

基于 GIS 的广东省人居环境自然适宜性评价*

邓神宝, 张青年

(中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

摘要: 基于 GIS 平台, 以 1 km × 1 km 栅格为基本单元, 选取地形、地被、气候、水文等自然因子, 构建模型计算了广东省不同地区的人居环境指数, 揭示了广东省人居环境自然适宜性的空间格局, 探讨了广东省不同地区的自然适宜性和限制性因子。研究表明: 广东省的人居环境指数介于 29.6 ~ 91.2 之间, 整体格局是中部人居环境指数较高, 往南和往北均呈逐渐降低趋势。比较适宜区的分布面积最广, 占全省面积的 67.46%, 相应人口最多, 占全省人口的 71.07%; 一般适宜区土地面积占全省面积的 28.8%, 相应人口占 21.54%; 高度适宜区面积占 2.97%, 人口占 7.32%; 临界适宜区面积、人口占比均最低, 分别为 0.77%、0.07%。地形起伏大是粤北的共同限制因子, 水热匹配状况差是湛江、茂名的主导限制因子, 地被覆盖稀疏是珠三角部分经济发达地区的主要限制因子, 大部分一般适宜区同时受多个自然因子限制。

关键词: 广东省; 人居环境自然适宜性; GIS; 地形; 地被; 气候; 水资源

中图分类号: X821 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2014) 01-0127-08

GIS-Based Evaluation of Natural Suitability of Human Settlement Environment in Guangdong Province

DENG Shenbao, ZHANG Qingnian

(School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on Geographic Information System (GIS), at a 1 km × 1 km grid size, by choosing terrain, land cover, climate and water resources as evaluation factors, this paper establishes the human settlement environment model, calculates the human settlement environment index (HEI) of Guangdong, analyses the regional differences of natural suitability of human settlement environment and discusses the suitable and restrictive factors of different regions in Guangdong Province. The results show that: the HEI of Guangdong ranges from 29.6 to 91.2; the natural environment suitability decreases both from the central region to the south and from the central region to the north of Guangdong. Considering area and population, the comparatively suitable region ranks first in both aspects, accounting for 67.46% of the total area and 71.07% of the total population of Guangdong; the common suitable region accounts for 28.8% of the total area and 21.54% of the total population of Guangdong; the most desirable region accounts for 2.97% of the total area and 7.32% of the total population of Guangdong; the low suitable region has the lowest percentage in both aspects, with 0.77% of the total area and 0.07% of the population of Guangdong. Salient relief is a common bottleneck of natural suitability for human settlement in northern Guangdong, while surface water shortage and hot climate are the main disadvantages of natural environment suitability in Zhanjiang and Maoming. Sparse vegetation is the main natural restriction to natural suitability of some developed regions in the Pearl River Delta, while most common suitable regions are restricted by two or more natural factors.

* 收稿日期: 2013-08-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40971210)

作者简介: 邓神宝 (1988年生), 男; 研究方向: 制图综合与地理信息系统; 通讯作者: 张青年; E-mail: zqzns@163.com

Key words: Guangdong Province; natural suitability of human settlement environment; GIS; terrain; land cover; climate; water resources

人居环境是人类聚居生活的地方。人居环境的组成可以概括为 5 大系统：自然系统、人类系统、社会系统、居住系统和支撑系统^[1]。自希腊学者道萨迪亚斯 (Doxiadis) 于 20 世纪 50 年代提出“人居环境科学 (Ekistics)”的概念以来，人居环境逐渐成为热点研究课题，研究范围不断延伸，大到国家、省市一级，小到流域、村落、社区一级都有相关研究成果^[2-7]；不仅研究气候、地形、水文等自然因素对人居环境的影响，还探讨人居环境与经济发展等因素之间的关系^[8-11]；评价方法不断完善，因子分析、遗传算法、GIS、模糊综合评判等方法被引入相关研究^[12-15]。国外学者建立了生态居住区评价体系，如美国的 LEED 标准和荷兰的 Eco-Quantum 标准等，顾文选等人的研究成果标志着我国城市人居环境的评价指标体系初步成型^[16-17]。

国家《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出编制全国主体功能区规划的任务，推动了国内人居环境研究的发展，如封志明、郝慧梅等^[18-19]分别对中国、陕西省人居环境的研究，对指导区域发展定位，实现人口、资源环境协调发展有实际应用价值。基于已有研究成果，借助遥感、GIS 等技术方法，本研究旨在揭示广东省人居环境自然适宜性的空间格局，探讨广东省人居环境的自然适宜性和限制性，以期能够较好地反映广东省人居环境自然条件的地域差异，为相关政策、研究等提供借鉴参考。

