

地理科学
Scientia Geographica Sinica
ISSN 1000-0690, CN 22-1124/P

《地理科学》网络首发论文

题目: 桂西北喀斯特山区人口分布特征及其与自然因素的关系
作者: 史莎娜, 谢炳庚, 胡宝清, 汤传勇, 闫妍, 李晓青
收稿日期: 2018-09-15
网络首发日期: 2019-09-23
引用格式: 史莎娜, 谢炳庚, 胡宝清, 汤传勇, 闫妍, 李晓青. 桂西北喀斯特山区人口分布特征及其与自然因素的关系[J/OL]. 地理科学.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/22.1124.p.20190921.1218.018.html>



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。

桂西北喀斯特山区人口分布特征及其与自然因素的关系

史莎娜^{1,2}, 谢炳庚¹, 胡宝清^{2,3}, 汤传勇⁴, 闫妍^{2,3}, 李晓青¹

(1.湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 2.南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001; 3.广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西 南宁 530001; 4.南宁师范大学地理科学与规划学院, 广西 南宁 530001)

摘要:选择第六次全国人口普查的最小行政单位——乡(镇)为基本单元,利用Lorenz曲线和空间相关分析方法分析桂西北喀斯特山区乡(镇)级尺度下的人口空间分布特征,运用地理探测器方法探测自然因素单独和叠加作用后对区域人口空间分布的影响强度。结果表明:①乡(镇)级研究尺度下的人口空间分布具有不平衡性特征,呈现一般显著正相关和一定的聚集性;②各自然因素空间分布对人口分布的影响呈现显著差异,研究区西北和中南部没有喀斯特分布的乡镇,人口密度随有利于人类居住因素的增加而增加,但平均人口密度仅79人/km²。东部和南部有喀斯特分布的乡镇,人口密度与自然因素空间分布并非简单的增减关系,其随喀斯特分布面积的变化呈现起伏波动。③地理探测器的因子探测结果显示对人口空间分布的影响强度最大的为海拔高度,交互探测结果显示,任意两个自然因素叠加交互作用后的影响强度呈现非线性增强和双因子增强。可见,桂西北喀斯特山区与其他地区类似,海拔高度是影响人口空间分布的最主要因素之一,但喀斯特山区的河网密度及特有的地质地貌等因素对其人口的空间分布具有较强的催化作用,与其他因素叠加交互作用可进一步加强对其人口分布的影响。

关键词:喀斯特;人口分布特征;地理探测器;桂西北;广西

中图分类号:K901.3;K903

文献标识码:A

人口、资源、环境与发展是目前最重大的全球性问题^[1]。人口数量和其空间分布特征在一定程度上反映了一个地区自然条件的差异和经济发展水平的高低,因此揭示人口空间分布的地域特征具有重要意义^[2]。人口数量和分布主要受社会经济发展水平的影响,但无论社会经济发展到什么程度,人类的生存和发展都离不开自然环境,其过程和组合类型均要受到各种自然环境因素的影响,呈现出鲜明的地域差异性^[3]。中国多样化的自然环境导致了人口分布的区域差异性,明晰人口空间分布格局与自然环境的对于增进理解人地关系,实现人口、资源、环境的可持续管理作用重大^[4]。

目前,国内外学者在人口变化及空间分布^[5-9]、人口分布数据统计与模拟方法^[10-12]、人口分布与影响因素的关系^[13-18]等方面开展了大量的研究。研究尺度从全球、国家到市、县级均有涉及^[19-22],研究精度日趋精细。近年来在乡(镇)级研究尺度也开展了一些研究^[23-26],2015年柏中强等对中国25个省(市、区)的乡(镇)级研究尺度的人口分布特征及影响因素进行了分析,指出从乡(镇)级研究尺度开展人口分布研究能够更客观、精细地刻画人口分布的空间格局,但因数据缺乏和数据的可用性等因素,广西、四川等省区并未在其研究范围之内。此外,部分学者针对高原、山区等不同地形、

收稿日期:2018-09-15; **修订日期:**2018-12-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502406)、国家自然科学基金项目(41807522)、广西壮族自治区八桂学者工程专项经费(2019BG06)资助。[Foundation: National Program on Key Research Development Project (2016YFC050240), National Natural Science Foundation of China(41807522), The Bagui Scholars Program of Guangxi Zhuang Autonomous Region (2019BG06).]

作者简介:史莎娜(1984-),女,湖南常德人,博士研究生,高级工程师,主要从事景观生态与土地利用、资源利用与环境保护研究。E-mail:279641704@qq.com

通讯作者:谢炳庚,教授。E-mail:xbgyb@sina.com

网络出版时间:

网络出版地址:

地貌的人口空间分布特征及影响因素进行了研究,分析了高原、山区等不同地貌类型的人口分布与其它地区的异同^[27-30]。喀斯特地区特殊的地形、地貌、地质条件其人口分布及自然影响因素与其他区域有所不同,对喀斯特地区人口分布及相关方面的研究相对较少,研究单元多以县、市(区)为主^[31-33],研究内容以探讨喀斯特地区人口分布与各自然因素的关系、各因素的地带性特征为主,而探讨喀斯特地区各类自然因素对人口分布的影响差异,各类自然因素叠加后对人口分布影响强度变化的研究较为少见。

喀斯特山区是面积最大的喀斯特地貌类型区,基本特征是贫困与生态环境的恶性循环,是中国可持续发展问题的缩影^[34]。长期以来,不合理的耕作以及人口压力增加等原因,导致水土流失严重,石漠化面积不断扩大,从而导致喀斯特山区生态环境破坏的恶性循环。本文以桂西北(广西壮族自治区西北部)喀斯特山区为研究区,以乡(镇)为研究单元,采用空间相关分析方法研究喀斯特山区的人口空间分布特征,选取影响喀斯特山区人口空间分布的主要自然因素,采用地理探测器对喀斯特山区不同自然因素对人口空间分布影响的差异及各因素叠加交互作用后的综合影响强度进行定量分析,为喀斯特山区可持续发展、生态移

民安置与城镇体系优化布局提供科学参考。

1 研究区概况

桂西北地区位于云贵高原东南边缘,两广丘陵的西部,地处 $104^{\circ}29'\sim 109^{\circ}09'E$ 、 $23^{\circ}41'\sim 25^{\circ}37'N$ 。土地总面积 $6.97\times 10^4\text{ km}^2$,包括百色市和河池市,辖23个县(市、区),276个乡(镇)(图1)。2010年总人口683.60万人(第六次全国人口普查数据)。桂西北地区地势起伏较大,海拔高度分布在100~2 000 m之间,呈现东南低西北高的特点,山地占土地总面积的80%以上。该区域喀斯特地貌广为发育,最主要的喀斯特地貌类型为山地,占比超过80%。区域内碳酸盐岩的类型以连续性石灰岩、石灰岩与白云岩组合为主,占比超过70%。此外,这里是广西石漠化的主要分布区(广西石漠化面积2/3分布于该区)^[35],区域石漠化面积占土地总面积60%以上,生态环境极其脆弱。研究区属亚热带和中亚热带季风气候,年平均气温 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$,年均降水量1 000~1 600 mm,从东南向西北递减。河流主要有右江、红水河、龙江及其支流。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

