

# 不同品系福建山樱花叶功能性状研究

洪陈洁<sup>1,2</sup>, 林晗<sup>1,2</sup>, 洪伟<sup>1,2</sup>, 王珉<sup>2</sup>, 洪滔<sup>1,2\*</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福州 350002; 2. 福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室, 福州 350002)

**摘要:** 为了解福建山樱花(*Prunus campanulata*)的叶片功能性状,对4个品系的叶形指数、比叶面积、叶绿素含量以及叶干物质含量进行了研究。结果表明,福建山樱花不同品系间的叶功能性状都存在显著差异。叶功能性状间存在一定的相关性,叶形指数与叶干物质含量存在显著负相关( $P<0.05$ );比叶面积与叶绿素含量存在极显著正相关( $P<0.01$ ),其与叶干物质含量呈极显著负相关( $P<0.01$ )。经过综合评价,池边3号品系的叶绿素含量、叶干物质含量较大,花期长,花量稠密,可推荐作为园林观赏和行道树种。

**关键词:** 山樱花; 叶形指数; 比叶面积; 叶绿素; 叶干物质

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.02.011

## Leaf Functional Characteristics in Different Strains of *Prunus campanulata*

HONG Chen-jie<sup>1,2</sup>, LIN Han<sup>1,2</sup>, HONG Wei<sup>1,2</sup>, WANG Min<sup>2</sup>, HONG Tao<sup>1,2\*</sup>

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory of Fujian Universities for Forest Ecological System Process and Management, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** In order to understand the leaf functional traits in different strains of *Prunus campanulata*, the leaf index, specific leaf area, chlorophyll content and leaf dry matter content in four strains were studied. The results showed that there were significant differences in leaf characteristics among the four strains. Leaf index had negative correlation with leaf dry matter content ( $P<0.05$ ). Specific leaf area had significant positive correlation with chlorophyll content ( $P<0.01$ ) while had significant negative correlation with leaf dry matter content ( $P<0.01$ ). By comprehensive evaluation, the strain of CB3 has high chlorophyll and leaf dry matter contents, long flowering and dense flowers, so that it's recommended as an ornamental and street tree species.

**Key words:** *Prunus campanulata*; Leaf index; Specific leaf area; Chlorophyll; Leaf dry matter

叶片是植物进行光合作用的主要器官,是初级生产者将自然界中的能量进行转换利用的纽带。植物叶片性状的特征直接影响到植物的基本行为和功能<sup>[1]</sup>。叶片表面积决定了植物转化和吸收太阳辐射的能力,从而影响光合作用的效率。同时,叶片表面积也是影响植物生长、果实品质的重要生理和形态指标<sup>[2]</sup>。叶绿素是植物进行光合作用的主要载体,其相对含量是植物营养胁迫、光合作用能力

和植物发育阶段的主要指示剂<sup>[3]</sup>。因此,对研究植物的生物学和生理学特性具有重要意义<sup>[4]</sup>。

福建山樱花(*Prunus campanulata*)为蔷薇科(Rosaceae)李属的落叶乔木,是冬季和早春的优良花木。在冬季温暖、霜冻较少的地区,一般都在2-3月开放,花色绯红。山樱花植株结构优美,叶片油亮,花朵鲜艳亮丽,是园林绿化中优秀的观花树种。山樱花常被用作行道树,广泛用于绿化道路、

收稿日期: 2014-06-26

接受日期: 2014-08-18

基金项目: 福建省科技厅重点项目(2011N0002); 福建农林大学重点大学建设项目(6112C0391)资助

作者简介: 洪陈洁(1991~),女,硕士研究生,从事森林培育研究。E-mail: hi\_cooljane@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: henrihong@163.com

公园、庭院、小区、河堤等,成片种植时有更好的观赏效果。尤其在冬末初春繁花满树,美化效果十分明显。山樱花一般多用嫁接方式进行繁殖,移栽成活率高。福建山樱花广泛分布于闽、浙、粤、桂、台等地区,但目前大陆地区的福建山樱花多处于野生状态,育成品种较少,只有深红花系的雾社种、粉红花系竹子湖种、重瓣花系的 *P. campanuta* ‘Double-flowered’ 等 20 多个品种<sup>[5]</sup>。花色较单调,只有桃红色、绯红色或暗红色 3 类。栽培品种以重瓣花系的品种最为著名,其叶卵状椭圆形或倒卵状椭圆形,尖锐重锯齿缘;花重瓣,绯红色<sup>[6]</sup>。

