

人为干扰对雅安莲花山青冈次生林 群落结构和物种多样性的影响

郝建锋^{1,2}, 张逸博¹, 王德艺³, 齐锦秋^{1,4}, 姚 娱¹,
李 艳¹, 朱云航¹, 姚小兰¹

(1 四川农业大学 林学院, 成都 611130; 2 水土保持与荒漠化防治重点实验室, 成都 611130; 3 中国科学院植物研究所, 北京 100093; 4 木材工业与家具工程重点实验室, 成都 611130)

摘 要: 以四川省雅安莲花山为研究区, 采用典型样地法分别调查轻度、中度和重度人为干扰对青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)次生林不同林分层次的物种组成、群落结构和物种多样性的影响。采用物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 优势度指数(H')和均匀度指数(J_{sw})来综合分析群落的物种多样性水平。结果表明: (1) 在总面积为 3 600 m² 的 9 个样地中, 共记录到维管束植物 161 种, 隶属于 83 科 134 属, 以禾本科(Gramineae)、樟科(Lauraceae)、壳斗科(Fagaceae)、山茶科(Theaceae)等植物为主。(2) 不同强度人为干扰下青冈次生林的群落结构不同, 受轻度和中度干扰的群落乔木层处于小径级(胸径 8 cm 以下)、低高度级(高度 3~7 m)的幼苗较多, 林分具有潜在的天然更新能力, 受重度干扰下群落乔木小径级、低高度级个体数少, 群落结构不稳定, 林分生产力低。(3) 不同强度人为干扰下青冈次生林群落重要值差异显著, 轻、中、重干扰下乔木层优势种数量差别不明显, 物种组成单一; 灌木层重度干扰下小果润楠(*Machilus microcarpa*)占据绝对优势地位; 草本层优势种在中度干扰下数量最多。(4) 随着人为干扰强度的增加, 青冈次生林群落的 S 、 H 、 H' 和 J_{sw} 降低, 群落物种多样性整体呈下降趋势。

关键词: 人为干扰; 青冈次生林; 群落结构; 物种多样性

中图分类号: Q948.15⁺7 **文献标志码:** A

Effects of Human Disturbance on Species Diversity of *Cyclobalanopsis glauca* Community in Lotus Mountain in Ya'an

HAO Jianfeng^{1,2}, ZHANG Yibo¹, WANG Deyi³, QI Jinqiu^{1,4},
YAO Yu¹, LI Yan¹, ZHU Yunhang¹, YAO Xiaolan¹

(1 College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2 Key Laboratory for Soil and Water Conservation and Desertification Control, Chengdu 611130, China; 3 Chinese Academy of Sciences Institute of Botany, Beijing 100093, China; 4 Wood Industry and Furniture Engineering, Sichuan Provincial Colleges and Universities Key Laboratory, Chengdu 611130, China)

Abstract: Using the Lotus Mountain as the study area, with typical plots methods, we investigated the species composition of different levels of stand structure, population structure and species diversity of *Cyclobalanopsis glauca* community under the slight, intermediate and severe human disturbances. The species richness index (S), Shannon-Wiener index (H), Simpson index (H') and Pielou index (J_{sw}) were adopted

收稿日期: 2015-02-01; 修改稿收到日期: 2015-04-27

基金项目: 国家自然科学基金(31370628); 国家“十二五”科技支撑计划(2011BAC09B05); 四川省教育厅一般项目(15ZB0020); 四川农业大学双支计划博士专项基金(00370401)

作者简介: 郝建锋(1972—), 男, 博士, 讲师, 主要从事生态学研究。E-mail: haojf2005@aliyun.com

to comprehensively evaluate the level of species diversity in *C. glauca* community. The results showed that: (1) a total of 161 vascular plant species belonging to 83 families and 134 genera were observed across the 9 explored plots within an area of 3 600 m², and Gramineae, Lauraceae, Fagaceae, Theaceae are the dominant plant; (2) plant communities vary under different degrees of human disturbance effects. Trees are mainly in low diameter class (diameter at breast height < 8 cm) and low height class (37 m) in arborous layer under sight and intermediate disturbances, suggesting a potential capacity of natural regeneration. Trees in low diameter and low height classes are rare under serious disturbance, and the community structure is unstable with a low primary productivity; (3) the important values vary significantly under different degrees of human disturbances, while dominant species show insignificant differences under these disturbances with a simple species composition *Machilus microcarpa* is the predominant species in shrub layer under severe disturbance, while herbaceous species are the dominant plants under intermediate disturbance; (4) S , H , H' , and J_{sw} decreased with the increases of human disturbance, indicating a decrease for plant biodiversity as a whole.

Key words: human disturbance; *Cyclobalanopsis glauca* community; population structure; species diversity

生物多样性是人类赖以生存和发展的物质基础^[1],通过影响生态系统的结构、动态进而影响生态系统功能和服务的发挥^[2-3]。物种多样性是生物多样性的的重要组成部分,直接或间接体现群落结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度、生境差异等^[4-5],可作为判断生物群落结构变化或生态系统稳定性的指标^[6-8],研究植物群落的物种多样性,有助于更好地认识群落的发展、演变趋势^[9],同时能够反映群落及其环境的保护状况。物种多样性与生态环境的关系已成为近年来生态学关注的热点问题^[10],而人为干扰被普遍认为是影响物种多样性的主要因素之一^[11]。

