



人为干扰对碧峰峡山矾次生林群落 主要植物种群生态位的影响

伍炫蓓¹,姚俊宇¹,孙千惠¹,吴 霞¹,郝建锋^{1,2*},齐锦秋^{1,3}

(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 木材工业与家具工程重点实验室, 成都 611130)

摘要: 基于对碧峰峡山矾(*Symplocos sumuntia*)次生林中乔木层、灌木层、草本层总计 288 个样方的调查, 采用 Levins、Hurlber 生态位宽度指数、Pianka 生态位重叠指数及 Sørensen 相似性系数对山矾次生林不同强度人为干扰下各层次主要植物种的生态位特征及群落物种相似度进行定量分析, 以揭示碧峰峡山矾次生林不同干扰程度下, 各层次主要种群对生境资源的利用情况以及相对地位的变化, 明确物种的生态适应性, 为生态系统稳定性研究提供理论依据。结果显示:(1)山矾在不同强度人为干扰下均占据较宽生态位, 适应环境和利用资源的能力较强, 是次生林群落的建群种; 随干扰强度增加, 乔木层中山茶科(Theaceae)植物生态位宽度增大, 青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)生态位宽度呈先增大后减小的趋势; 灌木层中杉木(*Cunninghamia lanceolata*)在重度干扰下生态位宽度减小, 光枝楠(*Phoebe neuranthoides*)生态位宽度则增加, 其他大多数植物在中度干扰下生态位宽度最小; 草本层中红盖鳞毛蕨(*Dryopteris erythrosora*)在重度干扰下生态位变宽, 其适应范围扩大。(2)乔木层中山矾和冬青(*Ilex chinensis*)生态位重叠值在重度干扰下增大; 灌木层中高粱泡(*Rubus lambertianus*)和老鼠屎(*Symplocos stellaris*)与其他物种的生态位重叠值仅在中度干扰下出现; 草本层中, 随干扰强度增加, 书带蕨(*Vittaria flexuosa*)生态位重叠值消失, 红盖鳞毛蕨生态位重叠值出现并且较高; 群落各层次主要树种整体生态位重叠均值在中度干扰下降至最低。(3)乔木层和草本层中不同强度干扰层次两两之间相似性系数均大于 0.8; 灌木层中重度干扰-中度干扰、中度干扰-轻度干扰、重度干扰-轻度干扰之间相似性系数分别为 0.636、0.746、0.608。研究表明, 不同强度人为干扰下, 山矾次生林中因资源利用而产生的种间竞争均较激烈, 群落分布格局和演替方向受到影响, 森林群落不稳定。

关键词: 人为干扰; 次生林; 生态位宽度; 生态位重叠; 相似性系数

中图分类号: Q948.12; Q948.15⁺4

文献标志码: A

Effects of Anthropogenic Disturbances on the Niche of the Main Populations in a *Symplocos sumuntia* Secondary Forest Community in Bifengxia, Sichuan

WU Xuanbei¹, YAO Junyu¹, SUN Qianhui¹, WU Xia¹, HAO Jianfeng^{1,2*}, QI Jinqiu^{1,3}

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

Abstract: Based on the observed data from 288 plots in tree layer, shrub layer and herbaceous layer in a

收稿日期:2017-04-26;修改稿收到日期:2017-06-23

基金项目:国家自然科学基金(31370628);四川省教育厅一般项目(自然科学,15ZB0020);四川农业大学双支计划(03571838);四川农业大学科研兴趣培养(20150190)

作者简介:伍炫蓓(1995—),女,本科生,主要从事森林生态学研究。

* 通信作者:郝建锋,博士,副教授,主要从事森林生态学研究。E-mail:704060294@qq.com

Symplocos sumuntia secondary forest community in Bifengxia, we quantitatively analyzed the niche characteristics of main species in these three different layers in a *S. sumuntia* secondary forest community and similarity of community species using Levins and Hurlber niche breadth, Pianka niche overlapping indices, and Sørensen's similarity coefficient. By revealing the interference relationship of secondary forest community in Bifengxia, it demonstrated the main species in different layers can be changed in adapting the environment and relative status, which clarified the ecological adaptability of the species. It provided a theoretical basis for the stability of the ecosystem. The results suggested: (1) *S. sumuntia* with higher capability of adapting to environment and resources in the investigated habitat had wide niche breadth under different levels of anthropogenic disturbance, which was the major species of community composition. With the increasing of disturbances, the niche breadth of Theaceae increased in the tree layer, and the niche breadth of *Cyclobalanopsis glauca* increased first and then decreased. The niche breadth of *Cunninghamia lanceolata* decreased but that of *Phoebe neuranthoides* increased in shrub layer under severe disturbance, and the niche breadth for most other species were the lowest under medium disturbance. In the herbaceous layer, the niche breadth for *Dryopteris erythrosora* increased under severe disturbance with wider adaptive range. (2) Under severe disturbance, the overlap values for *S. sumuntia* and *Ilex chinensis* in tree layer increased. Under medium disturbance, the overlap values of *Rubus lambertianus* and *Symplocos stellaris* only appear in the shrub layer. With increasing disturbances, the overlap niche values of *Vittaria flexuosa* disappear, and the same values of *D. erythrosora* appear and become high. The overlap niche values of main populations in all layers became minimum under medium disturbance. (3) The Sørensen's similarity coefficient between tree layer and herbaceous layer is higher than 0.8; in shrub layer, the Sørensen's similarity coefficient of severe-medium disturbance level, medium-slight disturbance level and severe-slight disturbance level were 0.636, 0.746 and 0.608, respectively. In conclusion, under different levels of anthropogenic disturbance, the interspecies competition caused the utilization of resources is more intense in the *S. sumuntia* forest, the distributed pattern of species community and succession direction are affected and the species community of forest becomes unstable.

