

混交林中乳源木莲冠层特性与生长的通径分析

李生¹, 陈存及²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 福建农林大学林学院, 福建 福州 353000)

摘要: 对 17 年生混交试验林(杉木×乳源木莲)中的乳源木莲冠层特性与单株材积生长进行相关分析, 结果表明: 乳源木莲单株材积指数 D^2H 与各冠层因子间的相关系数不同, 除单株叶面积指数 LAI 、冠层密度 CLD 外, 单株总叶面积 TLA 、树冠表面积 TCA 及冠形率 CSR 与单株材积指数均达极显著正相关。通径分析表明: TCA 对单株材积生长的直接作用最大($P_{yx_i} = 1.2013$), 是乳源木莲单株材积生长的主导因子, TLA 、 CLD 、 CSR 是通过 TCA 起作用的, 以上 5 个主要冠层参数对乳源木莲单株材积生长相对重要性的大小为: $TCA > LAI > TLA > CSR > CLD$ 。在分析冠层空间结构对单株材积生长的影响中发现: 垂直方向, 冠层中、下层的叶面积对单株材积生长有决定性作用, 而上层作用较小; 水平方向, 以叶面积多集中于内部、外部的有利于乳源木莲单株材积生长, 而中部叶面积作用较小。

关键词: 乳源木莲; 杉木; 混交林; 冠层特性; 生长; 通径分析

中图分类号: S758 文献标识码: A

Path Analysis on the Crown Characteristics and Growth of *Manglietia yuyuanensis* in Mixed Stands

LI Sheng¹, CHEN Cunji²

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353000, Fujian, China)

Abstract: The correlation analysis on crown characteristics and individual volume growth of *Manglietia yuyuanensis* grown in 17-year-old mixed stand (*Cunninghamia lanceolata* × *Manglietia yuyuanensis*) was conducted. The results showed that the correlation coefficients between individual volume index (D^2H) and crown factors were different. Except single leaf area index (LAI) and crown layer density (CLD), the total leaf area of single tree (TLA), the tree crown area (TCA) and crown shape rate (CSR) were positively correlated to the individual volume index. The path analysis showed that TCA had the most direct effect on individual volume growth ($P_{yx_i} = 1.2013$), which was the key factor affecting the individual volume growth of *M. yuyuanensis*, while TLA , CLD , CSR played their roles through TCA . The importance of the five crown factors above mentioned on the individual volume growth of *M. Yuyuanensis* was in the order of $TCA > LAI > TLA > CSR > CLD$. It was found during analyzing the influence of crown spatial structure on individual volume growth that in vertical direction, the leaf area in middle and lower layers played decisive role to individual volume growth and the upper layer played less role; while in horizontal direction, the leaf area in the inner and outer parts contributed more to the individual volume growth and that in the middle part contributed less.

Key words: *Manglietia yuyuanensis*; *Cunninghamia lanceolata*; mixed stand; crown characteristics; growth; path analysis

冠层是树木进行光合作用的主要场所, 冠层特性与树木的生长密切相关^[1]。自 20 世纪 80 年代中

期起有关于树木冠层特性的研究报道, 大多从冠层的几个基本参数如叶面积、叶生物量等进行分

析^[2~8], 缺乏对整个冠层特性的详细分析, 更少见从树木冠层空间分布的角度来分析冠层特征与生长的关系^[1~5]。

乳源木莲 (*Manglietia yuyuanensis* Law) 是木兰科 (Magnoliaceae) 优良乡土用材树种, 分布于广东北部、湖南、安徽、浙江、江西、福建等地, 但乳源木莲天然林资源濒临枯竭, 已属于濒危树种^[9~13]。为保护树种资源和丰富南方造林树种, 本文应用通径分析的方法探讨乳源木莲树冠结构因素对其单株材积生长的作用规律和影响, 在分析 17 年生乳源木莲冠层特征与生长相关的基础上, 阐明乳源木莲理想的冠型特征, 为培育乳源木莲大径材提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料取自福建省沙县富口林场 17 年生乳源木莲杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 混交林。1985 年造林, 初植密度为 2 200~2 300 株·hm⁻², 杉、莲比为 3: 1。1994 年(即 10 年生时)进行适时间伐, 间伐对象主要是对乳源木莲生长有影响的杉木和生长不良的乳源木莲, 杉木间伐强度约为 46%, 林分现有密度为 1 200~1 500 株·hm⁻², 杉、莲比为 9: 1~6: 4, 林分总郁闭度为 80%。间伐后由于乳源木莲有充分的营养生长空间, 现乳源木莲生长显著优于杉木, 17 年生乳源木莲平均胸径达 21.5 cm, 平均树高 13.8 m。

