

引用格式:游珍,封志明,杨艳昭,等. 栅格尺度的西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 394-406. [You Z, Feng Z M, Yang Y Z, et al. Evaluation of human settlement environmental suitability in Tibet based on gridded data[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 394-406.] DOI: 10.18402/resci.2020.02.17

栅格尺度的西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价

游珍,封志明,杨艳昭,施慧,李鹏

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:人居环境是人类发展的基础,科学评价人居环境自然适宜性,则是解决资源环境承载力的前提,是实现人与自然和谐共生基本方略的基础性工作。本文基于已有人居环境适宜性研究进一步探讨了人居环境自然适宜性综合评价的方法,并完成了西藏人居环境自然适宜性综合评价。研究表明:①基于条件规则的综合评价法更适合进行西藏人居环境自然适宜性综合评价;②西藏超过3/4的区域为人居环境不适宜地区,大部分分布在藏西北地区;临界适宜地区面积占比为16.78%,主要分布在一江两河地区、昌都市澜沧江上游以及山南和林芝北部地区;适宜地区面积占比仅为5.83%,集中分布在藏东南、一江两河和澜沧江上游的河谷绿洲地带;③西藏不同类型乡村居民点的分布与人居环境适宜性分区有很强的一致性,反映人类生活的乡镇驻地及村庄居民点分布占比随着人居环境适宜程度的增强而增加,代表高原牧区和生态脆弱地区的放牧点和古塔庙宇及文物古迹两类乡村居民点则反之,该结果进一步验证了本文西藏人居环境适宜性综合评价和分区的合理性与可靠性。

关键词:人居环境自然适宜性;条件选择;人居环境指数;综合评价;西藏

DOI: 10.18402/resci.2020.02.17

1 引言

人居环境是人类联系自然、作用自然的主要场所,是人类生存与发展的基础^[1]。人居环境的好坏不仅直接关系到人的身心健康,而且间接影响人类社会进步与文明发展程度,从根本上制约着区域人口的集聚水平和分布格局。1935年,胡焕庸先生以爱辉—腾冲直线为界,发现中国西北部(含外蒙)约占国土的64%,人口只占4%;东南部约占国土的36%,人口却占到96%。80多年来,中国发生了翻天覆地的变化,人口分布格局并没有根本改变,中国人口分布大势受到人居环境的制约^[2]。

人居环境的研究学科交叉性强,涉及地理学、环境科学、建筑学、城市规划、社会学等学科^[1]。中

国古代对人居环境的研究以儒家“天人合一”思想为主流,近现代的研究起步于1939年严钦尚^[3]发表的“西康居住地理”,但直至2000年初期的近60年间,人居环境的研究发展缓慢^[4],主要是建筑学^[5,6]、城市规划^[7,8]等学科学者从居住环境与宜居城市视角开展的为数不多的研究。随着3S技术的发展和应用,从地理学视角开展基于栅格数据的人居环境自然适宜性研究在地理学研究领域迅速兴起,如封志明等将地学多源数据统一处理为公里网格数据,利用GIS技术,采用栅格计算的方式,定量揭示了基于地形、气候、水文和土地覆被条件的中国人居环境自然适宜性地域格局^[9-12];虞春隆等^[13]从坡度、高程、土壤类型、水资源含量和道路级别5个方面对姜

收稿日期:2019-04-30,修订日期:2019-10-10

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK1006);中科院战略先导A类项目(XDA20010203);国家自然科学基金项目(41430861)。

作者简介:游珍,女,湖北武汉人,高级工程师,研究方向为资源开发与区域可持续发展。E-mail: youz@igsrr.ac.cn

通讯作者:封志明,男,河北石家庄人,研究员,研究方向为农业资源高效利用与区域可持续发展。E-mail: fengzm@igsrr.ac.cn

2020年2月

家河小流域的人居环境适宜性进行了综合评价;朱亮等^[4]以三峡地区为例,讨论了该地区农村居民点的空间分布规律特征极其制约因素(海拔、坡度、坡向、道路、水源等),并结合层次分析法完成了该区域的人居环境适宜性评价;魏伟等^[15]选取地形、植被、水文、气候、交通等因子作为评价指标,构建了人居环境指数,并利用空间分析对石羊河流域的人居环境进行了定量综合评价。

从研究区域看,国内众多学者对全国、分地区、分省、市等各级层面开展了较多人居环境评价,对青藏高原的相关研究多集中于气候^[16]、地形^[17]、植被^[18]、水文^[19]、地质构造^[20]等单方面的深入研究,但综合上述自然因素,开展人居环境综合评价的研究尚为鲜见。而西藏自治区位于青藏高原的主体,地势高峻,地理特殊,素有“世界屋脊”和“地球第三极”之称,人口密度极低,对西藏这一人口分布严重受自然地理条件影响的特殊区域,开展基于栅格尺度的人居环境自然适宜性研究,无疑具有重要意义^[21-23]。至2017年末,西藏自治区有337.15万常住人口,西藏哪里不适合人长期生存和居住?有限的适宜人长期生存和居住的空间到底在哪里?这些是人居环境自然适宜性评价需要回答的问题。习近平主席在第二次青藏高原综合考察研究启动出发仪式上指出,要着力解决青藏高原资源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题。制定合理的西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价分区方案,科学评价西藏自治区人居环境自然适宜性,是解决西藏资源环境承载力的前提,是实现西藏人与自然和谐共生基本方略的基础性工作。

因此,本文从西藏自治区基础自然地理条件出发,以地形、水文、植被、气候单要素的测算和评价为基础数据集,综合对比了西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价分区方案,评价了西藏自治区人居环境自然适宜性和限制性,并通过乡村居民点与适宜性分区空间一致性分析,进一步验证了本文综合评价方法的合理性与可靠性。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

西藏自治区地处北半球中纬度地带,东临四川,西连克什米尔高原,北靠昆仑山-唐古拉山脉,

南部横亘喜马拉雅山脉,全区面积122.84万 km^2 ,约占全国总面积的1/8。全域内平均海拔高度4000 m以上^[24],空气稀薄,太阳辐射强烈,日照时间长,年日照时数为1443.5~3574.3小时,气温低,积温少,昼夜温差大,年平均气温为 $-2.4\sim 12.1\text{ }^\circ\text{C}$,降水少,季节性明显,夜雨率高,呈东南向西北递减分布规律,河流及湖泊数量众多,水资源丰富,是众多江河的发源地。土地资源丰富,天然草地面积位居全国第一,约91.04万 km^2 ,约占全区总面积的74.11%,其中,耕地面积约为0.44万 km^2 ,占全区总面积的0.36%。

