

张妍, 吕倩, 刘俊杰, 刘江丽, 陈雨琴, 陈刚, 陈小红, 范川, 李贤伟. 目标树初期经营对马尾松人工林灌草层生态位的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2023, 29 (1): 186-196

Zhang Y, Lü Q, Liu JJ, Liu JL, Chen YQ, Chen G, Chen XH, Fan C, Li XW. Effect of initial management of target tree on niche of shrub and herb layer of *Pinus massoniana* plantation [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2023, 29 (1): 186-196

目标树初期经营对马尾松人工林灌草层生态位的影响

张妍¹ 吕倩¹ 刘俊杰¹ 刘江丽¹ 陈雨琴¹ 陈刚^{1,2} 陈小红^{1,2} 范川^{1,2} 李贤伟^{1,2,3}✉

¹四川农业大学林学院 成都 611130

²长江上游森林资源保育与生态安全国家林业和草原局重点实验室 成都 611130

³长江上游林业生态工程四川省重点实验室 成都 611130

摘要 目标树经营是近自然森林经营的一项主要措施,研究马尾松人工林灌草层生态位对目标树经营具有指导作用,可为马尾松人工林的可持续经营提供参考意见.以华蓥市天池林场36年生马尾松人工林为研究对象,设置3种目标树密度(100、150、200株/hm²),辅之对照林分(CK),分析目标树经营3年后对马尾松人工林林下灌木和草本层生态位宽度和生态位重叠度的影响.结果表明:(1)与CK相比,不同密度目标树经营后的灌草层物种丰富度指数均显著增大;(2)实施3种不同密度的目标树经营后,林下灌草层优势种不同,但优势种之间生态位重叠;(3)目标树经营后灌木层的优势种为樟(*Cinnamomum camphora*)、栎栎(*Quercus serrata*)、木姜子(*Litsea pungens*)、毛桐(*Mallotus barbatus*);草本层的优势种为皱叶狗尾草(*Setaria plicata*)、黑足鳞毛蕨(*Dryopteris fuscipes*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*),这些物种占据群落重要地位并能充分利用该生态系统的资源;(4)灌木和草本层的喜阳植物分别占比67.6%和62.5%;而喜阴植物很少,分别占灌木和草本层14.7%和4%;(5)草本层植物生态位宽度和重叠度处于较低水平,不能充分利用资源且彼此竞争不激烈.本研究结果表明马尾松人工林不同目标树经营处理的林下植被生态位和重叠度表现不同,但具有促进群落向更稳定方向发展的作用. (图1 表15 参50)

关键词 马尾松人工林; 目标树密度; 生态位宽度; 生态位重叠

Effect of initial management of target tree on niche of shrub and herb layer of *Pinus massoniana* plantation

ZHANG Yan¹, LÜ Qian¹, LIU Junjie¹, LIU Jiangli¹, CHEN Yubin¹, CHEN Gang^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}, FAN Chuan^{1,2} & LI Xianwei^{1,2,3}✉

¹College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

²Key Laboratory of National Forestry and Grassland Service on Forest Resources Conservation and Ecological Safety in the Upper Reaches of the Yangtze River (Sichuan Agricultural University), Chengdu 611130, China

³Forestry Ecological Engineering in the Upper Reaches of Yangtze River Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 611130, China

Abstract Target tree management is the main measure for near-natural forest management. Studies on the niche of shrub and herb layers in forests can improve the ecosystem service functions of *Pinus massoniana* plantations, which is of great significance for the sustainable management of *P. massoniana* plantations. In this study, a 36-year-old *P. massoniana* plantation in the Tianchi Forest Farm of Huaying City in Sichuan, China, was selected as the study area, and three target tree densities (100, 150, and 200 trees/hm²) and a control stand (CK) were set up. The effects of target tree density on the niche breadth and niche overlap of shrub and herb layers in *P. massoniana* plantations were analyzed after three years of target tree management. Results showed that: (1) compared with CK, the species richness index of both shrub and herb layers increased significantly after the target tree management regardless of the density; (2) the dominant species of both shrub and grass layers were different among the three target tree management treatments, but niche of dominant species overlapped among the treatments; (3) the dominant species in the shrub layer after the target tree management were *Cinnamomum camphora*, *Quercus serrata*, *Litsea pungens*, and *Mallotus barbatus*, while the dominant species in the herb

收稿日期 Received: 2021-09-29 接受日期 Accepted: 2022-02-22

德国政府贷款四川林业可持续经营项目(G1403083)、国家“十三五”科技支撑计划项目(2017YFD0600302)和四川农业大学“大学生创新性实验”(201710626071)资助 Supported by the German Government Loans for Sichuan Forestry Sustainable Management (G1403083), Key Sci-tech Pillar Project of the “13th Five-year Plan” of China (2017YFD0600302), and Undergraduate Innovation Experimentation Project of Sichuan Agricultural University (201710626071)

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: lxw@sicau.edu.cn)

layer were *Setaria plicata*, *Dryopteris fuscipes*, *Miscanthus sinensis*, and *Dicranopteris dichotoma*, which occupied the important position in the community and could make full use of the resources in the ecosystem; (4) heliophilous plants in the shrub and herb layers accounted for 67.6% and 62.5% respectively, while sciophiles plants in the shrub and herb layers only accounted for 14.7% and 4%, respectively; and (5) the niche breadth and overlap of the herb layer plants were at a low level, which suggested that these plants could not make full use of resources and did not compete fiercely with each other. These results showed that the target tree management treatments of *P. massoniana* plantations at the three densities led to diverse changes in the niche and overlap of the vegetation but could promote the development of the plant community in a highly stable direction.

Keywords *Pinus massoniana* plantation; target tree density; niche breadth; niche overlap

生态位是指物种在原有生境中的生活习性以及与所处地块的统称^[1-2], 是种群在群落中占据时间、空间地位以及环境与种群相关联因子的重要评价, 因此生态位概念的阐明对人工林近自然经营意义重大^[3-4]. Odum等人认为生态位包括物种在原有环境中的物理位置和空间梯度, 空间变化主要是温度、土壤、pH以及影响物种与环境交错的其他因子^[5]. 因此生态位作为评价森林生态系统的一种重要手段, 能够研究物种与环境、物种与物种的相互关系^[6-7]. 20世纪后期, 阿贝茨(P. Abetz)第一次阐明了目标树经营法则等相关概念^[8], 目标树经营作为近自然森林的主要措施一直应用于林业生产实践中^[9]. 近自然经营通过森林在自然状态下完成更新发育过程, 经营理念发生了改变, 从“以木材生产为中心”发展到“以生态建设为重点”, 以保护环境多功能效益为出发点, 发展稳定的可永续利用森林, 不断优化森林经营方式, 增加植物多样性, 提高林分稳定性和质量, 使结构达到模拟自然条件下的原生态森林^[10]. 目标树经营的试验对象是以单株树为目标, 对其进行标记, 通过抚育间伐措施, 伐除病虫害林木、被压木、干扰木和竞争木, 保证林分健康生长, 达到森林生长最自然状态^[11-12]. 目前, 目标树作为森林培育大径级木材的一种方式, 已被广泛应用^[13]. 目标树经营提高了单位林木蓄积量和优势林木的生长量, 木材质量的大幅度提高对林业经济起到一定推动作用, 同时提高森林生态系统的林分质量^[14-15].

马尾松(*Pinus massoniana*)属松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)^[16], 是南方地区广泛种植的速生树种^[17]. 目前马尾松栽植面积达 $2 \times 10^6 \text{ km}^2$, 主要分布在雨量充沛地区^[18]. 近年来, 马尾松人工纯林面积不断扩大, 林地土壤瘠薄, 缺乏养分, 林分结构不合理, 林分生产力下降, 经济效益低, 水土流失严重, 森林火灾频发, 森林生态系统服务功能低下^[19], 因此有必要对马尾松人工林进行目标树经营和抚育间伐, 降低林分密度和种内竞争, 破除长势不好和有病害的个体以及影响目标树生长的干扰树, 通过扩大林内空间, 促进马尾松生长发育, 提高马尾松人工林下植物多样性和稳定性发展^[20-21], 从而实现马尾松人工林的自然更新. 近年来, 由于林业行业实施高质量发展, 近自然经营方式得到不断推广, 因此我国在目标树经营研究方面取得一些成效, 主要是以天然林为代表的华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、混交林代表的长白山云杉(*Picea jezoensis*)和冷杉(*Abies fabri*)^[22]等, 这些研究成果是森林多功能效益的综合体现, 对提升天然林质量具有深远意义^[23]. 但目前关于马尾松人工林研究主要偏向于纯林改造过后的混交林树种组成^[24]、造林技术分析^[25]或者生长效果比较^[26], 而关于目标树经营对灌木和草本植物的生态位宽度

和生态位重叠度的报道较少, 二者内在关系尚不明确, 以及对不同目标树密度的响应机制还不清楚, 这难以满足对马尾松人工林经营措施的要求.

