

基于人居环境特征的青藏高原“无人区”空间界定

李文君^{1,2}, 李 鹏^{1,2}, 封志明^{1,2,3}, 游 珍¹, 肖池伟¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049;
3. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘要: 青藏高原独特的高寒环境与自然条件在一定程度上限制了人口的自然分布与有序发展, 形成了中国面积大、分布广的“无人区”(UPAs)。然而, 当前有关“无人区”面积、分布、特征与区域差异等研究尚无定论。客观、准确界定“无人区”的空间范围, 对开展青藏高原资源环境承载力评价、国家公园与生态安全屏障建设等具有重要意义。基于青藏高原居民点分布信息, 据其地形、气候、生态、土地利用等要素特征, 本文综合表征了居民点的自然—生态—土地利用耦合关系, 率定了居民点分布上限的各要素阈值, 通过多要素空间叠加构建了“无人区”评价综合模型, 并以居民点分布的自然极限、生态(含氧量)下限、土地利用规律为关键阈值界定了青藏高原“无人区”空间范围并分析了其地理分布特征。研究表明: ①以居民点分布累计比例< 0.1%计, 确定“无人区”的地形阈值为海拔> 5665 m、相对高差> 2402 m、地形起伏度> 8.59, 气候阈值为相对湿度< 76.2%、温湿指数< 33或> 71。②根据居民点分布及人体对含氧量耐受情况, 确定“无人区”的生态阈值为气压< 500 hpa、大气含氧量< 40%。③青藏高原严格“无人区”面积达1912 km², 其中新疆699 km²、四川413 km²、西藏331 km²、青海291 km²、甘肃178 km²。空间上呈零星分散状, 多分布在四川贡嘎山、珠穆朗玛峰附近等极高山地区、可可西里东部—罗布泊地区; 以及少部分分布在青海柴达木盆地。

关键词: “无人区”; 人居环境; 空间界定; 地形起伏度; 温湿指数; 含氧量; 青藏高原

DOI: 10.11821/dlxb202109006

1 引言

青藏高原作为“世界屋脊”“亚洲水塔”“地球第三极”^[1], 是中国“两屏三带”生态格局中重要的生态安全屏障、战略资源储备基地^[2]。长期以来, 独特的高寒环境与自然条件限制了人口的自然分布与有序发展, 形成了中国面积大、分布广的“无人区”(Unpopulated Areas, UPAs), 是中国传统“无人区”(罗布泊、阿尔金、可可西里以及西藏羌塘等)的重要组成部分。过去对“无人区”的描述多以民俗纪实材料为主^[3-4], 如把它等同于冠以神秘色彩的探险之地。迄今, 基于人居环境的青藏高原“无人区”自然空间范围界定鲜有报道^[3-4], 有关其分布与面积、类型与分布特征等问题尚无定论^[5]。在第二次青藏高原综合科学考察研究背景下, “聚焦水、生态、人类活动, 着力解决青藏高原资

收稿日期: 2020-06-23; 修订日期: 2021-04-27

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK1006); 中国科学院青年创新促进会会员人才专项(CAS2020055); 中国博士后科学基金(2019M660777) [Foundation: The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program, No.2019QZKK1006; Youth Innovation Promotion Association of the Chinese Academy of Sciences, No.CAS2020055; China Postdoctoral Science Foundation, No.2019M660777]

作者简介: 李文君(1994-), 女, 河北承德人, 博士生, 主要从事资源地理研究。E-mail: liwj.17s@igsnr.ac.cn

通讯作者: 李鹏(1984-), 男, 江西永新人, 博士, 副研究员, 中国地理学会会员(S110015060M), 主要从事资源遥感与边境地理研究。E-mail: lip@igsnr.ac.cn

源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题”,已成为中国地理、资源、生态与环境等学科重要的研究方向^[6]。客观、准确界定“无人区”的空间范围与地理分布^[2,7],对开展青藏高原资源环境承载力评价、国家公园与生态安全屏障建设等具有重要科学价值与现实意义^[1,8]。

在全球气候变化和人类活动的双重影响下,青藏高原正在经历不同维度、不同尺度、不同程度的环境变化^[8-9]。国际上,“无人区”常作为非人类干预下土地覆被变化、水循环的典型区域^[10-12],并对“无人区”自然条件限制下的人体生理状况变化有所涉及^[13]。地形、气候、土地覆被类型以及人体生理状况是影响“无人区”地理分布的重要因素^[14]。鉴于其分布偏远且交通受限,试图通过大范围野外调查确定“无人区”空间范围往往费时耗力,且其地理分布常因气候变化与人为改造而不断变化。当前,具有一致性空间分辨率地学产品(如ASTER GDEM、Landsat等)的共享政策,可为基于多要素综合界定“无人区”空间范围并评价其类型差异与区域特征提供数据基础^[15-16]。

本文中“无人区”是指“长期闲置的土地或不适合人类居住的地区”。文中以青藏高原居民点矢量数据为基础,结合全球数字高程模型(ASTER GDEM)、气象站点资料(包括气温、相对湿度、气压)多年月均值、以及全球土地覆盖类型等数据产品,基于ArcGIS 10.5平台统计分析居民点分布的地形与气候等特征,并从地形、气候、生态、土地覆被4个要素确定青藏高原“无人区”界定的相应阈值(区间)。最后,采用空间加权叠置方法构建基于人居环境特征的青藏高原“无人区”自然空间范围界定模型,研制青藏高原首套“无人区”专题图(30 m)并分析其地理分布特征。

2 研究区概况、研究数据与方法

2.1 研究区概况

青藏高原地势西高东低,边缘起伏不平,内部起伏程度较大。中国境内部分平均海拔约为4385 m,4000 m以上的高海拔地区占青藏高原面积的73.11%,地势高耸(图1)。其中,4000~5000 m的地区面积占比高达48.89%,集中分布在西藏阿里、那曲、日喀则及昌都、新疆和田、青海玉树、果洛等地、市、州。4000 m以下面积占到26.89%,主要分布在青藏高原北部、东部及东南部的边界地区(最低处门隅46 m)^[6,17]。

