

# 黔中地区不同马尾松群丛植物群落与土壤理化性质特征

杨云礼, 徐明, 张姣, 聂坤, 文春玉, 张健

(贵州大学 生命科学学院, 贵阳 550025)

**摘要:**为探究黔中地区不同马尾松群丛生境下植物群落与土壤理化性质特征,以黔中地区 6 种典型马尾松群丛类型样地为研究对象,对植物物种进行了调查。根据各群丛优势种将其命名为马尾松+杉木—茅栗—寒莓群丛(群丛 I)、马尾松+白栎—茅栗+白栎—寒莓+蕨群丛(群丛 II)、马尾松+响叶杨—山胡椒+白栎—芒草群丛(群丛 III)、马尾松+枫香—茅栗—姬蕨+凉山悬钩子群丛(群丛 IV)、马尾松—白栎—苧草+针毛蕨群丛(群丛 V)、马尾松—白栎+白花悬钩子—芒萁+地果群丛(群丛 VI)。比较不同群丛下植被多样性及土壤理化性质特征,同时探究二者间相互关系。结果显示:调查共记录维管植物 120 种,隶属 62 科,99 属;不同群丛植被多样性指数具有明显差异,表现为群丛 IV > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 I > 群丛 VI > 群丛 V。此外,群丛内各层次多样性存在一定差异。不同马尾松群丛土壤容重、湿度、含水量、pH、全氮、速效氮、全磷、速效磷、速效钾、有机质等均具有显著差异( $p < 0.05$ ),其中群丛 IV 土壤养分显著高于其他群丛类型。CCA 分析结果表明:土壤电导率、海拔、郁闭度、容重、有效磷可能是影响马尾松群丛植物物种分布的重要环境因素( $p < 0.05$ )。

**关键词:**森林生态学;马尾松;群丛;物种多样性;土壤理化性质

中图分类号:S791

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0119-08

## Characteristics of Communities and Soil PhysicoChemical Properties of Different *Pinus massoniana* in Central Guizhou

YANG Yunli, XU Ming, ZHANG Jiao, NIE Kun, WEN Chunyu, ZHANG Jian

(College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Taking six types of typical *Pinus massoniana* in Guizhou as the research objects, we investigated the plant species. The communities are named *Pinus massoniana*+*Cunninghamia lanceolata*—*Castanea seguinii*—*Rubus buergeri* (I), *Pinus massoniana*+*Quercus fabri*—*Castanea seguinii*+*Quercus fabri*—*Rubus buergeri*+*Pteridium aquilinum* (II), *Pinus massoniana*+*Populus adenopoda*—*Lindera glauca*+*Quercus fabri*—*Miscanthus sinensis* (III), *Pinus massoniana*+*Liquidambar formosana*—*Castanea seguinii*—*Hypolepis pallida*+*Rubus fockeanus* (IV), *Pinus massoniana*—*Quercus fabri*—*Arthraxon hispidus*+*Macrothelypteris oligophlebia* (V), *Pinus massoniana*—*Quercus fabri*+*Rubus leucanthus*—*Miscanthus sinensis*+*Ficus tikoua* (VI). The plant diversity and soil physicochemical properties under different communities were compared, and the relationship between the two are explored. The results showed that a total of 120 species of vascular plants, belonging to 62 families and 99 genera, were recorded; the plant diversity indices of different communities had obvious differences, and decreased in the order: IV > III > II > I > VI > V; in addition, the plant diversity indices in each group were also different between levels; the soil bulk density, water content, pH, total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, available phosphorus, available potassium, organic matter, etc. of different *Pinus massoniana* clusters were significantly different ( $p < 0.05$ ); The soil nutrients of cluster IV were significantly higher than those of the other cluster types. The results of CCA analysis showed that soil conductivity, altitude, canopy closure, bulk density, available phosphorus may be important environmental factors affecting the distribution of plant species in the *Pinus massoniana* stand ( $p < 0.05$ ).

收稿日期:2021-02-05

修回日期:2021-02-24

资助项目:国家自然科学基金(31660150,31960234);贵州省科技厅项目(黔科合支撑[2018]2773号);黔科合重大专项字([2019]3005-4)

第一作者:杨云礼(1995—),女,贵州都匀人,硕士研究生,主要从事生态学研究。E-mail:yangyunli1205@163.com

通信作者:张健(1980—),男,吉林梨树人,副教授,主要从事微生物生态学研究。E-mail:zhangjian12102@163.com

**Keywords:** *Pinus massoniana*; association; species diversity; soil physicochemical properties

群丛 (Association) 是群落的基本单位, 是指物种组成基本相同, 层片结构相似、各层片的优势种或共优种 (或标志种) 相同、群落结构和动态特征 (季相变化规律和演替阶段等) 及生境相对一致, 且具有相似生产力的植物群落联合<sup>[1]</sup>。群丛的分类通常是基于野外实地踏查, 并对其各片层特征种加以定义, 但目前全球尚未形成一个全面统一的分类系统, 而形成了法瑞学派、北欧学派、英美学派、苏联学派等多个分类标准<sup>[2]</sup>。群丛的划分强调群落各层次物种组成与林分结构<sup>[3]</sup>, 二者在不同程度上影响许多森林生态过程, 如水平衡, 养分循环, 碳分配, 光吸收等<sup>[4]</sup>。基于群丛分类水平上的植被群落研究可较直观表征植物物种组成和结构, 反映它们生境的相似性。同时结合环境影响因子的分析可有效检验所划分群丛结果。加强区域植被类型 (组成、结构和分布) 的深入研究可为该区域生物多样性保护和森林管理提供参考。

