浙 江 农 林 大 学 学 报，2019，**36**(2)：279–288
Journal of Zhejiang A&F University
doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2019.02.009

紫楠天然群落物种多样性对不同干扰强度的响应

李　军[1]，陆云峰[2]，杨安娜[3]，柏志靓[3]，王　洋[3]，楼炉焕[3]，童再康[3]

（1. 浙江省临海市林木种子苗木管理站，浙江 临海 317000；2. 浙江省宁波市林业局林特种苗繁育中心，浙江 宁波 315012；3. 浙江农林大学 省部共建亚热带森林培育国家重点实验室，浙江 杭州 311300）

摘要：以紫楠 *Phoebe sheareri* 全分布区内 20 个典型天然群落为研究对象，通过分析群落物种组成、植物区系类型、物种多样性水平，研究紫楠群落物种多样性对不同干扰强度和气候条件的响应。结果表明：10 400 m^2 的调查样地内共计维管束植物 103 科 236 属 363 种，种子植物科、属区系类型丰富，以北温带、泛热带成分为主；干扰强度和气候条件共同作用，影响紫楠群落物种多样性，物种丰富度 Patrick 指数、多样性 Shannon-Wiener 指数、优势度 Simpson 指数和均匀度 Pielou 指数均表现出差异。处于 5 级干扰的绿荷塘群落，紫楠在乔木层占绝对优势，而在灌木层处于次优势地位，且整体多样性水平低，不利于该群落的可持续发展；乔木层 Patrick 指数、Shannon-Wiener 指数与干扰强度呈显著相关，即干扰越强，群落乔木层物种丰富度与多样性程度越低；灌木层 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数的最大值都出现在 2 级干扰时，说明中等强度的干扰对灌木层物种多样性具有促进作用。相比气候条件，干扰强度对紫楠群落物种多样性的影响更大。图 4 表 4 参 33

关键词：森林生态学；紫楠；天然群落；物种多样性；干扰强度
中图分类号：S718.5　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2019)02-0279-10

Species diversity of natural *Phoebe sheareri* communities with different disturbance intensities

LI Jun[1], LU Yunfeng[2], YANG Anna[3], BAI Zhiliang[3], WANG Yang[3], LOU Luhuan[3], TONG Zaikang[3]

(1. Linhai Forest Seed and Seedling Administration of Zhejiang, Linhai 317000, Zhejiang, China; 2. The Seedling Breeding Center of Ningbo Forest Enterprise, Ningbo 315012, Zhejiang, China; 3. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Due to the enhancement of disturbance, the natural communities of *Phoebe sheareri*, a precious species peculiar to China and one of the original species for the commercial timber production of "Nanmu with golden tint", being scattered in some provinces and regions to the south of the Yangtze River, were studied. All 20 typical natural communities of *P. sheareri* in sample plots within 10 400 m^2 of its distribution area were analyzed for responses of species diversity to different disturbance intensities and climatic conditions. Analyses of species composition, flora, and species diversity were based on the Patrick index for abundance, Shannon-Wiener index for diversity, Simpson index, and Pielou index for evenness. Results showed a total of 363 vascular species belonging to 236 genera of 103 families. Both genera and families of seed plants were abundant, but were mainly from north temperate and pan-tropical areas. Differences in the Patrick, Shannon-Wiener, Simpson, and Pielou indexes showed that both disturbance intensity and climatic conditions co-acted on the species diversity of *P. sheareri*-containing communities. With a disturbance of Grade Ⅴ, *P. sheareri* was absolutely dominant in the tree layer of the Lühetang Community, but was in a sub-dominant position in the shrub layer with a low diversity on the whole, which meant it was unfavorable for sustainable development.

收稿日期：2018-04-16；修回日期：2018-09-30
基金项目：浙江省农业新品种选育重大科技专项资助(2016C02956-2)
作者简介：李军，从事珍贵树种种苗繁育与资源培育研究。E-mail: 70910991@qq.com。通信作者：童再康，教授，博士，博士生导师，从事珍贵树种资源保育与育种研究。E-mail: zktong@zafu.edu.cn

Disturbance intensity was found to be significantly correlated with the Patrick index (P =0.006, r =−0.643) and Shannon-Wiener index (P =0.037, r =−0.045)with a stronger disturbance having a lower species abundance and diversity in the tree layer. Also, the highest values of the Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index in the shrub layer occurred when there was a disturbance of Grade Ⅱ, meaning that an intermediate disturbance promoted species diversity in the shrub layer. Overall, *P. sheareri* was suitable for coexistence with many other plant species to form a community, and the disturbance intensity had more influence on species diversity in the *P. sheareri* community than climatic conditions. [Ch, 4 fig. 4 tab. 33 ref.]

Key words: forest ecology; *Phoebe sheareri*; natural community; species diversity; disturbance intensity

物种多样性是维持植物群落生态系统的基础，是人类赖以生存的生物资源。研究植物群落物种多样性能更好地保护与利用多样性资源，已成为了植物生态学领域的热点[1-4]。群落物种多样性受自然界中普遍存在的干扰尤其是人为干扰的影响，日益频繁的人类活动已成为当前引起生态系统结构和功能变化的主要因素[5-6]，因此，研究不同干扰强度对群落物种多样性的影响意义重大[7-8]。紫楠 *Phoebe sheareri* 又名紫金楠，也称金丝楠，系樟科 Lauraceae 楠属 *Phoebe* 中极为珍贵的中国特有树种。其木材坚硬致密，纹理直，有光泽，耐腐且富楠木芳香，是高级家具、雕刻的理想用材；同时可作为园林绿化树种。紫楠喜温暖、湿润的环境，常见于海拔 1 000 m 以下的山地沟谷阔叶林中，在江苏、浙江、安徽、江西、福建、湖南、贵州、广西等省均有自然散状分布。由于气候变迁，人类砍伐，旅游干扰，自然更新能力弱等原因，现存紫楠天然种质资源已接近枯竭[9]。对分布区的实地调查发现，现存较大的天然群落仅位于浙江省的杭州市灵隐、杭州市临安区、建德市、淳安县等部分区域[10]。目前，针对紫楠的研究主要集中在种子生理特征[11]，幼苗光合特性[12]，叶片细胞形态与生长特征[13-14]等方面，对紫楠天然群落物种多样性的研究仅涉及单个群落[15-16]，而对其全分布区内群落物种多样性程度的研究未见报道。本研究在紫楠天然分布区内选择 20 个代表性的群落并研究物种组成，意在阐明干扰强度及生态因子对紫楠天然群落物种多样性的影响，为紫楠种质资源的保护、利用提供基础性资料。