受自然地理条件影响,西藏自治区大部分地区人口相当稀少,如羌塘高原地区,区内气候属高原亚寒带季风气候,高寒缺氧,空气稀薄,长冬无夏,年均温 $0\sim 3\text{ }^\circ\text{C}$,旱灾、风灾和雪灾等自然灾害频发,因此人口密度不足 $0.2\text{人}/\text{km}^2$,在中昆仑山腹地及可可西里山脉一带基本上还是无人区;在西藏东南部也存在大片人口稀疏区,主要因为这些地区为山高谷深、岭谷并列的地貌,不适合人类居住。另一方面,人口分布呈现沿“一江两河”谷地聚集,大致呈西北-东南方向的集中分布。人口密度超过 $500\text{人}/\text{km}^2$ 的区域主要包括拉萨市城关区、日喀则地区驻地日喀则市、山南地区驻地乃东县等地;人口密度介于 $300\sim 500\text{人}/\text{km}^2$ 的区域主要是谢通门县、南木林县、尼木县等零星城镇,拉萨河及其支流部分区域;人口密度介于 $100\sim 300\text{人}/\text{km}^2$ 的区域主要位于年楚河流域的日喀则地区白朗县和江孜县、雅鲁藏布江及拉萨河部分区域;人口密度介于 $10\sim 100\text{人}/\text{km}^2$ 的区域包括“一江两河”地区的大部分乡镇驻地,以及昌都地区澜沧江上游河谷地带和林芝的巴宜区。

2.2 数据来源与处理

研究数据主要涉及基于公里格网尺度的环境数据、人口数据,以及矢量的水网分布,分县、分乡镇行政边界、乡村居民点等基础地理数据,主要数据来源与技术处理过程如表1:环境数据主要包括温度、相对湿度和降水等气象台站资料、数字高程模型(DEM)、西藏2000—2017年逐旬 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 归一化植被指数NDVI以及1:25万西藏河流水网矢量等专题数据图层。其中,温度、相对湿度和降水气象

表1 数据来源列表

Table 1 Data sources

数据类型	数据名称	数据来源
环境	温度、相对湿度、降水	国家气象局数据共享中心
	数字高程模型	USGS 制备的全球 GTOPO30
	归一化植被指数	中国地球科学数据共享平台
人口	人口密度栅格数据	美国橡树岭实验室
	人口统计数据	西藏统计年鉴
基础地理数据	水网分布矢量图	中国科学院地理科学与资源研究所数据中心
	县矢量图层、乡村居民点	中国地球科学数据共享平台

台站资料来源于国家气象局数据共享中心,本文分别采用克里格法、样条法以及梯度距离平方反比法对各要素进行插值,进而获取了西藏1 km×1 km栅格尺度的气象要素图层;数字高程模型(DEM)来源于由USGS制备的全球GTOPO30^[25,26],其空间分辨率为30"(约1 km),本文经过正轴等面积双标准纬线割圆锥投影,得到1 km×1 km西藏DEM图;2000—2017年逐旬1 km×1 km归一化植被指数数据来源于中国地球科学数据共享平台;西藏1:10万土地利用类型图、水网分布矢量图源于中国科学院地理科学与资源研究所数据中心,土地利用数据经过矢量与栅格数据的转换工具转化为1 km×1 km栅格尺度,水网分布矢量数据通过构建1 km×1 km的fishnet,运用intersect等空间分析工具,计算格网的水网密度后,将fishnet转化为1 km×1 km栅格尺度,由此完成了气候、地形、水文、植被4个关键因子的基础数据处理。县界、乡镇界线和乡村居民点的矢量数据是在中国地球科学数据共享平台提供的

1:25万基础地理信息数据基础上,通过最新地图比对更新、修正取得。1 km×1 km栅格尺度的人口密度数据来源于美国橡树岭实验室提供的LandScan2015^[27]。

2.3 基础数据集建立

根据表1的方法,本文计算了1 km×1 km栅格尺度的地形起伏度、水文指数、植被指数、温湿指数,并基于之前的研究^[9-15]和团队近5年来多次入藏考察的实践经验,划分了基于地形、水文、气候、植被和气候条件的人居环境自然适宜性类型(表2),建立了西藏人居环境自然适宜性综合评价基础数据集(图1)。其中,水文指数在80以上按周边地区同级处理,年均NDIT值小于0.1与大于0.9赋值为0,归为不适宜区。从地形条件看,除山南南部和林芝南部地区地形起伏度较小外,西藏绝大部分地区地形起伏度较大,地形适宜地区面积占比仅为4.83%,不适宜地区面积占比高达86.40%。从水文条件看,东部优于西部,南部优于北部,水文适宜、临界适宜、不适宜地区占地比为2:2:1,水文条件的自然限制性不强。从植被条件看,山南南部和林芝南部地区植被覆盖较好,阿里和那曲北部地区的植被条件较差,植被适宜地区面积占比仅为10.60%,不适宜地区面积占比为61.73%。从气候条件看,除山南南部和林芝南部地区气候条件较好外,西藏大部分地区气候条件不适宜人常年生活和居住,气候适宜地区面积占比仅为7.71%,临界适宜地区面积占比25.83%,2/3区域为不适宜地区。综上所述,西藏人居环境自然适宜性受地形和气候两类因子的限制性较强。

表2 人居环境适宜性分级标准

Table 2 Classification criteria of human settlement environmental suitability

人居适宜性	地形			气候		水文			植被	
	地形起伏度	海拔高度/m	相对高差/m	温湿指数	年平均温度/℃	年平均湿度/%	水文指数	降水量/mm	水域比例/%	植被指数
不适宜	>5.0	>5000	>2500	<45	-5.80	45	<5	50	0.07	≤0.2
临界适宜	(3.0,5.0]	(2000,5000]	(1000,2500]	[45,50)	1.69	50	[5,20)	200	1.22	(0.2,0.4]
一般适宜	(1.0,3.0]	(500,2000]	(500,1000]	[50,55)	7.50	55	[20,40)	550	4.42	(0.4,0.5]
比较适宜	[0.2,1.0]	[200,500]	[50,500]	[70,75]	27.67	90	[40,60)	900	3.93	(0.5,0.6]
				[55,60)	13.90	65				
高度适宜	<0.2	<200	<50	(65,70)	24.11	80	[60,80]	1400	2.35	>0.6
				[60,65]	19.11	75				

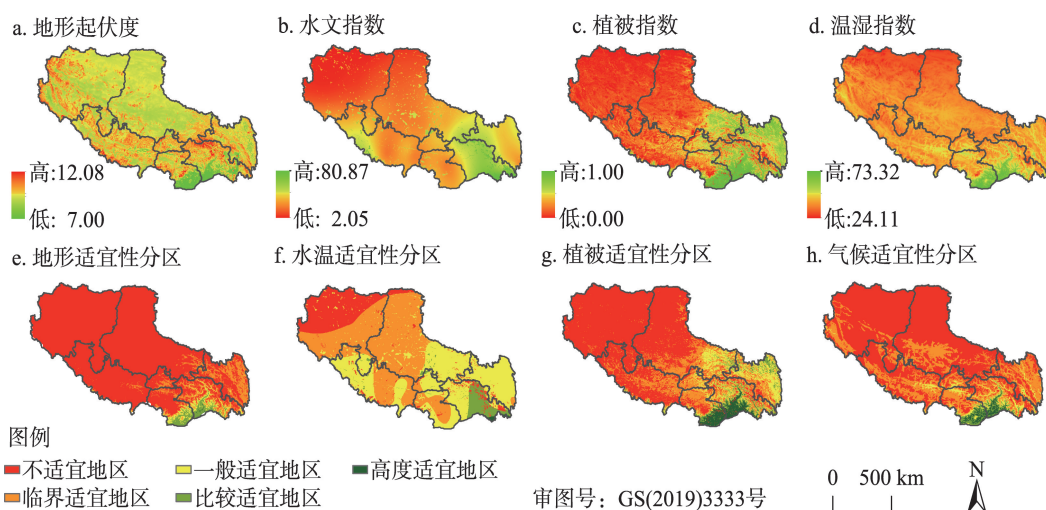


图1 人居环境分项指数分布和适宜性分区评价

Figure 1 Distribution and classification of the sub-indices of human settlement environment