1 数据来源与处理方法

1.1 研究区概况

广东省位于 20°09′ ~ 25°31′N 和 109°45′ ~ 117°20′E 之间，地处中国大陆最南部，总土地面积约 17.98 万 km²，属于东亚季风区，从北向南分别为中亚热带、南亚热带和热带气候，年平均降水量在 1 300 ~ 2 300 mm 之间，全省平均为 1 777 mm，降水充沛，是全国光、热和水资源量最丰富的地区之一。目前，广东省辖 21 个地级市，下分 121 个县级行政区。2010 年末全省常住人口约为 10 441 万人。

1.2 指标选取与技术流程

就人居环境自然适宜性的影响因素而言，起主导作用的主要是以下 4 个方面：地形条件、地被状况、气候条件和水文状况^[20]。本文的研究思路和技术流程 (图 1) 如下：① 在 GIS 技术的支持下，经过矢量数据栅格化、投影变换、影像裁剪等处理，建立包括地形、气候、水文、土地利用与覆被状况的 1 km × 1 km 栅格单元的人居环境基础数据库；② 根据各单项指标与人口分布的相关系数，确定各项指标的权重；③ 由各单项指标及其权重构建广东省人居环境自然适宜性评价模型—人居环境指数 (HEI) 模型；揭示广东省人居环境自然适宜性的空间格局，探讨不同地区的自然适宜性与限制性。

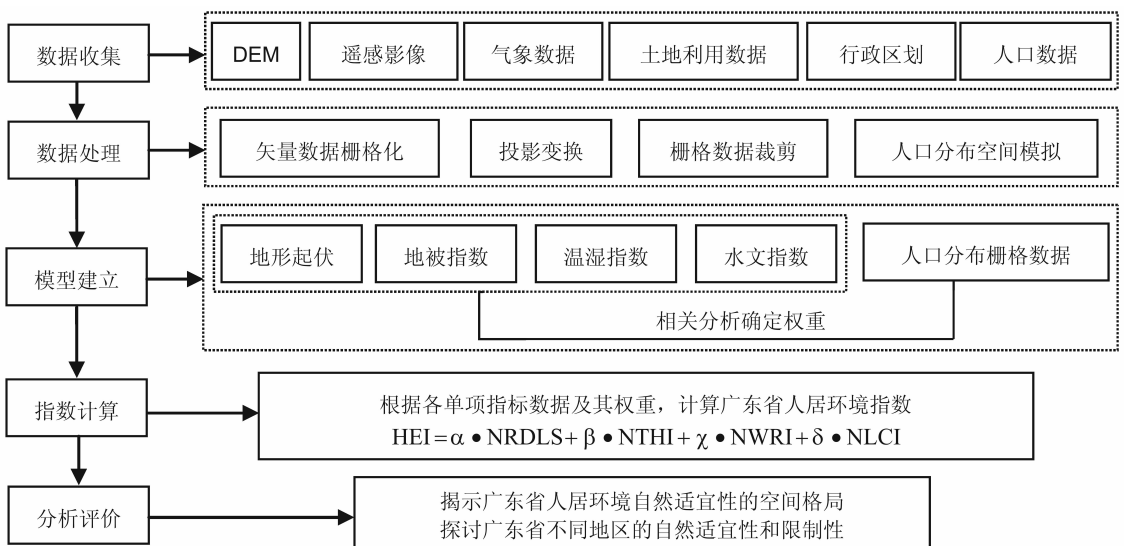


图 1 广东省人居环境自然适宜性研究技术流程图

1.3 数据来源与研究方法

研究采用的数据主要包括用于提取地形起伏度的数字化地形图 (DEM)、获取温湿指数的 64 个气象站点多年月平均温度与月平均相对湿度、计算水文指数的多年降水数据和流域比例分布图、计算地被指数的中国区域土地覆盖数据 (WESTDC) 和广东地区归一化植被图 (NDVI)、评价人居环境自然适宜性的广东省人口分布栅格数据和人口统计数据。

广东省数字化高程模型从全球 30' 数字高程模型 (GTOPO30) (来源于 USGS) 中获得, 其空间分辨率为 30'。中国区域土地覆盖数据 (WESTDC), 来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn), 空间分辨率为 1 km × 1 km, 该成果将全国土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 大类以及水田、旱地、有林地等 25 小类, 可以满足本文需要。广东省 NDVI 数据从中国地区长时间序列 SPOT Vegetation 植被指数数据提取而来, 该植被指数数据来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”。广东省温度、降水、相对湿度等气象要素数据来源于国家气象信息中心, 其基础数据为广东省及其周边 64 个基准台站数据, 时间范围为 1951 - 2012 年。

