

DOI: 10.5846/stxb202203030503

任慧敏, 王圣云. 全球人类福祉提升的碳强度差异测度: 影响因素及空间溢出效应. 生态学报, 2023, 43(12): 4858-4867.

Ren H M, Wang S Y. Measuring the global differences in the carbon intensity of human well-being: influencing factors and spatial spillover effects. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(12): 4858-4867.

全球人类福祉提升的碳强度差异测度: 影响因素及空间溢出效应

任慧敏¹, 王圣云^{2,3,*}

¹ 东北师范大学经济与管理学院, 长春 130117

² 南昌大学中国中部经济社会发展研究中心, 南昌 330031

³ 南昌大学经济管理学院, 南昌 330031

摘要: 实现低碳化的人类福祉提升是可持续发展的根本要求, 人类福祉提升的碳强度指标是衡量可持续发展程度的新指标。论文使用了人类福祉碳强度指标, 应用探索性空间数据分析法分析了全球人类福祉碳强度的时空演进格局, 运用空间杜宾模型揭示了全球人类福祉碳强度的影响因素及其空间溢出效应。研究发现: (1) 1980—2016 年全球人类福祉碳强度明显降低, 但在北美洲、欧洲和大洋洲国家与其他区域国家(地区)之间存在显著差距。(2) 经济增长、能源消费结构、工业化、资本积累、死亡率等因素提高了全球人类福祉碳强度, 贸易依存度则是不断降低全球人类福祉碳强度的主要驱动力。(3) 影响全球人类福祉碳强度差异的因素呈现区域异质性, 能源消费结构、贸易依存度、工业化、资本积累、死亡率等因素对全球人类福祉碳强度的影响, 因其经济发展水平和阶段不同而体现出明显的“南北差异”和不同的空间溢出效应。(4) 周边国家的能源消费结构、工业化、资本积累和死亡率等因素会增加本国人类福祉碳强度, 但本国人类福祉碳强度也会随着周边国家的经济增长和贸易依存度而降低。

关键词: 人类福祉碳强度; 影响因素; 区域异质性; 空间杜宾模型; 全球

Measuring the global differences in the carbon intensity of human well-being: influencing factors and spatial spillover effects

REN Huimin¹, WANG Shengyun^{2,3,*}

¹ School of Economics and Management, Northeast Normal University, Changchun 130117, China

² Research Center of Central China Economic and Social Development, Nanchang University, Nanchang 330031, China

³ School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: Achieving low-carbon human well-being is the fundamental requirement of sustainable development. The index of carbon intensity of human well-being is a new measure of sustainable development. This paper used the index of carbon intensity of human well-being and employed the exploratory spatial data analysis method to analyze the spatio-temporal evolution pattern of global carbon intensity of human well-being. The spatial Durbin model was applied to reveal the influencing factors and spatial spillover effects of global carbon intensity of human well-being. The results showed that: (1) global carbon intensity of human well-being had significantly declined from 1980 to 2016, but there was a significant gap in the carbon intensity of human well-being between Northern America, Europe, Oceania nations and other regional nations (regions). (2) Economic development, energy consumption structure, industrialization, capital accumulation, and

基金项目: 国家自然科学基金项目(42061026); 2021 年江西省社会科学规划重点项目(21JL01); 2021 年江西省文化名家暨“四个一批”人才工程项目(0220001401)

收稿日期: 2022-03-03; **网络出版日期:** 2023-02-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangshengyun@163.com

mortality rate had increased the global carbon intensity of human well-being, while dependence on foreign trade had reduced it. (3) The global carbon intensity of human well-being presented a regional heterogeneous structure in the driving and dynamic evolution of various factors. The impacts of industrialization, dependence on foreign trade, energy consumption structure, capital accumulation, and mortality rate on the global carbon intensity of human well-being reflected obvious “north-south difference” and heterogeneously spatial spillover effects due to the different levels and stages of economic development. (4) Energy consumption structure, industrialization, capital accumulation, and mortality rate in the neighboring nations of a nation increased the carbon intensity of human well-being in the nation, but the carbon intensity of human well-being in the nation also decreased with the economic development and dependence on foreign trade of the neighboring nations.

Key Words: carbon intensity of human well-being; influencing factors; regional heterogeneity; spatial Durbin model; global

随着全球经济不断繁荣人类福祉水平得到很大提升,全球人类发展指数(Human development index, HDI)从1990年的0.597提升到了2019年的0.737^[1],但也付出了沉重的环境代价。尤其是新世纪以来全球工业化、城市化浪潮使得全球温室气体排放持续增加,环境风险和气候变化已然成为全球可持续发展亟待面对的最大风险^[2]。由于人类发展需要一定量的碳排放空间,碳排放既关系着人类福祉水平提升的潜力,也成为限制全球可持续提升的重要因素^[3]。但遗憾的是,全球在温室气体减排以及实现2030可持续发展目标方面缺乏有效的国际协同机制,使得全球人类福祉水平不断提高的同时二氧化碳排放量却呈明显增长的趋势^[4]。从可持续发展理论来看,发展不仅指的是经济增长,而且意味着碳排放逐步降低与人类福祉水平的提升。关注经济增长、人类福祉与环境质量之间的平衡是可持续发展研究关注的重要议题^[5-7]。如果经济增长在提升人类福祉的同时导致了越来越多的碳排放,从长期看,经济增长就没有可持续性^[8]。可见,促进经济增长、碳减排与人类福祉的协同提升是实现联合国可持续发展目标(SDGs)的根本路径^[9]。

目前,对碳排放强度和人类福祉的区域研究取得了一定的进展。不少研究认为中国碳强度存在空间不平衡^[10],表现出明显的“南低北高”空间格局^[11],而这种空间差异主要来自于四大区域内部^[12]。也有一些研究关注碳强度的空间溢出性^[13-14],少量研究从空间溢出视角探讨碳强度的空间异质性^[15]。关于人类福祉的相关研究,大多学者认为人类福祉区域差距逐渐缩小^[16-17],而区域内差距呈扩大趋势^[18]。值得注意的是,碳强度的政策含义在于为政府部门进行碳排放与经济发展的平衡提供决策依据,重视经济增长与环境之间的关系,但忽视了人类福祉这一可持续发展的重要目标。

