

雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状的相关性

吴承祯^{1a,1b,2}, 杨细明³, 林勇明^{1a,1b}, 洪伟^{1a,1b}, 李健^{1a,1b}, 陈灿^{1a,1b}

(1. 福建农林大学: a. 林学院, b. 福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室, 福建 福州 350002;
2. 武夷学院, 福建 武夷山 354300; 3. 福建省林木种苗总站, 福建 福州 350003)

摘要: 对 23 个雷公藤(*Tripterygium wilfordii* Hook. f.) 优良无性系扦插苗的干物质积累量(全株及根干质量)及生长性状(平均枝数、地径、主藤长、平均藤径、平均藤长、平均根径和平均根长)进行了测定;在此基础上,采用典范相关分析法分析了其干物质积累量与生长性状间的相关性。结果表明:各无性系幼苗的根干质量占全株干质量的 63%,其变异系数在所有指标中最大(54.67%),主藤长的变异系数次之,而平均根长的变异系数最小,表明各无性系间根干质量和主藤长的差异较大,可作为雷公藤优良无性系选优的基本指标。各无性系幼苗的干物质积累量与生长性状的第 1 对典范相关系数(0.964 9)达显著水平,且包含总相关信息的 69.84%;在该对典型变量中,干物质积累量第 1 典型变量 U_1 的 X_2 变量(全株干质量)系数的绝对值最大(0.786 2), U_1 为主要描述优良无性系幼苗全株干质量的综合性状,随全株干质量升高 U_1 明显下降;生长性状第 1 典型变量 V_1 的 Y_4 变量(平均藤径)和 Y_5 变量(平均藤长)系数的绝对值最大(0.388 3), V_1 为描述优良无性系幼苗平均藤径和平均藤长的综合性状,随平均藤径的增加 V_1 明显减小,而随平均藤长的增加 V_1 明显增大。通过第 1 对典型变量的二维排序可将供试的 23 个无性系划分为 3 类,最优无性系为 2、4、7、8、9、13 和 15。研究结果表明:平均藤径和平均藤长可以作为雷公藤生物量模型构建的评价指标。

关键词: 雷公藤; 优良无性系; 生长性状; 干物质积累量; 典范相关分析

中图分类号: Q945.79; S722.3⁺3 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)03-0033-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.03.05

Correlation between dry matter accumulation amount and growth property of seedlings of superior clones of *Tripterygium wilfordii* WU Chengzhen^{1a,1b,2}, YANG Ximing³, LIN Yongming^{1a,1b}, HONG Wei^{1a,1b}, LI Jian^{1a,1b}, CHEN Can^{1a,1b} (1. Fujian Agriculture and Forestry University: a. Forestry College, b. Key Laboratory of Forest Ecosystem Process and Management of Fujian Universities, Fuzhou 350002, China; 2. Wuyi University, Wuyishan 354300, China; 3. Central Station of Forest Seeds and Seedling of Fujian Province, Fuzhou 350003, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(3): 33-37, 44

Abstract: Dry matter accumulation amount (total dry weight and root dry weight) and growth property (mean branch number, basal diameter, main cane length, mean cane diameter, mean cane length, mean root diameter and mean root length) of cutting seedlings of twenty-three superior clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f. were determined, and on this basis, the correlation between dry matter accumulation amount and growth property was analyzed by the method of canonical correlation analysis. The results show that root dry weight accounts for 63% of total dry weight of clone seedlings, and its coefficient of variation is the greatest in all indexes, that of main cane length is the second, while that of mean root length is the smallest, indicating that the difference between root dry weight and main cane length is larger among all clones and can be used as the basic index in selecting of superior clones of *T.*

收稿日期: 2012-11-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671664; 31070606); 教育部博士学科点专项基金资助项目(20093515110006); 福建省科技重大专项资助项目(2006NZ0001A)

