓度主要受陆源排放影响，而PO_4-P浓度不但受陆源污染物排放量的影响，也受海湾中初级生产者生物活动影响。因此，DIN较PO_4-P更适合作为反映污染物排放量和海湾环境变化的参量，即反映胶州湾水体环境变化的指标。COD主要来源为工业源、居民生活源和畜禽养殖源，浓度变化的主因可能源于点源治理效果而不是点源和非点源的共同治理效果。因此，COD浓度只能部分反映经济活动与环境变化的关系。

从影响环境经济关系的因素看，与多数发达国家和地区一样，青岛市经历了经济快速增长带来的环境污染问题，也正在经历环境治理使胶州湾水质环境趋于改善。上世纪80年代末90年代初期，受经济发展和人口增长带来的污水排放量急剧增长的影响，胶州湾水体污染物浓度呈快速增长势头，各级政府通过建设和改造污水治理设施对污水进行集中处理，在其后的十年内有效控制了点源污染。1993～1999年，环胶州湾4座污水处理厂相继投入使用，并辅以截污工程，主城区工业与生活污水得到处理，2000年湾内水体污染物浓度呈现阶段降低。本世纪以来，新一轮经济发展再次使胶州湾污染加重，污染物浓度呈上升趋势，环境经济矛盾突出，同时申奥成功后青岛市作为奥运伙伴城市亟需改善环境质量。2005年始，政府投入近20亿元对环胶州湾重点流域污染进行治理；2006年始，实施水体污染物排放总量控制；2008年出台“环湾保护，拥湾发展”政策，配套实施环胶州湾保护规划，城区污水处理设施进行提标改造，污水收集处理后达一级A排放，污水处理厂日处理能力达90万t/d。2007～2009年，EKC转折点出现，胶州湾水体污染物浓度开始随经济发展呈下降趋势。从非点源污染的治理看，2008年，青岛市进入农村环境治理阶段，推进生态农业和绿色防控技术发展、治理畜禽养殖污染，减少了通过自然径流排入水体的污染物量。当时人均GDP约为5万元/a，胶州湾污染物浓度出现了明显下降。截至2012年，全市农村沼气池总池容达到8.5万m^3，年处理农村垃圾、粪便和污水131万t，减少化肥施用的测土配方施肥技术覆盖面积37.3万hm^2，减少农药施用的绿色防控技术覆盖面积2.7万hm^2(青岛市农委)。据分析，2011～2012年，畜禽养殖和农业种植污染治理分别减少COD 1.3万t、NH_4-N 0.08万t。这些措施都显著降低了排入胶州湾的DIN、COD总量。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从产业结构的变化看，30 a 来产业结构处于不断的调整变化中（图 3）。第一产业占比总体呈波动下降趋势，自 2006 年出台产业结构调整政策以来，大力发展金融、物流、旅游、会展、科技与信息服务等九大现代服务业，加快构建以服务经济为主的产业结构，第二产业占比下降趋势明显，相应地第三产业比例明显上升。2007 ~ 2009 年第三产业所占比重达 43% ~ 45%，人均 GDP 约为 4.5 万元/a ~ 5.7 万元/a，当人均 GDP > 6 万元/a 时，污染物浓度随经济发展均有不同程度下降。这表明第二产业下降、第三产业增长对环境经济关系改善具有重要贡献。

从近年的环保投资看，2007 ~ 2010 年共投入 26.73 亿元。从 2007 年的 2.89 亿元到 2010 年的 12.88 亿元，投资额度年均递增 66.3%。其中，2009、2010 年年均增幅 80% 以上，对应了 *EKC* 曲线达到顶点后的污染物浓度下降期。青岛市环保局统计数据显示，2010 年万元 GDP 的 COD 排放强度从 2005 年的 2.15 kg 下降至 0.82 kg，COD 排放总量下降了 18%，年均减排率近 4%[19]。环保投资力度的加大有效保障了各项环境治理措施的实施，为胶州湾环境质量随经济发展而不断改善提供了经济基础。

从政策的持续性看，自转折点出现后，青岛市保持了水环境治理的持久性和高投入。2009 年以来，先后出台实施了 2009 ~ 2010、2011 ~ 2012、2013 ~ 2015 年三轮环胶州湾流域污染综合治理行动计划和 2014 ~ 2016 年全市河流污染综合治理规划，实施了水污染治理工程 2000 多项，涉及环胶州湾大小 80 多条河流（河段），总投资 200 多亿元。到 2013 年底，全市排水管道总长度达到 6536 km，比 2008 年底的 4229 km 增加了 2000 多 km，污水处理厂总建成规模达到 170 万 t/d，环胶州湾区域城镇污水集中处理率提升到 90% 以上。这些环保政策及对应的投资都将会进一步改善青岛市的环境经济关系。

据环保部门评估，2010 年后胶州湾海域优于二类水质标准的面积逐年增加，四类及以下水质面积逐年减少，水体中的 DIN 浓度已连续 3 a 下降 8% 以上。尽管近年来胶州湾环境处于好转趋势，但海洋生态环境的改善并非朝夕之间，青岛市环境经济关系的好转将始终建立在持续的环境政策和环境投资基础之上。

3　结　论

（1）青岛市作为典型的海湾型沿海城市，目前全市约 70% 的污水量纳入胶州湾，其中陆源入海量占比 90% 以上。污染物的入海量既能反映环境治理的力度，也直接影响着海湾水体的污染物浓度，但其估算因面源观测资料不足而有较大的不确定性。因此，本文利用胶州湾水质指标与青岛市人均 GDP 研究了青岛-胶州湾的环境经济关系。

