

# 基于 LECI 的三峡库区重庆段景观生态敏感性分析及 关键修复区识别

彭春花<sup>1,3</sup>, 周启刚<sup>1,2,3</sup>, 孟浩斌<sup>1,3</sup>, 李明慧<sup>1,3</sup>, 周浪<sup>1,3</sup>, 刘栩位<sup>1,3</sup>

(1.重庆工商大学 环境与资源学院, 重庆 400067; 2.重庆工商大学 旅游与国土资源学院,  
重庆 400067; 3.生态环境空间信息数据挖掘与大数据集成重庆市重点实验室, 重庆 401320)

**摘 要:**景观生态环境状况好坏是景观生态系统对自然环境变化和人类活动干扰程度及生态环境问题发生可能性大小的一种反映。基于景观功能和景观格局组成要素,构建了包含 11 个指标的景观生态状况评价模型,采用景观生态状况指数(LECI)及景观生态敏感性指数(LESI),揭示了 2002—2017 年三峡库区重庆段景观生态状况时空变化特征,识别了景观生态关键修复区。结果表明:(1) 2002—2017 年,研究区景观生态状况空间分布具有较好的一致性,等级值呈现从东到西逐渐减小趋势。2012 年是三峡库区重庆段景观生态环境状况变化的转折点,此后景观生态环境状况逐渐变好;(2) 2002—2007 年景观生态敏感性以微负敏感为主,占研究区的 49.843%。2007—2012 年和 2012—2017 年景观生态敏感性以中性敏感为主,分别占研究区的 47.426%, 98.208%。研究年限内区域整体生态在向好的方向转变;(3) 近 15 年,研究区东部景观生态敏感性等级波动变化主要为波动增强型,南部主要为持续稳定型,西部主要为持续弱化型,北部主要为波动弱化型。研究区整体景观生态稳定性较低,西部及北部区域需警惕景观生态退化风险;(4) 识别研究区生态修复关键区域面积共 999.83 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 2.17%,同时提出了生态修复策略以治理区域环境及保护景观生态。本研究丰富了区域景观生态评价方法,也对生态敏感区和修复区的评估具有一定的借鉴意义。

**关键词:**三峡库区重庆段; 景观生态状况指数; 景观生态; 敏感性

**中图分类号:** X321

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2021)03-0325-06

## Identification of Key Ecological Restoration Areas of Landscape Based on Positive and Negative Sensitivity Analysis

PENG Chunhua<sup>1,3</sup>, ZHOU Qigang<sup>1,2,3</sup>, MENG Haobin<sup>1,3</sup>,

LI Minghui<sup>1,3</sup>, ZHOU Lang<sup>1,3</sup>, LIU Xuwei<sup>1,3</sup>

(1.College of Environment and Resources, Chongqing Technology and Business

University, Chongqing 400067, China; 2.School of Tourism and Land Resources, Chongqing

Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 3.Chongqing Key Laboratory of

Spatial Data Mining and Big Data Integration for Ecology and Environment, Chongqing 401320, China)

**Abstract:** The status of the landscape ecological environment is a reflection of the degree of interference of the landscape ecosystem to the changes in the natural environment and human activities, as well as the possibility of ecological environmental problems. Based on landscape functions and landscape pattern components, we constructed a landscape ecological status evaluation model with 11 indicators. Using the Landscape Ecological Status Index (LECI) and the Landscape Ecological Sensitivity Index (LESI), we revealed the characteristics of temporal and spatial changes of landscape ecological conditions in Chongqing section of the Three Gorges Reservoir from 2002 to 2017, and identified key restoration areas of landscape ecology. The results show that: (1) from 2002 to 2017, the spatial distribution of landscape ecological conditions in the study area had a good consistency, and the grade value showed a gradually decreasing trend from east to west; a turning point for the changes in the landscape ecological environment in the Chongqing section of the Three Gorges

