

# 五台山森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应

牛莉芹<sup>1</sup>, 程占红<sup>2</sup>

(1. 山西财经大学 环境经济学院, 太原 030006; 2. 山西财经大学 旅游管理学院, 太原 030031)

**摘要:**在对五台山森林植被进行分类的基础上,利用丰富度指数、均匀度指数和多样性指数,研究了不同森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应。结果表明:(1)各项指数与群落类型有关,群落物种数量越多,其丰富度较大;群落结构越复杂,层次越分明,其多样性指数越大。同时,各项指数与群落发展的限制因素有关,干扰区群落多样性主要受旅游的影响,非干扰区群落多样性主要受海拔等自然条件的影响。(2)干扰区森林群落随着旅游影响的增大,除 Simpson 指数外,其它指数都呈现下降的趋势。非干扰区森林群落随着海拔高度的增加,除 Simpson 指数和 Alatalo 指数外,其它指数都呈下降的趋势。

**关键词:**五台山;森林群落;物种多样性;旅游干扰

中图分类号:Q948.12<sup>+</sup>3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0106-06

## Study on the Ecological Response of Species Diversity to Tourism Disturbance in Forest Communities in Wutai Mountains

NIU Li-qin<sup>1</sup>, CHENG Zhan-hong<sup>2</sup>

(1. College of Environment Economics, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China; 2. College of Tourism, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030031, China)

**Abstract:** Based on the classification of forest vegetation in Wutai Mountains, the ecological response of species diversity to tourism disturbance was studied in terms of richness, evenness and diversity indices. The results showed that: (1) the different indices was related to community types, and the more the number of species were, the more the richness were in the communities, the more complex the construction was, the clearer the layers were, the more the diversity were; on the other hand, those of different indices were related to the limited elements; biodiversity was affected mainly by tourism activities in the disturbance area, and by the physical condition in the non-disturbance area, such as elevation; (2) except for Simpson index, the other indices decreased with increase of tourism impact in the disturbance area. At the same time, except for Simpson index and Alatalo index, the other indices decreased with the elevation in the non-disturbance area.

**Key words:** Wutai Mountains; forest communities; species diversity; tourism disturbance

物种多样性是一个群落结构和功能复杂性的度量,是生态系统多样性研究的核心内容。同时,物种多样性也是衡量景区生态环境质量的重要指标之一<sup>[1-2]</sup>。在旅游景区,践踏、刻划和交通工具是旅游干扰的主要形式。践踏一方面对植物地上部分造成直接机械性伤害,从而影响植物的生长;另一方面,通过影响土壤来间接影响植物的生长发育。所有这些影响又有交互作用,从而加重了对植被的破坏,严重时可导致植被种类组成和结构的改变,甚至造成物种的消失。刻划则主要影响林木的美观,并可能导致病虫

危害。旅游车辆则作为植物种子传播的工具,可能导致旅游地杂草横行<sup>[3]</sup>。干扰通过对资源的有效性产生作用,从而影响到不同生活史物种对资源的竞争或分享,因此干扰对群落内物种的共存具有重要作用<sup>[4]</sup>。目前关于干扰与物种多样性的关系是研究的热点。非生物或生物因子的干扰,对物种多样性的分布有很大的影响,干扰并非只能削弱物种多样性,小规模中等程度频率干扰,可能会丰富物种多样性。中度干扰假说提出,物种丰富度在中等干扰水平时最大,中度干扰可提高物种多样性<sup>[5]</sup>。本文通过对五台

收稿日期:2011-11-02

修回日期:2011-12-27

资助项目:国家自然科学基金项目(40701175);山西省高校科技开发项目(20091017);山西省高等学校优秀青年学术带头人支持计划(晋教科[2009]6号);山西省基础研究计划项目(2011021027-2)

