

# 芦芽山旅游开发对不同植被层物种多样性的影响

程占红<sup>1</sup>, 牛莉芹<sup>2</sup>

(1. 山西财经大学旅游管理学院, 山西 太原 030012; 2. 山西财经大学环境经济系, 山西 太原 030006)

**摘 要:** 利用 12 个物种多样性指数, 研究了芦芽山旅游开发对不同植被层物种多样性的影响。结果表明: (1) 乔木的丰富度和多样性在旅游干扰很少的地方都达到最大值, 在干扰严重的地方, 也相对较大, 在中度干扰的地方, 则相对较低。均匀度随着旅游干扰的减小而趋于减小。乔木的多样性与地理因子间的相关性很小, 仅有 1 对因子呈显著相关。(2) 灌木的丰富度和均匀度, 在旅游中度干扰的地方都最大, 在干扰很少的地方次之, 在干扰严重的地方其值都最小。多样性则随着旅游干扰的减小而趋于增大。灌木多样性与地理因子之间的相关性较大, 有 10 对因子显著相关。这说明地理因子对灌木多样性影响的作用开始增大。(3) 在旅游干扰最大的地方, 草本的均匀度和多样性最大, 而丰富度相对也较大。在中度干扰的地方, 草本的丰富度最大, 多样性居中, 均匀度最小。在干扰很少的地方, 草本的丰富度和多样性最小, 均匀度居中。草本多样性与地理因子之间的相关性最大, 有 23 对因子显著或极显著相关, 这说明地理因子对草本多样性影响的作用最大。

**关键词:** 芦芽山; 旅游开发; 不同植被层; 物种多样性

**中图分类号:** Q149

**文献标识码:** A

物种多样性既是生物之间、生物与环境之间复杂关系的体现, 也是生物资源丰富多彩的标志。它不仅为人类提供了诸多可供利用的自然资源, 而且具有更重要的生态价值, 对于人类社会的可持续发展具有重要的意义<sup>[1]</sup>。近年来, 芦芽山自然保护区随着旅游活动的不断进行, 植被景观受到一定的影响。植物多样性是植被景观形成的基础, 芦芽山自然保护区主要保护褐马鸡和温性森林植被类型, 是汾河的发源地。本文在以往研究的基础上<sup>[2~4]</sup>, 继续探讨旅游开发与植物多样性之间的关系, 无疑具有明显的现实意义。

物种多样性是指在物种水平上的生物多样性, 是生物多样性在物种水平上的表现形式。它具有三方面的涵义: 种的丰富度、种的均匀度和种的总多样性<sup>[5]</sup>。本文在以往取样调查、以及对植被景观区进行分类的基础上<sup>[4]</sup>, 利用 12 个多样性指数, 分别对不同植被景观区的乔木层、灌木层和草本层的物种

多样性进行了比较, 以期揭示旅游开发对不同植被层物种多样性影响的规律性。

## 1 研究方法

在本文中, 物种多样性的计算选用丰富度指数、均匀度指数和多样性指数, 全部采用重要值来计算, 其计算公式如下<sup>[5~7]</sup>。

### 1. 丰富度指数

Patrick 指数

$$R = S \quad (\text{Patrick, 1949}) \quad (1)$$

Margalef 指数

$$R_1 = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad (\text{Margalef, 1958}) \quad (2)$$

Menhinick 指数

$$R_2 = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (\text{Menhinick, 1964}) \quad (3)$$

收稿日期 (Received date): 2008-02-11。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (批准号: 40701175) 资助。[Supported by National Natural Science Foundation (Grant No. 40701175).]

作者简介 (Biography): 程占红, 男, 1972 年生, 博士, 副教授, 从事旅游生态学研究。[Cheng Zhanhong, male, doctor, is born in Shanxi and is mainly engaged in tourism ecology.] E-mail: chengzhanhong@163.com

## 2. 物种多样性指数

### Simpson指数

$$\lambda = \sum_{i=1}^S \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (\text{Piebu 1958}) \quad (4)$$

### Shannon-Wiener指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left( \frac{N_i}{N} \right) \ln \left( \frac{N_i}{N} \right) \quad (\text{Piebu 1958}) \quad (5)$$

### Hill的多样性指数

$$N_1 = e^{H'} \quad (\text{Hill 1973}) \quad (6)$$

$$N_2 = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Hill 1973}) \quad (7)$$

