

基于夜间灯光数据的中国县域发展活力 与均衡性动态研究

刘泠岑¹, 孙中孝¹, 吴 锋², 李玉恒³, 张 倩¹

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所
中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所
中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: 消除不平等、实现均衡发展是联合国可持续发展目标之一。客观准确地衡量区域发展均衡性是实现共同富裕亟待解决的首要科学问题。夜间灯光遥感数据已被证实是社会经济发展的良好代理变量, 且因其方便获取、空间覆盖率高等优势被广泛应用。本文利用夜间灯光数据和空间化人口数据构造的灯光基尼系数作为发展均衡性的评估指标, 测算并分析了2002—2020年中国2900个区县的发展均衡性及其与以平均灯光强度表征的区域发展活力间的关系, 探讨了夜间灯光基尼系数的内涵及其在发展均衡性上的应用价值。结果表明, 2002—2020年间中国96%的区县灯光基尼系数不断减小, 即灯光—人口的分布趋于均衡, 且在空间上总体呈现东部较西部更均衡的特点。同时, 经济相对发达县域的均衡性差异较大, 但多呈现经济与均衡性协同增长的发展路径; 而超过60%的经济欠发达县域的均衡性有较大提升空间。研究结果可为实现区域均衡发展、推动共同富裕提供新的研究视角与科学支撑。

关键词: 基尼系数; 均衡性; 夜间灯光数据; 时空动态特征; 中国县域

DOI: 10.11821/dlxb202304003

1 引言

区域间发展不均衡是国家安全、社会稳定、人民福祉以及经济可持续发展的巨大威胁^[1-2]。促进区域均衡发展, 减少区域发展差距已成为全球发展的共识^[3]。全球可持续发展目标将减少国家内部和国家之间的不平等^[4]作为核心目标之一, 中国“十四五”规划^[5]、乡村振兴战略规划^[6]等战略中也将均衡发展作为主要目标。科学准确地测度与分析区域发展均衡性是助力缓解与消除不平等、合理制定缩小区域差距相关政策亟待解决的关键问题。

基尼系数目前已成为全球通用的衡量居民收入均衡程度的指标, 被世界银行等国际组织广泛使用^[7]。目前全球各国普遍使用的基尼系数需要GDP、人均收入和消费能力等若干关键经济指标进行计算^[8-10]。然而这类数据大多是基于传统的统计手段获得, 存在滞后性强、获取成本高和易受人为因素影响等诸多问题^[11]。鉴于此, 近年来涌现出一系列基于DMSP-OLS、NPP-VIIRS等夜间灯光遥感数据分析社会经济发展^[12]、城市活力^[13]、

收稿日期: 2022-02-26; 修订日期: 2022-10-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(71774151, 42171208) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.71774151, No.42171208]

作者简介: 刘泠岑(1998-), 女, 山西太原人, 博士生, 研究方向为农业资源利用与区域可持续发展。

E-mail: liulingcen@cau.edu.cn

通讯作者: 张倩(1981-), 女, 山东兖州人, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业资源环境政策与管理。

E-mail: qian.zhang@cau.edu.cn

能源消耗^[14]、人类消费行为变化^[15]的研究。夜间灯光数据具有获取成本低、更新周期有保障、时间序列长、有效避免行政区边界变更和人为因素干扰等优点^[16]，同时被大量研究证实可在某种程度上作为传统经济指标的替代数据^[17-18]。

Elvidge等创新性地提出使用夜间灯光遥感数据代替收入数据计算基尼系数，即夜间灯光基尼系数，又叫做空间基尼系数或基于夜间灯光的发展指数^[19]。夜间灯光数据是区域经济水平和公共服务的良好代理，因此灯光基尼系数可表示公众在享有区域财富和公共服务等方面的均衡情况，可用于空间显性地衡量全球的发展均衡性^[19]。此后，国内外学者将该指标进一步拓展，应用于不同空间尺度的研究中。全球及区域尺度上，该指标应用于考察全球经济不平等的空间分异规律^[20]、评估非洲国家的经济不平等^[21]；同时对灯光基尼系数是否可反映全球发展不平等进行了验证^[22]；也用于判别撒哈拉以南地区电气化计划的有效性^[23]。国家及次级尺度上，灯光基尼系数在罗马尼亚的应用证明了该指标在衡量区域不平等上的有效性^[24]；在意大利的研究证实了灯光基尼系数可作为居民点分散或紧凑空间分布的代理变量^[25]。国内学者将该指标作为一种简便、快捷、实用的方法，衡量中国各民族经济福祉的差异^[26]、测算新疆维吾尔自治区的发展均衡性^[27]、评估不同时期青藏高原地区的人类发展水平^[28]；同时深入挖掘该指数内涵，证明了其与公共服务水平不平等程度密切相关^[29]；证实了该指标在估算区域经济社会不平等研究中具有较高应用潜力^[30]。但目前研究中，缺乏针对中国全域、长时间序列的灯光基尼系数的测算，同时相关文献大多忽略了在判断区域发展路径中，发展活力也是重要维度之一，只对灯光基尼系数进行单维度分析，限制了结果的丰富涵义和可借鉴性。

新时代中国县域的高质量发展是实现区域城乡协调发展的重要引擎^[31]。2022年颁布的《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》强调以县城为单元，推进产业、生态、公共服务等布局^[32]。因而，本文聚焦于中国县域的均衡性测度，应用夜间灯光基尼系数分析2002—2020年中国县域均衡性的时间动态和空间分布特征，并探讨以平均灯光强度代表的县域发展活力与以灯光基尼系数表征的发展均衡性双重维度下的发展轨迹，以期为全面推动均衡、可持续的区域发展格局提供定量化的参考建议。

2 数据来源及研究方法

2.1 研究区及数据来源

本文以中国2900个县域为测算单元。同时考虑到2020年全面脱贫后，原贫困地区的县域经济基础与发达县域经济水平仍有一定的差距，因此，依据全国各县是否曾为贫困县，将2900个评价单元区分为832个相对经济欠发达地区和2068个相对经济发达地区分别进行探讨。

目前普遍使用的夜间灯光遥感数据有DMSP-OLS及NPP-VIIRS两套。1992—2013年的DMSP-OLS夜间灯光数据由美国国家海洋和大气管理局发布，是美国国防气象卫星计划DMSP搭载的线性扫描业务系统OLS生成的年度夜间灯光数据，具有较高的研究价值，但该数据存在亮度“过饱和”、缺乏在轨辐射定标、高亮度值区域灯光溢出等问题。为了弥补DMSP-OLS灯光数据集的相关问题，2012年美国国家极轨业务环境卫星系统NPP搭载的可见光红外成像辐射仪VIIRS提供了新一代高质量夜间灯光数据。NPP-VIIRS与DMSP-OLS数据相比，在空间、时间分辨率等方面得到了提升，进一步扩展了夜间灯光遥感的应用领域^[16]。然而，两类灯光数据因传感器差异，同一时空位置的灯光像元值相差较大，无法直接衔接^[33]。本文使用的灯光数据为利用基于自编码器模型的跨传感器

