

doi: 10.6046/gtzyyg.2019.02.22

引用格式: 沈丹,周亮,王培安.基于夜间灯光数据的六盘山连片特困区贫困度识别[J].国土资源遥感,2019,31(2):157-163. (Shen D,Zhou L,Wang P A. Identification of poverty based on nighttime light remote sensing data: A case study on contiguous special poverty-stricken areas in Liupan Mountains[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2019,31(2):157-163.)

基于夜间灯光数据的六盘山连片特困区贫困度识别

沈丹^{1,2},周亮^{1,2,3},王培安^{1,2}

(1. 兰州交通大学测绘与地理信息学院,兰州 730070; 2. 甘肃省地理国情监测工程实验室,兰州 730070; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要: 针对精准扶贫过程中统计数据口径不统一,以及夜间灯光贫困识别多为短时间研究等问题,以六盘山连片特困区为例,借助 DMSP-OLS/NPP-VIIRS 夜间灯光和社会经济统计等数据,运用不变目标区域法以及灰色关联模型构建区域灯光指数与多维贫困指数(multidimensional poverty index, $MPI_{\text{statistical}}$),建立贫困估算模型生成多维贫困指数估算值($MPI_{\text{estimated}}$)探究较长时间序列的贫困识别。研究表明, $MPI_{\text{estimated}}$ 识别贫困的精度较高,与 $MPI_{\text{statistical}}$ 的平均相对误差介于 3.14%~3.52%,能准确反映区域真实的贫困程度;2000—2015 年间研究区 $MPI_{\text{estimated}}$ 均值分别为 0.361,0.372,0.375,0.378 和 0.382,贫困程度逐年减轻;2000—2012 年间识别出极贫困县 39~46 个,高度贫困县 20~21 个;2000—2015 年间 Moran's I 指数分别为 0.49,0.45,0.47,0.49 和 0.43,表明连片特困区贫困程度呈现明显集聚性。贫困格局呈现“东西部贫困程度相对较轻,南北部贫困程度相对较重”的空间演变趋势。

关键词: DMSP-OLS/NPP-VIIRS; 贫困指数; 精准扶贫; 贫困识别; 六盘山

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2019)02-0157-07

0 引言

近年来,国内外学者在精准扶贫研究的基础上,结合区域特色和实际情况展开了 4 个方面探索性研究:①精准识别贫困内容主要由单一维度向多维度转变,维度扩展至区域地理特征、生态环境、基础教育均等化、交通可达性、卫生医疗和大病防治等众多领域^[1];②研究方法主要采用可持续生计框架^[2]、多层模型^[3]和机器学习^[4]等;③研究数据逐渐多元化,主要有实际野外调查与抽样数据、电子商务数据和遥感影像等进入贫困研究领域^[5];④研究尺度由全国尺度^[6]、市县尺度^[7]和行政村尺度,最终精准到扶贫家庭及个人贫困测度发展,粒度逐渐深入到家庭和个体细胞。这些探索性研究的提出开拓了较多研究思路,但由于部分研究基于特定区域(如北京)数据的可获取性、精细粒度难以深入等原因,对现实解释能力较差^[8]、难以满足快速动态的精准识别要求。此外,中国农村贫困统计数据的缺乏与不

同省份数据统计口径的不一致使贫困识别数据获取困难,尤其是西部偏远地区。地区的差异、统计数据的偏差和贫困地区一些领导干部的“急功”,也会使贫困的真实情况出现偏差。

因为以上原因,学者们开始借助夜间灯光数据对贫困进行评估和辅助研究。Noor 等^[9]采用 DMSP-OLS 数据和资产数据构建贫困指数评估非洲 37 个国家贫困状况,研究表明贫困指数与灯光亮度间有高度相关性;Elvidge 等^[10]借助 LandScan 人口数据和 DMSP-OLS 夜间灯光数据估算的 2006 年全球贫困人口与世界银行估算的结果相一致;Wang 等^[11]使用主成分分析法构建综合贫困指数探讨夜间灯光指数与贫困指数间的关系,发现两者有良好的线性正相关关系;Yu 等^[12]通过中国 2 856 个县的区域灯光值和国家贫困县比对,结果显示灯光值低的区域同时也属于国家贫困县;潘竟虎等^[13]运用夜间灯光指数与多维贫困指数(multidimensional poverty index, $MPI_{\text{statistical}}$)间的线性回归模型将贫困空间化,识别出 848 个多维

