

黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响

巩 劼, 陆 林*, 晋秀龙, 南 伟, 刘 飞

(安徽师范大学 生命科学学院 重要生物资源保护与利用研究安徽省重点实验室, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 为了解黄山风景区旅游开发的生态影响, 采用样方法对黄山风景区主要游览线路两侧植物群落及其土壤进行了调查, 通过比较距游径 0m、5m、10m、15m 等干扰强度不同地段植物群落及其土壤性质变化特征, 分析了旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响。结果表明: 旅游干扰对植物群落乔木层影响不大, 但对乔木层的更新有一定影响; 对灌木层盖度影响较为明显, 随距游径距离的增加, 灌木层盖度趋于上升; 对草本层影响最为显著, 游径边缘 5m 以内干扰强度最大地段草本层高度明显降低, 但草本层盖度未显示出随干扰强度变化的规律性, 旅游干扰增加了草本层物种多样性, 对草本层物种组成也有明显影响。旅游干扰对植物的影响范围可达游径外 10m。旅游干扰对枯枝落叶层的影响最为显著, 随干扰强度增加, 枯枝落叶层厚度明显减少, 其影响范围至少可达游径外 15m。旅游干扰对植物群落的土壤性质也有较为明显的影响, 随干扰强度的增加, 土壤有机质含量、土壤全氮、全磷含量趋于下降, 土壤 pH 值、全钾含量则趋于上升。土壤受旅游干扰影响范围可达游径外 15m 左右, 但以 5m 内最为显著。

关键词: 黄山风景区; 旅游干扰; 植物群落; 土壤

文章编号: 1000-0933(2009)05-2239-13 中图分类号: Q145, Q149, Q948 文献标识码: A

Impacts of tourist disturbance on plant communities and soil properties in Huangshan Mountain scenic area

GONG Jie, LU Lin, JIN Xiu-long, NAN Wei, LIU Fei

The Provincial Key Laboratory of Conservation and Exploitation of Biological Resources in Anhui, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2239 ~ 2251.

Abstract: In order to understand the ecological effect of tourism development, sample investigation was conducted on the basis of the data obtained from the plant communities and soil properties along the main routes in Huangshan Mountain scenic areas. The impacts of tourist disturbance on plant communities and soil properties were analyzed by comparing the condition of vegetation and soil among the different distances of 0, 5, 10, 15m away from the tourist trail where the intensities of tourist disturbance are distinct. The results are as follows: The impact of tourist disturbance on trees wasn't obvious, but significant on the seedlings. There was a marked effect on the cover of shrub layer with a decrease tendency towards the main tourist trails. On the herb layer the impact was relatively evident. The height of herb layer near the trail where the intensity of tourist disturbance was the greatest decreased obviously. However, the cover of herb layer has not shown a regular change with increasing intensity of tourist disturbance. Tourist disturbance raised, on the one hand, species diversity in herb layer, and affected the composition of species on the other hand. The impacted spatial area could reach the surrounding area of 10m in diameter near the trail. The most significant ecological stress placed by tourist was on leaf litter layer. With the increase in the intensity of tourist disturbance, the height of leaf litter layer decreased distinctly. The impacted area could range 15m in diameter away from the trail. Soil properties was also influenced obviously by tourist disturbance. The content of organic matter, the total N and the total P in soil decreased with the increasing intensity of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40771059)

收稿日期: 2008-10-08; 修订日期: 2009-01-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: llin@263.net

tourist disturbance, but the value of pH and the content of total K increased. The impacted range of soil covered an area of about 15m in diameter away from the trail, but the most obviously affected areas were in 5m.

Key Words: Huangshan Mountain scenic area; tourist disturbance; plant communities; soil

旅游的快速发展不可避免地给旅游地生态环境带来一定的负面影响,加剧了环境保护和利用的矛盾,要保证旅游的持续发展,必须在资源的保护与利用之间寻求平衡点,即旅游地生态系统在保证其健康安全情况下所能承受的最大干扰限度,而旅游干扰的生态影响效应是确定最大可接受干扰程度的重要依据,也是旅游地制定生态管理策略的重要依据。植物和土壤是旅游地生态系统的主要组成部分,对维持生态系统的平衡与稳定有重要作用,同时植物和土壤对旅游干扰反应较为敏感,旅游地植被和土壤状况的变化可以在一定程度上反映出旅游干扰的生态效应。国外旅游对植物和土壤影响的研究始于 20 世纪 60 年代,研究内容主要涉及到践踏、露营等不同类型与不同强度旅游干扰对植物高度、丰度、盖度、群落的物种多样性及物种组成的影响等^[1-10]、对土壤理化性质^[11-15]的影响等。国内自 20 世纪 90 年代以来开始关注旅游生态影响,李贞、程占红等着重分析了旅游开发与植被环境质量的关系^[16-19],刘鸿雁、管东升等探讨了旅游干扰对植物群落结构及物种组成的影响^[20,21],朱珠、吴甘霖、高贤明等研究了旅游干扰对物种多样性的影响^[22-24],石强等调查了旅游活动给植物带来的污染与刻划伤害的情况^[25],陈颀、王忠君、石强等分析了旅游活动对土壤的影响^[26-31]。但由于研究起步较晚,目前国内旅游生态影响研究的深度和广度都有限,涉及的植物群落类型和区域环境类型也较少,对土壤影响的研究集中在土壤压实导致的容重、含水量、硬度等物理指标的影响上^[26-29],对土壤化学性质研究较少^[21,31],研究结论也不甚一致,无法满足旅游快速发展对生态环境管理与保护提出的要求。黄山是我国著名的山岳型风景名胜区,旅游开发早、强度大,景区内植物群落和土壤分布具有明显的垂直地带性,旅游开发与植被环境在山岳风景区中具有一定的代表性。长期以来,很多学者对黄山风景区植物资源和旅游资源等进行了研究,但从旅游干扰的生态影响角度进行研究的极少。本研究选择黄山风景区这一典型区域,对旅游干扰下植物群落及其土壤进行调查,着重分析旅游干扰对植物群落形态、结构与组成的影响以及群落土壤理化性质的变化,以利于进一步理解旅游干扰的生态影响效应与机制,并为风景区资源与环境的保护管理提供参考。

1 研究区域概况

1.1 自然地理概况

黄山位于安徽省南部,山脉主体由黄山花岗岩和狮子林斑状花岗岩组成。南北长约 40km,东西宽约 30km,山脉面积 1200 km²,风景区面积 160.6km²。风景区位于东经 118°01′~118°17′和北纬 30°01′~30°18′之间,最高峰莲花峰海拔 1864.7m,是华东地区最高峰,中心位置光明顶位于北纬 30°10′,东经 118°10′。黄山地处亚热带季风气候带,但山上年均气温仅 7.8℃,年均降雨量 2348.2mm。森林覆盖率为 84.7%,植被覆盖率为 93%。有高等植物 1807 种,包括 10 种国家 2 级保护植物和 16 种国家三级保护植物^[32],以及多种古树名木如黄山松(*Pinus taiwanensis*),华东黄杉(*Pseudotsuga gaussenii* Flous)等。植物和土壤垂直分布带较为明显,植物群落自下而上分布着次生林、常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、落叶阔叶林及山地矮林与山地灌丛等,黄山松林分布在海拔 800m 以上。土壤自下而上依次为黄红壤、黄壤、暗黄棕壤、酸性棕壤,局部分布有山地草甸土及山地草甸沼泽土。

1.2 旅游活动概况

黄山风景区 1984 年被列为第一批国家级重点风景名胜区,1990 年 12 月被联合国教科文组织列入《世界文化与自然遗产名录》,2004 年 2 月入选世界地质公园,2007 年被国家旅游局评定为国家 5A 级旅游景区。黄山风景区自 20 世纪 70 年代以来旅游发展迅速,游客量逐年增加。1979 年仅为 10.43 万人,2006 年已增至 181.20 万人,其中旺季(4~11 月份)人数占全年游客量的 90% 左右。

