

DOI: 10.5846/stxb201311011519

杜鑫, 许东, 付晓 吴钢. 辽河流域辽宁段水环境演变与流域经济发展的关系. 生态学报, 2015, 35(6): 1955-1960.

Du X, Xu D, Fu X, Wu G. An empirical research on the relationship between water environment and economic development in liaohhe river watershed. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(6): 1955-1960.

辽河流域辽宁段水环境演变与流域经济发展的关系

杜 鑫^{1,2}, 许 东³, 付 晓^{1,*}, 吴 钢¹

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 沈阳师范大学, 沈阳 110034

摘要:以流域为单元进行社会经济发展与环境保护调控,是实现可持续发展的有效途径,因此以流域为单元开展社会经济发展与水环境变化相互作用的研究方兴未艾。运用多元线性回归分析,选取社会经济指标(第一产业生产总值、第二产业生产总值、年末总人口)为自变量,水质指标(化学需氧量、氨氮浓度)为因变量定量研究了 2001—2010 年辽河水环境演变与流域内社会经济发展之间的关系;并采用经济增长指标(人均 GDP)、水环境指标(化学需氧量、氨氮浓度)作为模型中指标,进行了环境库兹涅茨曲线模拟与分析。根据研究结果推断:第二产业生产总值、人口是影响辽河水水质化学需氧量浓度变化的社会经济重要因素,影响氨氮浓度变化的因素众多;辽河流域经济增长与水环境之间的关系曲线不完全符合典型的库兹涅茨曲线特征。随着经济快速增长,应在开展工业点源污染达标排放控制的同时,加强农业面源污染的治理力度。

关键词:辽河流域;水环境演变;经济发展;多元回归分析;环境库兹涅茨曲线

An empirical research on the relationship between water environment and economic development in liaohhe river watershed

DU Xin^{1,2}, XU Dong³, FU Xiao^{1,*}, WU Gang¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China

Abstract: Taking a river watershed as a unit to regulate socio-economic development and environmental protection, is an effective way to achieve sustainable development. And therefore it is unfolding to carry out a study of the interaction between the socio-economic development and the changes in the water environment in a river watershed. Using multiple linear regression analysis, selecting socio-economic indicators (the primary industry GDP, the secondary industry GDP, the end of the total population of one year) as the independent variable, water quality indicators (concentration of COD_{Mn} and NH₃-N) as the dependent variable, quantitative research of the relationship between the socio-economic development and water environment was carried out from 2001 to 2010 in Liaohhe River watershed. And the environmental Kuznets curve was simulated by taking water environment indicators (concentration of COD_{Mn} and NH₃-N) and economic growth indicators (per capita GDP) as indicators. And the results showed that the secondary industry GDP, population are important factors to affect the changes of the concentration of COD_{Mn}, and there are many factors to influence NH₃-N concentration. And relationship curve between the economic growth and water environment is not fully consistent with the typical Kuznets Curve

基金项目:中国科学院项目(STSN-13-07);国家重点实验室项目(SKLURE2010-1-6)

收稿日期:2013-11-10; 网络出版日期:2014-07-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaofu@cees.ac.cn

in Liaohe River Watershed. Accompanied rapid economic growth, industrial point source pollution discharge control should carry out, and agricultural nonpoint source pollution control efforts should be strengthened at the same time.

Key Words: Liaohe River watershed; evolution of the water environment; economic development; multivariate regression analysis; environmental Kuznets curve

随着社会经济的快速发展,人类对资源利用与环境保护之间的矛盾日趋尖锐。环境变化与社会经济之间的关系日益受到重视^[1-3],国外学者经常通过对不同地区、不同污染物的实证研究来检验环境库兹涅茨曲线(EKC)是否存在,并将经济增长与生态环境之间是否存在 EKC 曲线作为论证工业化、经济增长与生态环境能否协调发展的依据^[4-6]。而流域水环境作为人类生存和发展的重要依托,自 20 世纪 90 年代以来,以流域为单元开展社会经济发展与水环境变化相互作用的研究方兴未艾^[7]。

国内学者近年来也开始关注水环境的研究。部分学者从战略的高度提出了我国流域水环境保护与社会经济协调发展等问题^[8-9];大量学者对于水环境的演变规律进行了分析^[10-15],部分学者对于水环境的演变成因进行了定性^[10-12,14]或是定量^[4,7,13,16-18]探讨。从国内研究现状来看,应加强研究方法的多元化以及研究的多视角化,从水环境的社会经济影响机制、发展趋势全方位进行探讨。

