

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.05.044.

陈歆宇, 谭伟, 杨深钧. 不同类型马尾松混交林结构与水源涵养功能的耦合关系[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 217-222.

CHEN Xinyu, TAN Wei, YANG Shenjun. Coupling Relationship Between the Structure and Water Conservation Function of Different Mixed Forests of Masson Pine[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 217-222.

不同类型马尾松混交林结构与水源涵养功能的耦合关系

陈歆宇¹, 谭伟², 杨深钧¹

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学 林业信息工程研究中心, 贵阳 550025)

摘要: [目的] 研究马尾松混交林林分结构与水源涵养功能之间的耦合关系, 旨在探讨合理马尾松混交林类型、混交比例及林分结构, 为混交林可持续发展和提高森林水源涵养能力提供理论依据。 [方法] 以贵州省黎平县德顺乡的马尾松混交林为研究对象, 对其中典型马尾松×阔叶混交林、马尾松×杉木混交林、马尾松纯林(对照)共15块样地进行立地因子和林木因子进行调查。根据获取的调查数据, 对平均胸径、平均树高、枯落物最大持水量、枯落物现存量等9种林分结构因子进行主成分分析, 并利用降维后的主成分因子与水源涵养功能进行耦合分析按照建立的林分结构与功能的耦合关系模型, 对混交林林分水源涵养功能进行评价。 [结果] 不同类型林分土壤层厚度、灌草盖度、土壤孔隙度、土壤持水量差异不明显($p > 0.05$), 但样地枯落物现存量、枯落物平均最大持水率、枯落物平均最大持水量、枯落物厚度差异显著($p < 0.05$)。建立了林分结构与水源涵养功能的耦合线性模型, 其中影响林分水源涵养功能的指标主要为林分的平均胸径、平均树高、林分密度指数、树种组成等林分结构指标和枯落物现存量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率等涵养水源功能指标, 枯落物最大持水量权重占比最大为14.4%。调查林分水源涵养功能评价表现为: 马尾松×木荷 > 马尾松×米槠 > 马尾松×杉木 > 纯林。 [结论] 马尾松阔叶混交林水源涵养功能优于马尾松针叶混交林和纯林, 密度为750株/hm², 郁闭度0.7混交比例为1:2或2:1的马尾松—木荷混交林是贵州省黎平县所调查研究区域中水源涵养功能最佳的林分结构。

关键词: 马尾松混交林; 林分结构; 涵养水源功能; 耦合模型; 综合评价

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)05-0217-06

Coupling Relationship Between the Structure and Water Conservation Function of Different Mixed Forests of *Pinus massoniana*

CHEN Xinyu¹, TAN Wei², YANG Shenjun¹

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Research Center of Forestry Information Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: [Objective] The coupling relationship between stand structure and water connotation function of *Pinus massoniana* mixed forests was examined in order to figure out the reasonable types of *P. massoniana* mixed forests, mixing ratio and stand structure, and provide the theoretical basis for sustainable development of mixed forests and improving water conservation capacity of forests. [Methods] The site factors and stand factors of 15 typical masson's pine-broadleaf mixed forests, masson's pine-Chinese fir mixed forest and Masson's pine pure forest (control) were investigated in Deshun Township, Liping County, Guizhou Province. According to the obtained survey data, principal component analysis was used to analyze 9 kinds of forest structure factors, including average DBH, average tree height, maximum water holding capacity of litter and existing litter, and coupling analysis between the principal component factors with dimensionality reduction and water conservation function was carried out. According to the coupling relationship model of forest structure and function, the water conservation function of mixed forest was evaluated. [Results] There were no significant differences in soil thick-

