

精准扶贫背景下中国贫困县的夜间灯光时空变化分析

华婧^{1,2}, 吴宾^{1,2}, 陈佐旗^{3,4}, 杨成术^{1,2}, 唐曦^{1,2}, 孙斐然^{1,2},
吴健平^{1,2}, 余柏菡^{1,2}

1. 华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241;

2. 华东师范大学 地理科学学院, 上海 200241;

3. 福州大学 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福州 350116;

4. 福州大学 数字中国研究院(福建), 福州 350116

摘要: 2020年是中国全面打赢脱贫攻坚战的收官之年。合理评估减贫效果是当前验收工作的重点, 并对探索解决相对贫困的长效机制具有重要意义。本文通过生产精准扶贫阶段(2014年—2020年NPP-VIIRS)夜间灯光遥感年合成数据, 构建县域夜间灯光指数和变化指数, 分别探讨了中国831个国家级贫困县和14个集中连片特困区的减贫效果。结果表明: 2014年以来中国大部分贫困县的经济水平得到显著提高, 减贫效果突出; 仍有108个贫困县夜间灯光强度呈现负增长趋势, 主要位于西部地区的集中连片特困区交界处, 西部地区内部出现南北发展不平衡现象; 14个集中连片特困地区的夜间灯光亮度变化呈现出基数小增速快(I型)、基数大增速快(II型)、基数大增速慢(III型)和基数小增速慢(IV型)4种类型, 且在集中连片特困区交界处和省级行政边界交汇处呈现高集聚和低制约的空间分布格局, 交界处的贫困县易被边缘化。进一步分析表明, 实施基础设施扶贫、特色产业扶贫、资产收益扶贫(光伏扶贫)、易地搬迁扶贫这4类脱贫路径的贫困县夜间灯光变化明显。

关键词: 夜间灯光, NPP-VIIRS, 国家级贫困县, 集中连片特困地区, 时空变化, 减贫效果

中图分类号: P2

引用格式: 华婧, 吴宾, 陈佐旗, 杨成术, 唐曦, 孙斐然, 吴健平, 余柏菡. 2024. 精准扶贫背景下中国贫困县的夜间灯光时空变化分析. 遥感学报, 28(4): 940-955

Hua J, Wu B, Chen Z Q, Yang C S, Tang X, Sun F R, Wu J P and Yu B L. 2024. Spatiotemporal variations in nighttime lights in poverty-stricken counties in China. National Remote Sensing Bulletin, 28(4): 940-955 [DOI: 10.11834/jrs.20221856]

1 引言

贫困是世界各国面临的严峻挑战, 尤其是发展中国家亟需解决的重大难题(Elvidge等, 2009)。中国作为世界上最大的发展中国家, 一直致力于消除贫困。“十三五”时期, 全国至上而下积极开展精准扶贫工作并取得了重大进展, 现行标准下农村贫困人口全部脱贫, 832个国家级贫困县全部宣布摘帽, 消除了绝对贫困(个体缺乏足够的资源来满足其生存的需要)和区域性整体贫困。2020年如期完成全面建成小康社会任务后, 中国减贫工

作的重心将从消除绝对贫困过渡至缓解相对贫困(个体所得的资源虽能满足其维持生存的需要, 但是无法满足被认为是最基本的其他生活需求的状态)(刘彦随和李进涛, 2017)。当前中国已进入后扶贫时代, 评估阶段性减贫效果对国家进一步解决相对贫困问题具有借鉴意义。

减贫效果评估的关键在于贫困测度。贫困最初仅指经济上的贫困, 被理解为一维的概念, 因此传统的贫困测度主要以统计数据为数据源(Alkire和Santos, 2014), 例如以单一指标确定贫困线作为衡量贫困的标准, 常用方法包括收入缺口比率法

收稿日期: 2021-12-31; 预印本: 2022-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(编号:41871331, 41801343, 42001357);上海市青年科技英才扬帆计划项目(编号:19YF1413800);华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室主任基金(编号:KLGIS2021C01);中央高校基本科研业务费专项

第一作者简介: 华婧, 研究方向为夜间灯光遥感及其在贫困研究中的应用。E-mail: 51193901048@stu.ecnu.edu.cn

通信作者简介: 余柏菡, 研究方向为夜间灯光遥感及城市遥感。E-mail: blyu@geo.ecnu.edu.cn

(Sen等, 1976)、Sen指数法、SST (Sen-Shorrocks-Thon) 指数法 (Shorrocks, 1995) 和FGT (Foster-Greer-Thorbecke) 指数法 (Foster等, 1984) 等。为了弥补单维贫困测度对于贫困度量的片面性, 多维贫困测度方法不断发展并成为主流。例如, 利用家庭营养与健康调查数据构建的贫困综合指数 (Shen等, 2018), A-F (Alkire and Foster) 多维贫困测算方法 (Alkire和Foster, 2011), 基于可持续生计分析框架的多维贫困指标 (何仁伟等, 2017; 刘艳华和徐勇, 2015) 等。此外, 学者们还基于其他不同的视角对贫困进行多维识别与测度。周扬等 (2018) 在人地关系地域系统理论的视角下, 构建表征县域贫困压力的指标体系, 识别出2020年后需国家政策重点倾斜的帮扶县; 金贵等 (2020) 基于发展地理学的分析模式, 构建贫困监测评估指标体系, 识别影响中国贫困的致贫和减贫因素。然而, 这些基于统计数据的多维贫困测度方法和指标体系存在数据不统一、数据滞后、成本高等局限。

遥感技术具有大面积同步观测、获取信息速度快、周期短等优势, 能够动态监测地面事物的变化, 为大范围客观的贫困测度带来了机遇 (余柏菡等, 2021; Yu等, 2015; Wang等, 2022)。夜间灯光遥感数据作为一种捕获城市夜晚微弱亮光辐射信息的数据, 可以客观地反映地区间社会经济活动的强弱, 很好地克服了统计数据的局限性。近年来, 已有大量的研究将夜间灯光遥感数据用于构建综合的贫困测度模型, 实现了对不同区域贫困演化过程的监测 (Yu等, 2014; Shi等, 2020)。例如, Noor等 (2008) 使用DMSP/OLS夜间灯光数据代替基于资产的贫穷指数对2000年37个非洲国家1级行政单元进行贫困度量; Elvidge等 (2009) 利用DMSP/OLS夜间灯光数据和LandScan人口数据计算贫困指数, 绘制了全球贫困地图; Yu等 (2015) 利用NPP-VIIRS夜间灯光数据构建平均夜间灯光指数定量评估中国县级贫困, 并验证了该指数的有效性; Zhao等 (2019) 基于夜间灯光数据利用随机森林回归模型估算孟加拉国反映贫困的家庭财富指数; Shi等 (2020) 基于多源遥感数据构建综合贫困指数并绘制500 m分辨率的重庆市贫困地图; Jean等 (2016) 基于5个非洲国家的调查数据和夜间灯光等遥感数据, 运用机器学习技术估算消费支出和资产财富来测度贫困。

上述研究均证明了夜间灯光数据在识别、度量单一时刻贫困的可行性与有效性, 但少有从时空动态分析的角度评估贫困县的减贫效果。在此方面, 王成力等 (2018) 构建基于DMSP-OLS夜间灯光数据 (2003年—2012年) 的贫困县社会经济发展指数, 解释了贫困县夜间灯光强度的变化趋势; 斯丽娟和王超群 (2020) 利用夜间灯光数据 (2000年—2018年) 建立区域扶贫质量测算模型, 对中国贫困县的扶贫质量进行测度以及时空演变特征探讨。然而上述研究仍然侧重于贫困测度方法的构建, 较少结合政策从像素尺度分析贫困县减贫的效果。此外, 鲜有研究从长时序空间数据的角度分析精准扶贫阶段中国贫困县和集中连片特困区两个层面的贫困演化规律。中国以贫困县的脱贫为靶点, 以集中连片特困区作为解决区域性整体贫困的主战场, 因此需要兼顾这两个层面减贫效果的分析。

对此, 本文通过生产2014年—2020年的NPP-VIIRS夜间灯光年合成数据, 构建县域夜间灯光指数和夜间灯光变化指数, 分析中国831个国家级贫困县和14个集中连片特困地区的在精准扶贫阶段的减贫时空分异规律, 为扶贫绩效的评价以及2020年后国家的高质量减贫瞄准提供借鉴思路。

