

贵州马尾松天然林蓄积相关因子的主成份分析

杜明凤^{1,2}, 李明军^{2,3}, 郭颖^{3*}

(1. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550003; 2. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025;
3. 贵州省林业调查规划院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 利用第八次全国森林资源连续清查贵州省第六次复查(2010年)资料, 从中提取223块马尾松(*Pinus massoniana*)天然林样地数据, 通过主成份分析和多元回归分析其林分蓄积的相关因子。结果表明: 中心区特征值大于1的有2个公因子, 累积贡献率71.645%, 第一公因子方差贡献率为42.204%, 包括平均胸径、平均树高、平均年龄, 定义为林分基本因子, 第二公因子方差贡献率29.441%, 包括郁闭度和林分密度, 定义为林分密度因子; 一般区特征值大于1的有3个公因子, 累积贡献率81.620%, 第一、二公因子的定义与中心区一致, 其方差贡献率分别为35.997%和28.003%, 第三公因子为土壤类型, 定义为立地条件因子, 其方差贡献率为17.620%; 多元回归建模并对其进行T检验发现, 中心区结果与因子分析结果一致, 一般区与因子分析结果有差异。综合表明, 中心区和一般区林分蓄积的相关因子均是平均胸径、平均树高、平均年龄、郁闭度和林分密度, 其他因子对林分蓄积的影响较小。

关键词: 马尾松; 天然林; 林分蓄积; 主成份分析; 多元线性回归

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Principal Component Analysis on Factors of Growing Stock in Natural *Pinus massoniana* Forests in Guizhou Province

DU Ming-feng^{1,2}, LI Ming-jun^{2,3}, GUO Ying^{2*}

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550003, China; 2. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Guizhou Forestry Survey and Planning Institute, Guiyang 550003, China)

Abstract: Based on data of the 8th continuous inventory for national forest resources in 2010 in Guizhou, growing stock factors of 223 sample plots of natural *Pinus massoniana* forest were analyzed by principal component and multiple linear regression analysis. The results demonstrated that there were two common factors with the eigenvalue more than 1 in the central area, whose accumulative contribution rate 71.645%. The first common factor was composed by mean DBH, height and age with variance contribution rate of 42.204%. The second one was composed by canopy and stand density with variance contribution rate of 29.441%. There were three common factors with the eigenvalue more than 1 in ordinary area, whose accumulative contribution rate was 81.620%. The first and second common factor was the same as that in the central area, with variance contribution rate of 35.997% and 28.003%. The third common factor was soil type, with variance contribution rate of 17.620%. Modeling by multiple linear regression and t-test resulted that it had the same conclusion in the central area with principal analysis. The conclusion showed that the related factors of growing stock were mean DBH, height, age, canopy and stand density in the central and ordinary area, while the other factors had less influence on

收稿日期: 2014-10-20; 修回日期: 2015-05-21

基金项目: 贵州省林业调查规划院森林生态监测评估院士工作站项目(黔科合院士站[20134004]); 贵州省森林资源监测与评价科技创新人才团队项目(黔科合人才团队[2013]4007)

作者简介: 杜明凤(1979-), 女, 贵州惠水人, 副教授, 博士生, 从事森林培育及资源保护、植物分子遗传及抗逆; *通讯作者。

growing stock.

Key words: *Pinus massoniana*; natural forest; growing stock; principal component analysis; multiple linear regression

林分蓄积量是衡量森林生态环境、评价森林资源规模的主要指标,单位面积蓄积量的大小标志着林地生产力的_{高低},因而是森林资源监测的重要内容之一。林分蓄积与单木材积均由断面积、树高和形数三要素构成;同时,林分是由群体树木组成,具有生长、积累过程,受到林木直径、树高、形数、林分密度等制约,还受到树种、起源、年龄、立地条件和经营措施的影响^[1]。