收稿日期: 2023-01-29

修回日期: 2023-02-11

资助项目: 贵州省科技支撑计划项目“黔中马尾松可持续经营研究与示范”(黔科合支撑[2017]2520-1号)资助

第一作者: 陈歆宇(1997—), 男, 贵州贵阳人, 硕士研究生, 主要从事林业信息管理与分析研究。E-mail: cxykto@163.com

通信作者: 谭伟(1973—), 男, 贵州遵义人, 博士, 教授, 主要从事林业信息工程研究。E-mail: wtan@gzu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

ness, shrub cover, soil porosity and soil water holding capacity among different forest types ($p > 0.05$), but there were significant differences in the existing litter stock, average maximum litter holding capacity, average maximum litter holding capacity and thickness of litter in the sample plots ($p < 0.05$). The coupling linear model of stand structure and water conservation function was established, in which the main indexes affecting the functional of water conservation were stand structure indexes such as average DBH, average tree height, stand density index, tree species composition, and water conservation function indexes such as existed litter stock, maximum litter water holding capacity and maximum litter water holding rate. The weighted ratio of the maximum water holding capacity of litter was 14.4%. The water conservation function evaluation values of the investigated stands decreased in the order: *P. massoniana* × *Schima superba* > *P. massoniana* × *Castanopsis cuspidata* > *P. massoniana* × *Cunninghamia lanceolata* > *P. massoniana* pure forest. [Conclusion] The water connotation function of masson pine broadleaf mixed forest was better than those of Masson's pine coniferous mixed forest and pure forest, and the *P. massoniana* × *S. superba* mixed forest with 750 plants/hm², canopy density of 0.7 and mixing ratio of 1 : 2 or 2 : 1 was the best stand structure for water conservation function in the investigated area in Liping County, Guizhou Province.

Keywords: Masson pine mixed forest; stand structure; water conservation function; model coupling; comprehensive evaluation

马尾松 (*Pinus massoniana*) 是南方重要的用材树种, 不仅具有重要的经济价值, 而且其具有重要的生态价值。在贵州省马尾松的乔木林地面积为 16.16 万 hm², 占贵州省林地面积的 14%, 是贵州省两江上游重要的生态屏障。当前贵州的马尾松林绝大多数为纯林, 林相多为单层林, 林下物种多样性低, 凋落物主要为针叶, 分解缓慢, 导致林地涵养水源、保持水土等生态功能低下。很多研究已经表明, 马尾松与阔叶树如木荷 (*Schima Reinw*)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*)^[1]、闽粤栲 (*Castanopsis fissa*)^[2]、细柄阿丁枫 (*Altingia gracilipes*) 等^[3] 混交, 其涵养水源、保持水土功能均明显优于纯林。可见, 对现有马尾松纯林进行阔叶化改造, 与适宜的混交树种搭配形成针阔混交林无疑是提高贵州省马尾松森林质量, 增强其生态功能的重要举措。

森林的水源涵养功能包括涵养水源、保持水土、改善水质、改良土壤等, 其中以涵养水源、保持水土和改善水质功能最为重要。森林的水源涵养功能高低取决于多方面的因素, 包括树种组成、林分的垂直结构、水平结构和空间结构、林龄、立地条件、抚育管理措施等。前人对影响森林涵养水源功能的林龄^[4]、树种组成^[5]、抚育措施^[6] (间伐、修枝) 等因素进行了诸多研究。近年来, 研究者们越来越趋向于关注森林结构与涵养水源功能的研究, 不仅考虑组成结构、水平结构、垂直结构, 而且关注森林的空间结构, 且趋向于研究林分的多种结构与水源涵养功能的耦合关系^[7], 并对森林的水源涵养功能做出评价, 为构建涵养水源功能高的林分奠定了基础。

为增强我省以及南方大面积的马尾松纯林的水源涵养功能, 对现有不同类型马尾松混交林的结构和涵养水源功能的耦合关系进行研究, 探索能增强混交林水源涵养功能的适宜空间和非空间结构, 适宜的混交组成和比例十分必要。本研究以贵州省黎平县德顺乡的马尾松混交林为研究对象, 选择具有代表性的马尾松阔叶混交林、马尾松针叶混交林和马尾松纯林样地 15 块, 对其林分结构和涵养水源功能的耦合关系进行分析, 评价不同类型混交林的涵养水源功能, 以筛选出涵养水源功能强的林分类型及其结构。该研究可以为今后营造马尾松水源涵养林或对现有马尾松纯林进行阔叶化改造、调控林分结构以提高其生态功能提供理论依据和技术指导。

