

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2017 ) 3 - 380 - 08

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000234

## 浙江省生态环境宜居性测评

王 毅<sup>1, 2</sup> 陆玉麒<sup>1, 2\*</sup> 车冰清<sup>1, 2</sup> 陈博文<sup>1, 2</sup> 丁正山<sup>1, 2</sup>

( 1. 南京师范大学 地理科学学院 南京 210023;

2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心 南京 210023)

**摘 要:** 本文从地形、气候、水文、地被和自然灾害 5 个方面构建生态环境宜居性评价模型,对浙江省生态环境宜居性空间格局、地域特征及其与人口分布的关系进行了定量综合评价,以期协调浙江省人口和生态环境之间的关系,促进人居环境科学发展和城市可持续发展,以及确定省内差别化的区域发展定位提供管理与决策参考。研究表明:浙江省生态环境宜居性总体分布态势呈现出由西南地区向东北地区、山地向丘陵、河谷、平原递减的趋势。生态环境宜居性程度分区中,低宜居性区覆盖人口最多、人口密度最高,较高宜居性区覆盖面积最广。浙江省生态环境宜居性与人口密度之间存在对数函数关系,二者的曲线拟合度  $R^2$  值为 0.7547;但是对数函数的系数为负数,说明浙江省生态环境宜居性与人口密度之间存在较强的负相关关系。浙江省人口分布对生态环境宜居性指数并不存在明显的响应,大部分人口分布于生态环境宜居性指数较低的地区。浙江省需注重城市生态环境保护与环境污染治理,最大限度地实现人口分布与生态环境宜居和谐共生。

**关键词:** 生态环境;宜居性;空间格局;人口分布;浙江省

中图分类号: X24

文献标志码: A

党的“十八大”以来,“中国梦”成为国家建设发展的重要指导思想和执政理念。事实上,中国梦的核心是百姓的宜居梦、安居乐业梦、理想家园梦,可以说环境宜居是中国梦的核心要件之一。未来 30 年最重要的价值判断也将是环境宜居。2015 年 12 月的中央城市工作会议把“宜居城市”和“城市的宜居性”提到了前所未有的战略高度加以论述,明确指出要“提高城市发展宜居性”,并把“建设和谐宜居城市”作为城市发展的主要目标<sup>[1]</sup>。良好的生态环境是宜居城市的基础,人的生产生活以及具体的人居环境建设活动都离不开广阔的自然生态环境背景。

目前国内外学者对于生态环境宜居性的研究已较为成熟,主要研究范式是利用 GIS 工具体量评价区域自然地理要素对生态环境宜居性的影响程度,探析主导因素的影响过程与效应。具体集中在两个方面:①自然系统单要素对生态环境宜居性的影响研究。主要包括气候条件、地形条件、水文条件、土地覆被、自然灾害等对人居环境的影响与作用,其中对气候的相关研究居多。气候条件对人类起源、人口分布及其生活生产方式具有重要的影响<sup>[2]</sup>,是学界评价区域宜居性的核心要素之一。对楚雄<sup>[3]</sup>、贵州省<sup>[4]</sup>、中国乡村<sup>[5]</sup>、全国公里网格<sup>[6]</sup>等不同尺度的人居环境气候适宜度的实证研究,表明气候条件

收稿日期( Received date): 2016 - 09 - 14; 改回日期( Accepted date): 2016 - 12 - 20。

基金项目( Foundation item): 国家自然科学基金重点项目( 41430635); 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目( KYLX16 - 1271) 。 [National Natural Science Foundation of China( 41430635); Scientific Research Innovation Projects of Graduate in Universities of Jiangsu Province ( KYLX16 - 1271) ]

作者简介( Biography): 王毅( 1989 - ), 男, 湖北宜昌人, 博士研究生, 主要从事经济地理与区域发展研究。 [Wang Yi( 1989 - ), male, born in Yichang, Hubei Province, Ph. D candidate, research on economic geography and regional development] E-mail: wangyean@163.com

\* 通讯作者( Corresponding author): 陆玉麒( 1963 - ), 男, 江苏张家港人, 教授, 博士生导师, 主要从事空间结构与区域发展研究。 [Lu Yuqi( 1963 - ), male, born in Zhangjiagang, Jiangsu Province, professor, research on spatial structure and regional development] E-mail: luyuqi@263.net

对区域人居环境有重要影响,中国人居环境的气候适宜性整体呈由东南沿海向西北内陆,由高原、山地向丘陵、平原递减的趋势。地形是最基本的自然地理要素,研究发现中国地形起伏度与人口分布相关性显著,有着较好的对数拟合关系,全国85%以上的人口居住在地形起伏度小于1的地区<sup>[7]</sup>。②采用多个自然地理要素综合评判区域生态环境宜居性。基于GIS栅格数据,综合加权地形起伏度、温湿指数、水文指数和地被指数等自然因子指数综合评判区域人居环境自然适宜性。如对万州、遵义、关中-天水经济区、石羊河流域、宁夏中部干旱带、陕西及全国的相关研究<sup>[8-14]</sup>表明中国及其各区域人居环境自然适宜性受地形起伏度、温湿指数、水文指数和地被指数的综合影响,呈现出不同空间分布格局。

