

# 基于遥感生态指数的近35年城市地表生态环境 质量变化评价

——以杭州市余杭区为例

叶燃·努尔赛力克

阿拉山口市气象局(气象台), 新疆 阿拉山口

收稿日期: 2024年12月7日; 录用日期: 2025年1月8日; 发布日期: 2025年1月17日

## 摘要

自21世纪初以来,随着我国城市化步伐的加快,早期在城市发展过程中对生态环境保护的忽视导致了一些负面效应。然而,近期国家对生态文明建设的重视程度显著提升,这对提升城市生态环境质量产生积极影响。为了科学地评价我国城市生态文明建设的成效,对城市生态环境质量进行评估变得尤为重要。本文以1987年、2004年和2022年Landsat系列遥感影像为基础数据源,提取反映生态环境质量的绿度(NVDI)、湿度(WET)、热度(LST)和干度(NDBSI)四个指标,通过计算遥感生态指数(RSEI)对杭州市余杭区近35年内的城市生态环境质量进行评估。结果显示,余杭区在1987至2022年,生态环境质量经历了先逐渐变差再逐渐转好的过程。1987、2004、2022年RSEI平均值分别为0.802、0.765、0.735。1987到2022年研究区变差面积为295.2 km<sup>2</sup>, 占总面积的31.78%; 不变的面积为447.65 km<sup>2</sup>, 占总面积的47.28%; 变好的总面积为203.92 km<sup>2</sup>, 占总面积的21.53%。研究区变差的区域主要是仁和、良渚、勾庄、未来科技城等; 变好的区域是径山、余杭、中泰、闲林等。总的来说,余杭区城市生态环境质量先是变差,近些年来正在逐渐改善。

## 关键词

遥感生态指数, 生态环境评价, 主成分分析, 余杭区

# Evaluation of Urban Surface Ecological Environment Quality Changes over the Past 35 Years Based on Remote Sensing Ecological Index

—A Case Study of Yuhang District, Hangzhou City

Yeran Nuersailike

Alashankou City Meteorological Bureau (Meteorological Station), Alashankou Xinjiang

Received: Dec. 7<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 8<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 17<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

Since the beginning of the 21st century, with the accelerated pace of urbanization in China, the initial neglect of ecological environment protection in the process of urban development has led to some negative effects. However, in recent years, the level of attention paid by the country to ecological civilization construction has significantly increased, which has a positive impact on improving the quality of urban ecological environment. It is particularly important to scientifically evaluate the effectiveness of China's urban ecological civilization construction by assessing the quality of urban ecological environment. In this study, based on Landsat series remote sensing images from 1987, 2004, and 2022, we extracted four indicators reflecting the quality of ecological environment: Normalized Vegetation Difference Index (NVDI), Wetness (WET), Land Surface Temperature (LST), and Normalized Difference Built-up Index (NDBSI). By calculating the Remote Sensing Ecological Index (RSEI), we evaluated the quality of urban ecological environment in Yuhang District of Hangzhou City over the past 35 years. The results showed that the ecological environment quality in Yuhang District underwent a process of gradual deterioration followed by gradual improvement from 1987 to 2022. The average values of RSEI in 1987, 2004, and 2022 were 0.802, 0.765, and 0.735 respectively. From 1987 to 2022, the area of deterioration in the study area was 295.2 km<sup>2</sup>, accounting for 31.78% of the total area; the unchanged area was 447.65 km<sup>2</sup>, accounting for 47.28% of the total area; and the improved area was 203.92 km<sup>2</sup>, accounting for 21.53% of the total area. The deteriorated areas in the study area were mainly Renhe, Liangzhu, Gouzhuang, and Future Science and Technology City, while the improved areas were Jingshan, Yuhang, Zhongtai, and Xianlin. Overall, the quality of urban ecological environment in Yuhang District first deteriorated and has gradually improved in recent years.

