

人为干扰对蒙顶山木荷次生林物种多样性及土壤理化性质的影响

张 荣¹, 李婷婷¹, 金 锁¹, 鱼舜尧¹, 王 宇¹, 李禹江¹, 齐锦秋^{1,2}, 郝建锋^{1,3}

(1. 四川农业大学 林学院, 四川 成都 611130; 2. 四川农业大学 木材工业与家具工程四川省教育厅重点实验室, 四川 成都 611130; 3. 四川农业大学 水土保持与荒漠化防治重点实验室, 四川 成都 611130)

摘要: 【目的】为了解旅游发展对生态环境的影响, 探究四川蒙顶山木荷 *Schima superba* 次生林群落对人为干扰的响应。【方法】在实地踏查的基础上, 采用典型样地法对经轻度干扰、中度干扰和重度干扰的蒙顶山木荷次生林群落物种多样性和土壤理化性质进行研究。【结果】①研究区共记录到维管植物 155 种, 隶属 72 科 115 属; ②人为干扰对该群落物种多样性水平产生负面影响, 随着扰动强度的增加, 物种丰富度指数 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 优势度指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 均降低; ③不同的土壤理化指标在不同干扰强度下具有不同的特征, 人为干扰显著降低了土壤含水量和全氮、全钾、有效磷和有机质质量分数 ($P < 0.05$), 增加了土壤容重, 对土壤全磷、速效钾、pH 没有显著影响 ($P > 0.05$); ④土壤全钾、含水量、有机质是影响木荷次生林群落物种多样性的最重要因素。【结论】人为干扰对木荷次生林物种多样性水平、土壤理化性质的影响是负向的。图 2 表 4 参 27

关键词: 森林生态学; 人为干扰; 物种多样性; 木荷; 土壤理化性质; 四川蒙顶山

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)05-0867-09

Effects of human disturbance on species diversity and soil physiochemical properties of *Schima superba* community in Mengding Mountain

ZHANG Rong¹, LI Tingting¹, JIN Suo¹, YU Shun Yao¹, WANG Yu¹, LI Yujiang¹, QI Jinqiu^{1,2}, HAO Jianfeng^{1,3}

(1. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China; 2. Wood Industry and Furniture Engineering Key Laboratory of Sichuan Provincial Department of Education, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China; 3. Key Laboratory of Soil & Water Conservation and Desertification Combating, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to explore the impact of tourist development on the ecological environment and to investigate the response of the secondary forest community of *Schima superba* to human disturbance in Mengding Mountain, Sichuan Province. [Method] The species diversity and soil physiochemical properties of *S. superba* community with mild, moderate and severe human disturbance were studied using typical plot sampling. [Result] (1) A total of 155 species of vascular plants were recorded in the study area, belonging to 72 families and 115 genera. (2) Human disturbance had a negative impact on the level of species diversity in the community. With the increase of disturbance intensity, the species richness index (D), the Shannon-Wiener diversity index (H), the Simpson diversity index (H') and the Pielou index (J_{sw}) of *S. superba* community all decreased. (3) The soil physiochemical properties varied under different disturbance

收稿日期: 2019-09-20; 修回日期: 2020-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31370628); 四川省教育厅一般项目 (15ZB0020); 四川农业大学“双支”计划项目 (03571838)

作者简介: 张荣, 从事森林生态学研究。E-mail: 987179246@qq.com。通信作者: 郝建锋, 副教授, 博士, 从事森林生态学研究。E-mail: haojf2005@aliyun.com

intensity. Human disturbance significantly reduced soil water content, total nitrogen, total potassium, available phosphorus, and soil organic matter mass fraction ($P < 0.05$), increased soil bulk density value, and had no significant effect on soil total phosphorus, available potassium and pH ($P > 0.05$). (4) Correlation studies showed that soil total potassium, water content and organic matter were the most important factors affecting the species diversity of *S. superba* community. [Conclusion] The impact of human disturbance on the biodiversity and soil physicochemical properties of *S. superba* community is negative. [Ch, 2 fig. 4 tab. 27 ref.]

Key words: forest ecology; human disturbance; species diversity; *Schima superba*; soil physicochemical properties; Mengding Mountain in Sichuan

森林的生物多样性是许多生态系统服务的基础,生态系统服务通过供应服务、调节服务、支持服务、文化服务等多种方式为人类的生活提供物质及精神需求,自然资源基础和生态系统服务的稳定与持续是地球上生物生存的基础,人类也不例外^[1-2]。生物多样性的组成部分——物种多样性能够综合并且准确地评价植物群落生态系统基本特征和功能^[3-4]。土壤作为一种重要的自然资源^[5],不仅影响植被的发生、发育和演替,而且对植物群落结构和功能影响较大,是衡量退化生态系统功能恢复与维持的关键所在^[6-7]。物种多样性与土壤的关系错综复杂,类似于一种双向互动的反馈机制^[8],因此,研究物种多样性与土壤理化性质的变动趋势有助于了解群落生态系统功能,认识群落的发展趋势。地球上80%的陆地生态系统都受到了来自人类或自然的各种干扰^[9],人类活动是作用于自然生态系统的一种重要干扰形式,通过改变生境条件而影响物种动态,从而影响生物多样性^[10]。干扰生态研究虽然开展较早,研究内容也较多,但目前仍然是生态学研究的核心问题和国际热点之一^[4,9-12]。研究人为干扰对次生林生态系统结构与功能的影响机制,对进一步认识森林生态系统演替过程中人类干扰的适应机制具有重要的理论和指导意义。四川省蒙顶山是中国茶文化的发祥地之一,也是历史上著名的贡茶产区^[13]。作为四川首批省级风景名胜区,在旅游业发展的同时,也加剧了当地环境保护与土地利用的矛盾,给生态环境带来了一定的影响。目前,有关蒙顶山的研究大多涉及茶园土壤的微量元素空间变异性^[14-15],关于人为干扰对植物群落影响的综合研究尚无先例。本研究以四川省雅安市蒙顶山风景区木荷 *Schima superba* 次生林为研究对象,研究不同强度人为干扰下群落物种多样性和土壤理化性质,分析该群落不同层次对人为干扰的生态响应。此外,还探究了该条件下物种多样性与土壤理化性质之间的关系,以为该旅游区的木荷次生林群落生态功能保护以及蒙顶山风景区的良性发展和科学经营提供依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