马尾松(*Pinus massoniana*)广泛分布于我国 17 个省(市、自治区),具有耐干旱、耐脊薄、适生能力强、速生、丰产、优质、用途广等优点,是贵州主要的经济用材和造林灭荒先锋树种,在贵州省林业生产及森林生态系统中占有极其重要的地位^[2]。对于贵州马尾松的研究多集中于人工林的经营利用及合理采伐年龄^[3]、经营模型及优化栽培模式^[4]、生物量及生长规律^[5]等,而对贵州马尾松天然林的研究却鲜有报道,研究其林分蓄积与各因子间的相关性,对马尾松天然林资源保护、管理决策等都具有重要的意义。基于第八次全国森林资源连续清查贵州省第六次复查(2010 年)的数据资料,本研究从中筛选了 223 块马尾松天然林样地,通过主成份分析和多元回归^[6-7],定性找出与林分蓄积有关的因子加以命名并进行深入的分析,以期为更好地发展和保护贵州森林资源、保护贵州森林生物多样性及长江、珠江中下游地区的生态环境提供科学依据。

1 研究区域概况

1.1 研究区域概况

贵州省位于我国西南地区云贵高原东部,103°37'~109°23'E、24°40'~29°12.5'N,是岩溶地貌发育完善的典型高山区域,山高坡陡,土层薄,水土流失严重,生态环境极为脆弱;地势由西北向东南呈梯级下降,平均海拔 1 100 m。全省受山地地形影响气候复杂多样,属中亚热带东部湿润季风气候,年均气温 10~18℃,年降水量在 1 100~1 500 mm,降水量分配东部、南部多,西部、北部少,相对湿度 70%以上,全年日照时数 1 300 h,无霜期 270 d 左右。土壤的水平分布由北向南为:北亚热带黄棕壤,中亚热带黄壤、黄红壤,南亚热带砖红壤化红壤;此外,还有石灰土和紫色土、粗骨土、水稻土、棕壤、潮土、泥炭土、沼泽土、石炭土、石质土、山地草甸土、红粘土、新积土等土类。全省植被类型复杂多样,中部、东部为湿润性常绿阔叶林带,西北部为北亚热带成分的常绿阔叶林带,西南部为偏干性常绿阔叶林带。

1.2 数据来源及预处理

数据采用 2010 年贵州省森林资源连续清查资料的 223 块马尾松天然林样地,中心区(黔东南、铜仁地区)106 块,一般区(黔中、黔南、遵义地区)117 块样地^[2];林木平均年龄 5~55 a,海拔 480~1 430 m,平均树高 0.7~23.3 m,林分密度 15~2 730 株/hm²,林分蓄积 0.17~345.00 m³/hm²。

为便于统计分析,需对土壤类型及坡向进行数值量化处理。土壤类型:将研究中涉及的红壤、黄壤、黄棕壤、紫色土、石灰土 5 种土壤类型分别赋值为 5、4、3、2、1。坡向:将南坡、东南坡、西南坡、西坡划为阳坡,将北坡、东北坡、西北坡、东坡划为阴坡,无坡向划为一类,分别赋值为 3、2、1。

与蓄积相关的因子包括优势树种、平均胸径、平均树高、郁闭度、样木总株数、平均年龄(龄组)、立地条件(海拔、地形、土壤厚度)等^[8]。本研究选择海拔、坡向、坡位、坡度、土壤类型、土壤厚度、腐殖质层、枯枝落叶层、平均树高、平均胸径、郁闭度、林分密度共 12 个因子。

1.3 数据处理

运用 SPSS19.0 软件进行 T 检验、相关分析、主成份分析、回归分析等。

2 结果与分析

2.1 相关性分析

表 1 中心区和一般区林分蓄积与各因子的相关性分析
Table 1 Correlation analysis on growing stock with relating factors in central area and ordinary area

变量	中心区林分蓄积			一般区林分蓄积		
	相关系数	P 值	样本数	相关系数	P 值	样本数
海拔	-0.027	0.784	106	-0.092	0.326	117
坡向	-0.066	0.504	106	0.084	0.366	117
坡位	-0.029	0.765	106	0.121	0.194	117
坡度	0.039	0.693	106	-0.086	0.354	117
土壤类型	-0.169	0.083	106	0.199*	0.032	117
土壤厚度	0.216*	0.026	106	0.148	0.111	117
腐殖层	0.014	0.888	106	0.002	0.983	117
枯枝落叶	0.031	0.754	106	-0.028	0.767	117
平均年龄	0.666**	0.000	106	0.644**	0.000	117
平均胸径	0.562**	0.000	106	0.342**	0.000	117
平均树高	0.774**	0.000	106	0.505**	0.000	117
郁闭度	0.588**	0.000	106	0.671**	0.000	117
林分密度	0.381**	0.000	106	0.460**	0.000	117