国内外关于人为干扰对物种多样性影响的研究已有很多^[10-14],但多集中在草原、湿地、城市及农业等景观类型^[6,13,15-16],对地球陆地生态系统中具有高生物生产力、生物量以及丰富的生物多样性的森林生态系统的研究较少^[17]。森林群落及其多样性是整个森林生态系统的重要组成,对生态系统功能和群落更新意义重大,已有研究表明人为干扰会导致环境变量发生改变,引起物种多样性空间分布重新配置^[10,12,18],但随着人为干扰强度的增加,森林群落物种组成具体会发生怎样的变化?群落各层次对同一强度干扰的反应是否相同?群落同一层次受到不同强度干扰时物种多样性的变化趋势是否一致?这些问题目前尚不清楚。

基于上述问题,本研究以雅安市莲花山青冈次生林群落为研究对象,探讨人为干扰对其物种组成、群落结构和物种多样性的影响,为实现该地区青冈次生林群落物种多样性保护、可持续经营,最大限度地发挥其生态价值、经济价值提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省雅安市的莲花山(30°06'16"~30°06'29"N,103°00'59"~103°00'92"E),四川盆地西部,成都平原西南边缘,主峰海拔约 1 200 m;地貌以高中山为主,基带土壤为山地黄壤。该地属亚热带季风气候,由于受山地海拔影响,垂直变化明显,具有从亚热带到永冻带的垂直气候,具有四季分明、冬无严寒、夏无酷暑、春迟秋早等特点;年均气温 14.1℃,年极端平均最低温度 -5.7℃,年极端平均最高温度 35.3℃,大于 10℃的全年积温约为 4 200℃,全年日照时数为 789 h,年均降雨量 984.5 mm,主要集中在 7 月到 9 月,霜期 9 月下旬至次年 4 月中旬,无霜期 220 d 左右。本研究区属于亚热带季风性湿润气候常绿落叶混交林区,多为常绿樟栎林、针叶次生林等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的选择与设置 研究区内遭受人为干扰类型主要为樵采,其次也有人为踏入,农田开垦等人为活动,在研究区内发现有倒伏木,枯立木,木桩等人为破坏留下的痕迹。在充分踏查的基础上,根据林分郁闭度^[14]和植被被破坏程度,在研究区内设置 3 种受不同强度人为干扰的样地:(1)轻度干扰:人为干扰轻微,林内人为踏入较少,偶有人进入林内收集枯落物,对林内乔、灌、草层植物生长几乎没有不良影响,郁闭度 0.8~0.9;(2)中度干扰:受到樵采、收集枯落物等人为干扰,但人为活动频率低,干扰不严重,对林内乔、灌、草层植物的生长不良影响小,郁闭度 0.7~0.8;(3)重度干扰:人为干扰严重,

表 1 样地概况

Table 1 General characteristics of the sample plot

样地编号 Sample plot No.	海拔 Altitude /m	坡度 Slope /°	坡向 Aspect /°	平均胸径 Average diameter/cm	平均高 Average height/m	密度 Density /(株/hm ²)	郁闭度 Canopy	干扰强度 Disturbance intensity
1	960	23	SW60	10.2	9.4	2 825	0.9	轻度 Slight
2	965	26	SW73	9.7	9.5	2 850	0.9	轻度 Slight
3	961	21	SW66	9.1	10.8	2 875	0.8	轻度 Slight
4	984	27	ES59	10.3	11.6	2 625	0.8	中度 Intermediate
5	989	26	ES60	9.7	10.5	2 775	0.7	中度 Intermediate
6	981	31	ES76	10.8	12.2	2 650	0.8	中度 Intermediate
7	997	29	SW72	12.3	11.3	1 850	0.8	重度 Severe
8	1 001	32	NW50	12.1	10.4	1 825	0.7	重度 Severe
9	1 007	31	NW45	12.1	10.8	1 925	0.7	重度 Severe

反复遭受人为破坏,樵采现象严重,收集枯落物等人为活动频繁,对林内植物生长破坏较大,郁闭度 0.6~0.7。采用典型选样法,在青冈次生林群落内布设 9 块 20 m×20 m 林相整齐、林层丰富的典型样地(表 1),其中轻度、中度和重度干扰样地各 3 块。将每个样地等分为 4 个 10 m×10 m 的乔木样方,并在每个样地中沿对角线选取 6 个 5 m×5 m 的灌木样方,12 个 1 m×1 m 的草本样方,分别进行实测并记录乔木层、灌木层(包括木质藤本和乔木更新苗)和草本层(包括草质藤本和蕨类植物)中物种名称、单株/丛株、胸径、高度、冠幅等指标。使用全球定位系统(GPS)对调查地点定位,并记录各样地的海拔高度、坡度、坡向等环境因子。

1.2.2 群落结构划分 根据在研究区调查所得的数据,并参考有关群落的径级、高度级划分方法^[19],将乔木个体的胸径分为 9 个径级,每 4 cm 为一个径级,胸径 4 cm 以下为径级Ⅰ,4~8 cm 为径级Ⅱ,以此类推,胸径 32 cm 及以上为径级Ⅸ;统计受不同强度人为干扰下青冈次生林群落的乔木层中各径级的个体数,并绘制径级结构图;将乔木个体的高度分为 9 个高度级,每 2 m 为一个高度级,高度 3~5 m 为高度级Ⅰ,5~7 m 为高度级Ⅱ,以此类推,高度 19 m 及以上为高度级Ⅸ,统计受不同强度人为干扰群落内乔木各高度级的个体数,并绘制高度级结构图。