Key words: human disturbance; secondary forest; niche breadth; niche overlap; Sørensen's similarity coefficient

近年来,随着旅游业的高度发展,人类活动对旅游地的环境造成了显著的负面影响^[1-3],其中植物与土壤受到的直接影响最重^[4],其所受影响程度与人为干扰强度呈显著相关^[5]。生态位是种群在群落或生境中时间、空间位置及其与相关种群之间的功能关系,能够有效地反映种群在其所在特定生态系统中的综合地位^[6-7],是现代生态学解释自然群落中物种共存与竞争体制的基本理论之一^[8-11],已广泛地应用于研究种间关系、生物多样性、群落结构与功能、群落动态演替等方面^[3,7,12-14]。干扰是影响植物空间分布的重要因素^[15],是导致生态系统中各类资源改变和生态系统结构重组的原因之一^[16],目前关于干扰在群落生态位方面的研究涉及的群落结构、植物群落类型较单一,区域环境类型多集中于草原、高山草甸、湿地等^[3,15,17-18],而干扰在不同空间尺度上对次生林群落影响的研究较少。

碧峰峡风景区为国家一级保护动物大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)栖息地之一,是中国AAAA级景区,景区内动植物资源丰富,森林覆盖

率到64%,有着良好调节气候、水土保持、涵养水源和维护生态平衡的功能。随着碧峰峡风景区旅游业的发展,游客人数和旅游设施急剧增加,以及当地居民的采摘采伐等人为干扰,导致该地区植物资源呈现退化趋势,破坏原有森林群落的稳定性,同时减弱其景观作用。山矾(*Symplocos sumuntia*)为山矾科(Symplocaceae)常绿阔叶乔木,具有较强的适应性及经济与生态价值,为碧峰峡常绿阔叶林主要组成群落树种之一,本文拟对碧峰峡山矾次生林中主要植物种群的生态位特征进行分析,旨在揭示该区不同干扰程度下,各层次主要种群对生境资源的利用情况以及相对地位的变化,有助于了解物种的生态适应性,为进一步对生态系统稳定性研究提供理论依据,对碧峰峡景区生物多样性资源保护和可持续经营管理具有重要意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

碧峰峡风景区位于四川省雅安市雨城区北部

($30^{\circ}03' \sim 30^{\circ}05'N$, $102^{\circ}57' \sim 103^{\circ}07'E$),处在四川盆地与青藏高原过渡地带之间。海拔多介于780~1 800 m,最高峰1 971 m;属亚热带季风性湿润气候,气候温暖湿润,雨量充沛,年均温13.9 °C,年降水量1 749.8 mm,年均日照1 039.6 h;土壤垂直分布规律明显,从山顶由上而下分别为山地黄壤、酸性紫色土、弱酸性紫色土^[19];自然植被结构属亚热带季雨式偏湿型常绿阔叶次生林。该地区由于受到旅游活动的影响与当地居民折枝、拾薪及采伐等干扰,原有的地带性群落受到扰动经逆行演替逐渐形成以山矾、木荷和栲为建群种的常绿阔叶次生林,主要分布于海拔1 000~1 800 m,其植被多为山矾科、壳斗科(Fagaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)植物。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样方调查 以距核心景区旅游线路的远近^[20]、植被破坏程度、林分郁闭度作为依据,将林地划分为3种不同强度人为干扰的样地:(1)轻度干扰:距离核心景区旅客通道>500 m,基本无人进入,人为活动影响少,林相保存较完整,林分郁闭度>0.8。(2)中度干扰:距离核心景区旅游线路150~500 m,游客进入较少,折枝、樵采等人为干扰时有出现,但植被受破坏程度相对较轻,林分郁闭度0.7~0.8;(3)重度干扰:距离核心景区旅游线

路<150 m,大量游客涌入,人为活动迹象明显,踩踏严重,选择性采伐行为频繁,林内灌木层、草本层植被受到破坏较严重,郁闭度<0.7。运用典型选样法,在轻度、中度、重度干扰样地中各选取4块,共计12块,面积为20 m×30 m的典型样地(表1)。采用“相邻样格法”^[21]将每个样地等分为6个10 m×10 m的乔木样方,测定并记录样方内的物种名称、数量、胸径、树高、冠幅等指标。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,分别测定并记录其物种名称、高度、冠幅(盖度)、株数或丛数等指标。

1.2.2 计算方法 此次调查共记录乔木、灌木、草本植物共158种,在考虑植物种群对不同资源的利用状态的基础上,将调查中3种强度干扰类型下的各个样地综合看作一种资源状态,并根据各个种在不同样方中的调查数据计算其重要值,选取不同干扰程度下各层次重要值之和大于0.6的物种作为主要树种,其中乔木层前11种、灌木层前18种、草本层前8种,进行生态位分析研究。

重要值的计算^[22]:

乔木重要值: $IV = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度})/3$

灌木及草本重要值: $IV = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度})/3$

表1 样地基本信息

Table 1 Basic properties of the sample plots

样地编号 Sample plot No.	海拔 Altitude /m	坡度 Slope/°	坡向 Aspect/°	乔木 Tree			郁闭度 Canopy	干扰强度 Disturbance intensity
				平均胸径 Average diameter/cm	平均株高 Average height/m	密度 Density/(株/hm ²)		
1	1 132.3	23	NE80	10.7±1.1abc	9.3±1.8c	2 250±334.1a	0.85±0.05abc	A
2	1 129.5	26	NE83	9.6±0.7bc	9.6±1.5bc	2 025±287.2ab	0.91±0.04a	A
3	1 128.2	21	NE79	9.5±1.5c	10.3±1.6abc	1 930±170.1ab	0.82±0.05abcd	A
4	1 126.1	24	NE74	9.9±1.1abc	10.0±2.4abc	1 630±120.6bcde	0.87±0.08ab	A
5	1 136.6	27	NE59	10.5±0.9abc	11.7±0.9ab	1 640±109.5bcde	0.76±0.11cde	B
6	1 135.8	26	NE66	9.7±0.9bc	10.3±0.7abc	1 700±115.8bcd	0.72±0.05defg	B
7	1 133.4	31	NE6	11.2±1.2abc	12.1±0.8a	1 850±102.3acd	0.79±0.03bcde	B
8	1 132.3	28	WN65	10.7±1.2abc	12.2±1.1a	2 220±105.3a	0.73±0.08def	B
9	1 144.2	29	WN72	12.8±1.1bc	11.6±1.7abc	1 200±316.2e	0.70±0.06efg	C
10	1 146.3	32	WN80	13.1±1.2a	10.6±1.3abc	1 400±153.4cde	0.64±0.04fgh	C
11	1 149	31	WN85	12.4±2.38abc	10.5±1.8abc	1 800±136.9abc	0.59±0.07h	C
12	1 147.9	31	WN86	12.7±2.07abc	10.6±1.3abc	1 250±69.7de	0.62±0.05gh	C

注:A. 轻度干扰;B. 中度干扰;C. 重度干扰;下同。每个指标同列数据后不同小写字母表示各样地间差异达5%水平

Note: A. Slight disturbance; B. Medium disturbance; C. Severe disturbance. The same as below. Data of every index followed by different letters indicate significant difference among the plots at the 5% level

生态位宽度的计算:

$$(1) \text{Levins 指数}^{[23]}: B_i = - \sum_{j=1}^r P_{ij} \log P_{ij}$$

式中, B_i 为种 i 的生态位宽度, n_{ij} 为种 i 在资源 j 上的优势度, P_{ij} 为物种 i 在资源系列中第 j 个资源位的重要值占该种重要值总数的比例, 即 $P_{ij} = n_{ij} / N_i$, $N_i = \sum_{j=1}^r n_{ij}$, r 为资源状态数, 在本文中 r 为样地数($r = 12$), $B_i \in [0, \log r]$ 。

$$(2) \text{Hurlber 指数}^{[24]}: B_a = (B_s - 1) / (r - 1)$$

式中, B_a 为种 i 的生态位宽度, $B_s = 1 / \sum_j (n_{ij} / N_j)^2$, n_{ij} 、 N_i 、 r 的含义同上, $B_a \in [0, 1]$ 。

生态位重叠的计算^[25]:

$$(1) \text{Pianka 公式: } O_{ik} = \sum_{j=1}^r n_{ij} n_{kj} / \sqrt{\sum n_{ij}^2 \sum n_{kj}^2}$$

式中, O_{ik} 为物种 i 和物种 k 的生态位重叠值, n_{ij} 和 n_{kj} 为物种 i 和物种 k 在资源 j 上的优势度即重要值, r 为资源状态数, $O_{ik} \in [0, 1]$ 。

样地所有树种间生态位重叠值的总平均值=样地内所有树种间生态位重叠值总数/总数种对数

$$(2) \text{Sørensen 相似性系数}^{[18]}: S_s = 2a / (2a + b + c)$$

式中, S_s 为 Sørensen's 相似性系数, a 为 2 个样方中共有的物种数, b 为甲样方有而乙样方没有的物种数, c 为乙样方有而甲样方没有的物种数。

2 结果与分析

2.1 不同干扰强度下主要树种的重要值特征

重要值作为体现物种在群落中的作用与地位的综合性数量指标,能够反映物种在群落中的优势程度^[26]。根据 288 个样方的调查数据,分别计算轻度、中度、重度干扰下各层次主要树种的重要值(表 2)。乔木层中,山矾在轻度和中度干扰下重要值最大并明显高于其他物种,山茶(*Camellia japonica*)的重要值随干扰程度增加而增加,木荷(*Schima superba*)、日本杜英(*Elaeocarpus japonicus*)在重度干扰下重要值出现并取得较大值;灌木层中,新木姜子(*Neolitsea aurata*)、交让木(*Daphniphyllum macropodum*)重要值随干扰程度增加而减小,山矾与之相反,重度干扰下,山矾、野漆(*Toxicodendron succedaneum*)、黄牛奶树(*Symplocos laurina*)重要值较大;草本层中,肉穗草(*Sarcopyramis bodinieri*)在轻度和中度干扰下重要值居首位,叶底红(*Phyllagathis fordii*)随干扰程度加深重要值减小,重度干扰下荩草(*Arthraxon hispidus*)重要值最大。综合来看,同一物种在受不同强度干扰的群落中优势度存在差异。

2.2 不同干扰强度下主要树种的生态位宽度

表 3 显示乔木层中,Levins 指数和 Hurlber 指数两者整体上趋势相同。山矾在轻度、中度及重度

表 2 不同干扰强度下群落主要种群重要值

Table 2 Important value for the main populations in the *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	物种 Species	干扰强度 Disturbance intensity		
		A	B	C
乔木层 Tree layer	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.134	0.157	0.137
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	0.064	0.060	0.075
	山茶 <i>Camellia japonica</i>	—	0.033	0.049
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.064	0.051	—
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.050	0.087	—
	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	0.046	0.049	—
	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	0.038	0.064	—
	栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.069	—	0.068
	总状山矾 <i>Symplocos botryanthia</i>	0.040	—	—
	齿叶红淡比 <i>Cleyera japonica</i> var. <i>lipingensis</i>	0.033	—	—
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	0.032	—	—
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	—	0.048	—

