

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.04.011

贺丽,周旭,刘成,等. 南川木波罗幼苗构件生物量和叶片特征随年龄增长的变化[J]. 广西植物, 2014, 34(4): 489—493

He L, Zhou X, Liu C, et al. Leaf traits and biomass dynamics of modular population in different age classes *Artocarpus nanchuanensis* seedlings[J]. *Guihaia*, 2014, 34(4): 489—493

南川木波罗幼苗构件生物量和叶片特征随年龄增长的变化

贺丽¹, 周旭¹, 刘成¹, 齐代华^{1*}, 蒋宣斌², 陈丽洁²

(1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

摘要: 为深入了解南川木波罗构件种群生物量、比叶面积及叶干物质含量随苗龄叶龄的变化规律, 以南川木波罗幼苗(1~5年生)为研究对象, 分析其根、茎、叶等构件种群的生物量、SLA、LDMC 差异及动态变化。结果表明: (1) 单株生物量随着苗龄增加而增加, 且差异达显著性水平; (2) 各构件生物量增加的幅度不尽相同, 其中枝条生物量增长幅度最大, 5年生幼苗与2年生幼苗相比达477.23倍, 其余构件生物量为主干>叶>根; (3) 枝条和主干的生物量比率总体上呈上升趋势, 所占根比率变动较小而叶逐渐下降。表明植物体对各构件生物量投资的不均衡性, 主要偏向于枝和主干; (4) SLA 随着苗龄的增加呈先上升后降低的趋势, 且当年生叶大于1年生叶; 幼苗叶片干物质含量(LDMC)随苗龄增加而增加, 且1年生叶均高于当年生叶。

关键词: 南川木波罗; 构件种群; 生物量; 比叶面积; 干物质含量

中图分类号: Q944.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2014)04-0489-05

Leaf traits and biomass dynamics of modular population in different age classes *Artocarpus nanchuanensis* seedlings

HE Li¹, ZHOU Xu¹, LIU Cheng¹, QI Dai-Hua^{1*}, JIANG Xuan-Bin², CHEN Li-Jie²

(1. Key Laboratory of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region of Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. The Forestry Academy of Chongqing, Chongqing 400036, China)

Abstract: SLA, LDMC and modules dynamics of *Artocarpus nanchuanensis* in Chongqing were studied systematically. The results showed that with the increase of *A. nanchuanensis* seedling ages, the biomass of the single *A. nanchuanensis* increased significantly, in which the difference of branch biomass was the biggest, the disparity even to 477.23 times between 2 and 5 age seedlings. The reserved modules biomass generally allocated in the order: branch biomass > leaf biomass > root biomass. The average biomass distribution rate of stem and branch increased generally, leaf ratio decreased, root ratio changed small. It showed that the chance to receive biomass varied among different modules. Branches had priority over stems in this aspect. With the increase of *A. nanchuanensis* seedling ages, the trend of SLA change was increased firstly, then decreased, and SLA of one-year-old leaf was higher than those of two-year-old. At the same time, LDMC increased generally, but LDMC of current year leaf was higher than those of one year.

Key words: *Artocarpus nanchuanensis*; modular population; biomass; specific leaf area; dynamics; dry matter content

收稿日期: 2013-10-20 修回日期: 2013-11-26

基金项目: 国家林业局 2011 年珍稀濒危物种调查监管项目(40500611)