收稿日期:2018-01-08;修订日期:2018-04-09

基金项目:国家自然科学基金项目“基于 CAS-CA 建模的绿洲城市增长边界模拟及生态空间保护研究”(编号:41701173)、甘肃省自然科学基金项目“基于脆弱性测度的六盘山连片特困区贫困度识别与精准扶贫模式研究”(编号:1606RJZA078)及兰州交通大学青年基金项目“丝绸之路河西走廊绿洲城市扩张遥感动态监测及诱因分析”(编号:2016002)共同资助。

第一作者:沈丹(1993-),女,硕士研究生,主要从事基于遥感的贫困空间分析研究。Email:shendt123@sina.com。

通信作者:周亮(1983-),男,副教授,博士后,硕士研究生导师,主要从事 GIS 与 RS 在城市规划中的应用及区域可持续发展方面的
万方数据 Email:zhougeo@126.com。

贫困县。上述研究仅仅对灯光数据和社会经济数据进行简单处理且只在短时间内评估贫困。鉴于此,本文以六盘山连片特困区为研究区,选用 DMSP-OLS 和 NPP-VIIRS 灯光数据,运用不变目标区域法校正灯光数据提取区域灯光指数(average light index, ALI),借助灰色关联模型构建多维贫困体系产生 $MPI_{\text{statistical}}$,以两者的线性拟合关系生成贫困模拟模型,从而识别研究区的贫困现状与特征,实现基于多期夜间灯光数据对贫困的连续动态监测弥补统计数据短缺问题。

1 研究区与数据源概况

六盘山连片特困区跨陕西、甘肃、青海与宁夏 4 省区,地处黄土高原中西部及其与青藏高原的过渡地带,地形破碎,山、川、塬并存,沟、峁、梁相间;地势西高东低,平均海拔在 1 900 m 左右(图 1);属于温带大陆性干旱半干旱气候,土质疏松,植被稀疏,干旱等自然灾害频发。该地区是国家新一轮扶贫开发攻坚战主战场之一,有国家扶贫开发工作重点县 49 个、革命老区县 12 个和民族自治地方县 20 个。2010 年农民人均年纯收入仅相当于全国平均水平的 54.7%,当年在 1 274 元扶贫标准以下的农村人口有 313.1 万人,贫困发生率为 15.9%,高于全国 13.1%,比西部地区平均水平高 9.8%。按照 2 300 元扶贫标准,2011 年区域扶贫对象为 642 万人,贫困发生率 35%,高出全国 22.3%。

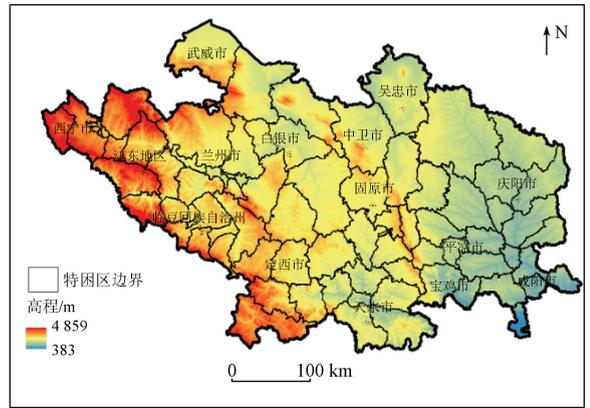


图 1 六盘山连片特困区区位
Fig.1 Location of contiguous destitute district of Liupan Mountain Area

研究数据主要包括:①灯光数据,2 种灯光数据分别为 2000—2012 年的 DMSP-OLS 及 2015 年的 NPP-VIIRS 夜间灯光,数据来源于美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)网站,空间分辨率分别为 1 000 m × 1 000 m 和 500 m × 500 m。F162006 辐射定标后的灯光数据来源于美国国家地球物理数据中心;②基础地理数据,县级行政区划图来源于国家基础信息中心、数字高程模型(digital elevation model, DEM)空间分辨率为 30 m × 30 m;③经济统计数据,如农民人均纯收入等,来源于 2011—2016 年各省市统计年鉴。