木荷 *Schima superba*

日本杜英 *Elaeocarpus japonicus*

0.154

0.120

续表2 Continued Table 2

层次 Layer	物种 Species	干扰强度 Disturbance intensity		
		A	B	C
灌木层 Shrub layer	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	0.124	0.105	0.050
	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	0.091	0.045	0.082
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.066	0.070	0.099
	菝葜 <i>Smilax china</i>	0.059	0.035	0.049
	黄牛奶 <i>Symplocos laurina</i>	0.054	0.032	0.086
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.041	0.016	0.037
	棠叶悬钩子 <i>Rubus malifolius</i>	0.031	0.035	—
	中华猕猴桃 <i>Actinidia chinensis</i>	0.025	—	0.023
	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	0.028	0.021	—
	硃砂根 <i>Ardisia crenata</i>	0.028	0.058	0.030
	总状山矾 <i>Symplocos botryantha</i>	0.026	—	—
	木荷 <i>Schima superba</i>	0.026	0.021	0.047
	老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	—	0.044	—
	光枝楠 <i>Phoebe neuranthoides</i>	—	—	0.037
草本层 Herbaceous layer	高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	—	0.030	—
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	—	0.027	0.033
	袍栎 <i>Quercus serrata</i>	—	0.023	—
	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i>	—	0.023	—
	肉穗草 <i>Sarcopyramis bodinieri</i>	0.211	0.253	0.150
	叶底红 <i>Phyllagathis fordii</i>	0.201	0.130	0.129
	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.074	—	—
乔木层 Tree layer	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	0.071	—	—
	书带蕨 <i>Haplopteris flexuosa</i>	0.062	—	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	—	0.163	0.210
	尾叶鳞盖蕨 <i>Microlepia caudiformis</i>	—	0.073	—
	红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i>	—	—	0.141

表3 不同干扰强度下群落乔木层主要种群生态位宽度

Table 3 Niche breadth for the main populations in tree layer in *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	主要物种 Main species	干扰强度 Disturbance intensity					
		A		B		C	
		B_i	B_a	B_i	B_a	B_i	B_a
乔木层 Tree layer	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	1.08	0.96	1.07	0.90	1.10	1.00
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.65	0.43	0.90	0.55	—	—
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	1.04	0.84	0.63	0.40	1.08	0.95
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.52	0.26	0.65	0.42	—	—
	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	1.04	0.86	0.63	0.40	—	—
	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	1.00	0.73	0.60	0.34	—	—
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	0.69	0.50	—	—	—	—
	总状山矾 <i>Symplocos botryantha</i>	0.69	0.49	—	—	—	—
	木荷 <i>Schima superba</i>	—	—	—	—	1.07	0.92
	齿叶红淡比 <i>Cleyera japonica</i> var. <i>lipingensis</i>	0.67	0.45	—	—	—	—
	栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.65	0.42	—	—	1.06	0.90
	山茶 <i>Camellia japonica</i>	—	—	0.69	0.50	1.07	0.91
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	—	—	0.68	0.48	—	—
	日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	—	—	—	—	0.68	0.47

注: B_i . Levins 指数; B_a . Hurlber 指数。下同Note: B_i . Levins index; B_a . Hurlber index; The same as below

干扰下生态位宽度值均为最大且差异不明显,Levins 指数分别为 1.08、1.07、1.10,Hurlber 指数分别为 0.96、0.90、1.00,说明山矾对资源的利用程度最高,受环境影响小。随干扰程度加深,交让木、总状山矾(*Symplocos botryantha*)等生态位宽度消失;青冈的生态位宽度先增加后减小,冬青的生态位宽度先减小后增加,在重度干扰下取得最广生态位;值得注意的是,木荷与山茶的生态位宽度随干扰强度增加而出现,其 Levins、Hurlber 指数分别在重度干扰下达到 1.07、0.92 与 1.07、0.91。

表 4 显示,同一物种在不同强度干扰下的生态

位宽度存在较大差异。灌木层中,棠叶悬钩子(*Rubus malifolius*)和硃砂根(*Ardisia crenata*)在中度干扰下取得最大生态位宽度,Levins 指数分别为 1.06、1.04,Hurlber 指数分别为 0.89、0.85,具有较强的利用资源能力,而硃砂根在轻度干扰和重度干扰下仅占有较窄生态位,棠叶悬钩子在重度干扰下生态位宽度降低为 0;木荷在轻度和重度干扰下均取得较大生态位,而在中度干扰下 Levins、Hurlber 指数分别仅为 0.69、0.50。老鼠矢、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhami*)、高粱泡等生态位仅在中度干扰下出现;山矾和黄牛奶树在 3 种干扰强度下所测生

表 4 不同干扰强度下群落灌木层及草本层主要种群生态位宽度变化

Table 4 Niche breadth for the main populations in shrub layer and herbaceous layer in *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	主要物种 Main species	干扰强度 Disturbance intensity					
		A		B		C	
		B_i	B_a	B_i	B_a	B_i	B_a
灌木层 Shrub layer	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	1.10	0.99	1.10	1.00	1.05	0.88
	棠叶悬钩子 <i>Rubus malifolius</i>	0.67	0.45	1.06	0.89	—	—
	黄牛奶树 <i>Symplocos laurina</i>	1.08	0.95	1.05	0.86	1.06	0.88
	硃砂根 <i>Ardisia crenata</i>	0.68	0.48	1.04	0.85	0.69	0.49
	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	1.07	0.91	0.93	0.67	1.09	0.97
	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	1.00	0.77	0.85	0.48	1.00	0.77
	木荷 <i>Schima superba</i>	1.08	0.95	0.69	0.50	1.04	0.85
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1.08	0.95	0.69	0.49	0.66	0.43
	菝葜 <i>Smilax china</i>	1.02	0.81	0.62	0.38	1.07	0.93
	中华猕猴桃 <i>Actinidia chinensis</i>	0.69	0.50	—	—	0.67	0.46
	总状山矾 <i>Symplocos botryantha</i>	0.67	0.46	—	—	—	—
	老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	—	—	0.95	0.64	—	—
	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i>	—	—	0.69	0.50	—	—
	高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	—	—	0.69	0.50	—	—
	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	—	—	0.68	0.48	—	—
草本层 Herbaceous layer	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	0.68	0.47	0.64	0.41	—	—
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	—	—	0.58	0.32	0.69	0.50
	光枝楠 <i>Phoebe neuranthoides</i>	—	—	—	—	0.68	0.47
	叶底红 <i>Phyllagathis fordii</i>	1.07	0.93	1.08	0.93	1.09	0.97
	肉穗草 <i>Sarcopyramis bodinieri</i>	1.10	0.99	0.91	0.57	1.05	0.88
	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.68	0.48	—	—	—	—
	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	0.68	0.47	—	—	—	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	—	—	0.66	0.44	0.54	0.27
	尾叶鳞盖蕨 <i>Microlepia caudiformis</i>	—	—	0.54	0.28	—	—
	书带蕨 <i>Haplopteris flexuosa</i>	1.08	0.94	—	—	—	—
	红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i>	—	—	—	—	0.98	0.69