马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 是南方地区的乡土树种之一<sup>[5]</sup>, 具有抗干旱、耐贫瘠、速生丰产等特点, 常被用于生态恢复及造林工程中。马尾松广泛分布于我国贵州、广西、云南、湖北等 17 个省 (市、区)<sup>[6]</sup>, 全国马尾松林分布面积约为 1 200 万  $\text{hm}^2$ , 位居全国乔木树种面积分布第一, 蓄积量位居第六。据统计, 贵州省全省林地面积达到 880 万  $\text{hm}^2$ <sup>[8]</sup>, 森林覆盖率达到 59.95%。其中, 马尾松是全省森林资源占比较大的树种之一, 占贵州用材林的 46.54%<sup>[9]</sup>, 以马尾松为优势种的群丛类型复杂多样。近年来, 研究学者在群落分类水平上开展了有关该区马尾松林群落分类<sup>[10]</sup>、林分结构特征、物种多样性特征<sup>[11]</sup>、化学计量特征等<sup>[12]</sup> 一系列研究, 而基于马尾松林群丛水平上的相关研究却鲜有报道, 马尾松群丛植被物种组

成及多样性、土壤养分差异等方面相关研究亟待加强。植物与环境关系一直是生态学研究热点问题<sup>[13]</sup>。地形、气候、土壤理化性质等<sup>[14]</sup> 非生物因子可对植物个体生命活动、群落组成及结构产生重要影响; 另一方面, 林分密度<sup>[15]</sup>、林龄<sup>[16]</sup> 及生态系统中动物及微生物等生物因素同样驱动植被群落结构的动态变化。本文以黔中地区 6 种典型马尾松群丛为研究对象, 通过揭示不同马尾松群丛的植物群落和土壤理化性质特征, 探讨黔中地区不同马尾松群丛下植物群落与土壤理化性质的相关性, 以期为该区马尾松群落生态学以及森林资源管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于贵州省贵阳市开阳县, 地理坐标为  $106^{\circ}45' - 107^{\circ}17'E$ ,  $26^{\circ}48' - 27^{\circ}22'N$ , 属黔中山地高原区, 地质构造复杂多样, 呈现西南高东北低趋势。平均海拔在 1 000~1 400 m, 相对高差 1 195.5 m。属亚热带季风性湿润气候, 西部、南部降水量较多, 北部降水量偏小, 境内一年降水集中在 4—9 月。年平均气温在  $13^{\circ}\text{C}$  左右。无霜期约为 315 d。开阳县森林覆盖率达 52.9%, 位居黔中之首, 属亚热带常绿阔叶林带, 主要植物代表为松科 (Pinaceae)、壳斗科 (Fagaceae)、樟科 (Lauraceae)、山茶科 (Theaceae)、冬青科 (Aquifoliaceae) 等多种植物。土壤主要为黄壤及黄棕壤。

### 1.2 样地设置

试验于 2020 年 7 月通过对开阳县马尾松分布区域的实地踏查, 在开阳县的城关镇、冯三镇和楠木渡镇等地, 选取具有代表性的 6 种马尾松群丛类型样地 (表 1)。

表 1 不同马尾松群丛样地基本概况

群丛名称	经纬度	林龄/ a	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	坡位	郁闭度/ %	密度/ (株· $\text{hm}^{-2}$ )	土壤类型
马尾松+杉木—茅栗—寒莓	$106^{\circ}59'27.39"E$ $27^{\circ}5'30.25"N$	30~40	1132	10	南 $175^{\circ}$	坡中	85	800	黄壤
马尾松+白栎—茅栗+白栎—寒莓+蕨	$106^{\circ}59'14.80"E$ $27^{\circ}6'9.22"N$	30~40	1162	10	西南 $23^{\circ}$	坡中	93	1100	黄壤
马尾松+响叶杨—山胡椒+白栎—芒草	$106^{\circ}59'7.78"E$ $27^{\circ}6'34"N$	30~40	1156	8	东北 $48^{\circ}$	坡中	95	1500	黄壤
马尾松+枫香—茅栗—姬蕨+凉山悬钩子	$107^{\circ}0'13.72"E$ $27^{\circ}7'39.59"N$	20~30	1080	5	西南 $229^{\circ}$	坡中	72	650	黄壤
马尾松—白栎—苎草+针毛蕨	$106^{\circ}59'24.00"E$ $27^{\circ}16'45.21"N$	150~200	943	8	东南 $136^{\circ}$	坡中	68	150	黄壤
马尾松—白栎+白花悬钩子—芒萁+地果	$106^{\circ}59'15.28"E$ $27^{\circ}16'34.98"N$	20~30	977	12	东南 $128^{\circ}$	坡上	88	650	石灰土

