

# 基于 GIS 与 AHP 的漓江流域阳朔段景观视觉吸收力评价

董淑龙<sup>1,2,3</sup>, 马姜明<sup>1,2,3\*</sup>, 王永琪<sup>1,2,3</sup>, 丁若曦<sup>1,2,3</sup>

(1. 珍稀濒危动植物生态与环境保护教育部重点实验室, 广西 桂林 541006;  
2. 广西漓江流域景观资源保育与可持续利用重点实验室, 广西 桂林 541006;  
3. 广西师范大学 可持续发展创新研究院, 广西 桂林 541006)

**摘要:**以漓江流域阳朔段为例,评价研究区不同区域和不同景观要素的景观视觉吸收力,基于生物物理因素,利用 GIS 空间分析技术和层次分析法(AHP),通过 ENVI 监督分类法对遥感影像解译进行景观类型分类,基于景观视觉吸收力的测定原理和方法,对研究区景观基底的坡度、坡向、地势起伏度、植被丰富度、植被格局和土壤稳定性 6 个要素进行定性和定量相结合的视觉吸收力评价。结果表明,阳朔段不同区域的视觉吸收力差异较大,其中以漓江流域阳朔段内的漓江风景名胜区、海洋山保护区、架桥岭保护区、大源林场和阳朔国家森林公园所在片区的景观视觉吸收力相对最高。研究结果可见,各评价因子不同程度地影响着景观视觉吸收力的大小,就漓江流域阳朔段的自然和地理环境因素而言,影响视觉吸收力大小的最主要因素是植被丰富度,植物群落的面积及植被结构的组成对景观视觉吸收力的高低起主导作用。评估景观视觉吸收力可以指导相关部门更有效地进行景观规划和开发决策,为漓江流域阳朔段景观保护和规划建设提供重要依据。

**关键词:**视觉吸收力评价;漓江流域阳朔段;GIS;层次分析法

**中图分类号:**S731.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2023)01-0238-09

## GIS and AHP-Based Evaluation of Landscape Visual Absorption Capacity in Yangshuo Section of Lijiang River Basin

DONG Shu-long<sup>1,2,3</sup>, MA Jiang-ming<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Yong-qi<sup>1,2,3</sup>, DING Ruo-xi<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Landscape Resources Conservation and Sustainable Utilization in Lijiang River Basin, Guilin 541006, Guangxi, China; 3. Institute of Sustainable Development and Innovation, Guangxi Normal University, Guilin 541006, Guangxi, China)

**Abstract:** Taking Yangshuo section of Lijiang River Basin as an example, the landscape Visual Absorption Capacity (VAC) of different regions and various landscape elements in the study area were evaluated. Based on biophysical factors, GIS spatial analysis technology and analytic hierarchy process were used to classify the landscape types of remote sensing image interpretation through the supervision of the classification method by ENVI (the environment for visualizing images). Based on the measurement principle and method of VAC, six factors were adopted to evaluate the VAC qualitatively and quantitatively, including the slope aspect, topographic relief, vegetation richness, vegetation pattern and soil stability. Different VACs were observed in different regions in Yangshuo section. The relatively strong VAC was found in the regions of Lijiang River scenic spots, Ocean Mountain Reserve, Jianqiaoling Reserve, Dayuan Forest Farm and Yangshuo National Forest Park in the Yangshuo section. Different evaluation factors presented differ-

收稿日期:2021-12-17 修回日期:2022-03-21

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科 AB21220057);广西创新驱动发展专项(桂科 AA20161002-1)。

第一作者:董淑龙。研究方向:森林景观视觉质量评价。E-mail:1263271950@qq.com

\*通信作者:马姜明,博士,教授,博士生导师。研究方向:恢复生态学和可持续生态学。E-mail:mjming03@163.com

ent impacts on VAC with varying degrees. In terms of natural and geographical environmental factors, the main aspect was vegetation richness. The area of plant community and the composition of vegetation structure played a leading role in the level of landscape VAC. Evaluation of landscape VAC can guide relevant government departments to make more effective landscape planning and development decisions, and provide an important basis for landscape protection, planning and construction in Yangshuo section of Lijiang River Basin.

**Key words:** visual absorption evaluation; Yangshuo section of Lijiang River Basin; GIS; analytic hierarchy process

视觉吸收力 (visual absorption capability, VAC) 是景观在维持总体视觉特征和视觉质量不变的情况下, 能够容纳自然环境和因素变化的能力<sup>[1]</sup>, 也称景观脆弱性或视觉脆弱性, 景观生态要素直接影响了吸收力的评价, 视觉吸收力影响着人们对景观质量的评估<sup>[2]</sup>。在保持景观完整性的前提下, 一般组成要素越多、空间和物理结构关系越复杂的景观, 能容纳的自然现象和人为活动所带来的改变就越多, 其景观视觉吸收能力就越高, 景观整体风貌的视觉呈现就越不容易被局部变化所破坏。同时, 景观形态、色彩和肌理越丰富多样, 视觉吸收力就越强。例如, 地势起伏度或植被覆盖的遮蔽作用越大的景观区域, 视觉吸收力的值就越高。视觉吸收力较高的景观能一定程度上适应并协调对环境变化所带来的视觉影响, 在自然或人为干扰之后仍能够保持相对稳定的景观视觉特征。国外景观视觉吸收力相关的研究中, 将涉及的因素分为建设管理活动、生物和物理特征 (包括植物的更新潜力) 以及观察者视觉感知 3 个方面<sup>[3]</sup>。建设管理活动受人的主观活动影响, 是不易控制的因素, 本研究设定在条件一致和管理活动稳定的前提下, 将景观视觉吸收力评价体系 (VAC) 集中在生物和物理因素方面的 6 个评价因子<sup>[4]</sup>, 以漓江流域阳朔段为案例, 运用 GIS 空间分析和 AHP 进行专家打分确定评价因子权重的方法, 将评价因子进行分级统计并绘制专题图, 得到漓江流域阳朔段不同景观要素和区域的视觉吸收力评价结果, 以相对客观的方式探究人们对自然景观不同的视觉感受的基本规律。对漓江流域阳朔段现有景观的视觉吸收力进行评价可为保护原有的山水林田景观、协调景观质量提升和促进阳朔县全域旅游发展提供支撑和依据。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

