

旅游干扰对九寨沟冷杉林下植物种类组成及多样性的影响

朱 珠^{1,2} 包维楷^{1*} 庞学勇¹ 闫晓丽¹ 李玉武^{1,2}

1 (中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为揭示旅游活动对自然保护区生态环境的影响, 作者选择九寨沟原始森林与草海两个景点, 分别调查了每个景点内旅游干扰地段与未干扰地段岷江冷杉(*Abies fargesii* var. *faxoniana*)林林下植物种类组成的数量特征(重要值、频度、密度、盖度和高度)及物种多样性, 分析了干扰对林下植物种类组成与物种多样性的影响及其差异性。结果表明: (1)旅游干扰显著改变了林下植物物种组成: 耐荫喜湿的乡土植物局部消失, 而喜旱耐扰动的植物种群扩大, 外来和伴人植物种群侵入。(2)在原始森林景点, 较重的旅游干扰明显降低了灌木与苔藓植物的频度和盖度, 显著抑制了灌木与苔藓植物发育(高度、密度降低); 在草海景点, 较轻度的干扰只抑制了苔藓植物盖度, 而灌木与草本植物没有受到显著影响, 表明苔藓对旅游干扰强度更为敏感, 同时也表明群落物种组成可以比频度、高度、盖度和密度更好地表达群落受干扰程度。综合分析表明, 九寨沟旅游干扰与世界自然遗产保护目标即生物多样性保护有明显冲突, 需要进一步强化管理, 限制旅游干扰活动。

关键词: 旅游活动, 生物多样性保护, 林下植物, 物种组成

Tourism effect on species composition and diversity of understory plants in *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest in Jiuzhaigou, Sichuan

Zhu Zhu^{1,2}, Weikai Bao^{1*}, Xueyong Pang¹, Xiaoli Yan¹, Yuwu Li^{1,2}

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: In recent years, tourism has developed rapidly in Jiuzhaigou Nature Reserve, which has been designated a World Heritage Natural Site. To measure the effect of tourism on vegetation in Jiuzhaigou, we selected two scenic spots, namely the Virgin Forests and the Grass Lake, as study sites and compared the species composition and diversity of understory plants in *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest. The results showed that (1) the species composition and their frequency were significantly impacted by tourism. Some native shade-tolerant or hygrophilous plants had disappeared, while some xerophilous, disturbance-resistant species, as well as some exotic and synanthropic species, had expanded their populations. (2) In the Virgin Forests, the coverage of understory plants was reduced and the shrubs and bryophytes were markedly depressed (both in height and density). In the Grass Lake, which was only slightly disturbed, there were no obvious effects on herbaceous and shrub communities except for bryophyte. It is concluded that bryophytes are more sensitive to the degree of tourism disturbance, and the species composition can be a better indicator for disturbance degree than other indices such as height, coverage and density. The results indicate that tourism in Jiuzhaigou had an obvious negative effect on the indigenous biodiversity, and conflicted with biodiversity conservation. Therefore, it is necessary to restrict tourism activities to an appropriate extent.

Key words: tourism activities, biodiversity conservation, understory plant, species composition

收稿日期: 2006-02-22; 接受日期: 2006-04-21

基金项目: 中国科学院西部之光人才培养计划和四川省重大科技攻关项目“人类活动对九寨沟-黄龙核心区景区生态环境的影响和水资源生态保护与可持续发展研究”

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: baowk@cib.ac.cn

近年来基于自然资源的旅游(nature-based tourism)快速发展,已成为世界范围内最主要的旅游形式,并有效促进了地区经济发展与人们生活质量的提高(石强等, 2004; Buultjens *et al.*, 2005; 刘巧玲和管东生, 2005)。生态系统为人们提供了多种服务功能,其中间接的生态服务功能价值远远高于直接的经济产品价值,而旅游无疑是自然生态系统巨大而多样的生态功能价值转变为直接经济效益的一条最有效的途径。基于自然资源的旅游大多发生在生物多样性丰富、生态环境良好的自然保护区和森林公园中,而旅游发展必然会影响这些重要栖息地及其生物多样性保护。因此揭示旅游活动对生态系统与生物多样性的影响成为对生态系统有效保护的必要前提(van der Duim & Caalders, 2002),有关旅游活动对自然保护区生态环境的影响已经成为实现区域经济持续发展与生态保护等目标的热点问题之一。

研究表明,旅游活动给旅游地环境带来了显著的负面影响(王资荣和郝小波, 1988; 刘鸿雁和张金海, 1997; Gossling, 1999; Burger, 2000; 包维楷等, 2000; van der Duim & Caalders, 2002; 石强等, 2002; Kelly *et al.*, 2003; Mullner *et al.*, 2004; Buultjens *et al.*, 2005; 刘巧玲和管东生, 2005),其中以植物与土壤所受的影响最为直接(Wang & Paul, 1997; Sun & Walsh, 1998; Lankford, 2001; 石强等, 2004),所产生的效应也最为显著(Cole & Trull, 1992; 刘鸿雁和张金海, 1997; 刘濡渊, 1997; van Wyk *et al.*, 2000; Jakes, 2002; 石强等, 2004),其所受影响程度与旅游管理强度和旅游干扰强度呈显著的相关性,表现出明显的剂量效应(dose-effect relationship)。如果旅游干扰程度轻且管理措施得当,也不会带来显著的负面影响(van der Duim & Caalders, 2002)。

