



武汉大学学报(信息科学版)

Geomatics and Information Science of Wuhan University

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析
作者: 张霖, 李熙
DOI: 10.13203/j.whugis20210057
收稿日期: 2021-01-05
网络首发日期: 2021-04-09
引用格式: 张霖, 李熙. 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析. 武汉大学学报(信息科学版). <https://doi.org/10.13203/j.whugis20210057>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI:10.13203/j.whugis20210057

引用格式：

张霖，李熙. 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版，2021，DOI: 10.13203/j.whugis20210057 (ZHANG Lin, LI Xi. Analyzing Disparity of Regional Development in Pakistan Under Perspective of Night-Time Light Remote Sensing [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20210057)

夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析

张霖¹，李熙¹

¹ 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室，湖北 武汉，430079

摘要：获得巴基斯坦的区域发展规律对于支持中巴经济走廊建设具有参考意义。本文基于美国国家极轨环境卫星夜光遥感影像，分别使用夜光变化率、Mann-Kendall (MK) 趋势检验法和位序-规模法则三种方法研究巴基斯坦省级/城市级、地理格网级以及东-西地带三个地理尺度下的夜光变化规律。分析显示，在2012年至2019年间，巴基斯坦的夜光增长率为47.96%，各省级区域均有不同程度的发展，其夜光增长率均大于15%；根据MK趋势检验，在5公里地理格网尺度下，旁遮普省是拥有夜光上升趋势地理单元最多(1905个)的省，而信德省是拥有夜光总量下降趋势格网最多(338个)的省；此外，根据城市夜光的位序-规模分析，无论是东部地带还是西部地带的帕累托指数都在逐步缩小，说明巴基斯坦城市结构层次间的差距正在逐渐缩小，整个地区的城市规模发展日趋平衡。此外，缺乏稳定的电力供应可能是部分地区夜光亮度偏低的原因。本研究在长时间序列、多空间尺度下揭示了巴基斯坦的区域发展规律，可以为中巴经济走廊的规划提供一定的科学依据。

收稿日期：2021-01-05

项目资助：国家重点研发计划项目(2019YFE0126800)；国家自然科学基金(41771386)

第一作者：张霖，硕士生，主要研究方向为夜光遥感。Lynnzhang@whu.edu.cn

通讯作者：李熙，博士，副教授，主要研究方向为夜光遥感。lixixi@whu.edu.cn

关键词：夜光遥感；Mann-Kendall 趋势检验；位序-规模法则；巴基斯坦；区域发展

2013 年 5 月，李克强总理在访问巴基斯坦时正式提出“中巴经济走廊远景规划”，其初衷是加强中巴之间交通、能源、海洋等领域的交流与合作，加强两国互联互通，促进两国共同发展。加速推进中巴经济走廊建设，确保经济走廊尽快建设完成，进一步提高中巴两国的综合实力，是中巴两国的一项重要任务^[1]。然而，由于受自然、社会经济条件等诸多因素的影响，巴基斯坦在历史上就存在着区域发展不平衡的现象，即东部地区相对发达，西部地区欠发达。在此背景下，中巴经济走廊建设的未来期待与现实发展情况形成了一定反差，因此有必要对巴基斯坦区域发展差异进行深入研究^[2-4]。

在区域发展差异研究方面，各国学者主要以社会经济统计数据为基础，采用各种统计方法来分析不同国家的区域发展差异大小及其变动趋势。如 Chen 和 Fleisher^[5]使用面板数据模型和索罗增长模型等方法研究了中国各省份之间的区域平衡性问题；Dusek 等人^[6]使用多因素指数法，对匈牙利的经济社会发展的现状进行时空演变的研究，并对匈牙利的经济社会发展演化做出一定程度的规律总结。潘竟虎等人^[7]基于 ESDA 全局和局部空间自相关分析，利用甘肃省 2004 年县域人均 GDP（Gross Domestic Product）数据，对甘肃省县域经济之间的总体和局部空间差异进行了实证分析。随着相关研究的研究范围逐步缩小，国家内部某一地区内的研究成为了热点，如缪鑫辉等人^[8]基于 2017 年浙江省 73 个县域的 16 个经济指标，对浙江省县域经济发展水平及空间分异特征进行了分析。蒲英霞等人^[9]基于江苏省人均 GDP 数据，对 1978-2002 年江苏省县域总体和局部空间差异的变化趋势、特征与成因进行了初步探索。

在巴基斯坦经济社会研究方面，目前已有学者针对巴基斯坦的国内安全形式和对外贸易进行了相关研究，如芦鹏等人^[10]以中巴经济走廊规划途经的 15 个主要节点城市为分析对象，利用数据统计分析和数据关系挖掘分析恐怖袭击数据库（GTD），评估巴基斯坦东西部地区

总体安全形势。高志刚等人^[11]运用 2008—2013 年中国与 15 个贸易伙伴国相关变量的面板数据, 构建时变随机前沿引力模型, 从双边贸易和出口贸易两个层面分析中巴贸易效率并测算贸易潜力。

但纵观以上研究, 不难发现其几乎不能脱离统计数据的支撑, 分析对象也不能脱离行政区域单元的界限。而随着遥感技术的不断发展, 遥感影像这种具有空间连续性的数据源被广泛应用于区域发展研究。其中, 夜光遥感影像的运用为许多问题的解决提供了新的思路。夜光遥感影像不仅和人类活动存在较高的相关性, 且具备时空连续、独立客观等优势, 可以作为良好的社会经济代理变量, 目前已被广泛应用于区域发展^[12-18]、城市化监测^[19-21]、电力消费估算^[22]、灾难和灾害评估^[18, 23]等各个领域之中。因此, 本文使用 VIIRS 夜光遥感影像, 分析巴基斯坦 2012 年至 2019 年区域经济空间演化模式, 评估区域经济发展差异, 以期对中巴走廊发展提供参考。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

巴基斯坦, 全称巴基斯坦伊斯兰共和国(图 1), 位于南亚次大陆西北部, 南濒阿拉伯海和阿曼湾, 拥有 1046 公里的海岸线, 东部与印度、阿富汗西部、伊朗西部、中国西北部接壤。巴基斯坦(不含巴控克什米尔地区)的领土面积为 7.961 万平方公里。本文研究区域为巴基斯坦(不含巴控克什米尔地区)在内的 4 个省, 即开伯尔-普什图省(开普省)、旁遮普省、俾路支省和信德省, 以及 2 个省级直辖地区, 即首都伊斯兰堡和联邦直辖部落地区。



图 1 研究区域行政区划

Fig.1 The Administrative Regions of Pakistan

1.2 夜光遥感数据

本文使用美国科罗拉多矿业学院提供的 VIIRS 月合成夜光遥感影像 (https://eogdata.mines.edu/download_dnb_composites.html), 研究区的夜光遥感影像如图 2 所示。VIIRS 影像与上一代 DMSP/OLS 影像相比, 不仅具有更高的空间分辨率, 更宽的辐射范围, 且经过了星上辐射定标, 能够更为精细地反映地表人类社会经济活动的空间信息^[24-26]。VIIRS 月合成数据产品有“VCM”和“VCMSL”2 种类型。“VCM”影像完全去除了受到杂散光影响的像元; 而“VCMSL”影像对受到杂散光影响的像元进行了杂散光矫正, 因此其覆盖范围较“VCM”数据更宽, 但其影像质量相对“VCM”影像较差。为保证研究结果的准确性, 本文选取“VCM”类型的 VIIRS 月合成数据。