蒙顶山(30°04'47"~30°04'59"N, 103°02'50"~103°02'57"E)位于四川省西部,雅安市名山县境内,距县城西北约6 km,总面积54 km²,山体呈西南—东北走向,地质构造为川西沉降褶皱带,最高海拔1456 m;属亚热带季风气候,年平均气温13.5℃,全年日照时数1000.0 h左右,年降水量≥1800.0 mm,气候温和,阴天光照时间少,空气水分含量多;土壤为砂岩发育而成的黄壤和酸性紫色土。森林覆盖率达90%,其中有珙桐 *Davidia involucrata* 和红豆杉 *Taxus chinensis* 等珍稀树种。研究区位于低山茶园区附近,整体上属于亚热带湿润季风气候常绿阔叶林,主要为木荷 *Schima superba* 次生林。蒙顶山风景区得到深度开发,旅游业进一步发展。人为活动包括景区管理进行的选择性采伐、景区游客的踩踏、折枝采叶,当地居民采挖野菜、野炊、樵采等。

1.2 试验设计

1.2.1 样地选择与设置 本研究在充分踏查的基础上,根据研究区域内距离茶园以及游径远近,参照鲁庆彬等^[16]和郝建锋等^[1]对干扰强度的划分方法,将干扰强度划分为3个等级(表1),即轻度干扰:样地距茶园及游道≥600 m,无旅游活动,人类活动痕迹近乎于无,只有轻微的扰动;中度干扰:样地距茶园及游道300~600 m,游客较少,偶见少量旅游垃圾,草本层植物被轻微踩伤;重度干扰:样地距茶园及游道<300 m,游客量大,人类活动痕迹明显,旅游垃圾较多,草本层植被受到严重踩踏。

表 1 蒙顶山木荷次生林样地概况

Table 1 General characteristics of the sample plot of *S. superba* secondary forest in Mengding Mountain

样地	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	平均胸径/cm	平均高/m	密度/(株·hm ⁻²)	郁闭度	干扰强度
1	1 180	22	SE63	9.6	7.8	1 500	0.9	轻度
2	1 185	25	SW53	14.3	10.1	1 250	0.8	轻度
3	1 181	23	SW69	11.8	9.4	1 400	0.9	轻度
4	1 183	22	SW53	12.7	9.1	1 350	0.9	轻度
5	1 231	24	SW51	11.7	9.3	1 350	0.8	中度
6	1 236	27	SW64	19.0	11.4	900	0.8	中度
7	1 233	26	SW46	14.1	9.7	1 275	0.7	中度
8	1 239	27	SW64	15.1	9.9	1 150	0.8	中度
9	1 283	25	SW63	15.3	13.2	1 175	0.8	重度
10	1 287	24	SW49	17.7	15.7	1 175	0.7	重度
11	1 291	26	NW52	11.6	10.4	1 300	0.7	重度
12	1 285	27	SW49	16.7	12.7	1 250	0.8	重度

采用典型样地法，在每个梯度中，分别设置 4 个 20 m × 20 m 的典型样地，共 12 块。采取相邻格子法在每个典型样地内设置 4 个乔木样方，面积为 10 m × 10 m，采取对角线法在每个典型样地内设置 6 个灌木样方、12 个草本样方，面积分别为 5 m × 5 m 和 1 m × 1 m，共计样方 264 个。在野外调查时，准确记录每个典型样地的海拔、坡度、坡向等环境因子特征，并且对乔木树种每木检尺，分别记录所有树高 ≥ 3 m 的乔木物种名称、数量、株高、冠幅和胸径，灌木物种 (包括 < 3 m 的乔木幼苗及幼树) 和草本物种的名称、数量、高度和盖度；同时每个样地内按照“S”型取样法选取 5 个的土样点，去除地表凋落物及腐殖层后，再取 0~20 cm 深度土层土样并混合，每个样地取鲜土样 2 kg 左右。混合土样带回实验室放置于阴凉通风处晾干 (切忌太阳暴晒)，取风干土样除杂后，采用对角线四分法选取一部分风干去杂土壤，研磨后使其通过 2.000 和 0.149 mm 孔径筛。将过筛的不同土壤样品混匀装袋、密封标记、保存，用于测定其后续化学指标。

1.2.2 数据处理 运用软件 Excel 2016 和 SPSS 22.0 对数据进行统计处理，采用单因素方差分析法和最小显著差异法 (LSD) 进行检验分析。检验蒙顶山木荷次生林群落在各干扰程度下物种多样性指数、土壤理化指标的差异显著性 ($P = 0.05$)；运用 SPSS 22.0 软件中的 Correlation analysis 分析土壤理化性质与物种多样性之间的相关性；使用 Origin 9.1 作图。