本研究利用 ArcGIS10.2 与 ENVI5.1 平台,通过 4 个处理步骤实现贫困识别(图 2)。

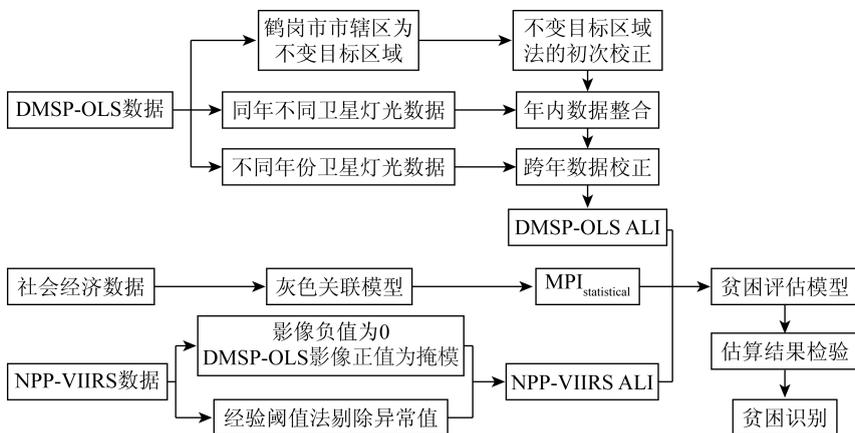


图 2 数据处理流程
Fig.2 Data processing flow

具体步骤为:①通过投影、重采样等创建中国灯光数据库并对主要市辖区的部分社会经济数据(国内生产总值(gross domestic product, GDP)、城镇建成区面积等)进行分析,选择黑龙江省鹤岗市市辖区作为不变目标区域,借助不变目标区域法对数据进行初次校正^[14];②对同一年份的 2 期数

据进行年内整合以及对不同年份的数据进行跨年校正,最终完成 DMSP-OLS 数据校正^[14];③通过剔除偶然灯光等对 NPP-VIIRS 数据进行校正^[15];④通过建立灯光和社会经济数据产生的 ALI 和 $MPI_{\text{statistical}}$ 间的线性关系,生成贫困评估模型与多维贫困指数估算值($MPI_{\text{estimated}}$)识别贫困。

2 研究方法

以国内外多维贫困指标测算体系为依据、以统计数据为基础建立贫困指标体系;以夜间灯光数据为基础产生 ALI,从而构建贫困评估模型。

2.1 MPI_{statistical} 构建

构建全面描述贫困状况的多维贫困指标体系是精准测度贫困程度的重要前提^[6],并且多维贫困指标的客观性和必要性已被世界银行等国际机构和学者们所广泛接受^[7-8],因此, MPI_{statistical} 可用于验证 ALI 模拟贫困的精确性^[12]。综合来看,多维度贫困的评价指标主要由经济维度、社会维度和环境维度组成^[16]。此外,农民人均纯收入指标仍然是划分贫困县和集中连片特困区的重要经济依据^[17]。依据前人研究的基础上,根据研究目的、指标选择的科学性和数据的可得性及可比性等原则,本文选用 9 大指标构建贫困指标体系,采用熵值法赋予权重,其原理是信息量与不确定性成反比即信息量越大、不确

定性就越小,熵越小、权重则越大^[12]。与其余权重方法相比熵值法更具客观性,从而常用与构建经济、社会和自然多维的贫困度测算。9 个指标如表 1 所示。

表 1 MPI_{statistical} 指标权重
Tab. 1 Weight of each indicator

指标	权重	意义
农民人均纯收入	0.044 9	反映农民的收入水平
城镇居民人均可支配收入	0.023 5	反映居民的收入水平
高程	0.011 8	反映区域的生活环境
人口密度	0.165 6	反映区域的人口密集程度
人均 GDP	0.076 6	反映区域的经济发展水平
城镇化率	0.083 5	反映区域的经济发展水平
投资总额	0.233 8	反映改善人民物质生活的条件
人均财政收入	0.110 7	反映提供基础公共设施与服务的能力
经济密度	0.249 6	反映区域单位面积上经济活动的效率和土地利用的密集程度

由于评价体系具有复杂性和不确定性特征,而灰色关联系数会缩小主观对结果的影响,能更精准测算个体的贫困程度^[18],即

$$\delta(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + e \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + e \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}, \quad (1)$$

式中: $x_0(k)$ 为特征序列; $x_i(k)$ 为因素序列,其中有 k 个子序列,即 $x_i(k) = \{x_i(1), \dots, x_i(k)\}$; i 分别代表各个指标; e 为分辨率,其值为 0.5; $\delta(k)$ 为灰色关联系数。

运用熵值法和灰色关联系数法确定的权重与指标值,计算 MPI_{statistical},即

$$MPI_{\text{statistical}} = \sum_{i=1}^n w_i \times \delta(k), \quad (2)$$

式中: w_i 为各个指标的权重; n 为指标总个数。

2.2 ALI 构建

夜间灯光数据是通过探测小规模低强度灯光反映区域的社会经济情况,而区域经济发展薄弱等社会经济多方面因素导致贫困^[12],通过构建代表不同区域灯光强度的 ALI 反映区域间社会经济水平的差异性,进而探究 ALI 与 MPI_{statistical} 的关系^[13],即

$$ALI = \frac{\sum_{p=1}^P DN_p}{P}, \quad (3)$$

式中: P 为县级行政单元像元的个数; ALI 为县级区域灯光指数; DN_p 为第 p 个像元的 DN 值。

2.3 误差检验

借助 MPI_{statistical} 与 ALI 之间的线性回归方程,将特困区贫困空间化生成 MPI_{estimated}。采用误差公式^[13]检验市数据与 MPI_{estimated} 间的误差,即

$$MRE = \sum_{m=1}^M |(RE)_m| / M, \quad (4)$$

$$RE = \frac{|MPI_{\text{estimated}} - MPI_{\text{statistical}}|}{MPI_{\text{statistical}}} \times 100\%, \quad (5)$$