1 研究地概况

研究地点为贵州省黔东南苗族侗族自治州黎平县德顺乡, 地处黔东南州南部, 东经 108.52°—109.52°, 北纬 25.68°—26.13°, 海拔高度 400~800 m, 为低中山, 大多数母岩为板岩和页岩。本次调查在 2022 年进行, 该年年平均气温趋势 (图 1), 平均高温 22℃, 平均低温 13℃。

该地区气候属于中亚热带季风湿润气候, 雨水充沛, 2022 年总降雨量 1 400.7 mm, 近年来年平均降水量 1 302.2 mm, 多年平均蒸发量为 1 203 mm, 多年月均湿度 75%~86%。土壤多为偏酸性的黄壤, 土层厚度 100 cm 以上。所在地林分主要包含马尾松纯林、马尾松 × 杉木混交林和马尾松 × 阔叶混交林, 两种混交林是马尾松间伐后人工补植杉木和木荷 (*Schima superba*)、

米楮(*Castanopsis cuspidata*)等形成的,马尾松平均年龄 35 a,阔叶树、杉木平均年龄 15~20 a。

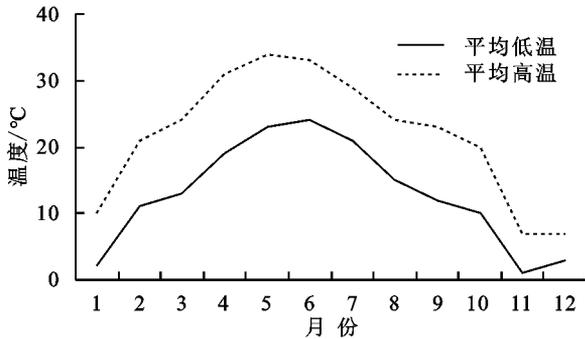


图1 2022年黎平县平均气温趋势

2 调查研究方法

2.1 样地设置

通过调研和资料搜集,在充分了解研究区自然环境、经济条件、森林结构、立地条件等的基础上,在研究区内选择立地条件基本一致、林相整齐、具有代表性的林分设置样地。根据当地混交林的实际状况,设置 15 块样地,标准地规格为 20 m×30 m。为了方便区分并发现明显的特征,将所调查 15 个样地分类成 5 类,即马尾松×米楮混交林(简称马米)、马尾松×木荷混交林(简称马木)、马尾松×杉木混交林(1:2)和马尾松×杉木混交林(1:1)(简称马杉)以及马尾松纯林,各 3 块样地。

2.2 调查方法

(1) 林分结构及生长指标调查。在每个样地内,调查海拔、坡度、坡位、坡向、土壤类型、土层厚度等环境因子,测定样地中单木的相对坐标,以计算测定每株林木的 X, Y 坐标,调查并记录树种名称、年龄、株数、胸径、树高、冠幅、郁闭度、枝下高等因子。以 5 cm 为起测胸径对样地内所有乔木胸径进行测量,采用测高器来测量树高。

(2) 枯落物及灌草调查。将标准地分为上、中、下 3 个 3 m×3 m 小样方,对样方内的灌木种类及高度、灌草盖度以及生长状况进行调查。在所设置的 3 个 3 m×3 m 小样方中收集全部枯落物,挖掘枯落物剖面,将未分解层和半分解层分别收集,用钢卷尺测定各层的枯落物厚度,将收集好的枯落物置于密封袋中进行称重,然后带回室内进行枯落物储量、含水量及持水量、吸水速率的测定,并推算枯落物单位面内的存储量。

采用浸水法对枯落物持水量及吸水速率进行测定:将采集的枯落物按未分解层及半分解层分别称重,即为枯落物自然状态下的鲜重。将枯落物在 105℃烘箱中烘干至恒重,再分别装入相同标准的细网袋中,称其干重,然后放入盛水容器中浸泡,2 h 后取出网袋静置 5 min 直至不再滴水后迅速称量其重