为此, 我们根据德国“目标树经营”为理念, 以四川省华蓥市天池林场马尾松人工林为研究对象, 采用3种目标树密度经营(保留100株/hm²、150株/hm²、200株/hm²), 以未经过目标树经营措施的马尾松人工林为对照, 研究马尾松人工林目标树经营3年后对林下灌草层植物组成及优势种生态位的影响, 寻找马尾松人工林生态效益最优的目标树密度, 旨在为川东低山区马尾松人工林的生态修护和经营措施的选择提供理论依据和参考意见.

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区天池林场(106°46' E, 30°32' N)位于四川省华蓥市东部, 该地最高、最低年降雨量分别是1 441.7、854.9 mm, 年平均降雨量1 087.84 mm, 主要集中在7月中旬到8月. 土壤类型为黄壤, 偏酸性. 地处川东丘陵区, 属亚热带季风气候, 年平均气温17.2 °C, 马尾松人工林实施近自然经营之前林下植被稀少, 生物多样性低. 木姜子(*Litsea pungens*)、毛桐(*Mallotus barbatus*)、枹栎(*Quercus serrata*)为灌木层下主要植物, 草本层主要物种是鸢尾(*Iris tectorum*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、皱叶狗尾草(*Setaria plicata*)等, 样地概况如表1.

1.2 样地设置

2015年1月在华蓥市天池林场内选择立地条件基本一致, 林龄相近的36年近熟林林分进行目标树经营. 马尾松人工林内选择西南坡向, 坡度27-30°左右, 林分密度为1 100-1 450株/hm², 研究区域海拔高度499-561 m, 以及林分郁闭度为0.7的地段设置实验. 该试验区按照典型抽样方法, 设置3种不同目标树梯度, 分别为A1(100株/hm²)、A2(150株/hm²)、A3(200株/hm²), 同时设置对照样地(CK)即未经过目标树经营的样地, 每个处理重复3次, 共计12个样地. 试验参照“德国政府财政贷款四川省林业可持续经营管理项目”专家组技术标准执行. 选择树干通直, 干形良好、健康无病虫害的树木记为目标树, 目标树用红色油漆标记, 样地边界用白色油漆标号, 相邻样地设置5 m保护带.

1.3 调查方法

2018年10月在每个样地中分别设置3个20 m × 30 m的样方, 再在各个样方的4个角和样地中心分别设置5个5 m × 5 m

表1 样地概况

Table 1 Situation of the plots in different treatments

处理 Treatment	间伐前 Before thinning		间伐后 After thinning		
	平均胸径 Average breast diameter (d/cm)	平均树高 Average height (h/m)	平均胸径 Average breast diameter (d/cm)	平均树高 Average height (h/m)	目标树密度 Density of the target trees (n/hm ²)
CK	19.8 ± 0.4a	10.05 ± 0.2d	—	—	0
A1	19.4 ± 0.4a	10.52 ± 0.1c	19.4 ± 0.5a	10.52 ± 0.2a	100
A2	19.8 ± 0.3a	12.02 ± 0.3a	19.9 ± 0.5a	12.02 ± 0.3b	150
A3	19.7 ± 0.2a	11.05 ± 0.1b	19.8 ± 0.3a	11.05 ± 0.3b	200

CK: 0株/hm²; A1: 100株/hm²; A2: 150株/hm²; A3: 200株/hm². 下同. 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$).
CK: 0 tree/hm²; A1: 100 tree/hm²; A2: 150 tree/hm²; A3: 200 tree/hm². The same as below. Different letters indicate significant difference between the treatments.

的灌木样方, 再在灌木样方中分别设置10个1 m × 1 m的草本样方. 记录灌木和草本的种名、高度、盖度、冠幅、胸径和枝下高等, 计算灌木和草本的重要值和生态位宽度, 并且对它们的生态位重叠度进行分析.

根据样地调查所获得的数据, 计算出在样地中的植物的重要值 (IV). 公式如下:

物种丰富度指数: $R = (S-1)/\ln(N)$

IV = (相对密度+相对频度+相对盖度)/3

生态优势度指数Simpson: $D = 1 - \sum_{i=1}^S \times P_i^2$

Shannon-Wiener生态位宽度公式: $B_i = - \sum_{j=1}^r P_{ij} \ln P_{ij}$

Levins生态位重叠公式: $B_{(L)} = 1/(r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2)$

$L_{ih} = B_{(L)} \sum_{j=1}^r P_{ij} \times P_{hj}$

$L_{hi} = B_{(L)} \sum_{j=1}^r P_{ij} \times P_{hj}$

式中: L_{ih} 为物种*i*重叠物种*h*的生态位重叠指数; L_{hi} 为物种*h*重叠物种*i*的生态位重叠指数; $P_{ij} = n_{ij}/N_i$, n_{ij} 为物种重要值; $B_{(L)}$ 为Levins的生态位宽度指数; S 为样地中物种的总数, N 为物种总数量, P_i 为某个物种个体数占该层中所有种个体数之和的比例.

1.4 数据处理与统计分析

采用Excel 2013进行数据统计及分析, 运用SPSS 20.0采用Pearson相关分析, 检验灌木和草本的生态位宽度和重要值的关系, 用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 分析不同密度的目标树的物种丰富度指数间的差异显著性.

2 结果与分析

2.1 不同密度目标树对马尾松灌草层物种丰富度的影响

由图1可知, 不同密度目标树经营的灌草层物种丰富度指数相比CK显著增加 ($P < 0.05$), 不同处理间的灌木和草本相对应的物种丰富度指数存在明显差异. A1、A2、A3处理的灌木层物种丰富度指数相比CK处理分别增加了70%、61.6%、74.6%, 其中A3的丰富度指数增幅最大; 不同密度目标树经营的草本层物种丰富度指数相比CK分别增加了24.3%、23.6%、10.1%, 其中草本层A1的丰富度指数最高且增幅最明显.

2.2 马尾松人工林目标树经营林下植物组成和重要值

2.2.1 马尾松人工林目标树经营林下灌木层植物组成和重要值

由表2可知, 马尾松林下灌木层植物种类丰富, 共35种植物. A1、A2、A3处理分别有19、20、27种植物. 相比CK分别增加了7种、8种和15种植物. CK组共12种植物, 其中优势种主要有4种, 包括3科4属, 分别是樟科樟属、大戟科野桐属、樟科木姜子属、壳斗科栎属, 对应的种分别是樟 (*Cinnamomum*

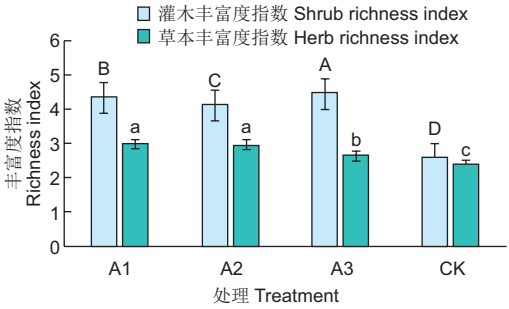


图1 马尾松人工林不同密度目标树经营对灌木层物种丰富度指数的影响. 不同小写字母表示草本层物种丰富度指数差异; 不同大写字母表示灌木层物种丰富度指数差异 ($P < 0.05$).

Fig. 1 Effect of target tree management with different densities on species richness index of shrub and herb layer in *Pinus massoniana* plantation. Different small letters represent the difference of species richness index in herb layer; different capital letters represent the difference of species richness index in shrub layer ($P < 0.05$).

camphora)、毛桐、木姜子、枹栎, 它们的生态习性均为喜阳植物, 适宜在光照充足的条件下生长. A3处理植物种类最丰富, 喜阳、喜阴和喜阳半阴植物均有, 喜阳半阴植物分别是寒莓 (*Rubus buergeri*)、梔子 (*Gardenia jasminoides*) 和细圆藤 (*Pericampylus glaucus*), 该处理中的重要值分别是1.89、3.48、3.34; 喜阴植物均为紫金牛 (*Ardisia japonica*)、托柄菝葜 (*Smilax discotis*) 和杜鹃 (*Rhododendron simsii*), 分别在A3处理中的重要值为2.41、1.71、1.85.

