

# 基于遥感的区域人居环境指数构建及其应用

陈秋霞<sup>1</sup>, 杨远垚<sup>2,3</sup>, 许章华<sup>2,3</sup>, 黄森慰<sup>1\*</sup>

(1. 福建农林大学公共管理学院, 福建 福州 350002; 2. 福州大学环境与安全工程学院, 福建 福州 350108; 3. 福州大学地理与生态环境研究院, 福建 福州 350108)

**摘要:** 基于生态宜居和以人为本双重理念, 选取区域绿色度、区域热度、区域蓝度、区域亮度、区域透明度和区域起伏度等6个指标, 利用主成分分析法构建基于遥感的区域人居环境指数(RHEI)。以福建省为例, 分季度测算其RHEI, 揭示区域人居环境的时空差异。结果表明: 福建省RHEI随着季节变化逐渐降低, 呈现东南低西北高、沿海岸线向内陆上升的空间分布格局。通过比较各指标的回归模型系数, 发现区域蓝度对区域人居环境的影响最大, 区域透明度的影响最小。由年度均值回归模型预测, 未来每增加0.166单位的区域蓝度或减少0.278单位的区域热度, 能提升0.1单位的人居环境质量。

**关键词:** 区域人居环境指数(RHEI); 遥感; 主成分分析; 区域治理; 福建省

**中图分类号:** X321; X87 **文献标志码:** B **文章编号:** 1006-2009(2024)02-0019-06

## Construction and Application of Regional Habitat Environment Index Based on Remote Sensing

CHEN Qiuxia<sup>1</sup>, YANG Yuanyao<sup>2,3</sup>, XU Zhanghua<sup>2,3</sup>, HUANG Senwei<sup>1\*</sup>

(1. School of Public Administration, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. College of Environment and Safety Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China; 3. Academy of Geography and Ecological Environment, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

**Abstract:** Based on the dual concepts of ecological livability and people-oriented, this paper selected six indexes including regional greenness, regional heat, regional blueness, regional brightness, regional transparency and regional undulation to construct regional habitat environment index (RHEI) based on remote sensing by principal component analysis. Taking Fujian Province as an example, RHEI was calculated quarterly to reveal the spatial and temporal differences of regional habitat environment. The results showed that the RHEI in Fujian Province gradually decreased with seasonal changes, showing a spatial distribution pattern of low in the southeast and high in the northwest, and rising inland along the coastline. By comparing the regression model coefficients of each index, it was found that regional blueness had the greatest influence on regional habitat, while regional transparency had the least influence. Based on the annual mean regression model, every 0.166 units increase in regional blueness or 0.278 units decrease in regional heat in the future could improve the quality of habitat environment by 0.1 units.

**Key words:** Regional habitat environment index (RHEI); Remote sensing; Principal component analysis; Regional governance; Fujian Province

随着工业化进程的加快, 人口规模不断增加, 建设用地规模持续扩张, 生态环境破坏等现象不断产生, 迅速增长的消费需求及结构变化对有限的资源环境基础及其安全保障形成了越来越大的压

收稿日期: 2023-03-21; 修订日期: 2024-01-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42071300); 国家社会科学基金资助项目(20BSH113); 福建省自然科学基金资助项目(2016J01188); 福建省海岛资源生态监测与保护利用重点实验室开放课题基金资助项目(2023ZD03); 福建省资源环境监测与可持续经营利用重点实验室开放基金资助项目(ZD202102)

作者简介: 陈秋霞(1991—), 女, 福建漳平人, 助理研究员, 博士研究生, 研究方向为环境治理。

\* 通信作者: 黄森慰 E-mail: hsw@fafu.edu.cn

力<sup>[1]</sup>。生态负效应等问题引发了资源能源约束、生态环境压力增加、自然及人为原因所致的灾害事件频发等社会矛盾,导致人类居住环境安全形势发生变化<sup>[2]</sup>。为改善这一系列问题,人居环境研究逐渐成为环境科学、地理学、城乡规划学、公共管理学等学科的研究热点,自此,国内外学者对人居环境的可持续发展愈发关注。