1.2.3 物种多样性测度 根据样地资料,计算不同物种的相对密度、相对显著度(相对盖度)和相对频度,计算各样地中各物种的重要值(IV),并以物种的重要值为基础,计算物种多样性指数。本研究采用物种丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(H')、Pielou 均匀度指数(J_{sw})来综合评价青冈次生林群落的物种多样性。公式如下:

重要值:乔木层: $IV=(\text{相对多度}+\text{相对显著度}$

$+\text{相对频度})/3$

灌木层、草本层: $IV=(\text{相对多度}+\text{相对盖度}+\text{相对频度})/3$

丰富度指数(D): $D=S$

Simpson 指数(优势度指数): $H'=1-\sum_{i=1}^S P_i^2$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H=-\sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

Pielou 均匀度指数: $J_{sw}=\frac{-\sum P_i \log P_i}{\log S}$

$$P_i=\frac{n_i}{n}$$

式中, n_i 为第 i 种的个体数, n 为所有种的个体总数, $i=1,2,3,\cdots S$, S 为物种数。

1.2.4 数据处理 数据分析、处理、计算和图形绘制采用 SPSS 17.0 统计软件、Origin 8.0 软件和 Excel 2010 完成。采用单因素方差分析和最小显著差异法检验群落各层次多样性指数、高度级和径级数据的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同强度人为干扰对青冈次生林群落结构的影响

2.1.1 群落径级结构 不同人为干扰强度下青冈次生林群落呈现出不同的径级结构(图 1,A)。轻度干扰和中度干扰下乔木层的径级结构呈近正态分布,且都在径级Ⅱ(胸径 4~8 cm)处出现数量的峰值,分别为 103 株和 88 株,随着林木胸径的增大,乔木株数呈迅速减少的趋势,径级分布遵从异龄林典型的倒“J”型,且乔木层低径级Ⅰ(胸径 8 cm 以下)个体数多,表明林下更新良好,林分具有潜在的天然更新能力;受重度干扰的群落乔木个体多分布在径级Ⅱ(胸径 4~8 cm)、径级Ⅲ(胸径 8~12 cm)、径级

Ⅳ(胸径 12~16 cm),且随着径级的升高,个体数分布大致呈增加-降低-增加-降低的趋势,群落结构不稳定,小径级、大径级个体数少,中径级个体数多,群落不能进行正常的自然更新、演替,林分生产力下降。

2.1.2 群落高度级结构 不同人为干扰强度对青冈次生林群落乔木层的高度级结构影响不同(图 1, B)。青冈次生林群落高度级结构与径级结构变化趋势表现出一致性,轻度干扰林分中,群落高度级呈近正态分布,在高度级Ⅱ(3~5 m)处有一明显的峰值,向两侧呈下降趋势;中度干扰林分中,群落在高度级Ⅱ级(5~7 m)和高度级Ⅴ级(15~17 m)处出现 2 个明显峰值;重度干扰林分中,群落在高度级Ⅲ(7~9 m)和高度级Ⅴ(11~13 m)处出现 2 个峰值。与干扰强的群落对比可见,轻度、中度干扰下群落乔木层个体数的波动性较小,且处于低高度级(高度 3~7 m)的乔木个体多,而高高度级(高度 15 m 及以上)的个体较少,表明群落发育还不成熟,处于异龄

林阶段,具有潜在的正向演替能力,如果加以合理引导,可实现自然更新;重度干扰下中高度级(高度 7~13 m)的乔木个体多,低高度级(高度 3~7 m)、高高度级(高度 17 m 及以上)个体分布稀少,表明受重度干扰的群落垂直分布结构不稳定,垂直空间层次上的物种多样性低。

2.2 不同强度人为干扰对青冈次生林群落物种组成的影响

2.2.1 科属种组成 在总面积为 3 600 m² 的 9 个样地中,共记录到维管束植物 161 种,隶属 83 科 134 属,以禾本科、樟科、壳斗科等为主。物种组成在不同群落层次间存在差异(图 2),乔木层有 34 种,隶属于 18 科 26 属,以樟科、壳斗科、茶科为主;灌木层有 54 种,隶属于 26 科 40 属,以樟科、壳斗科、茶科为主;草本层有 73 种,隶属于 39 科 68 属,以禾本科、百合科(Liliaceae)、菊科(Compositae)居多;可见草本层对物种多样性的贡献最大,灌木层次之,乔木层物种组成比较单一。受不同人为干扰强

