

营养条件对印度紫檀幼苗生物量结构的影响

周庆, 杨沅志, 陈北光

(华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 利用回归分析和协方差分析对不同营养条件的印度紫檀 *Pterocarpus indicus* 幼苗各器官生物量与株高异速生长关系进行研究, 结合残差分析建立了印度紫檀幼苗生物量的估测模型, 并利用邓肯氏多重比较对施肥对生物量的分配关系进行了比较分析. 研究表明: 1) 施肥处理对印度紫檀幼苗的生物量异速生长关系不产生显著的影响; 2) 施肥处理对苗木生物量分布比例存在一定的影响; 3) 根、叶生物量分布比例存在较为明显的反向关系, 植物增加叶生物量的比例, 相应降低根生物量的比例.

关键词: 印度紫檀; 生物量结构; 多元回归; 协方差分析; 邓肯氏多重比较

中图分类号: Q948.156

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)04-0069-04

Effects of the Different Fertilization on the Biomass Pattern of *Pterocarpus indicus* Seedlings

ZHOU Qing, YANG Yuan-zhi, Chen Bei-guang

(College of Forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Biomass allometry of *Pterocarpus indicus* seedlings under different fertilization was studied based on the multiple regression analysis and analysis of covariation (ANCOVA). Combined with residual analysis, the biomass estimation model was established. The effects of fertilization on biomass distribution were also analyzed based on the Duncan's multiple comparison. The result showed that: 1) there were no effects of the fertilization on the biomass allometry of *Pterocarpus indicus* seedlings, 2) the biomass distributions were affected by the fertilization, 3) there was inverse relationship between the leaf biomass distribution and the root biomass distribution, i. e. the biomass allocation to leaf increased while the biomass allocation to root reduced.

Key words: *Pterocarpus indicus*; biomass pattern; multiple regression analysis; analysis of covariation (ANCOVA); Duncan's multiple comparison

从生长的角度讲, 植株生物量结构决定了个体随后的生长过程以及在特定环境中与其他个体或植物竞争的能力, 因此一直是生态学和林学研究领域的重要内容之一^[1-2]. 目前对植物生物量结构的研究主要包括2个方面. 一方面是对生物量结构要素的数量化描述, 即各器官数量的直接描述及模型建立. 由于植物生物量精确度量是评价林木生长和林分生产力的基本前提, 因此这一工作在实际应用中

具有重要的意义. 另一方面则是对生物量结构关系的机理研究, 包括构成植物体各器官生物量分配的差异、分布格局及其影响因素等. 由于植物生物量分配对其本身进一步生长具有反馈作用, 这方面的研究对于了解植物的生长过程和机制具有重要的理论价值^[1]; 另外在农林业生产中的一个现实问题是在追求生物量最大积累的同时, 追求的产量结构往往只是某一特定器官的产量及其质量而不是全株, 而

收稿日期: 2006-03-22

作者简介: 周庆 (1970—), 男, 讲师, 硕士, E-mail: qingzhou@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目 (2004B20801007)

光合产物的分配模式直接决定了产量结构的数量特征,因此这方面的研究在农林业生产中同样具有重要的实践意义^[3]。

印度紫檀 *Pterocarpus indicus* 作为热带、亚热带地区的珍贵用材树种之一,不仅具有重要的经济利用及观赏价值,而且具有速生、土壤改良等特点^[4,5]。本文通过对不同营养条件下印度紫檀生物量结构关系的研究,揭示营养条件对生物量结构的影响,为印度紫檀出圃前幼苗的营养管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料与施肥处理

印度紫檀种子采自海南省三亚市。人工去掉果实的翅后,放入苗床。苗床采用瓷铁盘,底层覆盖约1.5 cm厚的细沙,浇水到不出现水渍为止,用直尺画好网格,放入种子,然后覆盖约0.5 cm厚的粗沙。苗床用沙均采于龙眼洞水库,并用清水清洗至无浑浊出现。然后将上述苗床放入人工培养箱,控制发芽环境条件:25℃,全光照,光照强度($1\ 068 \pm 116.3$) lx,相对湿度80%~90%。待芽苗长出2~3片羽状真叶、高3~4 cm时,移入口径为18 cm的土袋中。培养基质(底土)均采于华南农业大学施工工地1 m以下土层,每袋装土约3 kg,浇足底水,以后定时定量浇水。移栽后的苗木在室外遮荫棚缓苗约1个月后,定株并进行施肥处理。