目前,对树种的叶片性状<sup>[7-10]</sup>,叶绿素相对含量与营养元素的关系已有研究报道<sup>[11-12]</sup>,但对树种的叶片性状与叶绿素相对含量的关系还鲜见报道。叶片是植物光合作用的主要器官,其功能性状与叶绿素含量的关系,对于了解植物生长发育以及对逆境的影响具有重要意义。为此,本文选择福建山樱花为研究对象,探讨其叶片功能性状与叶绿素相对含量等的关系,为福建山樱花的生长与分布以及胁迫生境的耐受性等研究提供依据。

## 1 研究区概况

试验地设在福建省连江县丹阳镇。连江县地处东海之滨,地理位置位于 26°07′~26°27′ N, 119°17′~120°31′ E。该地属中亚热带海洋性季风气候,气候温暖,四季分明,夏长冬短,雨量适中,灾害性天气较常发生。全县年均气温为 19.1℃,年相对湿度为 82%,年均日照时数为 1604.5 h, 7 月份长, 2 月份最短。年均降水量为 1551.5 mm,一般集中在 3-9 月。县内土壤属于华南红壤、砖红壤区,其中,红壤土是地带性土壤,分布最广。樱花园约有 0.67 hm<sup>2</sup>,种植 27 个品系的福建山樱花。挑选干形优美,冠形舒展,花朵或花序较大,色彩艳丽,形态精巧的品系进行研究。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

于 2014 年 3 月 9 日上午 9:00-11:30 采集福建山樱花(*Prunus campanulata*)的叶片。选取的 4 个品系分别为:农场 1 号(NC1)、池边 3 号(CB3)、三月白(SYB)、重瓣(HCB)。NC1 花色粉红,历年盛

花均在农历正月初一左右,盛花期约 15 d;CB3 较 NC1 推迟约 1 周,花期约 15 d,花量稠密;SYB 花色粉红偏白,历年盛花在 3 月 1 日左右,花量大、花序稠密,盛花约 8 d;HCB 通常 2 月下旬盛花,花期 10 d 左右,花量稀疏。每个品系分别选择生长健康、长势一致、光照均一的 5 株植株,每株的树冠分为冠内层、冠表层,每层按东、西、南、北 4 个方位进行取样,每层为 1 组(共 40 组),每组采集 12 片叶,每个品系共 120 片。将其装入预先准备好的样本袋内,做好标记备用。

### 2.2 叶绿素含量的测定

采用手持便携式叶绿素计 SPAD-502 (Minolta Co., Japan)测定叶片的叶绿素相对含量<sup>[11-12]</sup>,以 SPAD 值表示。

### 2.3 叶片形态参数测定

**叶片表面积的测定** 采用美国产的 CI-203 激光叶面积仪测定样品的叶面积(S),每片重复 3 次,以 cm<sup>2</sup> 表示。

**叶片重量的测定** 用电子分析天平称量叶片总鲜重(g),再将各组叶片放入 60℃ 的烘干箱中,烘干至恒重,取出,再次称量其总干重(g)。

**叶形指数(Leaf index, LI)** 测量样品的叶片长(L)和宽(D),并计算  $LI=L/D$ 。

**比叶面积(Specific leaf area, SLA)** 指叶片单位干重的叶表面积,  $SLA= \text{叶片表面积} / \text{叶片单位干重}$ ,以 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> 表示。

**叶干物质含量(Leaf dry matter content, LDMC)** 它是反映植物生态行为差异的一个叶片特征,可以表示为叶片干物质重量和叶片鲜重的比值<sup>[13]</sup>,  $LDMC (g g^{-1})= \text{叶片干重} / \text{叶片鲜重}$ 。

### 2.4 数据处理

采用 Excel 2003 软件和 SPSS 16.0 软件进行统计分析与数据处理。采用单因素方差法进行差异显著性分析,采用 Pearson 相关系数分析相关性。

## 3 结果和分析

### 3.1 叶形指数

叶形指数是反映叶片特征的重要指标之一,通过叶形指数可以推测叶片生长状况及生长规律<sup>[10]</sup>。

经分析,各品系福建山樱花的叶形指数存在极显著差异( $P<0.01$ )。从图1可以看出,平均叶形指数为NC1>SYB>HCB>CB3,其中NC1品系的最大(2.47),CB3品系的最小(2.26)。同一品系的同一植株中,除HCB品系外,其他品系均表现为冠表层叶片的叶形指数稍大于冠内层叶片的。

