

DOI: 10.5846/stxb202004301067

李达, 林龙圳, 林震, 张绍文, 安黎哲. 黄河流域生态保护和高质量发展的 EKC 检验. 生态学报, 2021, 41(10): 3965-3974.

Li D, Lin L Z, Lin Z, Zhang S W, An L Z. EKC test of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 3965-3974.

黄河流域生态保护和高质量发展的 EKC 检验

李 达^{1,3}, 林龙圳^{2,3}, 林 震^{2,3}, 张绍文^{3,4}, 安黎哲^{3,*}

1 北京城市学院城镇化研究院, 北京 100083

2 北京林业大学生态文明研究院, 北京 100083

3 北京林业大学黄河流域生态保护和高质量发展研究院, 北京 100083

4 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

摘要:黄河流域生态保护和高质量发展是国家重大发展战略。运用黄河流域 29 个市 2007—2017 年的面板数据, 对黄河流域生态保护和高质量发展的关系进行了 EKC 检验。结果显示, 流域内污水处理厂集中处理率和生活垃圾无害化处理率的 EKC 曲线呈“N”型, 一般工业固体废物综合利用率的 EKC 曲线呈“倒 U”型, 工业废水排放量和工业 SO₂ 排放量的 EKC 曲线呈“倒 N”型。黄河流域生态保护的人均 GDP 拐点出现在 11.8—14.4 万元/人, 截止到 2017 年, 各市均未跨过第一拐点, 由此可见, 该区域生态保护力度及经济高质量发展水平有待提升。政府部门应继续加大生态保护力度, 防止出现污染排放与经济共同增长的现象; 同时, 应促进人口集聚和发展服务业以抑制生态污染排放并提高污染处理率。

关键词:黄河流域; 生态保护; 高质量发展; 环境库兹涅茨曲线(EKC)

EKC test of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin

LI Da^{1,3}, LIN Longzhen^{2,3}, LIN Zhen^{2,3}, ZHANG Shaowen^{3,4}, AN Lizhe^{3,*}

1 Institute for Urbanization Research, Beijing City University, Beijing 100083, China

2 Institute for Eco-Civilization, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Institute for Ecological Protection and High-quality Development of the Yellow River Basin, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin is a major development strategy in China. Using panel data of 29 cities from 2007 to 2017, Environmental Kuznets Curve (EKC) test is conducted on the relationship between ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. The results show that the EKC of centralized treatment rate of the sewage treatment plant and the harmless treatment rate of domestic waste presents an "N" type, the EKC of general utilization rate of general industrial solid waste presents an "inverted U" type, and the EKC of industrial waste water discharge and industrial SO₂ emissions show an "inverted N" shape. The inflection point of GDP per capita for ecological protection in the Yellow River Basin was between 118,000 and 144,000 yuan per capita. As of 2017, no city has crossed the first inflection point, indicating that the ecological protection situation and high-quality economic development of the region need to be improved. Government departments should continue to increase ecological protection to prevent the occurrence of pollutants emissions and economic growth together; at the same time, they should promote population agglomeration and develop service industries to curb ecological pollution emissions and increase pollution treatment rate.

基金项目:北京市社会科学基金重大项目(20LZZA015)

收稿日期:2020-04-30; 网络出版日期:2021-03-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: anlizhe@bjfu.edu.cn

Key Words: Yellow River Basin; ecological protection; high-quality development; Environmental Kuznets Curve (EKC)

1 理论基础与研究假设

黄河流域在我国经济社会发展和生态安全方面具有十分重要的地位^[1]。黄河发源于青藏高原,流经 9 个省区,全长 5464km,是我国仅次于长江的第二大河流。截止 2018 年底,黄河流域覆盖总人口 4.2 亿,占全国 30.3%;地区生产总值 23.9 万亿元,占全国 26.5%。2019 年 9 月 18 日,习近平总书记在郑州主持召开黄河流域生态保护和高质量发展座谈会并发表重要讲话,对黄河治理作出重要指示。他指出:“治理黄河,重在保护,要在治理。要坚持山水林田湖草综合治理、系统治理、源头治理,统筹推进各项工作,加强协同配合,推动黄河流域高质量发展。”黄河流域生态保护和高质量发展是继京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展之后的重大国家发展战略。

黄河流域生态环境十分脆弱。一是黄河地区生态系统薄弱,上游局部地区天然草地生态功能退化严重,退化率在 60%—90%。土地沙化问题突出,甘南黄河重要水源补给生态功能区草地已出现严重退化、沙化和盐碱化^[2]。黄河中游水土流失问题严峻,汾河等支流污染频发;下游生态流量偏低、一些地方河口湿地萎缩。二是黄河流域产业结构亟待优化,能源基地集中,煤炭采选、煤化工、有色金属冶炼及压延加工等高耗水、高污染企业多,其中煤化工企业占全国总量的 80%。流域生态环境风险较高,企业大多沿河分布,主要污染集中在支流^[1]。三是黄河流域水质断面劣 V 类水占比较高,工业、城镇生活和农业面源三方面污染,加之尾矿库污染,使得 2018 年黄河 137 个水质断面中,劣 V 类水占比达 12.4%,明显高于全国 6.7% 的平均水平。因此,迫切需要关注黄河流域生态情况,在注重高质量发展的同时,将生态保护纳入区域发展战略目标,着重解决跨流域生态破坏和资源调配的问题^[3,4]。高质量发展重点指经济领域,也称之为经济高质量发展。经济高质量发展是中国经济面临结构性矛盾、资源环境瓶颈、复杂多变的国内外形势等对未来发展道路作出的重大战略选择,是更高质量、更具效率、更加稳定、更为开放的新时代中国经济发展模式^[5]。高质量发展既强调了经济发展过程的高质量,又强调了经济发展结果的高质量,因此,走高质量发展的新路子,是经济发展新常态下的必然选择^[6]。