施肥处理采用N、P、K肥料3因素3水平的正交设计方法,正交表采用 $L_9(3^4)$,共9个施肥处理,各处理均为40株。N肥选用化学纯尿素(H_2NCONH_2),P肥选用化学纯过磷酸钙 $[CaSO_4 \cdot Ca(H_2PO_4)_2]$,K肥选用化学纯氯化钾(KCl)。2005年5—8月进行施肥实验,分10次将肥料施入。施肥时,先定量称取所需肥料,用水溶解稀释后浇入盆栽苗土壤中。

1.2 数据收集

进行施肥处理1个月后,开始进行生物量的数据收集。生物量测定采用收获法进行。在随后观察的4个月内,每月随机抽取各处理印度紫檀幼苗进行全株收获。每次每处理随机取4株苗木,4次共收获植株144株。每次收获时,首先把植株从栽培基质中取出,操作时避免叶片和根系损伤。将材料拿回实验室,用水冲洗干净,拭干。测量苗高、根长,称量全株叶、茎和根鲜质量,然后将各器官分别放入烘箱中,105℃下杀青30 min,然后60℃温度下烘干至恒质量,测定干质量。

1.3 数据分析

首先将苗木的树高及各器官生物量、全株生物量(茎、叶与根生物量之和)、生物量分布格局数据(各器官生物量比例 $\times 100$)进行对数转换,然后进行数据分析。数据分析均在SPSS 13.0软件包中进行。

1.3.1 施肥处理对苗木生物量异速生长关系的影响及生物量估测模型的建立 为了考察不同处理对树高与各生物量异速生长关系的影响,首先对不同施肥处理株高与各器官生物量异速生长方程的斜率进行比较,如果异速生长方程的斜率不存在差异,则进一步比较不同施肥处理株高与各器官生物量异速生长方程的截距^[6,7]。对不同施肥处理树高与各器官生物量异速生长方程的斜率进行比较的方法是以各器官生物量(y_i)对数为因变量,株高(h)对数、处理($T:1\sim 9$)、株高对数 $\times$ 处理 $[(\ln h)T]$ 为自变量,建立多元线性回归方程,如:

$$\ln y_i = b_0 + b_1 \ln h + b_2 T + b_3 (\ln h) T, \quad (1)$$

然后对各自变量的偏回归系数进行 t 检验,如果某一自变量的偏回归系数不显著,则说明该自变量与因变量不存在显著关系^[6]。不同施肥处理株高与各器官生物量异速生长方程的截距的比较是以株高为协变量,采用协方差分析(ANCOVA)研究不同施肥处理对各器官生物量的影响^[6,7]。

如果不同处理对苗木生物量异速生长产生显著影响,则分别建立各处理的生物量预测模型,反之则建立统一的生物量预测模型。在回归过程中首先剔除残差大于3倍标准残差的观测量(奇异值),然后将剔除奇异值后的数据重新进行回归。各器官生物量预测方程建立后,除了传统的回归关系的相关系数和方差检验外,本研究还采用残差分析检验残差的独立性,如残差不独立,则说明模型不适用^[7,8]。

1.3.2 施肥处理对生物量分布格局的影响 采用邓肯氏多重比较对不同施肥处理对生物量分布格局的影响进行分析比较^[8]。

2 结果与分析

2.1 施肥处理对苗木异速生长关系的影响及生物量估测模型的建立

回归分析的结果表明,尽管各器官生物量的多元回归方程均表现出显著的回归关系,所有自变量对各器官变异程度的总体解释表现出较高的水平(R^2 为67%~81%),但 t 检验的结果表明处理、处理 $\times$ 株高对数2个自变量的偏回归斜率均未达到显著水平,因此施肥处理对印度紫檀幼苗各器官生物量与株高异速生长方程的斜率不产生显著影响(表1)。