人居环境是人类利用自然、改造自然的主要场所,人居环境质量对社会中人们的居住水平和生活环境进行整体描绘,是衡量社会整体发展水平的重要标准<sup>[3-4]</sup>。国内外关于人居环境的研究丰富多样,部分学者侧重于不同时期、不同范围的人居环境时空演变,通过考古遗址<sup>[5-6]</sup>、评估预测<sup>[7]</sup>等方式,分析早期人类居住地的分布特征,预测未来人居环境空间分布及其产生的影响。目前,理论体系逐渐完善,研究方法持续更新,从地理尺度<sup>[8]</sup>、省域尺度<sup>[9]</sup>、村域尺度<sup>[10]</sup>等不同尺度对人居环境进行研究,致力于满足居民对生活质量日益增长的需求。现有人居环境研究中,评价指标多针对地区基础运行状态,对区域人居环境遥感评价应用相对较少。为此,立足于省内资源要素空间分异较大的实际,基于生态宜居和以人为本双重理念,选取区域绿色度、区域热度、区域蓝色度、区域亮度、区域透明度和区域起伏度等6个指标,构建基于遥感的区域人居环境指数(RHEI),以福建省为例分季度分析RHEI及各指标的时空演变,助力于优化人居环境,并为相关部门进行区域治理宏观决策提供科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

福建省是“东南沿海经济区”的重要组成部分,也是东部地区推进“新型城镇化”发展的空间主体,经济增速在东部沿海省份中名列前茅。福建省地理范围为 E115°50′~E120°40′, N23°33′~N28°20′,管辖福州市、厦门市等9个地级市,共有84个县(市、区),见图1。福建省属亚热带海洋性季风气候,夏季炽热多雨,冬季微寒少雨,省内人口规模和自然环境存在显著空间分异。

### 1.2 数据来源

采用2020年的数字高程模型(DEM)数据和逐月归一化植被指数(NDVI)、平均气温、相对湿度、平均风速、平均日照时数、降水量、土地利用、夜间灯光、PM<sub>2.5</sub>浓度等数据,定量评价区域人居环

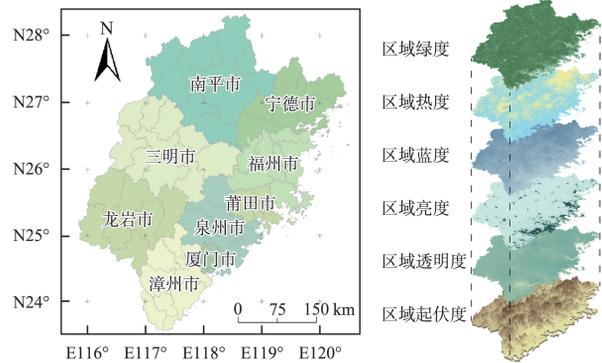


图1 研究区示意

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

境质量。NDVI、平均气温、相对湿度、平均风速、降水量数据来源于国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn/>);平均日照数据来源于国家气象科学数据中心(<https://data.cma.cn/>);土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);夜间灯光数据来源于Earth Observation Group(<https://eogdata.mines.edu/>);PM<sub>2.5</sub>浓度数据来源于空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>);DEM数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

### 1.3 研究方法

评价区域人居环境应综合考虑区域内自然、社会经济、生态等因素。生态宜居理念和以人为本理念关注区域绿色生态空间和区域服务功能的完善程度,区域植被覆盖状况、气候条件、水文水资源条件、区域发展水平、空气质量和地形地势等都与人居环境密切相关<sup>[11-12]</sup>。今基于生态宜居和以人为本的双重理念,将区域植被覆盖、气候、水文、区域发展、空气质量、地形地势等分别定义为区域绿色度、区域热度、区域蓝色度、区域亮度、区域透明度和区域起伏度等6个评价指标,构建区域人居环境指数,对区域人居环境质量进行分季度评价。

(1) 区域绿色度。其指区域植被覆盖状况,用NDVI表征。NDVI数据按各季度的最大值进行合成,其计算公式为:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中: NIR 为近红外波段的反射率; R 为红色波段的反射率。NDVI 的值为[-1, 1], 值越大表示植被覆盖度越大。

(2) 区域热度。其指区域气候的状况,用气候指数(CI)表征,以评价人类在不同气候条件下的

舒适程度<sup>[13]</sup>,其计算公式为:

$$THI = 1.8T + 32 - 0.55(1-w)(1.8T - 26) \quad (2)$$

$$WEI = 8.55S - (10\sqrt{v} + 10.45 - v)(33 - T) \quad (3)$$

$$CI = (NTHI + NWEI)/2 \quad (4)$$

式中:THI为温湿指数;WEI为风效指数; $T$ 为平均气温, $^{\circ}\text{C}$ ;  $w$ 为平均空气相对湿度,%; $v$ 为平均风速,m/s; $S$ 为平均日照时数,h/d;NTHI为归一化温湿指数;NWEI为归一化风效指数;CI为气候指数。CI值越大表示区域气候条件越差,越不宜居。