2.2.2 马尾松人工林目标树经营林下草本层植物组成和重要值

由表3可知, 马尾松人工林目标树经营林下的草本共24种植物, 为16科24属. 优势种共12科14属, 其中蕨类占比大, 为25%. 随着不同处理的变化, 优势种蕨占比下降, 相应有新的种出现. CK处理有12种植物, 优势种主要是鸢尾科鸢尾属、禾本科狗尾草属和鳞毛蕨科鳞毛蕨属, 分别对应鸢尾、皱叶狗尾草和黑足鳞毛蕨 (*Dryopteris fuscipes*). A2和A3处理中优势种是狗脊 (*Woodwardia japonica*), 为喜阳植物. A1处理共15种植物, 相比CK处理增加了7种, 分别是地榆 (*Sanguisorba officinalis*)、贯众 (*Cyrtomium fortunei*)、海金沙 (*Lygodium japonicum*)、芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、山麦冬 (*Liriope spicata*)、乌蕨 (*Stenoloma chusanum*)、华南鳞盖蕨 (*Microlepia hance*), 其中皱叶狗尾草、鸢尾、芒萁占主要地位, 重要值分别为13.81、11.59、11.19. A2处理有15种植物, 优势种为黑足鳞毛蕨、芒萁和华南鳞盖蕨.

2.3 目标树经营对马尾松人工林下优势种灌草层生态位的影响

2.3.1 目标树经营对马尾松人工林林下优势种灌木层生态位

表2 马尾松人工林目标树经营初期灌木层主要物种组成与重要值
Table 2 Main species composition and important value of shrub layer in the early stage of *Pinus massoniana* plantation target tree management

科 Family	属 Genus	物种 Species	生态习性 Ecological habit	重要值 Important value (IV/%)			
				CK	A1	A2	A3
紫金牛科 Myrsinaceae	铁仔属 <i>Myrsine</i>	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	喜阳植物 Heliophiles		3.13	5.42	3.45
樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	喜阳植物 Heliophiles	18.25	8.51	4.98	4.42
蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	梨叶悬钩子 <i>Rubus pirifolius</i>	喜阴植物 Sciophiles	3.92		4.00	6.06
大戟科 Euphorbiaceae	野桐属 <i>Mallotus</i>	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	喜阳植物 Heliophiles	16.07	8.09	23.03	22.13
五加科 Araliaceae	楸木属 <i>Aralia</i>	楸木 <i>Aralia chinensis</i>	喜阳植物 Heliophiles			1.04	1.78
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	喜阳植物 Heliophiles	4.17	8.59	5.11	3.01
百合科 Liliaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	菝葜 <i>Smilax china</i>	喜阳植物 Heliophiles			2.90	2.24
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	喜阳植物 Heliophiles	11.96	17.52	16.21	14.64
马鞭草科 Verbenaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	老鸦糊 <i>Callicarpa giraldii</i>	喜阳植物 Heliophiles		3.65		0.91
野牡丹科 Melastomataceae	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	喜阳植物 Heliophiles	5.08	3.35	4.31	6.07
紫金牛科 Myrsinaceae	紫金牛属 <i>Ardisia</i>	紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	喜阴植物 Sciophiles		1.90	2.34	2.41
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	喜阳植物 Heliophiles	10.41	5.57	6.30	5.73
茜草科 Rubiaceae	白马骨属 <i>Serissa</i>	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	喜阳植物 Heliophiles	4.10			1.54
蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants				1.89
百合科 Liliaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	托柄菝葜 <i>Smilax discotis</i>	喜阴植物 Sciophiles			2.94	2.05
茜草科 Rubiaceae	梔子属 <i>Gardenia</i>	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	2.98	3.23	1.84	3.48
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	喜阳植物 Heliophiles	3.95		4.58	3.53
豆科 Leguminosae	猴耳环属 <i>Pithecellobium</i>	亮叶猴耳环 <i>Pithecellobium lucidum</i>	半阴植物 Semishade plants				0.97
锦葵科 Malvaceae	梵天花属 <i>Urena</i>	地桃花 <i>Urena lobata</i>	喜阳植物 Heliophiles	7.82	3.61	1.34	0.84
百合科 Liliaceae	菝葜属 <i>Smilax</i>	尖叶菝葜 <i>Smilax arisanensis</i>	喜阴植物 Sciophiles			2.13	1.71
马鞭草科 Verbenaceae	紫珠属 <i>Callicarpa</i>	紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	喜阳植物 Heliophiles				0.82
杜鹃花科 Ericaceae	杜鹃属 <i>Rhododendron</i>	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	半阴植物 Semishade plants		3.10		1.85
蔷薇科 Rosaceae	悬钩子属 <i>Rubus</i>	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	喜阳植物 Heliophiles		4.12	1.59	1.66
忍冬科 Caprifoliaceae	忍冬属 <i>Lonicera</i>	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	喜阳植物 Heliophiles				1.08
大戟科 Euphorbiaceae	野桐属 <i>Mallotus</i>	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	喜阳植物 Heliophiles				0.78
紫金牛科 Myrsinaceae	紫金牛属 <i>Ardisia</i>	百两金 <i>Ardisia crispa</i>	半阴植物 Semishade plants				1.62
防己科 Menispermaceae	细圆藤属 <i>Pericampylus</i>	细圆藤 <i>Pericampylus glaucus</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		4.88	4.13	3.34
葡萄科 Vitaceae	蛇葡萄属 <i>Ampelopsis</i>	三裂蛇葡萄 <i>Ampelopsis delavayana</i>	喜阳植物 Heliophiles		3.07	1.03	
豆科 Leguminosae	崖豆藤属 <i>Millettia</i>	密花崖豆藤 <i>Millettia congestiflora</i>	喜阳植物 Heliophiles		4.00	2.88	
荨麻科 Urticaceae	水麻属 <i>Debregeasia</i>	水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	喜阳植物 Heliophiles	9.01			
漆树科 Anacardiaceae	盐肤木属 <i>Rhus</i>	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	喜阳植物 Heliophiles	2.28			
山矾科 Symplocaceae	山矾属 <i>Symplocos</i>	光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		3.41		
桑科 Moraceae	构属 <i>Broussonetia</i>	藤构 <i>Broussonetia kaempferi</i>	喜阳植物 Heliophiles		4.03		
豆科 Leguminosae	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	喜阳植物 Heliophiles				1.88
豆科 Leguminosae	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	喜阳植物 Heliophiles		6.26		

表格中缺失的数据表示该处理下没有相应的物种。
The missing data in the table indicate that there are no corresponding species under this treatment.

的影响 由表4可知,马尾松人工林不同目标树经营林下的灌木层植物出现不同的优势种,不同处理的林下出现了樟、毛桐、枹栎、木姜子4个优势种,彼此存在重叠的优势种,表明这些物种在该生境中能充分利用资源. CK组生态位宽度依次是枹栎、展毛野牡丹、樟、毛桐、琴叶榕 (*Ficus pandurata*)、木姜子、地桃花 (*Urena lobata*), CK组的各植物生态位宽度分布均匀,平均值为0.340. A1生态位宽度最大和最小分别是短柱柃 (*Eurya brevistyla*) 和毛桐. A2中毛桐的生态位宽度高于CK组. A3处理中生态位宽度最大的是木姜子,为1.042,远高于同组的其他植物,造成原因可能是木姜子适宜在喜阳的林灌草下生长, A3的环境适宜它生存,而其他喜光植物如地桃花、樟和枹栎的生态位宽度较小,基本维持在0.257-0.365,说明木姜子在该群落环境中扮演着重要角色. 由表5可知, Pearson分析表明灌木层的重要值和生态位宽度之间没有

相关性 ($P > 0.05$). 由表6-9可知,通过对马尾松人工林优势灌木生态位重叠度的分析,可以看出4个不同处理中重叠度最大的分别是地桃花和水麻 (*Debregeasia orientalis*) (0.183)、琴叶榕和黄檀 (0.118)、毛桐和铁仔 (*Myrsine africana*) (0.055)、毛桐和木姜子 (0.589). CK处理的地桃花和水麻是生态位重叠最高的,其他植物重叠度 >0.1 占总数的7.1%, A1处理只有琴叶榕和黄檀的重叠度 >0.1 ,说明二者在适应环境需求方面相似,其他物种之间重叠度普遍较低. A2处理的生态位重叠度最大的是毛桐和铁仔 (0.055),毛桐和木姜子与毛桐和琴叶榕的生态位重叠度相同,则表明3种植物利用资源需求相近. A3组植物的生态位重叠度普遍较高,重叠度 >0.1 占总数的55%,其中木姜子和毛桐的生态位重叠度最高 (0.556),木姜子和展毛野牡丹生态位重叠度次高 (0.457),且三者生态位宽度