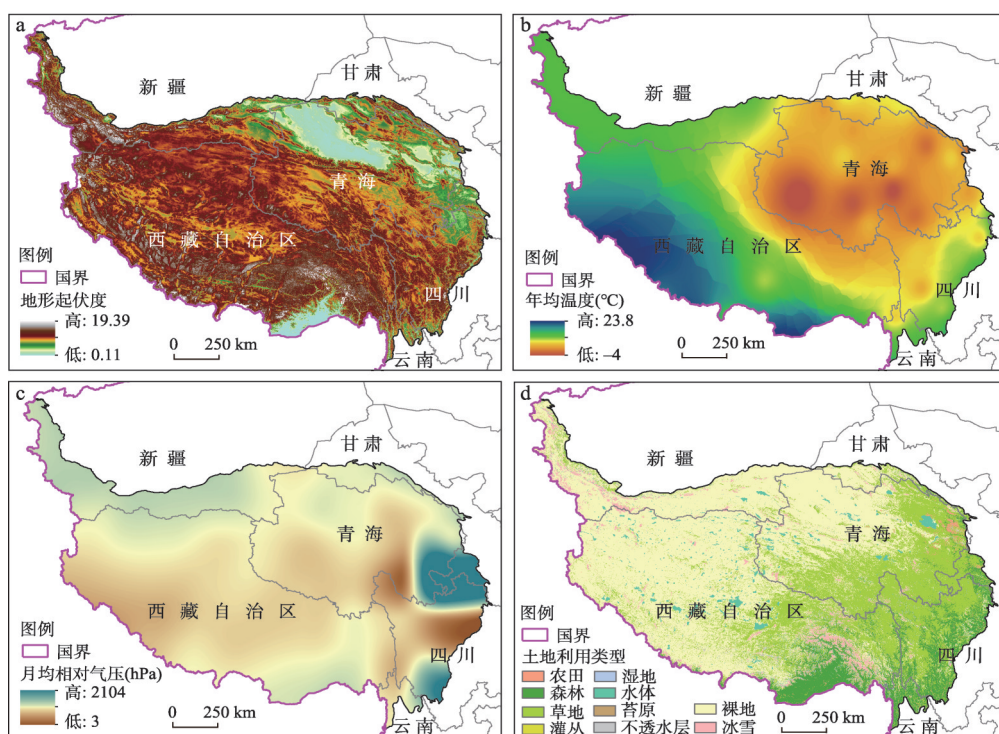
青藏高原辐射强烈,日照多,气温低,积温少,气温随高度和纬度的升高而降低,且日较差大;干湿分明,多夜雨;冬季干冷漫长,大风多;夏季温凉多雨,冰雹多。年平均气温由东南的20℃,向西北递减至-6℃以下。由于南部海洋暖湿气流受多重高山阻留,年降水量也相应由2000 mm递减至50 mm以下。喜马拉雅山脉北翼年降水量不足600 mm,而南翼最热月平均气温18~25℃,年降水量1000~4000 mm。综上,青藏高原独特的高寒环境与自然条件,为从人居环境(即居民点分布)及其与自然要素相关性特征这一视角开展其“无人区”空间界定奠定了研究基础。

2.2 数据来源

2.2.1 ASTER GDEM与地形起伏度 青藏高原全覆盖高程数据采用ASTER GDEM第2版数据(30 m),来源于美国国家航空航天局与日本经济产业省。ASTER GDEM数据产品包含2个文件(dem.tiff和num.tiff),分别为数字高程模型(DEM)数据和质量控制(QA)数据。在完成GDEM异常值处理后,基于式(1)计算青藏高原地形起伏度^[18]:

$$RDLS = ALT/1000 + \{[\max(H) - \min(H)] \times [1 - P(A/A)]\} / 500 \quad (1)$$

式中:RDLS(Relief Degree of Land Surface)为地形起伏度,取值越大则表明地形起伏



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1607号标准地图制作,底图边界无修改。

图1 青藏高原地形、年均温度、月均气压与土地利用/覆被类型概况

Fig. 1 Maps showing the topography, annual average temperature, monthly average air pressure and land use/cover types of the Qinghai-Tibet Plateau, China

更为剧烈。 ALT 为以某栅格为中心一定范围内的平均海拔 (m), $\max(H)$ 和 $\min(H)$ 分别为此区域内的最高海拔与最低海拔 (m); $P(A)$ 为区域内平地面积 (km^2), 平地是指分析窗口内高差 < 30 m的区域; A 为区域总面积 (km^2)。

2.2.2 温度、相对湿度数据与温湿指数 青藏高原及周边国家气象站点 (1980—2017年) 数据来源于国家气象信息中心地面气候资料月值数据集。每个站点的月值数据主要包含了平均温度、相对湿度等, 以及各气象站点对应的经纬度和海拔等基础地理信息。在ArcGIS中采用反距离插值方法生成了青藏高原温度和相对湿度多年月均值。基于温度、相对湿度数据, 计算青藏高原温湿指数。温湿指数是表征经湿度订正之后的温度^[19], 由Thom于1959年提出, 公式如下:

$$THI = 1.8t - 0.55(1 - f)(1.8t - 26) \quad (2)$$

式中: THI (Temperature Humidity Index) 为温湿指数; t 为月均温 ($^{\circ}\text{C}$); f 是月均空气相对湿度 (%)。其中, THI 取值介于0~100。一般地, $THI = 65$ 时, 表示身体感受 (不考虑着衣指数) 为温暖、舒适。值越小表示身体感受为寒冷、极不舒适; 值越大表示身体感受为炎热、极不舒适。

2.2.3 气压数据与含氧量 青藏高原及周边国家气象站点 (1980—2017年) 地面气压月值数据同样来源于国家气象信息中心。采用相同插值方法生成青藏高原多年月均气压栅格数据。常见空气含氧量计算方法主要考虑含氧量与气压的正比关系而忽略了其他因子, 不能较好地反映青藏高原各地含氧量的真实情况, 如出现冬季含氧量高于夏季的情

况。基于年均气压数据, 本文采用西藏气象部门提出的含氧量计算经验公式^①计算青藏高原原含氧量, 公式如下:

$$O_i = P_h / P_o \times 100 + (T_{\min} - T_{\max}) / 10.0 + C \quad (3)$$

式中: P_h 为平均气压; P_o 为常量 (1013 hpa); T_{\min} 、 T_{\max} 为年际最低与最高气温; C 为逐月调整因子。

2.2.4 土地覆被类型与居民点分布 青藏高原土地覆被数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台“全球 30 m 土地覆盖数据集 (2017 年)”, 一级类型包含 10 类。数据投影方式为 GCS_WGS_1984。