1 研究区概况

紫楠群落的天然分布区地理位置跨度大(24.50°~32.05°N，106.38°~121.45°E)，包括江苏、浙江、江西、湖南、贵州、广西等 6 个省份(自治区)的 16 个县(区)，地理区划属于华东、华中、华南和西南地区，植被区划属于亚热带常绿阔叶林区域。研究区土壤以红壤、黄壤为主。地形差异显著，海拔为 41~1 020 m，年平均日照时数为 1 035.2~1 980.0 h，年均温为 13.1~19.6 ℃，年均降水量为 1 109.9~1 850.5 mm；年无霜期为 216~322 d。植物区系组成的优势科为樟科、壳斗科 Fagaceae 和山茶科 Theaceae 等。

2 研究方法

2.1 样地设置

在对紫楠天然分布点实地踏查的基础上，选择生境条件、种群大小等代表性的 20 个天然群落进行样地调查(表 1)。采用全球定位系统(GPS)记录各样地的经纬度及海拔，用罗盘仪测定坡度，记录样地郁闭度，并查阅获得样地日照时数、气温、降水量和无霜期的年均值。植物群落干扰强度的确定至今仍缺乏科学的定量化标准与统一方法，本研究综合 BHUYAN 等[17]、吴甘霖等[18]、郝建锋等[19]的研究方法，将干扰强度划分为 5 个等级：种群远离居民区或核心景区道路，近年来未受抚育、砍伐、采摘或旅游等人为干扰，且无病虫害干扰称为 1 级干扰；离居民区较远(>5 km)或在核心景区道路两侧 1 000 m 以外，受抚育、砍伐、采摘或旅游等人为干扰较少的天然林称为 2 级干扰；离居民区较远(>2 km)或在核心景区道路两侧 500 m 以外，受人为干扰破坏，但受抚育、砍伐、采摘、旅游或病虫害等干扰较少的天然林称为 3 级干扰；离居民区较近(≤2 km)或在核心景区道路两侧 500 m 以内，受人为干扰破坏，同时受抚育、砍伐、采摘、旅游或病虫害等干扰较多的天然林称为 4 级干扰；离居民区较近(≤1 km)或在核心景区道路两侧 200 m 以内，反复遭受抚育、砍伐、采摘、旅游或病虫害等干扰破坏的天然林称为 5 级干扰。

表 1　紫楠调查样地生境概况

Table 1　Habitats of sample plots of *Phoebe sheareri*

干扰等级	群落	纬度(N)	经度(E)	海拔/m	坡度/(°)	郁闭度	年日照/h	年均温/℃	年降水量/mm	年无霜期/d
1	ZJB	29°26′56″	119°12′02″	150	25	0.85	1 760.0	17.4	1 600.5	254
	CA	29°28′02″	119°07′56″	310	30	0.90	1 950.5	17.0	1 430.0	263
	SC	28°37′35″	119°27′50″	620	20	0.85	1 755.0	16.8	1 510.0	250
	LS	25°37′52″	109°55′14″	734	35	0.85	1 465.5	18.1	1 705.5	314
2	ZJS	32°03′05″	118°52′11″	41	7	0.75	1 628.8	19.6	1 530.1	322
	CH	30°07′48″	119°07′29″	315	30	0.80	1 850.0	15.5	1 450.5	225
	LC	27°02′35″	116°55′27″	460	15	0.75	1 642.8	17.9	1 749.5	287
	ZY	25°51′20″	110°32′27″	634	28	0.75	1 407.6	16.4	1 761.1	280
3	NH	29°26′34″	121°24′01″	140	38	0.70	1 900.5	16.1	1 300.0	216
	TMS	30°19′49″	119°26′19″	510	13	0.75	1 820.0	14.5	1 400.0	222
	QY	27°40′44″	119°23′20″	660	25	0.75	1 980.0	17.4	1 760.0	255
	FJS	27°53′32″	108°43′31″	949	25	0.75	1 035.2	13.9	1 850.5	274
4	LJ	29°36′09″	119°40′23″	180	25	0.70	1 680.5	15.8	1 650.0	256
	THY	30°23′18″	119°33′29″	460	40	0.70	1 900.0	15.9	1 425.5	223
	ZJ	27°31′19″	109°32′27″	569	40	0.70	1 527.7	16.4	1 294.6	279
	XS	28°29′24″	106°23′12″	1 020	30	0.70	1 053.0	13.1	1 109.9	248
5	XH	30°13′44″	120°05′36″	100	15	0.60	1 765.5	17.8	1 454.5	245
	LHT	29°26′38″	119°07′47″	280	9	0.65	1 750.5	17.1	1 550.0	261
	SY	28°23′43″	119°24′04″	350	20	0.60	1 840.0	17.7	1 700.0	247
	XN	26°16′34″	110°43′40″	490	30	0.65	1 431.5	16.2	1 680.5	291

说明：ZJB：浙江朱家埠；CA：浙江淳安；SC：浙江遂昌；LS：广西龙胜；ZJS：江苏紫金山；NH：浙江宁海；LJ：浙江泷江；THY：浙江太湖源；LC：江西黎川；TMS：浙江天目山；ZJ：湖南芷江；CH：浙江昌化；ZY：广西资源；QY：浙江庆元；FJS：贵州梵净山；XS：贵州习水；XH：浙江西湖；LHT：浙江绿荷塘；SY：浙江松阳；XN：湖南新宁

2.2　调查方法

采用典型样方法。根据紫楠种群大小，每个群落设置 1~2 个 20 m × 20 m 的样地，并在其中设置 2 m × 2 m 的灌木样方和 1 m × 1 m 的草本样方。详细调查并记录乔木层树种名称、胸径、地径、高度、冠幅；灌木层(包括未满足乔木层测量标准的更新幼树、苗)植物名称、平均高度、冠幅、盖度及多度；草本层植物种名、平均高度、盖度及多度[20-22]。