表3 马尾松人工林目标树经营初期草本层主要物种组成与重要值
Table 3 Main species composition and important value of herb layer in the early stage of *Pinus massoniana* plantation target tree management

科 Family	属 Genus	物种 Species	生态习性 Ecological habit	重要值 Important value (IV/%)			
				CK	A1	A2	A3
禾本科 Gramineae	淡竹叶属 <i>Lophatherum</i>	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	2.85	6.24	2.28	6.47
乌毛蕨科 Blechnaceae	狗脊属 <i>Woodwardia</i>	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	喜阳植物 Heliophiles	4.83		9.42	9.43
菊科 Compositae	菊属 <i>Dendranthema</i>	野菊 <i>Dendranthema indicum</i>	喜阳植物 Heliophiles	3.78	1.31		
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨属 <i>Dryopteris</i>	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	11.79	8.90	22.06	3.35
金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨属 <i>Parathelypteris</i>	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	喜阳植物 Heliophiles	6.62			
菊科 Compositae	飞蓬属 <i>Erigeron</i>	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	喜阳植物 Heliophiles	1.56			3.82
禾本科 Gramineae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	28.53	13.81	10.52	7.56
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	6.62		2.57	
蔷薇科 Rosaceae	地榆属 <i>Sanguisorba</i>	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	喜阳植物 Heliophiles		1.31		
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	贯众属 <i>Cyrtomium</i>	贯众 <i>Cyrtomium fortunei</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		2.61		
海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	喜阳植物 Heliophiles		2.85	1.71	
禾本科 Gramineae	细柄草属 <i>Capillipedium</i>	细柄草 <i>Capillipedium parviflorum</i>	喜阳植物 Heliophiles			2.50	
里白科 Gleicheniaceae	芒萁属 <i>Dicranopteris</i>	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	喜阳植物 Heliophiles		11.99	4.36	11.15
菊科 Compositae	艾纳香属 <i>Blumea</i>	东风草 <i>Blumea megacephala</i>	喜阳植物 Heliophiles				7.09
姜科 Zingiberaceae	山姜属 <i>Alpinia</i>	山姜 <i>Alpinia japonica</i>	喜阴植物 Sciophiles				1.64
禾本科 Gramineae	求米草属 <i>Oplismenus</i>	竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants			3.56	
百合科 Liliaceae	山麦冬属 <i>Liriope</i>	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	喜阳植物 Heliophiles		2.91		4.13
陵齿蕨科 Lindsaeaceae	乌蕨属 <i>Stenoloma</i>	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		6.00		12.86
薯蓣科 Dioscoreaceae	薯蓣属 <i>Dioscorea</i>	薯蓣 <i>Dioscorea polystachya</i>	喜阳植物 Heliophiles			1.75	
姬蕨科 Dennstaedtiaceae	鳞盖蕨属 <i>Microlepia</i>	华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	喜阳植物 Heliophiles		6.58	12.70	12.17
禾本科 Gramineae	菵草属 <i>Arthraxon</i>	菵草 <i>Arthraxon hispidus</i>	喜阳植物 Heliophiles	3.98	9.91	2.28	2.33
蕨科 Pteridiaceae	蕨属 <i>Pteridium</i>	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	喜阳植物 Heliophiles	4.20	7.12	2.28	7.56
禾本科 Gramineae	芒属 <i>Miscanthus</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	喜阳植物 Heliophiles	13.02	6.88	14.20	10.44
鸢尾科 Iridaceae	鸢尾属 <i>Iris</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	12.23	11.59	7.81	

表格中缺失的数据表示该处理下没有相应的物种。
The missing data in the table indicate that there are no corresponding species under this treatment.

表4 马尾松人工林目标树经营下灌木层优势种生态位宽度
Table 4 Niche breadth of dominant species in shrub layer under target tree management of *Pinus massoniana* plantation

科 Family	属 Genus	物种 Species	生态习性 Ecological habit	生态位宽度 Niche breadth			
				CK	A1	A2	A3
樟科 Lauraceae	樟属 <i>Cinnamomum</i>	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.345	0.341		0.257
大戟科 Euphorbiaceae	野桐属 <i>Mallotus</i>	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.339	0.251	0.366	0.344
荨麻科 Urticaceae	水麻属 <i>Debregeasia</i>	水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	0			
野牡丹科 Melastomataceae	野牡丹属 <i>Melastoma</i>	展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.354			0.365
锦葵科 Malvaceae	梵天花属 <i>Urena</i>	地桃花 <i>Urena lobata</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.318	0.352		
壳斗科 Fagaceae	栎属 <i>Quercus</i>	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.368	0.321	0.336	0.325
樟科 Lauraceae	木姜子属 <i>Litsea</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.321	0.359	0.353	1.042
山茶科 Theaceae	柃木属 <i>Eurya</i>	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	喜阳植物 Heliophiles		0.365	0.345	
桑科 Moraceae	榕属 <i>Ficus</i>	琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.334			
紫金牛科 Myrsinaceae	铁仔属 <i>Myrsine</i>	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	喜阳植物 Heliophiles			0.359	
豆科 Leguminosae	黄檀属 <i>Dalbergia</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	喜阳植物 Heliophiles		0		

表格中缺失的数据表示该处理下该物种为非优势种
The missing data in the table indicate that the species is non-dominant under this treatment.

表5 灌木层植物重要值与生态位宽度的相关性分析
Table5 Analysis on the relationship between important value and niche breadth of shrub layer

处理 Treatment	Pearson相关系数 Pearson correlation index	显著性 Significance (P)
CK	0.220	0.470
A1	0.243	0.289
A2	0.235	0.304
A3	0.103	0.610

相似,说明木姜子、毛桐和展毛野牡丹对资源利用相似并且竞争较为激烈。

2.3.2 目标树经营对马尾松人工林林下优势种草本层生态位的影响 由表10可知,马尾松林下目标树经营的草本植物共15种,CK组的优势种最少,有6种,A1、A2、A3相比CK组分别增加了4、1、2种植物。CK组生态位宽度依次为鸢尾、芒、皱叶狗尾草、黑足鳞毛蕨、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)。A1组草本鸢尾、淡竹

表6 CK样地灌木优势种群生态位重叠值
Table 6 Niche overlap of shrub dominant population in CK

种 Species	樟 <i>Cinnamom camphora</i>	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	地桃花 <i>Urena lobata</i>	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>
樟 <i>Cinnamomum camphora</i>		0.040	0.174	0.047	0.100	0.065	0.035
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	0.040		0.079	0.021	0.045	0.029	0.016
水麻 <i>Debregeasia orientalis</i>	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	0.048	0.022	0.096		0.055	0.035	0.019
地桃花 <i>Urena lobata</i>	0.092	0.042	0.183	0.049		0.068	0.036
枹栎 <i>Quercus serrata</i>	0.069	0.032	0.137	0.037	0.079		0.027
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.032	0.015	0.064	0.017	0.037	0.024	

表7 A1样地灌木优势种群生态位重叠值
Table 7 Niche overlap of shrub dominant population in A1

种 Species	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	樟 <i>Cinnamomu mcamphora</i>	琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	枹栎 <i>Quercus serrata</i>
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>		0.012	0.008	0.007	0.009	0.002	0.000
短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	0.018		0.044	0.035	0.049	0.009	0.002
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.012	0.043		0.025	0.034	0.007	0.001
樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.009	0.033	0.023		0.026	0.080	0.016
琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	0.014	0.049	0.034	0.028		0.118	0.024
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000
枹栎 <i>Quercus serrata</i>	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	

表8 A2样地灌木优势种群生态位重叠值
Table 8 Niche overlap of shrub dominant population in A2

种 Species	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	铁仔 <i>Myrsine africana</i>	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>		0.055	0.033	0.027	0.033	0.030
铁仔 <i>Myrsine africana</i>	0.054		0.044	0.037	0.044	0.040
木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.032	0.043		0.021	0.026	0.023
枹栎 <i>Quercus serrata</i>	0.025	0.034	0.020		0.020	0.018
琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	0.032	0.043	0.026	0.021		0.023
短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>	0.028	0.038	0.023	0.019	0.023	

表9 A3样地灌木优势种群生态位重叠值
Table 9 Niche overlap of shrub dominant population in A3

种 Species	枹栎 <i>Quercus serrata</i>	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	木姜子 <i>Quercus serrata</i>	梨叶悬钩子 <i>Rubus pirifolius</i>	展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>
枹栎 <i>Quercus serrata</i>		0.076	0.094	0.029	0.021
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	0.085		0.589	0.180	0.134
木姜子 <i>Quercus serrata</i>	0.100	0.556		0.211	0.157
梨叶悬钩子 <i>Rubus pirifolius</i>	0.032	0.179	0.222		0.051
展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	0.066	0.368	0.457	0.140	

叶 (*Lophatherum gracile*)、蕨的生态位宽度相似, 分别是0.368、0.367、0.366, 说明三者利用资源能力相近. A2的生态位宽度依次为海金沙、狗脊蕨、华南鳞盖蕨、芒、黑足鳞毛蕨、鸢尾、皱叶狗尾草, 相比CK处理, 增加了3种生态位宽度较为相近的物种, A3处理的生态位宽度普遍较高, 淡竹草和蕨的宽度指数都为0.368, 鳞盖蕨和狗脊蕨为0.367, 最小的生态位宽度草本植物为东风草 (*Blumea megacephala*). 由表11可知, Pearson分析表明草本层的重要值和生态位宽度之间没有相关性 ($P > 0.05$).

