

DOI: 10.5846/stxb202105231336

程占红,程锦红,朱紫翎,王峥.基于群落视角的五台山景区森林植被旅游承载力研究.生态学报,2022,42(8):3144-3154.

Cheng Z H, Cheng J H, Zhu Z L, Wang Z. Tourism carrying capacity of forest vegetation in Wutai Mountain scenic area based on community perspective. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(8): 3144-3154.

基于群落视角的五台山景区森林植被旅游承载力研究

程占红^{1,*}, 程锦红¹, 朱紫翎², 王 峥¹

1 山西财经大学文化旅游学院, 太原 030031

2 山西财经大学资源环境学院, 太原 030006

摘要: 植被旅游承载力的研究对于加强山地型景区生态管理, 促进可持续发展具有重要意义。文章从多角度建立了群落旅游承载力的测量指标, 并对五台山景区森林植被的旅游承载力进行了测算。结果表明: ①五台山森林群落可分为多幼苗—有灌木型、少幼苗—有灌木型、多幼苗—无灌木型、少幼苗—无灌木型、有萌枝—有灌木型、有萌枝—无灌木型、极少萌枝—有幼苗型以及无萌枝—无幼苗型, 各组类型逐渐由生态环境良好区到生态环境较差区递变。②群落旅游承载力的测算结果显示, 有 37 个样方处于超载状态, 且主要受到寺庙与村落周边的旅游干扰影响。③群落旅游承载力也受到各类地理因子的影响。其中, 坡向、坡形分别与群落旅游承载力呈显著负相关和显著正相关, 其余地理因子则与群落旅游承载力呈正相关关系。

关键词: 森林植被; 群落旅游承载力; 五台山景区

Tourism carrying capacity of forest vegetation in Wutai Mountain scenic area based on community perspective

CHENG Zhanhong^{1,*}, CHENG Jinhong¹, ZHU Ziling², WANG Zheng¹

1 College of Culture Tourism, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030031, China

2 College of Resource Environment, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China

Abstract: Research of the tourism carrying capacity of vegetation is important to strengthen the ecological management of mountainous scenic areas and promote sustainable development. Based on relevant studies at home and abroad, this article constructed an evaluation index system of the tourism carrying capacity of the community from four aspects: the vertical structure, the horizontal structure, the life-form spectrum, and the renewal ability of plant community. Various quantitatively ecological methods such as Two-Way Indicator Species Analysis (TWINSpan) and Detrended Correspondence Analysis (DCA) were used to measure the tourism carrying capacity of forest vegetation in Wutai Mountain scenic area. The results show that: ① based on the classification results of TWINSpan, the forest communities in Wutai Mountain can be divided into the type with many seedlings and some shrubs, the type with few seedlings and some shrubs, the type with many seedlings and no shrubs, the type with few seedlings and no shrubs, the type with some shrubs and sprouts, the type with some sprouts and no shrubs, the type with very few sprouts and some seedlings, the type with no seedlings and no sprouts. The types of each group were transited gradually from good to poor ecological environment. ② The measurement results of the tourism carrying capacity of the community showed that 43 samples were not overloaded, 37 samples were overloaded, and the total overload rate was 46.25%. The overloaded samples were mainly affected by the tourism interference around the temples and villages. ③ The principal geographical factors affecting the change of tourism

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571141); 山西省哲学社会科学规划课题 (2020YY118); 山西省研究生教育改革研究项目 (2019JG129, 2020YJJG168)

收稿日期: 2021-05-23; 网络出版日期: 2021-12-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengzhanhong@163.com

carrying capacity of the community could be identified by the Pearson correlation analysis method, such as altitude, slope, slope position, slope shape, and aspect. Among them, the slope shape was significantly positively correlated with the tourism carrying capacity of the community, the aspect was significantly negatively correlated with the tourism carrying capacity of the community, and the rest of geographical factors were positively correlated with the tourism carrying capacity of the community. In addition, some targeted control strategies were pointed out for vegetation protection and ecological management in Wutai Mountain scenic area.

Key Words: forest vegetation; tourism carrying capacity of the community; Wutai Mountain scenic area

过去数十年间,旅游业是发展最快的产业之一,其在促进经济增长、社会进步等方面的作用凸显。但是,随着旅游规模的急剧膨胀与旅游开发程度的深入,旅游环境承载力问题逐步涌现,从而造成旅游地的生态资源遭受损坏,同时也影响了游客的体验质量。为了促进旅游景区持续健康发展,旅游环境承载力研究成为旅游资源规划与开发研究领域的热点问题。

旅游环境承载力又称为旅游承载力,是研究旅游地人地关系和谐程度的重要指标^[1]。目前,学术界有关旅游环境承载力的内涵仍没有达成统一,但在其作为环境管理的有效工具,尤其是在表达旅游活动与环境相互作用关系方面已经初步达成了共识^[2]。因此,旅游环境承载力的相关研究主要是以在景区开发与规划管理中的定量应用为主,并围绕“测算—评价—管理策略”这一主线来展开^[3]。在旅游环境承载力的评价指标体系方面,一般分为单指标体系与综合指标体系两方面,前者主要是指旅游景区所能容纳游客量的阈值,后者则是从整个景区的经济、社会、生态、文化等多方面来综合考量,且得到了较为广泛的应用^[4]。在测算方法上,具有数学、物理学、地理学等多学科交叉的特点,如线性规划法^[5]、地理信息技术^[6]、耦合协调模型^[4]、设备设施法^[7]、层次分析法及其拓展^[8-9]等。另外,对于特殊景观类型的旅游环境承载力,学者们还提出了具有针对性的测算方案,例如对于旅游洞穴类景观,在测算中主要利用洞穴气温和 CO₂ 浓度的自净力来确定^[10];对于石窟类景观,提倡在影响因子的基础上使用权重分配法来确定^[11]等。在研究对象上,多以生态脆弱的旅游地或旅游景区来展开,如高原藏区^[12]、海滨湿地^[13]、沙漠型景区^[14]以及各类山地型景区^[15-16],少数学者还将研究对象进一步拓展至旅游城市^[17]、省域^[18]以及区域^[19]等层面。在研究内容上,部分学者还引入预警理论,主要探讨了区域旅游环境承载力的预警和调控机制^[20],这无疑是对前人研究内容的进一步深化。总体来看,现有研究已经对旅游环境承载力进行了多方面分析,但是仔细研究这些研究成果,可以发现:目前旅游承载力的估算更多是从整个旅游环境系统的角度来考虑,缺乏从微观层面的各个自然要素的角度来探讨;其二,整个评价的指标体系带有宏观性,尤其是构建的指标中缺少反映植物生态过程的指标。由此可见,当前关于植被旅游承载力的论题,无论从研究方法、指标体系还是从研究程度上均没有深入地展开。