2.3　数据处理

以树种个体数为基础，计算各个种的重要值：重要值=(相对密度+相对频度+相对优势度)/3。

参考国内外植物群落研究中物种多样性指数的测度方法[18-19]：①物种丰富度 Patrick 指数以物种数(S)作为衡量物种丰富度的参数 $R=S$。②物种多样性 Shannon-Wiener 指数 $H'=-\Sigma P_i \ln P_i$。③物种优势度 Simpson 指数 $D=1-\Sigma P_i^2$。④反映群落内物种分布的均匀程度 Pielou 指数 $E_1=H'/\ln S$。其中，P_i 为 i 种的相对重要值。

3　结果与分析

3.1　紫楠群落物种组成

在总面积为 10 400 m^2 的 26 个紫楠种群样地内，共有维管束植物 103 科 236 属 363 种，其中蕨类植物 12 科 16 属 19 种，种子植物 91 科 220 属 344 种，包括裸子植物 6 科 7 属 7 种，被子植物 85 科213 属 337 种。其中含 5 个属以上的科有樟科，壳斗科，蔷薇科 Rosaceae，豆科 Leguminosae，大戟科Euphorbiaceae，金缕梅科 Hamamelidaceae，葡萄科 Vitaceae，山茱萸科 Cornaceae，禾本科 Gramineae，菊科 Compositae，荨麻科 Urticaceae，茜草科 Rubiaceae，百合科 Liliaceae，虎耳草科 Saxifragaceae，共 14 科，含 164 种植物；占总科数的 13.59%，占总种数的 45.18%，是紫楠群落的主要组成成分。仅含 1 个

种的有 45 科，占总科数的 43.69%，占总种数的 12.40%。同时，天然紫楠群落还伴生有较多珍贵稀有的物种，如浙江楠 *Phoebe chekiangensis*，浙江樟 *Cinnamomum chekiangensis*，银杏 *Ginkgo biloba*，柏木 *Cupressus funebris*，南方红豆杉 *Taxus mairei* 等。

3.2 种子植物科、属分布区类型

对 20 个紫楠天然群落内种子植物的 91 科进行分布区类型统计分析(表 2)，共划分出 11 个分布区类型，占比较高的类型为世界分布(30 科)、泛热带分布(25 科)与北温带分布(15 科)，分别占 32.97%，27.47%，16.48%；而中国特有分布的仅 1 科，为银杏科 Ginkgoaceae。对 20 个紫楠天然群落内种子植物的 220 属进行统计分析(表 2)，共划分出 13 个分布区类型，占比较高的类型为东亚分布(41 属)、北温带分布(40 属)、泛热带分布(35 属)和热带亚洲分布(26 属)，分别占总属数的 18.64%，18.18%，15.91%和 11.82%，中国特有分布的共 5 属，为喜树属 *Camptotheca*，杉木属 *Cunninghamia*，青钱柳属 *Cyclocarya*，牛鼻栓属 *Fortunearia* 和银杏属 *Ginkgo*。

表 2 紫楠群落种子植物科、属的分布区类型

Table 2 Distribution area of families and genera of seed plants in the *Phoebe sheareri* communities

分布区类型	科		属		分布区类型	科		属	
	数量	比例/%	数量	比例/%		数量	比例/%	数量	比例/%
世界分布	30	32.97	13	5.91	北温带分布	15	16.48	40	18.18
泛热带分布	25	27.47	35	15.91	东亚和北美间断分布	4	4.40	23	10.45
热带亚洲和热带美洲间断分布	7	7.69	6	2.73	旧世界温带分布	0	0	8	3.64
旧世界热带分布	2	2.20	12	5.45	地中海区、西亚至中亚分布	0	0	1	0.45
热带亚洲至热带大洋洲分布	2	2.20	6	2.73	东亚分布	3	3.30	41	18.64
热带亚洲至热带非洲分布	1	1.10	4	1.82	中国特有分布	1	1.10	5	2.27
热带亚洲分布	1	1.10	26	11.82	合计	91	100.00	220	100.00

3.3 不同干扰强度下紫楠群落优势树种的比较

表 3 列出了不同干扰强度下群落内平均重要值大于 5%的优势种。在不同干扰强度下，群落各层次物种组成的种类和数量具有明显差异。1 级干扰的乔木层中重要值大于 5%的有 5 种，灌木层有 5 种；2 级干扰的乔木层有 5 种，灌木层有 4 种；3 级干扰和 4 级干扰的乔木层与灌木层都为 4 种；而 5 级干扰的乔木层与灌木层都仅为 3 种。乔木层常见树种为紫楠，薄叶润楠 *Machilus leptophylla*，枫香 *Liquidambar formosana*，杉木 *Cunninghamia lanceolata*，柳杉 *Cryptomeria fortunei*，红楠 *Machilus thunbergii*，青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca* 及黄果朴 *Celtis sinensis* 等；灌木层常见紫楠，薄叶润楠，茶 *Camellia sinensis*，阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius*，紫麻 *Oreocnide frutescens*，毛花连蕊茶 *Camellia fraterna*，杜茎山 *Maesa japonica*，并伴有香花崖豆藤 *Millettia dielsiana*，络石 *Trachelospermum jasminoides* 等藤本植物。紫楠重要值在不同干扰强度下具有一定差异，乔木层中从高到低依次为 5 级干扰、1 级干扰、2 级干扰、3 级干扰、4 级干扰；灌木层中从高到低依次为 2 级干扰、1 级干扰、3 级干扰、4 级干扰、5 级干扰。

3.4 群落物种多样性特征

受干扰、环境的影响，不同群落物种组成与数量差异明显。从图 1 和图 2 可见：Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数的变化趋势基本一致。乔木层中这 3 个指数最大值都出现在 1 级干扰的 LS，Patrick 指数最大为 SC；最小值都出现在 5 级干扰的 LHT。灌木层 Patrick 指数最大值和最小值分别出现在 1 级干扰的 LS 和 5 级干扰的 XN，而 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数的最大值和最小值均出现在 2 级干扰的 LC 和 5 级干扰的 LHT。

