

文章编号: 1001-1498(2006)05-0660-05

## 生长季节中泡桐叶形态特征及其相关性研究

李素艳<sup>1</sup>, 胡昊<sup>1</sup>, 孙向阳<sup>1</sup>, 王保平<sup>2</sup>, 乔杰<sup>2</sup>

(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 国家林业局泡桐研究开发中心, 河南 郑州 450003)

关键词: 泡桐; 叶形态特征; 相关分析

中图分类号: S792.43

文献标识码: A

### Paulownia Leaf Modal Traits and Their Correlation in a Whole Growth Season

LI Su-yan<sup>1</sup>, HU Hao<sup>1</sup>, SUN Xiang-yang<sup>1</sup>, WANG Bao-ping<sup>2</sup>, QIAO Jie<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Beijing Forestry University, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 2. Paulownia Research and Development Center of State Forestry Administration, Zhengzhou 450003, Henan, China)

**Abstract:** With the method of long-term experiment and statistical analysis, time variation of leaf traits and their correlations in a whole growth season were studied. The result showed that: (1) leaf area increased with growth time prolonging and the curve took on S pattern. Its relationship could be described with  $y = e^{(5.52893 - 5.104/x)}$ . The specific leaf weight increased with growth time prolonging and its model was cubic  $y = 0.000002x^3 - 0.0008x^2 + 0.0881x + 2.9421$ . Leaf water content in the growth season increased in the model  $y = -0.0001x^3 + 0.0319x^2 - 3.6163x + 424.56$ . Season dynamics of leaf fresh weight in the growth season was S pattern and its model was  $y = e^{(1.7708 - 36.299/x)}$ . Leaf dry weight was  $y = 0.0425x^{0.6971}$ . Dry / fresh ratio was  $y = 0.00000009x^3 - 0.0026x^2 + 0.262x + 16.946$ . (2) a significant positive correlation existed between leaf dry weight and leaf area. Their relationship could be described with  $y = 0.0081x - 0.2536$ . Relation of leaf fresh weight and leaf area was significant positive correlation and its model was  $y = 0.0207x^{1.0203}$ . Leaf dry weight and leaf water content was significant negative correlation and its model was  $y = 7.7106e^{-0.0027x}$ . With the method of municipal statistical analysis, it confirmed that the relation among the leaf dry weight, leaf area, leaf water content, specific leaf weight, dry / fresh ratio was  $y(\text{leaf dry weight}) = 0.0066x_1(\text{leaf area}) + 0.00322x_2(\text{leaf water content}) + 0.18795x_3(\text{specific leaf weight}) + 0.03527x_4(\text{dry/fresh ratio}) - 3.0712$ . (3) it proved that season variation of paulownia leaf modal traits closely related to the local climate. The other traits and their mechanisms needed further study.

**Key words:** paulownia; leaf modal traits; correlation

叶面积、叶干质量、叶鲜质量、叶含水率与比叶质量等是植物叶片重要的生理生态学指标,其数量动态及特征关系与植物的生长节律具有密切的相关关系。目前国外一些学者曾对一些植物叶片的生理生态学特征进行过研究,忽视了叶片特征与植物生长发育及其相关性的研究<sup>[1-10]</sup>。泡桐 (*Paulownia*

*spp.*)作为我国著名的速生、乡土树种,它在我国生态环境建设、林木与碳汇生产中发挥着越来越重要的作用<sup>[11]</sup>。近年来我国一些学者研究了泡桐叶片水势情况<sup>[12]</sup>,王保平等<sup>[13-16]</sup>对泡桐修枝接干和泡桐生长季节中叶养分吸收变化进行过研究,但泡桐叶特征的形态特征及其相互关系鲜见报道。本文研

收稿日期: 2005-09-15

基金项目: 国家“十五”攻关课题(2004BA515B03)

作者简介: 李素艳(1968—),女,北京林业大学在读博士生,主要研究方向:森林生态水文。

究了一个生长周期内泡桐叶形态特征的变化及其相关关系,以期探讨泡桐的生理生态特性,为进一步揭示植物叶特征及植物相关生长提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验地位于河南省商丘市梁园区国有林场,  $34^{\circ} 33' 18'' \sim 34^{\circ} 34' 28'' \text{ N}$ ,  $115^{\circ} 34' 44'' \sim 115^{\circ} 40' 53'' \text{ E}$ ,属暖温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热多雨,年平均气温  $14.1^{\circ}\text{C}$ ,最高气温  $43.6^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-13.9^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量和蒸发量分别为  $711.9 \text{ mm}$ 、 $1756 \text{ mm}$ ,无霜期  $213 \text{ d}$ 。