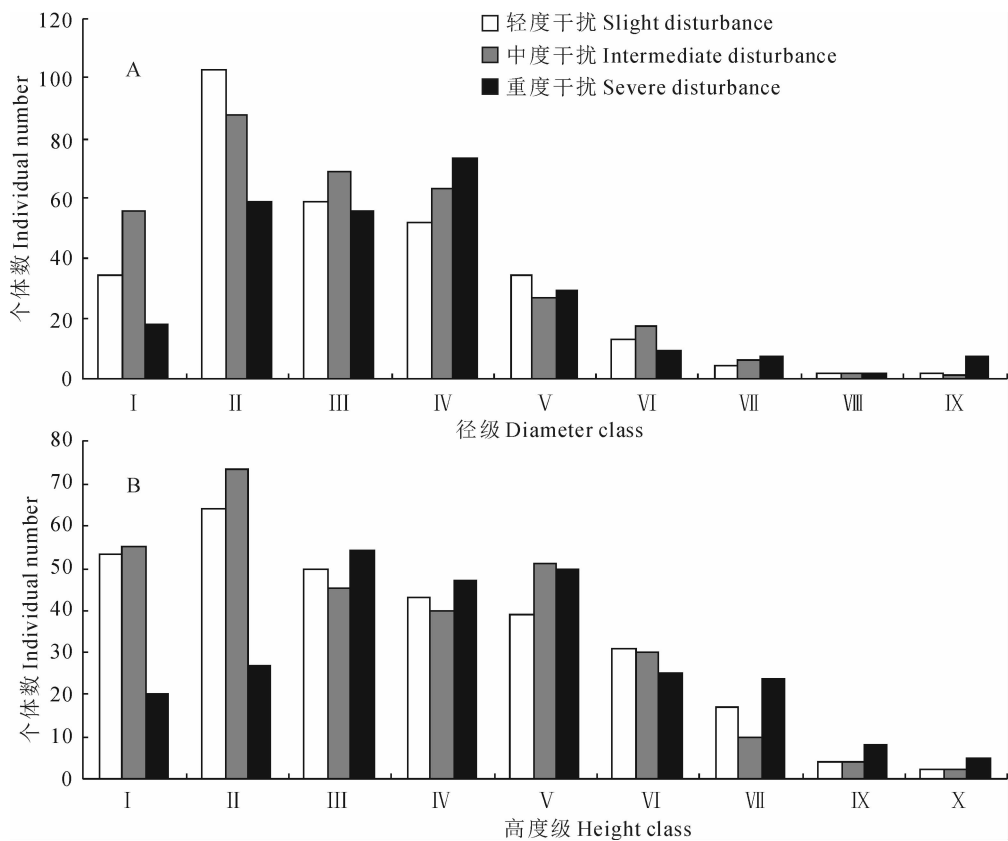


图 1 不同人为干扰下群落乔木层径级(A)和高度级(B)结构

Fig. 1 The diameter class(A) and height class (B) in tree layer of *C. glauca* community under different levels of human disturbance

A. I < 4 cm, 4 cm ≤ II < 8 cm, 8 cm ≤ III < 12 cm, 12 cm ≤ IV < 16 cm, 16 cm ≤ V < 20 cm, 20 cm ≤ VI < 24 cm, 24 cm ≤ VII < 28 cm, 28 cm ≤ VIII < 32 cm, IX > 32 cm; B. 3 m ≤ I < 5 m, 5 m ≤ II < 7 m, 7 m ≤ III < 9 m, 9 m ≤ IV < 11 m, 11 m ≤ V < 13 m, 13 m ≤ VI < 15 m, 15 m ≤ VII < 17 m, 17 m ≤ VIII < 19 m, IX > 19 m

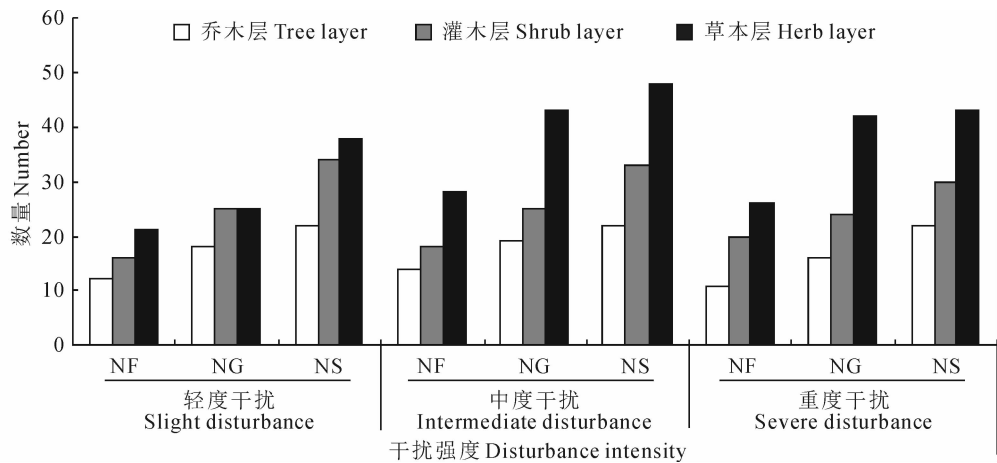


图2 不同人为干扰下群落物种组成
NF. 科数;NG. 属数;NS. 种数

Fig. 2 The species composition of nine plots under different levels of human disturbance
NF. Number of families;NG. Number of genera;NS. Number of species

度下物种组成不同,轻度干扰样地物种有 94 种,隶属于 49 科 68 属;中度干扰样地有 103 种,隶属于 60 科 87 属;重度干扰样地有 95 种,隶属于 57 科 82 属,受轻度干扰群落科数、属数和物种数均低于受中度、重度干扰的群落,造成此现象是由于受轻度人为干扰群落遭受樵采程度较轻,乔木层物种单一且郁闭度高,造成林下光环境变差,从能量和空间上限制了乔木层下的灌木层和草本层的生长,从而引起灌木、草本层物种数及个体数量的减少。

2.2.2 重要值 重要值是反映群落中不同物种重要性的指标^[20],通过对重要值分析可得知该群落中的主要优势树种。调查结果表明:受不同强度人为干扰的青冈次生林群落各层次物种组成和优势种的数量具有差异性。