近年来基于人类福祉视角的碳排放相关研究概括起来主要有以下两种研究范式:一是对人类发展指数纳入碳排放指标进行修正。De La Vega 和 Urrutia^[19]在HDI中嵌入人均CO₂指标,构建碳敏感性人类发展指数并评估了165个国家的人类发展水平。二是从福祉提升的生态或环境强度角度来透视可持续发展水平^[20-21]。Dietz等^[22]将人类福祉的环境绩效指标转置,构建了生态福祉强度指标(Environmental intensity of human well-being, EIWB),对58个国家经济增长与生态福祉强度之间的关系进行了实证分析。在弱可持续向强可持续理论不断嬗变的可持续发展框架与范式下^[23],人类福祉提升的碳强度(Carbon intensity of human well-being, CIWB)指标,也即人类福祉碳强度指标,既是随发展观演变对碳强度指标的扩展,也是在低碳经济背景下对生态福祉强度指标的修订,日益成为衡量可持续发展程度的新指标^[24]。需要说明的是,在人类福祉水平的测度上,人类福祉是比人均GDP更为直接的发展度量指标,因而CIWB是在可持续发展视角下反映碳排放与发展关系的更优指标^[24]。在应对全球气候变化和温室气体减排的形势下,CIWB比EIWB具有更强的针对性和国别研究方面的数据可得性与可比性^[25]。这方面,Jorgenson^[24]构建了CIWB指标,并分析了全球106个国家经济增长对CIWB影响的演变过程。此后,CIWB被逐步应用于评估国家或地区的可持续发展水平。国外学者们考察了经济增长^[26-27]、城市化^[28]、社会不平等^[29]、世界社会政治^[30]、贸易^[31]等因素对全球

CIWB 的影响;国内学者李晶等^[32]分析了中国省域经济增长对 CIWB 的影响及其空间效应。

文献评述可知,上述关于人类福祉碳强度的跨国研究多停留于全球尺度,从国家视角分析单一因素对 CIWB 的影响,忽视了全球区域层面的空间差异分析,缺少对 CIWB 区域异质性及其影响因素空间效应的研究。全球大样本国家数据的整体 CIWB 分析不能很好地考察大尺度区域层面的变化,而关于国别的 CIWB 纵向研究也表明,不同地区的国家经济发展水平对国家层面碳排放或人类福祉的估计影响差异很大,这种影响会随着时间的推移以不同国家特有的发展方式发生变化^[24],没有划分区域组别的分析会忽略区域异质性。此外,在经济全球化和区域化并存的时代,全球各国在经济发展水平、产业结构、能源消费结构和贸易依存度等因素存在较大差异的同时,也有着较强的空间依赖性。已有文献没有关注到相邻区域发展与人类福祉碳强度的空间溢出关系^[32]。尤其是在考察区域异质性时,空间溢出效应往往被忽略。基于此,本文使用了人类福祉碳强度指标,刻画了 1980—2016 年全球 CIWB 的时空演变格局,重点从空间溢出视角解析全球 CIWB 的影响因素及区域异质性,以期从人类命运共同体角度为实现全球 2030 年可持续发展目标提供科学参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 人类福祉提升的碳强度指标的计算方法

本文将人类福祉提升的碳强度定义为单位人类福祉提升对环境造成的碳排放压力,简称为人类福祉碳强度。参考 Jorgenson、Li 等^[24,32]研究文献,本文使用人类福祉碳强度(CIWB)指标。其中,将人均 CO₂排放量作为衡量环境压力的碳排放指标,出生时预期寿命指标作为衡量人类福祉的指标。出生时预期寿命指标是反映居民健康水平和医疗卫生条件的重要指标。不仅如此,该指标在国别研究时数据质量更高。需要说明的是,人类发展指数(HDI)也常用来反映人类福祉水平,但 HDI 是由收入指数、教育指数和寿命指数组成。本文旨在研究经济增长对 CIWB 的影响,若用 HDI 度量人类福祉,则会在计量模型构建时存在被解释变量和解释变量混同^[22]。基于以上考虑,本文用人均 CO₂排放量和出生时预期寿命两个指标分别表示碳排放水平和人类福祉水平。

由于 1980—2016 年全球 114 个国家(地区)人均 CO₂排放量的范围为 0.01—37.94,出生时预期寿命的范围为 26.17—84.28,为保证二者的变异系数统一,本文在不改变方差和离差系数的情况下,对人均 CO₂排放量和出生时预期寿命两个指标进行均衡调整。也即,在人均 CO₂排放量后加上常数 20.894,并在此基础上乘以 100,得到人类福祉碳强度指标的计算公式:

$$CIWB_{it} = \frac{(PCO_{2it} + 20.894)}{LE_{it}} \times 100 \quad (1)$$

式中,CIWB_{it}为*i*国(地区)在*t*年的人类福祉碳强度,PCO_{2it}为*i*国(地区)在*t*年的人均 CO₂排放量,LE_{it}为*i*国(地区)在*t*年的出生时预期寿命。

1.1.2 全局空间自相关

空间自相关是空间计量模型分析的先验基础,常用莫兰指数(Moran's *I*)检验研究样本是否存在空间相关性。本文运用 Stata17.0 软件,选用各国(地区)首都之间的地理距离空间权重矩阵作为空间权重矩阵,采用探索性数据分析法中的全局 Moran's *I* 进行空间自相关检验。计算公式如下:

$$I_{\text{global}} = \left[n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x}) \right] / \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \quad (2)$$

式中,*n*为国家(地区)数,W_{ij}为全球地理距离空间权重矩阵,x_i、x_j分别为*i*国(地区)和*j*国(地区)的 CIWB, $\bar{x}$ 为 CIWB 的均值。若 0 < I_{global} ≤ 1,表示各国(地区)之间的 CIWB 具有空间正相关性,若 -1 ≤ I_{global} < 0,表示各国(地区)之间的 CIWB 具有空间负相关性,若 I_{global} 等于 0,表示各国(地区)的 CIWB 不存在空间相关性。