本研究的基础人口数据为中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心提供的 2003 年 1 km 格网全国人口空间化数据, 参考郝慧梅等^[19]的研究方法, 结合广东各市县统计年鉴和统计局提供的 2010 年人口数据, 计算精确到县区一级的人口增长率, 经裁剪、栅格计算等操作得到广东省 2010 年 1 km × 1 km 人口密度栅格数据。经抽样检查, 得到的 2010 年人口分布栅格数据与实际基本相符, 可以满足本研究的精度要求。

1.4 模型建立

1.4.1 地形起伏度

$$RDLS = ALT/1000 + \{ [\max(H) - \min(H)] \times$$

$$[1 - P(A)/A] \} / 500 \quad (1)$$

式中, RDLS 为地形起伏度; ALT 为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), 这 3 个指标由 DEM 借助 GIS 中的邻域分析工具获得; P(A) 为区域内的平地面积 (km²); A 为区域总面积 (km²)。参考封志明等人的研究^[9], 本文确定 5 km × 5 km 为区域单元, 即 A 值为 25 km², 研究中 25 km² 内的最大高差不超过 30 m 即确定为平地。

1.4.2 地被指数

$$LCI = LT_i \times NDVI \quad (2)$$

式中, LCI 为地被指数; NDVI 为归一化植被指数; LT_i 为各土地利用类型的权重, i = 1, 2, ..., 25, 分别代表耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等 6 大用地类型中的水田、旱地等 25 类二级土地利用类型, 各用地类型的权重 (表 1) 主要参考国家人口和计划生育委员会制定的《国家人口发展功能区工作技术导则》中所列的权重来进行计算^[21]。NDVI 指数的提取, 对 1998 - 2008 年 NDVI 栅格数据, 采用逐旬最大化合成法, 得出每年的 NDVI 值, 以 11 年最大值的均值作为各栅格的 NDVI 值。

1.4.3 温湿指数

$$THI = T - 0.55(1 - f)(T - 58) \quad (3)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (4)$$

式中, THI 为温湿指数, t 为月平均气温 (°C), T 是月平均华氏温度 (°F), f 是月平均空气相对湿度 (%)。温湿指数 (THI, temperature-humidity index) 由俄国学者 Thom 于 1959 年提出, 其物理意义为湿度订正以后的温度^[22]。本文对 64 个气象站点 1951 - 2012 年各气象要素的月均值求累年均值, 采用梯度距离反比平方法对温度、普通克里格法对相对湿度进行空间内插^[8], 获取广东省 1 km × 1 km 尺度各气象要素的栅格数据, 按照模型进行地图运算获得温湿指数。

表 1 土地利用类型及权重

Table 1 Land use types and their weights

用地类型	耕地		林地				草地			水域			建设用地			未利用地									
	水田	旱地	有林地	灌木林	疏林地	其他林地	高盖度草地	中盖度草地	低盖度草地	河渠	湖泊	水库坑塘	永久性冰川	滩涂	滩地	城镇用地	农村居民点	其他建设用地	沙地	戈壁	盐碱地	沼泽地	裸土地	裸岩石质地	其他未利用地
权重	1.0	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	0.3	0.4	0.8	0.6	0.4	0.1	0.1	0.2	0.5	0.2	0.1	0.3

1.4.4 水文指数

$$WRI = \alpha P + \beta W_a \quad (5)$$

式中, WRI 为水文指数; P 和 W_a 分别为采用极差标准化得到的标准化年降水量和标准化水域面积, 前者体现了天然状态下区域自然给水能力的大小, 后者体现了区域集水与汇水能力的强弱; α 和 β 分别为年均降水与水域比例的权重, α 取值 0.8, β 取值 0.2。研究中, 对 64 个气象站点 1951–2012 年的年降水量数据采用样条法插值^[8], 获得广东省 1 km × 1 km 降水栅格数据, 水域比例由全国水域比例分布数据提取获得。

1.4.5 人居环境指数模型^[18]

$$HEI = \alpha \cdot NRDLs + \beta \cdot NTHI + \chi \cdot NWRI + \delta \cdot NLCI \quad (6)$$

式中, HEI 为人人居环境指数; NRDLs、NTHI、NWRI 和 NLCI 分别为采用极差标准化方法得到的标准化地形起伏度、标准化年均温湿指数、标准化水文指数和标准化地被指数; α 、 β 、 χ 和 δ 分别为 4 个标准化指数所对应的权重, 其值参考封志明等人的研究^[18]。广东省地处我国华南地区, 得出相应各单项指标的权重 (表 2)。

表 2 华南地区各要素与人口密度的相关系数及其权重

Table 2 Correlation coefficient and weight between each factor and population density of South China

自然要素	RDLS	THI	WRI	LCI
相关性	0.84	0.82	0.42	0.49
权重	0.33	0.32	0.16	0.19

研究中对正向指标水文指数、地被指数采取最大效果标准化, 对逆向指标地形起伏度采取最小效果标准化, 对中心化指标温湿指数采取中心化效果标准化, 相应标准化公式如下:

最大效果标准化:

$$Score_i = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (7)$$

最小效果标准化:

$$Score_i = (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_{min}) \quad (8)$$

中心效果标准化: 若 $x_i < x_m$, 则

$$Score_i = (x_i - x_{min}) / (x_m - x_{min}) \quad (9)$$

若 $x_i > x_m$, 则

$$Score_i = (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_m) \quad (10)$$

式中, $Score_i$ 为第 i 个栅格的某一指数的标准化值; x_i 为第 i 个栅格的某一指数原始数值; x_{max} 和 x_{min} 分别指所有栅格中某一指数的最大和最小值; x_m 为所有栅格中某一指数的最适宜值。

2 广东省的人居环境分析与评价

参考广东省统计年鉴及相关政府文件, 广东划分为珠江三角洲 (珠三角)、东翼 (粤东)、西翼 (粤西) 和山区 (粤北) 4 个区域。其中, 珠三角包括广州、深圳、佛山、东莞、惠州、江门、中山、珠海、肇庆 9 个地级市; 东翼 (粤东) 包括汕头、潮州、揭阳、汕尾 4 个地级市; 西翼 (粤西) 包括茂名、阳江、湛江 3 个地级市; 山区 (粤北) 包括韶关、梅州、清远、河源、云浮 5 个地级市。

2.1 人居环境自然适宜性的空间格局

根据人居环境指数模型, 以 1 km × 1 km 栅格为基本研究单元, 本文计算了广东省不同地区的人居环境指数, 得到了广东省人居环境指数分布图 (图 2)。广东省的人居环境指数介于 29.6 ~ 91.2 之间, 整体格局是中部人居环境指数较高, 往南和往北均呈逐渐降低趋势。最高值在惠州市博罗、龙门两县境内, 最低值在韶关乐昌市的山区中。参考已有的划分方法^[19-20], 结合地域特征、人口分布与自然环境的相关性, 按人居环境指数从高到低将广东省划分为 I – VI 6 级类型区 (图 3、表 3)。

表 3 广东省人居环境自然适宜性评价表

Table 3 Evaluation on natural suitability of human settlements of Guangdong Province

等级	人居环境指数		适宜区级别	面积	百分比	人口	百分比	人口密度
	范围	均值		万 km ²	%	万人	%	(人 · km ⁻²)
I	80 ~ 91.2	82.86	高度适宜区	0.534	2.97	764.60	7.32	1 432
II	70 ~ 80	74.53	一等比较适宜区	5.353	29.77	3 516.82	33.68	657
III	60 ~ 70	65.92	二等比较适宜区	6.777	37.69	3 903.44	37.39	576
IV	50 ~ 60	56.20	一等一般适宜区	3.824	21.27	2 056.39	19.70	538
V	40 ~ 50	46.66	二等一般适宜区	1.354	7.53	192.20	1.84	142
VI	29.6 ~ 40	37.28	临界适宜区	0.139	0.77	7.50	0.07	54
全省	29.6 ~ 91.2	65.25		17.981	100	10 440.94	100	581

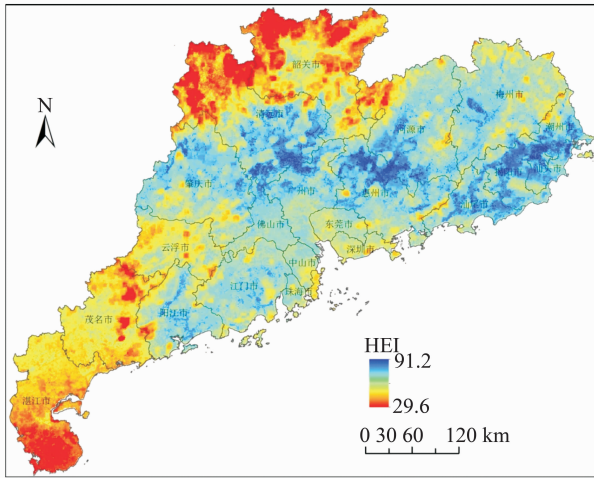


图 2 广东省人居环境指数空间格局

Fig. 2 Distribution of human settlement environment index of Guangdong Province

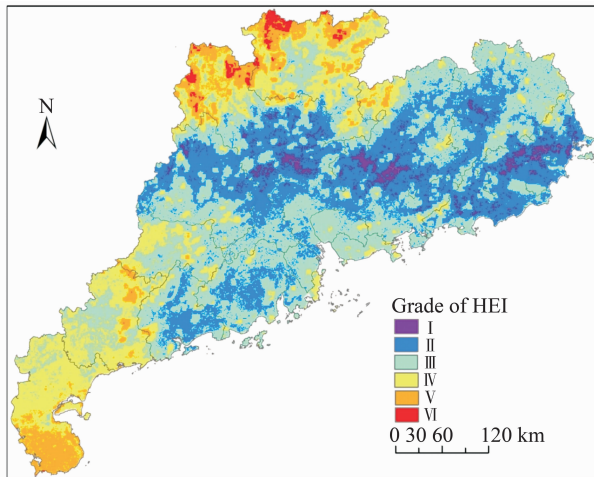


图 3 广东省人居环境自然适宜性分级评价

Fig. 3 Evaluation of natural suitability of human settlements of Guangdong Province