3 研究方法

3.1 研究思路

本文遵循“基础数据集建立—对比—实证研究—结果验证”的研究工作流程(图2),以1 km×1 km 栅格为基本研究单元,首先建立地形起伏度、水文指数、植被指数、温湿指数的基础数据,计算方法见表3;通过参考相关文献^[9-12,28,29],根据青藏高原地处高寒、辐射强烈、水土资源丰富等特点,划分了基于

地形、水文、植被、气候条件的人居环境自然适宜性评价标准,完成基于地形、水文、植被和气候单因子的自然适宜性基础数据集的建立。然后,根据分项条件的适宜性评价结果,分别采用了基于地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)模型的人居环境指数评价法和基于条件规则的人居环境自然适宜性综合评价两种方法,开展西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价,通过对比分析,确

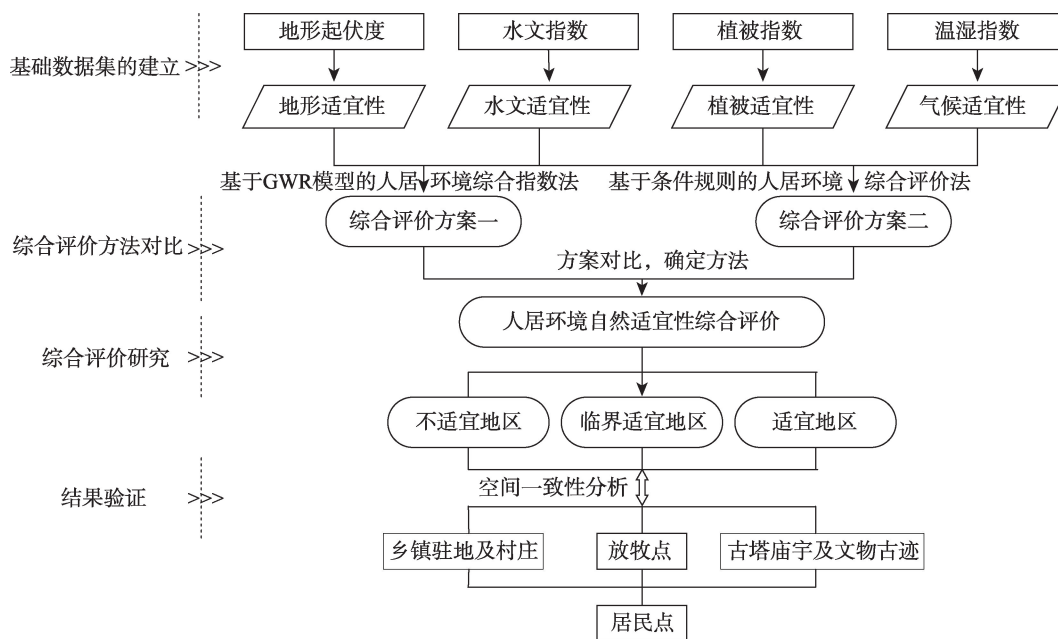


图2 西藏人居环境自然适宜性评价工作流程图

Figure 2 Flow diagram of human settlement environmental suitability evaluation of Tibet

表3 人居环境分项指数的计算方法列表

Table 3 Calculation methods for the sub-indices of human settlement environment

指标名称	计算公式	变量解释	指标含义
地形起伏度	$RDLS=ALT/1000 + \{[\max(H)-\min(H)] \times [1-P(A)/A]\} / 500$	$RDLS$ 为地形起伏度; ALT 为以某一栅格单元为中心一定区域内的平均海拔,m; $\max(H)$ 和 $\min(H)$ 分别为该区域内的最高与最低海拔,m; $P(A)$ 为区域内的平地面积, km^2 ; A 为区域总面积。	区域海拔高度和地表切割程度的综合表征
水文指数	$WRI=\alpha P+\beta Wa+\lambda L$	WRI 为水文指数; P 为归一化的降水量; Wa 为归一化的水网密度; L 为归一化的湖泊密度; α 、 β 和 λ 分别为降水、水网与湖泊的权重。	利用归一化降水量、水网密度、湖泊密度来定量反映不同区域的水文适宜性
植被指数	$NNDVT=[NDVT-\min(NDVT)] / [\max(NDVT)-\min(NDVT)]$	$NNDVT$ 为归一化后的 $NDVT$; $\max(NDVT)$ 和 $\min(NDVT)$ 分别为该区域内的最高与最低 $NDVT$ 。	利用植被指数来反映不同区域的植被适宜性
温湿指数	$THI=1.8t-0.55(1-f)(1.8t-26)$	THI 为温湿指数; t 为月均温($^{\circ}\text{C}$); f 为月均空气相对湿度(%)。	利用温度、湿度来反映区域的部分气候特征

定最终综合评价方案,实证研究了西藏自治区人居环境自然适宜性的空间格局与地域特征。最后,通过乡村居民点与适宜性分区的空间一致性分析,进一步验证了本文综合评价方法的合理性与可靠性。

3.2 综合评价方法对比与选择

现有的人居环境自然适宜性评价研究多为基于分项因子取权重相加完成综合评价工作,对于多因子综合评价的方法探索较少,但由于综合评价方法的选取与评价结果直接相关,因此,综合评价方法的讨论必不可少。本文从定量和定性两个视角出发,探讨了两种综合评价方法的差异,从而选择适合西藏自治区人居环境自然适宜性的综合评价方法。

本文采用的两种方法分别是:①利用GWR模型等GIS技术计算人居环境指数从而进行分级评价;②利用条件规则进行适宜性分级评价。

(1) 基于GWR模型的人居环境指数评价法

封志明等^[9]利用地形、气候、水文和植被4个条件指数与人口密度做相关性分析,确定了4个条件指数的权重,从而计算得到人居环境指数,基于此思想,本文改进了确定权重的算法,将传统的相关性分析计算权重改进为利用GWR模型计算权重。

Brunsdon于1996年将地理加权回归模型引入地理学研究,探究回归模型中地理空间变化的潜在关系。GWR是传统线性回归的扩展,是局部回归统计,可以反映地理现象的空间非平稳性^[30-35],有效规避了传统的线性回归模型在分析前就假定了变量间

的关系具有“各向同性”的缺陷,其计算公式如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i$$

式中: y_i 为位置*i*处的人口密度; (u_i, v_i) 表示空间中的位置*i*的坐标; $\beta_0(u_i, v_i)$ 表示截距值; x_{ik} 是位置*i*处的第*k*个独立变量; k 为自变量个数,范围为1,2,3,4,对应不同的自变量为地形起伏度、温湿指数、水文指数、植被指数; $\beta_k(u_i, v_i)$ 表示位置*i*处的第*k*个自变量的系数; ε_i 表示位置*i*处的随机误差。