作者简介:牛莉芹(1976—),女,山西人,硕士,讲师,主要从事旅游生态学研究。E-mail:nlq1976@126.com

山景区旅游干扰和非干扰作用下物种多样性的研究,更好地认识植物群落的组成、变化和发展。

五台山位于山西省五台县境内,位列我国佛教四大名山之首,1992年林业部批准为“国家森林公园”,2005年通过第四批国家地质公园评审,成为“国家地质公园”,2007年国家旅游局审定为“首批国家AAAAA级旅游景区”,2009年在第33届世界遗产大会上被正式列入《世界遗产名录》。五台山每年吸引着大量的海内外游客前来观光旅游,2010年旅游接待人数达321.4万人次。随着景区游客及旅游接待设施的大量增加,旅游活动给景区生态环境带来了诸多不利的影响。本文在对五台山森林植被进行分类的基础上,利用丰富度指数、均匀度指数和多样性指数,研究了不同森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应,以期揭示旅游干扰对物种影响的规律。

## 1 研究方法

### 1.1 取样

在五台山风景名胜区按照旅游干扰区和非干扰区两种不同性质的区域进行取样。2003年7月下旬,在旅游非干扰区,以台怀镇水帘洞、南梁沟水坪和繁峙县宽滩乡二茄兰火地3个区域为研究地,利用样带和样地相结合的方法进行取样。取样范围介于海拔1520~2580 m,取样遵循两个原则:第一,因为研究对象为森林植被,限制条件为非干扰区,所以在取样过程中,只取森林群落,遇有灌木和草本群落不予记录,同时也排除受人为影响明显的植被样带;第二,每垂直间隔20 m设置一条样带,每条样带取1~4个样方,乔木面积为10 m×10 m,灌木面积4 m×4 m,草本面积为1 m×1 m。在旅游非干扰区共计设置36个样方。

2002年7—8月,在旅游干扰区,同样利用样带和样地相结合的方法,在五台山以大白塔为中心,分别在东、西、南、北、东北、西北、东南和西南不同方向上进行取样。取样遵循两个原则:第一,只取森林植被样地,不计灌木和草本群落,取样的最远距离以实地植被几乎没有受到旅游干扰为止;第二,在不同方向上设立8条样带,在每条样带上大致以每隔100 m的实际距离取一样方。乔木面积10 m×10 m,灌木面积4 m×4 m,草本面积为1 m×1 m。根据取样原则,共计取样40个。

在调查中,先测量样方的海拔高度、坡度、坡向和距离;再测量植被层盖度及植物种的盖度和高度,乔木还包括多度、胸径和冠幅;最后记录垃圾数量、枯枝落叶层和腐殖层厚度、乔木死枝下高、幼苗量及折枝损

坏现象等指标。在旅游干扰区和非干扰区共调查记录159个植物种,组成76×159维的原始数据矩阵。

### 1.2 数据处理

植物种的数据采用重要值综合指标,对重要值的计算如下:

$$\text{乔木重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对优势度}) / 300;$$

$$\text{灌木重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 200;$$

$$\text{草本重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 200。$$

海拔高度、坡度、以及在干扰区距大白塔的距离均使用实测数据。坡向的原始记录是以朝东为起点(即为0°),顺时针旋转的角度表示。数据处理时采取每45°为一个区间划分等级制的方法,以数字表示各等级:1表示北坡(247.5°—292.5°),2表示东北坡(292.5°—337.5°),3表示西北坡(202.5°—247.5°),4表示东坡(337.5°—22.5°),5表示西坡(157.5°—202.5°),6表示东南坡(22.5°—67.5°),7表示西南坡(112.5°—157.5°),8表示南坡(67.5°—112.5°)。显然,数字越大,则表示越向阳,越干热<sup>[6]</sup>。

