

旅游干扰对历山亚高山草甸优势 种群种间相关性的影响

张桂萍^{1,2}, 张 峰^{1,3*}, 茹文明^{1,2}

(1 山西大学黄土高原研究所, 山西 太原 030006; 2 长治学院生化系, 山西 长治 046011;

3 山西大学生命科学与技术学院, 山西 太原 030006)

摘要: 基于 2×2 列联表, 应用方差比率法、 χ^2 检验、Pearson 相关系数检验及 Spearman 秩相关系数检验等数量分析方法研究了旅游干扰对山西历山舜王坪亚高山草甸种间关联程度的影响。结果表明: (1) 不同旅游距离带的联结指数 (V_R) 均大于 1, 但统计量 w 均界于 χ^2 分布的上下临界值之间。群落总体呈正关联, 但联结性较弱, 种的分布相对独立。(2) 随着距游径距离的增加, 4 条不同旅游距离带的联结指数 (V_R) 呈下降趋势; 正负关联比有所增加, χ^2 检验显著率、Pearson 相关检验显著率和 Spearman 秩相关检验显著率都明显下降, 说明旅游干扰对舜王坪亚高山草甸种间关联程度产生了一定的影响, 距离游径越远, 种间关联越趋于随机性, 但这种影响尚未引起种间联结性的改变。(3) χ^2 检验与 Pearson 相关系数检验、Spearman 秩相关系数检验结果用来刻划种间相关性具有一定的相似之处, 但仍存在一定差异, 结合使用效果更好。与 Pearson 相关检验相比, Spearman 秩相关检验更具灵敏性。4) 本研究结果支持随着群落演替进程的发展, 群落种群总体向着无关联发展的观点。

关键词: 亚高山草甸; 方差比率法; χ^2 检验; 相关检验; 旅游干扰

文章编号: 1000-0933(2005)11-2868-07 **中图分类号:** Q 948, Q 149 **文献标识码:** A

The effect of traveling on the interspecific correlation of dominant populations in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province

ZHANG Gui-Ping^{1,2}, ZHANG Feng^{1,3*}, RU Wen-Ming^{1,2} (1 Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2 Department of Biology & Chemistry, Changzhi College, Changzhi 046011, China; 3 School of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2868~ 2874

Abstract Lishan Mountain is located in the eastern of Zhongtiao Ranges in Shanxi Province 35°16' ~ 35°27' N, 111°51' ~ 112°30' E. Its top peak, Shunwangping, is at 2358m above sea level. Lishan Provincial Natural Reserve was authorized by Shanxi Government in 1983, and Lishan National Natural Reserve was authorized by the State Council of the People's Republic of China in 1988. Its area (248km²) is the biggest and there are the richest plant resources among all Natural Reserves in Shanxi Province. There were 972 species of seed plants, belonging to 491 genera and 123 families. Because of its abundant natural scenery and cultural scenery, it has been one of the famous traveling spots. With the development of tourism, however, its vegetation resource was damaged in some degrees.

In order to evaluate the effect of tourism disturbance on interspecific association, the vegetation in Shunwangping subalpine meadow were investigated. Four parallel transects, which were 0m, 4m, 8m and 12m respectively away from the road, included 77 quadrats (21 quadrats in transects 1, 20 quadrats in transects 2, 19 quadrats in transects 3 and 17 quadrats in transects 4, respectively). Based on the field investigation data, 88 species were recorded and 18 dominant species were

基金项目: 山西省留学基金资助项目 (020024)

收稿日期: 2005-04-12; **修订日期:** 2005-09-12

作者简介: 张桂萍 (1964~), 女, 山西太原人, 副教授, 博士生, 主要从事数量生态学研究. E-mail: fzhang@sxu.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fzhang@sxu.edu.cn

Foundation item: Shanxi Scholarship Foundation (No. 020024)

Received date: 2005-04-12; **Accepted date:** 2005-09-12

Biography: ZHANG Gui-Ping, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in quantitative plant ecology. E-mail: fzhang@sxu.edu.cn

reserved after deleting some species which coverage or frequency was smaller than 5%. The interspecific correlation influenced by traveling in the Shunwangping subalpine meadow was studied by using χ^2 -test for 2×2 contingency table, variance ratio (VR) test, Pearson's correlation coefficient test and Spearman's rank correlation coefficient test.