九寨沟是我国第一批国家重点风景名胜区和国家级自然保护区,被列入世界自然遗产名录,是国际“人与生物圈”保护网络成员。自1984年正式对外开放以来,九寨沟旅游活动迅速发展,特别是20世纪90年代修建公路后,游客人数呈明显的指数增长趋势,2004年的游客人数已达191万,且这种趋势还在继续。大量增多的旅游活动以及旅游基础设施(包括栈道、公路和车辆等)建设对九寨沟自然保护区造成的影响是否与自然遗产和保护区建设目标冲突一直缺乏必要的研究。揭示这种影响及其程度

对于九寨沟自然遗产的保护与旅游持续管理具有重要的意义。

最近Li等(2005)采用痕迹(trail)方法开展了对于九寨沟旅游践踏活动的影响评价研究,发现游径显著增大,而栈道能有效消减对周边植被的影响;李玉武等(2006)调查发现九寨沟景区的旅游干扰已使栈道附近土壤的结构与功能明显恶化。为此,本文着重调查研究九寨沟步行栈道修建及游人行为是否对岷江冷杉(*Abies fargesii* var. *faxoniana*)林下植物物种多样性及群落结构产生了影响以及影响的程度和后果,以期九寨沟旅游资源管理提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究地自然概况

研究区位于四川省西北部阿坝藏族羌族自治州九寨沟县境内的九寨沟自然保护区(103°46′–104°4′E, 32°51′–33°19′N)的原始森林景点及其附近的草海景点,海拔分别为3,060 m和2,910 m(图1)。两个景点植被均为原始岷江冷杉林,平均胸径37 cm。林下灌木种类丰富但稀疏,有杜鹃(*Rhododendron* spp.)、蔷薇(*Rosa* spp.)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、小檗(*Berberis* spp.)、细枝绣线菊(*Spiraea myrtilloides*)等。草本植物总盖度30–45%,数量较多的有东方草莓(*Fragaria orientalis*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、高原露珠草(*Circaea alpina* subsp. *imaicola*)、多种薹草(*Carex* spp.)和蕨类等。地表苔藓植物发达,优势种有大羽藓(*Thuidium cymbifolium*)、塔藓(*Hylocomium splendens*)和锦丝藓(*Actinothuidium hookeri*)等。林下土壤为棕壤,腐殖质含量很高。气候上表现出温和、降水适中的冷凉干燥的季风气候特征。年均气温7.1℃,最高温度30.3℃,最低温度–17℃,年降雨量696.6–957.5 mm,积雪期从10月至次年4月(李西等, 2003)。

原始森林景点是在20世纪90年代被开发为旅游观光景点,并和其他景点一起在90年代末修建了木质栈道,规范了初期观光路径,其所受旅游活动的干扰程度随九寨沟旅游人数的增长而不断增长(李艳娜和张国智, 2000; 鄢和琳, 2002; 蓝振江等, 2004);而草海景点是在2000年前后开发,相对较晚。两景点的旅游干扰包括游客践踏、栈道修建与维护以及因游人集中产生的其他间接环境干扰等。两景点虽然自然条件相似,但干扰活动差异很大。

在草海景点因在公路边即可欣赏草海风光,故少有人利用草海旁边的林下栈道,因此干扰较轻;而原始森林景点是九寨沟内唯一可以近距离观赏植被景观的景点,一直被景区宣传推介,80–90%的游客会游览这里,因此干扰活动较强。两个景点形成了明显的干扰强度差异。

1.2 样地设置与调查

在两个景点分别选择干扰与基本无人为干扰的线路同步设置样方展开调查,即在每个景点的核心地段,沿步行栈道同侧边缘按机械布点法设置样方,样方垂直且紧贴栈道边缘,各样方间距5 m,以反映旅游活动持续干扰后的状况;同时,在距栈道60 m远的基本未受干扰的区域与干扰样方一一对应布设样方作为对照(图2)。原始森林景点干扰及对照地段各设28个样方,草海景点干扰及对照地段各调查20个样方,样方大小均为1 m×2 m。

调查时,首先记录样方盖度,分灌木、草本和苔藓盖度;然后详细记录样方中出现的全部物种以及各植物种的高度、盖度,灌木及草本还分别记录各物种的个体数(无性系植株每一克隆株为1个个体);同时详细记录经纬度、海拔、林分特征、主要干扰类型和微环境特征等。

1.3 数据处理与分析

分别统计原始森林景点干扰及对照地段林下植物物种组成及物种数,计算每个物种出现的频度(%)、盖度(%)、密度(株/m²),然后分别计算各类群植物的重要值(乔木幼苗计入灌木)。草本及灌木重要值=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3,苔藓重要值=(相对高度+相对频度+相对盖度)/3。采用广泛使用的多样性测度指数物种丰富度(每个样方的物种数)、Shannon-Wiener指数比较和评价多样性差异。对干扰及对照样方的丰富度指数和结构参数(密度、盖度、高度)进行方差分析(ANOVA)和差异显著性检验(LSD)(0.05水平)。