辽河流域是我国七大流域之一,位于我国重工业发达的东北地区,流域内城市群集中、人口密集、工农业发达,该区域曾为全国的经济发展作出过重大贡献,多年的工农业生产导致流域水环境严重受损,辽河被列为我国重点治理的“三湖三河”之一^[19],其所面临的人口、资源、环境与发展问题比其它区域更加深刻而复杂。近年来,针对辽河流域水环境的研究日益增多。特别是在水环境演变趋势、水环境承载力、生态影响以及管理对策方面出现了较多成果^[19-28]。从总体来看,这些研究工作对辽河流域水环境保护及水污染治理起到了重要作用,但未能将各类社会经济活动与流域的污染压力结合起来,没有考虑流域内社会经济分布与污染产生的关系。而这些都是流域水环境管理中不可忽视的视角。

基于以上原因,本文以辽河辽宁省段为例,尝试运用多元线性回归分析和环境库兹涅茨曲线模拟,定量研究分析辽河流域自 2001—2010 年 10 年间水环境演变与流域内社会经济发展之间的关系,并作出一定的发展判断和分析。

1 研究区概况

辽河流域是我国七大流域之一,包括辽河水系和大辽河水系。辽河全长 1390 公里,流域面积 21.9 万平方公里,由西辽河、东辽河以及发源于吉林、内蒙古的招苏台河、条子河等支流在辽宁省境内汇合而成,于盘锦市入海,河流干流主要在辽宁省境内。

本文研究范围为辽宁省境内的辽河流域,主要由辽河、太子河、浑河、大辽河 4 条干流和 40 多条一级支流组成,流经沈阳、鞍山、抚顺、本溪、盘锦、营口、辽阳、铁岭八地市,其干流由辽河水系和大辽河水系组成,分别由盘锦的双台子河和营口的大辽河入海。

1.1 社会经济发展背景

辽河流域辽宁省境内是经济较发达的工业集聚区和都市密集区。流域内社会经济密度较大,社会经济相对活跃,辽河流域承载了超过全省半数以上的社会经济产值。以沈阳为核心的“五带十群”发展规划指出至 2015 年地区生产总值年均增长达 14%以上,规模以上工业增加值年均增长 16%,城镇化率要达到 80%以上,要支撑如此大规模快速的地区发展,环境压力巨大^[22]。

2001 年至今,辽河流域辽宁省段内经济高速增长。2010 年全流域地区生产总值达 12284.41 亿元,是 2001 年的 3.93 倍,人均国内生产总值是 2001 年的将近 4 倍。三次产业发展中,2010 年生产总值分别是 2001 年的 3.06、4.48、3.82 倍(图 1),由此可以看出,区域发展过程中,二产增长速度较快,尤以工业增长速度明显,

为 4.53 倍。同时,2001—2010 年辽河流域人口与 GDP 发展趋势类似,也呈现增长趋势,由 2247.25 万人增长到 2302.15 万人(图 2)。