乡(镇)人口数据来源于中国统计出版社出版

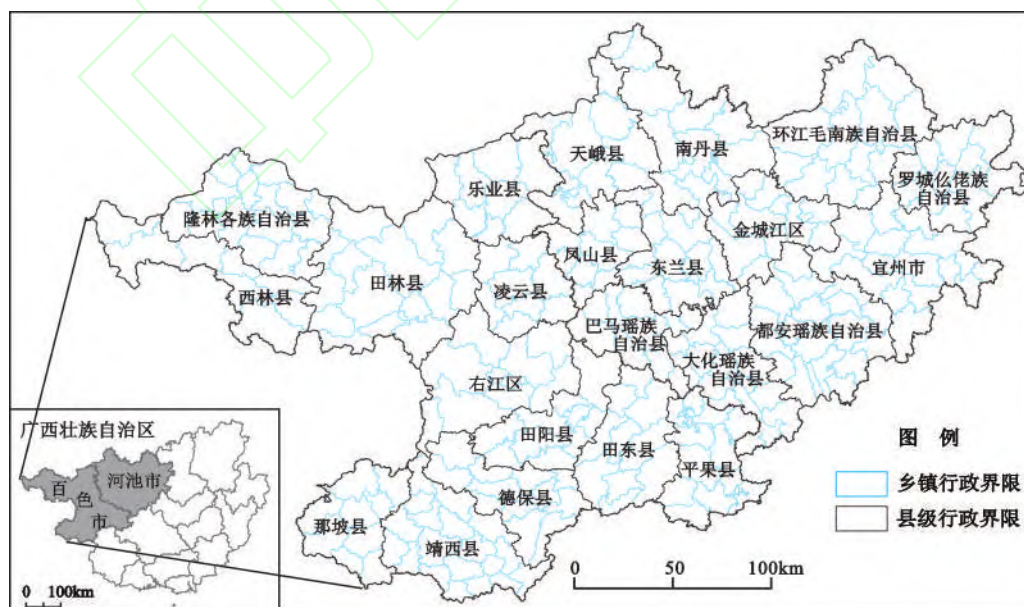


图1 研究区位置及范围

Fig. 1 Location and scope of the study area

的《中国2010年人口普查分乡、镇、街道资料》^[36]；数字高程模型(DEM, 30 m×30 m)土地利用现状、行政区划等数据来源于中国科学院数据云网站(<http://www.csd.cn/>)；气象数据来源于国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn/>)；喀斯特地貌数据源于中国科学院编制的《中华人民共和国地貌图集(1:100万)》^[37]；喀斯特地质数据来源于1:100万中华人民共和国数字地质图。

2.2 研究方法

2.2.1 人口空间分布分析方法

1) Lorenz 曲线法。本文采用 Lorenz 曲线分析人口空间分布的均衡性。Lorenz 曲线的绘制方法如下：根据乡(镇)平均人口密度从小到大排序，计算各乡(镇)人口累积比例和土地面积累积比例，将人口累积比例作为横轴，土地面积累积比例作为纵轴，绘制研究区人口分布的 Lorenz 曲线^[38]。Lorenz 曲线的弯曲程度代表人口分布的均衡性大小。

2) 空间自相关分析。本文采用空间自相关分析方法分析人口分布在空间上的相关性。空间自相关包括全局和局部空间自相关，全局空间自相关是某种现象或属性值在整个区域的分布情况，判断该现象或属性值在空间上是否存在聚集特征，局部空间自相关是揭示该现象或属性值在局部空间单元的分布情况。

2.2.2 地理探测器

地理探测器是探讨空间分异并揭示其驱动力的一组统计学方法^[39]，地理探测器中的因子探测可以对影响因子进行识别，交互探测可以解释影响因子对因变量的交互作用，是研究复杂地理因素驱动作用机理的有效工具^[40]。

1) 因子探测可以探测某种影响因子在多大程度上解释了地理要素的空间分异性，以及探测某种影响因子与地理要素的变化在空间上是否具有显著的一致性，计算公式如下：

$$Q_{DY} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^L n_{D,i} \sigma_{Y_{ik}}^2}{n \sigma_Y^2} \quad (1)$$

式中， Q_{DY} 为探测因子 D 对地理要素 Y 的探测力值； $i=1, \dots, L$ ，为探测因子的分层，即分类或分区； n 为单元数量； $n_{D,i}$ 为探测因子层 i 的单元数量； σ_Y^2 和 $\sigma_{Y_{ik}}^2$ 分别为全区和层 i 的 Y 值的方差。假设 $\sigma_{Y_{ik}}^2 \neq 0$ ，则模型成立， Q_{DY} 的取值区间为 $[0, 1]$ ， $Q_{DY}=0$ 时，表明地理要素不受影响因子的驱动， Q_{DY} 值越大表明该因

子对地理要素的影响越大。通过比较因子探测力值 Q_{DY} 的大小，探测地理要素空间分布的主要影响因子。

2) 交互作用探测可以分析不同影响因子之间的相互作用，评估其相互作用时是否会增强或减弱对地理要素空间分异的影响。如对影响地理要素空间分布的因素 A 与 B 进行交互作用探测，首先计算两种因素的 Q 值，然后叠加 A 与 B 图层形成图层 C ，得到他们交互的 Q 值，通过对比 A 、 B 、 C 图层的影响力值 Q_A 、 Q_B 和 Q_C ，就可评估两个因素相互作用对地理要素空间分异的影响与单个因素的影响大小。两个影响因素对地理要素空间分布交互影响的关系类型有5种，当 $Q(A \cap B) < \min[Q(A), Q(B)]$ 为非线性减弱， $\min[Q(A), Q(B)] < Q(A \cap B) < \max[Q(A), Q(B)]$ 为单线性减弱， $Q(A \cap B) > \max[Q(A), Q(B)]$ 为双因子增强， $Q(A \cap B) > Q(A) + Q(B)$ 为非线性增强， $Q(A \cap B) = Q(A) + Q(B)$ 为独立。

3 人口空间分布特征

3.1 人口空间分布总体格局

2010年桂西北喀斯特山区乡(镇)人口总量和人口密度在空间上存在较大差异(图2)，人口最多的庆远镇总人口15.59万人，最少的三弄瑶族乡仅3991人，其极值比为39.06。人口密度最高的金城江街道5377人/km²，而最低的百乐乡仅有21人/km²，前者是后者的256倍。总体而言，桂西北喀斯特山区人口空间分布呈现如下特征：①人口总量呈东南多、西北少，人口主要分布在东部、南部各县(市)，西部特别是西北的田林县、乐业县等地人口较少。②人口密度从东南到西北逐渐降低，人口相对密集的区域在东部、南部的罗城县、宜州市、都安县、大化县、平果县等地；西部人口密度较低，大部分地区人口密度在60人/km²以下。③县(市、区)政府所在乡(镇)街道的人口总量和人口密度为所在县(市)最高。如庆远镇是宜州区委、区政府所在地，其人口密度达到494人/km²。田州镇是田阳县城所在地，其人口密度达到802人/km²。

