

广西大横枝杉干形与树冠形态因子的变化及其相关性分析

程琳 陈晓明 黄开勇 陈琴

(广西壮族自治区林业科学研究院 南宁 530002)

摘要:【目的】为揭示大横枝杉干形与主要树冠形态性状的变异规律及其相关性,从而达到提高大横枝杉利用效率的目标。【方法】本文从大横枝杉干形、树冠形态(冠幅、冠长、冠长率、冠形率)等方面对大横枝杉开展了生长性状的相关性研究。【结果】经过相关性、多元线性回归和通径分析,结果表明:各参试性状间具有一定程度的相关性,干形与冠幅、冠长率和冠形率均呈显著相关。最优回归方程为 $Y=0.497-0.008X_1+0.001X_3+0.001X_4$,数据符合正态分布。【结论】最优回归方程可通过带冠幅、冠长率和冠形率等指标快速预估大径材干形,为大横枝杉科学、快速预测提供科学依据。

关键词: 大横枝杉; 干形; 树冠形态; 相关性分析

Analysis of the changes and correlation of stem form and canopy morphological traits of Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata*

Abstract: 【Objective】 In order to reveal the variation law and correlation between the stem form and the main canopy morphological traits of Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata*, so as to achieve the goal of improving the utilization efficiency of Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata*. 【Method】 In this paper, the correlation of growth traits of Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata* was studied from the aspects of stem form and canopy morphological traits (crown width, crown length, crown length rate, crown shape rate). 【Result】 Through correlation, multiple linear regression and path analysis, the results showed that there was a certain degree of correlation among the tested traits, and the stem shape was significantly correlated with crown width, crown length rate and crown shape rate. The optimal regression equation was $Y = 0.497 - 0.008X_1 + 0.001X_3 + 0.001X_4$, and the data conformed to the normal distribution. 【Conclusion】 The stem form could be quickly estimated by the indexes of crown width, crown length rate and crown shape rate, which provided a scientific basis for the scientific and rapid prediction of Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata*.

Key words: Guangxi characteristic *Cunninghamia lanceolata*; stem form; canopy morphology; correlation analysis

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)作为我国南方重要的用材林树种之一,具有很高的经济和生态价值^[1-2]。第九次全国森林资源调查显示,广西杉木人工林位居全国第1位,大横枝杉作为桂东北的一个特色种源,具有树体高大、侧枝平直的独特冠形特点;同时具有生长周期长的优点,可作为大径材培育的优质材料。目前仅发现分布在贺州一带,林木资源具有稀缺性,亟需加强对大横枝杉的收集、保存工作,为国家储备林建设提供优良种质。林木干形与木材质量密切相关,优良的干形不仅可以提高木材品质,还可以增加木材单位产量^[3]。随着人民生活水平的不断提高,市场上逐渐出现高品质木材供不应求的情况;通过干形研

基金项目: 广西林业科技推广示范项目(2023GXJK23);广西林科院研究团队项目(2024RT 04)。

第一作者: 程琳(1989-), 硕士, 工程师, 主要从事林木遗传改良技术研究。E-mail:chenglin3406@foxmail.com

究，可提高木材使用率，并有效缓解市场供需矛盾。

我国对林木干形的研究报道始于上世纪 50 年代^[4]，截至目前对用材林树种的相关研究方向多集中在修枝^[5-6]、间伐^[7]、种植密度^[8]等方法改良林木干形上，少有对特色杉科植物干形与树冠形态间变异规律的研究。本研究以桂东北特色大横枝杉为试验材料，结合干形（胸高形数）、树冠形态（冠幅、冠长、冠长率、冠形率）两方面共 5 项生长指标进行多元分析，探索广西特色大横枝杉干形与树冠形态之间相关性规律，以期为大横枝杉优良种质筛选、木材高效利用及林业产业高质量发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广西贺州市八步区，分布范围为：111°46′ ~111°55′ E，24°24′ ~24°32′ N。位于北回归线南侧，属南岭山地丘陵区，桂东北山间盆地谷地岩溶地貌；属湿润亚热带季风气候，雨量充沛，年均气温 20℃，年均降雨量 1550.3 mm，试验地土壤肥沃，壤土透气性良好。

