

张艳婷, 黄建平, 管晓丹, 等. 全球人类活动对气候影响强度的定量评估[J]. 干旱气象, 2017, 35(2): 182-189, [ZHANG Yanting, HUANG Jianping, GUAN Xiaodan, et al. Quantitative Assessment of Global Human Activity's Influence on Climate[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(2): 182-189], DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0182

全球人类活动对气候影响强度的定量评估

张艳婷, 黄建平, 管晓丹, 郭瑞霞

(半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 人类活动对气候影响强度的定量评估是分析人类活动对于生态环境、气候变化影响的基础。然而, 由于人类活动包含的内容广泛、全球可供评价的指标数据有限、权重系数难以确定等因素, 目前尚缺乏对于全球人类活动强度定量评估的指数。本研究选取人口密度、人口增长、CO₂ 排放量、GDP 作为衡量人类活动对气候影响强度的指标, 采用客观权重法定量分析 1995—2010 年间全球人类活动强度的分布和变化趋势。结果表明, 全球大部分地区人口增长在人类活动强度指数中所占权重最大, 亚洲东部及印度、欧洲西部和北美洲东部等地区, 人类活动强度明显大于其他地区。1995—2010 年, 由于人口增加、CO₂ 加剧排放等原因, 致使全球大部分地区的人类活动强度呈现增加趋势。

关键词: 人类活动强度; 全球分布; 客观权重法; 定量评估

文章编号: 1006-7639(2017)-02-0182-08 DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-02-0182

中图分类号: X24; P461+.8

文献标识码: A

引 言

人类活动包含的内容十分广泛, 它包括人类一切可能形式的活动或行为, 个体的、群体的、社会的、经济的等^[1]。从对自然影响的视角, 人类活动可被定义为人类为满足自身的生存和发展而对自然环境所采取的各种开发、利用和保护等行为的总称^[2]。近年来, 人口的快速增长和经济、科技的飞速发展使人类活动对地球的影响越来越明显, 主要体现在温室气体排放、土地利用变化、城市化规模扩展、能源紧缺^[3], 以及诱发自然灾害等方面^[4], 可持续发展受到严重威胁^[5]。在过去的 3 个世纪, 人口增长了 10 倍, 自 20 世纪以来城市化也提高了 10 倍, 每年有 70 亿 t 的碳被排放到大气中^[4, 6]。人类活动极大地改变了大气组成和地表覆被, 从而破坏了地球的能量平衡, 引起全球气候变化^[7], 造成温度持续增加^[8], 增加了土地干旱化^[9]和荒漠化^[10-11]的风险。人类已经成为地球生态系统的主宰^[12], 其对生态环境变化的影响已超过地球的自然变率^[13]。这一问题已经引起全世界的广泛关注, 因此, 探求人类活动对全球气候和生态环境的影响机制与作用规律, 实

现对人类活动类型、方式和强度的有效调控, 维持环境与经济社会的可持续发展, 已经成为一项重要科学问题^[4]。

人类活动对气候和生态环境的影响一直是气候学、生态学和自然资源学等多学科重要的研究内容^[14], 其重点和难点是如何将人类活动强度定量化和空间化^[15]。由于生态环境的多样性和人类活动的复杂性, 还没有一种适用于全球的人类活动评估方法和指标^[4]。目前国内外的研究都集中在区域尺度上人类活动的定量评估^[16-17], 主要分为 2 种类型: 一类是以统计学方法为基础^[18-21], 其基本思路主要是利用经济社会统计数据, 将其与行政区空间位置进行配置。如文英^[18]最先对人类活动强度的定量评估进行了初步探讨, 认为人类活动强度与自然、经济、社会紧密联系, 选取相关方面的多个指标, 通过层次分析法确定指标权重, 然后采用权重加权法得出人类活动强度结果; 张翠云等^[20]针对人类活动对水循环演化的影响, 选取人口、耕地面积、水库总数等因子, 利用变异系数法确定权重, 对黑河流域人类活动强度进行定量评估。虽然统计学方法能够

收稿日期: 2016-09-22; 改回日期: 2016-12-20

基金项目: 国家基金委“半干旱气候变化”创新群体项目(41521004)资助

作者简介: 张艳婷(1990-), 女, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事人类活动和荒漠化研究. E-mail: zhangyt11@lzu.edu.cn

通讯作者: 黄建平(1962-), 男, 福建漳平人, 教授, 主要从事半干旱气候变化研究. E-mail: hjp@lzu.edu.cn

在一定程度上反映人类活动强度,却受到行政区域为单元的统计数据限制,难以揭示人类活动强度的空间分布差异^[15]。另一类是以空间数据为基础的空间模拟方法,即以地理空间自相关理论为基础,对人类活动强度进行空间模拟,如孙永光等^[15]利用遥感数据,在GIS中进行目视解译,构建人类活动强度的综合评估模型,对广西北海地区的人类活动进行定量评估,该方法能较好地揭示人类活动强度的空间分布差异,但是仅使用遥感数据而忽略经济、社会统计数据,评价结果科学性不强^[14]。郑文武等^[14]采用统计和空间分析相结合的方法,以地理信息数据、遥感数据和统计数据为基础,选取城镇/农业区块面积、生产总值、人口密度等指标,采用专家打分和层次分析相结合的方法确定指标权重,对南方红壤丘陵区的人类活动强度进行了模拟分析。