校正方案进行修正的2002—2020年类NPP-VIIRS年度合成数据集^[34], 经数据生产者对全球15万个随机像元点和4万个城市区域的验证表明, 该套数据具有较高的衔接质量以支撑长时间序列的拓展应用。本研究在数据使用前也进行了校正后类NPP-VIIRS影像和NPP-VIIRS影像的亮值像元总数量、灯光亮度值总和的一致性验证, 两者衔接较为准确。

本文计算灯光基尼系数所用的人口数据集是2002—2020年美国橡树岭国家实验室的全球人口空间化数据 (<https://landscan.ornl.gov/>)。此数据将地理信息系统与遥感相结合, 综合利用了人口普查数据、行政区划资料、土地覆被数据, 以及相关的高程、坡度、海岸线等高分辨率遥感影像^[35-36]。由于该数据集在生产过程中并未使用夜间灯光数据作为直接数据来源, 因而可作为计算全国县域灯光基尼系数的输入数据。

2.2 研究方法

基尼系数一般通过评估家庭或个人收入分配偏离完全平均分配的程度来表征居民收入的不均衡。基尼系数是一个比例数值, 其值在0至1之间, 基尼系数数值为0表示完全均等, 数值为1表示完全不均等, 越接近0表明收入分配越均等, 越接近1表明收入分配越不均等。

基于夜间灯光数据的基尼系数与居民收入基尼系数计算原理相似, 将夜间灯光强度代替居民收入, 以考察夜间灯光明暗与人口密度的匹配程度。将具有相同投影坐标和空间分辨率的夜间灯光数据与人口数据集作为输入数据, 生成涵盖所有人口和灯光强度栅格单元的列表。其中, 将该区域内各栅格的灯光亮度值从小到大排序, 并对应得到同一灯光亮度值的栅格上的人口总和。由以上两组数据分别计算区域内累计灯光百分比和累计人口百分比, 从而绘制洛伦兹曲线(图1)。对角线 S_0 为绝对均衡线, S_1 为洛伦兹曲线, 该曲线与 S_0 围成的面积为 A , S_1 右下方的面积为 B , 灯光基尼系数则可表示为 $\frac{A}{A+B}$ 。

洛伦兹曲线 S_1 向 S_2 移动过程中, 曲线更加远离绝对均衡线, 使得 A 区域的面积增大, 灯光基尼系数也由0趋于1, 意味着夜间灯光与人口分布的不均衡现象逐渐加剧。灯光基尼系数为0时, 洛伦兹曲线与绝对均衡线重合, 即 A 区域面积为0, 表示该区域人口与灯光强度值的分配完全均等。反之, 灯光基尼系数为1时, 洛伦兹曲线离绝对均衡线最远, 此时人口分布与灯光亮度区域完全分离, 夜间灯光与人口分布极不均等。

除灯光基尼系数外, 本文引入了区县平均灯光值(像元灯光亮度值总和与灯光非零区域面积的比值)作为县域发展活力的表征指标, 探讨了全国区县的发展活力与均衡性两个维度之间的关系, 而这一双维度下的县域分析尚未见研究报道。同时, 以2020年全国区县平均灯光值和灯光基尼系数的中位数作为高低分类的临界值, 识别出经济相对欠发达地区和经济发达地区县域发展活力与灯光基尼系数之间4种不同的高低组合关系, 这使得组合关系相似的县域可相互借鉴发展经验与提升路径, 从而在实践应用层面上为实现县域全面高质量发展提供参考。

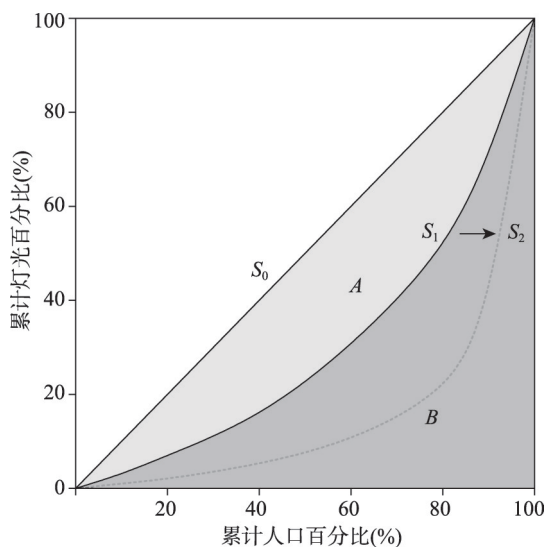


图1 灯光基尼系数原理图

Fig. 1 Principle of the Gini coefficient based on nighttime lights

3 结果分析

3.1 中国县域平均灯光值与灯光基尼系数时空特征

2002—2020年间中国各区县的灯光基尼系数均值从2002年的0.82逐步下降至2020年的0.60, 县域发展均衡性逐渐提升, 而各区县的平均灯光值均值整体趋势上无明显变化(图2a)。从平均灯光值分布直方图(图2c)上看, 灯光亮度值在0~5之间的县域数量明显下降, 说明贫困程度较高的县域脱贫有一定成效, 而这些县域平均灯光值大部分提升至5~20的区间内, 因而对全国整体的县域平均灯光均值的影响不大。灯光基尼系数的直方图(图2b)显示, 在0.1~0.7区间内的县域个数分布较为平稳, 在0.9~1.0区间内的县域数量最多, 说明仍有相当数量的县域虽然已经脱贫, 但在县域内发展均衡性方面依然有较大提升潜力。2005年有74%的区县灯光基尼系数值分布在0.7~1.0的范围内, 说明2005年县域内夜间灯光和人口密度分布较不平衡, 发展均衡性较差。然而, 近年来灯光基尼系数高值的区县数量明显减少, 而灯光基尼系数低于0.3的区县个数在稳步增加, 其中0~0.1区间的县域数量从2005年的92个增长至2020年的228个, 足以说明县域不断向趋于均衡方向发展。