森林植被是山地型景区中一种最为敏感、最有生机的生态要素。但是随着近年来游客数量的激增,山地型景区内森林植被多受到不同程度的旅游干扰,造成植被覆盖率下降,群落结构退化,生物功能衰退等一系列负面效应,严重威胁到森林植被系统的良性循环,阻碍了景区的可持续发展。因此,科学测算分析旅游干扰下山地型景区森林植被的旅游承载力尤为紧迫和关键。为此,文章以五台山景区的植被群落为研究对象,在分析旅游干扰下不同群落生态特性的基础上,结合数量生态学的分析技术对植被的群落旅游承载力展开研究。

1 研究方法

1.1 取样调查

五台山是典型的温带山地型生态系统,具有完整的植被垂直带谱。同时,也是我国佛教四大名山之首与世界文化遗产地,具有较强的旅游吸引力。文章以五台山的实地调研为前提,利用样带和样方合并考察,把塔院寺设为中心,设置 8 条样带,分别在东、西、南、北、东北、西北、西南和东南不同方向定位,并以每隔 100 m 的

实际距离取一个样方,取样仅考虑森林植被,若为草本和灌木类植被,则放弃该样点的生态取样,继续取后面隔 100 m 的样方,取样的最远距离以实地植被没有受到干扰为止。在每个森林群落的样方中,取样尺度为 10 m×10 m,其中在每个样方的四角和对角线交叉的中心点,各取 1 个灌木群落和草本群落样方,灌木群落尺度为 4 m×4 m,草本群落尺度为 1 m×1 m,这样每个森林群落各取 5 个灌木群落和草本群落,分别各取其平均特征值代表该样方的灌木群落和草本群落的特征。根据上述取样方法,分别在 8 条样带上取了 80 个森林群落样方,样方号分别为:正西方向 1—10,西南方向 11—21,西北方向 22—29,正北方向 30—37,东北方向 38—46,正东方向 47—58,正南方向 59—71,东南方向 72—80。

在取样调查中:①调查了每个样方的海拔高度、坡度、坡向、坡形、坡位等自然条件,其中,用 GPS 测量海拔,用水准仪测量坡度,用罗盘仪测量坡向,坡形则是视样方所处的凹坡、凸坡或平地而定,坡位也是视样方所处于山坡的上部、中部或下部而定。②记录了乔木幼苗数量和萌枝数量,测量了群落总盖度、乔木层与草本层盖度以及各物种的生态特征值等指标。③统计不同方向上沿途寺庙、村落及周边的基本情况。

1.2 群落旅游承载力的指标体系构建

群落的旅游承载力是指在某一时期、某种状态或条件下,旅游景区的植被群落在保持自我维持和自我调节功能的前提下,所能承受的旅游活动强度。借鉴相关成果,群落的旅游承载力指标主要包括群落垂直结构^[21-22]、群落水平结构^[23-27]、生活型比例^[28]、群落更新能力^[21-22] 4 个方面。

(1)群落垂直结构指群落在垂直方面的配置状态。在本研究中利用乔木层、灌木层和草本层的垂直投影面积占样方面积之比的百分数来描述^[21-22]。

(2)群落的水平结构指群落的水平配置状况或水平格局,由乔木层、灌木层和草本层的景观重要值来描述^[23-27]。乔木层景观重要值指某一样方中乔木层的所有乔木的景观重要值的总和,灌木层和草本层的景观重要值计量方法同理。景观重要值作为衡量植被在样方中作用程度的指标,与生态环境质量成正相关。具体测算方法如下:

$$\text{乔木景观重要值} = \frac{\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对优势度}}{3} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{灌木景观重要值} = \frac{\text{相对高度} + \text{相对盖度}}{2} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{草本景观重要值} = \frac{\text{相对高度} + \text{相对盖度}}{2} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{相对多度} = \frac{\text{某一种的每个样方的多度}}{\text{同一样带上全部样方内的所有种多度之和}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{相对高度} = \frac{\text{某一种的平均高度}}{\text{同一样带上全部样方的所有种平均高度之和}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{相对盖度} = \frac{\text{某一种的平均盖度}}{\text{同一样带上全部样方的所有种盖度之和}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{相对优势度} = \frac{\text{某一种的胸面积}}{\text{同一样带上全部样方的所有种胸面积之和}} \times 100\% \quad (7)$$

(3)生活型比例指不同生活型植物所占的重要程度。在原生境中,每个样方中均有不同的生活型植物,但是因旅游活动影响而造成不同植物缺失,从而导致生活型比例的失调,其生活型比例就是某一样方内所有该类型的植物的重要值之和^[28]。根据 Raunkiaer 生活型系统,植物生活型有高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、隐芽植物和一年生植物 5 种类型。

(4)群落更新能力是表征森林群落的生态功能持续发展的重要指标,在本研究中,利用乔木的幼苗量和萌枝数量来描述^[21-22]。显然,其数值越大,说明其更新能力越强。