尽管前人对于定量评估人类活动强度做了很多有意义的探讨,但是大都基于主观评估方法,如专家打分、层次分析等确定权重的方法,以及目视解译方法,并且都是集中在区域尺度,缺乏能够客观反映全球尺度上人类活动的空间分布和时间演变特征的指标。而气候系统作为一个有机整体,区域性的人类活动势必会对全球的气候系统和气候变化产生重要影响,因此定量评估人类活动对气候影响强度、合理制定方针政策、调控人类生产和发展的方式与节奏不再单是一个国家和区域所面临的问题,而是一个全球问题,这就需要建立一个适用于全球的人类活动强度客观评估指标。CRITIC法(Criteria Importance Through Intercriteria Correlation)是一种以指标之间的对比强度和冲突性来综合权衡其权重的客观权重赋值方法,它在确定权重时既考虑了指标内的变异性,又考虑了各指标间的冲突性,广泛应用于多个指标的综合评估^[19-22-24]。本文尝试利用全球尺度的格点数据,采用CRITIC客观评估方法,构建一适用于全球范围的人类活动强度指数。

1 数据

1.1 人口密度

人口密度数据采用GPWv3(Gridded Population of the World, Version 3)的全球格点数据,由美国哥伦比亚大学的国际地球科学信息网络中心(CIESIN)和国际热带农业中心(CIAT)合作开发。该数据集利用全球30多万个国家及其行政区域的数据,采用按比例分配到网格的算法,将人口数据进行网格化。人口密度是每个网格内的人口数量比土地面积,单位:人·km⁻²,空间分辨率为0.5°×0.5°,提

供1990—2015年每5年1个数据集。其中2005年、2010年和2015年数据为对未来人口密度的预测数据,该数据是基于各地方人口普查的人口增长率和联合国统计资料的各国家人口增长率推测而得到。

根据人口密度数据,可计算得到人口增长 PG_i ,其公式为:

$$PG_i = PD_i - PD_{i-1} \quad (1)$$

其中*i*表示时间;PD(Population Density)表示人口密度。

1.2 CO₂

CO₂数据来自美国能源部二氧化碳信息分析中心(Carbon Dioxide Information Analysis Center, CDI-AC)。CO₂排放主要由化石燃料的燃烧、水泥制造业、油田天然气的挥发以及其它能源在生产、消耗和交换过程中所产生^[25]。根据国家和行政区域排放的CO₂,假设每个行政单位人均消耗的能源和燃料相同,结合人口分布数据将CO₂数据进行网格化处理,空间分辨率为1°×1°,时间为1751—2013年。

1.3 GDP

国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)数据来自美国哥伦比亚大学的国际地球科学信息网络中心(CIESIN)。该数据是基于IPCC排放情景特别报告(Special Report on Emissions Scenarios, SRES) B2情景下1990—2100年数据集,通过降尺度处理(网格化的方法与CO₂网格化方法类似)建立1990年、2025年全球GDP单位面积上的数据^[26-27],空间分辨率为0.25°×0.25°。其中,B2情景描述了一个重点集中于经济、社会和环境可持续发展的地方性方案,经济发展处于中等水平^[28]。通过线性插值方法,将数据插值到1995、2000、2005、2010年,并计算对应年份的人类活动强度指数。

2 指标构建方法

2.1 指标的选取

人口是人类活动的主体,自然界所受到的人类扰动与人类社会的规模和构成有关。人口数量会影响到(水土)资源、能源、粮食、环境等诸多方面,从而对自然环境产生直接压力^[29]。而人口增长则是社会政策作用于人口的结果,可以反映出一段时间内人口压力对于环境影响的改变。故选取人口密度和人口增长2个指标来反映人类活动的人文影响度。图1给出全球1995—2010年间平均人口密度和人口增长的空间分布。可以看到,全球的人口密度大值区主要分布在中国东部和印度地区(图1a);

全球大部分地区人口为增长趋势,印度地区人口增长最为明显,中国东部虽也显示出较强的人口增长,但是部分地区呈现出人口减少状态,而加拿大、俄罗斯人口普遍减少(图 1b)。

CO₂ 作为人类活动所产生的温室气体的主要成分,对全球气候变化有重要影响。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第五次评估报告表明,1880—2012 年间全球陆地和海洋表面温度平均上升 0.85 °C,而二氧化碳排放量的增加可能是其主要原因之一。CO₂ 的排放与地区的人口城市化有密切关系^[30],城市化可以带来碳排放量的增加,同时也成为控制碳排放的“钥匙”。因此,CO₂ 的排在一定程度上可反映出一个地区的经济状况和发展

水平,故选取 CO₂ 排放量作为评价人类活动强度的一个指标。图 2a 给出 1995—2010 年间全球 CO₂ 平均排放量的空间分布,发现在我国东部、日本以及美国东部和欧洲西部等经济较为发达的地区,其 CO₂ 排放量较其他地区高。