表 1 印度紫檀苗木生物量异速生长方程的回归结果¹⁾

Tab. 1 Regression result of biomass allometry equation of *Pterocarpus indicus* seedlings n = 137

因变量 variable(y_i)	b_0	b_1	b_2	b_3	$F^{2)}$	R^2
叶 leaf	0.092(0.11)	2.131(7.84) **	-0.149(-1.05)	0.052(1.07)	154.2 **	0.78
根 root	-1.797(-1.54)	2.585(6.61) **	-0.018(-0.09)	0.003(-0.06)	88.2 **	0.67
茎 stem	-1.708(-2.11) *	2.672(9.81) **	-0.007(-0.05)	0.001(0.03)	191.9 **	0.81

1) 回归方程为 $\ln y_i = b_0 + b_1 \ln h + b_2 T + b_3 (\ln h) T$, 括号内为 t 检验值, $t(133)_{0.05} = 1.98$, $t(133)_{0.01} = 2.61$; 2) $F_{0.05}(3, 133) = 2.67$, $F_{0.01}(3, 133) = 3.93$

以株高为协变量,对各处理的印度紫檀各器官生物量进行的协方差分析表明:1)处理对各器官生物量并不存在显著的影响;2)株高对各器官生物量存在显著的影响(表2)。这一结果说明施肥处理对各器官生物量与株高异速生长方程的截距不产生显著的影响。

表 2 施肥处理对印度紫檀苗木生物量异速生长方程的协方差分析¹⁾

Tab. 2 Analysis of covariance with fertilization as fixed effects and $\ln h$ as a covariate of biomass allometry equation of *Pterocarpus indicus* seedlings

变量 variable	$F_T^{2)}$	$F_h^{3)}$	R^2
叶 leaf	0.77	408.06 **	0.79
根 root	0.70	245.39 **	0.68
茎 stem	0.28	505.20 **	0.82

1) $n = 137$, $n_T = 9$, $n_h = 1$; 2) $F_{0.05}(9, 127) = 1.95$, $F_{0.01}(9, 127) = 2.55$; 3) $F_{0.05}(1, 136) = 3.91$, $F_{0.01}(1, 136) = 6.82$

综合表 1 和表 2 的结果说明,施肥处理对印度紫檀苗木各器官生物量与株高的异速生长关系不存在显著的影响。因此本文以各施肥处理株高与生物量的数据建立印度紫檀苗木各器官的生物量估测模

型,方程回归模型各参数见表 3。结果表明:1)苗高与各器官生物量均表现为显著的正相关关系,各器官生物量均随着苗高而增加;2)苗高与各器官生物量的线性回归关系均达到极显著水平(F 值范围:268.30 ~ 584.16, $P > 99\%$);3)株高对各器官生物量变异的解释程度在 67% ~ 81%,其中对茎生物量的解释程度最大,对根的解释程度最小;4)残差分析表明,建立的印度紫檀苗高与苗木各器官生物量和全株生物量异速生长方程的标准化预测值与标准化残差均不存在明显的关系,说明方程均不存在自相关(表 3,图 1)。

表 3 印度紫檀苗木生物量异速生长方程¹⁾

Tab. 3 Biomass allometry equation of *Pterocarpus indicus* seedlings

变量 variable(y_i)	b_0	b_1	$F^{2)}$	R^2	$R_i^{3)}$
叶 leaf	-0.675	2.394	464.02 **	0.78	0.00
根 root	-1.898	2.610	268.30 **	0.67	0.00
茎 stem	-1.748	2.681	584.16 **	0.81	0.00

1) $\ln y_i = b_0 + b_1 \ln h$, $n = 137$; 2) $F_{0.05}(1, 136) = 3.91$, $F_{0.01}(1, 136) = 6.82$; 3) 生物量回归方程标准化残差与标准化预测值的 R^2 值