用同样方法对草海景点调查结果进行分析。

各指标的计算公式如下: 频度 $f=n/N_a$, $P_i=N_i/N$; Shannon-Wiener 指数 $H' = -\sum P_i \ln P_i$ (Magurran, 1988)。其中 n 为物种出现的样方数, N_a 为总样方数; N_i 为样地中某一类群第 i 个物种的重要值, N 为该种植物所有物种重要值之和, P_i 为该第 i 个物种的相对重要值。

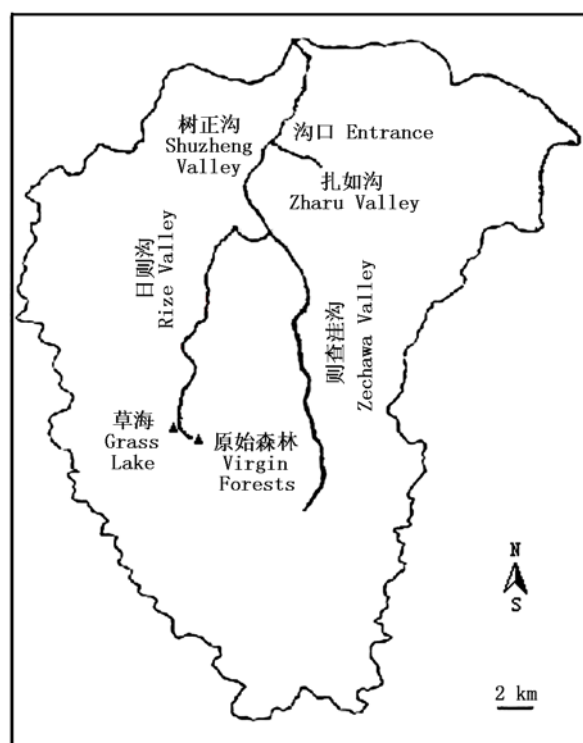


图1 九寨沟国家级自然保护区简图

Fig. 1 Sketch map of Jiuzhaigou National Nature Reserve

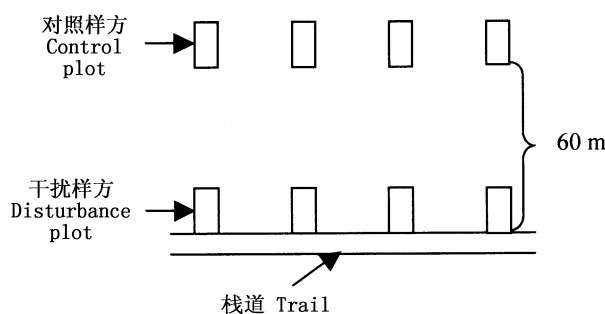


图2 样方设置示意图

Fig. 2 Sketch map of plot setting

2 结果

2.1 物种组成及差异

从物种组成来看(表1),在原始森林景点共记录到灌木29种,草本植物125种,苔藓植物22种。其中干扰样方中出现物种115种,包括灌木17种,草本82种,苔藓16种;对照样方中共出现物种132种,包括灌木27种,草本87种,苔藓18种。草海景点共出

表1 两个景点主要物种组成及其重要值(%)
Table 1 Composition and importance value(%) of the main species in the two spots in Jiuzhaigou National Nature Reserve