3.5 物种多样性与干扰强度及生态因子的关系

运用 Quadratic 曲线对物种多样性指数与干扰强度的回归分析(图 3 和图 4)可见：4 个多样性指数值整体上均随干扰强度的增加而减小。其中，乔木层 Patrick 指数与干扰强度呈极显著相关，Shannon-Wiener 指数与干扰强度呈显著相关，说明干扰越强，群落乔木层物种丰富度与多样性程度越低。灌木层 Shannon-Wiener 指数与干扰强度呈极显著相关，Simpson 指数与干扰强度呈显著相关。在 2 级干扰强度下，灌木层 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数达最大值，而之后随干扰强度增加而减小。

表 3　不同干扰强度下紫楠群落中优势种及其重要值

Table 3　Dominant species and their importance values of communities under different disturbance intensity

干扰强度	群落层次	优势种	重要值/%
1	乔木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	35.63
		薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	21.07
		红楠 *Machilus thunbergii*	11.90
		黄果朴 *Celtis sinensis*	11.57
		青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca*	10.21
	灌木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	17.24
		薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	13.83
		茶 *Camellia sinensis*	12.72
		香花崖豆藤 *Millettia dielsiana*	11.67
		毛花连蕊茶 *Camellia fraterna*	11.36
		杜茎山 *Maesa japonica*	10.51
2	乔木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	30.37
		枫香 *Liquidambar formosana*	15.17
		杉木 *Cunninghamia lanceolata*	11.38
		黄果朴 *Celtis sinensis*	10.24
		青冈栎 *Cyclobalanopsis glauca*	10.07
	灌木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	20.57
		紫麻 *Oreocnide frutescens*	17.15
		茶 *Camellia sinensis*	12.80
		络石 *Trachelospermum jasminoides*	10.29
3	乔木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	28.33
		薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	21.36
		枫香 *Liquidambar formosana*	16.95
		柳杉 *Cryptomeria fortunei*	16.65
	灌木层	高粱泡 *Rubus lambertianus*	14.28
		络石 *Trachelospermum jasminoides*	10.94
		紫楠 *Phoebe sheareri*	10.88
		阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius*	10.26
4	乔木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	21.92
		杉木 *Cunninghamia lanceolata*	16.48
		薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	16.34
		枫香 *Liquidambar formosana*	10.02
	灌木层	薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	23.76
		紫楠 *Phoebe sheareri*	10.30
		茶 *Camellia sinensis*	10.53
5	乔木层	紫楠 *Phoebe sheareri*	42.01
		枫香 *Liquidambar formosana*	17.17
		薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	10.93
	灌木层	薄叶润楠 *Machilus leptophylla*	18.61
		紫楠 *Phoebe sheareri*	10.55
		茶 *Camellia sinensis*	10.05