居民点分布数据来源于作者所在课题组, 数据格式为矢量数据, 基于 1:25 万基础地理信息数据 (来源于中国地球科学数据共享平台), 通过最新地图比对更新、修正、目视识别所得^[20]。青藏高原居民点矢量数据空间分布特征表明, 居民点集中分布在藏北高原南部、藏南谷地和川藏高山峡谷区处 (图 2), 零星分布在青海高原北部、祁连山地、以及新疆境内昆仑山脉南部, 另外在江河流域呈明显的带状分布。

2.3 研究方法

以青藏高原居民点位信息为基础, 建立居民点分布与地形、气候、生态特征及资源利用等要素所表征的自然—生态—土地利用系统的耦合关系, 以人口分布的自然、生态上限、以及人口分布的土地利用规律性特征, 构建青藏高原“无人区”加权叠置模型。模型包括 2 个步骤: ① 从人居环境适宜性 2 个决定性自然地理要素 (即地形与气候) 界定不适宜人类居住的地区; ② 基于土地利用/覆被类型确定长期闲置土地的空间范围。前者为主, 后者为辅。

本文采用模型构建、叠置分析相结合的方法, 构建青藏高原“无人区” (UPAs) 空间界定模型为:

$$UPAs = T_{UPAs} + C_{UPAs} + P_{UPAs} + LC_{UPAs} \quad (4)$$

式中: T_{UPAs} (Topographically UPAs)、 C_{UPAs} (Climatically UPAs)、 P_{UPAs} (Physiologically UPAs)、 LC_{UPAs} (Land-Cover UPAs) 分别为地形、气候、生态



图 2 青藏高原居民点分布

Fig. 2 Distribution of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

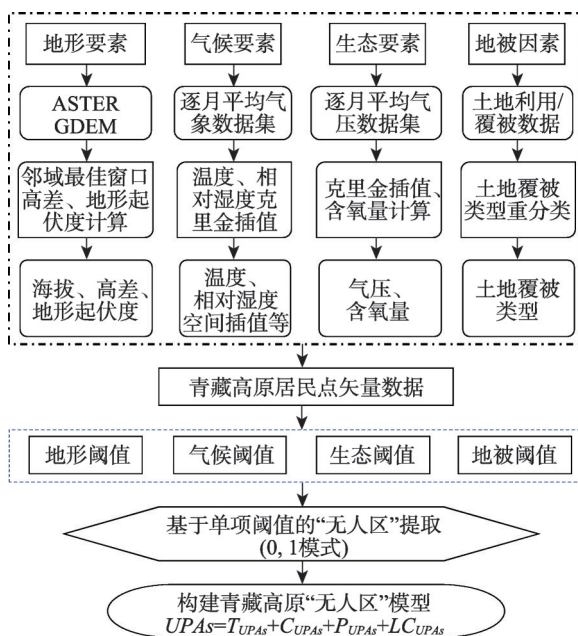


图 3 青藏高原“无人区”空间范围界定技术流程

Fig. 3 Workflow for defining the extent of the UPAs in the Qinghai-Tibet Plateau

① 含氧量计算方法来源于西藏气象部门业务中使用的经验公式。

和土地覆被4类单要素“无人区”限定因子。以居民点累计分布概率小于0.1%为依据,确定居民点在各类自然要素分布的上(下)限阈值,超过阈值上限(或低于阈值下限)为1、其余为0,以界定单要素限制人类居住的空间区域(即1、0分别代表无人、有人)。基于GIS进行各自然要素阈值空间叠加分析,根据人居环境自然要素限制表征青藏高原人口分布状况,即青藏高原“无人区”。因此,UPAs取值为0~4,其中UPAs = 0为人口可能分布区;UPAs = 1为单因子限制居住区;UPAs = 2为双因子限制居住区;UPAs = 3~4为严格无人区。

3 结果与分析

3.1 青藏高原居民点分布地形特征

3.1.1 居民点分布与海拔/高差相关分析 青藏高原居民点数量随海拔升高呈先增后减趋势(图4b),并且居民点分布特征与海拔空间分布特征较为一致。居民点主要分布在海拔3000~5000 m(其土地面积占到全区的67.20%),占该区全部居民点数量的72.97%。受地形约束,70%以上区域位于海拔4000 m以上,中高海拔地区分布的居民点较少,不到5%的居民点散布在仅占青藏高原1.50%的区域内。根据居民点累计占比小于0.1%的判定条件,确定青藏高原居民点分布的海拔上限值为5665 m。

类似地,居民点数量随高差增加先增后减(图4d),并且居民点分布特征与青藏高原高差土地占比情况高度一致。其中,62.21%以上的居民点聚集在高差100~500 m范围内,相应土地面积为136.25万km²(占比56.77%);高差低于100 m的地区居民点仅占7.80%,其土地面积为44.21万km²(占比18.42%);而高差介于500~1000 m的区域居民点占到28.86%,其土地面积为55.06万km²(占比22.94%)。相应地,根据居民点累计占比小于0.1%的判定条件,确定青藏高原居民点分布的高差上限值为2402 m。