设置标准样地 6 块(面积 20 m × 20 m), 按常规方法调查各测树因子。2001 年 6 月中旬在乳源木莲叶片完全展开后, 根据测量结果, 按乳源木莲径阶分别将林木分为 3 个等级, 在每一个等级中选择接近该等级平均胸径的代表性标准木 1 株, 在每块样地内分别 3 个等级选取样木 3 株进行测定, 总计 18 株。

1.2 叶面积及冠层特性测定

冠层特性和叶面积按照李火根等^[2]的测定方法进行。按乳源木莲的自然分枝状态将每株树木的冠层分成上、中、下 3 层, 每一层按东、西、南、北 4 个方向各选 2 个具代表性的标准枝, 用 LI-3000 叶面积仪测量标准枝的叶面积, 然后估算各层的叶面积, 自上而下分别用 LA₁、LA₂、LA₃ 表示; 每一标准枝按其长度均分为内、中、外 3 等分, 测量各等分的叶面积及单叶面积, 分别用 LA_i、LA_m、LA_o 表示内、中、外 3 等分的总叶面积, A_i、A_m、A_o 分别代表内、中、外 3 部分平均单叶面积。其它各项冠层指标测定方法如下:

$$\text{单株总叶面积 } TLA = LA_1 + LA_2 + LA_3;$$

$$\text{树冠投影面积 } S = \pi(W/2)^2$$

$$\text{单株叶面积指数 } LAI = TLA/S;$$

$$\text{冠层密度 } CLD = TLA/(1/3Sh)$$

$$\text{冠形率 } CSR = h/W;$$

$$\text{树冠表面积 } TCA = 1/4\pi W(h^2 + W^2/4)^{1/2}$$

$$\text{单株材积指数 } VI = DBH^2 \times H;$$

其中, DBH 为胸径(m); H 为树高(m); h 为冠高(m); W 为平均冠幅(m)。

1.3 通径分析原理与方法

简单相关不能全面考察变量间的相互关系, 使结果带有一定的片面性; 多元回归分析虽然在一定程度上能够消除变量之间的混淆, 能够真实地表现出各个自变量和因变量的关系, 但由于偏回归系数带有单位, 使原因对结果的效应不能直接进行比较^[14]。通径分析作为一种新的研究方法, 由于其具有比相关和回归更为精确、对多变数资料的统计分析更符合实际的优点, 而被广泛应用于经济、土壤物理、遗传育种和作物栽培等许多领域当中。

当有一个依变量 y 与 n 个自变量 x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 间存在线性关系, 回归方程为

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

对(1)式进行数学变换求通径系数, 通径系数就是变量标准化的偏回归系数, 表示各原因对结果的相对的重要性, 用下式表示

$$p_{yx_i} = b_i \frac{\alpha_{x_i}}{\alpha_y} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

(2)式中 b_i 为 y 对 x_i 的偏回归系数; α_{x_i} 、 α_y 分别为 x_i 、 y 的标准差。

决定系数即是通径系数的平方, 分别表示对结果的相对决定程度, 用下式求得

$$dy_{x_j} = 2p_{x_i} \cdot p_{y x_j} \cdot r_{x_i x_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n, i < j) \quad (3)$$

(3)式中 $dy_{x_i x_j}$ 分别表示两相关原因共同对 y 的相对决定系数。

对于回归方程(1), 根据最小二乘原理由几组实际观测值可得关于通径系数 b_1, b_2, \dots, b_n 的正规方程组:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1 x_2} & \dots & r_{x_1 x_n} \\ r_{x_2 x_1} & 1 & \dots & r_{x_2 x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{x_n x_1} & r_{x_n x_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{yx_1} \\ p_{yx_2} \\ \dots \\ p_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1 y} \\ r_{x_2 y} \\ \dots \\ r_{x_n y} \end{bmatrix} \quad (4)$$