上述研究为浙江省生态环境宜居性研究提供了翔实的理论和方法基础,但目前相关研究主要集中在国家宏观地理尺度以及城市、流域等微观尺度区域,对于省级这一中观地理尺度的研究极少。此外,以往研究的案例区域多集中在中、西部地区,缺乏对我国东部沿海地区生态环境宜居性的研究。浙江省地处我国东部沿海,省内地域类型多样,各地区生态环境存在较大差异。本文以浙江省为例,从地形、气候、水文、地被和自然灾害5个方面构建生态环境宜居性评价模型,利用GIS工具,对省级地理尺度生态环境宜居性程度、空间格局及其与人口分布的关系进行定量评价。一方面可以拓展人居环境学科研究的视角和方向,弥补研究缺环,丰富我国不同省域人居环境研究案例,为以山地丘陵为主的福建、江西等与浙江有着相似地域类型的我国东部省区人居环境研究提供案例示范。另一方面可以定量揭示省内不同地区生态环境宜居程度及其空间规律性,分类分区揭示环境宜居的改善方向、改善措施和实施路径,以期协调浙江省人口和生态环境之间的关系,促进人居环境科学发展和城市可持续发展,以及确定省内差别化的区域发展定位提供管理与决策参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,位于118°01′~122°56′E和27°02′~31°10′N之间,东西和南北的直线距离均为450 km左右,全省土地面积10.18万km<sup>2</sup>。浙江省东北部是低平的冲积平

原,中部以丘陵为主,西南地区以山地为主,其中山地和丘陵占总土地面积比例超过70%,平原和盆地仅占23.2%。浙江地处北温带,属亚热带季风气候,年平均气温15℃~18℃,年均雨量在980~2000 mm。浙江境内水域面积较大,自北向南有苕溪、钱塘江、甬江等八大水系,还拥有30多个容积在100万m<sup>3</sup>以上湖泊。浙江省下辖11个地级市,下分90个县级行政区,2014年全省年末总人口为5404.11万人。

### 1.2 生态环境宜居性评价模型

生态环境宜居性是包括地形、气候、水土资源、地表覆被、自然灾害等在内的自然环境组合特征及其适宜人类聚居的程度<sup>[15]</sup>。影响区域宜居性的自然生态要素众多,但最为根本且起主导作用的要素包括地形要素、气候要素、水文要素以及地被要素等。基于浙江第一次地理国情普查成果和浙江实际情况,本文主要采用地形起伏度、温湿指数、水文指数、地被指数以及自然灾害危险度5个主要指标来对浙江省生态环境宜居性进行测评。

#### 1.2.1 地形起伏度模型

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

式中:RDLS为地形起伏度,它是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征。ALT为区域内的平均海拔(m);Max(H)和Min(H)分别为区域内最高与最低海拔(m);P(A)为区域内的平地面积(m<sup>2</sup>);A为区域总面积,本文将坡度小于5°的区域为平地,确定200 m×200 m栅格为区域单元,即A值为40 000 m<sup>2</sup>。基于浙江省DEM数据,其空间分辨率为10 m,借助ArcGIS的表面分析、邻域分析及地图代数工具求取地形起伏度。为了保证数据空间尺度的一致性,在后续计算时,再将10 m×10 m的栅格重采样为200 m×200 m。

#### 1.2.2 温湿指数模型

$$THI = 1.8t - 0.55(1-f)(1.8t - 26) + 32 \quad (2)$$

式中:THI为温湿指数,表征区域气候条件的宜居程度;t为月平均气温(℃);f是月平均空气相对湿度(%)。根据浙江省68个气象站点的1990—2014年月平均气温和月平均相对空气湿度数据,分别采用普通克里金插值和样条插值方法得到两个气象要素图层,然后利用“栅格计算器”按照模型(2)计算得到温湿指数。

#### 1.2.3 水文指数模型

$$WRI = \alpha P + \beta W_a \quad (3)$$

式中:  $WRI$  为水文指数, 表征区域水资源丰缺程度;  $P$  为归一化的年均降水量, 反映天然状态下区域自然给水能力的大小, 对浙江 68 个气象站点 1990—2014 年降水量求均值, 然后通过普通克里金插值获取降水量图层。  $W_a$  归一化的水域面积, 体现区域集水与汇水能力的强弱;  $\alpha$  和  $\beta$  分别为  $P$ 、 $W_a$  的权重,  $\alpha$  取值 0.8  $\beta$  取值 0.2<sup>[14]</sup>。