阳朔县位于广西壮族自治区桂林市区以南 (110°13′—110°39′E, 24°38′—25°40′N)。漓江为珠江水系西江一级支流桂江的上游, 在阳朔县自北向

南贯穿, 流经杨堤乡、兴坪镇、福利镇、阳朔镇和普益乡, 长 69 km, 占漓江干流的 42%, 阳朔段为漓江流经桂林各县境最长的一段。著名的“桂林山水甲天下”主要坐落于漓江的精华地段阳朔段。研究区在阳朔县境范围内, 面积 1 239.77 km<sup>2</sup>。漓江流域阳朔段拥有典型的岩溶景观, 地貌以石山、丘陵平地为主, 山地为辅, 漓江两岸地区分布着岩溶石山和水田为主的耕地, 中部为丘陵小山地带, 以自然景观为主的景区有遇龙河、十里画廊、杨堤景区、兴坪景区、葡萄景区五大景点及 100 余处景点, 主要分布在漓江峡谷及其两岸典型峰丛洼地和葡萄峰林平原。

### 1.2 数据来源及预处理

所用遥感影像数据源自美国地质勘探局 (USGS) 官网 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) 下载的空间分辨率为 10 m 的哨兵二号 (Sentinel-2A) 高分辨率遥感卫星影像, 影像拍摄时间为 2021 年 6 月。高程数据从美国阿拉斯加卫星设备 (alaska satellite facility, ASF) 数据网站 (<https://search.asf.alaska.edu/>) 下载水平和垂直精度均为 12.5 m 的 DEM 数据, 数据全称 ALOS PALSAR 12.5 m。森林资源分布数据来自 2019 年阳朔县森林资源二类调查数据。对栅格和矢量数据按研究区范围进行提取, 并将坐标系统一投影为通用横轴墨卡托投影坐标 (UTM)。通过 ENVI 的 “layer stacking” 将 Sentinel-2 卫星影像的 Band8、Band4 和 Band3 波段合成假彩色红外图像, 较密集的植被显示为红色, 便于植被的区分。通过 ArcGIS 将 ALOS PALSAR 12.5 m 的 DEM 数据的 2 个栅格图幅进行镶嵌, 制作研究区高程图。

## 2 研究方法

### 2.1 评价方法

结合实际情况, 针对制约景观视觉吸收力的主要 6 个生物物理因素, 利用 ArcGIS 10.8 的水文分析工程对研究区进行流域单元及视觉评价单元划分。通过 ENVI 的监督分类法解译遥感影像对研究区景观要素的类型进行分类。视觉吸收力是各评价

因子相叠加的结果。应用 AHP 对各评价指标所占权重进行计算,通过 yaahp 软件将视觉吸收力的评价指标分解为总目标层、准则层和方案层,对各指标在体系内的重要性进行排序,通过咨询相关专业的

专家给予打分确定影响因子的权重,最后通过 ArcGIS 栅格计算器加权叠加 6 个要素得到漓江流域阳朔段森林视觉吸收力等级图。各指标等级界定及分级赋值见表 1。

表 1 视觉吸收力各因子等级界定及分级

Table 1 Definition and grading of each factor of visual absorption capability (VAC)

指标	各指标等级界定	取值范围	等级
坡度	平坦或稍有起伏的地带	$0^{\circ} \leq a < 15^{\circ}$	一级
	较为地势陡峭的坡地	$15^{\circ} \leq a < 30^{\circ}$	二级
	地势陡峭的山坡	$a \geq 30^{\circ}$	三级
坡向	向北	$0^{\circ} \leq b < 45^{\circ}$ 或 $315^{\circ} \leq b < 360^{\circ}$	一级
	向东或向西	$45^{\circ} \leq b < 135^{\circ}$ 或 $225^{\circ} \leq b < 315^{\circ}$	二级
	向南	$135^{\circ} \leq b < 225^{\circ}$	三级
地势起伏度	地形变化大	$t \geq 60$ m	一级
	地形变化一般	$20 \leq t < 60$ m	二级
	地形几乎无变化、无起伏	$0 \leq t < 20$ m	三级
植被丰富度	植物物种丰富,群落结构复杂	阔叶林、针叶林	一级
	植物种类有限,群落结构一般	灌木林、竹林、经济林和桉树	二级
	植物种类单一,群落结构有限	无林地和非林地	三级
景观格局	茂密连续的植被覆盖,有一些物种变化(2~3种),有效屏蔽不引人注目的表面扰动项目	林地和灌木林地	一级
	植被均一或植被覆盖稀疏,一般小于 1 m 的高度,结构缺乏变化,植被遮蔽作用小	园地和耕地	二级
	几乎无植被的人工表面和水体,无植被遮蔽	水域、建设用地和未利用地	三级
土壤稳定性	土壤侵蚀较弱而相对稳定并具有良好的复原力	$-1 < s \leq -0.25$	一级
	土壤侵蚀、土壤稳定性和土壤复原力居中	$-0.25 < s < -0.12$	二级
	土壤因严重侵蚀而极不稳定且复原力较差	$-0.12 \leq s < 1$	三级

注:  $a$  指坡度;  $b$  指坡向;  $t$  指地势起伏度;  $s$  指土壤稳定性的取值。

## 2.2 评价单元划分

通过 ArcGIS 的水文分析生成漓江流域阳朔段若干个流域,集水区由山脊线(分水岭)、河网等地形因子生成,汇流的区域有开阔的视觉空间,具有明显的视觉特征,初步作为整个研究区的视觉评价单元,根据阳朔县的乡镇行政边界、地理环境、景观资源分布等因素,考虑方便管理以及区域统筹等问题,对各集水流域边界进行进一步调整与合并,最终将漓江流域阳朔段划分为 19 个景观视觉评价单元(图 1)。各个流域单元的边界以山脊线为主,流域单元多为山脊线之间开阔的空间。