收稿日期: 2020-07-19

修回日期: 2020-08-12

资助项目: 重庆市技术创新与应用发展重点研发项目(cstc2018jszx-zdyfxmX0021); 重庆市基础研究与前沿探索项目(cstc2018jcyjAX0497); 重庆工商大学创新型科研项目(yjcx2020-094-74)

第一作者: 彭春花(1995—), 女, 重庆开州人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境规划与管理。E-mail: 827055619@qq.com

通信作者: 周启刚(1976—), 男, 重庆铜梁人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为环境规划与管理。E-mail: zqg1050@126.com

Reservoir area was found in 2012; since then, the landscape ecological environment had gradually improved; (2) from 2002 to 2007, the landscape ecological sensitivity was dominated by slight negative sensitivity, accounting for 49.843% of the study area; in the periods of 2007—2012 and 2012—2017, the landscape ecological sensitivity was mainly neutral sensitivity, accounting for 47.426% and 98.208% of the study area, respectively; during the study period, the overall ecology of the region was changing into the better condition; (3) in the past 15 years, the changes in the landscape ecological sensitivity level in the eastern part of the study area were mainly volatility enhancement, the southern part was mainly continuous and stable, the west was mainly continuously weakened, and the north was mainly volatile; the overall landscape ecological stability of the study area was low, and the western and northern regions need to be alerted to the risk of landscape ecological degradation; (4) the key area of ecological restoration in the study area was 999.83 km<sup>2</sup>, accounting for 2.17% of the total area of the study area, and ecological restoration was proposed; the strategies to manage the regional environment and protect the landscape ecology were put forward. This study can enrich the regional landscape ecological evaluation methods, and also provide certain reference significance for the evaluation of ecologically sensitive areas and restoration areas.

**Keywords:** Chongqing section of the Three Gorges Reservoir area; landscape ecological condition index; landscape ecology; sensitivity

近年来,随着人类活动和全球环境的加速变化,人类对环境资源高强度的开发和利用,对生态环境以及经济社会可持续发展构成了极大威胁<sup>[1]</sup>。因此,如何全面准确评价生态环境状况的研究,成为国内外学者关注的研究方向<sup>[2-3]</sup>。景观格局作为多种景观镶嵌体在空间上的排列组合,与生态过程的变迁有着密切关联,对于保护自然资源和维持物种多样性等生态功能具有深刻影响,不同的景观组成和配置又将影响生态作用各异的景观功能<sup>[4-6]</sup>。从景观生态学角度出发,基于景观格局和景观功能来构建涵盖多尺度、多指标影响因素的景观生态状况评价体系,全面准确反映区域敏感性变化趋势和吸收外界干扰能力,同时在一定程度上可以掌握景观生态环境状况优劣和相应的区域特征,为恢复区域生态环境提供科学指导。

景观生态敏感性是指在各种自然和人为干扰下,通过特定的阈值测定景观生态环境状况的变化特征。当前国内外学者关于生态环境脆弱性和生态环境敏感性研究较多<sup>[7-10]</sup>,基于景观角度研究区域景观生态环境状况及景观生态敏感性相对较少。在自然状态下,受外来干扰和自身调节的双重作用下的景观生态系统演变发展具有特定结构、功能和特征,其变化受干扰程度和系统稳定的影响,而景观格局能够反映景观生态系统中不同景观单元之间的空间格局及关系<sup>[6]</sup>,景观功能可体现着各类景观单元所拥有的生态服务功能,景观功能的消退或丧失将直接导致区域间生态敏感性的加剧<sup>[11-12]</sup>。现目前,学者们大多采用景观格局指数或生态要素等方法对区域展开景观生态状况评价或景观敏感性研究<sup>[13-14]</sup>,而基于景观功能以