I 级区：人居环境指数介于 80 ~ 91.2 之间，均值 82.86，属于高度适宜区，是全省人居环境自然适宜性程度最高的区域，几乎不受自然条件的限制，最适合人类居住。主要分布在广东省中部的南亚热带区内，在清远南部、惠州北部、东翼东北部分布较集中。总面积 0.534 万 km^2 ，占全省面积的 2.97%，相应人口 746.6 万人，占全省人口的 7.32%。面积狭小，却是人口密度最大的类型区，人口密度达到 1 432 人/ km^2 。

II 级区：人居环境指数介于 70 ~ 80 之间，均值 74.53，属于一等比较适宜区，自然环境的限制程度很低。分布广泛，主要在清远南部、阳江、河源、梅州、东翼四市、珠三角等地区成片分布。总

土地面积 5.353 万 km^2 ，占全省面积的 29.77%，相应人口 3 516.82 万人，占全省人口的 33.68%，人口密度为 657 人/ km^2 。其中，东翼四市大部地区属于 II 级区，自然条件优越，是广东人口密度、经济密度最高的地区之一。

III 级区：人居环境指数在 60 ~ 70 之间，均值 65.92，属于二等比较适宜区。分布范围最广，涉及所有地级市，只在湛江分布较零散，其余地级市内均有大面积分布。总土地面积 6.777 万 km^2 ，占全省面积的 37.69%。相应人口 3 903.44 万人，占全省人口的 37.39%，人口密度为 576 人/ km^2 。此类型区面积最大、人口分布最多，自然环境的限制性较小，较适合人类居住。其中广州、中山、珠海、东莞、深圳等珠三角片区，大部地区属于 III 级区，是广东人口集聚最多、经济最发达的地区。

IV 级区：人居环境指数在 50 ~ 60 之间，均值 56.20，属于一等一般适宜区。在韶关、清远、云浮、茂名、湛江、河源连平县等地分布较集中，其余市县内分布相对零散。总土地面积 3.824 万 km^2 ，占全省面积的 21.27%。相应人口 2 056.39 万人，占广东省总人口的 19.70%，人口密度为 538 人/ km^2 ，有一定的自然限制性。

V 级区：人居环境指数介于 40 ~ 50 之间，均值为 46.66，属于二等一般适宜区，主要分布在雷州半岛南端、清远和韶关两市北部山区，以及粤西云雾山脉、河源九连山等山脉附近。总面积 1.354 万 km^2 ，占全省面积的 7.53%。相应人口 192.2 万人，占全省总人口的 1.84%，人口密度为 142 人/ km^2 。受气候、地形影响，自然限制性程度较高，人口密度相对较小。

VI 级区：人居环境指数在 29.6 ~ 40 之间，均值 37.28，属于临界适宜区，位于韶关、清远两市北部的山地和高丘陵中。总土地面积 0.139 万 km^2 ，占全省总面积的 0.77%。相应人口为 7.5 万人，占全省总人口的 0.07%，人口密度为 54 人/ km^2 。人类活动受自然条件限制最严重，勉强适合人类居住，是广东人口最稀少的地区。

综上所述，比较适宜区面积最大，为 12.13 万 km^2 ，占全省面积的 67.46%；其次为一般适宜区，占全省面积的 28.8%；高度适宜区占 2.97%；临界适宜区仅占 0.77%。比较适宜区人口分布最多，共有 7 472.25 万人，占全省人口的 71.07%；其次是一般适宜区，相应人口占全省人口的 21.54%；高度适宜区人口占 7.32%，人口密度最大，达到 1 432 人/ km^2 ；临界适宜区人口分布最少，仅占全

省人口的 0.07%。广东省 78.39% 的人口生活在比较适宜区或高度适宜区, 全省的人居环境自然适宜性程度较高, 大部分地区地形、水热、地被等条件匹配较好。

2.2 人居环境的自然适宜性和限制性

地形起伏度、地被指数、水文指数、年均温湿指数、全年气候舒适月长度等是人居环境自然适宜性的重要影响因子。参考刘清春等^[23]的研究, 界定温湿指数介于 55~70 的月份为气候舒适月。各类型区的相关要素均值及评价见表 4。