## 2.3 景观要素分类

根据阳朔县植被、土壤地貌特征、土地利用性质等实际情况,参照阳朔县土地利用总体规划,根据刘纪元<sup>[5]</sup>研究形成的我国景观分类体系广泛应用的土地资源分类系统,同时依据《GBT 21010—2017 土地利用现状分类》,将园地纳入分类系统,景观要素分类按照其主导的植被或地类进行命名<sup>[6]</sup>,考虑到草地在遥感影像上无明显特征难以识别,因此不进行划分。将漓江流域阳朔段景观要素类型划分为林地、灌木林地、园地、耕地、水域、建设用地和未利用土地 7 类。

在景观要素分类之前,通过目视判读卫星影像

结合研究区实地调查的方法, GPS 定位调查样地的经纬度,采取人为视角摄影及大疆御 2pro 无人机航拍对研究区地物的类别属性有了先验知识。使用 ENVI5.3 的监督分类法<sup>[7]</sup>,对研究区遥感影像不同特征的区域建立训练样本感兴趣区<sup>[8]</sup>。运用监督分类的 6 种分类器对景观要素进行分类,通过整体分类精度和 Kappa 系数验证各分类结果的精度<sup>[9]</sup>,神经网络法的分类结果在监督分类法中结果相对最好,总体精度为 87.064 2%, Kappa 系数为 0.830 3, 2 个验证指标均 > 80%, 达到精度要求,与多数相关研究结果一致<sup>[10-11]</sup>。参照已有的阳朔县土地利用类型图、森林资源分布图及实地调查结果,对分类结果进行评价并调整,提高分类精度。生成 2021 年漓江流域阳朔段景观类型空间分布图(图 2)。

## 2.4 评价指标

2.4.1 坡度( $V_a$ ) 坡度大小与视觉吸收力大小一般呈负相关<sup>[4]</sup>。坡度越大,呈现的地物和植被的视觉面积也越大,景观越容易受视觉破坏的影响,其 VAC 越低,即失去潜在掩护人为活动的的能力。地势陡峭的山坡往往削弱了植被的视觉遮蔽能力,暴露的视域范围大(图 3)。将研究区坡度分为 3 个等级,根据分级结果绘制坡度等级图(图 3A)。

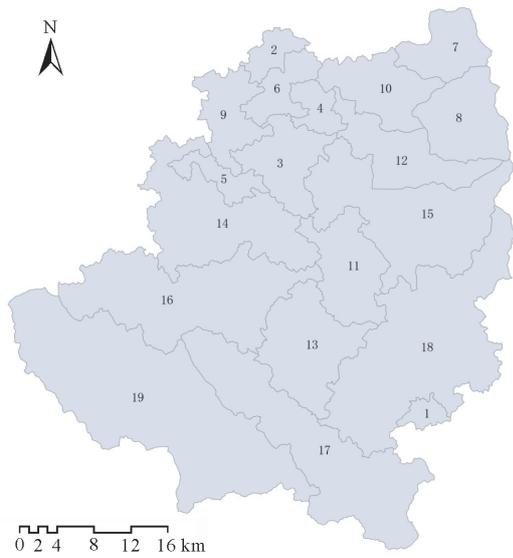


图 1 视觉吸收力评价单元划分

Fig. 1 Division diagram of VAC evaluation unit

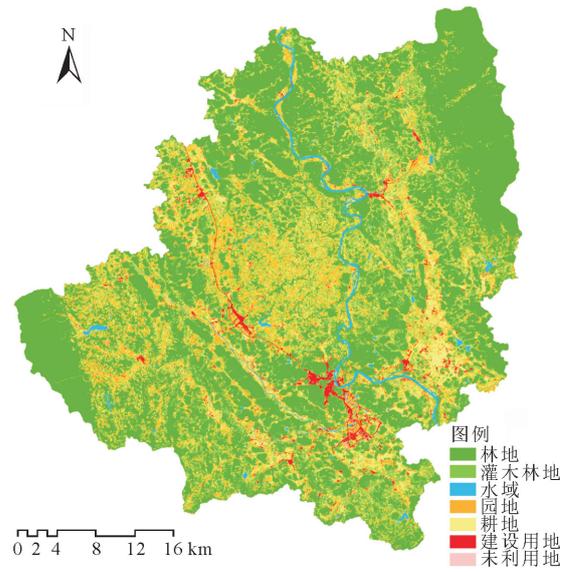
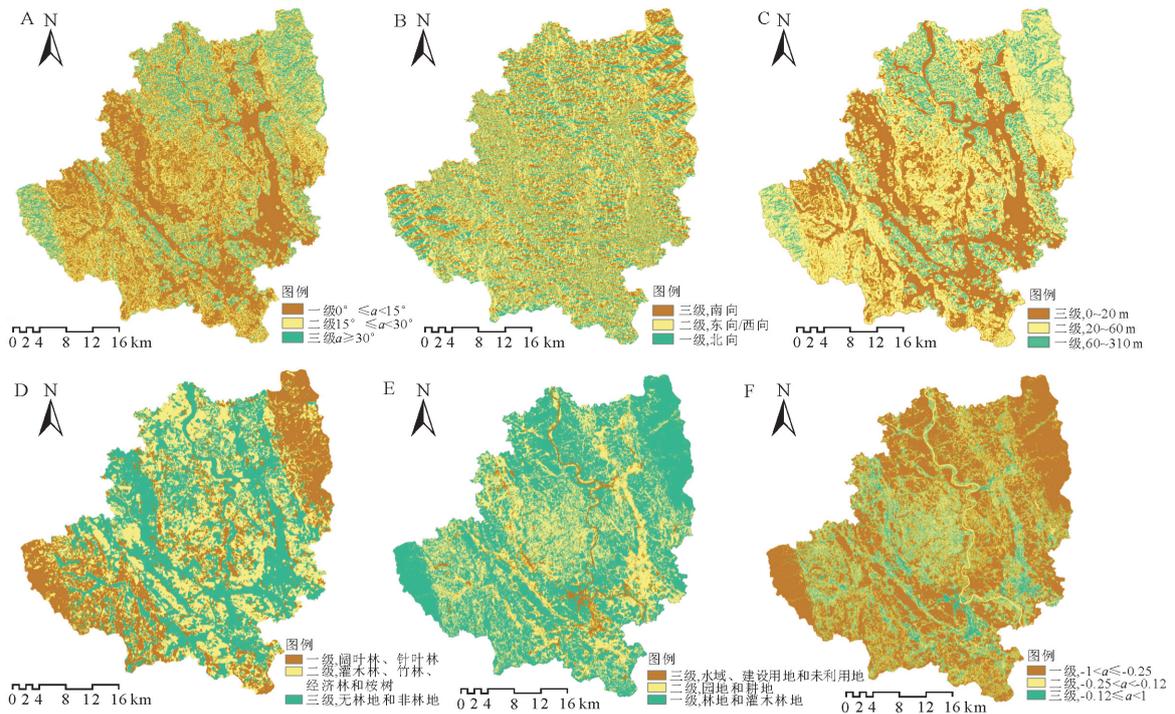


