

基于年轮分析的桂林岩溶区青冈栎地上生物量研究

潘复静¹, 张中峰^{1,2}, 黄玉清^{1*}, 莫 凌¹

(1. 广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 南京林业大学 森林环境学院, 南京 210037)

摘 要:采用年轮分析法对岩溶区青冈栎样树年轮和生物量进行测定并对其群落生物量进行估算。研究结果显示,青冈栎平均树龄 46 a, 平均胸径 20.52 cm, 单位地上生物量为 98.668 t·hm⁻²。随着植株的生长, 胸径越大则生物量越大, 两者形成明显的幂函数关系。d、e、f、g 和 h 样树地上生物量为 2.884、22.567、108.183、134.314 和 379.799 kg, 生物量分配状况是主干>枝条>树叶, 大部分的生物量分配在主干, 生物量随着胸径的增大明显加大。

关键词:岩溶; 青冈栎; 年轮分析; 年轮指数; 生物量

中图分类号:Q949 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3142(2012)04-0464-04

Above-ground biomass of *Cyclobalanopsis glauca* analyzed by tree-ring method in karst region

PAN Fu-Jing¹, ZHANG Zhong-Feng^{1,2}, HUANG Yu-Qing^{1*}, MO Ling¹

(1. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 2. School of Forestry and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Tree-ring character and biomass of *Cyclobalanopsis glauca* were measured by method of tree-ring analysis and its aboveground biomass was analysed in karst region. The results showed that average age, average diameter and aboveground biomass of *C. glauca* in karst forest was 46 a, 20.52 cm and 98.668 t·hm⁻², respectively. With increase of the diameter, the biomass was markedly increased. The aboveground biomass of sample tree d, e, f, g and h was 2.884, 22.567, 108.183, 134.314 and 379.799 kg, respectively. Most of the biomass was distributed in the trunk, and the distribution order was trunk>branches>leaves.

Key words: karst; *Cyclobalanopsis glauca*; tree-ring analysis; tree-ring index; biomass

岩溶生态系统是一种环境容量小、抗干扰能力低的脆弱生态类型, 一旦被破坏, 生态系统极易退化(潘复静等, 2011)。裸露岩溶区在我国西南成片分布, 生态环境差, 生态系统受人为干扰严重, 原生植被较少, 只在陡峭的坡地及远离人为干扰的地方才分布有高大的乔木群落且为次生林群落。青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)是中亚热带常绿阔叶林的常见物种, 是青冈类(属)中分布范围最广的种类,

在次生林中呈优势种(苏宗明, 1998)。生长于裸露岩溶区的青冈栎, 其面积指数高, 具有较强的水分利用能力和光能利用效率(张中峰等, 2008a, b; Huang等, 2011)。因此, 选取青冈栎作为岩溶植物生物量研究的对象具有一定意义。

生物量是体现植物群落基本特征的指标, 同时也是整个生态系统运行的物质和能量基础, 因此, 生物量的测定成为植物群落研究的重要指标。由于岩

* 收稿日期: 2011-12-10 修回日期: 2012-04-22

基金项目: 国家自然科学基金(40872198, 41172313); 岩溶动力学实验室开放基金(kdl2008-01); 中国地质调查局工作项目(水[2011]地调 01-15-02) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(40872198, 41172313); Open Fund of Karst Dynamics Laboratory(kdl2008-01); Project of the National Bureau of Geological Research of China(water[2011]geological survey01-15-02)]

作者简介: 潘复静(1984-), 男, 广西钦州人, 硕士, 研究实习员, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) panfujing28@163.com。

* 通讯作者: 黄玉清, 博士, 研究员, 主要从事植物生理生态学研究, (E-mail) hyqcoco@gxib.cn。

溶区立地条件差,采伐工作困难,目前岩溶区植被生物量的研究不是特别多,主要集中在灌丛和次生林地上生物量方面,而且研究地域基本集中在贵州的岩溶区(鄢武先等,1991;朱守谦等,1995;戚剑飞等,2008),而广西桂林的岩溶区次生林的地上生物量的研究还较少。生物量研究多采用皆伐法和标准木法,但皆伐法在岩溶区极易对环境造成不可恢复的破坏,因此本文将采用标准木法进行生物量的研究。