研究经济发展与生态环境间关系的重要理论依据是环境库兹涅茨曲线 (Environmental Kuznets Curve, EKC) 假说,该假说认为环境污染与人均收入之间存在倒 U 型非线性关系^[7]:经济发展初期,环境质量随经济增长而下降,当经济增长跨过某一临界值时,环境质量将随着上升。目前,在经济发展与生态环境的关系研究中应用环境库兹涅茨曲线的实证较为丰富,如 Selden 等运用库兹涅茨曲线实证检验了空气污染与经济发展的关系^[8];Martinez-Zarzoso 等^[9]、韩玉军等^[10]、Jie He 等^[11]、邹庆^[12]、余东华等^[13]和张明志^[14]对经济发展与 CO₂ 排放的关系进行了 EKC 检验;Panayotou T^[15]、Brock 等^[16]、Caviglia-Harris 等^[17]、付才辉等^[18]对经济发展阶段和环境污染的关系进行了实证研究;等。综上,EKC 假说是检验生态环境与经济发展关系的基本经济理论;若 EKC 确实存在,或者在到达一定的转折点后,人均收入或财富的增长有助于改善环境质量,那么对环境破坏问题的解决还需依靠经济增长本身^[19]。因此,本文将之应用于对黄河流域的生态保护与高质量发展研究中,以检验高质量发展与区域生态保护的相互关系。

从现实经验看,生态环境保护的途径主要涉及两个方面,一是提高污染物的处理率,二是减少污染物的排放量。以黄河流域工业 SO₂ 排放量和污水处理厂集中处理率为例(图 1),工业 SO₂ 排放量随人均 GDP 增加呈衰减趋势,污水处理厂集中处理率直观上表现为随人均 GDP 增加而升高的趋势。

为了检验黄河流域生态保护与高质量发展之间的相互关系,采用污染处理和污染排放两组指标作为因变量。因此,提出如下研究假设:

黄河流域的高质量发展对污染处理率和污染排放量存在显著影响,且前者与后两者之间存在非线性的 EKC 关系。

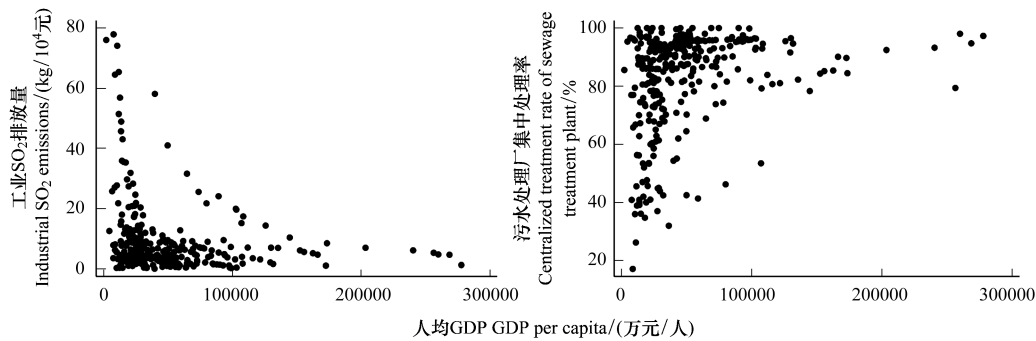


图1 生态环境与经济发展散点图

Fig.1 Scatter diagram of ecological environment and economic development

2 模型构建、变量处理与数据来源

2.1 EKC 检验模型

经验研究发现,EKC 曲线不一定呈“倒 U 型”,还可能呈“N 型”、“倒 N 型”等三次曲线型^[20]。有鉴于此,首先选择 EKC 的三次方形式作回归检验,在三次方形式不显著的情况下,再剔除三次项,检验 EKC 的二次方形式^[21]。首先,需要检验上述环境经济学最基本的理论假说:环境问题是经济发展所无法回避的客观事实,即由经济发展决定的环境库茨涅茨曲线“倒 U 型”假说。参考 Grossman & Krueger 的环境库茨涅茨曲线,设定基准回归模型为:

$$\text{Protection}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 HD_{it} + \alpha_2 HD_{it}^2 + \alpha_3 HD_{it}^3 + X_{it}\beta + \delta_t + \varphi_j + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\text{Pollution}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 HD_{it} + \alpha_2 HD_{it}^2 + \alpha_3 HD_{it}^3 + X_{it}\beta + \delta_t + \varphi_j + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中, i 表示地区或行业, t 表示年份; Protection_{it} 表示污染物处理率变量; Pollution_{it} 表示污染物排放量变量; HD_{it} 表示高质量发展情况; α 是待估系数; X_{it} 是一组控制变量; φ_j 表示地区或行业的固定效应; δ_t 表示时间固定效应,用来控制随时间变化的因素所产生的影响; ε_{it} 是随机误差项。