及景观格局相结合的研究较为薄弱<sup>[15-16]</sup>。同时,当前关于生态环境状况的敏感性影响因素多为定性考量,定量考量较为缺乏<sup>[17]</sup>。因此,从景观格局和景观功能整体出发,研究区域的景观生态环境状况及其敏感性显得尤为重要,不仅能够充分体现研究区的景观生态敏感性综合特征,其评价结果还能直观且全面反映区域景观生态环境状况<sup>[18]</sup>,也能为区域生态保护和修复策略提出一定的研究基础。

三峡库区土地结构复杂,生态环境脆弱敏感,资源不合理的开发利用引发的植被破坏、水土流失、物种多样性丧失等突出问题严重威胁着库区的生态安全<sup>[19]</sup>。本研究从景观功能和景观格局整体出发,选取多影响因子指标构建景观生态状况评价模型,基于景观格局的组成和配置要素,并结合景观功能构建新的 LECI(景观生态状况指数)和 LESI(景观生态敏感性指数)评价体系来研究三峡库区重庆段景观生态状况及敏感性时空变化。该评价方法同时选取多期三峡库区遥感数据,通过静态与动态结合分析方式,对库区景观生态敏感性进行时空变化特征的研究与评估,识别区域景观生态敏感区,为研究区域的关键生态修复区提供一定的参考依据。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究区概况与数据来源

1.1.1 研究区概况 三峡库区重庆段涵盖重庆市 22 个区县,东起巫山县、西至江津区、南起武隆区、北至开州区。该区域地理位置介于东经 105°49′—110°12′,北纬 28°31′—31°44′,面积约为 46134km<sup>2</sup>。三峡

库区重庆段地处长江中下游平原和四川盆地,地表起伏较大,地形地貌复杂,以山地丘陵为主。该区域作为我国西南部具有重要生态功能的生态屏障区,同时也是长江上游生态敏感区之一,生态环境十分脆弱敏感。该区域自然资源丰富、景观类型多样、景观组成复杂,近年来库区人类活动加剧,对环境资源不合理的开发利用导致库区内人地关系紧张,人类活动和环境变化带来的外界压力严重影响生态系统稳定性,急需展开区域生态环境状况的敏感性评价研究。

**1.1.2 数据来源** 本研究时序上以 2002 年、2007 年、2012 年、2017 年四期为研究年限,所使用数据包括三峡库区重庆段土地利用数据、归一化植被指数(NDVI)数据、植被净初生产力(NPP)数据。其中研究区土地利用数据来源于地理数据空间云平台下载的 Landsat5 TM 和 Landsat8 OLI 遥感影像数据(时相均为 6—10 月份且云量较少),空间分辨率为  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,结合三峡库区实际景观类型和遥感影像特点,采用最大似然监督分类和目视修正结合的方法,将研究区划分为水域、草地、耕地、未利用地、建设用地和林地 6 种景观类型,对解译后土地利用类型精度验证的 Kappa 系数均在 0.86 以上,符合本次精度要求;NDVI、NPP 均从 NASA 地球科学数据网下载的 MODIS 数据中得到,NDVI 来自 MODIS 3 级 16 日合成归一化的植被指数 MOD13A1 产品,空间分辨率为  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ ;NPP 来自 MOD17A3 产品,空间分辨率为  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 。将所有数据空间分辨率重采样为  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ 。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 移动窗口法** 本研究基于移动窗口法<sup>[20]</sup>,采用 Fragstats4.2 软件中 Moving Window 模块,利用  $500\text{ m}$  大小的移动窗口,在景观层面计算斑块个数、板块密度、香浓均匀度及香浓多样性等景观格局指数,最终获得各景观要素的空间分布规律图。

**1.2.2 景观生态状况评价指标体系** 景观生态环境状况评价是利用一个综合指数(景观生态状况指数,LECI)评价研究区域景观生态环境的整体状态<sup>[17]</sup>。本研究基于景观功能和景观格局的景观组成、景观配置 3 个要素来构建生态状况评价体系。其中,景观组成表示不同景观类型的数量、面积对生态系统的生境质量、物种流动和其他生态过程产生的影响;景观配置不同于代表不同景观的数量和面积的景观组成,景观配置侧重于景观斑块的空间分布和排列的相互关系<sup>[21]</sup>;景观功能反映景观生态系统的生态服务功能情况,受景观组成和配置的影响<sup>[22-23]</sup>。