若已知变量间的相关系数,通过解析方程组(4)可直接求得各通径系数^[15]。

根据通径系数和相关系数的关系(式 2、4),可计算出各冠层指标对乳源木莲单株材积生长的直接通径系数 P_{yx_i} ,进而依据间接通径系数公式 $P_{yx_j} = r_{x_i x_j} \cdot p_{yx_i}$ 计算出各因素影响乳源木莲生长的间接通径系数 P_{yx_j} 。

2 结果与分析

2.1 乳源木莲单株材积生长与冠层特性的相关性分析

为探索乳源木莲冠层特性与生长的关系,将代表树木综合冠层特性的 5 个参数与材积指数进行相关分析,将获得的单株材积生长及冠层特性间的两两相关系数列于表 1。

从表 1 可看出:乳源木莲单株材积指数 D^2H 与各冠层因子间的相关系数不同,除单株叶面积指数 LAI 、冠层密度 CLD 性状外(与冠层密度呈较低的负相关,与单株叶面积指数关系不明显),其余 3 个性状与单株材积指数的相关系数均达极显著水平,并呈较大的正相关,表明乳源木莲树冠总叶面越多,树冠表面积越大,冠型越窄,其单株材积生长量越大。

表 1 冠层因子 TIA 、 LAI 、 CLD 、 TCA 、 CSR 、 D^2H 两两相关的相关系数

项目	TIA	LAI	CLD	TCA	CSR	D^2H
单株总叶面积 TIA	1	0.722 8**	0.312 6	0.771 9**	0.806 7**	0.642 3**
单株叶面积指数 LAI		1	0.819 7**	0.150 3	0.605 7**	0.140 4
冠层密度 CLD			1	-0.351 0	0.082 2	-0.267 7
树冠表面积 TCA				1	0.722 5**	0.860 1**
冠形率 CSR					1	0.578 5**
单株材积指数 D^2H						1

注: ** 表示 1% 差异显著性水平,下同。

2.2 冠层特性对乳源木莲单株材积生长影响的通径分析

2.2.1 各冠层因子的直接作用与间接作用分析

从表 2 通径分析结果看,在影响乳源木莲单株材积生长的 5 个冠层因素中以树冠表面积 TCA 的直接作用最大($P_{yx_i} = 1.201 3$),可见乳源木莲单株材积生长主要由 TCA 的直接效应来决定,但 TCA 通过其它因子的间接作用却不明显;单株叶面积指数 LAI ($P_{yx_i} = 0.392 0$)与单株总叶面积 TIA ($P_{yx_i} = -0.390 5$)的直接作用次之。 TIA 与单株材积生长表现为正相关(0.642 3),但通径分析表明:对单株材积生长的直接效应反而表现出较大的负效应

这是因为树冠表面积大,冠层接受太阳光能的范围也就越大,树冠总叶面积越多,光合单位越多,则光合产物也越多,而冠型越窄(即 CSR 越大),有利于提高收获指数。

各冠层因子之间,单株总叶面积 TIA 与单株叶面积指数 LAI 、树冠表面积 TCA 、冠形率 CSR 间的相关系数较大,表明它们之间的关系较为密切;另外单株叶面积指数与冠层密度 CLD 、冠形率,以及树冠表面积与冠形率之间的相关系数也较大。

以上相关分析结果表明,与乳源木莲生长有关的各冠层特性之间有不同程度的关联性。然而,相关系数不能确切地阐明原因性状与目的性状的关系,与其相比,通径系数是变量标准化后的偏回归系数,能够表示变量间的因果关系,仍具有回归系数的性质,此外通径系数可应用于各性状间的相关分析,并将各性状间的简单相关系数剖析成两部分,一部分为一性状对另一性状的直接效应,另一部分是该性状通过其他性状对另一性状的间接效应,并能分析出间接效应的途径和各条途径的效应大小。因此,为了探索各冠层特性对材积指数的实际贡献大小,需要进一步做通径分析。