基于GWR模型的人居环境指数评价法流程主要可以分为4个步骤(图3):首先,利用ArcGIS在西藏区域范围内随机生成5000个点,并将人口和归一化后的地形起伏度、温湿指数、水文指数、植被指数5个数据项提取到该5000个点的属性中;然后基于这些点分别构建人口与地形/气候/水文/植被的GWR回归模型;通过回归系数和 R^2 来判断在不同地级市自然因素对人口分布的影响程度,从而计算权重,构建人居环境指数(Human Settlements Environment Index, *HEI*)模型;最后根据人居环境指数大小,将西藏不同地区的人居环境适宜性划分为3类7级。

(2) 基于条件规则的适宜性评价法

人居环境指数算法虽能精确量化人居环境适宜性的高低程度,但存在指数之间数据融合,从而掩盖了部分地区限制性因子的缺陷。由此,本文从西藏的实际出发,采用德尔菲专家咨询法^[36-40]和文献比对^[28]等方法,基于研究团队多次进藏科考调

2020年2月

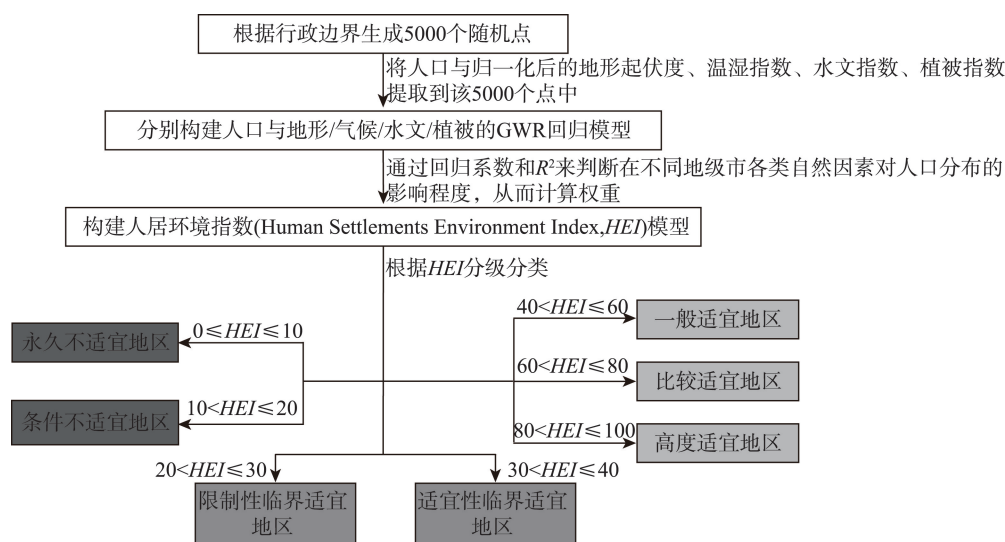


图3 基于GWR模型的人居环境适宜性综合评价技术方案

Figure 3 Technical method of human settlement environmental suitability evaluation based on geographically weighted regression (GWR) model

研的实际资料(如入户调研资料、典型地区照片及高分影像等资料),制定了基于条件规则的适宜性评价法,将西藏自治区人居环境的自然适宜程度划分为3类7级:

第1类为不适宜地区(Non-Suitability, NS),是不适合人类长期生活和居住的地区。根据地形、气候、水文和植被限制特征,不适宜地区又可以进一步划分为永久不适宜地区(permanent Non-suitability, NSp)和条件不适宜地区(conditional Non-suitability, NSc)两个级别,其中,永久不适宜地区主要是指同时受地形、气候和植被因素限制的地区,基本上是不适合人类生存的无人区;条件不适宜地区是指至少受地形、气候、水文和植被中两种因素的限制,不适合人类长年生活和居住的地区。

第2类为临界适宜地区(Critical Suitability, CS),是自然条件高度限制、勉强适合人类常年生活和居住的地区。根据地形、气候、水文和植被等因子的限制特征,临界适宜地区又可以细分为限制性临界适宜区(conditional Critical Suitability, CSc)和适宜性临界适宜区(suitable critical Suitability, CSs)两个级别,其中,限制性临界适宜区是受地形、气候、水文和植被等单项因子制约的人居环境临界适宜区;适宜性临界适宜区是地形、气候、水文和植被等单一指标均未对人类长期生活和居住构成限制,但综

合条件较差的区域。

第3类为适宜地区(Suitability, S),受自然条件限制较小、适宜人类居住的地区。根据地形、气候、水文和植被等自然因子的适宜性特征,人居环境适宜地区根据适宜程度,又可以划分为一般适宜地区(low Suitability, S1)、比较适宜地区(middle Suitability, Sm)和高度适宜地区(high Suitability, Sh),其中,一般适宜地区是受自然条件限制较小,一般适宜人类常年生活和居住的地区;比较适宜地区是自然条件略受限制、中等适宜人类长年生活和居住的地区;人居环境高度适宜区是基本不受自然条件限制、最适合人类长年生活和居住的地区。

总体而言,受多个因素限制的地区为不适宜地区,受单因素限制或综合条件较差地区为临界适宜地区,受自然条件限制较小或基本不受自然条件限制的地区为适宜地区,具体条件规则逐级判别流程图见图4。

(3) 结果比较

从图5和图6两种综合评价的方法结果可以看出,不适宜区域主要分布在阿里地区、那曲地区和日喀则市,适宜地区主要分布在拉萨市、山南地区、林芝地区和昌都市,基于GWR模型的人居环境指数法评价的结果与基于条件规则的人居环境适宜性分类评价的结果大致相同,与基于栅格尺度的西

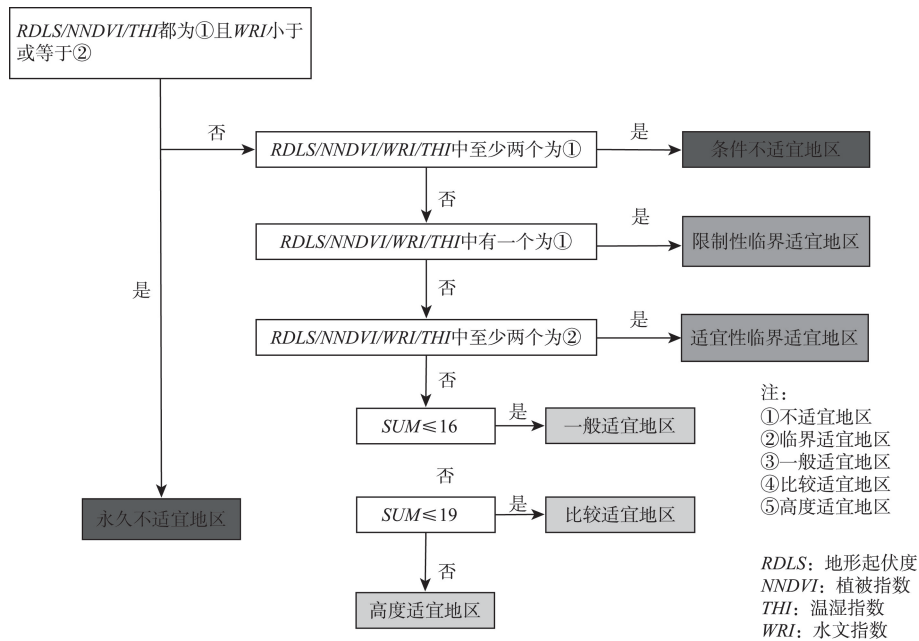


图4 基于条件规则的人居环境自然适宜性综合评价技术方案

Figure 4 Technical method of human settlement environmental suitability evaluation based on conditional rules