GDP 是指一个国家所有常驻单位在一定时期内生产的所有最终产品和劳务的市场价值,是衡量一个国家或地区总体经济状况的重要指标。故选取 GDP 作为评价指标来反映区域的开发程度。通过对 GDP 数据的降尺度处理,其空间分布更加精细化(图 2b)。可以看到,GDP 与 CO₂ 的空间分布类似,主要的大值区分布在亚洲东部、欧洲西部以及北美洲东部地区。

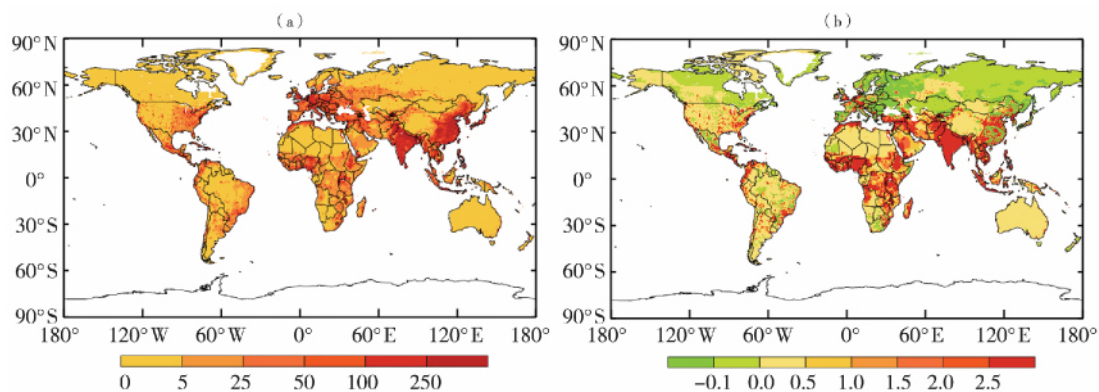


图 1 全球 1995—2010 年平均人口密度 (a) 和人口增长 (b) 的空间分布 (单位: 人 · km⁻²)

Fig. 1 The global distribution of average population density (a) and population growth (b) during 1995 - 2010 (Unit: persons · km⁻²)

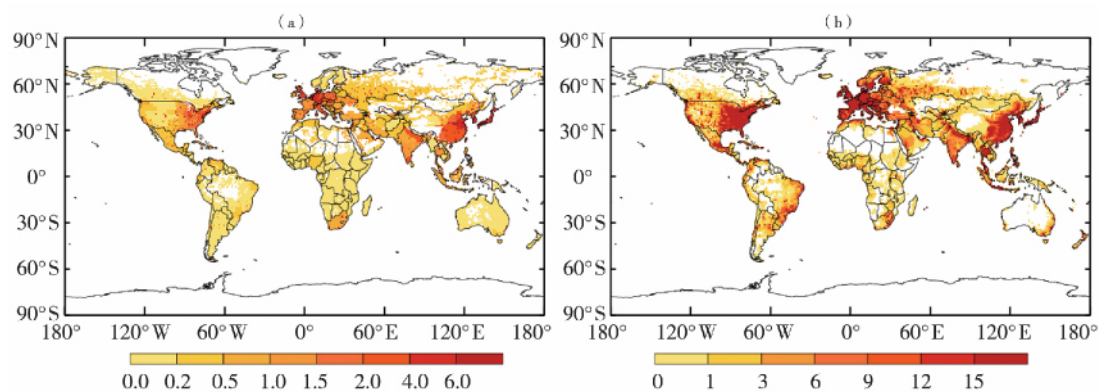


图 2 全球 1995—2010 年平均 CO₂ 排放量 (a, 单位: 10⁶ t) 和 GDP (b, 单位: 10⁶ \$) 的空间分布

Fig. 2 The global distribution of annual average CO₂ emission (a, Unit: 10⁶ t) and GDP (b, Unit: 10⁶ \$) during 1995 - 2010

2.2 指标数据的均值化处理

在利用多指标因素进行综合评价时,需要对数据进行无量纲化处理以消除计量单位的影响,从而使不同性质、不同尺度的指标具有可比性。无量纲化

处理的主要方法有“标准化”、“极差化”、“极大化”、“极小化”、“均值化”^[31]。其中,“标准化”方法最为普遍,经标准化后,指标的均值为 0,方差为 1,可以消除量纲和数量级的影响,同时也消除了各指

标变异程度上的差异,从而无法准确反映原始数据所包含的信息,导致评价结果不准确^[32]。研究表明,当指标数据为客观数据时,均值化方法是较为理想的无量纲化方法^[32-33],而本文选取的人口密度、人口增长、CO₂、GDP数据均为客观数据,故采用均值化方法对数据进行无量纲化处理,其公式如下:

$$x' = \frac{x}{\bar{x}} \quad (2)$$

其中: x 为原始指标值, \bar{x} 为指标平均值, x' 为变换后的指标值。为使构建的人类活动指数不仅在时间序列上具有可比性,且空间上也能显示其强弱分布,此处各指标的平均值为对应指标在研究时段内的全球平均值。

2.3 权重的确定

在进行人类活动强度定量评估时,最关键的是确定不同指标在评价体系中的权重。权重可分为主观权重和客观权重。主观权重方法包括经验权数法、专家调查法、相邻指标比较法、层次分析法;客观权重法包括变异系数法、熵值法、标准离差法、CRITIC法等。汪桂生等^[19]利用4种客观权重法对比分析黑河中游历史时期的人类活动强度,验证了客观权重法计算的一致性和可靠性。故本文采用客观权重法中的CRITIC法来确定权重。