3.1.2 居民点分布与地形起伏度相关分析 居民点数量随地形起伏度增加亦先增后减,并且居民点分布特征与地形起伏度的土地占比特征高度一致。青藏高原居民点主要分布在

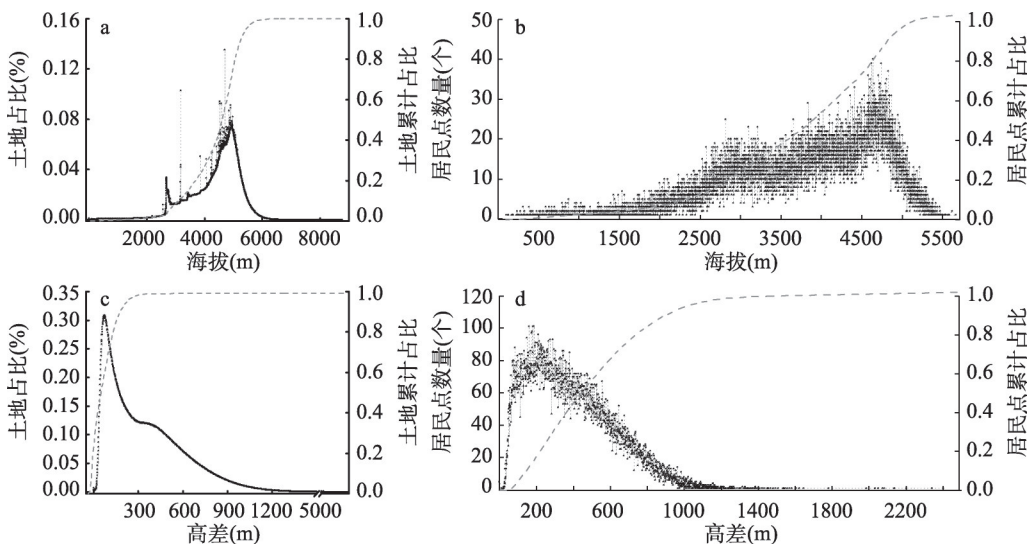


图4 青藏高原居民点分布地形特征

Fig. 4 Topographical characteristics of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

地形起伏度 3.5~5.5 之间 (相应土地面积占全区的 61.54%), 占该区全部居民点数量的 75.76% (图 5); 地形起伏度低于 3.5 的地区对应居民点占 13.94%, 相应土地面积为 19.20 万 km^2 (占比 8.00%), 而地形起伏度高于 6.5 的地区其居民点仅占到 0.14%, 相应土地面积为 10.85 万 km^2 (占比 4.52%)。根据居民点累计占比小于 0.1% 的判定条件, 确定青藏高原居民点分布的地形起伏度上限值为 8.59。综上, 居民点分布特征与海拔、高差及地形起伏度的空间分布情况非常契合。据此提取出居民点分布的 3 个地形要素的上限阈值, 并选取地形作为影响居民点分布的决定性因子。

3.2 青藏高原居民点分布气候特征

3.2.1 居民点分布与温度/相对湿度相关分析 青藏高原居民点数量随温度增加呈波动变化趋势 (图 6b)。其中, 温度在 3 $^{\circ}\text{C}$ 带上居民点分布最多, 占到 10.66%; 在温度超过 3 $^{\circ}\text{C}$ 的区域, 居民点数量随温度增加呈波动减少趋势, 且在 21 $^{\circ}\text{C}$ 温度带再次相对集中分布, 占到 5.41%。总体而言, 青藏高原居民点集中分布在 3~11 $^{\circ}\text{C}$ 温度带上 (相应土地面积占到全区的 44.35%), 占到 53.20%。其次, 有 21.57% 的居民点集中分布在 16~22 $^{\circ}\text{C}$ 温度带上, 其土地面积为 37.92 万 km^2 , 土地占到 15.80%。温度与居民点空间分布相关性分析表明, 居民点几乎分布在青藏高原所在的所有温度区间, 故本文中未将温度作为“无人区”界定的关键指标。

类似地, 居民点数量随相对湿度增加呈波动变化趋势 (图 6d), 且相对湿度空间特征与不同湿度带上的居民点分布情况差异明显。总体上看, 居民点集中分布在相对湿度

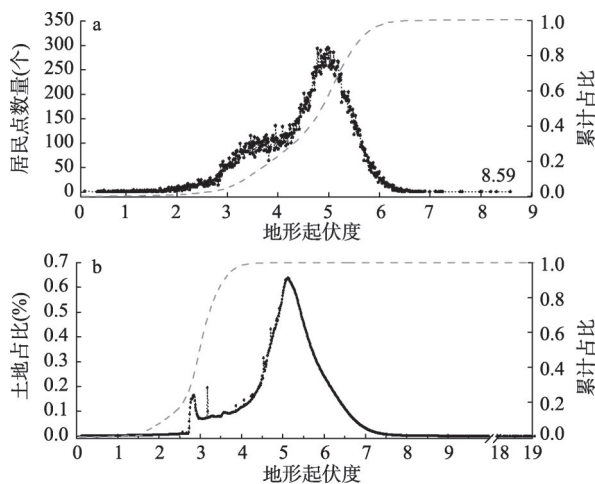


图5 青藏高原居民点分布地形起伏特征

Fig. 5 Relief degree of land surface of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

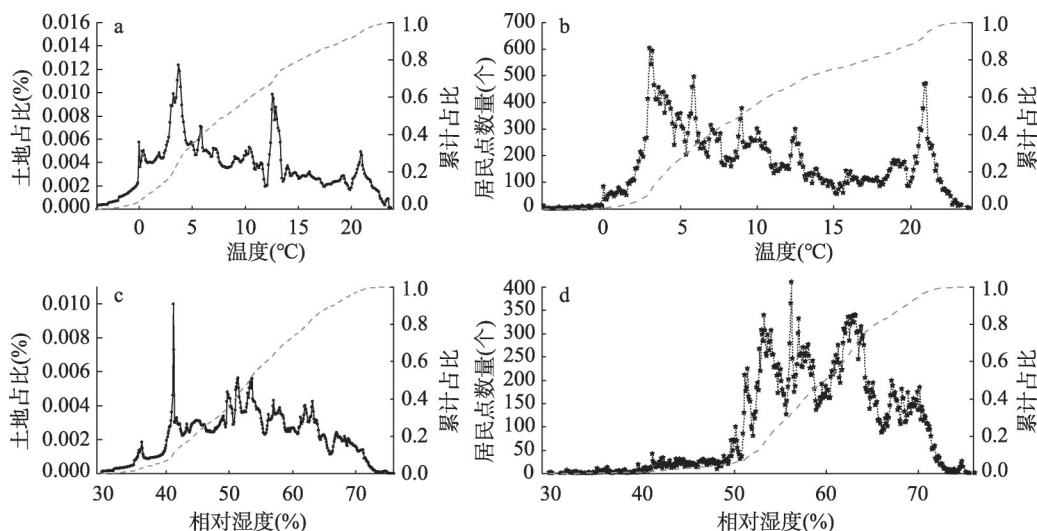


图6 青藏高原居民点分布气候特征

Fig. 6 Climatic characteristics of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