1.1.3 空间计量模型

本文在 Le Sage 和 Pace^[33]基础上,构建了分析全球人类福祉碳强度变化影响因素的空间计量模型,公式

如下:

$$\ln \text{CIWB}_{it} = \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} \ln \text{CIWB}_{jt} + \beta X_{it} + \varphi \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中, $\ln \text{CIWB}_{it}$ 表示 i 国(地区)在 t 年的人类福祉碳强度, X 表示人类福祉碳强度的影响因素。 ρ 为被解释变量的空间滞后系数, β 为解释变量的回归系数, φ 为解释变量的空间滞后系数, α_i 、 γ_t 分别代表空间效应和时间效应, ε_{it} 为服从独立同分布的随机误差项。当 $\varphi=0$, $\rho \neq 0$ 时, 空间杜宾模型转化为空间滞后模型; 当 $\varphi+\rho\beta=0$ 时, 空间杜宾模型转化为空间误差模型。

空间杜宾模型的滞后项系数不能完全表示解释变量对被解释变量的影响, 本文应用直接效应、空间溢出效应和总效应反映解释变量对被解释变量的影响。直接效应反映一个国家(地区)的解释变量对本国 CIWB 的影响, 空间溢出效应表示周边国家(地区)的解释变量对本国 CIWB 的影响。其分解矩阵计算公式分别如下:

$$Y = (I_n - \rho W)^{-1} (X\beta + WX\theta) + (I_n - \rho W)^{-1} \varepsilon \quad (4)$$

Y 中关于第 k 个因变量的偏微分方程矩阵如下:

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} \frac{\partial Y}{\partial x_{1k}} & \frac{\partial Y}{\partial x_{2k}} & \cdots & \frac{\partial Y}{\partial x_{nk}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial Y_1}{\partial x_{1k}} & \frac{\partial Y_1}{\partial x_{2k}} & \cdots & \frac{\partial Y_1}{\partial x_{nk}} \\ \frac{\partial Y_2}{\partial x_{1k}} & \frac{\partial Y_2}{\partial x_{2k}} & \cdots & \frac{\partial Y_2}{\partial x_{nk}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Y_n}{\partial x_{1k}} & \frac{\partial Y_n}{\partial x_{2k}} & \cdots & \frac{\partial Y_n}{\partial x_{nk}} \end{pmatrix} = (I - \rho W)^{-1} \begin{pmatrix} \beta_k & w_{12}\theta_k & \cdots & w_{1n}\theta_k \\ w_{21}\theta_k & \beta_k & \cdots & w_{2n}\theta_k \\ \vdots & \vdots & \ddots & w_{2n}\theta_k \\ w_{n1}\theta_k & w_{n2}\theta_k & \cdots & \beta_k \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中, Y 表示人类福祉碳强度, 直接效应和空间溢出效应分别对应等式右端矩阵中的对角线元素和非对角线元素。

1.1.4 变量选择

本文将 CIWB 作为被解释变量, 选取了经济增长、能源消费结构、工业化、贸易依存度、资本积累、死亡率等影响人类福祉碳强度的影响因素: (1) 经济增长。已有研究表明, 经济增长能够提高出生时预期寿命, 对人类福祉产生正向影响^[25], 本文选取人均 GDP 指标反映经济增长水平并作为核心解释变量。(2) 能源消费结构。化石能源使用量的增加会加大对环境的碳排放压力, 同时对人类健康产生间接影响, 从而使 CIWB 增加^[27], 本文选取化石能源占能源消费的比重指标, 研究能源消费结构对 CIWB 的影响。(3) 工业化。工业往往是增加发达国家或发展中国家 CO₂ 排放的产业部门^[34]。本文选用工业增加值占 GDP 比重, 分析工业化对 CIWB 的影响。(4) 贸易依存度。贸易依存度能反映经济全球化与国家间的经济联系, 近来一些研究发现贸易依存度增加了能源消费和碳排放^[35], 本文选取贸易总额占 GDP 比重指标, 分析贸易依存度对 CIWB 的影响。(5) 资本积累。资本存量通常被看作经济增长的资本积累因素, 刺激经济增长也会增加 CO₂ 排放。同时, 一些研究认为资本存量与预期寿命有关^[36], 将资本存量指标作为解释变量, 分析资本积累对 CIWB 的影响。(6) 死亡率。出生时预期寿命推算使用的基础数据是各年龄别死亡率, 死亡率是影响出生时预期寿命的直接原因^[37]; 气候变化是 21 世纪最大的全球健康威胁, 较多学者认为死亡率与 CO₂ 排放密切相关^[38]。因此, 本文选择对出生时预期寿命和 CO₂ 排放有影响的死亡率指标作为解释变量。需要说明的是, 不同国家的 CIWB、人均 GDP、资本存量等数值型变量差距较大, 为缩小数据的绝对数值和削弱模型可能存在的异方差, 本文取 CIWB、人均 GDP、资本存量的自然对数使得实证研究更具针对性, 化石能源占能源消费的比重、工业增加值占 GDP 比重、贸易总额占 GDP 比重和死亡率等比值型和百分数型变量不变, 以保持数据的平稳性。

1.2 数据来源

人均 CO₂ 排放量、出生时预期寿命、人均 GDP、化石能源消费占能源消费比重、贸易总额占 GDP 的比重、

工业增加值占 GDP 的比重、资本存量以及死亡率等指标数据均来自世界银行数据库。其中,资本存量和人均 GDP 均为 2010 年不变价(美元)。全球地理距离空间权重矩阵来自法国的 CPEII 数据库。需要指出的是,考虑到上述所有指标数据的可得性,本文选取的研究时间跨度为 1980—2016 年。由于缺少一些国家(地区)的人均 CO₂ 排放量或出生时预期寿命数据,本文共选取 114 个国家(地区)为研究对象。因受到空间计量回归固定效应自由度的限制,无法考虑更小规模的区域样本,本文参考 Jorgenson^[24,26] 划分方法将其分为 23 个北美洲、欧洲和大洋洲国家、28 个亚洲国家(地区)、40 个非洲国家、23 个南美洲和中美洲国家。其中,北美洲、欧洲和大洋洲的合并区域包括大多数高收入的经济合作与发展组织国家。