原始森林 Virgin Forests			草海 Grass Lake		
种类 Species	干扰 Disturbance	对照 Control	种类 Species	干扰 Disturbance	对照 Control
灌木 Shrub					
陇塞忍冬 <i>Lonicera tangutica</i>	16.72	18.20	华西箭竹 <i>Fargesia nitida</i>	11.78	24.86
华西箭竹 <i>Fargesia nitida</i>	12.22	17.41	秀丽莓 <i>Rubus amabilis</i>	11.98	21.41
刺五加 <i>Acanthopanax senticosus</i>	2.17	10.39	陇塞忍冬 <i>Lonicera tangutica</i>	7.65	10.36
秀丽莓 <i>Rubus amabilis</i>	14.83	9.22	岷江冷杉 <i>Abies fargesii</i> var. <i>faxoniana</i>	10.38	6.65
绣球藤 <i>Clematis montana</i>	4.45	7.12	美容杜鹃 <i>Rhododendron calophytum</i>	4.42	6.16
冰川茶藨子 <i>Ribes glaciale</i>	2.69	6.87	峨眉蔷薇 <i>Rosa omeiensis</i>	6.72	5.39
红花蔷薇 <i>Rosa moyesii</i>	—	4.56	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	0.97	5.28
陕甘花楸 <i>Sorbus koehneana</i>	5.01	4.06	黄毛杜鹃 <i>Rhododendron rufum</i>	0.53	4.07
岷江冷杉 <i>Abies fargesii</i> var. <i>faxoniana</i>	13.32	3.86	云杉 <i>Picea asperata</i>	1.84	3.47
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	6.78	0.88	陕甘花楸 <i>Sorbus koehneana</i>	2.61	1.54
富蕴茶藨子 <i>Ribes fuyunense</i>	4.01	0.34	刺五加 <i>Acanthopanax senticosus</i>	1.54	0.49
其他16种 Other 16 species		17.09	其他8种 Other 8 species		10.32
其他7种 Other 7 species	17.77		其他10种 Other 10 species	39.58	
草本 Herb					
东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	5.53	11.43	疏穗薹草 <i>Carex remotiuscula</i>	13.48	13.99
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	0.92	9.56	干生薹草 <i>C. aridula</i>	10.10	9.86
宝兴冷蕨 <i>Cystopteris moupinensis</i>	—	5.42	羽节蕨 <i>Gymnocarpium jessoense</i>	13.95	9.62
血满草 <i>Sambucus adnata</i>	0.91	5.06	华北翦股颖 <i>Agrostis clavata</i>	3.73	7.55
拉拉藤 <i>Galium aparine</i> var. <i>echinospermum</i>	1.16	4.80	东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	8.38	6.12
西藏鳞毛蕨 <i>Dryopteris thibetica</i>	—	4.49	宽翅香青 <i>Anaphalis latialata</i>	2.43	4.74
羽节蕨 <i>Gymnocarpium jessoense</i>	0.63	3.17	垂穗鹅观草 <i>Roegneria nutans</i>	3.96	4.01
圆叶小堇菜 <i>Viola rockiana</i>	0.74	2.91	血满草 <i>Sambucus adnata</i>	5.08	3.99
高原露珠草 <i>Circaea alpina</i> subsp. <i>imaicola</i>	1.15	2.75	猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>	1.75	3.40
疏穗薹草 <i>Carex remotiuscula</i>	0.18	2.37	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	1.48	2.88
金挖耳 <i>Carpesium divaricatum</i>	1.18	2.32	铁角蕨 <i>Asplenium</i> sp.	0.75	2.68
疏花翦股颖 <i>Agrostis perlaxa</i>	3.90	2.14	椭圆叶花锚 <i>Halenia elliptica</i>	1.55	2.39
贝加尔唐松草 <i>Thalictrum baicaleuse</i>	0.51	2.13	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	0.99	1.72
干生薹草 <i>Carex aridula</i>	1.93	1.93	小花草玉梅 <i>Anemone rivularis</i> var. <i>floreminore</i>	0.84	1.40
灯笼草 <i>Clinopodium polycephalum</i>	1.36	1.81	高原毛茛 <i>Ranunculus tanguticus</i>	0.32	1.30
大叶茜草 <i>Rubia leiocaulis</i>	—	1.81	长柄唐松草 <i>Thalictrum przewalskii</i>	0.33	1.06
蛛毛蟹甲草 <i>Parasenecio roborowskii</i>	0.12	1.64	钟花龙胆 <i>Gentiana nannobella</i>	0.19	1.05
四川婆婆纳 <i>Veronica szechuanica</i>	1.35	1.54	四川婆婆纳 <i>Veronica szechuanica</i>	0.92	0.98
鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibirium</i>	2.15	1.43	高原露珠草 <i>Circaea alpina</i> subsp. <i>imaicola</i>	0.81	0.96
平车前 <i>Plantago depressa</i>	8.90	1.40	银莲花 <i>Anemone</i> sp.	0.72	0.92
贵州天名精 <i>Carpesium faberi</i>	0.13	1.35	灯笼草 <i>Clinopodium polycephalum</i>	1.22	0.91
掌叶铁线蕨 <i>Adiantum pedatum</i>	—	1.27	耳叶风毛菊 <i>Saussurea neofranchetii</i>	1.15	0.90
獐牙菜 <i>Swertia</i> sp.	0.36	1.25	三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	0.54	0.84
多花黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i>	17.05	1.23	荨麻 <i>Urtica</i> sp.	0.88	0.78
扭柄花 <i>Streptopus obtusatus</i>	—	1.14	中华茜草 <i>Rubia chinensis</i>	0.64	0.76
鼠尾草 <i>Salvia</i> sp.	0.11	1.08	云雾薹草 <i>Carex nubigena</i>	3.32	0.67
野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	1.03	0.86	鞘柄菝葜 <i>Smilax stans</i>	0.39	0.65
华蟹甲草 <i>Sinacalia tangutica</i>	1.46	0.55	金挖耳 <i>Carpesium divaricatum</i>	0.62	0.50
钟花龙胆 <i>Gentiana nannobella</i>	1.99	0.38	掌叶铁线蕨 <i>Adiantum pedatum</i>	—	0.47
草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	2.30	0.13	松潘黄堇 <i>Corydalis laucheana</i>	—	0.46
早熟禾 <i>Poa</i> sp.	3.40	—	柳兰 <i>Chamaenerion angustifolium</i>	0.78	0.42
云雾薹草 <i>Carex nubigena</i>	2.85	—	圆叶小堇菜 <i>Viola rockiana</i>	0.81	0.43
卵穗薹草 <i>C. ovatispiculata</i>	2.54	—	华蟹甲草 <i>Sinacalia tangutica</i>	0.92	0.40
薊 <i>Cirsium japonicum</i>	2.52	—	鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibirium</i>	0.56	0.40

