

基于地理信息系统的黄山市乡镇人居环境自然适宜性评价*

于晴 沈童 王淑 张云华[#]

(安徽农业大学资源与环境学院,安徽 合肥 230036)

摘要 以黄山市为研究区,基于地形起伏度、水文指数、温湿指数、地植被指数,利用地理信息系统(GIS)技术构建人居环境综合指数(HEI)模型,分析黄山市乡镇人居环境自然适宜性特征及其空间差异。结果表明:(1)黄山市乡镇 HEI 介于10.46~95.92,人居环境自然适宜性最高的地区位于黄山市北部,靠近新安江流域一带;(2)黄山市人居环境一般适宜区面积最大,为3 030.62 km²,占整个黄山市面积的30.90%,其次为比较适宜区、临界适宜区、高度适宜区,分别占黄山市面积的28.71%、21.13%、12.19%,最少的为不适宜区,占7.07%;(3)黄山市人居环境自然适宜性与区域人口密度成正相关。

关键词 地理信息系统 黄山市 人居环境 自然适宜性评价

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.07.015

Natural suitability evaluation of human settlement environment in the town of Huangshan City based on GIS YU Qing, SHEN Tong, WANG Shu, ZHANG Yunhua. (School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036)

Abstract: Taking Huangshan City as the research area, based on relief degree of land surface, hydrological index, temperature and humidity index and vegetation index, the human settlement environment index (HEI) model was constructed using GIS technology to evaluate the natural suitability characteristics and spatial distribution of the human settlements environment in town of Huangshan City. The results showed that: (1) HEI in town of Huangshan City was between 10.46 and 95.92, and high natural suitability area was in northern part, close to Xin'an River Basin. (2) In Huangshan City, the area of the common suitable region was 3 030.62 km², which was the largest, accounting for 30.90% of the total area, followed by rather and comparatively suitable region accounting for 28.71%, the critical suitable region accounting for 21.13%, the high suitable region accounting for 12.19%, and the inappropriate area accounted for 7.07%. (3) The natural suitability of the human settlement environment was positively correlated with the regional population density.

Keywords: GIS; Huangshan City; human settlement environment; natural suitability evaluation

人居环境是人类生产、生活的重要场地^[1]。在乡村振兴以及美丽中国建设的背景之下,党和国家高度重视乡镇人居环境建设。“十四五”是我国步入社会主义现代化的重要时期,生态建设和绿色保护是实现“中国梦”的基础,人居环境的改善既能提高生态环境质量又能增加人民生活的满意度和幸福感^{[2][1080][3]}。研究黄山市乡镇人居环境自然适宜性有利于了解黄山市人居环境的现状和未来发展方向,为正确处理生态环境保护和人口扩张带来的环境压力之间的关系提供科学支持,为黄山市谋划高质量发展、建设“美丽黄山样板”提供参考。

人居环境问题自提出以来一直受社会各界的广泛关注^[4-5]。我国学者吴良镛^[6-8]在人类聚居学

理论和道氏学说的指引下首次提出“人居环境科学”概念,认为人居环境由自然系统、人类系统、社会系统、居住系统和支撑系统5个子系统组成。学者们主要围绕这5个子系统,从不同视角开展对人居环境的研究。从评价方法来看,主要包括田野问卷调查法、层次分析法(AHP)、地理信息系统(GIS)分析法等。从评价对象和研究尺度来看,主要分为3个层面:(1)全国尺度的宏观评价,如唐焰等^[9]基于栅格数据,利用GIS技术,以温湿指数和风效指数为评价标准,从全国层面定量评价了人居环境的气候舒适期与适宜性。(2)以区域或城市为尺度的中观评价,如李伯华等^[10]以汾河流域为研究区,选取自然和经济因素为评价指标,分析自然