图 2 漓江流域阳朔段景观要素类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of landscape element types in Yangshuo section of Lijiang River Basin



注:A. 坡度等级图;B. 坡向等级图;C. 地势起伏度等级图;D. 植被丰富度等级图;E. 景观格局等级图;F. 土壤稳定性等级图。

图 3 漓江流域阳朔段景观视觉吸收力评价等级

Fig. 3 Evaluation grade of landscape VAC in Yangshuo section of Lijiang River Basin

2.4.2 坡向( $V_b$ ) 同一场地坡向不同,视觉吸收力大小也不同。我国南坡为向阳坡,太阳辐射量最大,北坡作为背光坡其光照量相对最少。坡的朝向决定了光照强度和累积量,而光照又影响着场地局部的植物生境和土壤稳定性,北坡光照少使景物显得暗淡,昏暗的环境可以有效地缓解局部的景观视觉破坏,因此在其他因子同等的条件下,北坡向的视

觉吸收力相对于南坡较高。划分为 3 个等级绘制的坡向等级图见图 3B。

2.4.3 地势起伏度( $V_l$ ) 采用地势起伏度指标来对地形的复杂程度进行评价。区域内地形越复杂、起伏变化越大,视线越容易受阻碍,景观改变产生的视觉影响程度就越小,其 VAC 越高。根据地貌学基本理论,不同地貌情况的场地都有对应的一个使

其最大高差达到相对稳定的最佳分析面积<sup>[12]</sup>,本研究采用 DEM 数据生成的高程图,在 ArcGIS 中提取地势起伏值,使用空间分析中的邻域分析方法,以  $n \times n$  像元的矩形窗口作为模板算子,通过统计窗口递增的分析方法,分别计算  $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $\dots$ 、 $20 \times 20$  窗口下提取的地势起伏度的平均值<sup>[13]</sup>。地势起伏度与各窗口最佳统计面积变化关系呈 logarithmic 对数拟合曲线趋势,曲线明显由陡变缓处的转折点的窗口面积是最佳统计单元大小<sup>[14]</sup>。利用 Excel 2019 生成面积对应平均地势起伏度的对数拟合曲线,得到拟合方程为:

$$y = 32.123 \ln(x) - 138.54 \quad (1)$$

由图 4 可见,决定系数  $R^2 = 0.9697 > 0.8$ ,说明面积和平均地势起伏度具有强相关性,拟合度很好,通过了统计学检验。

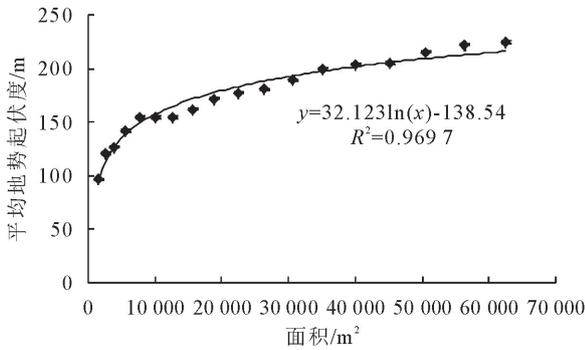


图 4 窗口面积与平均地势起伏度对数拟合曲线

Fig. 4 Logarithmic fitting curve between window area and average topographic relief

从拟合曲线可以看出,当统计单元窗口像元大小从  $3 \times 3$  到  $7 \times 7$  的变化下平均地势起伏度变化幅度最大,在  $7 \times 7$  (平均地势起伏度为 154.5 m) 变化趋势逐渐变缓,所以  $7 \times 7$  为研究区内地势起伏度的最佳统计面积。在此模式下将地势起伏度重分类,绘制得到地势起伏度等级图(图 3C)。

2.4.4 植被丰富度 ( $V_r$ ) 植物丰富度高的景观抵抗外界干扰能力强,景观的稳定性和视觉恢复力高。在起伏的山地和丘陵上,植被丰富度是关键而不稳定的一个评价因子,很容易受自然灾害与人类活动的干扰而变化,视觉吸收力的大小也易发生变化。将植被丰富度分为 3 级,绘制得到植被丰富度等级图(图 3D)。

2.4.5 景观格局 ( $V_p$ ) 景观格局是景观要素类型和数目的空间分布与配置,具体体现了景观异质性。景观多样性高的土地景观要素错综复杂,如山体与森林的交错有助于掩护视觉破坏,VAC 高;景观多样性低的土地景观要素单一,如平坦的农田不利于掩护人为活动带来的视觉破坏,VAC 低。根据漓江