**1.2.3 景观生态状况评价模型** 景观是一个整体系统,其格局和功能在外界干扰和本身自然演替作用下

呈动态变化特征。景观功能需基于自身格局,而功能亦是格局体现,因此难以判定两者对生态环境状况的好坏程度。将景观格局中的景观组成、景观配置和景观功能 3 个方面的评价结果进行综合计算,构建一个新景观生态状况评价指标,LECI(景观生态状况指数),它表示某个时间点的景观生态状况和质量的的空间特征<sup>[21]</sup>。景观组成和景观配置相互关联,共同影响景观功能,因此 LECI 的计算公式如下:

$$\text{LECI} = \sqrt{[\omega P_{a1} + (1-\omega)P_{a2}] \times P_{a3}} \quad (1)$$

式中: $P_{a1}$ 、 $P_{a2}$ 、和  $P_{a3}$  分别代表景观组成、配置和功能的综合评估结果,权重  $\omega$  为 0.5。

**1.2.4 景观生态敏感性评价模型** 景观生态敏感性本质上是一个动态参数,受生态系统变化的综合影响,可通过研究基准年限内两个时间点的景观生态状况变化来评估在时间上的敏感性变化,本文选取 4 个时间点数据,因此计算得到 3 个时期 LESI(景观生态敏感性指数)数据,其计算公式如下:

$$\text{LESI} = \text{LECI}_{\text{en}} - \text{LECI}_{\text{be}} \quad (2)$$

式中: $\text{LECI}_{\text{be}}$  和  $\text{LECI}_{\text{en}}$  分别表示时间段的开始时间点和结束时间点的 LECI。为了更好地评价研究区域生态敏感性时空变化情况,依据相关参考文献<sup>[17]</sup>,将研究区 LESI 分为极负敏感( $\text{LESI} < -0.2$ )、微负敏感( $-0.2 < \text{LESI} \leq -0.05$ )、中度敏感( $-0.05 < \text{LESI} \leq 0.05$ )、微正敏感( $0.05 < \text{LESI} \leq 0.2$ )、极正敏感( $\text{LESI} > 0.2$ )5 类,在此基础上对 LESI 的三期结果值进行相减,得到景观生态敏感性等级波动变化,其变化趋势分为 5 类(表 1)。

持续弱化型和波动弱化型两者都表明景观生态条件都在恶化,生态系统不稳定,二者之间存在一定程度差异。波动增加型和持续增强型两者都表明景观生态条件正在改善,生态系统相对稳定,生态系统结构和功能都在逐年提高,二者之间存在一定程度的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 三峡库区重庆段景观生态状况分析

景观生态状况是景观功能与景观格局的景观组成和景观配置计算结果的集成表达。通过对 2002—2017 年四期数据进行处理,分别计算景观组成、配置和功能 3 个要素。结果表明:2002—2017 年三峡库区重庆段景观生态状况的空间分布趋势总体保持一致,呈现从西到东景观生态状况等级值逐渐增大的趋势。其中 LECI 高值区间主要分布于东北部的巫山县、巫溪县,中部的石柱县、武隆县以及北部的江津区,表明这些区域的生境质量和生态状况良好;LECI 中高值主要分布于东北部的奉节县、云阳县以及主城