1.3 群落旅游承载力的测算方法

在上述构建的指标体系中共有 13 个指标,80 个样方与 13 项指标可以组成 13×80 维的数据矩阵。本文主要运用双向指示种分析法(Two-Way Indicator Species Analysis, TWINSpan)和除趋势对应分析法(Detrended Correspondence Analysis, DCA)进行群落旅游承载力的测算。首先,利用双向指示种分析方法对 13×80 维的数据矩阵进行运算分析,根据其结果进行分类,再根据生态学知识,识别其中处于临界阈值的类型。其次,运用除趋势对应分析法把群落的所有生态信息综合起来,将 80 个样方的前两个排序轴的值作为坐标值,使得每个样方都有一个对应的坐标值。利用这些坐标值,计算所有样方与原点之间的生态距离,这种生态距离与临界类型与原点之间的生态距离之比,就是该群落的旅游承载力(公式 8)。若这两类生态距离的比值大于 1,则未超载;等于 1,则处于临界状态,相反,小于 1,则意味着超载。因篇幅所限,上述所涉及的数量分析方法可借鉴张金屯学者的著作^[29]。

$$\text{群落的旅游承载力} = \frac{\text{每个样方与原点的生态距离}}{\text{临界类型与原点的生态距离}} \quad (8)$$

1.4 临界类型的判别原则

综合考虑样方中森林群落的乔木层、灌木层、草本层的变化,结合野外经验,制定了临界类型判断的原则,主要有:(1)乔木幼苗量和萌枝数是反映群落更新能力的重要指标,若无乔木幼苗或萌枝,说明群落的生态环境遭到了严重影响,因此将具有一定的乔木幼苗量和萌枝数作为最易判断的指标之一,其值不能为 0。(2)在森林群落中,乔木层是构成森林景观的最主要的层次,其景观重要值的大小关键着群落生态功能的发挥;而草本层是受旅游影响最明显的植被层次,最易观测。旅游干扰下森林植被的临界类型意味着其基本的生态功能能够得以保持,因而对于乔木层景观重要值和草本层景观重要值,我们取其中度干扰下的平均值,它们的临界值应介于 0.08—0.12 之间;(3)鉴于盖度亦是直观判别群落状态的最基本指标,现上述同理,我们将乔木层盖度和草本层盖度亦作为判别指标,其值不宜太高或太低(由于部分样方不存在灌木层,因此判别原则中不考虑灌木层)。

1.5 相关分析法

利用 SPSS 双变量相关的皮尔逊系数,计算群落的旅游承载力与不同地理因子之间的关系,寻求关键性的地理因子。其中,地理因子包括海拔、坡度、坡向、坡形以及坡位。具体数据处理方法见文献^[30]。

2 结果分析

2.1 各样方的 TWINSpan 分类结果

本研究运用 TWINSpan 将 80 个样方划分为 8 类。在图 1 中, N 代表每一分类的样方数, D_i 代表第 i 次划分,“+”、“-”分别代表正负指示指标,数字为指示指标序号。通过计算 8 类各项指标的平均值(表 1),尤其注意关键指示指标“乔木幼苗量”、“乔木萌枝量”和“灌木层盖度”,同时结合群落的旅游承载力临界类型的判断原则,对以下 8 个类型进行判别:

I 类属于多幼苗—有灌木型,分别有样方 24,33,37,45,62,63。“乔木层盖度”介于 45%—90%之间,平均值为 78.33%;“灌木层盖度”介于 18.75%—46%之间,平均值为 30.58%;“草本层盖度”介于 57.5%—94%之间,平均值为 67%;“乔木层景观重要值”介于 0.0288—0.1163 之间,平均值为 0.0725;“草本层景观重要值”介于 0.059—0.1456 之间,平均值为 0.11;“乔木幼苗量”介于 4—27 之间,平均值为 11.17;“乔木萌枝量”介于 3—8 之间,平均值为 5.17。

II 类属于少幼苗—有灌木型,包括样方 7,9,10,16,19,36,41,65,77,78。“乔木层盖度”介于 80%—100%之间,平均值为 87.5%;“灌木层盖度”介于 15%—96.67%之间,平均值为 36.85%;“草本层盖度”介于 44%—96.67%之间,平均值为 70.57%;“乔木层景观重要值”介于 0.0456—0.1896 之间,平均值为 0.0985;“草本层景观重要值”介于 0.0521—0.1407 之间,平均值为 0.11;“乔木幼苗量”介于 1—4 之间,平均值为 2.2;“乔

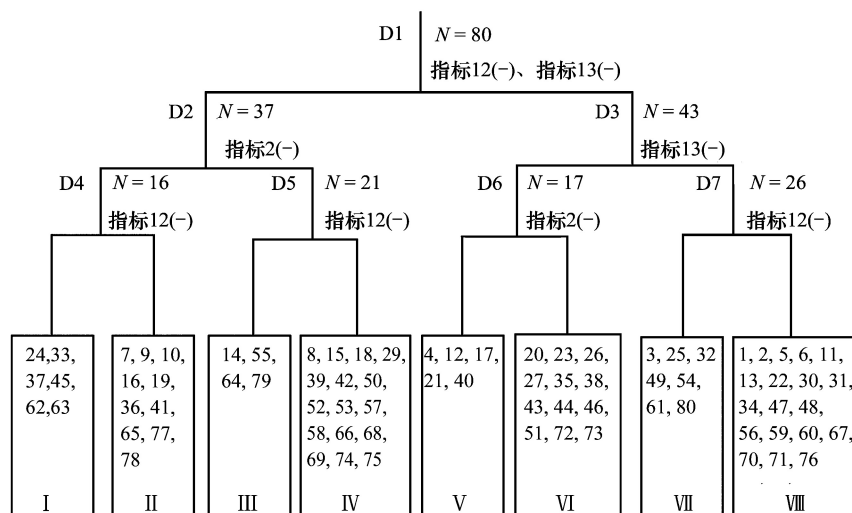


图1 群落旅游承载力测算指标的 TWINSpan 分类图

Fig.1 TWINSpan classification of the indicators for measuring the tourism carrying capacity of the community