介于50%~70%的区域（相应土地面积占到全区的60.38%），占全部居民点的88.74%；其次，有5.77%的居民点集中分布在相对湿度介于29.8%~50%的地区，相应土地面积为87.72万km²（36.55%）；另有5.49%的居民点分布相对湿度介于70%~76.2%的地区，相应土地面积为7.34万km²（3.06%）。相对湿度与居民点空间分布相关性分析表明，居民点几乎分布在青藏高原的所有相对湿度区间，其作为辅助因素确定青藏高原居民点分布的相对湿度上限值为76.2%。

3.2.2 居民点分布与温湿指数相关分析 青藏高原居民点数量随温湿指数增加先增后减，但居民点分布特征与温湿指数的空间分布情况差异较大（图7）。其中，温湿指数介于60~70的凉爽地区居民点占比为21.48%，其土地面积约占全域的15.70%（表1）。总体而言，青藏高原居民点主要分布在温湿指数为40~55的区域（其土地占比60.69%），占该区全部居民点数量的67.09 %；温湿指数低于40的地区居民点仅占到2.79%，相应土地面积为24.86万km²（占比10.36%）。根据居民点累计占比小于0.1%的判定条件，确定青藏高原居民点分布的温湿指数上限值为71、下限值为33。

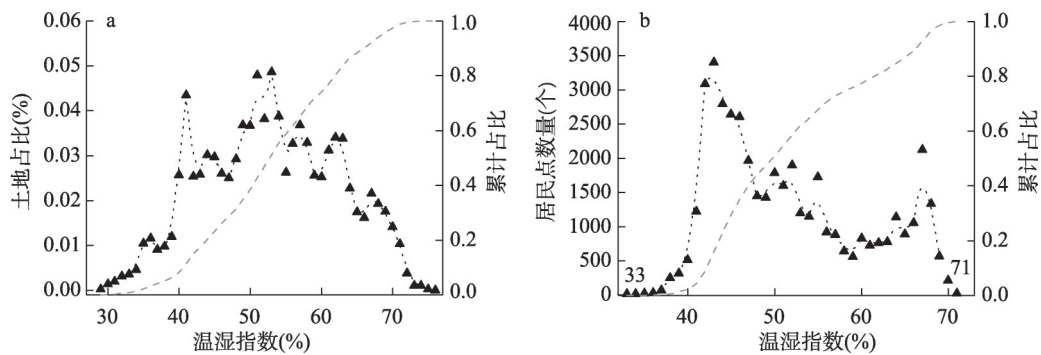


图7 青藏高原居民点分布温湿指数特征
Fig. 7 The characteristics of the THI of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

综上，居民点分布特征与温度、温湿指数的空间分布情况差异较大，而与相对湿度空间分布情况较为一致。据此可推断温度对青藏高原“无人区”界定的贡献较小；相对湿度和温湿指数与居民点分布相关性较弱，仅以其作为辅助因子，提取出居民点分布的2个气候要素的上（下）限阈值。

3.3 青藏高原限制居民点分布的生态要素

青藏高原含氧量从中部向南北部呈波动增加的趋势（图8）。具体地，冈底斯山脉、喜马拉雅山脉西部等地含氧量低于30%，而巴颜喀拉山脉及松潘高原含氧量甚至在20%以下。向北至藏北高原、昆仑山脉以及祁连山地、柴达木盆地等地区含氧量上升到35%，藏南谷地东南部的门隅地区含氧量可达40%以上。青藏高原含氧量最充足区域位于横断山脉以南的四川、云南地区，含氧量在50%以上。总体而言，青藏高原含氧量插值结果与考察经验知识较为符合，可作为青藏高原“无人区”界定的因子之一。

青藏高原居民点数量随气压增加先增后减（图9），且居民点分布特征与青藏高原气

表1 青藏高原居民点分布气候特征			
Table. 1 The climatic characteristics of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau			
温湿指数	感觉程度	居民点占比(%)	土地占比(%)
< 40	极冷、极不舒适	2.78	10.36
40~45	寒冷、不舒适	29.46	24.87
45~55	偏冷、较舒适	37.63	35.82
55~60	清、舒适	8.58	12.94
60~65	凉、非常舒适	9.63	7.8
65~70	暖、舒适	11.85	7.9
70~75	偏热、较舒适	0.07	0.31

压的空间分布情况较为契合。具体地, 气压值介于 500~800 hPa 范围内居民点占到 74.53%, 相应土地面积为 180.53 万 km^2 (占比 75.08%)。气压与气候要素类似, 对居民点分布体现为低值限制, 99% 以上的居民点分布在气压值 370 hPa 以上, 结合人体对高原低气压的耐受特征 (< 500 hPa), 以此确定青藏高原“无人区”的第三层生态—气压阈值。

需要说明的是含氧量数据来源于对气压插值结果的经验运算, 并以珠穆朗玛峰处气压 (303.9 hPa) 与含氧量 (25%) 作为最小化标准值, 对于计算结果存在的异值进行最小值处理。含氧量计算结果为相对值, 与气象测量数据并不完全一致。对以上结果进行重分类, 以步长 1 为间隔, 分析含氧量对居民点分布的限制性。青藏高原居民点数量随含氧量增加呈先增后减的趋势, 且居民点分布特征与青藏高原含氧量的空间分布情况也较为契合 (图 9d)。含氧量低于 45% 地区仅分布 2% 的居民点, 66.65% 的居民点主要分布在含氧量介于 45%~75% 的范围内, 相应土地面积为 178.10 万 km^2 (74.21%)。结合人体对低氧环境的耐受能力, 综合确定青藏高原“无人区”的第三层生态—含氧量阈值为 40%。

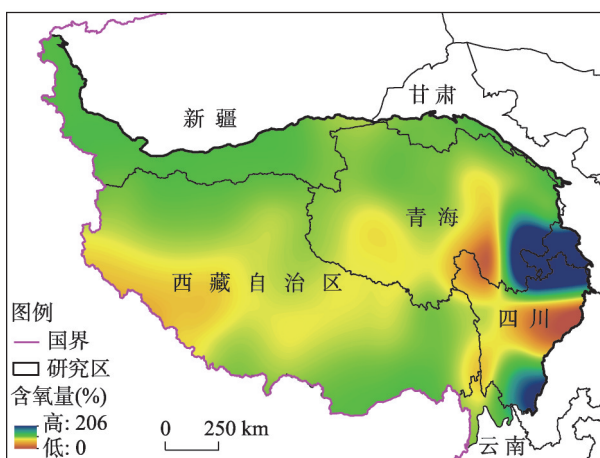


图8 青藏高原含氧量空间分布特征

Fig. 8 Spatial distribution of oxygen content in the Qinghai-Tibet Plateau, China