3.2 人口空间分布的均衡性

Lorenz 曲线弯曲程度较大(图3)，偏离绝对平均线，说明人口空间分布极不均衡。不同密度等级内的人口与土地面积比例具有明显的不均衡性，2010年桂西北10%的人口分布在区域总面积的25%以上的土地上，其人口密度低于50人/km²。当

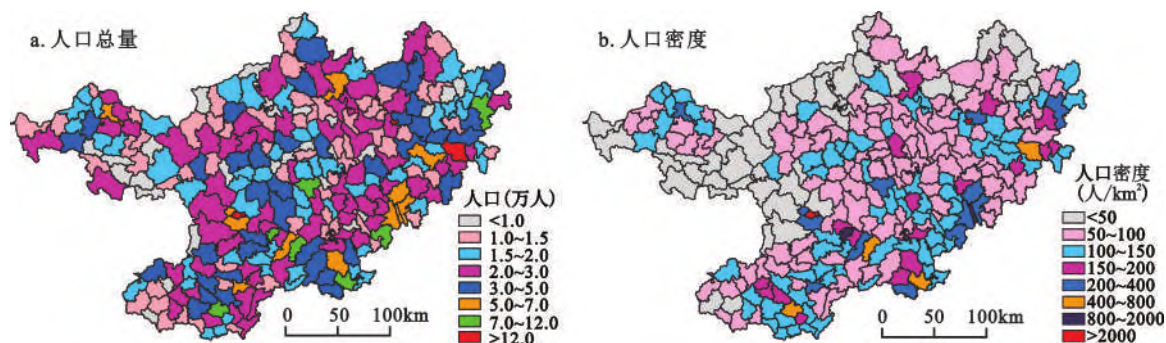


图2 2010年桂西北人口总量与人口密度空间分布

Fig.2 Spatial distribution of total population and population density in the northwestern Guangxi in 2010

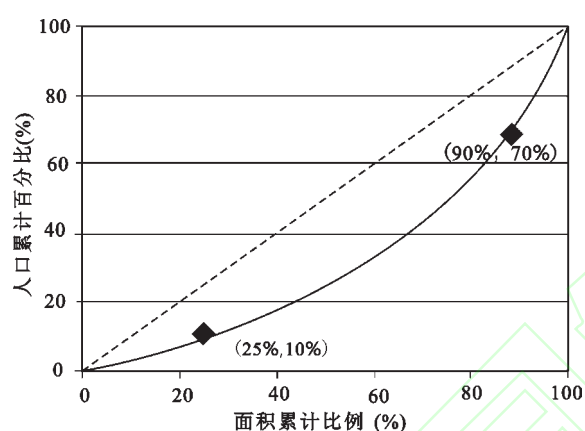


图3 2010年桂西北乡(镇)人口分布 Lorenz 曲线

Fig.3 Lorenz curve of population distribution in northwest Guangxi in 2010

人口占比累积接近70%时,其所占有土地总面积接近90%,人口密度均在150人/km²以下,可见桂

西北大部分地区的人口密度均较低。而人口密度达到400人/km²以上的区域,所占土地面积仅1.62%,但分布了12.94%的人口,说明桂西北部分面积较小的区域聚集了大量人口,研究区内人口空间分布极不均衡。

3.3 人口分布的空间自相关

全局自相关分析结果显示,2010年桂西北人口密度的Moran's I 为0.027(图4a),经显著性检验 Z 值为1.900, $P < 0.03$,呈现空间正相关,说明2010年桂西北人口密度的空间分布并不是完全随机的,而是呈现部分空间位置上相邻的区域单元具有相同的属性值。局部空间自相关分析结果显示(图4b),人口密度的高-高集聚区主要零星分布在河池、百色两市的中心城市或重点城镇,如百育镇、新安镇,这些乡(镇)自然条件较好,地势相对平坦,地貌主要为平原和丘陵,且水陆交通相对较便利,人口密度均较高;人口密度的低-

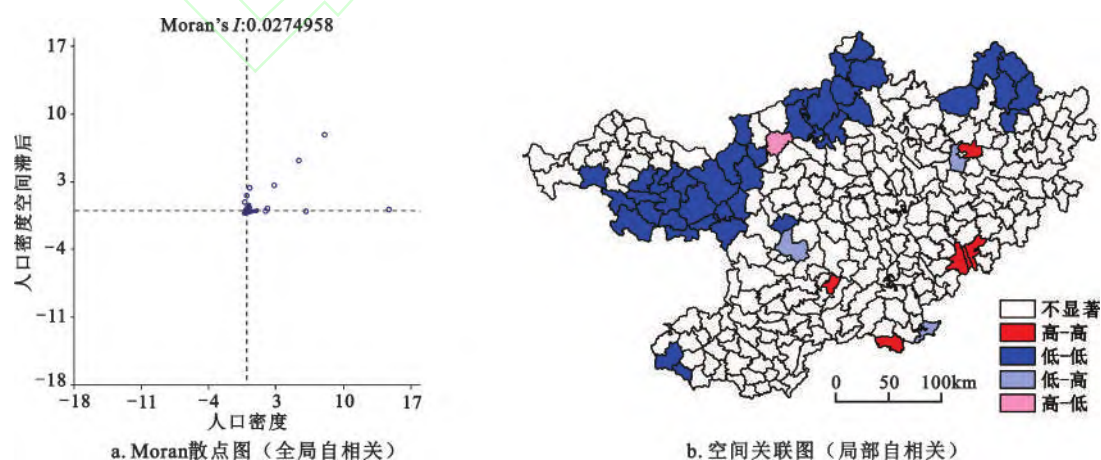


图4 2010年桂西北人口密度Moran散点图(全局自相关)及空间关联图(局部自相关)

Fig.4 Moran scatter plot (global autocorrelation) and spatial correlation map (local autocorrelation) of population density in the northwestern Guangxi in 2010

低聚集区主要分布在远离中心城市的乡镇,如田林县、天峨县等县的大部分乡(镇),这些乡(镇)自然条件相对较差,山地较多,区域人口数量少;人口密度的低-高聚集区分布在两市中心城区周边的乡(镇),如永乐镇、六圩镇,其人口密度远比周边的中心城镇低;人口密度的高-低聚集区分布在远离中心城市的中心镇,如同乐镇,虽然该乡(镇)与周边乡(镇)同样具有较高的地势,但其自然资源丰富、交通便利,为县城所在地,其人口密度远比周边城镇高。

4 自然因素对桂西北喀斯特地区人口分布的影响

4.1 自然因素分布与人口分布的关系

自然因素中的海拔高度、地面坡度以及气候、水文、植被等被认为是影响人口分布主要因素^[34,41],海拔高度和喀斯特地质条件被认为是影响喀斯特地区人口分布的2个主要因素^[42,43]。基于已有研究成果及数据的可获取性,本文选取的自然影响因子为海拔高度(H)、地面坡度(Sl)、年平均气温(Ta)、河网密度(Rn)、森林覆盖率(Tr)、喀斯特分布面积比(Kr)、喀斯特地貌类型(Km)、喀斯特地质类型(Ca)。