黄山风景区有三条上山路线,与之对应的有三条索道。1979~2007年间,平均约40%游客从慈光阁上山,即沿温泉—慈光阁—玉屏楼—天海—西海—北海—白鹅岭—云谷寺—温泉—一线游览,55%从云谷寺上山,即按上述线路反向游览。其余从北坡松谷庵上山。三条索道开通后,大部分游客经索道上山,乘索道上山人数从1995年的61.6%增至2006年的88.9%。温泉与慈光阁之间及温泉与云谷寺之间有温慈公路及温云公路连接。慈光阁与玉屏楼,云谷寺与白鹅岭之间有步道和索道,而玉屏楼—天海—西海—北海—白鹅岭间只有步道相连。

2 研究方法

旅游干扰主要来自旅游设施的建设与维护及游客的活动。一般来说旅游干扰影响集中在游径及游客活动较多的景点附近,Andres-Abellan 研究表明,旅游影响一般呈辐射状向外扩散,在游览最多的地点,影响向外扩展大约20m^[5]。黄山旅游活动以游览观光为主,游客活动主要沿游径及景点展开,主要活动范围在距游径5m内,由于地势险峻,游客很少进入更远的地段,同时游径的存在也会给游径边缘的环境带来影响^[33,34],因此旅游干扰的强度随距游径的不同有所差异,可以通过比较距游径不同距离带上植物各项指标的差异来分析旅游干扰的影响效应。本次调查选择游径路线为温泉—云谷寺—白鹅岭—北海—光明顶—西海,该线路为黄山风景区主要游览步道,均为石阶型步道,宽1.5~2.2m,除光明顶—西海外,该线路其它路段大约有90%以上的游客往来通过,部分游客从北海经光明顶直接至天海,而不游西海景区,因此西海—一线游客量稍少。由于白鹅岭以上仅有步道,客流通过量与索道使用无关,随年客流量的增加而增加。温泉—云谷寺间往来游客几乎全部乘汽车通过,其间步道目前极少有游客行走。云谷寺—白鹅岭步道在索道开通后,客流通过量随乘索道游客的逐渐增加而减少。索道建成前的1985年,游客总量45.3万人,日均客流量1241人,云谷寺—白鹅岭步道往来客流量42.5万人,日均客流量1165人,3条索道建成后的1998年,总客流量98.2万人,日均客流量2687人,该步道往来客流量下降到26.3万人,日均客流量720人。2007年黄山风景区总客流量203万人,日均客流量达5561人;2007年10月2日当日接待游客达2.8万人次,如按10%步行上下山计算,则该步道该日客流量约2520人。

2.1 调查方法

于2007年9月中旬采用样方法对黄山风景区内植物群落进行调查,调查主要沿温泉—云谷寺—白鹅岭—北海—光明顶—西海游览步道进行,海拔每隔100m左右在游道一侧设置一个样地,样地面积为5m×20m,每个样地划分为4个5m×5m的样方,各样方距游径的距离分别为0m、5m、10m、15m(按最靠近游径的一边计算),总计10个样地40个样方。记录样地的经纬度、海拔高度、坡度及坡向(表1)。每个样方均按乔木层、灌木层及草本层分层进行统计,记录每株乔木的名称、高度、胸径、冠幅、枝下高及乔木层的盖度和幼苗数,灌木层每株植物的名称、高度及灌木层盖度。每个样方内设置1个1m×1m的小样方作为草本样方,记录物种名称、高度、多度及层盖度等。在每个5m×5m的样方内按五点取样法取0~20cm层土样,同时测量每个取土点枯枝落叶层的厚度。

2.2 分析方法

旅游干扰会影响植物正常的生长繁殖,对植物影响效应主要体现在植物的形态、密度、盖度及物种组成等方面。由于不同植物群落层次对干扰的抵抗力和恢复力不同,因此分别从乔木层、灌木层、草本层3个群落层次对植物所受的影响进行分析。乔木层采用各样方乔木层的平均高度、盖度、冠幅、胸径、物种数等指标;灌木层主要采用各样方平均高度、盖度、物种数及香农指数等指标;草本层采用各样方平均高度、盖度、物种数、物种多样性指数(Shannon-Wiener指数)等指标,并采用Sørensen相似性系数比较不同干扰强度下物种组成的差别。物种多样性指数 H' 和相似性系数 S 计算方法如下:

$$H' = - \sum P_i \ln(P_i)$$

式中, $P_i = n_i/N$, N 为样方草本层所有物种的个体数, n_i 为样方草本层中第 i 个物种的个体数。

$$S = 2c/(a+b)$$

式中, a 、 b 分别为两个样方中草本层的物种数, c 为两个样方草本层共有的物种数。

各样方土壤测定 pH 值, 有机质, 全氮、全磷、全钾等指标。pH 用电位法测定, 有机质用重铬酸钾法测定, 全氮用开氏法测定, 全磷用酸溶-钼锑抗比色法测定, 全钾用氢氟酸-高氯酸消煮法测定。

各项指标均用 SPSS 软件进行差异显著性检验 (LSD 法), 通过多重比较分析距游径不同距离处即不同干扰强度下各样方植物与土壤的变化情况。

表 1 样地概况

Table 1 Condition of sample areas

编号 No.	地点 Site	群落类型 Type of plant community	主要物种构成 Composition of main species	土壤类型 Type of soil	经纬度 Longitude and latitude	坡度 Slope 坡向 Slope aspect	海拔 Altitude (m)
1	温泉 Wenquan	次生林 Secondary forest	化香 <i>Platycarya strobilacea</i> , 糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i> ; 榿木 <i>Loropetalum chinense</i> , 腊莲绣球 <i>Hydrangea strigosa</i> Rehd; 美丽复叶耳蕨 <i>Arachniodes speciosa</i> , 苔草 <i>Carex</i> sp.	黄红壤 Yellow-red soil	N30°5.765' E118°10.763'	19° NE52°	562
2	人字瀑 Renzi Pu	次生林 Secondary forest	枫香 <i>Liquidambar formosana</i> , 银鹊树 <i>Tapiscia sinensis</i> ; 苕麻 <i>Boehmeria nivea</i> , 小构树 <i>Broussonetia kazinoki</i> ; 三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i> , 牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i> , 荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	山地黄壤 Mountain yellow soil	N30°5.944' E118°10.496'	12° W	692
3	温慈步道 Wen-ci Trail	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	青栲 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i> , 石斑木 <i>Raphiolepis indica</i> , 格药铃 <i>Eurya muricata</i> Dunn, 马银花 <i>Rhododendron ovatum</i> ; 抱茎苦买菜 <i>Ixeris sonchifolia</i> , 荩草	山地黄壤 Mountain yellow soil	N30°5.786' E118°10.763'	25° SE20°	728
4	云谷山庄 Yungu Hotel	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> , 青栲; 石斑木, 格药铃, 马银花; 山麦冬 <i>Liriope</i> sp., 荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	山地黄壤 Mountain yellow soil	N30°7.180' E118°11.426	16° SE24°	794
5	云谷步道 Yungu Trail	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	青栲, 格药铃, 伞八仙 <i>Hydrangea umbellata</i> , 马银花; 山麦冬 <i>Liriope</i> sp., 堇菜 <i>Viola</i> sp.	山地黄壤 Mountain yellow soil	N30°7.179' E118°11.417'	38.5° SW40°	925
6	云谷步道 Yungu Trail	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i> , 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> , 伞八仙, 山胡椒 <i>Lindera glauca</i> 海金子 <i>Pittosporum illicioides</i> ; 禾叶山麦冬 <i>Liriope graminifolia</i> , 苔草 <i>Carex</i> sp.	山地黄壤 Mountain yellow soil	N30°7.574' E118°10.916'	28.5° SE60°	1010
7	云谷步道 Yungu Trail	常绿-落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest	青栲, 米心水青冈 <i>Fagus engleriana</i> , 灯台树 <i>Cornus controversa</i> ; 圆锥绣球 <i>Hydrangea paniculata</i> ; 伞八仙, 禾叶山麦冬, 苔草 <i>Carex</i> sp.	暗黄棕壤 Dark yellow-brown soil	N30°07.572' E118°10.923'	36° E	1216
8	云谷步道 Yungu Trail	常绿-落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved forest	青冈, 交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i> ; 华东椴 <i>Tilia japonica</i> 格药铃, 马银花; 山麦冬 <i>Liriope</i> sp., 苔草, 堇菜 <i>Viola</i> sp.	暗黄棕 Dark yellow-brown soil	N30°7.902 E118°10.548	39.5° SW8°	1322
9	排云亭 Paiyun Ting	落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	黄山栎 <i>Quercus stewardii</i> , 四照花 <i>Cornus kousa</i> var. <i>chinensis</i> , 映山红, 莢迷 <i>Viburnum</i> sp.; 苔草, 荩草, 若竹 <i>Indocalamus longiauritus</i>	暗黄棕 Dark yellow-brown soil	N30°8.499 E118°9.442	15° NE41°	1651
10	北海 Beihai	落叶阔叶林 Deciduous broadleaved forest	黄山栎; 灯台树; 伞八仙, 野珠兰 <i>Stephanandra chinensis</i> ; 莢迷, 堇菜 <i>Viola</i> spp., 大吴风草 <i>Farfugium japonicum</i>	暗黄棕壤 Dark yellow-brown soil	N30°8.486' E118°9.839'	25.5° NW5°	1699