境均取得较大生态位,生态适应范围较大,生态资源利用率高。草本层中,叶底红在3种干扰强度下生态位宽度均保持较大值且差值极小,并随干扰强度增加,生态位逐渐扩展,在重度干扰下取得最大值;尾叶鳞盖蕨(*Microlepia caudiformis*)仅在中度干扰条件下出现生态位,表明其对环境资源具有较强的选择性,对环境要求较为苛刻;在重度干扰下,红盖鳞毛蕨在群落中出现,其Levins和Hurlber指数分别为0.98、0.69,可利用资源幅度较广。

2.3 不同干扰强度下主要物种的生态位重叠

生态位重叠是研究物种对于资源的利用及种间竞争关系的基础^[27]。在不同干扰程度下,乔木层中山矾和冬青与其他树种间生态位重叠均值均表现为重度干扰>轻度干扰>中度干扰(表5),说明在重度干扰下它们与其他物种之间的竞争最为激烈,其中山矾与栲的生态位重叠均值分别达到0.91和0.92;随干扰程度增加,总状山矾、交让木等的生态位重叠消失,而木荷、山茶、日本杜英生态位重叠值出现并在重度干扰下与其他树种产生较高生态位重叠;乔木层各主要树种生态位重叠总均值大小表现为重度干扰>轻度干扰>中度干扰。

灌木层及草本层主要物种生态位重叠结果如表6所示。灌木层中,黄牛奶树、山矾、木荷、杉木和菝

葜(*Smilax china*)在轻度干扰下生态位重叠值大于0.9;山矾在轻度、中度以及重度干扰下的生态位重叠均值较高,分别为0.91、0.85、0.87,说明在不同强度干扰下山矾与其他树种间的竞争均较为激烈;随干扰强度的加深,总状山矾、棠叶悬钩子的生态位重叠消失,交让木开始出现较高生态位重叠并有增加的趋势;同时可发现高粱泡、虎皮楠、老鼠矢等物种与其他物种的生态位重叠均值仅在中度干扰下出现;灌木层各树种间生态位重叠均值总体表现为轻度干扰>重度干扰>中度干扰。草本层中,叶底红在轻度、中度、重度干扰下均取得最大生态位重叠,分别为0.88、0.78、0.84;尾叶鳞盖蕨仅在中度干扰下出现生态位重叠,其生态位重叠均值为0.66;随干扰强度增加,书带蕨的生态位重叠值消失,红盖鳞毛蕨在重度干扰下出现,其生态位重叠值较高;草本层各主要物种与其他树种间的生态位重叠均值在轻度干扰下最高,在中度干扰下最低。

2.4 不同干扰强度下各层次之间的相似性系数

由表7可以看出,各层次下轻度、中度、重度干扰样地两两之间的相似性系数存在差异。乔木层和草本层中,3种干扰程度两两之间的相似性系数较高,均在0.8以上。而灌木层中各干扰强度层次之间的相似性系数较小,其中轻度干扰样地与重度干扰

表5 不同强度人为干扰下群落乔木层主要种群生态位重叠均值

Table 5 Overlap value of niche for the main populations in tree layer
in *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	主要种群 Main species	干扰强度 Disturbance intensity		
		A	B	C
乔木层 Tree layer	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.81	0.77	0.91
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.72	0.68	—
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	0.82	0.63	0.89
	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	0.76	0.60	—
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.64	0.60	—
	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	0.83	0.61	—
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	—	0.63	—
	山茶 <i>Camellia japonica</i>	—	0.64	0.86
	栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.68	—	0.92
	木荷 <i>Schima superba</i>	—	—	0.91
	总状山矾 <i>Symplocos botryantha</i>	0.64	—	—
	齿叶红淡比 <i>Cleyera japonica</i> var. <i>lipingensis</i>	0.64	—	—
灌木层 Shrub layer	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	0.74	—	—
	日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	—	—	0.81
	样地全部物种间生态位重叠值的总平均值 Average of niche overlap value among main species	0.73	0.65	0.88