#### 1.2.4 地被指数模型

$$LCI = LT_i \times NDVI \quad (4)$$

式中:  $LCI$  为地被指数, 是土地利用与土地覆被特征的综合表征。  $NDVI$  为归一化植被指数;  $LT_i$  为各土地利用类型的权重。  $NDVI$  数据时间为 2015 年 5—9 月, 土地利用类型数据时间为 2015 年 6 月 30 日, 二者均是浙江省测绘与地理信息局第一次地理国情普查成果, 土地利用类型的权重  $LT_i$  参考文献<sup>[8,9]</sup>的方法设置。

#### 1.2.5 自然灾害危险度模型

基于浙江省特殊的地理位置、地形地貌特征及相关历史资料, 本文主要考虑两类自然灾害, 一是地质灾害, 包括滑坡、泥石流、坍塌和地震灾害等, 二是台风威胁。

$$NDR = \alpha DZZH + \beta TFZH \quad (5)$$

式中:  $NDR$  为自然灾害指数,  $DZZH$  为地质灾害危险度, 通过浙江省内地质灾害点核密度估计获取其要素图层。  $TFZH$  为台风危险度, 基于 ArcGIS 平台, 首先利用核密度估计方法获取浙江省内所有台风路径节点最大风速的核密度估计图层, 然后统计每个县域内台风路径长度, 并利用克里金插值获取栅格图层, 最后加权叠加得到台风危险度要素图层<sup>[16]</sup>, 台风数据的时间范围是 1950 年至 2014 年。  $\alpha$  和  $\beta$  分别为  $DZZH$  和  $TFZH$  的权重, 基于专家打分, 分别取值为 0.55、0.45。

#### 1.2.6 生态环境宜居性模型

$$ELI = \alpha \times NRDLS + \beta \times NTHI + \chi \times NWRI + \delta \times NLCI + \omega \times NNDR \quad (6)$$

式中,  $ELI$  为生态环境宜居性指数,  $NRDLS$ 、 $NTHI$ 、 $NWRI$ 、 $NLCI$  和  $NNDR$  分别为极差标准化的地形起伏度、温湿指数、水文指数、地被指数和自然灾害危

险度,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\chi$ 、 $\delta$  和  $\omega$  分别为以上各指数的权重。合理分配权重是量化评估的关键, 本文通过征询 3 名教授和 3 名浙江省相关专业工作人员的意见, 对以上 5 个指标的重要性进行打分, 然后利用 AHP 层次分析法最终确立了相关指标的权重(表 1), 最大限度的保证了权重设置的合理性。

#### 1.3 数据来源

本文运用的数据主要包括四类, 一是地形数据, 即浙江省数字高程模型(DEM)数据; 二是气象数据, 包括浙江省 68 个气象站点的多年月平均温度、多年月平均相对空气湿度、多年平均降水量及台风数据等; 三是土地覆被数据以及崩塌、滑坡、泥石流分布等专题数据; 四是人口数据, 即 2014 年浙江省乡镇尺度人口数量数据。所需数据均由浙江省测绘与地理信息局提供。

## 2 结果与讨论

### 2.1 浙江省生态环境宜居性单要素评价

#### 2.1.1 地形宜居性评价

利用公式(1), 借助 ArcGIS 工具计算得到浙江省地形起伏度, 提取结果如图 1a 所示。浙江省地形起伏度在 0~560.45 m 之间, 自西南向东北呈阶梯状递减, 表现出与浙江地形变化极高的相似性。起伏度较大的区域主要集中在浙江南部和西北部, 这些区域在地形上宜居性较低, 不适合人类居住和发展。起伏度较小的区域主要分布在北部平原、中部金衢盆地以及东部沿海地区, 这些地区地势平坦, 有利于人类集聚和发展。

#### 2.1.2 气候宜居性评价

利用公式(2), 计算得到浙江省温湿指数(图 1b)。浙江省全域温湿指数介于 56~65 之间。根据学者对温湿指数的等级划分<sup>[17]</sup>, 浙江省的气候舒适等级主要为清凉、舒适以及凉、非常舒适这两个等级, 均属于温湿较舒适的范围区间, 即浙江省整体的气候宜居性很好。浙江省内部温湿指数地域分异较小, 大体呈自南向北递减的趋势, 中、北部地区的温湿舒适等级为清凉、舒适, 略逊于南部地区的凉、非常舒适。

表 1 生态环境宜居性评价单因子指数权重

Tab. 1 Weighting coefficient of factors of eco-environment livability assessment

类型	地形起伏度	温湿指数	水文指数	地被指数	自然灾害危险度
权重系数	0.31	0.22	0.16	0.19	0.12

### 2.1.3 水文宜居性评价

利用公式(3),求得浙江省水文指数(图1c)。浙江省水文指数处于2.42~80.22之间,均值为45.63,高于全国平均水平(全国均值为32),最高值为80.22,处于全国中上水平(全国最高为100),以上说明浙江省水文条件总体较好。就空间分布状况来看,浙江省内部水文条件地域分异明显,西北、南部和东南沿海所构成的“V”型区域水文指数较高,而中部、北部地区水文指数偏小。