第一作者:于晴,女,1995年生,硕士研究生,主要从事人居环境研究。[#]通讯作者。

* 国家重点研发计划项目(No.2018YFD1100104)。

因素和经济因素之间的相互关系及其对人居环境适宜性的影响程度;李威等^[11]以黔中地区为研究对象,选取自然因素构建模型,评价人居环境的适宜性并探讨人居环境与人口分布之间的关系;唐倩等^[12]以重庆市为研究对象,运用核密度分析和空间热点探测分析等方法,探索村落空间分布与人居环境适宜性之间的关系;朱保美等^[13]以德州市为例,利用气温、日照等基础气象数据,计算德州市气候舒适度,并以此为标准分析德州市人居环境气候适宜性变化趋势。(3)以乡村为尺度的微观研究,如于法稳等^[14]以农村人居环境质量为切入点,分析农村人居环境整治过程中存在的问题,并对农村人居环境整治与乡村产业振兴关系等方面进行了展望;朱彬等^[15]和李钰等^[16]分别对江苏省乡村以及陕北旱作农业区乡村人居环境进行评价并探索其空间格局特征。但总体上来说,现有研究以城市和流域尺度的评价为主。从研究内容来看,人居环境自然适宜性评价主要分为两个方面:一是以自然系统单要素^[17-19]或几个要素^[20,398,21-22]为主;二是以复合系统为主构建指标体系^[23-25]。

本研究采用中观尺度,以黄山市为研究区,利用GIS空间分析技术,选择自然系统多要素(如地形、水文、气候和植被等),构建人居环境综合指数(HEI)模型,评价黄山市乡镇人居环境自然适宜性,揭示黄山市人居环境适宜程度,以及其空间分布特征;将人居环境适宜程度评价结果与人口空间分布特征进行相关性分析,探讨人口分布与人居环境之间的关系。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

黄山市地处安徽省南端,位于117°2'E~118°55'E、29°24'N~30°24'N,面积约9 807 km²。2019年末黄山市城镇化率达到52.49%,全市人口148.92万人,人口自然增长率为4.74%。地区生产总值为818亿元,人均生产总值突破5万元。黄山市属亚热带季风湿润气候,年平均气温和年平均降水量分别为15.5~16.4℃和1 395~1 702 mm。黄山市境内山脉众多,地形地貌种类多样,以中、低山地和丘陵为主,素有“八山一水一分田”之称,全市河流众多,主要河流为新安江,同时也是青弋江、闽江的水源发源地。黄山市历史文化渊源流长,徽派文化更是我国三大区域文化之一。黄山市荣获全国文明城市、国家森林城市、“中国人居环境奖”城市、“中国最

具幸福感城市”等称号。

1.2 数据来源与评价模型

1.2.1 数据来源

本研究数据主要包括:(1)2018年黄山市乡镇行政区划数据和30 m土地利用现状数据,土地利用数据包括耕地,林地,草地,水域,城乡、工矿、居民用地和未利用地6大类以及25个二级分类。数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。(2)黄山市数字高程模型(DEM)数据,分辨率为30 m。数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。(3)气象数据来源于黄山市气象局,包含黄山市各气象站点1999—2019年月降水量、月气温和平均相对湿度等,利用GIS空间分析技术进行插值分析。(4)人口数据来源于2019年黄山市统计年鉴。

1.2.2 评价模型

人居环境是一个复杂的社会-经济-生态环境系统,在借鉴已有研究^{[2,1074,20]398}的基础之上选取地形起伏度、温湿指数、地植被指数、水文指数4个指标构建HEI模型,对黄山市人居环境自然适宜性进行评价。

(1)地形起伏度:地形是最基础的自然要素,对区域的气候、水文以及人口分布形态等有很大影响。基于黄山市DEM数据,在ArcGIS中运用领域分析工具获得黄山市平均海拔、最高海拔和最低海拔数据。利用坡度数据,经二值化和领域统计获取平地数据,参照文献^[26]的计算公式得到黄山市地形起伏度。

(2)温湿指数:气候是人对自然环境感受最直观的因素之一,考虑到人体对温度和湿度的综合感知,选用温湿指数模型,参照文献^[20]、^[26]的计算公式,利用黄山市各气象站点气温及相对湿度数据计算温湿指数。