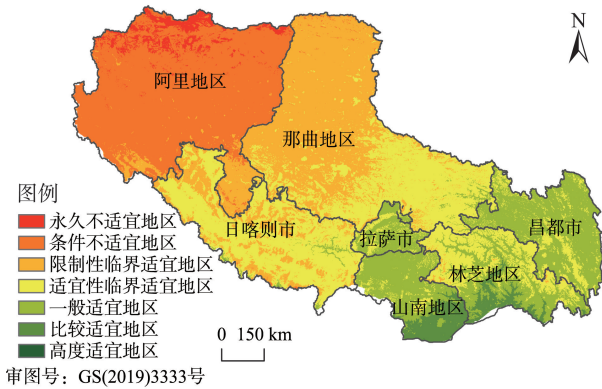


图5 基于GWR模型的西藏人居环境自然适宜性分级评价

Figure 5 Result of human settlement environmental suitability evaluation of Tibet based on geographically weighted regression (GWR) model

藏自治区人口密度分布格局基本吻合。

二者主要不同之处在于对永久不适宜地区的识别精度。基于GWR综合指数的指标评价方法能将人居环境适宜性综合成为量化指数,利于数据分析,但是由于地形、气候、水文、植被条件的指数加权相加,存在数据融合的问题,导致永久不适宜地区很少,而条件不适宜地区绝大部分分布于阿里地区。在实际情况中,由于自然条件的限制,阿里有部分地区应该归属到永久不适宜范畴,此外,在那

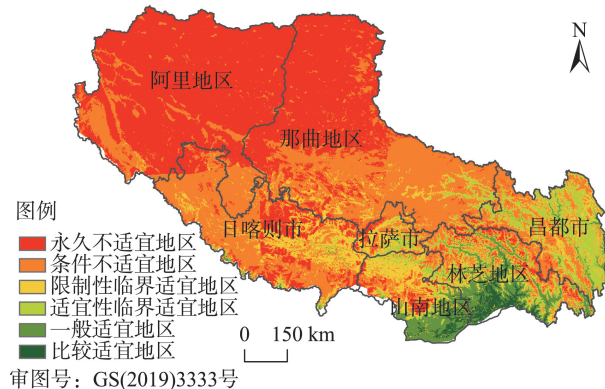


图6 基于条件规则的西藏人居环境适宜性分级评价

Figure 6 Result of human settlement environmental suitability evaluation of Tibet based on conditional rules

曲地区和日喀则市也存在无人区。产生该种评价结果的主要原因是指数评价法在一定程度上会掩盖单项指标的限制性,例如那曲地区巴岭乡存在地形起伏大且植被较差的区域,其实不适宜人居住,但由于该区域水文和气候指标较好,基于GWR的指数评价方法最后将该乡所有区域都归为临界适宜地带。相比较而言,条件规则评价法在很大程度上可以避免这种不合理的数据融合,如果地形起伏度高且植被差的地区可被直接归为不适宜区域。综上所述,本文认为基于条件规则的评价方法对西

2020年2月

藏地区的适宜性分级评价结果能更客观地反映各局部因素对人居环境自然适宜性影响程度的空间异质性。

4 结果与分析

4.1 人居环境自然适宜性综合分区

基于条件规则法,本文将西藏自治区人居环境适宜性分为3类7级,西藏地区人居环境的自然限制性很强,没有高度适宜地区,故实际为3类6级。结果显示,西藏自治区超过3/4的区域为人境环境不适宜地区,临界适宜地区和适宜地区占比分别为16.78%和5.82%,主要分布在一江两河地区、昌都市澜沧江上游河谷地带及藏东南地区。具体而言(表4,表5):

(1) 人居环境不适宜地区

西藏自治区人居环境不适宜地区面积达95.08万 km^2 ,占全区总面积的77.39%,人口占比为14.86%,基本分布在条件不适宜地区。其中,永久不适宜地区占地面积为53.33万 km^2 ,占全区总面积的43.41%,大片分布于阿里地区 and 那曲地区北部(图6),区内

大部分地区为无人区。该类地区草地和未利用地面积所占比重最大,海拔均值达5120.36 m,年均温度值为 -6.49°C ,年均湿度为0.36,年均降水量为426.83 mm,97%的区域全年基本没有气候舒适期。该类地区各项自然条件恶劣,不适宜人类长期生存和居住。

条件不适宜地区占地面积为41.75万 km^2 ,占全区总面积的33.98%,主要分布于那曲地区南部、日喀则市西部,在其他地区有少许分布(图6)。区内地广人稀,人口密度仅为1.15人/ km^2 ,有48.06万人长期生活和居住本地,约占全区总人口的14.84%,主要集中于仲巴县、措勤县、安多县等地。在该类地区草地和未利用地面积所占面积比重最大,海拔均值为4878.64 m,年均温度为 -2.68°C ,年均湿度为0.46,年均降水量为548.81 mm,超过8成的区域全年没有气候舒适期,其他地方气候舒适期主要范围为1~2个月,大部分分布在阿里西南部地区。相较于永久不适宜地区,该类地区自然条件有所缓和。

(2) 人居环境临界适宜地区

表4 人居环境自然适宜性分区统计

Table 4 Statistics of different environmental suitability of human settlements

人居环境自然适宜性分区		土地		人口		
		面积/万 km^2	比重/%	总量/万人	比重/%	人口密度/(人/ km^2)
不适宜地区	永久不适宜	53.33	43.41	0.08	0.02	0.00
	条件不适宜	41.75	33.98	48.06	14.84	1.15
	小计	95.08	77.39	48.14	14.86	0.51
临界适宜地区	限制性临界适宜	12.58	10.24	83.97	25.92	6.67
	适宜性临界适宜	8.03	6.54	125.57	38.76	15.63
	小计	20.62	16.78	209.54	64.68	10.16
适宜地区	一般适宜	5.49	4.47	63.65	19.65	11.60
	比较适宜	1.67	1.36	2.62	0.81	1.57
	小计	7.15	5.83	66.27	20.46	9.26

表5 人居环境自然适宜性分区自然地理特征值统计

Table 5 Statistics of the eigenvalues of natural factors for different environmental suitability categories of human settlements

人居环境自然适宜性分区		DEM/m	温度/ $^\circ\text{C}$	湿度	降水/mm
不适宜地区	永久不适宜地区	5120.36	-6.49	0.36	426.83
	条件不适宜地区	4878.64	-2.68	0.46	548.81
临界适宜地区	限制性临界适宜区	4468.39	0.65	0.49	630.26
	适宜性临界适宜区	4040.18	2.23	0.53	771.79
适宜地区	一般适宜地区	2448.37	12.07	0.69	882.85
	比较适宜地区	1245.23	19.17	0.73	966.68