## 3. 均匀度指数

### Pielou指数

$$E_1 = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (\text{Pielou 1975}) \quad (8)$$

### Sheldon指数

$$E_2 = \frac{e^{H'}}{S} \quad (\text{Sheldon 1969}) \quad (9)$$

### Heip指数

$$E_3 = \frac{e^{H'} - 1}{S - 1} \quad (\text{Heip 1974}) \quad (10)$$

### Hill指数

$$E_4 = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{Hill 1973}) \quad (11)$$

### 修正的 Hill指数

$$E_5 = \frac{N_2 - 1}{N_1 - 1} \quad (\text{Ahtalo 1981}) \quad (12)$$

式中  $S$ : 每个样地的物种总数;  $N$ :  $S$  个种的全部重要值之和;  $N_i$ : 第  $i$  个种的重要值。

对于乔木层、灌木层和草本层的物种多样性, 首先, 在每个样地中, 把乔木层、灌木层和草本层中的物种加以分开, 分别计算其不同植被层的多样性指数。其次, 计算不同植被景观区各个植被层的物种多样性, 将在同一植被景观区的所有样地的多样性指数分别加权平均, 即得该植被景观区各植被层的多样性指数值。最后, 利用 SPSS 分析不同植被层的物种多样性与地理因子之间的关系, 以揭示旅游开发对不同植被层物种多样性的影响。

## 2 结果分析

根据 TW-NSPAN 分类结果<sup>[4]</sup>, 20 个样地被划分为 5 大类植被景观区, 其中, I 类区样地有 4、15、17、18 和 20, II 类区样地有 7、11、13 和 14, III 类区样地有 1、2、3、9、10 和 12, IV 类区样地有 16 和 19, V 类区样地有 5、6 和 8。这 5 个类型代表着 5 个植被区域, 其中, I 类区为优级植被景观区, II 类区为良级植被景观区, III 类区为中级植被景观区, IV 类区为中下级植被景观区, V 类区为差级植被景观区。

类区样地有 5、6 和 8。这 5 个类型代表着 5 个植被区域, 其中, I 类区为优级植被景观区, II 类区为良级植被景观区, III 类区为中级植被景观区, IV 类区为中下级植被景观区, V 类区为差级植被景观区。

### 2.1 乔木层的物种多样性比较

#### 2.1.1 物种多样性指数的比较

由表 1 可知, 在物种丰富度上, 三种不同的指数都表现出 I 类区最大、II 类区和 IV 类区最小、III 类区和 V 类区介于其间的态势。这至少说明在旅游干扰较小的地方, 乔木种的丰富度最大, 但是在干扰严重的地方, 乔木种的丰富度也相对较大。

在物种均匀度上, Pielou 指数表现出 IV 类区 > V 类区 > II 类区 = I 类区 > III 类区的趋势, Sheldon 指数表现出 IV 类区 > V 类区 > I 类区 = II 类区 > III 类区的趋势, Heip 指数表现出 IV 类区 > V 类区 > III 类区 > I 类区 = II 类区的趋势, Hill 指数表现出 II 类区 > IV 类区 > I 类区 > III 类区 = V 类区的趋势, 修正的 Hill 指数表现出 IV 类区 > V 类区 > I 类区 = II 类区 = III 类区的趋势。从五种不同的指数值来看, IV 类区均匀度最大, V 类区次之, I 类区、II 类区和 III 类区则相对较小。这说明旅游活动的强烈干扰使得乔木种分布相对趋于均匀, 而旅游干扰较小的地方, 乔木种均匀度较小。

在物种多样性上, Shannon-Wiener 指数、Hill 的多样性指数  $N_1$  和  $N_2$  都表现出 I 类区 > V 类区 > IV 类区 > III 类区 > II 类区的趋势。这说明在旅游干扰较小的地方, 乔木种的多样性最大, 干扰最大的地方, 多样性次之, 在其他中度干扰的地方, 乔木种的多样性较低。Simpson 指数则呈现出相反的变化规律, 表现出 II 类区 > III 类区 > IV 类区 > I 类区 > V 类区的趋势, 这可能是由于 Simpson 指数反映的是优势种在群落中的作用, 所以反映有所不同。

#### 2.1.2 物种多样性与地理因子之间的关系

由于 Simpson 指数的特殊性, 本文主要分析其余 11 个指数与地理因子之间的关系。由表 2 可知, 海拔与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数均呈正相关, 表明随着海拔的升高, 乔木种在丰富度、均匀度和多样性方面都趋于增加。其相关系数的大小, 表明多样性变化得最大, 均匀度次之, 丰富度最小。