(3)地植被指数:地植被指数是土地利用类型和归一化植被指数(NDVI)对地表覆盖特征综合表述的一个指标^{[20]398}。参考文献^[27],选用土地利用方式和NDVI相结合的评价模型,结合专家意见确定用地类型权重(见表1)。通过ENVI 5.3软件对黄山市遥感影像数据进行镶嵌、裁剪等处理计算得到黄山市NDVI数据,参照文献^[28]的计算方法得到黄山市地植被指数。

(4)水文指数:参考文献^[27]并考虑到数据的可获得性,利用气象站点的月平均值数据,通过ArcGIS软件进行空间插值,分析获得降水量数据,

表1 土地利用类型的权重
Table 1 Weights of land use types

一级分类	权重	二级分类	分权重
林地	0.35	有林地	0.60
		灌木林地	0.25
		疏林地和其他林地	0.15
草地	0.21	高覆盖度草地	0.60
		中覆盖度草地	0.30
		低覆盖度草地	0.10
水域	0.28	河流(渠)	0.10
		湖泊(库)	0.30
		滩涂湿地	0.50
		永久性冰川雪地	0.10
耕地	0.11	水田	0.60
		旱地	0.40
城乡、工矿、居民用地	0.04	城镇建设用地	0.30
		农村居民点	0.40
		其他建设用地	0.30
未利用地	0.01	沙地	0.20
		盐碱地	0.30
		裸土地	0.20
		裸岩石砾	0.20
		其他未利用地	0.10

并从黄山市土地利用数据中提取水域面积,再根据文献[26]的研究方法得到黄山市水文指数。

(5) HEI:参照式(1)计算。

$$A_{HEI} = \alpha \times B_{NRDLS} + \beta \times B_{NTHI} + \gamma \times B_{NWRI} + \delta \times B_{NLCI} \quad (1)$$

式中: A_{HEI} 为HEI; B_{NRDLS} 、 B_{NTHI} 、 B_{NWRI} 和 B_{NLCI} 分别为标准化后的地形起伏度、温湿指数、水文指数和地植被指数; α 、 β 、 γ 和 δ 为各单项指数的权重,参照文献[26]、[28],取值分别为0.30、0.31、0.14、0.25。

2 结果与讨论

2.1 黄山市人居环境自然适宜性单要素分析

2.1.1 地形适宜性分析

黄山市地形起伏度呈条带状分布,区域差异明显,介于0.07~2.57。在空间分布上,地形起伏度较大区域多为海拔900 m以上的黄山市北部地区,主要包括新安乡东北部、箬坑乡、厉口镇北部、大坦乡、安凌镇与古溪镇交界处、宏村镇、汤口镇与焦村镇交

界处、黄山风景区附近一带;海拔1 000 m以上的黄山市南部地区,主要包括鹤城乡、汪村镇、板桥乡南部、岭南乡、龙田乡、东临溪镇、璜尖乡、白际乡、源芳乡、石门乡与狮石乡交汇处。地形起伏度最小的区域为新安江谷地,海拔在300 m以下。

2.1.2 气候适宜性分析

黄山市多年平均温湿指数介于49.80~62.42。从空间分布来看,黄山市南部地区的温湿指数比北部地区高,呈现由南向北逐渐降低的趋势。温湿指数较低的区域主要分布在北部的黄山区焦村镇、汤口镇、谭家桥镇、三口镇以及耿城镇。从多年月平均值来看,黄山市1—12月月平均温湿指数介于34.29~80.25,7—8月黄山市温湿指数较高(见表2)。

2.1.3 土地覆被适宜性分析

考虑到植被指数和土地利用类型对土地植被覆盖的综合影响,计算得到黄山市地植被指数为一0.08~0.35。黄山市土地植被覆盖区域空间差异较大,呈破碎斑块状分布。整体来看,地植被指数较高的区域主要集中在黄山市西部地区,包括祁门县、黟县、休宁县西部地区、黄山区南部及甘棠镇北部地区。地植被指数较低的区域主要分布在黄山市东南部的歙县。