作者简介: 贺丽(1987-), 女, 四川广安人, 在读硕士, 研究方向为应用生态学, (E-mail)cqwuheli@163.com。

*通讯作者: 齐代华, 博士, 副教授, 主要研究方向为应用生态学, (E-mail)qidaihua@163.com。

植物种群个体和构件生物量的动态既反映植物种群对自然环境的适应能力和生长发育规律,又反映环境条件对植物种群的影响(Larcher,1995;王伯荪等,1995)。近年来,国内外学者在个体、种群、群落、生态系统、区域、生物圈等多尺度上开展生物量的研究,同时对同一树种不同地理种源、不同发育阶段、不同自然地带的生物量差异进行了深入研究,以期建立生物量树种权重指标体系(郭娜等,2011)。就植物个体而言,从各构件(细胞、叶、枝条)水平生物量的分配进行了研究(Niinemets *et al.*,2007;Li *et al.*,2008),这在很大程度上提高了我们对植物生活史对策的理解。叶片对外界环境变化敏感且可塑性大(Atkin *et al.*,2003),同时也是森林生态系统中物质循环、能量流动、特别是水文循环的重要生物调节器(尹婧等,2008)。比叶面积(specific leaf area, SLA)可定义为单位重量叶片面积,是表征植物生长过程中碳获取策略的关键叶性状指标(Westoby *et al.*,2002)。比叶面积通常与叶寿命、光合能力、叶片氮和磷含量呈显著负相关(Reich *et al.*,2003;Wright *et al.*,2007),与单位面积叶质量、相对生长速率和叶片净光合速率呈正相关;叶片比叶面积、光合能力、暗呼吸、气体交换能力、叶片氮和磷含量相互之间呈正相关(毛伟等,2009)。较低 SLA 的植物能更好地适应资源贫瘠和干旱环境,较高 SLA 的植物保持体内营养的能力较强,通常生长在资源较为丰富的环境中(Grime *et al.*,1997)。LDMC 可以表示为叶片主干物质重量和叶片饱和鲜重的比值,能更好地指示某一资源的获取、利用及有效性,而 SLA 则代表资源综合利用情况(Vendramini *et al.*,2002)。

南川木波罗(*Artocarpus nanchuanensis*)为常绿乔木,是我国桑科波罗蜜属(桂木属)自然分布最北端的代表树种,调查发现野生分布在重庆市南川区、巴南区、綦江并受到良好保护的居群仅有 6 个,结果母树近 100 株(罗宏果等,2012)。近年来有关南川木波罗的研究甚少,仅限于对其人工繁殖试验研究(孙容等,2005)和资源保护价值及存在问题研究(孙容,2011),而且有关南川木波罗构件种群相关研究尚未见有报道,因此在构件水平上进行植物种群的定量研究具有重要意义。本文对 5 个龄级南川木波罗幼苗个体生长发育过程中构件生物量及比叶面积、叶干物质含量动态进行研究,为南川木波罗人工林培育提供理论基础和技术支撑,以期深化对中

亚热带常绿阔叶树种的研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南川位于重庆市南部,地域在 $107^{\circ}00' \sim 107^{\circ}20' E, 28^{\circ}46' \sim 29^{\circ}20' N$ 之间,该区属亚热带湿润季风气候区,具有气候温和,雨量充沛,四季分明,无霜期长等特点。区内多年平均气温 $14.5^{\circ}C$,相对湿度年均在 90% 以上。铁村乡地处重庆市南川城北,海拔 $600 \sim 900 m$,年均气温 $16.6^{\circ}C$,日照时间 $1\ 237 h$,多年平均降水 $1\ 030 mm$,最大年降水量 $1\ 528 mm$,最小年降水量 $826 mm$,降雨主要在 5—9 月,占全年的 68%。该区以浅丘低山槽坝为主。土壤细腻粘重,微酸性黄壤为主。

1.2 研究方法

1.2.1 构件生物量及叶结构型性状指标测定 于 2012 年 4 月在南川区铁村乡苗木培育基地(重庆创景责任有限公司)随机选择不同龄级(1~5 龄)的南川木波罗幼苗各 30 株,各龄级幼苗每株选取树冠中上部 2 个叶片年龄层次(当年叶片和 1 年生叶片)的完全伸展的、没有病虫害的健康 5 片,每个龄级共计当年叶 150 片,1 年生叶 150 片。将叶柄减去,用根系扫描仪(EPSON Expression 10000XL, USA)进行植物叶面积测定。

构件种群生物量测量采用整株挖掘,分地上部分(叶、主干、枝)和地下部分分别称量鲜重,采集各器官样品,于室内以 $80^{\circ}C$ 下烘至恒重,称其干重。

叶干物质含量(LDMC) = 叶片干重(g)/叶片饱和鲜重(g)

比叶面积(SLA) = 叶片面积(cm^2)/叶片干重(g)

1.2.2 数据处理 利用 EXCEL 软件进行基础数据输入。采用 SPSS13.0 软件对生物量和叶片形态等特征参数进行单因素方差分析(One-way ANOVA),Levene 方差齐性检验后,符合方差齐性的用 LSD 法进行多重比较,方差非齐性的用 Tamhane's T^2 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 单株生物量及构件生物量占总生物量的比率

从表 1 看出,各构件生物量随苗龄增加的幅度不尽相同,其中枝条生物量增长幅度最大,5 年生与

2年生幼苗相比,生物量增加了47 622.81%,其余则表现为主干>叶>根,这可能与植物对外界资源的获取和竞争作用有关。各龄级叶生物量之间均存在显著性差异($P<0.05$),主干、枝条和根生物量只有1年生与2年生幼苗之间不存在显著性差异($P<0.05$),其余各龄级之间的差异均显著($P<0.05$)。同龄级幼苗根的生物量最多,枝条的最少。构件之间及构件与个体之间生物量增长不具同步性。