由表12-15可知, 4个不同处理的目标树经营, 生态位重叠度值都偏小. CK处理的生态位重叠度 >0.1 的是芒和金星蕨 (0.105)、酢浆草和金星蕨 (0.170), 鸢尾和金星蕨 (0.142), 这3对物种的生态位重叠度相近, 说明他们对资源的需求相近, 抢夺资源状况激烈. A1处理的生态位重叠度普遍较低, 物种之间竞争少. A2处理生态位重叠度最大和最小值分别是狗脊草和黑足鳞毛蕨 (0.070)、鸢尾和皱叶狗尾草 (0.015). A3处理中生态位重叠度最大的是淡竹叶和东风草

(0.133), 说明该生境条件下植物能够充分利用各层资源且彼此竞争激烈.

3 讨论

3.1 目标树经营对马尾松人工林灌草层植物丰富度的影响

物种多样性主要是由物种组分和不同林分结构组成^[27], 重要值和丰富度指数是衡量物种多样性指标的关键指数^[28]. 本研究表明灌木层和草本层的物种丰富度对马尾松人工林不同密度的林分响应机制不同. 随着马尾松人工林不同目标树密度的变化, 各处理的草本层物种丰富度指数变化不一, 可能原因是目标树经营后会影响到林地光照再分配, 光照变化直接影响林内温度、湿度以及土壤温度等, 而这些因子共同影响着土壤理化性质, 因而影响林木生长^[29]. 此外, 降低林分密度在一定时间范围内会改善生境条件, 但灌木层相比草本层适应性和生活力更强, 有较大的冠幅可以吸收光照, 地表的草本植物

表10 马尾松人工林目标树经营林下草本层优势种生态位宽度
Table 10 Niche breadth of dominant species in shrub layer under target tree management of *Pinus massoniana* plantation

科 Family	属 Genus	物种 Species	生态习性 Ecological habit	生态位宽度 Niche breadth			
				CK	A1	A2	A3
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	鳞毛蕨属 <i>Dryopteris</i>	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.349	0.318	0.353	
金星蕨科 Thelypteridaceae	金星蕨属 <i>Parathelypteris</i>	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	喜阳植物 Heliophiles	0			
禾本科 Gramineae	芒属 <i>Miscanthus</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	喜阳植物 Heliophiles	0.360	0.288	0.364	0.340
鸢尾科 Iridaceae	鸢尾属 <i>Iris</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	喜阳、耐阴植物 Heliophile and semishade plants	0.367	0.368	0.345	
禾本科 Gramineae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants	0.354	0.337	0.304	0.260
酢浆草科 Oxalidaceae	酢浆草属 <i>Oxalis</i>	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and Semishade plants	0.236			
禾本科 Gramineae	淡竹叶属 <i>Lophatherum</i>	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		0.367		0.368
禾本科 Gramineae	荩草属 <i>Arthraxon</i>	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	喜阳植物 Heliophiles		0.334		
蕨科 Pteridiaceae	蕨属 <i>Pteridium</i>	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	喜阳植物 Heliophiles		0.366		0.368
姬蕨科 Dennstaedtiaceae	鳞盖蕨属 <i>Microlepia</i>	华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hance</i>	喜阳植物 Heliophiles		0.327	0.366	0.367
里白科 Gleicheniaceae	芒萁属 <i>Dicranopteris</i>	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	喜阳植物 Heliophiles		0.362		0.366
陵齿蕨科 Lindsaeaceae	乌蕨属 <i>Stenoloma</i>	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	喜阳、半阴植物 Heliophile and semishade plants		0.364		0.261
乌毛蕨科 Blechnaceae	狗脊属 <i>Woodwardia</i>	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	喜阳植物 Heliophiles			0.367	0.367
海金沙科 Lygodiaceae	海金沙属 <i>Lygodium</i>	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	喜阳植物 Heliophiles			0.368	
菊科 Compositae	艾纳香属 <i>Blumea</i>	东风草 <i>Blumea megacephala</i>	喜阳植物 Heliophiles				0

表格中缺失的数据表示该处理下该物种为非优势种。
The missing data in the table indicate that the species is non-dominant under this treatment.

表11 草本层植物重要值与生态位宽度的相关性分析
Table11 Analysis on the relationship between important value and niche breadth of herb layer

处理 Treatment	Pearson 相关系数 Pearson correlation index	显著性 Significance (P)
CK	0.496	0.395
A1	0.084	0.818
A2	-0.063	0.893
A3	-0.166	0.694

重要值与生态位宽度在 $P > 0.05$ 水平上无显著相关性。
There was no significance correlation between the important value and niche breadth at the level of 0.05.

会因光照减少存在生存空间与养分争夺问题^[30]，因而生长较差；灌木层物种丰富度指数先降低后增加，A2处理为转折点，造成该转折点的原因可能是这段时间的林内空间异质性较大，有些植物正在健康生长或者出现病害等症状，不能判别后续生长是否良好，因此没有被列入调查范围。A3处理的丰富度指数达到顶峰，这与吕倩等的研究结果^[15]一致。可能的原因是200株/hm²的目标树密度最大，林内光照条件较弱，存在潮湿阴暗环境，林内除了喜阳植物木姜子、蕨等，还有喜阴植物梨叶悬钩子、半阴植物杜鹃等，因而植物种类丰富。总的来说，

表12 CK样地草本优势种群生态位重叠值
Table 12 Niche overlap of herbaceous dominant populations in CK

种 Species	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>		0.089	0.026	0.035	0.042	0.064
金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.027	0.105		0.041	0.050	0.076
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	0.036	0.142	0.042		0.067	0.102
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	0.089	0.089	0.049	0.065		0.121
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	0.044	0.170	0.050	0.066	0.080	

表13 A1样地草本优势种群生态位重叠值
Table 13 Niche overlap of herbaceous dominant populations in A1

种 Species	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>		0.025	0.033	0.043	0.027	0.020	0.056	0.041	0.017	0.010
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.021		0.597	0.021	0.013	0.009	0.027	0.019	0.022	0.014
荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>	0.063	0.035		0.060	0.037	0.028	0.078	0.057	0.066	0.041
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	0.043	0.024	0.066		0.026	0.019	0.054	0.039	0.045	0.028
鳞盖蕨 <i>Microlepia hance</i>	0.024	0.022	0.037	0.023		0.011	0.030	0.022	0.025	0.016
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.016	0.009	0.024	0.015	0.009		0.019	0.014	0.016	0.010
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	0.058	0.030	0.085	0.053	0.033	0.024		0.050	0.058	0.036
乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	0.040	0.061	0.062	0.039	0.024	0.018	0.051		0.042	0.073
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	0.047	0.026	0.072	0.045	0.028	0.021	0.059	0.043		0.084
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	0.027	0.015	0.041	0.026	0.016	0.012	0.034	0.025	0.028	

表14 A2样地草本优势种群生态位重叠值
Table 14 Niche overlap of herbaceous dominant populations in A2

种 Species	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>		0.055	0.070	0.059	0.047	0.036	0.025
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	0.055		0.066	0.056	0.044	0.034	0.024
黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.067	0.063		0.068	0.054	0.042	0.009
华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	0.059	0.055	0.071		0.047	0.036	0.026
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.046	0.044	0.056	0.047		0.029	0.020
鸢尾 <i>Iris tectorum</i>	0.034	0.032	0.041	0.100	0.027		0.015
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	0.021	0.020	0.025	0.021	0.017	0.013	

表15 A3样地草本优势种群生态位重叠值
Table15 Niche overlap of herbaceous dominant populations in A3