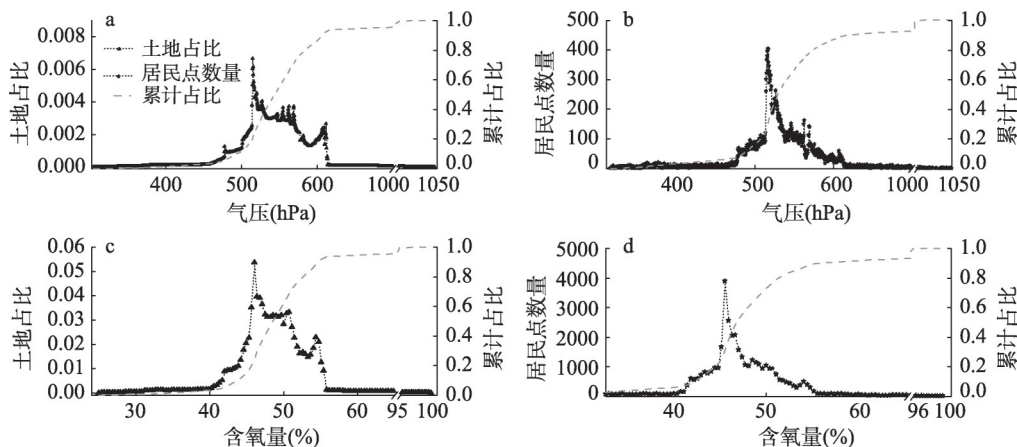


图9 青藏高原居民点分布生态(含氧量)特征

Fig. 9 The ecological (oxygen content) characteristics of the settlements in the Qinghai-Tibet Plateau

3.4 青藏高原居民点分布土地覆被特征

居民点主要集中分布在草地, 占全部居民点的 49.74%; 草地类型在青藏高原土地占比 30.41% (土地面积为 72.98 万 km^2)。其次, 24.05% 的居民点主要分布在裸地, 相应土地覆被类型是青藏高原最广泛分布的, 对应面积为 126.98 万 km^2 (52.91%); 另外, 11.82% 的居民点分布在森林, 相应土地面积为 20.28 万 km^2 (8.45%); 青藏高原农田面积相对稀少, 仅占 0.58% (土地面积为 1.39 万 km^2), 但是农田周围分布 9.95% 的居民点。除

不透水层（土地占比0.40%）分布有2.43%的居民点，其他土地覆被类型分布的居民点不及1%。

结合青藏高原居民点与土地覆被类型情况，在农田和草地分布着青藏高原大部分的农民、牧民或者农/牧民；而青藏高原西南部的川藏高山峡谷区广泛且集中分布着森林，也分布有一定数量的居民点。此外，青藏高原西北部的藏北高原—新疆塔克拉玛干沙漠分布着面积广阔的荒漠和未利用地；青藏高原不透水层面积仅为0.96万km²（土地占比0.40%），其包含的建设用地聚集着较多的居民点。居民点与土地覆被类型相关性分析表明，土地覆被类型可作为青藏高原“无人区”界定的辅助因子，文中将灌丛、湿地、水体和冰雪划分为“限制”居住区。

3.5 青藏高原“无人区”空间范围界定及其地理分布特征

综合地形、气候、生态和土地覆被4类限制因子，根据居民点累计占比小于0.1%的限定条件，共确定9个“无人区”界定指标阈值，反复比较各类阈值对“无人区”提取结果的差异性。例如，同一限制因子下不同指标界定的特征空间不同，如若不同特征空间属于包含和被包含关系，则比较选择包含信息更多的“较大”空间所代表的限定指标。因而，筛选出地形起伏度、相对湿度、气压以及土地利用/覆被（重分类）4个“无人区”界定阈值指标，并对阈值确定的二值空间进行重分类（0, 1）。最后，基于“无人区”空间界定模型，对4类限制因子进行空间叠加运算，界定“无人区”模型计算取值的物理意义，最终得到青藏高原“无人区”空间范围专题图（图10）。

青藏高原人口可能分布区主要分布在青藏高原中部的藏北高原、藏南谷地、青海高原以及川藏高山峡谷区，对应土地面积为178.99万km²，占比74.58%。单因子限制居住区呈片状分布在四川省中部高山区、巴颜喀拉山脉东麓、柴达木盆地（包含罗布泊）以北地区，此外，沿冈底斯山脉、喜马拉雅山脉带状分布，对应土地面积为54.58万km²，占比22.74%。双因子限制居住区主要分布在喜马拉雅山西部，对应土地面积为6.24万km²，占比2.60%。双因子限制居住区涵盖了传统意义上的中国四大“无人区”，具体分