指标 2:灌木层盖度,Indicator 2: the coverage of shrub layer;指标 12:乔木幼苗量,Indicator 12: the quantity of tree seedling;指标 13:乔木萌枝量,Indicator 13: the quantity of tree sprout; I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII 分别代表群落旅游承载力的不同类型, I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII represents the different types of community tourism carrying capacity, respectively;方框里面的数字是样方号,The number inside the box is the sample number;TWINSpan:双向指示种分析,Two-Way Indicator Species Analysis

木萌枝量”介于 3—20 之间,平均值为 9.5。

Ⅲ类属于多幼苗—无灌木型,包括样方 14, 55, 64, 79。“乔木层盖度”介于 70%—95%之间,平均值为 83.75%;“灌木层盖度”均为 0;“草本层盖度”介于 58.75%—77.5%之间,平均值为 67.44%;“乔木层景观重要值”介于 0.0786—0.2926 之间,平均值为 0.1339;“草本层景观重要值”介于 0.0607—0.0977 之间,平均值为 0.0791;“乔木幼苗量”介于 7—109 之间,平均值为 33;“乔木萌枝量”介于 3—15 之间,平均值为 7.75。

Ⅳ类属于少幼苗—无灌木型,有样方 8, 15, 18, 28, 29, 39, 42, 50, 52, 53, 57, 58, 66, 68, 69, 74, 75。“乔木层盖度”介于 60%—100%之间,平均值为 85%;“灌木层盖度”均为 0;“草本层盖度”介于 40%—97.5%之间,平均值为 78.91%;“乔木层景观重要值”介于 0.0272—0.3132 之间,平均值为 0.1148;“草本层景观重要值”介于 0.0486—0.1913 之间,平均值为 0.119;“乔木幼苗量”介于 2—5 之间,平均值为 3.53;“乔木萌枝量”介于 2—30 之间,平均值为 13.65。

V类属于有萌枝—有灌木型,有样方 4, 12, 17, 21, 40。“乔木层盖度”介于 45%—95%之间,平均值为 71%;“灌木层盖度”介于 8.75%—45%之间,平均值为 20.9%;“草本层盖度”介于 37%—92.5%之间,平均值为 58.1%;“乔木层景观重要值”介于 0.0211—0.1605 之间,平均值为 0.0757;“草本层景观重要值”介于 0.0395—0.113 之间,平均值为 0.0738;“乔木幼苗量”均为 0;“乔木萌枝量”介于 1—14 之间,平均值为 6。

Ⅵ类属于有萌枝—无灌木型,有样方 20, 23, 26, 27, 35, 38, 43, 44, 46, 51, 72, 73。“乔木层盖度”介于 60%—95%之间,平均值为 82.5%;“灌木层盖度”均为 0;“草本层盖度”介于 31.25%—98.33%之间,平均值为 73.27%;“乔木层景观重要值”介于 0.049—0.2583 之间,平均值为 0.1274;“草本层景观重要值”介于 0.0352—0.246 之间,平均值为 0.1261;“乔木幼苗量”均为 0;“乔木萌枝量”介于 2—20 之间,平均值为 8.58。

Ⅶ类属于极少萌枝—有幼苗型,有样方 3, 25, 32, 49, 54, 61, 80。“乔木层盖度”介于 45%—90%之间,平均值为 70.71%;“灌木层盖度”介于 0%—38.75%之间,平均值为 5.54%;“草本层盖度”介于 24%—93.75%之间,平均值为 56.56%;“乔木层景观重要值”介于 0.0323—0.1245 之间,平均值为 0.0733;“草本层景观重要值”介于 0.0482—0.1672 之间,平均值为 0.0891;“乔木幼苗量”介于 2—69 之间,平均值为 17.86;“乔木萌枝

量”介于 0—1 之间,平均值为 0.14。

Ⅷ类属于无萌枝—无幼苗型,有样方 1,2,5,6,11,13,22,30,31,34,47,48,56,59,60,67,70,71,76。“乔木层盖度”介于 30%—95%之间,平均值为 68.95%;“灌木层盖度”介于 0%—85%之间,平均值为 10.59%;“草本层盖度”介于 6.67%—94.6%之间,平均值为 45.52%;“乔木层景观重要值”介于 0.0206—0.2561 之间,平均值为 0.088;“草本层景观重要值”介于 0.0112—0.1573 之间,平均值为 0.0734;“乔木幼苗量”和“乔木萌枝量”均为 0。

总体来看,在图 1 中,从左到右呈现出来一个明显的环境梯度。从第Ⅰ类到第Ⅷ类,“乔木幼苗量”从“多幼苗”转为“少幼苗”,甚至“无幼苗”;“乔木萌枝量”从“有萌枝”转为“极少萌枝”或“无萌枝”,这两个关键指示指标的数量大致呈现一个由多到少的变化趋势。与此同时,乔木层和草本层的景观重要值也表现出由大变小的变化趋势。由此可见,从左到右,各组类型呈现出由生态环境良好区到生态环境较差区的转化趋势。

表 1 不同群落类型在各项指标上的平均值
Table 1 Average value of different community types on various indicators