土壤由黄河泛滥泥沙沉积形成,属粉沙土,以中孔隙为主,土壤密度  $1.40 \sim 1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,保水保肥性能差,地下水位  $1.5 \sim 3 \text{ m}$ ; pH 值为  $8.2 \sim 9.2$ ,有机质、全 N、速效 P 含量分别低于  $1.30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $1.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $3.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

试验林采用豫林一号泡桐 (*Paulownia fortunei* 'Yulinensis' Wang) 2年生苗,1997年春营造,栽植株行距  $5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 。

## 2 研究内容和方法

(1)选择标准木:在 7年生豫林一号泡桐人工林地抽取 3株典型树作为标准木。

(2)取样部位:在标准木的上层中部选取阳位枝的第 3位叶,每株取一片叶片。

(3)取样时间:从 2002年 5月 17日泡桐出叶第 15天开始对标准木的整个生长期做跟踪测定直到 11月 12日落叶。

(4)测量项目:测量泡桐叶片的鲜质量、干质量。叶面积测量采用打孔称质量法。叶含水率测量采用烘干法。计算公式为:含水率 = (鲜质量 - 干质量) / 干质量  $\times 100\%$

(5)数据处理和分析采用 Excel 2003 和 SPSS12.0 软件。

## 3 结果和分析

### 3.1 叶面积的随生长时间的变化

生长季节内,泡桐单叶面积随生长时间的增加呈增大趋势(见图 1)。从出芽 27—221 d,泡桐叶面积变动范围为  $62.59 \sim 455.33 \text{ cm}^2$ ,平均增长幅度达  $2.02 \text{ cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ 。生长初期泡桐叶面积较小,随着叶片的生长发育,叶面积逐渐增大,在泡桐出叶 88 d 时,叶面积增大开始平稳,此时值 6月底 7月初,泡

桐叶片生长稳定。泡桐出叶 150 d 时,大约 9月初,泡桐叶片速生期结束,叶片生长进入衰老期,其叶面积变化更加平缓。叶面积与生长时间的相关关系可用 S型  $y = e^{(5.5289 - 35.104/x)}$  ( $df = 93$ ,  $F = 134.83^{**}$ )模型描述,通过此模型计算求得泡桐单叶面积最大值为  $214.88 \text{ cm}^2$ ,这也从另一个侧面反映了泡桐有强大的光合能力。从总体上看,泡桐单叶面积随生长时间的延长而逐渐增加,前期增加较快后期缓慢,最后几乎不再增加。

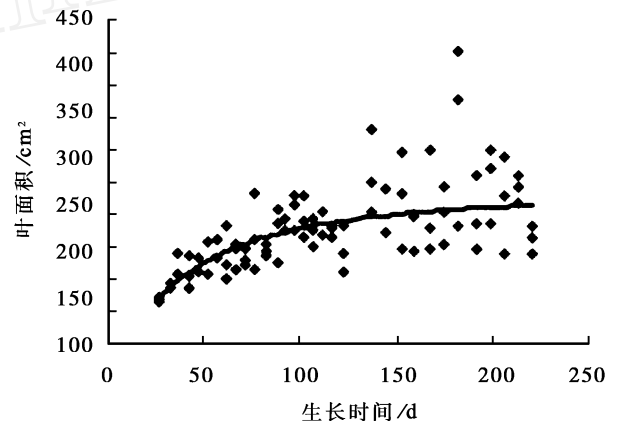


图 1 叶面积随生长时间的变化

### 3.2 比叶质量随生长时间的变化

结果表明,生长季节内,从泡桐出芽 27—221 d,泡桐比叶质量变化范围为  $0.86 \sim 4.18 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,平均为  $1.87 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,平均增加幅度为  $0.017 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。虽然整体上比叶质量随生长时间的增加而增加,但不同阶段其动态有所不同。泡桐生长初期,叶片的比叶质量随着生长时间的延长而增加且其增加较快;77 d至 145 d是比叶质量增加减缓的阶段,此时正值泡桐叶片的旺盛生长阶段,叶片面积扩展速度超过干物质积累速度,导致比叶质量的减小。145 d后,泡桐叶片生长稳定至停止,干物质积累速率超过叶面积增大速率,因此比叶质量再次快速增加。泡桐比叶质量的生长时间变异曲线可用 cubic模型  $y = 0.000002x^3 - 0.0008x^2 + 0.0881x + 2.9421$  ( $df = 91$ ,  $F = 56.24^{**}$ )拟合(图 2),通过求导求得比叶质量的临界稳定生长时间为 133 d,此时比叶质量  $4.07 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,即泡桐生长在 133 d 左右时,比叶质量变动程度较小。