1.2 试验方法

试验材料来源于广西贺州市八步区大横枝杉林分。2023 年 7 月对 35 株大横枝杉进行树冠形态和干形的测定和研究。试验材料选择健康、生长旺盛、无分叉的大横枝杉，试验共分析两方面共 5 项主要生长指标：干形（胸高形数）、树冠形态（冠幅、冠长、冠长率、冠形率）。样木选择在 30 年生以上的林分内进行，在这个年龄阶段林木遗传特征表达比较完全，表现相对比较稳定，试验结果较为可靠。

1.3 试验测定

（1）干形（Stem form）测定。以胸高形数作为评定林木干形的重要指标，分别采用测高杆和胸径尺对树高（m）和胸径（cm）进行测定；材积（m³）根据相关公式计算： $V=0.656\ 71\times10^{-4}\times D^{1.769\ 412}\times H^{1.069\ 769}$ 。

胸高形数（ $f_{1.3}$ ）计算公式^[9]为：

$$f_{1.3}=10^4V/(\pi/4D^2H)$$

（2）树冠形态（Canopy morphology）测定。冠幅（m）是指林木东西及南北两个方向冠幅的均值；冠长（m）是树干上离地面最近的活枝到树梢的高度；冠长率（%）=冠长/树高；冠形率（%）=冠长/冠幅。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2007 对大横枝杉各指标的均值、标准差和变异系数进行分析和计算，利用 SPSS 19.0 软件分别进行数据方差分析、相关和通径分析，通径分析相关计算公式参考杜家菊等^[10]的研究方法。

2 结果与分析

2.1 干形和树冠形态表现及方差分析

大横枝杉干形、树冠形态（冠幅、冠长、冠长率、冠形率）生长情况统计见表 1。结果显示，干形均值、标准差分别是 0.51 和 0.03；树冠形态中，冠幅、冠长、冠长率和冠形率均值分别是：7.29m、16.27m、71.05%、225.89%；标准差分别是：0.72m、2.52m、10.90%、43.01%。

变异系数大小排序依次是：冠形率>冠长>冠长率>冠幅>干形；其中，冠形率、冠长率和冠长的变异系数均高于 15%，属于中等偏低变异，说明自然环境和人为培育可能对大横枝杉生长产生了影响。

表 1 大横枝杉干形和树冠形态情况统计

Tab. 1 Statistics of stem form and canopy morphological characteristics

指标	干形	树冠形态			
	胸高形数	冠幅/m	冠长/m	冠长率/%	冠形率/%
平均值	0.51	7.29	16.27	71.05	225.89
标准差	0.03	0.72	2.52	10.90	43.01
最大值	0.59	8.70	20.80	86.18	305.17
最小值	0.43	5.80	10.50	48.08	140.00
极差	0.16	2.90	10.30	38.10	165.17
变异系数/%	6.65	9.89	15.50	15.34	19.04

2.2 干形和主要树冠形态性状相关性分析

由表 2 可知,干形与冠长率呈极显著正相关 ($P<0.01$),与冠形率呈显著正相关 ($P<0.05$),与冠幅呈极显著负相关 ($P<0.01$);冠幅与冠长率呈显著负相关 ($P<0.05$),与冠形率呈极显著负相关 ($P<0.01$);冠长率与冠形率呈极显著正相关 ($P<0.01$)。各指标间均存在一定相关性,说明选择干形、树冠形态均优的林木是可行的。

表 2 大横枝杉各生长性状间的相关性分析
Tab. 2 Correlation analysis among growth traits

指标	干形 (Y)	冠幅 (X_1)	冠长 (X_2)	冠长率 (X_3)	冠形率 (X_4)
干形 (Y)	1				
冠幅 (X_1)	-0.568**	1			
冠长 (X_2)	0.071	-0.096	1		
冠长率 (X_3)	0.469**	-0.351*	0.733**	1	
冠形率 (X_4)	0.346*	-0.601**	0.848**	0.763**	1

注:“*”表示差异显著 ($P<0.05$);“**”表示差异极显著 ($P<0.01$)

Note: * means significant difference at 0. 05 level, * * indicates significant difference at 0. 01 level.