量,按相同的方法测量 4 h, 8 h, 10 h, 12 h, 24 h 的枯落物湿重。每个时间段枯落物湿重与带网袋干重的差值即为该时间段枯落物的吸水量。

(3) 土壤物理性质测定。在每块样地,随机设置深度为 80 cm 的土壤剖面用以测量土壤物理性质。使用环刀法在每个土壤剖面从地表起,每隔 20 cm 采集土壤样品,共 4 份,所有样地总计有 60 份土壤样品。取环刀后立刻称量土壤湿重,将土壤样品带回实验室测算土壤含水率,毛管孔隙度和土壤容重。

2.3 统计分析和模型构建

采用 SPSS 26.0 软件进行方差分析、多重比较和主成分分析。用主成分分析法找出反映林分结构以及水源涵养功能的因子即平均胸径、平均树高、林分密度指数、树种组成、郁闭度、枯落物现存量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率、枯落物厚度 9 个指标作为水源涵养功能的评价指标体系;计算各主成分因子的权重与因子得分的乘积之和为主成分因子综合得分(F),即该研究所要得到的水源涵养功能指数,表达式如下:

$$F = \frac{\lambda_1 \times F_1 + \lambda_2 \times F_2 + \lambda_3 \times F_3 + \lambda_4 \times F_4}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4}$$

通过建立的林分结构与功能模型计算出样地的涵养水源功能指数。为方便样地等级划分,参照黄笑的方法^[8],将各样地的主成分因子综合得分值 F 进行标准化。标准化后的值用 P 表示, P 即为评价指标,范围在 0~100 之间。其标准化公式为:

$$P_i = \frac{F_i - F_{\min}}{F_{\max} - F_{\min}} \times 100$$

式中: F_i 表示第 i 个样地的水源涵养功能综合评价指数; F_{\min} 表示样地水源涵养功能的最小综合评价指数; F_{\max} 表示样地水源涵养功能的最大综合评价指数。

3 结果与分析

3.1 不同类型马尾松混交林林分水源涵养比较

对不同类型林分未分解层与半分解层的最大持水量和最大持水率的测定结果(图 2)发现:不同类型林分中,不论是未分解层还是半分解层枯落物最大持水量、最大持水率均差异显著($p < 0.05$),且都以马木、马米混交林优于马杉混交林和纯林,但马木、马米的最大持水量、最大持水率差异不显著($p > 0.05$);马杉(1:1)和马杉(1:2)的未分解层和半分解层枯落物的最大持水量、最大持水率差异也不显著($p > 0.05$)。

从表 1 可以看出,不同类型林分土层厚度、灌草盖度、土壤孔隙度、土壤持水量差异不明显($p > 0.05$),但样地枯落物现存量、枯落物平均最大持水率、枯落物平均最大持水量、枯落物厚度差异显著($p < 0.05$)。枯落物现