2 数据与研究方法

2.1 研究区概况与数据来源

2.1.1 研究区概况

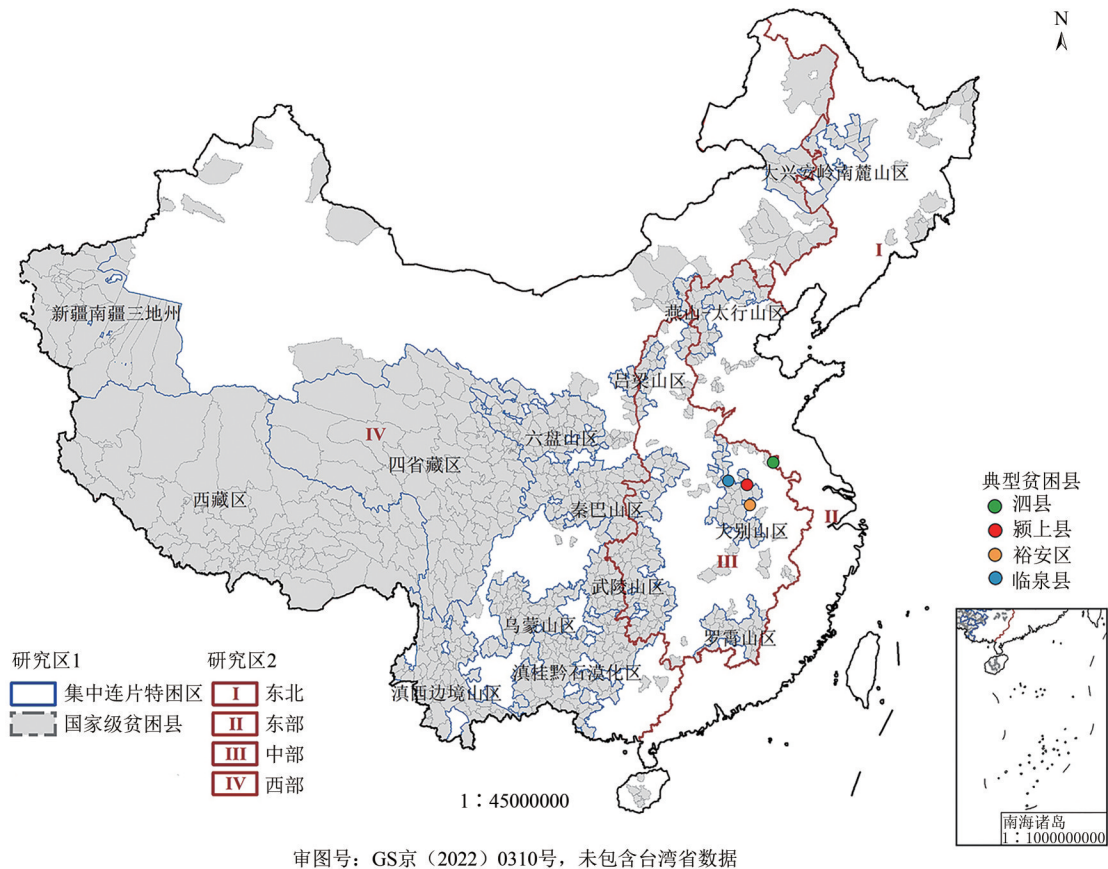
县级地理单元是中国制定和落实区域减贫宏观政策与微观策略的基础单元 (金贵等, 2020)。集中连片特困地区集中在山区、革命老区和自然资源禀赋基础差的地区, 内部发展差异较大, 贫困面广, 贫困发生率高, 属于中国贫困重灾区 (贾林瑞等, 2018)。本文以全国831个国家级贫困县作为基础研究单元, 14个集中连片特困区 (714个县) 作为主要分析区域, 选取典型贫困县作为重点研究区域 (图1)。

2.1.2 数据来源

本文使用的NPP-VIIRS夜间灯光数据来源于National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 下属的National Geophysical Data Center (NGDC) (<https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>)

[2021-12-31])。该数据中心提供了2012年4月至今的NPP-VIIRS夜间灯光月合成数据,空间分辨率约为500 m。本文选择时间段为2014年1月—2020年

12月的第1版NPP-VIIRS夜间灯光月合成数据(vcm版本)。



审图号: GS京(2022)0310号, 未包含台湾省数据

图1 国家级贫困县、集中连片特困地区、典型贫困县分布图

Fig. 1 Distribution map of state-level poverty-stricken counties, contiguous poverty-stricken areas and typical poverty-stricken counties

全国831个贫困县名单(其中,由于2018年2月国务院民政部批准,撤销茫崖行委和冷湖行委,合并设立县级茫崖市;大柴旦行委属海西蒙古族藏族自治州;因此本文研究区合并为831个贫困县)、14个连片特困地区名单、脱贫年份等数据均来自国家乡村振兴局(<http://nrra.gov.cn/>[2021-12-31]),各县的扶贫概况主要来源于“十三五”国家重点电子出版物出版规划项目“减贫研究数据库”(<https://www.jianpincn.com/>[2021-12-31])。行政区划数据下载自国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/>[2021-12-31])。

2.2 研究方法

2.2.1 NPP-VIIRS 夜间灯光年数据合成

由于夜间灯光月合成数据受到物候和人类活动的影响,具有季节性特征(Levin, 2017; Chen

等, 2019),不能很好地反映一个地区稳定的夜间灯光亮度水平。而年合成数据能更好地反映一个地区的稳定夜间灯光亮度水平,更加有效的反映人类社会经济活动。同时,由于贫困具有一定的持续性,较长时段的年合成数据更能客观的反映出一个地区的贫困状况。

本文基于NPP-VIIRS夜间灯光月合成数据,结合Shi等(2014a, 2014b)和Chen等(2021)提出的方法进行年数据合成。合成步骤主要如下:

(1) 预处理。将月合成数据重投影成Albers等面积投影坐标系,大地测量基准为WGS84,像元分辨率重采样至500 m,形成I级校正数据。

(2) 数据去噪。原始月合成数据是将NPP-VIIRS的DNB(Day/Night Band)数据去除杂散光、闪电、月球照明和云层等影响后取平均得到的。极光、山火、船只和其他临时照明的光仍然以

“噪声”的形式存在，因此需要对NPP-VIIRS月合成数据进行进一步去噪。本文根据Ma等（2012）、Shi等（2020）提出的NPP-VIIRS夜间灯光数据校正模型进行修正。该模型假设其他地区的夜间灯光强度不超过大城市中心地区的最大夜间灯光强度。根据中国各大城市的经济发展水平和综合实力，选取最大夜间灯光强度值，设置最优阈值调整异常像素生成II级校正数据。若I级校正数据中像素值高于该阈值，则该像素被识别为异常像素，其值将被其周围8个相邻像素内不超过该阈值的最大夜间灯光强度值所替代。

（3）年数据合成。NPP-VIIRS夜间灯光数据北半球中高纬度地区在整个夏季都受到杂散光污染，因此在官方的月合成数据中，污染像素被重新分配为0。中国夏季（5—7月）的NPP-VIIRS夜间灯光月合成数据在秦岭淮河以北地区呈现出数据缺失的状况。目前，针对这一现象，常规的年数据合成方法通过剔除夏季（5—7月）的夜间灯光数据计算其他9个月的夜间灯光亮度平均值，或是选取9个月中的最大值进行年数据的合成。但是，取平均值会降低夜间灯光的强度，而取最大值存在异常值突出的问题（Chen等，2021），因此，本文采用中值法生产NPP-VIIRS夜间灯光年数据。

2.2.2 基于夜间灯光的贫困测度

在Yu等（2015）研究的基础上，本文基于NPP-VIIRS夜间灯光年合成数据构建了县域贫困测度指数，探究831个国家级贫困县的夜间灯光时空变化规律，并对集中连片特困区夜间灯光的发展模式与空间演化格局进行了分析，从不同尺度上评估中国的减贫效果。

（1）县域贫困测度。1）县域夜间灯光指数。本文选取县域夜间灯光总强度（TNL）作为衡量贫困县夜间灯光亮度水平的指数：

$$TNL = \sum_{i=1}^m DN_i \quad (1)$$

式中，TNL是行政单元内灯光DN值的总和， DN_i 表示行政单元内第*i*个像元的夜间灯光亮度值。

2）县域夜间灯光变化指数。选取夜间灯光总增长量（GTNL）和夜间灯光总增长率（GRTNL）表示每个贫困县在2014年—2020年的夜间灯光的变化情况，选取夜间灯光逐年增长率（YGRNTL）

表示每个贫困县夜间灯光亮度逐年变化情况。计算公式为

$$GTNL = TNL_{2020} - TNL_{2014} \quad (2)$$

$$GRTNL = \frac{GTNL}{TNL_{2014}} \quad (3)$$

$$YGRNTL_k = \frac{TNL_k - TNL_{k-1}}{TNL_{k-1}} \quad (4)$$

式中， TNL_k 表示*k*年县域夜间灯光总强度。

（2）集中连片特困地区发展模式与空间演化格局。计算14个集中连片特困地区内部贫困县2014年平均夜间灯光强度（ TNL_{2014} ）和2014年—2020年平均夜间灯光增长率（GRTNL），分别选择14个连片特困区 TNL_{2014} 的中位数A和GRTNL的中位数B作为阈值，将其划分为4个象限（图2），其中第一象限为 $TNL_{2014} < A$ 且 $GRTNL > B$ ，第二象限为 $TNL_{2014} > A$ 且 $GRTNL > B$ ，第三象限为 $TNL_{2014} > A$ 且 $GRTNL < B$ ，第四象限为 $TNL_{2014} < A$ 且 $GRTNL < B$ 。按照象限及其特征将14个集中连片特困区相应的划分为四大类型：第一象限——I类型为夜间灯光基数小增速快型；第二象限——II类型为夜间灯光基数大增速快型；第三象限——III类型为夜间灯光基数大增速慢型；第四象限——IV类型为夜间灯光基数小增速慢型。

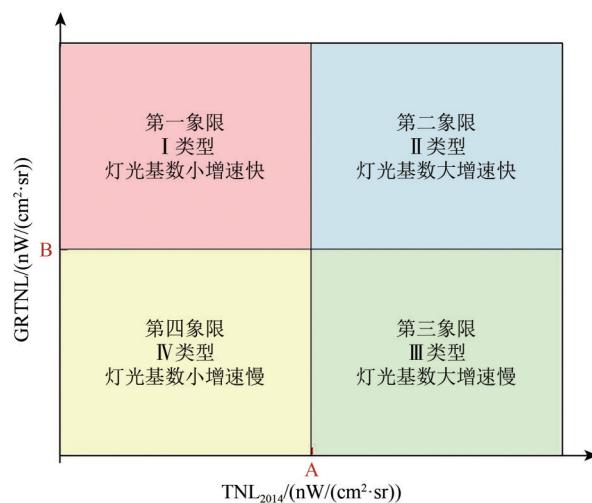


图2 集中连片特困区发展模式划分示意图

Fig. 2 Schematic diagram of development mode division of concentrated contiguous impoverished areas

对2014年和2020年集中连片特困地区夜间灯光空间演化格局进行量化识别，引入聚类 and 离群分析（Cluster and Outlier Analysis）来测度集中连片特困区夜间灯光亮度的空间关联特征。将空间演化格局划分为非显著类型、HH高高扩散、HL

高低极化、LH低高塌陷和LL低低制约。HH(LL)型代表评估区域与其相邻区域之间存在正的空间自相关,表示在空间上具有高水平(或低水平)的集聚效应;HL(LH)型代表评估区域与其相邻区域之间存在负的空间自相关,高(或低)发展水平被低(或高)水平县域包围。