旅游影响系数(tourism impacting index, TII)指旅游活动对植被景观的干扰程度<sup>[7]</sup>。TII越大,说明旅游破坏强度越大。旅游影响主要包括垃圾、践踏、折枝损坏现象等,其计量采用分级赋值方式进行。即:TII=C<sub>r</sub>+C<sub>d</sub>+C<sub>w</sub>+C<sub>t</sub>+C<sub>v</sub>,C<sub>r</sub>为垃圾影响系数;C<sub>d</sub>为折枝影响系数,利用折枝损坏现象的处数来表示,折枝损坏现象愈严重,旅游影响程度愈大;C<sub>w</sub>为林木更新影响系数,利用树木幼苗量表示,幼苗越多,生态环境质量愈好,林木更新程度愈强,旅游影响程度愈小;C<sub>t</sub>为践踏影响系数,利用枯枝落叶层和腐殖层厚度、践踏面积来说明践踏程度,厚度愈大,影响程度愈小,而践踏面积愈大,影响程度愈大;C<sub>v</sub>为植被现状系数,利用植被的一些现状特点来表示。指标赋值分别见表1和表2。

表1 垃圾、折枝和林木更新影响系数的赋值

垃圾/件		折枝损坏现象/处		幼苗量/个	
标准	赋值	标准	赋值	标准	赋值
1~5	0.1	1~3	0.1	0	1.0
5~10	0.2	3~6	0.2	1	0.9
10~15	0.3	6~9	0.3	2	0.8
15~20	0.4	9~12	0.4	3	0.7
20~25	0.5	12~15	0.5	4	0.6
25~30	0.6	15~18	0.6	5	0.5
30~35	0.7	18~21	0.7	6	0.4
35~40	0.8	21~24	0.8	7	0.3
40~45	0.9	24~27	0.9	8	0.2
>45	1.0	>27	1.0	>8	0.1

表 2 践踏和植被现状系数的赋值

践踏状况		植被现状	
标准	赋值	标准	赋值
枯层在 3 cm 以上, 没有明显的践踏痕迹	0.1	植物种类、构造和形态上有趣且富于变化, 层次分明, 林分成熟, 乔木密度占绝对优势, 苔藓植物较多, 盖度在 20% 以上	0.1
枯层在 2~3 cm, 有明显的践踏痕迹, 面积约 5%	0.3	植被层次较分明, 植物种类和形态上有趣, 稍富于变化, 乔木密度稍占优势, 但灌木草本数量大增, 有大量的苔藓植物	0.3
枯层在 1~2 cm, 践踏面积 5%~10%	0.5	层次基本分明, 有某些植物种类的变化, 但仅有一两种主要形态, 灌木草本密度大大增强, 有少量的苔藓植物	0.5
枯层在 1 cm 以下, 践踏面积在 15% 左右	0.7	植被以灌木和草本层为主, 植物种类、形态稍有变化, 有少量伴生植物的出现; 或者以单一的优势乔木层为主, 但缺少灌木和草本植物。均没有出现苔藓植物	0.7
没有明显的枯层, 践踏面积在 20% 以上	0.9	以草本层为主, 缺少或没有植物的变化或对照, 伴生有大量的人为植物	0.9

### 1.3 分析方法

首先, 利用双向指示种分析方法(two-way indicator species analysis, TWINSpan)对 76 × 159 维的数据矩阵进行计算<sup>[8]</sup>, 可以得到不同类型的森林群落。其次, 利用丰富度指数、均匀度指数和多样性指数<sup>[8]</sup>, 研究不同类型的森林群落中物种多样性的差异。第三, 对干扰区森林群落物种多样性与旅游影响系数间的关系, 以及非干扰区森林群落物种多样性与海拔间的关系进行分析。

丰富度指数:

$$\text{Patrick 指数: } R = S \quad (1)$$

$$\text{Margalef 指数: } R_1 = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad (2)$$

$$\text{Menhinick 指数: } R_2 = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