2.1.4 水文适宜性分析

黄山市水文指数为107.12~170.13。受地形影响,黄山市降水量和水域面积空间变化规律明显,除个别地区有突变外,水文指数整体呈现由中间向两边递减的趋势。水文指数较高的地区主要围绕黄山风景区分布,涉及耿城镇、焦村镇、汤口镇、谭家桥镇以及三口镇,这些地区海拔较高且降水丰富。

2.2 人居环境自然要素与人口分布关系

为探讨人居环境各自然要素与人口分布特征之间的关系,随机提取地形起伏度、温湿指数、水文指数、地植被指数与黄山市人口密度进行相关性分析,得到相关系数分别为-0.26、0.13、-0.08、-0.20。可见在各要素中对人口分布特征影响最大的为地形起伏度。由图1可知,地形起伏度小于0.4时,区域人口密度最大;地形起伏度为0.4~1.4时,随着地形

表2 黄山市多年月平均温湿指数范围
Table 2 Range of average monthly temperature and humidity of Huangshan City

参数	1月	2月	3月	4月	5月	6月
最小值	34.29	36.45	37.42	49.15	55.58	60.17
最大值	42.84	46.64	56.65	62.57	70.05	75.13
参数	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最小值	64.49	63.76	58.23	51.52	44.88	37.79
最大值	80.25	79.36	73.73	64.93	54.80	45.14

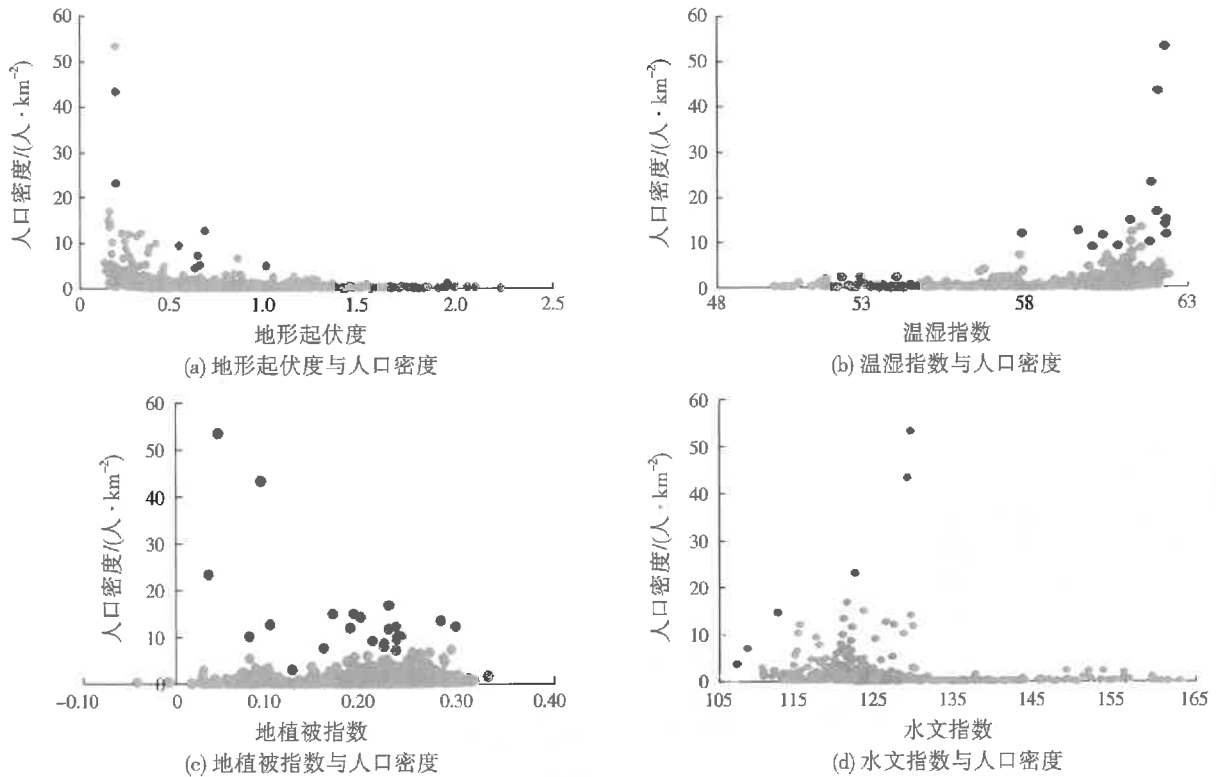


图1 黄山市人居环境单要素与人口分布关系散点图

Fig.1 Relationship between single factors of human settlement environment and population distribution in Huangshan City