注: *表示在 0.05 水平(双侧)显著相关, **表示在 0.01 水平(双侧)显著相关。

在对原始数据进行标准化处理基础上, 对林分蓄积与各因子之间作相关分析(表 1)。从表 1 可知, 中心区与一般区蓄积与海拔、坡向、坡位、坡度、腐殖层、枯枝落叶等立地环境因子的相关性很低, 可忽略不计; 而与平均年龄、平均胸径、平均树高、郁闭度、林分密度的相关系数为 0.381~0.774, 均呈极显著相关; 此外, 中心区蓄积还与土壤厚度显著相关($r=0.216$), 一般区蓄积则与土壤类型显著相关($r=0.199$)。可见, 马尾松天然林蓄积主要受树体本身以及林分密度等影响。

2.2 主成份分析

表 2 中心区和一般区林分各因子的主成份分析
Table 2 Principal component analysis on factors in central area and ordinary area

变量	中心区林分				一般区林分					
	因子载荷		因子得分		因子载荷			因子得分		
	F_1	F_2	F_1	F_2	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3
平均树高	0.924	-0.170	0.318	0.107	0.910	0.183	0.047	0.421	0.027	0.084
平均年龄	0.872	0.097	0.352	-0.039	0.621	0.214	-0.308	0.269	0.047	-0.262
平均胸径	0.857	0.339	0.403	-0.204	0.936	-0.116	0.066	0.464	-0.161	0.079
林分密度	-0.039	0.914	-0.118	0.549	-0.061	0.908	-0.103	-0.123	0.564	-0.030
郁闭度	0.245	0.851	0.007	0.480	0.254	0.873	0.042	0.036	0.522	0.114
土壤类型	/	/	/	/	-0.021	-0.025	0.971	0.019	0.062	0.929
土层厚度	0.351	0.230	0.120	0.098	/	/	/	/	/	/
特征值	2.532	1.766			2.160	1.680	1.057			
方差贡献率	42.204	29.441			35.997	28.003	17.620			
累积贡献率	42.204	71.645			35.997	64.001	81.620			
KMO 值	0.647					0.513				

在相关分析基础上, 选取与林分蓄积显著和极显著相关的因子进行主成份分析, 选择特征值大于 1 的因子为公因子, 运用最大方差法正交旋转, 得到公共因子的载荷矩阵, 并采用回归法得到因子得分系数矩阵(表 2)。由表 2 可知, 中心区 KMO 检验值为 0.647, 累积贡献率 71.645%; 第一公因子方差贡献率为 42.204%, 它在平均树高、平均年龄、平均胸径上有较大载荷, 该因子包含了林分蓄积三个要素树高、断面积和形数中的两个, 定义为林分基本因子; 第二公因子方差贡献率为 29.441%, 在林分密度和郁闭度上有较大载荷, 定义为林分密度因子; 一般区 KMO 检验值为 0.513, 相对较低, 累积贡献率 81.620%; 第一公因子方差贡献率为 35.997%, 它在平均胸径、平均树高、平均年龄上有较大载荷, 与中心区一致, 定义为林分基本因子; 第二公因子方差贡献率为 28.003%, 在林分密度和郁闭度上有较大载荷, 与中心区一致, 定义为林分密度因子; 第三公因子在土壤类型有较大载荷, 其方差贡献率为 17.620%, 定义为立地因子。

2.3 多元线性回归分析

中心区和一般区分别预留 30 块样地作验证样本, 其余均作为建模样地; 以公因子为自变量, 林分蓄积为因

变量，采用进入法分别对第一公因子、第一、二公因子、第一、二、三公因子拟定多元线性回归模型^[9]，结果见表 3。

表 3 中心区和一般区林分蓄积与相关因子的多元回归模型
Table 3 Multiple linear regression model for growing stock with factors in central area and ordinary area