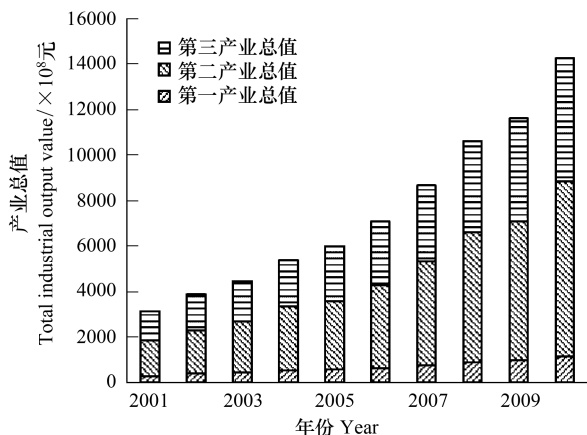


图 1 辽河流域内 2001—2010 年各产业总产值

Fig.1 Total production value of industries 2001—2010 in Liaoh River watershed

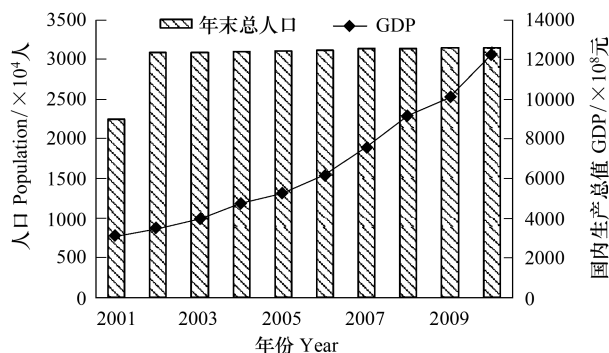


图 2 辽河流域内 2001—2010 年人口变化

Fig.2 Population sorts of 1990—2000 in Liaoh River watershed

1.2 水环境现状

在最近的 10a 中,辽河流域水环境质量变化较大(图 3)。辽河水系辽宁省段内包括辽河、浑河、太子河和大辽河 4 条主要河流。2002 年辽河铁岭、沈阳、盘锦 3 个河段均为劣 V 类水质,污染严重。主要污染物是化学需氧量、生化需氧量和氨氮,分别超过国家 V 类水质标准 0.8 倍、0.1 倍和 0.8 倍。由于境外污水排入,对辽河铁岭段水质影响较大,浑河、太子河和大辽河的 18 个监测断面中,Ⅳ类和劣 V 类水质分别占 27.7% 和 66.7%。其中浑河抚顺段为Ⅳ类,沈阳段为劣 V 类;太子河本溪段为 V 类,辽阳段为Ⅳ类,鞍山段为劣 V 类;大辽河盘锦段、营口段均为劣 V 类水质。氨氮污染突出,最高断面超过国家 V 类水质标准 6.9 倍。各断面中,沈阳七台子、于家房、本溪兴安和盘锦三岔河断面污染严重。大凌河水系大凌河是全省水质污染最重的河流。全河段化学需氧量、生化需氧量浓度均值分别超国家 V 类水质标准 3.6 倍和 7.4 倍。

2010 年,辽河流域水质相对好转,26 个干流断面的化学需氧量平均浓度为 18mg/L,辽河、浑河、太子河化学需氧量年均浓度在 12—24 mg/L 之间,为 2001 年来最低值。干流断面化学需氧量年均浓度全部符合 V 类水质标准。但是氨氮污染仍然较重,57.7% 的干流和 59.5% 的支流断面氨氮超 V 类水质标准。

2 研究方法

2.1 多元线性回归分析

运用多元线性回归分析方法,建立辽河流域内 2001—2010 年经济发展与水质之间的相关关系模型。其中,社会经济指标为自变量,水质指标为因变量。选用的社会经济指标包括第一产业生产总值(FDP)、第二产业生产总值(SDP)、年末总人口(POP),数据资源来源于辽宁省统计年鉴;考虑到辽河现有资料的实际情况,

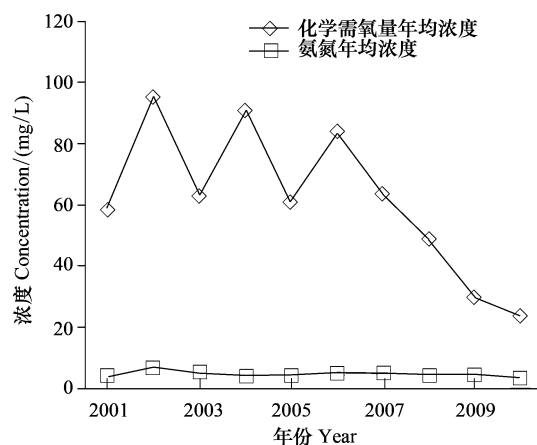


图 3 辽河水体 2001—2010 年平均水质结果

Fig.3 Annual average on water quality of 2001—2010 in Liaoh River (mg/L)

选择研究期间逐年的化学需氧量(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)等年平均值作为水质评价指标,数据来源于环境统计报表。

多元线性回归是研究多个变量之间关系的回归分析方法,根据多个自变量的最优组合建立方程来预测因变量。多元回归分析的模型可以表达为:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n + e \quad (1)$$

式中, Y 为根据自变量计算出的估算值, b_0 为常数项, $b_1, b_2, \cdots, b_n$ 为的偏回归系数, e 为随机误差。多元线性回归分析中常用复相关系数 R 和 R^2 作为判定指标。 R 介于0—1之间,越接近1,表示线性关系越强;反之表示线性关系越差。 R^2 经常被用来作为多元回归中的判定系数,来解释回归模型中自变量的变化在因变量变化中所占的比率。为了避免自变量的个数对判定系数产生影响,回归分析中经常使用修正的 R^2 进行判定,以便可以较为确切的反应拟合情况^[29]。