### 2.1.4 地被宜居性评价

利用公式(4),求得浙江省地被指数(图1d)。浙江省地被指数处于-0.25~0.94之间,均值为0.51,有50%的区域超过0.6,说明浙江省地被情况整体较好,地被宜居性较高,仅钱塘江、杭州市区、温州市区、沿海地区等人类活动强度大的区域地被指数较低。浙江省土地覆被中森林面积达到60 261.62 km<sup>2</sup>,占比达到57.87%,这是浙江整体地被指数整体较高的主要原因。

### 2.1.5 自然灾害危险度评价

利用公式(5),求得逆向标准化的浙江省自然灾害危险度(图1e)。经过逆向标准化后,指数越低

表示自然灾害危险度越高,宜居性越差,指数越高表示自然灾害危险度越低,表明该区域自然灾害对人类居住的限制较低,宜居性较好。浙江省自然灾害危险度整体表现出自东部沿海地区向西部地区递减的趋势,危险度较高的地区主要集中在温州、台州、舟山等沿海地区,浙江西南、东北地区自然灾害危险度较低。

## 2.2 浙江省生态环境宜居性综合评价

### 2.2.1 人口的空间分布格局

基于镇域尺度,利用普通克里金插值法<sup>[18]</sup>对浙江省2014年的各乡镇域人口密度进行插值,获得2014年浙江省人口分布栅格数据(图2)。以此来揭示浙江省人口疏密的梯度变化和分布形态,并为探析人口分布与生态环境宜居性之间的关系奠定基础。浙江省人口空间分布表现出极大的不均衡性,人口稀疏区主要分布在西北山区和西南山区,人口密度大多在150(人/km<sup>2</sup>)以下。人口稠密区主要分布在东北部平原地区、东部沿海地区以及中部金衢盆地,人口密度多在700(人/km<sup>2</sup>)以上。人口密度较大的乡镇空间分布和海岸线、交通干线、河流及平地具有很强的空间耦合性。

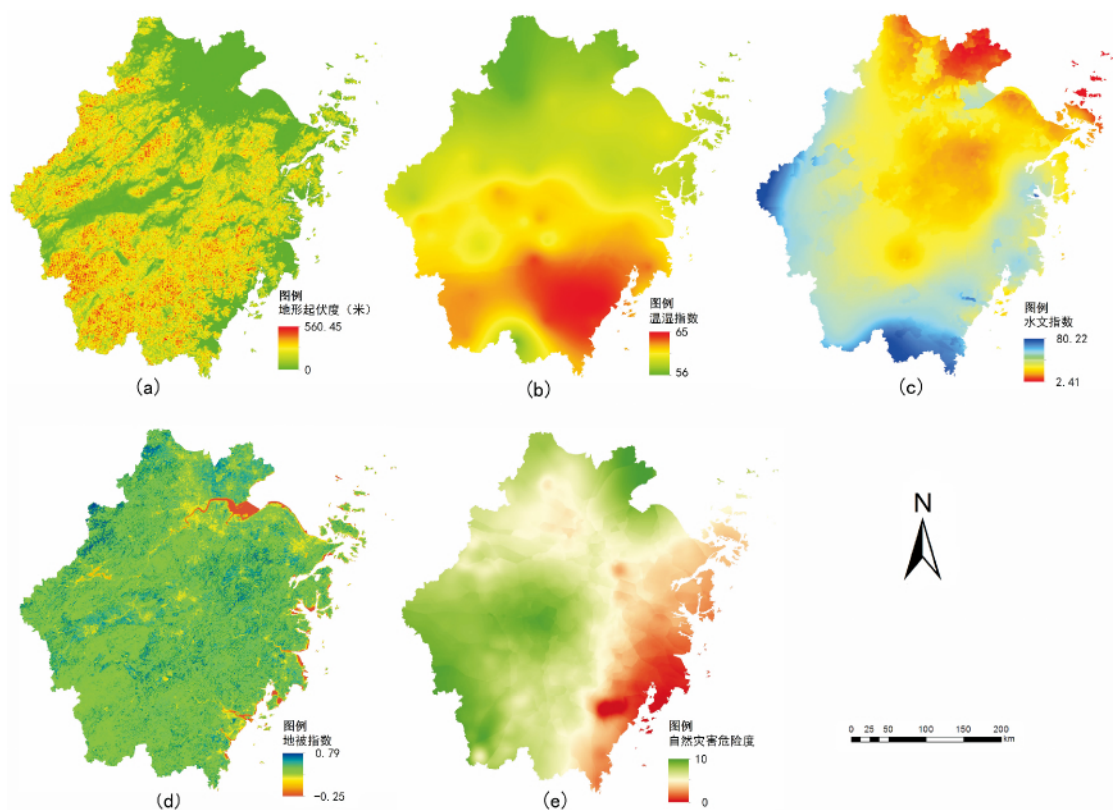


图1 浙江省生态环境单因子空间分布

Fig. 1 Distribution of single factor of eco-environment livability in Zhejiang Province