### 1.3 植物多样性调查

6 个群丛类型样地分别设置一个面积为 20 m × 20 m 的大样方,对样方内所有乔木进行挂牌编号,并调查乔木胸径、树高、冠幅、多度;在样方范围内设置 4 个面积为 5 m × 5 m 的灌木样方及面积为 1 m × 1 m 的草本样方,对灌木及草本树高、盖度、多度等指标进行测定。

### 1.4 样品采集与处理

土壤样品采集采用 6 点取样法,在样方内随机选取 6 个点,利用 4.5 cm 直径土钻,采集 0—20 cm 及 20—40 cm 两个土层土壤,分别装入塑封袋,放入保鲜箱中带回实验室。室内避光,自然风干后,去掉石块及树根等杂质后,全部过 2 mm 孔径土筛,均匀混合后过 0.25 cm 孔径土筛,过筛后样品用于土壤理化性质的测定。

### 1.5 土壤理化性质的测定

土壤湿度(%)、土壤电导率(mS/m)及土壤温度(°C)用土壤水分温度电导率速测仪(Moisture Meter HH2, Delta-T Devices Ltd.公司,英国)测定。土壤容重(Soil Bulk density, SBD)采用环刀法测定,土壤有机质(Soil organic matter, SOM)采用重铬酸钾氧化—外加热法(LY/T1237-1999);土壤全氮(Total nitrogen, TN)采用半微量凯氏定氮法,速效氮(Available nitrogen, AN)采用碱解扩散法(LY/T1228-2015);土壤全磷(Total phosphorus, TP)采用钼锑抗比色法,土壤有效磷(Available phosphorus, AP)采用双酸浸提—钼锑抗比色法(LY/T1232-2015);土壤速效钾(Available potassium, AK)采用火焰分光光度法测定(LY/T1234-2015);土壤 pH 值采用土:水=1:2.5(质量比)浸提电位法测定。

### 1.6 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据整理,用 Canoco 5 进行不同马尾松群丛植物群落与土壤理化性质的典范对应分析(CCA),重要值<sup>[17]</sup>与多样性指数<sup>[18]</sup>计算公式如下:

重要值( $P_i$ ):

乔木层重要值=(相对多度+相对高度+相对盖度)/3 (1)

灌木层及草本层重要值=(相对高度+相对盖度)/2 (2)

物种丰富度( $S$ ):

$S = \text{物种数}$  (3)

Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ ):

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (4)$$

Simpson 优势度指数( $H'$ ):

$$H' = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (5)$$

Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (6)$$

群落总多样性指数( $D$ ):

$$D = W_1 D_1 + W_2 D_2 + W_3 D_3 \quad (7)$$

式中: $P_i$ 为物种  $i$  的相对重要值; $D_1, D_2, D_3$  分别为乔灌木各层的多样性指数; $W_1, W_2, W_3$  分别为乔灌木的权重值,本研究中分别设为 0.5, 0.25, 0.25。

## 2 结果与分析

### 2.1 马尾松群丛植物组成结构与重要值

植物群落的组成及结构揭示了种间、种与环境间的相互关系,同时体现着群落的动态变化及演替特征<sup>[19]</sup>。在所有调查样地中,共记录到维管植物 120 种,隶属 62 科,99 属。其中灌木树种 65 种,草本植物 52 种。不同群丛类型下物种组成不同(图 1),整体上看,各群丛物种数依次为群丛 IV > 群丛 V > 群丛 I > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 VI。群丛 I 共有 36 种,隶属 25 科 31 属,群丛 II 共有 31 种,隶属 21 科 25 属,群丛 III 共有 35 种,隶属 26 科 28 属,群丛 IV 共有 45 种,隶属 30 科 36 属,群丛 V 共有 39 种,隶属 30 科 33 属,群丛 VI 共有 23 种,隶属 16 科 23 属 23 种。不同层次上看,不同群丛各层物种数均表现为:灌木层 > 乔木层 ≥ 草本。

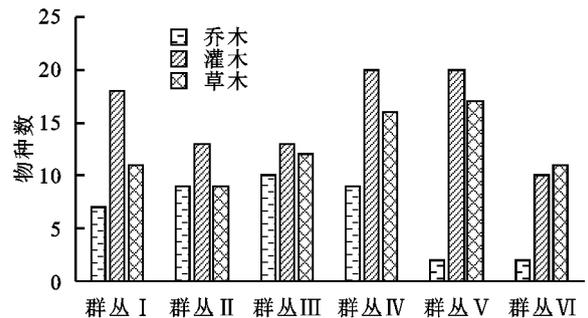


图 1 不同群丛植物物种组成

对不同群丛下乔木、灌木及草本三层物种重要值研究发现(表 2),不同马尾松群丛林下优势种具有明显差异。本研究依据观察各层优势种来划分群丛类型并作为命名原则,6 个群丛命名及物种组成如下:

群丛 I: 马尾松(*Pinus massoniana*) + 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)—茅栗(*Castanea seguinii*)—寒莓(*Rubus buergeri*)群丛。乔木层主要以马尾松及杉木占优势,重要值分别为 0.324 及 0.264,占总体 58.9%。灌木层为茅栗占优势,伴生种还有野桐(*Mallotus tenuifolius*)及柃木(*Eurya nitida*)。草本层主要以寒莓(*Rubus buergeri*)为主。