3 结果与分析

3.1 全国贫困县的灯光变化

2014年实施精确扶贫战略以来,中国贫困县的夜间灯光亮度和夜间灯光覆盖面积(夜间灯光亮度值大于0的区域)显著提升,与非贫困县的

差距持续缩小。贫困县的夜间灯光基数较小,但增速较快。如图3所示,贫困县的夜间灯光总强度(TNL)逐年稳步提升,夜间灯光逐年增长率超过全国所有县和非贫困县平均水平,并在2016年—2018年达到顶峰。经统计,贫困县夜间灯光总量(GTNL)平均增加了594.55 nW/(cm²·sr),约占全国县平均增长量的34.64%。贫困县的夜间灯光增长率(GRTNL)为80.45%,远超所有全国县夜间灯光增长率(52.65%)和非贫困县总增长率(50.73%);同时,贫困县的夜间灯光平均逐年增长率(YGRTNL)为10.71%,也超过全国县平均逐年增长率(7.44%)和非贫困县平均逐年增长率(7.57%)。

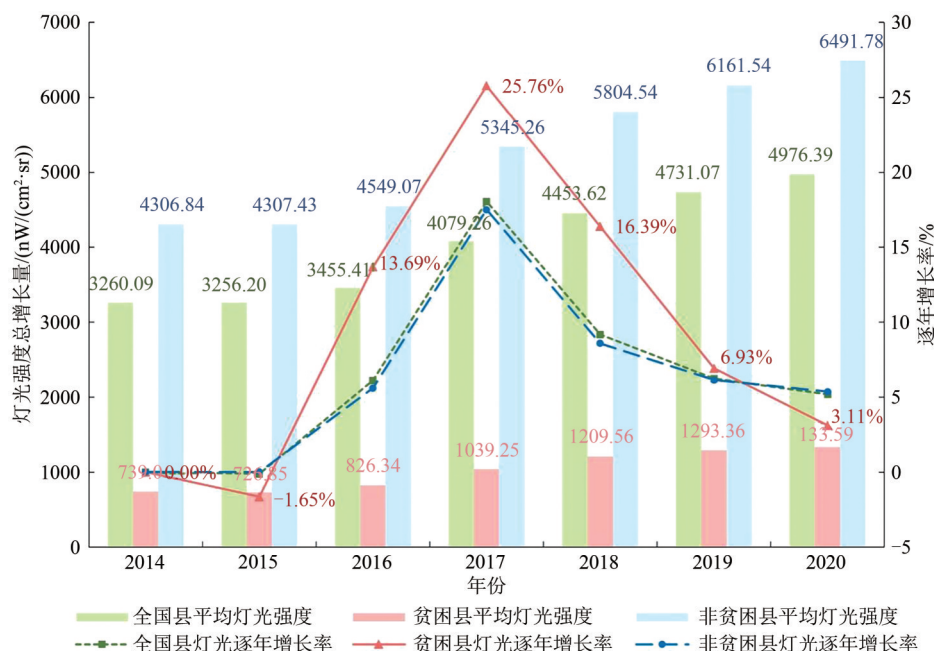


图3 夜间灯光逐年增长率、夜间灯光强度统计图

Fig. 3 Statistical chart of annual growth rate and intensity of NTL

其中,723个贫困县夜间灯光总量呈现正增长,108个贫困县夜间灯光总量呈现负增长,78个贫困县的总量增加值超过全国县的平均水平,515个贫困县夜间灯光总增长率高于全国县总增长率。贫困县夜间灯光逐年增长率在2016年—2018年远超非贫困县与全国所有县。经过6年的发展,贫困县经济水平得到显著提高,减贫效果突出。

图4揭示了夜间灯光逐年增长率与贫困县脱贫年份之间的关系。可见:所有贫困县在2015年—2016年的夜间灯光增长率波动较大,且相较于2014年—2015年的夜间灯光增长率都有显著提升;

所有贫困县2016年—2017年的夜间灯光整体增长率最高;2017年后,各贫困县的夜间灯光增长幅度呈现放缓的趋势县,整体呈现出在2016年—2017年夜间灯光增长率达到峰值的倒V形分布布,说明部分贫困县在宣布脱贫后,夜间灯光强度下降,减贫速度放缓,可能存在返贫的风险;同时,2016年脱贫的县在2014年—2015年的夜间灯光增长率整体平均在8.6%左右,比后几年脱贫的县在2014年—2015年的夜间灯光增长率高,表明在宣布脱贫的前一年份,贫困县存在一个快速发展期。

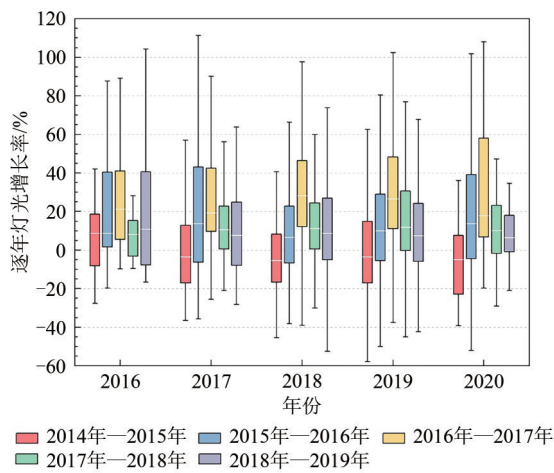


图4 贫困县夜间灯光逐年增长率与脱贫年份关系

Fig. 4 Relationship between lighting annual growth rate and year of poverty alleviation in poor counties

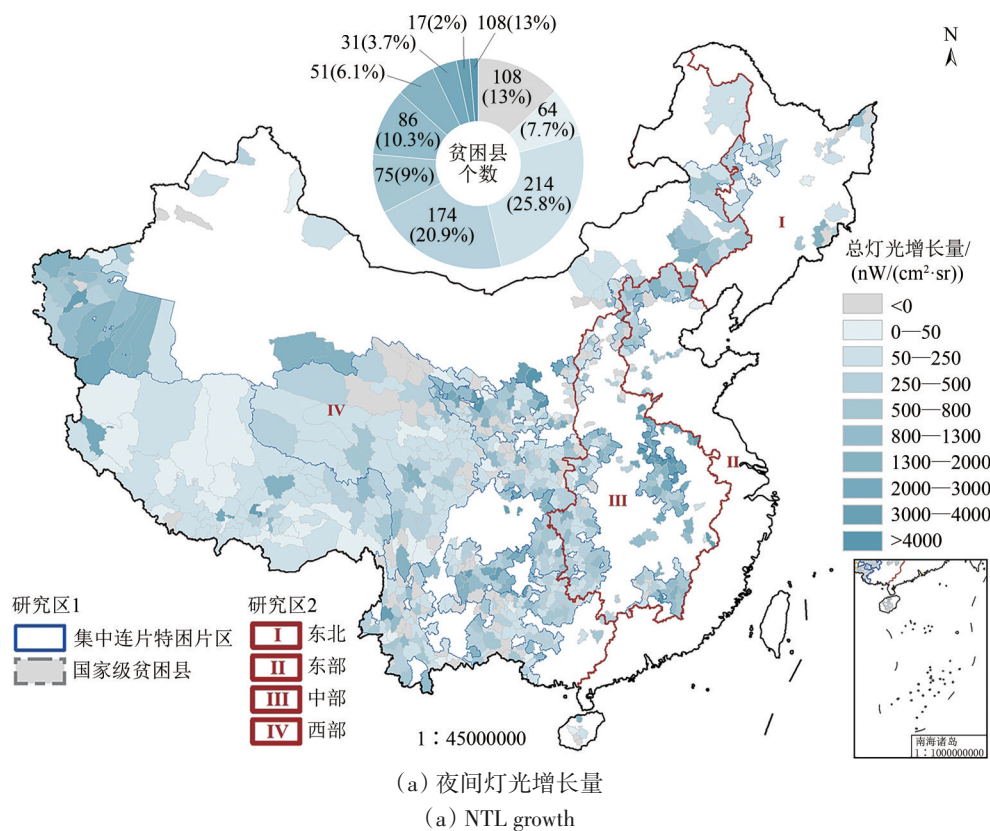
贫困县夜间灯光的空间分布具有较强的空间动态性。如图5所示：贫困县的夜间灯光增长量呈现从东部至中西部水平减小的趋势，而夜间灯光增长率呈现从东部至中西部水平增大的趋势；东部地区相较于西部地区整体夜间灯光基数较大。东部地区的贫困县夜间灯光总增长量（588.86 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ）稍领先于西部地区（477.50 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ），但其夜间灯

光增长率（133.44%）远低于西部地区（208.72%）；西部地区贫困县夜间灯光增长率最高，夜间灯光增速最快，并且夜间灯光强度逐年稳步提升，与东部贫困县的差距不断缩小，但区域内部出现南北发展不平衡现象（图5(b)）(图5)。东北地区的贫困县的平均夜间灯光增量为318.09 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，且夜间灯光平均增长率最低（95.66%），为西部地区贫困县夜间灯光平均增长率的一半。中部地区贫困县的平均夜间灯光增量最高，为977.65 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ （图5）。

3.2 集中连片特困区夜间灯光发展模式

集中连片特困区为中国深度贫困格局的显化代表，分析集中连片特困区的夜间灯光空间分布及发展模式，有利于从侧面揭示其减贫的效果。

I型：包括西藏区、罗霄山区、大兴安岭南麓山区、武陵山区。这一类型的连片特困区夜间灯光基数较小，但夜间灯光增度较快。2014年该类型连片特困区内平均夜间灯光总强度仅为470.45 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，而夜间灯光增长率达到99.14%。连片特困区整体夜间灯光覆盖面积增加了85.08%。