马尾松林区	参加建模因子	多元回归方程	R^2	F 值	P 值
中心区	第一因子	$V_1 = -47.486 + 2.513A - 0.203D + 0.868H$	0.672	49.121	0.000
	第一、二因子	$V_1 = -80.112 + 2.172A + 0.039D + 0.475H + 0.767C + 0.010Y$	0.734	38.677	0.000
一般区	第一因子	$V_1 = -47.089 + 4.089A - 0.141D + 0.274H$	0.513	44.310	0.000
	第一、二因子	$V_1 = -96.645 + 3.393A + 0.200D - 0.083H + 1.199C + 0.017Y$	0.707	38.996	0.000

注：V、A、D、H、C、Y、分别代表林分蓄积、平均年龄、平均胸径、平均树高、郁闭度、林分密度。

从表 3 可知，中心区第一公因子的决定系数 R^2 为 0.672， F 值为 49.121，说明林分蓄积与林分基本因子有较强的相关性；与第一公因子比较而言，第一、二公因子的决定系数 R^2 有小幅提高， F 值有所降低，说明随着密度因子的加入，相关性不断提高，但却不能更精准地估计林分蓄积。一般区第一公因子、第一、二公因子的回归模型中决定系数 R^2 与 F 检验值的变化规律与中心区的变化规律一致，反映了马尾松天然林林分蓄积对于林分基本因子和密度因子变化响应的一致性，是由树种本身的生物学特性一致性决定的；第一、二、三公因子建模时，土壤类型 t 检验值为 1.448，达不到显著水平而被剔除，其回归模型与第一、二公因子的一致。此外，方程 1、3、4 均发现平均胸径或平均树高的系数为负值，与现实不符；其原因在于各因子间存在多重共线性^[10]。相关分析发现，中心区和一般区平均年龄、平均胸径、平均树高之间存在极显著的相关性（中心区 $RYD = 0.703$ ， $RYH = 0.688$ ， $RDH = 0.732$ ；一般区 $RYD = 0.380$ ， $RYH = 0.424$ ， $RDH = 0.834$ ），三者均可以通过彼此去间接影响材积，建模时容易出现模型估计失真或难以估计准确的现象，因此有可能在回归方程中平均胸径、平均树高的系数会出现负值。

2.4 回归模型验证

表 4 中心区和一般区林分多元回归模型的 T 检验
Table 4 T-test on multiple linear regression models

马尾松林区	检验对	均值	标准差	T 值	sig
中心区	V_1 - 实际蓄积	9.890	34.426	1.814	0.080
	V_2 - 实际蓄积	9.479	29.857	1.508	0.142
一般区	V_3 - 实际蓄积	0.310	38.865	0.044	0.965
	V_4 - 实际蓄积	7.690	32.526	1.295	0.206

中心区和一般区分别用 30 块样地对拟定的多元线性回归模型进行配对 T 检验，结果见表 4。从表 4 可知，中心区内，方程 V_1 、 V_2 的 T 检验值显示差异均不显著，说明回归预测值与实际测量值间无显著差异，方程 V_1 、 V_2 均能反映中心区林分蓄积与各因子之间的关系。均值、标准差和 T 检验值随着因子的增加而不断减小，说明显著性不断减小，即回归值和实际值间的差异越来越小，这与主成份分析结果一致。因此，中心区与林分蓄积相关的因子包括平均胸径、平均树高、平均年龄、郁闭度、林分密度。一般区内，方程 V_3 、 V_4 的 T 检验值显示差异均不显著，说明回归预测值与实际测量值间无显著差异，方程 V_3 、 V_4 均能反映一般区林分蓄积与各因子之间的关系。均值、标准差和 T 检验值随着因子的增加不断增大，回归值和实际值之间的差异亦越来越大；其中，方程 V_3 的回归值与实际值非常接近，说明一般区林分蓄积与平均胸径、平均树高、平均年龄的关系更为紧密；而随着影响因子的增多，随机因素的影响就越多，林分蓄积与各因子互作的复杂性越为凸显，这也可能是一般区主成份分析 KMO 值（0.513）较小的原因；总的来说，一般区内与林分蓄积相关的因子是平均胸径、平均树高、平均年龄、郁闭度、林分密度，与中心区一致。

3 结论

通过相关分析和主成份分析，在贵州马尾松天然林的中心区和一般区分别找出了 2 类和 3 类林分蓄积相关因子。其中，中心区第一类为林分基本因子（平均胸径、平均树高和平均年龄）、第二类为林分密度因子（郁闭度和林分密度）；一般区第一、二类因子与中心区一致，第三类为立地因子（土壤类型）。通过多元回归建模和成对 T 检验发现，中心区的回归模型从第一类因子到第一、二类因子，决定系数 R^2 有所提高、 F 值明显下降，