2.2.1 人居环境 I、II 级区的适宜性分析 地被指数均值分别为 0.545 3、0.473 8, 地被覆盖状况普遍较好。河网密集分布, 珠三角有绥江、北江、滨河、增江、东江、潭江等流过, 粤东有梅江、韩江、榕江、龙江、漯河等分布, 阳江境内有漠阳江等贯穿, 汇水能力强; 广东省三个多雨中心 (分别位于清远、普宁和恩平附近, 年均降水量超过 200 mm) 给这些地区带来了充足的降水^[24], 水文指数均值分别为 0.444 0 和 0.412 6, 水资源充足。地形方面, 许多平原分布其中, 如英德平原、惠阳

平原、榕江平原、漠阳江平原等河谷冲积平原, 以及韩江三角洲平原、珠江三角洲平原, 海丰、陆丰、惠来南部和粤中一部分地区以台地为主, 地形起伏度均值分别为 0.287 9 和 0.458 1, 绝大部分地区地势平坦。就气候而言, 地处南亚热带, 全年气候舒适月长度为 5~7 个月, 气温适中, 江门、阳江、东翼四市等海滨地区, 冬暖夏凉, 气候宜人。可见, 这两类地区地被较好, 水资源充足, 地势平坦, 气候适宜, 是理想的人类聚居区。

2.2.2 人居环境 V、VI 级区的限制性分析 粤北北部, 山地较多, 境内分布有大庾岭、滑石山、瑶山、大东山、起微山、青云山、九连山等山脉, 其中多有千米高山, 全省最高峰石坑崆海拔 1 902 m, 坐落于阳山、乳源与湖南省的交界处; 高丘陵分布广泛, 海拔高度 800~1 100 m, 山地、高丘陵地形起伏度大多在 2.0 以上, 地形起伏大严重限制了人类活动。全年气候舒适月长度也仅有 4 个月, 气候条件一般。水文条件处于全省下游水平。粤北的 V、VI 级区自然条件限制严重, 尤以地形的限制为甚。

表 4 广东省人居环境自然适宜性及相关要素评价
Table 4 Evaluation on natural suitability and related factors in Guangdong Province

相关评价要素		I	II	III	IV	V	VI
地形起伏度	均值	0.287 9	0.458 1	0.723 4	0.873 3	1.258 0	2.183 8
	评价	理想	较理想	一般		起伏较大	不适宜
地被指数	均值	0.545 3	0.473 8	0.445 6	0.456 7	0.434 7	0.430 7
	评价	地被较好			地被一般		
水文指数	均值	0.444 0	0.412 6	0.360 3	0.299 8	0.251 7	0.243 5
	评价	水资源充足		水资源一般		水资源不足	
年均温湿指数	均值	68.96	69.28	69.53	69.58	68.81	66.51
	评价	气候较舒适				气候适宜	
气候舒适月长度	均值	5.365	5.197	5.034	4.783	4.443	4.014
	评价	全年较适宜				全年气候一般	

雷州半岛南端, 地貌以台地和低丘陵为主, 其中台地将近占半岛面积的 75%, 沿海台地和低丘陵不利于地表蓄水; 加之半岛南端属广东少降水区之一, 降水量不足, 水文指数小于 0.25, 水资源缺乏。地处热带区, 月平均气温为 28.9 °C, 年均温湿指数大于 72, 气候炎热。水热匹配状况差严重制约了半岛上的生活生产。

茂名东部的 V 级区, 主要受云雾山脉地形限制, 其主要山峰大多位于信宜、高州境内, 如亚公髻、棉被顶、炉塘顶、大田顶、大雾岭顶等, 海拔都在千米以上, 地形起伏大。加之茂名市水热匹配

状况普遍较差, 自然条件限制严重。

总体看来, 南北两端 V 级区的共同限制因子是水资源不足, 水文指数均值为 0.251 7; VI 级区位于粤北山区中, 地形起伏度均值达到 2.183 8, 受地形条件高度限制。

2.2.3 人居环境 III、IV 级区的适宜性及限制性分析 III 级区: 全年气候舒适月长度平均为 5.034 个月, 气候较舒适。广州、佛山、东莞、深圳、中山等经济发达地区, 地势平坦, 水资源量一般, 但高强度的开发建设使部分地区地被遭到严重破坏, 地被覆盖状况差。粤北的 III 级区, 地被覆盖一般, 气

候较舒适,但山地、丘陵分布较多,地形有一定起伏;水文指数在 0.27 以下,大部地区水资源量不足,其中的罗定盆地、兴梅盆地受地势、地位影响,是广东的两个少降水区。茂名中部,地被覆盖状况良好,地势起伏不大,但所处热带区气温偏热,加之降水不足,地表台地蓄水能力差,水资源较缺乏。由于Ⅲ级区的分布地域最广,各地区都有其适宜条件和限制方面,但限制性和适宜性因素、程度各不相同。