(a) 夜间灯光增长量

(a) NTL growth

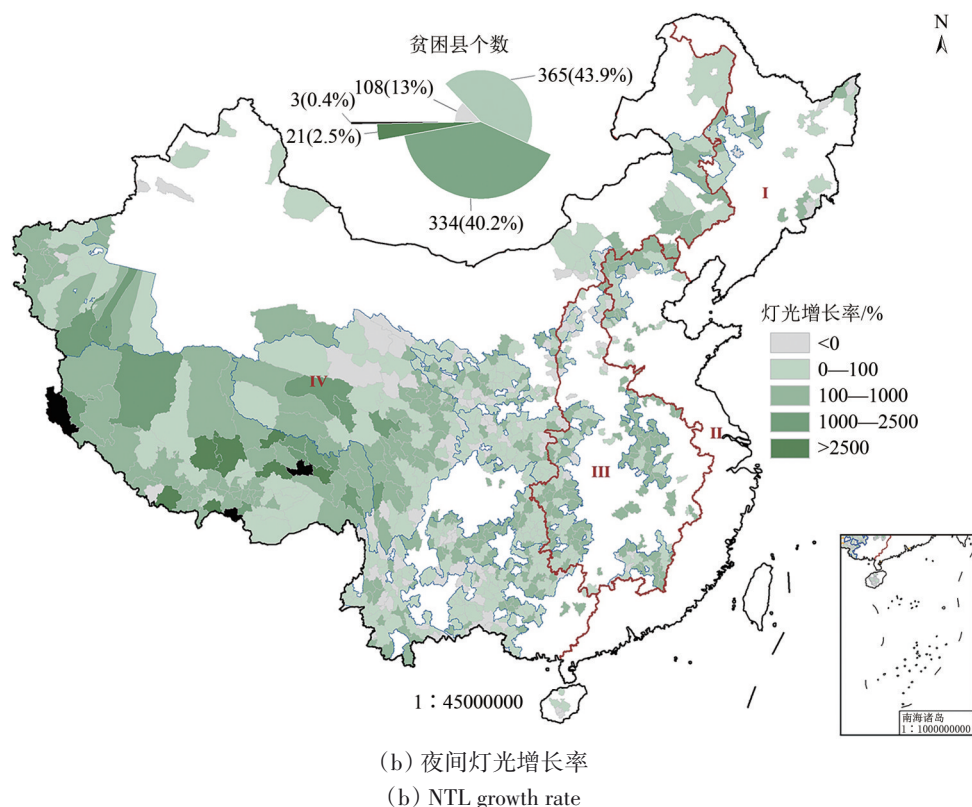


图5 2014年—2020年贫困县夜间灯光增长量和增长率空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of NTL growth and NTL growth rate from 2014 to 2020年

Ⅱ型：包括大别山区、新疆南疆三地州、乌蒙山区。这一类型的连片特困区夜间灯光基数较大且增速较快，2014年该类型连片特困区平均夜间灯光强度达到 $993.62 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，夜间灯光增长率为 120.68% 。该类型连片特困区整体夜间灯光覆盖面积增加了 142.52% 。其中大别山区夜间灯光增长率在14个连片特困区中排最高。

Ⅲ型：包括六盘山区、滇桂黔石漠化区、燕山—太行山区、吕梁山区。这一类型的连片特困区夜间灯光基数相对较大，2014年连片特困区内的贫困县平均夜间灯光强度达到 $849.78 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，而夜间灯光增长率仅为 50.65% ，仅为是Ⅰ型连片特困区的一半，连片特困区整体夜间灯光覆盖面积仅增加了 55.31% 。

Ⅳ型：包括秦巴山区、四省藏区、滇西边境山区。这一类型的连片特困区夜间灯光基数较小伴随着夜间灯光增速慢。2014年连片特困区平均夜间灯光强度为 $587.17 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，夜间灯光强度增长率为 51.99% ，连片特困区整体夜间灯光覆盖面积增长率为 48.05% ，均不到Ⅱ型连片特困区的一半。

如图6(a)所示，2014年连片特困区夜间灯光分布的显著类型主要是HH高高集聚和LL低低制约。其中：HH高高集聚主要分布在中部的大别山区，西部的新疆南疆三地州、滇桂黔石漠化区和乌蒙山区和六盘山区；LL制约主要集中分布在四省藏区和西藏区的内部。HL高低极化分布在四省藏区的边缘区以及西藏区、武陵山区和秦巴山区的片区中心；LH低高塌陷类型整体分布极少，仅存在于滇黔桂石漠化区和四省藏区。四省藏区内的夜间灯光强度空间格局呈现省级行政区交界处和连片特困区边缘显著但区域内部不明显的现象，尤其是四省藏区内偏西部的贫困县，HH、HL相间分布，夜间灯光基数相差较大，区域发展失衡。

从图6(b)可知，2020年连片特困区夜间灯光分布的显著类型仍然以HH类型为主。其中：HH高高集聚呈外延式扩张，尤其是大别山区，在中部区域整体高水平发展的带动下，夜间灯光发展不断增速；同时，乌蒙山区和滇桂黔石漠化区的交界区域，HH高高集聚类型也迅速扩张；LL低低制约相较于2014年有所减少，出现在西藏区内

部的波密县, 四省藏区内青海、甘肃、四川3省交界处玛曲县、若尔盖县和壤塘县, 这3个处于省级交界处的贫困县在发展过程中逐渐被边缘化; HL高低极化类型有所增加并扩散到了滇西边境山区和乌蒙山区, 而西藏区内部的巴宜区(于

2016年宣布脱贫) HL高低极化类型消失, 该区周围贫困县的夜间灯光强度6年来有所增加; 隶属大别山区的商城县2014年夜间灯光空间分布属于非显著类型, 而2020年演变为LH低高塌陷类型, 反映商城县的发展相对落后于周边县。

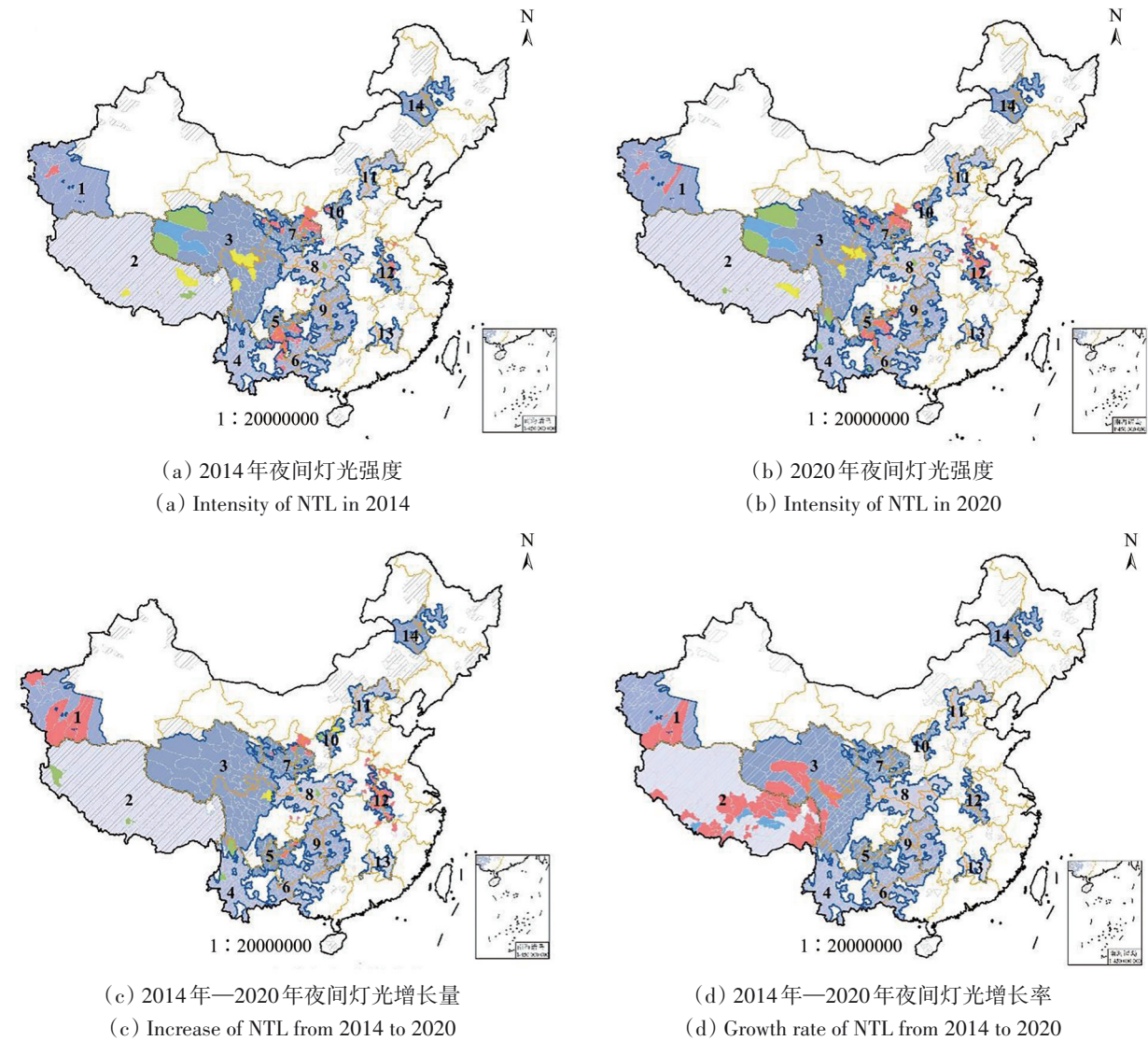


图6 集中连片特困区夜间灯光强度、夜间灯光增长量、夜间灯光增长率空间依赖格局

Fig. 6 Spatial dependence pattern of NTL intensity, NTL growth and growth rate in concentrated contiguous poverty-stricken areas

综合图6(c)和(d)可知, 夜间灯光增长量的显著类型主要分布在大别山区、新疆南疆三地州。其中: 大别山区和新疆南疆三地州均以HH高高集聚类型为主, 分布较少的LH低高塌陷被HH高高集聚所包围; 拥有优越地理位置的大别山区(中部

地区)与地理位置较差的新疆南疆三地州(西部地区)的夜间灯光增长量均以HH高高集聚为主, 可见劣势区位未必会限制区域发展; 夜间灯光增长率的显著类型中只有4省藏区的松潘县呈现LL制约, 表明6年间, 连片特困区夜间灯光增长率较

大，没有受到夜间灯光基数较小的区域所制约。

4 讨论

4.1 典型贫困县的脱贫模式

中国精准扶贫阶段实施的“五个一批”减贫方略具体包括发展生产脱贫、易地搬迁脱贫、生态补偿脱贫、发展教育脱贫、社会保障兜底脱贫。为进一步探究夜间灯光变化与贫困县主导减贫模式的关系，选取各主导减贫模式中夜间灯光变化明显的典型县进行讨论分析。