表 2 不同群丛乔木层、灌木层及草本层物种及其重要值(部分)

层次	物种名	重要值					
		I	II	III	IV	V	VI
乔木	樟	0.100	0.077				
	樱桃	0.137			0.051		
	杨梅		0.107	0.061	0.143		
	响叶杨			0.226			
	杉木	0.264		0.079			
	马尾松	0.324	0.271	0.179	0.238	0.707	0.820
	麻栎			0.109			
	柃木		0.113	0.043			
	梨		0.105	0.042			
	构树						0.179
	枫香				0.304	0.292	
	白栎		0.118	0.111			
	白栎	0.090	0.228	0.300	0.074	0.390	0.376
	杜鹃	0.084	0.130	0.114			
	枫香	0.025			0.104	0.040	
灌木	株木						0.119
	柃木	0.105	0.184	0.018		0.012	
	茅栗	0.170	0.298		0.184		
	山胡椒			0.413		0.015	
	杉木	0.151					
	桃					0.148	
	天香藤	0.113					
	野桐	0.106					
	油茶	0.228					
	地果	0.045			0.041	0.135	0.056
	狗脊蕨			0.030		0.103	
	海金沙					0.108	
	寒莓	0.445	0.272	0.061	0.054	0.069	
	姬蕨				0.260		
	草本	苎草					
蕨		0.053	0.218	0.095		0.026	
凉山悬钩子					0.106		
芒草			0.061	0.485			0.187
芒萁			0.143	0.016		0.137	0.081
山莓		0.102	0.070			0.072	
针毛蕨						0.137	

群丛 II: 马尾松 (*Pinus massoniana*) + 白栎 (*Quercus fabri*)—茅栗 (*Castanea seguinii*) + 白栎 (*Quercus fabri*)—寒莓 (*Rubus buergeri*) + 蕨 (*Pteridium aquilinum*) 群丛。乔木层以马尾松占优势地位,重要值为 0.271,白栎为共优势种,柃木 (*Eurya nitida*)、杨梅 (*Morella rubra*) 混生其中。灌木层以茅栗及白栎占优势,重要值分别为 0.298 及

0.228,伴生种为杜鹃 (*Rhododendron simsii*) 及柃木等。草本层主要以寒莓及蕨为主,重要值占总体 49.11%,芒萁 (*Dicranopteris pedata*)、山莓 (*Rubus corchorifolius*)、鬼针草 (*Bidens pilosa*) 及斑叶堇菜 (*Viola variegata*) 等植物混生其中。

群丛 III: 马尾松 + 响叶杨 (*Populus adenopoda*)—山胡椒 (*Lindera glauca*) + 白栎—芒草 (*Miscanthus sinen-*

sis)群丛。乔木层以响叶杨、马尾松占主要优势,伴生种为麻栎(*Quercus acutissima*)、白栎,同时还有杨梅、杉木及光皮桦(*Betula luminifera*)等。灌木层主要以山胡椒及白栎占主要优势,同时伴生有杜鹃(*Rhododendron simsii*)、菝葜(*Smilax china*)等。草本物种主要以芒草为优势种,重要值为 0.485;其次为蕨、荚果蕨(*Matteuccia struthiopteris*)、芒萁等。

群丛 IV: 马尾松+枫香(*Liquidambar formosana*)—茅栗—姬蕨(*Hypolepis pallida*)+凉山悬钩子(*Rubus fockeanus*)群丛。主要以马尾松及枫香为乔木层优势种,同时伴生有杨梅、楝(*Melia azedarach*)、榆树(*Ulmus pumila*)、樱桃(*Prunus pseudocerasus*)等。灌木层主要以茅栗及枫香占优势,山油麻(*Trema cannabina*)、5 月瓜藤(*Holboellia angustifolia*)、白栎、白花悬钩子(*Rubus leucanthus*)混生中。草本层以姬蕨(*Hypolepis pallida*)、凉山悬钩子(*Rubus fockeanus*)、小槐花(*Ohwia caudata*)、华南忍冬(*Lonicera confusa*)为主要物种。

群丛 V: 马尾松—白栎—荩草(*Arthraxon hispidus*) + 针毛蕨(*Macrothelypteris oligophlebia*)群丛。乔木层为马尾松占绝对优势,其重要值达 0.707,样地内除马尾松外仅有一株枫香。灌木层优势种为白栎,重要值为 0.390,共优势种为桃(*Prunus persica*),同时还出现山矾(*Symplocos sumuntia*)、润楠(*Machilus nanmu*)、竹叶榕(*Ficus stenophylla*)及朴树(*Celtis sinensis*)等物种。草本层主要有荩草(*Arthraxon hispidus*)、芒草(*Miscanthus sinensis*)、针毛蕨(*Macrothelypteris oligophlebia*)。