4.1.1 人口密度与海拔高度

海拔高度在200 m以下的乡镇,人口密度最高,为541人/ km^2 ,约为海拔高度在900 m以上乡镇人口密度的6.5倍,约为海拔在200~500 m乡镇人口密度的4倍。海拔高度200~500 m的乡镇是人口的主要聚集区(表1),人口密度为136人/ km^2 ,分布在研究区东南面大部分乡镇。整体上,人口呈现低海拔聚集的特征(图5a)。

4.1.2 人口密度与地面坡度

地面坡度小于15°的乡镇,人口密度最高,为287人/ km^2 ,分布在研究区南面的头塘镇和东部的庆远镇等乡镇(图5b),是地面坡度25°~30°乡镇人口密度的3.7倍,是地面坡度30°以上乡镇的2.6倍。地面坡度20°~25°的乡镇是人口的主要聚集区(表1),但人口密度仅为85人/ km^2 。整体上,人口密度随着地面坡度的增加而降低,人口倾向于聚集在地面坡度较小的乡镇。

4.1.3 人口密度与年平均气温

年平均气温21℃以上的乡镇,人口密度最高,为169人/ km^2 ,主要分布在研究区南面田阳县、平果县等县的部分乡镇(图5c),是年平均气温低于18℃乡镇人口密度的2.7倍。年平均气温20℃以上的乡镇是人口的主要聚集区(表1),分布在研

表1 2010年自然因素与桂西北人口空间分布关系

Table 1 The relationship of natural factors and spatial distribution in the northwestern Guangxi in 2010

影响因子	分级	占总人口比重(%)	占土地总面积比重(%)	影响因子	分级	占总人口比重(%)	占土地总面积比重(%)	影响因子	类型	占总人口比重(%)	占土地总面积比重(%)
海拔高度(m)	<200	4.35	0.79	河网密度	0	5.20	5.40	喀斯特地貌类型	山地	34.08	42.98
	200~500	45.04	32.51		0~0.01	61.30	71.34		丘陵	1.45	0.31
	500~700	15.56	23.14		0.01~0.02	20.47	15.02		山地平原	18.56	15.11
	700~900	20.30	26.31		0.02~0.03	5.36	4.76		山地平原丘陵	15.58	11.58
	>900	14.74	17.25		>0.03	7.68	3.48		山地平原丘陵台地	6.09	2.66
地面坡度(°)	<15	8.60	2.93	森林覆盖率(%)	<30	14.77	9.34	喀斯特地质类型组合方式*	其他组合	7.72	6.87
	15~20	18.67	11.75		30~50	23.59	16.93		非喀斯特	16.52	20.49
	20~25	51.99	59.59		50~60	19.84	15.20		b	4.45	2.21
	25~30	19.36	24.52		60~70	20.08	23.70		ad	6.03	4.05
	>30	1.39	1.21		>70	21.71	34.84		abc	9.10	7.52
年平均气温(℃)	<18	6.66	10.53	喀斯特分布面积比(%)	0	16.52	20.49		abd	18.67	17.15
	18~19	15.07	18.06		0~40	21.23	26.44		abcd	33.46	37.88
	19~20	26.26	31.51		40~60	14.81	12.16		其他组合	11.76	10.70
	20~21	25.02	24.22		60~80	11.76	11.89		非喀斯特	16.52	20.49
	>21	26.99	15.68		>80	35.69	29.03				

注:*a为连续性石灰岩组合;b为石灰岩、白云岩组合;c为灰岩加碎屑岩组合;d为灰岩、白云岩与碎屑岩组合。

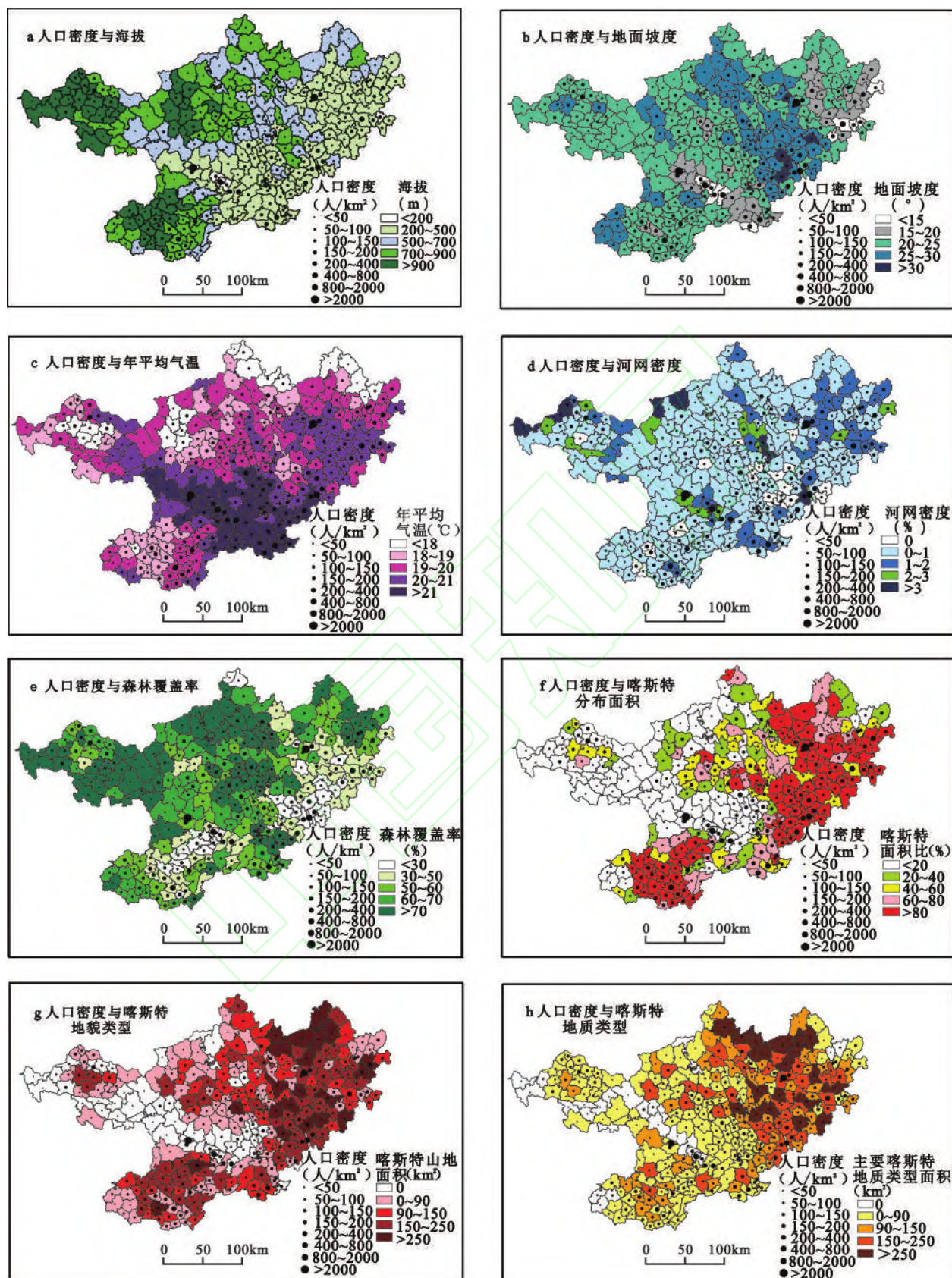


图5 2010年桂西北自然因素与人口密度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of natural factors and population density in Northwest Guangxi in 2010