CRITIC法是以指标之间的对比强度和冲突性来综合权衡其权重的客观权重赋值方法。其中,对比强度以标准差的形式来表现,标准差越大,表示不同时期样本取值差距越大;各指标间的冲突性是以指标之间的相关性为基础,若2个指标之间具有较强的正相关,表明指标之间冲突性较低,而负相关则表明冲突性强烈。第 j 个指标与其他指标冲突性的量化指标为 $\sum_{i=1}^n (1 - r_{ij})$,其中 r_{ij} 为评价指标 i 和 j 之间的相关系数。设 C_j 为第 j 个指标所包含的信息量,则 C_j 可表示为:

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^n (1 - r_{ij}) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

其中: σ_j 为无量纲化指标的标准差; C_j 越大,第 j 个评价指标所包含的信息量越大,该指标的重要性就越大。

第 j 个指标的客观权重 W_j 应表示为:

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

定义人类活动强度指数为HAI(Human Activity Index),计算公式为:

$$\begin{aligned} \text{HAI} = & W_1 \times \text{PD} + W_2 \times \text{PG} \\ & + W_3 \times \text{CO}_2 + W_4 \times \text{GDP} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, W_1, W_2, W_3, W_4 分别为每个格点PD,PG,CO₂和GDP所对应的权重系数,且相加为1。

为了将HAI中的负值去掉,将其值转化为0~1之间,且消除数据中极值对HAI归一化的影响,将HAI进行如下归一化处理:

$$x' = \begin{cases} 0 & (x < a) \\ \frac{x-a}{b-a} & (a \leq x \leq b) \\ 1 & (x > b) \end{cases} \quad (6)$$

其中: $a = \bar{x} - 2\sigma$, $b = \bar{x} + 2\sigma$,归一化处理后,HAI值在0~1之间,值越大,表示人类活动的强度越大。

3 结果分析

图3给出人口密度、人口增长、CO₂和GDP全球的权重系数分布。整体来看,在全球大部分地区,人口增长在人类活动指数中所占权重系数最大。人口密度的权重系数除了在印度、非洲中部等地区有较大权重外,其余地区的权重系数均很小(图3a)。一方面是因为人口密度的标准差较小,变异程度较小;另一方面是因为全球CO₂的排放以及GDP数据在进行格点化时都是以人口密度为依据进行处理分析得到的,使得人口密度与其他指标的相关性较高,冲突性较低,最终导致其权重系数很小。此外,由于北极极地附近(60°N—90°N)CO₂和GDP数据缺失,该地区的人类活动指数主要由人口密度和人口增长2个指标决定。CO₂主要在中国和澳大利亚等地区权重系数较大(图3c)。GDP的权重系数则在日本、蒙古以及欧洲西部和北美洲东部等地区较大(图3d)。上述分析表明,人口增长是人类活动强度指数的决定性因素,对生态环境和气候变化等有重要影响,尤其是在印度和非洲中部等人口增长比较大且经济欠发达地区,主要是通过土地利用的形式改变周围的环境和气候,使得这些地区的环境和气候对人口增长的响应更加敏感,加之人口密度本身就大,对环境压力和能源需求大,因此当地人口增加会给环境造成直接压力。在经济较发达的地区,如日本,人类活动主要以工业生产、温室气体排放等为主要形式来影响生态环境,与其人口增长关系并不十分密切,人类活动指数主要由经济因素决定。而中国东部和北美洲东部是经济比较发达且人口密度和人口增长均较大的地区,这些地区的气候变化由人文和经济因素共同决定。