群丛 VI: 马尾松—白栎+白花悬钩子(*Rubus leucanthus*)—芒萁(*Miscanthus sinensis*) + 地果(*Ficus tikoua*)群丛。乔木层为马尾松,其重要值为 0.820,同时样地内还有一株构树(*Broussonetia papyrifera*)。灌木层主要以白栎及白花悬钩子占优势,同时还有鸡桑(*Morus australis*)、楝木(*Cornus macrophylla*)、铁仔冬青(*Ilex chumiana*)、苎麻(*Urtica fissa*)等。草本层主要以芒萁、地果、海金沙(*Lygodium japonicum*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)为主,此外样方内出现一定数量的鸢尾(*Iris tectorum*),这种植物常生长于向阳坡地,群丛 VI 郁闭度较小,林下植被能获取的光照强,因此出现这类阳生植物混生其间。

## 2.2 马尾松群丛植物多样性

由表 3 可见,6 种群丛乔木层丰富度指数( $S$ )、多样性指数(Shannon-Weiner,  $H'$ )、优势度指数

(Simpson,  $H'$ )、均匀度指数(Pielou,  $J'$ )均具明显差异,其中丰富度表现为群丛 III > 群丛 II = 群丛 IV > 群丛 I > 群丛 V = 群丛 VI; 多样性及优势度指数呈现除相似的结果,表现为群丛 III > 群丛 IV > 群丛 II > 群丛 I > 群丛 VI > 群丛 V; 均匀指数则表现为群丛 II > 群丛 III > 群丛 I > 群丛 VI > 群丛 IV > 群丛 V。不同马尾松群丛灌木层丰富度指数和多样性指数大小表现为群丛 IV > 群丛 VI > 群丛 I > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 V,  $H'$  表现为群丛 IV > 群丛 I > 群丛 II > 群丛 VI > 群丛 V > 群丛 III; 群丛 IV 均匀度指数最高,表示样地内植物分布更为均匀,而群丛 II 及群丛 III 均匀度则相对较低。在草本层中,物种多样性指数及优势度指数呈现相似结果,表现为群丛 VI > 群丛 IV > 群丛 V > 群丛 II > 群丛 I > 群丛 III; 群丛 VI 的均匀度指数同样最高,表明群丛 VI 中草本植物多样性高且分布均匀,而群丛 III 草本植物不仅多样性低且分布不均匀。整体上看,群落总多样性指数( $D$ )表现为群丛 IV > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 I > 群丛 VI > 群丛 V。

## 2.3 马尾群丛土壤理化特征

见图 2,不同群丛样地的土壤容重(SBD)、土壤含水量(SWC)等物理性质具有显著差异( $p < 0.05$ )。其中,各群丛土壤容重大小依次为群丛 VI > 群丛 IV > 群丛 V > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 I, 群丛 VI 土壤容重最大,说明该样地土壤相对板结;土壤含水量大小依次为群丛 I > 群丛 II > 群丛 III > 群丛 V = 群丛 VI > 群丛 IV。各群丛土壤 pH 均小于 7,呈酸性或强酸性土壤,群丛 I, II 土壤 pH 显著低于其他群丛类型。毛管水电导率(EC)处于 0.17~0.40 mS/cm,其中群丛 V 最大,并且显著高于其他群丛类型。同一群丛土壤有机质(SOM)、全磷(TP)、有效磷(AP)、全氮(TN)、速效氮(AN)及速效钾(AK)均表现为随土层加深而减少的趋势,并且达到显著水平( $p < 0.05$ ),其中以土壤全氮及有机质变化最为明显。在 0—20 cm 土层中,各群丛土壤全氮含量变化为 0.89~1.98 g/kg, 20—40 cm 土层变化范围为 0.32~0.75 g/kg; 土壤速效氮在 0—20 cm 土层表现为群丛 IV > 群丛 II > 群丛 V > 群丛 VI > 群丛 I > 群丛 III, 20—40 cm 土层则表现为群丛 V > 群丛 III > 群丛 II > 群丛 I > 群丛 IV > 群丛 VI。土壤有效磷在 0—20 cm 土层变化范围为 9.34~17.81 mg/kg, 平均值为 12.96 mg/kg, 在 20—40 cm 土层中变化范围为 6.72~12.61 mg/kg, 平均值为 10.30 mg/kg, 两个土层中群丛 IV 均有效磷含量均显著高于其他群丛类型。土壤全磷含量

变化趋势与有效磷类似,均为群丛Ⅳ最高,在两个土层中有效磷的变化范围分别为 0.13~0.45 g/kg 及 0.10~0.16 g/kg。全钾含量在 0—20 cm 土层中得表现为群丛Ⅳ>群丛Ⅴ>群丛Ⅰ>群丛Ⅲ>群丛Ⅵ>群丛Ⅱ,其变化范围为 39.00~82.66 mg/kg,20—40 cm 土层中表现为群丛Ⅴ>群丛Ⅲ>群丛Ⅳ>群丛Ⅵ>群丛Ⅱ>群丛Ⅰ,变化范围为 16.66~4.66 mg/