2 结果

2.1 全球人类福祉提升的碳强度:时空格局演变分析

人类福祉碳强度随着经济增长阶段的不同出现差异化的时空演变格局。一方面,各国工业化进程不同,其人类福祉碳强度会出现不同的发展趋势。在经济发展初期,不少国家和地区通过牺牲环境换取经济的迅速增长,造成碳排放的增速超过了预期寿命的增速,最终导致人类福祉碳强度的恶化。而经济发展到一定阶段,发达经济体政府则会通过环境约束、产业升级和技术创新等措施抑制碳排放,制定更为严格的环境标准和排放限制,人类福祉碳强度得到显著改善。另一方面,经济发展水平高的经济体也会通过产业转移,将高排放高污染高能耗的产业向发展中国家转移,形成“污染避难所”^[39]。若发展中国家的碳排放增速超过预期寿命的增速,则会恶化发展中国家的人类福祉碳强度。

应用 ArcGIS10.5 软件绘制全球 CIWB 等级演变的时空格局演变图。根据自然间断法,将全球 CIWB 划分为低($0 < CIWB \leq 33.07$)、较低($33.08 \leq CIWB \leq 39.93$)、中($39.94 \leq CIWB \leq 48.32$)、高($48.33 \leq CIWB \leq 86.51$) 4 个级别。全球 CIWB 的平均值从 1980 年的 41.38 下降到 2016 年的 34.88,全球从中人类福祉碳强度等级向较低人类福祉碳强度等级转变。由图 1 可知,1980—2016 年全球低人类福祉碳强度等级的国家(地区)主要分布在南美洲、北非、南欧以及东亚和东南亚;高人类福祉碳强度等级的国家(地区)主要分布在北美洲、大洋洲、中非和南非的部分国家。

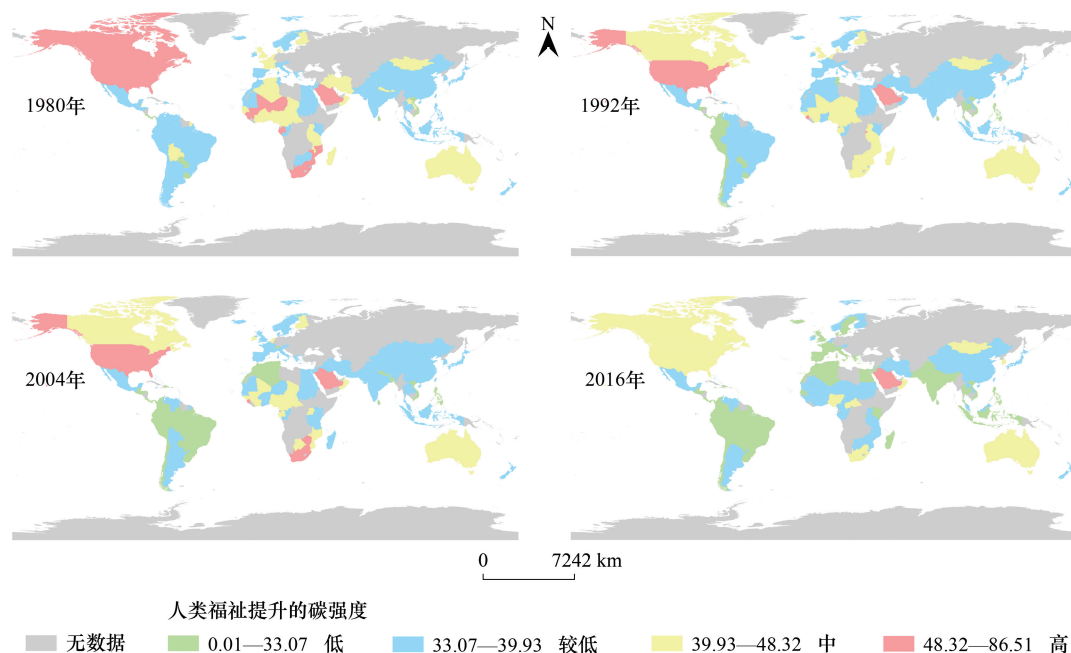


图 1 1980—2016 年全球人类福祉碳强度时空格局演变图

Fig.1 Evolution of spatio-temporal pattern of carbon intensity of human well-being from 1980 to 2016

2.2 全球人类福祉提升的碳强度:影响因素及其空间溢出效应

2.2.1 影响因素分析

参考 Elhorst^[40]的最优空间计量模型检验方法,本文采用全局 Moran's I 检验、LM 检验和 LR 检验来选择空间计量经济模型。从图 2 可知,1980—2016 年全球 CIWB 全局 Moran's I 值均大于 0, P 值都通过了 1% 的显著性水平检验,拒绝随机分布假设,表明全球人类福祉碳强度存在显著的空间正相关或空间依赖性。

检验结果如表 1 所示, LM 检验结果表明拒绝没有空间滞后项和空间自回归项的原假设,空间杜宾模型适合解决空间依赖问题^[33]。LR 检验拒绝 $\varphi = 0, \rho \neq 0$ 的原假设 (LR-lag = 426.630) 和 $\varphi + \rho\beta = 0$ 的原假设 (LR-error = 33.010), 且 LR 检验在 1% 的水平上时间固定效应显著 (LR-Time = 8901.890), 支持选择时间固定效应模型。

全球人类福祉碳强度存在较强的空间外溢效应,没有考虑到空间效应的传统面板模型回归估计结果存在一定的偏误。因此,本文选用时间固定的空间杜宾模型对全球人类福祉碳强度变化的影响因素进行分析,表 1 为各影响因素对 CIWB 的回归结果。

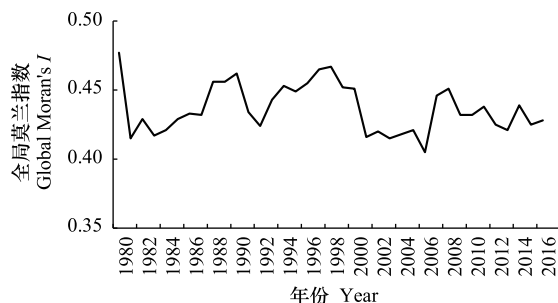


图 2 1980—2016 年全球人类福祉碳强度的全局自相关结果演变
Fig.2 Evolution of global autocorrelation results of global carbon intensity of human well-being from 1980 to 2016