其次,考虑到影响生态环境的因素变化在很大程度上具有惯性,前期结果往往对后期有影响^[22],同时为缓解反向因果的可能性,在上述 2 个基本模型中引入滞后项控制滞后因素,动态面板数据模型设定为:

$$\text{Protection}_{it} = \alpha_0 + \tau \text{Protection}_{i(t-1)} + \alpha_1 HD_{it} + \alpha_2 HD_{it}^2 + \alpha_3 HD_{it}^3 + X_{it}\beta + \delta_t + \varphi_j + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\text{Pollution}_{it} = \alpha_0 + \tau \text{Pollution}_{i(t-1)} + \alpha_1 HD_{it} + \alpha_2 HD_{it}^2 + \alpha_3 HD_{it}^3 + X_{it}\beta + \delta_t + \varphi_j + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中, $\text{Protection}_{i(t-1)}$ 和 $\text{Pollution}_{i(t-1)}$ 分别表示被解释变量——污染物处理率和污染物排放量的一阶滞后项。

2.2 变量说明、数据处理与来源

2.2.1 被解释变量

(1) 污染物处理率。生态保护重在治理,主要治理措施集中在提高垃圾处理率和废物利用率。目前,主要污染物包括工业固体废物、工业和生活污水以及生活垃圾。因此,选择一般工业固体废物综合利用率、污水处理厂集中处理率和生活垃圾无害化处理率衡量地区污染物处理情况。

(2) 污染物排放量。当前研究主要将工业 SO_2 、工业烟尘、工业废气、工业固体废弃物、工业化学需氧量、工业废水排放量等工业“三废”等指标作为环境污染的变量^[23]。其中,具有代表性的是工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟(粉)尘排放量等,由于工业烟(粉)尘排放量指标在黄河流域上游部分地区并不完整且仅有工业烟尘排放量,与中下游地区指标的统计量不具备一致性,因此,选择工业废水排放量和工业二氧化硫排放量作为衡量流域污染物排放量的指标。

2.2.2 解释变量

高质量发展的论述主要集中在“五大发展理念”和经济高质量发展。(1)“五大发展理念”式的高质量发

展,将高质量发展体系与五大发展理念有机结合,即坚持创新发展、协调发展、绿色发展、开放发展和共享发展^[24]。因此,高质量发展是很好满足人民日益增长的美好生活需要、体现新发展理念的发展,是创新成为第一动力、协调成为内生特点、绿色成为普遍形态、开放成为必由之路、共享成为根本目的的发展^[25]。(2)经济高质量发展,即商品和服务质量普遍持续提高,投入产出效率和经济效益不断提高,创新成为第一动力,绿色成为普遍形态,坚持深化改革开放,共享成为根本目的^[26]。经济高质量发展意味着资源配置效率高、工农业产品和服务的质量不断提高、技术水平不断升级、制约人民群众生活质量的突出短板得以补齐、现代化诸方面的均衡发展、国土空间上的均衡发展、更加公平的成果分享以及绿色可持续的发展^[27]。也有研究认为,GDP是经济实力的反应,因此将人均 GDP 用以衡量城市经济发展的质量^[28]。

衡量经济发展程度的人均 GDP 指标是其他(如创新、协调、绿色、开放和共享)发展的基础或反馈,选取人均 GDP 作为衡量经济高质量发展的自变量。

2.2.3 控制变量

经济发展通过经济结构变迁、技术水平提升、环境政策制定、公众环境需求等方面对生态环境的变化产生影响^[29]。结合已有研究,在基准回归模型中控制了一组区域特征变量,以尽可能地缓解遗漏变量偏误。这组变量包括:服务发展,选取第三产业占 GDP 的比重做为衡量指标;社会研发投入,选取人均科技支出做为衡量指标;基础设施,采用人均道路面积做为衡量指标;人口情况^[30],采用地区人口总量做为衡量指标。

2.2.4 数据来源与描述性统计

黄河流域样本包括 29 个市级行政区 2007—2017 年共 11 年的平衡面板数据,鉴于数据可得性并考虑到区域覆盖的全面性,选取西部地区的兰州市、白银市、吴忠市、银川市、乌海市、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、包头市、呼和浩特市、榆林市、延安市和渭南市等 12 个市,中部地区的沂州市、吕梁市、三门峡市、焦作市、洛阳市、郑州市、新乡市、开封市和濮阳市等 9 个市,东部地区为山东省的菏泽市、济宁市、聊城市、泰安市、德州市、济南市、淄博市、滨州市等 8 个市。各变量原始数据来源于:2007—2017 年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》以及相应各省(市)统计年鉴,部分缺失数据由插值法补齐。黄河流域整体被解释变量、解释变量以及控制变量的数据说明与变量统计描述见表 1。

表 1 区域变量描述统计表
Table 1 Statistical table of regional variable description

变量名称 Variable name	变量单位 Unit	平均值 Mean	标准差 Std	最小值 Min	最大值 Max
工业废水排放量(IWD) Industrial wastewater discharge	kg/元	564.438	564.623	48.758	4749.069
工业 SO ₂ 排放量(ISE) Industrial SO ₂ Emissions	kg/万元	8947.219	12111.230	0.073	77889.390
污水处理厂集中处理率(CTR) Centralized treatment rate of sewage treatment plant	%	82.815	16.929	17.150	100.000
生活垃圾无害化处理率(HTR) Harmless treatment rate of domestic garbage	%	85.843	21.956	0.000	100.000
一般工业固体废物综合利用率(CUR) Comprehensive utilization rate of general industrial solid waste	%	76.929	23.334	0.820	100.000
人均 GDP(PGDP) GDP per capita	万元/人	4.914	4.293	0.208	27.786
人均道路面积(PRA) Road area per capita	m ² /万人	4.977	4.866	0.000	32.614
万元 GDP 科技投入(TI) Technology Investment per 10,000 yuan GDP	元	207.791	218.050	46.132	3016.569
第三产业占 GDP 的比重(PTI) Proportion of tertiary industry in GDP	%	37.525	11.172	11.990	74.140
地区人口总量(TAP) Total area population	人	422.096	236.273	44.000	1072.500