表1 (续) Table 1 (continued)

原始森林 The Virgin Forests			草海 The Grass Lake		
种类 Species	干扰 Disturbance	对照 Control	种类 Species	干扰 Disturbance	对照 Control
紫苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	8.90	—	粟草 <i>Milium effusum</i>	0.56	0.26
马先蒿 <i>Pedicularis</i> sp.	1.98	—	蛛毛蟹甲草 <i>Parasenecio roborowskii</i>	0.87	0.22
蒲公英 <i>Taraxacum</i> sp.	1.81	—	早熟禾 <i>Poa</i> sp.	1.28	0.22
巨穗翦股颖 <i>Agrostis gigantea</i>	1.66	—	旱雀麦 <i>Bromus tectorum</i>	0.92	0.21
长穗三毛草 <i>Trisetum clarkei</i>	1.65	—	平车前 <i>Plantago depressa</i>	0.96	—
小米草 <i>Euphrasia pectinata</i>	1.14	—	茅香 <i>Hierochloë odorata</i>	1.16	—
其他57种 Other 57 species		20.65	其他27种 Other 27 species		9.88
其他47种 Other 47 species	14.50		其他26种 Other 26 species	10.66	
苔藓 Bryophyte					
大羽藓 <i>Thuidium cymbifolium</i>	24.02	19.79	大羽藓 <i>Thuidium cymbifolium</i>	17.71	16.07
塔藓 <i>Hylocomium splendens</i>	8.98	18.70	锦丝藓 <i>Actinothuidium hookeri</i>	15.70	14.08
锦丝藓 <i>Actinothuidium hookeri</i>	13.21	11.31	塔藓 <i>Hylocomium splendens</i>	13.30	11.66
圆枝青藓 <i>Brachythecium garovaglioides</i>	—	6.91	曲背藓 <i>Oncophorus wahlenbergii</i>	7.63	9.81
疣拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus triquetus</i>	4.24	6.61	疣拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus triquetus</i>	5.76	5.88
皱叶匍灯藓 <i>Plagiomnium arbusculum</i>	5.18	5.25	皱叶匍灯藓 <i>Plagiomnium arbusculum</i>	6.73	5.29
拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	6.88	5.10	偏叶白齿藓 <i>Leucodon secundus</i>	4.04	4.88
平肋提灯藓 <i>Mnium laevinerve</i>	4.79	4.77	拟垂枝藓 <i>Rhytidiadelphus squarrosus</i>	3.91	4.22
中华白齿藓 <i>Leucodon sinensis</i>	6.20	2.27	钙生灰藓 <i>Hypnum calcicolum</i>	3.03	3.41
金发藓 <i>Polytrichum</i> sp.	11.09	1.11	万年藓 <i>Climacium dendroides</i>	4.11	0.92
其他8种 Other 8 species		18.18	其他14种 Other 14 species		23.78
其他7种 Other 7 species	15.41		其他10种 Other 10 species	18.08	

“—” 为未出现种 Absent species

现灌木23种, 草本植物82种, 苔藓植物25种。其中干扰地段出现物种105种, 包括灌木21种, 草本64种, 苔藓植物20种; 对照样方中共出现物种108种, 包括灌木19种, 草本65种, 苔藓24种。

两景点干扰及对照样方主要物种种类及其重要值如表 1 所示。从表1可知人类干扰活动明显影响林下植物物种组成。除华西箭竹(*Fargesia nitida*)、陇塞忍冬(*Lonicera tangutica*)、秀丽莓(*Rubus amabilis*)、东方草莓、大羽藓、锦丝藓和塔藓等在干扰与对照地段普遍存在, 并在样方中占较为主要的地位外, 其他各类植物种类组成均有较大差异。

进一步分析表 1 未列出的干扰与对照样方中重要值较低的物种发现, 瑞香(*Daphne* sp.)等灌木, 委陵菜(*Potentilla chinensis*)、小薊(*Cephalanoplos segetum*)、小舌紫菀(*Aster albescens*)、额河千里光(*Senecio argunensis*)、牧地香豌豆(*Lathyrus pratensis*)、密花香薷(*Elsholtzia densa*)、芨芨草(*Achnatherum* sp.)、川续断(*Dipsacus asperoides*)、福王草(*Prenanthes tatarinowii*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、夏枯草(*Prunella vulgaris*)和三脉梅花草(*Parnassia trinervis*)等草本, 未知曲尾藓一种(*Dicranum* sp.)等苔藓植物仅发现于原始森林干扰

样方; 金露梅、巴东小檗(*Berberis henryana*)、南方六道木(*Abelia dielsii*)和毛柱山梅花(*Philadelphus subcanus*)等灌木, 独叶草(*Kingdonia uniflora*)、星叶草(*Circaeaster agrestis*)、花葶乌头(*Aconitum scaposum*)、无距耧斗菜(*Aquilegia ecalcarata*)、长盖铁线蕨(*Adiantum fimbriatum*)、长瓣角盘兰(*Herminium ophioglossoides*)、珊瑚兰(*Corallorhiza trifida*)、对叶兰(*Listera puberula*)、火烧兰(*Epipactis helleborine*)、七筋姑(*Clintonia udensis*)、楼梯草(*Elatostema involucratum*)、狭穗八宝(*Hylotelephium angustum*)、卵叶韭(*Allium ovalifolium*)、蔓茎报春(*Primula alsophila*)和微孔草(*Microula sikkimensis*)等草本, 树形疣灯藓(*Trachycystis ussuriensis*)等苔藓植物仅发现于原始森林对照样方。