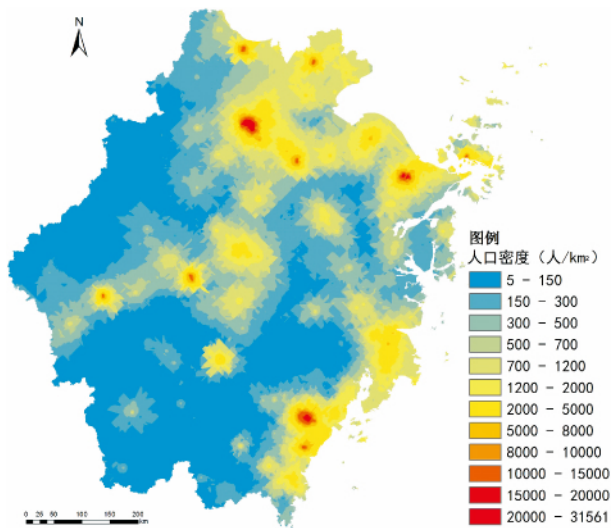


图 2 浙江省人口密度的空间分布

Fig. 2 Distribution of population density in Zhejiang Province

2.2.2 生态环境宜居性格局及其分区

对以上生态环境各单项要素进行标准化,结合其权重赋值,利用 ArcGIS 工具进行栅格叠加分析,生成浙江省生态环境宜居性指数空间分布图(图 3a)。生态环境宜居性指数范围为 0~10,指数越高,生态环境状况越好,越有利于人类居住和发展。可以发现,浙江省生态环境宜居性指数总体分布态势是:由西南地区向东北地区,山地向丘陵、河谷、平原递减的趋势。同时通过自然间断点方法,对指数进行级数分类,得到浙江省生态环境宜居程度分

级图(图 3b)。浙江省全域划分为低宜居性区、较低宜居性区、中宜居性区、较高宜居性区和高宜居性区五大区域。

低宜居性区面积 11 496 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 11.08%, 覆盖人口最多, 为 1 570.61 万, 占全省总人口的 28.71%, 人口密度为 1 366 人/km<sup>2</sup>。主要集中分布在浙江省东北地区的湖州、嘉兴、杭州、宁波等市区, 这些地区虽地形平坦, 适宜人类聚居, 但由于人类活动历史悠久, 开发强度大, 地被情况较差, 且在水文、气候、安全等方面都不占优, 因而宜居性指数较低。

较低宜居性区面积 21 440 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 20.66%, 覆盖人口 1 457.22 万, 占全省总人口的 26.64%, 人口密度为 680 人/km<sup>2</sup>。这类区域分布相对零散, 主要分布在浙江省东北地区、东南沿海地区及中部盆地的中、小城市的市区和大部分县城。

中宜居性区面积 25 667 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 24.73%, 覆盖人口 1 275.09 万, 占全省总人口的 23.31%, 人口密度为 497 人/km<sup>2</sup>。主要分布在浙江省中部地区, 这些地区处在生态环境宜居性高低的中间地带, 是生态环境是否宜居的过渡区域。

较高宜居性区面积最广, 为 27 175 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 26.18%, 覆盖人口 826.42 万, 占全省总人口的 15.11%, 人口密度为 304 人/km<sup>2</sup>。主要分布在浙江省南部地区的山地、丘陵地区, 虽地形条件差, 但在气候、水文、地被都具有明显的优势, 故宜居