由于历史原因和人类活动,桂林岩溶区的原生植被很少,现存的植被以原生植被退化后形成的灌丛为主,而次生林主要残存于村落后山的风水林中。本文以桂林大埠乡次生林为例,以群落学调查为基础,对群落中青冈栎建立了生物量回归模型,并应用这些模型研究了青冈栎种群地上生物量及其在不同构件的分配。目的是在探索岩溶区植物种群生物量研究方法的同时,为揭示桂林岩溶区的次生林生态系统的结构与功能提供关于生物量的基础数据。

1 研究区概况

研究地点选择广西桂林市南郊大埠乡甘棠村,地理位置为 $110^{\circ}18' \sim 110^{\circ}22' \text{ E}$, $25^{\circ}01' \sim 25^{\circ}03' \text{ N}$,属典型岩溶地貌。该区域山体海拔 $150 \sim 210 \text{ m}$ (高差约 60 m),生长以青冈栎为优势种的次生林植被,树木茂密。青冈栎主要分布在岩溶石山山体悬崖下的狭长地带,为群落优势种,伴随生长黄连木(*Pistacia chinensis*)、圆果化香(*Platycarya longipes*)等,偶见小叶栎树(*Koelreuteria minor*)、圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)和菜豆树(*Radermachera sinica*)等树种。群落中下层种类较少,有粗糠柴(*Mallotus philippinensis*)、石山巴豆(*Croton euryphyllus*)、斜叶榕(*Ficus tinctoria*)以及青冈幼树等种类。样地设在青冈栎群落内,调查面积 700 m^2 ,样地内岩石裸露度约 70% ,土壤覆盖度为 30% ;土壤含水率在旱季约 $9\% \sim 11\%$,雨季为 $30\% \sim 35\%$ 。

2 研究方法

2.1 取样

2010年9月,在该区域选取 $20 \text{ m} \times 35 \text{ m}$ 的青冈栎群落样地进行每木调查,样地属于中龄林。样地中乔木树种为 12 种,共 39 棵,所有树木的平均树高 9.04 m ,平均胸径 15.01 cm ,其中青冈栎 18 棵,

占 50% ,青冈栎的平均树高 11.83 m ,平均胸径 20.52 cm ,为该群落的优势种。根据标准地每木调查结果,把所有植株分三个胸径级别(分别为 $10 \sim 15$ 、 $15 \sim 20$ 、 $20 \sim 25 \text{ cm}$),计算出各级别的胸径平均值作为 3 棵标准样树的参照标准。为减少小径级的缺失对生物量回归方程的影响,额外增加了 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 和 $5 \sim 10 \text{ cm}$ 的样树。在标准地外,根据标准木参照标准,取生长正常、无病虫害的青冈栎平均标准木。 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 和 $5 \sim 10 \text{ cm}$ 两个级别的样树只进行干、枝、叶的鲜干重的测量, $0 \sim 5 \text{ cm}$ 有 4 棵树,编号分别为 a、b、c 和 d。 $5 \sim 10 \text{ cm}$ 有 1 棵树,编号为 e。 $10 \sim 15$ 、 $15 \sim 20$ 、 $20 \sim 25 \text{ cm}$ 三个级别的样树各有 1 棵用于进行年轮测定,胸径从小到大分别编号为 f、g 和 h。采用实测法分别测量样树树高和胸径,每棵样树生长状况良好,无断梢弯曲等特征。树干解析取样按 1 m 为一个区分段截取圆盘,用钢锯截取底盘、胸径盘和梢头盘。生物量取样采用“分层切割法”,利用解析木的区分段,分别实测干、枝、叶的鲜重,对各器官按混合取样法采集少量样品并带回实验室烘干(鄢武先等,1991)。标准样树的基本信息见表 1。

2.2 测量方法

2.2.1 年轮指数 I_t (Ring-width indices) 刨光青冈栎树木圆盘,利用 WinDENDRO2006 年轮分析仪依次测定各解析木树木圆盘的年轮宽度(精确到 0.001 mm)。然后分析其龄阶为 1 a 的不同年龄的胸径生长变化过程,模拟生长过程曲线。本文利用 WinDENDRO 年轮分析系统测定年轮宽度采用何海(2005)的方法。