西藏自治区人居环境临界适宜地区面积为20.61万 km^2 ,占全区总面积的16.78%,全区超过6成的人口分布在该类区域。其中,限制性临界适宜地区占地面积为12.58万 km^2 ,占全区总面积的10.24%,主要分布于日喀则市中东部、那曲地区南部、山南地区北部(图6)。区内人口密度为6.67人/ km^2 ,有83.97万人长期生活和居住,约占全区总人口的1/4,主要集中于那曲镇、娘热乡、卡嘎镇等地。在该类适宜性地区草地和林地面积所占比重较大,有少量建设用地,海拔均值为4468.39 m,年均温度值为0.65 $^{\circ}\text{C}$,年均湿度为0.49,年均降水量为630.26 mm,全年气候舒适期大部分处于3~6个月之间。相较于不适宜地区,该类地区受自然条件限制有所减弱。

适宜性临界适宜地区占地面积为8.03 km^2 ,占全区总面积的6.54%,主要分布于昌都市、一江两河大部分地区、林芝地区西北部(图6)。区内人口密度进一步增大为15.64人/ km^2 ,有125.57万人长期生活和居住,占全区总人口的38.76%,主要集中于泽当镇、生达乡、夏曲镇等地区。在该类适宜性地区草地和林地所占面积比重较大,有少量建设用地,海拔均值为4040.18 m,年均温度为2.23 $^{\circ}\text{C}$,年均湿度为0.53,年均降水量为771.79 mm,该类地区全年气候舒适期可达3~7个月。

(3) 人居环境适宜地区

西藏自治区人居环境适宜地区面积为7.16万 km^2 ,仅占全区总面积的5.83%,全区20.46%的人口分布在该类区域。其中,一般适宜地区占地面积为5.49万 km^2 ,占全区总面积的4.47%,主要分布于山南地区北部,一江两河的河谷地带,以及南亚通道的边境口岸乡镇(图6)。区内人口密度为11.59人/ km^2 ,有63.65万人长期生活和居住,占全区总人口的19.65%,主要集中于一江两河地区的拉萨市城关区、日喀则地区驻地日喀则市、山南地区驻地乃东县等地,以及南亚通道的吉隆镇、陈塘镇、下司马镇等口岸乡镇。在该类适宜性地区林地和草地面积所占比重较大,其次该区域城镇化率较高,建设用地面积比重较大,海拔均值为2448.37 m,年均温度值为12.07 $^{\circ}\text{C}$,年均湿度为0.69,年均降水量为882.85 mm,全年气候舒适期可达6~11个月。

比较适宜地区占地面积仅为1.67万 km^2 ,占全

区总面积的1.36%,主要分布于山南和林芝地区南部(图6)。区内人口密度为1.57人/ km^2 ,人口总量仅为2.62万余人,占全区总人口的0.81%,主要集中于下察隅镇、墨脱镇。该类地区林地和草地面积所占比重较大,海拔均值为1245.23 m,年均温度值为19.17 $^{\circ}\text{C}$,年均湿度为0.73,年均降水量为966.68 mm。该类地区基本不受水文、气候、植被条件制约,海拔仅千余米,全年气候舒适期都在10个月以上,人体感舒适。但该类地区地处中印边境争议区,受政治因素和经济因素的制约,交通公路设施落后,使得这片比较适宜地区犹如孤岛,人类发展的经济活动受限,导致该区域人口稀疏。

4.2 人居环境适宜性分区与乡村居民点分布的一致性分析

为进一步验证以上人居环境自然适宜性分区的合理性与可靠性,本文将反映原生态的西藏自治区乡村居民点分布的空间数据与人居环境适宜性分区做空间统计分析,进一步揭示西藏自治区人居环境适宜性分区与不同类型乡村居民点分布的一致性。

西藏自治区总计有25725个乡村居民点,主要分布在中部和南部地区。根据区域特征,本文选取了与人类生活、生产和生态保护密切相关、且占比最大的3种乡村居民点类型进行分析,分别为对应乡镇驻地及村庄、放牧点、古塔庙宇及文物古迹。研究表明,不同类型乡村居民点的分布与人居环境适宜性分区二者有很强的一致性(表6)。

在不适宜地区,乡村居民点的分布以生产和生态保护为主要类型特征,接近9成的乡村居民点为放牧点,全区6成的古塔庙宇及文物古迹分布在该类地区。其中,分布在永久不适宜地区的乡村居民点虽有3621个,但89.42%为放牧点,乡镇驻地及村庄占比仅为7.04%,乡村居民点密度仅为68个/万 km^2 ,该类区域基本没有人常年生活和居住。条件不适宜地区乡村居民点高达7941个,59.45%为放牧点,乡镇驻地及村庄占比较永久不适宜地区明显增加,为37.05%,古塔庙宇及文物古迹在6类地区最多,乡村居民点密度为190个/万 km^2 ,该类地区是以牧民为主的农牧交错区,生活和居住的自然条件限制性较强。

表6 基于人居环境自然适宜性分区的乡村居民点统计

Table 6 Statistics of rural settlements for different environmental suitability categories of human settlements

人居环境自然适宜性	乡村居民点类型						乡村居民点密度 (个/万 km ²)	
	乡镇驻地及村庄	比重/%	放牧点	比重/%	古塔庙宇及文物古迹	比重/%		
不适宜地区	永久不适宜地区	255	7.04	3238	89.42	128	3.54	68
	条件不适宜地区	2942	37.05	4721	59.45	278	3.50	190
临界适宜地区	限制性临界适宜区	3792	72.20	1287	24.50	173	3.30	417
	适宜性临界适宜区	4730	92.11	358	6.97	47	0.92	639
适宜地区	一般适宜地区	1857	97.22	20	1.05	33	1.73	348
	比较适宜地区	558	99.47	0	0.00	3	0.53	336

在临界适宜地区,乡村居民点的分布从生产和生态保护类型向人类生活和居住类型过渡,接近3/4的乡村居民点为乡镇驻地及村庄,放牧点占比为24.51%。其中,分布在限制性临界适宜地区的乡村居民点为5252个,72.20%为乡镇驻地及村庄,24.51%为放牧点,古塔庙宇及文物古迹也相对较多,乡村居民点密度为417个/万 km²,该类地区是以农民为主的农牧交错区,生活和居住的自然条件限制性相对较强。分布在适宜性临界适宜地区的乡村居民点为5135个,92.11%为乡镇驻地及村庄,放牧点仅占6.97%,乡村居民点密度高达639个/万 km²,该类地区乡村居民点的分布特征与以上3类地区相比较,人类生活的乡镇驻地及村庄明显增多,一定程度上,适合人类长期生活和居住。

在适宜地区,乡村居民点的分布以人类生活和居住为主要特征,近9成的乡村居民点为乡镇驻地及村庄,适宜人类生存和居住。其中,分布在一般适宜地区的乡村居民点为1910个,乡村居民点密度虽低于临界适宜地区,但97.22%的乡村居民点为人口相对密集的乡镇驻地及村庄。比较适宜地区由于占地面积很小,乡村居民点个数不多,但乡镇驻地及村庄占比高达99.47%,最适宜人类生活和居住。