2.3 对干形正态性检验

由表 3 可知,大横枝杉样本为 35,结果以夏皮罗-威尔克检验法为准。结果显示差异呈极显著水平,说明干形作为因变量符合正态分布,因此可对林木干形与其他生长性状的关系进行逐步回归分析。

表 3 干形(因变量)的正态性检验

Tab. 3 Normality test of stem form (dependent variable)

指标 Index	柯尔莫诺夫-斯米尔诺夫检验 Kolmogorov-S			夏皮罗-威尔克检验法		
	mirnov			Shapiro-Wilk		
	统计量	自由度	显著性	统计量	自由度	显著性
干形	0.134	35	0.000	0.914	35	0.000

2.4 干形和主要树冠形态性状多元线性回归分析

利用 SPSS 软件对因变量(干形)和 4 个自变量(冠幅、冠长、冠长率、冠形率)进行线性回归分析。方差分析(表 4)结果显示,干形与 4 个树冠形态相关性性状间存在极显著的直线回归关系。

表 4 干形和各树冠形态性状的逐步回归方程的方差分析

Tab. 4 Variance analysis of stepwise regression equation of stem form and canopy morphological characteristics

模型 Model	平方和 SS	df	均方 MS	F	Sig.
回归	0.001	4	0.000	7.434	0.000
残差	0.001	30	0.000		
总计	0.003	34			

经过多元线性回归分析（表 5），结果显示：冠幅、冠长率、冠形率与干形的相关系数 $R=0.706$ ，决定系数 $R^2=0.498$ ，说明此 3 个性状可以解释 49.8%林木干形的变异，接近 50%，因此应用该模型测定干形是可行的。

表 5 干形和各树冠形态性状的多元线性回归模型输出结果

Tab. 5 Output results of multiple linear regression model of stem form and canopy morphological characteristics

模型 Model	R	R^2	调整 R^2	标准估计的误差
el			Adjust R^2	Standard estimate error
1	0.706	0.498	0.431	0.00692
2	0.706	0.498	0.449	0.00681

注：模型 1 预测包括常量、冠幅、冠长、冠长率、冠形率；模型 2 预测包括常量、冠幅、冠长率、冠形率。

通过逐步回归分析剔除不显著的指标（表 6），保留 3 个回归系数显著（ $P<0.05$ ）的指标：冠幅、冠长率、冠形率。对大横枝杉干形进行回归分析，以干形为 Y （因变量），其余 3 个指标为自变量进行多元回归分析，建立最优方程： $Y=0.497-0.008X_1+0.001X_3+0.001X_4$ 。由图 1 可以看出，回归标准化残差均值接近于 0，标准偏差接近于 1（0.955），数据符合正态分布，表明回归模型的预测精度较高。最优方程的建立，可为大横枝杉进一步开展高产高质的良种选育提供科学依据。

表 6 干形和各树冠形态性状的多元回归分析系数

Tab. 6 Multiple regression analysis coefficient of stem form and canopy morphological characteristics

非标准化系数 Non-standardized coeff						
指标	icient		标准系数		t	Sig.
	B	标准误差 Standard error	Standard co efficient			
模型 1	常量	0.494	0.073	—	6.797	0.000
	冠幅 (X_1)	-0.008	0.010	-0.651	-0.849	0.403
	冠长 (X_2)	0.000	0.004	-0.036	-0.031	0.976
	冠长率 (X_3)	0.001	0.000	0.664	3.156	0.004
	冠形率 (X_4)	0.001	0.000	-0.522	-0.366	0.717
模型 2	常量	0.497	0.020	—	24.739	0.000
	冠幅 (X_1)	-0.008	0.002	-0.674	-4.142	0.000
	冠长率 (X_3)	0.001	0.000	0.662	3.292	0.002
	冠形率 (X_4)	0.001	0.000	-0.565	-2.396	0.023