区的周边区域,表明区域景观生态状况整体较好;LECI 中低值主要分布于东北部的开州区、万州区,中部的丰都县、忠县、长寿区以及西部的江津区,表明

区域的景观生态环境状况整体偏差;LECI 低值主要分布与重庆市主城区以及万州区的中心区域,表明该区域的景观生态状况整体较差。

表 1 景观生态敏感性等级波动类型

敏感性波动类型	种类	类型特征
持续弱化型	(－,－)	指区域各时间段的景观生态敏感性高,生态系统结构和功能在逐年弱化,植被较少,人类干扰作用较大,抗干扰能力极差
	(－,0)	
波动弱化型	(0,－)	指区域景观生态敏感性较高,在不同时段处于正反动态变化过程,生态系统结构和功能受外界影响起伏波动大,整体情况向弱化趋势发展
	(＋,－)	
持续稳定型	(0,0)	指区域的景观生态敏感性在各个时期的波动幅度不大,受外界干扰影响较小,生态恢复力属于中等水平,生态环境状况维持稳定状态
	(＋,0)	
波动增加型	(0,＋)	指区域的景观生态敏感性较低,受外界干扰影响较小,生态系统结构较为稳定,生态功能较强,无明显生态问题,生态环境状况整体向好发展
	(－,＋)	
持续增强型	(＋,＋)	指区域的景观生态敏感性低,基本不受外界干扰的影响,景观生态系统结构合理、功能完善,植被度盖度高,恢复能力强,生态环境状况在逐年向好发展

注:(－,－)表示持续弱化型;((－,0);(0,－);(＋,－))表示波动弱化型;(0,0)表示持续稳定型;((＋,0);(0,＋);(－,＋))表示波动增加型;(＋,＋)表示持续增强型

为了更好地探讨三峡库区重庆段景观生态状况的时空变化,本文对 4 个时期的景观生态状况进行等级划分(附图 10),共分为 5 级:差( $0\leq\text{LECI}\leq0.2$ )、较差( $0.2<\text{LECI}\leq0.4$ )、一般( $0.4<\text{LECI}\leq0.6$ )、良好( $0.6<\text{LECI}\leq0.8$ )、好( $0.8<\text{LECI}\leq1$ ),分别对不同分区面积占比进行统计,统计结果表明:研究区景观生态状况为差的区域面积从 2002—2017 年由  $0\text{ km}^2$  逐渐增加到  $561.62\text{ km}^2$ ,其面积占比由 0% 上升到 1.22%;景观生态状况为较差的区域面积呈现先上升后下降的趋势,2002—2012 年,该区域面积从  $17.38\text{ km}^2$  增加到  $9\ 722.62\text{ km}^2$ ,占比由 0.04% 上升到 21.07%,2017 年面积下降至 20.76%;景观生态状况为一般的面积占比呈现先增加后减小的趋势,2002—2007 年,该区域面积增加了  $16\ 026.96\text{ km}^2$ ,占比从 26.52% 上升到 61.26%,2007—2017 年,面积减少了  $14\ 955.24\text{ km}^2$ ;景观生态状况为良好的面积比例呈现大幅度下降再缓慢上升的趋势,从 2002 年的 67.77% 下降到 2007 年的 29.34%,面积减少了  $17\ 729.98\text{ km}^2$ ,2007—2017 年,面积小幅度增加;景观生态环境状况为好的面积占比呈现先下降后上升的趋势,从 2002 年的 5.67% 下降到 2007 年的 2.30%,面积减少了  $1\ 554.17\text{ km}^2$ ,2007—2017 年面积逐渐上升,增加了  $1\ 292.93\text{ km}^2$ 。

总体而言,近 15 a 三峡库区重庆段景观生态环境状况大部分处于一般和良好的阶段,整体生态环境状况较好。从 3 个时间段来看,较差和差的生态环境状况面积在 2012 年以前逐年增加,表明部分研究区的景观生态状

况在逐渐变差,但在 2012 年后变差速度有所减缓,同时,景观生态状况良好和好的面积在 2012 年后有所增加,表明研究区景观生态状况在逐渐变好。

2.2 三峡库区重庆段景观生态敏感性分析

2.2.1 景观生态敏感性时空变化分析 景观生态敏感性是衡量景观生态环境及生态系统稳定性的重要因素,研究其景观生态状况及敏感性时空演变特征有助于优化区域生态环境,对识别区域生态修复区和协调生态平衡具有重要意义<sup>[24]</sup>。三峡库区重庆段 LE-SI 的时空特征分布见附图 11。