存量表现和枯落物平均最大持水量均表现为:马米 > 马木 > 马杉 1:1 > 马杉 1:2 > 纯林;而枯落物平均最

大持水率则表现为:马木 > 马米 > 马杉 1:1 > 马杉 1:2 > 纯林;郁闭度则为混交林 > 纯林。

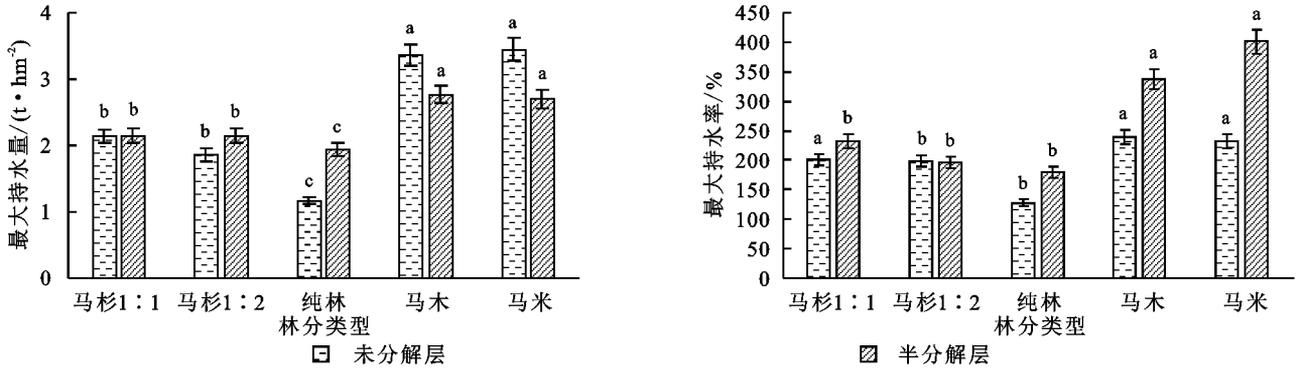


图 2 混交林及纯林的未分解、半分解枯落物最大持水量与最大持水率比较

表 1 样地基本情况

林分类型	郁闭度	样地枯落物 现存量/(kg·m ⁻²)	枯落物平均 最大持水率/%	枯落物平均最大 持水量/(t·hm ⁻²)	土壤持水量/ (t·hm ⁻²)	土壤 孔隙度/%	灌草 盖度/%	土层 厚度/cm	枯落物 厚度/cm
马杉 1:1	0.68	0.926±0.332b	208	2.235±0.928b	0.302±0.009bc	43	40	80	2.5±1.067b
马杉 1:2	0.65	0.779±0.332b	207	1.918±0.928b	0.309±0.009b	45	50	80	3±1.067b
纯林	0.56	0.597±0.332c	187	1.221±0.928b	0.312±0.009b	42	45	80	1.5±1.067c
马木	0.75	1.323±0.332a	259	3.370±0.928a	0.328±0.009a	43	50	80	4±1.067a
马米	0.72	1.482±0.332a	252	3.727±0.928a	0.304±0.009bc	43	50	80	4.5±1.067a

3.2 各因子间的相关性分析

由于所调查土层厚度、灌草盖度、土壤孔隙度、土壤持水量差异不显著,故在选用因子时不考虑上述指标。之后采用 person 相关性分析(表 2),本文中 X₁, X₂, X₃, X₄, X₅, X₆, X₇, X₈, X₉ 分别选用平均胸径、平均树高、林分密度指数、树种组成、郁闭度、

枯落物现存量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率、枯落物厚度来代表,下同。结果表明林分平均胸径与平均树高、树种组成、枯落物现存量、枯落物最大持水量呈极显著正相关($p < 0.01$),平均树高与郁闭度、枯落物现存量、枯落物最大持水率呈极显著正相关($p < 0.01$)。

表 2 因子相关性分析

因子	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
X ₁	1								
X ₂	0.906**	1							
X ₃	-0.448	-0.483	1						
X ₄	0.701**	0.785**	-0.483	1					
X ₅	-0.383	-0.238	0.025	-0.166	1				
X ₆	-0.600*	-0.693**	0.778**	-0.614	0.048	1			
X ₇	-0.586*	-0.652**	0.956**	-0.623*	0.063	0.894**	1		
X ₈	-0.490	-0.526*	0.951**	-0.562*	0.012	0.731**	0.943**	1	
X ₉	0.265	0.226	-0.390	-0.166	0.048	-0.195	-0.319	-0.344	1

注:**表示 $p < 0.01$, *表示 $p < 0.05$ 。

3.3 主成分因子分析

考虑各因子之间存在相关性,通过降维方式提取主要因子,分析结果发现 KMO 系数为 0.724,显著性小于 0.000 5,适合做主成分分析。9 个因子对应的公因子方差分别为 0.890,0.915,0.959,0.760,0.770,0.821,0.978,0.920,0.800,均大于 0.5。根据特征值大于 1 原则,筛选出前 3 个主成分,其累计贡献率为 86.801%(表 3)。