不同强度人为干扰下青冈次生林群落乔木层的优势种数量差别不明显(表 2),物种组成单一,青冈、润楠(*Machilus pingii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)占据相对优势地位,重度干扰群落乔木层栲(*Castanopsis fargesii*)、杉木的重要值比轻度、中度干扰群落高,这与生境的光照条件和树种的耐阴性有关;细叶楠(*Phoebe hui*)、小果润楠树种在轻度干扰群落中出现,而在重度干扰群落中未见,这与当地农民的选择性砍伐有关;山茶(*Camellia japonica*)在轻度干扰群落中未见,而在重度干扰群落中出现,是因为高大乔木被砍伐后形成空旷地,光照充足,给山茶的生长提供了良好生境和有利条件。

重度干扰下灌木层小果润楠重要值为 0.400 0 占据了绝对优势地位,抑制林下灌木的生长,由于不同植物对环境的适应能力有差异,枫香树(*Liquid-*

ambar formosana)、栲、山茶等树种被淘汰,茶(*Camellia sinensis*)、冬青(*Ilex chinensis*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)等树种因为重度干扰群落中遭受樵采严重,而得到了充足的阳光等资源得以生存(表 3)。

调查数据显示(表 4)不同强度人为干扰下草本层的优势种的数量排序为:中度干扰>轻度干扰>重度干扰,中度干扰下草本层的优势种最多,为水竹叶(*Murdannia triquetra*)、狗脊(*Woodwardia japonica*)、平车前(*Plantago depressa*)等 19 种,受不同强度人为干扰下草本层的优势种类差异明显,说明不同强度人为干扰对草本层物种组成的影响显著,有些物种如阔叶十大功劳(*Mahonia bealei*)对人为干扰比较敏感,只能存在于人为干扰轻微的群落中;一些物种如山茶、冬青等只在人为干扰强烈的群落中生长良好,却很少分布在没有干扰或者干扰轻微的群落中,这说明它们是阳生性植物或者是先锋物种,只在人为干扰强烈或者演替初期具有强的竞争力;某些物种如水竹叶、乌蕨(*Stenoloma chusanum*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)等在不同强度人为干扰的群落中均有分布,表现出对不同强度人为干扰以及不同生境的广泛适应性。

2.3 人为干扰对青冈次生林群落物种多样性影响

轻度、中度和重度人为干扰下群落层次物种多样性有差异(表 5),轻度干扰群落乔、灌、草各层次的物种丰富度指数(*S*)、Simpson 优势度指数(*H'*)、Shannon-Wiener 多样性指数(*H*)、均匀度指数(*J_{sw}*)差异性均不显著($P>0.05$)。且轻度、中度和重度人为干扰下群落各层次的 *S*、*H'*、*H* 均表现出

草本层>灌木层>乔木层的规律。青冈次生林群落 处于异龄林发展阶段,林分密度相对较小,郁闭度不

表 2 青冈次生林群落乔木层物种的重要值

Table 2 Important value of species in tree layer of *C. glauca* community

物种 Species name	重要值 Important value		
	A	B	C
润楠 <i>Machilus pingii</i>	0.196 6	—	0.036 3
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.187 8	0.196 4	0.229 9
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.092 7	0.133 7	0.155 4
细叶楠 <i>Phoebe hui</i>	0.085 5	0.042 9	—
宜昌润楠 <i>Machilus ichangensis</i>	0.080 3	0.148 6	0.099 6
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	0.062 1	0.080 1	0.083 7
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.052 1	0.024 7	0.100 5
小果润楠 <i>Machilus microcarpa</i>	0.032 6	0.070 0	—
枹栎 <i>Quercus serrata</i>	0.029 3	0.069 1	0.065 1
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	—	0.051 3	—
山茶 <i>Camellia japonica</i>	—	—	0.043 7
A:其余 13 种 The 13 remaining species belonging to A	0.180 8	—	—
B:其余 13 种 The 13 remaining species belonging to B	—	0.183 2	—
C:其余 14 种 The 14 remaining species belonging to C	—	—	0.185 8
合计 Total	1.000 0	1.000 0	1.000 0

注:A.轻度干扰;B.中度干扰;C.重度干扰;下同。

Note: A. Slight disturbance; B. Intermediate disturbance; C. Severe disturbance; The same as below.

表 3 青冈群落灌木层物种的重要值

Table 3 Important value of species in shrub layer of *C. glauca* community

物种 Species name	重要值 Important value		
	A	B	C
少花桂 <i>Cinnamomum pauciflorum</i>	0.106 9	0.052 2	0.065 7
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	0.094 8	0.071 4	—
润楠 <i>Machilus pingii</i>	0.088 8	0.134 4	0.070 1
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.076 8	0.062 7	—
山茶 <i>Camellia japonica</i>	0.076 2	0.071 8	—
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.055 7	0.039 6	0.082 5
阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i>	0.055 3	—	—
异叶榕 <i>Ficus heteromorpha</i>	0.044 2	0.084 6	0.058 9
毛竹 <i>Phyllostachys heterocycle</i>	0.043 8	0.036 4	—
厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	0.042 9	—	—
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.032 5	—	—
宜昌润楠 <i>Machilus ichangensis</i>	0.029 4	0.054 5	—
香叶树 <i>Lindera communis</i>	0.028 1	—	—
蓉城竹 <i>Phyllostachys bisetii</i>	0.027 0	0.070 9	0.064 4
小果润楠 <i>Machilus microcarpa</i>	—	0.065 6	0.400 0
十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	—	0.033 9	0.046 7
掌叶梁王茶 <i>Nothopanax delavayi</i>	—	0.025 8	—
茶 <i>Camellia sinensis</i>	—	—	0.136 0
冬青 <i>Ilex chinensis</i>	—	—	0.099 4
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	—	—	0.052 5
中华石楠 <i>Photinia beauverdiana</i>	—	—	0.041 9
香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>	—	—	0.027 5
忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	—	—	0.062 7
A:其余 20 种 The 20 remaining species belonging to A	0.197 6	—	—
B:其余 20 种 The 20 remaining species belonging to B	—	0.196 2	—
C:其余 17 种 The 17 remaining species belonging to C	—	—	0.187 7
合计 Total	1.000 0	1.000 0	1.000 0