5 结论与讨论

5.1 结论

科学评价西藏自治区人居环境自然适宜性,是解决西藏资源环境承载力的前提,是实现西藏人与自然和谐共生基本方略的基础性工作。本文通过两种综合评价方案的比较,实现了西藏自治区人居环境自然适宜性分区,可为保障西藏生态屏障安

全、引导藏区人口合理分布提供支撑。主要结论如下:

(1)比较了基于GWR模型的人居环境指数评价法和基于条件规则的人居环境自然适宜性综合评价法,对西藏人居环境自然适宜性进行评价,结果发现,基于条件规则的评价法能规避多因子综合时产生的指数融合缺陷,从而解决单项因子限制性被掩盖的问题,本文认为该方法更适合完成西藏自治区人居环境自然适宜性综合评价。

(2)基于地形、植被、气候、水文条件的人居环境自然适宜性评价研究表明,西藏自治区超过3/4的区域为人居环境不适宜地区,相应人口占全区的14.86%,其中大部分地区为无人区,大片分布在藏西北地区;临界适宜地区面积占比为16.78%,相应人口占全区的64.68%,主要分布在一江两河地区、昌都市澜沧江上游以及山南和林芝北部地区;适宜地区面积占比仅为5.83%,相应人口占全区的20.46%,集中分布在藏东南、及一江两河和澜沧江上游的河谷绿洲地带。

(3)基于人居环境自然适宜性分区与乡村居民点分布的一致性分析研究表明,西藏自治区不同类型乡村居民点的分布与人居环境自然适宜性分区二者有很强的一致性,反映人类生活的乡镇驻地及村庄居民点分布占比随着人居环境自然适宜程度的增强而增加,代表高原牧区和生态脆弱地区的放牧点和古塔庙宇及文物古迹两类乡村居民点则反之。不同类型乡村居民点在西藏6类人居环境自然适宜性区域的分布特征进一步验证了本文人居环境自然适宜性综合评价和分区的合理性与可靠性。

5.2 讨论

虽然基于条件规则的评价方法对西藏地区的

适宜性分级评价结果能更客观地反映各局部因素对人居环境自然适宜性影响程度的空间异质性,但同时存在条件选择的不确定性,以及未能具体量化人居环境适宜性程度的缺陷。未来可开展对单项指标的短板造成的影响的研究,并加强对区域的实地调研,不断完善西藏自治区人居环境自然适宜性评价体系。当然,基于权重相加的人居环境综合指数评价方法仍不失为当前一种主流的方法,但如何合理界定各分项指数的权重仍然是开展该项研究工作的关键科学问题。此外,如果能栅格化人类发展水平数据,融合自然与人文要素,开展基于栅格尺度的人居环境适宜性分区,将进一步丰富人居环境适宜性评价的外延。

参考文献(References):

- [1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001. [Wu L Y. Introduction to Human Settlements Science[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2001.]
- [2] 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 H Y. The distribution of population in China: With statistics and maps[J]. Acta Geographica Sinica, 1935, 2(2): 33-74.]
- [3] 严钦尚. 西康居住地理[J]. 地理学报, 1939, 6(1): 43-56. [Yan Q S. The living geography of Xikang[J]. Acta Geographica Sinica, 1939, 6(1): 43-56.]
- [4] 马仁锋, 张文忠, 余建辉, 等. 中国地理学界人居环境研究回顾与展望[J]. 地理科学, 2014, 34(12): 1470-1479. [Ma R F, Zhang W Z, Yu J H, et al. Overview and prospect of research on human settlement of Chinese geographers[J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(12): 1470-1479.]
- [5] 吴良镛, 赵万民. 三峡工程与人居环境建设[J]. 城市规划, 1995, (4): 5-10. [Wu L Y, Zhao W M. The three gorges project and the construction of the human settlement environment[J]. City Planning Review, 1995, (4): 5-10.]
- [6] 吴良镛. 中国传统人居环境理念对当代城市设计的启发[J]. 世界建筑, 2000, (1): 82-85. [Wu L Y. Inspiration upon city planning from the design concepts of traditional Chinese human settlements[J]. World Architecture, 2000, (1): 82-85.]
- [7] 王茂军, 张学霞, 栾维新. 大连城市居住环境评价构造与空间分析[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 87-94. [Wang M J, Zhang X X, Luan W X. Structure and spatial analysis of evaluation of residential environment in Dalian City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(1): 87-94.]
- [8] 张文忠, 刘旺, 孟斌. 北京市区居住环境的区位优势度分析[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 115-121. [Zhang W Z, Liu W, Meng B. On location advantage value of residential environment (LAVRE) in the urban and suburban areas of Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 115-121.]
- [9] 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 Z M, Tang Y, Yang Y Z, et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1073-1082.]
- [10] 唐焰, 封志明, 杨艳昭. 基于栅格尺度的中国人居环境气候适宜性评价[J]. 资源科学, 2008, 30(5): 648-653. [Tang Y, Feng Z M, Yang Y Z. Evaluation of climate suitability for human settlement in China[J]. Resources Science, 2008, 30(5): 648-653.]
- [11] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1327-1336. [Feng Z M, Tang Y, Yang Y Z, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(12): 1327-1336.]
- [12] Feng Z M, Yang Y Z, Zhang D. Natural environment suitability for human settlements in China based on GIS[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(4): 437-446.
- [13] 虞春隆, 周若祁. 基于栅格数据的小流域人居环境适宜性评价方法研究[J]. 华中建筑, 2008, 26(1): 4-7. [Yu C L, Zhou R Q. Research on the suitable evaluation method of the human settlements environment in small basin based on grid data[J]. Huazhong Architecture, 2008, 26(1): 4-7.]
- [14] 朱亮, 吴炳方, 张磊. 三峡典型区农村居民点格局及人居环境适宜性评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(3): 325-331. [Zhu L, Wu B F, Zhang L. Research on the landscape of rural residential areas and human settlement environment suitability evaluation in Three Gorges typical regions[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(3): 325-331.]
- [15] 魏伟, 石培基, 冯海春, 等. 干旱内陆河流域人居环境适宜性评价: 以石羊河流域为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(11): 134-144. [Wei W, Shi P J, Feng H C, et al. Study on the suitability evaluation of the human settlements environment in arid inland river basin: A case study on the Shiyang river basin[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(11): 134-144.]
- [16] Yang B, Kang X C, Brauning A, et al. A 622-year regional temperature history of southeast Tibet derived from tree rings[J]. Holocene, 2010, 20(2): 181-190.
- [17] 马龙, 李颖. 从GTOPO30到SRTM DEM精度研究: 以西藏为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 71-74. [Ma L, Li Y. Study on accuracy of GTOPO30 and SRTM DEM: A case study of Tibet[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(5): 71-74.]
- [18] 李海东, 陈斌, 胡马尔汗, 等. 西藏雅鲁藏布江流域植物物候变化及其海拔效应[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(12): 1102-1108. [Li H D, Chen B, Yernaer H, et al. Changes in vegetation