种 Species	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	东风草 <i>Blumea megacephala</i>	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>		0.133	0.053	0.048	0.052	0.031	0.054	0.091	0.017
东风草 <i>Blumea megacephala</i>	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	0.053	0.146		0.052	0.056	0.034	0.059	0.100	0.018
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	0.048	0.131	0.052		0.051	0.031	0.053	0.090	0.016
华南鳞盖蕨 <i>Microlepia hancei</i>	0.052	0.142	0.057	0.051		0.033	0.058	0.097	0.018
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.029	0.080	0.032	0.028	0.031		0.032	0.054	0.010
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	0.054	0.148	0.059	0.053	0.057	0.035		0.101	0.019
乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	0.065	0.178	0.071	0.064	0.069	0.042	0.072		0.022
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	0.012	0.033	0.013	0.012	0.013	0.008	0.013	0.022	

人工林灌草层的物种丰富度与环境因子息息相关。

3.2 目标树经营对马尾松人工林灌草层植物组成的影响

生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性^[31]。生态系统多样性是生态环境和生态过程多样的变化^[32]。不同密度的目标树经营伐除了一定程度的干扰木，通过扩大林分空间结构，不仅增加光照、水分和营养物质，而且给目标树生长留下适宜空间，利于该林分中的目标树生长发育^[33-34]。本研究区内植物主要包括以禾本科、菊科、豆科为主的34科51属59种。其中马尾松人工林下灌木共34种，草本24种。目标树经营的灌木样地中，A1、A2、A3的植物组成都处于上升趋势，由于4个处理之间目标树株数不断增加，改变林内郁闭度，影响光照和水分再分配^[30]，因而植物组成发生变化。朱宏光等研究表明林冠层郁闭度增大而导致林下光照资源减少是草本层物种多样性变化的主要原因^[35]。该研究中目标树经营的草本样地中植物组成处于下降趋势，且A3处理密度为200株/hm²的林下出现喜阳耐阴植物，可能原因是林冠开度空隙变小，当光照射到林冠下部的群落，进而到达地面^[36]，因而有利于喜阳植物生长。由于目标树经营时间不长，植物生态习性处于过渡时期，这一过程反应的时间需要延后，因此喜阳耐阴植物均适应该处理生长。

3.3 目标树经营对马尾松人工林灌草层生态位的影响

生态位宽度和重要值在生态学上意义重大，而生态位宽度是物种对环境适应的一种量化方式^[37]。曹恒等认为人工林下灌木层植被的生态位宽度和重叠度对群落结构的构建发挥着一定的积极作用^[38]。重要值与生态位宽度在一定程度上表现为正相关关系^[39]，重要值越大，生态位宽度越大，表明物种能利用生境中不同资源，利用范围广泛，这与本研究结果不一致。本研究与唐洪辉等研究结果^[40]较为相似，本研究中马尾松人工林下灌木和草本层优势种植物的生态位宽度和重要值并不呈现一致趋势，重要值较大的植物生态位宽度偏窄，如草本植物乌蕨。不同密度的目标树经营伐除了一定程度的干扰木，

通过扩大林分空间结构，不仅增加光照、水分和营养物质，而且给目标树生长留下适宜空间，利于该林分中的目标树生长发育^[40-42]。随着目标树密度的变大，毛桐重要值不断增加，而生态位宽度在A2处理达到最大值。木姜子在不同处理过程中重要值在逐渐下降，而生态位宽度却在不断增加，表明物种重要值与生态位宽度之间没有显著线性关系，重要值趋势降低可能是人为干扰导致^[43]。本研究发现，优势灌木的生态位宽度平均值随目标树密度的增大呈现不断上升趋势，优势草本的生态位宽度平均值随目标树密度的增大呈现先上升后下降的规律，且在A2处理达到最高值，可能原因是150株/hm²的目标树密度比较适合林下草本层植物生长并且物种之间能充分利用资源^[16]。

不同物种在同一生境的资源层会产生生态位重叠，如环境因子光照、水分和空间^[44-45]。生态位重叠值是两个或两个以上物种共享资源或占有资源能力的综合表现^[46]。一般来说，物种生态位重叠度与物种的激烈竞争呈正相关关系，重叠度值越大，竞争越激烈^[47]。Gause假说认为，激烈的竞争是由于生态位重叠造成，实际上，二者之间并无必然联系。在资源处于紧张状态时，物种间可能会发生激烈竞争。在资源足够的情况下，发生竞争可能是物种的生态习性和生存空间相近，这也是资源最大程度被利用和共享的表现^[48-49]。本研究结果表明：在马尾松人工林目标树经营过程中，生态位宽度大的物种对应较高的生态位重叠度，生态位宽度窄的物种则结果与之相反，如A3样地的木姜子生态位宽度越大，生态位重叠度越高。A2、A3样地的樟和黄檀重叠度非常小甚至没有，草本层与灌木层的表现规律一致。灌木层和草本层的生态位重叠度平均值随目标树密度的增大处于上升趋势，但生态位重叠度平均值普遍较低，造成该现象的原因可能是植被对土地资源利用竞争程度较小^[4]。本研究与史作民研究结果^[49]不同，可能原因是环境中的影响因素较多，生物因素和非生物因素共同作用导致空间异质性的不确定^[50]。由综合条件分析可得，物种的生态位宽度与生态位重叠度之间无相关性，生态位宽度大的物

种重叠度值可能偏小或偏大。

4 结论

马尾松人工林采用目标树经营后,林下灌草层的丰富度指数、重要值、生态位宽度、生态位重叠度指数均有变化。灌木层的目标树密度100株/hm²和150株/hm²生态位重叠度不高,彼此趋向于局部地块生长。目标树密度为200株/hm²的灌木和草本层植物种类丰富,生态位重叠度指数和生态位宽度较大,该生境条件下植物的生态习性范围较广,喜阳、喜阴、中性植物都可生存,空间异质性较大,植物能获取环境中有用的信

息并加以利用。从林下灌草层的植物组成及生态位宽度和生态位重叠度考虑,200株/hm²是较合适的目标树经营方式,对目前径材培育与促进人工林内植物多样性会有较好效果。目标树抚育有利于林木向大径级发展,促进林业可持续发展,使森林群落达到动态平衡的经营模式,进一步维护川东低山区森林生态系统稳定性。由于目标树经营时间短,林下植被可能处于更新发育阶段,彼此不能快速适应生态环境的发展,资源可能处于扩张阶段。未来群落的更新发展和稳定情况未知,因此需延长时期,对目标树经营的灌木层和草本层生态位进行持续检测,进一步为川东低山区人工林的可持续经营提供参考和意见。

参考文献 [References]