以上年份全局自相关值均通过 1% 的显著性检验

表 1 空间计量模型回归结果

Table 1 Regression results of the spatial econometric model

变量 Variable	空间面板模型 Spatial Panel Model	空间滞后模型 Spatial Lag Model	空间误差模型 Spatial Error Model	空间杜宾模型 Spatial Durbin Model
Pgdp	0.021 ***	0.035 ***	0.050 ***	0.014 ***
Enerstru	0.140 ***	0.072 ***	0.109 ***	0.053 ***
Tradedep	-0.019 ***	0.005 *	0.002	-0.012 ***
Secind	0.098 ***	0.244 ***	0.201 ***	0.048 ***
Capital	-0.018 ***	-0.007 ***	-0.006 ***	0.016 ***
Deathr	2.645 ***	2.316 ***	3.153 ***	2.011 ***
LM		7.724 ***	2034.596 ***	
Robust LM		0.890	2027.762 ***	
LR		426.630 ***	33.010 ***	-0.660 (Ind)
				8901.890 *** (Time)
ρ	0.885 ***			0.526 ***
λ			0.813 ***	

***, **, * 分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性检验

从可持续性的角度来看,影响因素对 CIWB 的系数为负在某种程度上意味着该因素的增加有利于全球可持续发展^[24]。人均 GDP 的估计系数显著为正,说明经济增长对全球 CIWB 具有显著的负面影响,这种负面影响的一个可能原因是全球经济增长与 CO₂ 排放、人类福祉均呈正相关,但经济增长对 CO₂ 的影响远远大于对人类福祉的影响。从其他解释变量来看,能源消费结构的估计系数在 1% 的水平上显著为正,以化石能源为主的能源消费结构和高能耗的经济增长模式无疑成为全球人类福祉碳强度恶化的主要原因之一。这是因为伴随工业的快速发展导致化石能源的需求和消费增加,其对 CO₂ 排放的影响超过了其对人类福祉的影响^[41],从而对 CIWB 产生负面影响。贸易依存度在 1% 的水平下显著降低了全球 CIWB,说明贸易依存度有利于全球人类福祉碳强度的改善,对碳排放强度和人类福祉之间的平衡关系产生有利影响^[42],证明全球国家层面不存在“污染避难所”假说。工业化和资本积累均在 1% 的水平上对全球 CIWB 起到显著的正向作用,但前

者正向作用更大,这也表明工业化更大程度地恶化了全球人类福祉碳强度。死亡率的估计系数显著为正,每增加 1%,全球 CIWB 提高 2.011%,说明死亡率的降低会改善人类福祉碳强度。

2.2.2 空间溢出效应分析

进一步探究各影响因素对全球人类福祉碳强度的空间效应。由表 2 空间效应分解结果可知,经济增长增加了本国(地区)的 CIWB,而周边国家的经济增长有助于降低本国(地区)的 CIWB。可能的原因是周边国家经济增长发展到一定阶段,能够更好地控制 CO₂排放和提升人类福祉,从而通过倒逼效应和激励效应促使本国(地区)改善其 CIWB。能源消费结构的直接效应和空间溢出效应都为正,说明本国(地区)和周边国家以化石能源为主的能源结构均不利于降低本国的 CIWB。本国(地区)贸易依存度会改善其 CIWB,且周边国家贸易依存度的增加也会改善本国的 CIWB。本国(地区)和周边国家以工业为主的产业结构都会恶化本国的 CIWB,这也意味着相邻国家之间可能存在高排放工业的“隐含碳”转移。资本存量和死亡率对 CIWB 的直接效应与空间溢出效应均为正,表明本国(地区)和周边国家资本积累和死亡率的提高均不利于本国(地区)CIWB 的改善。

表 2 空间效应估计结果

Table 2 Estimation results of spatial effects

变量 Variable	直接效应 Direct effect	空间溢出效应 Spatial spillover effect	总效应 Total effect	变量 Variable	直接效应 Direct effect	空间溢出效应 Spatial spillover effect	总效应 Total effect
Pgdp	0.012 ***	-0.011 *	0.001	Secind	0.058 ***	0.058 ***	0.116 ***
Enerstru	0.103 ***	0.275 ***	0.378 ***	Capital	0.019 ***	0.019 ***	0.038 ***
Tradedep	-0.015 ***	-0.015 ***	-0.030 ***	Deathr	2.475 ***	2.481 ***	4.956 ***

***, **, * 分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性检验

2.3 全球人类福祉提升的碳强度:区域异质性分析

对全球区域异质性的经验识别,能有效地捕捉不同区域人类福祉碳强度的空间差异。本文对四个区域 CIWB 变化的影响因素分别进行空间计量回归。由表 3 可知,LM 检验结果说明空间杜宾模型均适用于四个区域样本,所有区域的 LR 检验拒绝 $\varphi=0, \rho \neq 0$ 的原假设和 $\varphi+\rho\beta=0$ 的原假设,且 LR 检验具有个体和时间固定效应的联合显著性,均选用双固定的空间杜宾模型。

表 3 区域空间杜宾模型回归结果

Table 3 Regression results of regional Spatial Durbin Model

变量 Variable	北美、欧洲和大洋洲 North America, Europe and Oceania	亚洲 Asia	非洲 Africa	南美洲和中美洲 South and Central America
Pgdp	0.059 **	0.014	-0.021 *	0.180 ***
Enerstru	0.356 ***	0.266 ***	0.053	-0.087 *
Tradedep	-0.005	-0.056 ***	0.056 ***	0.125 ***
Secind	0.370 ***	-0.322 ***	-0.299 ***	-0.443 ***
Capital	0.043 **	0.084 ***	-0.031 ***	-0.015
Deathr	2.259 ***	1.377 ***	0.840 ***	1.795 ***
ρ	0.399 ***	0.436 ***	0.097 *	0.047
LM-Error	250.515 ***	274.966 ***	122.807 ***	28.823 ***
Robust LM-Error	265.312 ***	223.838 ***	132.140 ***	33.704 ***
LM-Lag	11.164 ***	186.338 ***	12.215 ***	27.853 ***
Robust LM-Lag	25.961 ***	135.210 ***	21.548 ***	32.735 ***
LR-Lag	58.76 ***	69.77 ***	73.71 ***	45.95 ***
LR-Error	71.57 ***	60.40 ***	72.60 ***	46.02 ***
LR-Ind	28.32 *	30.07 **	76.76 ***	22.30 ***
LR-Time	2602.71 ***	1410.96 ***	1976.80 ***	720.91 ***