黄河流域各市被解释变量、解释变量以及控制变量的数据说明与变量统计描述见表 2。表 2 显示,黄河流域区域间人均 GDP 差异较大,山东省菏泽市的平均值为 1.59 万元/人,内蒙古自治区鄂尔多斯市达到了 18.71 万元/人;2017 年,山西省吕梁市为 0.21 万元/人,内蒙古自治区包头市为 10.80 万元/人,两者相差约 52 倍;整体来看,黄河西部资源型城市经济发展较好,黄河中部地区较弱,黄河东部地区居中,呈现为“U”型趋势的区域间经济发展状况。同时,黄河流域的生态保护力度差异也较为明显;单位 GDP 工业废水排放量从呼和浩特市 130.38kg/元跨越到吴忠市的 1750.42kg/元;单位 GDP 工业 SO₂排放量从延安市的 1.54kg/万元增加到渭南市的 30.40kg/万元;污水处理厂集中处理率则均在 60%以上;生活垃圾无害化处理率最低为 50.54%,其中东部地区处理率最高;一般工业固体废物综合利用率的差异性较大。总体来看,黄河流域的生态保护情况和高质量发展水平表现为空间异质性。

3 实证检验与结果分析

3.1 静态面板 EKC 检验

面板数据的回归模型通过 Hausman 检验来判断选择固定效应、随机效应还是混合效应模型。稳健 Hausman 检验表明,工业废水排放量(0.334)和一般工业固体废物综合利用率(0.304)宜采用随机效应模型;工业 SO₂排放量(0.000)、污水处理厂集中处理率(0.000)和生活垃圾无害化处理率(0.007)宜采用固定效应模型。回归模型的结果显示,一般工业固体废物综合利用率的三次曲线形式模型在 10%显著性水平上未能通过检验,故需要继续检验二次曲线形式的回归模型,并且均通过了 1%显著性水平的检验;其他因变量的三次曲线形式均通过了 1%显著性水平的检验,均采用三次曲线形式。

通过 PGDP 的一次、二次和三次项符号的正负方向(如表 3),可判断出:(1)工业废水排放量和工业 SO₂排放量的 EKC 形状为“倒 N 型”,(2)污水处理厂集中处理率和生活垃圾无害化处理率的 EKC 形状为“N 型”,(3)一般工业固体废物综合利用率的 EKC 形状为“倒 U 型”。表明黄河流域生态保护与经济高质量发展之间的确存在显著的 EKC 关系,且不同类型生态保护或污染的 EKC 形状存在差异,假设得到了验证。由于各因变量 EKC 形状、拐点的显著差异,需分别对各因变量 EKC 的拐点、特征逐一分析。

(1)工业废水排放量。结果显示,工业废水排放量 EKC 模型的形状为“倒 N”型,表明随着经济高质量发展,工业废水排放量经历了“下降→上升→下降”的变化过程,该曲线存在两个拐点,通过对一元三次函数求导,得到拐点对应的 PGDP 分别为 13.6666、32.4570。从黄河流域数据来看,内蒙古的鄂尔多斯市在 2009 年就已经跨过了第一个 PGDP 拐点,2012 年内蒙古包头市也跨过了第一个 PGDP 拐点,截止到 2016 年,只有这两个地区的工业废水排放量处于上升阶段。然而根据 2017 年的数据,全部地区 PGDP 均位于第一个 PGDP 拐点左侧,即均处于下降阶段。

(2)工业 SO₂排放量。表 2 表明,工业 SO₂排放量 EKC 模型的形状为“倒 N”型,表明随着经济高质量发展,工业 SO₂排放量经历了“下降→上升→下降”的变化过程,该曲线存在两个拐点,通过对一元三次函数求导,得到拐点对应的 PGDP 分别为 14.4983、30.8139。从整体来看,内蒙古鄂尔多斯市在 2010 年跨过了第一个 PGDP 拐点,2012 年内蒙古包头市也跨过了第一个 PGDP 拐点,截止到 2016 年,这两个市的工业 SO₂排放量处于上升阶段。2017 年,各市均未超过工业 SO₂排放量的第一个 PGDP 拐点,仍旧处于下降阶段。

(3)污水处理厂集中处理率。该因变量 EKC 模型的形状为“N”型,表明随着经济高质量发展,污水处理厂集中处理率经历了“上升→下降→上升”变化过程,该曲线存在两个拐点,通过对一元三次函数求导,得到拐点对应的 PGDP 分别为 9.4560、36.9366。截止到 2017 年,只有山东省济南市和内蒙古包头市跨过了第一个 PGDP 拐点,污水处理厂集中处理率处于下降阶段;其余各市均处于上升阶段。说明,随着高质量发展程度的上升,当前阶段的污水处理率随之升高,水污染控制效果较好。

(4)生活垃圾无害化处理率。该因变量 EKC 模型的形状为“N”型,表明随着经济高质量发展,生活垃圾无害化处理率经历了“上升→下降→上升”变化过程,该曲线存在两个拐点,通过对一元三次函数求导,得到

表 2 各市变量描述统计表
Table 2 Statistical table of variable description by prefecture-level cities