Ⅳ级区:地被指数均值为 0.456 7,地被覆盖状况大多相对一般。湛江、茂名地区,地貌以台地、低丘陵为主,地形起伏度小于 0.33,海拔在 200 m 以内,地势平坦,但蓄水能力差,加之降水不足,水文条件较差;大部地区年均温湿指数大于 71,气候偏热。云浮境内的Ⅳ级区,主要分布在云浮外围地区,降水不足,水资源较缺乏;以丘陵为主要地貌,外围高丘陵较多,海拔多在 400 m 以上,有一定限制性。粤北地区,年均温湿指数在 64~68 之间,气候舒适,但地势状况差,多有地形起伏度在 1.2 以上的山地、丘陵分布,限制程度高;降水量不足,水文状况处于全省下游水平。

综上所述,地形起伏大是粤北的共同限制因子,水热匹配状况差是湛江、茂名两市的主导限制因子,珠三角部分经济发达地区主要受地被覆盖状况限制,大部分一般适宜区同时受多个自然因子限制。

3 结 论

1) 广东省比较适宜区的分布面积最广,占全省面积的 67.46%;其次为一般适宜区,占全省面积的 28.8%;高度适宜区占 2.97%;临界适宜区仅占 0.77%。比较适宜区人口最多,占全省人口的 71.07%;一般适宜区人口占 21.54%;高度适宜区人口占 7.32%;临界适宜区人口仅占 0.07%。广东省 78.39%的人口生活在比较适宜区或高度适宜区,全省大部分地区地形、水热和地被等条件匹配较好,自然适宜性程度较高。

2) 地形起伏大是粤北的共同限制因子,水热匹配状况差是湛江、茂名的主导限制因子,珠三角部分经济发达地区主要受地被覆盖状况限制,大部分一般适宜区同时受多个自然因子限制。

经过相关研究的验证表明,人居环境指数(HEI)模型可以较好地定量反映区域人居环境自然适宜性状况。在模型可用的前提下,所采用的数据及其处理方法是决定研究结果科学性的关键。就

本文而言,主要是指自然要素数据的时空分辨率和人口空间分布模拟的精度。本文的气象数据选取广东及其周边 64 个气象站点的多年观测值求平均值、NDVI 数据由 1998-2008 年植被指数数据采用最大化合成法获得,既能体现不同位置自然条件的差异性,又可以反映同一位置自然条件的稳定性。人口空间分布模拟计算精确到县区一级的人口增长率,在保证数据可获得的前提下最大限度地提高了模拟精度。实证分析表明,本研究较好地刻画了广东省人居环境的自然格局和地域差异,可以为广东省界定主体功能区、引导人口合理分布提供借鉴参考。然而人居环境由多个复杂系统组成,自然适宜性只是其适宜性评价的一个方面。因此,人居环境的定量评价还有许多课题有待深入研究。

参考文献:

- [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.
- [2] 胡志丁, 骆华松, 唐郑宁, 等. 基于栅格尺度的云南省人居环境自然适宜性评价研究[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(6): 91-94.
- [3] 娄胜霞. 基于 GIS 技术的人居环境自然适宜性评价研究——以遵义市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(8): 1358-1363.
- [4] 李益敏, 刘素红, 李小文, 等. 基于 GIS 的怒江峡谷人居环境容量评价——以泸水县为例[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 572-578.
- [5] 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): 1940-1950.
- [6] 李雪铭, 冀保程, 杨俊, 等. 社区人居环境满意度研究——以大连市为例[J]. 城市问题, 2008(1): 58-63.
- [7] 李伯华, 刘传明, 曾菊新. 乡村人居环境的居民满意度评价及其优化策略研究——以石首市久合垸乡为例[J]. 人文地理, 2009, 24(1): 28-32.
- [8] 唐焰, 封志明, 杨艳昭, 等. 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.
- [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.
- [10] 李雪铭, 刘敬华. 我国主要城市人居环境适宜居住的气候因子综合评价[J]. 经济地理, 2003, 23(5): 656-660.
- [11] 许连忠, 匡耀求, 黄宁生, 等. 基于人居环境适宜性的县域经济发展人口功能区划研究——以丰顺县人口功能区划为例[C]. 2008 中国可持续发展论坛论