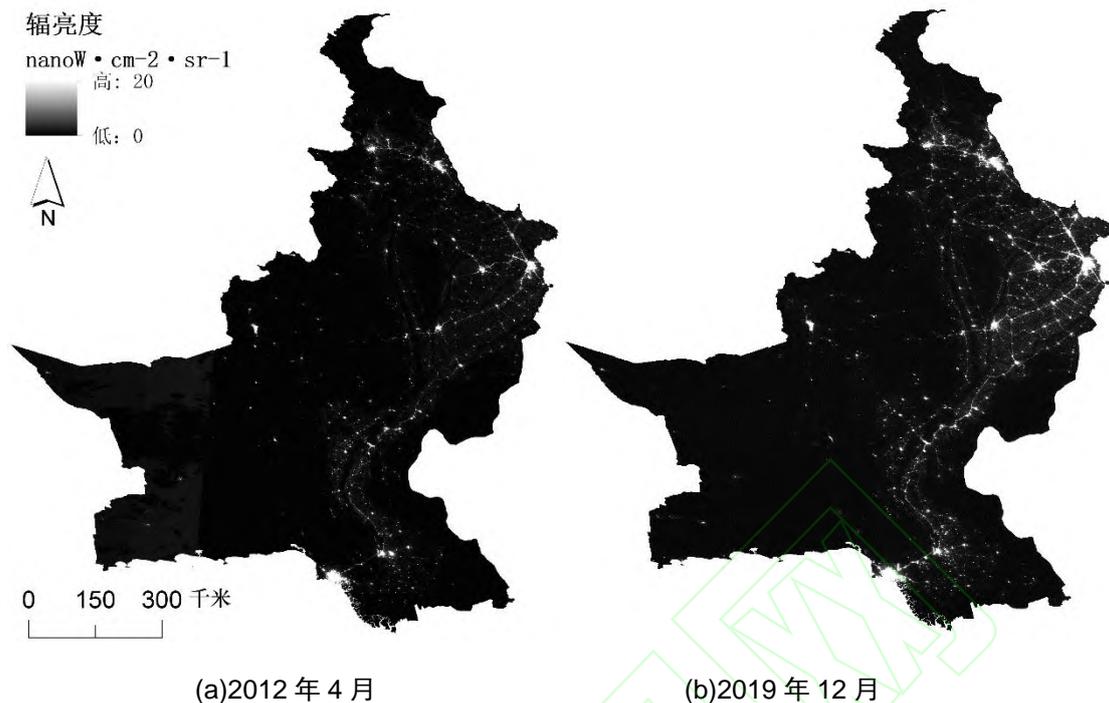


图 2 巴基斯坦夜光遥感影像

Fig.2 Night-time Light Remote Sensing Images of Pakistan

1.3 辅助数据

本研究的辅助数据包括地方人类发展指数数据集(<https://globaldatalab.org/shdi/>)与巴基斯坦行政区划矢量数据(<https://gadm.org/data.html>)。地方人类发展指数数据集包含了健康水平、收入水平和教育水平三大方面在内的 9 项指标的省级数据, 本文使用其中的巴基斯坦省级人均 GNI (Gross National Income) 数据和省级人口总量数据, 其中 GNI 指数是基于平价购买力 (Purchasing Power Parity, PPP) 的 GNI 指数。巴基斯坦行政区划矢量数据包含了省级行政区划矢量数据和地区级行政区划矢量数据。

1.4 数据预处理

在降水频发地区, 由于降水或云层的影响, VIIRS 月合成夜光遥感影像中有些像元存在

数据缺失的情况。因此，在使用之前需要对这些像元进行补值。本文使用 Savitzky-Golay (SG) 滤波算法对缺失像元进行修复，该滤波已被广泛用于遥感时序数据进行拟合与重建^[27-29]。通过多次实验对比后，本文使用多项式阶次为 3，滑动窗口大小为 7 的 SG 滤波法对研究区域进行夜光影像的质量修复。图 3 可以看出，像元的原始值曲线中存在着大量不规则波动，经过 SG 滤波拟合后，各月份之间原始值的差距被缩小，曲线变得更为平滑，噪声带来的影响也显著减小，图 4 为部分地区的补值前后 VIIRS 遥感影像对比图。

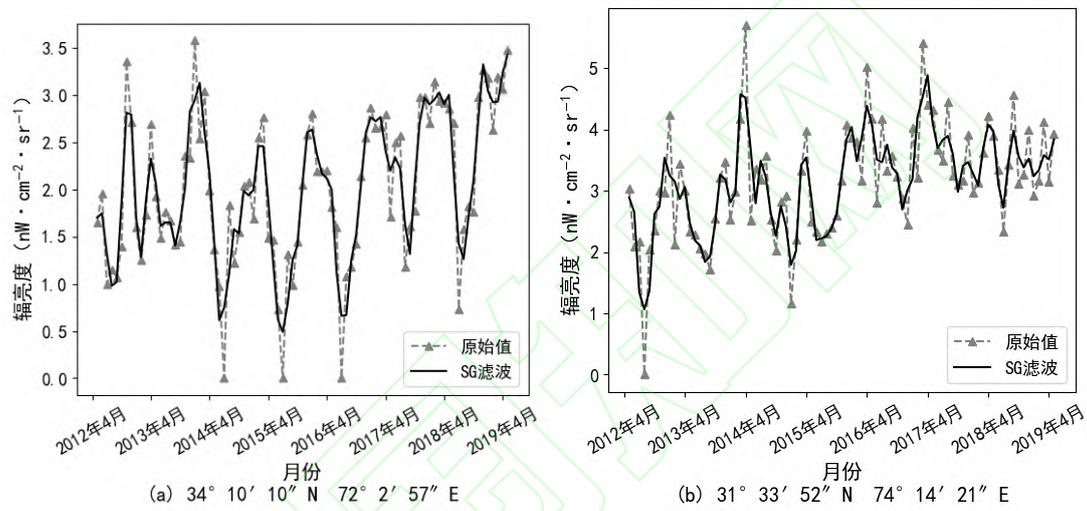
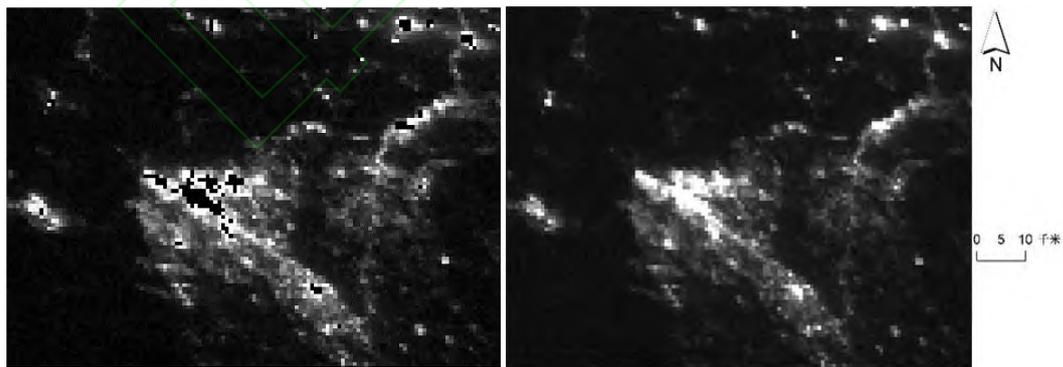