	IWD		ISE		CUR		CTR		HTR		PGDP		TI		PTI		TAP		PRA	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
滨州市	1030.61	416.81	6.30	2.74	80.90	30.11	85.26	18.06	90.80	12.99	4.52	1.44	263.27	306.60	37.67	6.26	382.78	6.68	3.73	1.04
淄博市	567.02	225.76	5.66	2.28	92.59	3.93	92.59	5.07	98.54	4.03	7.77	1.85	203.06	43.89	38.00	4.97	425.40	4.61	7.94	1.90
济南市	139.85	30.34	1.65	0.83	96.84	3.34	85.75	13.04	93.08	7.96	7.66	2.12	177.40	22.02	54.61	4.17	615.42	13.82	11.67	2.00
德州市	743.61	492.11	5.13	3.06	96.65	3.31	84.67	13.88	90.79	11.41	3.38	1.14	188.93	142.53	36.36	4.76	577.80	11.09	3.10	1.43
泰安市	316.78	97.53	2.77	1.62	97.38	1.78	91.14	7.36	97.18	3.81	4.01	1.38	155.86	75.83	40.59	5.72	560.49	5.91	3.07	1.11
聊城市	811.64	502.63	4.27	2.36	92.46	10.28	88.25	9.83	96.42	7.75	3.05	1.17	133.77	69.49	32.97	5.90	605.24	19.42	3.24	0.49
济宁市	547.11	134.09	3.72	1.74	92.30	3.56	93.16	3.67	96.05	12.75	3.43	1.02	211.67	66.88	37.17	4.57	849.44	20.83	3.82	1.50
菏泽市	661.81	238.09	4.36	1.77	99.39	1.25	86.47	7.64	95.44	5.61	1.59	0.68	172.35	50.94	32.36	5.62	967.39	35.89	2.15	0.73
濮阳市	863.57	433.01	2.35	1.37	94.24	3.44	80.89	17.77	87.74	23.78	2.20	0.76	192.84	116.45	26.26	9.62	415.50	15.01	1.44	0.36
开封市	583.87	202.33	2.61	1.30	98.64	2.44	79.46	21.14	39.65	42.11	2.02	0.71	177.07	102.67	37.28	6.89	541.14	17.69	2.29	0.65
新乡市	1216.08	634.48	3.66	2.35	95.85	9.15	87.09	6.18	97.40	3.13	2.29	0.76	271.12	262.97	34.56	8.10	617.29	21.97	1.70	0.08
郑州市	283.98	122.51	2.59	1.71	77.41	6.42	96.47	1.84	91.68	5.90	5.97	2.06	257.43	131.81	45.27	6.13	867.28	122.78	4.52	1.24
洛阳市	264.40	74.56	6.66	5.28	53.19	12.04	94.74	5.87	82.12	11.89	3.71	1.04	264.03	188.91	37.95	9.74	706.61	20.38	2.81	0.59
焦作市	1115.79	535.13	4.89	3.53	65.00	7.18	83.06	11.97	90.38	7.62	3.77	1.31	239.85	154.11	29.67	9.66	367.59	4.69	3.14	0.27
三门峡市	505.05	118.26	11.54	8.01	36.53	5.42	92.69	8.56	94.29	4.02	4.13	1.40	222.79	149.84	28.82	7.62	227.79	1.46	1.40	0.66
吕梁市	632.00	871.13	15.47	20.42	75.28	12.26	64.82	18.64	72.33	25.61	2.19	0.90	393.23	870.94	32.07	13.65	386.30	7.66	0.76	0.16
忻州市	494.37	196.54	15.71	6.89	80.05	7.55	63.85	29.19	50.54	30.87	1.59	0.64	301.00	352.28	43.93	6.74	307.64	3.63	1.29	0.67
渭南市	563.62	378.39	30.40	24.60	77.45	32.17	77.41	18.60	89.83	5.49	1.73	0.78	171.63	199.92	35.09	3.93	558.76	6.43	2.15	0.68
延安市	216.96	104.41	1.54	0.48	81.25	12.58	78.97	17.64	83.88	9.68	4.19	1.37	215.54	114.40	23.78	11.37	231.95	6.15	0.71	0.26
榆林市	388.15	524.36	7.91	2.55	77.86	28.68	72.43	22.14	80.81	17.30	5.26	2.34	230.78	214.17	26.39	6.50	370.35	10.59	1.74	0.85
呼和浩特市	130.38	57.73	3.71	1.51	44.92	17.93	79.67	20.45	93.20	10.70	9.56	2.81	109.84	27.09	62.54	5.88	232.65	7.03	8.65	2.05
包头市	197.48	82.58	6.17	3.22	65.69	15.77	85.34	3.90	94.71	2.99	12.77	3.81	132.30	15.58	46.04	5.14	221.60	3.28	10.99	1.66
鄂尔多斯市	131.87	121.13	8.29	5.73	63.74	23.77	83.17	17.96	94.00	4.27	18.71	8.23	129.48	78.47	41.53	8.33	153.95	5.02	14.77	4.08
巴彦淖尔市	627.29	336.90	11.00	5.03	39.43	26.45	86.30	18.81	74.43	35.44	3.62	1.33	113.63	70.70	28.06	6.92	180.54	5.52	4.83	1.81
乌海市	423.26	395.96	24.42	14.75	61.35	6.12	84.83	15.03	87.73	7.26	8.92	2.93	237.86	89.36	33.65	6.19	49.92	4.70	18.44	9.21
银川市	563.79	372.31	4.55	2.50	79.32	20.62	92.89	5.10	91.93	25.78	5.92	2.03	266.55	172.44	45.40	5.85	169.60	15.78	10.60	1.69
吴忠市	1750.42	1576.31	29.62	21.30	72.28	10.98	71.96	16.18	98.85	1.14	1.99	0.72	242.95	166.76	30.24	1.09	139.64	3.92	3.16	0.53
白银市	343.00	252.15	27.56	20.09	52.10	20.35	60.21	18.59	75.82	18.48	1.98	0.54	152.85	54.76	36.00	5.97	179.01	2.18	3.52	0.91
兰州市	283.94	110.79	4.97	2.83	90.85	9.50	78.12	12.32	59.86	33.25	4.58	1.65	196.88	44.44	53.97	6.38	331.70	19.87	6.71	0.78