作者简介: 吴承祯(1970—),男,江西吉安人,博士,教授,主要从事森林培育和森林生态学方面的研究。

wilfordii. The first canonical correlation coefficient (0.964 9) between dry matter accumulation amount and growth property of clone seedlings is significant, which contains 69.84% of total correlation information. In this pair of canonical variables, the absolute coefficient value (0.786 2) of variable X_2 (total dry weight) belonging to the first canonical variable U_1 of dry matter accumulation amount is the largest. U_1 is a comprehensive character mainly used as describing total dry weight of seedlings of superior clones, and U_1 decreases obviously as increasing of total dry weight. The absolute coefficient value (0.388 3) of variable Y_4 (mean cane diameter) and variable Y_5 (mean cane length) belonging to the first canonical variable V_1 of growth property is the largest. V_1 is a comprehensive character used as describing mean cane diameter and mean cane length, and V_1 decreases obviously as increasing of mean cane diameter but it increases obviously as increasing of mean cane length. Twenty-three superior clones tested can be divided into three types by means of two-dimension coordinate to the first pair of canonical variables, and clones 2, 4, 7, 8, 9, 13 and 15 are the best. It is suggested that mean cane diameter and mean cane length can be used as evaluation indexes for building biomass model of *T. wilfordii*.

Key words: *Tripterygium wilfordii* Hook. f.; superior clone; growth property; dry matter accumulation amount; canonical correlation analysis

雷公藤 (*Tripterygium wilfordii* Hook. f.) 为雷公藤属 (*Tripterygium* Hook. f.) 药用植物, 其根入药, 具有祛风湿、活血通络和杀虫等功效^[1]。全球每年上亿人使用与雷公藤有关的药物^[2], 雷公藤已成为重点扶持种植的中药材之一。天然雷公藤资源甚少, 目前以人工种植为主, 以福建省泰宁县出产的雷公藤总生物碱含量最高、品质优良^[3]、种植面积较大。目前, 以泰宁县为基地, 开展了一系列雷公藤种植技术和生理特征方面的研究, 包括雷公藤扦插与组织培养繁殖技术^[4-5]、优树选择^[6-7]、根系生态学^[8]、光合特性^[9]和植物内源激素^[10]等方面。自 2004 年开始, 作者所在项目组从遗传改良和良种选育的角度广泛开展了雷公藤种源收集与适宜性评价^[11]、优良单株的选优与无性繁育技术^[6-7]及无性系早期选择^[12]等方面的研究, 并在泰宁雷公藤种植区筛选获得 23 株优良单株^[9-10]。

作者以本项目组筛选获得的 23 株雷公藤优良单株为实验材料, 利用无性繁殖技术创建了 23 个雷公藤优良无性系, 在对这些优良无性系幼苗生长性状与干物质积累量分析的基础上, 采用典型相关分析法探讨雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状之间关系, 以期雷公藤优良无性系筛选及生物量模型构建影响指标的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试雷公藤优良无性系繁育材料为本项目组于 2004 年 3 月份至 4 月份在福建省泰宁县雷公藤人工

林中选出的 23 株优良单株 (编号为 1 ~ 23)^[9-10], 于 2004 年 4 月 11 日在福建省林业科学研究院苗圃进行扦插繁殖, 扦插基质为经甲醛稀释溶液消毒的沙壤土^[9]。从雷公藤优良单株根部挖根, 选择粗细基本一致的粗壮根剪成长 6 ~ 8 cm 的插穗, 插穗经过扦插繁殖形成优良无性系; 采用完全随机区组设计, 3 次重复。每个无性系每个小区扦插种植 50 株, 株行距均为 15 cm。

1.2 方法

扦插后定期测定和记录各无性系的扦插成活率、枝数和病虫害情况等; 用游标卡尺 (精度 0.05 mm) 和水平尺测量各无性系 50 株扦插苗的地径、藤条的基径及主藤长, 并统计扦插苗的枝数; 在 2006 年 6 月 18 日对各无性系的 50 株扦插苗进行全面测量, 然后选取标准株 3 株, 分别用游标卡尺和水平尺测定标准株的主根直径和根长。全株取样后置于 70 °C 条件下干燥 48 h, 冷却后称取全株干质量和根干质量。