图 3 SG 滤波像元修复效果

Fig.3 Pixel Repair Results of SG Filter



(a) 补值前(b)补值后

图 4 2019 年 5 月本奴地区夜光遥感影像补值前后对比

Fig.4 Comparison Before and After Complement of Night-time Light Remote Sensing Image in

从时间序列来看(图 3)，VIIRS 月度数据存在一定程度的季节波动，其产生主要是受地表面反射率，植物物候学和大气成分的季节性变化的影响^[30]。因科罗拉多矿业学院只公布了 2012 年 4 月之后的 VIIRS 月合成夜光遥感影像，为了避免季节波动对研究结果的影响，本文将 2012 年至 2019 年间每年 4 月至 12 月的 VIIRS 月合成夜光遥感影像求平均值，生成巴基斯坦 VIIRS 年度夜光遥感影像。然后将行政区划矢量数据、夜光遥感年均值影像投影至古德陆地等面积投影坐标系，并将夜光遥感年均值影像重采样至 500 米分辨率。此外，由于 VIIRS 数据产品并未去除陆地反射月光，在重采样后，还需要去除 VIIRS 影像的背景值。本文依照经验设定 $0.5 \text{ nanoW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 为一个较为合适的阈值，将影像上所有像元的夜光值均减去此值，并将夜光值为负的像元归为 0。

由于巴基斯坦官方未公布各省/特区的 GDP 总量，本文将地方人类发展指数数据集中的巴基斯坦省级人均 GNI 和省级人口总量进行相乘，估算巴基斯坦各省级区域 2012-2019 年的省级 GNI 总量，以 GNI 总量为经济指标来评价巴基斯坦的经济发展情况。

2 研究方法

2.1 夜光总量与 GNI 关系分析

为了证明夜光对于反映巴基斯坦的经济情况是一个有效的代理变量，本文将巴基斯坦 6 个省级区域的夜光总量 (Sum of Light, SOL) 作为自变量，GNI 总量作为因变量，进行一次线性拟合。其中，夜光总量的计算如公式 (1)，一次线性模型的公式如 (2)：

$$SOL = \sum_{i=1}^n L_i \quad (1)$$

$$GNI_j = a * SOL_j + b \quad (2)$$

式中： L_i 为某区域的第 i 个像元的夜光辐亮度值； n 为区域内的像元总数， SOL 为区域夜光总量， GNI 为区域的 GNI 。

2.2 夜光变化率分析

为了定量分析巴基斯坦不同区域的夜光变化程度，本文使用夜光变化率（Night-time Light Change Ratio, $NLCR$ ）：

$$NLCR = \frac{SOL_{2019} - SOL_{2012}}{SOL_{2012}} \quad (3)$$

其中， SOL_{2012} 表示在某区域 2012 年的夜光总量， SOL_{2019} 表示在某区域 2019 年的夜光总量。当 $NLCR > 0$ 时，表示该地区在 2012 年至 2019 年夜光总量增长；当 $NLCR < 0$ 时，表示该地区在 2012 年至 2019 年间夜光总量下降，意味着该区域可能出现了衰退。

2.3 Mann-Kendall 趋势检验

夜光变化率的计算只涉及研究时间的起始年份和结束年份的信息，忽略了时段内的信息。因此，作为夜光变化率的有效补充，本文使用 Mann-Kendall (MK) 趋势检验法分析 2012 年至 2019 年间巴基斯坦的月度夜光总量的变化趋势。MK 趋势检验能有效区分某一自然过程是处于自然波动还是存在确定的变化趋势^[31]。在 MK 检验中，统计量 Z 等于：

$$\begin{cases} Z = (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}, S > 0 \\ Z = 0, S = 0 \\ Z = (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18}, S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中 S 为：

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j) \quad (5)$$

其中, $\text{sign}()$ 为符号函数。对于置信水平 α , 若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$, 则夜光总量时间序列存在明显趋势。 Z 为正值表示上升趋势, 负值表示下降趋势。

2.4 基于位序-规模法则的差异分析

区域发展的非均衡性一直是区域研究的重点, 传统的基尼系数、泰尔系数等方法主要是测度区域发展差异, 难以反映区域发展规模是否均衡分布。位序-规模法则最早用来考察城市规模的分布规律, 体现的是城市规模从大到小的位序与规模的关系, 不仅可以测度区域发展差异, 也为发展程度的空间分布集散识别提供了模型支撑。本文使用位序-规模法则来度量巴基斯坦整体的区域发展是否均衡, 同时也度量省级区域的发展是否均衡。在实证分析中, 通常对位序-规模函数两边取对数, 其表达式为:

$$\ln P_i = \ln P_1 - q \ln R_i \quad (6)$$

式中, P_i 为 i 地区的夜光总量, R_i 为 i 地区夜光总量在研究区域内的位序, P_1 为研究区范围内首位地区的夜光总量, q 为帕累托指数。 $q > 1$ 表示研究区域内区域发展规模分布集中, 说明大城市较为发达, 小城市发展不足, q 值越大, 分布越集中; $q < 1$ 表示研究区范围内区域发展规模分布均衡, 说明城市规模分布较为分散, 大城市发展不够突出, 小城市发展较好, q 值越小, 分布越均衡。

3 结果与分析

3.1 夜光和经济参数的关系

巴基斯坦 6 个省级区域夜光总量和 GNI 的线性拟合表明 (图 5), 每年的 GNI 和夜光的拟合 R^2 皆大于 0.68 ($P < 0.01$)。因此, 夜光总量是巴基斯坦社会经济参数的合理代理变量,