仅在草海干扰样方中发现的重要值较低的物种有五尖槭(*Acer maximowiczii*)、微毛樱桃(*Cerasus clarofolia*)等灌木, 异叶虎耳草(*Saxifraga diversifolia*)、枯灯心草(*Juncus sphacelatus*)、小斑叶兰(*Goodyera repens*)和蓝翠雀花(*Delphinium caeruleum*)等草本植物和 1 种未知青藓(*Brachythecium* sp.); 仅在对照样方中发现的物种有西南蔷薇(*Rosa murielae*)等灌木, 簇生卷耳

(*Cerastium fontanum*)、小叶对叶兰(*Listera smithii*)、轮叶八宝(*Hylotelephium verticillatum*)、假冷蕨(*Pseudocystopteris spinulosa*)和紫花碎米荠(*Cardamine tangutorum*)等草本植物,毛尖曲柄藓(*Campylopus pilifer*)、无齿红叶藓(*Bryoerythrophyllum gymnostomum*)和黄色真藓(*Bryum pallescens*)等苔藓植物。

总的来说,两景点的干扰与对照样方间均是以草本植物种类组成差异最大,其次为灌木,苔藓植物的差异最小。与原始林景点相比,草海景点的干扰与对照样方间各类群物种组成差异较小。

2.2 频度、盖度、高度和密度及差异

原始森林及草海景点栈道附近灌、草、苔植物的频度、盖度、高度和密度特征如表2所示。在原始森林景点,干扰地段的灌木和苔藓植物频度低于对照,而草本植物在两个地段的频度均为100%;灌木的盖度、高度和密度以及苔藓植物的盖度和高度明显低于对照($P<0.05$);而草本植物的盖度、高度和密度与对照相比无显著差异($P>0.05$)。

在草海景点,各类植物在干扰及对照地段的频度均为100%;除干扰地段苔藓盖度显著低于对照($P<0.05$)外,各类植物的盖度、高度和密度与对照相比均不存在显著差异($P>0.05$)。

2.3 物种多样性及其差异

在原始森林景点,干扰地段灌木及苔藓植物丰富度均明显减少($P<0.05$),而草本植物丰富度与对照相比无显著差异($P<0.05$)(表2)。在草海景点,各类植物丰富度干扰与对照之间均无显著差异($P<0.05$)(表2)。

分别计算两个景点干扰及对照地段林下植物的Shannon-Wiener指数发现(表2),两个景点各类植物Shannon-Wiener指数均表现为干扰小于未受干扰地段。

3 讨论

九寨沟岷江冷杉林自然条件相似的相邻两个景点(原始森林景点与草海景点)中干扰与对照地段林下植物物种组成与多样性结果表明:不同强度的旅游干扰其影响结果显著不同,程度也有差异。其中干扰强度轻的草海景点物种组成与多样性受到影响的程度更小些。但不管是在干扰重的原始林景点,还是在干扰轻的草海景点,干扰均显著改变了物种组成,导致一些物种局部消失,这些物种多是喜湿耐荫、对环境依赖性强的物种,如星叶草、独叶草、珊瑚兰、长盖铁线蕨、长瓣角盘兰、七筋姑、楼梯草、狭穗八宝、微孔草、小叶对叶兰等;而另

表2 旅游干扰对九寨沟原始森林及草海景点林下植物多样性及种类组成数量特征(平均值±标准误)的影响
Table 2 Effects of tourism on species diversity and quantitative characteristics (mean±SE) of species composition in the understory of *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest at the Virgin Forests and the Grass Lake in Jiuzhaigou National Nature Reserve, China