3 结果与讨论

3.1 旅游干扰对植物群落的影响

3.1.1 旅游干扰对乔木层的影响

从距游径不同距离处各样方乔木层的平均高度、盖度、密度、平均冠幅、平均胸径以及平均物种数等几项指标来看,旅游干扰对乔木层的影响不大,上述各项指标多重比较结果均显示不同距离处差异不显著。

旅游干扰对上层乔木的影响不大,但对乔木更新层的影响较为明显,由图 1 可看出,游径边缘幼苗数最少,随距游径距离的增加,各样地幼苗数逐渐增加,至距离 10m 处幼苗数最多,但 15m 处又略有降低,多重比较结果显示距离游径 0m 处与 5、10m 处差异显著($P_{0-5} = 0.31$, $P_{0-10} = 0.17$)。游径边缘受游客活动干扰较大,因此幼苗数有所减少,但游径的存在会改变游径附近光照、水文等环境条件,有利于幼苗的生长,因此在干扰较小的 5、10m 幼苗数受影响较少而生长良好,而距游径 15m 处虽然基本上不受旅游干扰的影响,但由于环境比较郁闭,影响了幼苗生长,从而导致幼苗数有所减少。

乔木的枝下高通常作为旅游影响的一个重要指标,游客偏离游径的活动及有意的折枝行为均会引起枝下高的变化,但从本次调查结果看,距游径不同距离处各样方乔木枝下高有一定变化,各样地距游径 0、5、10m 与 15m 处平均枝下高分别为 3.19、3.14、3.05m 和 2.79m,显然游径边缘枝下高较高,而距游径 15m 处有所下降,但多重比较结果显示不同距离处差异不显著。可见旅游干扰对乔木枝下高的影响不是太大。

3.1.2 旅游干扰对灌木层的影响

从调查结果看,距游径不同距离各样方灌木层植物高度变化规律不明显,距游径 15m 处的植物高度要高于其它距离处,但多重比较结果表明距游径不同距离处差异并不显著。

灌木层盖度变化如图 2 所示,随距游径距离的增加,各样地盖度大体呈增加趋势。盖度多重比较结果表明距游径不同距离处样方间有一定差异,其中 0m 处与 5m 处差异不显著($P = 0.337$),但与 10m($P = 0.014$)、15m($P = 0.017$)处差异显著,其它距离处差异不显著。说明游径边缘灌木层盖度受影响较大,5m 处也受到一定影响。旅游干扰对灌木层盖度影响与游客直接践踏关系不大,但游径附近游客的采折等可能会影响到灌木层的盖度,游径附近环境条件的改变也可能是灌木层盖度变化的原因之一。

灌木层物种数随旅游干扰强度的变化表现复杂,未显示出一定的规律性,而距游径不同距离处各样方的物种数及 Shannon-Wiener 指数的多重比较结果均显示无显著差异。

3.1.3 旅游干扰对草本层的影响

随距游径距离的增加,草本层高度趋于增加(图 3),特别是游径边缘草本层高度明显低于其它地段,对高度的多重比较结果显示不同距离处草本层高度差异显著,其中 0m 处与 5m($P = 0.008$)、10m($P = 0.000$)及 15m($P = 0.002$)处差异显著,其它不同距离间差异不显著。说明旅游干扰对游径边缘草本层高度的影响明

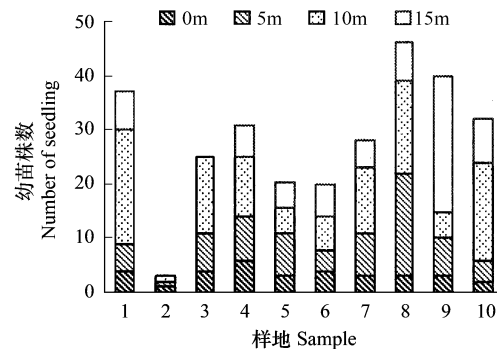


图 1 旅游干扰对幼苗数的影响

Fig. 1 Impact of tourism disturbance on seedlings

样地 5 幼苗数为实际幼苗数 1/10 the number of seedlings in sample 5 is 1/10 of the practical number

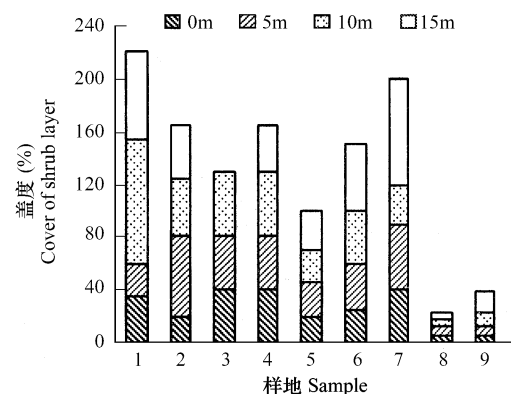


图 2 旅游干扰对灌木层盖度的影响

Fig. 2 Impact of tourism disturbance on the cover of shrub layer

显,对距游径 5m 以外草本层高度无太大影响。游径边缘游客活动强度大,游客践踏直接影响到植物高度,此外,在旅游干扰长期存在的情况下,游径附近一些耐践踏的低矮物种会逐渐增加并取代不耐践踏种类,这也是导致植物高度降低的原因之一。

随距游径距离的增加,一些样地草本层盖度有所增加,但总的变化规律不显著,多重比较结果亦显示不同距离处草本层盖度差异不显著。

由图 4 可以看出,游径边缘草本层物种数最高,多数样地草本层物种数随距游径距离的增加呈较为明显的下降趋势,物种数多重比较结果表明距游径 0m 处与 5m 处物种数无显著差异,但与 10m ($P=0.025$) 和 15m