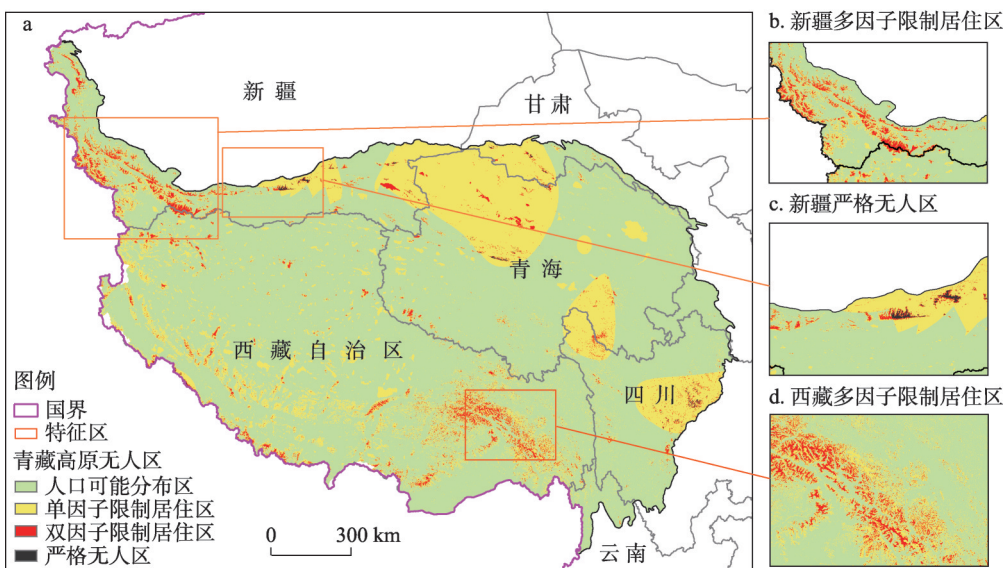


图10 青藏高原“无人区”空间分布

Fig. 10 Spatial pattern of the UPAs in the Qinghai-Tibet Plateau

布在阿尔金山西北部、罗布泊西北部、西藏那曲地区东南部(羌塘地区)、以及可可西里山脉南部地区。

青藏高原严格“无人区”面积达1912 km², 其中新疆699 km²、四川413 km²、西藏331 km²、青海291 km²、甘肃178 km²。严格意义上的青藏高原“无人区”零星分布在极高山地区, 如四川贡嘎山附近、喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰附近、以及可可西里东部—罗布泊地区。上述结果包含了传统意义上的广义“无人区”空间范围。总体而言, 单因子限制居住区以面状分布, 双因子限制居住区则沿山脉带状分布, 严格意义上的“无人区”则零星分布在极高山地区。

4 结论

本文以青藏高原居民点数据为基础, 结合海拔、气温、相对湿度、气压、土地利用/覆被数据及其衍生指数, 确定“无人区”空间界定的地形、气候、生态以及土地覆被4项要素的阈值, 并构建青藏高原“无人区”界定模型, 研制了青藏高原首套30 m“无人区”专题图并分析了其地理分布特征。主要结论包括:

(1) 青藏高原超70%的居民点位于海拔3000~5000 m, 超60%的居民点位于高差100~500 m区间, 即其分布区地形起伏度介于3.5~5.5。类似地, 超80%居民点分布在相对湿度介于50%~70%的区域(土地面积占到60%), 也即分布在温湿指数40~55的区域。

(2) 青藏高原约70%的居民点分布在气压值介于500~800 hpa范围内; 而含氧量低于45%地区居民点分布甚少, 约2/3的居民点主要分布在含氧量介于45%~75%的范围内。

(3) 以居民点数量累计占比< 0.1%为依据, 分别确定地形起伏度> 8.59、相对湿度> 76.2%、含氧量< 40%、土地利用/覆被(灌丛、湿地、水体、冰雪)作为“无人区”空间界定指标阈值, 基于“无人区”空间叠加模型, 研制了基于人居环境自然要素特征的青藏高原“无人区”空间分布图。

(4) 青藏高原“无人区”面积达1912 km², 其中新疆699 km²、四川413 km²、西藏331 km²、青海291 km²、甘肃178 km²。“无人区”在空间上呈零星分散状, 多分布在四川贡嘎山附近、喜马拉雅山脉的珠穆朗玛峰附近等极高山地区、以及可可西里东部—罗布泊地区; 此外, 双因子限制居住区分布在“无人区”外围, 单因子限制区则在空间上连片分布。

本文仅从人居环境(即居民点)的自然要素分布特征角度, 基于GIS空间分析初步界定了青藏高原“无人区”空间分布。当前, 其他可参考的“无人区”空间界定模型未见报道, 故本文的提取结果难以与同类研究结果进行对比分析。需要说明的是, 本文“无人区”界定空间范围与分布可能存在一定不确定性, 主要影响因素有基于反距离插值的温度等气象产品、基于经验公式计算的含氧量、以及基于地图比对更新居民点分布信息等。此外, 文中所采用的“无人区”空间界定模型为理论模型, 其反映的是基于人居环境(即居民点)的自然要素分布特征下的可能空间分布。在现实情况下, “无人区”往往地处高寒偏远地区, 自然环境恶劣, 交通受限, 且对考察人员身体要求很高, 当前要开展大范围的“无人区”实地调查与验证仍存在财力、物力与人力等方面的限制。未来, 将结合青藏高原高海拔(> 4800 m)地区生态搬迁项目、以及国土与旅游等生产管理部门的现实需求, 辅以其他高分辨率遥感数据产品, 结合实地抽样调查与遥感(含无人机)信息提取等手段, 进一步修正与完善青藏高原“无人区”的空间分布。

参考文献(References)