## Keywords

Remote Sensing Ecological Index, Ecological Environment Evaluation, Principal Component Analysis, Yuhang District

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

余杭区，作为杭州的一个区，以其农业的繁荣和丝绸产业的发达而闻名。自改革开放以来，该地区的经济结构发生了显著的转变，工业逐渐成为主要力量。自 1990 年代起，余杭区凭借其强劲的工业实力，在全国综合实力百强县(市、区)中排名第 20 位，并且被认定为浙江省内的经济强区之一。到了 2012 年，余杭区的经济发展更是达到了全国百强区(县)的第九位，显示了其经济实力的显著提升和区域竞争力的增强。随着工业水平的增长，生态面临着严峻的考验，其城市生态环境质量在近年来是否通过生态改造而有所改善是本研究的主要目的。本文利用遥感数据，选择遥感生态指数模型，通过相关技术支持，完成该区域生态环境定量研究及其质量时空变化规律分析工作，探讨该区域生态环境质量变化的重要影响因素，确保该区域生态环境治理与生态文明建设获得一些有用参考。

自 2013 年徐涵秋提出 RSEI 方法后, 国内学者纷纷学习该方法并对国内各个城市生态质量进行了评测[1]。20 世纪 80 年代国家大力发展基础设施建设, 研究热点开始转向为大型建设工程项目的生态环境影响评价。如刘智等人利用 Landsat 遥感影像数据对浙江省杭州市城市生态环境质量变化展开研究, 研究表明, 杭州市的总体生态环境质量在 1989 年至 2010 年间持续下降。由研究发现, 老城区的生态环境质量呈现向好的趋势, 而新城区的生态环境质量变差较为显著。造成杭州市生态环境质量不断下降的主要原因在于建筑用地的大规模扩张[2]。张浩等人获得遥感生态指数, 结果得到南京市的生态环境质量在下降。生态环境得到改善的区域主要分布在以明城墙为结界的老城区和周边, 而生态环境恶化的区域则主要分布在新近建设的“一城三区”[3]。章勇及其团队利用 Landsat8 卫星数据, 成功提取了包括干度、湿度、绿度和温度在内的四个关键生态指标。通过应用主成分分析技术, 他们做了一个遥感生态综合指数, 该指数用于量化和评估贵池区的生态环境质量[4]。19 年林东风等人用新型遥感生态指数对福州新区做生态质量评价[5]。张秦瑞及其研究团队致力于深入理解城市化进程对生态环境的影响, 为此他们做了一种改进型遥感生态指数(IRSEI)。并通过主成分分析和相关性分析方法对 IRSEI 进行了深入研究。他们还创建了一个基于 IRSEI 的生态评价模型, 专门用于评估宜宾市三江汇合区从 2013 年到 2020 年的生态环境变化[6]。

总体而言, 国内对于城市地表生态环境质量变化的研究已经取得了一些进展, 但仍需进一步深入研究问题, 探索更有效的评价方法和管理策略, 为城市可持续发展提供科学依据[7]。

## 2. 研究区概况

杭州市余杭区位于杭州市西北部, 是一个县级市辖区。东部与金华毗邻, 南部与湖州接壤, 西部和北部与萧山区相连, 东经 120°51'15"~120°55'16", 北纬 30°37'10"~30°52'06"。余杭土地利用类型主要以建设用地为主, 占全区总面积的 56.7%, 其次为林地、水域和草地, 余杭区概况图如图 1 所示。

春季、冬季和夏季风的交替出现, 伴随着冷暖气流的频繁活动, 春季降水连绵, 风向变化无常, 天气变化较大。梅雨季节和台风暴雨季节分别在 5、6 月和 8、9 月, 降水强度大, 这两个季节的降水量占全年的 2/3 以上。受季风影响, 夏季主要是东南风盛行, 冬季则是西北风。

## 3. 资料与方法

### 3.1. 数据资料

Landsat 卫星系列的发展始于 1972 年 7 月 23 日, 当时首颗卫星被成功发射, 随后发射了另外 7 颗卫星, 依次命名为 Landsat1 至 Landsat8。Landsat 系列遥感影像具有易获取、分辨率较高、时间跨度大、多波段的优点。本文选用来源于美国国家地质勘探局官网的遥感影像资料, 通过该网站本文选取了杭州市余杭区 1987 年 6 月 17 日、2004 年 7 月 26 日、2022 年 7 月 28 日三个年份的遥感影像, 该区域共有一幅影像覆盖, 包括 Landsat TM、Landsat OLI\_TIRS。详情如表 1 所示。