通过因子载荷矩阵和载荷系数 0.5 原则,发现第一

主成分中林分的平均胸径、平均树高、林分密度指数、树种组成、枯落物现存量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率上有较大的载荷,其载荷为 0.787~0.946,表示为林分结构与水源涵养功能最契合的因子(表 4);第二主成分中林分的郁闭度有较大的载荷,其载荷为 -0.775;第三主成分中枯落物厚度有较大的载荷,其载荷为 -0.770,每个主成分只支配几个因子,且相互之间没有冲突,每个因子也只受一个主成分支配。

根据主成分因子权重计算方法,将所对应的初始

特征值进行开方并与因子载荷矩阵系数相乘,得到因子权重系数,以构建耦合关系模型,将所选 9 个指标

得分系数进行归一化,得出所选指标在主成分分析中的权重(表 4)。

表 3 主成分特征值与贡献率

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积%	总计	方差百分比	累积%	总计	方差百分比	累积%
1	5.296	58.846	58.846	5.296	58.846	58.846	3.553	39.482	39.482
2	1.421	15.786	74.632	1.421	15.786	74.632	2.901	32.234	71.716
3	1.095	12.169	86.801	1.095	12.169	86.801	1.358	15.085	86.801

表 4 因子载荷与权重矩阵

因子	因子载荷矩阵			因子权重系数矩阵成分			得分系数	权重/%
	1	2	3	1	2	3		
X_1	-0.787	0.467	0.228	-0.342	0.392	0.218	0.22	11.6
X_2	-0.830	0.344	0.328	-0.361	0.289	0.313	0.24	12.2
X_3	0.864	0.387	0.251	0.375	0.325	0.240	0.25	13.1
X_4	-0.780	0.219	0.322	-0.339	0.184	0.308	0.20	10.4
X_5	0.207	-0.775	0.356	0.090	-0.650	0.340	0.12	6.3
X_6	0.878	0.185	-0.127	0.382	0.155	-0.121	0.23	12.1
X_7	0.946	0.280	0.071	0.411	0.235	0.068	0.28	14.4
X_8	0.874	0.355	0.170	0.380	0.298	-0.162	0.25	12.9
X_9	-0.400	0.218	-0.770	-0.174	-0.183	-0.736	0.13	7.0

3.4 耦合关系模型构建

将林分结构特征与水源涵养功能指标对应,运用 Pearson 检验法进行结构因子与功能指标相关性分析,并对其进行模型拟合。根据主成分分析得出的因子得分系数构建出下列方程:

$$F_1 = -0.342X_1 - 0.361X_2 + 0.375X_3 - 0.339X_4 + 0.090X_5 + 0.382X_6 + 0.411X_7 + 0.380X_8 - 0.174X_9$$

$$F_2 = 0.392X_1 + 0.289X_2 + 0.325X_3 + 0.184X_4 - 0.650X_5 + 0.155X_6 + 0.235X_7 + 0.298X_8 - 0.183X_9$$

$$F_3 = 0.218X_1 + 0.313X_2 + 0.240X_3 + 0.308X_4 + 0.340X_5 - 0.121X_6 + 0.068X_7 - 0.162X_8 - 0.736X_9$$

3.5 因子得分综合分析

因子综合得分 F 为每个主成分特征值和因子得分乘积,即林分的水源涵养功能评价价值:

$$F = (a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_2 + a_3 \cdot F_3) / (a_1 + a_2 + a_3)$$

其中 $a_1 = 5.296, a_2 = 1.421, a_3 = 1.095$ 。

根据水源涵养功能评价价值与计算的样地主成分综合评价价值的关系散点图(图 3),采用线性回归分析,计算其线性函数,其相关系数为 0.995 9。根据散点图上的样地聚集情况可以看出,排名前三位的其水源涵养功能评价价值均 > 50,为马尾松 × 木荷混交林;第 2 类其水源涵养功能评价价值在 40~50 之间为马尾松 × 米楮混交林;第 3 类其水源涵养功能评价价值为 30~40 马尾松 × 杉木混交林和 1 个纯林样地;第 3 类有