测算结果还表明, 中国县域均衡性时空差异较大。时间上, 各区县基尼系数整体下降明显, 这说明人口分布与灯光亮度的空间匹配程度明显提升, 县域尺度发展趋于均

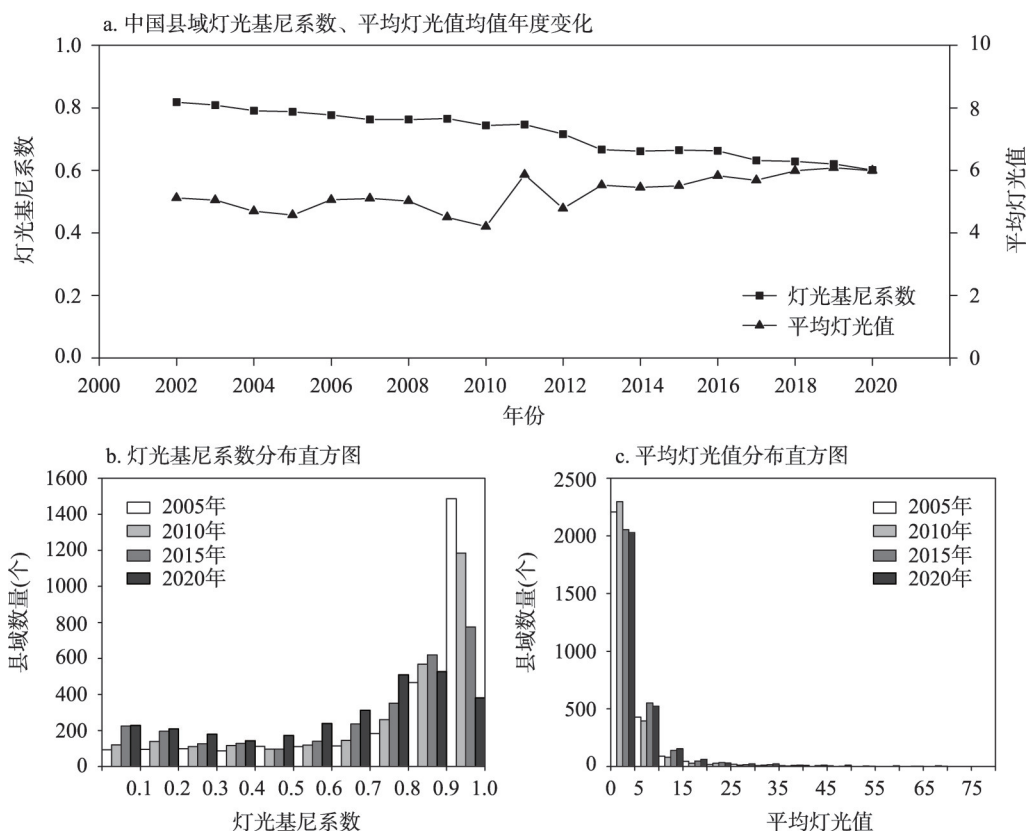
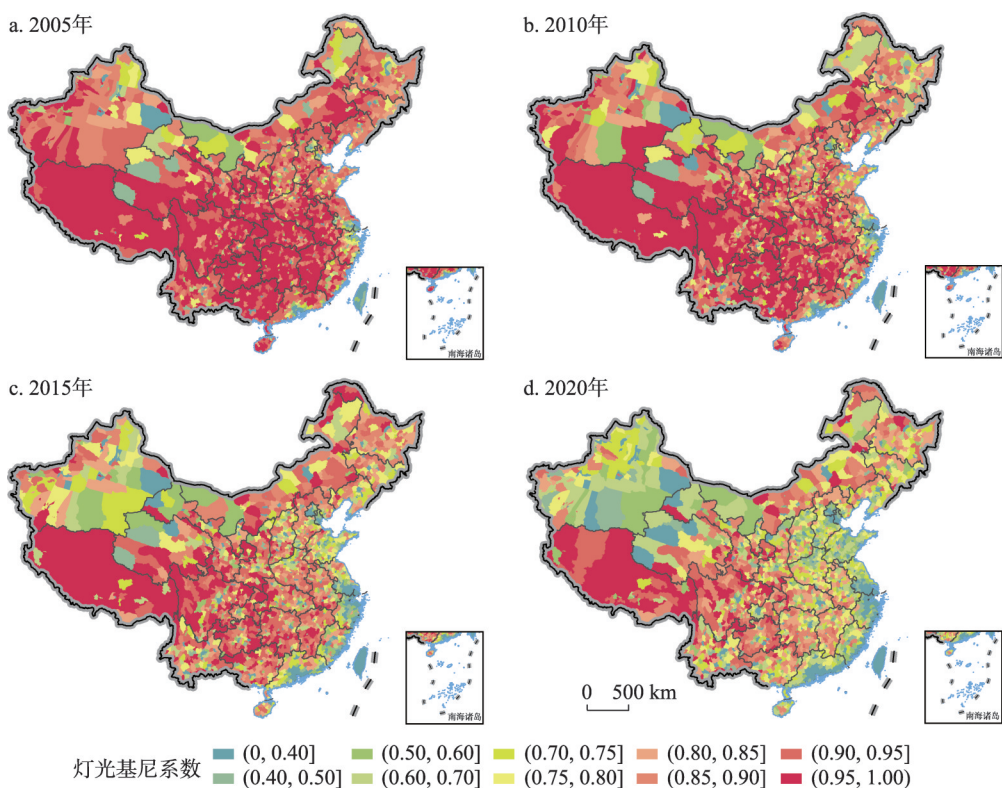


图2 中国县域灯光基尼系数与平均灯光值统计信息

Fig. 2 Statistics of the Gini coefficient based on nighttime lights and the average digital number of nighttime lights of Chinese counties

衡。2002—2020年间中国96%的区县灯光基尼系数均有不同程度的降低,近30%的区县灯光基尼系数下降幅度超过0.3,这与近年来随着中国经济的迅速发展、人口流动加快、道路等基础设施覆盖区域增加,使得区域发展活力与人口分布在空间上更加匹配的关系密切。特别是在东部沿海地区 and 新疆等地变化幅度更为明显^[37]。空间上,中国县域灯光基尼系数总体呈现东低西高的特征,各区县间均衡性水平差异显著(图3)。东部和华南沿海地区数值普遍较低,其次为新疆、内蒙古等西北地区,东北、华北的灯光基尼系数居中,而中部偏南和西南地区的灯光基尼系数最高。灯光基尼系数的空间分布整体特征与中国经济发展地理分布规律有一定相似之处^[38]。



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1594号标准地图制作,底图边界无修改,下文同。

图3 2005—2020年中国各区县灯光基尼系数

Fig. 3 The Gini coefficient based on nighttime lights of Chinese counties, 2005-2020

从南北方、东中西部的统计与对比分析来看(图4),东部平均灯光值一直明显高于中西部地区,突显了中国东部地区在经济迅猛发展中积累的较大经济优势。但随着西部大开发国家战略实施、产业转移和结构升级、脱贫攻坚力度增强,激发了中西部地区的区域发展活力,东部与中西部平均灯光值的差值从2005年的2.36降至2020年的0.96,表明发展活力的差距不断缩小。反观南北方,2002—2012年期间多数年份北方平均灯光值高于南方,而2013年至今南方平均灯光值则稳定高于北方,南北方区域发展活力的差距发生逆转式变化,且在不断拉大^[39]。这种反差与北方地区近年来面临东北经济衰退与人才流失严重等问题,而南方各省因科技创新、对外开放活跃,资本积累速度加快等多种原因有关。

