

# 基于 STIRPAT 模型的农业资源环境 压力影响驱动分析

刘玉玉<sup>1</sup>, 李文义<sup>2</sup>, 张令光<sup>1</sup>, 姜欣<sup>3,4</sup>

(1. 济南大学 水利与环境学院, 山东 济南 250022; 2. 山东黄河河务局, 山东 济南 250011;

3. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250014;

4. 山东省农村供排水安全工程技术研究中心, 山东 济南 250014)

**摘要:**以抚顺市的一个农业县为研究对象,基于清原县 1990 年—2016 年农业资源环境和相关社会经济指标的面板数据,利用 STIRPAT 模型,研究人口、富裕度、城市化水平以及产业结构对资源环境压力影响驱动的规律。结果表明:人类社会活动多因素综合影响清原县农业资源环境压力,经济增长与资源环境压力之间存在类似 Kuznets 曲线正在逐渐形成;最后,提出在经济快速增长的同时,多角度统筹决策,以期合理保护环境与利用资源,达到缓解和减少人类社会活动对资源环境影响的压力。

**关键词:** STIRPAT 模型;资源环境压力;水足迹

**中图分类号:** X24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672—1144(2020)03—0238—05

## Trends and Determining Factors of the Agricultural Resources and Environment Pressure Based on STIRPAT Model

LIU Yuyu<sup>1</sup>, LI Wenyi<sup>2</sup>, ZHANG Lingguang<sup>1</sup>, JIANG Xin<sup>3,4</sup>

(1. School of Water Conservancy and Environment, University of Jinan, Jinan, Shandong 250022, China;

2. Yellow River Shandong Bureau, Jinan, Shandong 250011, China;

3. Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Water Environment, Water Research Institute of Shandong Province, Jinan, Shandong 250014, China;

4. Shandong Engineering Research Center for Rural Water Supply and Drainage Safety, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract:** This paper calculated and analyzed the trend of resources and environment pressure during the period of 1990—2016. By applying ridge regression method, the STIRPAT model was estimated to explore the relationships between population, per capita GDP, technological development and resources & environment pressure. The decoupling index was adopted to further analyze the relationship between economic growth and resources and environment pressure. The results show that, the influence of human society activities on the resources and environment pressure is the multi-factor cooperative result, meanwhile, the EKC curve describing the relationship between economic growth and resources and environment pressure is emerging. Finally, several suggestions were proposed accordingly in order to mitigate the pressure of resources and environment.

**Keywords:** STIRPAT model; resources and environment impact; water footprint

农业给人类生活供应最主要的物质,同时向社  
会经济发展注入生产资料。目前农业面临着两大资

源环境问题:一方面,农业生产耗水量较大,据 2006  
年第四届世界水资源论坛公布结果显示,至 2030 年

全球的粮食需求增加一倍,将需要更多的灌溉用水,而这部分用水已经占到全球人类淡水消费的七成;另一方面,伴随农村生产力和经济的发展,农用化学品自 20 世纪中期开始在农业生产中得到广泛应用,引发了农业环境受到污染、农村生态遭到破坏等诸多问题。因此,明晰人类生活生产活动对农业水资源和环境影响驱动的规律和特征,并探索和提出相应的措施和建议可为当前资源环境可持续发展提供重要支撑。

目前,关于影响驱动分析的研究方法包括非线性动力学、灰色关联法、STIRPAT 模型以及自回归模型等。其中,STIRPAT 模型是基于 IPAT 的拓展,可定量研究人文指标对资源环境压力影响的程度。同时,该模型与弹性系数的联合分析,能够进一步检验各因素变化对资源环境压力的影响<sup>[1]</sup>。故而,STIRPAT 模型已被广泛运用于资源环境影响的研究和分析<sup>[2-5]</sup>。基于此,本文利用 STIRPAT 模型,以清原县(抚顺市农业县)为研究对象,分析该地区主要人文要素对资源环境的影响驱动,以便于理解复杂的资源环境问题,为该地区的农业资源可持续利用和农村环境保护提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区概况

清原满族自治县地处辽宁省抚顺市东部,与吉林省交会,位于东经 124°20′6″~125°28′58″,北纬 41°47′52″~42°28′25″之间,总面积 3 921 km<sup>2</sup>。其中,山地占 82.7%,平地占 13.8%,水面占 3.5%,素有“八山一水一分田”之称。清原县位于辽东山地丘陵之地,东南高、西北低,境内有浑河、清河、柴河和柳河,是辽宁省天然绿色屏障,又是沈阳、抚顺等中部城市的水源涵养地<sup>[6]</sup>。2001 年 8 月被辽宁省政府纳入国家生态建设示范县行列。这一特殊的地理位置,对辽宁经济、社会可持续发展起着至关重要的作用。