年轮指数即年轮生长实际宽度与该树种年生长期望值的比值。其计算公式如下:

$$I_t = W_t / Y_t \dots\dots\dots (1)$$

式中, W_t 为实际测量的年轮宽度; Y_t 为预计生长的年轮宽度。

根据青冈栎年轮生长序列特征探讨其年轮生长状况选用二回多项式回归方程进行模拟:

$$y = ax^2 + bx + c \dots\dots\dots (2)$$

式中: y 代表年轮生长值, x 代表树木的年龄, b 代表系数。

2.2.2 生物量特征 分别对主干、枝条和叶子所有生物量样品称得鲜重,然后取样在实验室 65°C 恒温下烘 48 h 至恒重,测定出其各自含水率,换算成干重,推算其生物量。

2.3 数据分析方法

采用 SPSS 统计软件进行有关参数的回归统计分析,采用 One-way-ANOVA 进行方差分析。对青冈栎样树的生物量—胸径增长、胸径—树龄进行了回归分析,建立回归方程。根据 2009 年实测得到的 700 m² 样地内的青冈栎胸径值,计算当年每棵样树的树龄和总生物量。

3 结果与分析

利用年轮分析得到的数据(表 1)进行生物量—胸径、树龄—胸径、生物量—树龄的回归统计分析。青冈栎样树的生物量—胸径、树龄—胸径、生物量—树龄模拟结果均以乘幂方程达到最佳。利用上述方程,计算得到 700 m² 的青冈栎次生林中,青冈栎平均树龄 46 a,平均胸径 20.52 cm,单位地上生物量为 98.668 t·hm⁻²。随着植株的生长,胸径越大则生物量越大,两者形成明显的幂函数关系(图 1)。

表 2 结果表明,d、e、f、g 和 h 样树地上生物量为 2.884、22.567、108.183、134.314 和 379.799 kg,生物量分配状况是主干>枝条>树叶,大部分的生物量分配在主干,生物量随着胸径的增大明显加大。除了 g 样树之外,其余样树的主干均占 60%左右,生物量分配状况比较接近。而 g 样树树干生物量分配率达 80.67%,其叶生物量及分配率均最低。究其原因,可能与其所处的位置有关,其周围有几棵较大的青冈栎围绕,可能使其叶片数量下降,导致植株总体光合作用能力低,从而影响到整株生物量的积累。而树木生物量积累与树龄、胸径以及光合作用能力有关。青冈栎生物量与树龄和胸径之间呈现显著的幂指数关系(图 1)。年轮宽度和年轮指数随着胸径的增大而逐渐增大(表 1)。青冈栎能进行较强的光合作用,全年均可光合作用,此能力对生物量积累具有极大好处(Huang 等,2011)。虽然不同的个体表现出稍微差异的状况,但桂林岩溶区青冈栎生物量的积累规律较明显,其与树龄、胸径以及光合作用的关

表 1 样树的基本特征
Table 1 The basic characters of sample trees

特征 Characteristics	样树 a Tree a	样树 b Tree b	样树 c Tree c	样树 d Tree d	样树 e Tree e	样树 f Tree f	样树 g Tree g	样树 h Tree h
树高 Height (m)	0.60	1.20	1.30	3.40	6.10	9.3	8.8	11.3
胸径 DBH (cm)	0.68	1.13	1.20	3.33	6.21	13.6	17.77	23.12
尖削度 taper index	1.13	0.94	0.92	0.98	1.02	1.46	2.02	2.05
年轮宽度 ring width (mm)	—	—	—	—	—	2.182±0.57a	2.674±0.54b	3.058±0.72c
年轮指数 tree-ring index	—	—	—	—	—	0.97±0.26a	1.18±0.23b	1.35±0.29c
总生物量 total biomass (kg)	0.0245	0.0971	0.0909	2.884	22.567	111.482	140.1251	392.1278
树龄 tree age (a)	1	2	2	5	12	36	39	45

注：不同字母表示具有显著差异性。
Note: The mean difference is significant at the 0.05 level.