易地搬迁扶贫是中国精准扶贫阶段扶贫开发的

创新性模式，能够从根本上解决居住偏远边缘地带、基础设施落后、生态环境脆弱和自然灾害频发地区贫困人口的脱贫和发展问题。颍上县为精准扶贫阶段中国100个易地扶贫搬迁成效明显县之一。县域夜间灯光增长量快速平稳上升，2014年以来夜间灯光强度增长了4910.12 nW/(cm²·sr)，2020年县域夜间灯光总强度达到7516.99 nW/(cm²·sr)。如图7所示，县域内夜间灯光覆盖面积增长较大，增长率达到215.16%。县域内由暗变亮的斑块多数分布在新建的易地搬迁安置地，如图7(a)和(b)红框所示平岗腰庄安置区、黄桥两岗新村安置区、夏桥徐家湾安置区。

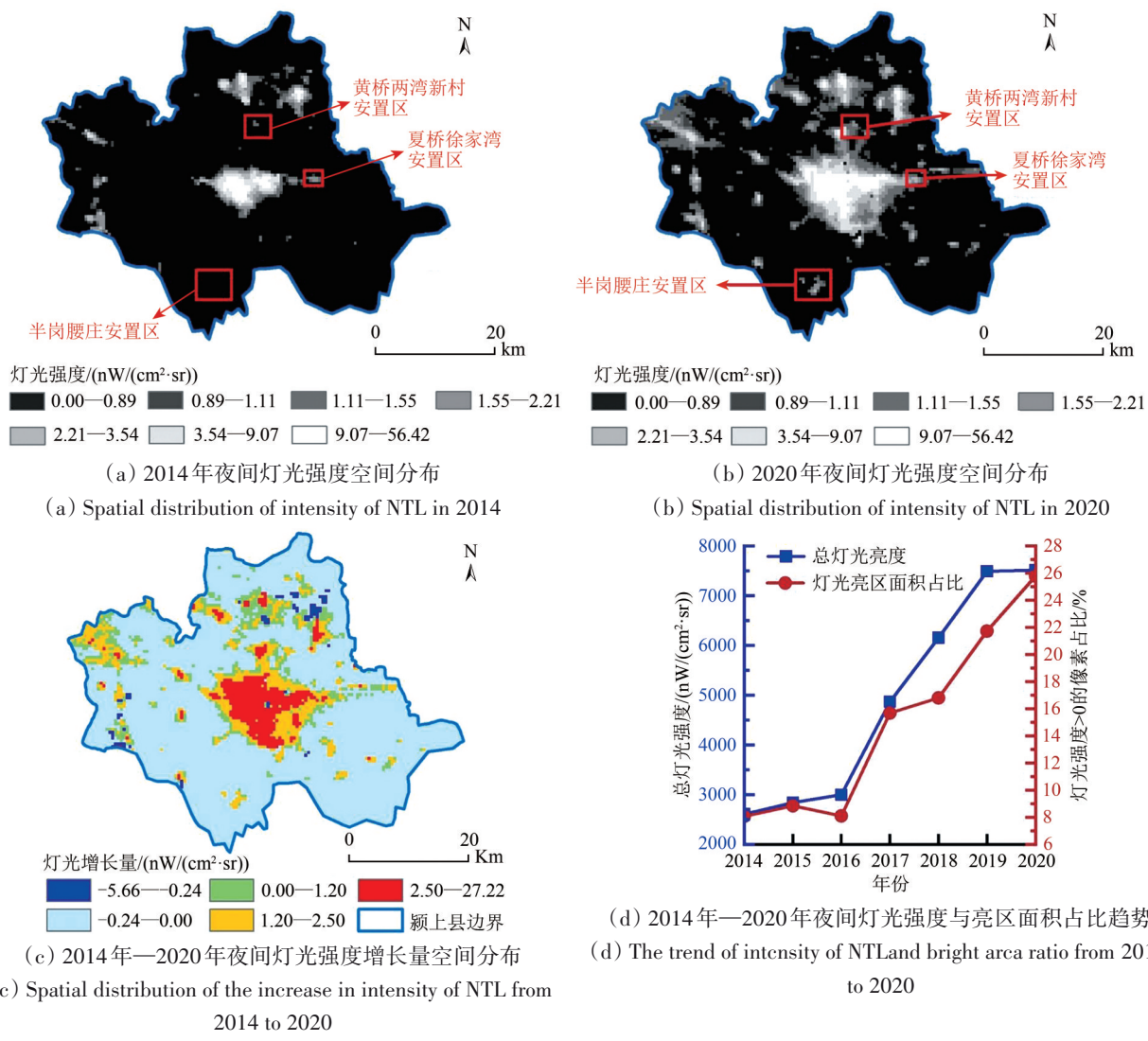


图7 2014年—2020年颍上县夜间灯光强度分布、增长量及所占比例
Fig. 7 Distribution of intensity, growth and proportion of NTL in Yingshang County from 2014 to 2020

裕安区的产业园区较为集中，区域的夜间灯光增长量较大，6年间夜间灯光增长量为

6213.85 nW/(cm²·sr)，夜间灯光覆盖面积增长率达到116.75%。如图8所示，裕安区主城区南部地区

夜间灯光覆盖面积扩张较大，特别是工业、产业园区聚集区。平桥高新工业园区和新安工业集中区在2020年夜间灯光强度和夜间灯光覆盖面积都

大幅提高。除了园区夜间灯光强度有较大提升，区内各村镇中心的夜间灯光强度和夜间灯光覆盖面积都有快速增长。

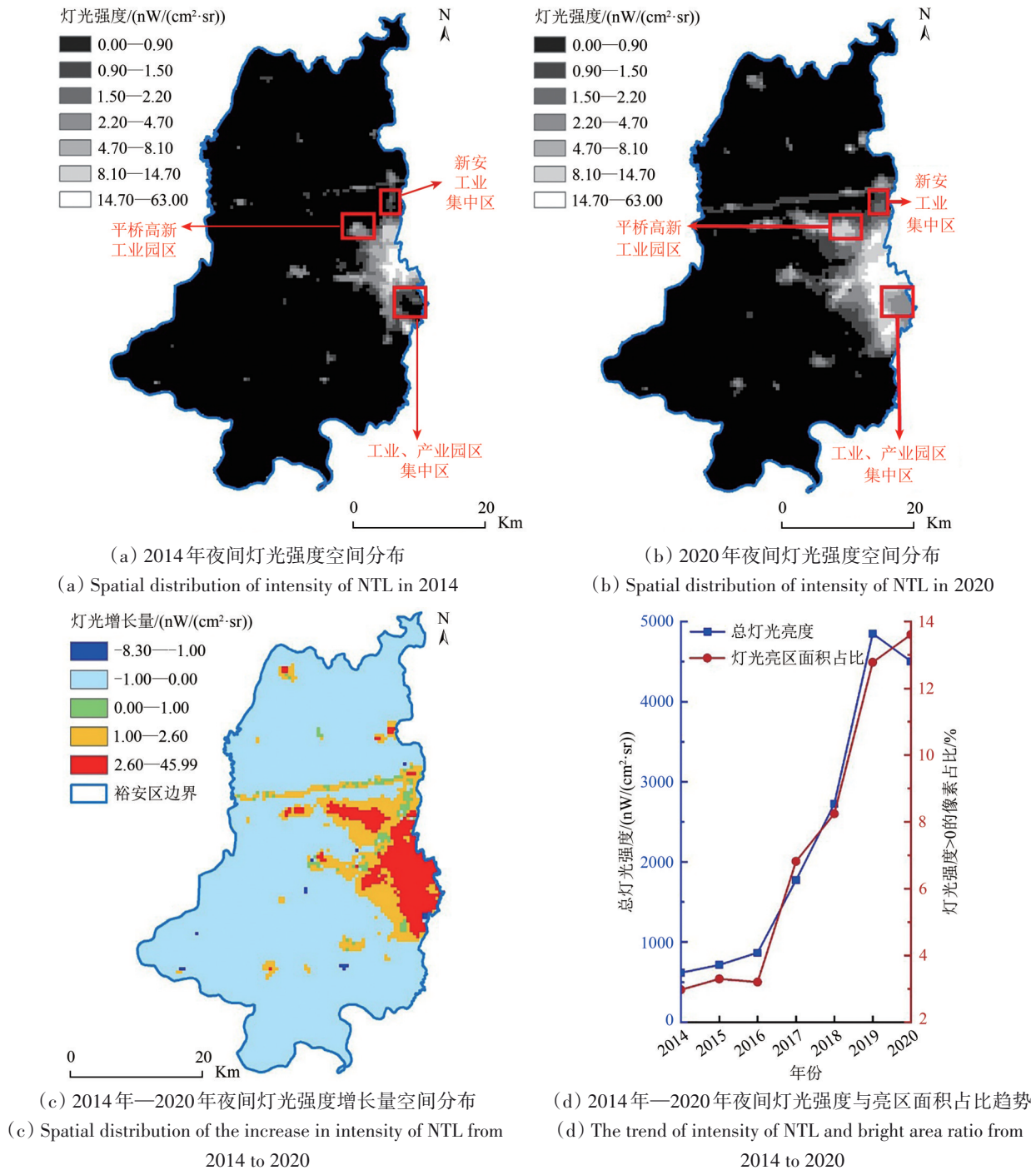


图8 2014年—2020年裕安区夜间灯光强度分布、增长量及所占比例

Fig. 8 Distribution of intensity, growth and proportion of NTL in Yuan County from 2014 to 2020

2014年以来临泉县县域夜间灯光增长了7808.76 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ ，是831个贫困县中夜间灯光增长量最大的县。临泉县夜间灯光覆盖面积增长