***, **, * 分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性检验

从区域异质性的回归结果可以看出(表3),全球国家样本的分析隐藏了大多数高收入的北美、欧洲和大洋洲国家与亚洲、非洲、南美洲和中美洲国家 CIWB 发展之间的显著差异。除非洲国家之外,其他区域国家的经济增长和 CIWB 间存在不可持续的关系,经济增长仍未跨越以牺牲环境为代价的“有增长无发展”阶段。非洲国家的经济发展对 CIWB 为负向作用,说明非洲国家的经济发展提升了人类福祉降低了碳排放,经济可持续发展水平更高。北美洲、欧洲和大洋洲、亚洲国家(地区)、非洲国家没有摆脱以使用化石能源来追求经济发展和人类福祉的提升,在这一过程中产生的大量碳排放对全球气候变化造成挑战。值得注意的是,中美洲和南美洲国家的能源消费结构改善了 CIWB,这主要归因中南美洲国家的水电、风电等可再生能源消费约为能源消费总量的 1/4,远超过全球其他区域^[43]。

亚洲国家(地区)的贸易依存度对其 CIWB 的负向效应,与北美洲、欧洲和大洋洲国家一致,意味着贸易中可能存在“隐含碳”向非洲、中美洲和南美洲国家转移,这从贸易总额占 GDP 比重指标对非洲、中美洲和南美洲国家 CIWB 的正向作用可以反推得出。进一步说明了在全球贸易体系中处于有利地位的国家能够通过贸易进行生态不平等的交换关系来减少其 CIWB^[31],这些发现与质疑贸易对环境和福祉有有益影响的理论观点一致,特别是在发展中国家^[42]。工业化对 CIWB 的作用在较发达国家和发展中国家存在明显差异,对北美、欧洲和大洋洲国家起正向作用,而对其他区域的国家却是负向作用。可见,工业化对发展中国家提高国民福祉仍是必要的,但较发达区域处在更高的经济发展阶段,需要更加重视其不利影响。资本积累对北美、欧洲和大洋洲国家、亚洲国家(地区)CIWB 显著的负面影响说明资本积累刺激经济增长的同时也会带来 CO₂ 排放的增加。对所有区域的国家而言,死亡率对其 CIWB 都为正向作用,表明降低死亡率是改善全球人类福祉碳强度、实现 SDGs 中人类福祉目标的重要方向。

比较分析不同区域国家影响因素的空间溢出效应可知(表4),邻近非洲、中美洲和南美洲区域内其他国家的经济增长降低了其 CIWB,而邻近亚洲、北美、欧洲和大洋洲两个区域内其他国家的经济增长对 CIWB 的正向效应不显著,这在一定程度上说明亚洲、北美、欧洲和大洋洲这两个大尺度区域内国家间存在经济竞争行为,这种使得邻近该区域国家的经济增长对其并未释放出“可持续发展红利”。除北美、欧洲和大洋洲区域外,其他区域能源消费结构对其 CIWB 的空间溢出效应均显著为负。一方面,考察期内北美、欧洲和大洋洲国家经济发展所需的能源需求会吸引能源要素从周边国家流入,这种吸纳效应在一定程度上也影响了其他区域国家的能源消费,因此北美、欧洲和大洋洲国家能源消费结构的调整反而有利于改善邻近国家人类福祉碳强度。另一方面可能是因为北美、欧洲和大洋洲国家存在能源回弹效应,即能源效率的优化在节约能源的同时也引致能源价格降低,进而产生新的能源需求,导致能源消费结构调整所减少的碳排放被额外的能源消费部分甚至完全抵消^[44]。邻近北美、欧洲和大洋洲区域的其他国家的贸易依存度增加会降低 CIWB,而其他区域国家的贸易依存度对 CIWB 的空间溢出效应不显著,进一步验证了全球贸易一体化过程中处于有利地位国家通过贸易进行的生态不平等交换来减少其 CIWB^[42]。北美、欧洲和大洋洲国家工业化对 CIWB 的空间溢出效应显著为负,这与北美、欧洲和大洋洲国家在考察期内不断地进行自身技术创新与工业设备更新、清洁生产与再制造密不可分。值得注意的是,由亚洲、非洲、中美洲和南美洲国家(地区)工业化对 CIWB 的正向空间溢出效应可以反推得出,较发达的北美、欧洲和大洋洲国家在世界范围内重新配置产业布局,将高污染产业转移到亚洲、非洲、中美洲和南美洲国家(地区),这在一定程度上加剧了这些国家的环境污染。所有区域邻近国家资本存量的增加会改善本国的 CIWB,但非洲、中美洲和南美洲国家的空间溢出效应均不显著。理论上讲,资本存量的增加能否对人类福祉碳强度发挥正向作用取决于投入的偏向性,换言之,非洲、中美洲和南美洲国家资本存量空间溢出效应不显著的原因很可能是其新增的资本投资只是为了满足扩大再生产的“有增长无发展”目标,这种投资不仅导致了其碳排放的增加还制约了人类福祉的提升,从而不利于人类福祉碳强度的改善。北美、欧洲和大洋洲国家、亚洲国家(地区)死亡率的负向空间溢出效应不显著,非洲和拉美发展中国家死亡率的正向空间溢出效应也都不显著,说明距各区域较近的国家死亡率指标的高低并不会影响该区域内国家的人类福祉碳强度。究其原因可能是一国死亡率和该国医疗卫生条件密切相关,区域内一个国家周