- Szymanski CR, Tabeni S, Alvarez JA, Campos CM. Diversity of plants and mammals as indicators of the effects of land management types in woodlands [J]. *For Ecosyst*, 2021, **8** (4): 991-1005
- Joseph G. The niche-relationships of the California Thrasher [J]. *The Auk*, 1917, **34** (4): 427-433
- 刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营专向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营[J]. *生态学报*, 2018, **38** (1): 1-10 [Liu SR, Yang YJ, Wang H. Development strategy and management countermeasures of planted forests in China: transforming from timber-centered single objective management towards multi-purpose management for enhancing quality and benefits of ecosystem services [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, **38** (1): 1-10]
- 白欢欢, 王雪峰, 徐建国. 天然黄山松群落主要树种营养生态位特征研究[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, **42** (2): 81-88 [Bai HH, Wang XF, Xu JG. Nutrition ecological niche of dominant arbor species in natural *Pinus taiwanensis* community [J]. *J Nanjing For Univ*, 2018, **42** (2): 81-88]
- Abrams P. The theory of limiting similarity [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1983, **14** (5): 359-376
- Jona T, Silver T, Mike D, David G. Phylogeny and the niche structure of meadow plant communities [J]. *J Ecol*, 2001, **89** (11): 428-435
- 郝建锋, 李艳, 齐锦秋, 裴曾莉, 黄雨佳, 蒋倩, 陈亚. 人为干扰对碧峰峡栲栳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 JF, Li Y, Qi JQ, Pei ZL, Huang YJ, Jiang Q, Chen Y. Effects of anthropogenic disturbances on the species diversity and niche of the dominant populations in a *Castanopsis fargesii* secondary forest community in Bifengxia [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36** (23): 7678-7688]
- 郭诗宇, 胡伯特·福斯特, 陈幸良. 目标树经营: 德国经验与湖北实践[J]. *世界林业研究*, 2021, **34** (2): 14-20 [Guo SY, Forster H, Chen XL. Target tree management: German experience and Hubei practices [J]. *World For Res*, 2021, **34** (2): 14-20]
- 尹海峰, 苏宇, 郭茂金, 李贤伟, 范川, 刘思泽, 李相君. 目标树经营初期对柏木人工林土壤线虫群落的影响[J]. *生态学报*, 2019, **39** (10): 3607-3621 [Yin HF, Su Y, Guo MJ, Li XW, Fan C, Liu SZ, Li XJ. Effects of early crop-tree release on soil nematode communities in a *Cupressus funebris* plantation [J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, **39** (10): 3607-3621]
- 陈海峰, 陈少香, 万曦, 肖炼. 基于近自然经营理论的森林抚育间伐措施[J]. *热带农业工程*, 2020, **44** (5): 103-105 [Chen HF, Chen SX, Wan X, Xiao L. Measures of forest thinning based on near-nature management theory [J]. *Trop Agric Eng*, 2020, **44** (5): 103-105]
- Vieilledent G, Gardi O, Grinand C, Burren C, Andriamananjato M, Camara C, Gardner CJ, Glass L, Rasolohery A, Ratsimba HR, Gond V, Rakotoarijaona JR. Bioclimatic envelope models predict a decrease in tropical forest carbon stocks with climate change in Madagascar [J]. *J Ecol*, 2016, **104** (3): 703-715
- 陆元昌, 张守攻, 雷相东, 宁金魁, 王懿祥. 人工林近自然化改造的理论基础和实施技术[J]. *世界林业研究*, 2009, **22** (1): 20-27 [Lu YC, Zhang SG, Lei XD, Ning JK, Wang YX. Theoretical basis and implementation techniques on close-to-nature transformation of plantations [J]. *World For Res*, 2009, **22** (1): 20-27]
- 陆元昌, 栾慎强, 张守攻, Bernhard von der Heyde, 雷相东, 包源. 从法正林转向近自然林: 德国多功能森林经营在国家、区域和经营单位层面的实践[J]. *世界林业研究*, 2010, **23** (1): 1-11 [Lu YC, Luan SQ, Zhang SG, Heyde B, Lei XD, Bao Y. From normal forest to close-to-nature forest: multi-functional forestry and its practice at national, regional and forest management unit levels in Germany [J]. *World For Res*, 2010, **23** (1): 1-11]
- 玉宝, 张秋良, 王立明. 天然林多目标经营研究现状及趋势[J]. *西北林学院学报*, 2015, **30** (1): 189-196 [Yu B, Zhang QL, Wang LM. Research status and trend on multifunctional management of natural forest [J]. *J Nw For Univ*, 2015, **30** (1): 189-196]
- 吕倩, 康文斯, 郭茂金, 罗涛, 刘俊杰, 范川, 李贤伟. 柏木人工林目标树经营初期对林下植物多样性及土壤理化性质的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2019, **25** (5): 1036-1043 [Lü Q, Kang WS, Guo MJ, Luo T, Liu JJ, Fan C, Li XW. Effects of target tree management on plant diversity and physical and chemical properties of soil in the early stage of *Cupressus funebris* plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2019, **25** (5): 1036-1043]
- 张洋洋, 周清慧, 许骄阳, 魏鸣, 陈继豪, 何伟, 王鹏程, 晏召贵. 林龄对马尾松人工林林下植物与土壤种子库多样性的影响[J]. *生态环境学报*, 2021, **30** (11): 2121-2129 [Zhang YY, Zhou QH, Xu JY, Wei M, Chen JH, He W, Wang PC, Yan ZG. Effects of ages on the diversity of understory plants and soil seed bank of *Pinus massoniana* plantation [J]. *Ecol Environ Sci*, 2021, **30** (11): 2121-2129]
- 夏艳菊, 张静, 邹顺, 唐旭利, 李凤. 南亚热带森林群落演替过程中结构多样性与碳储量的变化[J]. *生态环境学报*, 2018, **27** (3): 424-431 [Xia YJ, Zhang J, Zou S, Tang XL, Li F. Dynamics of structural diversity and carbon storage along a successional gradient in south subtropical forest [J]. *Ecol Environ Sci*, 2018, **27** (3): 424-431]

- 18 Yang ZQ, Xia H, Tan JH, Feng YH, Huang YL. Selection of superior families of *Pinus massoniana* in southern China for large diameter construction timber [J]. *J For Res*, 2020, **31** (2): 475-484
- 19 吕倩, 尹海峰, 何朋俊, 李贤伟, 范川, 冯茂松, 刘俊杰, 王艺峰. 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 [Lü Q, Yin HF, He PJ, Li XW, Fan C, Feng MS, Liu JJ, Wang YF. Effects of target tree management on soil physical and chemical properties and plant diversity in *Pinus massoniana* plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2018, **24** (3): 500-507]
- 20 方怡然, 蔡金桓, 李洁, 薛力. 加勒比松纯林混交改造阔叶树种叶片的养分和光合特性研究[J]. 西南林业大学学报, 2018, **38** (2): 30-36 [Fang YR, Cai JH, Li J, Xue L. Nutrient and photosynthetic characteristics of broadleaved tree species in mixed growth of a pure *Pinus caribaea* plantation [J]. *J Sw For Univ*, 2018, **38** (2): 30-36]
- 21 Ruan LP, Lu YC, Meng JH. Plantation transformation alternatives determine carbon sequestration capacity – a case study with *Pinus massoniana* in southern China [J]. *J Mount Sci*, 2020, **17** (4): 919-930
- 22 张会儒, 雷相东, 张春雨, 赵秀海, 胡雪凡. 森林质量评价及精准提升理论与技术研究[J]. 北京林业大学学报, 2019, **41** (5): 1-18 [Zhang HR, Lei XD, Zhang CY, Zhao XH, Hu XF. Research on theory and technology of forest quality evaluation and precision improvement [J]. *J Beijing For Univ*, 2019, **41** (5): 1-18]
- 23 冯琦雅, 陈超凡, 覃林, 何亚婷, 王鹏, 段艺璇, 王雅菲, 何友均. 不同经营模式对蒙古栎天然次生林林分结构和植物多样性的影响[J]. 林业科学, 2018, **54** (1): 12-21 [Feng QY, Chen CF, Tan L, He YT, Wang P, Duan YX, Wang YF, He YJ. Effects of different management models on stand structure and plant diversity of natural secondary forests of *Quercus mongolica* [J]. *For Sci*, 2018, **54** (1): 12-21]
- 24 王金池, 黄清麟, 马志波, 黄如楚, 郑群瑞. 永安市半天然马尾松阔叶混交林的树种组成与多样性[J]. 林业科学, 2019, **55** (11): 19-26 [Wang JC, Huang QL, Ma ZB, Huang RC, Zheng QR. Species composition and diversity of semi-natural mixed forest of *Pinus massoniana* and broad-leaved tree in Yong'an [J]. *For Sci*, 2019, **55** (11): 19-26]
- 25 明安刚, 刘世荣, 李华, 曾冀, 孙冬婧, 雷丽群, 蒙明君, 陶怡, 明财道. 近自然化改造对马尾松和杉木人工林生物量及其分配的影响[J]. 生态学报, 2017, **37** (23): 7833-7842 [Ming AG, Liu SR, Li H, Zeng J, Sun DJ, Lei LQ, Meng MJ, Tao Y, Ming CD. Effects of close-to-nature transformation on biomass and its allocation in *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* plantations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37** (23): 7833-7842]
- 26 何友均, 梁星云, 覃林, 李智勇, 邵梅香, 谭玲. 南亚热带人工针叶纯林近自然改造早期对群落特征和土壤性质的影响[J]. 生态学报, 2013, **33** (8): 2484-2495 [He YJ, Liang XY, Qin L, Li ZY, Shao MX, Tan L. Community characteristics and soil properties of coniferous plantation forest monocultures in the early stages after close-to-nature transformation management in southern subtropical China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, **33** (8): 2484-2495]
- 27 王继丰, 韩大勇, 王建波, 付晓玲, 朱道光, 刘赢男, 曹宏杰, 黄庆阳, 谢立红, 钟海秀, 隋心, 倪红伟. 三江平原湿地小叶章群落沿土壤水分梯度物种组成及多样性变化[J]. 生态学报, 2017, **37** (10): 3515-3524 [Wang JF, Han DY, Wang JB, Fu XL, Zhu DG, Liu YN, Cao HJ, Huang QY, Xie LH, Zhong HX, Sui X, Ni HW. Variations in plant composition and diversity of *Calamagrostis angustifolia* community along soil water level gradient in the Sanjiang plain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, **37** (10): 3515-3524]
- 28 贾真真, 李苇洁, 田奥, 王加国. 贵州百里杜鹃风景区旅游干扰对杜鹃群落特征的影响[J]. 生态学报, 2021, **41** (11): 4641-4649 [Jia ZZ, Li WJ, Tian A, Wang JG. Ecological influence of tourism disturbance on the characteristics of different communities in Baili rhododendron forest [J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, **41** (11): 4641-4649]
- 29 张筱, 陈义堂, 杨秋菊, 何宗明, 曹光球, 陈爱玲. 不同地形100年生杉木人工林土壤理化性质及林下植被多样性差异分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, **41** (6): 60-70 [Zhang X, Chen YT, Yang QJ, He ZM, Cao GQ, Chen AL. Differences of soil physicochemical properties and undergrowth vegetation diversity of 100-year-old Chinese fir plantations in different terrain [J]. *J SW For Univ*, 2021, **41** (6): 60-70]
- 30 王媚臻, 毕浩杰, 金锁, 刘佳, 刘宇航, 王宇, 齐锦秋, 郝建峰. 林分密度对云顶山柏木人工林林下物种多样性和土壤理化性质的影响[J]. 生态学报, 2019, **39** (3): 981-988 [Wang MZ, Bi HJ, Jin S, Liu J, Liu YH, Wang Y, Qi JQ, Hao JF. Effects of stand density on understory species diversity and soil physicochemical properties of a *Cupressus funebris* plantation in Yunding mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, **39** (3): 981-988]
- 31 刘哲. 《生物多样性公约》谈判形势及其影响[J]. 国际经济评论, 2021, **3**: 1-22 [Liu Z. Convention on biological diversity [J]. *Int Ecol Rev*, 2021, **3**: 1-22]
- 32 宋明华, 刘丽萍, 陈锦, 张宪洲. 草地生态系统生物和功能多样性及其优化管理[J]. 生态环境学报, 2018, **27** (6): 1179-1188 [Song MH, Liu LP, Chen J, Zhang XZ. Biology, multi-function and optimized management in grassland ecosystem [J]. *Ecol Environ Sci*, 2018, **27** (6): 1179-1188]
- 33 Canellas I, Del Rio M, Roig S, Montero G. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain [J]. *Ann For Sci*, 2004, **61** (3): 243-250
- 34 Steinauer K, Jensen B, Strecker T, Luca ED, Scheu S, Eisenhauer N. Convergence of soil microbial properties after plant colonization of an experimental plant diversity gradient [J]. *BMC Ecol*, 2016, **16** (19): 1472-6785
- 35 朱宏光, 熊江波, 尤业民, 兰保国, 温远光, 杨瑶青, 刘正富, 杨建基. 不同更新方式巨尾桉林下植物群落变化及其环境解释[J]. 广西科学, 2014, **21** (5): 469-476 [Zhu HG, Xiong JB, You YM, Lan BG, Wen YG, Yang YQ, Liu ZF, Yang JJ. Changes in understory plant community of *eucalyptus grandis* × *E. urophylla* plantation in different regeneration modes and associated environmental explanations [J]. *Guangxi sci*, 2014, **21** (5): 469-476]
- 36 区余端, 苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态[J]. 生态学报, 2012, **32** (18): 5637-5645 [Qu YD, Su ZY. Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in north Guangdong [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32** (18): 5637-5645]
- 37 吴凯. 光竞争环境下杉木幼苗形态可塑性及生理响应研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2018 [Wu K. Morphological plasticity and physiological responses of *Chinese fir* seedlings under light competition environment [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018]
- 38 曹恒, 杨海龙, 贺康宁, 王伟伟, 高二鹏, 刘慧博, 王冰洁. 青海高寒区不同人工林配置下灌木种群的生态位研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, **42** (5): 84-90 [Cao H, Yang HL, He KN, Wang WW, Gao EP, Liu HB, Wang BJ. Niche of shrub populations in different plantation communities in alpine region of Qinghai province [J]. *J NW For Univ*, 2014, **42** (5): 84-90]
- 39 陈俊华, 刘兴良, 何飞, 刘世荣. 卧龙巴朗山川滇高山栎灌丛主要木