表 1 不同年龄南川木波罗构件种群的生物量变化

Table 1 Change of modular biomass of *Artocarpus nanchuanensis* seedlings in different age classes

苗龄 Age (a)	根 Root (g)	枝条 Branch (g)	主干 Stem (g)	叶 Leaf (g)
1	10.27±0.39a	0±0.00a	1.88±0.07a	2.31±0.14a
2	35.78±1.80a	0.57±0.04a	10.36±0.75a	18.56±0.65b
3	272.38±7.41b	10.16±0.58b	138.10±3.72b	74.35±1.81c
4	587.64±6.95c	140.99±4.54c	525.75±5.57c	175.46±2.96d
5	1327.22±25.40d	272.02±5.01d	726.20±7.27d	451.14±4.92e

注:表中同列不同字母表示不同苗龄的均值间差异显著性。下同。

Note: Different letters in the table are significantly different at $P<0.05$.

The same below.

表 2 构件生物量占单株总生物量的比率

Table 2 Ratio change of modular biomass to total biomass

苗龄 Age (g)	根 Root (%)	枝条 Branch (%)	主干 Stem (%)	叶 Leaf (%)
1	71.01±0.003a	—	13.01±0.005a	15.99±0.003a
2	54.82±0.003b	0.87±0.001a	15.87±0.020b	28.44±0.022b
3	55.03±0.009b	2.05±0.001b	27.90±0.011c	15.02±0.003ac
4	41.10±0.005c	9.86±0.002c	36.77±0.007d	12.27±0.002c
5	47.80±0.005d	14.80±0.002d	26.15±0.008e	11.25±0.003a
均值 Average	53.95±0.018	5.52±0.009	23.94±0.021	16.59±0.012

从表 2 看出,根生物量占总生物量的比率最高,均在 40%以上。1年生幼苗根生物量所占比率最高,达(71.0±0.003)%,说明1年生幼苗地上部分的竞争能力小于地下部分,地上部分的生长主要靠地下部分吸收的营养物质供应。随着苗龄增加,根所占比率总体上呈降低趋势,枝条和主干的生物量比率总体呈上升趋势(分别为0%~14.80%,13.01%~36.77%)。就叶生物量分配率而言,2年生幼苗叶的生物量比率达最大(28.44±0.022)%,随后逐渐下降。植物生长靠根提供养分,根的生物量维持在一定比率。

2.2 比叶面积 (SLA)

从图 1: A 可以看出,随南川木波罗苗龄增加 SLA 呈先增加后降低的趋势,当年生叶 SLA 在 3 年生南川木波罗中达最大值(50.66±1.63)cm²/g,1 年

生叶在 2 年生幼苗时达最大值(53.46±0.84)cm²/g,5 年生幼苗 SLA 最小,分别为(40.84±2.38)和(39.14±1.49)cm²/g。同龄级不同叶龄 SLA 差异性大,均达到了显著性水平($P<0.05$),只有 2 年生幼苗当年生叶 SLA 低于 1 年生叶,3~5 年生幼苗均是当年生叶 SLA 高于 1 年生叶。3 年生的南川木波罗幼苗 1 年生叶 SLA 平均降低了 7.52%,随着苗龄增加,当年生叶与 1 年生叶的 SLA 差值逐渐减小,5 年生幼苗 1 年生叶 SLA 比当年生叶降低了 2.34%。

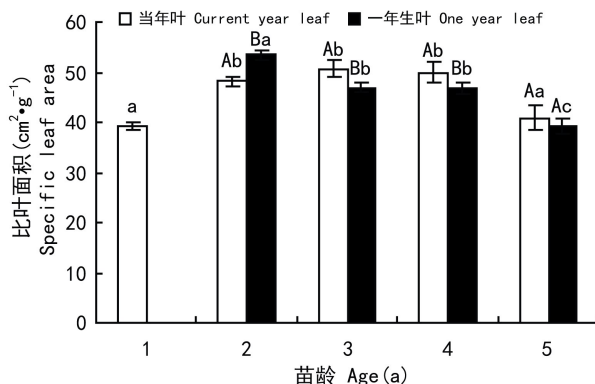


图 1 南川木波罗叶片 SLA 动态 不同小写字母和大写字母分别表示同一叶龄不同龄级之间的差异($P<0.05$)和同龄级不同叶龄的差异($P<0.05$)。下同。

Fig. 1 Dynamics of leaf SLA in *Artocarpus nanchuanensis* seedling Different letters mean the same leaf age of different seedling ages and the different leaf ages of the same seedling age show significant differences($P<0.05$). The same below.