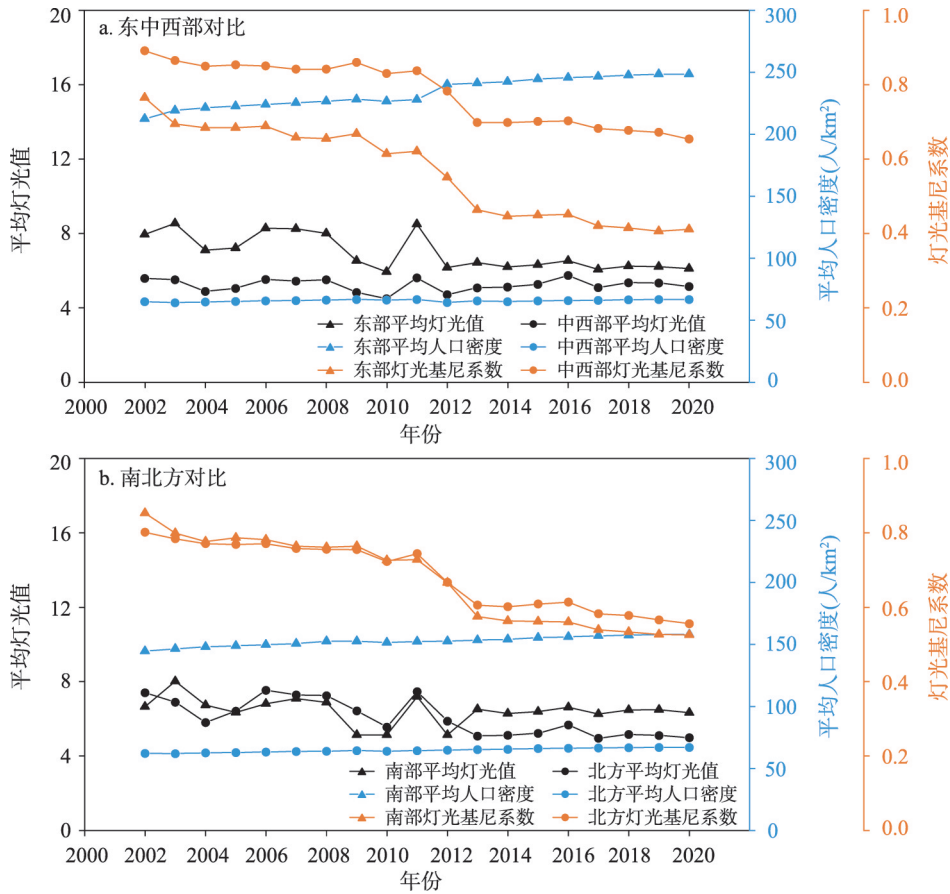


图4 2002—2020年中国分区域平均灯光值、人口密度及灯光基尼系数统计

Fig. 4 Statistics of the Gini coefficient based on nighttime lights, the average digital number of nighttime lights, and population density of Chinese regions, 2002-2020

在发展均衡性方面,不管是南北方还是东中西部,中国各区域的灯光基尼系数在2002—2020年间均显著降低,说明区域发展活力与人口分布愈加匹配、发展愈加均衡成为中国县域发展的普遍特征。其中,东部的均衡性一直优于中西部,但中西部的均衡性也明显提升。从两者的差异来看,东部与中西部灯光基尼系数的差值从0.13逐步提升至0.24,说明中西部的均衡性提升幅度较东部小。同时东部人口密度的增幅也明显高于中西部。东部长期积累的经济基础,较为完善的公共服务和基础设施配备,长三角、珠三角、京津冀三大城市群的辐射带动和人口吸引能力等使其灯光强度与人口分布更加协调,因而表现为灯光基尼系数更为快速地减小。南方的灯光基尼系数从2002年高于北方(+0.05),到2003—2012年之间的相差无几,直至2013年后的普遍低于北方(-0.04)的演变过程,显示出南方地区更为均衡的发展趋势。通过南方平均灯光值和人口密度折线均有提升可知,南方地区是经济增长与人口流入导致的人口在灯光亮度高值区域的集聚形成的发展均衡性向好。而北方的人口密度变化不大,但是基尼系数在稳步下降,究其原因,推测为北方地区内部通过人口的动态流动(如人口向城市区域的聚集),使得夜间灯光与人口的空间分布更加匹配而导致发展均衡性指标逐步向好。这一点由相关统计年鉴中北方各省城镇人口比重均值从2011年的54%提升至2020年的65%也可以得到佐证。值得一提的是,通过对比县域的分析结果与区域的统计结果,进一步印证了灯光基尼系

数具有一定的尺度依赖特征^[30], 即区域上的明显特征无法通过县级尺度数据的变化规律直观地归纳表达, 这也说明不同尺度的分析需相互辅助, 以更加全面地诠释中国区域发展活力与均衡性的时空特征。

3.2 中国县域灯光基尼系数的空间集聚特征

本文采用2020年中国各区县平均灯光值和灯光基尼系数数据, 利用全局Moran's I 指数和局部 G 统计量 G_i , 判断平均灯光值和灯光基尼系数结果的空间自相关性、局部集聚及依赖性特征^[40]。其中平均灯光值和灯光基尼系数的全局莫兰指数分别为0.129和0.215, 两者均通过了显著性检验, 说明平均灯光值和灯光基尼系数均表现出较好的空间集聚性。

灯光基尼系数局部 G 统计图中, G_i 值显著为正, 表示灯光基尼系数高的区县趋于集聚(热点地区), 主要集中在中国西南部和中部偏南地区, 及部分东北地区, 包括滇西边山区、乌蒙山区、滇桂黔石漠化区等多个曾经的连片特困地区, 这些县域及其周边区域均显示出了较高的不均衡性(图5a)。 G_i 值显著为负, 表示灯光基尼系数低的区县亦趋于集聚(冷点地区), 主要集中在东部和南部沿海经济发展较快的地区, 以及新疆的部分地区。热点区和冷点区显示出县域均衡性的高度空间依赖, 也致使在中部地区形成了一条无显著空间依赖性的“过渡带”。这也与该地区高山纵横, 河流众多, 地质地貌原因关联性很大, 因为这些自然因素削弱了相邻区县之间的空间相关性, 呈现出各区县灯光基尼系数波动较大, 因而未出现显著的空间依赖性。