### 3.3 叶含水率随生长时间的变化

泡桐叶片的含水率反映着泡桐器官的水分利用情况,对探讨泡桐的抗逆性很有意义。从 5月 17日泡桐出芽 27 d到 11月 12日 221 d,泡桐叶片的含水

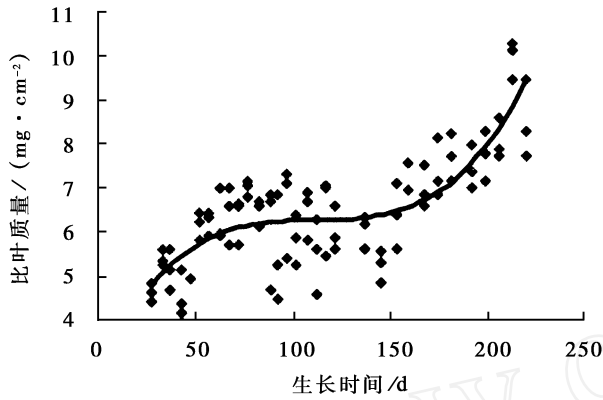


图 2 比叶质量随生长时间的变化

率范围为 139.07% ~ 386.27% (图 3), 平均为 267.95%。生长初期, 泡桐幼叶含水率相对较高。在出芽 42 d 时, 达到最高值, 之后随着生长发育的需要, 叶片迅速吸收积累大量物质而吸收水分情况变化不大致使含水率不断下降, 不过在叶片衰老前夕这种下降比较平稳, 因为叶片生长的速度与干物质积累的速度比例基本相近。叶片进入衰老阶段, 含水率降低迅速。泡桐落叶前夕, 生长时间为 214 d 时, 泡桐叶片含水率为 139.07%, 达到全生长季节的最低点。对比分析了多种模型拟合泡桐叶片的含水率与生长时间的相关关系, 结果表明指数模型  $y = -0.0001x^3 + 0.0319x^2 - 3.6163x + 424.56$  ( $df=91, F=80.98^{**}$ ) 可以很好地描述含水率与生长时间的相关关系。

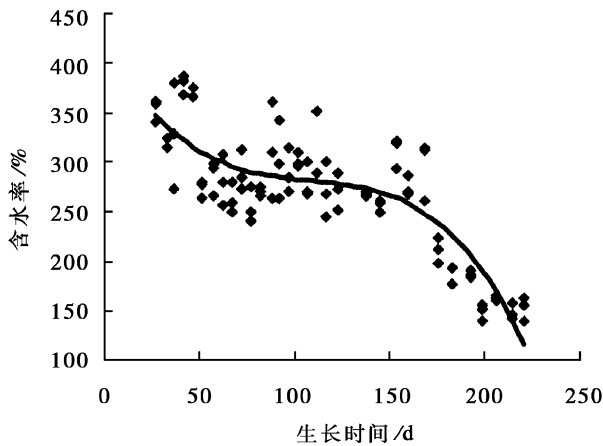


图 3 叶含水率随生长时间的变化

### 3.4 叶鲜质量随生长时间的变化

泡桐叶片叶鲜质量的时间变化如图 4。自生长 27 d 到 221 d, 泡桐叶鲜质量由 1.27 g 增加到 9.68 g, 增幅为  $0.043 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。可以看出, 泡桐叶片的叶

鲜质量与增长幅度均比较大, 这进一步显示了泡桐的速生特性。泡桐叶鲜质量随生长时间的增加而增加, 最后趋于稳定, 这与泡桐叶片的生长发育过程基本一致。生长初期, 泡桐叶片生长旺盛致使叶鲜质量迅速增加, 生长后期叶片进入衰老期停止生长, 叶鲜质量几乎不变。从总体上看, 生长初期叶鲜质量最小, 生长季节末叶鲜质量最大。生长季节内泡桐叶片的叶鲜质量的动态呈 S 型, 其与生长时间的关系可以用  $y = e^{(1.7708 - 36.299/x)}$  ( $df = 93, F = 120.62^{**}$ ) 模型描述。