- 本植物种群生态位特征[J]. 林业科学, 2010, **46** (3): 23-28 [Chen JH, Liu XL, He F, Liu SR. Niche characteristics of dominant woody populations in *Quercus aquifolioides* shrub community in Balangshan mountain in wolong nature reserve [J]. *For Sci*, 2010, **46** (3): 23-28]
- 40 唐洪辉, 赵庆, 陈星澄, 章驰, 梁卫芳, 陈海英. 桉树不同采伐强度对新栽阔叶树种生态位及其生长量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, **41** (4): 101-110 [Tang HH, Zhao Q, Chen XC, Zhang C, Liang WF, Chen HY. Impact of different cutting densities of *Eucalyptus* stands on ecological niche and growth of new planted broad-leaved tree species [J]. *J Cen S Univ For Technol*, 2021, **41** (4): 101-110]
- 41 李婷婷, 容丽, 王梦洁, 叶天木, 王琪. 黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结性动态变化[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, **29** (1): 9-19 [Li TT, Rong L, Wang MJ, Ye TM, Wang Q. Dynamic changes in niche and interspecific association of major species of karst secondary forest in central Guizhou [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2021, **29** (1): 9-19]
- 42 吴建强, 王懿祥, 杨一, 朱婷婷, 朱旭丹. 干扰树间伐对杉木人工林林分生长和林分结构的影响[J]. 应用生态学报, 2015, **26** (2): 340-348 [Wu JQ, Wang YX, Yang Y, Zhu TT, Zhu XD. Effects of crop tree release on stand growth and stand structure of *Cunninghamia lanceolata* plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2015, **26** (2): 340-348]
- 43 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): 1766-1774 [Liu W, Cao W. Niche characteristics of main plant species in *spruce-fir* forests in Changbai mountains [J]. *Chin J Ecol*, 2011, **30** (8): 1766-1774]
- 44 陈玉凯, 杨琦, 莫燕妮, 杨小波, 李东海, 洪小江. 海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J]. 植物生态学报, 2014, **38** (6): 576-584 [Chen YK, Yang Q, Mo YN, Yang XB, Li DH, Hong XJ. A study on the niches of the state's key protected plants in Bawangling, Hainan island [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2014, **38** (6): 576-584]
- 45 刘润红, 常斌, 荣春艳, 姜勇, 杨瑞岸, 刘星童, 曾惠帆, 傅桂焕. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种群生态位[J]. 应用生态学报, 2018, **29** (12): 3917-3926 [Liu RH, Chang B, Rong CY, Jiang Y, Yang RA, Liu XT, Zeng HF, Fu GH. Niche of main woody plant populations of *pterocarya stenoptera* community in riparian zone of Lijiang river, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2018, **29** (12): 3917-3926]
- 46 董雪, 辛智鸣, 段瑞兵, 黄雅茹, 菅凯敏, 马海峰. 乌兰布和沙漠典型灌木群落多样性及其生态位[J]. 干旱区研究, 2020, **37** (4): 1009-1017 [Dong X, Xin ZM, Duan RB, Huang YR, Jian KM, Ma HF. Diversity and niche of typical shrub communities in wulanbu and desert [J]. *Ar Zone Res*, 2020, **37** (4): 1009-1017]
- 47 陈露蔓, 吕倩, 刘思泽, 罗艳, 陈小红, 陈雨琴, 陈刚, 范川, 李贤伟. 柏木低效人工林开窗初期草本层植物多样性及生态位[J]. 应用与环境生物学报, 2021, **27** (3): 1-13 [Chen LM, Lü Q, Liu SZ, Luo Y, Chen XH, Chen YQ, Chen G, Fan C, Li XW. Diversity and niche characteristics of herbaceous layer plants in the early stage of forest gap reconstruction of *Cupressus funebris* inefficient plantations [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, **27** (3): 1-13]
- 48 张桂萍, 张峰, 茹文明. 山西绵山植被优势种群生态位研究[J]. 植物研究, 2006, **2** (8): 2176-2181 [Zhang GP, Zhang F, Ru WM. Niche characteristics of dominant populations of vegetation in Mian mountain in Shanxi [J]. *Plant Res*, 2006, **2** (8): 2176-2181]
- 49 史作民, 程瑞梅, 刘世荣. 宝天曼落叶阔叶林种群生态位特征[J]. 应用生态学报, 1999, **10** (3): 265-269 [Shi ZM, Cheng RM, Liu SR. Niche characteristics of plant populations in deciduous broad-leaved forest in Baotianman [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1999, **10** (3): 265-269]
- 50 Liu F, Yang ZG, Zhang G. Canopy gap characteristics and spatial patterns in a subtropical forest of South China after ice storm damage [J]. *J Mount Sci*, 2020, **17** (8): 1942-1958]