(3)区域蓝度。其指区域水资源的盈缺程度,用水文指数(HI)表征。今采用年均降水量和距水源距离构建HI<sup>[14]</sup>,其计算公式为:

$$HI = \lambda NAP + \delta NWD \quad (5)$$

式中:NAP为归一化年均降水量;NWD为归一化距水域距离; $\lambda$ 和 $\delta$ 分别为年均降水量和距水域距离的权重,参照文献[15]设定为0.8和0.2。HI值越大表示区域水资源越充足。

(4)区域亮度。其指区域人类活动程度和区域发展情况,用夜间灯光数据表征。邹丹等<sup>[16]</sup>研究表明,区域夜间灯光亮度与该区域经济发展之间存在正向关联。相较于国内生产总值(GDP),夜间灯光亮度更能精确反映区域人类活动程度和区域经济发展水平<sup>[17]</sup>。区域亮度值越大表示区域人类活动程度越大,经济发展水平越高。

(5)区域透明度。其指区域的空气质量,用 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度表征。 $\text{PM}_{2.5}$ 是影响空气质量的主要污染物<sup>[18]</sup>,对环境造成直接污染,易使多个环境要素发生变化,引起生态环境失衡<sup>[19-20]</sup>。 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度越大表示区域空气质量越差。

(6)区域起伏度。其指区域地表起伏度与地面切割程度,用地形起伏度(RDLS)表征。采用移动窗口法计算RDLS,计算公式为:

$$RDLS = ALT/1\ 000 + [\max(H) - \min(H)] \times [1 - P(A)/A]/500 \quad (6)$$

式中:ALT为区域的平均高程; $\max(H)$ 和 $\min(H)$ 分别为区域单位面积的最大和最小高程; $A$ 为区域总面积; $P(A)$ 为相对高差 $< 30\text{ m}$ 的平地区域的面积。RDLS值越大表示地形起伏度越大。

#### 1.4 综合指数构建

(1)指标标准化处理。由于各评价指标具有不同的量纲,在构建综合指数之前应对各项指标值进行标准化处理。其表达式为:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (7)$$

式中: $Z_{ij}$ 为标准化后各指标的值; $X_{ij}$ 为某评价指标值; $\max(X_{ij})$ 和 $\min(X_{ij})$ 分别为 $X_{ij}$ 的最大值和最小值。

(2)指标权重确定。指标权重反映不同评价指标对最终评价目标的贡献率。指标权重的确定影响整个评价结果的合理性和精确度,是评价过程中的关键一环。选用主成分分析(PCA)构建区域人居环境指数。

(3)区域人居环境质量的综合计算。选取主成分特征值贡献率累计百分比为75%~85%的前 $q$ 个主成分 $\text{PC}_1, \text{PC}_2, \dots, \text{PC}_q$ ,以这 $q$ 个主成分反映原来6个指标的信息,根据各主成分的特征值综合计算初始人居环境指数( $\text{RHEI}_0$ )。

$$\text{PC}_i = aX_1 + bX_2 + \dots + fX_n \quad (8)$$

$$\text{RHEI}_0 = \frac{z_1}{z_1 + z_2 + \dots + z_n} \text{PC}_1 + \frac{z_2}{z_1 + z_2 + \dots + z_n} \text{PC}_2 + \dots + \frac{z_n}{z_1 + z_2 + \dots + z_n} \text{PC}_n \quad (9)$$

$$\text{RHEI} = \frac{\text{RHEI}_0 - \min(\text{RHEI}_0)}{\max(\text{RHEI}_0) - \min(\text{RHEI}_0)} \quad (10)$$

式中: $\text{PC}_i$ 为第 $i$ 个主成分; $X_i$ 为特征值 $i$ 的特征向量; $a, b, \dots, f$ 分别为各指标标准化后的值; $z_i$ 为 $\text{PC}_i$ 的特征值; $\max(\text{RHEI}_0)$ 和 $\min(\text{RHEI}_0)$ 分别为 $\text{RHEI}_0$ 的最大值和最小值。 $\text{RHEI}$ 值为 $[0, 1]$ , $\text{RHEI}$ 值越靠近1越宜居,越靠近0越不宜居。