坡度与物种丰富度指数和多样性指数呈正相关, 与均匀度指数呈负相关, 表明随着坡度的增加, 乔木种在丰富度和多样性方面有所上升, 但是在均

匀度方面有减小的趋势。其中, 坡度与 Hill 指数呈显著负相关, 与其他均匀度指数的相关系数也较大, 表明坡度与均匀度关系密切。

坡向与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数均呈正相关, 但相关系数较小, 介于 0~ 0. 25 间, 表明坡向与物种多样性之间没有太大的关系。

路宽与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数均呈正相关, 且相关系数的大小, 表明随着游径宽度的增加, 乔木种在均匀度方面增加较大, 在多样性方面次之, 丰富度变化最小。

距游径的水平距离与丰富度指数和多样性指数呈负相关, 表明随着距游径的水平距离增加, 乔木种的丰富度和多样性都趋于减小。此外, 距离与均匀度指数的相关系数较小, 表明它们的相关性不大。

敏感水平与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数均呈正相关, 但相关系数较小, 表明它们之间没有太多的相关性。

景观重要值与物种丰富度指数、均匀度指数和多样性指数呈负相关, 但相关系数也较小, 表明景观重要值越大, 乔木种的丰富度、均匀度和多样性都趋于减小, 但相关性都不大。

阴生种比值与丰富度指数和多样性指数呈负相关, 与均匀度指数呈正相关, 但是相关系数也很小, 表明它们之间的相关性也较小。

旅游影响系数与物种丰富度指数、均匀度指数和多样性指数之间的相关系数均 < 0. 1, 表明它们之间几乎没有相关性。

表 1 不同植被景观区 乔木层的物种多样性指数

Table 1 Biodiversity indices of tree layer in different vegetation landscape districts

类区	R	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	λ	H'	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
I类区 I district	1. 8	0. 18	0. 20	0. 78	0. 35	1. 55	1. 49	0. 80	0. 88	0. 77	0. 96	0. 84
II类区 II district	1. 5	0. 11	0. 16	0. 87	0. 19	1. 26	1. 23	0. 77	0. 88	0. 76	0. 98	0. 84
III类区 III district	1. 67	0. 15	0. 18	0. 85	0. 24	1. 33	1. 25	0. 80	0. 87	0. 77	0. 95	0. 84
IV类区 IV district	1. 5	0. 11	0. 16	0. 79	0. 31	1. 42	1. 37	0. 94	0. 96	0. 92	0. 97	0. 94
V类区 V district	1. 67	0. 15	0. 18	0. 77	0. 34	1. 46	1. 39	0. 83	0. 90	0. 80	0. 95	0. 86

R: Patrick 指数, R<sub>1</sub>: Margalef 指数, R<sub>2</sub>: Menhinick 指数, λ: Simpson 指数, H': Shannon-Wiener 指数, N<sub>1</sub>: Hill 的多样性指数, N<sub>2</sub>: Hill 的多样性指数, E<sub>1</sub>: Pielou 指数, E<sub>2</sub>: Sheldon 指数, E<sub>3</sub>: Heap 指数, E<sub>4</sub>: Hill 指数, E<sub>5</sub>: 修正的 Hill 指数 (下同)。

表 2 乔木层的物种多样性与地理因子之间的相关性

Table 2 Correlation between species diversity and geographical factors in tree layer

地理因子	E	S	A	RW	D	SL	LIV	SSP	TII
R	0. 13	0. 42	0. 10	0. 06	- 0. 25	0. 07	- 0. 13	- 0. 24	- 0. 02
R <sub>1</sub>	0. 14	0. 41	0. 10	0. 07	- 0. 23	0. 05	- 0. 13	- 0. 25	- 0. 02
R <sub>2</sub>	0. 15	0. 36	0. 09	0. 11	- 0. 21	0	- 0. 15	- 0. 30	0. 01
λ	- 0. 35	- 0. 18	- 0. 17	- 0. 26	0. 24	- 0. 27	0. 26	0. 05	- 0. 04
H'	0. 33	0. 24	0. 16	0. 25	- 0. 24	0. 23	- 0. 25	- 0. 10	0. 04
N <sub>1</sub>	0. 36	0. 18	0. 21	0. 30	- 0. 21	0. 20	- 0. 27	- 0. 12	0. 02
N <sub>2</sub>	0. 40	0. 09	0. 26	0. 33	- 0. 19	0. 21	- 0. 29	- 0. 09	0. 01
E <sub>1</sub>	0. 23	- 0. 31	0. 01	0. 34	0. 08	0. 12	- 0. 15	0. 21	0. 07
E <sub>2</sub>	0. 24	- 0. 41	0. 06	0. 32	0. 11	0. 13	- 0. 14	0. 24	0. 06
E <sub>3</sub>	0. 23	- 0. 35	0. 04	0. 33	0. 09	0. 11	- 0. 14	0. 22	0. 06
E <sub>4</sub>	0. 17	- 0. 56*	0. 24	0. 18	0. 14	0. 07	- 0. 07	0. 20	- 0. 07
E <sub>5</sub>	0. 23	- 0. 36	0. 06	0. 32	0. 09	0. 10	- 0. 14	0. 21	0. 05