1.2.3 物种多样性测定 在重要值和多样性指数标示的植物群落中，物种多样性可以被动态化^[17]，其中盖度可以目测直接得出或者使用卷尺量出。重要值 (V_i) 计算方法如下：乔木层 $V_{i乔} = (\text{相对密度} + \text{相对显著度} + \text{相对频度})/3 \times 100\%$ 。灌木层 $V_{i灌}$ (草本层 $V_{i草}$) = (相对密度 + 相对盖度 + 相对频度)/3 × 100%。

参照方精云等^[17]对植物群落调查样地的设置原则和体系，选取以下测度指标：物种丰富度指数 (D)、Shannon-Wiener 多样性指数 (H)、Simpson 优势度指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 4 个指标测定群落物种多样性。物种丰富度指数 (D)：用相对物种丰富度来表示 $D = S$ 。Simpson 优势

度指数： $H' = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$ 。Shannon-Wiener 多样性指数： $H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ 。Pielou 均匀度指数： $J_{sw} = \frac{- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S}$ 。其中： $P_i = n_i/n$ 。 n_i 为第 i 个物种的个体数； n 为所有物种的总个体数； $i = 1, 2, 3, \dots$ ；

S 为样地中物种的总数。

1.2.4 土壤理化指标测定 所有选定的指标在测定过程中均参照国家林业行业标准^[18]，其中：土壤全氮参考半微量凯氏定氮法测定；全磷采用碱熔-钼锑抗比色法测定；全钾采用酸溶-火焰光度计法测定；有效磷采用盐酸-硫酸浸提法测定；速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度计法测定；土壤有机质采用重铬酸钾-硫酸溶液氧化法测定；土壤含水量采用烘干法测定；土壤容重采用环刀法测定，测定的是单位体积内烘干土的质量；pH 值采用电位法测定。

2 结果与分析

2.1 人为干扰对蒙顶山木荷次生林物种多样性的影响

2.1.1 科属种组成分析 在调查的 264 个样方中共记录到维管植物 155 种, 隶属 115 属 72 科。不同群落层次的物种组成不同, 其中乔木层有 47 种, 隶属 24 科 33 属, 以虎皮楠科 *Daphniphyllaceae*、樟科 *Lauraceae*、山茱萸科 *Cornaceae*、山茶科 *Theaceae* 植物为主; 灌木层有 43 种, 隶属 19 科 26 属, 以山茶科、冬青科 *Aquifoliaceae*、忍冬科 *Caprifoliaceae* 植物居多; 草本层有 65 种, 隶属 38 科 59 属, 以荨麻科 *Urticaceae*、龙胆科 *Gentianaceae*、葡萄科 *Vitaceae*、蔷薇科 *Rosaceae* 等为主。可见草本层对该群落物种多样性贡献最大, 乔木层和灌木层随其后。在不同强度人为干扰下, 蒙顶山木荷次生林群落物种组成各有差异 (图 1)。轻度干扰样地有 108 种植物, 隶属 88 属 64 科, 中度干扰样地有 66 种植物, 隶属 57 属 43 科, 重度干扰样地有 59 种植物, 隶属 52 属 40 科。随着干扰强度的增加, 物种数、属数和科数均降低。方差分析表明: 乔木层各样地出现的物种数、属数、科数在中度和重度干扰下显著降低 ($P < 0.05$), 灌木层各样地出现的科数、属数表现为中度干扰下最低, 灌木层出现的种数与草本层的科属种数在 3 个干扰强度下差异不显著 ($P > 0.05$)。可以看出: 尽管每个样地出现的物种数差异不显著, 但是物种种类从多到少却表现为轻度干扰、中度干扰、重度干扰。

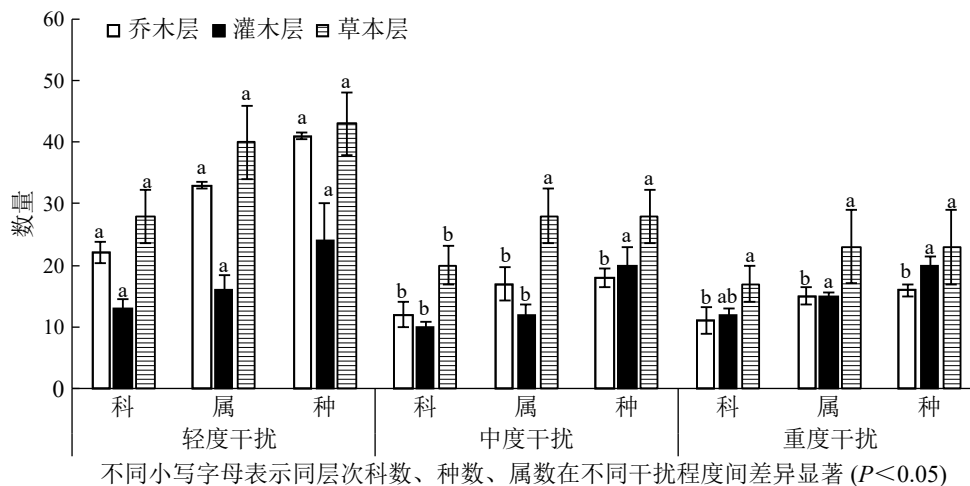


图 1 不同人为干扰强度和群落层次的科、属、种数量

Figure 1 Number of family, genus, species in different layers of community under different disturbance