式中: MRE 和 RE 分别表示平均相对误差和相对误差; M 为区县数目。误差越小,表明 MPI_{estimated} 估算的精度越高,越接近真实的贫困状态。

3 结果与分析

3.1 精度评价

3.1.1 区县 MPI_{statistical} 与 ALI 的比较

通过构建多维贫困体系获得 MPI_{statistical} 值,值越小则相应区县贫困程度越高,反之,贫困程度越低。2000—2015 年间 MPI_{statistical} 值较大的区县主要位于市区,而值较小的区县主要分布在生态环境恶劣、经济发展基础薄弱的宁夏等少数民族、革命老区。为了更好地探究贫困分布格局,按照从小到大的顺序采用综合自然分界法(基于数据中固有的自然分组将对分类间隔加以识别,可对相似值进行最恰当地分组并使各个类之间的差异最大化)将各年份的值分成 5 级(极贫困、高度贫困、中度贫困、轻度贫困和非贫困)。兰州市城关区、西宁市城西区等地区相较于其余区县经济发展水平较高,多年来处于轻度贫困或非

贫困；属中等贫困的白银市白银区、兰州市西固区等拥有较好的工业基础；海东市平安区等区县邻近城区属于高度贫困；而属于极贫困的县分布在少数民族聚集区和边缘地区。整体上， $MPI_{\text{statistical}}$ 准确、客观地反映了特困区真实的贫困状态。

夜间灯光本身是人类活动的结果，灯光特征反映地区经济水平^[19]，社会经济发展繁荣的地区在夜间有明亮的灯光。通过式(3)获得多年各区县的ALI，极高的ALI值出现在繁华的市区，而极低的ALI值则发生在贫困的县。按照ALI值从大到小的顺序采用相同的方法对不同年份数据分级，城关区和城西区等有最高的ALI值，属非贫困或轻度贫困；具有极低ALI值的县有固原市泾源县、白银市会宁县和定西市陇西县等，绝大部分县少数民族人口众多并以农业为主，属极贫困。

为了进一步探究ALI值的合理性，通过相应年份相应区县的 $MPI_{\text{statistical}}$ 与ALI等级之间作差比较(表2)发现：78个区县中有50个以上区县的等级是一致的，占有区县比例的64.10%以上。例如，白银区、天水市秦州区等具有较好的经济基础，为当地的投资、基础设施建设提供良好的服务；具有极低ALI值和 $MPI_{\text{statistical}}$ 值的固原市彭阳县、武威市古浪县和临夏回族自治州东乡族自治县等因人口众多，工业与服务业发展不足而导致持久的贫困。等级差距在±1之间的区县有21~25个，而仅有1~4个区县存在较大的等级差距。总而言之，通过 $MPI_{\text{statistical}}$ 与ALI等级比较，表明用灯光数据识别贫

困是合理、客观的。

表 2 2000—2015 年 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 的等级比较

Tab.2 Comparison of $MPI_{\text{statistical}}$ and ALI from 2000 to 2015

差距	类别	2000 年	2004 年	2008 年	2012 年	2015 年
0	个数/个	51	56	51	50	54
	比例/%	65.38	71.79	65.38	64.10	69.23
±1	个数/个	23	21	25	24	21
	比例/%	29.49	26.92	32.05	30.76	26.92
±2	个数/个	4	1	2	4	3
	比例/%	5.13	1.28	2.56	5.13	3.85

3.1.2 各区县 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 之间的关系

为了更好地探究研究区各区县 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 之间的关系，分别运用幂函数、线性和多项式等回归模型拟合 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 值，最终选用效果最优的线性方程探讨两者关系(图3)，分析发现：两者之间存在明显的线性关系。决定系数 R^2 分别为 0.51, 0.67, 0.77, 0.88 和 0.85，表明 ALI 值高的区县社会经济发展水平高、就业率和人民收入增加，而人民收入的增加使区县的贫困程度降低；ALI 值低的区县社会经济基础薄弱，以农业为主，人民收入减少并具有不稳定性，进而导致贫困程度高。为了检验结果的可信度，对各年份的拟合结果进行 F 检验与 t 检验。2000—2015 年间 F 值分别为 78.14, 152.95, 250.14, 578.75 和 441.88； t 值分别为 56.31, 64.82, 72.76, 98.55 和 88.68；所有 F 值和 t 值均大于临界值表中 $F_{0.01, 76}$ 与 $t_{0.01, 77}$ ，表明各年份 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 之间的回归模型都通过了检验。