表 4 青冈次生林群落草本层物种的重要值
Table 4 Important value of species in herb layer of *C. glauca* community

物种 Species name	重要值 Important value		
	A	B	C
长柱头薹草 <i>Carex teinogyna</i>	0.104 0	—	—
水竹叶 <i>Murdamia triquetra</i>	0.101 4	0.076 6	0.063 1
紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	0.074 0	—	0.155 2
狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	0.063 8	0.045 6	—
平车前 <i>Plantago depressa</i>	0.057 0	0.084 9	—
白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	0.052 7	—	—
乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	0.048 4	0.058 0	0.022 3
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	0.040 2	0.045 2	—
大叶南苏 <i>Rhaphidophora peepla</i>	0.035 7	—	—
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	0.030 9	0.039 9	—
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	0.030 4	0.085 1	0.082 0
丝茅 <i>Imperata koenigii</i>	0.027 6	0.042 3	—
巴山重楼 <i>Paris bashanensis</i>	0.027 2	0.024 1	0.021 7
大芒萁 <i>Dicranopteris ampla</i>	0.025 9	—	—
沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>	0.025 4	0.019 7	—
夜香牛 <i>Vernonia cinerea</i>	0.023 1	—	—
傅氏凤尾蕨 <i>Pteris fauriei</i>	0.022 2	—	—
马兰 <i>Kalimeris indica</i>	0.022 0	0.046 9	0.019 1
绞股蓝 <i>Gynostemma pentaphyllum</i>	—	0.047 7	—
野雉尾金粉蕨 <i>Onychium japonicum</i>	—	0.045 8	—
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	—	0.032 8	—
黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	—	0.032 8	—
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	—	0.031 0	—
卷柏 <i>Selaginella tamariscina</i>	—	0.019 8	—
雀麦 <i>Bromus japonica</i>	—	0.015 5	—
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	—	0.015 2	0.017 3
里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	—	—	0.121 9
渐尖毛蕨 <i>Cyclosorus acuminatus</i>	—	—	0.099 8
贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i>	—	—	0.062 8
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	—	—	0.032 5
天南星 <i>Arisaema heterophyllum</i>	—	—	0.031 0
风轮菜 <i>Clinopodium chinense</i>	—	—	0.026 7
紫萼 <i>Hosta ventricosa</i>	—	—	0.025 7
山姜 <i>Alpinia japonica</i>	—	—	0.023 2
A:其余 20 种 The 20 remaining species belonging to A	0.188 1	—	—
B:其余 29 种 The 29 remaining species belonging to B	—	0.191 3	—
C:其余 28 种 The 28 remaining species belonging to C	—	—	0.195 8
合计 Total	1.000 0	1.000 0	1.000 0

高,林下植物发育良好,故草本层丰富度最高;灌木层中有较多乔木层物种的幼树和幼苗出现,丰富度高于乔木层。中度、重度干扰群落乔木层与灌木、草本层之间的 S 存在显著性差异($P<0.05$)。中度、重度干扰群落乔木层与灌木、草本层之间的 H' 存在显著性差异($P<0.05$)。受重度干扰下群落各层次 H' 比受轻度、中度干扰下 H' 值显著下降,原因可能是重度干扰群落遭受人为破坏严重,高大的乔木个体少,因为樵采严重造成林下小环境的改变,长势一般的灌木和草本个体数增加,而受轻度和中度干扰下群落各层次 H' 值较为接近,差异较小,说明群落虽受到人为干扰但相对影响较小。受不同强度干扰下乔木层、灌木层的 S 和 H 都是轻度干扰 $>$ 中度干扰 $>$ 重度干扰。受中度干扰的草本层 S 和 H 都高于轻度、重度干扰方式,分析认为轻度干扰群落林分郁闭度高,林下环境差,植被发育不好,草本层丰富度和多样性低;重度干扰群落林分郁闭度虽低,但遭受人为踏入等干扰频繁,草本生长受到影响,故 S 和 H 不高。中度、重度干扰群落乔木层、灌木层与草本层之间的 H 、 J_{sw} 之间不存在显著性差异($P>$

表 5 青冈次生林群落层次的物种多样性
Table 5 Species diversity of *C. glauca* community under different levels of disturbance