(-0.390 5),这是由于受 TCA 明显的间接正效应(0.927 3)和一定的 LAI 间接正效应(0.283 3)影响而夸大。与此相比,单株叶面积指数 LAI 与单株材积指数 D^2H 的直接作用较大(而相关系数较小),这主要是其对单株材积生长的直接效应(0.392 0)由于受 TIA 和 CSR 的间接负效应(分别为 -0.282 3 和 -0.127 0)影响,使其对乳源木莲生长的直接效应不能通过两者的相关系数大小反映出来。其它因子如 CLD 、 CSR 的直接作用都很小,但它们通过树冠表面积 TCA 对乳源木莲生长的影响依次为 -0.421 7、0.867 9,都显著大于同一因素的直接作用。树冠表面积 TCA 是乳源木莲单株材积生长的主导因子, TIA 、 CLD 、 CSR 的影响是通过 TCA 起作用的。

表 2 17 年生乳源木莲冠层性状与单株材积生长(D^2H)的通径分析

性状	相关系数	直接通径系数	间接通径系数					决定系数
			<i>TIA</i>	<i>LAI</i>	<i>CLD</i>	<i>TCA</i>	<i>CSR</i>	
<i>TIA</i>	0.6423**	-0.3905	—	0.2833	-0.0088	0.9273	-0.1691	0.1525
<i>LAI</i>	0.1404	0.3920	-0.2823	—	-0.0230	0.1806	-0.1270	0.1537
<i>CLD</i>	-0.2677	-0.0281	-0.1221	0.3213	—	-0.4217	-0.0172	0.0008
<i>TCA</i>	0.8601**	1.2013	-0.3014	0.0589	0.0099	—	-0.1514	1.4431
<i>CSR</i>	0.5785**	-0.2096	-0.3150	0.2374	-0.0023	0.8679	—	0.0439

2.2.2 决定程度分析 通径系数的平方称为决定系数,表示原因对结果的相对决定程度,反映原因性状对目的性状相对重要性大小。以决定系数作为分析指标,通过计算结果(表 2)显示,乳源木莲 5 个主要冠层参数对生长 D^2H 相对重要性大小为: $TCA > LAI > TIA > CSR > CLD$, 树冠表面积的单独作用列第 1 位,决定程度为 1.443 1,且呈显著正相关,表明在乳源木莲培育过程中,若树冠表面积越大,其单株树干材积生长量就越高,即越有利于乳源木莲大径材的培育,在经营过程中是需要重视的。单株叶面积指数 *LAI* 虽对生长的影响决定程度不大,但其通过树冠表面积 *TCA* 对木莲生长的影响程度列为第 2,决定系数为 0.153 7,因此在生产中不容忽视。单

株总叶面积 *TIA* 对生长的决定程度为负的影响,但这只对于 17 年生(为近熟龄)的乳源木莲生长,而在早期生长中应重视其作用。其它因子的决定系数绝对值较小,对生长的影响不大。

2.3 乳源木莲冠层叶面积分布特性与单株材积生长

2.3.1 叶面积垂直分布特性与单株材积生长 表 3 显示乳源木莲叶面积垂直分布特性与材积指数的通径分析结果,中层叶面积 LA_2 、下层叶面积 LA_3 与单株材积生长 D^2H 的相关系数达到极显著水平,直接通径系数和决定系数均较大,而上层叶面积 LA_1 与单株材积生长的相关系数、直接通径系数和决定系数均较小,表明冠层叶面积对生长起决定性作用为中、下层叶面积,而上层与单株材积生长关系不大。

表 3 叶面积垂直分布特性与生长之相关及通径分析

性状	相关系数	直接通径系数	间接通径系数			决定系数
			LA_1	LA_2	LA_3	
LA_1	0.1851	0.1505	—	0.0898	-0.0616	0.0227
LA_2	0.6302**	0.4249	0.0318	—	0.1935	0.1805
LA_3	0.5670**	0.3949	-0.0235	0.2082	—	0.1559

2.3.2 叶面积水平分布特性与单株材积生长 现仅对中、下层叶面积水平分布特性与单株材积生长进行相关及通径分析(表 4)。可以看出,仅 LA_{21} 、 LA_{22} 、

LA_{33} 、 A_{21} 、 A_{22} 5 个性状指标与单株材积生长相关达显著水平外,其它指标均未达显著水平。通径分析表明,12 个指标对单株材积生长的直接作用大小顺序依