指标项 Index item	I 类 Type I	Ⅱ类 Type II	Ⅲ类 Type III	Ⅳ类 Type IV	V 类 Type V	Ⅵ类 Type VI	Ⅶ类 Type VII	Ⅷ类 Type VIII
乔木层盖度 Tree layer coverage/%	0.7833	0.8750	0.8375	0.8500	0.7100	0.8250	0.7071	0.6895
灌木层盖度 Shrub layer coverage/%	0.3058	0.3685	0.0000	0.0000	0.2090	0.0000	0.0554	0.1059
草本层盖度 Herb layer coverage/%	0.6708	0.7057	0.6744	0.7891	0.5810	0.7327	0.5656	0.4552
乔木层景观重要值 Important value of tree layer landscape	0.0725	0.0985	0.1339	0.1148	0.0757	0.1274	0.0733	0.0880
灌木层景观重要值 Important value of shrub landscape	0.3573	0.2147	0.0000	0.0000	0.2247	0.0000	0.1097	0.0956
草本层景观重要值 Important value of herb layer landscape	0.1100	0.1102	0.0791	0.1190	0.0738	0.1261	0.0891	0.0734
高位芽重要值比例 Proportion of high bud importance value/%	0.6667	0.6667	0.5000	0.5000	0.6667	0.5000	0.5238	0.5263
地上芽重要值比例 Important value ratio of shoot bud/%	0.0382	0.0399	0.0295	0.0294	0.0387	0.0174	0.0178	0.0356
地面芽重要值比例 Proportion of ground bud importance value/%	0.1875	0.2061	0.2984	0.3088	0.1776	0.2640	0.3237	0.2093
隐芽重要值比例 Proportion of importance value of dormant buds/%	0.0464	0.0286	0.0834	0.0706	0.0432	0.1008	0.0398	0.0802
一年生重要值比例 Proportion of annual importance/%	0.0613	0.0588	0.0887	0.0810	0.0739	0.1177	0.0948	0.1485
乔木幼苗量 Tree seedling quantity/n	11.1667	2.2000	33.0000	3.5294	0.0000	0.0000	17.8571	0.0000
乔木萌枝量 Tree sprouting quantity/n	5.1667	9.5000	7.7500	13.6471	6.0000	8.5833	0.1429	0.0000

2.2 各样方的群落旅游承载力测度及其超载情况

首先,基于表 1 的测度结果,我们可以初步判断,临界类型最可能产生在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类和Ⅳ类“乔木幼苗量”和“乔木萌枝量”不为 0 的类型之中,再仔细对照判别原则,通过在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类和Ⅳ类中进一步筛选,最终发现,样方 8、9、57 这 3 个样方属于临界类型。其次,利用 DCA 结果(图 2),计算所有样方与原点之间的生态距离。由于群落的旅游承载力的临界类型有 3 个,则取这 3 个样方的生态距离的平均值作为临界类型与原点之间的生态距离。最后,根据公式(8)计算得到各样方群落的旅游承载力(表 2)。

根据表 2,可以看出未超载的样方共计 43 个,超载的样方有 37 个,总计超载率为 46.25%。

结合各超载样方所处的实际位置,可进一步分析超载情况。其中,位于正西方向的超载样方有 1,2,4,5,6,9。该样带途经三塔寺(年均游客量近 1 万)、西沟村(村落周边的商铺总面积约 1600 m²)等地,当前该区域已经形成了一定的游客规模与商业规模,不利于群落旅游承载力的恢复与提升。

位于西南方向的超载样方有 11,12,13,17,20,21。该样带途经殊像寺(年均游客量约 80 万人)、新访村(村落周边的商铺总面积约 9640 m²)等地。其中,样方 13(群落旅游承载力为 0.3761)位于殊像寺附近,较大的旅游干扰极大地降低了该样方的群落旅游承载力。

位于西北方向的超载样方有 22,23,26,27。该样带途经寿宁寺(年均游客量约 0.5 万人)和西沟村等地。其中,样方 26(群落旅游承载力为 0.8041)位于西沟村南边,与商铺较近,受到一定的人为干扰影响,对群落旅游承载力造成一定影响。

位于正北方向的超载样方有 30,31,34,35。该样带途经显通寺(年均游客量约 150 万人)、草地村(村民数量介于 1000 至 1500 人之间)等地,受到较大的旅游干扰影响。

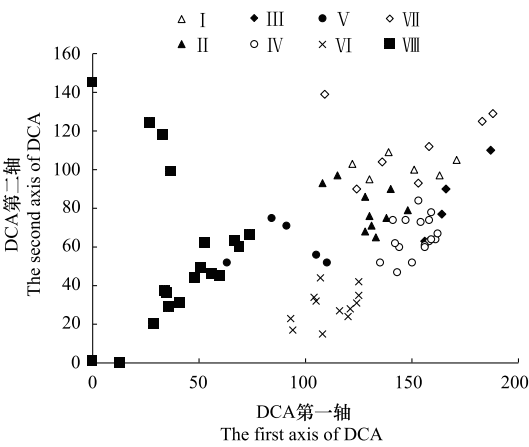


图2 群落的旅游承载力测算指标的 DCA 排序图

Fig.2 DCA ordination diagram of the indicators for measuring the tourism carrying capacity of the community

I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII,同图 1, Same as Fig.1; DCA:除趋势对应分析, Detrended Correspondence Analysis

表 2 各样方群落的旅游承载力

Table 2 Tourism carrying capacity of the community in each sample						
类型 Type	样方号 Sample number	第一轴坐标值 The coordinate value of the first axis	第二轴坐标值 The coordinate value of the second axis	与原点之间的生态距离 Ecological distance from the origin	群落的旅游承载力 Tourist carrying capacity of the community	超载状况 Overload condition
临界类型 Critical type	8	159	78	177.1000	1.0529	未超载
	9	138	75	157.0600	0.9338	超载
	57	154	73	170.4300	1.0133	未超载
临界类型平均值 Mean of critical type	—	150.3	75.33	168.2000	1.0000	临界状态
I 类 Type I	24	142	123	187.8643	1.1169	未超载
	37	150	115	189.0106	1.1237	未超载
	45	159	129	204.7486	1.2173	未超载
	62	183	117	217.2050	1.2913	未超载
	63	191	125	228.2674	1.3571	未超载
	33	171	120	208.9043	1.2420	未超载
II 类 Type II	7	135	117	178.6449	1.0621	未超载
	9	138	75	157.0637	0.9338	超载
	10	153	85	175.0257	1.0406	未超载
	16	151	91	176.3009	1.0482	未超载
	19	148	88	172.1859	1.0237	未超载
	36	150	96	178.0899	1.0588	未超载
	41	148	106	182.0440	1.0823	未超载
	65	160	110	194.1649	1.1544	未超载
	77	168	99	195.0000	1.1593	未超载
	78	128	113	170.7425	1.0151	未超载