The results was as follows: The association index (VR) of different distance transects was all bigger than one. Based on the statistics W ($\chi^2_{0.95N} < W < \chi^2_{0.05N}$), the overall association of the community was not significant ($p > 0.05$) and tended to no correlation among all species, and it meant that the species of the community were mostly independently distributed. With the increase of the distance between the traveling road and the transects, the overall association index (VR) of four transects declined. The proportion of the positive and negative association increased slightly, and the significant percentage of χ^2 test, Pearson's correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficients decreased respectively. It suggested that traveling interference influenced on the interspecific correlation in some degrees, but did not lead to quality change of interspecific association in this subalpine meadow. The farther the distance was, the bigger the randomness of interspecific association was.

In addition, compared with Pearson's correlation coefficient test, Spearman's correlation coefficient test was more sensitive and could make up the defect of Pearson's correlation coefficient test. The results suggested that it was better to investigate the interspecific correlation by combining χ^2 -test with Pearson's correlation coefficient test and Spearman's rank correlation coefficient test.

The results agree with the idea that interspecific association tends to no correlation with the development of community succession stages, that is, the more the traveling disturbance is, the stronger the interspecific competitive become, and the bigger the interspecific correlation is; on the contrary, the less the traveling is, the weaker the interspecific competitive become, the smaller the interspecific association is.

Key words: subalpine meadow; variance ratio test; χ^2 test; correlation coefficient test; traveling interference

种间联结性及相关性是植物群落重要的数量和结构特征,它是群落结构形成和演化的重要基础^[1]。群落中的物种相互依存、相互竞争和协同进化,使群落处于相对稳定的状态。对群落内物种间关联程度的分析方法主要包括:(1)用二元定性数据测定种间关联(或种间联结);(2)利用定量数据(如多度、盖度、重要值等)测定种间相关。作为比较成熟的研究方法,种间关联性研究已被广泛应用于生态学的各个领域,如优势种群关联性分析^[2~4]、种间竞争^[5]、群落动态^[6~8]等,但关于干扰对物种间关联性影响的研究报道较少,仅见放牧干扰^[9]和水淹干扰^[10]。

历山是山西省重点风景名胜之一,于1983年被定为省级自然保护区,并于1988年升级为国家级自然保护区,它是山西省自然保护区中面积最大、物种资源最丰富的自然保护区。关于历山植被的研究工作已有一些报道,主要包括植物区系分析^[11,12]、植被垂直带分析^[13]、数量分类及排序^[14]等。本文用 2×2 列联表的方差比率法、 χ^2 检验, Pearson 相关系数检验和 Spearman 秩相关系数检验等数量分析方法,研究了旅游干扰对历山舜王坪亚高山草甸优势种群间关联性的影响及其变化规律,旨在揭示旅游干扰对草甸种间关联性的影响,为植物资源保护、可持续利用与旅游业的协调发展提供理论依据。

1 研究区域概况

历山自然保护区位于山西省中条山东段,地处沁水、翼城、阳城和垣曲四县交界, $111^{\circ}51' \sim 112^{\circ}30' E$, $35^{\circ}16' \sim 35^{\circ}27' N$,主峰舜王坪海拔 2 358m。该区属暖温带大陆性季风气候,年均温 $11.3 \sim 14.9^{\circ}C$,年降水量 600~800mm,无霜期 180~200d。土壤垂直分布明显,自下而上依次为褐土、山地褐土、山地淋溶褐土、棕色森林土、亚高山草甸土。