可以使用夜光总量作为数据源，对巴基斯坦的区域发展差异进行评估。

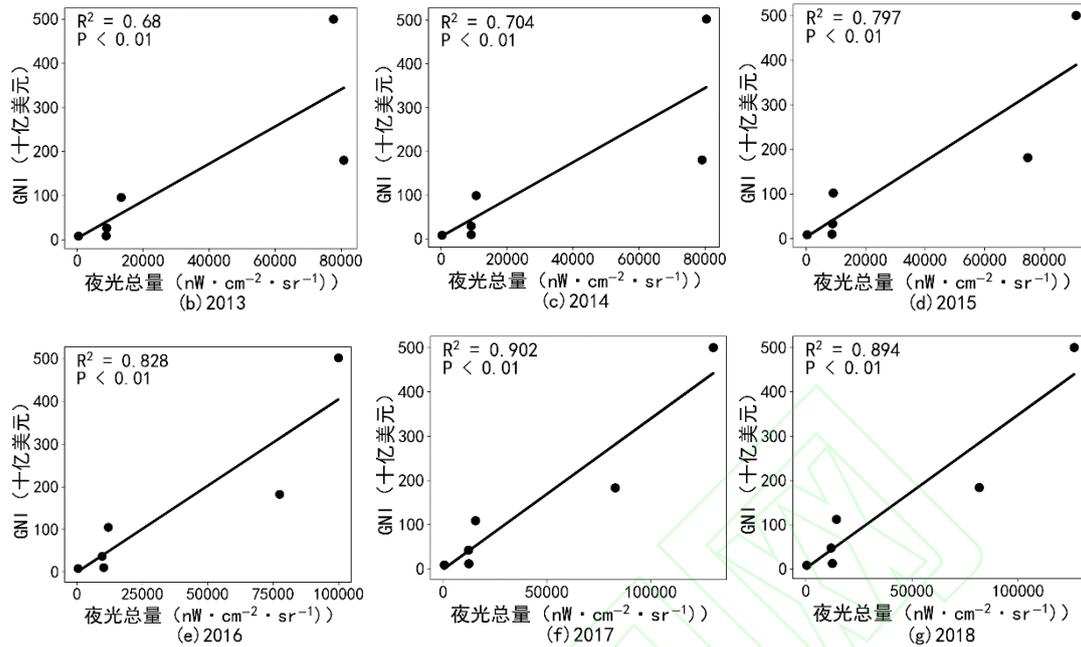


图 5 巴基斯坦 6 个省级区域夜光与 GNI 总量的一次线性拟合

Fig.5 Linear Fitting of Night-time Light and GNI in 6 Provinces/Special Zone of Pakistan

3.2 行政区划的夜光变化率

巴基斯坦 6 个省级区域的夜光变化率计算结果表明，在 2012 年至 2019 年间，各区域的夜光总量都有一定程度增长，见表 1。这意味着在这八年间巴基斯坦整体的经济有一定程度的发展。旁遮普省的夜光增长率遥遥领先，其次分别为伊斯兰堡、联邦直辖部落地区、俾路支省、开伯尔-普什图省和信德省。此外，所有十大城市的夜光总量在 2012 年至 2019 年均呈现出增长的态势，见表 2。古伊兰瓦拉的夜光增长率遥遥领先，高达 128.81%，随后分别为费萨拉巴德 88.90%、拉瓦尔品第 87.63%、拉合尔 75.81%、伊斯兰堡 64.52%。

表 1 巴基斯坦 6 个省级区域 2012-2019 年间夜光变化率

Tab.1 The Night-time Light Change Ratio of 6 Provinces/Special Zones in Pakistan from 2012 to 2019

区域	夜光总量 ($\text{nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)		夜光增长规模	夜光变化率 (%)
	2012 年	2019 年		
旁遮普省	71497.5	133256.9	61759.4	86.38
伊斯兰堡	8436.1	13856.3	5420.2	64.25
联邦直辖部落地区	293.2	396.4	103.2	35.18
俾路支省	9827.1	12723.7	2896.5	29.47
开普省	13939.8	17548.8	3609.0	25.89
信德省	72646.3	83572.9	10926.6	15.04
全国	176640.0	261354.9	84714.9	47.96

表 2 巴基斯坦十大城市 2012-2019 年间夜光变化率

Tab. 2 The Night-time Light Change Ratio of Top Ten Cities in Pakistan from 2012 to 2019

城市	2017 年人口	省份	夜光总量 ($\text{nW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)		夜光增长规模	夜光变化率 (%)
			2012 年	2019 年		
古伊兰瓦拉	2,027,001	旁遮普省	2439.1	5580.8	3141.7	128.81
费萨拉巴德	3,204,726	旁遮普省	5500.6	10390.5	4889.9	88.9
拉瓦尔品第	2,098,231	旁遮普省	7002.7	13139.3	6136.6	87.63
拉合尔	11,126,285	旁遮普省	15624.9	27477.3	11852.4	75.86
伊斯兰堡	1,009,832	伊斯兰堡	8436.1	13856.3	5420.2	64.25

木尔坦	1,871,843	旁遮普省	4283.8	6637.1	2353.3	54.93
奎达	1,001,205	俾路支省	4161.0	5740.7	1579.8	37.97
卡拉奇	14,916,456	信德省	25083.3	31618.5	6535.2	26.05
白沙瓦	1,970,042	开普省	4569.1	5118.2	549.1	12.02
海得拉巴	1,734,309	信德省	9231.6	7377.5	-1854.1	-20.08

从夜光增长规模差异性的角度来看，可以发现，本身经济发展水平较好的省级区域，如旁遮普省和伊斯兰堡，其夜光增长规模明显优于本身经济发展水平一般或较落后的区域（联邦直辖部落地区、俾路支省和开普什图省）。这些本身经济发展水平较差的区域由于受自然条件或社会经济条件、地缘政治、国内政治宗教结构的原因等诸多因素的影响，在历史上就存在着区域发展相对落后的问题，因而这些省级区域在2012年至2019年长达八年的发展中，虽有一定发展，但发展速度较慢。

此外，值得注意的是，巴基斯坦的电力供应不足问题已困扰巴基斯坦经济发展多年，根据《巴国家电力政策（2013年）》有关数据，2012年全国电力缺口4500-5000 MW，很多地区每天停电12-16小时，伊斯兰堡、拉合尔等大城市每天也要多次拉闸限电。巴基斯坦首都伊斯兰堡每天停电4小时、拉合尔6小时、拉瓦尔品第6小时、费萨拉巴德4至8小时、古杰兰瓦拉7小时、白沙瓦7小时、木尔坦7小时^[32, 33]。由此可见，表2中夜光总量基数（2012年）和夜光增长规模较低的城市：古伊兰瓦拉、拉瓦尔品第、木尔坦和白沙瓦其夜光总量较低其部分原因可能是因为经常受到电力短缺的影响。

基于巴基斯坦规划、发展与改革部公布的实时项目数据，并参考国内学界关于中巴经济走廊节点城市研究成果文献^[32-34]，中巴经济走廊“东西”规划线路一共途经15个主要节点城市，具体包括：东线途经主要节点城市6个，包括曼瑟拉、伊斯兰堡、拉合尔、木尔坦、

海德拉巴、卡拉奇；西线途经主要节点城市 8 个，包括阿伯塔巴德、米扬瓦利、巴奴、德拉伊斯梅尔汗、佐布、奎塔、胡兹达尔、本杰古尔；以及东线和西线最终交汇“核心”节点：瓜达尔港。“东线”主要经过巴基斯坦东部的信德和旁遮普两省及首都伊斯兰堡地区，“西线”主要经过俾路支省和开普省。有鉴于此，本文从巴基斯坦国内 6 个省级区域出发，将“东线”途经东部三个省级区域的合为“东部地带”，“西线”穿越西部两个省级区域及联邦直辖部落地区合为“西部地带”（图 6），分别统计巴基斯坦东西部地带（图 7）和 15 个主要节点城市的夜光总量并计算其夜光变化率（表 3）。