续表

类型 Type	样方号 Sample number	第一轴坐标值 The coordinate value of the first axis	第二轴坐标值 The coordinate value of the second axis	与原点之间的 生态距离 Ecological distance from the origin	群落的旅 游承载力 Tourist carrying capacity of the community	超载状况 Overload condition
Ⅲ类 Type Ⅲ	14	176	83	194.5893	1.1569	未超载
	55	186	110	216.0926	1.2847	未超载
	64	184	97	208.0024	1.2366	未超载
	79	207	130	244.4361	1.4532	未超载
Ⅳ类 Type Ⅳ	8	159	78	177.1017	1.0529	未超载
	15	164	80	182.4719	1.0849	未超载
	18	178	94	201.2958	1.1968	未超载
	28	163	67	176.2328	1.0478	未超载
	29	170	72	184.6185	1.0976	未超载
	39	173	104	201.8539	1.2001	未超载
	42	161	94	186.4323	1.1084	未超载
	52	181	84	199.5420	1.1863	未超载
	57	154	73	170.4259	1.0132	未超载
	58	178	83	196.4001	1.1677	未超载
	66	182	87	201.7251	1.1993	未超载
	69	176	81	193.7447	1.1519	未超载
	50	176	80	193.3287	1.1494	未超载
	53	179	84	197.7296	1.1756	未超载
	68	155	72	170.9064	1.0161	未超载
	74	167	94	191.6377	1.1393	未超载
	75	162	82	181.5709	1.0795	未超载
Ⅴ类 Type Ⅴ	4	104	95	140.8581	0.8374	超载
	12	83	72	109.8772	0.6533	超载
	17	125	76	146.2908	0.8697	超载
	21	130	72	148.6069	0.8835	超载
	40	111	91	143.5340	0.8534	超载
Ⅵ类 Type Ⅵ	20	145	62	157.6991	0.9376	超载
	23	114	37	119.8541	0.7126	超载
	51	144	51	152.7645	0.9082	超载
	35	136	47	143.8923	0.8555	超载
	38	128	35	132.6989	0.7889	超载
	43	140	44	146.7515	0.8725	超载
	44	145	55	155.0806	0.9220	超载
	46	141	48	148.9463	0.8855	超载
	26	124	54	135.2479	0.8041	超载
	27	127	64	142.2146	0.8455	超载
	72	125	52	135.3846	0.8049	超载
	73	113	43	120.9049	0.7188	超载
Ⅶ类 Type Ⅶ	3	156	124	199.2787	1.1848	未超载
	25	173	113	206.6349	1.2285	未超载
	32	203	145	249.4674	1.4832	未超载
	49	129	159	204.7486	1.2173	未超载
	54	144	110	181.2071	1.0773	未超载
	61	178	132	221.6032	1.3175	未超载
	80	208	149	255.8613	1.5212	未超载
Ⅷ类 Type Ⅷ	1	53	138	147.8276	0.8789	超载
	2	33	0	33.0000	0.1962	超载
	5	89	80	119.6704	0.7115	超载

续表

类型 Type	样方号 Sample number	第一轴坐标值 The coordinate value of the first axis	第二轴坐标值 The coordinate value of the second axis	与原点之间的 生态距离 Ecological distance from the origin	群落的旅 游承载力 Tourist carrying capacity of the community	超载状况 Overload condition
	6	94	86	127.4049	0.7575	超载
	11	54	57	78.5175	0.4668	超载
	13	49	40	63.2535	0.3761	超载
	22	71	69	99.0051	0.5886	超载
	30	61	51	79.5110	0.4727	超载
	31	87	83	120.2414	0.7149	超载
	34	73	82	109.7862	0.6527	超载
	47	0	1	1.0000	0.0059	超载
	48	76	66	100.6578	0.5984	超载
	56	57	119	131.9470	0.7845	超载
	59	56	49	74.4110	0.4424	超载
	60	55	56	78.4920	0.4667	超载
	67	68	64	93.3809	0.5552	超载
	70	80	65	103.0776	0.6128	超载
	71	0	165	165.0000	0.9810	超载
	76	47	144	151.4761	0.9006	超载

位于东北方向的超载样方有 38,40,43,44,46。该样带途经集福寺(年均游客量约 2 万人)、东庄村(附近商铺总面积约 4400 m²)等地。其中样方 43(群落旅游承载力为 0.8725)、44(群落旅游承载力为 0.9220)、46(群落旅游承载力为 0.8855)都位于光明寺附近,年均接待游客量约 0.5 万人。样方附近存在较大的旅游干扰,对群落旅游承载力造成一定影响。

位于正东方向的超载样方有 47,48,51,56。该样带途经罗喉寺(年均游客量约 30 万人)、五爷庙(年均游客量约 150 万人)等地。其中,样方 47 的群落旅游承载力最低,仅为 0.0059,这是由于该样方位于黛螺顶下方的索道旁边,人流量大,旅游活动强烈,致使其生态环境较差,群落旅游承载力极低。

位于正南方向的超载样方有 59,60,67,70,71。该样带途经灵峰寺(年均游客量约 1 万人)、镇海寺(年均游客量约 50 万人)等地。其中,样方 71(群落旅游承载力为 0.9810)位于镇海寺南边,附近灌木较多,较大的旅游干扰也影响了其群落旅游承载力。