2 个样地,其水源涵养功能评价价值 < 30,为马尾松纯林。不同类型林分的水源涵养功能整体呈现为:马尾松 × 木荷 > 马尾松 × 米楮 > 马尾松 × 杉木 > 纯林。

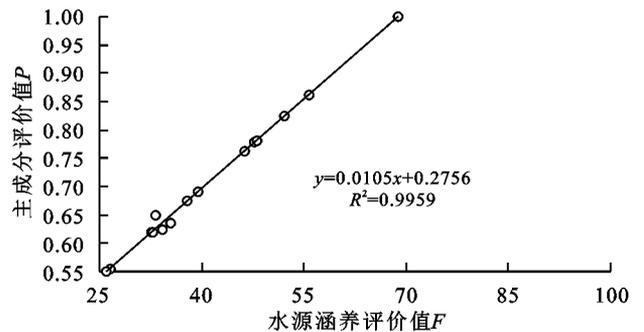


图 3 水源涵养功能评价价值与主成分评价价值散点图

4 讨论与结论

4.1 讨论

主成分分析已广泛用于林分结构与各功能的耦合研究中^[8-10],由于影响林分结构以及水源涵养功能的因子较多,混交林的可持续经营依靠的不仅仅是单一因素,而是多个因素共同作用而形成的,因此,本研究尽可能选用其中最具有代表性的 9 种因子,在林分尺度上对黎平县不同类型马尾松混交林的水源涵养功能的评价。本研究得出不同类型林分的水源涵养功能整体呈现为:马尾松 × 木荷 > 马尾松 × 米楮 > 马尾松 × 杉木 > 纯林,表明混交林的涵养水源功能优于纯林,且以马阔混交优于马杉混交,其中马尾松与木荷混交在前人的研究中认为是一种良好的混交组合^[1]。

所调查区域 15 块样地呈现出不同的水源涵养功

能结果,其主要原因是最能影响林分水源涵养功能的前3个指标为枯落物最大持水量、林分密度指数、枯落物最大持水率,三者在不同类型林分之间差异显著,其中枯落物最大持水量总和与最大平均持水率均表现为马米>马木>马杉(1:1)>马杉(1:2)>纯林。枯落物层是林分水源涵养功能层面最好的体现,借助枯落物层可以有效防止径流所带来的侵蚀,让土壤层面的蓄水性和抗侵蚀性得到提升,具有极强的水土保持能力。枯落物在森林涵养水源中的巨大作用在很多研究中都体现出来^[11-12]。本研究中林分密度指数表现为马尾松×杉木>马尾松×木荷(米楮)>马尾松纯林,马尾松×杉木混交林中过高的林分密度导致林内光照减弱,下层林木减少,枯落物以马尾松、杉木针叶为主,且分解较慢,因而其枯落物厚度、枯落物现存量、枯落物最大持水率都低于马阔混交林;马尾松×木荷混交林以及马尾松×米楮混交林由于恰当的林分密度,林下植被比较丰富,使得整个林分的枯落物厚度、枯落物现存量得以留存,水土得以保持,水源涵养功能评价也相应最高。