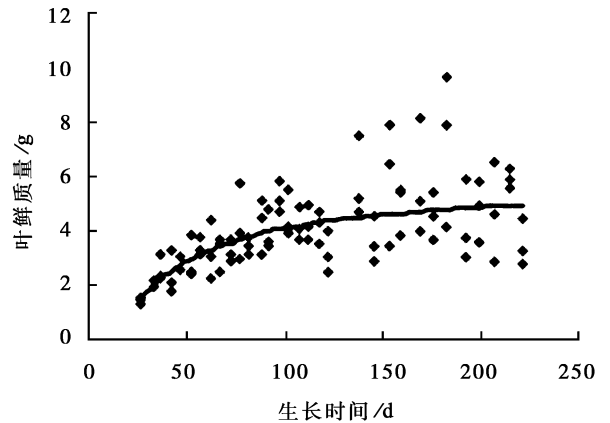


图 4 叶鲜质量随生长时间的变化

### 3.5 叶干质量随生长时间的变化

研究表明泡桐叶干质量随生长时间的增加而逐渐递增 (图 5), 测定时间内由 0.28 g 增加到 3.50 g, 其平均增幅为  $0.017 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。生长初期, 从 42 d 到 97 d, 其增加较为迅速, 从 97 d 到 145 d 的阶段, 增长比较平缓, 145 d 至落叶再次增长迅速。从整体上看, 泡桐单叶干质量在泡桐生长过程中的动态为 POWER 型:  $y = 0.0425x^{0.6971}$  ( $df = 93, F =$

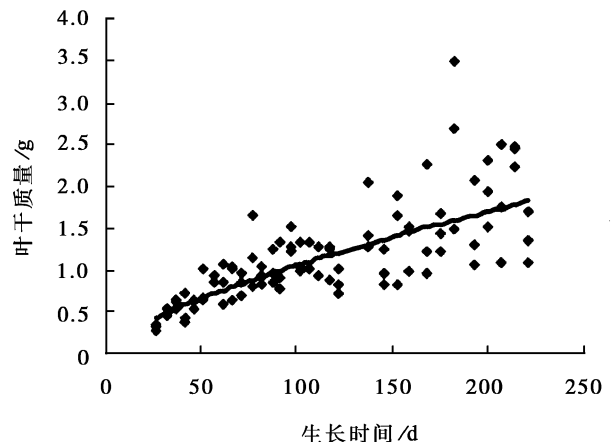


图 5 叶干质量随生长时间的变化

204.33<sup>\*\*</sup>),可见生长季节内泡桐叶干质量是一直递增的。

### 3.6 干鲜质量比随生长时间的变化

从图 6 可以看出,泡桐叶片的干鲜质量比的时间动态呈指数关系。从泡桐出叶至生长 168 d,泡桐叶片的干鲜质量比的变化不大,标志着泡桐生长速度与干物质积累速度相当。168 d 后泡桐生长进入缓慢时期,干物质逐渐积累,导致干鲜质量比迅速提高。落叶前夕泡桐叶片干鲜质量比达到最高值 40.15%。 $y = 0.00000009x^3 - 0.0026x^2 + 0.262x + 16.946$  ( $df = 91, F = 136.61^{**}$ )模型描述。