## 2 结果与讨论

### 2.1 人居环境分维度指标计算与分析

分别对各指标进行归一化,统计2020年各季度6个指标的平均值,见图2。由图2可见,福建省区域绿度整体较高,说明该省整体植被覆盖率较高,第一至第三季度NDVI均值由0.762上升至0.822,第四季度降低至0.765,可能的原因是第二、第三季度的气温和日照等气候条件更适合植物生长。各季度区域热度均值在0.6~0.7范围内,说明福建省气候条件的舒适程度偏低,第二季度区域热度平均值最高,为0.679,表明该季度气候条件的舒适程度最低。可见,区域热度对区域人居环境质量具有一定限制。第一、二季度区域蓝度均值分别为0.503、0.506,水资源充沛,第三、四季度区域蓝度均值分别为0.291、0.308,可能是由于2020

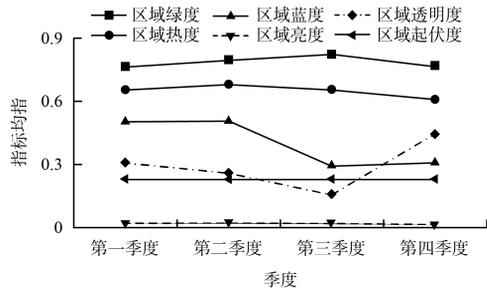


图 2 2020 年各季度 6 个指标的平均值

Fig. 2 Average of 6 indexes in each quarter of 2020

年福建省第三、四季度持续高温少雨,导致其区域蓝色度显著降低。福建省区域亮度整体较低,各季度均值 $\leq 0.015$ ,说明该省内各区域经济发展水平没有显著季节变化。各季度区域透明度均值 $< 0.450$ ,第四季度区域透明度最高,为 0.446,可见,福建省内空气质量良好,无空气质量不适宜区,冬季的空气质量有待进一步改善。由于一年内高程几乎不会发生改变,据此,仅用 2020 年年均 DEM 数据计算区域起伏度。需要注意,若研究期较长、研究区地形发生了明显变化,则须采用多期 DEM 数据进行计算。福建省区域起伏度均值为 0.228,说明该省大部分区域地形起伏度偏小,区域起伏度对区域人居环境的限制较弱。

## 2.2 RHEI 的建立与分析

### 2.2.1 基于 PCA 的指标权重确定

对区域绿色度、区域热度、区域蓝色度、区域亮度、区域透明度和区域起伏度等 6 个指标的各季度平均值和年度平均值进行主成分分析,结果见表 1。由表 1 可知,各季度第一主成分( $PC_1$ )和第二主成分( $PC_2$ )的特征值累计贡献率为 75%~83%,可基本反映原始数据信息,故将  $PC_1$  和  $PC_2$  作为主成分因子。

表 2 为各季度 6 个指标的 PCA 结果。由表 2 可知,区域起伏度、区域绿色度、区域热度、区域蓝色度在  $PC_1$  中对 RHEI 影响显著,而区域亮度和区域透明度的影响相对较弱,这说明地形起伏程度、区域气候状况、人居环境中的绿化面积、区域水资源丰沛程度显著影响区域人居环境质量。第一、二季度在  $PC_2$  中区域起伏度和区域绿色度占比较大,这说明在第一、二季度区域植被覆盖程度、地形起伏程度与人居环境质量密切相关;第三、四季度在  $PC_2$  中区域蓝色度占比较大,这说明在第三、四季度充足的水资源对人居环境质量影响更大。年度均值 PCA 结果表明,水资源、地形和植被覆盖率对人居环境质量作用显著,其中水资源充沛程度是区域人居环境的关键影响因素,水资源缺乏会造成旱灾和植被面积减少,严重降低区域人居环境质量。

### 2.2.2 RHEI 的计算与分析

根据各指标标准化后的值, $PC_1$ 、 $PC_2$  及其特征

表 1 各季度指标特征值与累计贡献率

Table 1 Eigenvalue and cumulative contribution of index in each quarter

主成分	第一季度		第二季度		第三季度		第四季度		全年	
	特征值	累计贡献率/%								
1	0.052	59.9	0.045	53.9	0.034	59.2	0.057	59.0	0.042	59.6
2	0.020	82.6	0.018	75.3	0.011	78.2	0.021	80.5	0.015	80.5
3	0.007	90.3	0.011	88.8	0.007	89.7	0.009	89.8	0.007	89.9
4	0.006	96.8	0.007	97.0	0.004	95.9	0.006	96.3	0.005	96.9
5	0.002	98.9	0.001	98.8	0.002	99.0	0.003	99.7	0.002	99.2
6	0.001	100	0.001	100	0.001	100	0	100	0.001	100