与灯光基尼系数局部 G 统计图相比, 平均灯光值局部 G 统计图的热点地区和冷点地区分布较分散。热点区域主要分布在长江三角洲、珠江三角洲、京津及辽宁地区; 而冷点区域主要分布在中部地区。其中, 在川渝城市群、关中平原城市群及武汉城市圈地区因其区域发展活力相对较高, 未被包括进冷点区域, 形成三个被冷点区域包围的圆形区域。需要注意的是, 本文平均灯光值数据计算范围为有灯光亮度的地区, 而西藏、云南、青海等地有较大面积灯光值均为0, 因而未被包括在计算范围内, 故未在西部地区出现明显的冷点区域, 平均灯光值局部 G 统计图中不显著地区占比较大(图5b)。对比可以发现, 灯光基尼系数较低(发展较均衡)的地区, 既包括东南部沿海地区等平均灯光值较高、发展活力强的集聚区, 也有平均灯光值较低、发展活力弱的区域, 例如曾经的环京津贫困带, 这也体现了发展活力与均衡性之间并非一一对应的关系。

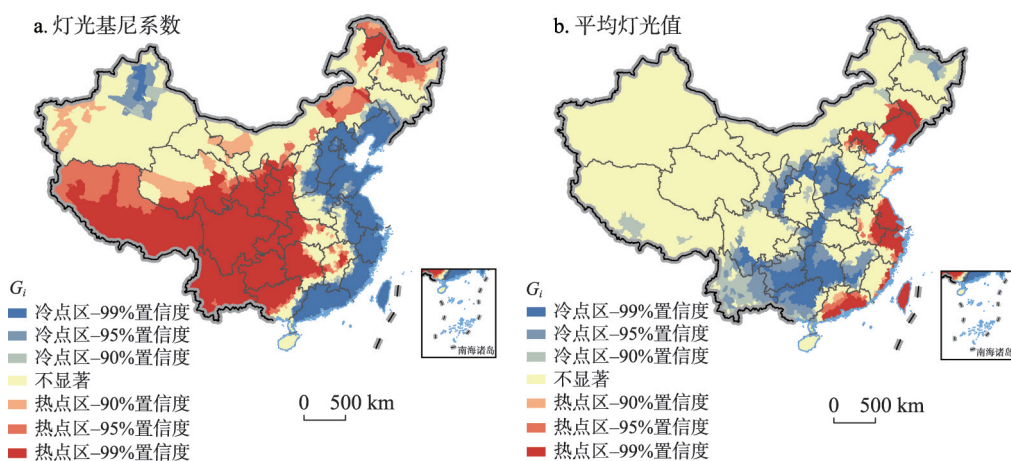


图5 2020年中国县域灯光基尼系数和平均灯光值热点区域图

Fig. 5 Hot spot maps of the Gini coefficient based on nighttime lights and the average digital number of nighttime lights of Chinese counties in 2020

3.3 经济发达/欠发达地区灯光基尼系数对比

将中国各区县分为经济发达和相对欠发达地区,对灯光基尼系数进一步分区统计分析。经济欠发达地区县域的灯光基尼系数普遍较高,其中2005年灯光基尼系数集中分布于0.85~1.0的区间,2020年均衡性则有所提升,灯光基尼系数分布于0.54~1.0的区间。而发达地区县域的灯光基尼系数在0~1.0区间内分布较均匀,没有明显规律(图6)。对比4个年份的灯光基尼系数箱线图可知,经济发达和欠发达地区的灯光基尼系数均在稳步下降,均衡性逐渐提升。经济发达地区2005年的县域灯光基尼系数平均值为0.72,2020年的平均值减少为0.56,灯光基尼系数降低了0.16(22%)。而经济欠发达地区县域的灯光基尼系数平均值也从2005年的0.98下降至2020年的0.86,降幅为0.12(12%)。这说明随着经济社会的全面发展以及国家近年来大力推行的精准扶贫战略,不同发展水平的区县均衡性均有所提升,但经济发达地区县域因其经济基础较好、基础设施完备、发展经验成熟,其均衡变化提升程度略高于欠发达地区县域。

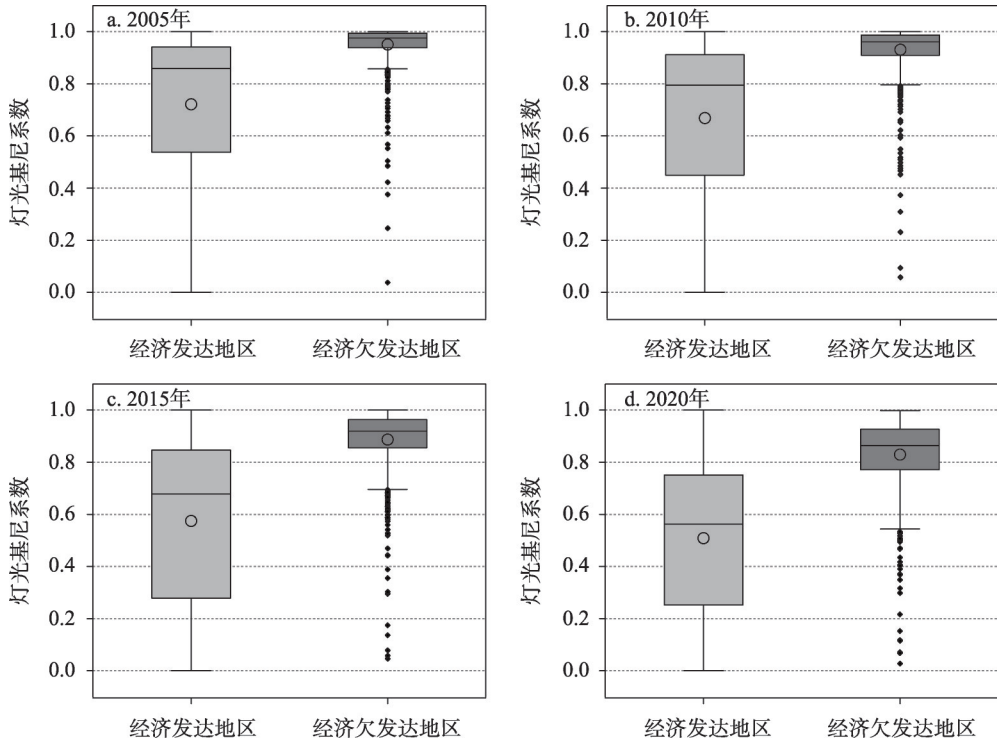


图6 2005—2020年中国经济发达/欠发达地区灯光基尼系数箱线图

Fig. 6 Boxplots of the Gini coefficient based on nighttime lights in China's economically developed/underdeveloped regions

平均灯光值—灯光基尼系数的散点图(图7)显示,经济欠发达地区的县域多集中在灯光基尼系数高于0.5而平均灯光值小于5的范围内,即处于灯光基尼系数相对较高且平均灯光值低的区域,说明这些县域发展活力较低,且人口在灯光中的分布较不均衡,两个维度上的不足成为经济欠发达地区的一个典型特征。散点图中另一明显特点是灯光基尼系数大于0.5而平均灯光值大于10的范围几乎没有点分布,这说明平均灯光值相对较高的区县较少出现发展不均衡的现象。同时,平均灯光值大于10的区县大部分灯光基尼系数小于0.2,说明发展活力相对较高的区县,其发展均衡性同样较好。根据相关学者对灯光基尼系数的探索,夜间灯光遥感数据可反映地区电力设备等基础设施、公共服