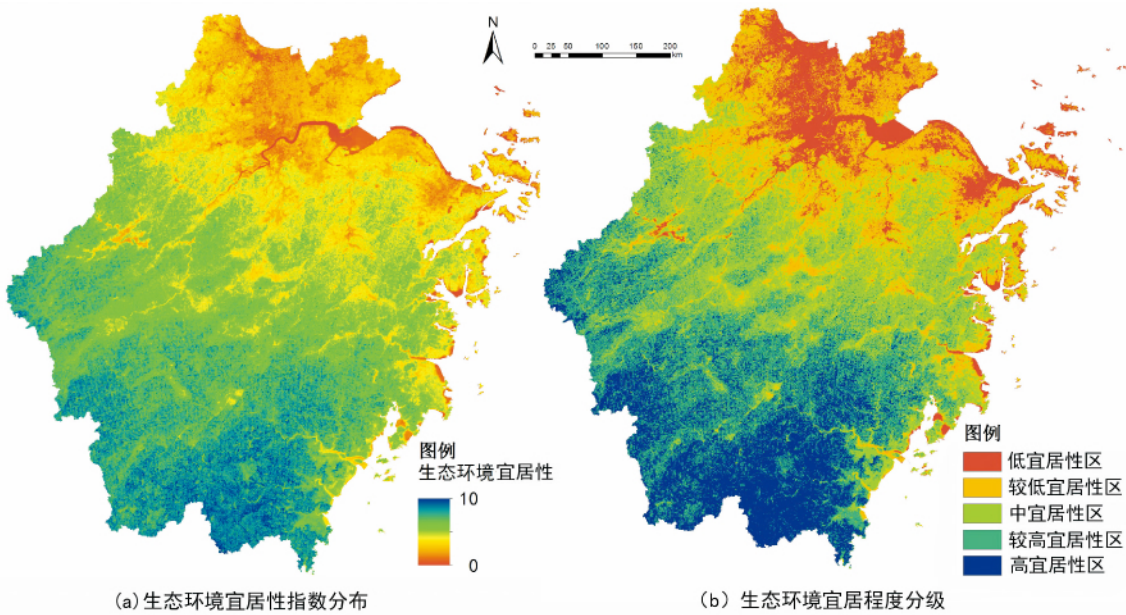


图 3 浙江省生态环境宜居性空间格局

Fig. 3 Distribution of eco-environment livability in Zhejiang Province

性较高。

高宜居性区面积 18 013 km<sup>2</sup>, 占全省面积的 17.36%, 覆盖人口 340.86 万, 占全省总人口的 6.23%, 人口密度为 189 人/km<sup>2</sup>。主要分布在浙江省南部和西南的山间坝子和地势较低的区域。这里地形相对较高宜居性区较好, 在气候、水文、地被等方面也优势明显, 故宜居性最好。

### 2.2.3 生态环境宜居性与人口分布的相关性

为了研究生态环境宜居性指数(ELI)与人口分布的相关程度, 本文在分析浙江 ELI 空间分布规律的基础上, 定量计算了浙江 ELI 与人口分布之间的相关性。首先在 ArcGIS 的空间分析模块下, 将浙江生态环境宜居性指数与 2014 年浙江人口密度栅格数据进行空间配准, 然后运用区域统计分析模型, 统计不同生态环境宜居性的人口密度值<sup>[7]</sup>; 随后利用 SPSS 软件绘制 ELI 与人口密度相互关系的散点图, 观察并剔除异常值后进行相关性分析(图 4)。结果表明: 浙江生态环境宜居性指数与人口密度之间具有对数函数关系, 二者的曲线拟合度  $R^2$  值为 0.75。但是对数函数的系数为负数(-975.7), 说明浙江 ELI 与人口密度之间存在较强的负相关关系。

为了进一步揭示浙江人口分布对生态环境宜居性指数的响应效果, 本文绘制了浙江省生态环境宜居性指数的人口与面积的累积频率分布图(图 5)。可以发现, 浙江人口分布对生态环境宜居性指数并不存在明显的响应, 浙江大部分人口分布于生态环境宜居性指数较低的地区。生态环境宜居性指数低于 4 的地区占全省面积的 22.59%, 相应人口占比却达到 45.59%; 生态环境宜居性指数低于 6 的地区占全省面积的 68.12%, 相应人口占比却高达 86.52%; 而生态环境宜居性指数大于 8 的区域

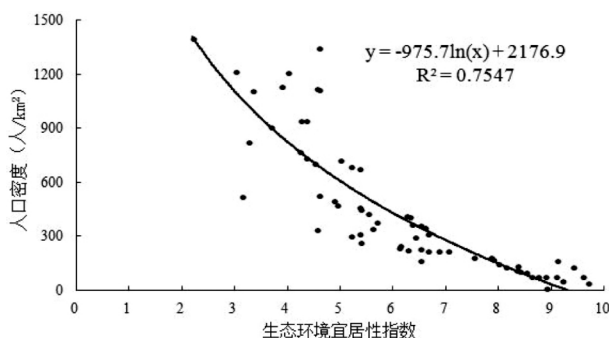


图 4 生态环境宜居性指数与人口密度关系图

Fig. 4 Correlation between eco-environment livability index and population density

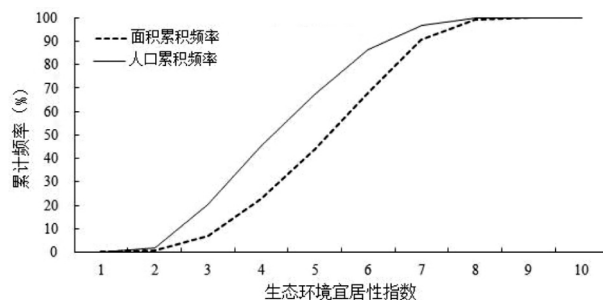


图 5 生态环境宜居性指数人口与面积累积频率图

Fig. 5 Land area and population accumulative frequency of eco-environment livability index