森林结构与功能关系的研究一直是林学研究中的热点,特别是对于混交林的研究,因其结构与功能的复杂性导致研究较为困难,研究其耦合关系涉及到学科之间的交叉与渗透,近年来少有系统性的研究方法和参照。本研究借鉴前人研究林分结构与水源涵养功能的方法,对于不同类型马尾松混交林的林分结构和枯落物层与水源涵养功能的耦合关系进行了研究。在进行结构与功能的耦合关系研究时结合前人的研究选择最能代表林分结构与水源涵养功能关系的关键指标,对于调查种差异性不显著或对于水源涵养功能影响较小的因子,为了得到结果的显著性,在进行耦合模型构建时选择剔除,只保留差异性明显且最能代表水源涵养功能特性的因子研究,所以对于其他可能对混交林水源涵养功能有所影响的因子存在考虑不全,今后仍有待研究和探讨。此外,本研究仅分析了林分的非空间结构与功能的耦合关系,而对其与空间结构的耦合关系没有分析,其原因是所选林分为人工营造的成熟林,空间结构参数(角尺度、混角度、大小比)差异较小,但如若今后的研究中有极其适合研究林分结构与空间结构之间关系的混交林,应将林分的空间结构与非空间结构与水源涵养功能结合起来分析^[13-15]。由于研究条件和时间的限制,本研究未涉及林冠和下层植物对降雨的截流,仅仅考虑了枯落物和土壤的涵养水源功能,今后应在这方面进行深入研究。

4.2 结论

本文通过对黎平县15块马尾松混交林与纯林的

样地结构与功能的耦合关系研究,建立了林分结构与水源涵养功能的耦合线性模型,其中影响林分水源涵养功能结构的指标主要为林分的平均胸径、平均树高、林分密度指数、树种组成等林分结构指标和枯落物现存量、枯落物最大持水量、枯落物最大持水率等涵养水源功能指标,枯落物最大持水量权重占比最大为14.4%。对林分水源涵养功能综合评价结构表明,调查林分水源涵养功能呈现为:马尾松×木荷>马尾松×米楮>马尾松×杉木>纯林。密度为750株/hm²,郁闭度0.7左右,混交比例为2:1,1:2的马尾松×木荷混交林是本研究区域中水源涵养功能最佳的林分类型。

参考文献:

- [1] 许由才.马尾松—苦楮混交林水源涵养功能研究[J].华东森林经理,2016,30(1):37-41.
- [2] 洪宜聪,乐兴钊,罗志梁.马尾松闽粤栲异龄复层林土壤肥力及涵养水源功能[J].福建林业科技,2017,44(4):41-47.
- [3] 吴载璋.马尾松套种细柄阿丁枫对林分涵养水源功能的影响[J].亚热带农业研究,2016,12(3):181-186.
- [4] 孙艳,李四高,张楠.林龄对马尾松人工林水源涵养能力的影响研究[J].中国水土保持,2018,436(7):22-24,69.
- [5] 李默然,丁贵杰,鲍斌,等.贵州黔东南地区不同森林类型涵养水源功能研究[J].广东农业科学,2013,40(10):162-165.
- [6] 平丽丽,李云飞,冯楷斌,等.抚育间伐对不同类型华北落叶松林分涵养水源能力影响[J].林业与生态科学,2019,34(4):369-374.
- [7] 张广,禄鑫,李世波.五盖山针阔混交林林分结构与水源涵养功能耦合关系研究[J].热带林业,2020,48(1):29-32.
- [8] 黄笑.金洞林场闽楠人工林林分结构与多功能研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [9] 吴昊,董思谨,王文浩.秦岭山地松栎林土壤理化性质耦合关系[J].中南林业科技大学学报,2020,40(10):117-126.
- [10] 严宏,谭伟,柴宗政,等.黔中马尾松成熟林表层土壤养分与林分结构的异质性及其耦合关系[J].福建农林大学学报:自然科学版,2018,47(3):304-312.
- [11] 耿琦.云冷杉针阔混交林枯落物持水特性研究[D].北京:北京林业大学,2020.
- [12] 潘嘉雯.马尾松人工林凋落物分解及养分循环规律[D].广州:华南农业大学,2019.
- [13] 邱丽琼.湘西石漠化立地人工混交林林分空间结构特征及稳定性评价[D].长沙:中南林业科技大学,2022.
- [14] 杨素萍.耦合林分空间结构特征的生态公益林优化调整技术研究[D].福州:福建农林大学,2016.
- [15] 谢伊,杨华.长白山天然云冷杉针阔混交林主要树种胸径生长与林分空间结构的关系[J].北京林业大学学报,2022,44(9):1-11.