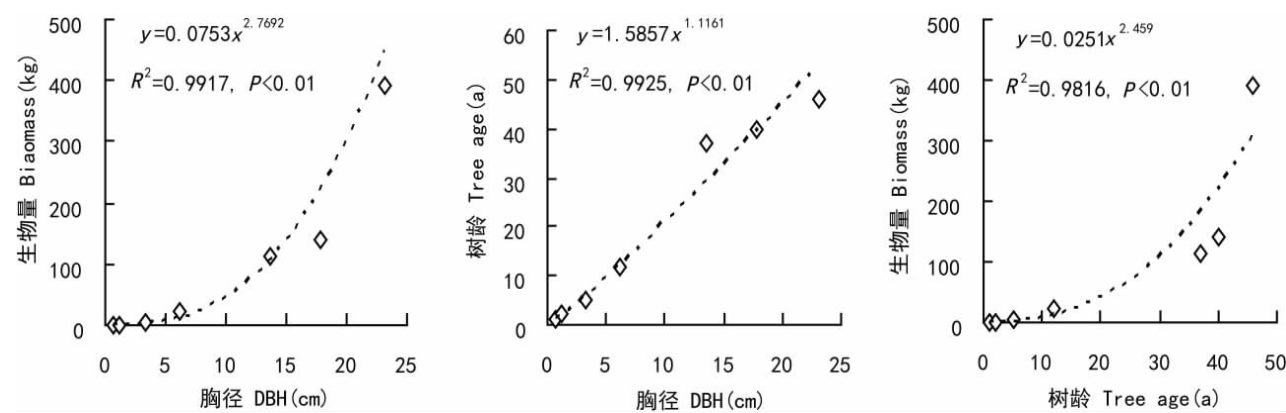


图 1 青冈栎多指标回归模型 a. 青冈栎生物量与胸径回归模型; b. 青冈栎树龄与胸径回归模型; c. 青冈栎生物量与树龄回归模型。
Fig. 1 Regression simulation of *C. glauca*'s multi-indicator a. Regression simulation of *C. glauca* biomass and DBH; b. Regression simulation of *C. glauca* tree age and DBH; c. Regression simulation of *C. glauca* biomass and tree age.

表 2 青冈栎 5 株样树生物量及其各器官分配比例
Table 2 Biomass and its proportion of the organ allocation of the 5 sample trees

样树号 Sample No.	树干 Bole		枝条 Branch		叶片 Leaf		合计 Total	
	生物量 (kg) Biomass	分配 (%) Distribution	生物量 (kg) Biomass	分配 (%) Distribution	生物量 (kg) Biomass	分配 (%) Distribution	生物量 (kg) Biomass	分配 (%) Distribution
样树 d Tree d	1.711	59.33	0.633	21.95	0.540	18.72	2.884	100
样树 e Tree e	13.82	61.23	6.63	29.36	2.12	9.41	22.567	100
样树 f Tree f	65.545	60.59	36.767	33.99	5.871	5.43	108.183	100
样树 g Tree g	108.356	80.67	22.278	16.59	3.680	2.74	134.314	100
样树 h Tree h	247.149	65.07	116.831	30.76	15.818	4.16	379.799	100

系紧密,当然与周围的环境也有很大关系。

本研究中,700 m² 的青冈栎单位地上生物量为 98.668 t·hm⁻²。西双版纳热带岩溶季雨林的乔木层地上生物量 297.750 t·hm⁻²(戚剑飞等,2008),贵州岩溶地区的森林乔木层生物量在 87.1~139.8 t·hm⁻²之间(朱守谦等,1995),而与本研究区最近广西黄冕林场天然次生阔叶林乔木层地上部分的生物量为 62.65 t·hm⁻²(张林等,2004)。由此可见,在相似的地质环境背景下,本研究的青冈栎林地上生物量比热带地区岩溶森林的低,比同一气候带的亚热带贵州岩溶森林基本相同。与相同气候带不同地质背景的森林相比较,其比亚热带非岩溶天然次生林的生物量大,这可能与林分的年龄和受干扰程度相关。我国岩溶地区森林生态系统破坏较严重,除了几个保护区以外,天然次生林呈小片残存于村庄后山上。受人为干扰较大。本研究区紧邻村屯,林内 10~20 a 树龄的个体较少,这可能是导致群落乔木生物量相对于上述提到的几个岩溶区较低的原因。岩溶区地下根系系统发达,岩溶区植物分配更多的生物量到地下部分(Muthukumar 等,2003),因此,岩溶区植物群落总体生物量的具体情况可能要比地上大很多。