物种多样性指数:

$$\text{Simpson 指数: } \lambda = \frac{\sum_{i=1}^S N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \quad (4)$$

$$\text{Shannon—Wiener 指数: } H' = -\sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N}\right) \ln\left(\frac{N_i}{N}\right) \quad (5)$$

$$\text{Hill 的多样性指数: } N_1 = e^{H'} \quad (6)$$

$$N_2 = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

均匀度指数:

$$\text{Pielou 指数: } E_1 = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (8)$$

$$\text{Sheldon 指数: } E_2 = \frac{e^{H'}}{S} \quad (9)$$

$$\text{Heip 指数: } E_3 = \frac{e^{H'} - 1}{S - 1} \quad (10)$$

$$\text{Hill 指数: } E_4 = \frac{N_2}{N_1} \quad (11)$$

$$\text{修正的 Hill 指数: } E_5 = \frac{N_2 - 1}{N_1 - 1} \quad (12)$$

式中: S——每一样地中的物种总数; N——S 个种的

全部重要值之和;  $N_i$ ——第  $i$  个种的重要值。在计算过程中, 首先计算每个样地的物种多样性, 将所有乔、灌、草各物种一起直接参与多样性的计算。其次, 计算不同群落类型的物种多样性, 将在同一类型森林群落中的所有样地的多样性指数分别加权平均, 即得该群落类型的多样性指数值。

## 2 结果与分析

### 2.1 TWINSpan 分类

根据 TWINSpan 分类结果, 76 个样地被划分为 13 个森林群落, 其基本特征如下:

群落 I: 青杨—鹅观草 + 茭蒿群落 (Comm. *Populus cathayana*—*Roegneria kamoji* + *Incarvillea sinensis*), 包括样地 37, 43, 44, 46。群落 II: 华北落叶松 + 山杏—沙棘—鹅观草 + 铁杆蒿群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Armeniaca vulgaris*—*Hippophae rhamnoides*—*Roegneria kamoji* + *Artemisia sacrorum*), 包括样地 50, 51, 52 和 60。群落 III: 青杨—黄香草木樨 + 兰刺头群落 (Comm. *Populus cathayana*—*Melilotus officinalis* + *Echinops latifolius*), 包括样地 66。群落 IV: 青杨 + 青杆—沙棘—地榆 + 铁杆蒿群落 (Comm. *Populus cathayana* + *Picea wilsonii*—*Hippophae rhamnoides*—*Sanguisorba officinalis* + *Artemisia sacrorum*), 包括样地 40, 42, 53, 55, 56, 58, 61, 62。群落 V: 华北落叶松 + 青杨—兰花棘豆 + 小红菊群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Populus cathayana*—*Oxytropis coerulea* + *Dendranthema chanelii*), 包括样地 41, 54, 57, 59, 64, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 75。群落 VI: 青杨—三裂绣线菊 + 美蔷薇—披针苔草 + 冰草群落 (Comm. *Populus cathayana*—*Spiraea trilobata* + *Rosa bella*—*Carex siderosticta* + *Agropyron cristatum*), 包括样地 38, 39, 47, 48, 63, 71, 74。群落 VII: 华北落叶松 + 油松—土庄绣线菊—

糙苏群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Pinus tabulaeformis*—*Spiraea pubescens*—*Phlomis umbrosa*), 包括样地 15, 45, 76。群落 VIII: 青杨—三裂绣线菊—糙苏群落 (Comm. *Populus cathayana*—*Spiraea trilobata*—*Phlomis umbrosa*), 包括样地 49 和 65。群落 IX: 白桦—金花忍冬—披针苔草群落 (Comm. *Betula platyphylla*—*Lonicera chrysanth*—*Carex siderosticta*), 包括样地 1, 2, 3。群落 X: 华北落叶松+山杨—毛榛子—唐松草+披针苔草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*+*Populus davidiana*—*Corylus mandshurica*—*Thalictrum aquilegifolium*+*Carex siderosticta*), 包括样地 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14。群落 XI: 华北落叶松+山柳—黄刺玫—披针苔草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Salix floderusii*—*Rosa davurica*—*Carex siderosticta*), 包括样地 18。群落 XII: 华北落叶松—土庄绣线菊+六道木—披针苔草+无芒雀麦群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*—*Spiraea pubescens* + *Abelia biflora*—*Carex siderosticta* + *Bromus inermis*), 包括样地 16 和 17。群落 XIII: 华北落叶松+白杆—披针苔草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Picea meyeri*—*Carex siderosticta*), 包括样地 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36。其中, 群落 I—群落 VIII 属于干扰区, 除 15 号样地外, 其余 40 个样地均位于干扰区内, 群落 IX—群落 XIII 属于未受干扰的天然次生林区域。各群落类型的环境特征见表 3, 旅游干扰区各样地的旅游影响系数见表 4。