历山植被类型以落叶阔叶林为主,植被垂直分布明显,从低到高依次为侧柏(*Platycladus orientalis*)林带(500~1 000m),松栎林带(800~1 500m),栓皮栎(*Quercus variabilis*)林带(1 400~2 000m),杨桦林带(1 900~2 000m),山地草甸带(2 100~2 358m)。主要森林群落类型有辽东栎(*Q. liaotungensis*)林,栓皮栎林,鹅耳枥(*Carpinus cordata*)林,锐齿槲栎(*Q. ailenia*)林,白桦(*Betula platyphylla*)林,红桦(*B. albo-sinensis*)林,山杨(*Populus davidiana*)林,油松(*Pinus tabulaeformis*)林,华山松(*P. amandii*)林,侧柏林等。灌丛群落类型主要有黄刺玫(*Rosa xanthina*)灌丛,虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)灌丛,山桃(*Prunus davidiana*)灌丛,黄栌(*Cotinus coggygria* var. *cinerea*)灌丛,连翘(*Forsythia suspensa*)灌丛等。草本群落类型主要有白羊草(*B. orthochloa ischaemum*)草丛,蒿类(*A. rtemisia* sp.)草丛,苔草(*Carex* sp.)草丛,紫羊茅(*Festuca rubra*)草丛及五花草甸等^[13]。

2 研究方法

2.1 样方调查

在历山舜王坪亚高山草甸沿与游径平行方向设置 4 条平行样带,每条样带距游径距离分别为 0、4、8、12m,每条样带从树线

开始每隔 100m 各设 1 个样方,直至舜王坪顶部,样方面积为 1m × 1m。其中,第 1 条样带包括 21 个样方,第 2 条样带包括 20 个样方,第 3 条样带包括 19 个样方,第 4 条样带包括 17 个样方,共计 77 个样方,88 种植物。记录每个样方内每种植物高度、盖度、株数等。

2 2 种间关联性的度量

2 2 1 总体关联性分析 对样方调查数据进行整理,剔除盖度和频度 < 5% 的种后,得到 18 个优势种,构成 18 × 21、18 × 20、18 × 19、18 × 17 的种——样方二元数据矩阵作为原始数据,采用方差比率法^[15],通过计算物种间联结指数(V_R)来测定所研究种类的总体关联性。其计算公式为:

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^s p_{ij}(1 - p_{ij}) \quad (1)$$

$$p_{ij} = n_{ij}/N \quad (2)$$

$$S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - \bar{t})^2 \quad (3)$$

$$V_R = S_T^2 / \sigma_i^2 \quad (4)$$

式中, S 为物种总数, N 为样方总数, n_i 为物种 i 出现的样方数, T_j 为样方 j 内出现的所研究物种的总数, $\bar{t}$ 为样方中种的平均数, V_R 为群落内植物种间的总体联结指数。若 $V_R = 1$,接受零假设,即种间总体无关联。若 $V_R > 1$ 则否定零假设而接受备择假设,即物种间总体呈正关联; $V_R < 1$,则否定零假设而接受备择假设,即物种间总体呈负关联。

为了检验 V_R 偏离 1 是否显著,引入新的统计量 $W = V_R \times N$ 。 W 服从 χ^2 分布($df = N - 1$)。若 $W < \chi_{0.95N}^2$ 或 $W > \chi_{0.05N}^2$,则物种间总体关联显著($p < 0.05$)。反之,若 $\chi_{0.95N}^2 < W < \chi_{0.05N}^2$,则物种间总体关联不显著($p > 0.05$)。

2 2 2 种间联结性分析 对样方调查数据进行整理,剔除盖度和频度 < 5% 的种后,得到 18 个优势种,构成 18 × 21、18 × 20、18 × 19、18 × 17 的种——样方二元数据矩阵作为 χ^2 检验的原始数据,然后分别对每条样带进行 χ^2 检验来测定种间关联的显著性:

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 N}{(a + b)(c + d)(a + c)(b + d)} \quad (5)$$

2 2 3 种间相关测定(Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验) 用盖度数据分别作为 Pearson 和 Spearman 秩相关分析的数量指标^[16]。

Pearson 相关系数如下:

$$r_{P(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^n (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}} \quad (6)$$

Spearman 秩相关系数如下:

$$r_{S(i,j)} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^p d_k^2}{p^3 - p} \quad (7)$$

式中, n 为每条样带的样方数。

p 为样方数, $d_k = (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)$, X_{ik} 为每个种的秩。