表 2 各季度 6 个指标 PCA 结果

Table 2 PCA results of 6 indexes in each quarter

指标	第一季度		第二季度		第三季度		第四季度		全年	
	$PC_1$	$PC_2$								
区域绿色度	0.247	0.732	0.242	0.570	0.439	-0.513	0.208	-0.699	0.350	-0.609
区域热度	-0.486	0.005	-0.334	-0.355	-0.561	-0.425	-0.465	0.171	-0.476	-0.096
区域蓝色度	0.794	-0.386	0.865	-0.475	0.532	0.438	0.785	0.301	0.737	0.496
区域亮度	-0.073	-0.114	-0.087	-0.104	-0.090	0.100	-0.033	0.063	-0.076	0.086
区域透明度	-0.147	-0.013	-0.098	-0.040	-0.187	-0.027	0.310	0.272	-0.072	0.082
区域起伏度	0.214	0.549	0.254	0.557	0.408	-0.595	0.166	-0.561	0.310	-0.600
特征值累计贡献率/%	59.9	82.6	53.9	75.3	59.2	78.2	59.0	80.5	59.6	80.5

值,计算得出各季度福建省的 RHEI<sub>0</sub>,见表 3,将 RHEI<sub>0</sub> 标准化后绘制 RHEI 时空分布,见图 3 (a)–(e)。由图 3 可见,福建省 RHEI 与大多数指标一致,呈现东南低西北高、沿海岸线向内陆上升的空间分布格局。各季度人居环境质量较低的区域都分布于东部沿海地区,质量较高的区域分布于福建省西北部。据此,福建省绝大部分地区的人居环境宜居,不适宜区面积较少,高度适宜区面积较为局限,全省人居环境质量有待提升。

根据封志明等<sup>[21]</sup>基于 GIS 研究划定的人居环境分级标准,将福建省人居环境质量划分为不适宜(0~0.2)、临界适宜(0.2~0.4)、一般适宜(0.4~0.6)、比较适宜(0.6~0.8)和高度适宜(0.8~1)等 5 个区间;分别统计 RHEI 各区间土地面积及其在全省面积中的占比,以此评价各级人居环境质量的时空分布,见图 4。由图 4 可见,第一、二季度比较适宜区域的面积较大,分别占全省面积的 44.35%、34.70%,第三季度一般适宜区域面积最大,占全省面积的 50.05%,第四季度临界适宜区域面积最大,占全省面积的 40.26%;各季度 RHEI 均值从 0.573 降低至 0.398,反映出 RHEI 随季节

表 3 各季度 PC<sub>1</sub>、PC<sub>2</sub> 和 RHEI<sub>0</sub> 计算式

Table 3 Formulas for PC<sub>1</sub>, PC<sub>2</sub> and RHEI<sub>0</sub> in each quarter

季度	各主成分和 RHEI <sub>0</sub> 的计算式 <sup>①</sup>
第 一 季 度	$PC_1 = 0.247a - 0.486b + 0.794c - 0.073d - 0.147e + 0.214f$ $PC_2 = 0.732a + 0.005b - 0.386c - 0.114d - 0.013e + 0.549f$ $RHEI_0 = \frac{0.052}{0.052 + 0.020}PC_1 + \frac{0.020}{0.052 + 0.020}PC_2$
第 二 季 度	$PC_1 = 0.242a - 0.334b + 0.865c - 0.087d - 0.098e + 0.254f$ $PC_2 = 0.570a - 0.355b - 0.475c - 0.104d - 0.040e + 0.557f$ $RHEI_0 = \frac{0.045}{0.045 + 0.018}PC_1 + \frac{0.018}{0.045 + 0.018}PC_2$
第 三 季 度	$PC_1 = 0.439a - 0.561b + 0.532c - 0.090d - 0.187e + 0.408f$ $PC_2 = -0.513a - 0.425b + 0.438c + 0.100d - 0.027e - 0.595f$ $RHEI_0 = \frac{0.034}{0.034 + 0.011}PC_1 + \frac{0.011}{0.034 + 0.011}PC_2$
第 四 季 度	$PC_1 = 0.208a - 0.465b + 0.785c - 0.033d + 0.310e + 0.166f$ $PC_2 = -0.699a + 0.171b + 0.301c + 0.063d + 0.272e - 0.561f$ $RHEI_0 = \frac{0.057}{0.057 + 0.021}PC_1 + \frac{0.021}{0.057 + 0.021}PC_2$
全 年	$PC_1 = 0.350a - 0.476b + 0.737c - 0.076d - 0.072e + 0.310f$ $PC_2 = -0.609a - 0.096b + 0.496c + 0.086d + 0.082e - 0.600f$ $RHEI_0 = \frac{0.042}{0.042 + 0.015}PC_1 + \frac{0.015}{0.042 + 0.015}PC_2$