表 3 群落的环境特征

群落类型	海拔高度/m	坡度/°	坡向	群落总盖度/%
I	1520~1585	0~15	1, 2, 8	65~70
II	1670~1760	0~18	4, 8	70~80
III	1660	27	4	70
IV	1590~1730	15~30	2, 4, 6, 8	70~85
V	1680~1790	5, 15~33	2, 4, 6, 8	75~90
VI	1500~1800	15~35	1, 2, 3, 6	75~90
VII	1520~1980	20~30	1, 2, 3	80~100
VIII	1500~1650	25~30	4, 6	60~95
IX	1520~1550	10~12	4	90~100
X	1550~1710	10~25	2, 6	60, 80~95
XI	1990	20	1	100
XII	1980	20~22	1, 6	60, 80
XIII	2540~2580	20~35	4	75~95

2.2 不同森林群落类型的多样性

在旅游干扰区, 即从群落 I 到群落 VIII, 由于各群

落所处的发育阶段不同, 坡度、坡向等生境条件存在一定的差异, 由此会引起土壤厚度、有机质含量和水分条件等的变化, 加之一定的旅游干扰, 多样性可能会增大, 但干扰过大, 多样性又会下降, 因此, 在某些地段 3 种多样性指数会出现一些波动, 但大体趋势是增大的, 这可能是由于旅游干扰活动逐渐减小的原因所致 (图 1—3)。无论是物种丰富度指数、均匀度指数, 还是多样性指数大体上都在群落 VI 和群落 VII 处达到最大, 这主要由于群落 VI 和群落 VII 海拔较高, 旅游活动干扰较小, 因此, 与干扰区其它群落相比, 森林群落向良好的阶段发展演替, 群落结构复杂, 乔木、灌木、草本较为协调, 层次较为分明, 所以它们的物种丰富度、均匀度和多样性指数都较高。

表 4 旅游干扰区 40 个样地的旅游影响系数

样地	旅游影响系数	样地	旅游影响系数	样地	旅游影响系数	样地	旅游影响系数
S37	0.6524	S47	0.3408	S57	0.5123	S67	0.6050
S38	0.3752	S48	0.3220	S58	0.5690	S68	0.5409
S39	0.2258	S49	0.1554	S59	0.6688	S69	0.4548
S40	0.5963	S50	0.3162	S60	0.6405	S70	0.3443
S41	0.2324	S51	0.2001	S61	0.4863	S71	0.2812
S42	0.6398	S52	0.1366	S62	0.3571	S72	0.2215
S43	0.7986	S53	0.5152	S63	0.2618	S73	0.1366
S44	0.7304	S54	0.3277	S64	0.1741	S74	0.2742
S45	0.3126	S55	0.1928	S65	0.9230	S75	0.4074
S46	0.4852	S56	0.6063	S66	0.7592	S76	0.4140