3 结果及分析

3 1 不同旅游距离带上优势种群间总体关联性分析

历山舜王坪亚高山草甸 4 个不同旅游距离带上 18 个优势种群(表 1)种间总体无关联($\chi_{0.95N}^2 < W < \chi_{0.05N}^2$) (表 2),表明该亚高山草甸优势种群种间联结较为松散,总体趋于随机性。然而从不同旅游距离带的联结指数(V_R)的变化不难发现,虽然 4 条样带的总体联结性均趋于无关联,但联结指数(V_R)略有下降趋势,第一距离样带的统计量 W 最大,已接近 χ^2 临界值,其余 3 条样带的统计量 W 都不显著($p > 0.05$),说明旅游对该亚高山草甸植物种间总体联结性产生了一定的影响,只是干扰程度不大,尚未引起种间联结性的改变。

3 2 不同旅游距离带上优势种群间关联性分析

3 2 1 优势种群间关联性分析 尽管方差比率法的检测结果表明历山舜王坪亚高山草甸优势种群间总体呈无关联状况, χ^2 检验结果显示仍有部分植物种间表现为显著(含极显著)正关联或负关联(表 3)。其中,紫羊茅与地榆、珠芽蓼、秦艽间呈显著或极显著正关联;地榆与秦艽、珠芽蓼多呈显著或极显著正关联;珠芽蓼与秦艽之间也多表现为正关联。这是因为紫羊茅为舜

王坪亚高山草甸的主要优势种, 分布广、数量多, 从海拔 2 043~ 2 358m 均有分布, 在所调查的 77 个样方中有 56 个样方中都有紫羊茅分布, 因而与上述物种产生正关联; 珠芽蓼和秦艽之间也表现为正关联, 说明二者具有相近的生物学特性和相似的生态适应性。它们是亚高山草甸的特征种, 也是该草甸的优势种, 虽然其优势地位不及紫羊茅, 但在该草甸分布也较为广泛; 地榆为典型的泛化种, 分布范围较广, 从海拔 1 000~ 2 358m 广泛分布, 因此, 与紫羊茅、珠芽蓼、秦艽也表现出一定程度的正关联。

表 1 历山亚高山草甸 18 个优势种名称
Table 1 18 dominant species in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province

序号 No.	种名 Species	序号 No.	种名 Species
1	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	10	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>
2	异穗苔草 <i>Carex heterostachya</i>	11	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>
3	早熟禾 <i>Poa annua</i>	12	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>
4	紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	13	山蒿 <i>Artemisia brachyloba</i>
5	车前 <i>Plantago asiatica</i>	14	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>
6	早春苔草 <i>C. subpediformis</i>	15	款冬 <i>Tussilago farfara</i>
7	东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	16	高乌头 <i>Aconitum sinomontanum</i>
8	小花草玉蜀黍 <i>A. nemone rivularis</i> var. <i>florem inore</i>	17	大黄 <i>Rheum officinale</i>
9	附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>	18	马蔺 <i>Iris lactea</i> var. <i>chinensis</i>

与此相反, 蒲公英属于伴人植物, 而非亚高山草甸的土著种。在距离游径较近的样带 1 和样带 2, 人为干扰程度较大, 导致珠芽蓼、秦艽、高乌头等植物的生长发育受到影响, 而蒲公英的优势相对增加, 因而它们表现出一定程度的显著负相关, 而在距离游径较远的样带 3 和样带 4 上, 人为干扰较小, 蒲公英与上述物种的关联性较弱(表 3), 尤其在样带 4 上基本表现为无关联。除上述物种外, 其它物种种对间联结性都较弱, 未达到显著水平($p > 0.05$)。

3.2.2 正负关联比与 χ^2 检验显著率 正负关联比是所有种对正关联数与负关联数的比值, 其值越高, 种间正联结性越强, 反之亦然; χ^2 检验显著率为 χ^2 检验的显著(含极显著)种对数与所有种对数之比的百分率, 二者都是用来衡量 χ^2 检验显著与否的重要指标^[17]。