青冈栎平均树龄 46 a,平均胸径 20.52 cm,而青冈栎种群生物量随着年龄增长其生物量也逐渐增大,这很大程度上突出了青冈栎强大的适应能力及生理机制。青冈栎能在持续干旱期利用表层岩溶水,保证蒸腾速率以维持进行较强光合作用的能力(Huang 等,2011;张中锋等,2008a,b)。因此,青冈栎全年均可进行光合作用。由于青冈栎在岩溶区具有强的适应机制,生物量积累也较高,年生长量大。随着植株的生长,树龄和胸径越大,其生物量增长越快,形成明显的幂函数关系。

本研究得出,青冈栎地上生物量比热带地区岩溶森林的低,比同一气候带的亚热带贵州岩溶森林

基本相同。但是没有对地下生物量进行研究,研究的范围也比较小,一定程度上限制了区域性青冈栎生物量积累规律的准确性。在以后的研究中,希望加大研究范围和力度,进一步明确岩溶区青冈栎生物量积累的规律和机制及其主要影响因素的探讨,为岩溶区植被碳储量研究提供一些基础数据。

参考文献:

He H(何海). 2005. Measurement of Tree-Ring Width with WinDENDRO and Crossdating Methods(使用 WinDENDRO 测量树轮宽度及交叉定年方法)[J]. *J Chongqing Teach Coll; Nat Sci Edit*(重庆师范大学学报·自然科学版),22(4):39—44

Huang YQ, Li XK, Zhang ZF, et al. 2011. Seasonal changes in *Cyclobalanopsis glauca* transpiration and canopy stomatal conductance and their dependence on subterranean water and climatic factors in rocky Karst terrain[J]. *J Hydrol*, 402:135—143

Muthukumar T, Sha LQ, Yang XD. 2003. Distribution of roots and arbuscular mycorrhizal associations in tropical forest types of Xishuangbanna, southwest China[J]. *Appl Soil Ecol*, 22:241—253

Pan FJ(潘复静), Zhang W(张伟), Wang KL(王克林), et al. 2011. Litter C : N : P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression(典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物生态化学计量特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 31(2):335—343

Qi JF(戚剑飞), Tang JW(唐建维). 2008. Biomass and its allocation pattern of monsoon rain forest over limestone in Xishuangbanna of Southwest China(西双版纳石灰山季雨林的生物量及其分配规律)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 27(2):167—177

Su ZM(苏宗明). 1998. The classified system of natural vegetation in Guangxi(广西天然植被类型分类系统)[J]. *Guihaia*(广西植物), 18(3):237—246

Yan WX(鄢武先), Siu YM(宿以明), Liu XM(刘兴良), et al. 1991. Research on Biomass and Productivity of an Artificial Forest(云杉人工林生物量和生产力的研究)[J]. *J Sichuan Fore Sci Tech*(四川林业科技), 12(4):17—22

(下转第 482 页 Continue on page 482)

能力较弱是造成这一结果的可能原因。随着时间推移,云南油杉逐渐被淘汰,而滇青冈的优势地位越来越明显,最终演变为以滇青冈为优势种的顶级群落——滇青冈林。在成熟的滇青冈林下,林下幼苗密度很低,更新个体严重匮乏,更新极为不良,且已完全找不到云南油杉幼苗的踪迹。铁仔幼苗的空间分布型则由前期演替阶段时的聚集分布转变为此时的随机零星分布,这也反映了其更新能力的弱化。在云南的哀牢山以及欧美的一些地区,同样发生了地带性植被中更新不良的情况(Evans, 1988; Herrera, 1995)。可能原因是,滇青冈林已发展到演替的顶级阶段,森林群落结构复杂,林冠上层的郁闭度很高,而地表枯枝落叶林层较厚,使得林下幼苗得不到足够的光照和养分的供给,最终导致种子难以萌发或发育不好。

参考文献:

- 吴征镒, 朱彦丞. 1987. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社
金振洲, 彭鉴. 1998. 昆明植被[M]. 昆明: 云南科学技术出版社
赵安娜. 2007. 云南油杉林的更新与自疏研究[D]. 硕士学位论文.
昆明: 云南大学
- Aguilera MO, Lauenroth WK. 1993. Seedling establishment in adult neighbourhoods-intraspecific constraints in the regeneration of the bunchgrass *Bouteloua gracilis*[J]. *J Ecol*, **81**(2): 253-261
- Evans J. 1988. Natural regeneration of broadleaves[R]. Forestry Commission Bulletin (Vol. 78). London: Her Majesty's Stationery Office
- Franklin J, Spears-Lebrun LA, Deutschman DH, *et al.* 2006. Impact of a high-intensity fire on mixed evergreen and mixed conifer forests in the Peninsular Ranges of southern California[J]. *Forest Ecol Manag*, **235**(1-3): 18-29

- Herrera J. 1995. Acorn predation and seedling production in a low-density population of cork oak (*Quercus suber*) [J]. *For Ecol Manag*, **76**(1-3):197-201
- Krebs CJ. 1994. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance [M]. Fourth ed. New York: Harper Collins
- Li XS(李小双). 2007. A study on the natural regeneration of constructive species in central Yunnan Plateau semi-humid broad-leaved forest(滇中高原半湿润常绿阔叶林建群种自然更新研究) [D]. MD Thesis(硕士学位论文). Kunming(昆明): Yunnan University(云南大学)
- Mei XY(梅象信), Xu ZH(徐正会), Zhang JL(张继玲), et al. 2006. Ant species diversity on east slope of Xishan Forest Park in Kunming(昆明西山森林公园东坡蚂蚁物种多样性研究) [J]. *For Res*(林业科学研究), **19**(2):170-176
- Nepstad DC, Uhl C, Serrao EAS. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration [J]. *Ambio*, **20**(6):248-255
- Raffaele E, Veblen TT. 1998. Facilitation by nurse shrubs of resprouting behavior in a post-fire shrubland in northern Patagonia, Argentina [J]. *J Veg Sci*, **9**(5):693-698
- Shi JP(施济普), Chang YF(常艳芬), Xu CD(徐成东), et al. 2011. Synecological studies on the semi-humid evergreen broad-leaved forest in Huajiaoyuan Nature Reserve, Chuxiong, Yunnan(楚雄花椒园半湿润常绿阔叶林的群落生态学特征) [J]. *Guihaia*(广西植物), **31**(2):204-207
- Sonoyama N, Watanabe N, Watanabe O, et al. 1997. Ecological significance of sprouting traits of cool-temperate tree species in a northern mixed forest: Population dynamics of sprout species [J]. *Jpn J Ecol*, **47**(1):21-29
- Sork VL. 1984. Examination of seed dispersal and survival in red oak, *Quercus rubra* (Fagaceae), using metal-tagged acorns [J]. *Ecology*, **65**(3):1 020-1 022
- Tang CQ, Zhao MH, Li XS, et al. 2010. Secondary succession of plant communities in a subtropical mountainous region of SW China [J]. *Ecol Res*, **25**(1):149-161

(上接第 467 页 Continue from page 467)

- Zhang L(张林), Luo TX(罗天祥), Deng KM(邓坤枚), *et al.*, 2004. Biomass and net primary productivity of secondary evergreen broadleaved forest in Huangmian Forest Farm, Guangxi(广西黄冕林场次生常绿阔叶林生物量及净第一性生产力)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **15**(11): 2 029—2 033
- Zhang ZF(张中峰), Huang YQ(黄玉清), Li XK(李先琨), *et al.*, 2008a. Features of *Quercus glauca* sap flow and its relationship to environmental factors in Karst terrain(岩溶区青冈栎树干液流特征及其与环境因子关系)[J]. *Carsol Sin*(中国岩溶), **27**(3): 228—234

- Zhang ZF(张中峰), Huang YQ(黄玉清), Mo L(莫凌), *et al.*
2008b. Preliminary study on the relation between photosynthetic
rate and environment factors of *Quercus glauca* in Guilin Karst
area(桂林岩溶区青冈栎光合速率与环境因子关系初步研究)
[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(4): 478—482
- Zhu SQ(朱守谦), Wei LM(魏鲁明), Chen ZR(陈正仁), *et al.*
1995. A preliminary study on biomass components of Karst
forest in Maolan of Guizhou Province, China(茂兰喀斯特森
林生物量构成初步研究)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态
学报), **19**(4): 358—367