2.1.2 植物群落多样性特征分析 长期和持续的人为干扰改变了生态系统的多样性。总体上看, 木荷次生林群落的 4 组多样性指数值随着人为干扰强度的增加而降低 (图 2)。重度干扰样地位于茶园和游道小径附近, 旅游观光活动频繁, 人为干扰会对栖息地造成严重损害, 一些耐受性较差的物种因不适应剧烈的生境变化而被排除淘汰, 所以物种丰富度指数 (D) 最低; 轻度干扰样地距离茶园游径最远, 几乎不受干扰影响, 所以丰富度最高; Shannon-Winner 多样性指数 (H) 与 D 的变化趋势一致, 表现为在重度干扰下最低, 中度干扰次之, 轻度干扰最高; 重度干扰下乔木层和灌木层的 Simpson 优势度指数 (H') 显著 ($P < 0.05$) 降低, 草本层的 H' 在各干扰类型中差异不显著, 原因可能是重度干扰群落遭受人为破坏严重, 因为樵采、践踏行为造成林下小环境的严重改变, 而草本层优势物种抗干扰能力强, 使得草本个体数增加, 轻度和中度干扰下群落各层次 H' 差距轻微, 说明群落虽受到人为干扰但相对影响较小。Pielou 均匀度指数 (J_{sw}) 反映群落中物种分布的均匀性, 由 H 和 D 共同决定。一般 H 和 D 越大, J_{sw} 值越大。轻度和中度干扰下群落的 J_{sw} 较大, 所以其 H 和 D 都较大; 重度干扰下群落的 H 和 D 最小, 因此重度干扰下群落的 J_{sw} 最小, 说明重度干扰倾向于使物种在栖息地中分布趋向不均匀。从以上结果可以看出: 随着人为干扰强度的增加, 群落物种多样性水平总体呈下降趋势, 从大到小依次为轻度干扰、中度干扰、重度干扰, 说明人为干扰对该群落物种多样性的影响是负面的、劣化的。

2.1.3 重要值分析 重要值全面量化了物种在森林群落中的作用和地位, 可以确定群落中的占主导地位的主要优势种^[1,19]。本研究结果表明: 不同强度的人为扰动会干扰木荷次生林群落物种整体水平 (表 2)。

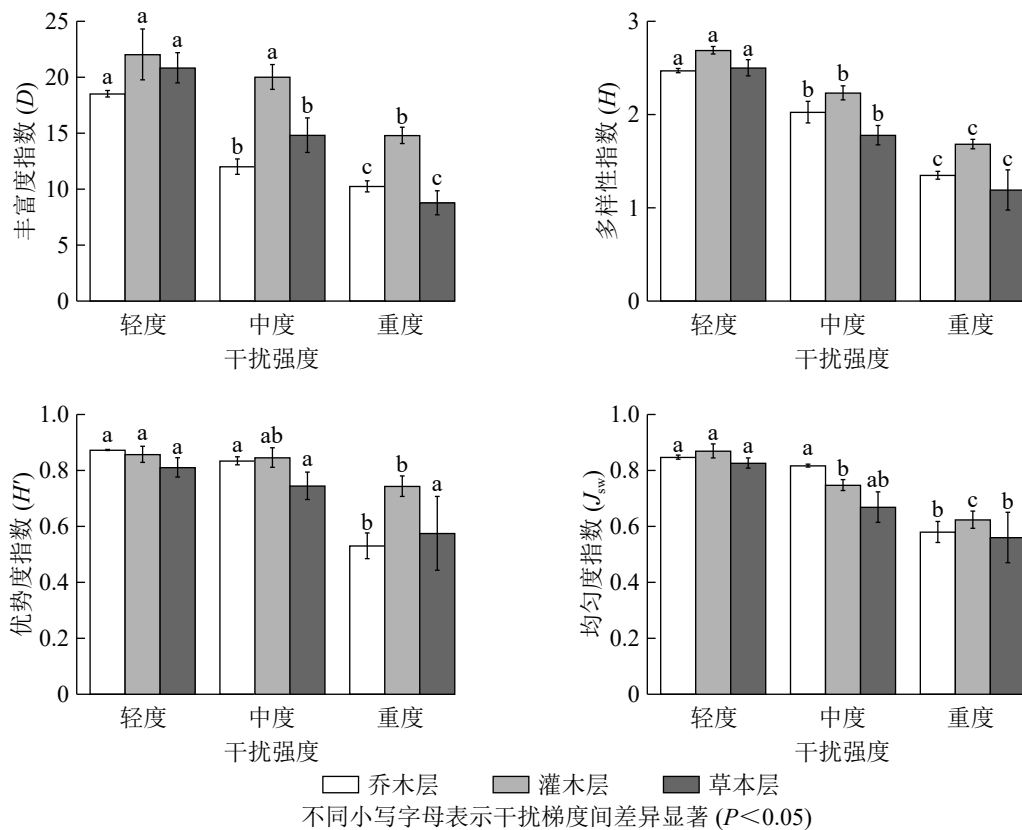


图 2 不同强度人为干扰下木荷次生林群落的物种多样性指数

Figure 2 Species diversity of *S. superba* community under different level of disturbance

表 2 木荷次生林各层次物种及其重要值

Table 2 Importance values of species in different layers of *S. superba* secondary forest community