位于东南方向的超载样方有 72,73,76。该样带途经大文殊寺(年均游客量约 2 万人)、明清街(附近商铺总面积共 11100 m²)等地。其中,样方 73(群落旅游承载力为 0.7188)位于台怀村东北边,附近商铺总计 27 个,商铺总面积共 780 m²,对该样方的群落旅游承载力造成较大影响。

总体而言,超载的样方主要分布在索道、主要寺庙和部分村落附近。这些地方承载着五台山景区主要的交通、餐饮、购物及游览等功能,是游客与当地社区村民的主要集中区域,继而对附近植被群落的旅游承载力造成一定程度的负面效应。

2.3 各样方群落旅游承载力与地理因子的相关分析

利用 SPSS 双变量相关的皮尔逊系数,计算群落的旅游承载力与各地理因子之间的相关性。由表 3 可知,群落的旅游承载力除与坡形呈显著正相关外,与海拔、坡度、坡位等也呈正相关关系,说明随着海拔升高、坡形愈凸,坡度愈陡,坡位越趋向于上坡,植被的旅游承载力有增大的趋势。究其原因,主要是因为人为活动多分布在海拔较低、坡形较平或坡度较缓的地方,而海拔越高、坡形越凸等自然条件较为恶劣的地方,游客较少涉足,因此受到旅游人为干扰较少,植被的旅游承载力较高。此外,群落的旅游承载力还与坡向呈显著负相关,可见随着坡向越向南,群落的旅游承载力有减小的趋势。

表 3 群落的旅游承载力与地理因子的相关分析

Table 3 Correlation analysis between the tourism carrying capacity of the community and geographical factors

	海拔 Altitude	坡度 Slope	坡向 Slope aspect	坡形 Slope shape	坡位 Slope position
群落的旅游承载力 Tourist carrying capacity of the community	0.118	0.198	-0.328 **	0.296 **	0.199

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

3 结论与讨论

本研究的主要结论如下:

(1) 根据 TWINSpan 分类结果, 将 80 个样方分为 8 种类型, 即多幼苗—有灌木型、少幼苗—有灌木型、多幼苗—无灌木型、少幼苗—无灌木型、有萌枝—有灌木型、有萌枝—无灌木型、极少萌枝—有幼苗型以及无萌枝—无幼苗型。在 TWINSpan 分类图中, 从左到右, 各组类型由生态环境良好区到生态环境较差区递变, 同时各类指标值也发生相应的变化。其中, 从左到右, “乔木幼苗量”与“乔木萌枝量”这两个关键指示指标的数量不断减少, “乔木层景观重要值”和“草本层景观重要值”也呈现出由大变小的变化趋势。

(2) 基于临界类型的判断原则, 筛选出符合临界类型的样方为 8, 9, 57。结合 DCA 的结果和群落旅游承载力的测算方法, 计算得到 80 个样方的群落旅游承载力及其超载情况。其中, 未超载的样方共计 43 个, 超载的样方共计 37 个, 总计超载率为 46.25%。

(3) 根据超载样方的实际位置与周边情况, 可以发现: 寺庙与村落周边的旅游人为干扰较强, 对群落的旅游承载力有较大的影响。其中, 寺庙周边的旅游干扰对群落的旅游承载力影响更大、更显著, 而且寺庙接待的游客规模越大, 其对群落的旅游承载力影响越严重。另外, 索道和马道等交通基础设施也会降低附近植被群落的旅游承载力。

(4) 皮尔逊相关分析的结果显示, 海拔、坡度、坡位、坡形、坡向都是影响群落旅游承载力的重要地理因子。其中, 坡形与群落旅游承载力呈显著正相关, 坡向与群落旅游承载力呈显著负相关, 其余地理因子与群落旅游承载力呈正相关关系。说明随着海拔升高、坡形愈凸, 坡度愈陡, 坡位越趋向于上坡, 植被的旅游承载力有增大的趋势; 随着坡向越向南, 群落的旅游承载力有减小的趋势。

迄今为止, 旅游环境承载力是旅游学界的一个争论最多的热点领域。正确地认识和把握旅游环境承载力的内涵和应用, 对于旅游生态学发展有着重要的指导意义。本文基于旅游、生态等学科的理论基础, 首次对群落的旅游承载力的概念进行了界定, 并从群落垂直结构、群落水平结构、生活型比例、群落更新能力等方面构建了群落旅游承载力评价的指标体系。在此基础上, 借助 TWINSpan 与 DCA 方法把不同群落类型的生态信息综合起来, 构建了群落旅游承载力的测算模型。

与以往旅游承载力的研究相比, 本文的研究路径是基于旅游干扰对植被群落影响的前提下, 从群落的生态功能及其指示特征的角度, 来构建和研究不同群落类型的旅游承载力。这种研究不同于其他学者从游客心理、经济、社会、空间等方面开展的研究^[2, 18, 31-32], 而是从整个景区最为敏感、最有生机的生态要素来考量, 弥补了已有研究中未考虑植被群落旅游承载力的空白^[15]。与此同时, 本文提供了基于生态距离的群落旅游承载力的测量模型, 可以将各种生态特征指标和因子结合起来, 为后续衡量和监测群落的旅游生态风险提供了一个测评标准。

此外, 文章还探讨了群落旅游承载力的超载情况, 并结合群落旅游承载力与各类地理因子的生态关系, 最终识别出影响群落旅游承载力的主要干扰区域和关键地理因子, 这不仅在理论上丰富了植被旅游承载力的研究内容与深度, 在实践上也为后续景区的生态管理提供了有效的参考依据。可以说, 上述的研究路径与测算方法是本研究区别于其他研究的优势所在。