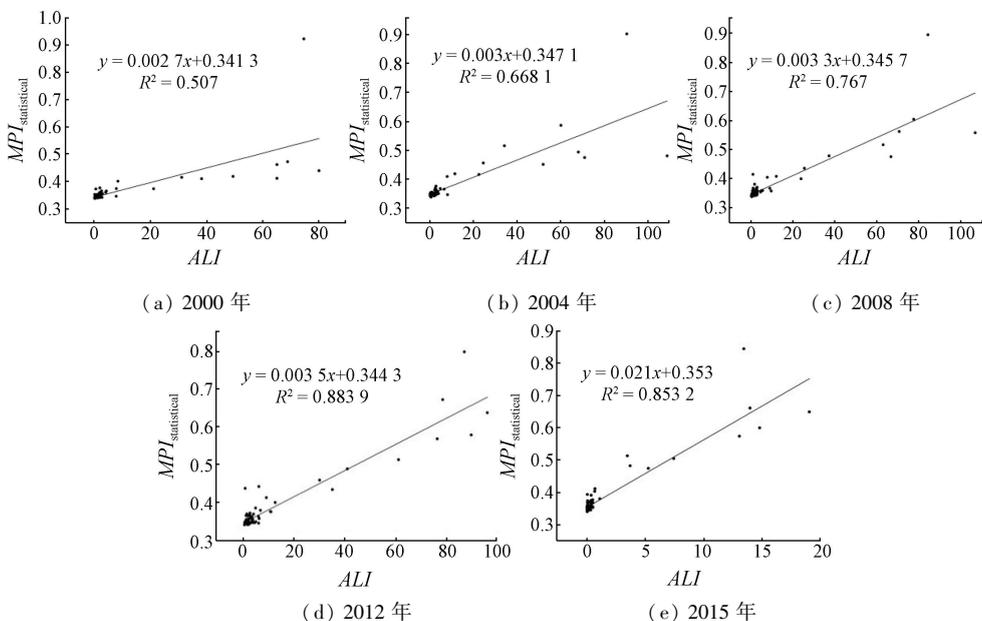


图 3 2000—2015 年间 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 之间的回归结果

Fig.3 Regression results between $MPI_{\text{statistical}}$ and ALI from 2000 to 2015

3.1.3 $MPI_{\text{statistical}}$ 空间化与结果检验

以 $MPI_{\text{statistical}}$ 与 ALI 之间的线性回归方程为基

础，借助栅格计算器对校正好的灯光数据作栅格运算实现栅格化的特困区贫困空间化并产生 $MPI_{\text{estimated}}$

(图 4)。通过年内与年际间校正后的灯光像元值相较于校正前具有长时间的连续性,因此可进行 2000—2012 年间贫困空间化对比。由图 4 可知,城区具有极高 $MPI_{estimated}$ 值,而边缘等区域有极低值,这与六盘山区的贫困现象相符合。随着时间推移,特困区的社会经济条件逐渐改善,贫困状况逐渐好转, $MPI_{estimated}$ 的

最大值与最小值不断增大。运用误差式(4)和式(5)获得 2000—2015 年间实际的 $MPI_{statistical}$ 与估算的 $MPI_{estimated}$ 之间的平均相对误差分别为 3.21%, 3.38%, 3.14%, 3.44% 和 3.52%。相较于目前已有研究 12.51% 的误差^[23] 而言,3.14%~3.52% 间的平均相对误差表明估算贫困的精度高,与实际贫困接近。