1.3 数据处理

典范相关分析是一种多元统计分析方法, 通过寻找第 1 组变量 p 个线性组合函数和第 2 组变量的 q 个线性组合函数以分析 2 组变量间的相关关系: $U = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p$ 和 $V = b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_qY_q$, 公式中, a_1, a_2, \dots, a_p 和 b_1, b_2, \dots, b_q 为待估参数; 常用 U 和 V 间具有的最大相关系数 (典范相关系数) 表征 2 个线性函数间的联系程度。本研究中将雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量 (根干质量和全株干质量) 定义为一组变量、优良无性系幼苗生长性状定义为另一组变量, 以雷公藤优良无性系干物质积累量为 X 变量

(X_1 为根干质量、 X_2 为全株干质量)、以雷公藤优良无性系生长性状为 Y 变量(Y_1 为平均枝数、 Y_2 为地径、 Y_3 为主藤长、 Y_4 为平均藤径、 Y_5 为平均藤长、 Y_6 为平均根径、 Y_7 为平均根长),应用典范相关分析评价 X 变量与 Y 变量之间的内在关系。

2 结果和分析

2.1 雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状变量的选择

经计算获得雷公藤优良无性系幼苗 X 变量(干物质积累量)与 Y 变量(生长性状)的样本相关矩阵及 X 变量与 Y 变量的联合相关矩阵,并计算特征根的非负定矩阵及其非零特征根 λ^2 和特征向量。雷公藤优良无性系幼苗各变量的均值、标准差、中位数、变异系数、平均偏差、偏度系数和峰度系数见表 1。

表 1 雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状的特征值¹⁾

Table 1 Eigenvalue of dry matter accumulation amount and growth property of seedlings of superior clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f.¹⁾

特征值 Eigenvalue	W_r	W_t	MBN	D_b	L_{mc}	MCD	MCL	MRD	MRL
均值 Mean value	78.62 g	124.09 g	4.30	1.06 cm	104.48 cm	0.41 cm	54.93 cm	0.55 cm	31.26 cm
标准差 Standard deviation	42.98 g	35.74 g	1.30	0.26 cm	33.05 cm	0.12 cm	15.56 cm	0.15 cm	5.05 cm
中位数 Median	80.35 g	120.50 g	4.00	1.03 cm	103.00 cm	0.38 cm	51.00 cm	0.50 cm	30.00 cm
变异系数 Coefficient of variation	54.67%	28.80%	30.28%	24.75%	31.63%	28.28%	28.32%	27.23%	16.15%
平均偏差 Mean deviation	35.61 g	26.61 g	1.06	0.21 cm	27.11 cm	0.09 cm	12.74 cm	0.13 cm	4.12 cm
偏度系数 Coefficient of skewness	0.23	0.49	0.05	0.52	0.38	1.17	0.33	0.31	0.17
峰度系数 Coefficient of kurtosis	-1.00	0.15	-0.40	-0.51	-0.30	1.10	-0.68	-1.06	-0.86

¹⁾ W_r : 根干质量 Root dry weight; W_t : 全株干质量 Total dry weight; MBN: 平均枝数 Mean branch number; D_b : 地径 Basal diameter; L_{mc} : 主藤长 Main cane length; MCD: 平均藤径 Mean cane diameter; MCL: 平均藤长 Mean cane length; MRD: 平均根径 Mean root diameter; MRL: 平均根长 Mean root length.