第一阶段(2002—2007 年)景观生态敏感性以微负敏感为主,其占据整个研究区面积的 49.843%,中性敏感占 42.922%,极负敏感占 6.615%,微正敏感占 0.618%,极正敏感所占面积最少,仅 0.002%。其中,极负敏感区域主要分布在研究区西南部及北部,中性敏感分布较为平均,其在研究区内部均有分布,微负敏感和微正敏感仅在局部区域有所分布。

第二阶段(2007—2012 年)景观生态敏感性以中性敏感为主,其占据整个研究区面积的 47.426%,微负敏感占 34.395%,微正敏感占 16.721%,极负敏感占 1.394%,极正敏感仅占研究区面积的 0.064%。第二阶段的微负敏感区域主要分布在第一阶段的极负敏感区域,而其中性敏感区域主要分布在第一阶段的微负敏感区域,因第一阶段生态敏感均值(－0.080)小于第二阶段(－0.024),说明研究区第二阶段敏感整体较第一阶段有了一定的提升,但部分区域仍属于负敏感类型。

第三阶段(2012—2017 年)研究区全域景观生态敏感性基本被中性敏感占据,其面积占比达到 98.208%,而微负敏感、微正敏感、极负敏感占比分别为 1.044%,0.744%,0.004%,极正敏感可以忽略不计。第三阶段的中性敏感区域几乎替代了第二阶段各类生态敏感性区域,又因第三阶段生态敏感均值(0.001)大于第二阶段(-0.024),说明研究区第三阶段生态敏感整体生态在向好的方向转变,但提升水平不大。

2.2.2 景观生态敏感性等级波动变化分析 通过相减 3 个阶段研究区 LESI 得到两期差值,将等级差值分为以下类别:持续弱化型(-,-)、波动弱化型[(-,0);(0,-);(+,-)],持续稳定型(0,0)、波动增加型[(+,0);(0,+);(-,+)],持续增强型(+,+),分类结果见图 1。对 5 种变化类别分别进行统计,持续弱化型占比 6.054%,波动弱化型占比 44.331%,持续稳定型占比 32.120%,波动增强型占比 17.494%,持续增强型仅占比 0.001%。其中持续弱化型主要分布于研究区西部,少量分布于北部;波动增强型主要分布于研究区东部,少量分布于南部;波动弱化型和基本不变型分布较为均等。由此可以看出,持续增强型的低占比说明三峡库区重庆段在研究时间内景观生态稳定性不高,同时,持续弱化型所属的研究区西部及北部区域尤其需要警惕景观生态退化风险。

2.3 三峡库区重庆段景观生态关键修复区识别与策略研究

2.3.1 基于 LECI 和 LESI 的景观生态关键修复区识别 基于多年期的 LECI 平均值和 LESI 的波动情况共同识别研究区生态修复的关键区域,以 LESI 持续弱化型与四期平均的 LECI 等级为差的区域叠加,同时剔除面积低于 0.1 km<sup>2</sup> 的碎小区域,最终形成 999.83 km<sup>2</sup> 的景观生态关键修复区域,占研究区总面积的 2.17%。修复区沿长江两岸呈现出两极分化的情况,巫溪县、巫山县、奉节县、武隆区生态状况较好无关键修复区域分布,其余区县关键修复区域的面积及占比见表 2。江津区待恢复的关键区域面积为 326.27 km<sup>2</sup>,占比最大,为 32.63%,石柱县、北碚区、云阳县、巴南区关键修复区面积分别为 0.13,5.38,8.25,9.32 km<sup>2</sup>,占比均小于 1%。