表 6 不同强度人为干扰下群落灌木和草本层主要种群生态位重叠均值

Table 6 Overlap value of niche for the main populations in shrub layer and herbaceous layer in *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	主要种群 Main species	干扰强度 Disturbance intensity		
		A	B	C
灌木层 Shrub layer	新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	0.87	0.81	0.88
	硃砂根 <i>Ardisia crenata</i>	0.81	0.76	0.79
	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	0.83	0.59	0.78
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.91	0.85	0.87
	菝葜 <i>Smilax china</i>	0.92	0.65	0.84
	黄牛奶树 <i>Symplocos laurina</i>	0.90	0.83	0.89
	木荷 <i>Schima superba</i>	0.93	0.77	0.89
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.91	0.77	0.73
	棠叶悬钩子 <i>Rubus malifolius</i>	0.84	0.81	—
	鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	—	0.76	—
	高粱泡 <i>Rubus lambertianus</i>	—	0.64	—
	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	—	0.70	0.79
	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i>	—	0.64	—
	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	—	0.77	—
	岗柃 <i>Eurya groffii</i>	0.86	0.65	—
	总状山矾 <i>Symplocos botryantha</i>	0.84	—	—
	中华猕猴桃 <i>Actinidia chinensis</i>	0.83	—	0.68
	光枝楠 <i>Phoebe neuranthoides</i>	—	—	0.78
样地全部物种间生态位重叠值的总平均值 Average of niche overlap value among main species		0.87	0.73	0.81
草本层 Herbaceous layer	肉穗草 <i>Sarcopyramis bodinieri</i>	0.88	0.65	0.80
	叶底红 <i>Phyllagathis fordii</i>	0.88	0.78	0.84
	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	0.76	—	—
	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.69	—	—
	书带蕨 <i>Haplopteris flexuosa</i>	0.86	—	—
	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	—	0.61	0.61
	尾叶鳞盖蕨 <i>Microlepia caudiformis</i>	—	0.66	—
	红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i>	—	—	0.72
样地全部物种间生态位重叠值的总平均值 Average of niche overlap value among main species		0.82	0.68	0.74

表 7 不同干扰强度下各层次相似性系数

Table 7 Sørensen's similarity coefficient between different layers in *S. sumuntia* community under different levels of disturbance

层次 Layer	Sørensen 相似性系数(Ss) Sørensen's similarity coefficient		
	A-B	B-C	A-C
乔木层 Tree layer	0.849	0.851	0.825
灌木层 Shrub layer	0.636	0.746	0.608
草本层 Herbaceous layer	0.857	0.828	0.823

样地之间的物种相似性系数为 0.608。

3 讨论与结论

生态位反映了群落中物种共存和竞争关系^[9]。生态位宽度能够衡量物种利用资源的能力,因此可作为确定物种在群落中的地位和作用的依据^[28]。在本研究区域中,该群落建群种山矾,在不同强度干扰下均取得最宽生态位且差异不明显,对环境有较强的适应性,可利用资源幅度广。此结果与包也等^[24]研究长白山地区不同林型红松种群生态位特征得到的结论一致,即建群种在群落中地位最高,对环境的适应能力强。干扰使林分中的生态因子发生

变化,从而影响群落中物种对生境资源的利用情况^[29]。青冈在中度干扰下出现较大生态位宽度,在群落的地位上升,说明一定程度的干扰分化了青冈与其他物种的竞争压力,使其有机会占据更宽资源位;山茶科植物生态位随干扰程度增加而变宽,在重度干扰下达到最大生态位宽度值,是由于干扰改变了林分的资源和空间情况,使得大部分无法生存的树种减少,而喜光且适应性强的山茶科植物占有更多的资源和空间,使其生态位宽度增大。灌木层中,在不同干扰强度下山矾和黄牛奶树生态位宽度值均较大,说明其具有较高的资源利用谱,对资源的利用能力强;老鼠矢、高粱泡、虎皮楠等生态位宽度仅在中度干扰下出现,说明中度干扰使生境条件更适于其生长,分布范围增加,生态位宽度增高。在重度干扰下,山矾依旧占有较宽生态位宽度,山矾幼苗适应范围较大,说明干扰不会对山矾次生林群落的正常更新演替产生明显影响。草本层中叶底红在不同强度干扰下的生态位宽度均较大,并随干扰强度增加而增加,分布范围较广,对环境有较强适应性,为草本层优势种;红盖鳞毛蕨在重度干扰下发生特化,生态位宽度上升,在群落中的地位增强,这些物种可能在恢复人为干扰较严重的山矾次生林过程中起重要作用。

生态位重叠是表明不同物种生态资源利用能力异同性的指标,一方面能反映物种间利用相同资源而产生的竞争关系,此外也反映了种群间生态因子的相似程度^[30]。乔木层中,在不同强度干扰下山矾的生态位宽度最高,占据大多数生态资源位,因此与其他树种之间的重叠程度也较大;主要物种的整体生态位重叠均值在重度干扰下取得最大值,重度干扰使一些对环境条件较为敏感的树种生长受到抑制,生态位进一步特化,释放一定的生态空间供其他物种生态位扩展^[14],从而导致了山茶、木荷等生态适应能力强的树种的生态位扩张,而这种扩张一定程度上增加了种间资源利用性竞争,使得部分树种生态位被压缩。灌木层和草本层中,主要树种的生态位重叠均值在轻度干扰下达到最高,生态位重叠值大于0.85的主要植物种数均超过半数,说明树种间对资源利用程度较充分,对资源的竞争较激烈;而群落各层次树种整体生态位重叠均值在中度干扰下达到最低,说明中度干扰存在使种群间对资源分化的作用,种间竞争关系缓和,使得种间生态位重叠程度降低。干扰通过影响群落所处的生境条件、物种

组成和多样性等,改变植物群落原有的分布格局,进而影响其演替进程甚至演替方向^[16,31];研究发现,不同程度干扰下主要植物种之间生态位重叠普遍较高,意味着种间对资源利用的相似性和竞争关系,由于种间竞争激烈,群落结构不稳定,部分物种在演替过程中被淘汰,从而推动群落演替的进行^[14,30]。

生态位宽度主要反映物种在群落中生态适应性和生存幅度,生态位重叠则反映物种在各资源状态下的优势地位^[32],通常情况下,具有较宽生态位的物种之间生态位重叠程度较高^[33,34]。在本研究中却发现一些具有较窄生态位宽度的物种生态位重叠较高,生态位较宽的物种存在与其他物种生态位重叠程度较低的现象。这与刘巍等^[35]的研究一致。说明生态位宽度不是决定生态位重叠高低的唯一因素,可能还受到人为干扰造成的环境资源分布的空间异质性、物种生物学特性以及分布频度等因素的影响^[28,32]。