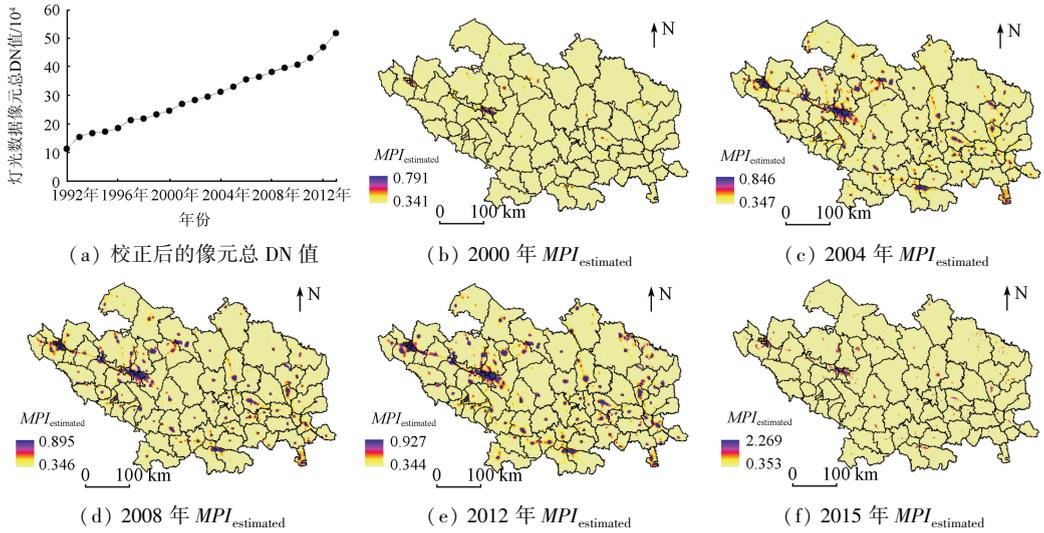


图 4 像元总 DN 值和 2000—2015 年间基于夜间灯光数据的 $MPI_{estimated}$

Fig. 4 Total pixel value of DN and $MPI_{estimated}$ based on night lighting data from 2000 to 2015

3.2 贫困识别

3.2.1 各区县贫困识别

2000—2015 年间特困区 $MPI_{estimated}$ 年平均值分

别为 0.361, 0.372, 0.375, 0.378 和 0.382, 贫困程度逐年减轻。表 3 为六盘山连片特困区贫困程度识别个数与比例比较。

表 3 六盘山连片特困区贫困程度识别个数与比例比较

Tab. 3 Comparison of poverty levels of contiguous destitute district of Liupan Mountain Area

贫困程度	2000 年		2004 年		2008 年		2012 年		2015 年	
	个数/个	比例/%								
极贫困	46	58.97	44	56.41	45	57.69	39	50.00	45	57.69
高度贫困	20	25.64	21	26.92	20	25.64	21	26.92	16	20.51
中度贫困	4	5.13	4	5.13	4	5.13	9	11.54	8	10.26
轻度贫困	4	5.13	4	5.13	3	3.85	3	3.85	4	5.13
非贫困	4	5.13	5	6.41	6	7.69	6	7.69	5	6.41

通过表 3 可发现,2000—2012 年间极贫困与高度贫困总和介于 76.92%~84.61%; 而中度、轻度以及非贫困所占比重仅介于 15.38%~23.08%, 贫困程度两极分化极其严重。但随着时间的推移,极贫困与高度贫困的比例逐年减少,中度、轻度以及非贫困的比例逐年增加。2015 年,极贫困与高度贫困比例之和为 78.20%, 轻度以及非贫困的比例之和为 11.54%, 表明贫困程度两极分化情况加重。

3.2.2 贫困空间特征

贫困空间集聚性反映着贫困的整体特征,因此借助 Opengoda 工具运用 queen 标准构建权重采用全局 Moran's I 指数探究多年 $MPI_{estimated}$ 的集聚性。2000—2015 年 Moran's I 指数分别为 0.49, 0.45, 0.47, 0.49 和 0.43, 表明 78 个区县的贫困程度具有

明显的集聚性,即 $MPI_{estimated}$ 值高的区县彼此邻近, $MPI_{estimated}$ 值低的区县也彼此呈带状集中。此外,借助 ArcGIS 软件探究了 $MPI_{estimated}$ 冷热点分布规律,发现 2000—2015 年间冷点与次冷点分布在贫困区中经济发展基础薄弱的泾源县和定西市漳县,多民族聚居和农业人口多的中卫市海原县和东乡族自治县,自然灾害频发的定西市通渭县和岷县等县;而热点与次热点分布在邻近城关区、城西区的永登县和湟中县等区县。

4 结论与讨论

本研究以六盘山连片特困区为例,以社会经济统计数据为基础并采用灰色关联模型构建

MPI_{statistical}。以 2000—2015 年间的 DMSP - OLS/NPP - VIIRS 灯光数据为基础,运用不变目标区域法、年内年际间相互校正构建足以实际反映特困区社会发展水平的 ALI。采用回归模型进一步检验两者关系,最终实现贫困空间化生成 MPI_{estimated} 并开展贫困识别。

1) 基于夜间灯光开展贫困空间化生成的 MPI_{estimated} 相较于社会经济数据生成的 MPI_{statistical} 而言,平均相对误差介于 3.14% ~ 3.52% 之间,与利用 NPP - VIIRS 数据对贫困识别的平均相对误差 12.51% 相比较,其精度更高。由此可见,利用校正后的夜间灯光数据能够较为准确、真实地反映六盘山连片特困区的贫困程度。