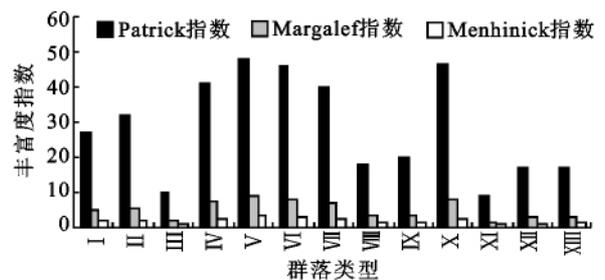


图 1 13 个森林群落的丰富度指数

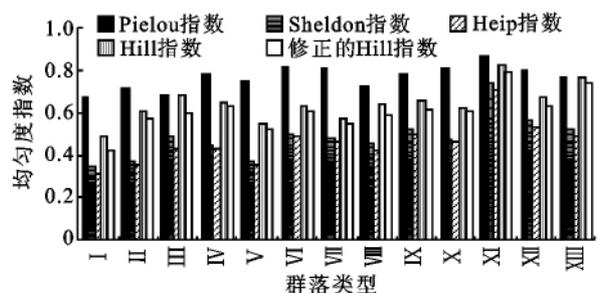


图 2 13 个森林群落的均匀度指数

在旅游非干扰区, 即从群落 IX 到群落 XIII, 3 种指数都呈现出一定的波动性, 这可能是由于群落 IX 是白

桦群落,与其它 4 个华北落叶松群落类型不同所致,但总体上三种指数呈下降的趋势。物种丰富度指数和多样性指数均在群落 X 处达到最大,但均匀度指数则在群落 XI 处达到最大(图 1—3)。这主要由于群落处于发展演替阶段的中间阶段,群落结构复杂,丰富度和多样性指数较高,但随着演替的进行,群落结构越来越稳定,物种多样性也趋向稳定,因而从演替的中间阶段到顶级阶段,物种多样性有一个下降的趋势。至于均匀度指数在群落 XI 处达到最大,这可能是由于该群落类型设计的样地只有一个所致。

### 2.3 群落物种多样性与限制因子的关系

在干扰区,随着旅游影响系数的增大,丰富度指数、均匀度指数和多样性指数都呈现出减小的趋势,而 Simpson 指数则呈现出相反的变化规律,即随旅游影响系数的增大,Simpson 指数呈上升的趋势(图 4),这可能是由于 Simpson 指数反映的是优势种在群落

中的作用,所以有所不同。可见,物种多样性与森林群落的生境以及旅游影响程度有着密切的关系。旅游影响强的地段,植被破坏严重,生态环境恶化,植物种类数量下降,因此多样性指数有所降低,但在旅游影响弱的地段,生态环境质量有所好转,森林群落逐渐向良好的方向过渡演替,植物种类可能有所上升,多样性指数也逐渐增大。