处差异显著 ($P=0.016$),其它距离间差异不显著。Shannon-Wiener 指数亦表现出类似的趋势(图 5),距游径 0m 及 5m 地段 Shannon-Wiener 指数均与 15m 处差异显著 ($P_{0-15}=0.046$, $P_{5-15}=0.041$)。从分析结果看,游径附近物种数变化表现出一定的中度干扰效应。在黄山风景区,游客游览观光活动主要沿游径进行,踩踏主要由石质的游径承受,游径两侧所受直接践踏强度较小。更远处由于地形险峻,环境郁闭而基本上不存在干扰,因此游径附近在一定的干扰压力下物种多样性最高。旅游干扰不仅对物种多样性有影响,对物种组成也有影响,通过比较不同距离样方间物种相似系数可以得出: $\bar{S}_{0-15}(0.1968) < \bar{S}_{5-15}(0.3668) < \bar{S}_{10-15}(0.3979)$, $\bar{S}_{0-10}(0.2373) < \bar{S}_{5-10}(0.2975)$, $\bar{S}_{0-15}(0.1968) < \bar{S}_{0-5}(0.2154) < \bar{S}_{0-10}(0.2373)$ 。多重比较结果显示, S_{0-15} 与 S_{5-15} ($P=0.050$)、 S_{10-15} ($P=0.021$) 间差异均显著, S_{0-5} 与 S_{10-15} ($P=0.030$) 间差异显著,说明游径边缘物种组成与其它地段物种组成差异较大。此外,随干扰强度增大,游径边缘样方物种组成的变化还表现为耐践踏禾草类植物及伴人植物增多,如荩草 *Arthraxon* spp.、山麦冬 *Liriope* spp.、及莎草 *Cyperus rotundus* 等出现较多,伴人植物主要有车前 *Plantago asiatica*、鬼针草 *Bidens bipinnata*、画眉草 *Eragrostis pilosa* 及牛膝 *Achyranthes bidentate* 等,各样地距游径 0、5、10m 及 15m 处平均伴人植物比例分别为 24%、5%、3% 和 0。这些都表明旅游干扰已对草本层物种组成产生了一定影响。

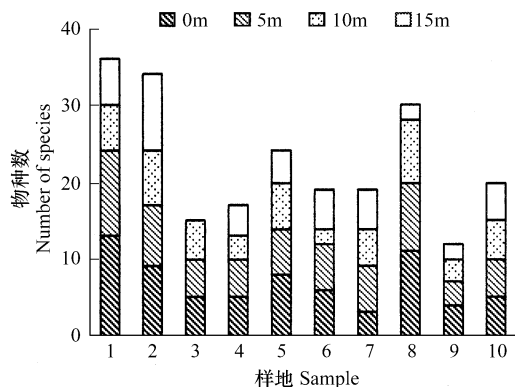


图 4 旅游干扰对草本层物种多样性的影响

Fig. 4 Impact of tourism disturbance on the species diversity of herb layer

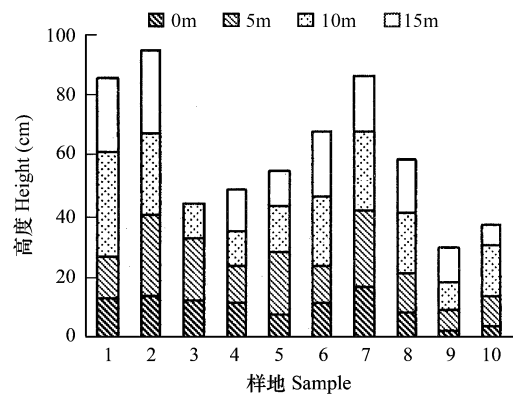


图 3 旅游干扰对草本层植物高度的影响

Fig. 3 Impact of tourism disturbance on the plant height in herb layer

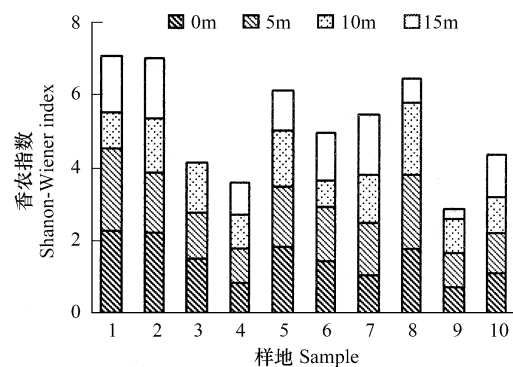


图 5 旅游干扰对草本层香农指数的影响

Fig. 5 Impact of tourism disturbance on the Value of Shannon-Wiener index of herb layer

3.2 旅游干扰对枯枝落叶层的影响

由图 6 可见,枯枝落叶层的厚度随距离游径的不同有明显差异,距游径越近,枯枝落叶层厚度越小,各样地变化趋势均明显。多重比较结果显示 0、5、10、15m 4 个不同距离处之间的差异均显著 ($P_{0-5}=0.002$,

$P_{0-10}=0.000$, $P_{0-15}=0.000$; $P_{5-10}=0.022$, $P_{0-15}=0.000$; $P_{10-15}=0.023$)。由此可见,旅游干扰对枯枝落叶层的影响效应显著,其影响范围至少在游径边缘 15m 以内。

枯枝落叶层对旅游干扰反映敏感,原因可能在于枯枝落叶层附于土壤表面,且结构较为松散,旅游践踏,人工清理甚至大风等环境条件等均会影响到枯枝落叶层的积累与分解过程。

3.3 旅游干扰对植物群落土壤性质的影响

3.3.1 旅游干扰对土壤 pH 值的影响

随距游径距离的增加,土壤 pH 值呈下降趋势(图 7),特别是游径边缘明显高于其它地段。多重比较结果显示,距游径 0m 的样方与 5、10、15m 的样方间差异显著($P_{0-5}=0.003$, $P_{0-10}=0.001$, $P_{0-15}=0.000$)。旅游干扰使得土壤的 pH 值上升,影响范围主要在距游径 5m 以内。

旅游活动使枯枝落叶层受到破坏、土壤含水率和有机质含量的下降,这些都会导致土壤 pH 值发生变化。此外,外源物质的渗入也会引起局部土壤性质的变化。

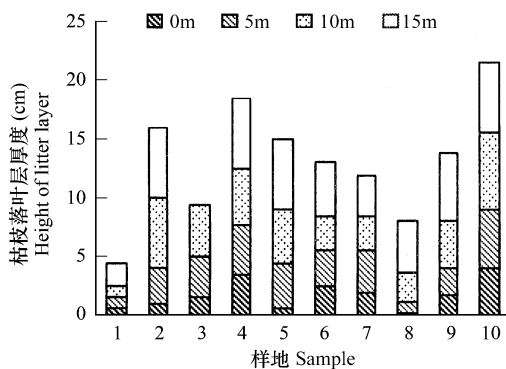


图 6 旅游干扰对枯枝落叶层的影响

Fig. 6 Impact of tourism disturbance on litter layer

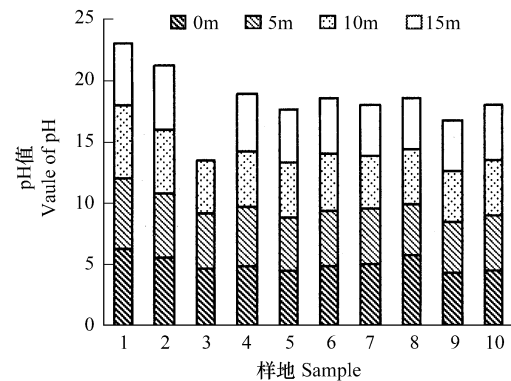


图 7 旅游干扰对土壤 pH 值的影响

Fig. 7 Impact of tourism disturbance on the pH value of soil

3.3.2 旅游干扰对土壤有机质含量的影响

随距游径距离的增加,有机质含量有所上升(图 8),多重比较结果表明,距游径 0m 的样方与 5m 差异不显著,但与 10m ($P=0.009$)和 15m 处($P=0.005$)差异显著,其它距离间差异均不显著。旅游干扰降低了土壤有机质含量,以距游径 5m 范围内受影响较为明显,10m 内也有一定影响。