的面积和人口均不足 1%。这也表明浙江省人口分布疏密与生态环境宜居性高低并不是高度一致, 而是存在一定的负相关。

### 2.3 讨论

综上所述, 浙江省生态环境宜居性与人口分布之间存在较强的负相关性。这与以往学者对陕西省<sup>[13]</sup>、宁夏中部地区<sup>[12]</sup>、石羊河流域<sup>[11]</sup>等区域的研究结果存在较大差异, 他们大多认为人居环境自然适宜性与人口分布存在明显的正相关关系。究其原因主要是因为研究区域所处的大的地理环境不同。以上研究区域地处我国西部内陆干旱半干旱地区, 一般地形较平坦的地区也一直是水系发达、地表覆被较好的地区, 人类居住和发展也多趋于这些地区集聚, 因此人居环境自然适宜性与人口分布正相关性强。而浙江省地处我国东部沿海的湿润地区, 生态环境整体较好, 人类早期多选择聚居在地势低平的地区(北部平原、中部金衢盆地、东部沿海地区等)从事生产活动, 这些地区也成为传统人口密集区。但受经纬度和地形影响, 这些地区的地表覆被、气候气象、水文等其他自然条件在全省并不是最优越的, 并且受人类长期活动的影响, 区域内现有的人口、经济规模已经接近或超过生态环境承载力, 部分地区已经或正在出现地表覆被破坏和生态环境恶化现象。因此在综合集成地形、气候、水文、地被和自然灾害等生态环境因子时, 传统人口密集地区的生态环境宜居性指数却不是最高的, 二者之间还呈现出较强的负相关性。

为此, 浙江省要把人口发展和生态环境保护作为谋划未来发展的主线, 引导人口有序流动和适度聚集, 努力推进人口集聚规模、经济活动与区域自然生态环境承载能力相匹配, 最大限度的减少对环境

浙东北及沿海地区要牢固树立绿色发展理念,持续推进区域内部环境治理和生态保护,强化资源节约集约高效利用,加快发展生态经济,加强生态文明制度建设,着力促进经济社会发展与区域自然环境和諧共生,推动人口分布与生态环境宜居不断趋于统一。对生态环境宜居性较好的西南地区而言,它们多为浙江省重点生态功能区和生态屏障所在。要加大保护力度,确保主要流域源头地区维持原生态,推进森林扩面提质,加强森林、湿地和生物多样性保护,加强地质灾害防控、治理和搬迁避让,筑牢生态安全屏障,确保全省生态格局安全。

### 3 结论

本文在分析地形、气候、水文、地被和自然灾害5项单要素宜居性评价的基础上,对浙江省生态环境宜居性的空间格局及其与人口分布的关系进行了综合研究,主要结论如下:

(1) 浙江省生态环境宜居性总体分布态势由西南地区向东北地区,山地向丘陵、河谷、平原递减。生态环境宜居性程度分区中,低宜居性区覆盖人口最多,为1570.61万,占全省总人口的28.71%,人口密度为1366人/km<sup>2</sup>,主要分布在浙江省东北地区的湖州、嘉兴、杭州、宁波等市区。较高宜居性区面积最广,为27175.2km<sup>2</sup>,占全省面积的26.18%,人口密度为304人/km<sup>2</sup>,主要分布在浙江省南部地区的山地、丘陵地区。

(2) 浙江生态环境宜居性与人口密度成对数关系,二者的曲线拟合度 $R^2$ 值为0.75。但是对数函数的系数为负数,说明浙江ELI与人口密度之间存在较强的负相关关系。浙江人口分布对生态环境宜居性指数并不存在明显的响应,大部分人口分布于生态环境宜居性指数较低的地区。主要原因是浙江省内部地形优劣与气候、水文、地被条件好坏并不是高度一致导致。

由于可获取数据的有限性,本文未将水质、空气质量等纳入生态环境宜居性的评价范畴,在今后的研究中,随着数据的完善,应加强相关方面的评价。此外,人居环境是一个复杂的系统,它还涉及区域的经济发展水平、公共服务便捷度、土地的粮食生产水平等方面,要想精确而全面表达区域的宜居性,在模型的指标选取和参数确定等方面仍有待深入研究。

### 参考文献 (References)

- [1] 张文忠. 宜居城市建设的核心框架[J]. 地理研究, 2016, 35(2): 205–214 [ZHANG Wenzhong. The core framework of the livable city construction [J]. Geographical Research, 2016, 35(2): 205–214]
- [2] WILLIAM F A, BETSY W, LIANG Wenju, et al. Climate and origin of humankind[J]. World Science, 1993, (5): 29–32
- [3] 何萍, 李宏波. 楚雄市人居气象指数分析[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(3): 114–117 [HE Ping, LI Hongbo. The metrological exponent analyses of people inhabit in Yunnan Province Chuxiong city [J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2008, 20(3): 114–117]
- [4] 张剑光, 冯云飞. 贵州省气候宜人指数评价探讨[J]. 旅游学刊, 1991, 6(3): 50–53 [ZHANG Jianguang, FENG Yunfei. A study of the climate pleasantness evaluation of Guizhou Province [J]. Tourism Tribune, 1991, 6(3): 50–53]
- [5] 刘沛林. 中国乡村人居环境的气候舒适度研究[J]. 衡阳师专学报(自然科学版), 1999, 20(3): 51–54 [LIU Peilin. Study on the climate comfort-index of human settlement environment in the rural in China [J]. Journal of Hengyang Teachers College (Natural Science), 1999, 20(3): 51–54]
- [6] 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 Yan, FENG Zhiming, YANG Yanzhao. Evaluation of climate suitability for human settlement in China [J]. Resource Science, 2008, 30(5): 648–653]
- [7] 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 [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1073–1082]
- [8] 闵婕, 刘春霞, 李月臣. 基于GIS技术的万州区人居环境自然适宜性[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(8): 1006–1012 [MIN Jie, LIU Chunxia, LI Yuechen. Evaluation of natural suitability for human settlement based GIS technology [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(8): 1006–1012]
- [9] 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): 1358–1364 [LOU Shengxia. Evaluation of natural suitability for human settlement of Zunyi region based GIS [J]. Economic Geography, 2011, 31(8): 1358–1364]
- [10] 张艺, 任志远. 关中-天水经济区人居环境适宜性评价与人口分布[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 46–50 [ZHANG Yi, RENG Zhiyuan. Evaluation of nature suitability for human settlement and population distribution in the Guanzhong-Tianshui economic region [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 46–50]
- [11] 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(12): 1940–1950 [WEI Wei, SHI Peiji, FENG Haichun, 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(12): 1940–1950]
- [12] 程淑杰, 朱志玲. 基于GIS的人居环境生态适宜性评价以宁夏中部干旱带为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(1): 176–183 [CHENG Shujie, ZHU Zhiling. GIS-based assessment on ecological suitability for human settlement: A case study in the central ar-