**Table 1.** Acquisition time and parameters of remote sensing images in the study area

**表 1.** 研究区遥感影像获取时间和参数

遥感影像获取时间	卫星名称	传感器	空间分辨率	等级
1987 年 6 月 17 日	Landsat-5	TM	30 m	L1
2004 年 7 月 26 日	Landsat-5	TM	30 m	L1
2022 年 7 月 28 日	Landsat-8	OLI_TIRS	30 m	L1

## 3.2. 研究方法

### 3.2.1. 生态环境指标构建

遥感技术能够快速、高效、准确的获取地理空间数据。遥感生态指数(RSEI)基于遥感技术提取并集成了绿度、湿度、干度、热度等生态指标因素, 这些指标因素能够准确表达生态环境的质量。RSEI 被定义为包括归一化植被指数、湿度分量缨帽变换、建筑和裸地指数、地表温度在内的多个指标, 它们分别代表了绿度、湿度、干度和热度等四个方面, 其函数表达式为:

$$RSEI = f(NDVI, WET, NDSI, LST) \quad (1)$$

式中,  $NDVI$  代表的是归一化植被指数,  $WET$  代表的是缨帽变换所得的湿度成分,  $NDSI$  代表的是建筑和裸土指数,  $LST$  代表的是地表温度[8]。

### 3.2.2. 生态指标归一化

因为选用的四个生态环境指标具有各不相同的量纲和单位, 这将直接对 RSEI 的建立和分析产生影响, 因此必须对这些指标进行归一化处理, 使其统一在[0, 1]范围内, 以消除指标间的尺度影响。目前数据归一化的方法有 Min-Max 归一化、正反切函数归一化等方法。由于 Min-Max 归一化具有对原数据做处理之后并不改变数据分布的优点, 因此本文选用该方法来对数据做归一化处理, 公式如下:

$$Nli = (I_i - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (2)$$

$Nli$  代表像元值,  $I_i$  代表该指标在像元  $I_{\max}$  处的值,  $I_{\min}$  代表该指标在影像中的最大[9]。

### 3.2.3. 主成分分析法

主成分分析(PCA)是一种统计分析方法, 它通过进行正交变换来将一个可能存在统计相关性的随机变量转换成一组线性且相互独立的新变量, 这组新变量被称为主成分。PCA 的数学表示是将原始数据的协方差矩阵转换为对角阵, 在几何上则是将原始坐标系转换为一个全新的正交坐标系[10]。新坐标轴(即主成分轴)与原始数据中变异最大的方向对齐[11]。主成分分析法用数学方式表达时, 首先要假设一个数据集  $X$ , 该数据集中包含个  $n$  样本和  $p$  个变量, 从而构成一个  $n \times p$  阶的数学矩阵[12]:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, 将数据集  $X$  的第  $i$  个列变量记为  $x_i$ , 那么  $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, \cdots, x_{ni})^T$ ,  $I = (1, 2, \cdots, p)$ , 主成分分析就是将数据集  $X$  原始的  $p$  个变量  $x_1, x_2, \cdots, x_p$  经过线性组合[13], 形成新的  $p$  个变量, 即

$$\begin{bmatrix} F_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1p}x_p \\ F_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2p}x_p \\ \cdots \\ F_p = a_{p1}x_1 + a_{p2}x_2 + \cdots + a_{pp}x_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

可以简化为:

$$F_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \cdots + a_{ip}x_p \quad (5)$$

式中  $F_i$  和  $x_i$  同为  $n$  维变量,  $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{ip})$ ,  $i = 1, 2, \cdots, p$ 。为对运算加以限制, 上述模型应满足以下三种条件:

$F_i$  和  $F_j$  之间相互独立, 即  $Cov(F_i, F_j) = 0 (i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, p)$  [14];

$$a_{1i}^2 + a_{2i}^2 + \dots + a_{pi}^2 = 1, i = (1, 2, \dots, p);$$

$F_1$  的方差大于  $F_2$  的方差并以此类推至  $F_p$  [15]。

通过主成分分析之后原样本中的变量个数会减少很多, 并且在后续的变量中, 主成分的贡献率可以作为判断选择主成分比重的标准。随着方差的减小, 主成分所保留的原始信息也会逐渐减少。因此, 选择保留的主成分数量需要根据实际问题 and 数据特点综合考虑, 一般来说, 该主成分的贡献比例越高, 则保留的原始数据信息就越多[16]。其计算公式如下:

贡献率:

$$F_1 = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (6)$$

累计贡献率:

$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \quad (7)$$

$n (n < p)$  代表几个主成分,  $p$  代表主成分的个数,  $\lambda_i$  代表主成分的特征值,  $i = 1, 2, \dots, p$ 。

### 3.2.4. 构建遥感生态指数

获得绿度、湿度、干度以及热度四个生态环境指标数据后, 可借助 ENVI 5.6 遥感影像处理平台的 Layer 工具将影像组合形成一幅图像, 然后运用平台工具箱中的主成分分析工具执行主成分分析。PCA 的结果会生成多个主成分, 其中第一主成分(PC1)通常解释了数据方差的最大部分, 可被视为对原始遥感生态指数的一个综合表达。然而, 为了使遥感生态指数在不同时间或空间尺度上具有可比性, 需要对其进行归一化处理:

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{\min}}{RSEI_{\max} - RSEI_{\min}} \quad (8)$$

式中,  $RSEI$  代表 RSEI 最终结果, 数值区间是[0, 1],  $RSEI$  较大时生态环境质量较好, 反之较差。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 主成分分析

**Table 2.** Results of principal component analysis for various indicators in the study area

**表 2.** 研究区各指标主成分分析结果

年份	主成分	NDVI	WET	NDSI	LST	特征值	贡献率(%)
1987 年	PC1	0.080	0.882	-0.012	-0.462	0.015	77.33
	PC2	0.222	0.417	-0.429	-0.769	0.005	11.13
	PC3	0.281	-0.198	0.887	-0.305	0.005	9.66
	PC4	0.929	0.083	-0.167	0.316	0.001	1.88
2004 年	PC1	0.030	0.787	-0.490	-0.372	0.025	78.07
	PC2	-0.043	0.507	0.858	-0.061	0.008	12.47
	PC3	0.310	-0.333	0.149	-0.877	0.003	9.00
	PC4	-0.949	-0.106	-0.006	-0.296	0.001	0.09

续表

2022 年	PC1	0.057	0.899	-0.281	-0.327	0.025	82.92
	PC2	0.206	0.398	-0.822	-0.349	0.003	10.30
	PC3	-0.416	0.145	-0.493	0.749	0.002	6.51
	PC4	0.883	0.103	-0.021	0.456	0.001	0.27

本文根据第四章中介绍的遥感生态指数模型来构建杭州市余杭区的生态环境质量模型。首先利用 ENVI5.6 遥感数据处理平台提取杭州市余杭区的绿色度、湿度、干度、热度指标，四个指标进行归一化处理，在统一量纲后利用 Layer 工具叠加合成为一幅图像，然后通过对叠加图层进行主成分变换，获得主成分分析结果，根据表 2 的数据，我们能够检视三个不同年度的第一主成分(PC1)的特征值贡献情况。在 1987 年，第一主成分的特征值贡献率为 77.33%，2004 年略有上升，达到了 78.07%，而到了 2022 年，这一比例进一步增加，达到了 82.92%。这表明在这三个年份中，第一主成分均捕获了大部分由四个生态指标构成的信息，其贡献率均超过了 75%。所以可通过第一主成分结果计算遥感生态指数。在分析数据的基础上，能够判断构建 RSEI 所需主成分，再提取出  $RSEI_0$  最后根据公式(21)计算出最终 RSEI。