率达到454.11%。如图9所示，夜间灯光增长量较大的区域基本围绕着国道、省道、快速路分布，其中临泉县高铁站于2019年开始运行。区域夜间

灯光的快速增长与其扶贫期间大力推动基础设施建设密切相关。基础设施的完善可以改善群众的生产生活条件,为贫困县脱贫摘帽提供硬件支持。

道路作为一种重要的基础设施,其在夜间灯光影像上反映出的快速扩张特征,从侧面印证了县域基础设施扶贫的效果明显。

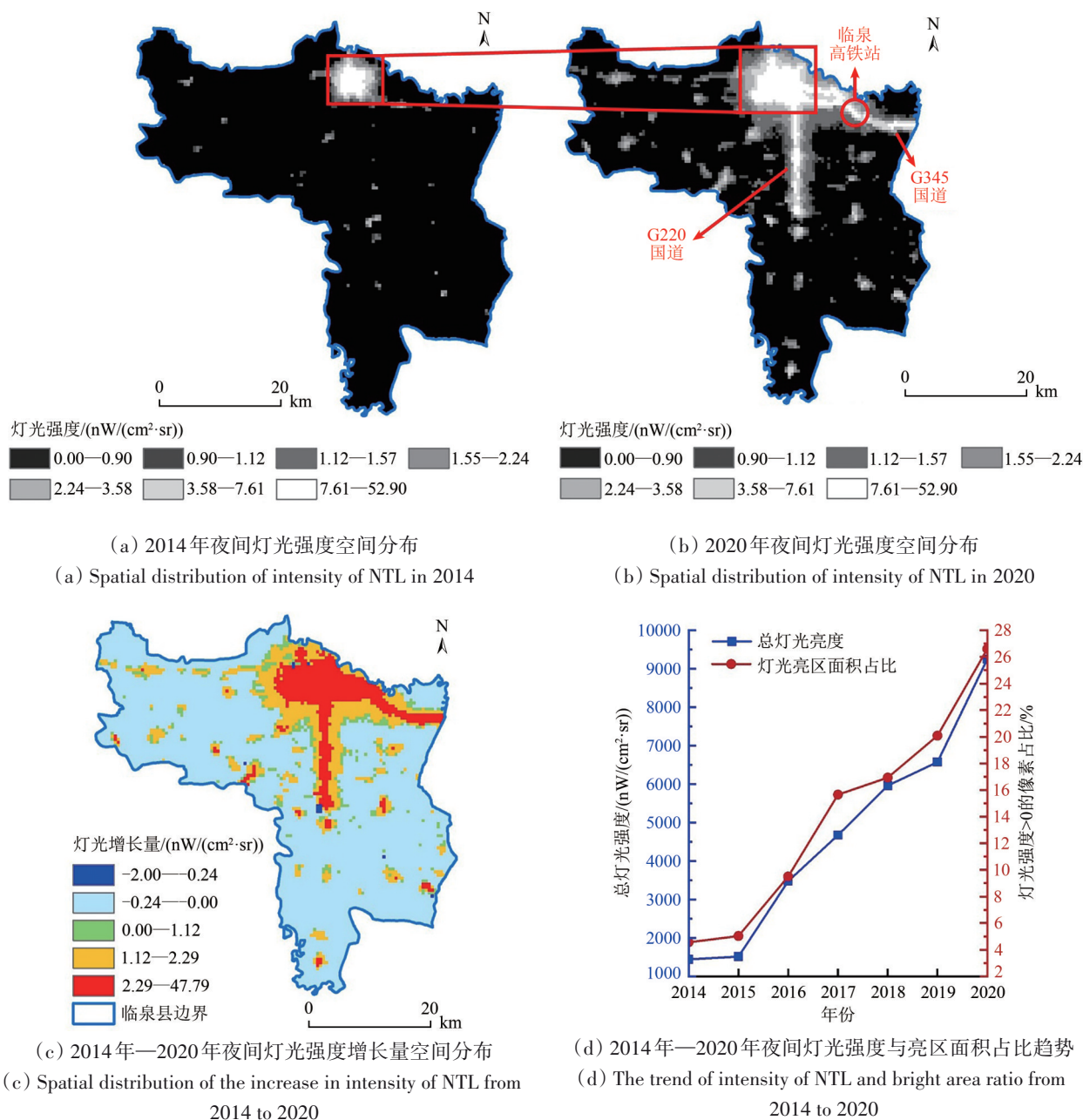


图9 2014年—2020年临泉县夜间灯光强度分布、增长量及所占比例

Fig. 9 Distribution of intensity, growth and proportion of NTL in Linquan County from 2014 to 2020

光伏扶贫是资产收益扶贫的有效形式,不仅拓宽了贫困人口的增收途径,同时促进了贫困地区的资源利用。如图10所示,泗县6年间夜间灯光增长了3887.19 $\text{nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$,夜间灯光覆盖面积增长较大,增长率达到368.98%。除主城区夜间灯光覆盖面积向外辐射扩张外,建立光伏扶贫基地

的各乡镇夜间灯光由暗变亮。

结合以上4个典型县的夜间灯光变化及减贫情况可以看出,实施基础设施扶贫、特色产业扶贫、资产收益扶贫(光伏扶贫)、易地搬迁扶贫的贫困县夜间灯光变化较为明显。

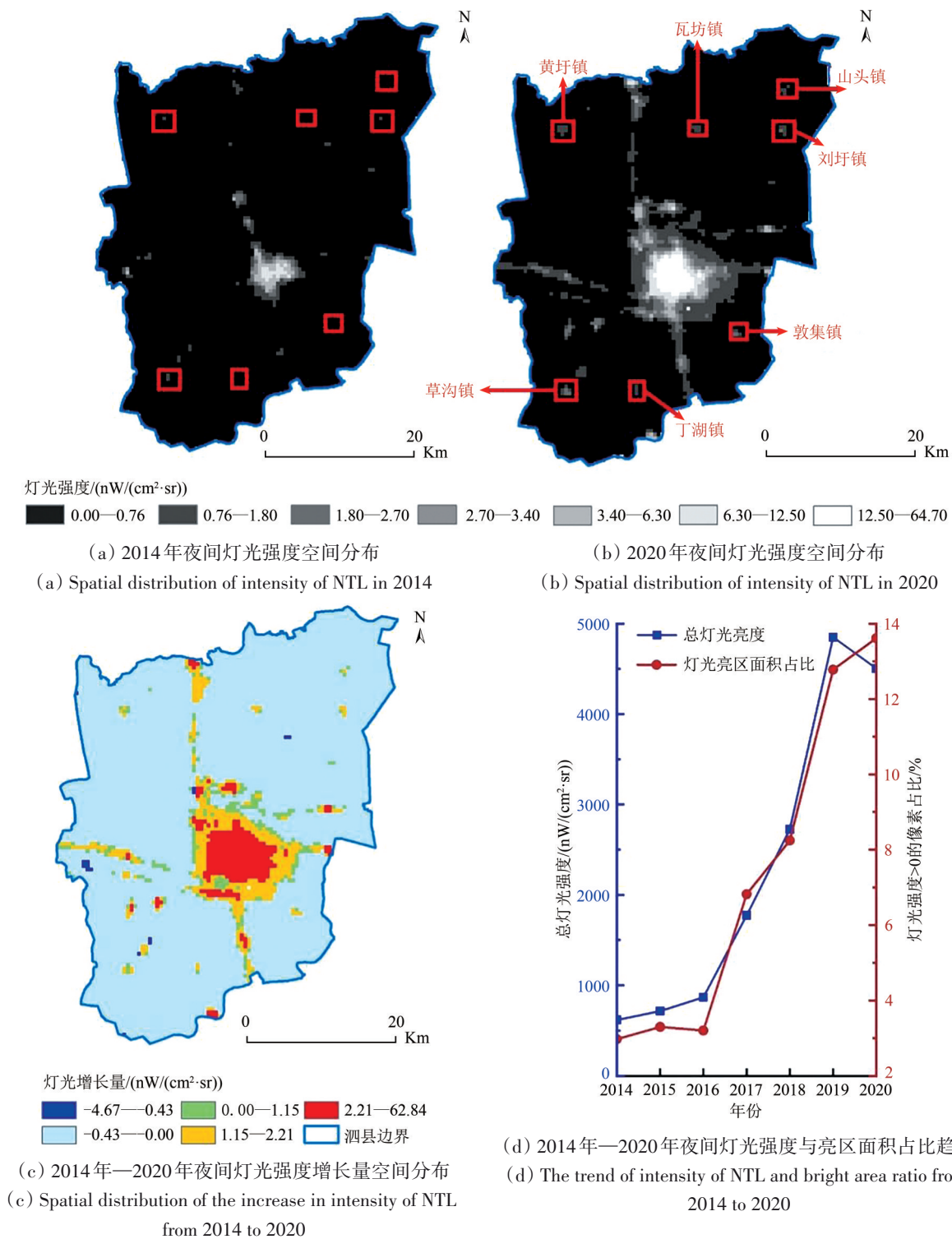


图 10 2014年—2020年泗县夜间灯光强度分布、增长量及所占比例
Fig. 10 Distribution of intensity, growth and proportion of NTL in Si County from 2014 to 2020

4.2 夜间灯光遥感对脱贫效果的评估

已有研究 (Elvidge等, 2009; Ghosh等, 2013; 李德仁和李熙, 2015; Bennett和Smith, 2017; 斯丽娟和王超群, 2020; Li等, 2020; 余柏漠等, 2021) 利用夜间灯光数据作为直接度量贫困的代理变量

并进行贫困度的测算。本研究发现, 831个国家级贫困县整体夜间灯光强度在6年间呈现快速增长趋势, 87%的国家级贫困县夜间灯光呈现了正向增长。基于上述分析, 本研究认为年际间的夜间灯光亮度变化可以在一定程度上反映出大部分地区的贫

困程度,进而反映该地区的减贫效果。但是值得注意的是,仍有108个县在精准扶贫阶段夜间灯光总量呈现负增长趋势。如图11所示,夜间灯光强度减小的县主要集中在西部地区。这108个贫困县2014年平均夜间灯光强度为 $848.21 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$,2020年降为 $733.75 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 。其中83个夜间灯光呈现负增长的贫困县属于集中连片特困区,主要位于秦巴山区(13个)和四省藏区(13个)、滇西边境山区(12个)、六盘山区(9个),而大兴安岭南麓山区所有贫困县夜间灯光均呈现正增长。108个夜间灯光负增长的贫困县中,39.8%的贫困县夜间灯光减少量较小(在 $0\sim 40 \text{ nW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 范