E: 海拔 Elevation, S: 坡度 Slope, A: 坡向 Aspect, RW: 路宽 Road width, D: 距离 The distance from tourism road, SL: 敏感水平 Sensitive level, LIV: 景观重要值 Landscape important value, SSP: 阴生种比值 Shaded-tolerant species proportion, TII: 旅游影响系数 Tourism influencing index (下同)

2.2 灌木层的物种多样性比较

2.2.1 物种多样性指数的比较

由表 3 可知,在物种丰富度上, Patrick 指数表现出 II 类区 > I 类区 > II 类区 > IV 类区 > V 类区的趋势, Magale 指数表现出 III 类区 > IV 类区 > II 类区 > I 类区 > V 类区的趋势, Menhinick 指数表现出 IV 类区 > II 类区 > II 类区 > I 类区 > V 类区的趋势。这至少说明在旅游活动适度干扰的地方,灌木种的丰富度最大,在干扰很少的地方,其丰富度次之,在干扰严重的地方,其丰富度则最小。

在物种均匀度上, Piebu 指数、SheHon 指数和 Heip 指数均表现出 IV 类区 > I 类区 > II 类区 > III 类区 > V 类区的趋势, Hill 指数和修正的 Hill 指数表现出 IV 类区 > II 类区 > II 类区 > I 类区 > V 类区的趋势。这同样说明灌木种的均匀度在中度干扰的地方最大,干扰很少的地方次之,干扰严重的地方则最小。

在物种多样性上, Shannon-W iener 指数表现出

II 类区 > I 类区 > IV 类区 > II 类区 > V 类区的趋势, Hill 的多样性指数  $N1$  表现出 I 类区 > II 类区 > II 类区 > IV 类区 > V 类区的趋势, Hill 的多样性指数  $N2$  表现出 II 类区 > IV 类区 > II 类区 > I 类区 > V 类区的趋势。这说明在旅游干扰较小的地方,灌木种的多样性较大,干扰最大的地方,多样性最小。Simpson 指数则呈现出相反的变化规律,表现出 V 类区 > I 类区 > II 类区 > III 类区 > IV 类区的趋势,这同样是由于其不同的计算方式所导致的。

2.2.2 物种多样性与地理因子之间的关系

由表 4 可知,海拔与丰富度指数呈负相关,且相关系数较大,表明随着海拔的升高,灌木种在丰富度上趋于减小。海拔与均匀度指数和多样性指数均呈正相关,且相关系数较小,表明它们的相关性较小。

坡度与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数呈正相关,且相关性较大,表明随着坡度的增加,灌木种在丰富度、均匀度和多样性方面都趋于增大。

表 3 不同植被景观区灌木层的物种多样性指数

Table 3 Biodiversity indices of shrub layer in different vegetation landscape districts

类区	$R$	$R_1$	$R_2$	$\lambda$	$H'$	$N_1$	$N_2$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
I类区 I district	3.4	1.06	1.00	0.41	0.89	2.65	2.49	0.88	0.85	0.80	0.95	0.94
II类区 II district	3.25	1.16	1.09	0.35	0.84	2.51	3.05	0.81	0.81	0.74	1.09	1.06
III类区 III district	3.67	1.28	1.16	0.26	0.92	2.60	2.54	0.81	0.78	0.71	0.97	0.94
IV类区 IV district	2.5	1.24	1.27	0.14	0.85	2.37	2.75	0.96	0.96	0.93	1.14	1.22
V类区 V district	0.67	0.67	0.67	0.67	0	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67