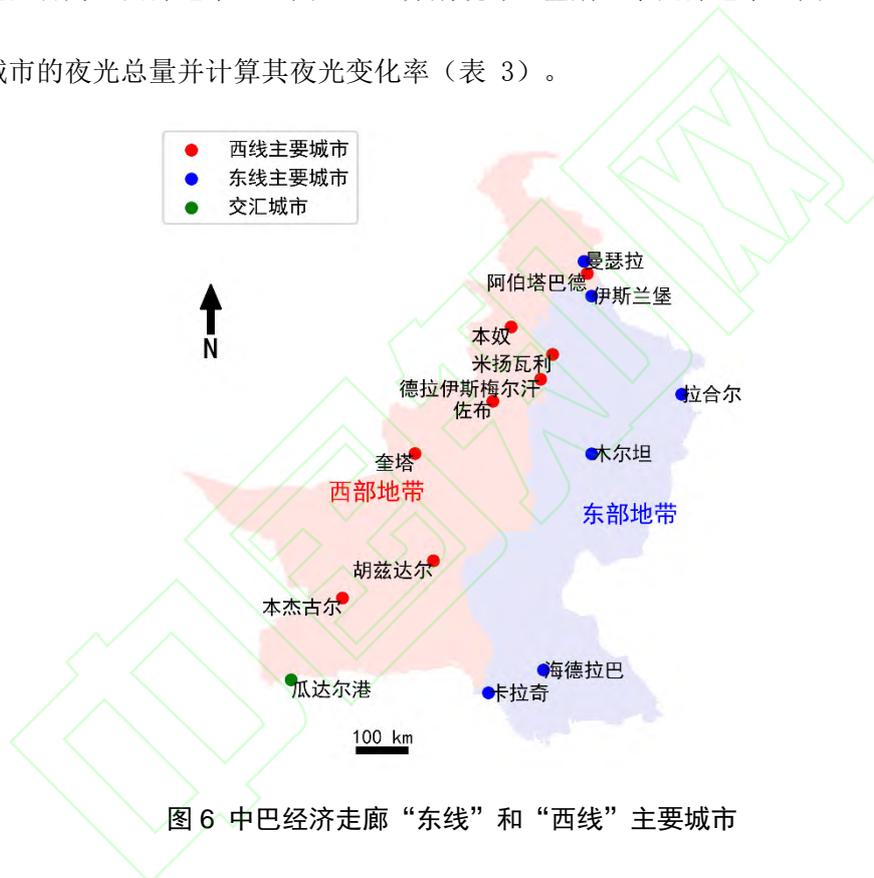


图 6 中巴经济走廊“东线”和“西线”主要城市

Fig.6 Major Cities on the "East Line" and "West Line" of the China-Pakistan Economic Corridor

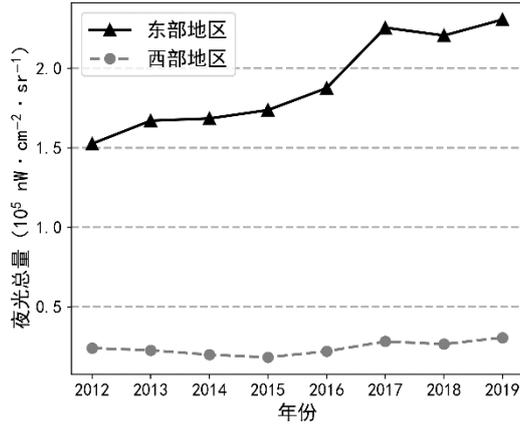


图 7 巴基斯坦东部/西部地带 2012 年-2019 年夜光总量

Fig.7 The Sum of Night-time Light in Eastern/Western Pakistan from 2012 to 2019

表 3 中巴经济走廊“东/西”规划线路 15 个主要节点城市的夜光变化率

Tab.3 The Night-time Change Ratio of 15 Major Node Cities in the East/West Planning Route of the China-Pakistan Economic Corridor

线路	主要城市	夜光总量 (nW · cm ⁻² · sr ⁻¹)		夜光变化率 (%)
		2012 年	2019 年	
西线	阿伯塔巴德	615.216	1131.6	83.93
	米扬瓦利	1550.6	2563.7	65.33
	德拉伊斯梅尔汗	612.9	855.4	39.56
	奎达	4161.0	5740.7	37.97
	佐布	73.3	100.6	37.25
	巴奴	599.4	638.2	6.47
	胡兹达尔	428.1	407.1	-4.91
	本杰古尔	198.6	52.8	-73.4

东线	曼瑟拉	239.8	478.1	99.41
	拉合尔	15624.9	27477.3	75.86
	伊斯兰堡	8436.1	13856.3	64.25
	木尔坦	4283.8	6637.1	54.93
	卡拉奇	25083.3	31618.5	26.05
	海德巴拉	9231.6	7377.5	-20.08
交汇点	瓜达尔港	142.0	322.3	126.94
东部地带		152579.9	230686.1	51.19
西部地带		24060.2	30668.8	27.47

瓜达尔港作为东西两线的交汇点，是巴基斯坦最重要的贸易港口之一。它可以为中亚及东亚国家内陆地区提供出海通道，又是影响到印度洋航道的重要战略支点。瓜达尔港的灯光变化率高达 126.94%，为 15 个节点城市之最。瓜达尔港本是一个人口不足 10 万、时常缺水断电、基础设施较为欠缺的渔业小镇。自 2015 年中巴双方大力建设瓜达尔港以来，港口所有重要组件得以翻新，电力系统得以升级，项目建设正如火如荼、有条不紊地进行着，呈现出一派欣欣向荣的景象^[35]，这种快速发展也从瓜达尔港的夜光变化率上得以体现。总体来看，巴基斯坦东部地带的夜光增长速度明显大于西部地带。2012 年至 2019 年，西部地带的夜光增长率为 27.47%，东部地带的夜光增长率为 51.19%，几乎快达到西部地带夜光增长率的 2 倍。此外，15 个节点城市的夜光增长也不是完全一致的正增长，从表 3 可见，西线的胡兹达尔和本杰古尔，以及东线的海得拉巴都出现了夜光衰减。而其他 12 个夜光规模正增长的城市其夜光变化率也高低不同，说明东西线路的发展出现了一定程度的发展不均衡。

3.3 地理格网的夜光变化分析

对巴基斯坦 6 个省级区域的夜光变化进行定量的分析之后，再对研究区域内 5 公里格网的 Mann-Kendall 趋势检验提供了更加细微尺度的定性分析（图 8）。5 公里格网 Mann-Kendall 趋势检验表明（表 4），旁遮普省是拥有夜光总量上升趋势格网最多的省（1905 个单元），而信德省是拥有夜光总量下降趋势格网最多的省（388 个单元）。

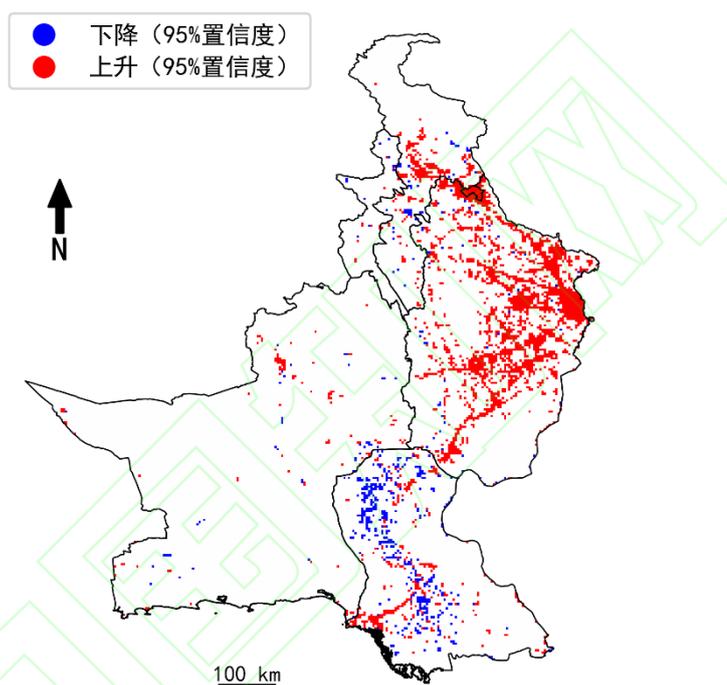


图 8 巴基斯坦 5 公里格网 Mann-Kendall 趋势检验结果（白色区域为无显著趋势格网）

Fig.8 Mann-Kendall Trend Test of 5km Grid in 6 Provinces/Special Zones of Pakistan (white areas are grids without significant trends)