起伏度增大,人口密度逐渐减小;地形起伏度高于1.4时,受地形限制,人口密度较小,但无明显变化,这与FENG等^[29]的研究结果一致,说明地形起伏度较小的乡镇更适合于人类居住。温湿指数在55以下,人口密度较小,且基本无明显变化;当温湿指数达到60以上时,人口密度变化较大且呈迅速上升趋势,这与温湿指数为55~60时人体感受为清凉舒适、温湿指数为60~65时人体感受为非常舒适的人口分布空间格局^[30]一致。地植被指数对人口密度分布影响程度较小,存在一定的负相关,地植被指数较高的地区人口密度较小,暗示这一区域植被受到人为干扰较小。水文指数与人口密度分布存在负相关,当水文指数低于133.56时,人口密度较大;当水文指数大于133.56时,人口密度较小且无明显变化。

2.3 黄山市乡镇人居环境自然适宜性综合评价

利用ArcGIS栅格计算机及空间叠加的方式,将标准化后的4个指标要素加权叠加,得到黄山市乡镇HEI。黄山市乡镇HEI介于10.46~95.92,HEI越高,表示该乡镇自然适宜性越高。利用自然断点法可将黄山市乡镇人居环境自然适宜性划分为不适宜区、临界适宜区、一般适宜区、比较适宜区和高度适宜区5类,并得到黄山市乡镇人居环境自然适宜性空间分布情况(见图2)及各适宜区面积(见表3)。

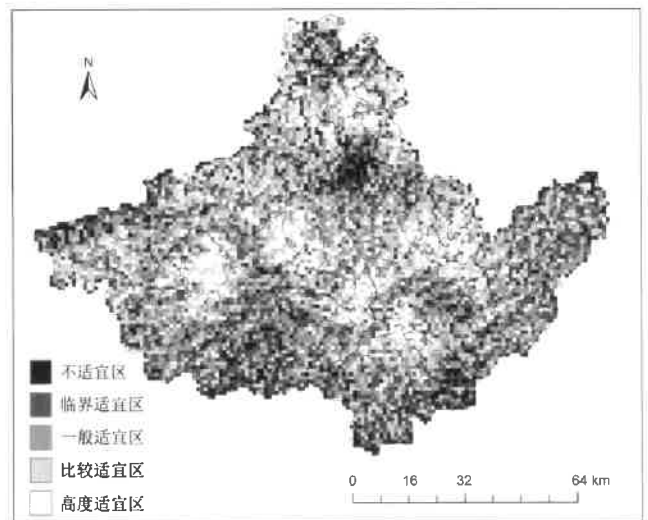


图2 黄山市乡镇人居环境自然适宜性综合评价结果

Fig.2 Comprehensive assessment of the natural suitability of the human settlement environment in towns of Huangshan City

由表3可以看出,黄山市乡镇人居环境以一般适宜区为主,面积为3 030.62 km²,占整个黄山市区域的30.90%;其次是比较适宜区、临界适宜区和高度适宜区,面积分别为2 815.69、2 071.96、1 195.19 km²,占比分别为28.71%、21.13%和12.19%;不适宜区相对较少,面积为693.54 km²,占比为7.07%。黄山市乡镇人居环境高度适宜区HEI为>73.47~95.92,该区域地形平坦,地形起伏度小,气候适宜,降水丰富,自然因子限制最小,主要分布在黄山市

表 3 黄山市各类型人居环境面积

Table 3 Area of different kinds of the human settlement environment in Huangshan City