究区南面和东面,人口密度在 100 人/km² 以上。整体上,随着年平均气温的升高,人口密度逐渐增加。

4.1.4 人口密度与河网密度

河网密度大于 3% 的乡镇,人口密度最高,为 216 人/km²,分布在幼平乡、雅长乡等乡镇(图 5d),是没有河流经过乡镇人口密度的 2.3 倍。河网密度 0~1% 的乡镇,是人口主要的聚集区(表 1),但人口密度仅 84 人/km²。整体上,随着河网密度的增加,人口密度呈现增加趋势。

4.1.5 人口密度与森林覆盖率

森林覆盖率 30% 以下的乡镇,人口密度最高,为 155 人/km²,人口比重为 14.77%(表 1),分布在研究区北及西北面的部分乡镇(图 5e),为森林覆盖率 70% 以上乡镇的 2.5 倍,森林覆盖率 70% 以上的乡镇,人口密度仅 61 人/km²。整体上,随着森林覆盖率的增加,人口密度逐渐减少。

4.1.6 人口密度与喀斯特分布面积

喀斯特分布面积大于 80% 的乡镇,人口密度最高,达到 120 人/km²,是人口的主要聚集区(表 1),分布在研究区东面以及南面(图 5f),为没有喀斯特分布和喀斯特分布面积小于 40% 乡镇的 1.5 倍。没有喀斯特分布的乡镇人口密度为 79 人/km²,分布在研究区的西面和中偏南面。整体上,随着喀斯特面积的增加人口密度先增加后减少再增加。

4.1.7 人口密度与喀斯特地貌类型

研究区喀斯特地貌类型以山地为主,喀斯特山地面积大于 150 km² 的区域主要集中在研究区东北面和南面的大部分乡镇,喀斯特山地面积小于 90 km² 的区域在研究区分布较为分散(图 5g)。其余地貌类型还有喀斯特丘陵、台地和平原,它们在乡镇的组合方式有 8 种,这里主要分析占人口比重较大的 5 种组合类型(表 1)。在没有喀斯特山地分布仅有喀斯特丘陵分布的乡镇,人口密度最大,达到 460 人/km²。4 种地貌类型都有的乡镇,人口密度为 224 人/km²,主要分布在东面的北牙瑶族乡、怀远镇等乡镇,是没有喀斯特分布乡镇人口的 2.84 倍。仅有喀斯特山地分布的乡镇,人口密度为 78 人/km²,是人口的主要聚集区,分布在东部、南部和北部的少部分乡镇。整体上,仅有喀斯特山地和没有喀斯特地貌的乡镇人口密度最小,除仅有喀斯特丘陵分布的乡镇外,人口密度随着喀斯特地貌类型组合数量的增加呈现增加趋势,其中

影响最大的地貌类型为喀斯特山地。

4.1.8 人口密度与喀斯特地质类型

研究区喀斯特地质类型以连续性石灰岩组合(a)和石灰岩、白云岩组合(b)为主。主要喀斯特地质类型面积大于 150 km² 的区域分布在研究区东面和东南面的大部分乡镇,主要喀斯特地质类型面积小于 90 km² 的区域分布在研究区西面大部分乡镇(图 5)。其余喀斯特地质类型有灰岩加碎屑岩组合(c),灰岩、白云岩与碎屑岩组合(d),连续性白云岩(e),白云岩加碎屑岩组合(f)。6 种地质类型在乡镇的组合方式有 22 种,这里主要分析占人口比重较大的前 5 种组合类型。研究发现,仅有第 1 种类型(b)分布的乡镇人口密度最高,达到 205 人/km²,是第 5 种组合类型(abcd 组合)分布乡镇的 2.3 倍,是没有喀斯特分布乡镇的 2.5 倍。第 5 种组合类型(abcd 组合)分布的乡镇为人口的主要聚集区,但人口密度仅 90 人/km²,主要分布在研究区东部六圩镇、长老乡等乡镇。没有喀斯特分布乡镇的人口密度处于中低等水平。整体上,随着喀斯特地质类型组合数量的增加人口密度逐渐减少,其中影响最大的为连续性石灰岩组合(a)及石灰岩、白云岩组合(b)。

4.2 自然因素对人口分布的影响强度分析

采用地理探测器可定量探究各自然因素的影响强度,以及不同自然因素相互叠加之后影响强度的增减关系。由于无法直接将所有的喀斯特地貌和地质类型的组合情况量化进行地理探测分析,根据研究区的情况,最后选择喀斯特山地面积和主要喀斯特地质类型面积代替,运用自然断点法将 8 个自然因素划分不同等级,然后对其进行离散化处理并进行地理探测器分析。

1) 地理探测器分析结果显示,8 个自然因素单独作用对人口密度空间分布均具有一定的影响力,且各自然因素耦合叠加后的综合影响力均显著增强(表 2)。因子探测结果显示各自然因素对人口空间分布的影响力由大到小分别是海拔高度(0.17)、河网密度(0.16)、年平均气温(0.06)、森林覆盖率(0.05)、地面坡度(0.02)、喀斯特分布面积(0.01)、喀斯特山地面积(0.01)、主要喀斯特地质类型面积(0.01)。

2) 交互探测结果显示除地面坡度与年平均气温因子交互作用呈双因子增强外,其余因子交

表2 桂西北人口空间分布的自然因素交互作用情况

Table 2 Interaction of natural factors in the spatial distribution of population in Northwest Guangxi