表 3 静态面板回归结果表
Table 3 Results of static panel regression

	IWD	ISE	CTR	HTR	CUR
	re	fe	fe	fe	re
PGDP	-326.181 *** (42.862)	-4.984 *** (0.959)	8.774 *** (1.418)	5.519 *** (1.983)	2.981 *** (0.863)
PGDP ²	24.261 *** (4.289)	0.389 *** (0.094)	-0.560 *** (0.138)	-0.426 ** (0.194)	-0.133 *** (0.032)
PGDP ³	-0.526 *** (0.112)	-0.009 *** (0.002)	0.012 *** (0.004)	0.009 * (0.005)	—
PRA	-0.126 (11.203)	-1.123 *** (0.262)	0.363 (0.388)	0.569 (0.542)	-0.435 (0.447)
TI	0.462 *** (0.133)	0.008 *** (0.003)	0.008 * (0.004)	0.002 (0.006)	-0.003 (0.005)
PTI	-8.287 ** (3.925)	-0.115 (0.093)	0.800 *** (0.137)	0.801 *** (0.191)	-0.256 (0.157)
TAP	-0.369 (0.261)	-0.011 (0.018)	0.025 (0.027)	-0.010 (0.038)	0.036 *** (0.013)
_cons	1819.264 *** (186.586)	35.254 *** (7.605)	12.233 (11.246)	42.239 *** (15.728)	65.007 *** (7.782)
N	319	319	319	319	319
F	137.69	15.43	28.61	7.88	38.39
R ²	0.303	0.124	0.242	0.045	0.184

“re”和“fe”分别代表随机效应模型和固定效应模型;***、**、*和*分别表示在1%、5%和10%水平上通过显著性检验;“—”表示不包含此项;括号内为稳健标准误;_cons 代表常数项

拐点对应的 PGDP 分别为 14.1086、31.2276。2009 年,内蒙古鄂尔多斯市跨过了第一个 PGDP 拐点;2012 年,内蒙古包头市也跨过了第一个 PGDP 拐点,生活垃圾无害化处理率处于下降阶段,并持续到 2016 年。2017 年,黄河流域生活垃圾无害化处理率均处于第一个 PGDP 拐点左侧,说明随着经济的高质量发展,当前阶段各市生活垃圾无害化处理率也随之上升。

(5)一般工业固体废物综合利用率。表 2 的汇报结果显示,其 EKC 模型的形状为“倒 U”型,表明随着经济高质量发展,一般工业固体废物综合利用率经历了“上升→下降”变化过程,该曲线存在一个拐点,通过对一元二次函数求导,得到拐点对应的 PGDP 为 11.2067。2007—2016 年,黄河流域部分地区跨过了第一个 PGDP 拐点;但到了 2017 年,一般工业固体废物综合利用率均处于第一个 PGDP 拐点左侧,说明随着高质量发展程度的上升,当前阶段各市一般工业固体废物综合利用率随之升高。

总体来看,当前阶段生态保护中染物处理率变量呈现随人均 GDP 上升而升高的趋势,污染物排放量变量呈现随人均 GDP 上升而下降的趋势,黄河流域生态保护与高质量发展耦合度较好,呈现协调发展的态势。目前,污染物排放量的上升拐点还未到来,尽管内蒙古个别市曾突破或接近拐点,但随着人均 GDP 的回落,污染物排放量最终回到了下降阶段。说明随着流域生态保护力度的加大,对地区经济发展产生了一定的负向影响,在向高质量发展模式过渡时产生了“阵痛”。

3.2 动态面板 EKC 检验

为检测影响生态环境的因素变化是否具有惯性,并排除反向因果的可能性,在引入一阶滞后项后,对动态面板进行了 EKC 检验。结果表明,除工业 SO₂排放量外,其他环境变量均与一阶滞后项呈正相关关系(如表 4),说明污染物排放与污染物处理基本都存在长期持续性效应;控制变量与静态面板的 EKC 检验结果较为一致。

尽管引入一阶滞后项后,各环境变量 EKC 整体形状未发生改变,但 PGDP 拐点产生了变化。工业废水排放量 PGDP 拐点调整为 13.1244、33.3938;工业 SO₂排放量 PGDP 拐点调整为 14.3847、28.7073;污水处理厂集中处理率 PGDP 拐点调整为 11.8623、31.6617;生活垃圾无害化处理率 PGDP 拐点调整为 13.8790、33.0298;一