表 4 各省份格网的夜光变化趋势统计表

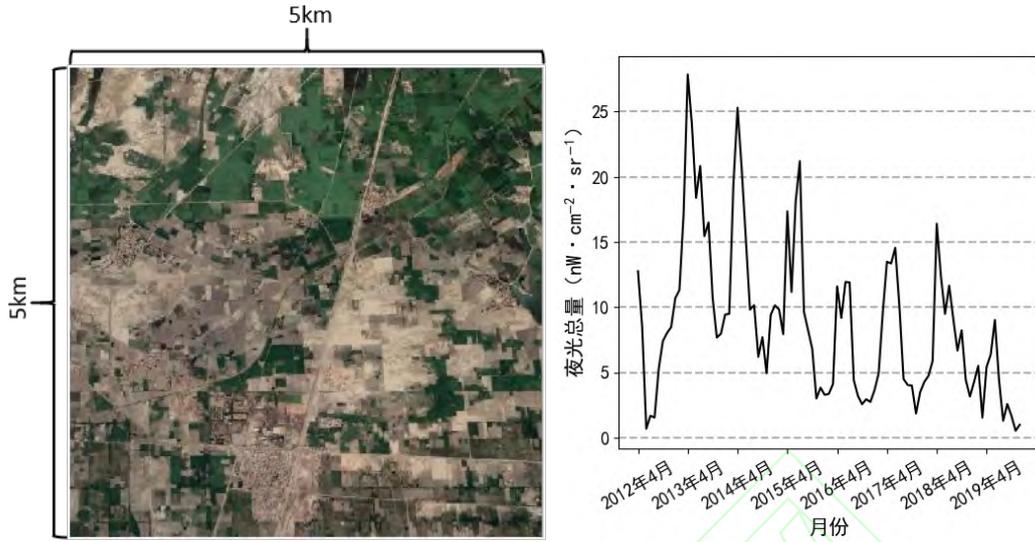
Tab.4 Statistics Table of the Night-time Light Change Trend of the Grid of each Province

省份	上升		下降		无明显趋势		个数总计
	个数	占比	个数	占比	个数	占比	
旁遮普省	1905	23.06%	59	0.71%	6297	76.23%	8261

信德省	297	5.27%	388	6.89%	4948	87.84%	5633
开普省	220	7.26%	44	1.45%	2767	91.29%	3031
俾路支省	117	0.85%	45	0.33%	13676	98.83%	13838
伊斯兰堡	34	97.14%	0	0.00%	1	2.86%	35
联邦直辖部落地区	14	1.39%	13	1.29%	978	97.31%	1005

结合目前中巴能源合作已建设完成的电力项目来看^[36]，已建设完成并投入生产的电站有 7 个，这 7 个电站都位于信德省和旁遮普省。其中旁遮普省的 2 个电站，一个位于萨希瓦尔市，另一个位于巴哈瓦尔普尔市；信德省的 5 个电站中，有 4 个属于卡拉奇市，1 个属于达塔县。

可以看出，信德省的 5 个发电站并没让整个信德省都“亮”起来，而是让卡拉奇首先“亮”了起来。其原因可能为：第一，因为卡拉奇作为巴基斯坦人口最多的城市，其电站可能主要还是要保证其城市内部的正常运转；第二，是因为巴基斯坦电网建设和监管落后，输电损耗和窃电损失巨大，在整体电网没有建设完善完毕之前，电力不能远距离输送，这使得其他城市并不能很好的共享卡拉奇的电站资源^[36]，从而卡拉奇以外的地区供电能力没有得到明显提升，也没有“亮”起来。第三，自 2007 年爆发电力系统三角债之后，巴基斯坦电力缺口逐年增大。部分城市地区每天停电高达 12 小时，农村地区高达 18 个小时 (<http://obor.nea.gov.cn/pictureDetails.html?id=2567>)。使用 Google Earth 对图 8 中信德省夜光总量下降趋势的格网进行目视检验，发现这些夜光总量下降的格网大部分位于信德省的农村区域（图 9），也再次证明信德的农村地区存在严重的电力短缺问题。



(a) 格网实景图 (来源: Google Earth) (b) 格网覆盖地区夜光总量时间序列

图 9 信德省某区域的高分影像和夜光动态变化 (中心坐标: 26°58'30"N 67°47'56"E)

Fig.9 A region in Sindh Province with high resolution image and night-time light dynamic

(center coordinates: 26°58'30"N 67°47'56"E)

3.4 节点城市的位序-规模分析

根据东西部地带的夜光总量变化时间序列(图 7)可以看出,由于受自然社会经济条件、地缘政治和国内政治宗教结构的原因等诸多因素的影响,巴基斯坦城市在不同时期的城市规模分布不同。根据位序-规模法则的分析结果(图 10),其中各区域每年 q 值的拟合 R^2 皆大于 0.83; 从全国来看,城市规模分布经历了一个城市发展规模分布相对集中到城市发展规模分布均衡的过程;西部地带的城市发展规模分布演变情况也和全国的情况一致;而东部地带内的城市发展规模分布则从均衡向更均衡发展。



图 10 巴基斯坦三种尺度的位序-规模法则结果

Fig.10 Results of the Rank-Size Rule of Three Scales in Pakistan

以上结果表明，巴基斯坦东部地带的各城市原为位次型分布，随着中巴合作的各大项目多于东部地带先后落地建设完毕，东部地带的城市经济极化减轻，东部地带的城市得到了普遍的发展，城市规模分布趋于更加均衡，由位次型逐渐转为更为均衡的位次型分布；而在西部地带，因中巴合作项目建设相对缓慢，且其受地缘政治和国内政治宗教结构的原因等诸多因素的影响较大，西部地带的城市很容易出现发达和落后的两种城市经济，如发达的边境城市奎达和落后的内陆城市本杰古尔(表 3)。综合东部和西部地带不同的城市规模分布的分析结果，全国的城市规模分布趋于更加均衡。