#### 4.2. 遥感生态指数计算结果

本课题结合研究区三期遥感影像，依靠 ENVI5.6 平台提取出 NDVI、WET、NDSI、LST 四个生态指标，再通过归一化、合成指标、PCA 等步骤求出三期研究区内 RSEI 值，同时把 RSEI 取值区间集中到[0, 1]。RSEI 本质上是一项可以表明区域内生态环境质量综合型指数，在相关研究领域得到广泛使用，能够反映出真实情况。根据表 3 的数据不难发现，1987 年、2004 年、2022 年研究区 RSEI 平均值依次是 0.802、0.737、0.765，前期呈下降趋势，后期又略微好转。

Table 3. RESI statistics for the study area

表 3. 研究区 RESI 统计表

年份	最小值	最大值	平均值	标准差
1987	0	1	0.802	0.116
2004	0	1	0.737	0.145
2022	0	1	0.765	0.134

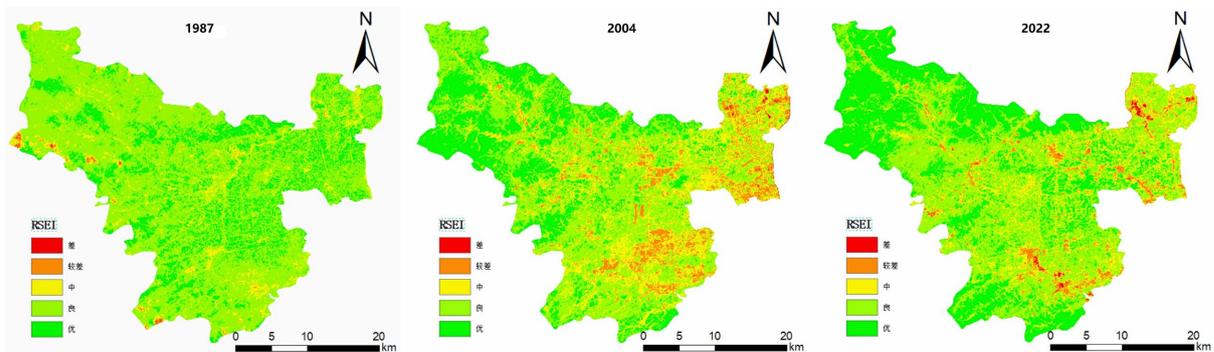


Figure 1. Spatial distribution of RSEI classes by year

图 1. 各年份 RSEI 等级空间分布图

从图 1 (来源: 国家地理信息公共服务平台天地图 <https://www.tianditu.gov.cn/>)中可以看出, 在 2004 年, 发现研究区内存在生态环境质量差的区域分布面积最为广泛, 超过了其他两个时期, 主要分布在研

究区的东北与东南两侧；2022 年研究区内生态环境质量差区域分布面积明显缩小，主要沿公路、河道、城镇等人类活动密集的地区分布；2022 年研究区内生态环境质量差的区域则更为集中，而且分布面积明显少于 2004 年。2004 到 2022 年生态环境质量差区域主要集中于城镇区，而优区域主要集中于人类活动影响小、植被良好区域。从另外一方面来看，2004 年研究区内的遥感生态指数远低于 1987 年时期，是因为当时为了快速发展经济，加快城镇进程，大力进行围湖造田工程，从而直接影响自然生态系统，加之水土过度流失与垦殖率过高、农业人口众多，在气候、地形等因素共同作用下，造成 RSEI 值偏小、生态环境质量变差；到了 2022 年，研究区内的遥感生态指数值由 0.737 升高至 765，共增加了 0.028，是由于国家开始重视生态环境质量，出台相关政策，治理当地环境。

### 4.3. 遥感生态指数分级变化

通过重分类的工具以等间距分隔法将 RSEI 分为 5 个等级，再利用空间统计方法可以计算得出 1987 年、2004 年、2022 年杭州市余杭区不同等级生态环境质量的分布和面积占比情况。由表 4 和图 2 可知，1987 年到 2022 年杭州市余杭区 3 个时期的 RSEI 分布情况和面积占比均存在差异，表示在过去 35 年间杭州市余杭区生态环境质量状况发生了变化。