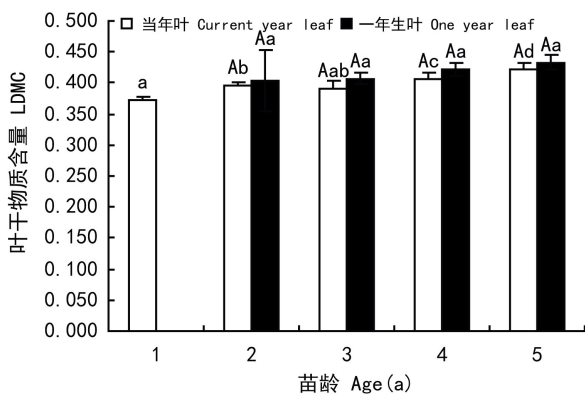


图 2 南川木波罗叶片 LDMC 动态

Fig. 2 Dynamics of LDMC in *Artocarpus nanchuanensis* seedlings

2.3 叶干物质含量 (LDMC)

南川木波罗幼苗不同叶龄 LDMC 随苗龄的增加呈一致变化趋势(图 2),均随苗龄增加而增加,且不同龄级 1 年生叶的 LDMC 均高于当年生叶,但差

异性不显著($P < 0.05$)。在5年生幼苗时叶干物质含量均达最大值,分别为(0.423±0.009)和(0.433±0.112),当年生叶与其余各龄级相比差异性均达到显著性水平($P < 0.05$),1年生叶各龄级间 LDMC 差异性均不显著($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

本研究表明,南川木波罗构件种群生物量随着苗龄的增加而增加,但构件之间生物量增长不具同步性,枝的增长幅度最大,生物量投资比例表现为枝>主干>根>叶。这与殷淑燕等(1997)的研究结果相一致。这种构件水平上生物量投资的“偏斜”现象可能与植物体的自疏竞争有关。

随着苗龄的增长,根和叶生物量比率总体上呈下降趋势,而枝和主干生物量所占比率逐渐上升。这与殷淑燕等(1997)、黄修麟(2011)和黎燕琼等(2010)的研究结果相一致。叶所占比率的下降可能是由于林中光吸收的二维性,当 LAI 达最大值后,更多的叶生物量并不能给植物体带来更多的光吸收,所以植物体除了补充落叶带走的生物量外,不再增多对叶的投资,从而影响了其叶生物量所占比例(殷淑燕等,1997)。根所占比率维持一定的比率,在5年生幼苗中为47.80%,这有利于根系对水分和养分的吸收竞争(Tilman,1990;Davis *et al.*,2005)。枝和主干生物量所占比率逐渐上升,表明植物体所增加的生物量在各构件之间分配不均匀,随着苗龄增加投资到枝和主干的生物量较多,这可能是由于枝和主干的生长可以使植物体占有更多的空间,有利于叶片获取更多的光资源(黄修麟等,2011)。

本研究表明,SLA 随着南川木波罗苗龄的增加呈先增加后降低趋势,1~3年生幼苗当年生叶 SLA 逐渐增加,这期间的幼苗比较矮小,植物体只有增加叶面积来获取更多的光源,满足自身的生长代谢;3~5年生幼苗当年生叶 SLA 则逐渐降低。各龄级1年生叶与当年生叶的变化趋势相似,只是最大值出现在2年生幼苗,由于随苗龄增加幼苗在快速长高,叶片通常采取增加叶片厚度的方式来适应较强的光环境,从而表现出较低的 SLA。这表明 SLA 的变化与苗龄有关,与类似研究结果相似(张林等,2008)。苗龄小的树木具有较高的 SLA,可能是因为幼龄树木叶片 SLA 和叶片含水率较大,而且具有较强的可塑性,体现了幼树对光资源利用能力,因而