土壤有机质与土壤性质和植物营养关系密切,是影响土壤肥力水平的重要因素。践踏使得枯枝落叶层和腐殖质层受到破坏,同时践踏压实土壤影响植物根系生长发育,引起植物归还量减少,这些均会造成有机质含量下降。此外土壤理化性质的改变,会使一些有益于土壤的动物和微生物数量减少,也会导致局部生境内土壤有机质含量减少。

3.3.3 旅游干扰对土壤主要养分含量的影响

(1) 旅游干扰对土壤全氮含量的影响 距游径不同距离处土壤含氮量有一定差异(图 9),样地 3、5、6、7、8、9 土壤全氮含量表现出随距游径距离增加而增加的趋势;样地 2 与 10 变化不甚明显,距游径 15m 处仅比 0m 处略高一点;而样地 1 与 4 表现为随距离的增加略有下降。多重比较结果显示,距游径 0m 处与 15m 处之间差异显著($P=0.013$)。总体看来,旅游干扰降低了土壤的全氮量,以游径附近 5m 的范围内受影响显著。

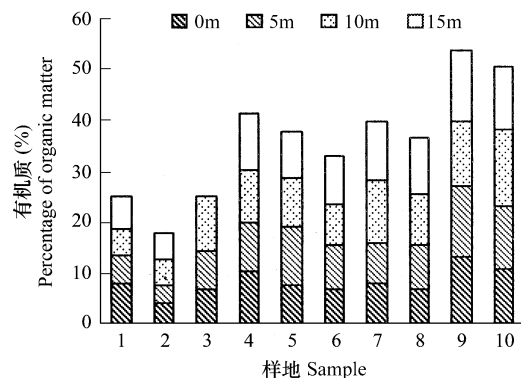


图 8 旅游干扰对土壤有机质含量的影响

Fig. 8 Impact of tourism disturbance on the content of organic matter in soil

(2) 旅游干扰对土壤全磷含量的影响 由图 10 可见,距游径 15m 处土壤全磷含量明显高于游径边缘。样地 3、5、6、7、8、10 土壤全磷含量随距游径距离的增加呈上升的趋势,样地 2、9 变化趋势不明显,而样地 1、4 则略有降低。多重比较结果显示,距游径不同距离处土壤含磷量差异显著,其中距游径 15m 处与其它距离处之间差异显著 ($P=0.000$),其它距离间差异不显著。可见旅游干扰降低了土壤全磷含量,旅游干扰对土壤全磷含量的影响范围可达游径外 15m。

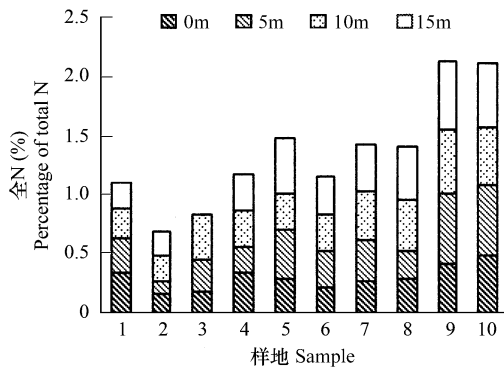


图 9 旅游干扰对土壤全氮含量的影响

Fig. 9 Impact of tourism disturbance on the content of total N in soil

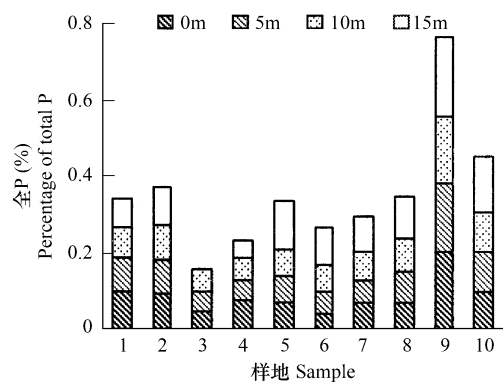


图 10 旅游干扰对土壤全磷含量的影响

Fig. 10 Impact of tourism disturbance on the content of total P in soil

(3) 旅游干扰对土壤全钾含量的影响 随距游径距离的增加,各样地土壤全钾含量均表现出比较明显的下降趋势(图 11),土壤中全钾含量对旅游干扰的反应较之全磷与全氮更为敏感。多重比较结果表明,距游径 15m 处土壤全钾量与其它各距离处差异均显著 ($P=0.000$),0m 与 10m 处差异显著 ($P=0.016$),其余距离间差异不显著。旅游干扰导致土壤全钾含量升高,其显著影响范围至少可达游径外 15m,以 5m 范围内所受影响最为显著。

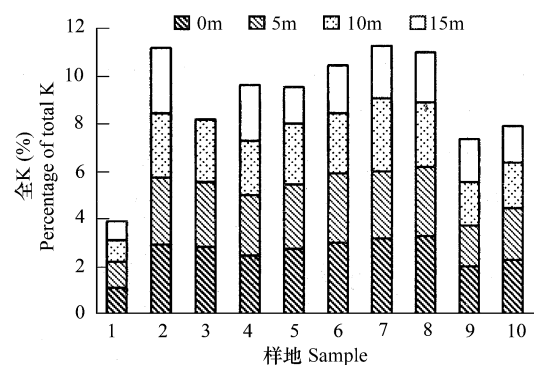


图 11 旅游干扰对土壤全 K 含量的影响

Fig. 11 Impact of tourism disturbance on the content of total K in soil

旅游干扰使土壤全氮、全磷含量下降,但全钾含量却趋于增加,这可能与 3 种元素自身特性有关,土壤中的氮主要存在于表层土壤中且与有机质含量密切相关,

旅游干扰破坏了枯枝落叶层与腐殖质层,使土壤有机质降低,从而相应降低了土壤氮含量。黄山风景区土壤中磷含量与有机质成正相关^[35],有机质含量的下降也会引起土壤中全磷含量的减少。与氮、磷相比,土壤中钾易于淋失,旅游干扰下土壤含钾量上升可能与土壤压实后渗透性下降,钾淋失量减少有关。此外土壤酸碱度变化及土壤生物活动强度的改变都会影响土壤物质和能量的迁移转换,导致土壤养分含量的变化。

3.4 不同样地间旅游干扰与影响效应差异性分析

3.4.1 不同样地旅游干扰差异性分析

黄山风景区游客活动以观光游览为主,但景区内不同区域游览利用程度不同,因此不同区域的样地所受干扰大小也有一定差异。黄山风景区有温泉、云谷、北海、玉屏、松谷及钓桥 6 个分景区,其中松谷和钓桥景区尚待进一步开发。山下的温泉景区和云谷景区海拔较低,是开发较早的景区,由于景区内公路及索道的相继修建,目前温泉景区和云谷景区主要起通道作用,游览利用率较低。山上北海景区和玉屏景区是黄山的中心景区,精华景点多,是一般游客的必游景区,游览利用率高,且景区内仅有步道,旅游活动干扰大。山下温云景区与山上景区通过云谷寺至白鹅岭以及慈光阁至玉屏楼两条登山步道和两条索道相连接,在索道修建前,约

90% 游客经此两条步道上下山,但在索道建成后,步道游客通过量大大减少,目前近 90% 游客乘索道上下山,步道利用率下降。而云谷寺、慈光阁、温泉和黄山大门间有公路相连,步道很少有人行走。本次调查样地 1~4 位于温泉和云谷景区,样地 5~8 分布于云谷寺-白鹅岭步道两侧,样地 9、10 位于北海景区。因此随海拔高度的增加,各样地旅游干扰亦逐渐增大。