表 4 灌木层的物种多样性与地理因子之间的相关性

Table 4 Correlation between species diversity and geographical factors in shrub layer

地理因子	$E$	$S$	$A$	$RW$	$D$	$SL$	$LIV$	$SSP$	$TH$
$R$	-0.07	0.08	-0.52 <sup>*</sup>	-0.11	0.17	-0.35	0.56 <sup>*</sup>	0.14	-0.53 <sup>*</sup>
$R_1$	-0.39	0.39	-0.29	-0.30	-0.01	-0.15	0.26	-0.06	-0.03
$R_2$	-0.28	0.43	-0.22	-0.21	-0.09	-0.04	0.13	-0.03	0.02
$\lambda$	0.15	-0.45	0.16	0.20	-0.17	0.38	-0.37	0.15	0.39
$H'$	0.04	0.37	-0.52 <sup>*</sup>	0	0.12	-0.31	0.50 <sup>*</sup>	0.16	-0.62 <sup>*</sup>
$N_1$	0.05	0.41	-0.51 <sup>*</sup>	0.07	0.04	-0.22	0.43	0.16	-0.52 <sup>*</sup>
$N_2$	0.13	0.37	-0.36	0.19	-0.15	0.02	0.22	0.12	-0.30
$E_1$	0.07	0.39	0.20	0.26	-0.16	0.21	-0.45	-0.20	0.43
$E_2$	0.08	0.33	0.28	0.24	-0.21	0.26	-0.48 <sup>*</sup>	-0.19	0.42
$E_3$	0.05	0.36	0.26	0.23	-0.19	0.23	-0.48 <sup>*</sup>	-0.23	0.45
$E_4$	0.23	0.28	-0.10	0.36	-0.36	0.35	-0.22	-0.01	0.17
$E_5$	0.24	0.33	-0.16	0.39	-0.33	0.33	-0.25	-0.02	0.20

坡向与丰富度指数和多样性指数均呈负相关, 且有三对因子呈显著相关, 说明随着坡向的增加, 即越向阳的地方, 灌木的丰富度和多样性都趋于减小。但是灌木的均匀性与坡向的关系不大。

路宽与丰富度指数和均匀度指数的相关系数较大, 与多样性指数相关性小, 表明随着游径宽度的增加, 灌木的丰富度在趋于减小, 均匀度则趋于增加。

距游径的水平距离仅与均匀度指数的相关性较大, 与丰富度指数和多样性指数的相关性较小, 表明随着距游径的水平距离增加, 灌木种的均匀度趋于减小。

敏感水平与均匀度指数有较大的正相关性, 仅与部分丰富度指数和多样性指数有较大的负相关性, 表明随着敏感水平的增大, 即旅游活动的增多, 灌木的均匀度在趋于增加, 而丰富度和多样性呈现减小的趋势。

景观重要值与物种丰富度指数和多样性指数呈正相关, 与均匀度指数呈负相关, 且有四个相关系数呈显著相关, 表明随着景观重要值的增大, 灌木种的丰富度和多样性都趋于增加, 而均匀度则趋于减小。

阴生种比值与丰富度指数和均匀度指数呈负相关, 与多样性指数呈正相关, 但是相关系数很小, 表明它们之间没有太多的相关性。

旅游影响系数与物种丰富度指数和多样性指数呈负相关, 且有三对因子呈显著相关, 与均匀度指数呈正相关, 且相关系数也较大, 表明旅游影响系数越大, 灌木的丰富度和多样性趋于减小, 而均匀度则趋于增大。

## 2.3 草本层的物种多样性比较

### 2.3.1 物种多样性指数的比较

由表 5 可知, 在物种丰富度上, Patrick 指数表现出 II 类区 > II 类区 > IV 类区 > V 类区 > I 类区的趋势, Magale 指数和 Menhinick 指数都表现出 V 类区 > II 类区 > II 类区 > IV 类区 > I 类区的趋势。这至少说明旅游活动的适度干扰使得草本的丰富度最大, 而干扰很少的地方, 其丰富度则最小。

在物种均匀度上, Piebu 指数和 Heip 指数均表现出 V 类区 > II 类区 > III 类区 > I 类区 > IV 类区的趋势, SheHon 指数表现出 V 类区 > II 类区 > I 类区 > II 类区 > IV 类区的趋势, Hill 指数表现出 V 类区 > I 类区 > II 类区 > IV 类区 > III 类区的趋势, 修正