2) 2000—2015 年间县域 MPI_{estimated} 年平均值分别为 0.361, 0.372, 0.375, 0.378 和 0.382, 贫困程度逐年减轻。2000—2012 年间识别出极贫困县 39 ~ 46 个、高度贫困县 20 ~ 21 个、中度贫困县 4 ~ 9 个、轻度贫困和非贫困县 3 ~ 6 个。2015 年识别出极贫困县 45 个,高度贫困县 16 个,中度贫困、轻度贫困和非贫困县分别为 8, 4 和 5 个,表明特困区贫困程度两极分化现象严重。

3) 2000—2015 年间 Moran's I 指数分别为 0.49, 0.45, 0.47, 0.49 和 0.43, 表明 78 个区县的贫困程度具有明显集聚性。多年来冷点分布在贫困区的西南与东南部,次冷点集中在东北部和边缘区域,而热点与次热点分布兰州与西宁地区。

综上所述,识别微观空间的贫困程度是涉及多学科的问题。本文基于夜间灯光对六盘山连片特困区的实证研究,有效地证明夜间灯光数据对贫困模拟的合理性、客观性以及可识别出长时间贫困程度的时空演化规律。然而,由于研究区统计数据获取的有限性导致体系的建立还存在一定局限性;同时灯光数据在现有的校正方法上依旧存在误差。因此,构建更加完善的贫困评估体系和增强估算精度将是进一步研究的主要方向。

参考文献 (References) :

[1] 刘艳华,徐勇. 中国农村多维贫困地理识别及类型划分[J]. 地理学报,2015,70(6):993 - 1007.
Liu Y H, Xu Y. Geographical identification and classification of multi - dimensional poverty in rural China[J]. Acta Geographica Sinica,2015,70(6):993 - 1007.

[2] Liu Y H, Xu Y. A geographic identification of multidimensional poverty in rural China under the framework of sustainable livelihoods analysis[J]. Applied Geography,2016,73:62 - 76.

[3] 何深静,左姣姣,朱寿佳,等. 中国大城市贫困研究的多种测度与多层模型分析[J]. 人文地理,2014,29(6):74 - 80.
He S J, Zuo J J, Zhu S J, et al. Understanding urban poverty in

large Chinese cities using multiple measurements and hierarchical regression models[J]. Human Geography,2014,29(6):74 - 80.

[4] Jean N, Burke M, Xie M, et al. Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty [J]. Science, 2016, 353 (6301):790 - 793.

[5] 周亮,徐建刚,林蔚,等. 秦巴山连片特困区地形起伏与人口及经济关系[J]. 山地学报,2015,33(6):742 - 750.
Zhou L, Xu J G, Lin W, et al. Relationship of terrain relief degree and population economic development and evaluation of development suitability in continuous poor areas: A case study on Qinba of national contiguous special poverty - stricken areas[J]. Mountain Research,2015,33(6):742 - 750.

[6] 陈焯烽,王艳慧,王小林. 中国贫困村测度与空间分布特征分析[J]. 地理研究,2016,35(12):2298 - 2308.
Chen Y F, Wang Y H, Wang X L. Measurement and spatial analysis of poverty - stricken villages in China[J]. Geographical Research,2016,35(12):2298 - 2308.

[7] 田宇,许建,麻学锋. 武陵山片区多维贫困度量及其空间表征[J]. 经济地理,2017,37(1):162 - 169.
Tian Y, Xu J, Ma X F. Multidimensional poverty measurement and spatial distribution of contiguous special poverty - stricken areas: A case study on key city in Wuling Mountain area of poverty alleviation[J]. Economic Geography,2017,37(1):162 - 169.

[8] 杨振,江琪,刘会敏,等. 中国农村居民多维贫困测度与空间格局[J]. 经济地理,2015,35(12):148 - 153.
Yang Z, Jiang Q, Liu H M, et al. Multi - dimensional poverty measure and spatial pattern of China's rural residents[J]. Economic Geography,2015,35(12):148 - 153.

[9] Noor A M, Alegana V A, Gething P W, et al. Using remotely sensed night - time light as a proxy for poverty in Africa[J]. Population Health Metrics,2008,6(1):1 - 13.

[10] Elvidge C D, Sutton P C, Ghosh T, et al. A global poverty map derived from satellite data[J]. Computers and Geosciences,2009,35(8):1652 - 1660.

[11] Wang W, Cheng H, Zhang L. Poverty assessment using DMSP/OLS night - time light satellite imagery at a provincial scale in China [J]. Advances in Space Research,2012,49(8):1253 - 1264.