流域阳朔段卫片解译的景观格局图,对景观类型按评价因子等级进行重分类处理,绘制景观格局等级图(图 3E)。

2.4.6 土壤稳定性 ( $V_s$ ) 本研究以哨兵二号遥感影像的红波段和绿波段为土壤稳定性评价的数据基础,采用常用的土壤亮度指数 NDSI 评估土壤稳定性<sup>[15]</sup>,徐建春等<sup>[16]</sup>根据图像中对各种地类的光谱响应研究,依据在可见光红色(R)、绿色(G)波段土壤光谱响应与植被、水体光谱变化规律相反的特征,利用 2 个波段的比值经标准化处理,区分出不同土壤亮度的要素,得到土壤稳定性等级图(图 3F)。针对哨兵二号卫星影像的计算公式为:

$$N_{DSI} = (\rho_{RED} - \rho_{GREEN}) / (\rho_{RED} + \rho_{GREEN}) \quad (2)$$

式中: $N_{DSI}$  为土壤亮度指数; $\rho_{RED}$  为红色波段的地物反射率; $\rho_{GREEN}$  为绿色波段的地物反射率。

### 3 结果与分析

#### 3.1 AHP 确定因子权重

采用层次分析法(AHP)对 6 个决定景观视觉吸收力的环境因子的相对重要性进行专家打分,计算出各因子的权重。通过调查问卷的形式,征求共 30 名风景园林、城市规划、林学和生态学等领域学者的打分意见,相互对比各评价因子的重要性,采用 yaahp10.3 软件进行统计分析<sup>[17]</sup>,得到 6 个视觉吸收力指标的因子权重系数依次为:0.1897 ( $w_{va}$ )、0.1156 ( $w_{vb}$ )、0.2244 ( $w_{vc}$ )、0.2360 ( $w_{vp}$ )、0.1286 ( $w_{vr}$ )和 0.1057 ( $w_{vs}$ )(表 2)。以上各评价因子的 CR 值均小于 0.1,通过判断矩阵一致性检验。

参照评价指标分级标准,表 1 视觉吸收力各因子等级界定及分级中 1 级、2 级和 3 级对应的分值分别为 5 分、3 分和 1 分<sup>[18]</sup>,景观视觉吸收力的综合评价模型可表示为:

$$V = \sum (V_i \times w_{vi}) \quad (3)$$

式中: $V_i$  为评价指标; $w_{vi}$  为各评价指标的权重值。

#### 3.2 景观视觉吸收力评价结果

在 ArcGIS 中将各评价因子的栅格图层像元大小统一为  $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ ,利用栅格计算器加权叠加 6 个评价因子并将汇总值按“自然间断点分级法(Jenks)”进行重分类将研究区景观视觉吸收力综合评价结果分为 5 个等级,此方法可将相似要素通过恰当的间隔加以识别分为多个类,使各类之间的差异得到最大化区分<sup>[4]</sup>。采用区域制表计算不同视觉吸收力等级的面积,其含义和视觉吸收力各个等级的面积见表 3,绘制的视觉吸收力综合评价等级见图 5。

由表 3 及图 5 可知,漓江流域阳朔段景观视觉吸收力处于较高水平的区域最大,高、中高 VAC 面

积占比之和为 49.12%，此区域有闻名世界的地势起伏较大的喀斯特山水景观和峰林景观，在阳朔县封山育林和石漠化治理工作下，阔叶林、针叶林和石山灌木等植被覆盖率高。中等水平的 VAC 区域面积占比为 27.64%，主要为植被稀疏的经济林园地或坡度较陡的山地，阳朔县普遍种植砂糖橘导致经

济灌木的分布地带较大，应注意山坡过度开垦种植造成的荒山现象。低、中低 VAC 区域面积占比之和为 23.24%，用地类型主要为建设用地、水域和农田，地势平坦，植被覆盖率低，是人为活动频繁地带，景观视觉吸收力最低，应提高此区域的绿化率，重视自然景观要素营造视觉舒适的人居环境。

表 2 景观视觉吸收力影响因子权重矩阵

Table 2 Landscape VAC influence factor weight matrix table

视觉吸收力	坡度	坡向	地势起伏度	植被丰富度	景观格局	土壤稳定性	$w_{vi}$
坡度	1	2	1	0.5	2	2	0.189 7
坡向	0.5	1	0.5	0.5	2	0.5	0.115 6
地势起伏度	1	2	1	2	1	2	0.224 4
植被丰富度	2	2	0.5	1	2	3	0.236 0
景观格局	0.5	0.5	1	0.5	1	2	0.128 6
土壤稳定性	0.5	2	0.5	0.333 3	0.5	1	0.105 7

注:一致性比例为 0.078 6;对“视觉敏感度”的权重为 1.000 0; $\lambda_{max}$  为 6.495 1。

表 3 VAC 综合评价分级标准及数据分析

Table 3 Comprehensive evaluation classification standard and data analysis of VAC

等级	含义	面积/km <sup>2</sup>	比例(%)
1 级(高 VAC)	坡度平缓,坡向朝北为主,地形起伏大,植被丰富且具有很高的屏蔽作用,土壤稳定性强	216.63	17.77
2 级(中高 VAC)	坡度较缓,坡向朝北,地形起伏较大,植被较有屏蔽作用,土壤稳定性较好	382.20	31.35
3 级(中 VAC)	中坡度,坡向朝东西为主,地形起伏一般,植被种类一般,土壤稳定性一般	336.98	27.64
4 级(中低 VAC)	坡度较陡,坡向朝南为主,地形起伏变化较小,植被种类不够丰富,土壤稳定性较差	219.80	18.03
5 级(低 VAC)	坡度陡,坡向朝南为主,地形起伏小,植被数量和种类少,不具有屏蔽作用,土壤稳定性差	63.55	5.21

赋予视觉吸收力 1~5 级分值分别为 9、7、5、3 和 1 分,各等级百分比与对应分值相乘并合计,得到各视觉评价单元的景观视觉吸收力综合得分结果。将各评价单元视觉吸收力等级三等分以体现得分高低的差异,采用“平均分配法”,将研究区内的 19 个视觉评价单元的视觉吸收力得分的最大高值与最低值之差除以 3,即: $(X_{max} - X_{min})/3 = (7.319 9 - 5.007)/3 \approx 0.771$ ,1 级的分级标准为  $X \geq X_{max} - (X_{max} - X_{min})/3$ ;2 级的分级标准为  $X_{min} + (X_{max} - X_{min})/3 \leq X < X_{max} - (X_{max} - X_{min})/3$ ;3 级的分级标准为  $X < X_{min} + (X_{max} - X_{min})/3$ ,得到的视觉吸收力数值等级划分见表 4。绘制的各评价单元视觉吸收力等级分值统计见图 6。