①a、b、c、d、e、f 分别为区域绿色、区域热度、区域蓝色、区域亮度、区域透明度、区域起伏度指标标准化后的值。

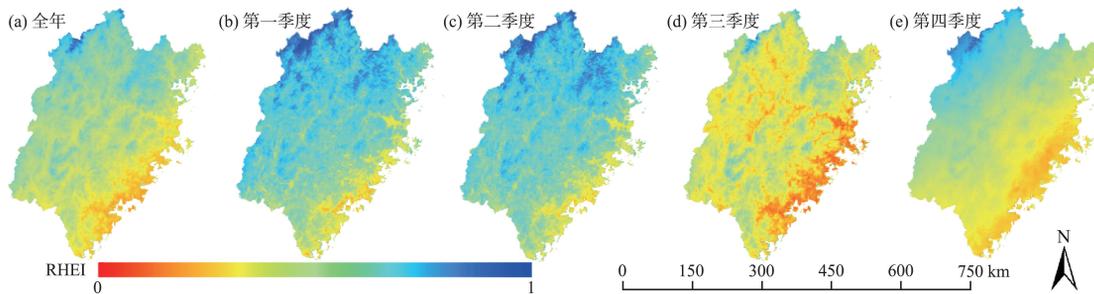


图 3 RHEI 的时空分布

Fig. 3 Spatial and temporal distribution of RHEI

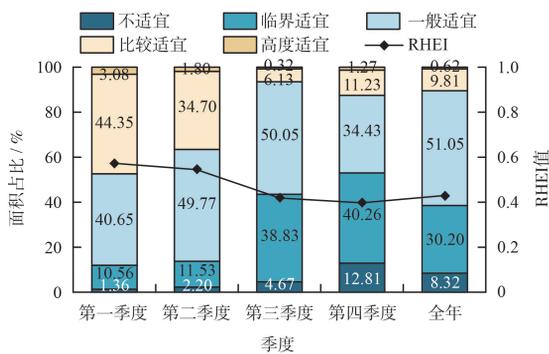


图 4 各季度 RHEI 分级统计

Fig. 4 Classification statistics of RHEI for each quarter

变化逐渐降低的趋势;高度适宜区域面积变化呈现先减少后增加的趋势,面积占比由 3.08% 下降至 0.32% 后上升至 1.27%,与之相反,不适宜区域的面积逐渐增加,面积占比由 1.36% 上升至 12.81%。相较于第一季度,第二季度不适宜区域、临界适宜区域和一般适宜区域面积增加,不适宜区域向福州市闽清市蔓延,西部的武平县、长汀县、宁化县和建宁县的部分比较适宜区人居环境质量下降,转变为临界适宜区;第三季度,不适宜区域向其周围进一步扩张,中西部地区的部分比较适宜区和

一般适宜区降为临界适宜区,比较适宜区面积占比下降了28.57%;第四季度,人居环境质量分区改变较大,一般适宜区面积占比下降了15.62%,其他区域面积均有所增长,高度适宜区域面积占比增加了0.95%,不适宜区域面积占比增长了8.14%,导致整体人居环境质量降低。

### 2.2.3 RHEI的建模与预测

为科学定量刻画区域人居环境质量,以是否满足5%的显著水平为准则,采用逐步回归分析法依次剔除未通过显著性检验的影响因素,挖掘重要影响因素,构建区域人居环境模型。通过构建福建省3×3网格,对各季度的6个指标和RHEI进行采样,共4000个样点。以区域绿度、区域热度、区域蓝度、区域亮度、区域透明度、区域起伏度指标标准化后的值 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 作为自变量,RHEI为因变量 $y$ ,建立各季度RHEI回归模型(见表4),模拟并预测区域人居环境变化趋势。

各季度的回归模型显示,6个指标都被保留下

来,说明这6个指标与区域人居环境息息相关,是评价其质量的关键指标。为进一步分析各指标对人居环境的贡献,分别统计各季度各指标的回归系数及各指标对人居环境影响的差距值和差距比例。其中,区域蓝度对区域人居环境的作用最大,区域透明度对人居环境的贡献最小。除第三季度以外,其余季度内区域起伏度、区域绿度和区域蓝度对区域人居环境产生的正面影响大于区域热度、区域亮度和区域透明度产生的综合负面影响,第三季度由于区域热度的大幅增长,区域热度、区域亮度和区域透明度产生的负面影响超过区域起伏度、区域绿度和区域蓝度的正面影响。正向指标中区域蓝度对人居环境的影响最大,负向指标中区域热度对人居环境的影响最大,正负指标对人居环境的影响差距随着季节变化呈现先增后减的趋势。以全年回归模型预测,未来每增加0.166单位的区域蓝度或减少0.278单位的区域热度,能提升0.1单位的人居环境质量。