## 1.2 研究方法

STIRPAT 是自 York 等<sup>[7]</sup>提出的随机回归模型,基于 IPAT 模型的改进拓展。利用 STIRPAT 模型可定量研究  $P$ (人口)、 $A$ (富裕度)、 $T$ (技术)与  $I$ (环境影响)间存在的关系,在很多领域已得到广泛的应用。其形式如下:

$$I = aP^bA^cT^de \quad (1)$$

式中: $a$  为常数; $e$  是误差; $b$ 、 $c$  和  $d$  分别为人口、富裕度和技术的指数。如果假设  $a = b = c = d = e = 1$ ,

STIRPAT 模型则是 IPAT 等式。为进一步检验和分析人文要素对环境  $I$  的影响,常将式(1) 进行对数化:
$$\ln I = \ln a + b(\ln P) + c(\ln A) + d(\ln T) + \ln e \quad (2)$$

以  $\ln I$  作为因变量,  $\ln P$ 、 $\ln A$  和  $\ln T$  作为自变量,对模型(2) 进行多元回归拟合。为了辨明经济和环境压力间有无存在倒 U 型环境库兹涅茨曲线,将上述模型中自变量  $\ln A$  分解为  $\ln A$  与  $(\ln A)^2$  两项,那么,模型变为:

$$\ln I = \ln a + b(\ln P) + c_1(\ln A) + c_2(\ln A)^2 + d(\ln T) + \ln e \quad (3)$$

式中: $c_1$  和  $c_2$  为富裕度对数系数和其二次项的系数。式(3) 中对  $\ln A$  求一阶偏导数,则得到富裕度对环境影响的弹性系数  $E_{IA}$  为:

$$E_{IA} = c_1 + 2c_2(\ln A) \quad (4)$$

已知  $\ln A$  的值,据式(4) 可求  $E_{IA}$  值,若  $c_2$  值小于零,则可确定存在环境库兹涅茨曲线以及存在环境开始改善的富裕状态值。

## 1.3 指标与数据来源

(1) 自变量。人口和富裕指标:通常认为人口数量增大与经济增长是导致环境问题的主要驱动力,很多研究结果也证实了这一假设<sup>[8-9]</sup>。因此,选择总人口数与人均 GDP 作为人口与富裕程度的表征指标。

技术指标:模型中的技术指标可以分解为  $T_1$ (现代化指标)和  $T_2$ (结构化指标)。由于城市化进程和产业结构的调整可以改变经济发展对农业的发展的影响,本文将城市化率作为反映研究区现代化的指标;将第三产业与第一产业之比作为反映产业结构的指标。

(2) 因变量。水资源压力指标:水足迹基于消费角度评估人类对水资源系统的真实占用,建立了水资源利用和人类消费模式之间的联系<sup>[10]</sup>,目前已作为水资源定量测度的主要指标被广泛应用与研究<sup>[11-13]</sup>。因此,将水足迹作为测量人类对水资源消费压力的指标。

环境压力指标:提高化肥的施用量是实现农业增产和增值的重要途径之一。自 1985 年开始,中国的化肥施用量以年均 157 万 t 增长,至 2005 年已居世界第一位。由此带来的环境问题也愈来愈明显。因农用化肥的实际利用率只占总量的三分之一,多余的氮磷等给大气、水体及土壤等造成了严重污染<sup>[14]</sup>。因此,本文选择化肥施用量作为表征环境压力的指标。

(3) 本文的数据主要来源于辽宁省统计年鉴和

清原县国民经济统计资料,数据覆盖 27 年(1990 年—2016 年)。

2 结果与讨论

为了解决自变量之间的多重共线性问题,本文对清原县农业水资源压力和环境压力分别进行岭回归拟合测算。岭回归估计是最小二乘估计<sup>[15]</sup>的一种改进算法,它是以放弃部分精确度为代价来寻求效果稍差但更符合实际的回归方程<sup>[16]</sup>。

2.1 结果与分析

2.1.1 水足迹

水足迹可以通过将本地区所消费的商品与服务数量与各自产品和服务的单位产品虚拟水含量相乘求和计算得到<sup>[10]</sup>。目前已有众多学者对虚拟水和水足迹进行了研究,方法和计算比较成熟<sup>[17]</sup>,在此不再赘述。参照文献[18-19],计算 1990 年—2016 年清原县水足迹。