2.2 环境库兹涅茨曲线模拟

环境库兹涅茨曲线是通过人均收入与环境污染指标之间的演变模拟,说明经济发展对环境污染程度的影响,环境库兹涅茨曲线的含义是沿着一个国家的发展轨迹,尤其是在工业化的起飞阶段,不可避免地会出现一定程度的环境恶化;在人均收入达到一定水平后,经济发展会有利于环境质量的改善^[30]。

本研究对辽河流域的水环境与社会经济之间的关系进行EKC曲线模拟。

这里采用经济增长指标(x):考虑指标的代表性,选取人均GDP作为模型中经济增长指标。

水环境指标(y):根据辽河流域辽宁段区域目前发展阶段和生态环境问题的突出表现,分别选取COD_{Mn}、NH₃-N作为模型中环境污染指标。

3 结果分析

3.1 多元回归结果分析

将数据输入到模型中,得到COD_{Mn}多元回归模型结果表1—表3。

表1 COD_{Mn}模型汇总

Table 1 Model summary

R	R^2	调整 R^2	估计标准误差 Standard error of estimate
0.777	0.61	0.50	17.02

表2 ANOVA 方差分析

Table 2 Analysis of Variance

指数 Index	平方和 Quadratic sum	df	均方 Mean square	F	显著性 Sig.
回归 Regression	3089.97	2	1544.99	5.335	0.04
残差 Residuals	2026.97	7	289.57		
总计 Total	5116.95	9			

表3 回归系数分析

Table 3 Regression coefficient analysis

项目 Item	非标准化系数 Non-standardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient
	B	标准误差 Standard error	
(常量) Constant	116.08	44.64	
第一产业生产总值 Gross primary industry production	-0.13	0.33	-0.93
第二产业生产总值 Secondary industry GDP	0.002	0.03	0.15

由表1中的 R^2 以及修正的 R^2 值可以看出回归关系较好。表2方差分析结果表明,当回归方程中包含自变量第一产业生产总值与第二产业生产总值时,其显著性概率值Sig.小于0.05,拒绝总体回归系数均为0的

原假设,因此回归方程应该包含这两个自变量(年末总人口由于 Sig. 大于 0.05,因此舍弃)。

同样的方法可以得到氨氮的方差分析和回归分析表。但由于 Sig. 大于 0.05,表明氨氮与各指标间的关系不显著,因此略掉。

根据以上 COD_{Mn} 的多元回归分析结果,建立的线性相关关系如下:

$$COD_{Mn} = 116.08 - 0.13FDP + 0.002SDP$$

模型的输出结果表明:①2001—2010 年期间第一产业总产值、第二产业总产值对水质污染因子 COD_{Mn} 的影响效果是显著的。可以推断流域内社会经济所带来的污染压力可能还会逐年增加,应加强管理与治理;②氨氮与社会经济因子间建立多元回归方程时 R^2 较小,表明其与各因子间的关系相对较弱,这可能与影响氨氮的因子众多有关,这也是辽河流域近年来氨氮指标一直居高不下的主要原因。

3.2 环境库兹涅茨曲线模拟结果分析

根据上文分析,利用 2001—2010 年的人均 GDP 以及 COD_{Mn} 、 NH_3-N 数据,可以得到 COD_{Mn} 、 NH_3-N 与人均 GDP 之间拟合方程,各个方程所描述的经济增长与水环境污染之间关系曲线图分别如图 4 和图 5 所示。

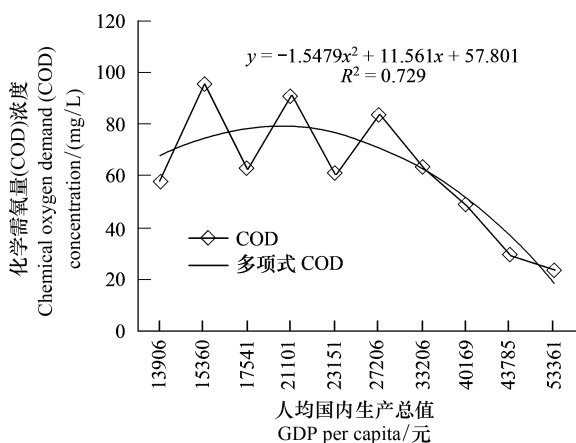


图4 辽河流域 COD_{Mn} 浓度与人均 GDP 关系

Fig.4 Relationship between per capita GDP and thickness of COD_{Mn} in Liaohe River watershed