的 Hill 指数表现出 V 类区 > II 类区 > I 类区 > IV 类区 > II 类区的趋势。这说明草本的均匀度在干扰严重的地方达到最大值, 在干扰很少的地方次之, 在中度干扰的地方则较小。

在物种多样性上, Shannon-Wiener 指数、Hill 的多样性指数  $N_1$  和  $N_2$  都表现出 V 类区 > II 类区 > III 类区 > IV 类区 > I 类区的趋势, 这说明在干扰最大的地方, 草本的多样性最大, 中度干扰的地方, 多样性次之, 干扰最少的地方则最小。Simpson 指数则呈现出相反的变化规律, 表现出 I 类区 > IV 类区 > II 类区 > II 类区 > V 类区的趋势, 这同样是由于其不同的计算方式所导致的。

### 2.3.2 物种多样性与地理因子之间的关系

海拔与两个丰富度指数呈显著负相关, 与均匀度指数和多样性指数也呈负相关, 且相关系数较大, 表明随着海拔的升高, 草本的丰富度、均匀度和多样性都趋于减小。

坡度与一个丰富度指数呈显著正相关, 与均匀度指数呈负相关, 且相关系数较大, 但与多样性指数的相关性较小, 表明随着坡度的增加, 草本植物趋于丰富, 但均匀度趋于减小 (表 6)。

坡向与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数的相关性都较小, 均 < 0.2 表明坡向对草本的多样性没有太多的影响。

路宽与丰富度指数呈显著负相关, 与多样性指数呈较大的负相关性, 但与均匀度指数的相关系数较小, 表明随着游径宽度的增加, 草本的丰富度和多样性在趋于减小, 而均匀度没有太多的变化。

距游径的水平距离与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数没有明显的相关性, 表明距游径的水平距离对草本多样性没有明显的影响。

敏感水平与均匀度指数和多样性指数有显著的正相关性, 但与丰富度指数相关性较小, 表明随着敏感水平的增大, 即旅游活动的增多, 草本的均匀度和多样性呈明显增加的趋势, 而丰富度没有明显的变化。

景观重要值与均匀度指数和多样性指数呈负相关, 且有三个相关系数呈显著相关, 与丰富度指数的相关系数较小, 表明随着景观重要值的增大, 草本的均匀度和多样性都明显趋于减小, 而丰富度没有明显的变化。

表 5 不同植被景观区草本层的物种多样性指数

Table 5 Biodiversity indices of herbage layer in different vegetation landscape districts

类区	$R$	$R_1$	$R_2$	$\lambda$	$H'$	$N_1$	$N_2$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$
I类区 I district	9.8	1.79	0.84	0.37	1.26	3.54	2.74	0.56	0.37	0.30	0.78	0.69
II类区 II district	13	2.70	1.40	0.27	1.59	5.05	3.75	0.64	0.41	0.35	0.76	0.71
III类区 III district	13.8	2.90	1.52	0.32	1.50	4.71	3.34	0.58	0.35	0.30	0.72	0.63
IV类区 IV district	11	2.30	1.25	0.36	1.30	3.68	2.76	0.55	0.34	0.27	0.75	0.66
V类区 V district	10.3	3.36	2.57	0.12	2.07	8.29	13.32	0.89	0.79	0.77	1.51	1.57

表 6 草本层的物种多样性与地理因子之间的相关性

Table 6 Correlation between species diversity and geographical factors in herbage layer