层次	干扰强度	优势种及其重要值
乔木层	轻度	木荷(0.188 5)+黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i> (0.066 4) +灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i> (0.058 5)+枫香 <i>Liquidambar formosana</i> (0.056 4)+润楠 <i>Machilus pingii</i> (0.042 9)
	中度	木荷(0.253 8)+峨眉鹅耳枥 <i>Carpinus omeiensis</i> (0.141 6)+山矾 <i>Symplocos sumuntia</i> (0.131 2)+刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i> (0.116 8)+青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (0.056 8)
	重度	木荷(0.494 7)+润楠(0.132 1)+杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.060 0)+青冈(0.049 8)+麻栎 <i>Quercus acutissima</i> (0.046 6)
灌木层	轻度	茶 <i>Camellia sinensis</i> (0.133 6)+深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> (0.102 6) +冬青(0.090 6)+杉木(0.087 1)+山茶 <i>Camellia japonica</i> (0.082 0)
	中度	茶(0.178 5)+冬青 <i>Ilex chinensis</i> (0.124 8)+忍冬 <i>Lonicera japonica</i> (0.111 6) +杉木(0.074 3)+异叶榕 <i>Ficus heteromorpha</i> (0.073 8)
	重度	冬青(0.174 5)+茶(0.102 8)+杉木(0.087 7)+水竹 <i>Phyllostachys heteroclada</i> (0.087 4)+深山含笑(0.068 8)
草本层	轻度	山冷水花 <i>Pilea japonica</i> (0.152 3)+乌菝莓 <i>Cayratia japonica</i> (0.071 1)+峨眉双蝴蝶 <i>Tripterosperrum cordatum</i> (0.060 1) +鸢尾 <i>Iris tectorum</i> (0.058 3) +糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i> (0.049 4)
	中度	大叶金腰 <i>Chrysosplenium macrophyllum</i> (0.171 0)+糙苏(0.131 3)+玉簪 <i>Hosta plantaginea</i> (0.100 0)+绞股蓝 <i>Gynostemma pentaphyllum</i> (0.075 6) +山冷水花(0.057 3)
	重度	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i> (0.267 7)+山冷水花(0.179 0)+里白 <i>Hicriopteris glauca</i> (0.123 7) +石竹 <i>Dianthus chinensis</i> (0.047 0) +渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i> (0.045 8)

在乔木层中，木荷在各干扰程度下重要值明显高于其他物种，是绝对优势种，其重要值在轻度干扰下为 0.188 5，重度干扰下其值上升至为 0.494 7，说明人为干扰影响了物种组成，使其急剧变化。这是由于人工选择性地剔除其他树种，致使其他树种竞争能力下降。居于其次的润楠及杉木重要值升高，说明润楠、杉木在该重度干扰环境下适生能力强，具有适应恶劣干扰环境的能力。灌木层中，茶、杉木重要值较高，冬青重要值随干扰强度增加而增大，说明冬青抗逆性、适应性强。草本层中，山冷水花在三强

度干扰下都属于优势种。随着干扰强度增大,伴随画眉草等植物的出现,诸如乌莓、玉簪等植物的重要值降低或消失。总体而言,受不同强度干扰的群落中同一物种的优势度不同,不同植物对环境的适应性也不同。此外,在乔木层和灌木层中常见杉木、润楠、青冈等乡土树种,说明这些树种具有潜在的天然更新能力。

2.2 人为干扰对蒙顶山木荷次生林土壤理化性质的影响

土壤是植物生长发育的重要基础,土壤理化指标可以表征土壤肥力与质量^[20]。表3表明:不同的土壤理化指标在不同干扰强度下具有不同的变化特征。土壤全氮、全钾、有效磷、有机质、含水量从大到小均表现为轻度干扰、中度干扰、重度干扰,且轻度干扰下指标值显著高于重度干扰下指标值($P < 0.05$);土壤pH为3.96~4.10,均呈较强酸性,各干扰强度间无显著差异($P > 0.05$);土壤全磷、速效钾质量分数在各干扰强度下无显著差异($P > 0.05$);速效钾质量分数在重度干扰下呈较高水平,这可能是由于野炊活动,将群落中枯枝落叶燃为灰烬,为土壤补充了元素钾。土壤容重是土壤紧实度和土壤结构的评价指标^[7]。本研究中重度干扰显著增加了土壤容重($P < 0.05$),主要是由于践踏压实土壤,导致土壤紧实度增加,使得土壤容重变大,土壤结构性发生改变。

表3 人为干扰对蒙顶山木荷次生林土壤理化性质的影响

Table 3 Effects of human disturbance on the soil physicochemical of *S. superba* secondary forest in Mengding Mountain

干扰强度	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	含水量/ %	pH	容重/ (g·cm ⁻³)
轻度	2.81±0.11 a	3.74±0.09 a	13.21±0.70 a	8.83±0.76 a	130.8±20.43 a	79.29±2.48 a	43.66±0.68 a	4.10±0.02 a	1.04±0.02 a
中度	1.86±0.13 b	3.57±0.16 a	12.51±0.94 a	5.18±0.04 b	94.33±5.46 a	49.98±6.87 b	25.38±0.24 b	3.96±0.02 a	1.01±0.04 a
重度	1.73±0.06 b	3.62±0.02 a	9.19±0.18 b	4.35±0.32 b	101.23±7.67 a	37.64±0.04 b	17.81±0.51 c	4.10±0.02 a	1.21±0.06 b

说明:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.3 群落物种多样性与土壤理化性质的相关性分析

为进一步研究人为干扰对木荷次生林群落物种多样性和土壤因子之间的关系,采用Pearson相关系数法将土壤主要指标与乔木、灌木、草本3层的各4组物种多样性指数进行简单的相关分析(表4),结果表明:土壤全氮、有效磷与乔灌木3层的香农多样性指数 H 、物种丰富度指数 D 均呈极显著相关($P < 0.01$),与灌木层和草本层的优势度指数 H' 的相关性不显著($P > 0.05$),与其余多样性指数均呈显著相关($P < 0.05$);土壤全磷、速效钾、pH与各多样性指数的相关性不显著($P > 0.05$);土壤含水量及有机质与除灌木、草本的优势度指数 H' 外的其余所有多样性指数均呈极显著相关($P < 0.01$);全钾质量分数与乔木层多样性指数 H 、 H' 、 J_{sw} ,灌木层多样性指数 H 、 D 、 J_{sw} 和草本层多样性指数 H 值均呈极显著