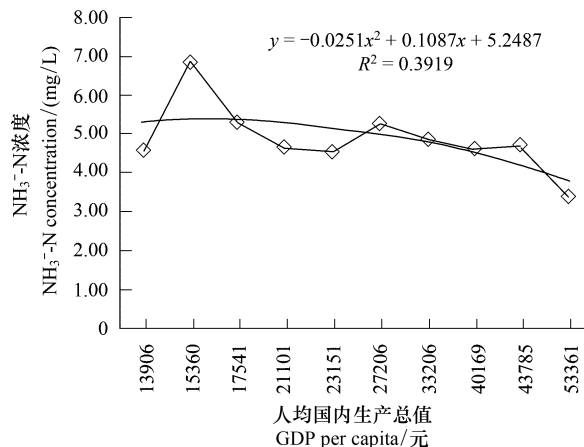


图5 辽河流域 NH_3-N 浓度与人均 GDP 关系

Fig.5 Relationship between per capita GDP and thickness of NH_3-N in Liaohe River watershed

模拟结果表明:

(1) 辽河辽宁段的 COD_{Mn} 浓度与流域人均 GDP 存在 N 型函数关系,曲线经历下降、上升、再下降的多个阶段;但趋势线呈现出一定的库兹涅茨曲线倒 U 型特征,在人均 GDP 达到 27716 元时出现拐点。总的来说,辽河流域在 COD 排放控制上已经开始逐步越过这个拐点位置,目前正处于由上升向下降转化的阶段。这表明伴随着经济的不断增长,环保技术的应用、产业结构的变化,水环境质量开始呈现出局部改善的趋势。

(2) 辽河辽宁段的 NH_3-N 浓度与流域人均 GDP 之间,没有显示存在典型 EKC 曲线倒 U 型的特征。目前,随着人均 GDP 的增长, NH_3-N 浓度呈现出逐步下降的趋势,但下降趋势不大,结合辽宁省近年来发布的水环境公报,综合分析其原因,主要是由于造成面源污染的因素众多,较难控制。

4 结论与讨论

以流域为单元开展社会经济发展与环境演变相互作用及调控研究,是实现可持续发展的有效途径^[7]。辽河流域水环境问题的发生与发展同流域内经济发展阶段及产业结构的调整有很大的关系。通过辽河流域辽宁段的社会经济指标与水质指标的多元线性回归分析,可以发现,辽河的水环境质量的演变,同流域内以工业为主的产业结构和流域人口的增加有关。

环境库兹涅茨曲线模拟研究表明:在辽河流域经济增长与水环境环境质量变迁关系的曲线中,随着区域经济水平的提高, COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 污染在综合治理下开始出现一定程度的改善,但不完全符合典型库兹涅茨曲线特征,特别是氨氮变化趋势不明显。

由 2001—2010 年流域内经济发展与水环境演变的关系,并结合前人的研究成果可以推断,未来辽河流域的污染物来源中,农业及农村生活污水所占的比重可能将持续增加,并成为主要的污染来源^[13]。因此,在开展针对工业点源污染而采取的达标排放的同时,还必须加强农业面源污染的治理力度,“点源与面源相结合”,以利于辽河水环境的改善。

本文运用多元回归分析、环境库兹涅茨曲线模拟分析了辽河水环境演变与流域内社会经济发展的相关关系,为辽河流域水环境污染控制与治理提供一定的科学依据。流域水环境及其治理问题,受多种因素综合作用,在本研究中仅仅考虑了流域内社会经济的发展状况对辽河水质的影响,对气候变化、流域土地利用类型改变、政府行为及环境保护政策等方面的作用没有探讨,这可能导致研究结果的分析不够全面。此外,环境库兹涅茨曲线仅反映了多种环境-收入理论关系的一种形态,且更适用于流量污染物和短期的情况,其多形态的环境-收入关系的理论基础还需要深入研究和探讨。

参考文献 (References):