地理因子	$E$	$S$	$A$	$RW$	$D$	$SL$	$LIV$	$SSP$	$TH$
$R$	-0.33	0.47 <sup>*</sup>	0.07	-0.46 <sup>*</sup>	0.08	-0.15	0.25	-0.15	-0.04
$R_1$	-0.46 <sup>*</sup>	0.31	0.15	-0.47 <sup>*</sup>	-0.08	0.14	-0.03	-0.18	0.47 <sup>*</sup>
$R_2$	-0.46 <sup>*</sup>	0.12	0.17	-0.37	-0.18	0.34	-0.24	-0.16	0.76 <sup>*</sup>
$\lambda$	0.36	-0.06	-0.19	0.21	0.14	-0.43	0.30	0.05	-0.72 <sup>*</sup>
$H'$	-0.42	0.14	0.15	-0.33	-0.07	0.32	-0.14	-0.06	0.66 <sup>*</sup>
$N_1$	-0.40	0.09	0.15	-0.30	-0.11	0.36	-0.21	-0.05	0.73 <sup>*</sup>
$N_2$	-0.26	-0.15	0.09	-0.01	-0.24	0.48 <sup>*</sup>	-0.55 <sup>*</sup>	0.02	0.80 <sup>*</sup>
$E_1$	-0.30	-0.10	0.14	-0.12	-0.11	0.42	-0.28	-0.01	0.73 <sup>*</sup>
$E_2$	-0.22	-0.23	0.11	0	-0.16	0.45 <sup>*</sup>	-0.40	0.010	0.76 <sup>*</sup>
$E_3$	-0.26	-0.20	0.11	-0.04	-0.16	0.45 <sup>*</sup>	-0.39	0	0.77 <sup>*</sup>
$E_4$	-0.14	-0.25	0.08	0.15	-0.27	0.48 <sup>*</sup>	-0.67 <sup>*</sup>	0.04	0.73 <sup>*</sup>
$E_5$	-0.15	-0.23	0.09	0.14	-0.27	0.49 <sup>*</sup>	-0.66 <sup>*</sup>	0.03	0.74 <sup>*</sup>

阴生种比值与丰富度指数、均匀度指数和多样性指数之间的相关系数都很小,表明它们之间没有太多的相关性,即阴生种比值对各种多样性指数没有明显的影响。

旅游影响系数与除 Patrick 指数外的所有指数均呈显著或极显著的相关性,表明随着旅游影响系数的增大,草本的丰富度、均匀度和多样性都趋于明显的增加,同时也说明旅游影响系数对草本多样性影响最明显。

3 结论与讨论

3.1 乔木层的物种多样性比较

对于乔木种的丰富度和综合多样性,在旅游干扰很少的地方都达到最大值,在干扰严重的地方,它们也相对较大,在其他中度干扰的地方,则相对较低。至于乔木种的均匀度,旅游活动的干扰使得其分布趋于均匀,因而在干扰较大的地方其值则最大。

在干扰很小的地方,其均匀度则较小。

通过分析乔木层的物种多样性与各种因子的关系可知,乔木种的丰富度与坡度的相关性较大,与其他因子的相关性较小。均匀度与坡度和路宽的相关性较大,与其他因子的相关性较小。多样性与海拔和路宽的关系也较大,与其他因子的相关性也较小。从总体趋势看,仅有 1 对因子呈显著相关,说明乔木种的多样性与地理因子间的相关性很小。

3.2 灌木层的物种多样性比较

对于灌木种的丰富度和均匀度,在旅游中度干扰的地方都最大,在干扰很少的地方次之,在干扰严重的地方其值都最小。至于灌木种的综合多样性,则呈现出随着旅游干扰的减小而趋于增大的趋势。

通过分析灌木层的物种多样性与各种因子的关系可知,灌木种的丰富度中的 Patrick 指数与坡向和旅游影响系数呈显著负相关,与景观重要值呈显著正相关,且有 3 对因子显著相关,表明随着坡向和旅游影响系数的增大,灌木丰富度趋于减小;而随着景

观重要值的增大, 灌木丰富度趋于增大。在灌木均匀度中, 仅有 Sheldon指数和 Heip指数与景观重要值呈显著负相关, 有两对因子显著相关, 表明随着景观重要值的增大, 均匀度趋于减小。灌木种的多样性指数与坡向和旅游影响系数呈显著负相关, 与景观重要值呈显著正相关, 且有 5 对因子显著相关, 也表明随着坡向和旅游影响系数的增大, 灌木的多样性趋于减小; 而随着景观重要值的增大, 灌木多样性趋于增大。总之, 在灌木物种多样性与地理因子的相关性中, 共有 10 对因子显著相关, 这说明与乔木种的多样性相比, 灌木多样性与地理因子之间的相关性较多, 即地理因子对灌木影响的作用开始增大。

### 3.3 草本层的物种多样性比较

在旅游干扰最大的地方, 草本的均匀度和多样性最大, 而丰富度相对也较大。在中度干扰的地方, 草本的丰富度最大, 多样性居中, 均匀度最小。在干扰很少的地方, 草本的丰富度和多样性最小, 均匀度居中。