图 1 反映了历山舜王坪亚高山草甸 4 条不同旅游距离带上 18 个优势种 153 个种对间 χ^2 检验的正负关联比。总体来看, 4 条不同旅游距离带上正关联种对数均大于负关联种对数, 但大多未达到显著(或极显著)水平。正关联种对数中 χ^2 检验显著率 4 条样带分别为 19.3%、18.33%、12.21% 和 9.52%; 负关联种对数中 χ^2 检验显著率 4 条样带分别为 10.19%、16.67%、11.62% 和 4.76%; 不仅如此, 无关联种对数占到了相当比例(图 1)。由此可见, 大多数种对联结不显著, 表明该草甸优势种群间联结性较弱, 此结果与上述总体关联性分析结果基本一致。

由图 1 还可看出, 随着距离游径距离的增加, 正关联种对百分数变化不大, 虽然负关联种对百分数略有减少, 无关联种对百分数略有增加, 但变化趋势不明显。由此可见, 目前旅游干扰尚未对舜王坪亚高山草甸的植物群落结构产生明显的影响。

3.3 χ^2 检验、Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验

χ^2 检验、Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验结果相比较(表 4)可以看出, 它们刻画优势种群之间的相互关系有一定的相似性, 但仍存在着一定的差异。如 χ^2 检验中无关联的种对数较多, 而后二者无关联种对数较少。这是因为利用 χ^2 检验来判断种间关系, 首先要将原始数量数据转化为二元数据, 这样不可避

表 2 历山亚高山草甸不同旅游距离带优势种总体关联性
Table 2 The overall association among dominant species in four transects in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province

样带 Transect	联结指数 Association index V	统计量 W	χ^2 临界值 Critical value of χ^2 ($\chi^2_{0.95N}$, $\chi^2_{0.05N}$)	显著性 Significant	总体联结性 Overall association
1	1.3853	29.0905	10.851, 31.410	$p > 0.05$	无关联
2	1.1316	22.632	9.390, 28.869	$p > 0.05$	无关联
3	1.2459	23.6721	10.117, 30.144	$p > 0.05$	无关联
4	1.1031	18.7527	7.962, 26.296	$p > 0.05$	无关联

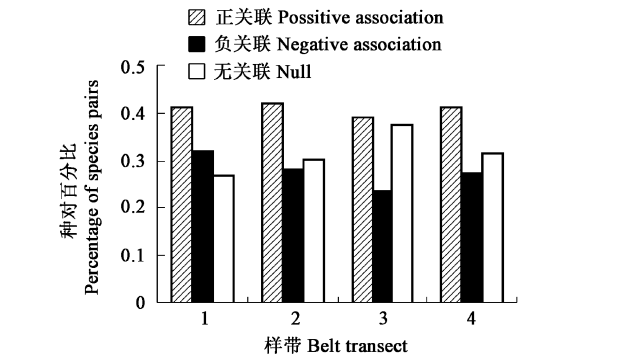


图 1 历山亚高山草甸不同旅游距离带优势种群种间正关联(POA)、负关联(NEA)、无关联(NOA)种对百分比
Fig 1 Percentage of species pairs with positive association, negative association and null of different distance transects in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province

表 3 历山亚高山草甸不同旅游距离带关联显著和极显著的种对

种对 Species pairs	样带 1 Transect 1		样带 2 Transect 2		样带 3 Transect 3		样带 4 Transect 4	
	联结性	χ^2 值	联结性	χ^2 值	联结性	χ^2 值	联结性	χ^2 值
	Association	χ^2 value	Association	χ^2 value	Association	χ^2 value	Association	χ^2 value
紫羊茅-地榆 <i>Festuca rubra</i> - <i>Sanguisorba officinalis</i>	+	0.080	+	0.011	+	0.011	+	0.006
紫羊茅-珠芽蓼 <i>Festuca rubra</i> - <i>Polygonum viviparum</i>	+	0.436	+	0.042	+	0.044	+	0.261
紫羊茅-秦艽 <i>Festuca rubra</i> - <i>Gentiana macrophylla</i>	+	0.183	+	0.049	+	0.127	+	0.047
秦艽-珠芽蓼 (<i>Gentiana macrophylla</i> - <i>Polygonum viviparum</i>)	+	0.047	+	0.004	+	0.017	+	0.117
地榆-珠芽蓼 (<i>Sanguisorba officinalis</i> - <i>Polygonum viviparum</i>)	+	0.109	+	0.051	+	0.011	+	0.102
地榆-秦艽 (<i>Sanguisorba officinalis</i> - <i>Gentiana macrophylla</i>)	+	0.002	+	0.057	+	0.303	+	0.102
蒲公英-珠芽蓼 (<i>Taraxacum mongolicum</i> - <i>Polygonum viviparum</i>)	-	0.115	-	0.014	-	0.141	-	0.245
蒲公英-秦艽 (<i>Taraxacum mongolicum</i> - <i>Gentiana macrophylla</i>)	-	0.014	-	0.101	-	0.557		1
蒲公英-高乌头 (<i>Taraxacum mongolicum</i> - <i>Aconitum sinomontanum</i>)	-	0.003	-	0.032	-	0.530		1