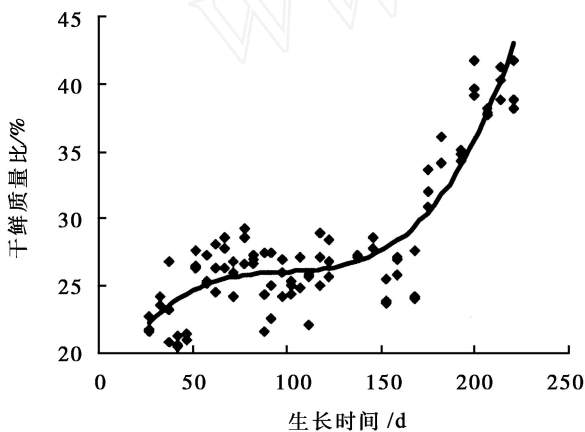


图 6 干鲜质量比随生长时间的变化

### 3.7 泡桐叶片特征的相关关系

生长季节中泡桐叶干质量与叶面积呈现极显著正相关 ( $n = 95, r = 0.9270^{**}$ ),关系可以用直线方程  $y = 0.0081x - 0.2536$  ( $df = 93, F = 567.94^{**}$ ) 进行很好的描述 (图 7)。叶片的叶鲜质量与叶面积呈极显著正相关 ( $n = 95, r = 0.9517^{**}$ ),其相关关系可以用 POWER 乘幂模型  $y = 0.0207x^{1.0203}$  ( $df = 93, F = 1215.07^{**}$ ) 表述 (图 8)。叶鲜质量与含水率的关系为极显著负相关 ( $n = 95, r = -0.3911^{**}$ ),可以用指数模型  $y = 7.7106e^{-0.0027x}$  ( $df = 93, F = 20.82^{**}$ ) 描述 (图 9)。叶干质量与含水率呈极显著负相关 ( $n = 95, r = -0.6836^{**}$ ),可以用指数模型  $y = 4.6117e^{-0.0055x}$  ( $df = 93, F = 1215.07^{**}$ ) 描述 (图 10)。用 SPSS 软件以叶干质量为因变量其余指标为自变量用逐步回归方法进行分析,得方程:  $y$  (叶干质量) =  $0.0066x_1$  (单叶面积) +  $0.00322x_2$  (叶含水率) +  $0.18795x_3$  (比叶质量) +  $0.03527x_4$  (干鲜比) -  $3.0712$  ( $df = 93, F = 1674.04^{**}$ ),叠代过程中由于叶鲜质量与叶干质量的相关系数 ( $n = 95, r = 0.914$

6<sup>\*\*</sup>)小于叶面积与叶干质量的相关系数,从而使叶鲜质量被叶面积取代。

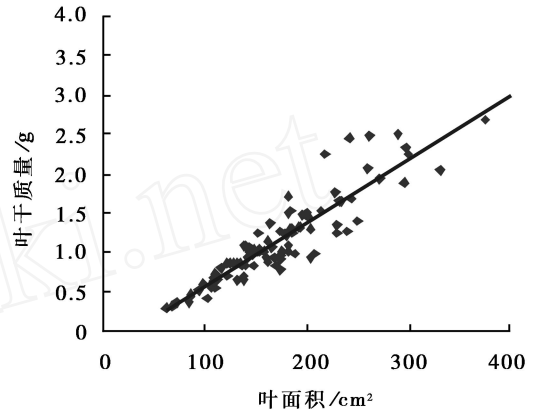


图 7 叶干质量与叶面积的关系

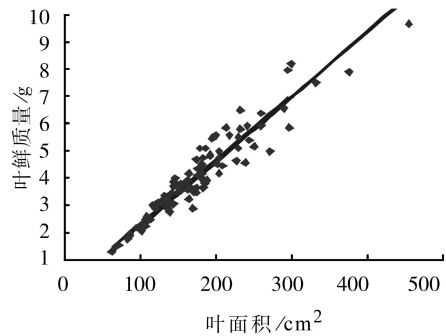


图 8 叶鲜质量与叶面积关系

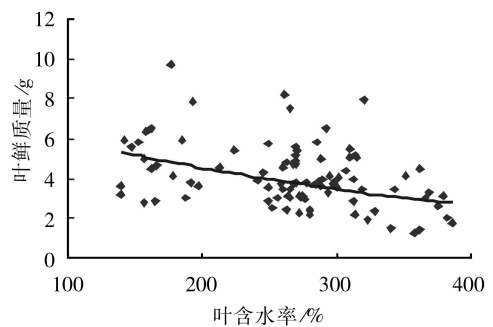


图 9 叶鲜质量与叶含水率的关系

## 4 结论与讨论

(1)生长季节内泡桐叶特征变化与生长时间以及不同叶特征间的数学关系,反映了泡桐自身的良好生理生态特性,同时也从某些方面揭示了泡桐阳性、速生、生境广泛等优良品质的内在机理<sup>[11,12,17]</sup>。泡桐叶特征的生长时间变化与叶生长发育过程密切相关,且随着叶生理特征变化而呈现有规律性的变化,且这种规律性的变化动态可以用良好的数学模