3.4.2 不同样地植物群落影响效应差异性分析

从植物影响的各项指标绝对数值来看(图 1~图 4),随海拔高度的增加,各项指标并未表现出明显的增加或减少的趋势。从随距游径距离增加各项指标变化的趋势来看,幼苗数样地 3 与样地 10 变化幅度较大,样地 2、4、9 变化幅度较为平缓,与 15m 处相比,距游径 0m 处样地 10、8、9 幼苗数受影响较大,即该距离处幼苗数占样地总幼苗数比例较低,样地 4 与样地 6 受影响较小(图 1)。灌木层盖度样地 10、7、1 变化幅度较大,其余较为平缓,与 15m 处相比,距游径 0m 处样地 10、9、2 受影响较大,样地 10 在距游径 5m 处盖度受影响也较大,样地 4 与样地 8 受影响较小(图 2)。草本层高度样地 9、1、6、8 变化趋势较为明显,样地 4、7 变化平缓,游径边缘以样地 9 与样地 10 植物高度下降明显,样地 4 与样地 7 受影响较小(图 3)。草本物种数样地 8、1、5 变化较明显,样地 10、3 变化平缓,游径边缘物种数以样地 8、9 与样地 1 增加较为明显,样地 7 与样地 10 无明显变化(图 4)。

总的来看,10 个样地中,旅游干扰对植物的影响效应以样地 9 与样地 10 稍为明显,样地 4 与样地 6、7 影响效应较小。但样地间差别并不明显,随旅游干扰的增加,影响效应并未表现出明显上升的趋势。这与影响效应受多种因素影响有关,植物影响效应受旅游干扰类型、干扰强度、地点的环境条件及植物类型等多种因素作用^[36-39],景区内地形复杂,不同样地间除旅游干扰强度不同外,海拔、坡度、坡向等环境条件差异较大,不同样地间干扰效应的差异不只是由于干扰强度决定的,也受以上各种影响因素的作用,最终表现出的是各种因素的综合效应。

3.4.3 不同样地土壤影响效应差异性分析

随海拔高度的增加,样地土壤 pH 值有所下降,但除样地 1 与样地 2 明显大于其它样地外,其它样地间差别不大(图 7);土壤有机质含量与土壤全氮含量相似,随海拔高度增加呈上升趋势(图 8,图 9);全磷含量以海拔高的样地 9 与样地 10 较高,其余差别不大(图 10);全 K 含量样地 1、9、10 较低,其余差别不大,随海拔高度的增加无明显变化规律(图 11)。

从随距游径距离增加各项指标变化来看,土壤 pH 值变化趋势样地 1、8、7 较为明显,样地 10、5 变化平缓(图 7);土壤有机质变化趋势样地 3、8、7、2 稍为明显一些(图 8),土壤全氮变化趋势以样地 3、8、6、7 较为显著,样地 1 与样地 4 基本上看不出变化的趋势(图 9)。全磷变化趋势样地 1、2、3、4 较平缓,样地 5、6、7、8、10 稍明显(图 10);全钾含量样地 5 变化趋势最为明显,其次为样地 6、7、8、10,其它样地变化趋势较为平缓(图 11)。除全磷全钾外,各样地其它指标并未表现出随海拔增高而变化明显的趋势。也就是说,旅游干扰对土壤的影响效应并未表现出随游览使用率增大而明显增大的现象,其原因可能在于包括土壤特性在内的各种环境因素对干扰效应的影响。如随海拔高度上升,土壤有机质含量、全氮增加,土壤 pH 值下降,其变化趋势与旅游干扰引起的变化趋势相反,这有可能在一定程度上增加地点的抗干扰能力,从而缓解旅游干扰增大给土壤带来的冲击。因此各样地间虽然旅游干扰强度不同,但干扰效应差异并不明显。

4 结论与讨论

黄山风景区是我国旅游开发较早,开发强度也较大的著名景区之一,长期的旅游活动已给环境带来较为明显的生态影响,本次调查分析结果表明旅游干扰对植物群落及其土壤环境的影响效应主要体现在以下几个方面。

4.1 旅游干扰对植物群落不同层次影响效应不同

旅游干扰对乔木层的上层影响不大,但对乔木更新有一定影响,旅游干扰明显减少了游径边缘 5m 范围内幼苗数;旅游干扰降低了灌木层的盖度,但对灌木层的其它指标尚未有显著的影响,其影响范围大约在游径

边缘 10m 以内;旅游干扰对草本层的高度及物种多样性有显著影响,旅游干扰降低了植物高度,提高了物种丰富度,但对草本层的盖度无明显影响,对草本层的物种组成也有一定影响,对草本层显著影响范围大约在距游径 10m 内。

从已有研究结果看,旅游干扰对乔木层的影响较小,对乔木的影响主要表现在更新方面。本研究结果表明不同距离处乔木层各项指标无大的差异,但幼苗数受影响较大。幼苗数量直接影响植物群落的更新状况,对植物群落的稳定性有重要影响,虽然目前旅游干扰对乔木层的影响不大,但干扰的长期存在可能会对植物群落结构产生一定影响,因此对乔木层的影响效应有待于长期持续的研究。

灌木层对旅游干扰的反应一般较乔木层敏感,却弱于草本层,其抗干扰能力大于草本层,但一旦受到影响后,其恢复能力比草本植物差。从本次调查结果看,旅游干扰对灌木层的影响主要反映在对其盖度影响上。刘鸿雁对香山黄栌林的影响研究表明,群落盖度受影响最大的是灌木层^[20],这与本研究结果一致,此外他的研究还表明中等强度的干扰有利于增加灌木层的盖度,与本研究结果不一致。有些研究表明旅游干扰也会影响到灌木层物种多样性^[21, 23, 24],但本次调查未反映出旅游干扰对灌木层物种多样性有明显影响。

一些研究表明,旅游干扰对草本层的影响最为显著^[19, 20, 24],一般来说旅游干扰会明显降低草本层的高度、盖度,但对草本层物种数的影响效应则不尽相同,一种情况表现为旅游干扰降低了草本层的物种多样性^[5],另一种情况下物种多样性表现出一定的中度干扰效应^[20, 24, 28]。从本研究结果看,旅游干扰对游径边缘草本层的高度有明显影响,但对游径 5m 以外地段影响不大。对草本层盖度影响不明显,究其原因,黄山风景区游客活动以游览观光为主,主要沿游径进行,游径两侧稍远处地形较为险峻,游客的踩踏主要由石质的游径承受,游径两侧所受直接践踏强度较小,同时由于游径的存在改变了局部地段的光照、水文等微环境条件,在某种程度上有利于草本植物的生长,因此对草本层盖度影响不大,对草本层物种多样性的影响则表现出一定的中度干扰效应,对草本层物种组成也有较为明显的影响,主要表现在游径边缘耐践踏种类及伴人植物比例增加。

4.2 枯枝落叶层对旅游干扰的反应敏感

随干扰强度增加,枯枝落叶层厚度明显降低,其影响范围至少达游径外 15m。

枯枝落叶层在山地森林群落中有重要的生态作用,可以增强植物-土壤系统的水土保持能力,改善土壤理化性质,补充土壤中养分含量,还有研究表明枯枝落叶层对树种的更新有影响^[40]。Adkinson 认为枯枝落叶层的变化和土壤压实可能是与游径存在和使用有关的最重要的效应^[41]。旅游干扰不仅会降低枯枝落叶层厚度,对枯枝落叶层中生物的多样性也有重要影响,枯枝落叶层的受损会进一步加剧水土流失,减少土壤养分供给,影响土壤生物的活动强度,进而对土壤-植物系统产生不利影响。

4.3 旅游干扰对植物群落的土壤性质有明显影响。

旅游干扰降低了土壤有机质的含量,提高了土壤的 pH 值。随旅游干扰强度增加,土壤主要养分含量有明显变化,其中土壤全氮、全磷含量趋于降低,而全钾含量则呈上升趋势。从综合干扰效应看,旅游干扰对土壤的影响范围至少可达游径外 15m。