2020年2月

- phenology and its elevation-dependent effects in the Yarlung Zangbo River Valley of Tibet, China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(12): 1102-1108.]
- [19] 白庆芹, 武俊杰, 郝守宁. 基于DPSIR模型的西藏水资源脆弱性评价[J]. *人民长江*, 2019, 50(6): 98-103. [Bai Q Q, Wu J J, Hao S N. Water resource vulnerability assessment of Tibet based on DPSIR model[J]. *Yangtze River*, 2019, 50(6): 98-103.]
- [20] 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地地质构造的基本特征及其演化[J]. *地学前缘*, 2006, 13(4): 160-167. [Meng X G, Zhu D G, Shao Z G, et al. The basic characteristics and evolution of the geological structures in the Zhada basin, Ali, Tibet[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(4): 160-167.]
- [21] 秦泗国, 钟国辉. 西藏高原当前生态环境问题的初步研究[J]. *西藏大学学报(自然科学版)*, 2008, 23(1): 9-12. [Qin S G, Zhong G H. A preliminary study on ecological environmental problems in Tibet[J]. *Journal of Tibet University (Natural Science Edition)*, 2008, 23(1): 9-12.]
- [22] 张鹏. 西藏“一江两河”地区土壤侵蚀现状及分布特征[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1): 49-53. [Zhang P. Soil erosion status and distribution characteristics in the ‘one river and two streams’ region in Tibet[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2017, 24(1): 49-53.]
- [23] 尚海龙, 蒋焕洲. 西藏新型城镇化与生态环境耦合演进及解耦分析[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(4): 118-126. [Shang H L, Jiang H Z. Coupling procedure and decoupling analysis of new-type urbanization and eco-environment system in Tibet[J]. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 2019, 55(4): 118-126.]
- [24] 郑度, 赵东升. 青藏高原的自然环境特征[J]. *科技导报*, 2017, 35(6): 13-22. [Zheng D, Zhao D S. Characteristics of natural environment of the Tibetan Plateau[J]. *Science & Technology Review*, 2017, 35(6): 13-22.]
- [25] Li X C, Zhang Y J, Jin X L, et al. Comparison of digital elevation models and relevant derived attributes[J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2017, DOI: 10.1117/1.JRS.11.046027.
- [26] Dawod G, Al-Ghamdi K. Reliability of recent global digital elevation models for geomatics applications in Egypt and Saudi Arabia [J]. *Journal of Geographic Information System*, 2017, DOI: 10.4236/jgis.2017.96043.
- [27] Zhao N Z, Liu Y, Cao G F, et al. Forecasting China’s GDP at the pixel level using nighttime lights time series and population images [J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2017, 54(3): 1-19.
- [28] 唐焰. 基于GIS的中国人居住环境自然适宜性评价[D]. 北京: 中国科学院, 2008. [Tang Y. Natural Environment Suitability Evaluation for Human Settlements in China Based on GIS[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2008.]
- [29] 游珍, 封志明, 杨艳昭. 中国地形起伏度公里网格数据集[EB/OL]. (2018-03-16) [2019-06-06]. <http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx?Id=887>. [You Z, Feng Z M, Yang Y Z. China Terrain Fluctuation Kilometer Grid Dataset[EB/OL]. (2018-03-16) [2019-06-06]. <http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx?Id=887>.]
- [30] Shi H, He Q Q, Zhang W T. Spatial factor analysis for aerosol optical depth in metropolises in China with regard to spatial heterogeneity[J]. *Atmosphere*, 2018, DOI: 10.3390/atmos9040156.
- [31] Shi H, You Z, Feng Z M, et al. Numerical simulation and spatial distribution of transportation accessibility in the regions involved in the Belt and Road Initiative[J]. *Sustainability*, 2019, DOI: 10.3390/su11226187.
- [32] Bourdin S. Does the cohesion policy have the same influence on growth everywhere? A GWR approach in Central and Eastern Europe[J]. *Economic Geography*, 2018, DOI: 10.1080/00130095.2018.1526074.
- [33] Chen L F, Zhu G P. Analysis of influence on spatial distribution of fishing ground for Antarctic krill fishery in the northern South Shetland Islands based on GWR model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(3): 938-944.
- [34] Kumari M, Singh C K, Bakimchandra O, et al. Geographically weighted regression based quantification of rainfall-topography relationship and rainfall gradient in Central Himalayas[J]. *International Journal of Climatology*, 2016, 37(3): 1299-1309.
- [35] Xia F, Qu L Y, Wang T, et al. Distribution and source analysis of heavy metal pollutants in sediments of a rapid developing urban river system[J]. *Chemosphere*, 2018, 207: 218-228.
- [36] Jon S, Richard T, Carson, S N, et al. Using the Delphi method to value protection of the Amazon rainforest[J]. *Ecological Economics*, 2017, 131: 475-484.
- [37] Marco P, Andrea B, Ovidio B, et al. Appropriateness and efficacy of Spa therapy for musculoskeletal disorders. A Delphi method consensus initiative among experts in Italy[J]. *Annali Dellistituto Superiore Di Sanita*, 2017, 53(1): 70-76.
- [38] Ruth S, Andrea C, Cynthia B, et al. Entry-to-practice public health nursing competencies: A Delphi method and knowledge translation strategy[J]. *Nurse Education Today*, 2018, 65: 102-107.
- [39] Juho H, Riitta D, Tapio S, et al. Ontology development for patient education documents using a professional- and patient-oriented Delphi method[J]. *Cin Computers Informatics Nursing*, 2018, 36(9): 448-457.
- [40] Randy L A. Identification of essential skills for entry-level athletic trainers using the Delphi method[J]. *Performance Improvement*, 2018, 57(1): 27-38.

Evaluation of human settlement environmental suitability in Tibet based on gridded data

YOU Zhen, FENG Zhiming, YANG Yanzhao, SHI Hui, LI Peng

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The natural environment of human settlements is the basis of human development, while the scientific evaluation of human settlement natural environment is not only the premise to improve the carrying capacity of resources and environment but also the basic work to achieve sustainable development. Based on previous research, this article further discussed the evaluation methods of human settlement environmental suitability by taking Tibet as an example. The results show that: (1) The evaluation method based on conditional rules was more suitable for the evaluation of human settlement environmental suitability in Tibet; (2) More than three-quarters of the land in Tibet are unsuitable for human habitation, with most of them distributed in the northwestern part of Tibet; the area of the regions of critical suitability accounts for 16.78% of the total area of Tibet, mainly located in the YarlungZangbo River, Nyangqu River, and Lhasa River basins, the upper reaches of the Lancang River, and the northern parts of Shannan and Linzhi; the areal proportion of suitable regions was only 5.83%, concentrating in the southeast of Tibet, river valleys of the YarlungZangbo River, Nyangqu River, and Lhasa River, and valley oasis in the upper reaches of the Lancang River; (3) The distributions of different types of settlements are highly coupled with human settlement environmental suitability zones in Tibet, the proportion of town and village settlements reflecting human activities had a positive relationship with the degree of human settlement environmental suitability, while negative connection was found between the proportion of sites of pastoral people/ancient temples and relics and degree of human settlement environmental suitability. The results also validate the reliability of our evaluation method and classification of human settlement environmental suitability.

Key words: human settlement environmental suitability; conditional rules; human settlement environment index; comprehensive evaluation; Tibet