由图 6 可以看出:研究区内 1 级视觉评价单元共 2 个,分别为 7 和 8 号,此区域是漓江流域阳朔段区域范围内的海洋山保护区、大源林场和阳朔国家森林公园,地势起伏变化大,植被种类丰富,高密度的阔叶林和针叶林具有高度屏蔽作用,VAC 高;2 级视觉评价单元有 8 个,分别为 2、3、4 和 19 号等,此区域主要是研究区范围内的漓江风景名胜区和架桥岭保护区,地势起伏变化程度小,坡度较陡而覆盖

灌木的岩溶石山较多,架桥岭保护区乔木植被群落为主,整体上这些单元乔灌植被种类较为丰富,视觉屏蔽作用一般,视觉吸收力中等;3 级视觉评价单元共有 9 个,分别为 1、5、10 和 11 等,主要为农田、人工建设用地和果树园地等,这些视觉单元地形起伏变化小,植被种类少,视觉屏蔽作用差,土壤稳定性差,VAC 低。

表 4 视觉单元视觉吸收力数值等级划分

Table 4 Classification of VAC power of visual units

等级	数值	评分
一级	$X \geq 6.5489$	5
二级	$5.7780 \geq X < 6.5489$	3
三级	$X < 5.7780$	1

将 5 个视觉吸收力等级的面积按每个景观要素类型进行提取,统计各景观要素占各等级视觉吸收力面积百分比,评估不同景观要素的视觉吸收力大小规律(图 7)。研究区的林地与灌木林地的 1 级、2 级和 3 级视觉吸收力面积之和占比各  $> 90\%$ ,表明丰富的植被发挥着重要的视觉屏蔽作用,极大地提升景观视觉吸收力;园地和耕地的 3 级和 4 级视觉吸收力面积占比总和均  $> 70\%$ ,农田耕作和果树苗

木种植的用地地势起伏度较小,植被稀疏,VAC 较小;水域、建设用地和未利用地的 5 级视觉吸收力面积占比均 >50%,该要素所在区域地势相对平坦,暴露的人工用地和滩地土壤稳定性差,且植被覆盖度低,因此这 3 种景观要素的 VAC 最低。

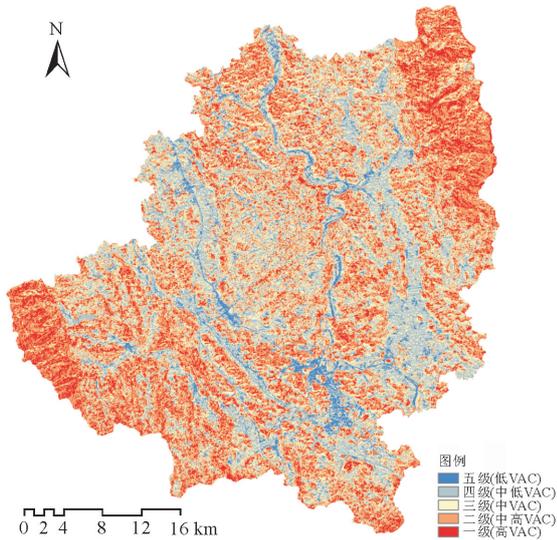


图 5 视觉吸收力综合评价等级

Fig. 5 Comprehensive evaluation grade of VAC

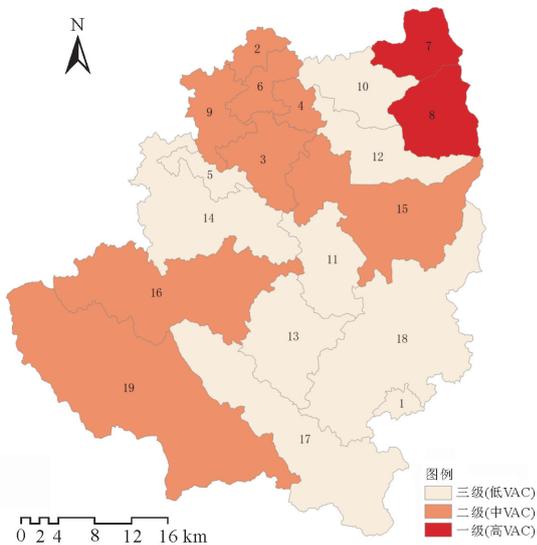


图 6 评价单元视觉吸收力评价等级分布

Fig. 6 Evaluation grade distribution of VAC of evaluation unit

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

建立漓江流域阳朔段景观视觉吸收力评价体系,将评价指标量化为具体的数据,通过 GIS 空间分析和 AHP 得到不同度量下较为客观而可视化的视觉吸收力等级评估结果。

1) 漓江流域阳朔段景观视觉吸收力整体处于较高水平,与该区域地势多变、自然景观类型丰富的现

状相符。影响视觉吸收力高低的最主要自然因素是植被,如研究区内以乔木为主的自然保护区和森林公园的 VAC 最高。植物群落成分越丰富、结构越复杂,尤其是层次鲜明的乔灌木组合的林地,其景观自调节和视觉屏蔽的能力越高。同时地势起伏度对研究区的视觉吸收力影响也较大,如地势起伏度较大且覆盖灌木的石山区域 VAC 也较高。