表4 各季度RHEI回归模型

Table 4 RHEI regression model for each quarter

季度	RHEI 回归模型	差距 <sup>①</sup>	
		差距值	差距比例/%
第一季度	$y = 0.248a - 0.289b + 0.376c - 0.118d - 0.047e + 0.266f + 0.339$ ( $R^2 = 0.985$ )	0.436	51.01
第二季度	$y = 0.246a - 0.302b + 0.418c - 0.132d - 0.022e + 0.291f + 0.285$ ( $R^2 = 0.985$ )	0.499	47.75
第三季度	$y = 0.053a - 0.426b + 0.425c - 0.169d - 0.077e + 0.150f + 0.509$ ( $R^2 = 0.969$ )	-0.044	107.01
第四季度	$y = -0.053a - 0.266b + 0.594c - 0.046d + 0.271e - 0.028f + 0.304$ ( $R^2 = 0.996$ )	0.092	86.37
全年	$y = 0.012a - 0.359b + 0.601c - 0.143d + 0.017e + 0.083f + 0.364$ ( $R^2 = 0.990$ )	0.177	74.57

①差距值为 $a$ 、 $c$ 、 $f$ 系数绝对值之和与 $b$ 、 $d$ 、 $e$ 系数绝对值之和的差值;差距比例为 $b$ 、 $d$ 、 $e$ 系数绝对值之和与 $a$ 、 $c$ 、 $f$ 系数绝对值之和的比值。

### 3 结论

(1)2020年研究区区域绿度整体较高,各季度区域绿度平均值都高于0.75;各季度区域热度较高,对区域人居环境质量具有一定限制;区域蓝度较高,季节分异较大;区域亮度整体较低,没有显著的季节变化;区域透明度较低,整体空气质量较好;福建省大部分区域地形起伏度偏小。

(2)区域起伏度、区域绿度、区域热度、区域蓝度在 $PC_1$ 中对RHEI有显著影响; $PC_2$ 中占比较大的是区域起伏度和区域绿度;结合 $PC_1$ 和 $PC_2$ 发现水资源的充沛程度是区域人居环境的关键影响因素。

(3)福建省人居环境质量呈现东南沿海低、西北高、人居环境质量沿海岸线向内陆逐渐上升的空

间分布格局。福建省绝大部分地区的人居环境宜居,人居环境不适宜区面积较少,高度适宜区面积也较为局限,全省人居环境质量有待提升。

#### [参考文献]

- [1] 王秦,杨博. 雄安新区资源环境承载力评价与提升对策研究[J]. 环境监测管理与技术,2022,34(6):31-36.
- [2] 张衍春,牛煜虹,龙迪,等. 城市蔓延语境下新城市主义社区理论在中国的应用研究[J]. 现代城市研究,2013,28(12):22-29.
- [3] 沈山,马跃,胡庭浩. 基于多源数据的城市人居环境质量评价研究[J]. 西部人居环境学刊,2022,37(3):48-54.
- [4] MYERS D. Community-relevant measurement of quality of life a focus on local trends[J]. Urban Affairs Review, 1987, 23(1): 108-125.

(下转第31页)