清原县农畜业水足迹在研究 27 年间呈波折上升的规律,于 2012 年达到最大为 8.22 亿 m<sup>3</sup>,又波折下降至 6.11 亿 m<sup>3</sup>(2016 年)。1990 年—2016 年清原县水足迹多年平均为 4.59 亿 m<sup>3</sup>,农产品和畜产品虚拟水多年平均分别为 2.27 亿 m<sup>3</sup> 和 2.31 亿 m<sup>3</sup>,见图 1。虽然多年农产品和畜产品用水比例相当,但值得注意的是,农产品和畜产品比例发生很大变化:1990 年—1994 年,农产品虚拟水占农畜水足迹的 81.21%;1995 年后该比例波折下降、上升后趋于 49.5%。表明清原县在农业发展过程中,农业结构由主要从事单一粮食生产到逐步发展粮食、畜牧多元结构。

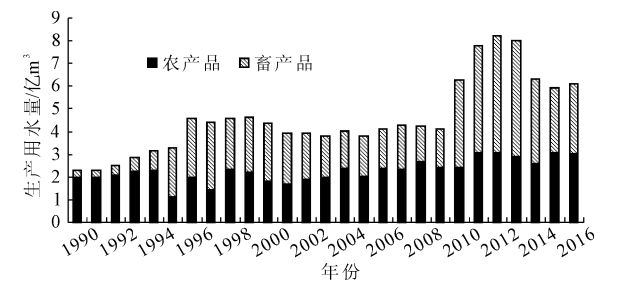


图 1 1990 年—2016 年清原县水足迹动态特征

2.1.2 模型计算结果与分析

将水足迹、总人口、人均 GDP、城市化率以及三产与一产之比作为模型 1(测度资源压力影响);将化肥施用量、总人口、人均 GDP、城市化率以及三产与一产之比作为模型 2(测度环境压力影响),分别代入式(3),对其进行岭回归分析,当自变量的回归

系数变化趋于平稳,测得岭回归结果确定随机模型,从而分别得到资源和环境压力影响回归拟合方程为:

$$\ln Y_1 = -2.858 + 1.749\ln P + 0.238\ln A - 0.012(\ln A)^2 - 0.755\ln T_1 + 0.166\ln T_2 \quad (5)$$

$$\ln Y_2 = -45.352 + 15.181\ln P + 0.081\ln A - 0.074(\ln A)^2 - 0.119\ln T_1 + 0.456\ln T_2 \quad (6)$$

对岭回归的拟合结果进行检验,结果显示拟合的方程能够通过显著性检验(见表 1)。

表 1 清原县 STIRPAT 模型岭回归拟合结果检验

| 变量                 | 回归系数         |              | T 值          |              | Sig. T       |              |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                    | 模型 1<br>(资源) | 模型 2<br>(环境) | 模型 1<br>(资源) | 模型 2<br>(环境) | 模型 1<br>(资源) | 模型 2<br>(环境) |
| lna                | -2.858       | -45.352      | -0.172       | -2.060       | 0.865        | 0.052        |
| lnP                | 1.749        | 15.181       | 0.384        | 2.513        | 0.705        | 0.020        |
| lnA                | 0.238        | 0.081        | 2.082        | 0.536        | 0.050        | 0.598        |
| (lnA) <sup>2</sup> | -0.012       | -0.074       | -0.319       | -1.470       | 0.753        | 0.156        |
| lnT <sub>1</sub>   | -0.755       | -0.119       | -1.685       | -0.200       | 0.107        | 0.843        |
| lnT <sub>2</sub>   | 0.166        | 0.456        | 0.707        | 1.468        | 0.487        | 0.157        |
|                    |              |              |              |              |              |              |
| 模型类型               | 决定系数 R       |              | F 值          |              | Sig. F       |              |
| 模型 1(资源)           | 0.928        |              | 26.228       |              | 0.0000       |              |
| 模型 2(环境)           | 0.946        |              | 25.301       |              | 0.0000       |              |

2.2 讨论

从模型 1 和 2 中各指标的系数可以看出:

(1) 人口影响。总人口的增加对水资源和环境压力的加剧起到了一定的作用,在其他条件相同的情况下,总人口每增加 1% 导致对水资源和环境的占有量分别增加 1.749% 和 15.181%;人口的增加对环境的压力要大于水资源。

(2) 富裕程度影响。由表 1 系数中可以发现,在其他条件相同的背景下,经济每增加 1% 将导致人类对水资源的消费占有量增加 0.238%,对环境压力增加 0.081%。说明随着经济的进一步发展,人类对水资源消费占有量和环境压力将会持续增加,但是增加速度要小于经济增长的速度。