- 文集(1), 2008.
- [12] 李馨,李旭祥,王婷,等. 基于因子分析的黄河流域人居环境评价[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(6): 189 - 193.
- [13] 李明. 基于遗传算法改进的BP神经网络的城市人居环境质量评价研究[D]. 沈阳: 辽宁师范大学, 2007.
- [14] 党安荣,毛其智,王晓栋,等. 丽江地区人居环境的GIS空间分析[J]. 地球信息科学, 2000, 2(4): 40 - 45.
- [15] 陈庆彩,李楠. 模糊综合评判及主成分分析在城市人居环境评价中的实例比较[J]. 资源与人居环境, 2009(2): 71 - 74.
- [16] 熊鹰,曾光明,董力三,等. 城市人居环境与经济协调发展不确定性定量评价——以长沙市为例[J]. 地理学报, 2007, 62(4): 397 - 406.
- [17] 顾文选,罗亚蒙. 宜居城市科学评价标准[J]. 北京规划建设, 2007(1): 7 - 10.
- [18] 封志明,唐焰,杨艳昭,等. 基于GIS的中国人居住环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1327 - 1336.
- [19] 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[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 498 - 506.
- [20] 生态屏障、功能区划与人口发展课题组. 科学界定人口发展功能区促进区域人口与资源环境协调发展——生态屏障、功能区划与人口发展研究报告[J]. 人口研究, 2008, 32(3): 1 - 14.
- [21] 岳健,雷军,马天宇,等. 关于新疆人居环境自然适宜性评价的讨论[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 11: 1 - 7.
- [22] THOM E C. The discomfort index[J]. Weatherwise, 1959, 12(2): 57 - 61.
- [23] 刘清春,王铮,许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析[J]. 资源科学, 2007(1): 133 - 141.
- [24] 黄奇章. 广东降水气候特征及其成因分析[J]. 热带地理, 1990(2): 113 - 124.

(上接第126页)

- [12] GAO Q T, TAM N F Y. Growth, photosynthesis and antioxidant responses of two microalgal species, *Chlorella vulgaris* and *Selenastrum capricornutum*, to nonylphenol stress[J]. Chemosphere, 2011, 82: 346 - 354.
- [13] 李开明,谢丹平,陈晓宏,等. 广州古廖涌生物修复的指示藻类[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2009, 48(1): 76 - 80, 86.
- [14] 李鹏民,高辉远,RETOJ STRASSER. 快速叶绿素荧光动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理学与分子生物学报, 2005, 31(6): 559 - 566.
- [15] 曹春晖,孙世春,王学魁,等. 锰浓度对米氏凯伦藻叶绿素荧光特性及生长的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5280 - 5288.
- [16] LIU B Y, NIE X P, LIU W Q, et al. Toxic effects of erythromycin, ciprofloxacin and sulfamethoxazole on photosynthetic apparatus in *Selenastrum capricornutum*[J]. Ecotox Environ Safe, 2011, 74: 1027 - 1035.
- [17] APPENROTH K J, STOCKEL J, SRIVASTAVA A, et al. Multiple effects of chromate on the photosynthetic apparatus of *Spirodela polyrhiza* as probed by OJIP chlorophyll a fluorescence measurements[J]. Environ Pollut, 2001, 115: 49 - 64.
- [18] NIE X P, LIU B Y, YU H J, et al. Toxic effects of erythromycin, ciprofloxacin and sulfamethoxazole exposure to the antioxidant system in *Pseudokirchneriella subcapitata*[J]. Environ Pollut, 2013, 172: 23 - 32.
- [19] SCHMITT-JANSEN M, BARTELS P, ADLER N, et al. Phytotoxicity assessment of diclofenac and its phototransformation products[J]. Anal Bioanal Chem, 2007, 387: 1389 - 1396.
- [20] COELHO A D, SANS C, AGUERA A, et al. Effects of ozone pre-treatment on diclofenac: intermediates, biodegradability and toxicity assessment[J]. Sci Total Environ, 2009, 407: 3572 - 3578.
- [21] 林永成. 海洋微生物及其代谢产物[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 39 - 40.
- [22] 周小勇,仇荣亮,胡鹏杰,等. 表面活性剂对长柔毛委陵菜(*Potentilla griffithii* var. *velutina*)修复重金属污染的促进作用[J]. 生态学报, 2009, 29(1): 283 - 290.
- [23] CHEN L, ZHOU H Y, DENG Q Y. Photolysis of nonylphenol ethoxylates: the determination of the degradation kinetics and the intermediate products [J]. Chemosphere, 2007, 68: 354 - 359.
- [24] YOSHIDA H, KUDARI S, HORI T, et al. Distribution of Particulate Nonylphenol in Lake Biwa, Japan[J]. Water Air Soil Poll, 2009, 200: 267 - 276.
- [25] GREENBERG B M, HUANG X D, BABU S B, et al. Inhibition of photosynthesis by polycyclic aromatic hydrocarbon pollutants [J]. Environ Respon Adapt, 1997, 29: 58.
- [26] 刘玉晓,龚丽丽,刘芳,等. 链格孢菌毒素对莱茵衣藻光系统II的多重影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(1): 119 - 124.