国内), 由于年际的夜间灯光数据存在一定程度上的误差, 因此这部分贫困县的夜间灯光强度可以被认为是未发生变化的。夜间灯光强度减小量较大的贫困县主要位于连片特困区交界处, 交界地区生态环境较为恶劣, 经济发展水平低, 且多是少数民族聚集区, 自我发展能力相对较差, 可能导致其减贫效果相对较差(王士君等, 2017)。另一方面的原因可能在于夜间灯光数据较为单一, 难以反映出部分减贫模式的减贫效果, 例如以生态扶贫、教育扶贫、健康扶贫等模式为主导的贫困县, 其减贫效果较难从夜间灯光的角度反映出来。

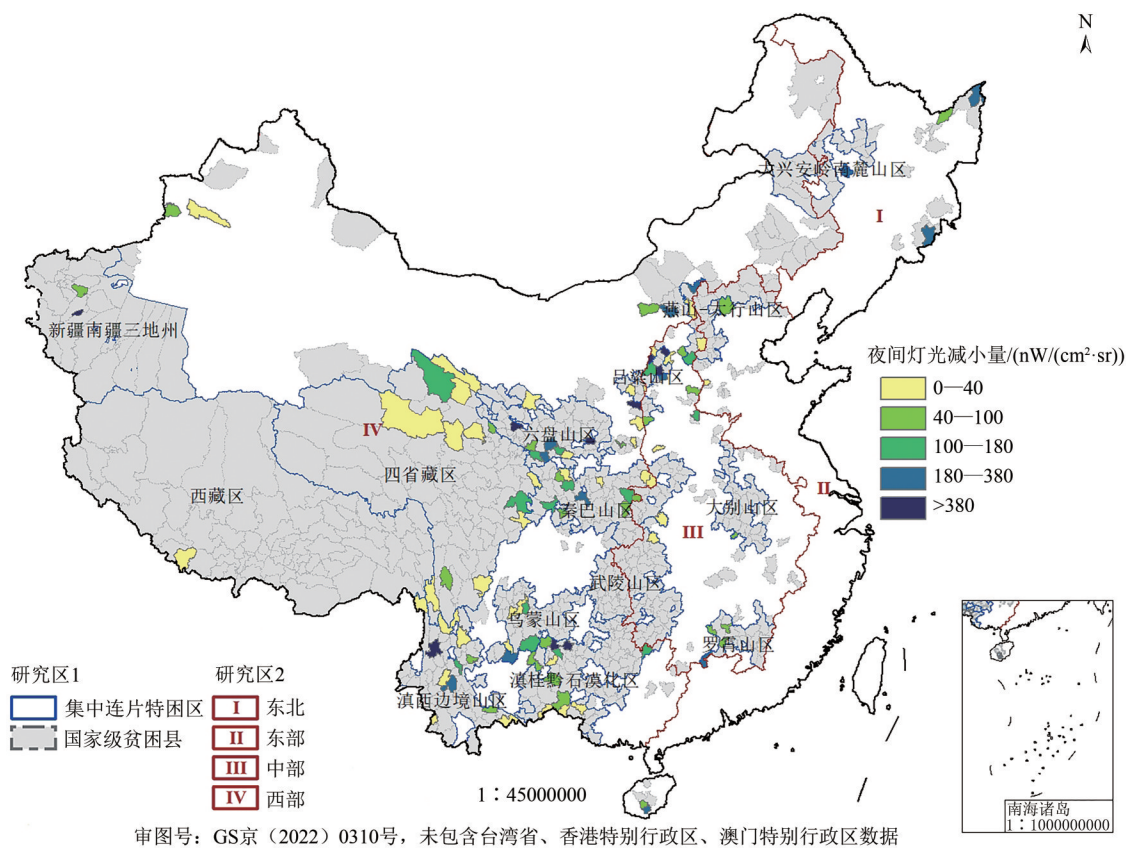


图 11 夜间灯光负增长贫困县灯光空间分布

Fig.11 NTL spatial distribution in poverty-stricken counties with negative growth

5 结 论

本文从夜间灯光的角度对中国在精准扶贫阶段的减贫效果展开研究,从国家级贫困县、集中连片特困区层面的夜间灯光时空分布特征分析全局、局部的减贫状况,同时探讨了夜间灯光变化与主导减贫模式之间的关系,主要结论如下:

(1) 本文通过对831个国家级贫困县夜间灯光

的时空动态变化情况进行研究，发现2014年以来国家级贫困县的经济水平得到显著提高，减贫效果突出。部分贫困县可能存在返贫风险。西部地区内部出现南北发展不平衡现象。其中，部分连片特困区和省级行政区交汇处的夜间灯光亮度仍呈现负增长。

(2) 依据 14 个集中连片特困地区夜间灯光基数大小及夜间灯光增速高低, 2014 年和 2020 年空

间分布显著类型(HH高高集聚和LL低低制约)主要分布在连片特困区交界处和省级行政边界交汇处,交界处的贫困县在发展过程中易被边缘化,但劣势区位未必会限制区域发展。

(3)进一步分析表明,实施基础设施扶贫、特色产业扶贫、资产收益扶贫(光伏扶贫)、易地搬迁扶贫四类减贫路径的贫困县夜间灯光变化明显。而以生态补偿扶贫、社会兜底保障扶贫、农业产业扶贫为主导减贫的贫困县减贫效果难以在夜间灯光上反映出来。

本文利用NPP-VIIRS夜间灯光遥感数据评估了精准扶贫阶段中国国家级贫困县和集中连片特困区两个尺度的减贫效果,但NPP-VIIRS夜间灯光数据的分辨率较低(500 m分辨率),不能用于更加精细尺度的研究,未来将利用分辨率更高的夜间灯光数据如吉林一号夜光遥感数据(0.92 m分辨率)在更加精细的尺度评估减贫效果。此外,本文使用的数据较为单一,不能全面的反映各类脱贫模式下的减贫效果,未来研究中可以进一步结合多源遥感数据研究减贫效果的时空分异规律,为2020年后国家的高质量减贫瞄准提供借鉴思路。

参考文献(References)

- Alkire S and Foster J. 2011. Counting and multidimensional poverty measurement. *Journal of Public Economics*, 95(7-8): 476-487 [DOI: 10.1016/j.jpubeco.2010.11.006]
- Alkire S and Santos M E. 2014. Measuring acute poverty in the developing world: robustness and scope of the multidimensional poverty index. *World Development*, 59: 251-274 [DOI: 10.1016/j.worlddev.2014.01.026]
- Bennett M M and Smith L C. 2017. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 192: 176-197 [DOI: 10.1016/j.rse.2017.01.005]
- Chen Z Q, Yu B L, Ta N, Shi K F, Yang C S, Wang C X, Zhao X Z, Deng S Q and Wu J P. 2019. Delineating seasonal relationships between Suomi NPP-VIIRS nighttime light and human activity across Shanghai, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(11): 4275-4283 [DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2916323]
- Chen Z Q, Yu B L, Yang C S, Zhou Y Y, Qian X J, Wang C X, Wu B and Wu J P. 2021. An extended time series (2000-2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration. *Earth System Science Data*, 13(3): 889-906 [DOI: 10.5194/essd-13-889-2021]
- Elvidge C D, Sutton P C, Ghosh T, Tuttle B T, Baugh K E, Bhaduri B and Bright E. 2009. A global poverty map derived from satellite data. *Computers & Geosciences*, 35(8): 1652-1660 [DOI: 10.1016/j.cageo.2009.01.009]
- Foster J, Greer J and Thorbecke E. 1984. A class of decomposable poverty measures. *Econometrica*, 52(3): 761-766 [DOI: 10.2307/1913475]
- Ghosh T, Anderson S J, Elvidge C D and Sutton P C. 2013. Using nighttime satellite imagery as a proxy measure of human well-being. *Sustainability*, 5(12): 4988-5019 [DOI: 10.3390/su5124988]
- He R W, Li G Q, Liu Y W, Li L N and Fang F. 2017. Theoretical analysis and case study on targeted poverty alleviation based on sustainable livelihoods framework: a case study of Liangshan Yi autonomous prefecture, Sichuan province. *Progress in Geography*, 36(2): 182-192 (何仁伟, 李光勤, 刘运伟, 李立娜, 方方. 2017. 基于可持续生计的精准扶贫分析方法及应用研究--以四川凉山彝族自治州为例. *地理科学进展*, 36(2): 182-192) [DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.02.005]
- Jean N, Burke M, Xie M, Davis W M, Lobell D B and Ermon S. 2016. Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*, 353(6301): 790-794 [DOI: 10.1126/science.aaf7894]
- Jia L R, Liu Y S, Liu J L and Li J T. 2018. Study on the poverty causes and aid demands of poor rural households in the concentrated poverty-stricken areas in China. *Human Geography*, 33(1): 85-93, 151 (贾林瑞, 刘彦随, 刘继来, 李进涛. 2018. 中国集中连片特困地区贫困户致贫原因诊断及帮扶需求分析. *人文地理*, 33(1): 85-93, 151) [DOI: 10.13959/j.issn.1003-2398.2018.01.011]
- Jin G, Deng X Z, Dong Y and Wu F. 2020. China's multidimensional poverty measurement and its spatiotemporal interaction characteristics in the perspective of development geography. *Acta Geographica Sinica*, 75(8): 1633-1646 (金贵, 邓祥征, 董寅, 吴锋. 2020. 发展地理学视角下中国多维贫困测度及时空交互特征. *地理学报*, 75(8): 1633-1646) [DOI: 10.11821/dlxb202008006]
- Levin N. 2017. The impact of seasonal changes on observed nighttime brightness from 2014 to 2015 monthly VIIRS DNB composites. *Remote Sensing of Environment*, 193: 150-164 [DOI: 10.1016/j.rse.2017.03.003]
- Li C S, Yang W N, Tang Q L, Tang X L, Lei J J, Wu M Y and Qiu S Y. 2020. Detection of multidimensional poverty using Luojia 1-01 nighttime light imagery. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(7): 963-977 [DOI: 10.1007/s12524-020-01126-3]
- Li D R and Li X. 2015. An overview on data mining of nighttime light remote sensing. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 44(6): 591-601 (李德仁, 李熙. 2015. 论夜光遥感数据挖掘. *测绘学报*, 44(6): 591-601) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2015.20150149]
- Liu Y H and Xu Y. 2015. Geographical identification and classification of multi-dimensional poverty in rural China. *Acta Geographica Sinica*, 70(6): 993-1007 (刘艳华, 徐勇. 2015. 中国农村多维贫困