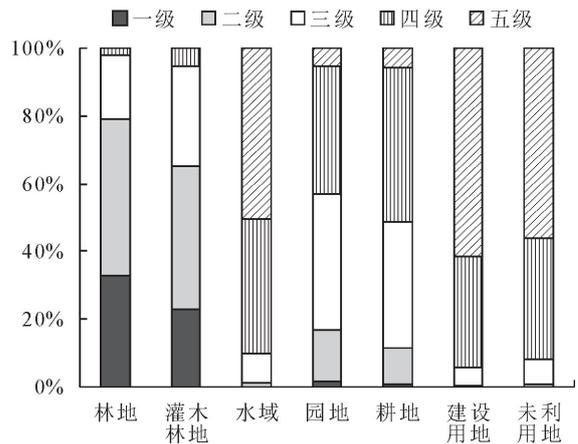


图 7 景观要素类型视觉吸收力等级百分比

Fig. 7 Percentages of sensitivity levels of forest visual landscape element types

2) 在游客旅游活动、景区旅游建设管理及生态保护中,视觉吸收力应作为立地项目评估的重要指标。景观视觉吸收力高的区域植被丰富、地势多变使其景观资源往往较为丰富,可以成为优选的旅游目的地,且其容纳景观改变的程度大,在以较大尺度的自然风景状态目标而进行改进的管理活动方面,可在阈值接受的范围内适当进行景观改造活动,在景观空间区划中指导观景活动的相对最优位置。

3) 景观视觉吸收区的划定为漓江流域阳朔段合理开发和保护景观资源、推进阳朔县全域旅游发展提供了科研依据。相关规划单位应以漓江流域阳朔段丰富的景观资源优势进行合理的开发与利用<sup>[18]</sup>,通过建立、健全并落实植树绿化、水土保持和生态旅游管理等规章制度,注意避免人为活动带来的生态和视觉破坏,使景观资源得到可持续发展利用,以低成本、高回报、最少降低风景质量的方式完成经营管理活动<sup>[19]</sup>。

### 4.2 讨论

漓江流域阳朔段集中了漓江流域丰富的景观资源,喀斯特石山地貌显著,陡峭的岩壁上植被覆盖度低,岩石暴露地带多,本研究对原本“不可捉摸”的感性景观视觉进行价值量化<sup>[20]</sup>,有助于发现视觉上缺乏遮蔽力的林间空地、峭壁和裸岩等景观,可针对性地对其进行资源保育与利用工作,衡量景观单元抵抗外界干扰、保护景观内在结构稳定性及景观受到

破坏后的自我修复能力,考虑对低 VAC 的此类景观资源要加以保护,营造特色的景观空间。

由于数据和资料的收集条件有限,本视觉吸收力评价指标控制在生物物理因素,且研究区域尺度较大及数据的精度有限,研究结果仅限于指导相对宏观尺度的景观视觉评价和风景规划,对于微观区域景观视觉吸收力评价还需要采用分辨率更高的影像及详尽的现场勘察。此外,由于指标因子的公众可理解程度和时间的限制,采用 AHP 结合问卷调查的结果可能带有一定的主观性。随着新技术和理念的发展,数据和资料的完善,未来将更深入地探究景观视觉结合景区时季变化、景观格局和心理感知等因素参与评价分析,促进景观视觉质量评价体系进一步完善。

数据可视化是当今社会发展的趋势,GIS 技术和虚拟现实技术的融合可以为评价景观视觉质量评价提供一种更加高效、直接的综合性研究方法<sup>[21]</sup>,同时应重视现代技术结合景观生态学、人体工程学等理论方法的评价方式,实现感性与量化的融合,不断形成更为完善的景观视觉评价体系和景观管理途径<sup>[19]</sup>。景观视觉吸收力是景观视觉质量评价体系中的重要指标,在评价结果的基础上通过因势利导的规划提升游客的观景感受,既给林农和开发者带来了经济效益,也维护了景观的完整性和视觉环境质量。

#### 参考文献:

- [1] AMIR S, GIDALIZON E. Expert-based method for the evaluation of visual absorption capacity of the landscape[J]. *Journal of Environmental Management*, 1990, 30(3): 251-263.
- [2] 帕特里克·米勒,姜珊. 美国的风光管理: 克莱特湖风景管理研究[J]. *中国园林*, 2012, 28(3): 15-21.  
MILLER P, JIANG S. Landscape management in the united states: a study on the landscape management of Klaette Lake [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2012, 28(3): 15-21. (in Chinese)
- [3] ELSNER G H. Proceedings of our national landscape: a conference on applied techniques for analysis and management of the visual resource [M]. Nevada: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 1979.
- [4] 裘亦书. 基于 GIS 技术的景观视觉质量评价研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
- [5] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [6] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则[J]. *应用生态学报*, 1998, 19(2): 217-221.  
XIAO D N, ZHONG L S. Ecological principles of landscape classification and evaluation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 19(2): 217-221. (in Chinese)
- [7] 王敏, 高新华, 陈思宇, 等. 基于 Landsat-8 遥感影像的土地利用分类研究——以四川省红原县安曲示范区为例[J]. *草业科学*, 2015, 32(5): 694-701.  
WANG M, GAO X H, CHEN S Y, et al. Land use classification based on landsat-8 remote sensing images—a case study of Anqu demonstration area in Hongyuan County, Sichuan Province[J]. *Pratacultural Science*, 2015, 32(5): 694-701.
- [8] 宋宏利, 雷海梅, 霍志敏, 等. 基于 Sentinel-2A 的太行山区土地覆被分类方法研究[J]. *河北工程大学学报: 自然科学版*, 2020, 37(2): 100-106.  
SONG H L, LEI H M, HUO Z M, et al. Study on land cover classification method in Taihang Mountain area based on Sentinel-2A[J]. *Journal of Hebei University of Engineering: Natural Science Edition*, 2020, 37(2): 100-106. (in Chinese)
- [9] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [10] 程国旗, 王志勇, 陈欢. Landsat-8 监督分类器精度比较——以黄岛区为例[J]. *测绘与空间地理信息*, 2019, 42(12): 146-148, 151, 155.  
CHENG G Q, WANG Z Y, CHEN H. Accuracy comparison of Landsat-8 supervised classifiers——taking Huangdao district as an example[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2019, 42(12): 146-148, 151, 155. (in Chinese)
- [11] 何予霄, 周江. ENVI 中几种监督分类方法精度比较[J]. *科技创新与应用*, 2018, 8(13): 22-24.  
HE Y X, ZHOU J. Accuracy comparison of several supervised classification methods in envi[J]. *Technology Innovation and Application*, 2018, 8(13): 22-24. (in Chinese)
- [12] 徐汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. *测绘学报*, 1991, 20(4): 311-319.  
XU H M, LIU Z D. Study on topographic relief in China[J]. *Journal of Geodesy and Geoinformation Science*, 1991, 20(4): 311-319. (in Chinese)
- [13] 杨会娟, 范冬冬, 于晓红. 基于 GIS 的塞罕坝森林视觉景观质量评价[J]. *西北林学院学报*, 2020, 35(5): 225-232.  
YANG H J, FAN D D, YU X H. Quality evaluation of Saihanba forest visual landscape based on GIS[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2020, 35(5): 225-232. (in Chinese)
- [14] 毕华兴, 谭秀英, 李笑吟. 基于 DEM 的数字地形分析[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 49-53.  
BI H X, TAN X Y, LI X Y. Digital terrain analysis based on DEM[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(2): 49-53. (in Chinese)
- [15] 杨树文, 谢飞, 冯光胜, 等. 基于 SPOT 5 图像的岩溶地貌单元自动提取方法[J]. *国土资源遥感*, 2012, 24(2): 56-60.  
YANG S W, XIE F, FENG G S, et al. Automatic extraction method of karst geomorphic unit based on SPOT 5 image[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2012, 24(2): 56-60. (in Chinese)
- [16] 徐建春, 赵英时, 刘振华. 利用遥感和 GIS 研究内蒙古中西部地区环境变化[J]. *遥感学报*, 2002, 6(2): 142-149, 166.  
XU J C, ZHAO Y S, LIU Z H. Using remote sensing and GIS to study environmental change in central and western Inner Mongolia[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(2): 142-