2.2 雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状的典范相关分析

经计算可获得雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状关系的 2 对典型变量。第 1 对典型变量 $U_1 = -0.319 3X_1 - 0.786 2X_2$, $V_1 = 0.012 5Y_1 - 0.351 1Y_2 - 0.341 0Y_3 - 0.388 3Y_4 + 0.388 3Y_5 - 0.043 6Y_6 - 0.373 8Y_7$; 第 2 对典型变量 $U_2 = 1.161 7X_1 - 0.912 9X_2$, $V_2 = -0.116 8Y_1 - 1.043 1Y_2 + 0.828 4Y_3 + 0.351 7Y_4 - 0.271 7Y_5 + 0.446 5Y_6 + 0.234 6Y_7$ 。将雷公藤优良无性系幼苗的干物质积累量与生长性状指标原始数据代入上述 2 对典型变量计算式,即可得到雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状典范相关分析在第 1 对和第 2 对典型

结果表明:雷公藤优良无性系幼苗根干质量占全株干质量的 63%,为雷公藤生物量的重要组成部分,但其标准差也较大,其变异系数在所有指标中也最大,达 54.67%;主藤长的标准差及变异系数次于根干质量和全株干质量,分别为 33.05 cm 和 31.63%;平均根长的变异系数最小,其标准差和变异系数分别为 5.05 cm 和 16.15%。由此可以看出,雷公藤优良无性系幼苗在根干质量和主藤长等指标上生长差异较大,可以作为选优的基本指标;而不同无性系间平均根长的差异不大,变异系数最小,不适宜作为衡量雷公藤优良无性系生长差异的指标。

从表 1 的偏度系数和峰度系数 2 个指标可以看出:9 个指标均为右偏,而峰度系数以负值为主,差别较大。因此,可进一步跟踪调查与分析 23 个优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状的变化,以确定其优良无性系选择的指标体系。

变量上的排序坐标,同时对 2 个特征根对应的典范向量进行显著性统计检验,结果见表 2。根据雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状典范相关分析第 1 对典型变量绘制 23 个无性系的二维排序图,结果见图 1。

由表 2 可见:雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状之间的第 1 对典型变量的典范相关系数为 0.964 9, χ^2 值为 54.194 4,包含变量间总相关信息的 69.84%,表明其第 1 对典型变量极显著相关,说明雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量第 1 典型变量 U_1 对生长性状第 1 典型变量 V_1 的影响极显著,而在其干物质积累量综合因子中起主要作用的是变量 X_2 ,即全株干质量;在该对典型变量中, U_1 的 X_2 系数

(-0.786 2)绝对值最大, V_1 的 Y_4 和 Y_5 变量(即雷公藤幼苗平均藤径和平均藤长)的系数(0.388 3)的绝对值最大。故 U_1 可理解为主要描述雷公藤优良无性系幼苗全株干质量高低的综合性状,即随雷公藤优良无性系幼苗全株干质量的提高, U_1 存在明显的下降趋势; V_1 可以理解为描述雷公藤优良无性系幼苗平均藤径和平均藤长的综合性状,即随雷公藤优良无性系幼苗平均藤径的增加 V_1 存在明显的降低趋势,而随平均藤长的增加 V_1 存在明显的增大趋势。这一线性组合的相关特性表明:雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状的相关性主要集中在全株干质量与平