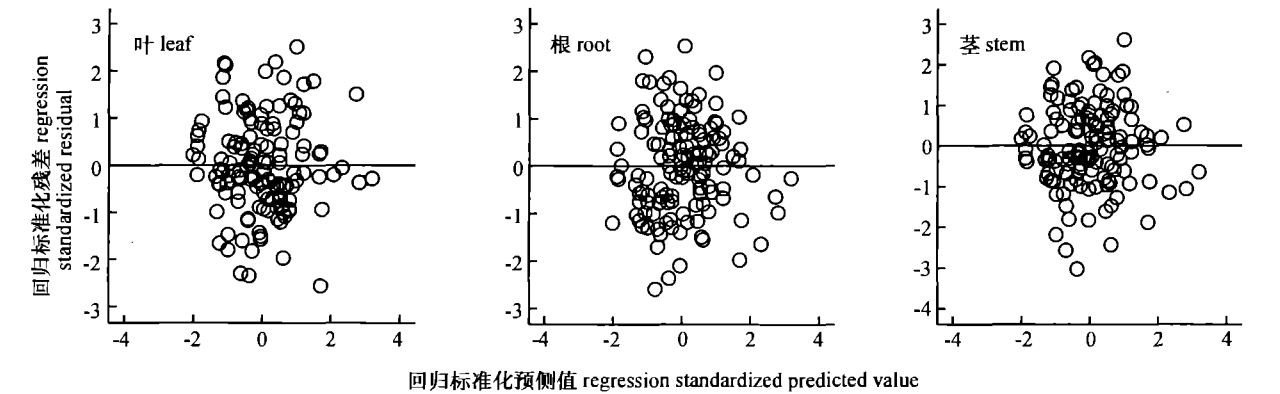


图 1 印度紫檀苗木异速生长方程残差图

Fig. 1 The residual figure of biomass allometry equation of *Pterocarpus indicus* seedlings

2.2 施肥处理对苗木生物量分布格局的影响

表 4 为不同施肥处理印度紫檀苗木生物量分布比例的邓肯氏多重比较结果。结果表明:1)所有施肥处理均表现出叶生物量比例 > 茎生物量比例 > 根

生物量比例;2)施肥处理对各器官生物量分布比例存在一定的影响,不同处理间存在一定的差异;3)根、叶生物量比例表现出较明显的反向关系,对于叶生物量比例 T9、T8 大于 T6、T3、T2、T1,显著大于 T4、

T5、T7,然而对于根生物量比例则表现出 T4、T7 大于 T2、T1、T6、T5,显著大于 T3、T8、T9. 这些结果说明印度紫檀幼苗的结构关系受到营养条件的影响,但各结构要素(器官)的反应并不一致. 植物叶的比例增加,相应的根比例减少. 这一结果与其他类似的研究结果是相一致的^[3,9-14]. 功能平衡理论认为当某种资源成为生长的限制因素时,生物量将优先分配到负责吸收该种资源的器官. 例如,如果生长受到氮素养分的限制时,较多的生物量将会分配到植株的地下部分以保证植株本身获取碳-氮资源的平衡,相反当植株根系未受到养分资源限制时,植物的生物量分配将分配给光合器官从而获得最适生长^[10].

表4 不同处理印度紫檀苗木生物量分布比例的邓肯氏多重比较¹⁾

Tab. 4 Duncan's multiple comparisons of biomass distribution of *Pterocarpus indicus* seedlings under different fertilization