物种相似性系数可反映出不同强度干扰下各群落层次的物种相似程度^[18]。乔木层和草本层不同程度干扰下的群落物种之间存在一定的差异,但相似性系数均大于0.8,处于较高水平;灌木层中3种干扰强度梯度之间差异较乔木层和草本层稍大,说明干扰对灌木层物种组成的影响较为明显;人为干扰一定程度上影响了各层次之间的共有物种,但总体上各层次不同干扰强度群落之间的相似性系数处于较高水平,其生境相似性较高。

本研究运用生态位理论探讨了碧峰峡山矾次生林群落主要树种的生态位宽度、生态位重叠以及相似性系数,较清楚地了解了植物种群在不同强度干扰环境下的生态适应性、种间竞争与物种组成的差异;受到不同程度干扰的生境中各种生态因子发生改变,因此在对该地区生物多样性保护与资源开发利用时,需考虑不同生境条件下树种之间的生物学特性,使树种处于合理分布格局,为该地区森林资源合理利用和保护提供理论依据。为更好地发挥森林的景观功能和生态功能,碧峰峡风景区应严格控制和管理人为干扰活动的频度和强度,可借鉴“近自然林业理论”中兼容林业生产和森林生态保护模式,结合不同干扰强度下的生态位特征合理调节物种间的生态位配置,使山矾次生林植被自然更新,达到森林生物群落的动态平衡,恢复并保护自然群落生境的目的。

参考文献:

- [1] BROWN KA, GUREVITCH J. Long-term impacts of logging on forest diversity in Madagascar[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2004, 101(6): 045-6 049.
- [2] BUULTJENS J, RATNAYAKE I, GNANAPALA A, et al. Tourism and its implications for management in Ruhuna National Park (Yala), Sri Lanka. [J]. *Tourism Management*, 2005, 26: 733-742.
- [3] 张桂萍,张 峰,茹文明. 旅游干扰对历山亚高山草甸优势种群间相关性的影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 2 868-2 874.
- ZHANG G P, ZHANG F, RU W M. The effect of traveling on the interspecific correlation of dominant populations in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2 868-2 874.
- [4] 石 强,钟林生,汪晓菲. 旅游活动对张家界国家森林公园植物的影响[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(1): 107-113.
- SHI Q, ZHONG L S, WANG X F. Effects of recreation on plants in Zhangjiajie National Forest Park[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 107-113.
- [5] 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[J]. *生物多样性*, 2006, 14(4): 284-291.
- 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 [J]. *Biodiversity Science*, 2006, 14(4): 284-291.
- [6] 赵成章,张 静,盛亚萍. 高寒山区一年生混播牧草生态位对密度的响应[J]. *生态学报*, 2013, 33(17): 266-5 273.
- ZHAO C Z, ZHANG J, SHENG Y P. The niche of annual mixed-seeding meadow in response to density in alpine region of the Qilian Mountain, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(17): 266-5 273.
- [7] LEIBOLD M A. The niche concept revisited: Mechanistic models and community context[J]. *Ecology*, 1995, 76(5): 1 371-1 382.
- [8] 李 明,蒋德明,押田敏雄,等. 科尔沁沙地人工固沙群落草本植物种群生态位特征[J]. *草业科学*, 2009, 26(8): 10-16.
- LI M, JIANG D M, TOSHIO O, et al. Niche characteristic of herbages in artificial sand-fixing communities in Horqin sandy land[J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(8): 10-16.
- [9] 张忠华,梁士楚,胡 刚. 桂林岩溶石山阴香群落主要种群生态位研究[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(1): 63-68.
- ZHANG Z H, LIANG S C, HU G. Niche characteristics of dominant populations in *Cinnamomum burmannii* community on Karst Hills of Guilin[J]. *Forest Research*, 2009, 22(1): 63-68.
- [10] JORGE S A, TOWNSEND P. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas[J]. *Biodiversity Informatics*, 2005, 2: 1-10.
- [11] 张 峰,上官铁梁. 翅果油树群落优势种群生态位分析[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(1): 70-74.
- ZHANG F, SHANGGUAN T Y. Niche characteristics of dominant populations in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi[J]. *Acta Bot. Boreali-Occident Sin.*, 2004, 24(1): 70-74.
- [12] 万媛媛,李洪远,莫训强,等. 滨海盐碱区湿地植被恢复后群落优势种群间关系分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(2): 147-154.
- WAN Y Y, LI H Y, MO X Q, et al. Analysis of inter-specific relationships among community dominant species after vegetation restoration in coastal saline alkali area[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(2): 147-154.
- [13] 牛克昌,刘铎宁,沈泽昊,等. 群落构建的中性理论和生态位理论[J]. *生物多样性*, 2009, 17(6): 579-593.
- NIU K C, LIU D N, SHEN Z H, et al. Community assembly: the relative importance of neutral theory and niche theory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 579-593.
- [14] 汤景明,艾训儒,易咏梅,等. 鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态[J]. *生态学报*, 2012, 32(20): 6 334-6 342.
- TANG J M, AI X R, YI Y M, et al. Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6 334-6 342.
- [15] 谭 芮,李 伟,杨宇明,等. 不同干扰条件下纳帕海湿地植物群落优势种群的生态位[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(5): 681-687.
- TAN R, LI W, YANG Y M, et al. Niche characteristics of dominant species in Napahai wetland plant communities under different disturbance regimes[J]. *J. Lake Sci.*, 2013, 25(5): 681-687.
- [16] 陈利顶,傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义[J]. *生态学报*, 2000, 20(4): 581-586.
- CHEN L D, FU B J. Ecological significance, characteristics and types of disturbance[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 581-586.
- [17] 井光花,程积民,苏纪帅,等. 黄土区长期封育草地优势物种生态位宽度与生态位重叠对不同干扰的响应特征[J]. *草业学报*, 2015, 24(9): 43-52.
- JING G H, CHENG J M, SU J S, et al. Response of dominant population niche breadths and niche overlap to various disturbance factors in typical steppe fenced grassland of China's Loess Plateau region[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(9): 43-52.
- [18] 郝建锋,王德艺,李 艳,等. 人为干扰下雅安市雨城区青衣江河岸带草本植物群落物种多样性及生态位的研究[J]. *广西植物*, 2015, 35(6): 817-824.
- HAO J F, WANG D Y, LI Y, et al. Effects of human disturbance on species diversity and niche of herbaceous plants along Qiyijiang riparian zone in Ya'an City, Sichuan Province[J]. *Guizhou Journal of Botany*, 2015, 35(6): 817-824.