表4 人为干扰下群落物种多样性和土壤理化性质的相关性

Table 4 Correlation between species diversity index and soil physicochemical properties under the human disturbance

结构	指数	全氮	全磷	全钾	有效磷	速效钾	有机质	土壤含水量	pH	土壤容重
乔木	H	0.79**	0.20	0.84**	0.78**	0.40	0.88**	0.92**	-0.09	-0.61*
	H'	0.57*	0.09	0.81**	0.59*	0.29	0.71**	0.74**	-0.28	-0.65*
	D	0.93**	0.33	0.64*	0.88**	0.49	0.94**	0.96**	0.24	-0.43
	J_{sw}	0.60*	0.08	0.87**	0.63*	0.27	0.73**	0.78**	-0.31	-0.68*
灌木	H	0.83**	0.18	0.78**	0.85**	0.34	0.86**	0.93**	-0.11	-0.61*
	H'	0.51	-0.07	0.56*	0.53	-0.12	0.60*	0.54	-0.25	-0.61*
	D	0.71**	-0.01	0.79**	0.76**	0.11	0.77**	0.80**	-0.22	-0.64*
	J_{sw}	0.84**	0.24	0.76**	0.85**	0.42	0.86**	0.94**	-0.07	-0.57*
草本	H	0.81**	0.29	0.77**	0.78**	0.52	0.89**	0.92**	0.04	-0.48
	H'	0.36	0.02	0.51	0.36	0.28	0.50	0.48	-0.01	-0.34
	D	0.78**	0.38	0.68*	0.77**	0.51	0.82**	0.88**	-0.08	-0.63*
	J_{sw}	0.65*	0.18	0.67*	0.61*	0.48	0.75**	0.75**	0.13	-0.26

说明: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$

正相关 ($P < 0.01$)；土壤有效磷质量分数与乔木层 4 组多样性指数均呈显著或极显著正相关，与灌木层多样性指数 H 、 D 、 J_{sw} 均呈极显著正相关 ($P < 0.01$)，与草本层多样性指数 H 呈极显著正相关 ($P < 0.01$)；土壤容重与各层次多样性指数均呈负相关关系，其中，与灌木层 4 组多样性指数、草本层丰富度指数和乔木层 H 、 H' 、 J_{sw} 呈显著负相关 ($P < 0.05$)。可以看出：土壤容重与灌木层、乔木层植物多样性关系密切；土壤全磷、速效钾、pH 与各多样性指数的相关不显著 ($P > 0.05$)。

3 结论与讨论

物种多样性是生物多样性的重要组成部分，可综合判断生物群落结构变化或生态系统的稳定性^[21-22]。物种多样性变化与生境紧密相关，生物因子尤其是人为干扰对植物物种多样性的改变影响颇大^[23]。本研究中，人为干扰对物种多样性造成了一定的影响：木荷次生林群落的 4 组多样性指数值 (D 、 H 、 H' 和 J_{sw}) 均表现为随着人为干扰强度的增加而降低，群落物种多样性整体水平呈下降趋势，说明人为干扰对木荷次生林群落的物种多样性的影响是负向的。这与许多研究^[10-11,24-25] 提出的“中度干扰假说”理论不一致。群落物种组成变化是物种适应性和群落环境变化共同作用的结果^[4]，随着干扰强度的增加，木荷次生林群落中物种丰富度显著降低，物种组成单一化，对于群落稳定和生态平衡有百害而无一利，这同张潇月等^[4] 的观点相符。对重要值的研究表明：木荷一直是乔木层的主导性优势种，在轻度干扰下，木荷重要值为 0.188 5，中度干扰下该值为 0.253 8，而在重度干扰下，木荷的重要值上升至 0.494 7。这说明重度干扰下木荷是占绝对主导地位的优势种，可能是由于重度干扰下，人类择伐行为多，人们有选择性地对木荷进行保护而伐掉其他树种，同时也与树种的适应能力有关；在林分中鲜有木荷的幼苗，可能是由于持续的、日趋严重的人为干扰，导致其天然再生及自然更新能力全面降低甚至是丧失；此外，在重度干扰下，乔木层和灌木层中常见杉木、青冈等乡土树种及其幼苗，说明这些树种具有潜在的天然更新能力且能适应人为干扰所引起的环境变化。在该地区的生态恢复中，可加强上述类群的栽植与管理。