表 4 χ^2 检验、Pearson 相关检验、Spearman 秩相关检验

Table 4 The χ^2 test, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient										
样带 Transect	检验方法 Examining measure	正关联 Positive association				负关联 Negative association				无关联 Null
		极显著 High significant	显著 Significant	不显著 No significant	总数 Total	极显著 High significant	显著 Significant	不显著 No significant	总数 Total	
1	χ^2 检验 χ^2 -test	2	10	47	59	3	2	44	49	45
	Pearson 相关系数 Pearson's correlation coefficient	5	3	60	68	0	1	80	81	4
	Spearman 秩相关系数 Spearman's rank correlation coefficient	5	9	59	73	1	4	72	77	3
2	χ^2 检验 χ^2 -test	2	11	51	64	1	4	38	43	46
	Pearson 相关系数 Pearson's correlation coefficient	5	3	62	70	0	2	80	82	1
	Spearman 秩相关系数 Spearman's rank correlation coefficient	5	8	67	80	2	2	64	68	5
3	χ^2 检验 χ^2 -test	1	10	47	58	0	6	34	40	55
	Pearson 相关系数 Pearson's correlation coefficient	6	5	51	62	0	1	88	89	2
	Spearman 秩相关系数 Spearman's rank correlation coefficient	5	8	66	79	1	3	69	73	1
4	χ^2 检验 χ^2 -test	3	3	55	61	0	2	42	44	48
	Pearson 相关系数 Pearson's correlation coefficient	2	5	48	55	0	0	95	95	3
	Spearman 秩相关系数 Spearman's rank correlation coefficient	3	7	64	74	0	2	73	75	4

免地损失一定的信息量。因此,在 2×2 列联表的 χ^2 检验基础上,结合 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验种间关系,才能更为准确、全面地了解种间关系^[18]。

另外,与 Pearson 相关系数检验相比,Spearmann 秩相关检验的显著与极显著的种对数皆高于 Pearson 检验,其中, Pearson 相关检验显著率平均为 6.21%, Spearmann 秩相关检验显著率平均为 10.62%, 后者较前者高出 4.41%; 正负关联比后者较前者高 0.31, 说明秩相关系数检验较相关系数检验的灵敏度高,可以弥补相关系数检验的不足。这点与张峰等的研究结果吻合。

4 讨论

方差比率检验法及种间关联性测定结果均表明: 历山舜王坪亚高山草甸 18 个优势种群 153 个种对间总体关联性较弱, 大多数种对间关联程度未达到显著水平, χ^2 检验显著率平均 9.8%, Pearson 相关检验显著率平均 6.21%, Spearmann 秩相关检验显著率平均 10.62%。但是,随着旅游干扰的不断加剧,种间关联程度发生着微妙的变化。具体来看,样带 4 距离游径最远,由于基本没有旅游干扰的影响,其联结指数 (V_R) 最接近于 1 (1.1013), 统计量 W 界于 χ^2 临界值之内,表明该样带种对间总体无关联,各物种相对较为独立; 而样带 1 距离游径最近,旅游干扰相对较大,其联结指数 (V_R) 最大 (1.3852), 虽然检测结果总体无关联,但统计量 W (29.0905) 已接近 χ^2 分布上限临界值 (31.410), 由此可见,旅游干扰对该草甸植物种间联结性产生了一定的影响,只是干扰程度不大,尚未引起种间联结质的改变。从种对间的相关分析来看,虽然 χ^2 检验、Pearson 相关检验和 Spearmann 秩相关检验其结果存在一定差异,但总体结论与方差比率法结果基本吻合,即种间联结性比较松散,物种相对较为独立。