很多研究表明旅游干扰会降低土壤有机质含量^[29~31],践踏引起土壤裸露、压实以及枯枝落叶层减少等均会引起土壤有机质含量的降低。但也有一些例外,如 Young 研究表明利用强度大的营地,有机质含量增加^[42],这与营火灰烬及人类消费等带入的一些物质渗入土壤中有关,因此干扰效应与干扰类型有很大关系。不同干扰类型同样会给土壤的酸碱度带来不同的影响,一些研究表明干扰严重地段土壤 pH 值上升^[24, 29, 42, 43],而另外一些研究表明旅游干扰降低了土壤 pH 值^[30, 44],从已有的研究结果看,游客踩踏改变土壤含水率和有机质含量,会导致土壤 pH 值升高,土壤中垃圾等外源物质进入引起的土壤 pH 值变化趋势则与外源物质的性质有关。

管东升研究结果表明随旅游干扰强度的增加,土壤全氮、全磷和有效态磷的含量呈递减趋势^[24];Stohlgren 等研究结果显示,压实中心区与中度区及外围区比较,中心区全氮下降,全磷中度区最小,外围区最

大,全钾中心区最小^[15];秦远好等研究则表明,旅游干扰会降低土壤含氮量,但与土壤中磷与钾的含量无明显关系^[31]。从本次调查结果看,旅游干扰对土壤养分的影响比较明显,空间范围至少可达 15m,但 3 种营养元素的变化趋势不同,随旅游干扰强度的增加,土壤全氮、全磷含量呈递减趋势,其变化与上述研究结果基本一致,而全钾含量呈递增趋势,与上述研究结果不同,其原因究竟与干扰类型有关还是其它因素起作用尚有待于进一步探讨。

土壤是植物赖以生存的基础,黄山风景区地形复杂,坡度大,水土易于流失,土壤肥力较低,旅游引起的土壤压实会影响植物根系的发育及植物种子的萌发,践踏以及土壤侵蚀等加剧了养分流失,最终将导致土壤结构性质的改变及土壤肥力的下降,这种干扰的长期存在有可能对植物的生长发育产生一定的负面影响,并对旅游地的生态环境质量产生一定影响。

4.4 不同区域间旅游干扰效应差异不显著

黄山风景区是典型的山岳型景区,著名景点主要位于海拔较高的山上景区,因此随海拔高度的增加,旅游干扰也增大,但旅游干扰对植物群落及其土壤的影响效应,并未有明显的随海拔增加而增大的趋势。这一方面是因为景区内地形复杂,区域环境条件差异大,旅游干扰大的地段由于环境因素提高了抗干扰能力,在一定程度上减缓了旅游干扰对环境的冲击作用;另一方面,从旅游干扰的一般规律来说,在旅游干扰的初期会表现出明显的生态效应,但在干扰达到一定的时间和强度后,影响效应增加很小,而黄山风景区开发的时间长,干扰强度大,因此虽然各景区游览利用率有所差异,但影响效应差异并不显著。

旅游干扰对植物及其土壤的影响效应由影响强度和影响空间范围两方面决定。本次调查涉及北海景区,云谷景区和温泉景区,其中北海与温泉均属资源高强度利用区,而云谷景区虽然属资源低强度利用区,但由于其承担大部分游客的周转运输作用,游客密度也很高,是旅游干扰较大的区域。从本次调查结果看,旅游干扰对植物群落的结构与组成以及土壤性质有较为明显的影响效应,但由于旅游干扰对植物群落及其土壤性质的显著影响范围主要在游径外 15m 的范围,与整个景区比较,其影响地域范围有限。因此这种效应是否能对整个植物群落、植物-土壤系统乃至整个旅游地生态系统造成明显影响在短期内无法明确。不过依据目前旅游发展的态势,黄山风景区游客量还将持续增长,其资源开发利用强度将进一步加大,旅游干扰强度和影响的空间范围也将随之扩大,势必导致生态影响效应进一步增加。就目前旅游生态影响研究结果看,旅游干扰在较小的时空尺度上表现较为显著,但旅游干扰对植物群落及其土壤的影响是一个长期效应,目前对植物和土壤影响效应的研究大多采用空间对比法,缺乏长期定点的系统调查,对影响机制的研究也不够深入,因此旅游干扰在大的时空尺度上对环境的影响效应还难以确定。从黄山风景区实际调查看,旅游开发几十年来,旅游干扰的确给风景区的植物分布与组成带来了一定影响,但对旅游地植物-土壤系统长期影响效应和方向尚须进一步研究。此外,本次调查结果表明,目前黄山风景区旅游开发的生态影响主要来自于游客正常的游览活动及旅游设施的建设与维护,旅游设施的建设已受到严格控制,来自于游客主观行为引起的负面影响也基本降至最低,这与近年来对景区环境质量的重视与管理制度的完善有关,目前主要影响大部分是旅游活动难以避免的,因此,加强景区旅游生态影响效应的研究,提高景区生态管理技术水平应是目前降低旅游干扰负面影响的重要途径。

References:

- [1] Cole D N. Impacts of hiking and camping on soils and vegetation: A review. In: Buckley Ralf. Environment impact of ecotourism. Wallingford: CAB International, 2004. 41—46.
- [2] Cole D N, Monz C A. Impacts of camping on vegetation: response and recovery following acute and chronic disturbance. Environmental Management, 2003, 32(6): 693—705.
- [3] Cole D N, Spillie D R. Hiker, horse and llama trampling effects on native vegetation in Montana. Journal of Environmental Management, 1998, 53: 61—71.
- [4] Littlemore J, Barker S. The ecological response of forest ground flora and soils to experimental trampling in British urban woodlands. Urban. Ecosystems, 2001, 5 (4): 257—276

- [5] Andres-Abellan M, Benayas Delalame J, Landete-Castillejos T, *et al.* Impacts of visitors on soil and vegetation of the recreational area “Nacimiento Del Rfo Mundo”. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 101(1-3): 55—67.
- [6] Gallet S, Lemauiel S, Roze F. Responses of three heathland shrubs to single or repeated experimental trampling. *Environment Management*, 2004, 33(6): 821—829.
- [7] Sanjay K N, Paul W. Comparison of vegetation conditions along two backcountry trails in Mount Robson Provincial Park, British Columbia (Canada). *Journal of Environmental Management*, 2007, (82): 240—249.
- [8] Leung Y F, Marion J L. Characterizing backcountry camping impacts in Great Smoke Mountains National Park, USA. *Journal of Environmental Management*, 1999, 57: 193—203.
- [9] Hall C N, Kuss F R. Vegetation alteration along trails in Shenandoah National Park, Virginia. *Biological Conservation*, 1989, 48: 211—227.
- [10] Sun D, Liddle M J. A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites. *Environmental Management*, 1993, 17, (4): 497—510.
- [11] Sun D, Liddle M J. A survey of trampling effects on vegetation and soil in eight tropical and subtropical sites, *Environmental Management*, 1993, 17, (4): 497—510.
- [12] Bolling J D, Walker L R. Plant and soil recovery along a series of abandoned desert roads. *Journal of Arid Environments*, 2000, 46: 1—24.
- [13] Belnap J. Impacts of off-road vehicles on nitrogen cycles in biological soil crusts: resistance in different U. S. deserts. *Journal of Arid Environment*, 2002, 52: 155—165.
- [14] Marion J L, Cole D N. Spatial and Temporal Variation in Soil and Vegetation Impacts on Campsites. *Ecological Applications*, 1996, 6(2): 520—530.
- [15] Stohlgren T J, Parsons D J. Vegetation and soil recovery in wilderness campsites closed to visitor use. *Environmental Management*, 1986, 10(3): 375—380.
- [16] Li Z, Bao J G, Qin C F. The impact of tourist development on the vegetation cover of Mount Danxia, Guangdong. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(6): 554—561.
- [17] Cheng Z H, Zhang J T. Impacts of Tourism Development on Vegetation in Tianlong Mountains. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20(2): 144—147.
- [18] Cheng Z H, Zhang J T. Difference between Tourism Vegetation Landscapes of Different Distance. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(6): 647—652.
- [19] Cheng Z H, Zhang J T, Shangguan T L, *et al.* Relationship Between Tourism Development and Vegetation Environment in Luya Mountain Nature Reserve I. Quality Analysis of Vegetation Environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1765—1773.
- [20] Liu H Y, Zhang J H. Effects of recreational disturbance on the *Cotinus coggygia* var. *cinerea* forest in Xiangshan Mountain, Beijing. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(2): 191—196.
- [21] Guan D S, Lin W Q, Chen Y J. The effects of tourist disturbance on Soil and Vegetation in Baiyun Mountain. *Environmental Science*, 1999, (6): 6—9.
- [22] Zhu Z, Bao W K, Pang X Y, *et al.* Tourism effect on species composition and diversity of understory plants in *Abies fargesii* var. *faxoniana* forest in Jiuzhaigou, Sichuan. *Biodiversity Science*, 2006, 14(4): 284—291.
- [23] Wu G L, Huang M Y, Duan Y Y, *et al.* Disturbing effects of tourism on species diversity in *Pinus taiwanensis* communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3924—3930.
- [24] Gao X M, Ma K P, Chen L Z, *et al.* The effects of tourism on species diversity of subalpine meadows in Dongling Mountainous area, Beijing. *Chinese Biodiversity*, 2002, 10(2): 189—195.
- [25] Shi Q, Zhong L S, Wang X F. Effect of recreation on plants in Zhangjiajie National Forest Park. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 107—113.
- [26] Chen B, Yang G H. Quantitative study of the impact of tourist trampling on ecotourism scenic region — A case research of the Shangri-la Bit Lake ecotourism scenic region. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(3): 372—376.
- [27] Wang J L, Wang P, Lu F, *et al.* Impact of tourist activities on the environment in Bitahai Lake Wetland Ecotourism Scenic Spot. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 101—108.
- [28] Shi Q, Lei X D, Xie H Z. Tourism impacts on soil in Zhangjiajie National Forest Park. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2002, 23(3): 28—33.
- [29] Wang Z J, Cai J, Zhang Q X. Preliminary research on tourist activity influence upon the soil in Yunmengshan National Forest Park. *The Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2003, (5): 12—15.
- [30] Feng X G, Bao H S. Preliminary research on tourist activity influence upon the soil and cover plant of scenic spot. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(1): 75—78.
- [31] Qin Y H, Xie D T, Wei C F, *et al.* Study on responses of soil ecological environment to impacts of Tourist Activities. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 61—65.