	灌木 Shrub		草本 Herb		苔藓 Bryophyte	
	干扰 Disturbance	对照 Control	干扰 Disturbance	对照 Control	干扰 Disturbance	对照 Control
原始森林景点 Virgin Forests						
频度 Frequency(%)	39.29	89.29	100	100	89.29	100
盖度 Coverage(%)	4.20±1.92 ^a	42.32±6.50 ^b	39.14±5.26 ^a	53.82±6.24 ^a	10.88±2.31 ^a	80.21±5.52 ^b
高度 Height(cm)	4.92±2.26 ^a	37.75±5.44 ^b	17.61±2.93 ^a	17.49±3.12 ^a	1.17±0.29 ^a	5.21±0.58 ^b
密度 Density(shoots/m ²)	2.78±1.51 ^a	18.90±4.21 ^b	155.3±23.75 ^a	181.5±17.76 ^a	—	—
丰富度 Richness(species no./plot)	1.14±0.39 ^a	3.64±0.39 ^b	12.57±1.07 ^a	11.21±0.84 ^a	3.14±0.48 ^a	5.23±0.36 ^b
Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	2.5308	2.6227	3.4994	3.6777	2.4351	2.5053
草海景点 Grass Lake						
频度 Frequency(%)	100	100	100	100	100	100
盖度 Coverage(%)	20.83±3.69 ^a	27.39±4.92 ^a	49.75±6.44 ^a	45.83±7.37 ^a	40.50±6.22 ^a	72.20±7.16 ^b
高度 Height(cm)	56.07±8.38 ^a	3.65±6.93 ^a	24.47±2.38 ^a	23.50±2.30 ^a	4.84±0.47 ^a	5.29±0.47 ^a
密度 Density(shoots/m ²)	17.13±2.85 ^a	25.88±4.79 ^a	164.73±26.32 ^a	163.93±28.27 ^a	—	—
丰富度 Richness(species no./plot)	3.85±0.46 ^a	4.40±0.43 ^a	10.05±0.86 ^a	9.25±0.92 ^a	5.60±0.54 ^a	6.15±0.44 ^a
Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	2.3345	2.3445	3.2096	3.3059	2.6139	2.7463

同一类群字母不同表示统计差异显著($P<0.05$) Different letters indicate significantly different at $P=0.05$ level within the same group.

外一些耐干旱、抗干扰能力强、繁殖能力较强的种群扩大,如平车前(*Plantago depressa*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、蒲公英(*Taraxacum* sp.)、早熟禾(*Poa* sp.)等。因为旅游活动对植物造成的影响是一个长期的过程,干扰活动作为一个驱动体(包维楷等, 1995; 魏斌等, 1996), 可以影响植物的生长策略。多数耐荫植物依靠无性繁殖, 无性繁殖又依赖于土壤的营养状况, 而干扰极大地改变了土壤的理化性质(刘巧玲和管东生, 2005; 李玉武等, 2006), 因此, 主要营无性繁殖的植物受干扰的影响程度更大。除了土壤性质的变化, 植物生长策略的改变可能跟干扰引起的光照、湿度等的变化(刘鸿雁和张金海, 1997; Kutiel *et al.*, 1999)也有关系。

比较不同类群植物物种组成受干扰影响变化的程度发现, 草本植物种类组成变化显著高于灌木和苔藓植物组成的变化。虽然这些变化中并不能完全排除系统自然发生的物种替代变化, 但无疑表明, 九寨沟两个景点的干扰强度均超过了相对稳定的岷江冷杉林生态系统自身物种演替变化的抵抗强度。不管干扰强度是轻还是重, 都显著引起了生物多样性的降低。

对物种组成的进一步分析发现, 九寨沟旅游干扰的另一个严重后果是外来种与伴生植物种的入侵。在干扰地段多花黑麦草(*Lolium multiflorum*)、草木樨(*Melilotus officinalis*)这些外来物种和车前草等伴生植物的优势地位增强, 甚至在原始森林景点的对照林下亦已出现少量外来种。可见, 九寨沟乡土植物已经开始衰退, 但由于干扰强度的差异, 林下各类群植物数量特征的变化并不一致。在原始森林景点, 较重的旅游干扰明显降低了灌木与苔藓植物的频度和盖度, 显著抑制了灌木与苔藓植物发育(高度/密度降低); 而在草海景点, 较轻的干扰只抑制苔藓植物盖度的发展, 而灌木与草本植物并没有受到显著影响。这也说明苔藓对旅游干扰强度更为敏感, 而物种组成比其他特征参数(频度/盖度/高度/密度)更能反映受干扰的影响程度。

上述结果暗示, 九寨沟自然保护区虽然采取了比较规范的管理, 但现有的旅游干扰与世界自然遗产保护目标——生物多样性保护仍然有明显的冲突。因此, 需要进一步加强管理, 调控和限制旅游干扰活动, 包括: (1)严格执行限量旅行管理制度,

加大文明旅游的宣传力度; (2)开发拓展新的旅游景点, 合理配置有层次多类型旅游项目等, 达到将游人分流; (3)在各热点景点干扰严重地段设立木质栏杆以便进一步规范游客行为, 同时采用乡土物种对严重干扰地段植被进行恢复。