2.3.2 主要生态修复策略 生态修复区是前期注重区域发展,而区域景观生态状况差,生态敏感性持续弱化,区域本底状况差且持续恶化的区域,在生态优先的发展格局下,应更加注重生态修复区域的环境治理与生态保护。根据不同区域的修复目标与修复条件,因地制宜开展生态修复,如位于研究区的西南部

的重庆主城区,建成区面积大,应控制城市扩展速度,同时加强绿色基础设施建设,提高城市生态状况水平;长寿区、江津区与城市主城区相邻,开州区与万州区作为重庆的较大城市,这些区域发展中应该加强工程措施,严控建设过程中的污染排放,适当封山育林,改善区域环境状况;研究区中重庆市郊县可加强农田整治工程、防护林建设工程、封山育林等环境建设,并充分发挥耕地、林地的生态功能,改善区域内生态环境。此外,为保证待修复区域的良好修复效果,可建立长期生态监测体系,及时发现修复关键区域内生态环境问题以及修复过程中出现的问题以调整修复措施。

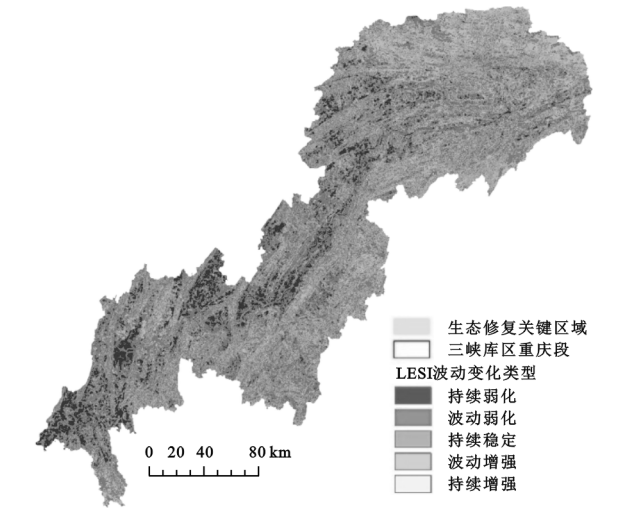


图 1 景观生态敏感性波动变化空间分布

表 2 各区县生态修复关键区域统计

区县名称	面积/km <sup>2</sup>	面积占比/%
石柱县	0.13	0.01
北碚区	5.38	0.54
云阳县	8.25	0.83
巴南区	9.32	0.93
渝中区	10.32	1.03
大渡口区	13.38	1.34
江北区	13.51	1.35
沙坪坝区	19.51	1.95
南岸区	22.01	2.20
九龙坡区	34.89	3.49
开州区	42.58	4.26
忠县	52.21	5.22
万州区	53.34	5.33
丰都县	63.28	6.33
渝北区	75.85	7.59
涪陵区	78.60	7.86
长寿区	171.02	17.10
江津县	326.27	32.63

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

(1) 在国内外生态敏感性研究中,关于生态敏感性评价研究主要是针对某一单一的生态环境问题进行评价研究,研究其生态敏感性变化更多是基于各类影响因子的变化来综合评价,同时关于长时间连续序列的时空动态变化研究也相对缺乏。本研究基于景观生态学角度,从三峡库区重庆段景观的格局与功能方面构建生态状况评价体系,在时间和空间上分析三峡库区重庆段的景观生态状况和景观敏感性,采取递进方式,结合景观生态状况指数和时间维度来计算景观生态敏感性指数以及敏感性波动情况,该评价模型能从时间和空间变化下评价三峡库区重庆段的景观生态敏感性,选取的 11 个指标因子也具有综合代表性,使其评价体系和评价范围更加全面,同时从时空动态的角度以 LECI 和 LESI 共同识别研究区待修复的关键生态区域,并因地制宜提出修复策略。