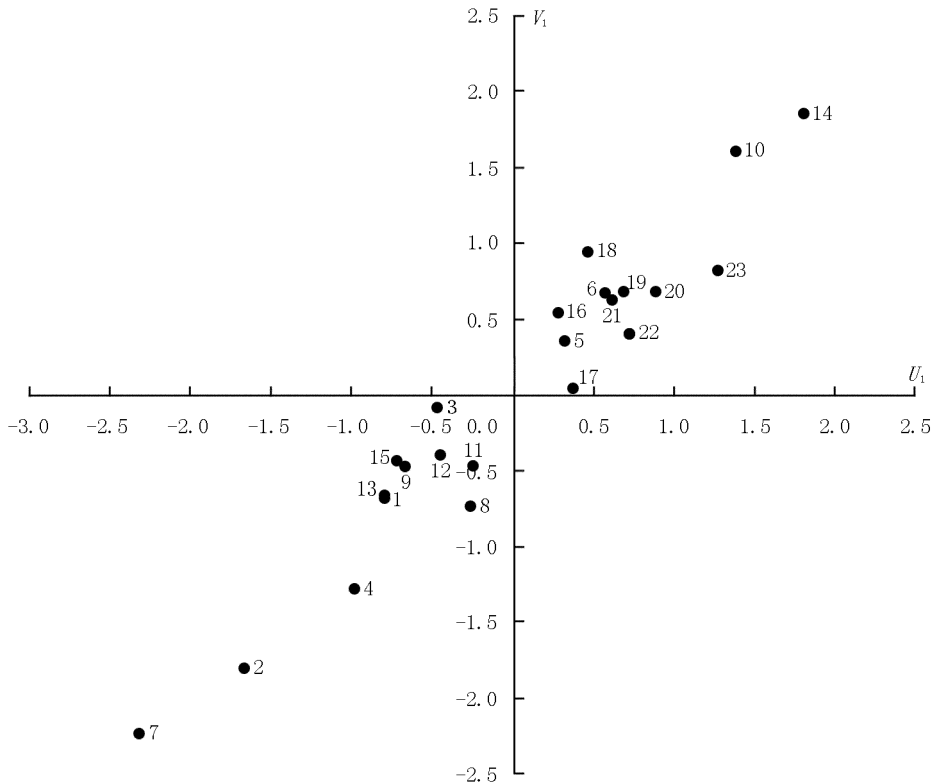
均藤径、平均藤长的相互关系上,即变量 U_1 和 V_1 之间主要是全株干质量与平均藤径呈正相关、与平均藤长呈负相关。

第2对典型变量的典范相关系数为0.634 1,说明干物质积累量第2典型变量 U_2 与生长性状第2典型变量 V_2 有一定程度相关;而在干物质积累量第2典型变量中起主要作用的是变量 X_1 (即根干质量),在生长性状第2典型变量中起主要作用的是变量 Y_2 (即地径),表明雷公藤优良无性系幼苗的地径对根干质量有显著的影响。

表2 雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状典范相关分析的显著性检验结果

Table 2 Result of significance test of canonical correlation analysis between dry matter accumulation amount and growth property of seedlings of superior clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f.

向量 Vector	相关系数 Correlation coefficient	特征根 Eigenroot	Wilk's	χ^2	df	P-value
1	0.964 9	0.931 0	0.041 3	54.194 4	14	0.000 1
2	0.634 1	0.402 1	0.598 0	8.741 8	6	0.188 6



1-23: 代表23个雷公藤无性系 Representing twenty-three clones of *Tripterygium wilfordii*; U_1 : 干物质积累量的第1典型变量 The first canonical variable of dry matter accumulation amount; V_1 : 生长性状的第1典型变量 The first canonical variable of growth property.

图1 雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状第1对典型变量的二维排序图

Fig. 1 Two-dimensional ordination diagram of the first pair canonical variables between dry matter accumulation amount and growth property of seedlings of superior clones of *Tripterygium wilfordii* Hook. f.

从图1可以看出:无性系1、2、3、4、7、8、9、11、12、13和15位于第三象限,无性系5、6、10、14、16、17、18、19、20、21、22和23位于第一象限。根据23个无性系幼苗的根干质量、全株干质量、平均枝数、地径、主藤长、平均藤径、平均藤长、平均根径和平均根长的平均值与标准差进行计算,各无性系间这些指标均存在显著差异;基于欧氏距离通过聚类分析可进一步将23个雷公藤优良无性系划分为3类,第1类包括无性系1、2、4、7、8、9、13和15,第2类包括无性系3、5、11、12、16、17和22,第3类包括无性系6、10、14、18、19、20、21和23。

综合典范相关分析的二维排序与聚类分析结果,筛选获得8个雷公藤最优无性系,分别为无性系1、2、4、7、8、9、13和15。

3 讨论和结论

典范相关分析法目前已广泛应用于土壤学^[13-14]及农产品品质学^[15-16]等研究领域,但目前尚未见应用于植物生物量与生长性状相关分析中的研究报道。雷公藤的药用活性成分主要存在于根部或叶部^[17],而雷公藤生长状况越好,从其根部或叶部提取更多药用成分的可能性就越大,因此,雷公藤生物量的大小直接关系和影响到其药用功效与价值的大小。就雷公藤良种选育而言,选育次生代谢产物含量高和植株生物量大的品系以获得更多的药用活性成分为主要育种方向,因此,探讨雷公藤生物量与植株生长性状之间关系是预测和评价植株生物量的关键和方向。