4. 结论

本研究以巴基斯坦 6 个省级区域为研究区域，基于 SG 滤波方法改善了时间序列 VIIRS 夜光遥感影像的质量，并在此基础上通过多种分析方法对 2012-2019 年巴基斯坦的区域发展差异进行了分析，研究发现：1) 宏观上来看，巴基斯坦的 6 个省级区域的夜光总量均呈现出增长的态势。本身经济发展水平较好的区域夜光增长率较高。此外，巴基斯坦内部经常受到电力短缺的影响，使得许多中大型城市的夜光增长率也没有显著提升。2) 微观上来看，旁遮普省是拥有夜光增加地理格网最多的省，而信德省是拥有夜光总量下降地理格网最多的省。结合中巴能源合作完成电力项目的情况来看，旁遮普省分散分布的 2 个电站，可以均匀

服务于旁遮普省内的电力供应,使得旁遮普省内夜光总量上升趋势的格网没有形成明显的空间集聚。而信德省的电站集中分布于卡拉奇市,使得信德省内卡拉奇及周边的格网呈明显的夜光总量上升趋势,形成了比较集中的空间集聚。3)从城市结构上看,东部地带内城市规模分布由弱位次型逐渐转为强位次型,西部地带内城镇规模分布从偏均衡分布转为首位型分布,又转为了偏首位型的分布。整体来看,巴基斯坦城市结构层次间的差距正在逐渐缩小,整个地区的规模发展日趋平衡。

本研究的发现有助于掌握巴基斯坦的区域发展动态,可以为我国中巴经济走廊建设提供科学支持。然而本文依然存在局限性,如 VIIRS 的过境时间晚于夜间 12 点,使用夜光反映电力供应存在一定的局限性,此外本文并未定量分析中巴经济走廊对 VIIRS 夜光亮度的影响等,这些问题有待于在以后的研究中进一步讨论。

参考文献

- [1] Khan I U H . CPEC: Opportunities & Challenges[J]. Defence Journal, 2018, 20(8):19-28.
- [2] Tian Zhongfu. The Impact of Pakistan's National Conditions on the Construction of China Pakistan Economic Corridor[J]. China-Arab States Science and Technology Forum, 2020(11):1-4.(田仲福.巴基斯坦国情与中巴经济走廊建设[J].中阿科技论坛(中英文),2020(11):1-4.)
- [3] Liu Zongyi. Construction of the China-Pakistan Economic Corridor: Progress and Challenges[J]. International Studies, 2016(3):122-136+138. (刘宗义.中巴经济走廊建设:进展与挑战[J].国际问题研究,2016(3):122-136+138.)
- [4] Yao Yun. China-Pakistan Economic Corridor: A Risk Analysis[J]. South Asian Studies, 2015(2):35-45+155. (姚芸.中巴经济走廊面临的风险分析[J].南亚研究,2015(02):35-45+155.)

- [5] Chen J, Fleisher B M. Regional Income Inequality and Economic Growth in China[J]. Journal of comparative economics, 1996, 22(2): 141-164.
- [6] Dusek T, Lukács R, Rácz I. Development Differences among the Regions of Hungary[J]. Procedia Economics and Finance, 2014, 9: 264-277.
- [7] Pan Jinghu, Zhang Jialong, Zhang Yong. Analysis of Regional Economic Disparities in Gansu Province based on ESDA and GIS[J]. Journal of Northwest Normal University, 2006(6):83-87+91.(潘竟虎,张佳龙,张勇.甘肃省区域经济空间差异的 ESDA-GIS 分析[J].西北师范大学学报(自然科学版),2006(6):83-87+91.)
- [8] Miao Xinhui, LiangQin'ou. Spatial Differentiation of County Economic Development Level and its Influencing Factors in Zhejiang Province based on Geographical Detector[J]. Journal of ZheJiang Normal University (Natural Sciences), 2020,43(4):460-467.(缪鑫辉,梁勤欧.基于地理探测器的浙江省县域经济发展水平空间分异及其影响因素[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2020,43(04):460-467.)
- [9] Pu Yingxia, Ge Ying, Ma Ronghua, et al. Analysis of Regional Economic Spatial Differences Based on ESDA[J]. Geographical Research, 2005(6):965-974. (蒲英霞,葛莹,马荣华,黄杏元,马晓冬.基于 ESDA 的区域经济空间差异分析——以江苏省为例[J].地理研究,2005(6):965-974.)
- [10] Lu Peng, Wang Mingcheng. Terrorist Threats and Countermeasures in Cities along the China-Pakistan Economic Corridor in Pakistan[J]. Journal of Criminal Investigation Police University of China, 2020(5):32-41. (芦鹏,王明程.中巴经济走廊巴基斯坦沿线城市恐怖威胁与对策[J].中国刑警学院学报,2020(5):32-41.)
- [11] Gao Zhigang, Zhang Yan. A Study of Bilateral Trade Potential and Efficiency in the Construction of China-Pakistan Economic Corridor—Based on Stochastic Frontier Gravity

Model[J]. Finance& Economics, 2015(11):101-110.(高志刚,张燕.中巴经济走廊建设中双边贸易潜力及效率研究——基于随机前沿引力模型分析[J].财经科学,2015(11):101-110.)

[12] Chen X, Nordhaus W D. Using Luminosity Data as a Proxy for Economic Statistics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011, 108(21): 8589-8594.

[13] Henderson J V, Storeygard A, Weil D N. Measuring Economic Growth from Outer Space[J]. American economic review, 2012, 102(2): 994-1028.

[14] Li X, Xu H, Chen X, et al. Potential of NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery for Modeling the Regional Economy of China[J]. Remote Sensing, 2013, 5(6): 3057-3081.

[15] Li X, Chen X, Zhao Y, et al. Automatic Intercalibration of Night-time Light Imagery using Robust Regression[J]. Remote sensing letters, 2013, 4(1): 45-54.

[16] Xu H, Yang H, Li X, et al. Multi-scale Measurement of Regional Inequality in Mainland China during 2005–2010 using DMSP/OLS Night Light Imagery and Population Density grid data[J]. Sustainability, 2015, 7(10): 13469-13499.

[17] Li X, Zhao L, Han W, et al. Evaluating Algeria's Social and Economic Development using a Series of Night-time Light Images between 1992 to 2012[J]. International Journal of Remote Sensing, 2018, 39(23): 9228-9248.

[18] Zhang L, Li X, Chen F. Spatiotemporal Analysis of Venezuela's Nighttime Light During the Socioeconomic Crisis[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2020, 13: 2396-2408.

[19] Xu Huimin, Hu Shougeng. Chinese City Size Evolution Under Perspective of Nighttime Light Remote Sensing[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(1): 40-49. (徐慧敏, 胡守庚. 夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变[J]. 武汉大学学报:

信息科学版, 2021, 46(1): 40-49.)

[20] Yu B, Shu S, Liu H, et al. Object-based Spatial Cluster Analysis of Urban Landscape Pattern using Nighttime Light Satellite Images: A Case Study of China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2014, 28(11): 2328-2355.

[21] Ma T. Quantitative Responses of Satellite-derived Nighttime Lighting Signals to Anthropogenic Land-use and Land-cover Changes across China[J]. Remote Sensing, 2018, 10(9): 1447.

[22] Li Xi, Xue Xiangyu. Estimation Method of Nighttime Light Images' Electric Power Consumption Based on the Boston Matrix[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(12): 1994-2002. (李熙, 薛翔宇. 基于波士顿矩阵的夜光遥感电力消费估算方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2018, 043(12):1994-2002.)