般工业固体废物综合利用率 PGDP 拐点调整为 11.7656。

表 4 动态面板回归结果表

Table 4 Results of dynamic panel regression

	IWD	ISE	CTR	HTR	CUR
	re	fe	fe	fe	re
d_y	0.217 *** (0.084)	-0.013 (0.111)	0.322 *** (0.055)	0.418 *** (0.060)	0.493 *** (0.042)
PGDP	-263.875 *** (40.911)	-3.572 *** (0.852)	6.824 *** (1.196)	4.069 ** (1.794)	2.726 *** (0.770)
PGDP ²	19.067 *** (4.035)	0.298 *** (0.084)	-0.520 *** (0.190)	-0.297 * (0.178)	-0.116 *** (0.028)
PGDP ³	-0.410 *** (0.105)	-0.007 *** (0.002)	0.012 *** (0.003)	0.006 (0.005)	—
PRA	3.135 (9.632)	-0.361 * (0.262)	0.304 (0.275)	0.633 (0.420)	-0.541 (0.373)
TI	0.376 *** (0.141)	0.010 *** (0.003)	0.014 *** (0.004)	0.011 ** (0.005)	-0.003 (0.004)
PTI	-10.750 ** (3.396)	-0.158 ** (0.070)	0.325 *** (0.097)	0.264 * (0.148)	-0.139 (0.132)
TAP	-0.266 (0.197)	-0.018 *** (0.004)	0.025 (0.005)	0.016 * (0.008)	0.034 *** (0.012)
_cons	1706.753 *** (164.317)	30.182 *** (3.420)	37.172 (4.567)	52.195 *** (7.024)	62.821 *** (7.257)
N	290	290	290	290	290
F	148.48	98.03	28.61	87.95	182.67
R ²	0.334	0.277	0.242	0.140	0.295

“re”和“fe”分别代表随机效应模型和固定效应模型；***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上通过显著性检验；“—”表示不包含此项；括号内为稳健标准误；_cons 代表常数项；d_y 代表因变量滞后一阶项

此外,控制变量中,社会科技支出一方面加大了工业污染排放量,一方面又提高了污水处理厂集中处理率和生活垃圾无害化处理率,说明工业企业科技支出占比较大,黄河流域省份依然是工业导向的发展模式;服务业的发展对工业污染排放量产生了明显的抑制效果,同时提高了污染物和垃圾的处理率,说明形成以服务业为主的产业结构是解决生态问题的关键手段。人口集聚也对工业污染排放量产生了明显的抑制效果,同时污水处理厂集中处理率和生活垃圾无害化处理率也有明显上升,有研究表明随着城市化程度的提高,城市群的污染物排放呈下降趋势^[31],说明城镇化是减少生态破坏的另一种有效方式;人均道路面积的提高只对工业 SO₂排放量产生了微弱的抑制效应,对其他环境变量影响不显著,说明通过改善基础设施可能并不会有效提高生态保护情况。

4 研究结论与启示

黄河流域生态保护和高质量发展是重大国家战略,厘清该地区生态保护和高质量发展的关系格外重要。本文通过静态和动态面板模型对 29 个黄河流域城市的污染物处理率与污染物排放量之间的 EKC 关系进行了检验,研究证实生态保护与高质量发展之间存在显著的非线性 EKC 关系,且不同环境变量间的 EKC 形状存在差异。主要研究结论包括:

(1)黄河流域生态保护第一个人均 GDP 拐点在 11.8—14.4 万元/人出现。该结果与韩玉军等^[10]的估计结果较为相近,截止到 2017 年,第一个人均 GDP 拐点尚未被跨过,污染物处理率将继续提高、工业污染物排放量也将持续下降,释放了黄河流域生态保护向好的信号。黄河上游的内蒙古包头市和鄂尔多斯市较为特殊,曾多次跨过第一个拐点,但在未达到第一个拐点时,人均 GDP 大幅下降并回落到第一个拐点左侧。也说明,部分地区的经济发展模式可持续性较差,需要调整经济发展模式。

(2)黄河流域整体污染排放量处于下降阶段、污染物处理率处于上升阶段。黄河流域高质量发展情况存在严重的区域不均衡——人均 GDP 差异较大,且黄河上游的资源型城市人均 GDP 较高,与我国“东高西低”的总体经济发展趋势相悖。尽管尚未达到第一个人均 GDP 拐点,仍旧导致黄河流域脆弱的生态环境承受了较大压力。

(3)生态保护存在一阶滞后效应。前期的污染物排放量和污染物处理率对未来生态环境情况产生了显著正向影响,说明,不论是减排还是治污都受到“存量”因素的影响,做好生态保护不仅要关注减增量,还要时刻保持去“存量”的思维。

(4)人口集聚对工业污染排放量产生了显著的抑制效果,并对污染治理率产生了显著的促进作用。说明,通过人口的转移、集聚,可以产生生态保护的净外部性,应鼓励黄河流域加快发展城镇化。2017 年,黄河流域千万级人口城市只有山东的菏泽市,迫切需提高人口要素流动性、形成劳动力集聚效应,应促进上游地区劳动力流出以降低对生态保护的壓力。

黄河流域首要任务是做好生态保护,其次是要实现高质量发展。本文研究结论对流域发展具有重要政策启示。目前,黄河流域远未达到高质量发展的目标,但脆弱的生态环境已经遭到较为严重的破坏,地方政府(尤其是黄河流域上游区域)面临生态保护与经济的双重压力。特别是,第一个人均 GDP 拐点尚未跨过,很有可能随着经济发展,加剧生态破坏程度。这就要求地方政府一方面加强生态管控,减少引入高污染企业,通过经济结构转型,逐步缩小污染增量;另一方面,通过生态产业化和产业生态化,恢复绿水青山并将之打造为金山银山,以减少污染存量、创造经济增量。此外,要推进黄河流域的劳动力要素集聚,通过“人地”同转等方式,率先试验上游欠发达地区人口向经济发达地区的集聚,减少人口对生态的压力;同时,提升未转移人口的人均资源量、实现经济高质量发展。总体而言,要减少黄河流域在未来某个时点出现污染排放与经济共同增长的可能性,必须通过资源保护、要素流动与经济联动的联动效应,扎实推进。