**Table 4.** Area and proportion of different RESI classes in the study area

**表 4.** 研究区 RESI 不同等级面积及占比

年份	等级	分级范围	面积(km <sup>2</sup> )	面积占比(%)
1987	差	0~0.2	0.40	0.04
	较差	0.2~0.4	4.46	0.04
	中	0.4~0.6	81.93	8.65
	良	0.6~0.8	656.91	69.38
	优	0.8~1	203.07	21.44
2004	差	0~0.2	3.41	0.36
	较差	0.2~0.4	41.62	4.39
	中	0.4~0.6	140.03	14.79
	良	0.6~0.8	452.81	47.82
	优	0.8~1	308.91	32.62
2022	差	0~0.2	1.76	0.18
	较差	0.2~0.4	72.81	7.69
	中	0.4~0.6	208.05	21.97
	良	0.6~0.8	444.60	46.95
	优	0.8~1	219.54	23.18

为了更清晰地了解和分析杭州市余杭区 1987 年到 2022 年生态质量状况的时空变化规律，本研究使用 ArcGIS10.6 软件，利用空间分析工具中的重分类功能，通过数学分析的差值运算法将前文得到的三个时期遥感生态指数计算结果两两相减，得到杭州市余杭区 1987~2004 年、2004~2022 年、1987~2022 年生态环境质量变化图，再利用空间分析工具中的重分类功能，将差值结果分为变差、不变和变好三个类别，其中变差和变好又分为两个级别，变差有明显变差及略微变差，变好有明显变好及略微变好，级别越高则变化越明显。

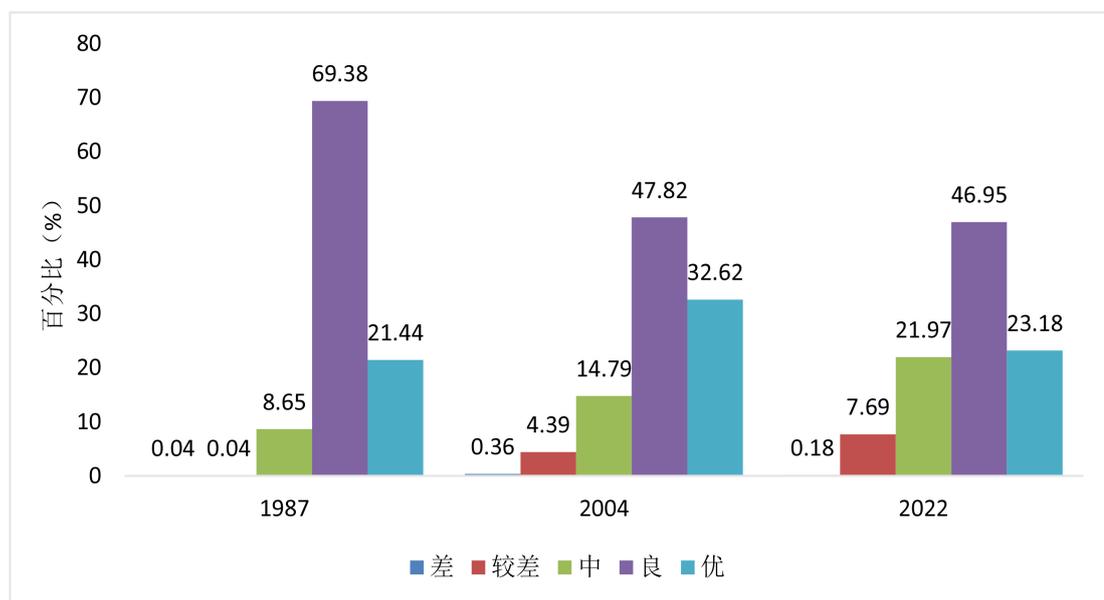


Figure 2. Bar chart of proportions of different ecological grades for each year  
图 2. 各年份不同生态等级占比柱状图