- [1] Zheng Du, Zhao Dongsheng. Characteristics of natural environment of the Tibetan Plateau. *Science & Technology Review*, 2017, 35(6): 13-22. [郑度, 赵东升. 青藏高原的自然环境特征. 科技导报, 2017, 35(6): 13-22.]
- [2] Wang Tiejun, Zhao Lijian, Zhang Xi. Discussion on the method of ecotope comprehensive evaluation for Tibet Plateau ecological shelter zone. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2018(9): 112-116. [王铁军, 赵礼剑, 张溪. 青藏高原生态屏障区生态环境综合评价方法探讨. 测绘通报, 2018(9): 112-116.]
- [3] Zhang Lin. Characteristics of temperature distribution in summer in Qinghai Kekexili Empty Quarter. *Plateau Meteorology*, 1992, 11(2): 203-207. [张琳. 青海可可西里无人区夏季温度分布特征. 高原气象, 1992, 11(2): 203-207.]
- [4] Zhang Lin. Characteristics of temperature and rainfall distribution in the uninhabitable area Kekexili, Qinghai Province. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1992, 3(3): 347-352. [张琳. 青海可可西里无人区温度、降水分布特征. 应用气象学报, 1992, 3(3): 347-352.]
- [5] 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): 62-67. [廖顺宝, 孙九林. 青藏高原人口分布与环境关系的定量研究. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(3): 62-67.]
- [6] Feng Zhiming, Li Wenjun, Li Peng, et al. Relief degree of land surface and its geographical meaning in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(7): 1359-1372. [封志明, 李文君, 李鹏, 等. 青藏高原地形起伏度及其地理意义. 地理学报, 2020, 75(7): 1359-1372.]
- [7] Duan Jian, Xu Yong, Sun Xiaoyi. Spatial patterns and their changes of grain production, grain consumption and grain security in the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(4): 673-688. [段健, 徐勇, 孙晓一. 青藏高原粮食生产、消费及安全风险格局变化. 自然资源学报, 2019, 34(4): 673-688.]
- [8] Ding Xuhui, Gao Xinyu, Gao Xincai. On the spatial pattern and coupling between the population and economy of Qinghai-Tibet Plateau from 2000 to 2010. *Journal of Tibet University (Social Sciences)*, 2014, 29(2): 34-42. [丁绪辉, 高新雨, 高新才. 青藏高原区人口与经济空间格局演变及耦合性研究: 2000—2010. 西藏大学学报(社会科学版), 2014, 29(2): 34-42.]
- [9] Shi Lei, Huang Xiaoqing, Nima Ji, et al. Study of the tourism climate adaptability in Tibet Autonomous Region. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(5): 1412-1419. [石磊, 黄晓清, 尼玛吉, 等. 西藏自治区旅游气候适应性分析. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1412-1419.]
- [10] Latocha A, Szymanowski M, Jeziorska J, et al. Effects of land abandonment and climate change on soil erosion: An example from depopulated agricultural lands in the Sudetes Mts., SW Poland. *CATENA*, 2016, 145: 128-141.
- [11] Manka A, Pathak H, Tanimura S, et al. Freezing water in no-man's land. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2012, 14(13): 4505-4516.
- [12] Moore E B, Molinero V. Ice crystallization in water's "no-man's land". *The Journal of Chemical Physics*, 2010, 132(24): 244504. DOI: 10.1039/c2cp23116f.
- [13] Hollenberg N K, Epstein M, Basch R I, et al. "No man's land" of the renal vasculature: An arteriographic and hemodynamic assessment of the interlobar and arcuate arteries in essential and accelerated hypertension. *The American Journal of Medicine*, 1969, 47(6): 845-854.
- [14] Yan Liangdong, Yin Qingjun, Zhang Haizhen, et al. The applied research of remote sensing material in Qinghai grassland resources monitoring and appraisal. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 640-646, 675. [颜亮东, 殷青军, 张海珍, 等. 遥感资料在青海草地资源监测及评价中的应用研究. 自然资源学报, 2007, 22(4): 640-646, 675.]
- [15] Qi Xiaoping, Zhang Youyan, Ma Dade, et al. The raised terrain interpretation based on remote sensing techniques in the three lakes of area of the Qaidam Basin. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2012, 14(1): 77-82. [齐小平, 张友焱, 马达德, 等. 柴达木盆地三湖地区正地形遥感研究. 国土资源遥感, 2012, 14(1): 77-82.]
- [16] Liao Shunbao, Sun Jiulin. GIS based spatialization of population census data in Qinghai-Tibet plateau. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 25-33. [廖顺宝, 孙九林. 基于GIS的青藏高原人口统计数据空间化. 地理学报, 2003, 58(1): 25-33.]
- [17] Li Juzhang. Classification of fundamental types of geomorphological form in China. *Geographical Research*, 1987, 6(2): 32-39. [李钜章. 中国地貌基本形态划分的探讨. 地理研究, 1987, 6(2): 32-39.]
- [18] 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. [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. 地理学报, 2007, 62(10): 1073-1082.]
- [19] Hao Huimei, Ren Zhiyuan. Evaluation of nature suitability for human settlement in Shaanxi Province based on grid data. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 498-506. [郝慧梅, 任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性

测评. 地理学报, 2009, 64(4): 498-506.]

- [20] You Zhen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao, et al. Evaluation of human settlement environmental suitability in Tibet based on gridded data. *Resources Science*, 2020, 42(2): 394-406. [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. *资源科学*, 2020, 42(2): 394-406.]

Spatial definition of "Unpopulated Areas (UPAs)" based on the characteristics of human settlements in the Qinghai-Tibet Plateau, China

LI Wenjun^{1,2}, LI Peng^{1,2}, FENG Zhiming^{1,2,3}, YOU Zhen¹, XIAO Chiwei¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, MNR, Beijing 101149, China)

Abstract: The Qinghai-Tibet Plateau (QTP) has unique features of high-cold environments and natural conditions, which have limited the natural distribution and orderly development of its population, and then has formed a large and widely distributed Unpopulated Areas (UPAs). However, the information of the area size, distribution extent, geographical characteristics and regional differences of the UPAs in this plateau is still not available. Therefore, it is significant to define accurately the spatial extent and geographical distribution of the UPAs for the assessment of resources and environmental carrying capacity and constructing the national parks and ecological security barrier in this plateau. Based on the distribution information of residential areas in the QTP, from the characteristics of topography, climate, ecology (oxygen content), land use and other elements, the study aims to examine the relationship of natural-ecological-land use system. Therefore, we developed a comprehensive evaluation model of the "UPAs" through the spatial overlay of multiple elements. The key thresholds determined in the aspects of physical and ecological (oxygen content) limits and land use characteristics, were then used to define the geographical distribution and to examine spatial characteristics of the UPAs in the QTP, China. The results showed that: (1) With the cumulative proportion of residential distribution < 0.1%, we defined the topographic thresholds of the UPAs including the elevation > 5665 m, relative height difference > 2402 m, the relief degree of land surface (RDLS) > 8.59, and the climatic thresholds including the relative humidity > 76.2% and the temperature humidity index (THI) < 33 or > 71. (2) According to the distribution of residential areas and oxygen content tolerance of the human being, the oxygen content thresholds of UPAs were determined as air pressure < 500 hPa, oxygen content < 40%. (3) The resultant UPAs on the QTP covers an area of 1912 km², including 699 km² in Xinjiang, 413 km² in Sichuan, 331 km² in Tibet, 291 km² in Qinghai, and 178 km² in Gansu. The UPAs are scattered sporadically, mostly distributed in Gonggashan Mountain region in Sichuan, the extremely high mountain areas such as Mount Everest in the Himalayas, and the northern Hoh Xil and Lop Nur region, as well as a small part of the UPAs in the Qaidam Basin of Qinghai.

Keywords: unpopulated areas (UPAs); human settlements; spatial definition; relief degree of land surface (RDLS); temperature- humidity index (THI); oxygen content; Qinghai- Tibet Plateau (QTP)