表 3 不同马尾松群丛植物多样性指数

群丛	层次	丰富度 S	多样性 指数 H	优势度 指数 H'	均匀度 指数 J	群落总多 样性指数 D
I	乔木层	7	1.711	0.785	0.879	1.938
	灌木层	18	2.434	0.893	0.842	
	草本层	11	1.898	0.763	0.792	
II	乔木层	9	2.074	0.856	0.944	1.996
	灌木层	13	1.852	0.803	0.722	
	草本层	9	1.982	0.834	0.902	
III	乔木层	10	2.149	0.866	0.933	2.002
	灌木层	13	1.879	0.715	0.733	
	草本层	12	1.832	0.731	0.737	
IV	乔木层	9	1.896	0.812	0.863	2.253
	灌木层	20	2.708	0.917	0.904	
	草本层	16	2.514	0.881	0.907	
V	乔木层	2	0.470	0.294	0.678	1.206
	灌木层	10	1.795	0.778	0.780	
	草本层	11	2.090	0.845	0.871	
VI	乔木层	2	0.605	0.414	0.872	1.630
	灌木层	20	2.470	0.799	0.825	
	草本层	17	2.841	0.905	1.003	

#### 2.4 马尾松群丛植物群落与环境因子的相关分析

对马尾松群丛物种丰度矩阵与土壤理化因子矩阵进行(CCA)结果表明:不同马尾松群丛空间分异明显,表现出群丛Ⅰ、群丛Ⅱ、群丛Ⅲ和群丛Ⅳ(几种马尾松混交林)相对距离较小,群丛Ⅴ与群丛Ⅵ(不同林龄人工马尾松纯林群丛)空间分异则十分明显;排序轴的贡献率分别为 23.67%和 23.17%,较好的反映了该区植物物种与环境之间的关系;不同马尾松群丛的环境因子中土壤电导率、海拔、郁闭度、容重、有效磷可能是影响马尾松群丛植物物种分布的重要环境因素( $p<0.05$ )。

### 3 讨论

马尾松林是一种先锋树种,是常绿阔叶林演替系列中的一个演替阶段,是我国南方地区广泛的分布针叶树种之一,在林业生产和生态环境建设中占有重要的地位。我国南方地区在植树造林过程中通过播种、

kg。表层土壤有机质含量平均值为 47.01 g/kg,变化范围在 27.26~56.57 g/kg 之间,在 20—40 cm 土层中变化范围为 7.23~18.46 g/kg 平均值为 13.43 g/kg。整体上看,群丛Ⅳ各层土壤养分均高于其他群丛,表明在该群丛生境下对水土保持及水源涵养更为有利;表层土壤腐殖质多,物质转化快,由此表现出较下层土壤更高的养分含量。

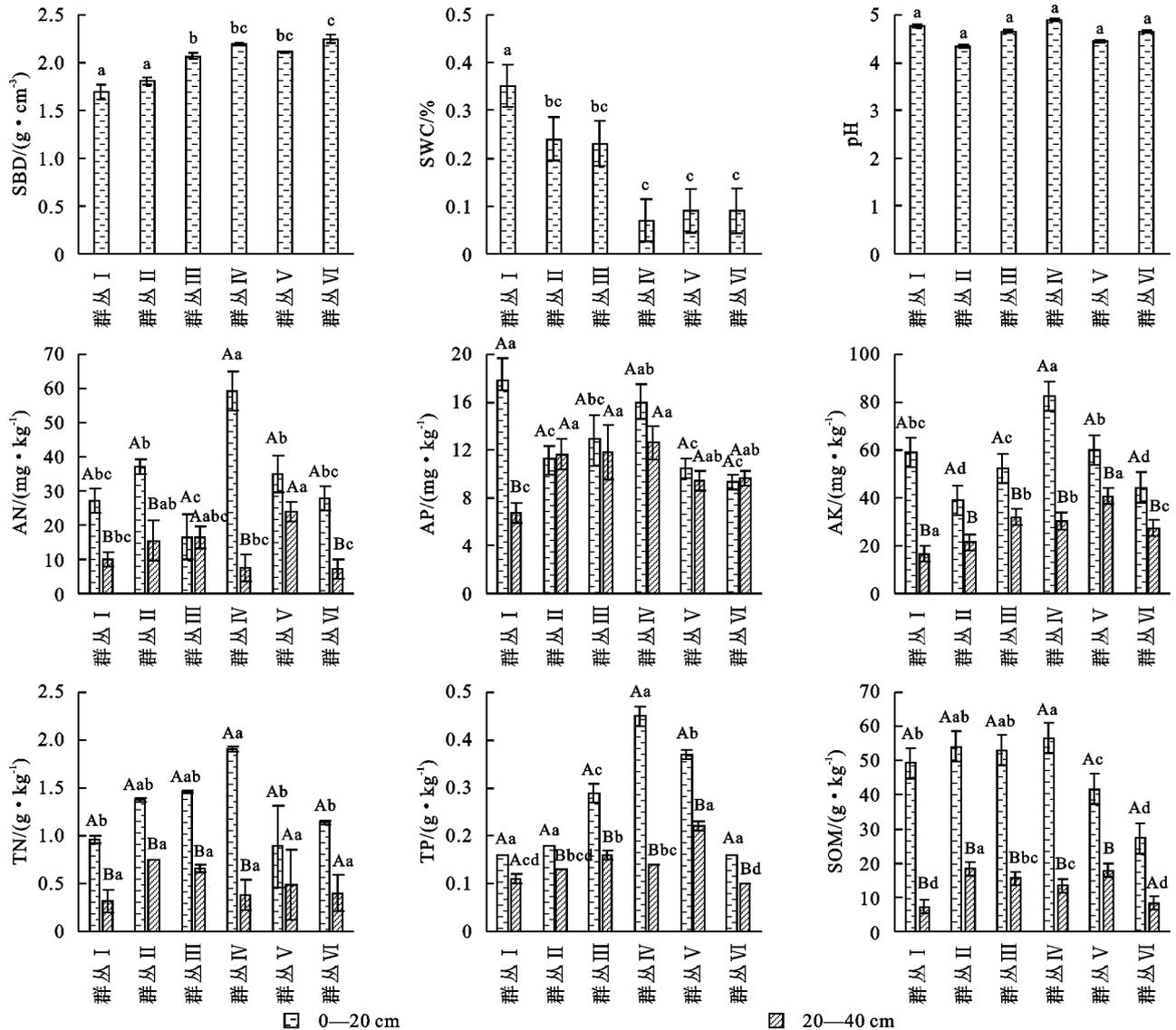
植苗、植树和飞播等人工营造方式形成了大量马尾松人工林,同时,也存在许多天然更新发展起来的马尾松天然林。由于地理自然条件差异较大,自然演替过程差异,加以人为生产活动影响的方式、强度、林龄和林木生长好坏的不同,马尾松群落类型呈现出较为丰富的群丛类型,如广西的马尾松群落可分为 76 个群丛<sup>[20]</sup>。可见,通过对马尾松群丛特征及其与环境因子间作用关系的研究,可对马尾松纯林阔叶化营造以及特定经营目标(如木材、松脂、造纸等)的科学管理提供科学依据。