$A \cap B = C$	$A+B$	比较	$A \cap B = C$	$A+B$	比较
$H \cap Kr=0.22$	$0.17+0.01=0.18$	$C>A+B$	$Km \cap Ca=0.021$	$0.01+0.01=0.02$	$C>A+B$
$H \cap Km=0.24$	$0.17+0.01=0.18$	$C>A+B$	$Km \cap Rn=0.20$	$0.01+0.16=0.17$	$C>A+B$
$H \cap Ca=0.24$	$0.17+0.01=0.18$	$C>A+B$	$Km \cap Sl=0.05$	$0.01+0.02=0.03$	$C>A+B$
$H \cap Rn=0.65$	$0.17+0.16=0.33$	$C>A+B$	$Km \cap Ta=0.11$	$0.01+0.06=0.07$	$C>A+B$
$H \cap Sl=0.85$	$0.17+0.02=0.19$	$C>A+B$	$Km \cap Tr=0.20$	$0.01+0.05=0.06$	$C>A+B$
$H \cap Ta=0.26$	$0.17+0.06=0.23$	$C>A+B$	$Ca \cap Rn=0.22$	$0.01+0.16=0.17$	$C>A+B$
$H \cap Tr=0.34$	$0.17+0.05=0.22$	$C>A+B$	$Ca \cap Sl=0.05$	$0.01+0.02=0.03$	$C>A+B$
$Kr \cap Km=0.08$	$0.01+0.01=0.02$	$C>A+B$	$Ca \cap Ta=0.09$	$0.01+0.06=0.07$	$C>A+B$
$Kr \cap Ca=0.05$	$0.01+0.01=0.02$	$C>A+B$	$Ca \cap Tr=0.11$	$0.01+0.05=0.06$	$C>A+B$
$Kr \cap Rn=0.46$	$0.01+0.16=0.17$	$C>A+B$	$Rn \cap Sl=0.26$	$0.16+0.02=0.18$	$C>A+B$
$Kr \cap Sl=0.07$	$0.01+0.02=0.03$	$C>A+B$	$Rn \cap Ta=0.50$	$0.16+0.06=0.22$	$C>A+B$
$Kr \cap Ta=0.17$	$0.01+0.06=0.07$	$C>A+B$	$Rn \cap Tr=0.43$	$0.16+0.05=0.21$	$C>A+B$
$Kr \cap Tr=0.08$	$0.01+0.05=0.06$	$C>A+B$	$Sl \cap Tr=0.12$	$0.02+0.05=0.07$	$C>A+B$
$Ta \cap Tr=0.23$	$0.06+0.05=0.11$	$C>A+B$	$Sl \cap Ta=0.07$	$0.02+0.06=0.08$	$C>Max(A, B)$

注: H 为自然影响因子为海拔高度、 Sl 为地面坡度、 Ta 为年平均气温、 Rn 为河网密度、 Tr 森林覆盖率、 Kr 为喀斯特分布面积比、 Km 为喀斯特地貌类型、 Ca 为喀斯特地质类型。

互作用后均呈非线性增强(表2)。其中,海拔高度与各因素两两叠加后强度均较大,尤其与地面坡度叠加作用后其值最大,且增加率达到70%以上,主要是因为桂西北地处山区且海拔差异较大,而其他地理要素不可避免要受到海拔高度的影响。而河网密度在与喀斯特地质地貌条件因素叠加作用时对人口空间分布的影响强度增加率最高,均超过90%。主要是由于喀斯特地区储水保水能力较差,人类对河网水系具有更强的倾向性。

3) 喀斯特地质地貌因素与其他因素叠加作用后增幅均较大,大部分增幅在80%以上。主要是由于桂西北喀斯特地区地处亚热带,水热等气候条件较好,具备适宜人类居住的自然条件,因此,喀斯特地质地貌因素单独作用对人口空间分布的影响强度并不明显。但是,碳酸盐岩类岩石的溶蚀作用强烈,叠加上海拔高度、地面坡度等自然因素之后就会呈现更高的敏感性和脆弱性。如海拔升高、坡度增加,可导致溶蚀作用加强,土壤极易顺坡流失,最后可能出现土层变薄甚至出现基岩裸露现象,不适宜作物生长也不适宜人类居住,喀斯特地区特有的地质地貌因素与其他自然因素叠加之后,对喀斯特山区人口空间分布的影响强度显著增加。

5 结论与讨论

5.1 结论

1) 桂西北喀斯特山区乡(镇)尺度下的人口空间分布极不均衡,东南部人口数量及密度均高于西北部,人口密度从东南向西北逐渐降低,县(市)政府所在地的乡(镇、街道)的人口总量和人口密度为所在县(市)最高。人口分布呈现一定的聚集性,人口密度的高值区和低值区并非完全随机分布,高值区辐射能力较弱,低值区辐射能力相对较强。

2) 桂西北喀斯特地区人口分布随不同自然因素的空间分布变化呈现明显差异。在研究区西北和中南部没有喀斯特分布的乡镇,人口密度整体处于较低水平,海拔高度、地面坡度、森林覆盖率较高的乡镇人口密度相对较低,年平均气温、河网密度较高的乡镇人口密度相对较高。在有喀斯特分布的东部和南部等乡镇,除喀斯特地质地貌因素外,人口密度随着适宜人类居住的自然因素的增加而增加,但随着喀斯特面积的增加呈现出波浪型变化特征。此外,在喀斯特地质类型单一或地貌类型多样的乡镇人口密度相对较高,反之较低。

3) 各因素单独作用对人口空间分布的影响强度最大的是海拔高度,最小的是喀斯特地质地貌因素。但任意两个自然因素叠加作用都能增强对人口空间分布的影响,强化方式为非线性增强和双因子增强。人口空间分布受到多种自然因素的空间分布情况共同影响,任意因素的改变,均可能影响人口空间分布的变化。虽然研究区域的喀斯特地质地貌要素单独作用时对人口空间分布的影响强度较低,但其与任何自然因素两两叠加作用后对人口空间分布的影响均显著增强,且大部分增加率超过90%,可见,在桂西北喀斯特地区人口的空间分布并不完全取决于自然影响因素中的影响力最强的因素,喀斯特地质地貌因素的作用不可忽视。

5.2 讨论

1) 在桂西北喀斯特分布面积超过80%的区域人口密度最大,聚集了一定数量的人口,与李旭东等研究文献^[42]的贵州喀斯特高原区西北面虽然分布着较广的喀斯特地貌但也聚集了大量的人口这个研究结论有一定的相似之处。但是,在桂西北没有喀斯特分布的乡镇与仅有喀斯特山地分布的乡镇人口密度接近,人口空间分布与喀斯特地质地貌条件等因素之间并非简单的线性关系,而是受到海拔高度等多种自然因素的共同影响。

2) 无论是在喀斯特地区还是在非喀斯特地区,人口空间分布都受自然影响因素和经济影响因素的双重作用,自然因素作为基础也影响着经济因素的分布,但喀斯特地区自然生态环境更加脆弱,自然因素的影响与非喀斯特地区必然存在一定差异,并通过影响经济因素进一步影响人口空间分布。喀斯特地区与非喀斯特地区相比,人口的增长可突破自然因素限制的程度有何差异,改变喀斯特地区的自然条件能对人口空间分布可产生多大影响,如何在保护喀斯特地区生态环境和保障经济发展的基础上,合理的进行人口空间布局是需要进一步研究的问题。

参考文献(References):