土壤是影响植物群落环境的重要因素，一直是生态学的研究重点^[1]。人为干扰不仅影响蒙顶山木荷次生林的物种组成和物种多样性，还影响生态系统的土壤理化性质。本研究中，土壤容重在轻度和中度干扰下差距较小，但显著低于重度干扰下的值，这与姚俊宇等^[25] 的研究结果相似，主要是由于踩踏行为使得土壤紧实度增加，从而增加了土壤容重；人为干扰后土壤含水量呈显著下降趋势，主要是由于樵采、践踏等行为导致地表的裸露程度增大，地表蒸发随之增大，土壤水分不易保持，呈下降趋势。同时，由于容重升高，土壤变得紧实，土壤入渗能力降低，所以土壤含水量降低，这与许多研究结果相一致^[4,23,25]；关于土壤养分含量的变化，各研究结论不一。巩劼等^[26] 研究表明：随旅游干扰强度的增加，土壤全钾含量增加，而有机质、全磷、全氮含量下降；姚俊宇等^[25] 研究表明：全氮、有机质、全钾、有效磷、速效钾在中度干扰下最大；AWOTOYE 等^[27] 研究采伐对土壤性质的影响，发现土壤有机质、有效磷、全氮、可交换钾等这些土壤特性在人为干预程度最强下具有很高的劣化值。本研究中，土壤全氮、全钾、有机质质量分数从高到低均表现为轻度干扰、中度干扰、重度干扰，且轻度干扰下的指标值显著高于重度干扰下的指标值；土壤全磷质量分数在各干扰强下无显著变化，可能是由于磷素是一种沉积性元素，由成土母质和形成条件共同决定，以一种较稳定的形式存在于土壤中，且不易流失^[23]；土壤速效钾在重度干扰下有上升趋势，可能是由于野炊行为对土壤进行高温灼烧，植物灰分在雨水作用下进入土壤，但人为践踏压实土壤后渗透性下降，使得钾淋失量减少^[26]。总的来看，人为干扰对木荷次生林土壤理化性质的影响是负向的，群落有逆向演替趋势。

土壤理化性质与森林群落物种多样性间关系复杂，土壤变化可以引起植物物种的发生与变化，而植被的演替也会反作用于土壤。本研究中，人为干扰劣化土壤理化性质，对土壤—植物系统有不利影响。据 Pearson 相关性分析，乔木层 4 组多样性指数与土壤有机质、含水量均呈极显著正相关关系；灌木层多样性指数与土壤容重、全钾、有机质质量分数相关性最高；草本层多样性指数与有机质、含水量相关性最大。这表明土壤容重、全钾、含水量、有机质质量分数对木荷次生林群落植被多样性发展产生了较大影响。这为本地区森林质量的有效经营管理提供了重要思路。

据此，人为干预如砍伐、踩踏、野炊等行为不利于木荷次生林整体功能体系的稳定和发展，降低了

木荷次生林群落的多样性水平和林下土壤理化性质水平,也大大降低了该次生林生态系统的稳定性。因此,需要尽快采取措施恢复植被,提升地力:加强景区的森林采伐管理,对杉木、青冈等幼苗进行必要的培育和管理;实行混合栽植造林,提高群落物种的多样性;控制游客的旅游干扰和当地居民的生产活动频率和强度,改善土壤结构;最终营造物种多样性高、群落结构稳定、整体功能好的森林环境。

4 参考文献

- [1] 郝建锋,王德艺,李艳,等.人为干扰对川西金凤山楠木次生林群落结构和物种多样性的影响[J].生态学报,2014,34(23):6930-6942.
HAO Jianfeng, WANG Deyi, LI Yan, *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Phoebe zhennan* communitis in Jinfengshan Mountain in western Sichuan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, 34(23): 6930-6942.
- [2] PAN Yude, MCCULLOUGH K, HOLLINGER D Y. Forest biodiversity, relationships to structural and functional attributes, and stability in New England forests [J]. *For Ecosyst*, 2018, 5(2): 177-188.
- [3] 马克平.生物多样性与生态系统功能的实验研究[J].生物多样性,2013,21(3):247-248.
MA Keping. Studies on biodiversity and ecosystem function via manipulation experiments [J]. *Biodiversity Sci*, 2013, 21(3): 247-248.
- [4] 张潇月,齐锦秋,张柳桦,等.人为干扰对金马河温江段护岸林物种多样性和土壤理化性质的影响[J].植物研究,2019,39(1):78-86.
ZHANG Xiaoyue, QI Jingqiu, ZHANG Liuhua, *et al.* Effects of human disturbance on species diversity and soil physical and chemical properties of revetment forest in Wenjiang Section of the Jinma River [J]. *Bull Bot Res*, 2019, 39(1): 78-86.
- [5] SANTANGELI A, WISTBACKA R, HANSKI I K, *et al.* Ineffective enforced legislation for nature conservation: a case study with Siberian flying squirrel and forestry in a boreal landscape [J]. *Biol Conserv*, 2013, 157(4): 237-244.
- [6] 陆林,巩劫,晋秀龙.旅游干扰对黄山风景区土壤的影响[J].地理研究,2011,30(2):210-221.
LU Lin, GONG Jie, JIN Xiulong, *et al.* Impacts of tourist disturbance on soil in Huangshan Mountain scenic area [J]. *Geogr Res*, 2011, 30(2): 210-221.
- [7] 何海洋,龙凯旋,唐永彬.人为干扰对雅安莲花山马尾松人工林群落结构和物种多样性的影响[J].四川林业科技,2018,39(4):59-63.
HE Haiyang, LONG Kaixuan, TANG Yongbin. Effects of human disturbance on community structure and species diversity of *Pinus massoniana* plantation forest in the Lotus Mountain [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2018, 39(4): 59-63.
- [8] JOHNSTON J M, CROSSLEY D. Forest ecosystem recovery in the southeast US: soil ecology as an essential component of ecosystem management [J]. *For Ecol Manage*, 2002, 155(1/3): 187-203.
- [9] 朱教君,刘足根.森林干扰生态研究[J].应用生态学报,2004,15(10):1703-1710.
ZHU Jiaojun, LIU Zugen. A review on disturbance ecology of forest [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(10): 1703-1710.
- [10] de BACKER A, van HOEY G, COATES D, *et al.* Similar diversity-disturbance responses to different physical impacts: three cases of small-scale biodiversity increase in the Belgian part of the North Sea [J]. *Mar Poll Bull*, 2014, 84(1/2): 251-262.
- [11] MAYOR S J, CAHILL J F, HE F, *et al.* Regional boreal biodiversity peaks at intermediate human disturbance [J]. *Nat Commun*, 2012, 3(4): 1-6.
- [12] MASON S M, NEWSOME D, MOORE S A, *et al.* Recreational trampling negatively impacts vegetation structure of an Australian biodiversity hotspot [J]. *Biodiversity Conserv*, 2015, 24(11): 2685-2707.
- [13] 张锡洲,李廷轩.试论蒙山旅游的多功能性[J].四川农业大学学报,2000,18(1):76-79.
ZHANG Xizhou, LI Tingxuan. Versatility of tourism of Mengshan [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2000, 18(1): 76-79.
- [14] 廖桂堂,李廷轩,王永东,等.不同尺度下低山茶园土壤主要微量元素的空间变异性[J].土壤,2008,40(2):257-263.
LIAO Guitang, LI Tingxuan, WANG Yongdong, *et al.* Spatial variability of main trace elements in tea plantation soils on low mountain on different scales [J]. *Soils*, 2008, 40(2): 257-263.
- [15] 王永东,李廷轩,张锡洲,等.不同尺度下低山茶园土壤钾素含量空间变异特征[J].土壤通报,2008,39(2):309-314.
WANG Yongdong, LI Tingxuan, ZHANG Xizhou, *et al.* Spatial variability of the content of potassium in hilly tea plantation soils with different sampling scales [J]. *Chin J Soil Sci*, 2008, 39(2): 309-314.