- [32] Bi S F. The resources of rare and endangered plants in Huangshan scenic spot. *Special Economic Animal and Plant*, 2004, (4): 19—20.
- [33] Cole D N. Vegetational changes associated with recreational use and fire suppression in the Eagle Cap Wildness, Oregon: some management implications. *Biological Conservation*, 1981, 20: 247—270.
- [34] Hill W. Pickering C M. Vegetation associated with different walking track types in the Kosciuszko alpine area, Australia. *Journal of Environmental Management*, 2006, 78(1): 24—34
- [35] Editorial Board of “The Soil in Huangshan Mountain”. *The Soil in Huangshan Mountain*. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1998. 119.
- [36] Whinam J, Chilcott N. Impacts of trampling on alpine environments in central Tasmania. *Journal of Environmental Management*, 1999, 57(3): 205—220.
- [37] Gallet S, Roze F. Resistance of Atlantic Heathlands to trampling in Brittany: influence of vegetation type, season and weather conditions. *Biological Conservation*, 2001, 97(2): 189—198.
- [38] Roovers P, Verheyen K, Hermy M, *et al.* Experimental trampling and vegetation recovery in some forest and heathland communities. *Applied Vegetation Science*, 2004, 7: 111—118.
- [39] Arrowsmith C, Inbakaran R. Quantitative approach Estimating environmental resiliency for the Grampiana National Park, Victoria, Australia. *Tourism Management*, 2002, 23(3): 295—309.
- [40] Wang H X, Li G Z, Yu D M, *et al.* Barrier effect of litter layer on natural regeneration of forests: A review. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(1): 83—88.
- [41] Adkinson G P. Ecological impacts of Trail use in three Indiana Nature Preserves. *Terre Haute: Indiana State university*, 1991.
- [42] Young R A, Gilmore R. Effects of various camping intensities on soil properties in Illinois campgrounds. *Soil Science Society of America Journal*, 1976, 40: 908—911.
- [43] Gao C, Sun W H. Impacts of tourism on soil and plants in Chengde Mountain Resort. *Plants*, 2000, (2): 7—11.
- [44] Jiang W J, Zhu L X, Li J, *et al.* Study on the effect of tourism on the ecological environment of Mountain Emei and protective strategies. *Environmental Science*, 1996, 17(3): 49—53.

参考文献:

- [16] 李贞, 保继刚, 覃朝锋. 旅游开发对丹霞山植被的影响研究. *地理学报*, 1998, 53(6): 554~561.
- [17] 程占红, 张金屯. 天龙山旅游开发对植被的影响. *地理科学*, 2000, 20(2): 144~147.
- [18] 程占红, 张金屯. 不同距离带上旅游植被景观的特征差异. *山地学报*, 2003, 21(6): 647~652.
- [19] 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 I. 植被环境质量. *生态学报*, 2002, 22(10): 1765~1773.
- [20] 刘鸿雁, 张金海. 旅游干扰对香山黄栌林的影响研究. *植物生态学报*, 1997, 21(2): 191~196.
- [21] 管东生, 林卫强, 陈玉娟. 旅游干扰对白云山土壤和植被的影响. *环境科学*, 1999, (6): 6~9.
- [22] 朱珠, 包维楷, 庞学勇, 等. 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. *生物多样性*, 2006, 14(4): 284~291.
- [23] 吴甘霖, 黄敏毅, 段仁燕, 等. 不同强度旅游干扰对黄山松群落物种多样性的影响. *生态学报*, 2006, 26(12): 3924~3930.
- [24] 高贤明, 马克平, 陈灵芝, 等. 旅游对北京东灵山亚高山草甸物种多样性影响的初步研究. *生物多样性*, 2003, 10(2): 189~195.
- [25] 石强, 钟林生, 汪晓菲. 游客活动对张家界国家森林公园植物的影响. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 107~113.
- [26] 陈颀, 杨桂华. 旅游者践踏对生态旅游景区土壤影响定量研究——以香格里拉碧塔海生态旅游景区为例. *地理科学*, 2004, 24(3): 372~376.
- [27] 王金亮, 王平, 鲁芬, 等. 碧塔海景区旅游活动对湿地生态环境影响研究. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 101~108.
- [28] 石强, 雷相东, 谢红政. 旅游干扰对张家界国家森林公园土壤的影响研究. *四川林业科技*, 2002, 23(3): 28~33.
- [29] 王忠君, 蔡君, 张启翔. 旅游活动对云蒙山国家森林公园土壤影响的初步研究. *河北林业科技*, 2003, (5): 12~15.
- [30] 冯学钢, 包浩生. 旅游活动对风景区地被植物-土壤环境影响的初步研究. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 75~78.
- [31] 秦远好, 谢德体, 魏朝富, 等. 土壤生态环境对游憩活动冲击的响应研究. *水土保持学报*, 2006, 20(3): 61~65.
- [32] 毕淑峰. 黄山风景区的珍稀植物资源. *特种经济动植物*, 2004, (4): 19~20.
- [35] 《黄山土壤》编委会. *黄山土壤*. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998. 119.
- [40] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 等. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍. *生态学杂志*, 2008, 27(1): 83~88.
- [43] 高彻, 孙伟华. 旅游对避暑山庄土壤和植被的影响. *植物杂志*, 2000, (2): 7~11.
- [44] 蒋文举, 朱联锡, 李静, 等. 旅游对峨眉山生态环境的影响及保护对策. *环境科学*, 1996, 17(3): 49~53.