干扰强度 Disturbance intensity	植物层 Plant layer	Shannon-Wiener 多样性指数 H	优势度指数 H'	物种丰富度指数 S	Pielou 均匀度指数 J_{sw}
轻度干扰 Slight disturbance	乔木 Tree	2.424 4±0.050 7a	0.882 9±0.007 8a	17.000 0±1.000 0a	0.857 2±0.018 0a
	灌木 Shrub	2.601 8±0.175 8a	0.894 7±0.024 1a	21.333 3±2.403 7a	0.851 8±0.030 2a
	草本 Herb	2.610 9±0.107 5a	0.898 4±0.011 9a	24.000 0±3.055 1a	0.827 8±0.033 4a
中度干扰 Intermediate disturbance	乔木 Tree	2.199 8±0.039 9ab	0.855 5±0.002 2ab	14.333 3±0.881 9a	0.827 5±0.004 8a
	灌木 Shrub	2.513 7±0.083 1a	0.892 8±0.008 8a	18.666 7±1.201 9a	0.859 7±0.010 7a
	草本 Herb	2.699 2±0.237 2a	0.896 0±0.028 8a	27.333 3±3.929 9a	0.819 2±0.050 3a
重度干扰 Severe disturbance	乔木 Tree	1.863 6±0.124 2b	0.792 6±0.034 6b	11.666 7±1.666 7a	0.765 9±0.046 4a
	灌木 Shrub	2.135 6±0.147 6a	0.832 1±0.020 3a	13.333 3±2.027 6a	0.831 7±0.028 0a
	草本 Herb	2.241 4±0.103 6a	0.844 8±0.024 2a	19.333 3±1.763 8a	0.760 2±0.038 4a

注:不同小写字母表示不同群落层次间的数据差异显著($P<0.05$)。
Note; Difference lowercase letters in different plant layers indicate significant differences ($P<0.05$).

0.05)。轻度和中度干扰下群落的 J_{sw} 值较大,这因为其 H 和 S 都较大,而重度干扰下群落的 H 和 S 最小,因此其 J_{sw} 值最小,说明重度干扰使物种在生境中分布趋于不均匀。受中度、重度干扰群落 J_{sw} 值灌木层>乔木层>草本层,这是因为受到较重人为干扰的群落草本植物分布不连续,常常呈斑块分布,造成物种在群落中空间分布不均匀;灌木层不仅有灌木种类,而且还包括乔木的幼树,而乔木与草本植物比较集中在几个种类上,其均匀度低于灌木层。由上述结果可知,人为干扰对青冈次生林群落的物种多样性产生负面影响明显。随着人为干扰强度的增加,青冈次生林群落的 S 、 H 、 H' 值和 J_{sw} 降低(表 5),群落物种多样性整体呈下降趋势:轻度干扰>中度干扰>重度干扰。

3 讨 论

群落结构不仅能直接反映群落的功能特征^[21],而且能客观体现群落数量动态及其未来发展、演替趋势^[9,22]。青冈次生林群落的乔木层在轻度、中度人为干扰下径级和高度级结构呈近正态分布,且处于低径级、低高度级的幼树较多,表明其群落结构稳定且自然更新能力强;受重度干扰的乔木层中径级和中高度级个体多,呈集中分布,群落垂直结构不稳定,垂直空间层次上物种多样性低。通过分析重要值发现,受重度干扰的灌木层中小果润楠重要值高达 0.400 0,占据绝对优势地位,抑制其他树种正常生长。不同强度人为干扰下,中度干扰下草本层的优势种最多,轻度干扰次之,最后是重度干扰。人为干扰对青冈次生林群落的物种多样性产生负面影响,各种多样性指数和均匀度指数均表现出

较一致的趋势,随着人为干扰强度的增加,青冈次生林群落的 S 、 H 、 H' 和 J_{sw} 值总体上呈明显的下降趋势,这与许多研究认为中度干扰会增加物种多样性的结论不一致^[11,23],而与其他森林群落物种多样性研究结果一致^[14,24];本研究中 S 、 H 在群落中表现为草本层>灌木层>乔木层,这一结果与其他森林群落的物种多样性研究结果较为一致^[10],这是因为物种的耐受性、群落繁殖策略等生态习性不同导致不同人为干扰强度下群落各层次呈现出不同的物种多样性特征^[11]。与天然林相比,次生林结构单一,缓冲及反馈调节能力弱,生态系统稳定性低^[25],在当前天然林大幅减少,次生林大面积增加的背景下^[19]对次生林多样性的研究显得尤为重要。莲花山青冈次生林群落作为雅安市重要的水源涵养林,其生态价值不可忽视,然而由于当地居民的盲目砍伐及对林木幼苗无意识的破坏,影响了群落幼苗的正常生长及草本层的更新演替,另外农田开垦占用土地,当地乡土树种被砍伐,造成整个青冈次生林群落结构单一,物种多样性下降。此前有研究表明为追求楠木的景观和经济价值而选择性剔除其他树种会对整个森林群落造成严重恶果^[24];也有研究证实了红树林生态系统的结构由于人类干扰强度和频度的加大而遭到较大破坏^[26],因此进行青冈次生林群落保护时要加强当地居民的森林保护意识,同时可借鉴近自然经营理念,不排斥获取森林的生产力,在发挥森林的经济功能的同时,不偏废其生态功能^[27],伐除霸王木,对林下幼苗进行抚育更新,同时可引入润楠等乡土树种,避免林分单一,促进林分向复层、异龄化的方向发展。

参考文献:

- [1] DING H(丁 晖), YANG Y F(杨云方), XU H G(徐海根), *et al.* Species composition and community structure of the typical evergreen broad-leaved forest in the Wuyi Mountains of Southeastern China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2015, **35**(4): 1 142—1 154(in Chinese).
- [2] MACE G M, NORRIS K, FITTER A H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2012, **27**(1): 19—26.
- [3] MIDGLEY G F. Biodiversity and ecosystem function[J]. *Science*, 2012, **335**(6 065): 174—175.
- [4] YU T F(鱼腾飞), FENG Q(冯 起), SI J H(司建华), *et al.* Community characteristics and species diversity of ejina oasis in the lower reaches of the Heihe River[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2011, **31**(5): 1 032—1 038(in Chinese).
- [5] JIN H J(靳虎甲), MA Q L(马全林), *et al.* Analysis on community structure and quantitative characteristics of *Nitraria tangutorum* nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2013, **33**(7): 2 248—2 259(in Chinese).
- [6] CHEN F R(陈芙蓉), CHENG J M(程积民), LIU W(刘 伟), *et al.* Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2013, **33**(9): 2 856—2 866(in Chinese).
- [7] MENG Y Y(孟莹莹), ZHOU L(周 莉), ZHOU W M(周旺明), *et al.* Characteristics of plant species diversity in a windthrow area on Changbai Mountain after 26 years of natural recovery[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2015, **35**(1): 142—149(in Chinese).
- [8] BHIM B G, JOHN R P. Ecosystem function and service quantification and valuation in a conventional winter wheat production system with DAISY model in Denmark[J]. *Ecosystem Services*, 2014, 10: 79—83.
- [9] YI X M(易雪梅), ZHANG Y(张 悦), WANG Y X(王远遐), *et al.* Population structure and dynamics of *Fraxinus mandshurica* in Changbai Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2015, **35**(1): 91—97(in Chinese).
- [10] SURI G G(苏日古嘎), ZHANG J T(张金屯), WANG Y X(王永霞). Species diversity of forest communities and its forecasting by neural network in the Songshan National Nature Reserve, Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2013, **33**(11): 3 394—3 403(in Chinese).
- [11] LU Q B(鲁庆彬), YOU W Y(游卫云), ZHAO CH J(赵昌杰), *et al.* Effects of tourism disturbance on plant diversity in Qingshan Lake scenic area of Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2011, **22**(2): 295—302(in Chinese).
- [12] MIU N(缪 宁), ZHOU ZH L(周珠丽), *et al.* Successional dynamics of community structure and species diversity after clear-cutting of faxon fir (*Abies faxoniana*) forest stands[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2014, **34**(13): 3 661—3 671(in Chinese).
- [13] QIN SH(秦 山), CHAO L M(潮洛濛). The impact of anthropogenic disturbance on landscape of *Tetraena mongolica* shrub in the Wuhai City[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2014, **34**(21): 6 346—6 354(in Chinese).
- [14] HAO J F(郝建锋), WANG D Y(王德艺), *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Pinus massoniana* plantation in Jianguyou district, Sichuan Province[J]. *Ecology and Environmental Sciences*(生态环境学报), 2014, **23**(5): 729—735(in Chinese).
- [15] TANG M Y(唐明艳), YANG Y X(杨永兴). Analysis of vegetation and soil degradation characteristics under different human disturbance in lakeside wetland, Napahai[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2013, **33**(20): 6 681—6 693(in Chinese).
- [16] BAI K Y(白可喻), RONG Y P(戎郁萍), *et al.* Relationships between grassland biodiversity and primary productivity and soil condition in farming-pastoral regions of northern China[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2013, **32**(1): 22—26(in Chinese).
- [17] LIU SH R(刘世荣), DAI L M(代力民), WEN Y G(温远光), *et al.* A review on forest ecosystem management towards ecosystem services: status, challenges, and future perspectives[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2015, **35**(1): 1—9(in Chinese).
- [18] XU H(许 涵), LI Y D(李意德), *et al.* Environmental factors correlated with species diversity in different tropical rain forest types in Jianfengling, Hainan Island, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2013, **37**(1): 26—36(in Chinese).
- [19] MENG X N(孟祥楠), ZHAO Y S(赵雨森), ZHENG L(郑 磊), *et al.* Population structure and understory species diversity of different aged *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations in Nenjiang Sandy Land of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2012, **23**(9): 2 332—2 338(in Chinese).
- [20] WANG Y CH(王宇超), WANG D X(王得祥). Study on elevational patterns of plant species diversity and community complexity in Foping Natural Reserve[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2013, **33**(1): 169—176(in Chinese).
- [21] MAO CH(毛 超), QI L H(漆良华), LIU Q R(刘奇蕊), *et al.* Community structure and species diversity of *Hopea reticulata* forest in Ganling, Hainan Island[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2014, **33**(11): 2 959—2 965(in Chinese).
- [22] HAN L(韩 路), WANG J Q(王家强), WANG H ZH(王海珍), *et al.* The population structure and dynamics of *Populus euphratica* at the upper reaches of the Tarim River[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2014, **34**(16): 4 640—4 651(in Chinese).
- [23] ZHOU L(周 伶), SHANGGUAN T L(上官铁梁), GUO D G(郭东盟), *et al.* Response of species diversity in *Caragana korshinskii* communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2012, **32**(1): 111—122(in Chinese).
- [24] HAO J F(郝建锋), WANG D Y(王德艺), LI Y(李 艳), *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Phoebe zhennan* communities in Jinfengshan Mountain in Western Sichuan[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2014, **34**(23): 6 930—6 942(in Chinese).
- [25] KANG B(康 冰), WANG D X(王得祥), LI G(李 刚), *et al.* Characteristics of seedlings regeneration in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* secondary forests in Qinling Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2012, **32**(9): 2 738—2 747(in Chinese).
- [26] LU Q(卢 群), ZENG X K(曾小康), SHI J H(石俊慧), *et al.* Succession of a mangrove forest in Futian, Shenzhen Bay[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2014, **34**(16): 4 662—4 671(in Chinese).
- [27] MÖLDER A, STREIT M, SCHMIDT W. When beech stricts back: How strict nature conservation reduces herb-layer diversity and productivity in central European deciduous forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 316: 117—124.

(编辑:潘新社)