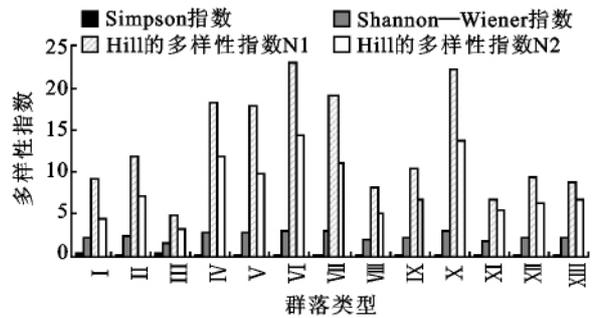


图 3 13 个森林群落的多样性指数

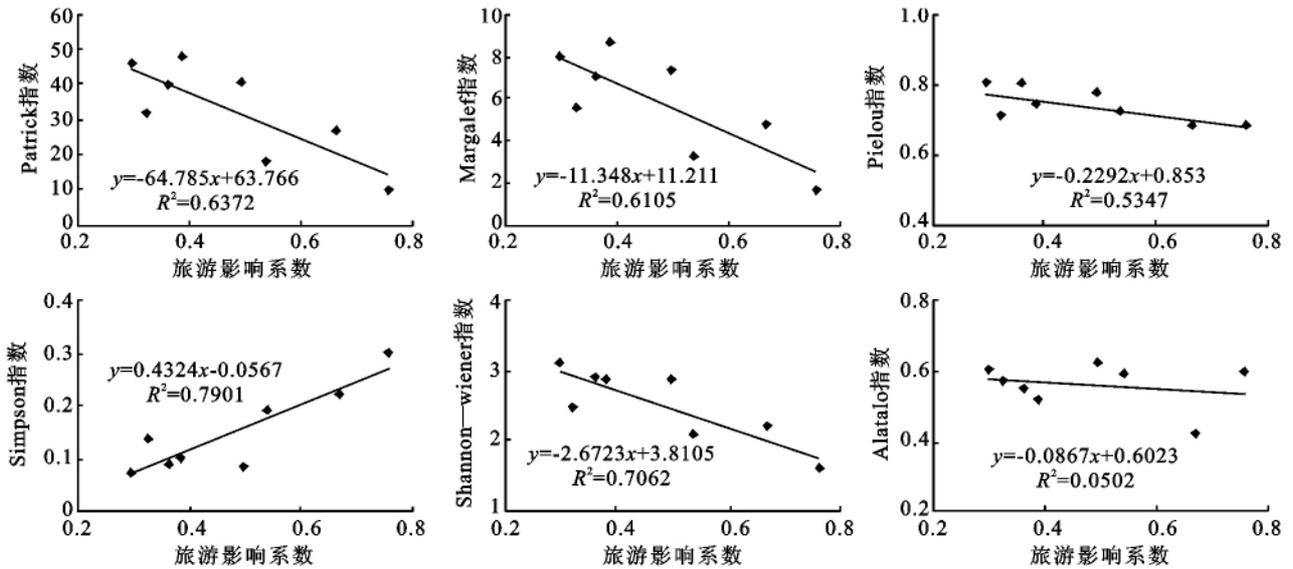


图 4 干扰区森林群落物种多样性与旅游影响系数的关系

非干扰区森林群落海拔 1 520~2 580 m,除 Simpson 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数外,其它指数都大致呈现出随着海拔高度的增加而下降的趋势。这可能是由于非干扰区森林群落随着海拔高度的增加,华北落叶松群落逐步向顶级群落演替,因而其群落结构趋于稳定,多样性指数较演替中期有所降低。而 Simpson 指数所反映的是优势种在群落中的作用,随着群落逐步向顶级群落演替,优势种逐渐占主导地位,因此 Simpson 指数有所增大。

至于 Alatalo 指数随着海拔高度也有增加的趋势,这可能是由于海拔的升高,自然生境条件会趋于恶劣,一些不适应高寒气候的植物种类也会逐渐消失,从而导致适应高寒生境物种的均匀性有所增大(图 5)。

### 3 结论

(1) 由群落物种多样性研究可知,首先,各项指数与群落类型有关,群落物种数量越多,其丰富度则较大;群落结构越复杂,层次越分明,其多样性指数越大,如群落 VI、群落 VII 和群落 X,它们的 3 种多样性指数都比结构简单的群落 I、群落 II 要大。其次,各项指数与群落发展的限制因素有关,干扰区群落多样性主要受旅游干扰的影响,非干扰区群落多样性主要受海拔等自然条件的影响。

(2) 干扰区森林群落物种多样性与旅游影响系数的关系研究表明,随着旅游影响的增大,除 Simpson 指数外,其它丰富度、均匀度和多样性指数都呈现出下降的趋势。可见,人为干扰影响群落的物种组