- id zone in Ningxia[J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(1): 176 – 183]
- [13] 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 [HAO Huimei, RENG Zhiqiang. Evaluation of nature suitability for human settlement in Shaanxi Province based on grid data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 498 – 506]
- [14] 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 Zhiming, TANG Yan, YANG Yanzhao, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(12): 1327 – 1336]
- [15] 张文忠,余建辉,李业锦,等. 人居环境与居民空间行为[M]. 北京: 科学出版社, 2016, 24 – 25 [ZHANG Wenzhong, YU Jianhui, LU Yejin, et al. Human settlement and spatial Behavior of residents[M]. Beijing: Science Press, 2016, 24 – 25]
- [16] 殷洁,戴尔阜,吴绍洪. 中国台风灾害综合风险评估与区划[J]. *地理科学*, 2013, 33(11): 1370 – 1376 [YIN Jie, DAI Er-fu, WU Zhaohong. Integrated risk assessment and zoning of typhoon disasters in China[J]. *Scientia Geo-graphica Sinica*, 2013, 33(11): 1370 – 1376]
- [17] 刘清春,王锋,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 – 140 [LIU Qingchun, WANG Feng, XU Shiyuan. Climate suitability index for city tourism in China[J]. *Resource Science*, 2007, 29(1): 133 – 140]
- [18] 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 – 1388 [CHE Bingqing, QIU Fangdao. Spatio-temporal changes of population distribution at sub-district level in Jiangsu Province[J]. *Scientia Geo-graphica Sinica*, 2015, 35(11): 1381 – 1388]

## Eco-environment Evaluation for Human Settlements in Zhejiang Province

WANG Yi<sup>1 2</sup>, LU Yuqi<sup>1 2</sup>, CHE Bingqing<sup>1 2</sup>, CHEN Bowen<sup>1 2</sup>, DING Zhengshan<sup>1 2</sup>

(1. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Suitable eco-environment for human settlement plays a significant role in harmonious development between social-economic systems of human society and natural ecosystems. After selecting terrain, land cover, climate, water condition and natural disaster as evaluation factors, this study established an eco-environmental livability index (ELI) model and evaluated the eco-environment livability for human settlement in Zhejiang Province based on GIS. The results indicated that there was obvious spatial difference in the distribution of population density in Zhejiang Province. The sparsely-populated areas were mainly distributed in the northwest and southwest mountainous areas, whereas the densely-populated areas were mainly distributed in central plains areas, eastern coastal areas and Jinqiu Basin. In addition, the results also revealed that ELI of Zhejiang Province generally decreased from the southwest to the northeast and from mountainous and hilly areas to plains and valleys, which reflected regional differences of eco-environment livability of human settlements in Zhejiang Province. Among divisions of eco-environment livability, the lowest livability region comprised the most populous areas, accounting for about 28.71% of the total population. The higher livability region encompassed wide land areas, accounting for about 26.18% of the total area. Additionally, ELI of Zhejiang Province was correlated with population density ( $R^2 = 0.7547$ ), while the coefficient of function was a negative number, which indicated that the eco-environment livability and the population distribution were negatively correlated. Furthermore, the population distribution of Zhejiang Province did not have an obvious response to eco-environment livability and most people lived in the lower eco-environment livability region. This was not consistent with the result of previous researches. The main reason for this was that the distribution of terrain conditions was not consistent with land cover, climate and hydrology conditions in Zhejiang Province. The findings of this paper would assist in policy development by local government to coordinate the relationship between population and ecological environment, as well as provide a case study for human settlements environment research.

**Key words:** eco-environment; livability; spatial pattern; population distribution; Zhejiang Province