人居环境类型	HEI	人居环境自然适宜性描述	面积/km ²	面积占比/%
不适宜区	10.46~46.66	自然因子限制非常大,不适合人类居住	693.54	7.07
临界适宜区	>46.66~56.71	自然因子限制较大,勉强适合人类居住	2 071.96	21.13
一般适宜区	>56.71~64.75	存在一定自然限制性,一般适宜人类居住	3 030.62	30.90
比较适宜区	>64.75~73.47	自然因子限制较小,较适宜人类居住	2 815.69	28.71
高度适宜区	>73.47~95.92	自然因子限制最小,最适宜人类居住	1 195.19	12.19

北部地区,包括:黄山区乌石镇、太平湖镇、甘棠镇、焦村镇以及耿城镇、三口镇与仙源镇交界处,祁门县东部的祁山镇、塔坊乡及小路口镇,黟县南部的碧阳镇、渔亭镇、西递镇和宏村镇,休宁县东北部的齐云山镇、万安镇和海阳镇,屯溪区中部以及徽州区和歙县的交界之处。这些乡镇靠近新安江流域一带。黄山市人居环境不适宜区 HEI 介于 10.46~46.66,这一区域海拔较高,地形起伏度较大,自然因子限制较大,主要分布在黄山市南部地区,包括:休宁县鹤城乡、汪村镇板桥乡、溪口镇、五城镇南部地区、岭南乡、龙田乡、东临溪镇、璜尖乡、白际乡、源芳乡,歙县石门乡和狮石乡的交汇处。

2.4 人居环境与人口分布关系

根据人口统计数据绘制黄山市乡镇人口密度分布图。由图 3 可知,黄山市乡镇人口密度分布存在一定的差异,人口密度较大地区主要分布在新安江流域相关乡镇,其次分布在黄山市黄山区甘棠镇、仙源镇以及汤口镇,徽州区西溪南镇,休宁县万安镇、海阳镇,歙县徽城镇、桂林镇等。图 4 展示了 HEI 与人口密度相互关系,可以看出人口密度与 HEI 呈正相关,进一步验证了自然环境是制约人口分布的根本原因。

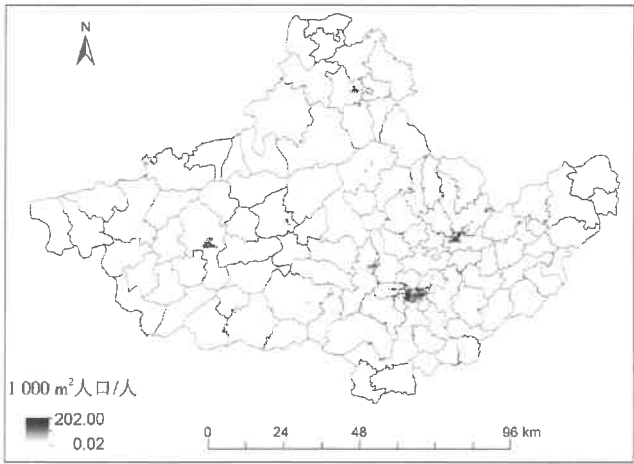


图 3 黄山市人口密度分布

Fig.3 Population density of Huangshan City

3 结 论

(1) 黄山市地形起伏度区域差异明显,呈条带

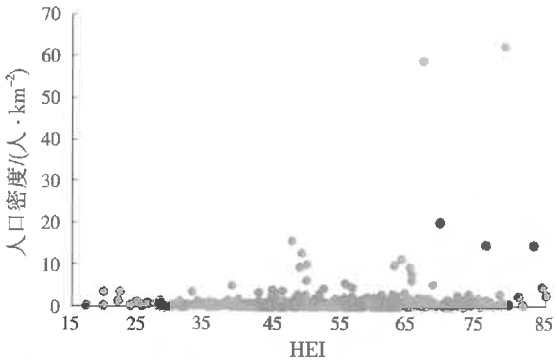


图 4 黄山市乡镇 HEI 与人口密度相互关系

Fig.4 The relationship between HEI and population density in Huangshan City

状分布,地形起伏度较高的区域主要集中在黄山市北部和南部;温湿指数呈现由南向北逐渐降低的趋势;地植被覆盖区域空间差异较大,整体上呈破碎斑块状分布,地被指数较高的区域位于西部;水文指数受地形影响,整体由中间向两边递减。