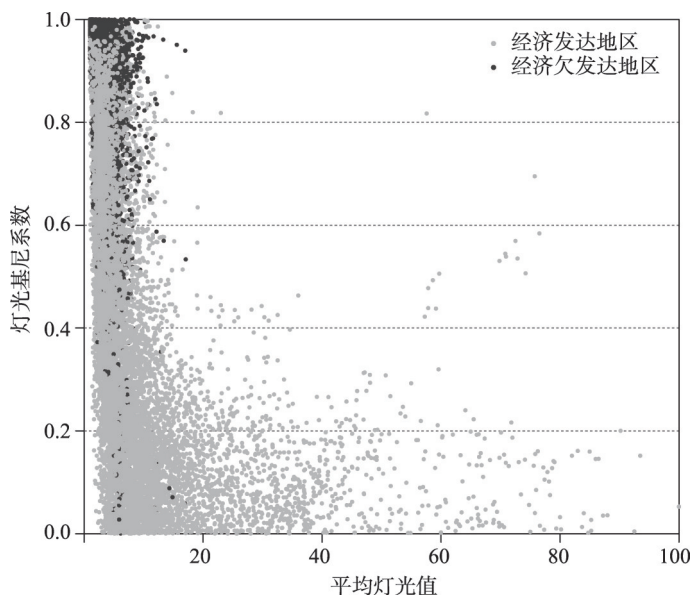


图7 2012—2020年中国经济发达/欠发达地区灯光基尼系数—平均灯光值散点图

Fig. 7 Scatter plot of the Gini coefficient based on nighttime lights and the average digital number of nightlights for China's economically developed/underdeveloped regions, 2012-2020

务、商业和工业区的运行情况^[23, 29]，与此对应，经济发达区域中，经济活跃地区和人口聚集区空间上较为匹配，公共服务基础设施配备更加完善，呈现发展较均衡的态势。然而，从原理上说，灯光基尼系数低（发展较均衡）可能是发展活力高、人口密度也大的均衡，也可能是二者均低的均衡，这也可以解释为何不是所有灯光基尼系数低的区县都处于较高的灯光值。同时，夜间灯光基尼系数与反映人类福祉和综合发展情况的指标（人类发展指数、贫困率等）有较高的相关性^[19]，本文中经济发达与欠发达县域的灯光基尼系数结果也与这一研究结果相一致。

3.4 中国县域灯光强度—基尼系数关系

在经济相对欠发达地区，2020年中国有556个县为低夜间灯光活力—高灯光基尼系数模式（图8），即区域发展活力和均衡性均有待提升的区域，占贫困县的67%，广泛分布于西藏、青海等地；有近20%的县属于高夜间灯光活力—高灯光基尼系数模式，即通过脱贫经济已实现了较好的发展，但在发展中仍要关注均衡性的提升，主要分布在云贵川地区，如四川省的甘孜县和稻城县。值得关注的是，在经济相对欠发达地区中，高基尼系数的县域数量超过700个，这说明中国经济欠发达地区同时也多为发展不均衡区域，县域内的人口分布与经济活动旺盛、基础设施配备相对完善的区域不相匹配，有一定程度的资源错配或经济活动带动发展不充分的问题。

与经济相对欠发达地区的主要类型不同，经济发达地区以高夜间灯光活力—低灯光基尼系数的发展模式为主（图8），该类型县域所占比例超过40%，主要集中于东部沿海地区及部分西北地区，典型代表为北京、上海市的城区。高夜间灯光活力—高灯光基尼系数模式占比8%，在四川及中国中南部出现频率较高，这部分区域经济发展强劲，但人口分布与灯光强度的分布存在某种程度的不匹配，部分与这些区域的山区地形阻碍导致无法适宜大面积聚居有一定关系。经济发达地区中的低夜间灯光活力的县域，低基尼系数和高基尼系数的县域数量相近，发展较为均衡的主要分布在山东、新疆等地，均衡性

较差的主要分布内蒙古和部分中部区域(图8)。本文基于夜间灯光数据探索发现的县域发展与空间均衡间关系的研究结果与从空间政治经济学视角下探讨中国发展与平衡的研究结论不谋而合^[35],但更多对发展模式的空间分布特征进行了诠释。将中国县域进行发展活力与均衡性双维度下的类型区分有利于巩固脱贫成效,诊断县域发展方向,找寻实现共同富裕的有效路径。

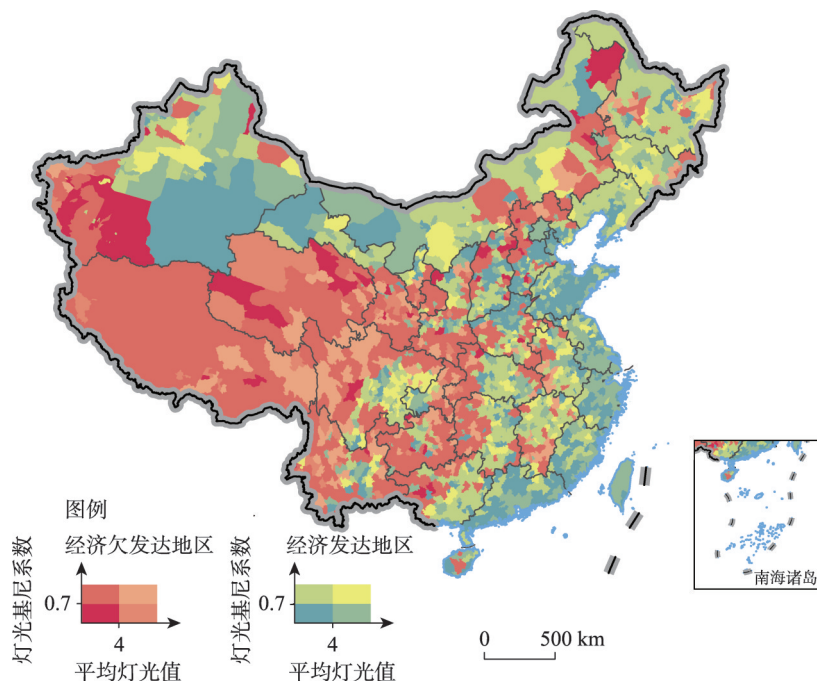


图8 2020年中国经济发达/欠发达地区灯光基尼系数与平均灯光值分布关系

Fig. 8 Typology map of the Gini coefficients based on nighttime lights and the average digital number of nightlights for China's economically developed/underdeveloped regions in 2020