基于雷公藤生物量与生长性状,杨细明等^[6]建立了雷公藤生物量最优模型,表明雷公藤植株总生物量可以通过枝条数量、地径、平均藤径和平均藤长进行评价,且与枝条数量、地径和平均藤径呈正相关,与平均藤长呈负相关;但6年生雷公藤根生物量占全株生物量的53%,这一比例低于本研究中雷公藤优良无性系幼苗根干质量占全株干质量的比例(63%),其原因可能与本实验所用的扦插苗株龄较短以及以根作为繁殖材料有关。从生长性状来看,本研究中雷公藤优良无性系幼苗主藤长的变异系数仅次于根干质量,为31.63%,而野生雷公藤主藤长的变异系数仅次于其冠幅,达53.2%^[6],表明在雷公藤的生长性状中主藤长是变异最大的性状。

在本研究中,作者以扦插繁育2年后的23个雷

公藤无性系扦插苗为研究对象,以单株选优为基础,利用干物质积累量和生长性状的观测数据,通过典范相关分析探讨雷公藤优良无性系幼苗干物质积累量与生长性状间的关系,结果显示:雷公藤优良无性系幼苗的干物质积累量与生长性状之间存在显著相关性,且平均藤径、平均藤长及地径是影响雷公藤干物质积累量的重要因素,也是评价雷公藤干物质积累量的重要指标。这个结论与本课题组基于生物量调查数据所建立的6年生雷公藤生物量模型中影响因素的规律基本一致,即6年生雷公藤总生物量与平均藤径和平均藤长之间的相关性最显著,其中,总生物量与平均藤径之间存在显著的正相关性,与平均藤长之间存在显著的负相关性^[6]。本研究通过典范相关分析获得第1对典型变量,对23个雷公藤优良无性系进行典型变量排序,并通过聚类分析将供试的23个无性系分为3大类,其中第1类包括8个无性系(无性系1、2、4、7、8、9、13和15),其中的7个无性系与杨细明^[12]对无性系的早期选择结果一致,即无性系2、4、7、8、9、13和15。由此可见,干物质积累量与生长性状的相关分析也可作为雷公藤优良无性系进一步选择与育种的佐证。

雷公藤优良无性系的选择源于其优良单株的选择,但优良无性系的选择受多种因素的影响,因此,在选择过程中一方面要考虑到生长阶段的差异,另一方面也须结合分子遗传与标记技术以及基因工程技术等,筛选最优无性系并确定与有效成分和生物量积累有关的功能基因及其作用机制。

参考文献:

- [1] 洪伟,李键,吴承祯,等.雷公藤栽培及利用研究综述[J].福建林学院学报,2007,27(1):92-96.
- [2] MILANOVA R, HAN K, MOORE M. Oxidation and glucose conjugation of synthetic abietane diterpenes by *Cunninghamella* sp. II. Novel routes to the family of diterpenes from *Tripterygium wilfordii* [J]. *Journal of Natural Products*, 1995, 58(1): 68-73.
- [3] 周迎新,方乍浦,张亚均,等.人工栽培和野生雷公藤的质量比较[J].中国中药杂志,1995,20(3):145-147.
- [4] 江锦红.药用植物雷公藤扦插育苗试验[J].林业科技开发,2004,18(6):55-56.
- [5] 李琰,冯俊涛,陈新雨,等.雷公藤胚性愈伤组织再生植株的增殖及其稳定性[J].林业科学,2009,45(1):57-61.
- [6] 杨细明,洪伟,吴承祯,等.雷公藤优良单株选择技术(I)——雷公藤种内变异、生物量模型和选择性状的研究[J].北华大学学报:自然科学版,2008,9(3):256-260.