(2) 黄山市乡镇 HEI 介于 10.46~95.92,人居环境自然适宜性最高的地区位于黄山市北部,靠近新安江流域一带。黄山市乡镇人居环境一般适宜区面积最大,为 3 030.62 km²,占整个黄山市面积的 30.90%;其次为比较适宜区、临界适宜区、高度适宜区,分别占黄山市面积的 28.71%、21.13%、12.19%;面积最小的为不适宜区,占 7.07%。

(3) 从人口分布情况来看,人居环境自然适宜性对人口分布状况起关键性作用,HEI 和人口密度呈正相关。

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] 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).
 [3] 李正泉,肖晶晶,马浩,等.丽水市生态气候休闲养生适宜性分析[J].气象与环境科学,2016,39(3):104-111.
 [4] 张文忠,湛丽,杨翌朝.人居环境演变研究进展[J].地理科学进展,2013,32(5):710-721.
 [5] 祁新华,程煜,陈烈,等.国外人居环境研究回顾与展望[J].世界地理研究,2007,16(2):17-24.
 [6] 吴良镛.“人居二”与人居环境科学[J].城市规划,1997(3):4-9.

- [7] 吴良镛.人居环境科学的探索[J].规划师,2001,17(6):5-8.
- [8] 吴良镛.人居理想 科学探索 未来展望[J].人类居住,2017(4):3-10.
- [9] 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.
- [10] 李伯华,郑始年.汾河流域人居环境适宜性评价及空间分异研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(8):87-92.
- [11] 李威,赵卫权,苏维词.基于 GIS 技术的黔中地区人居环境自然适宜性评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1082-1091.
- [12] 唐倩,李孝坤,钟博星,等.基于 GIS 的重庆城口县村落空间分布特征及人居环境适宜性评价研究[J].水土保持研究,2019,26(2):305-311.
- [13] 朱保美,周清,朱汉青,等.德州市人居环境气候适宜性及变化特征[J].中国农学通报,2019,35(32):95-100.
- [14] 于法稳,郝信波.农村人居环境整治的研究现状及展望[J].生态经济,2019,35(10):166-170.
- [15] 朱彬,张小林,尹旭.江苏省乡村人居环境质量评价及空间格局分析[J].经济地理,2015,35(3):138-144.
- [16] 李钰,王军.陕北旱作农业区乡村人居环境问题与对策研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(11):8-13.
- [17] 沈非,李大伟,黄艳萍,等.安徽省人居环境地形与气候适宜性分析[J].石家庄学院学报,2018,20(6):88-94.
- [18] 肖晶晶,李正泉,郭芬芳,等.浙江省人居环境气候适宜度概率分布分析[J].气象与环境科学,2017,40(1):120-125.
- [19] 吉莉,李家启,李强.北碚地区气候适宜性评价[J].中国人口·资源与环境,2014,24(增刊1):371-373.
- [20] 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).
- [21] 谢晓议,曾咂,李军.基于移动窗口法和栅格数据的重庆市人居环境自然适宜性评价[J].长江流域资源与环境,2014,23(10):1351-1359.
- [22] 朱邦耀,李国柱,刘春燕,等.基于 RS 和 GIS 的吉林省人居环境自然适宜性评价[J].国土资源遥感,2013,25(4):138-142.
- [23] 郝永娟,吐尔逊·哈斯木,杨家军.干旱环境背景下的城市人居环境适宜性评价——以新疆巴州为例[J].四川师范大学学报(自然科学版),2015,38(3):466-474.
- [24] 秦永东,欧向军,甄峰.基于熵值法的人居环境质量评价研究——以徐州市为例[J].城市问题,2008(10):19-24.
- [25] 刘立涛,沈镭,高天明,等.基于人地关系的澜沧江流域人居环境评价[J].资源科学,2012,34(7):1192-1199.
- [26] 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.
- [27] HJ 192—2015,生态环境状况评价技术规范[S].
- [28] 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.