处理	叶生物量比例	根生物量比例	茎生物量比例
treatment	leaf mass ratio/%	root mass ratio/%	stem mass ratio/%
T1	43.78 ± 1.57ab	23.08 ± 1.41ab	33.14 ± 0.95ab
T2	41.44 ± 1.63ab	25.37 ± 1.46ab	33.15 ± 0.98ab
T3	43.67 ± 1.57ab	21.65 ± 1.41a	34.56 ± 0.95ab
T4	39.27 ± 1.57a	27.09 ± 1.41b	33.64 ± 0.95ab
T5	39.11 ± 1.52a	24.68 ± 1.36ab	36.13 ± 0.92b
T6	43.31 ± 1.52ab	23.39 ± 1.36ab	33.29 ± 0.92ab
T7	38.72 ± 1.52a	26.76 ± 1.36b	34.56 ± 0.92ab
T8	45.08 ± 1.52b	21.76 ± 1.36a	33.10 ± 0.92ab
T9	45.46 ± 1.63b	22.54 ± 1.46a	32.07 ± 0.98a

1) 同列数据后字母相同者示差异不显著

3 讨论与结论

苗木生物量的准确估测是评价苗木生长的基本前提. 通过对苗木易测的生长因子建立生物量模型来进行生物量估计是目前通用的方法. 由于个体各器官生物量及其他生长因子间存在自相关,传统的相关分析和方差检验在建立生物量估测模型的检验中可能并不可靠^[8]. 另外,由于植物生长在不同的环境下,环境因子也可能对生物量估测模型产生显著的影响^[9]. 本文首先利用多元统计和协方差分析对施肥处理与生物量估测模型的关系进行了检验,检验结果表明施肥处理对印度紫檀幼苗各器官生物量与株高异速生长关系不存在显著的影响. 其次结合残差分析,对建立的印度紫檀幼苗生物量估测模型进一步检验,结果表明建立的模型中不存在自相关. 因此本文表3中的方程均可以用于印度紫檀幼

苗木生物量的估测,为合理评价幼苗生长提供基础. 最后,本文利用邓肯氏多重比较对施肥处理间植物各器官生物量分布比例的差异性进行了分析,分析结果表明,施肥处理对苗木生物量分布比例存在一定的影响,尤其是根、叶器官存在较明显的反向关系,具体体现在:植物叶的比例增加,相应的根比例减少.

参考文献:

- [1] LANDSBERG J J, GOWER S T. Applications of Physiological Ecology to Forest Management [M]. San Diego: Academic Press, 1997: 154-157.
- [2] WARING R H, SCHLESINGER W H. Forest Ecosystem [M]. San Diego: Academic Press, 1986: 83-111.
- [3] ÅGREN G I, WIKSTRÖM J F. Modelling carbon allocation: A review [J]. New Zeal J For Sci, 1993, 23(2): 343-353.
- [4] 中药商品知识编写组. 中药商品知识: 中册 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1989: 157.
- [5] ROJO J P. Pantropic speciation of *Pterocarpus* (Leguminosae-Papilionaceae) and the Malesia-Pacific species [J]. For Abstr, 1977, 3(1): 19-32.
- [6] LATTIN J, CARROL J D, GREEN P E. 多元数据分析: 英文版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 38-83.
- [7] SOKAL R R, ROHLF F J. Biometry [M] Third edition. New York: W H Freeman and Company, 2000: 451-541.
- [8] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 284-297.
- [9] WEINER J. Allocation, plasticity and allometry in plants [J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2004, 6(4): 207-215.
- [10] POORTER H, NAGEL O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review [J]. Aust J Plant Physiol, 2000, 27(3): 595-607.
- [11] ERICSSON T. Growth and shoot: root ratio of seedlings in relation to nutrient availability [J]. Plant and Soil, 1995, 168/169: 205-214.
- [12] SAMUELSON L J. Influence of intensive culture on leaf net photosynthesis and growth of sweetgum and loblolly pine seedlings [J]. For Sci, 1998, 44(2): 308-316.
- [13] 张建国, 盛伟彤, 罗红艳, 等. N、P、NP 营养对杉木苗木生长和光合产物分配的影响 [J]. 林业科学, 2003, 39(2): 21-27.
- [14] 刘水娥, 张方秋, 陈祖旭, 等. N、P、K 营养元素不同配比对马占相思苗期生长的影响 [J]. 林业科学研究, 2002, 15(2): 163-168.

【责任编辑 李晓卉】