均值、标准差和T值都随因子的增加而减小,与其主成份分析结果一致。一般区建模时,土壤类型T值偏小而被剔除,决定系数 R^2 少量提高, F 值小幅下降,T值随因子的增加而增加,林分蓄积与各因子之间的关系变得更为复杂,其主成份分析效果亦较差($KMO = 0.513$)。

王京民^[11]等研究发现,新疆北部落叶松林分蓄积的相关因子除了平均胸径、平均树高、平均年龄、郁闭度、样地总株数以外,还有海拔;温小荣^[12]等对广西马尾松人工林的研究发现,土壤厚度、坡向、坡位对林分蓄积均有影响;而本研究中,贵州马尾松天然林蓄积与海拔、坡向、坡位、坡度的相关度很低,而立地因子土壤厚度或土壤类型在主成份分析或多元回归分析中被逐一剔除,与上述研究有不同之处。说明随着研究地域的变化、其生态气候环境差异巨大,不同起源、不同树种对不同生境的生长适应机制亦存在较大差异。

本研究中,无论是中心区还是一般区,蓄积的相关因子均包括平均胸径、平均树高、平均年龄、郁闭度、林分密度等,反映出马尾松天然林蓄积对林分基本因子和密度因子变化响应的一致性。原始数据显示,马尾松天然林 223 块样地中,中幼林 189 块(占 85%)、近、成熟林 34 块(占 15%),绝大部分林木处于生长旺盛期,因而更加凸显林分基本因子和密度因子对于其林分材积的影响。此外,随着影响因子的不断增加,其林分蓄积与相关因子之间的复杂性越加凸显,尤其是在一般区,不同分析方法得出的结论有所差异。贵州山高坡陡,地形复杂,植被分布重叠交错;其喀斯特生态环境的动态脆弱性又加剧了水土流失与石漠化现象^[13~15];同时,原始资料显示一般区内 98%的马尾松天然林遭到不同程度的人为干扰。其植被分布的复杂性、生态环境的脆弱性以及人为干扰的严重性等一系列森林状况决定了一般区内植物与环境互作的复杂性;尤其是人为干扰因素(采伐、抚育等),对林分材积积累的影响十分显著,须加以重视和防范。

参考文献:

- [1] 孟宪宇,余光辉,李凤日,等. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [2] 丁贵杰,周志春,王章荣. 马尾松纸浆用材林培育与利用[M]. 北京:中国林业出版社,2006.
- [3] 丁贵杰. 贵州马尾松人工建筑材林合理采伐年龄研究[J]. 林业科学,1998,34(3):40-46.
- [4] 丁贵杰,吴协保,王鹏臣. 马尾松纸浆材林经营模型系统及优化栽培模式研究[J]. 林业科学,2002,38(5):7-13.
- [5] 丁贵杰. 马尾松人工林生物量和生产力研究 I. 不同造林密度生物量及密度效应[J]. 福建林学院学报,2003,23(1):34-38.
- [6] 李卫东. 应用多元统计分析[M]. 北京:北京大学出版社,2008.
- [7] 翁海龙,贾红亮,陈宏伟,等. 思茅松高产脂优树产脂量相关因子分析[J]. 东北林业大学学报,2008,36(11):69-71.
- [8] 李崇贵,赵宪文,李春干,等. 森林蓄积量遥感估测理论与实现[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [9] 王黎明,陈颖,杨楠. 应用回归分析[M]. 上海:复旦大学出版社,2008.
- [10] 黄新峰,亢新刚,孙玲,等. 红松单木断面积生长模型[J]. 西北林学院学报,2011,28(3):143-146.
- [11] 王京民,李清顺. 应用因子分析法对林分蓄积相关因子的分析[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):169-172.
- [12] 温小荣,蒋丽秀,郑勇,等. 因子分析法在马尾松人工林蓄积相关因子评价中的应用[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(11):32-36.
- [13] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究—以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [14] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [15] 陈起伟,熊康宁,兰安军. 基于 3S 的贵州喀斯特石漠化遥感监测研究[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):62-67.