- [1] 封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国人口分布的土资源限制性限制度研究[J]. 地理研究, 2014, 33(8): 1395-1405. [Feng Zhiming, Yang Yanzhao, You Zhen. Research on land resources restriction on population distribution in China, 2000-2010. Geographical Research, 2014, 33(8): 1395-1405.]
- [2] 沈思连, 王春伟, 汤静. 基于GWR模型的河南省人口分布的影响因素研究[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(3): 165-174. [Shen Silian, Wang Chunwei, Tang Jing. Research on influential factors of population distribution in Henan Province based on GWR model. Mathematics In Practice And Theory, 2014, 44(3): 165-174.]
- [3] 张善余. 人口地理学概论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1999. [Zhang Shanyu. Population geography studies. Shanghai: East China Normal University Press, 1997.]
- [4] 方瑜, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国人口分布的自然成因[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3488-3495. [Fang Yu, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua et al. Natural forming causes of China population distribution. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(12): 3488-3495.]
- [5] 胡焕庸. 中国人口之分布——附统计表与密度图[J]. 地理学报, 1935, 2(2): 33-74. [Hu Huanyong. The distribution of population in China. Acta Geographica Sinica, 1935, 2(2): 33-74.]
- [6] Small Christopher, Cohen Joel E. Continental physiography, climate and the global distribution of human population[J]. Current Anthropology, 2004, 45(2): 269-277.
- [7] Liao Yilan, Wang Jingfeng, Meng Bin, et al. Integration of GP and GA for mapping population distribution[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 47-67.
- [8] 潘倩, 金晓斌, 周寅康. 近300年来中国人口变化及时空分布格局[J]. 地理研究, 2013, 32(7): 1291-1302. [Pan Qian, Jin Xiaobing, Zhou Yinkang. Population change and spatiotemporal distribution of China in recent 300 years. Geographical Research, 2013, 32(7): 1291-1302.]
- [9] 杨强, 李丽, 王运动, 等. 1935-2010年中国人口分布空间格局及其演变特征[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1547-1560. [Yang Qiang, Li Li, Wang Yundong et al. Spatial distribution pattern of population and characteristics of its evolution in China during 1935-2010. Geographical Research, 2016, 35(8): 1547-1560.]
- [10] Dobson Jerome E, Bright Edward A, Coleman Phillip R et al. LandScan: A global population database for estimating populations at risk[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(7): 849-857.
- [11] Briggs David J, Gulliver John, Fecht Daniela et al. Dasymetric modelling of small-area population distribution using land cover and light emissions data[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(4): 451-466.
- [12] Yue Tianxiang, Wang Yingnan, Liu Jiyan et al. Surface modelling of human population distribution in China[J]. Ecological Modelling, 2004, 181(4): 461-478.
- [13] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性[J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1073-1082. [Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution.

- Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1073-1082.]
- [14] 吕晨, 樊杰, 孙威. 基于ESDA的中国人口空间格局及影响因素研究[J]. 经济地理, 2009, 29(11): 1797-1802. [Lü Chen, Fan Jie, Sun Wei. Population distribution and the influencing factors based on ESDA. Economic Geography, 2009, 29(11): 1797-1802.]
- [15] Song GuoBao Li ZhengHai, Bao YaJing et al. Spatial distribution regularity and influence factors of population density in the LRGR[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(2): 90-97.
- [16] 汪思言, 杨传国, 庞华, 等. 珠江流域人口分布特征及其影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S2): 447-450. [Wang SiYan, Yang ChuanGuo, Pang Hua et al. Characteristics of population distribution in the Pearl River basin and the impact factors analysis. China Population.Resources and Environment, 2014, 24(S2): 447-450.]
- [17] Chen Min, Xu Chonggang, Wang Rusong. Key natural impacting factors of China's human population distribution[J]. Population and Environment, 2007, 28(3): 187-200.
- [18] Small C. Global analysis of urban population distributions and the physical environment[M]//Proceedings of the open meeting of the human dimensions of global environmental change research community. Riode Janeiro: Brazil Academy of Science, 2001: 6-8.
- [19] Balk D L, Deichmann U, Yetman G et al. Determining global population distribution: Methods, applications and data[J]. Advances in Parasitology, 2006, 62: 119-156.
- [20] 张锦宗, 梁进社, 朱瑜馨, 等. 土地资源和GDP对中国人口分布的影响机理分析[J]. 地理科学, 2017, 37(7): 1006-1013. [Zhang Jinzong, Liang Jinshe, Zhu Yuxin et al. Land and GDP's function on population distribution in China. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(7): 1006-1013.]
- [21] 杨卡. 大北京人口分布格局与多中心性测度[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 83-89. [Yang Ka. Population distribution and multicenter measurement of great Beijing. China Population.Resources and Environment, 2015, 25(2): 83-89.]
- [22] 封志明, 杨艳昭, 游珍, 等. 基于分县尺度的中国人口分布适宜度研究[J]. 地理学报, 2014, 69(6): 723-737. [Feng Zhiming, Yang Yanzhao, You Zhen et al. Research on the suitability of population distribution at the county level in China. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(6): 723-737.]
- [23] 张志斌, 潘晶, 达福文. 兰州城市人口空间结构演变格局及调控路径[J]. 地理研究, 2012, 31(11): 2055-2068. [Zhang Zhibin, Pan Jing, Da Fuwen. Population spatial structure evolution pattern and regulation pathway in Lanzhou city. Geographical Research, 2012, 31(11): 2055-2068.]
- [24] 梁昊光, 刘彦随. 北京市人口时空变化与情景预测研究[J]. 地理学报, 2014, 69(10): 1487-1495. [Liang Haoguang, Liu Yansui. Study on spatio-temporal change and simulation of population in Beijing based on census data. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(10): 1487-1495.]
- [25] 车冰清, 仇方道. 基于镇域尺度的江苏省人口分布空间格局演变[J]. 地理科学, 2015, 35(11): 1381-1387. [Che Bingqing, Qiu Fangdao. Spatio-temporal changes of population distribution at sub-district level in Jiangsu Province. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(11): 1381-1387.]
- [26] 柏中强, 王卷乐, 杨雅萍, 等. 基于乡(镇)尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素[J]. 地理学报, 2015, 70(8): 1229-1242. [Bai Zhongqiang, Wang Juanle, Yang Yaping et al. Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(8): 1229-1242.]
- [27] 张善余. 人口垂直分布规律和中国山区人口合理再分布研究[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1996. [Zhang Shanyu. Studies on vertical distribution of the population and reasonable redistribution in the Chinese mountain areas. Shanghai: East China Normal University Press, 1996.]
- [28] 廖顺宝, 孙九林. 青藏高原人口分布与环境关系的定量研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(3): 65-70. [Liao Shunbao, Sun Jiulin. Quantitative analysis of relationship between population distribution and environmental factors in Qinghai-Tibet Plateau. China Population.Resources and Environment, 2003, 13(3): 65-70.]
- [29] 曾永明. 高原高山区人口分布特征及影响机制研究-基于空间计量经济学视角[J]. 南方人口, 2014, 29(3): 1-9. [Zeng Yongming. Research on population distribution and its influence mechanism in plateau and alpine region by spatial econometric modeling. South China Population, 2014, 29(3): 1-9.]
- [30] 杜本峰, 张耀军. 高原山区人口分布特征及其主要影响因素——基于毕节地区的Panel Data计量模型分析[J]. 人口研究, 2011, 35(5): 90-101. [Du Benfeng, Zhang Yaojun. Characteristics of population distribution in plateau mountainous areas and their major influencing factors: A panel data analysis in Bijie area. Population Research, 2011, 35(5): 90-101.]
- [31] 李旭东, 张善余. 贵州喀斯特高原人口分布的自然环境因素I. 主要影响因素研究[J]. 干旱区研究, 2007, 23(1): 120-125. [Li Xudong, Zhang Shanyu. Study on the natural environmental factors affecting population distribution in the Guizhou karst plateau: Analysis on the main factors. Arid Zone Research, 2007, 23(1): 120-125.]
- [32] 李旭东. 贵州喀斯特高原人口分布的自然环境因素II. 多元回归分析与地带性研究[J]. 干旱区研究, 2007, 23(2): 280-286. [Li Xudong. Study on the natural environmental factors affecting population distribution in the Guizhou karst plateau: Multivariate regression analysis and zonality. Arid Zone Research, 2007, 23(2): 280-286.]
- [33] 张信宝, 王世杰, 白晓永, 等. 贵州石漠化空间分布与喀斯特地貌、岩性、降水和人口密度的关系[J]. 地球与环境, 2013, 41(1): 1-6. [Zhang Xinbao, Wang Shijie, Bai Xiaoyong et al. Relation-