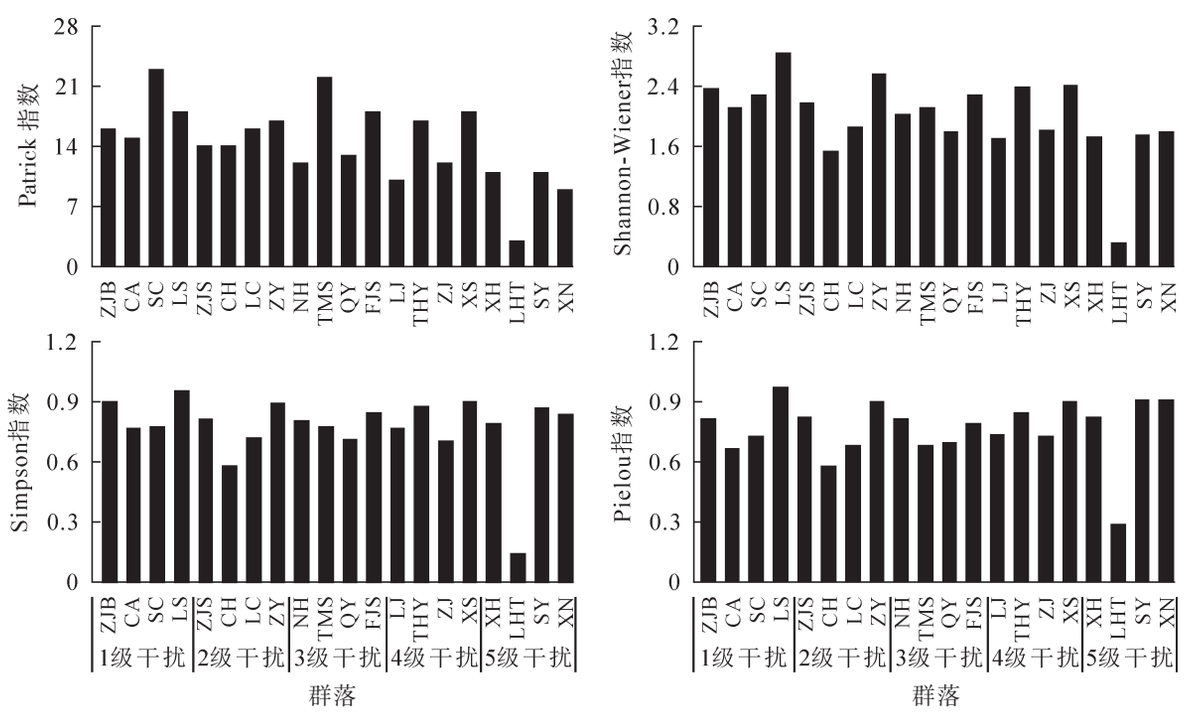

图 1　紫楠不同群落的乔木层物种多样性特征

Figure 1　Species diversity in the tree layer of *Phoebe sheareri* communities

各群落物种多样性指数与其地理生态因子间进行 Pearson 相关分析(表 4)表明：乔木层和灌木层的 4

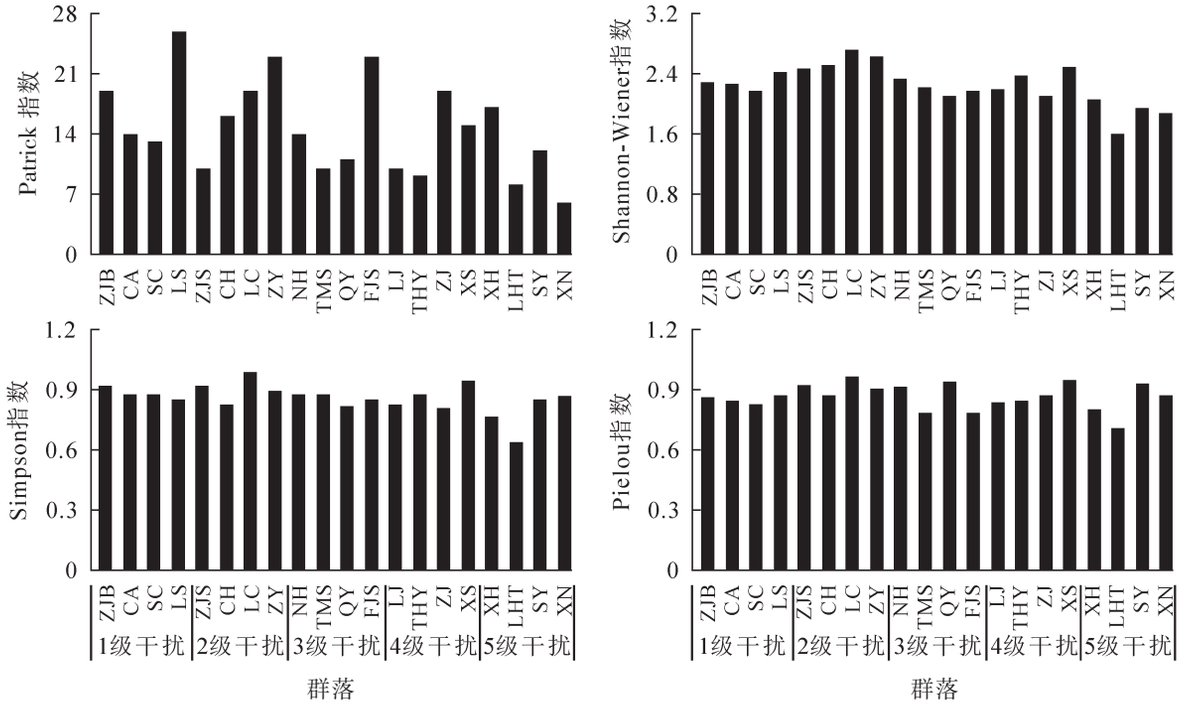

图 2 紫楠不同群落的灌木层物种多样性特征

Figure 2 Species diversity in the shrub layer of *Phoebe sheareri* communities

个多样性指数均与经度、纬度呈负相关，均与海拔高度、坡度呈正相关，均与年日照时长呈负相关。其中，乔木层 Patrick 指数与海拔、郁闭度分别呈显著与极显著正相关，Shannon-Wiener 指数与郁闭度呈显著正相关；灌木层 Patrick 指数与经度、纬度都呈显著负相关，Shannon-Wiener 指数与郁闭度呈显著正相关。但乔木层和灌木层的物种多样性指数与坡度、年均日照、年均温、年降水量、年无霜期等生态因子间的相关性均未达到显著水平。

4 讨论

本研究表明：调查样地占地面积为 10 400 m^2，共有维管束植物 103 科 236 属 363 种，其中蕨类植物 12 科 16 属 19 种，种子植物 91 科 220 属 344 种，紫楠伴生植物的科、属、种类型较为丰富。紫楠群

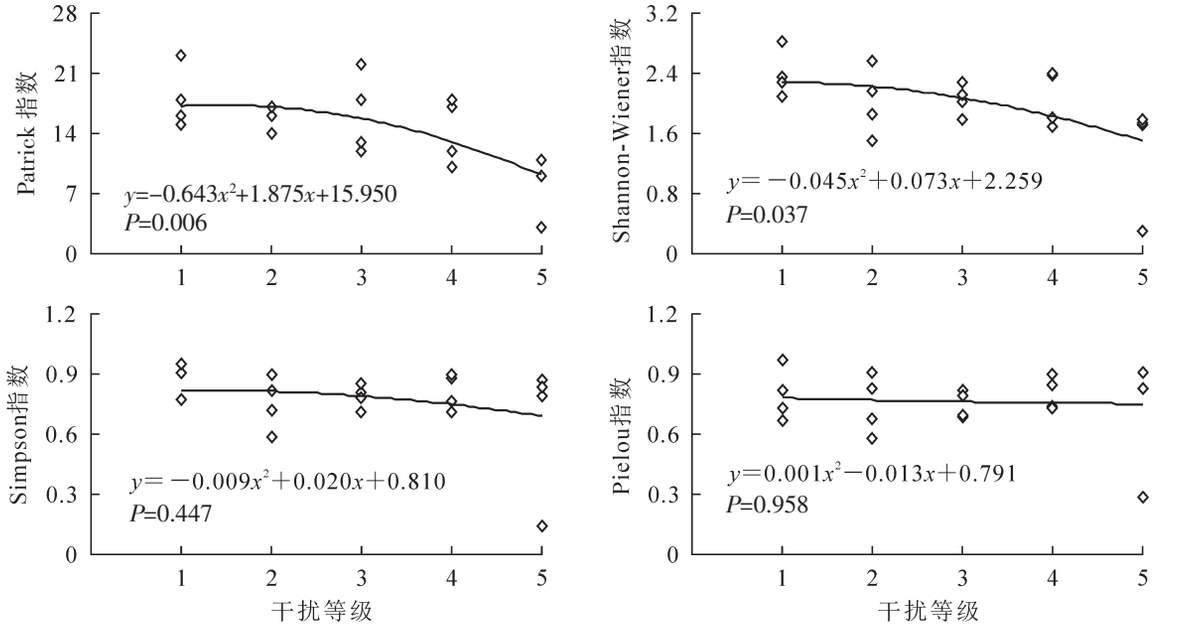

图 3 乔木层多样性指数与干扰强度的关系

Figure 3 Relationship between disturbance intensity and species diversity index in the tree layer