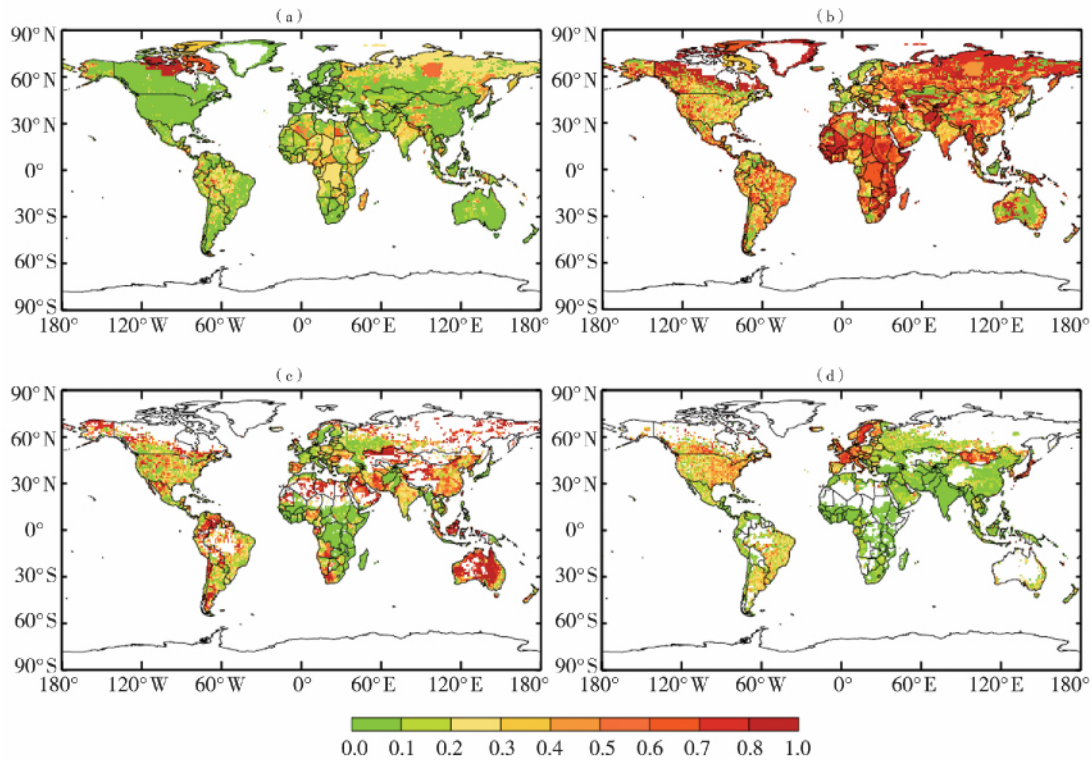


图3 全球人类活动指数中人口密度(a)、人口增长(b)、CO₂(c)、GDP(d)权重系数的空间分布

Fig. 3 The global distribution of weight coefficients of population density (a), population growth (b), CO₂(c) and GDP (d) for human activity index

图4给出1995年全球人类活动指数的空间分布以及2000年、2005年、2010年与1995年人类活动指数之差。从图4a中可以看到,全球人类活动指数的空间分布有明显差异,北半球人类活动强度整体大于南半球。其中,亚洲地区的日本、中国东部、印度以及欧洲西部、非洲中部和北美洲东部等地区的人类活动指数明显高于其它地区,且在中国的分布情况与前人的研究结果相符^[2,18,34]。可见,本文建立的人类活动强度指数具有一定的科学性和可靠性。从时间演变(图4b、图4c和图4d)来看,与1995年相比,全球大部分地区的人类活动指数都呈现出逐渐增加的趋势,尤其是在人类活动指数较大的欧洲西部、非洲中部、美国东部、印度等地区增加更为明显,仅有少数地区人类活动强度有所减小。

为了探讨人类活动指数变化的原因,图5给出人口密度、人口增长、CO₂和GDP 4个指标2010年与1995年之差。从人口密度变化(图5a)来看,除了俄罗斯、加拿大以及中国东部等地区人口密度减小外,其余地区的人口密度均增加,且印度地区的人口密度增加最为明显。就人口增长幅度(图5b)而言,2010年与1995年相比,中国和印度都明显减小。说明这些地区虽然人口数量仍是增加,但是受

政策调控等其它因素影响,人口增长的速度已放缓。除了欧洲和日本的CO₂排放减小之外,其余地区的CO₂排放都呈现增加趋势,其中亚洲东部、西南部增加最显著(图5c)。全球GDP也呈现增加趋势,尤其是美国东部、西欧、印度和中国东部及日本南部(图5d)。可见,中国东部地区人类活动指数的增加,主要由GDP的大幅度增长和CO₂排放的增加造成,而部分地区人类活动指数的减小,主要是因人口增长幅度的减小造成;中国西部地区的人类活动指数变化整体偏小,有微弱的增加,主要是人口密度的增加和人口增长速度的减小叠加作用的结果。

图6给出不同生态区和海拔高度的平均人类活动指数。其中,生态区按照不同的植被类型进行划分,数据来自MODIS的全球地表覆被类型产品(MCD12C1)。由图6a看出,城市的人类活动指数明显高于其它地区,其原因是城市人口更为集中,工业化水平更高,CO₂排放明显高于其它生态区。其次是耕地以及耕地与自然植被交错的地区,人类活动强度较大,达0.5以上。而在森林、灌木丛、湿地、冰雪等地区,人类罕至,人类活动强度较小,其中冰雪生态区的人类活动强度最弱。从人类活动指数随高度的变化(图6b)来看,人类活动强度整体上呈现