通过分析草本层的物种多样性与各种因子的关系可知, 草本的丰富度指数与海拔和路宽呈显著负相关, 与坡度和旅游影响系数呈显著的正相关, 且有 7 对因子显著相关, 表明随着海拔的升高和游径宽度的增加, 草本的丰富度在显著减小, 而随着坡度和旅游影响系数的增大, 草本的丰富度在明显的增加。草本的均匀度指数与敏感水平和旅游影响系数呈显著或极显著的正相关, 与景观重要值呈极显著的负相关, 且有 11 对因子显著相关, 表明随着敏感水平和旅游影响系数的增大, 草本的均匀度也在明显的趋于增大, 而随着景观重要值的增大, 草本的均匀度则在明显的减小。至于草本的多样性指数, 它与敏感水平和旅游影响系数呈显著或极显著的正相关, 与景观重要值呈显著的负相关, 且有 5 对因子显著相关, 表明随着敏感水平和旅游影响系数的增大, 草本的多样性也在明显的增加, 而随着景观重要值的增大, 草本的多样性则在明显地趋于减小。总之, 在草本多样性与地理因子的相关性中, 共有 23 对因子显著或极显著相关, 这说明与乔木和灌木的多样性

相比, 草本多样性与地理因子之间的相关性最多, 即地理因子对草本影响的作用最大, 另一方面, 也说明与乔木和灌木相比, 旅游活动对草本多样性作用最大, 影响最明显。

### 参考文献 (References)

- [1] Zhang Jintun. Applied Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese) [张金屯. 应用生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [2] Cheng Zhanhong, Zhang Jintun, Shengguan Tieliang, et al. Study on relationship between tourism development and vegetation environment in Luya Mountain Nature Reserve I quality analysis of vegetation environment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1765 ~ 1773 (in Chinese with English abstract) [程占红, 张金屯, 上官铁梁, 等. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境的关系研究 I 植被环境质量分析 [J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1765 ~ 1773]
- [3] Cheng Zhanhong, Zhang Jintun, Shengguan Tieliang. Relationship between tourism development and vegetation environment in Luya Mountain Nature Reserve: tourism impacting index and some indices analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 703 ~ 711 (in Chinese with English abstract) [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]
- [4] Cheng Zhanhong, Zhang Jintun, Wu Bihu, et al. Relationship between tourism development and vegetation environment in Luya Mountain Nature Reserve: vegetation landscape types and ordination [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1940 ~ 1946 (in Chinese with English abstract) [程占红, 张金屯, 吴必虎, 等. 芦芽山自然保护区旅游开发与植被环境的关系—植被景观的类型及排序 [J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1940 ~ 1946]
- [5] Zhang Jintun. Quantitative ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese) [张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [6] Pielou E.C. Ecological Diversity [M]. John & Sons Inc, 1975.
- [7] Ma Keping, Huang Jianhui, Yu Shunli, et al. Study on plant community diversity in Dongling Mountain: Beijing richness indices, evenness indices and biodiversity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268 ~ 277 (in Chinese with English abstract) [马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究—丰富度、均匀度和物种多样性指数 [J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268 ~ 277]

# Impact of Tourism Development on Biodiversity of Different Vegetation Layers in Luyam Mountain

CHENG Zhanhong<sup>1</sup>, NIU Liqin<sup>2</sup>

(1. Tourism College, Shanxi University of Finance and Economics Taiyuan 030012 China;

2. Department of Environment Economics Shanxi University of Finance and Economics Taiyuan 030006 China)

**Abstract** The impact of tourism development on biodiversity of different vegetation layers is studied by 12 indices in Luyam Mountain. It shows that (1) Richness and diversity of tree species are the most at the less disturbance region, and more at the most one, and less at the middle one. Its evenness also decreases with the less disturbing. There is little correlation between species diversity and geographical factors in tree layer, and only a pair of factors is clear correlative. (2) Richness and evenness of shrub species are the most at the middle disturbance region, and secondary at the less one, and the least at the most one. Its diversity increases with the less disturbing. There is more correlation between species diversity and geographical factors in shrub layer, and 10 pairs of factors are clear correlative, which shows that the impact of geographical factors on shrub biodiversity begins to increase. (3) At the most disturbance region, evenness and diversity of herbage species are the most, and richness is more. At the middle one, richness is the most, diversity is secondary, and evenness is the least. At the less one, richness and diversity are the least, and evenness is secondary. There is the most correlation between species diversity and geographical factors in herbage layer, and 23 pairs of factors are clear correlative, which shows that the impact of geographical factors on herbage biodiversity is the most.

**Key words** Luyam Mountain; tourism development; different vegetation layers; species diversity