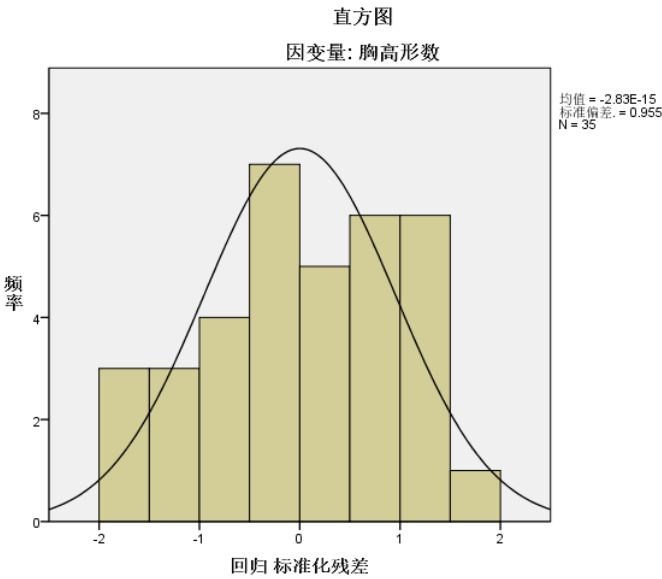


图 1 干形和各树冠形态性状的标准化残差直方图

Fig. 1 Standardized residual histograms of stem form and canopy morphological characteristics

2.5 主要冠形形体性状对干形的途径分析

采用 SPSS 软件对大横枝杉各树冠形态性状对干形的直接和间接影响进行了分析（表 7）。直接途径系数与干形（因变量）的直接影响呈正比。由表 7 可知，对大横枝杉干形影响大小为：冠幅（|-0.674|）>冠长率（0.662）>冠形率（|-0.565|）。

从间接途径系数可知，冠幅通过冠形率的间接途径系数较大（0.340），说明冠幅通过冠形率对干形产生较大影响。冠形率通过冠幅和冠长率的间接途径系数较大，分别为 0.405、0.505，说明冠形率通过这 2 个性状对干形产生较大影响。

由决策系数结果可知，3 个自变量对干形 Y 的直接影响（正向）中，冠幅的直接作用最大（0.311），冠长率次之（0.183）；负向直接影响中，冠形率的直接影响最大（-0.710）。

表 7 树冠主要形态性状对干形的途径分析

Tab. 7 Path analysis of main canopy morphological characteristics of stem form						
指标	相关系数	直接途径系数	间接途径系数			决策系数
			冠幅 (X ₁)	冠长率 (X ₃)	冠形率 (X ₄)	
冠幅 (X ₁)	-0.568	-0.674	—	-0.232	0.340	0.311
冠长率 (X ₃)	0.469	0.662	0.237	—	-0.431	0.183
冠形率 (X ₄)	0.346	-0.565	0.405	0.505	—	-0.710

3 小结

加快对用材树种的研究，能够促进我国林业产业化、工业化发展，对促进林木资源快速发展提供科学助力。大横枝杉的干形和树冠形态性状是较容易获得的特征因子，具有直观、易测的特点。树冠形态是研究枝干生长均匀度的重要指标^[11-12]，与木材品质关系密切^[13]，人们常采用修枝来调节枝干分布，进而达到改良干形的目的^[14-15]。