事实上,群落种间关联性在群落演替的不同阶段有所不同,目前普遍认为,群落发育初期,物种间趋向于随机性,未形成特定的种间关系。随着演替进展到中期,群落中物种间的关系随着种间竞争的不断加剧而发生复杂变化,表现较强的正关联和负关联,具有相近生物学特性的物种表现为正关联,它们的生态位具有不同程度的重叠,对生境的需求较为一致。相反,生态习性相异的物种表现为负关联,它们具有不同的生态位,对生境的需求也不相同。然而,当群落逐渐向着顶级群落发展时,种间关联性如何发生改变,不同学者说法不同。有的学者认为种对间正关联比例越高,群落结构越趋于稳定,多物种可以稳定共存,群落达到与环境条件相适应的稳定阶段^[19, 19]。但也有学者认为随着演替进展,群落中的物种总体向无关联发展^[15, 20]。

在自然条件下,植物群落沿正向演替向顶级群落发展,但在干扰(如旅游干扰、放牧干扰、水淹干扰等)情况下,群落可能会出现逆行演替。近年来,随着旅游干扰的不断加剧,加之管理措施尚未完善,历山舜王坪亚高山草甸植被已出现退化迹象,表现为裸地出现、生境破碎、物种多样性下降、伴人植物增加等,从而使群落向逆行演替发展。从本研究结果来看,从样带 1 至样带 4,旅游干扰逐渐减少,群落结构越趋稳定,物种间总体关联性越来越弱,物种更趋于独立。因此,无论方差比率法,还是 χ^2 检验、Pearson 相关检验和 Spearmann 秩相关检验,其检测结果均与上述后者观点吻合,即随着演替的进行,群落中的物种总体向着无关联发展。

References

- [1] Li X R. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferous-broad leaved mixed geobotanical zone of Russia Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19** (1): 55~ 60
- [2] Guo Z H, Zhuo Z D, Chen J, et al. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(5): 424~ 432
- [3] Chen Z Y, Chen J K. The spatial pattern of *Ranalisma rostratum* population and interspecific association in the community. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23**(1): 56~ 61
- [4] Zhang S Y. Interspecific association of main tree populations in *Alsephila spinulosa* community. *Chinese Journal of Applied & Environment Biology*, 2001, **7**(4): 335~ 339
- [5] Ofomata V C, Overholt W A, Van Huis A, et al. Niche overlap and interspecific association between *Chilo partellus* and *Chilo orichalcociliellus* on the Kenya coast. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1999, **93**: 141~ 148
- [6] Ilona Kuzelova and Milan Chytrý. Interspecific associations in phytosociological data sets: how do they change between local and regional scale? *Plant Ecology*, 2004, **173**: 247~ 257.
- [7] Manabe T, Nishimura N, Miura M, et al. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology*, 2000, **151**: 181~ 197.
- [8] Koichi Takahashi, Daisuke Mitsuishi, Shigeru Uemura, et al. Stand structure and dynamics during a 16-year period in a sub-boreal conifer-hardwood mixed forest, northern Japan. *Forest Ecology and Management*, 2003, **174**: 39~ 50
- [9] Xing F, Guo J X. Comparative analysis of interspecific association for three grazing succession stages of *Coelostogenes squarrosa* steppe. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(6): 693~ 698
- [10] Wang Z W, Zhu T C. Responses of interspecific relationships among main herbaceous plants to flooding disturbance in Songnen Plain,