此外,本文研究仍存在不足和需改进之处,包括在生态保护控制变量的选择上仍存在一定主观性、未考虑东中西部不同区域间污染排放和污染治理可能存在的空间异质性或空间溢出效应等问题,有待进一步探索。

参考文献 (References):

- [1] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话. (2019-09-18)[2020-04-30]. http://www.ccps.gov.cn/xtt/201910/t20191015_134958.shtml.
- [2] 王金南. 黄河流域生态保护和高质量发展战略思考. 环境保护, 2020, 48(S1): 18-21.
- [3] 张建肖, 安树伟, 刘世伟. 博弈论与流域间跨区污染问题研究——以陕南秦巴山区南水北调工程为例. 西安财经学院学报, 2008, 21(6): 76-79.
- [4] 李达, 张绍文, 黄杰龙, 张炳江, 冯强. 基于博弈理论的国有公益林管护补贴标准研究. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 64-71.
- [5] 马茹, 罗晖, 王宏伟, 王铁成. 中国区域经济高质量发展评价指标体系及测度研究. 中国软科学, 2019, (7): 60-67.
- [6] 刘瑞, 郭涛. 高质量发展指数的构建及应用——兼评东北经济高质量发展. 东北大学学报: 社会科学版, 2020, 22(1): 31-39.
- [7] Grossman G M, Krueger A B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper, No. 3914, 1991.
- [8] Selden T M, ISEng D Q. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? Journal of Environmental Economics and Management, 1994, 27(2): 147-162.
- [9] Martinez-Zarzosa I, Bengochea-Morancho A. Pooled mean group estimation of an environmental Kuznets curve for CO₂. Economics Letters, 2004, 82(1): 121-126.
- [10] 韩玉军, 陆畅. 经济增长与环境的关系——基于对 CO₂ 环境库兹涅茨曲线的实证研究. 经济理论与经济管理, 2009, (3): 5-11.
- [11] He J, Richard R. Environmental Kuznets curve for CO₂ in Canada. Ecological Economics, 2010, 69(5): 1083-1093.
- [12] 邹庆. 基于面板门限回归的中国碳排放 EKC 研究. 中国经济问题, 2015, (4): 86-99.
- [13] 余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放 EKC 再检验——基于门限回归的国别分组研究. 中国工业经济, 2016, (7): 57-73.
- [14] 张明志. 经济增长与产业结构变动的碳排放效应研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
- [15] Panayotou T. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. ILO Working Papers 992927783402676, 1993.

- [16] Brock W A, Taylor M S. Economic growth and the environment: a review of theory and empirics. *Handbook of Economic Growth*, 2005, 1: 1749-1821.
- [17] Caviglia-Harris J L, Chambers D, Kahn J R. Taking the "U" out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation. *Ecological Economics*, 2009, 68(4): 1149-1159.
- [18] 付才辉,郑洁,林毅夫. 发展战略与环境污染——一个新结构环境经济学的理论假说与实证分析. 北京大学新结构经济学研究院工作论文(No. C2018008),2018.
- [19] 陈华文,刘康兵. 经济增长与环境质量: 关于环境库兹涅茨曲线的经验分析. *复旦学报: 社会科学版*, 2004, (2): 87-94.
- [20] 揭昌亮,王金龙,庞一楠. 中国农业增长与化肥面源污染: 环境库兹涅茨曲线存在吗? *农村经济*, 2018, (11): 110-117.
- [21] 侯孟阳,姚顺波. 异质性条件下化肥面源污染排放的 EKC 再检验——基于面板门槛模型的分组. *农业技术经济*, 2019, (4): 104-118.
- [22] 杜立民. 我国二氧化碳排放的影响因素: 基于省级面板数据的研究. *南方经济*, 2010, (11): 20-33.
- [23] 韩旭. 中国环境污染与经济增长的实证研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(4): 85-89.
- [24] 何立峰. 深化供给侧结构性改革 推动经济高质量发展. *宏观经济管理*, 2020, (2): 1-3, 9-9.
- [25] 杨伟民. 深入学习习近平新时代中国特色社会主义思想 推动高质量发展 建设现代化经济体系. *时事报告(党委中心组学习)*, 2018, (2): 79-97.
- [26] 林兆木. 关于我国经济高质量发展的几点认识[N]. *人民日报*, 2018-01-17(007).
- [27] 张军扩,侯永志,刘培林,何建武,卓贤. 高质量发展的目标要求和战略路径. *管理世界*, 2019, 35(7): 1-7.
- [28] 陈诗一,陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展. *经济研究*, 2018, 53(2): 20-34.
- [29] 李太平,张锋,胡浩. 中国化肥面源污染 EKC 验证及其驱动因素. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(11): 118-123.
- [30] 高挺,常启国,许海平. 中国经济增长与环境质量的关系研究——基于 240 个城市的双门槛效应检验. *资源开发与市场*, 2018, 34(11): 1505-1510.
- [31] 陈向,周伟奇,韩立建,虞文娟. 京津冀地区污染物排放与城市化过程的耦合关系. *生态学报*, 2016, 36(23): 7814-7825.