具有较高的生长代谢活力(张林等,2008)。不同叶龄叶片含水率有差异,含水率高的叶片具有较强的可塑性,当年生叶 SLA 多数大于1年生叶 SLA,这与张旺锋等(2005)的研究结果相同。SLA 大小与植被型有关,落叶阔叶树种的 SLA 最大,阔叶灌木和常绿阔叶树种居中,针叶树种最小(李凯等,2011)。SLA 与植物的生活型有关,李玉霖等(2005)的研究表明,1年生植物的 SLA 大于多年生植物的 SLA。此外,植物体 SLA 大小还与其生境有关(张林等,2008;郑志兴等,2011)。

LDMC 是反映植物生态行为差异的又一叶片特征。与 SLA 类似,LDMC 可以反映植物获取资源的能力。LDMC 与植物叶片年龄、叶片位置、及植物生境有关(张旺锋等,2005;于龙凤等,2009)。本研究结果得出相似结论,南川木波罗幼苗1年生叶 LDMC 均高于当年生叶 LDMC,5年生幼苗 LDMC 均高于其余各龄级。这表明叶片密度随苗龄和叶龄增加呈增加趋势。SLA 与 LDMC 随叶龄的变化与矿质元素在植物体内的循环利用有关,随叶龄的增加,叶片含水率降低,营养元素从老叶转移到新叶,光合速率下降,而钙离子和一些次生代谢物则在老叶中沉积,导致叶内组织密度增加,导致 LDMC 增加,SLA 降低(Kayama *et al.*,2002)。

南川木波罗幼苗不同龄级构件水平上生物量投资存在一定的“偏斜”现象,但偏斜程度有所差异,导致差异的原因有待进一步深入研究。偏斜现象直接影响了各构件生物量占总生物量比率的变化。幼苗叶片比叶面积和叶片干物质含量同一龄级不同叶龄呈相反的变化趋势,这主要是受叶片含水率变化的影响,是否还受其他因素影响,有待进一步讨论。

本研究由于所选的幼苗年龄差距小,存在一定的局限性,未来研究应加大苗木年龄之间的差距。

参考文献:

- Atkin OK, Tjoelker MG. 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature[J]. *Trend Plant Sci*, **8**(7): 343-351
- Davis MA, Bier L, Bushelle E, *et al.* 2005. Non-indigenous grasses impede woody succession[J]. *Plant Ecol*, **178**(2): 249-264
- Grime JP, Thompson K, Hunt R, *et al.* 1997. Integrated screening validates primary axes of specialization in plants[J]. *Oikos*, **79**: 259-281
- Guo N(郭娜), Liu JQ(刘剑秋). 2011. A review of research on plant biomass(植物生物量研究概述)[J]. *Subtrop Plant Sci* (亚热带植物科学), **40**(2): 83-88