参考文献

- Bao WK (包维楷), Chen QH (陈庆恒), Liu ZG (刘照光) (1995) Degradation of mountain ecosystem in the upper reaches of Minjiang River and countermeasures for their rehabilitation and reconstruction. *Resources and Environment in the Yangtze Valley* (长江流域资源与环境), **4**, 277–282. (in Chinese with English abstract)
- Bao WK(包维楷), Chen QH(陈庆恒), Liu ZG(刘照光) (2000) Changes of structure and species composition of degraded plant community along disturbance gradients of different intensities. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **22**, 307–316. (in Chinese with English abstract)
- Burger J (2000) Landscapes, tourism and conservation. *The Science of the Total Environment*, **249**, 39–49.
- Buultjens J, Ratnayake I, Gnanapala A, Aslam M (2005) Tourism and its implications for management in Ruhuna National Park (Yala), Sri Lanka. *Tourism Management*, **26**, 733–742.
- Cole DN, Trull SJ (1992) Quantifying vegetation response to recreational disturbance in the north Cascades. *Northwest Science*, **66**, 229–236.
- Gossling S (1999) Ecotourism: a means to safeguard biodiversity and ecosystem functions? *Ecological Economics*, **29**, 303–320.
- Jakes PJ (2002) Heritage management in the U.S. forest service: a Mount Hood National Forest case study. *Society & Resources*, **15**, 359–369.
- Kelly CL, Pickering CM, Buckley RC (2003) Impacts of tourism on threatened plant taxa and communities in Australia. *Ecological Management & Restoration*, **4**, 37–44.
- Kutiel P, Zhevelev H, Harrison R (1999) The effect of recreational impacts on soil and vegetation of stabilised Coastal Dunes in the Sharon Park, Israel. *Ocean & Coastal Management*, **42**, 1041–1060.
- Lankford VS (2001) A comment concerning developing and testing a tourism impact scale. *Journal of Travel Research*, **39**, 315–316.
- Lan ZJ(蓝振江), Cai HX(蔡红霞), Zeng T(曾涛), Wang SG(王硕果), Guo HY(郭海燕), Zeng ZY(曾宗永) (2004) Biomass distribution of the major plant communities in Jiuzhaigou Valley, Sichuan. *The Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), **10**, 299–306. (in Chinese with English abstract)
- Li WJ, Ge XD, Liu CY (2005) Hiking and tourism impact assessment in protected area: Jiuzhaigou Biosphere Reserve, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, **108**, 279–293.

- Li X(李西), Luo CD(罗承德), Liao XB(廖心北) (2003) Humble opinion about vegetation restoration and reconstruction by the highway slope in Jiuzhaigou Valley. *Sichuan Caoyuan*(四川草原), **17**(4), 17–18. (in Chinese)
- Li YN(李艳娜), Zhang GZ(张国智) (2000) Quantitative analysis of tourism environment capacity. *Journal of Chongqing Institute of Commerce*(重庆商学院学报), **10**(6), 32–34. (in Chinese)
- Li YW(李玉武), Bao WK(包维楷), Pang XY(庞学勇), Zhu Z(朱珠), Wang J(王晶) (2006) The impact of human disturbance on soil ecological function of Jiuzhaigou Valley. I. On soil physical properties. *China Population Resources and Environment*(中国人口资源与环境), **16**, 319–322. (in Chinese with English abstract)
- Liu HY(刘鸿雁), Zhang JH(张金海) (1997) Effects of recreational disturbance on the *Cotinus coggygria* var. *cinerea* forest in Xiangshan Mountain, Beijing. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), **21**, 191–196. (in Chinese with English abstract)
- Liu QL(刘巧玲), Guan DS(管东生) (2005) Non-polluted ecological impact of tourist activities in natural scenic area. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **24**, 443–447. (in Chinese with English abstract)
- Liu RY(刘濡渊) (1997) Impacts of outdoor recreation on natural vegetation. *Chinese Forestry Science Quarterly* (中华林业季刊), **29**, 35–58. (in Chinese with English abstract)
- Magurran A (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton.
- Mullner A, Linsenmair KE, Wikelski M (2004) Exposure to ecotourism reduces survival and affects stress response in hoatzin chicks (*Opisthocomus hoazin*). *Biological Conservation*, **118**, 549–558.
- Shi Q(石强), Lei XD(雷相东), Xie HZ(谢红政) (2002) Tourism impacts on soil in Zhangjiajie National Forest Park. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology* (四川林业科技), **23**(3), 28–33. (in Chinese with English abstract)
- Shi Q(石强), Zhong LS(钟林生), Wang XF(汪晓菲) (2004) Effects of recreation on plants in Zhangjiajie National Forest Park. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 107–113. (in Chinese with English abstract)
- Sun D, Walsh D (1998) Review of studies on environmental impacts of recreation and tourism in Australia. *Journal of Environmental Management*, **53**, 323–338.
- van der Duim R, Caalders J (2002) Biodiversity and tourism: impacts and interventions. *Annals of Tourism Research*, **29**, 743–761.
- van Wyk E, Cilliers SS, Bredenkamp GJ (2000) Vegetation analysis of wetlands in the Klerksdorp Municipal area, North-west Province, South Africa. *South African Journal of Botany*, **66**, 52–62.
- Wang CY, Paul MS (1997) Environmental impacts of tourism on U.S. National Parks. *Journal of Travel Research*, **35**, 35–36.
- Wang ZR(王资荣), Hao XB(郝小波) (1988) The study on the variation of environmental quality and its countermeasures in Zhangjiajie National Forest Park. *China Environmental Science* (中国环境科学), **8**(4), 45–48. (in Chinese with English abstract)
- Wei B(魏斌), Zhang X(张霞), Wu RF(吴热风) (1996) Theoretical analysis of disturbance in ecology and its application. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **16**(6), 1–8. (in Chinese with English abstract)
- Yan HL(鄢和琳) (2002) Principles and application of environment capacity determination in ecotourism region—case studies on Jiuzhaigou and Huanglong. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **21**(3), 73–75. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 朱华 责任编辑: 周玉荣)