本研究通过马尾松 6 种群丛类型样地植物调查,共记录维管束植物 120 种,隶属 62 科,99 属。其中乔木 22 种,灌木 65 种,草本植物 52 种。优势种为马尾松、杉木、响叶杨、白栎、枫香、杜鹃、山胡椒、姬蕨、芒萁、寒莓等物种,其结果与李敏等<sup>[11]</sup>人的研究结果相似。研究表明群落结构与生态服务功能、生产力及群落物种多样性紧密相关<sup>[21]</sup>,有多个建群种的群落比单个建群种的群落多样性更高<sup>[22]</sup>。群丛Ⅴ(中龄树)和群丛Ⅵ(老龄树)代表着单一马尾松为建群种的群丛类型,其多样性指数明显低于其他群丛。

植被群落与土壤微环境密切相关<sup>[23]</sup>,土壤理化性质的变化对植被的发育及分布起到深刻的影响,从而使地上植被形成特定的结构与组成;植被根据自生长特性影响土壤的成土过程及化学特征。研究发现,在森林不同演替阶段群落组成与功能性状发生变化,从而导致林地土壤养分与资源配置发生改变<sup>[24]</sup>,姜淑兰等<sup>[25]</sup>认为植被类型与林分结构可导致土壤含水量、土壤孔隙度及有机质含量的变化。本研究中不同群丛土壤理化性质差异显著,其中 pH 均小于 7,酸性土壤条件为马尾松生长提供了适宜环境。土壤养分整体上呈现表层土壤高于下层土壤,其结果与王岳等<sup>[26]</sup>研究结果一致。表层土壤养分均表现为群丛Ⅳ最高,说明乔木层中以马尾松和枫香为建群种物种配置将该区森林土壤养分含量维持在相对较高水平。可能由于枫香为落叶乔木,枫香凋落物较白栎及响叶杨更易分解,形成良好的腐殖层,促进养分循环,提高

土壤肥力状况。据报道,喀斯特区马尾松混交林可增加群落生物量及营养元素储量,改善生态系统的发育状况<sup>[27]</sup>。陈模芳等<sup>[28]</sup>人研究同样发现马尾松混交林生物量及碳储量显著高于马尾松人工纯林及天然次生林。高生物量与碳储量为生态系统提供了充足的养分,促进生态系统物质循环。土壤有机质、土壤磷含量常被认为是限制林下植物多样性的主要驱动

因子<sup>[10]</sup>,在本研究中土壤有机质对马尾松群丛植物多样性分布同样表现出较明显的影响。土壤电导率是表征土壤物理性质的常见指标<sup>[29]</sup>,在一定程度上反映了土壤含水量、盐分、黏粒含量及类型等土壤信息<sup>[30]</sup>,研究区地处典型喀斯特山地区,地质结构复杂,这就造成了土壤电导率的差异,从而进一步影响地上植物的多样性特征。



注:不同大写字母表示不同土层间差异显著( $p < 0.05$ ),不同小写字母表示样地间差异显著( $p < 0.05$ )。

图 2 不同马尾松群丛土壤理化性质

## 4 结论

本研究中 6 种马尾松群丛的植物组成、物种多样性、土壤理化性质均具有明显差异,其中以马尾松和枫香为优势种的群丛类型(群丛 IV)物种多样性和土壤养分均相对较高,该物种配置有利于改善马尾松林群落生态环境,促进群落良性发展;土壤电导率、海拔、郁闭度、容重、有效磷可能是影响马尾松