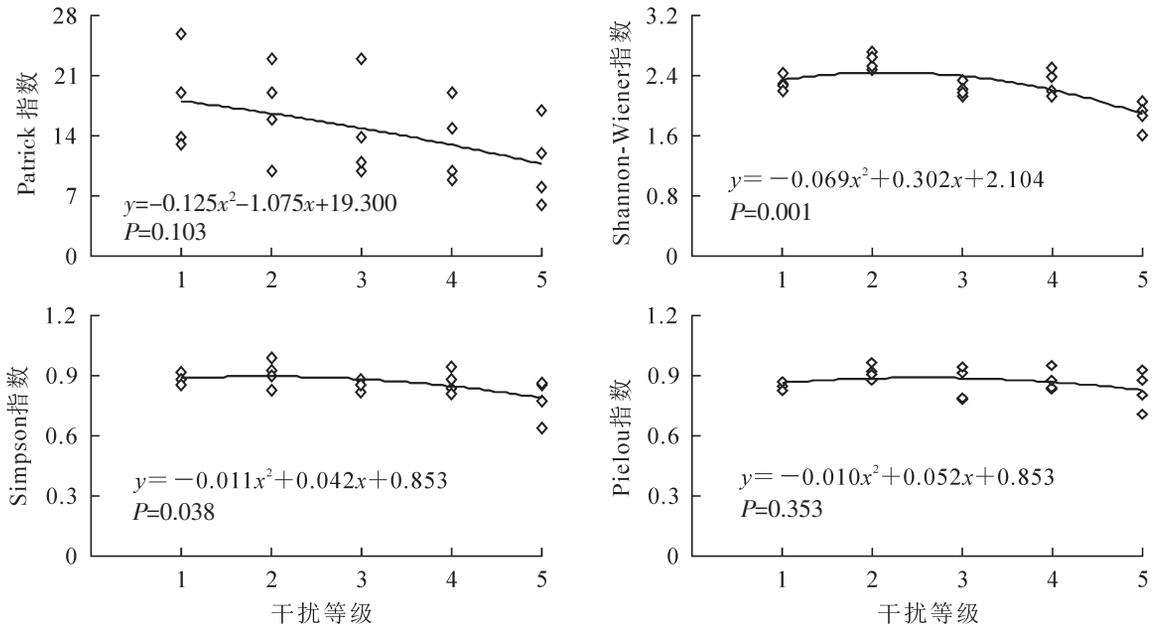

图 4　灌木层多样性指数与干扰强度的关系

Figure 4　Relationship between disturbance intensity and species diversity index in the shrub layer

表 4　紫楠群落多样性指数与地理生态因子的相关性

Table 4　Correlation between geo-ecological factors and diversity index in the *Phoebe sheareri* community

群落层次	多样性指数	*r*								
		纬度	经度	海拔	坡度	郁闭度	年日照	年均温	年降水量	年无霜期
乔木层	*R*	–0.067	–0.181	0.485*	0.115	0.596**	–0.180	–0.284	0.074	–0.075
	H′	–0.244	–0.366	0.388	0.407	0.479*	–0.321	–0.105	0.012	0.183
	D	–0.224	–0.303	0.248	0.386	0.193	–0.286	–0.075	0.061	0.132
	E_1	–0.322	–0.400	0.239	0.394	–0.036	–0.373	0.000	0.072	0.227
灌木层	*R*	–0.492*	–0.494*	0.370	0.269	0.381	–0.416	–0.008	0.229	0.303
	H′	–0.059	–0.162	0.154	0.216	0.472*	–0.117	–0.036	–0.065	0.115
	D	–0.120	–0.188	0.193	0.152	0.376	–0.171	–0.062	–0.020	0.152
	E_1	–0.269	–0.159	0.110	0.248	0.051	–0.013	0.193	0.005	0.199

说明：* 表示显著相关（$P<0.05$），** 表示极显著相关（$P<0.01$）

落物种组成丰富度显著高于多数针叶树种[23]，而与分布较广的麻栎 *Quercus acutissima*[24]，米槠 *Castanopsis carlesii*[25]，甜槠 *Castanopsis eyrei*[26]等阔叶树种的群落相当。在全国 15 个种子植物科（属）的分布区类型中，紫楠群落伴生种中科的分布区类型出现 11 种，属的分布区类型出现 13 种，以北温带和泛热带成分占明显优势。可见紫楠适合的生境范围较广，适与多种植物相互伴生组成群落，其伴生植物区系具有热带向北温带过渡的特征，符合紫楠天然群落常见于亚热带常绿阔叶林的特点。

干扰强度导致不同植物群落差异显著[27]。通过分析群落内平均重要值大于 5%的优势种发现，干扰强度越大，群落整体物种组成与数量都越少。5 级干扰紫楠天然群落，乔木层多以紫楠为主，树种组成相对单一，灌木层中紫楠往往因受干扰较大而难以生长，尤其是位于浙江建德绿荷塘楠木林的紫楠群落，乔木层仅有紫楠、薄叶润楠、刨花楠 *Machilus pauhoi* 3 种，且紫楠占绝对优势地位，天然混交林逐渐向紫楠纯林演变，一旦出现气候灾害或病虫害，群落最终会走向灭亡[28]。

不同群落的物种多样性主要表现在丰富度 Patrick 指数、多样性 Shannon-Wiener 指数、优势度 Simpson 指数和均匀度 Pielou 指数的差异。乔木层 4 个多样性指数最小值都出现在 5 级干扰的 LHT，表明重度干扰会降低群落的多样性水平，这与郝建锋等[29]的研究结果相符。灌木层 Patrick 指数最大的为 1 级干扰的 LS，Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数的最大值都出现在 2 级干扰的 LC，可见适度的干扰可扩大林窗面积，对灌木层物种多样性具有促进作用，印证了中度干扰假说[30]。

紫楠群落物种多样性指数值整体上均随干扰强度的增加而减小。乔木层 Patrick 指数与干扰强度呈极显著相关，Shannon-Wiener 指数与干扰强度呈显著相关，说明干扰越强，群落乔木层物种丰富度与多样性程度越低，与李建民等[31]的研究结果相符。2 级干扰强度时，群落灌木层 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数均大于 1 级干扰，但在 3 级干扰强度下，灌木层物种多样性指数随干扰强度的增加而减小，进一步佐证了中度干扰假说[32]。对物种多样性指数与地理生态因子进行 Pearson 相关分析结果表明：乔木层、灌木层物种多样性指数与郁闭度显著相关，而与年均日照、年均温、年降水量、年无霜期等气候条件均无显著相关性；群落郁闭度在一定程度上代表了干扰强度，说明与气候条件相比，干扰强度对群落物种多样性的影响更大[33]。