- Han ZM(韩忠明), Han M(韩梅), Wu JS(吴劲松), *et al.* 2006. Modules biomass structure and growth pattern of *Acanthopanax senticosus* population in different habitats(不同生境下刺五加种群构件生物量结构与生长规律)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **17**(7): 164—168
- Huang XL(黄修麟). 2011. Biomass and its distribution pattern of different ages of *Magnolia officinalis* medicinal forest(不同林龄厚朴药用林生物量分布格局研究)[J]. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业学报), **23**(1): 93—96
- Kayama M, Sasa K, Koike T. 2002. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan[J]. *Tree Physiol*, **22**(10): 707—716
- Larcher W. *Physiological Plant Ecology*[M]. 3rd Edit. New York, Berlin, Heidelberg, Aufl; Springer
- Li G, Yang D, Sun S. 2008. Allometric relationships between lamina area, lamina mass and petiole mass of 93 temperate woody species vary with leaf habit, leaf form and altitude[J]. *Funct Ecol*, **22**(4): 557—564
- Li K(李凯), Xiang WH(项文化). 2011. Comparison of specific leaf area, SPAD value and seed mass among subtropical tree species in hilly area of central Hunan, China(湘中丘陵区 12 个树种比叶面积、SPAD 值和种子干质量的比较)[J]. *J Centr South Univ For & Technol* (中南林业科技大学学报), **31**(5): 213—218
- Li YQ(黎燕琼), Zheng SW(郑绍伟), Gong GT(龚固堂), *et al.* 2010. Biomass and its allocation of undergrowth *Vitex negundo* L. in different age classes of mixed cypress forest(不同年龄柏木混交林下主要灌木黄荆生物量及分配格局)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **30**(11): 2 809—2 818
- Li YS(李玉霖), Cui JY(崔建垣), Su YZ(苏永中). 2005. Specific leaf area and leaf dry matter content of some plants in different dune habitats(不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **25**(2): 304—311
- Luo HG(罗宏果), Wang HJ(王红娟). 2012. Wild resources status and ex-situ conservation of *Artocarpus nanchuanensis* (南川木波罗野生资源现状与迁地保护)[J]. *South Chin Agric* (南方农业), **6**(11): 31—32
- Mao W(毛伟), Li YS(李玉霖), Zhao XY(赵学勇), *et al.* 2009. Response of leaf traits of three Chenopodiaceae plants to soil nutrients, water content and plant density(3 种藜科植物叶特性因子对土壤养分、水分及种群密度的响应)[J]. *J Des Res* (中国沙漠), **29**(3): 468—473
- Ninemet U, Portsmouth A, Tena D, *et al.* 2007. Do we underestimate the importance of leaf size in plant economics? Disproportional scaling of support costs within the spectrum of leaf physiology[J]. *Ann Bot (Lond)*, **100**(2): 283—303
- Reich PB, Wright IJ, Cavender-bares J. 2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies[J]. *Internat J Plant Sci*, **164**(3): 143—164
- Sun R(孙容), Hao PY(郝平一), Liu HF(刘华芳). 2005. Artificial reproduction technology research of *Artocarpus nanchuanensis* (南川木波罗人工繁殖技术研究)[J]. *For Sci Technol Chongqing* (重庆林业科技), **1**: 32—33
- Sun R(孙容). 2011. Germplasm resources conservation and the exploitation countermeasures of *Artocarpus nanchuanensis* (南川木波罗种质资源保护与开发利用对策)[J]. *J Green Sci Technol* (绿色科技), **9**: 20—21
- Tilman D. 1990. Constraints and tradeoffs towards a predictive theory of competition and succession[J]. *Oikos*, **58**: 3—15
- Vendramini F, Diaz S, Gurvich DE, *et al.* 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species [J]. *New Phytol*, **154**(1): 147—157
- Wang BS(王伯荪), Li MG(李鸣光), Peng SL(彭少麟). 1995. *Phytogeography* (植物种群学) [M]. Guangzhou (广州): Guangdong Higher Education Press(广东高等教育出版社): 8—27
- Westoby M, Falster DS, Moles AT, *et al.* 2002. Plant ecological strategies: Some leading dimensions of variation between species [J]. *Ann Rev Ecol Syst Atics*, **33**: 125—159
- Wright IJ, Ackerly DD, Bongers F, *et al.* 2007. Relationships among ecologically important dimensions of plant trait variation in seven Neotropical forests[J]. *Ann Bot*, **99**(5): 1 003—1 015
- Wang S(汪松), Xie X(解焱). 2004. *China Species Red List* (中国物种红色名录) [M]. Beijing (北京): Higher Education Press (高等教育出版社): 316
- Yin J(尹婧), Qiu GY(邱国玉), He F(何凡). 2008. Leaf area characteristics of plantation stands in semi-arid loess hill-gully region of China(半干旱黄土丘陵区人工林叶面积特征)[J]. *J Plant Ecol* (植物生态学报), **32**(2): 440—447
- Yin SY(殷淑燕), Liu YC(刘玉成). 1997. Biomass and leaf area dynamics of modular populations in *Gordonia acuminata* (大头茶构件种群生物量及叶面积动态)[J]. *Acta Phyto Ecol Sin* (植物生态学报), **21**(1): 83—89
- Yu LF(于龙凤), Li FH(李富恒), An FQ(安福全), *et al.* 2009. Relation between leaf morphology features and dry matter content in different site of node of tomatoes(番茄不同节位叶片形态特征与干物质含量的关系)[J]. *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), **40**(6): 58—62
- Zhang L(张林), Luo TX(罗天祥), Deng KM(邓坤枚), *et al.* 2008. Vertical variations in specific leaf area and leaf dry matter content with canopy height in *Pinus yunnanensis* (云南松比叶面积和叶干物质含量随冠层高度的垂直变化规律)[J]. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), **30**(1): 40—44
- Zhang WF(张旺锋), Fan DY(樊大勇), Xie ZQ(谢宗强), *et al.* 2005. The seasonal photosynthetic responses of seedlings of the endangered plant *Cathaya argyrophylla* to different growth light environments(濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应)[J]. *Biodivers Sci* (生物多样性), **13**(5): 387—397
- Zheng ZX(郑志兴), Sun ZH(孙振华), Zhang ZM(张志明), *et al.* 2011. Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys(干热河谷植物叶片、树高和种子功能性状比较)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **31**(4): 982—988