群丛植物物种分布的重要环境因素;揭示马尾松群丛特征将有助于该区域马尾松林的多样性保护和森林资源科学管理。

### 参考文献:

- [1] 郭柯,方精云,王国宏,等.中国植被分类系统修订方案[J].植物生态学报,2020,44(2):111-127.
- [2] 孙小伟,杨庆松,刘何铭,等.基于浙江天童 20  $\text{hm}^2$  常绿

- 阔叶林动态监测样地的群丛划分[J].植物生态学报, 2018,42(5):550-561.
- [3] Forrester D I. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: From pattern to process[J]. Forest Ecology and Management, 2014,312:282-292.
- [4] Pretzsch H, Forrester D I, Rötzer T. Representation of species mixing in forest growth models. A review and perspective[J]. Ecological Modelling, 2015,313:276-292.
- [5] 王永琪,秦佳双,马姜明,等.南亚热带马尾松人工林林下木本植物的物种多样性[J].广西师范大学学报:自然科学版,2020,38(6):131-139.
- [6] 李伟立,余倩,郭雪艳,等.皖南次生马尾松林自然演替进程中的群落动态[J].生态学杂志,2014,33(8):1997-2004.
- [7] 秦佳双,王永琪,马姜明,等.广西不同气候条件下马尾松人工林木本植物组成及多样性特征[J].广西科学, 2020,27(2):154-164.
- [8] 张遵东,王玥.贵州省政策性森林保险发展探析[J].经济研究导刊,2019(1):69-70.
- [9] 陈进,徐明,邹晓,等.黔中地区不同林龄马尾松小气候特征研究[J].中国环境科学,2019,39(12):5264-5272.
- [10] 陈模芳,丁贵杰,张仁波.不同马尾松群落类型结构及物种多样性特征[J].西部林业科学,2019,48(4):57-65.
- [11] 李敏,丁贵杰,孙学广,等.贵州马尾松群落植物多样性与土壤酶活性[J].森林与环境学报,2016,36(4):434-441.
- [12] 郭其强,盘金文,李慧娥,等.贵州高原山地马尾松人工林土壤碳、氮、磷生态化学计量特性[J].水土保持学报, 2019,33(4):293-298.
- [13] 安乐生,周葆华,赵全升,等.黄河三角洲植被空间分布特征及其环境解释[J].生态学报,2017,37(20):6809-6817.
- [14] 汤茜,丁访军,朱四喜,等.茂兰喀斯特地区不同植被演替阶段对土壤化学性质与酶活性的影响[J].生态环境学报,2020,29(10):1943-1952.
- [15] 王永琪,马姜明,秦佳双,等.林分密度对广西南亚热带马尾松人工林林下木本植物组成及多样性影响[J].广西林业科学,2020,49(3):349-353.
- [16] 冯健,王骞春,陆爱君,等.辽东山区长白落叶松异龄混交林植被多样性和土壤特征研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2021,49(3):57-66.
- [17] 郑天义,王丹,姬柳婷,等.长白山自然保护区典型森林群落数量分类、排序及多样性格局[J].生态学报,2020, 40(20):7353-7361.
- [18] 孟庆欣.太行山植物群落多样性分布格局及其对环境因子的响应[D].太原:山西大学,2020.
- [19] 刘丹,郭忠玲,崔晓阳,等.5种东北红豆杉植物群落及其物种多样性的比较[J].生物多样性,2020,28(3): 340-349.
- [20] 王献溥,蒋高明.广西马尾松林分类、分布和演替的研究[J].植物研究,2002,22(2):151-155.
- [21] Forrester D I, Bauhus J, Cowie A L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*[J]. Forest Ecology and Management, 2006,233(2):275-284.
- [22] 涂丹丹,刘蔚漪,李媚,等.哀牢山西坡6种典型森林群落及物种多样性研究[J].西部林业科学,2020,49(6): 76-84.
- [23] Porazinska D L, Bardgett R D, Blaauw M B, et al. Relationships at the aboveground-belowground interface: Plants, soil biota, and soil processes[J]. Ecological Monographs, 2003,73(3):377-395.
- [24] 喻阳华,钟欣平,郑维,等.喀斯特森林不同演替阶段植物群落物种多样性、功能性状与化学计量及关联[J].生态学报,2021,41(6):1-10.
- [25] 娄淑兰,刘目兴,易军,等.三峡山地不同类型植被和坡位对土壤水文功能的影响[J].生态学报,2019,39(13): 4844-4854.
- [26] 王岳,王海燕,李旭,等.不同密度下近天然落叶松云冷杉林各土层土壤理化特征[J].草业科学,2014,31(8): 1424-1429.
- [27] 李茜,杨胜天,盛浩然,等.典型喀斯特地区马尾松纯林及马尾松-阔叶树混交林营养元素生物循环研究:以贵州龙里为例[J].中国岩溶,2008,27(4):321-328.
- [28] 陈模芳,丁贵杰,翟帅师,等.不同马尾松群落类型的生物量及碳储量[J].中南林业科技大学学报,2016,36(7):76-80.
- [29] Corwin D L, Lesch S M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2005,46(1):11-43.
- [30] 陶毅,孟繁佳,盛文溢.四端法土壤电导率传感器恒流源设计与试验[J].农业机械学报,2020,51(S2):415-420.