紫楠为珍贵商品木材“金丝楠木”的原植物种，在人为干扰和环境变化下，现存天然种群面积日益减少且资源片段化极其严重，其天然资源保护与合理利用刻不容缓。因此，建议各地政府应切实加强对紫楠现存资源的就地保护，在分布较集中的浙江杭州、临安、建德、淳安，南部的广西龙胜、资源以及西部的贵州梵净山等地建立重点保护区，尽可能最大限度保存野生珍贵资源；针对干扰较强的群落(如 LHT 和 XH 等)进行适度人工干预，提高群落物种多样性水平，促进紫楠种群自然更新与发展；开展人工育苗与造林，不断扩大紫楠资源分布与基因库；开展分子遗传学等研究，进一步了解紫楠种群遗传结构及其濒危成因，确定重点保护单元，制定科学保护策略。

5 参考文献

[1] ROTTSTOCK T, KUMMER V, FISCHER M, *et al*. Rapid transgenerational effects in *Knautia arvensis* in response to plant-community diversity [J]. *J Ecol*, 2017, **105**(3): 714 – 725.

[2] 王丽敏，缪心栋，严彩霞，等. 浙江省小花花椒群落结构与物种多样性[J]. 浙江农林大学学报，2013，**30**(2)：215 – 219.
WANG Limin, MIAO Xindong, YAN Caixia, *et al*. Structure characteristics and species diversity of *Zanthoxylum micranthum* in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2013, **30**(2): 215 – 219.

[3] 王小庆，刘方炎，李昆，等. 元谋干热河谷滇楝仁群落林下物种多样性与幼苗更新特征[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28**(2)：241 – 247.
WANG Xiaoqing, LIU Fangyan, LI Kun, *et al*. Species diversity and seedling regeneration of three *Terminalia franchetii* communities in the hot-dry Yuanmou Valley [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2011, **28**(2): 241 – 247.

[4] 郑昌龙，王健铭，李景文. 北京松山国家级自然保护区不同林龄胡桃楸林下植物多样性[J]. 浙江农林大学学报，2017，**34**(5)：825 – 832.
ZHENG Changlong, WANG Jianming, LI Jingwen. Undergrowth diversity at different ages of *Juglans mandshurica* forests in the Songshan National Nature Reserve, Beijing [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(5): 825 – 832.

[5] 陈小荣，李乐，夏家天，等. 百山祖亮叶水青冈种群结构和分布格局[J]. 浙江农林大学学报，2012，**29**(5)：647 – 654.
CHEN Xiaorong, LI Le, XIA Jiatian, *et al*. Population structure and distribution of *Fagus lucida* in the Baishanzu forest [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2012, **29**(5): 647 – 654.

[6] 汪洋，冷艳芝，苏长江，等. 恩施天然红椿种群结构及空间分布格局[J]. 浙江农林大学学报，2016，**33**(1)：17 – 25.
WANG Yang, LENG Yanzhi, SU Changjiang, *et al*. Spatial structure and distribution pattern of natural *Toona ciliate* populations in the Enshi Region [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2016, **33**(1): 17 – 25.

[7] 魏琦，楼炉焕，冷建红，等. 毛枝连蕊茶群落结构与物种多样性[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28**(4)：634 – 639.
WEI Qi, LOU Luhuan, LENG Jianhong, *et al*. Community structure and species diversity of *Camellia trichoclada* [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2011, **28**(4): 634 – 639.

[8] 闫东锋，朱滢，杨喜田. 宝天曼栎类天然林物种多样性与稳定性[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28**(4)：628 – 633.
YAN Dongfeng, ZHU Ying, YANG Xitian. Species diversity and stability of a natural *Quercus* forest in Baotianman, Henan Province [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2011, **28**(4): 628 – 633.

[9] 贾贤，黄秋生，刘光华，等. 我国楠木资源的研究现状[J]. 中国园艺文摘，2014(10)：55 – 59.
JIA Xian, HUANG Qiusheng, LIU Guanghua, *et al*. The present status of *Phoebe zhennan* [J]. *Chin Hortic Abstr*, 2014(10): 55 – 59.

[10] 陆云峰，杨安娜，张俊红，等. 紫楠转录组 EST-SSR 标记开发及通用性分析[J]. 农业生物技术学报，2018，**26**(6)：1014 – 1024.
LU Yunfeng, YANG Anna, ZHANG Junhong, *et al*. Development and transferability evaluation of EST-SSR markers based on transcriptome data of *Phoebe sheareri* [J]. *J Agric Biotechnol*, 2018, **26**(6): 1014 – 1024.

[11] 李珍，王素娟，刘纯玲，等. 紫楠及浙江楠种子萌发特性研究[J]. 北方园艺，2012(7)：58 – 60.
LI Zhen, WANG Sujuan, LIU Chunling, *et al*. Study on seed germination characteristics of *Phoebe sheareri* and *Phoebe chekiangensis* [J]. *North Hortic*, 2012(7): 58 – 60.

[12] 陈模芳，韦小丽，张怡. 紫楠实生幼苗的光合生理特性[J]. 贵州农业科学，2013，**41**(10)：55 – 58.
CHEN Mofang, WEI Xiaoli, ZHANG Yi. Study on photosynthetic physiology characteristics of young *Phoebe sheareri* seedling [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2013, **41**(10): 55 – 58.

[13] 周俊宏，成向荣，虞木奎，等. 紫楠幼苗生长、叶性状和生物量分配对林窗不同生境的响应[J]. 东北林业大学学报，2015，**43**(12)：21 – 24.
ZHOU Junhong, CHENG Xiangrong, YU Mukui, *et al*. Responses of growth, leaf tratis and biomass allocation of *Phoebe sheareri* seedlings to different habitats in forest gap [J]. *J Northeast For Univ*, 2015, **43**(12): 21 – 24.

[14] 周存宇，万小丽，张建，等. 5 种楠属植物叶片油细胞和黏液细胞的比较[J]. 湖北农业科学，2015，**54**(18)：4506 – 4508.
ZHOU Cunyu, WAN Xiaoli, ZHANG Jian, *et al*. Comparative studies on oil cell and mucilage cell in the leaves of 5 *Phoebe* species [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, **54**(18): 4506 – 4508.