成和结构,使群落结构简单化,物种数下降,均匀度降低,不利于群落的发展演替。

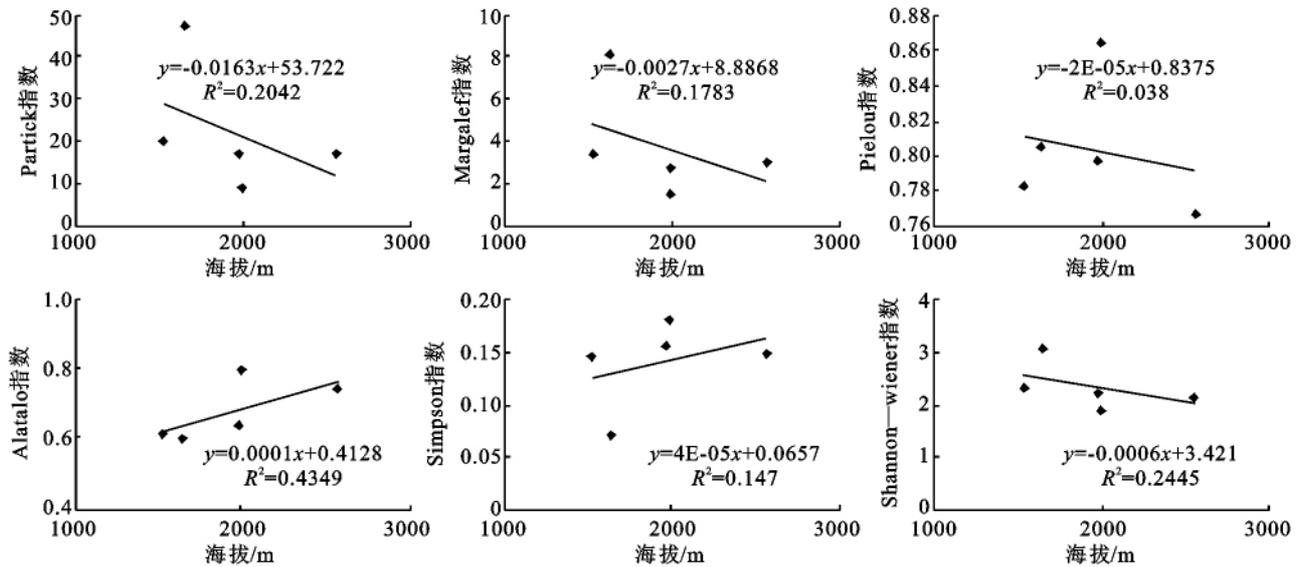


图 5 非干扰区森林群落物种多样性与海拔的关系

(3) 非干扰区森林群落物种多样性与海拔的关系研究表明,非干扰区群落随着海拔高度的增加,除 Simpson 指数和 Alatalo 指数外,其它指数都呈现出下降的趋势。这种多样性的变化趋势与这些群落随着海拔升高而向顶级阶段演替的趋势相一致。

参考文献:

[1] Rai S C, Sundriyal R C. Tourism and biodiversity conservation: The Sikkim Himalaya[J]. *Ambio*, 1997, 26(4):235-242.  
 [2] Pickering C M, Hill W. Impacts of recreation and tourism on plant biodiversity and vegetation in protected areas in Australia[J]. *Journal of Environmental Man-*

agement, 2007, 85(4):791-800.

[3] 石强, 廖科, 钟林生. 旅游活动对植被的影响研究综述[J]. *浙江林学院学报*, 2006, 23(2):217-223.  
 [4] 刘艳红, 赵惠勋. 干扰与物种多样性维持理论研究进展[J]. *北京林业大学学报*, 2000, 22(4):101-105.  
 [5] 文陇英, 李仲芳. 干扰对物种多样性维持机制的影响[J]. *西北师范大学学报:自然科学版*, 2006, 42(4):87-91.  
 [6] 邱扬, 张金屯. 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析[J]. *应用与环境生物学报*, 1999, 5(2):113-120.  
 [7] 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[J]. *生态学报*, 2003, 23(4):703-711.  
 [8] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社, 2004.

(上接第 105 页)

[5] Jagtap T G, Komarpant D S, Rodrigues R S. Status of a seagrass ecosystem: an ecologically sensitive wetland habitat from India[J]. *Wetlands*, 2003, 23(1):161-170.  
 [6] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. *生态学报*, 2000, 20(1):9-12.  
 [7] 刘康, 欧阳志云, 王效科, 等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. *生态学报*, 2003, 23(12):2711-2718.  
 [8] 林涓涓, 潘文斌. 基于 GIS 的流域生态敏感性评价及其区划方法研究[J]. *安全与环境工程*, 2005, 12(2):23-26.

[9] 杨志峰, 徐俏, 何孟常, 等. 城市生态敏感性分析[J]. *中国环境科学*, 2002, 22(4):360-364.  
 [10] 米文宝. 宁夏人文地理[M]. 北京:中国社会科学院出版社, 2006:17-20.  
 [11] 皓国玉. 河南省生态功能区划研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2010.  
 [12] 汤小华. 福建省生态功能区划研究[D]. 福州:福建师范大学, 2005.  
 [13] 冯存. 开封市生态功能区划研究[D]. 河南开封:河南大学, 2008.