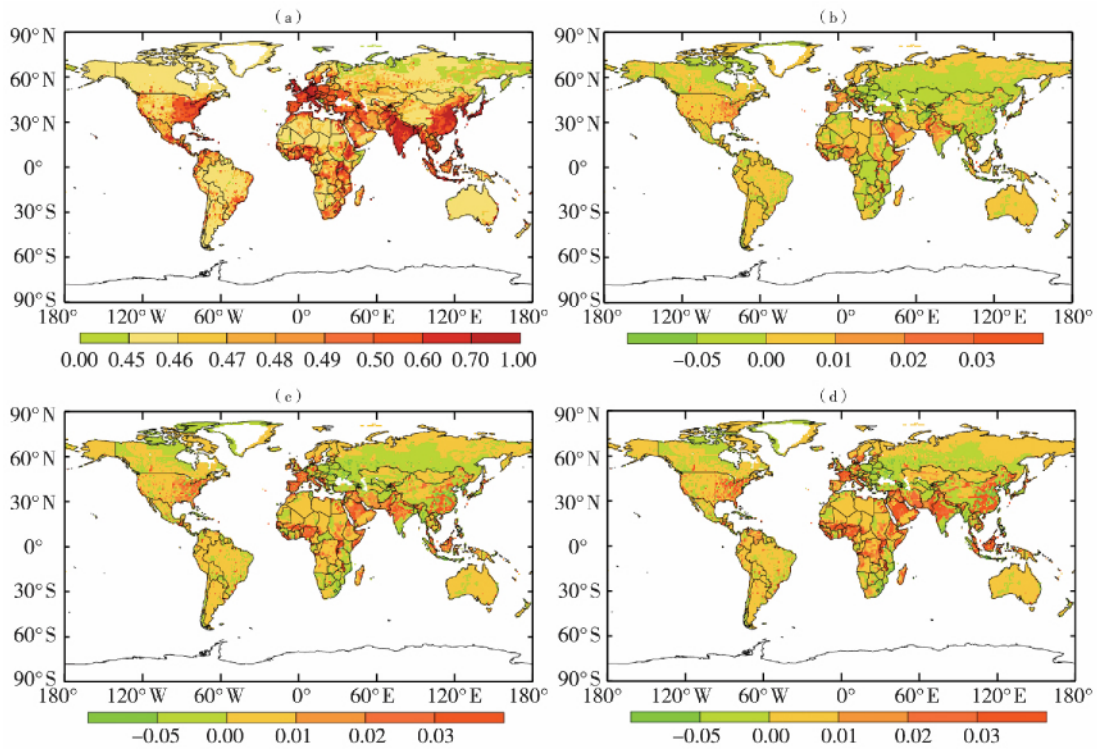


图 4 1995 年全球人类活动指数空间分布 (a) 及 2000 年 (b)、
2005 年 (c)、2010 年 (d) 与 1995 年人类活动指数之差分布

Fig. 4 The global distributions of human activity index in 1995 (a) and the difference of human activity index between 2000 and 1995 (b), 2005 and 1995 (c), 2010 and 1995 (d)

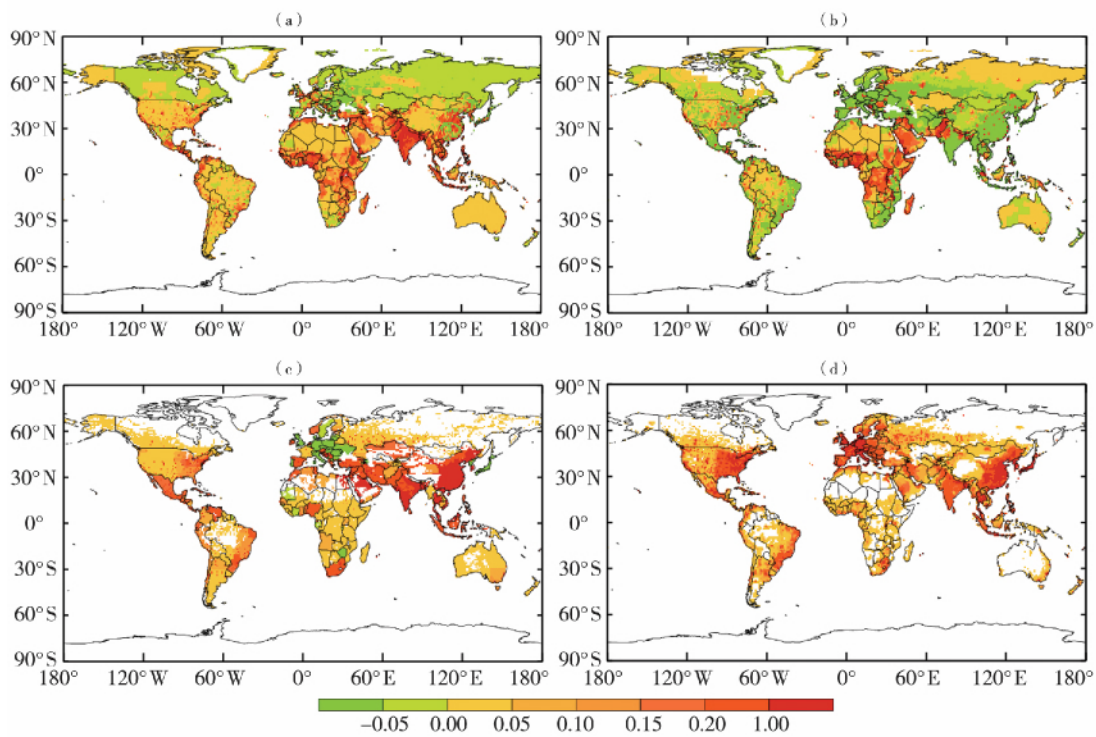


图 5 2010 年与 1995 年全球人口密度 (a)、人口增长 (b)、CO₂ (c) 和 GDP (d) 的变化

Fig. 5 The global distribution of difference of population density (a), population growth (b), CO₂ (c) and GDP (d) between 1995 and 2010