(3) 技术影响。城市化率和资源环境压力呈负相关关系,即,城市化率的提高可以减缓水资源和环境的压力,该结果支持发展或现代化进程可以缓解或减少对资源环境影响的假说;而产业结构的调整对于水资源和环境压力的影响具有一定的推动作用。因此,对研究区清原县,需要适度的发展现代化进程和合理调整产业结构,以减缓人类社会对水资源和环境压力的影响<sup>[20]</sup>。

(4) Kuznets 曲线分析。由于人均地区生产总

值二次项的系数小于零,由此可见清原县资源环境压力变化在理论上可能存在着类似环境 Kuznets 曲线,也就是说,经济的发展有可能带来水资源消费减少和环境压力降低的拐点。将式(3)对  $\ln A$  求一阶偏导数,得到人均地区生产总值即富裕度对资源环境影响的弹性系数  $E_M$  分别为:  $0.238 - 0.024 \ln A$  和  $0.081 - 0.148 \ln A$ 。当对人均地区生产总值取不同的值时,计算富裕度对资源环境影响的弹性系数并计算观察数据范围内各相邻年弹性系数的变化,结果见图2。

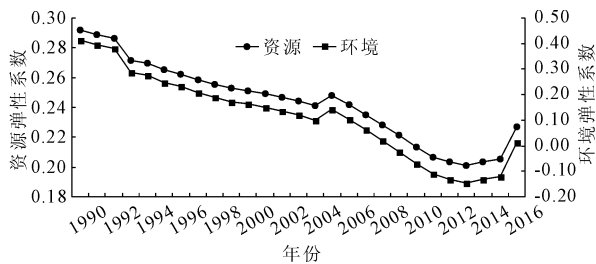


图2 1990年—2016年人均地区生产总值对资源与环境影响的弹性系数

由图2可见:(1)1990年—2016年人均地区生产总值对水资源影响的弹性系数大于0,表示在研究期间经济的增加与水资源压力增加之间存在着正相关作用,也就是说,经济的增长加剧了研究区水资源的压力;而人均地区生产总值对环境影响规律不同,在2009年出现负值;(2)随着时间的发展,1990年—2013年弹性系数变化曲线呈逐渐下降变小,这说明,人均地区生产总值对水资源环境压力变化影响在变小;在2013年出现拐点,表示后几年经济的增加对水资源和环境压力的缓解或减少有着一定的推动作用。由此可见,研究区清原县经济发展对水资源与环境压力变化的程度类似 Kuznets 曲线正在逐渐形成。

### 3 结 语

本文借助 STIRPAT 模型,择取若干社会经济指标,以农业县清原县为实例,对人类社会活动驱动影响的农业水资源与环境压力变化进行了分析和探讨,研究表明 STIRPAT 模型能较好的拟合资源环境和社会经济指标之间的关系,反映了人口、富裕度、城市化率和产业结构等对资源环境压力变化的影响。

基于构建的 STIRPAT 模型与结果分析可知,人类活动对水资源和环境影响是多角度综合的、复杂的,表现在:(1)总人口和经济的增加以及产业结构

对水资源和环境压力的加剧起到了一定的推动作用,其中,人口增加对环境压力影响最大;(2)城市化率的提高对于水资源和环境压力的影响具有一定的缓解作用;(3)人均地区生产总值的增长与水资源环境压力之间存在类似 Kuznets 曲线正在逐渐形成,该曲线已出现拐点,表明在未来经济的增加可缓解或减少水资源和环境压力。

基于本文拟合的模型与分析,结合研究区清原县的实际情况,减轻水资源和环境压力可以从以下几个方面统筹决策:合理控制人口、科学调整产业结构、促进地区现代化发展以及探索转变经济增长方式。

### 参考文献:

- [1] 吴敬锐,杨兆萍,阿达衣赛肯. 基于 STIRPAT 模型分析新疆能源足迹的影响因素[J]. 干旱区地理,2011,34(1):187-193.
- [2] 易武英,苏维词,喻理飞,等. 基于 STIRPAT 扩展模型平塘县农业水足迹变化及驱动机制研究[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(5):243-248,254.
- [3] Zhao C, Chen B, Hayat T, et al. Driving force analysis of water footprint change based on extended STIRPAT model: evidence from the Chinese agricultural sector[J]. Ecological Indicators, 2014,47:43-49.
- [4] 熊 鹰,许钰莎. 四川省环境友好型农业生产效率测算及影响因素研究——基于超效率 DEA 模型和空间面板 STIRPAT 模型[J]. 中国生态农业学报,2019,27(7):1134-1146.
- [5] 钟章奇,姜 磊,何凌云,等. 基于消费责任制的碳排放核算及全球环境压力[J]. 地理学报,2018,73(3):442-459.
- [6] Jiang X, Liu Y, Zhao R. A framework for ecological compensation assessment: a case study in the upper Hun River Basin, Northeast China[J]. Sustainability, 2019, 11(4):1205.
- [7] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts [J]. Ecological Economics, 2003,46(3):351-365.
- [8] Dietz T, Rosa E A, York R. Driving the human ecological foot print [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2007,5(1):13-18.
- [9] 谭晖川. 重庆市工业水足迹变化特征分析与预测[D]. 重庆:重庆交通大学,2017.
- [10] 韩 玉,杨晓琳,陈源泉,等. 基于水足迹的河北省水资源安全评价[J]. 中国生态农业学报,2013,21(8):1031-1038.