本研究结果表明,干形与冠长率呈极显著正相关 ($P<0.01$),与冠形率呈显著正相关 ($P<0.05$),与冠幅呈极显著负相关 ($P<0.01$),与相关研究结果^[16]一致。各指标间均存在一定相关性,说明选择干形和树冠形态均优的大横枝杉是可行的。大横枝杉干形、冠幅、冠长、冠长率、冠形率均值依次为:0.51、7.29m、16.27m、71.05%、225.89%。此5项指标变异系数大小排序依次是:冠形率(19.04%)>冠长(15.50%)>冠长率(15.34%)>冠幅(9.89%)>干形(6.65%),干形变异系数低于树冠形态,说明大横枝杉干形可能受环境和人为因子影响大;冠形率、冠长率和冠长处于中等偏低变异水平,说明其有较大的选择潜力,可为大横枝杉定向培育提供科学依据。

通径分析可以分析多个变量对目标性状的影响,广泛应用于育种领域。本研究剔除不显著指标,只对显著指标进行通径分析,可较好的反映自变量和因变量间的关系。大横枝杉干形与主要树冠形态(冠幅、冠长率、冠形率)均呈显著正相关 ($P<0.05$),冠幅通过冠形率、冠形率通过冠幅和冠长率对干形产生较大影响,间接影响系数分别为:0.340、0.405、0.505。通径分析中,本研究选取的3个经济指标可以解释大横枝杉干形影响作用的49.8%。建立的干形与冠幅、冠长率、冠形率的多元回归模型: $Y=0.497-0.008X_1+0.001X_3+0.001X_4$,数据符合正态分布,表明该模型预测大横枝杉干形是可行且可靠的。在干形的良种选育过程中,通过对树冠形态的快速检测,可对预测大径材干形提供参考价值,实际生产中干形与树冠形态关系紧密,对促进用材树种产业化发展具有十分重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 胡德活,林军,王润辉,等.杉木第二代改良种子园营建技术及应用成效[J].林业与环境科学,2019,35(1):23-28.
- [2] 陈代喜,程琳,黄开勇,等.30年生杉木半同胞子代遗传特性测定及优良家系和单株选择[J].南方农业学报,2018,49(2):307-312.
- [3] 李盛,韦国浩,梁机,等.大叶栎地理种源生长差异及优良种源选择[J].湖北农业科学,2015,54(15):3675-3679.
- [4] 虞岳世,黄清民.毛竹干形和材积计算方法的研究[J].林业科学,1958(4):97-122.
- [5] 李龙梅,张日华,白天道,等.连续修枝对亚美马褂木生长及干形的影响[J].林业科技通讯,2017(2):30-35.
- [6] 欧建德,吴志庄.南方红豆杉修枝后生长与干形动态表现[J].浙江农林大学学报,2017,34(1):104-111.
- [7] 肖兴翠,索怀俊,李成勇,等.不同间伐强度对香椿中龄林生长和干形的影响[J].中南林业科技大学学报,2021,41(3):10-17.
- [8] 郑颖,冯健,于世河,等.初植密度对4个落叶松无性系生长与干形的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(6):72-80.
- [9] 许冰冰,边更战,易烜,等.湖南杉木人工林单木干形特征及影响因子研究[J].林业资源管理,2020(5):82-88.
- [10] 杜家菊,陈志伟.使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J].生物学通报,2010,45(2):4-6.
- [11] Morataya R, Galloway G, Beminger F, et al. Foliage biomass -sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: Silvicultural implications[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 113(2-3):231-239.
- [12] 张利利,谭新建,司芳芳,等.不同林龄杉木人工林树冠形态因子与生长形质通径分析[J].江西农业大学学报,2023,45(4):894-904.
- [13] Dauber E, Fredericksen T S, Peña M. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 214(1):294-304.

- [14] 黄开栋, 钱壮壮, 唐罗忠. 林木修枝对林地环境的影响研究进展[J]. 世界林业研究, 2018, 31(2): 43-48.
- [15] 蒋雨航. 基于树冠特征的兴安落叶松树干形模拟[D]. 东北林业大学, 2015.
- [16] 欧建德, 吴志庄, 康永武. 杉莲混交林中乳源木莲树冠特征与生长形质综合表现通径分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 114-121.