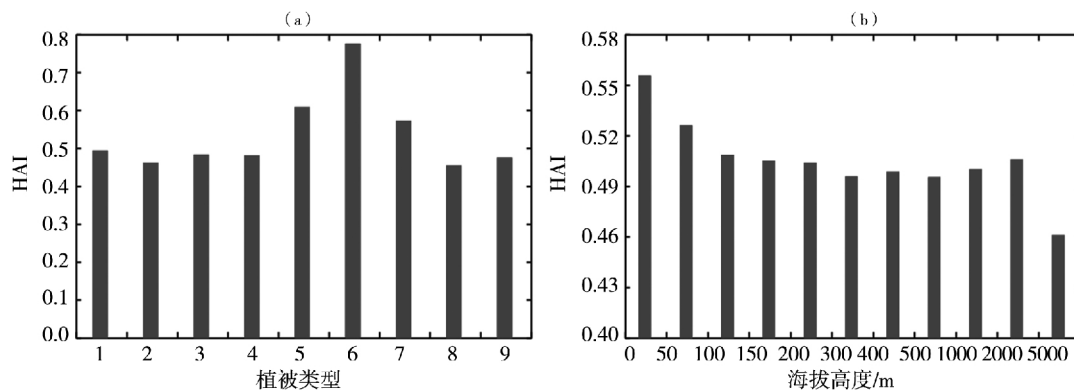


图6 不同植被类型(a)和海拔高度(b)下的平均人类活动指数

(土地类型代码: 1. 森林; 2. 灌木丛; 3. 草原; 4. 湿地; 5. 耕地;

6. 城市; 7. 耕地和自然植被交错; 8. 冰雪; 9. 荒地)

Fig. 6 Mean human activity indexes for different type of land cover (a) and altitude (b)

(Land cover types: 1. forest; 2. shrub; 3. savannas/grasslands; 4. permanent wetlands; 5. croplands; 6. urban and built-up; 7. cropland/natural vegetation mosaic; 8. snow and ice; 9. barren or sparsely vegetated)

随着高度增加而逐渐减小的趋势。大部分的人类活动都集中在海拔高度较低地区,可能原因是海拔高度较低的地区气候更为适宜,交通等条件更为便利,更适宜人类的生存和发展,人类活动强度更大。

4 结论与讨论

目前关于人类活动的定量评估虽然已经有了初步的研究成果,但是评估指标各异,且都集中在区域尺度,采用的方法也不完全客观,使得在全球范围内定量评估人类活动对气候影响的强度成为一个难题。故选取被广泛接受的与社会因素相关的人口密度、人口增长和与经济因素相关的 CO_2 排放量和GDP作为评估指标,采用CRITIC客观权重法确定各指标的权重,构建一个可以用于定量评估全球人类活动强度的指数HAI。结果表明:

(1)在经济比较发达地区, CO_2 排放量和GDP在人类活动指数中所占比重较大,而在其他大部分地区人口增长所占权重较大。相对来说,人口密度所占权重最小,这与人口密度数据自身的变异程度小,且与其它指标冲突性强有关;

(2)全球人类活动指数在中国东部、日本、印度以及欧洲西部、北美洲东部等地区较大。从时间演变特征来看,全球大部分地区1995—2010年间人类活动强度呈现增加趋势,且在人类活动强度较大的地区其增加更为明显,说明随着全球经济发展和人口压力增加等,人类活动对气候变化的影响越来越大。进一步分析表明,人类活动强度在城市和耕地地区最大,且随着海拔高度的增加而逐渐减小。

由于受全球区域数据限制,本文在构建人类活

动指数时只选取了4个主要的影响因子。为了能够更全面地定量评估全球的人类活动强度,今后应将反映人口结构(如农业人口比重、人口素质)及城镇化水平等指标引入,以期更全面客观地认识人类活动的特征和发展规律,实现对人类活动的有效调控,维持环境和经济社会的可持续发展,减小人类活动对全球气候变化的负面影响。

参考文献

- [1] 叶笃正,符淙斌,季劲钧,等. 有序人类活动与生存环境[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 453-460.
- [2] 徐勇,孙晓一,汤青. 陆地表层人类活动强度:概念、方法及应用[J]. 地理学报, 2015, 70(7): 1068-1079.
- [3] 管晓丹,程善俊,郭瑞霞,等. 干旱半干旱区土壤湿度数值模拟研究进展[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 135-141.
- [4] 魏建兵,肖笃宁,解伏菊. 人类活动对生态环境的影响评价与调控原则[J]. 地理科学进展, 2006, 25(2): 36-45.
- [5] 张强,张良,崔显成,等. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(7): 763-778.
- [6] 丁一汇,耿全震. 大气、海洋、人类活动与气候变暖[J]. 气象, 1998, 24(3): 12-17.
- [7] Shine K P, Forster P M de F. The effect of human activity on radioactive forcing of climatic change: a review of recent developments[J]. Global and Planetary Change, 1999, 20(4): 205-225.
- [8] Guan X D, Huang J P, Guo R X, et al. The role of dynamically induced variability in the recent warming trend slowdown over the Northern Hemisphere[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 12669.
- [9] Zhang Q, Han L Y, Jia J Y, et al. Management of drought risk under global warming[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016, 125(1): 187-196.
- [10] 郭瑞霞,管晓丹,张艳婷. 我国荒漠化主要研究进展[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 505-514.
- [11] Huang J P, Yu H P, Guan X D, et al. Accelerated dryland expansion