Table 5. Changes in ecological classifications across years

表 5. 各年份间生态等级变化表

时段	类别	情况	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)	类面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)
1987~2004	变差	明显变差	3.47	0.36	310.93	32.83
		略微变差	307.46	32.47		
	不变	无明显变化	450.58	47.59	450.58	47.59
	变好	略微变好	139.39	14.72	185.26	19.56
		明显变好	45.87	4.84		
2004~2022	变差	明显变差	1.73	0.18	227.72	23.25
		略微变差	211.47	22.33		
	不变	无明显变化	442.60	46.74	442.60	46.74
	变好	略微变好	218.51	23.07	276.45	29.99
		明显变好	72.46	7.66		
1987~2022	变差	明显变差	46.7	5.10	252.20	31.17
		略微变差	218.50	23.07		
	不变	无明显变化	447.65	47.28	447.65	47.28
	变好	略微变好	202.08	21.34	236.92	21.53
		明显变好	31.84	3.19		

由表 5 可知, 从 1987 年到 2022 年这 35 年的数据来看, 生态环境质量为不变类别的面积最多, 达到了 447.65 km<sup>2</sup>, 占据总面积的 47.28%。在生态环境质量变差的类别中, 明显变差和略微变差的面积分别为 46.7 km<sup>2</sup> 和 218.50 km<sup>2</sup>, 其面积占比分别为 5.10% 和 23.07%, 变差类别的总面积为 252.20 km<sup>2</sup>, 占据

了所有类别总面积的 31.17%。在对生态环境质量变化的分析中,我们注意到,在生态环境质量下降的区域中,大部分地区显示出轻微退化的趋势,而只有较小部分区域遭受了明显的退化。与此同时,在生态环境质量提升的区域里,显著改善的区域面积为 202.08 km<sup>2</sup>, 占总面积的 21.34%, 而轻微改善的区域面积较小, 仅为 31.84 km<sup>2</sup>, 占总面积的 3.19%。变好类别的总面积合计为 236.92 km<sup>2</sup>, 占有类别总面积的 21.53%。综合来看, 35 年间研究区生态环境变差的速度明显超过生态环境变好的速度, 生态环境质量总体上呈现出降低的趋势。这一趋势需要引起重视, 并且需要采取有效的措施来改善和保护生态环境。

## 5. 结论与讨论

本文通过 Landsat 遥感影像提取了余杭区的绿度、湿度、干度和热度指数, 利用主成分分析法构建出遥感生态指数, 对杭州市余杭区在 1987 年、2004 年和 2022 年的生态环境质量进行了评估。通过分析 RSEI 的时空变化, 可以揭示杭州市余杭区在过去 35 年里经济发展过程中生态环境质量的变化情况。

(1) 基于绿度、湿度、干度、热度指标构建生态环境指标, 探究了杭州市余杭区 1987~2022 年影响生态环境质量的各指标因子的演变趋势。绿度、湿度、干度、热度指标都为描述生态环境质量优劣时关键分量, 可有效表明研究区植被生长及其与土壤含水量、土地干化、LST 等信息。1987 年、2004 年、2022 年绿度指标均值是 0.65、0.63、0.61, 呈现不断下降趋势, 湿度指标均值是 0.67、0.72、0.79, 呈现不断上升趋势, 干度指标均值是 0.57、0.52、0.59, 呈现先下降再上升的趋势, 热度指标均值是 0.46、0.39、0.49, 呈现先下降再上升的趋势。

(2) 在对杭州市余杭区从 1987 年至 2022 年的生态环境质量进行的长期研究中, 遥感生态指数(RSEI)的平均值依次是 0.802、0.737、0.765, 呈现先下降后上升的趋势。1987 到 2022 年, 下降幅度大约为 4.613%。尽管整体下降幅度不大, 但在某些局部区域生态环境质量的退化更为明显。此外, 城市化的快速推进导致了建设用地的显著增加, 这对生态环境产生了压力。植被覆盖度的减少和不透水表面的增加被认为是影响生态环境质量下降的主要因素。这些变化可能是由于城市扩张、土地利用变化、自然和人为干扰等原因造成的。为了应对这些挑战, 可能需要采取一系列措施, 包括但不限于城市规划的优化、生态保护区域的划定、绿色基础设施的建设以及可持续土地管理实践的推广。通过这些努力, 可以期望减轻城市化对生态环境的负面影响, 促进生态环境的恢复和可持续性。