- Northeastern China *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, **14**(6): 892~ 896
- [11] Ru W M, Zhang F. On the Flora of Seed Plant in the Eastern Segment of Zhongtiao Mountain, Shanxi *Journal of Shanxi University* (Nat Sci Ed.), 2000, **23**(1): 82~ 87.
- [12] Shangguan T L, Zhang F, Fan L S. Analysis on the flora of xylophyta in Zhongtiao Mountain, Shanxi *Bulletin of Botanical Research*, 2000, **20**(2): 143~ 155
- [13] Zhang J T, Zhang F, Shangguan T L. Reanalysis of vertical zones of vegetation in Zhongtiao Mountain *Journal of Shanxi University* (Nat Sci Ed.), 1997, **20**(1): 76~ 79
- [14] Zhang F, Zhang J T, Zhang F. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(3): 421~ 427.
- [15] Huang S N, Li Y D, Luo S S, *et al*. Dynamics of associations between tree species in a secondary tropical montane rain forest at Jianfengling in Hainan Island *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(5): 569~ 574
- [16] Zhang F, Zhang J T, Han F Y. Interspecific relationships and its environmental interpretation of the main tree species in the forest communities of Zhuweigou in Lishan Mountain Nature Reserve *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**: 52~ 56
- [17] Zhao Z H, Zu Y G, Yang F J, *et al*. Study on the sampling technique of interspecific association of lignelus plant in *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, **27** (3): 396~ 403
- [18] Zhang F, Shangguan T L. Numerical analysis of interspecific relationships in an *Elaeagnus mollis* community in Shanxi *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(3): 351~ 355
- [19] Zhou X Y, Wang B S, Li M G, *et al*. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(3): 332~ 339
- [20] Li Y Z. Determination and comparison of plant species interconnections in three types of grassland *Chinese Journal of Ecology*. 1991, **10** (6): 6~ 10

参考文献:

- [1] 李新荣. 俄罗斯平原针阔叶混交林群落的灌木层植物种间相关研究. *生态学报*, 1999, **19** (1): 55~ 60
- [2] 郭志华, 卓正大, 陈洁, 等. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群间联结性研究. *植物生态学报*, 1997, **21** (5): 424~ 432
- [3] 陈中义, 陈家宽. 长喙毛茛泽泻的种群分布格局和群落内种间关联. *植物生态学报*, 1999, **23** (1): 56~ 61
- [4] 张思玉. 杪栲群落内主要乔木种群的种间联结性. *应用与环境生物学报*, 2001, **7** (4): 335~ 339
- [9] 邢福, 郭继勋. 糙隐子草草原 3 个放牧演替阶段种间联结对比分析. *植物生态学报*, 2001, **25** (6): 693~ 698
- [10] 王正文, 祝廷成. 松嫩草原主要草本植物种间关系及其对水淹干扰的响应. *应用生态学报*, 2003, **14** (6): 892~ 896
- [11] 茹文明, 张峰. 山西中条山东部种子植物区系分析. *山西大学学报*, 2000, **23** (1): 82~ 87.
- [12] 上官铁梁, 张峰, 樊龙锁. 中条山木本植物区系地理成分分析. *植物研究*, 2000, **20** (2): 143~ 155
- [13] 张金屯, 张峰, 上官铁梁. 中条山植被垂直带谱再分析. *山西大学学报*, 1997, **20** (1): 76~ 79
- [14] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. *生态学报*, 2003, **23** (3): 421~ 427.
- [15] 黄世能, 李意德, 骆士寿, 等. 海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间的联结动态. *植物生态学报*, 2000, **24** (5): 569~ 574
- [16] 张峰, 张金屯, 韩广业. 历山自然保护区猪尾沟森林群落树种种间关系及环境解释. *植物生态学报*, 2002, **26** (增刊): 52~ 56
- [17] 赵则海, 祖元刚, 杨逢建, 等. 东灵山辽东栎林木本植物种间联结取样技术的研究. *植物生态学报*, 2003, **27** (3): 396~ 403
- [18] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析. *植物生态学报*, 2000, **24** (3): 351~ 355
- [19] 周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 等. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析. *植物生态学报*, 2000, **24** (3): 332~ 339
- [20] 李育中. 三种类型草地植物种间关联的测定与比较. *生态学杂志*, 1991, **10**(6): 6~ 10