- sion under climate change [J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(2): 166–171.
- [12] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al. Human domination of earth's ecosystems [J]. *Science*, 1997, 277(5325): 494–499.
- [13] 史培军, 宋长清, 景贵飞. 加强我国土地利用/覆盖变化及其对生态环境安全影响的研究——从荷兰“全球变化开放科学会议”看人地系统动力学研究的发展趋势 [J]. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 161–168.
- [14] 郑文武, 田亚军, 邹君, 等. 南方红壤丘陵区人类活动强度的空间模拟与特征分析——以衡阳盆地为例 [J]. *地球信息科学学报*, 2010, 12(5): 628–633.
- [15] 孙永光, 赵冬至, 高阳, 等. 海岸带人类活动强度遥感定量评估方法研究——以广西北海为例 [J]. *海洋环境科学*, 2014, 33(3): 407–424.
- [16] Huang Y X, Yin X Q, Ye G F, et al. Spatio-temporal variation of landscape heterogeneity under influence of human activities in Xiamen City of China in recent decade [J]. *Chinese Geographical Science*, 2013, 23(2): 227–236.
- [17] Gao Z, Wu C. Quantitative assessment of urban human activity intensity based on GIS – A case study of the Pearl River Delta [A]. 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, 2010.
- [18] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨 [J]. *科学对社会的影响*, 1998(4): 55–60.
- [19] 汪桂生, 颜耀文, 王学强. 黑河中游历史时期人类活动强度定量评价——以明、清及民国时期为例 [J]. *中国沙漠*, 2013, 33(4): 1225–1234.
- [20] 张翠云, 王昭. 黑河流域人类活动强度的定量评价 [J]. *地球科学进展*, 2004, 19(增刊): 386–390.
- [21] 王金哲, 张光辉, 聂振龙, 等. 湟沱河流域平原区人类活动强度的定量评价 [J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(10): 41–44.
- [22] 景彩娥, 张福平. 太原市城市生态系统健康评价及其趋势预测 [J]. *水土保持通报*, 2013, 33(3): 280–286.
- [23] 叶涛. 物种多样性综合指数研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [24] 李媛媛, 王晖. 基于 CRITIC 赋权法的上市物流企业绩效动态评价 [J]. *物流工程与管理*, 2015, 37(7): 65–67.
- [25] Boden T A, Marland G, Andres R J. Global, Regional, and National Fossil – Fuel CO₂ Emissions [DB/OL]. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn, USA, 2016, doi: 10.3334/CDIAC/00001_V2016.
- [26] Yetman G, Gaffin S R, Xing X. Global 15 x 15 Minute Grids of the Downscaled GDP Based on the SRES B2 Scenario, 1990 and 2025 [DB/OL]. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), 2004.
- [27] Gaffin S R, Rosenzweig C, Xing X, et al. Downscaling and Geospatial Gridding of Socio – economic Projections from the IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES) [J]. *Global Environmental Change*, 2004, 14(2): 105–123.
- [28] 姚凤梅. 气候变化对我国粮食产量的影响评价——以水稻为例 [D]. 北京: 中国科学院研究生院(大气物理研究所), 2005.
- [29] 李香云, 王立新, 章予舒, 等. 西北干旱区土地荒漠化中人类活动作用及其指标选择 [J]. *地理科学*, 2004, 24(1): 68–75.
- [30] 王桂新, 金瑞庭, 潘则翰. 人口城市化与碳排放控制——一个分析框架的构建 [J]. *工程研究*, 2012, 4(4): 362–371.
- [31] 郭亚军. 综合评价结果的敏感性问题及其实证分析 [J]. *管理工程学报*, 1998(9): 28–35.
- [32] 张卫华, 赵铭军. 指标无量纲化方法对综合评价结果可靠性的影响及其实证分析 [J]. *统计与信息论坛*, 2005, 20(3): 33–36.
- [33] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择 [J]. *浙江统计*, 2003(4): 24–25.
- [34] 刘芳, 严敏慧, 刘纪远, 等. 21 世纪初中国土地利用强度的空间分布格局 [J]. *地理学报*, 2016, 71(7): 1130–1143.

Quantitative Assessment of Global Human Activity's Influence on Climate

ZHANG Yanting, HUANG Jianping, GUAN Xiaodan, GUO Ruixia

(Key Laboratory for Semi – Arid Climate Change of the Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The quantitative assessment of human activity's influence on climate is the foundation to analyze the impact of human activity on ecology environment and climate change. However, the human activity covers a broad range, the related data are limited and their weight coefficients are difficult to ascertain, which causes the lack of index to assess the global human activity intensity. In this paper, we attempt to build up the human activity index based on population density, population growth, emission of CO₂ and GDP (Gross Domestic Product) to evaluate the influence of human activity on climate. And on this basis the spatial distribution and temporal change of global human activity intensity during 1995–2010 were analyzed by using the objective weighting method of CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation). The results show that the weight of population growth in human activity intensity index for most regions of the global was the maximum. Human activity intensity in east of Asian, India, west of Europe, east of North America was obviously larger than that in other regions. Human activity intensity showed an increasing trend in most regions of the global during 1995–2010 due to the increase of population and CO₂ emission.

Key words: human activity intensity; global distribution; objective weighting method; quantitative assessment