[12] Yu B L, Shi K F, Hu Y J, et al. Poverty evaluation using NPP - VIIRS nighttime light composite data at the county level in China [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,2015,8(3):1217 - 1229.

[13] 潘竟虎,胡艳兴. 基于夜间灯光数据的中国多维贫困空间识别 [J]. 经济地理,2016,36(11):125 - 131.
Pan J H, Hu Y X. Spatial identification of multidimensional poverty in China based on nighttime light remote sensing data [J]. Economic Geography,2016,36(11):125 - 131.

[14] 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[J]. 地球信息科学学报,2015,17(9):1093 - 1102.
Cao Z Y, Wu Z F, Kuang Y Q, et al. Correction of DMSP/OLS night - time light images and its application in China [J]. Journal of Geo - Information Science,2015,17(9):1093 - 1102.

[15] 李峰,米晓楠,刘军,等. 基于 NPP - VIIRS 夜间灯光数据的北京市 GDP 空间化方法[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):19 - 24. doi:10.6046/gtzyyg.2016.03.04.

- Li F, Mi X N, Liu J, et al. Spatialization of GDP in Beijing using NPP - VIIRS data [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2016, 28(3): 19 - 24. doi:10. 6046/gtzyyg. 2016. 03. 04.
- [16] 袁媛, 王仰麟, 马晶, 等. 河北省县域贫困度多维评估 [J]. *地理科学进展*, 2014, 33(1): 124 - 133.
- Yuan Y, Wang Y L, Ma J, et al. Multidimensional evaluation of county poverty degree in Hebei Province [J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(1): 124 - 133.
- [17] 袁涛. DMSP/OLS 数据支持的贫困地区测度方法研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- Yuan T. Monitoring Methods for Poor Areas Supported by DMSP/OLS Night Time Light Imagery [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- [18] 丁建军. 中国 11 个集中连片特困区贫困程度比较研究——基于综合发展指数计算的视角 [J]. *地理科学*, 2014, 34(12): 1418 - 1427.
- Ding J J. Comparative analysis on poverty degree of China's 11 contiguous destitute areas: With view of comprehensive development index [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(12): 1418 - 1427.
- [19] 李宗光, 胡德勇, 李吉贺, 等. 基于夜间灯光数据的连片特困区 GDP 估算及其空间化 [J]. *国土资源遥感*, 2016, 28(2): 168 - 174. doi:10. 6046/gtzyyg. 2016. 02. 26.
- Li Z G, Hu D Y, Li J H, et al. Simulation and spatialization of GDP in poverty areas based on night light imagery [J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2016, 28(2): 168 - 174. doi:10. 6046/gtzyyg. 2016. 02. 26.

Identification of poverty based on nighttime light remote sensing data: A case study on contiguous special poverty - stricken areas in Liupan Mountains

SHEN Dan^{1,2}, ZHOU Liang^{1,2,3}, WANG Peian^{1,2}

(1. College of Mapping and Geographic Information, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Provincial Engineering Laboratory for National Geographic State Monitoring, Lanzhou 730070, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In the process of targeted poverty alleviation, the problems that traditional data statistic aperture is not unified and that nighttime light data for identifying poverty is studied in a short time usually exist. With Liupan Mountain as an example, the average light index and multidimensional poverty index ($MPI_{\text{statistical}}$) indices were constructed by using the method of invariant target area and gray relational model with the help of night light and socio - economic statistics. Poverty estimation models were constructed through average light index and $MPI_{\text{statistics}}$. $MPI_{\text{estimation}}$ was generated and used to explore long - term sequence of poverty identification. Some conclusions have been reached: the accuracy of poverty results based on nighttime light image was higher, which can reflect the real poverty degree of the region, and the relative error ranges between 3.14% and 3.52%. The MPI estimated averages of the contiguous special poverty areas respectively are 0.346, 0.353, 0.353, 0.357 and 0.358 in many years. The level of poverty has been reduced year by year. Between 2000 and 2012, there were 39 ~ 46 counties with extremely poor conditions and 20 ~ 21 counties with highly poor conditions. The Moran's I index from 2000 to 2015 respectively were 0.49, 0.45, 0.47, 0.49 and 0.43, indicating that the poverty level in 78 counties exhibits obvious agglomeration. The pattern of poverty is presented with the spatial evolution trend of "relatively less poverty in the eastern and western regions and relatively heavier poverty in the northern and southern regions".

Keywords: DMSP - OLS/NPP - VIIRS; poverty index; targeted poverty alleviation; poverty identification; Liupan Mountains

(责任编辑: 张仙)