- [29] FENG Z M, YANG Y Z, ZHANG D, et al. Natural environment suitability for human settlements in China based on GIS[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(4): 437-446.
- [30] 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,2007,29(1):133-141.
- (上接第 850 页)
- [2] GB 37822—2019,挥发性有机物无组织排放控制标准[S].
- [3] ZHENG J Y, SHAO M, CHE W W, et al. Speciated VOC emission inventory and spatial patterns of ozone formation potential in the Pearl River Delta, China[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(22): 8580-8586.
- [4] SEMA Y, MIHRIBAN C, GURDAL T. Volatile organic compounds in suburban Ankara atmosphere, Turkey: sources and variability[J]. Atmospheric Research, 2013, 120/121: 298-311.
- [5] 官庆超,牛志广,陈彦熹,等.环境空气中挥发性有机物的健康风险评价研究进展[J].安全与环境学报,2012,12(3):84-88.
- [6] 关丽萍.工业源 VOCs 排放特征及控制思路分析[J].现代化工,2018,38(10):20-22.
- [7] 席劲瑛,武俊良,胡洪营,等.工业 VOCs 排放源废气排放特征调查与分析[J].中国环境科学,2010,30(11):1558-1562.
- [8] 郝苗青,史恺,张时佳,等.天津市工业源挥发性有机物排放清单及区域分布研究[J].环境污染与防治,2017,39(1):35-39.
- [9] 杨威.大连市 VOC 现状调查与研究[J].环境与可持续发展,2014,39(5):175-177.
- [10] 杨威,苏静,王光.大连市挥发性有机物防治对策与发展建议[R].北京:中国环境科学学会,2017.
- [11] 环境保护部.大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[M].北京:中国环境科学出版社,2014.
- [12] 方品贤.环境统计手册[M].成都:四川科学技术出版社,1985.
- [13] 广东省环境保护厅.印刷、制鞋、家具、表面涂装(汽车制造)行业挥发性有机物总量减排核算细则[R].广州:广东省环境保护厅,2016.
- [14] 吴海.工业区总悬浮颗粒物和挥发性有机物浓度特征的研究[J].环境污染与防治,2015,37(12):62-65,70.
- [15] 严茹莎,李莉,安静宇,等.上海市夏季臭氧生成与其前体物控制模拟研究[J].环境污染与防治,2016,38(1):30-35,40.
- [16] 鲁君,王红丽,陈长虹,等.上海市机动车尾气 VOCs 组成及其化学反应活性[J].环境污染与防治,2010,32(6):19-26.
- [17] 黄焱茜,廖浩祥,周勇,等.上海城郊大气挥发性有机物污染特征、活性组分及风险评估[J].环境污染与防治,2020,42(2):194-198,203.
- [18] 苏静.大连市石化企业挥发性有机物(VOCs)排放特点及防治对策[J].中国环境管理干部学院学报,2016,26(5):70-74.
- [19] 蒋卫兵.工业固定源挥发性有机物治理技术效果研究[J].资源节约与环保,2020(1):1-3,6.
- [20] 王瑛.挥发性有机物 VOCs 处理技术的研究进展[J].能源环境保护,2018,32(6):7-11.
- [21] 栾志强,郝郑平,王喜芹.工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J].环境科学,2011,32(12):3476-3486.
- [22] 刘相章,柴灵芝,葛怀镇.浅析船舶分段涂装有机废气治理技术选择[J].中国环保产业,2020(4):53-56.
- [23] 孙亚楠.VOCs 污染治理技术——沸石转轮浓缩催化燃烧技术处理 VOCs[R].北京:中国环境科学学会,2019.
- [24] 郭怡,刘娟,李洋,等.印刷行业挥发性有机物的治理效率研究[J].武汉工程职业技术学院学报,2019,31(4):31-34.