值得注意的是, 本研究是基于五台山实际情况, 结合以往研究经验, 建立了群落旅游承载力的指标体系,

仅适用于温带山地型景区。未来可以结合不同的生境类型,构建更丰富的评价指标,以完善和优化群落旅游承载力的指标体系。另外,对于植被旅游承载力的研究还可以从种群、生境等相关角度来探讨。

参考文献 (References):

- [1] 翁钢民,李建璞,杨秀平,李聪慧.近20年国内外旅游环境承载力研究动态.地理与地理信息科学,2021,37(1):106-115.
- [2] 魏宁宁,张全景,林奕冉,孙晓芳.旅游承载力评估在海滩旅游管理中的应用.经济地理,2019,39(3):210-217.
- [3] 杨秀平,翁钢民.旅游环境承载力研究综述.旅游学刊,2019,34(4):96-105.
- [4] 杨秀平,翁钢民,潘越,侯玉君.旅游环境承载力子系统耦合协调关系研究——以兰州市为例.数学的实践与认识,2019,49(10):122-132.
- [5] 雷莹,蒲勇健.基于旅游空间承载力约束下的旅游项目评估.管理世界,2010,(8):173-174.
- [6] Cisneros M A H, Sarmiento N V R, Delrieux C A, Piccolo M C, Perillo G M E. Beach carrying capacity assessment through image processing tools for coastal management. Ocean & Coastal Management, 2016, 130: 138-147.
- [7] de Sousa R C, Pereira L C C, da Costa R M, Jiménez J A. Management of estuarine beaches on the Amazon coast through the application of recreational carrying capacity indices. Tourism Management, 2017, 59: 216-225.
- [8] Wang Y H, Li J, Zhang M Q. Evaluation of tourism environmental carrying capacity in Diaoshuihu National Forest Park. International Journal of Sustainable Development and Planning, 2020, 15(5): 761-766.
- [9] Zhu J W, Wang E D, Sun W Z. Application of Monte Carlo AHP in ranking coastal tourism environmental carrying capacity factors. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2019, 24(7): 644-657.
- [10] 向旭,杨晓霞,施俊庄.洞穴旅游容量测算方法探讨.中国岩溶,2010,29(3):341-348.
- [11] 张钦凯,唐铭.石窟类景观旅游环境容量测算与调控的探讨——以敦煌莫高窟为例.兰州大学学报:自然科学版,2010,46(S1):242-246.
- [12] 蒋贵彦,卓玛措.青海南部高原藏区生态旅游环境承载力研究.干旱区资源与环境,2014,28(4):202-208.
- [13] 黄震方,袁林旺,葛军连,顾秋实.海滨型旅游地环境承载力评价研究——以江苏海滨湿地生态旅游地为例.地理科学,2008,28(4):578-584.
- [14] 宋小龙,李院堂,王艳茹,石磊,杨萍,高秀云.沙漠型景区旅游环境承载力预警研究——以宁夏沙坡头为例.中国沙漠,2019,39(2):19-26.
- [15] Lobo H A S, Trajano E, de Alcântara Marinho M, Bichuette M E, Scaleante J A B, Scaleante O A F, Rocha B N, Laterza F V. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. Tourism Management, 2013, 35: 234-243.
- [16] 黄元豪,陈秋华,修新田,白灵,林春恋.森林型风景区旅游环境承载力研究——以天台山国家森林公园九鹏溪风景区为例.生态经济,2018,34(7):201-207.
- [17] 杨秀平,翁钢民,侯玉君,张华,孙红杰.基于SD模型的多情景城市旅游环境承载潜力建模与仿真——以兰州市为例.经济地理,2018,38(3):208-216.
- [18] 张笃川.河南省乡村旅游资源环境承载力测度.中国农业资源与区划,2020,41(3):293-298.
- [19] 刘佳,李莹莹,王娟.中国沿海地区旅游环境承载力与城镇化水平动态关联性分析.商业研究,2017,59(4):178-185.
- [20] 王佳.我国沿海地区旅游环境承载力预警研究[D].青岛:中国海洋大学,2014.
- [21] 程占红,张金屯,上官铁梁.芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境关系——旅游影响系数及指标分析.生态学报,2003,23(4):703-711.
- [22] 程占红,张金屯.生态旅游区不同距离带上植物群落的结构对比.应用与环境生物学报,2002,8(1):8-13.
- [23] 白晓航,张金屯.小五台山森林群落优势种的生态位分析.应用生态学报,2017,28(12):3815-3826.
- [24] 牛莉芹,程占红.五台山旅游对植被影响测量方法的比较.水土保持研究,2012,19(5):223-229.
- [25] 白晓航,张金屯,曹科,王云泉, Sadia S, 曹格.小五台山亚高山草甸的群落特征及物种多样性.草业科学,2016,33(12):2533-2543.
- [26] 牛莉芹,程占红.五台山风景名胜旅游开发影响下景观特征的变化.西北林学院学报,2012,27(5):272-276.
- [27] 陈龙,安明态,王加国,杨焱冰,徐建,潘端云.宽阔水保护区白辛树群落物种组成及种群结构分析.西南师范大学学报:自然科学版,2019,44(3):55-61.
- [28] 程占红,牛莉芹,胡亚晴.五台山风景区人为干扰下湿地植物物种的生态变化.湿地科学,2014,12(1):89-96.
- [29] 张金屯.数量生态学.北京:科学出版社,2004.
- [30] 牛莉芹,程占红.基于旅游开发影响的五台山植被景观特征分析.地理研究,2019,38(5):1162-1174.
- [31] Makhadmeh A, Al-Badameh M, Rawashdeh A, Al-Shorman A. Evaluating the carrying capacity at the archaeological site of Jerash (Gerasa) using mathematical GIS modeling. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2020, 23(2): 159-165.
- [32] Wang Y R, Zhang J H, Wang C, Yu Y H, Hu Q X, Duan X F. Assessing tourism environmental psychological carrying capacity under different environmental situations. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2021, 26(2): 132-146.