- ships between the spatial distribution of karst land desertification and geomorphology, lithology, precipitation, and population density in Guizhou Province. *Earth and Environment*, 2013, 41(1): 1-6.]
- [34] 汤顺林, 王世杰, 冯新斌, 等. 喀斯特石山地区社会经济与生态环境可持续发展系统研究: 以桂西北为例[J]. *安全与环境学报*, 2001, 1(3): 36-40. [Tang Shunlin Wang Shijie, Feng Xinbing et al. System dynamic model for sustainable development of socio-economic and ecological environment in karst area of northwest Guangxi province in China. *Journal of safety and environment*, 2001, 1(3): 36-40.]
- [35] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 基于遥感影像的桂西北喀斯特区植被碳储量及密度时空分异[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(12): 1545-1553. [Zhang Mingyang, Wang Kelin, Liu Huiyu et al. 2013. Spatio-temporal variation of vegetation carbon storage and density in karst areas of northwest Guangxi based on remote sensing image. *Chinese Journal of EcoAgriculture*, 21(12): 1545-1553.]
- [36] 国务院人口普查办公室, 国家统计局人口和就业统计司. 中国 2010 年人口普查资料[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012. [Population Census Office under the State Council Department of Population, Employment Statistics under the National Bureau of Statistics (NBS). *Tabulation on the 2010 population census of the People's Republic of China*. Beijing: China Statistics Press, 2012.]
- [37] 中华人民共和国地貌图集编辑委员会. 中华人民共和国地貌图集(1:100 万)[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [The Editorial Committee of Geomorphologic Atlas of People's Republic of China. *The geomorphologic atlas of People's Republic of China* (1:1000000). Beijing: Science Press, 2009.]
- [38] Lorenz M O. Method of measuring the concentration of wealth [J]. *Publications of the American Statistical Association*, 1905, 70(9): 209-219.
- [39] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. *Geodetector: Principle and prospective*. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [40] Wang Jinfeng, Hu Yi. Environmental health risk detection with GeogDetector[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 33(2): 114-115.
- [41] 吕晨, 蓝修婷, 孙威. 地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1385-1397. [Lyu Chen, Lan Xiuting, Sun Wei. A study on the relationship between natural factors and population distribution in Beijing using geographical detector. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1385-1397.]
- [42] 李旭东. 喀斯特高原山区人口空间结构及其对可持续发展的影响——以贵州省为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2007. [Li Xudong. *The Influence of space structure of population in karst plateau and mountain area on sustainable development*. Shanghai: East China Normal University, 2007.]
- [43] 张殿发, 欧阳自远, 王世杰. 中国西南喀斯特地区人口、资源、环境与可持续发展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2001, 11(1): 78-82. [Zhang Dianfa, Ouyang Ziyuan, Wang Shijie. *Population resources environment and sustainable development in the karst region of southwest China*. *China Population·Resources and Environment*, 2001, 11(1): 78-82.]

The Relationship Between Population Distribution Characteristics and Natural Factors in the Karst Mountainous Area of the Northwestern Guangxi, China

Shi Shana^{1,2}, Xie Binggeng¹, Hu Baoqing^{2,3}, Tang Chuanyong⁴, Yan Yan^{2,3}, Li Xiaoqing¹

(1. College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, Hunan, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Nanning Normal University, Ministry of Education, Nanning 530001, Guangxi, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning 530001, Guangxi, China; 4. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530001, Guangxi, China)

Abstract: With widely development, the northwestern Guangxi karst area presents fragile ecological environment and low land productivity. The population and spatial distribution of the population in the region are quite different, and the difference was the result of the combined effects of various factors. The natural environ-

ment is the most fundamental influencing factor for survival. The influence of natural factors on the spatial distribution of the population in the karst mountainous areas of the northwestern Guangxi cannot be ignored. This article selected the smallest administrative unit of the sixth national census-township (town) as a basic unit, and used the Lorenz curve and spatial correlation analysis method to analyze the spatial distribution characteristics of population in the township (town) scale of the karst mountainous area in the northwestern Guangxi. The detector method detected the intensity of the influence of the natural factors alone and the natural factors on the spatial distribution of the population in the study area. The results showed that: 1) At the township (town) level, the spatial distribution of population was higher in the southeast section and lower in the northwest part, and the spatial distribution of population in the study area was extremely uneven. In addition, the population distribution also presented a significant positive correlation in space, showing high-value spatial units and high-value spatial units, and low-value spatial units and low-value spatial units present adjacent spatial aggregation states; 2) The influence of spatial distribution of natural factors on population distribution is obviously different. There is no karst town in the northwest and south-central part of the study area. Population density increases with the increase of human living factors, but only 79 persons/km on average. In the villages and towns with karst distribution in the eastern and southern Guangxi, the spatial distribution of population density and natural factors is not simply increasing or decreasing, but fluctuates with the change of karst distribution area; 3) The results of factor detection in geo-detectors suggested that altitude has the greatest impact (0.17) on the spatial distribution of population. The results of interactive detection in the geo-detector showed that after superimposed and interacted any two natural factors, the intensity of the effect exhibited nonlinear enhancement and two-factor enhancement. Among them, the catalytic capacity of the karst mountain was the most significant factor. After the karst mountain area overlaps with other natural factors, the population and its distribution enhanced the intensity of the impact, and the average increase rate exceeded 80%. This indicated that the main factors affecting population distribution are different from the other non-karst areas in the karst mountain area of the northwestern Guangxi, but they also have certain similarities. For example, altitude is one of the most important factors affecting the spatial distribution of population in both karst and non-karst areas. However, the density of river network and unique geological features in karst mountains have a strong catalytic effect on the spatial distribution of the population. The superposition of these factors with other factors can further aggravate the imbalance of population distribution, and the influence of these factors on the spatial distribution of population cannot be ignored.

Key words: karst mountainous areas; spatial distribution of population; Geographical Detector; the northwestern Guangxi; Guangxi