(2) 生态敏感性是区域自然和人类活动对生态系统共同作用的结果,本研究主要基于景观生态学从景观的格局和功能角度研究生态环境的景观生态状况和景观生态敏感性,多注重景观生态环境本身自然因素和作用,忽略了人类的社会经济作用,社会经济对生态环境作用的定量化表达有待进一步研究,因此,结合区域的社会经济状况是本研究下一步工作的主要方向,以达到精准识别生态修复关键区域,更加快速、高效修复生态环境,提高生态环境质量。

#### 3.2 结论

(1) 2002—2017 年三峡库区重庆段景观生态状况的空间分布趋势总体保持一致,呈现从东到西景观生态状况等级值逐渐减小的趋势。近 15 a 研究区整体生态环境状况较好,部分研究区的景观生态状况在逐渐变差,2012 年为转折点,在此之后生态环境状况有所改善。

(2) 研究年限内区域整体生态在向好的方向转变,但提升水平不大。第一阶段(2002—2007 年)景观生态敏感性以微负敏感为主,第二阶段(2007—2012 年)及第三阶段(2012—2017 年)景观生态敏感性以中性敏感为主,研究年限内区域整体生态在向好的方向转变,但提升水平不大。

(3) 景观生态敏感性等级波动变化空间分布差异较大。持续弱化型主要分布于研究区西部;波动增强型主要分布于研究区东部。研究区整体景观生态稳定性较低,西部及北部区域需警惕景观生态退化风险。

(4) 待生态关键修复区域空间分布差异大。识别

研究区生态关键修复区域面积共 999.83 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 2.17%,江津区、长寿区及重庆主城区待修复的区域较多,不同区域应采用不同生态修复策略。

#### 参考文献:

- [1] 张行,陈海,史琴琴,等.陕西省景观生态脆弱性时空演变及其影响因素[J].干旱区研究,2020,37(2):496-505.
- [2] Polsky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability Scoping Diagram[J]. Global Environmental Change, 2007, 17(3):472-485.
- [3] 李鹤,张平宇.全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望[J].地理科学进展,2011,30(7):920-929.
- [4] 孙才志,闫晓露,钟敬秋.下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J].生态学报,2009,34(2):247-257.
- [5] 孙鸿超,张正祥.吉林省松花江流域景观格局脆弱性变化及其驱动力[J].干旱区研究,2019,34(7):950-957.
- [6] 张玉娟,何鲲,李城林,等.松花江流域(哈尔滨段)景观敏感度时空变化分析[J].测绘与空间地理信息,2019,42(11):5-7,11,16.
- [7] 王奇,李伟芳,寇相玮,等.甬台温海岸带景观格局及生态脆弱性时空演变特征[J].水土保持通报,2020,40(1):297-303,325.
- [8] 穆荣钦.基于水土保持功能分区的生态脆弱性评价研究[D].贵阳:贵州师范大学,2019.
- [9] 马文月,杨美玲,周俊俊.西北生态脆弱区生态补偿研究进程与展望[J].宁夏工程技术,2019,18(4):356-362.
- [10] 贾晶晶,赵军,王建邦,等.基于 SRP 模型的石羊河流域生态脆弱性评价[J].干旱区资源与环境,2020,34(1):34-41.
- [11] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(4):441-446.
- [12] 傅伯杰,周国逸,白永飞,等.中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全[J].地球科学进展,2009,24(6):571-576.
- [13] Ortega M, Saura S, Gonzalez-avila S, et al. Landscape vulnerability to wildfires at the forest-agriculture interface: Half-century patterns in Spain assessed through the SISPAES monitoring framework [J]. Agroforestry Systems, 2012,85(4):331-349.
- [14] Zang Z, Zou X, Zuo P, et al. Impact of landscape patterns on ecological vulnerability and ecosystem service values: An empirical analysis of Yancheng Nature Reserve in China [J]. Ecological Indicators, 2017,72(2017):142-152.
- [15] 徐燕,孙小银,张大智,等.1980—2015 年南四湖流域景观格局及其脆弱性[J].应用生态学报,2018,29(2):635-642.