- [1] Saboori B, Sulaiman J, Mohd S. Economic growth and CO_2 emissions in Malaysia: A cointegration analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*, 2012, 51: 184-191.
- [2] Galeotti M. Economic growth and the quality of the environment: taking stock. *Environment, Development and Sustainability*, 2007, 9(4): 427-454.
- [3] Hettige H, Mani M, Wheeler D. Industrial pollution in economic development: the environmental Kuznets curve revisited. *Journal of Development Economics*, 2000, 62(2): 445-476.
- [4] 万伦来, 朱骏峰, 沈典妹. 淮河流域经济增长与生态环境质量变化的关系——来自 1998-2007 年安徽淮河流域的经验. *地域研究与开发*, 2009, 28(4): 125-128, 138-138.
- [5] Kijima M, Nishide K, Ohyama A. Economic models for the environmental Kuznets curve: A survey. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2010, 34(7): 1187-1201.
- [6] Cavlovic T A, Baker K H, Berrens R P, Gawande K. A meta-analysis of environmental Kuznets curve studies. *Agricultural and Resource Economics Review*, 2000, 29(1): 32-42.
- [7] 黄智华, 薛滨, 逢勇. 太湖水环境演变与流域经济发展关系及趋势. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(5): 627-631.
- [8] 孟伟. 中国流域水环境污染综合防治战略. *中国环境科学*, 2007, 27(5): 712-716.
- [9] 刘昌明, 王红瑞. 浅析水资源与人口、经济和社会环境的关系. *自然资源学报*, 2003, 18(5): 635-644.
- [10] 方凤满, 金高洁, 高超. 巢湖水环境质量时空演变特征及成因分析. *水土保持通报*, 2010, 30(5): 178-181, 220-220.
- [11] 肖生春, 肖洪浪. 黑河流域水环境演变及其驱动机制研究进展. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 748-755.
- [12] 车越, 杨凯, 范群杰, 张勇. 黄浦江上游水源地水环境演变规律及其影响因素研究. *自然资源学报*, 2005, 20(2): 163-171.
- [13] 焦雯珺, 闵庆文, 成升魁, 袁正, 李静, 戴忱. 基于污染足迹模型的太湖流域水环境演变的人文驱动力评估——以江苏省常州市为例. *资源科学*, 2011, 33(2): 223-229.
- [14] 刘涛, 揣小明, 陈小锋, 杨柳燕, 席北斗, 许其功. 江苏省西部湖泊水环境演变过程与成因分析. *环境科学研究*, 2011, 24(9): 995-1002.
- [15] 林泽新. 太湖流域水环境变化及缘由分析. *湖泊科学*, 2002, 14(2): 111-116.
- [16] 柳辉, 孙华. 经济增长与水环境质量关系研究——以太湖流域无锡市为例. *资源与产业*, 2009, 11(2): 146-149.
- [17] 潘铁山. 太湖流域产业结构与水环境污染关系初探——以江苏省苏锡常三市为例. *科技资讯*, 2012, (7): 145-146.
- [18] 靳晓莉, 高俊峰, 赵广举. 太湖流域近 20 年社会经济发展对水环境影响及发展趋势. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(3): 298-302.
- [19] 郭芬. 辽河流域水生态与水环境因子时空变化特征研究 [D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2009.
- [20] 苏丹, 王彤, 刘兰岚, 白琳. 辽河流域工业废水污染物排放的时空变化规律研究. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2953-2959.
- [21] 李艳利, 徐宗学, 李磊, 李艳粉. 辽河流域环境要素对水生态的影响. *环境科学与技术*, 2012, 35(4): 107-111.
- [22] 王辉, 栾维新, 康敏捷, 赵冰茹. 辽河流域社会经济活动的环境污染压力研究——以氮污染为研究对象. *生态经济*, 2012, (8): 152-157.
- [23] 王亚平, 刘建东, 史玉强, 孙晓怡, 李琳. 辽宁大伙房水库水质动态变化研究. *环境保护与循环经济*, 2008, 28(6): 49-51.
- [24] 赵卫, 刘景双, 苏伟, 裴晶鑫. 辽宁省辽河流域水环境承载力的多目标规划研究. *中国环境科学*, 2008, 28(1): 73-77.
- [25] 王西琴, 张艳会. 辽宁省辽河流域污染现状与对策. *环境保护科学*, 2007, 33(3): 26-28, 31-31.
- [26] 刘伟, 刘革. 辽宁省水环境演变趋势分析. *东北水利水电*, 2003, 21(1): 53-53, 58-58.
- [27] 刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 徐华山. 流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例. *生态学报*, 2012, 32(11): 3613-3620.
- [28] 刘艳. 太子河辽阳段近十年 COD 变化规律与趋势的分析. *辽宁城乡环境科技*, 2003, (3): 21-22.
- [29] 卢纹岱. *SPSS for Windows 统计分析 (第二版)*. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [30] 沈满洪, 许云华. 一种新型的环境库兹涅茨曲线——浙江省工业化进程中经济增长与环境变迁的关系研究. *浙江社会科学*, 2000, (4): 53-57.