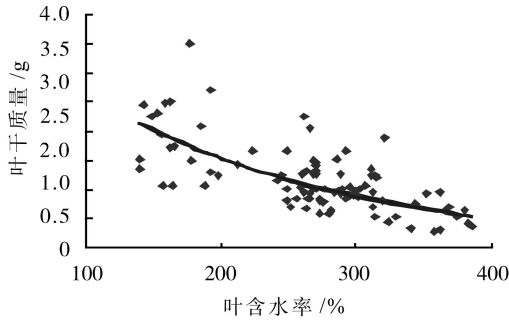


图 10 叶干质量与含水率的关系

型进行描述。同时大量研究表明,植物体各部位具有密切的相关性,表现为相互促进或相互抑制,其主要与养料供应和激素产生量有关<sup>[17-19]</sup>。不同的叶特征间相关性良好,而且关系也可以用数学模型表达,揭示不同叶特征的生态一致性,同时也表明了叶特征相互作用的宏观机制。

(2)叶片是植物通过光合作用进行干物质积累的主要器官,诸多研究表明叶特征不仅仅是植物内部生理对外界环境压迫的一种生态反映,其更多的影响或参与植物的新陈代谢。本研究表明,生长季节内泡桐叶特征随生长时间的变化与季节变化规律趋于一致,同时也符合多数植物个体的生长发育特征,在某些方面与国内外诸多研究结果基本一致<sup>[1-10]</sup>。

(3)本文主要研究了一个生长季节内速生人工林叶形态特征的季节变化规律与叶特征间的数学关系,对叶生理特征没有涉及,也没有深刻阐述这些数学模型的内在生物学依据。因此,针对这些数学关系及模型的生物学意义还需要深入探讨,对叶特征的季节变化及产生规律性变异的内在机理还需要进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Gamier E, Laurent G, Bellmann A, *et al* Consistency of species ranking based on functional leaf traits[J]. *New Phytologist*, 2001, 152: 69 ~ 83
- [2] Vendramini F, Diaz S, Gurvich D, *et al* Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J]. *New Phytologist*, 2002, 154: 147 ~ 157
- [3] Meziane D, Shipley B. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability[J]. *Plant Cell Environments*, 1999, 22: 447 ~ 459
- [4] Reich P B, Ellsworth D S, Walters M B. Leaf structure (specific leaf area) modulates photosynthesis-nitrogen relations: evidence from within and across species and functional groups[J]. *Funct Ecol*, 1998, 12: 948 ~ 958
- [5] Poorter H, Evans J R. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area[J]. *Oecologia*, 1998, 116: 26 ~ 37
- [6] Poorter H, Renkes C. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate[J]. *Oecologia*, 1990, 83: 553 ~ 559
- [7] Wright I J, Westoby M. Understanding seedling growth relationships through specific leaf area and leaf nitrogen concentration: generalizations across growth forms and growth irradiance[J]. *Oecologia*, 2001, 127: 21 ~ 29
- [8] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 2004
- [9] Luo T X, Luo J, Pan Y D. Leaf traits and associated ecosystem characteristics across subtropical and timberline forests in the Gongga Mountains, Eastern Tibetan Plateau[J]. *Oecologia*, 2005, 142: 261 ~ 273
- [10] 范晶,赵惠勋,李敏. 比叶重及其与光合能力的关系[J]. *东北林业大学学报*, 2003, 31(5): 37 ~ 39
- [11] 蒋建平. 泡桐栽培学[M]. 北京:中国林业出版社, 1990
- [12] 杨跃军,孙向阳,王保平,等. 泡桐叶片的水分特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 1999, 21(6): 28 ~ 34
- [13] 王保平,李吉跃,文瑞君,等. 修枝促接干对泡桐年生长期律的影响研究[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(4): 11 ~ 15
- [14] 王保平,李宗然,文瑞君,等. 泡桐修枝促接干技术及其效应的研究[J]. *林业科学研究*, 2003, 16(2): 183 ~ 188
- [15] 王保平,李吉跃,孙志强,等. 修枝促接干对泡桐年枝生长动态影响的研究[J]. *林业科学研究*, 2005, 18(5): 609 ~ 614
- [16] 王保平,李素艳,孙向阳,等. 泡桐生长季节中叶片养分吸收变化规律的研究[J]. *林业科学研究*, 2005, 18(2): 120 ~ 124
- [17] 李宗然. 泡桐研究进展[M]. 北京:中国林业出版社, 1995
- [18] Ackerly D, Dudley S, Sultan S, *et al* The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions[J]. *BioScience*, 2000, 50(11): 979 ~ 995
- [19] 韩文轩,方精云. 相关生长关系与生态学研究中的尺度转换[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(4): 583 ~ 593