4 结论与讨论

4.1 结论

本文利用基于夜间灯光的基尼系数测算并分析了2002—2020年中国县域发展均衡性的时空动态特征,并探究了县域尺度上以灯光强度表征的区域发展水平和以灯光基尼系数表征的均衡性之间的关系,为缓解中国县域发展不均衡提供了量化的决策信息。研究结果显示,时间动态上,2002—2020年中国有96%的区县灯光基尼系数呈下降趋势,表明这些县域的发展趋向均衡,其中东部沿海地区 and 新疆等地变化幅度明显。空间分布上,中国县域发展均衡性总体呈现东高西低的特征,且呈现出较强的空间集聚性,东部沿海县域的发展均衡性较好,中部及西南部县域的发展均衡性普遍较差。分区统计上,南北方发展活力差距正在逐步取代东西差距,而东西部的发展均衡性差异比南北方更加明显。研究结果还表明,中国经济发达县域的灯光基尼系数分布较分散,欠发达县域的灯光基尼系数普遍位于高值区间,直至2020年仍集中在0.54以上,说明均衡性仍需大幅提升。区域发展活力和均衡性两个维度来看,超过40%的经济发达县域表现为经济与均衡性协同增长的发展趋势,而65%的相对经济欠发达县域表现为发展活力和均衡性均处于较低的水平。这说明欠发达县域在发展社会经济的同时,也要注意发展的均衡性。

利用灯光基尼系数测度区域发展均衡性具有一定的理论探讨和应用价值。一方面, 灯光基尼系数提供了测度区域均衡的新视角, 不同于对收入、GDP等常规指标的考量, 灯光基尼系数除了能表征区域的经济水平之外, 同时更加突出了公众对基础设施、公共服务、社会共有财富享有上的均衡, 丰富了基尼系数的内涵, 拓展了其在共同富裕路径探索方面的应用。另一方面, 灯光基尼系数所使用的数据均为遥感数据, 具有更新速度快、获取便捷、客观性强、空间分辨率高、不受行政边界限制等突出优势, 可高效地测度和动态反映区域发展的均衡水平, 并可推广应用至不同地理区域和空间尺度, 尤其是因发展落后而无法提供相关统计数据的国家或地区。

4.2 讨论

构造灯光基尼系数的夜间灯光遥感数据和空间化人口数据均为公里格网数据, 不受行政边界和传统统计数据的限制。因此, 灯光基尼系数具有反映不同尺度区域的发展均衡性的优势, 具有较高的应用前景。然而根据基尼系数的计算原理, 相等的灯光基尼系数也可能存在不同的洛伦兹曲线形态, 即两区域的总灯光基尼系数相同, 但是区域中相同灯光强度地区的均衡性却有所差异。因此接下来应进行区域内部不同亮度值的基尼系数的均衡性测度, 探究导致不同地区发展不均衡的深层次原因。

同时, 灯光基尼系数的结果与夜间灯光遥感数据的质量有较大关系。目前NPP-VIIRS数据与DMSP-OLS数据相比, 在空间、时间分辨率等方面均得到了实质性提升, 但依然存在云污染像元、月光污染像元、夏季高纬度灯光数据出现季节性杂散光等问题。未来应探究更为精准的夜间灯光数据校准方法, 从而构建长时序、高质量的夜间灯光数据集, 为发展均衡性等研究提供更加可靠的数据支撑。

参考文献(References)

- [1] Hartmann D, Guevara M R, Jara-Figueroa C, et al. Linking economic complexity, institutions, and income inequality. *World Development*, 2017, 93: 75-93.
- [2] Rougoor W, van Marrewijk C. Demography, growth, and global income inequality. *World Development*, 2015, 74: 220-232.
- [3] Deng Xiangzheng, Liang Li, Wu Feng, et al. Chinese balanced regional development strategy from the perspective of development geography. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 261-276. [邓祥征, 梁立, 吴锋, 等. 发展地理学视角下中国区域均衡发展. *地理学报*, 2021, 76(2): 261-276.]
- [4] United Nations. SDG Indicators. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/goal-10>.
- [5] Central People's Government of the People's Republic of China. Outline of the 14th Five-Year Plan (2021-2025) for National Economic and Social Development and Vision 2035 of the People's Republic of China. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm. [中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.]
- [6] The State Council of China. Strategic Planning for Rural Revitalization (2018-2022). Beijing: People's Publishing House, 2018: 21-23. [中共中央国务院. 乡村振兴战略规划(2018—2022). 北京: 人民出版社, 2018: 21-23.]
- [7] Liu Hui. Regional inequality measurement: Methods and evaluations. *Geographical Research*, 2006, 25(4): 710-718. [刘慧. 区域差异测度方法与评价. *地理研究*, 2006, 25(4): 710-718.]
- [8] Shu H, Xiong P P. The Gini coefficient structure and its application for the evaluation of regional balance development in China. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199: 668-686.
- [9] Bowles S, Carlin W. Inequality as experienced difference: A reformulation of the Gini coefficient. *Economics Letters*, 2020, 186: 108789. DOI: 10.1016/j.econlet.2019.108789.
- [10] Park J W, Kim C U. Getting to a feasible income equality. *PLOS ONE*, 2021, 16(3): e249204. DOI: 10.1371/journal.pone.0249204.
- [11] Chen Yingbiao, Zheng Zihao, Wu Zhifeng, et al. Review and prospect of application of nighttime light remote sensing data. *Progress in Geography*, 2019, 38(2): 205-223. [陈颖彪, 郑子豪, 吴志峰, 等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 205-223.]
- [12] Xu Kangning, Chen Fenglong, Liu Xiuyan. The truth of China economic growth: Evidence from global night-time light