（2）胶州湾水体中 DIN、PO_4-P、COD 浓度与青岛市人均 GDP 进行数据拟合的结果表明，转折点出现在人均 GDP 约（4.5 ~ 5.7）万元/a 时，此后，污染物浓度随经济发展呈下降趋势。DIN 浓度与经济指标拟合程度较好，具有明显的 EKC 曲线特征。PO_4-P 浓度和 COD 浓度与经济指标之间呈现 N 型曲线关系。由于 PO_4-P 受到初级生产过程的明显影响，COD 更多地反映了点源减排的效果，因此它们的浓度变化并不能全面地反映胶州湾环境质量改善与青岛市经济增长及环保投资的关系。

（3）对影响环境与经济关系的因素分析表明，点源、非点源污染治理和产业结构调整等措施使入海污染物排放量随经济增长而减少，是环境经济关系改善的主因，环境治理投资力度增加则是推动胶州湾水质好转的经济保障。因此，只有坚持环保政策与投资的连续性，胶州湾生态环境才能得到持续改善。

参考文献：

[1] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement [R]. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research, 1991: 401-411.

[2] SHAFIK N, BANDYOPADHYAY S. Economic growth and environmental quality: time series and cross country evidence dataset [R]. Washington DC: World Bank, 1992: 209-217.

[3] SELDEN T M, SONG D Q. Environmental quality and development: Is there a Kuznets curve for air pollution emissions? [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1994, 27 (2): 147-162.

[4] HILTON F G H, LEVINSON A. Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from automotive lead emissions [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1998, 35 (2): 126-141.

[5] PANAĬOTOV T. Empirical tests and policy analysis of environ-

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

mental degradation at different stages of economic development [R]. Geneva: International Labour Office, 1993: 1-42.

[6] FRIEDL B, GETZNER M. Determinants of CO_2 emissions in a small open economy [J]. Ecological Economics, 2003, 45(1): 133-148.

[7] ARROW K, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment [J]. Science, 1995, 268(5210): 520-521.

[8] 杨 凯,叶 茂,徐启新. 上海城市废弃物增长的环境库兹涅茨特征研究 [J]. 地理研究, 2003, 22(1): 60-66.

[9] 纪建悦,于晓黎. 青岛市环境污染的库兹涅茨曲线特征及原因分析 [J]. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2009(6): 162-179.

[10] 张丕景,胡燕京,朱 琳,等. 青岛市环境库茨涅茨曲线实证分析 [J]. 青岛大学学报: 自然科学版, 2009, 22(3): 82-86.

[11] 李国华,王志宪. 青岛市水环境库兹涅茨曲线特征、成因及对策研究 [J]. 青岛理工大学学报, 2011, 32(3): 75-79.

[12] LIU X Z, HEILIG G K, CHEN J M, et al. Interactions between economic growth and environmental quality in Shenzhen, China's first special economic zone [J]. Ecological Economics, 2007, 62(3/4): 559-570.

[13] SHEN J Y. A simultaneous estimation of Environmental Kuznets Curve: Evidence from China [J]. China Economic Review, 2006, 17(4): 383-394.

[14] ZHANG J. Watersheds nutrient loss and eutrophication of the marine recipients: a case study of the Jiaozhou Bay, China [J]. Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 2007, 7(6): 583-592.

[15] 赵 亮,魏 皓,赵建中. 胶州湾水交换的数值研究 [J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(1): 23-29.

[16] 王修林,李克强,石晓勇. 胶州湾主要化学污染物海洋环境容量 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-29.

[17] 青岛市统计局. 国民经济发展分析 [EB/OL]. http://www.stats-qd.gov.cn/statsqd/index/index.shtml 2013.

[18] 高会旺,张英娟,张 凯. 大气污染物向海洋的输入及其生态环境效应 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 326-330.

[19] 青岛市环境保护局. 青岛市环境状况公报: 1998-2011 年 [R]. 青岛: 青岛市环境保护局, 1999-2011.

[20] 青岛市环境保护局. 青岛市环境保护志 [R]. 青岛: 青岛市环境保护局, 2005, 5: 166-171.

[21] 中国科学院海洋研究所水化学研究组. 胶州湾海水中氮的地球化学(续) [J]. 海洋湖沼通报, 1982(4): 37-46.

[22] 胶州湾及邻近海岸带功能区划联席会议. 胶州湾及邻近海岸带功能区划 [M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 32-34.

[23] 孙晓霞,孙 松,赵增霞,等. 胶州湾营养盐浓度与结构的长期变化 [J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 662-669.

[24] 刁焕祥. 胶州湾水域生物理化环境的评价 [J]. 海洋湖沼通报, 1984(2): 45-49.

[25] SHEN Z L, LIU Q, WU Y L, et al. Nutrient structure of seawater and ecological responses in Jiaozhou Bay, China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 69(1/2): 299-307.

[26] 沈志良,陆家平,刘兴俊,等. 胶州湾水域的营养盐 [J]. 海洋科学集刊, 1994(35): 115-129.

[27] 孙 耀,陈聚法,张友篪. 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.

[28] 赵夕旦,祝陈坚,举 鹏,等. 胶州湾东部海水中氮的含量和分布 [J]. 海洋科学, 1998, 22(1): 40-43.

[29] 任 玲,张曼平,李 铁,等. 胶州湾内外海水中营养盐的分布 [J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 1999, 29(4): 692-697.

[30] 青岛市海洋与渔业局. 青岛市海洋环境质量公报: 2001, 2003-2004 [R]. 青岛: 青岛市海洋与渔业局, 2002-2005.

[31] 钱国栋,汉红燕,刘 静,等. 近 30 年胶州湾海水中主要化学污染物时空变化特征 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 781-788.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net