边国家的死亡率指标并不是影响该国人类福祉碳强度的主要因素。

表 4 区域空间效应的估计结果

Table 4 Results of regional spatial effects estimation

变量 Variable	北美、欧洲和大洋洲 North America, Europe and Oceania			亚洲 Asia			非洲 Africa			中美洲和南美洲 South and Central America		
	<i>E</i> _{直接}	<i>E</i> _{空间溢出}	<i>E</i> _总	<i>E</i> _{直接}	<i>E</i> _{空间溢出}	<i>E</i> _总	<i>E</i> _{直接}	<i>E</i> _{空间溢出}	<i>E</i> _总	<i>E</i> _{直接}	<i>E</i> _{空间溢出}	<i>E</i> _总
Pgdp	0.063 ***	0.006	0.069	0.032 *	0.037	0.069	-0.021 **	-0.002 *	-0.023 **	0.080 ***	-0.145 ***	-0.065 *
Enerstru	0.466 ***	0.253 ***	0.719 ***	-0.015	-0.612 ***	-0.627 ***	-0.012	-0.171 ***	-0.183 ***	-0.091 *	-0.003 *	-0.094 *
Tradedep	-0.036 ***	-0.071 ***	-0.107 ***	-0.045 ***	0.020	-0.025	0.058 ***	0.004	0.062 ***	0.130 ***	0.005	0.135 ***
Secind	0.105 ***	-0.599 ***	-0.494 ***	-0.165 ***	0.351 *	0.186 *	-0.144 ***	0.421 ***	0.277 ***	-0.051	0.569 ***	0.518 ***
Capital	0.005	-0.086 **	-0.081	-0.021	-0.231 ***	-0.252 ***	-0.032 ***	-0.002	-0.014 ***	-0.014	-0.001	-0.014
Deathr	2.117 ***	-0.227	1.950 ***	1.128 ***	-0.576	0.552	0.869 ***	0.067	0.936 ***	1.851 ***	0.063	1.914 ***

***, **, * 分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性检验

3 结论

(1) 1980—2016 年全球人类福祉碳强度明显下降,表明全球单位碳排放对应的人类福祉产出绩效整体上不断提高。但全球人类福祉碳强度存在明显的区域差距,不仅表现为北美、欧洲和大洋洲国家的人类福祉碳强度明显高于其他区域国家,而且全球人类福祉碳强度存在明显的空间不平衡和“南北差异”^[45],要缩小发达国家与发展中国家人类福祉碳强度差距,尤其是分布在北美洲、大洋洲、中非和南非的高人类福祉碳强度国家。

(2) 经济增长提高了全球人类福祉碳强度,能源消费结构、工业化和资本积累也使全球人类福祉碳强度增加,依赖碳基能源的传统经济增长模式不利于降低全球人类福祉碳强度。未来应不断转变依赖化石能源的增长模式与粗放型经济模式,发挥较发达区域对欠发达区域的引领带动作用,推动人类福祉提升和碳减排方面的国际合作。贸易依存度在推动全球经济增长的同时创造了有益于全球人类福祉提升的就业、收入等机会,使得全球人类福祉碳强度得到显著改善。死亡风险是威胁全球人类福祉碳强度的重要因素。

(3) 全球人类福祉碳强度在各种因素的驱动和动态演进过程中呈现区域异质性结构。除非洲国家之外,其他区域国家的经济增长加剧了其人类福祉碳强度恶化。北美洲、欧洲和大洋洲、亚洲、非洲国家(地区)的二氧化碳排放难以冲抵能源消费结构对人类福祉的提升效应。北美洲、欧洲和大洋洲、亚洲国家(地区)通过贸易往来向非洲、中美洲和南美洲国家转移了碳排放,增加了非洲、中美洲和南美洲国家人类福祉碳强度。工业化对亚洲、非洲、中美洲和南美洲国家(地区)的人类福祉碳强度改善而言都是有利的。资本积累对北美、欧洲和大洋洲、亚洲国家(地区)人类福祉碳强度的负面作用显著。死亡率不利于所有国家人类福祉碳强度的降低。上述因素对人类福祉碳强度的影响因其经济发展阶段不同而存在差异,形成了全球人类福祉碳强度的“南北差异”。

(4) 全球人类福祉碳强度演变的影响因素存在明显的空间溢出效应。周边国家能源消费结构、工业化、资本积累、死亡率会增加本国人类福祉碳强度,但本国人类福祉碳强度也会随着周边国家经济发展、贸易依存度而不断降低。北美、欧洲和大洋洲国家与亚洲、非洲、南美洲和中美洲国家(地区)各影响因素对其人类福祉碳强度的空间溢出效应存在明显差异。

本文使用人类福祉碳强度指标,刻画了 1980—2016 年全球人类福祉碳强度的时空演进格局,从空间溢出视角揭示了全球人类福祉碳强度的影响因素及区域异质性,从人类命运共同体角度为实现全球 2030 年可持续发展目标提供科学参考。但限于碳排放数据可得性,未能涵盖俄罗斯、德国等大国人类福祉碳强度。结合本文的研究结论,更小空间尺度的全球人类福祉碳强度研究有待探讨。

参考文献 (References):