- data. *Economic Research Journal*, 2015, 50(9): 17-29, 57. [徐康宁, 陈丰龙, 刘修岩. 中国经济增长的真实性的检验: 基于全球夜间灯光数据的检验. *经济研究*, 2015, 50(9): 17-29, 57.]
- [13] Kyba C C M, Kuester T, Sánchez de Miguel A, et al. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 2017, 3(11): e1701528. DOI: 10.1126/sciadv.1701528.
- [14] Bennett M M, Smith L C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 192: 176-197.
- [15] Levin N, Kyba C C M, Zhang Q L, et al. Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 237: 111443. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111443.
- [16] Yu Bailang, Wang Congxiao, Gong Wenkang, et al. Nighttime light remote sensing and urban studies: Data, methods, applications, and prospects, *National Remote Sensing Bulletin*, 2021, 25(1): 342-364. [余柏浪, 王丛笑, 宫文康, 等. 夜间灯光遥感与城市问题研究: 数据、方法、应用和展望. *遥感学报*, 2021, 25(1): 342-364.]
- [17] Mellander C, Lobo J, Stolarick K, et al. Night-time light data: A good proxy measure for economic activity? *PLOS ONE*, 2015, 10(10): e139779. DOI: 10.1371/journal.pone.0139779.
- [18] Chen X, Nordhaus W D. Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *PNAS*, 2011, 108(21): 8589-8594.
- [19] Elvidge C D, Baugh K E, Anderson S J, et al. The night light development index (NLDI): A spatially explicit measure of human development from satellite data. *Social Geography*, 2012, 7(1): 23-35.
- [20] Achten S, Lessmann C. Spatial inequality, geography and economic activity. *World Development*, 2020, 136: 105114. DOI:10.1016/j.worlddev.2020.105114.
- [21] Weidmann N B, Theunissen G. Estimating local inequality from nighttime lights. *Remote Sensing*, 2021, 13(22): 4624. DOI: 10.3390/rs13224624.
- [22] Mirza M U, Xu C, Bavel B V, et al. Global inequality remotely sensed. *PNAS*, 2021, 118(18): e1919913118. DOI: 10.1073/pnas.1919913118.
- [23] Falchetta G, Pachauri S, Byers E, et al. Satellite observations reveal inequalities in the progress and effectiveness of recent electrification in Sub-Saharan Africa. *One Earth*, 2020, 2(4): 364-379.
- [24] Ivan K, Holobacă I H, Benedek J, et al. Potential of night-time lights to measure regional inequality. *Remote Sensing*, 2019, 12(1): 33. DOI: 10.3390/rs12010033.
- [25] Salvati L, Guandalini A, Carlucci M, et al. An empirical assessment of human development through remote sensing: Evidences from Italy. *Ecological Indicators*, 2017, 78: 167-172.
- [26] Liu J Z, Li W F. A nighttime light imagery estimation of ethnic disparity in economic well-being in mainland and Taiwan (2001-2013). *Eurasian Geography and Economics*, 2014, 55(6): 691-714.
- [27] Peng Bo, Zhang Qian, Liu Licheng, et al. Estimating dynamics of development balance in Xinjiang autonomous region: Evidence from the nighttime lighting dataset. *Science of Surveying and Mapping*, 2022, 47(1): 133-141 [彭博, 张倩, 刘立程, 等. 夜间灯光视角下的新疆发展均衡性动态研究. *测绘科学*, 2022, 47(1): 133-141.]
- [28] Huang Zuhong, Wang Xinxian, Zhang Wei. Human development assessment and evolution analysis on the Qinghai-Tibet Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(6): 1088-1095. [黄祖宏, 王新贤, 张玮. 青藏高原地区人类发展水平评估及其演变分析. *地理科学*, 2021, 41(6): 1088-1095.]
- [29] Xu H M, Yang H T, Li X, et al. Multi-scale measurement of regional inequality in mainland of China during 2005-2010 using DMSP/OLS night light imagery and population density grid data. *Sustainability*, 2015, 7(10): 13469-13499.
- [30] Zhou Y K, Ma T, Zhou C H, et al. Nighttime light derived assessment of regional inequality of socioeconomic development in China. *Remote Sensing*, 2015, 7(2): 1242-1262.
- [31] Liu Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650. [刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴. *地理学报*, 2018, 73(4): 637-650.]
- [32] Xinhua News Agency. The General Offices of the CPC Central Committee and The State Council issued the Opinions on Promoting Urbanization Construction with County Towns as Important Carriers. http://www.gov.cn/zhengce/2022-05/06/content_5688895.htm. [新华社. 中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推进以县城为重要载体的城镇化建设的意见》. http://www.gov.cn/zhengce/2022-05/06/content_5688895.htm.]
- [33] Cao Ziyang, Wu Zhifeng, Kuang Yaoqiu, et al. Correction of DMSP/OLS night-time light images and its application in China. *Journal of Geo-Information Science*, 2015, 17(9): 1092-1102. [曹子阳, 吴志峰, 匡耀求, 等. DMSP/OLS 夜间灯光影像中国区域的校正及应用. *地球信息科学学报*, 2015, 17(9): 1092-1102.]
- [34] Chen Z Q, Yu B L, Yang C S, et al. An extended time series (2000-2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 2021, 13(3): 889-906.
- [35] Bai Zhongqiang, Wang Juanle, Yang Fei. Research progress in spatialization of population data. *Progress in Geography*, 2013, 32(11): 1692-1702. [柏中强, 王卷乐, 杨飞. 人口数据空间化研究综述. *地理科学进展*, 2013, 32(11): 1692-

- 1702.]
- [36] Bright E, Coleman P, Dobson J E. LandScan: A global population database for estimating populations at risk. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66: 849-858.
- [37] Fan Jie, Wang Yafei, Liang Bo. The evolution process and regulation of China's regional development pattern. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2437-2454. [樊杰, 王亚飞, 梁博. 中国区域发展格局演变过程与调控. *地理学报*, 2019, 74(12): 2437-2454.]
- [38] Qi Yuanjing, Yang Yu, Jin Fengjun. China's economic development stage and its patio-temporal evolution: A prefectural-level analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(4): 517-531. [齐元静, 杨宇, 金凤君. 中国经济发展阶段及其时空格局演变特征. *地理学报*, 2013, 68(4): 517-531.]
- [39] Fan Jie, Zhao Hao, Guo Rui. The new trend and coping strategies of regional development gap in China. *Economic Geography*, 2022, 42(1): 1-11. [樊杰, 赵浩, 郭锐. 我国区域发展差距变化的新趋势与应对策略. *经济地理*, 2022, 42(1): 1-11.]
- [40] Meng Bin, Wang Jinfeng, Zhang Wenzhong, et al. Evaluation of regional disparity in China based on spatial analysis. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(4): 393-400. [孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究. *地理科学*, 2005, 25(4): 393-400.]

Dynamics of developmental vitality and equilibria of counties in China based on nighttime lights data

LIU Lingcen¹, SUN Zhongxiao¹, WU Feng², LI Yuheng³, ZHANG Qian¹

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Key Lab of Regional Sustainable Development and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Eliminating inequality and achieving balanced development is one of the Sustainable Development Goals of the United Nations. Accurate measurement of development equilibrium is a primary scientific problem to be solved urgently. Nighttime lights data have been proven to be a good proxy for economic activity, and they have been used widely due to their advantages of convenient acquisition and wide spatial coverage. Therefore, in this study, we applied the Gini coefficients derived from nighttime lights data and pixelized population data to evaluate the development equilibria for China's 2900 counties from 2002-2020. We then examined the nexus of the development equilibrium and developmental vitality represented by the average nighttime lights intensity within each county. The results showed that the Gini coefficients based on nighttime lights data have generally been decreasing for 96% of the counties in China during 2002-2020. Moreover, in general, the Gini coefficients present a spatial pattern of being lower in the east and higher in the west. The results illustrate the synergetic development pathways of economic growth and equilibrium promotion of the economically developed counties, although the variation of their equilibria is significant. On the contrary, there is still distinct room for improvement of development equilibria for 60% of the economically underdeveloped counties in China. The results provide scientific support for achieving balanced development and promoting common prosperity in China.

Keywords: Gini coefficient; equilibrium; nighttime lights data; spatiotemporal dynamics; counties in China