- [19] 李叔南,夏建国,周建新,等.碧峰峡土壤性状研究[J].四川林业科技,1995,1(4):1-11.
- LI S N, XIA J G, ZHOU J X, et al. A study of the characters of forest soil in the Bifeng Gorge[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 1995, 1 (4): 1-11.
- [20] 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 Q B, YOU W Y, ZHAO C J, et al. Effects of tourism disturbance on plant diversity in Qingshan Lake scenic area of Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011,22(2):295-302.
- [21] 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 J Y, WANG X P, SHEN Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory[J]. *Biodiversity Science*, 2009,17(6):533-548.
- [22] 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 J F, LI Y, QI J Q, 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 Ecologica Sinica*, 2016,36(23):7 678-7 688.
- [23] 何忠伟,胡仁传,黄日波,等.广西银杉林主要树种种群生态位分析[J].林业科学研究,2013,25(6):761-766.
- HE Z W, HU R C, HUANG R B, et al. Niche of the major tree species populations in *Cathaya argyrophylla* forest in Guangxi[J]. *Forest Research*, 2013,25(6):761-766.
- [24] 包也,孟莹莹,周旺明,等.长白山地区不同林型红松种群生态位特征[J].生态学杂志,2014,33(3):555-559.
- BAO Y, MENG Y Y, ZHOU W M, et al. Niche characteristics of *Pinus koraiensis* population of different forest types on Changbai Mountain[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014,33(3):555-559.
- [25] PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973,4:53-74.
- [26] 徐德静,王鹏鹏,何跃军,等.黔北丹霞地貌桫椤群落优势种群生态位研究[J].植物研究,2014,34(5):612-618.
- XU D J, WANG P P, HE Y J, et al. Niche characteristics of dominant plant populations of *Alsophila spinulosa* community of Danxia Landform in North Guizhou[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2014,34(5):612-618.
- [27] 李翠,朱金兆,朱清科.生态位理论及其测度研究进展[J].北京林业大学学报,2003,25(1):100-107.
- LI J, ZHU J Z, ZHU Q K. A review on niche theory and niche metrics[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2003,25(1):100-107.
- [28] 王世雷,贺康宁,刘可暄,等.青海高寒区不同人工林下植被的多样性及生态位研究[J].西北农林科技大学学报(自然科
- 学版),2013,41(11):67-72.
- WANG S L, HE K N, LIU K X, et al. Diversity and niche of different plantation configuration in alpine region in Qinghai Province[J]. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 2013,41(11):67-72.
- [29] 王惠,李倩,韩雪梅,等.采伐干扰下长白山阔叶红松林优势树种生态位变化动态[J].东北林业大学学报,2011,39(10):18-21.
- WANG H, LI Q, HAN X M, et al. Effect of harvesting on niche dynamics of main arboreal species in broadleaved-korean pine mixed forests in Changbai Mountain[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011,39(10):18-21.
- [30] 胡正华,于明坚.古田山青冈林优势种群生态位特征[J].生态学杂志,2005,24(10):1 159-1 162.
- HU Z H, YU M J. Niche characteristics of dominant populations in *Cyclobalanopsis glauca* forest in Gutian Mountain [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24 (10): 1 159-1 162.
- [31] 郭其强,方江平,边多,等.不同干扰形式对砂生槐群落结构特征的影响[J].西北植物学报,2009,29(8):1 670-1 677.
- GUO Q Q, FANG J P, BIAN D, et al. Effect of different disturbances on structural characteristics of *Sophora moorcroftiana* communities[J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2009,29(8):1 670-1 677.
- [32] 邢亚蕾,魏天兴,葛根巴图.鹫峰国家森林公园残次林物种多样性及生态位特征[J].植物研究,2015,35(6):915-922.
- XING Y L, WEI T X, GE G B T. Species diversity and niche characteristics of defective forest in Jiufeng National Forest Park[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2015, 35 (6):915-922.
- [33] 柴宗政,王得祥,张丽楠,等.秦岭山地天然油松群落主要植物种群生态位特征[J].生态学杂志,2012,31(8):1 917-1 923.
- CHAI Z Z, WANG D X, ZHANG L N, et al. Niche characteristics of main plant populations in natural *Pinus tabulaeformis* communities in Qinling Mountains, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012,31(8):1 917-1 923.
- [34] 何忠伟,胡仁传,黄日波,等.广西银杉林主要树种种群生态位分析[J].林业科学研究,2012,25(6):761-766.
- HE Z W, HU R C, HUANG R B, et al. Niche of the major tree species populations in *Cathaya argyrophylla* forest in Guangxi[J]. *Forest Research*, 2012,25(6):761-766.
- [35] 刘巍,曹伟.长白山云冷杉群落主要种群生态位特征[J].生态学杂志,2011,30(8):1 766-1 774.
- LIU W, CAO W. Niche characteristics of main plant species in spruce-fir forests in Changbai Mountains [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011,30(8):1 766-1 774.

(编辑:潘新社)