- 地理识别及类型划分. 地理学报, 70(6): 993-1007 [DOI: 10.11821/dlxb201506012]
- Liu Y S and Li J T. 2017. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China. *Acta Geographica Sinica*, 72(1): 161-173 (刘彦随, 李进涛. 2017. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策. 地理学报, 72(1): 161-173) [DOI: 10.11821/dlxb201701013]
- Ma T, Zhou C H, Pei T, Haynie S and Fan J F. 2012. Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: a comparative case study from China's cities. *Remote Sensing of Environment*, 124: 99-107 [DOI: 10.1016/j.rse.2012.04.018]
- Noor A M, Alegana V A, Gething P W, Tatem A J and Snow R W. 2008. Using remotely sensed night-time light as a proxy for poverty in Africa. *Population Health Metrics*, 6(1): 5 [DOI: 10.1186/1478-7954-6-5]
- Sen A. 1976. Poverty: An ordinal approach to measurement. *Econometrica*, 44(2): 219-231 [DOI: 10.2307/1912718]
- Shen Y Y, Alkire S and Zhan P. 2018. China's multidimensional poverty 2010—2014: calculation and decomposition. *Nankai Economic Studies*, (5): 3-18 (沈扬扬, Alkire S, 詹鹏. 2018. 中国多维贫困的测度与分解. 南开经济研究, (5): 3-18) [DOI: 10.14116/j.nkes.2018.05.001]
- Shi K F, Chang Z J, Chen Z Q, Wu J P and Yu B L. 2020. Identifying and evaluating poverty using multisource remote sensing and point of interest (POI) data: a case study of Chongqing, China. *Journal of Cleaner Production*, 255: 120245 [DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120245]
- Shi K F, Huang C, Yu B L, Yin B, Huang Y X and Wu J P. 2014a. Evaluation of NPP-VIIRS night-time light composite data for extracting built-up urban areas. *Remote Sensing Letters*, 5(4): 358-366 [DOI: 10.1080/2150704X.2014.905728]
- Shi K F, Yu B L, Huang Y X, Hu Y J, Yin B, Chen Z Q, Chen L J and Wu J P. 2014b. Evaluating the ability of NPP-VIIRS nighttime light data to estimate the gross domestic product and the electric power consumption of China at multiple scales: a comparison with DMSP-OLS data. *Remote Sensing*, 6(2): 1705-1724 [DOI: 10.3390/rs6021705]
- Shorrocks A F. 1995. Revisiting the Sen poverty index. *Econometrica*, 63(5): 1225-1230 [DOI: 10.2307/2171728]
- Si L J and Wang C Q. 2020. The measurement of regional poverty alleviation quality and its spatio-temporal evolution: a study based on night-time light data in poor counties. *Journal of Macro-Quality Research*, 8(6): 28-38 (斯丽娟, 王超群. 2020. 区域扶贫质量测度及其时空演变--基于贫困县夜间灯光数据的研究. 宏观质量研究, 8(6): 28-38) [DOI: 10.13948/j.cnki.hgzlyj.2020.06.03.003]
- Wang C L, Zhou W and Yuan T. 2018. Development in poor counties of China based on nighttime lighting data. *Remote Sensing Information*, 33(6): 97-102 (王成力, 周伟, 袁涛. 2018. 夜间灯光数据下的中国贫困县发展状况. 遥感信息, 33(6): 97-102)
- Wang C X, Yu B L, Chen Z Q, Liu Y, Song W, Li X, Yang C S, Small C, Shu S and Wu J P. 2022. Evolution of urban spatial clusters in China: a graph-based method using nighttime light data. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(1): 56-77 [DOI: 10.1080/24694452.2021.1914538]
- Wang S J, Tian J F, Wang B Y, Cheng L S and Du G M. 2017. Regional characteristics and causes of rural poverty in northeast China from the perspective of targeted poverty alleviation. *Scientia Geographica Sinica*, 37(10): 1449-1458 (王士君, 田俊峰, 王彬燕, 程利莎, 杜国明. 2017. 精准扶贫视角下中国东北农村贫困地域性特征及成因. 地理科学, 37(10): 1449-1458) [DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.10.001]
- Yu B L, Shi K F, Hu Y J, Huang C, Chen Z Q and Wu J P. 2015. Poverty evaluation using NPP-VIIRS nighttime light composite data at the county level in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(3): 1217-1229 [DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2399416]
- Yu B L, Shu S, Liu H X, Song W, Wu J P, Wang L and Chen Z Q. 2014. Object-based spatial cluster analysis of urban landscape pattern using nighttime light satellite images: a case study of China. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11): 2328-2355 [DOI: 10.1080/13658816.2014.922186]
- Yu B L, Wang C X, Gong W K, Chen Z Q, Shi K F, Wu B, Hong Y C, Li Q X and Wu J P. 2021. Nighttime light remote sensing and urban studies: data, methods, applications, and prospects. *National Remote Sensing Bulletin*, 25(1): 342-364 (余柏漠, 王丛笑, 宫文康, 陈佐旗, 施开放, 吴宾, 洪宇辰, 李乔玄, 吴健平. 2021. 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, 25(1): 342-364) [DOI: 10.11834/jrs.20211018]
- Zhao X Z, Yu B L, Liu Y, Chen Z Q, Li Q X, Wang C X and Wu J P. 2019. Estimation of poverty using random forest regression with multi-source data: a case study in Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(4): 375 [DOI: 10.3390/rs11040375]
- Zhou Y, Guo Y Z and Liu Y S. 2018. Comprehensive measurement of county poverty and anti-poverty targeting after 2020 in China. *Acta Geographica Sinica*, 73(8): 1478-1493 (周扬, 郭远智, 刘彦随. 2018. 中国县域贫困综合测度及2020年后减贫瞄准. 地理学报, 73(8): 1478-1493) [DOI: 10.11821/dlxb201808007]

Spatiotemporal variations in nighttime lights in poverty-stricken counties in China

HUA Jing^{1,2}, WU Bin^{1,2}, CHEN Zuoqi^{3,4}, YANG Chengshu^{1,2}, TANG Xi^{1,2}, SUN Feiran^{1,2},
WU Jianping^{1,2}, YU Bailang^{1,2}

1. Key Laboratory of Geographic Information Science (Ministry of Education), East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

3. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China;

4. The Academy of Digital China, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China

Abstract: Poverty is a major problem faced by developing countries. As the world's largest developing country, China has been committed to poverty eradication. 2020 is the final year of China's comprehensive victory in the war against poverty. At present, China has entered the post-poverty era, and the reasonable assessment of the poverty reduction effect is the focus of the acceptance work at this stage, which is of great significance to explore a long-term mechanism for solving relative poverty. The county-level geographical unit is the basic unit for China to formulate and implement the macro and micro policies and strategies for regional poverty reduction. Concentrated contiguous poverty-stricken areas concentrated in mountainous areas, old revolutionary base areas, and areas with poor natural resource endowment, with large internal development differences, belong to the most disaster-hit areas of poverty in China. After synthesizing an annual dataset of NPP-VIIRS nighttime light (NTL) data from 2014 to 2020, we developed a county-level NTL index to investigate the poverty reduction effects of 831 national level poverty-stricken counties and 14 concentrated contiguous poverty-stricken areas in China. The economic level of most poverty-stricken counties in China improved significantly during the study period, and the poverty reduction effect was prominent. However, 108 poverty-stricken counties still suffer from negative growth in terms of NTL intensity; these counties are located mainly at the junction of concentrated and contiguous poverty-stricken areas in the western region. The border area, mainly inhabited by ethnic minorities, has a poor ecological environment, a low level of economic development, and a relatively poor self-development ability, which may lead to a relatively poor poverty reduction effect. In addition, the NTL intensity development between the northern and southern parts of the western region is unbalanced. The growth rate of NTL in poor counties decreased from the east to the middle and western regions. In terms of the overall poverty alleviation trend, there was a period of rapid development in poor counties in the year before the declaration of poverty alleviation. However, after the declaration of poverty alleviation, the intensity of NTL decreased, the speed of poverty reduction slowed down, and there may be a risk of returning to poverty in some poor counties. Four NTL development modes, i.e., a small NTL base with a rapid growth rate (mode I), a large NTL base with a rapid growth rate (mode II), a large NTL base with a slow growth rate (mode III), and a small NTL base with a slow growth rate (mode IV), were identified in the 14 concentrated contiguous poverty-stricken areas. The high- and low-restriction modes were distributed at the junction areas of the different provincial administrative boundaries. In addition, poor counties along the border are vulnerable to marginalization. Further analysis indicated that significant NTL changes are apparent in the poverty-stricken counties, as demonstrated by their four poverty alleviation paths including infrastructure poverty alleviation, characteristic industry poverty alleviation, asset income poverty alleviation (photovoltaic poverty alleviation), and relocation poverty alleviation. However, the poverty reduction effect of poverty-stricken counties that take ecological compensation poverty alleviation, social guarantee poverty alleviation, and agricultural industry poverty alleviation as the leading poverty reduction methods are difficult to reflect in the NTL.

Key words: nighttime lights (NTL), NPP-VIIRS, national level poverty-stricken counties, concentrated contiguous poverty-stricken areas, spatiotemporal variations, poverty reduction

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41871331, 41801343, 42001357); Shanghai Sailing Program (No. 19YF1413800); Director's Fund of Key Laboratory of Geographic Information Science (Ministry of Education) of East China Normal University (No. KLGIS2021C01); Fundamental Research Funds for the Central Universities