- [11] 张先起,李 浩,梁士奎,等.基于水足迹的区域水资源定量测度与特性分析[J].中国农村水利水电,2017(5):91-95.
- [12] 乔扬源,贾陈忠.基于水足迹理论的山西省水资源利用与经济发展脱钩状况分析[J].节水灌溉,2019(12):58-64,71.
- [13] 张灿灿,孙才志.基于 CiteSpace 的水足迹文献计量分析[J].生态学报,2018,38(11):4064-4076.
- [14] 刘 扬,陈劲锋,张云芳.中国农业 EKC 研究——以化肥为例[J].中国农学通报,2009,25(16):263-267.
- [15] 阿布都艾尼·阿布都沙拉木,岳东杰,赵元忆.半参数模型处理系统误差的可行性分析[J].水利与建筑工程学报,2013,11(6):85-89.
- [16] 卢 娜,曲福田,冯淑怡,等.基于 STIRPAT 模型的能源消费碳足迹变化及影响因素——以江苏省苏锡常地区为例[J].自然资源学报,2011,26(5):814-824.
- [17] 白 雪,任晓晶,胡梦婷.水足迹标准化理论、方法和应用[M].北京:中国质检出版社,2018.
- [18] 孙才志,陈 桢,赵良仕.基于 ESDA 的中国省际水足迹强度的空间关联格局分析[J].自然资源学报,2013,28(4):571-582.
- [19] 吴慧歌.辽宁省水资源利用效率及其空间关联格局研究[D].大连:辽宁师范大学,2017.
- [20] 王志鹏,刘群昌,戴 玮,等.基于水约束的种植结构优化方法综述[J].水利与建筑工程学报,2019,17(3):231-235,246.

(上接第 237 页)

(4) 结合室内试验与工程应用,推荐橡胶沥青应力吸收层中:橡胶沥青的最佳用量取  $2.4 \text{ kg/m}^2 \sim 2.6 \text{ kg/m}^2$ ,碎石集料的最佳撒布量取  $14 \text{ kg/m}^2 \sim 16 \text{ kg/m}^2$ 。

(5) 工程应用表明:橡胶沥青中间应力吸收层可有效抑制基层裂缝的扩展,防止反射裂缝的产生,具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 贺晓强.橡胶沥青应力吸收层在路面改造工程中的应用[J].山西交通科技,2015(2):38-40,46.
- [2] 徐世亮,张国玺,张俊光.橡胶沥青应力吸收层的试验研究及其工程应用[J].交通科技,2008(6):66-68.
- [3] 牛智华.高性能橡胶沥青应力吸收层应用技术研究[D].西安:长安大学,2011.
- [4] 杨 涛.半刚性基层沥青路面反射裂缝的产生机理及其防治措施[D].武汉:武汉理工大学,2005.
- [5] 曾 勇.武汉白沙洲大桥钢桥面铺装设计与施工[J].公路,2001(1):42-46.
- [6] 覃 峰,包惠明.同步碎石应力吸收层路用性能的研究[J].铁道标准设计,2007(11):11-14.
- [7] 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [8] 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [9] 吕伟民.橡胶沥青路面技术[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [10] 李祖仲.应力吸收层沥青混合料组成设计及抗裂性能研究[D].西安:长安大学,2009.
- [11] 李 兵,袁梅俊.同步碎石应力吸收层合理模量及厚度的确定[J].中外公路,2010,30(3):318-322.
- [12] 施 力,何爱军,肖 荆.高速公路用橡胶粉改性沥青应力吸收层的应用研究[C]//江苏省交通厅.国际橡胶沥青大会中文论文集,南京:江苏省地质测绘院印刷厂,2009:96-99.
- [13] 李祖仲,陈拴发,张登良.应力吸收层材料拉伸与抗压疲劳试验[J].公路,2007(10):190-194.