- [16] 鲁庆彬, 游卫云, 赵昌杰, 等. 旅游干扰对青山湖风景区植物多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(2): 295 – 302.
LU Qingbin, YOU Weiyun, ZHAO Changjie, *et al.* Effects of tourism disturbance on plant diversity in Qingshan Lake scenic area of Zhejiang Province [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(2): 295 – 302.
- [17] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, **17**(6): 533 – 548.
FANG Jingyun, WANG Xiangping, SHEN Zehao, *et al.* Methods and protocols for plant community inventory [J]. *Biodiversity Sci*, 2009, **17**(6): 533 – 548.
- [18] 中国林业科学研究院. 森林土壤分析方法: LY/T 1213~1239—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [19] 吕倩, 尹海锋, 何朋俊, 等. 马尾松人工林目标树经营初期对土壤理化性质与植物多样性的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2018, **24**(3): 500 – 507.
Lǚ Qian, YIN Haifeng, HE Pengjun, *et al.* Effects of early management of *Pinus massoniana* plantation target trees on soil physicochemical properties and plant diversity [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2018, **24**(3): 500 – 507.
- [20] GAYLOR M O, MEARS G L, HARVEY E, *et al.* Polybrominated diphenyl ether accumulation in an agricultural soil ecosystem receiving wastewater sludge amendments [J]. *Environ Sci Technol*, 2014, **48**(12): 7034 – 7043.
- [21] POHL M, ALIG D, KÖRNER C, *et al.* Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems [J]. *Plant Soil*, 2009, **324**: 91 – 102.
- [22] 杨阳, 韩杰, 刘晔, 等. 三江并流地区干旱河谷植物物种多样性海拔梯度格局比较[J]. 生物多样性, 2016, **24**(4): 440 – 452.
YANG Yang, HAN Jie, LIU Ye, *et al.* A comparison of the altitudinal patterns in plant species diversity within the dry valleys of the Three Parallel Rivers region, northwestern Yunnan [J]. *Biodiversity Sci*, 2016, **24**(4): 440 – 452.
- [23] 李胜平, 王克林. 人为干扰对桂西北喀斯特山地植被多样性及土壤养分分布的影响[J]. 水土保持研究, 2016, **23**(5): 20 – 27.
LI Shengping, WANG Kelin. Effect of human disturbance on soil nutrients and plant diversity of grassland in karst mountain [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2016, **23**(5): 20 – 27.
- [24] 王媚臻, 齐锦秋, 魏丽萍, 等. 人为干扰对栲树次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2018, **26**(4): 355 – 362.
WANG Meizhen, QI Jingqiu, WEI Liping, *et al.* Effect of human disturbance on species diversity and soil physicochemical properties of *Castanopsis fargesii* secondary forest [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2018, **26**(4): 355 – 362.
- [25] 姚俊宇, 齐锦秋, 张柳桦, 等. 人为干扰对碧峰峡山矾次生林群落物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学杂志, 2018, **37**(10): 2942 – 2950.
YAO Junyu, QI Jingqiu, ZHANG Liuhua, *et al.* Effects of anthropogenic disturbance on species diversity and soil physicochemical properties of *Symplocos sumuntia* secondary forest in Bifengxia [J]. *Chin J Ecol*, 2018, **37**(10): 2942 – 2950.
- [26] 巩劼, 陆林, 晋秀龙, 等. 黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响[J]. 生态学报, 2009, **29**(5): 2239 – 2251.
GONG Jie, LU Lin, JIN Xiulong, *et al.* Impacts of tourist disturbance on plant communities and soil properties in Huangshan Mountain scenic area [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(5): 2239 – 2251.
- [27] AWOTOYE O O, EKANADE O, AIROUHUDION O O. Degradation of the soil physicochemical properties resulting from continuous logging of *Gmelina arborea* and *Tectona grandis* plantations [J]. *Afr J Agric Res*, 2009, **4**(11): 1317 – 1324.