- Korean coast: Occurrence, geographical distribution, and a potential for bioaccumulation [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 156:111275.
- [11] CRISTALE J, VÁZQUEZ A G, BARATA C, et al. Priority and emerging flame retardants in Rivers: Occurrence in water and sediment, *Daphnia magna* toxicity and risk assessment [J]. *Environment International*, 2013, 59:232–243.
- [12] WOLSCHKE H, SÜHRING R, MASSEI R, et al. Regional variations of organophosphorus flame retardants-fingerprint of large river basin estuaries/deltas in Europe compared with China [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 236:391–395.
- [13] REGNERY J, PÜTTMANN W. Organophosphorus flame retardants and plasticizers in rain and snow from Middle Germany [J]. *Clean*, 2009, 37(4/5):334–342.
- [14] FRIES E, PÜTTMANN W. Monitoring of the three organophosphate esters TBP, TCEP and TBEP in river water and ground water (Oder, Germany) [J]. *Environmental Monitoring*, 2003, 5(2):346–352.
- [15] QUINTANA J B, RODIL R, LÓPEZ-MAHÍA P, et al. Optimisation of a selective method for the determination of organophosphorous triesters in outdoor particulate samples by pressurised liquid extraction and large-volume injection gas chromatography-positive chemical ionisation-tandem mass spectrometry [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 388:1283–1293.
- [16] HUANG Y M, CHEN L G, FENG Y B, et al. Short-chain chlorinated paraffins in the soils of two different Chinese cities: Occurrence and vertical migration [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 557:644–651.
- [17] CHEN S J, LUO X J, MAI B X, et al. Distribution and mass inventories of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in sediments of the Pearl River Estuary and the Northern South China Sea [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(3):709–714.
- [18] 冯力柯, 陈焱, 袁绍春, 等. 基于 SOM 网络的山地城市径流污染影响因素研究 [J]. *环境监测管理与技术*, 2021, 33(4):19–24.
- [19] ZENG X Y, XU L, LIU J, et al. Occurrence and distribution of organophosphorus flame retardants/plasticizers and synthetic musks in sediments from source water in the Pearl River Delta, China [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2018, 37(4):975–982.
- [20] 曹美苑. 室内空气/室外大气中有机磷酸酯阻燃剂的分配特征研究 [D]. 广州: 中山大学, 2012.
- [21] NIU Z G, ZHANG Z Z, LI J F, et al. Threats of organophosphate esters (OPEs) in surface water to ecological system in Haihe River of China based on species sensitivity distribution model and assessment factor model [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(11):10854–10866.
- [22] 郑可. 珠江流域野生淡水鱼类中塑料及有机磷塑料添加剂污染 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2019.
- .....
- (上接第24页)
- [5] FRADKIN A. Early human settlement and natural formation of the Florida Everglades, USA: The ichthyoarchaeological evidence [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2016, 8:463–469.
- [6] JAGHER R, ELSUEDE H, LE TENSORER J M. El Kowm Oasis, human settlement in the Syrian Desert during the Pleistocene [J]. *L'Anthropologie*, 2015, 119(5):542–580.
- [7] REINMANN A B, HUTYRA L R, TRILICA A, et al. Assessing the global warming potential of human settlement expansion in a mesic temperate landscape from 2005 to 2050 [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 545:512–524.
- [8] 李雪铭, 徐梁, 田深圳, 等. 基于地理尺度的中国人居环境研究进展 [J]. *地理科学*, 2022, 42(6):951–962.
- [9] 宾津佑, 唐小兵, 陈士银. 广东省县域乡村人居环境质量评价及其影响因素 [J]. *生态经济*, 2021, 37(12):203–209.
- [10] 王小鹏, 何启明. 甘肃省乡村人居环境质量测度与关键驱动因子分析 [J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(8):1030–1040.
- [11] 夏小园, 陈颖明, 郝晴, 等. 基于地理探测器的江苏省城市人居环境适宜性时空变化研究 [J]. *水土保持通报*, 2020, 40(3):289–296.
- [12] 梁晨, 李建平, 李俊杰. 基于“三生”功能的我国农村人居环境质量与经济发展协调度评价与优化 [J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(10):19–30.
- [13] 冯琰玮, 甄江红. 内蒙古自治区人居环境综合适宜性评价及空间优化 [J]. *地球信息科学学报*, 2022, 24(6):1204–1217.
- [14] 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.
- [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):1940–1950.
- [16] 邹丹, 周玉科, 林金堂, 等. 利用夜间灯光分析胡焕庸线两侧社会经济发展不均衡状况 [J]. *遥感技术与应用*, 2022, 37(4):929–937.
- [17] 黎江韵. 技术创新与区域经济发展时空格局演化分析——基于 NPP/VIIRS 夜间灯光数据 [J]. *地域研究与开发*, 2022, 41(3):1–5.
- [18] 李杨, 刘永和, 王西岳, 等. 焦作市 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 时空变化特征及其与气象因子的关系 [J]. *环境工程*, 2022, 40(9):44–53.
- [19] 李慧杰, 王秀兰, 王计平, 等. 2013—2017 年间京津冀地区空气质量及影响因素分析 [J]. *环境监测管理与技术*, 2019, 31(2):21–25.
- [20] 郑瑶, 王潇磊, 邢昱, 等. 基于大数据智能技术的空气质量综合分析系统设计和应用 [J]. *环境监测管理与技术*, 2022, 34(4):27–31.
- [21] 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.