- [1] United Nations Development Program. The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene. New York: UNDP, 2020.
- [2] World Economic Forum. The Global Risks Report 2020. Geneva: WEF, 2020.
- [3] 潘家华. 人文发展分析的概念构架与经验数据——以对碳排放空间的需求为例. 中国社会科学, 2002, (6): 15-25.
- [4] UN Environment. Global Environment Outlook - GEO- 6: Healthy Planet, Healthy People. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
- [5] 杨爱婷, 宋德勇. 中国社会福利水平的测度及对低福利增长的分析——基于功能与能力的视角. 数量经济技术经济研究, 2012, 29(11): 3-17, 148-148.
- [6] 黄甘霖, 姜亚琼, 刘志锋, 聂梅, 刘阳, 李经纬, 鲍宇阳, 王玉海, 邬建国. 人类福祉研究进展——基于可持续科学视角. 生态学报, 2016, 36(23): 7519-7527.
- [7] 潘家华. 实现 SDGs: 授之以渔, 更要授之以道. 可持续发展经济导刊, 2019, (S2): 32-35.
- [8] World Bank. Inclusive Green Growth: the Pathway to Sustainable Development. Washington: World Bank, 2012.
- [9] 诸大建. 在“行星边界”内追求可持续发展目标的实现. 可持续发展经济导刊, 2019, (7): 53-56.
- [10] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 张东水, 谢金宁, 宋焱, 王志强. 中国省域碳强度空间依赖格局及其影响因素的空间异质性研究. 地理科学, 2018, 38(5): 681-690.
- [11] 张卓群, 张涛, 冯冬发. 中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(4): 67-87.
- [12] 杨骞, 刘华军. 中国碳强度分布的地区差异与收敛性——基于 1995—2009 年省际数据的实证研究. 当代财经, 2012, (2): 87-98.
- [13] 赵桂梅, 耿涌, 孙华平, 赵桂芹. 中国省际碳排放强度的空间效应及其传导机制研究. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(3): 49-55.
- [14] 王少剑, 黄永源. 中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素. 地理学报, 2019, 74(6): 1131-1148.
- [15] 刘佳骏, 史丹, 汪川. 中国碳排放空间相关与空间溢出效应研究. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1289-1303.
- [16] 田建国, 庄贵阳, 朱庄瑞. 新时代中国人福祉的理论框架和测量. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(12): 9-18.
- [17] 杨雪婷, 邱孝桢, 徐云, 朱付彪, 刘运伟. 典型山区生态系统服务对居民福祉影响的空间差异及动态特征——以川西山区为例. 生态学报, 2021, 41(19): 7555-7567.
- [18] 王圣云, 罗玉婷, 韩亚杰, 李晶. 中国人类福祉地区差距演变及其影响因素——基于人类发展指数(HDI)的分析. 地理科学进展, 2018, 37(8): 1150-1158.
- [19] De La Vega M C L, Urrutia A M. HDPI: a framework for pollution-sensitive human development indicators. Environment, Development and Sustainability, 2001, 3(3): 199-215.
- [20] Daly H E. Sustainable development: from concept and theory to operational principles. Population and Development Review, 1990, 16: 25-43.
- [21] 王圣云, 韩亚杰, 任慧敏, 李晶. 中国省域生态福利绩效评估及其驱动效应分解. 资源科学, 2020, 42(5): 840-855.
- [22] Dietz T, Rosa E A, York R. Environmentally efficient well-being: is there a Kuznets curve? Applied Geography, 2012, 32(1): 21-28.
- [23] 张晓玲. 可持续发展理论: 概念演变、维度与展望. 中国科学院院刊, 2018, 33(1): 9-19.
- [24] Jorgenson A K. Economic development and the carbon intensity of human well-being. Nature Climate Change, 2014, 4(3): 186-189.
- [25] Jorgenson A K, Alekseyko A, Giedraitis V. Energy consumption, human well-being and economic development in central and eastern European nations: a cautionary tale of sustainability. Energy Policy, 2014, 66: 419-427.
- [26] Jorgenson A K, Givens J. The changing effect of economic development on the consumption-based carbon intensity of well-being, 1990—2008. PLoS One, 2015, 10(5): e0123920.
- [27] Sweidan O D. Economic performance and carbon intensity of human well-being: empirical evidence from the MENA region. Journal of Environmental Planning and Management, 2018, 61(4): 699-723.
- [28] Givens J E. Urbanization, slums, and the carbon intensity of well-being: implications for sustainable development. Human Ecology Review, 2015, 22(1): 107-128.
- [29] Jorgenson A K, Dietz T, Kelly O. Inequality, poverty, and the carbon intensity of human well-being in the United States: a sex-specific analysis. Sustainability Science, 2018, 13(4): 1167-1174.
- [30] Givens J E. World Society, world polity, and the carbon intensity of well-being, 1990—2011. Sociology of Development, 2017, 3(4): 403-435.
- [31] Givens J E. Ecologically unequal exchange and the carbon intensity of well-being, 1990—2011. Environmental Sociology, 2018, 4(3): 311-324.
- [32] Li J, Luo Y, Wang S Y. Spatial effects of economic performance on the carbon intensity of human well-being: the environmental Kuznets curve in Chinese provinces. Journal of Cleaner Production, 2019, 233: 681-694.
- [33] Le Sage J P, Pace R K. Introduction to spatial econometrics. Boca Raton: CRC Press, 2009: 15-26.
- [34] Clark B, Jorgenson A K, Kentor J. Militarization and energy consumption: a test of treadmill of destruction theory in comparative perspective. International Journal of Comparative Sociology, 2010, 40(2): 23-43.
- [35] Brady D, Kaya Y, Beckfield J. Reassessing the effect of economic growth on well-being in less-developed countries, 1980—2003. Studies in Comparative International Development, 2007, 42: 1-35.
- [36] 耿志祥, 孙祁祥, 郑伟. 人口老龄化、资产价格与资本积累. 经济研究, 2016, 51(9): 29-43.
- [37] 符宁, 向梦航, 程显通. 人均预期寿命影响因素研究——基于 193 个国家相关数据的分析. 人口学刊, 2020, 42(5): 47-56.
- [38] Bressler R D. The mortality cost of carbon. Nature Communications, 2021, 12(1): 1-12.
- [39] 张友国. 碳排放视角下的区域间贸易模式: 污染避难所与要素禀赋. 中国工业经济, 2015, (8): 5-19.
- [40] Elhorst J P. Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels. Berlin: Springer, 2014: 20-24.
- [41] Alkhathlan K, Javid M. Energy consumption, carbon emissions and economic growth in Saudi Arabia: an aggregate and disaggregate analysis. Energy Policy, 2013, 62: 1525-1532.
- [42] Hornborg A, Martinez-Alier J. Ecologically unequal exchange and ecological debt. Journal of Political Ecology, 2016, 23(1): 328-333.
- [43] BP. Statistical review of World Energy. London: BP, 2016.
- [44] Shao S, Luan R R, Yang Z B, Li C Y. Does directed technological change get greener: empirical evidence from Shanghai's industrial green development transformation. Ecological Indicators, 2016, 69: 758-770.
- [45] 王圣云, 翟晨阳. 全球人类发展指数(HDI)的空间差异演化与要素分析. 经济地理, 2018, 38(7): 34-42.