[23] Li X, Li D. Can Night-time Light Images Play a Role in Evaluating the Syrian Crisis?[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(18): 6648-6661.

[24] Elvidge C D, Baugh K E, Zhizhin M, et al. Why VIIRS data are Superior to DMSP for Mapping Nighttime Lights[J]. Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 2013, 35(0): 62

[25] Cao C, Xiong X, Blonski S, et al. Suomi NPP VIIRS on-orbit Performance, Data Quality, and New Applications[C]//Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization II. International Society for Optics and Photonics, 2012, 8528: 85280D.

[26] Small C, Elvidge C D, Baugh K. Mapping Urban Structure and Spatial Connectivity with VIIRS and OLS Night Light Imagery[C]//Joint Urban Remote Sensing Event 2013. IEEE, 2013:

230-233.

[27] Chen J, Jönsson P, Tamura M, et al. A Simple Method for Reconstructing a High-quality NDVI Time-series Data Set based on the Savitzky–Golay Filter[J]. Remote sensing of Environment, 2004, 91(3-4): 332-344.

[28] Zeng L, Wardlow B D, Wang R, et al. A Hybrid Approach for Detecting Corn and Soybean Phenology with Time-series MODIS Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 181: 237-250.

[29] Wang C, Fritschi F B, Stacey G, et al. Phenology-based Assessment of Perennial Energy Crops in North American Tallgrass Prairie[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2011, 101(4): 742-751.

[30] Levin N. The Impact of Seasonal Changes on Observed Nighttime Brightness from 2014 to 2015 Monthly VIIRS DNB Composites[J]. Remote Sensing of Environment, 2017, 193: 150-164.

[31] Hamed K H, Rao A R. A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data[J]. Journal of hydrology, 1998, 204(1-4): 182-196.

[32] Wang Qing, Mei JianMing. Analyzing and Responding to Terrorist Threats along the China — Pakistan Economic Corridor [J]. South Asian Studies, 2017(04):15-41+151-152. (王奇,梅建明. 中巴经济走廊沿线恐怖威胁分析及对策[J]. 南亚研究, 2017(04):15-41+151-152.)

[33] Su Xiaoqing, Li Ang, Wang Songji. Pivot Cities on the “Belt and Road” Economic Corridor: Spatial Distribution and Construction Measures [J]. Guizhou Social Sciences, 2018(12):111-119. (苏小庆,李昂,王颂吉. “一带一路”经济走廊上的支点城市:空间分布与建设措施[J]. 贵州社会科学, 2018(12):111-119.)

- [34] Yao Yuanmei. The Black Hole in Af-Pak Border and the Difficulties for Route Planning of China-Pakistan Economic Corridor [J]. Arab World Studies, 2015(5):36-52. (姚远梅.阿巴边界“黑洞”与中巴经济走廊的路线困境[J].阿拉伯世界研究,2015(5):36-52.)
- [35] Zhang Renzhong.Gwadar Port-the Shining Pearl of the China-Pakistan Economic Corridor[OL].http://www.xinhuanet.com/2018-08/26/c_1123331199.htm, 2018/8/26. (张任重.瓜达尔港——中巴经济走廊的璀璨明珠[OL].http://www.xinhuanet.com/2018-08/26/c_1123331199.htm, 2018/8/26)
- [36] Hua Ding. Study on the Trade Efficiency and Potential between China and Pakistan under the Construction of China-Pakistan Economic Corridor [D].Guangdong University of Foreign Studies, 2018. (华定. 中巴经济走廊建设下的中巴贸易效率和潜力研究 [D].广东外语外贸大学, 2020.)

Analyzing Disparity of Regional Development in Pakistan Under Perspective of Night-Time Light Remote Sensing

ZHANG Lin¹, LI Xi¹

State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,

Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: It is important to know the pattern of Pakistan's regional development for the construction of the China-Pakistan Economic Corridor. In this paper, we used the Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) night-time light remote sensing image as the main data source, and implemented the Savitzky-Golay (SG) filtering algorithm to repair the missing values of the

images. Three methods, Night-time Light Change Ratio (NLCR), Mann-Kendall (MK) trend test method, and rank-scale law, were carried out to study the nighttime light change patterns of Pakistan's provincial/city level, geographic grid level, and East-West zone in three geographic scales. The analysis of the NLCR shows that from 2012 to 2019, the entire Pakistan has night-time light growth by 47.96%; all provincial regions have different degrees of development, and with NLCR increasing by >15%; the NLCR of Gwadar Port is 126.94%, which is the highest among the 15 node cities on the east and west lines of the China-Pakistan Economic Corridor; more importantly, not all 15 node cities have similar positive night-time light growth, with two cities having night-time light decrease. This indicates that the development of the 15 node cities on the east and west lines of the China-Pakistan Economic Corridor was unbalanced. Using the MK trend test, Punjab has the most spatial grids (1905) with the total night-time light upward trend at the 5 km geographic grid-scale, while Sindh has the most grids (338) with the total night-time light downward trend. Through visual inspection of the grids with the total night-time light downward trend in Sindh, it is found that most of the grids are located in rural areas of Sindh, which is consistent to the fact that there is a serious power shortage problem in rural areas of Sindh. The rank-size analysis results show that the distribution of urban size across the country has undergone a process from a relatively concentrated distribution to a more balanced distribution; the evolution of urban size distribution in the western region is also consistent to the national pattern; while the distribution of urban size in the eastern region has shifted from balanced to more balanced development; the Pareto indexes of both the eastern zone and the western zone are gradually decreased, indicating that the gap between the urban development in Pakistan is reduced, and the entire country is developing and becoming more balanced. In addition, It is

worth noting that Pakistan's frequent large-scale power outages and lack of stable power supply may be the factors explaining the low brightness of night-time light in some areas.

This study reveals Pakistan's regional development patterns under long-term time series and multiple spatial scales, which can provide a certain scientific basis for the planning of the China-Pakistan Economic Corridor.

Keywords: Night-time light remote sensing, Mann-Kendall trend test, Rank-size law, Pakistan, regional development

First author: Zhang Lin, Master Student, Email: Lynnzhang@whu.edu.cn, specialize in the night-time light remote sensing. E-mail: Lynnzhang@whu.edu.cn

Corresponding author: Li Xi, PhD, associate professor, specialize in the night-time light remote sensing. E-mail: lixi@whu.edu.cn

Foundation support: National Key R&D Program of China (2019YFE0126800) ; The National Natural Science Foundation of China (41771386) .

网络首发:

标题: 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析

作者: 张霖, 李熙

收稿日期: 2021-01-05

DOI:10.13203/j.whugis20210057

引用格式:

张霖, 李熙. 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20210057 (ZHANG Lin, LI Xi. Analyzing Disparity of Regional Development in Pakistan Under Perspective of Night-Time Light Remote Sensing [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, DOI: 10.13203/j.whugis20210057)

网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别，请以正式出版文件为准！

您感兴趣的其他相关论文：

基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析

李德仁, 余涵若, 李熙

武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(6): 711-720

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20170100>

夜光遥感视角下的中国城市规模的时空演变

徐慧敏, 胡守庚

武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(1): 40-49

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20190330>

基于波士顿矩阵的夜光遥感电力消费估算方法

李熙, 薛翔宇

武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(12): 1994-2002

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20180334>