表 4 乳源木莲叶面积水平分布特性与生长之相关与通径分析

性状	相关系数	直接通径系数	间接通径系数												决定系数
			A_{21}	LA_{21}	A_{22}	LA_{22}	A_{23}	LA_{23}	A_{31}	LA_{31}	A_{32}	LA_{32}	A_{33}	LA_{33}	
A_{21}	0.3741*	0.3704	—	0.4177	-0.1739	0.4215	0.0496	-1.1971	-0.2715	0.3164	-0.0678	-0.1256	0.1675	0.4099	0.1372
LA_{21}	0.7162**	0.7088	0.2198	—	-0.1024	0.5910	0.0166	-1.1299	-0.0100	-0.1738	0.0077	0.0185	-0.0412	0.6248	0.4953
A_{22}	0.3761*	-0.3057	0.2106	0.2357	—	0.3323	0.0245	-0.3226	-0.3240	0.2492	-0.0184	-0.1834	0.1122	0.3666	0.0935
LA_{22}	0.5170**	0.6066	0.2400	0.6393	-0.1561	—	0.0326	-1.3162	-0.1007	-0.0628	0.0081	-0.0058	-0.0023	0.6003	0.4233
A_{23}	-0.0952	0.0084	0.2885	0.1707	-0.1097	0.3101	—	-1.2578	-0.2081	0.2019	-0.0604	-0.1319	0.2509	0.4052	0.0047
LA_{23}	0.0727	-1.6961	0.2614	0.4689	-0.0581	0.5049	0.0507	—	-0.1414	0.1360	-0.0386	-0.0529	0.0889	0.5564	2.8768
A_{31}	-0.0540	-0.5087	0.1977	0.0139	-0.1947	0.1288	0.0280	-0.4713	—	0.7641	-0.0853	-0.3324	0.1144	0.2840	0.2588
LA_{31}	-0.1273	0.9373	0.1250	-0.1305	-0.0813	-0.0436	0.0147	-0.2461	-0.4147	—	-0.0775	-0.2393	0.0184	0.0795	0.8785
A_{32}	-0.1269	-0.1193	0.2105	0.0455	-0.0472	-0.0442	0.0346	-0.5494	-0.3639	0.6092	—	-0.2885	0.2039	0.2681	0.0142
LA_{32}	0.1411	-0.4481	0.1050	-0.0294	-0.1265	0.0085	0.0204	-0.2025	-0.3816	0.6746	-0.0790	—	0.1085	0.4723	0.1963
A_{33}	-0.1907	0.3342	0.1856	-0.0868	-0.1026	-0.0046	0.0514	-0.4513	-0.1742	0.0516	-0.0728	-0.1489	—	0.2196	0.1117
LA_{33}	0.5499**	0.8543	0.2137	0.5148	-0.1308	0.4572	0.0324	-1.1047	-0.1691	0.0873	-0.0374	-0.2449	0.0859	—	0.7298

次为: $LA_{31} > LA_{33} > LA_{21} > LA_{22} > A_{21} > A_{33} > A_{23} > A_{32} > A_{22} > LA_{32} > A_{31} > LA_{23}$, 其中前 7 个指标对单株材积生长有较大正向作用, 后 5 个指标的作用为负。决定系数以 LA_{23} 、 LA_{31} 、 LA_{33} 、 LA_{21} 为大, 即从叶面积来看, 对单株材积生长贡献较大的分别为中层外部叶面积 LA_{23} (负向)、下层内部叶面积 LA_{31} (正向)、下层外部叶面积 LA_{33} (正向)、中层内部叶面积 LA_{21} (正向)。从平均单叶面积看, 对单株材积生长贡献较大的为下层内部单叶面积 A_{31} (负向)。对于乳源木莲群体的叶面积空间分布, 以叶面积多集中于中层内部和下层内部、外部有利于木莲单株材积生长。

3 小结

乳源木莲是福建重要的速生乡土阔叶树种, 随着天然林的破坏和减少, 如何加强乳源木莲的大径材培育, 保护种质资源, 减轻因木材需求对现存天然林的压力已至关重要。树冠是光合作用的主要器官, 因而生产实践中如何合理调控树冠结构, 对于提高树木单株材积生长, 培育优质大径材极为重要。