- 149,166. (in Chinese)
- [17] 黄硕,成林莉,董建文,等. 基于 GIS 与 AHP 法的城市山地公园复愈性环境影响机制研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(4):233-240,288.  
HUANG S, CHENG L L, DONG J W, *et al.* Study on rehabilitation environmental impact mechanism of urban mountain park based on GIS and AHP[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(4):233-240,288. (in Chinese)
- [18] 莫美颖,邓华锋. 福建洪田村森林景观视觉敏感度评价[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1):232-238.  
MO M Y, DENG H F. Visual sensitivity evaluation of forest landscape in Hongtian Village, Fujian[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(1):232-238. (in Chinese)
- [19] 莫美颖. 乡村森林景观视觉质量评价研究[D]. 北京:北京林业大学, 2020.
- [20] 裘亦书,高峻. 基于 GIS 技术的景观视觉吸收力评价研究——以九寨沟自然保护区为例[J]. 中国园林, 2017, 33(9):40-45.  
QIU Y S, GAO J. Evaluation of landscape visual absorption based on GIS technology——taking Jiuzhaigou nature reserve as an example[J]. Chinese Landscape Architecture, 2017, 33(9):40-45. (in Chinese)
- [21] 宋关福,陈勇,罗强,等. GIS 基础软件技术体系发展及展望[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(1):2-15.  
SONG G F, CHEN Y, LUO Q, *et al.* Development and prospect of GIS basic software technology system[J]. Journal of Geo-information Science, 2021, 23(1):2-15. (in Chinese)

(上接第 223 页)

- [26] 夏松华,李黎,李建章. 纳米 TiO<sub>2</sub> 改性脲醛树脂性能研究[J]. 粘接, 2008, 1(7):21-23.  
XIA S H, LI L, LI J Z. Research on performance of modified urea-formaldehyde resin with nano-TiO<sub>2</sub>[J]. Adhesion, 2008, 1(7):21-23. (in Chinese)
- [27] EKO S W, MUHAMMAD A R L, PARK B D, *et al.* Converting crystalline thermosetting urea-formaldehyde resins to amorphous polymer using modified nanoclay[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020, 87(1):78-89
- [28] 何文,张苏京,蒋身学,等. 插层处理纳米蒙脱土改性脲醛树脂对胶合板性能的影响[J]. 中国人造板, 2012, 19(11):19-22.  
HE W, ZHANG S J, JIANG S X, *et al.* Effect of urea-formaldehyde resin modified with intercalation modification nanomontmorillonite on properties of plywood[J]. China Wood-Based Panels, 2012, 19(11):19-22. (in Chinese)
- [29] DUAN H Y, QIU T, GUO L H, *et al.* The aminolysis of styrene-maleic anhydride copolymers for a new modifier used in urea-formaldehyde resins[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2016, 66(2):138-146.
- [30] GHANI A, ASHAARI Z, BAWON P, *et al.* Reducing formaldehyde emission of urea formaldehyde-bonded particleboard by addition of amines as formaldehyde scavenger[J]. Building and Environment, 2018, 142(2):188-194.
- [31] 张奇珍,尹明明,余曼丽,等. 载药明胶微球剂的制备及应用研究进展[J]. 农药学学报, 2021, 23(4):657-667.  
ZHANG Q Z, YIN M M, YU M L, *et al.* Research progress of the preparation and application of gelatin microspheres[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2021, 23(4):657-667. (in Chinese)
- [32] 李智,杜官本,杨红星,等. 脲基超支化聚合物木材胶黏剂的合成与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2021, 37(11):45-52, 61.  
LI Z, DU G B, YANG H X, *et al.* Synthesis and properties of ureido hyperbranched polymer wood adhesives[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2021, 37(11):45-52, 61. (in Chinese)
- [33] TAYLOR R, PRAGNELL R J, MCLAREN J V, *et al.* Evaluation of NMR spectroscopy for the quantitative characterization of urea-formaldehyde resins[J]. Talanta, 1982, 29(6):489-494.
- [34] SZESZTAY M, LASZLO-HEDVIG Z, KOVACSOVICS E, *et al.* DSC application for characterization of urea/formaldehyde condensates[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1993, 51(5):297-300.