[15] 洪利兴，杜国坚. 杭州市郊黄梅坞林区天然紫楠林的群落结构与生长规律研究[J]. 浙江林业科技，1989，**9**(4)：22 – 33.
HONG Lixing, DU Guojian. The structure of the natural forest of *Phoebe sheareri* in Wangmeiwu forest district of Hangzhou suburb and it's law of growth [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1989, **9**(4): 22 – 33.

[16] 邓送求，闫家锋，关庆伟. 宝华山紫楠风景林林分空间结构分析[J]. 东北林业大学学报，2010，**38**(4)：29 – 32.
DENG Songqiu, YAN Jiafeng, GUAN Qingwei. Spatial structure of scenic forest of *Phoebe sheareri* in Baohuashan, Jiangsu Province [J]. *J Northeast For Univ*, 2010, **38**(4): 29 – 32.

[17] BHUYAN P, KHAN M L, TRIPATHI R S. Tree diversity and population structure in undisturbed and human-impacted stands of tropical wet evergreen forest in Arunachal Pradesh, Eastern Himalayas, India [J]. *Biodiv Conserv*, 2003, **12**(8): 1753 – 1773.

[18] 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[J]. 生态学报，2006，**26**(12)：3924 – 3930.
WU Ganlin, HUANG Minyi, DUAN Renyan, *et al*. Disturbing effects of tourism on species diversity in *Pinus taiwanensis* communities [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(12): 3924 – 3930.

[19] 郝建锋，李艳，齐锦秋，等. 人为干扰对碧峰峡栲树次生林群落物种多样性及其优势种群生态位的影响[J]. 生态学报，2016，**36**(23)：7678 – 7688.
HAO Jianfeng, LI Yan, QI Jinqiu, *et al*. Effects of anthropogenic disturbances on the species diversity and niche of the dominant populations in a *Castanopsis fargesii* secondary forest community in Bifengxia, Sichuan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36**(23): 7678 – 7688.

[20] 李皓，姜景民，邵文豪，等. 浙江九龙山自然保护区粉叶柿群落的结构特征[J]. 林业科学研究，2009，**22**(3)：360 – 366.
LI Hao, JIANG Jingmin, SHAO Wenhao, *et al*. Community structure of *Diospyros glaucifolia* in Jiulongshan Nature Reserve, Zhejiang, China [J]. *For Res*, 2009, **22**(3): 360 – 366.

[21] 邵文豪，李皓，刘军，等. 西天目山浙江柿群落特征研究[J]. 江西农业大学学报，2009，**31**(2)：258 – 263.
SHAO Wenhao, LI Hao, LIU Jun, *et al*. A study on community characteristics of *Diospyros glaucifolia* in Xitianmu Mountain [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2009, **31**(2): 258 – 263.

[22] 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]. *Biodiv Sci*, 2009, **17**(6): 533 – 548.

[23] 方全，刘以珍，葛刚. 鄱阳湖流域含珍稀针叶树种的群落特征[J]. 植物生态学报，2016，**40**(9)：952 – 957.
FANG Quan, LIU Yizhen, GE Gang. Characteristics of plant communities containing rare conifers in Poyang Lake Basin, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2016, **40**(9): 952 – 957.

[24] 吴晓莆，王志恒，崔海亭，等. 北京山区栎林的群落结构与物种组成[J]. 生物多样性，2004，**12**(1)：155 – 163.
WU Xiaopu, WANG Zhiheng, CUI Haiting, *et al*. Community structures and species composition of oak forests in mountainous area of Beijing [J]. *Biodiv Sci*, 2004, **12**(1): 155 – 163.

[25] 方燕鸿. 武夷山米槠、甜槠常绿阔叶林的物种组成及多样性分析[J]. 生物多样性，2005，**13**(2)：148 – 155.
FANG Yanhong. Species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest of *Castanopsis carlesii* and *C. eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian, China [J]. *Biodiv Sci*, 2005, **13**(2): 148 – 155.

[26] 杨青，丁晖，方炎明，等. 武夷山大安源甜槠常绿阔叶林群落物种组成及多样性分析[J]. 植物资源与环境学报，2014，**23**(1)：44 – 50.
YANG Qing, DING Hui, FANG Yanming, *et al*. Analyses on species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest community of *Castanopsis eyrei* at Da'anyuan in Wuyi Mountain [J]. *J Plant Res Environ*, 2014, **23**(1): 44 – 50.

[27] 李振基，刘初钿，杨志伟，等. 武夷山自然保护区郁闭稳定甜槠林与人为干扰甜槠林物种多样性比较[J]. 植物生态学报，2000，**24**(1)：64 – 68.
LI Zhenji, LIU Chudian, YANG Zhiwei, *et al*. Studies on the species diversity of the closed stable forest and the disturbed forest of *Castanopsis eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2000, **24**(1): 64 – 68.

[28] 包维楷，陈庆恒，刘照光. 退化植物群落结构及其物种组成在人为干扰梯度上的响应[J]. 云南植物研究，2000，**22**(3)：307 – 316.
BAO Weikai, CHEN Qingheng, LIU Zhaoguang. Changes of structure and species composition of degraded plant community along disturbance gradients of different intensities [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2000, **22**(3): 307 – 316.

[29] 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* communities in Jinfengshan Moutain in western Sichuan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(23): 6930 – 6942.

[30] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. *Science*, 1978, **199**(4335): 1302 – 1310.

[31] 李建民，谢芳，张思玉，等. 不同干扰强度下光皮桦群落树木物种多样性比较[J]. 浙江林学院学报，2001，**18**(4)：359 – 361.
LI Jianmin, XIE Fang, ZHANG Siyu, *et al*. Tree species diversity in *Betula luminifora* community under different intensities of disturbance [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2001, **18**(4): 359 – 361.

[32] ROXBURGH S H, SHEA K, WILSON J B. The intermediate disturbance hypothesis: patch dynamics and mechanisms of species coexistence [J]. *Ecology*, 2004, **85**(2): 359 – 371.

[33] 周伶，上官铁梁，郭东罡，等. 晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应[J]. 生态学报，2012，**32**(1)：111 – 122.
ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, *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 Ecol Sin*, 2012, **32**(1): 111 – 122.