通径分析表明, 影响乳源木莲单株材积生长的 5 个主要冠层因素中, 树冠表面积 TCA 、单株总叶面积 TLA 、单株叶面积指数 LAI 对单株材积指数 D^2H 具有较大的直接效应, 其中 TLA 为负向作用, 树冠表面积 TCA 是木莲单株材积生长的主导因子, 主要决定乳源木莲的单株材积生长, 单株总叶面积 TLA 、冠层密度 CLD 、冠形率 CSR 的影响是通过 TCA 起作用的。

冠层密度 CLD 与单株总叶面积 TLA 均为表示树冠内叶面积分布密度的指标。叶片是进行光合作用的组织, 单株总叶面积与冠层密度理论上应与林木生长量呈正相关(如 TLA 与乳源木莲单株材积生长的相关系数高达 0.642 3), 但上述通径分析结果说明 TLA 和 CLD 对木莲单株材积生长的直接效应却实际表现为一定的负向作用(直接通径系数分别为 -0.390 5 和 -0.028 1), 这为解释为何叶片过多、过密, 乳源木莲生长反而受抑的现象提供了依据。

就本文研究结果看, 认为对乳源木莲单株材积生长有利的冠层特性应为: 叶面积多集中于中层的内部、下层的内、外部的窄冠层的冠层分布特性。因

而在今后培育工作中, 应注重调控和培育出适合乳源木莲单株材积生长的冠层。

本次作者所研究的对象为 17 年生的乳源木莲, 为近成熟期, 因而此时的结论对今后营林更具有实际指导意义。单株总叶面积 TLA 在乳源木莲生长早期, 尤其是单株材积生长速生期, 其直接作用较大, 但在成熟期一般认为 TLA 过大, 造成冠层内叶片相互遮荫, 增大呼吸消耗而不利于生长^[16]。因而今后对该树种树冠特性与单株材积生长的动态变化研究仍需进一步深入。

参考文献:

- [1] 温志宏. 美洲黑杨冠层光截获特性的遗传学研究[J]. 南京林业大学学报, 1992, 16(3): 11~ 17
- [2] 李火根, 黄敏仁. 杨树新无性系冠层特性及叶片的空间分布[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 345~ 348
- [3] 张小全. 杉木中龄林树冠叶面积密度空间分布及季节变化性[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 345~ 348
- [4] 方升佐, 徐锡增. 水杉人工林树冠结构及生物生产力的研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(3): 225~ 230
- [5] 周国模, 金爱武. 雷竹林冠层特性与叶片的空间分布[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 17~ 21
- [6] Cannell M G R. Physiological basis of wood production: a review[J]. Scand J For Res, 1989, 4: 459~ 490
- [7] kuuhvainen T. Crown architecture and stemwood productive in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) [J]. Tree Physiology, 1988, 4: 337~ 346
- [8] Vose J M, Allen H L. Leaf area, stemwood growth and nutrition relationship in loblolly pine[J]. For Sci, 1988, 34: 547~ 563
- [9] 王忠平. 乳源木莲生长规律的研究[J]. 福建林业科技, 1995, 22(2): 25~ 29
- [10] 陈存及, 曹永慧, 董建文, 等. 乳源木莲天然林优势种群结构与空间格局[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 207~ 211
- [11] 曹永慧, 陈存及, 刘芳, 等. 乳源木莲叶面积动态模型[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 157~ 160
- [12] 曹永慧, 陈存及, 赖培森, 等. 乳源木莲天然林群落间联结的研究[J]. 福建林学院学报, 2003, 23(2): 124~ 127
- [13] 李生, 陈存及, 曹永慧, 等. 乳源木莲天然群落生态位研究[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(3): 332~ 336
- [14] 刘广深, 徐冬梅, 许中坚, 等. 用通径分析法研究土壤水解酶活性与土壤性质的关系[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 756~ 762
- [15] 何东进, 洪伟, 崔春英, 等. 通径分析在毛竹枯梢病研究中的应用[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(3): 203~ 206
- [16] 李火根, 黄敏仁. 杨树新无性系冠层特性与生长关系研究[J]. 林业科学, 1999, 35(5): 35~ 37