(3) 基于遥感生态指数, 探究了杭州市余杭区 1987~2022 年生态环境质量时空变化差异。由空间序列角度分析可知, 1987~2004 年生态环境质量变差面积占比较大, 2004~2022 年研究区生态环境质量略微好转。整体来看, 研究区变差的区域主要是仁和、良渚、勾庄、未来科技城等; 变好的区域是径山、余杭、中泰、闲林等。从时间序列的角度分析可以发现, 1987 年到 2022 年研究区生态环境质量为不变类别的面积达到了 447.65 km<sup>2</sup>, 占总面积的 47.28%, 而变差类别的面积比变好类别的面积多了大约 13.27%, 说明研究区的生态环境大部分没有发生变化, 但主要呈现出变差的趋势。本研究为当地生态保护政策的制定提供一定依据。

本研究的研究结果与杨惠麟, 张存波等人对成都市生态质量评测研究结果相似[17], 研究区生态环境质量在 1987 到 2004 年有下降趋势, 2004 年到 2022 年有略微改善的趋势, 当地应保持生态环境治理。

## 参考文献

- [1] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [2] 刘智才, 徐涵秋, 李乐, 等. 基于遥感生态指数的杭州市城市生态变化[J]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(4): 728-739.
- [3] 张浩, 杜培军, 罗洁琼, 等. 基于遥感生态指数的南京市生态变化分析[J]. 地理空间信息, 2017, 15(2): 58-62.
- [4] 章勇, 姚志强. 基于遥感生态指数的贵池区生态环境评价[J]. 池州学院学报, 2018, 32(3): 75-77.

- 
- [5] 林冬凤, 邹源涛, 王陶, 等. 基于新型遥感生态指数的福州新区生态质量评价[J]. 龙岩学院学报, 2019, 37(2): 65-69.
- [6] 张秦瑞, 赵良军, 林国军, 等. 改进遥感生态指数的宜宾市三江汇合区生态环境评价[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(1): 230-237.
- [7] 刘英, 党超亚, 岳辉, 等. 改进型遥感生态指数与 RSEI 的对比分析[J]. 遥感学报, 2022, 26(4): 683-697.
- [8] 罗马诗艺, 陶荣, 张城芳, 等. 基于遥感生态指数的宜昌市区生态环境变化研究[J]. 地理空间信息, 2022, 20(5): 12-17.
- [9] 聂国梅. 遥感生态指数构建在自然生态环境监测中的应用——以滁州市为例[J]. 资源信息与工程, 2022, 37(6): 94-97.
- [10] 闫野. 应用遥感生态指数评价生态环境质量[J]. 北京测绘, 2023, 37(2): 218-225.
- [11] 汤伟宏, 周振宏, 刘东义, 等. 基于遥感生态指数的生态环境质量评价——以安徽省合肥市为例[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2023, 51(2): 68-76.
- [12] 周寅桥, 李雄. 基于遥感生态指数模型的扬州生态环境质量时空变化分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2023, 44(3): 136-146.
- [13] 杨应增, 周来丰, 夏伟, 等. 基于遥感生态指数的贵安新区生态质量变化分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(7): 65-70.
- [14] 王新驰, 鲁铁定, 龚循强, 等. 基于改进遥感生态指数的南昌市生态环境质量监测与评价[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(35): 15319-15327.
- [15] 冯自贤, 余璐, 王秀慧, 等. 基于改进遥感生态指数的宁夏生态环境质量时空变化[J]. 生态环境学报, 2024, 33(1): 131-143.
- [16] 姜祥乐, 吴天振, 李代伟, 等. 基于改进遥感生态指数的金寨县生态环境质量评价[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2024, 23(1): 75-85.
- [17] 杨惠麟, 张存波, 赵祺. 基于 RSEI 模型的成都市生态环境遥感评价[J]. 科学技术创新, 2024(8): 38-41.