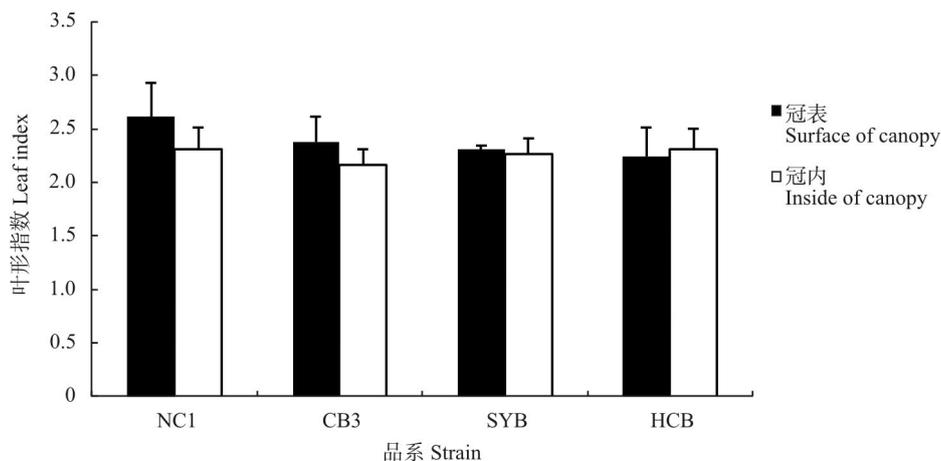


图1 山樱花的叶形指数

Fig. 1 Leaf index of *Prunus campanulata*

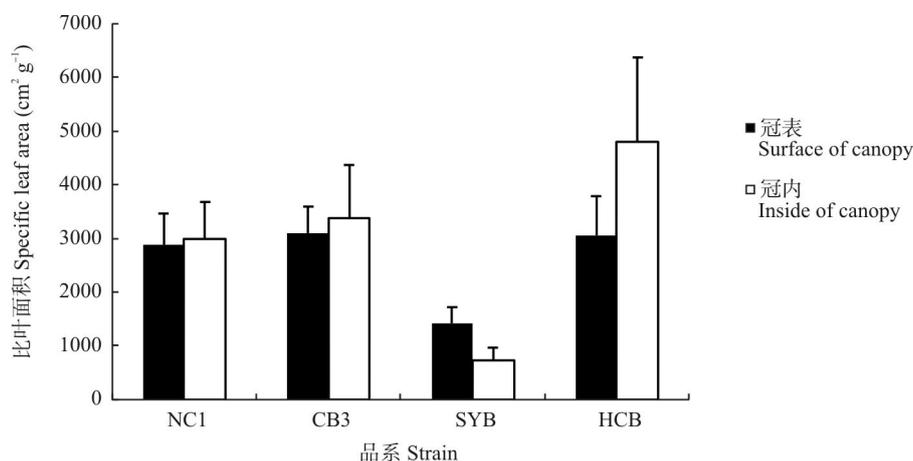


图2 山樱花的比叶面积

Fig. 2 Specific leaf area of *Prunus campanulata*

### 3.3 叶绿素含量

SPAD 值是衡量植物叶片的叶绿素相对含量及绿色程度的重要参数<sup>[3]</sup>。各品系间的 SPAD 值存在极显著差异( $P<0.01$ )。从图3可以看出,平均 SPAD 值为HCB>CB3>NC1>SYB,其中HCB品系的最大(32.865),SYB品系的最小(13.875)。同一品系的同一植株,冠表层叶片的 SPAD 值与冠内层的差异不显著。

### 3.2 比叶面积

比叶面积在各品系间存在极显著差异( $P<0.01$ )。从图2可以看出,平均比叶面积为HCB>CB3>NC1>SYB,以HCB品系的最大(3873),SYB品系的最小(1087)。同一品系的同一植株,大多表现为冠表层叶片的比叶面积小于冠内层叶片的。

### 3.4 叶干物质含量

叶干物质含量可以反映植物获取资源的能力,Willson 等<sup>[14]</sup>认为它是在资源利用分类轴上定位植物种类的最佳变量。从图4可以看出,叶干物质含量为SYB>CB3>HCB>NC1,其中SYB品系和CB3品系的高于4个品系的平均值(0.5303)。SYB品系(0.6054)比NC1品系(0.4500)高34.53%。同一品系的同一植株,都表现为冠表层叶片的干物质含量大

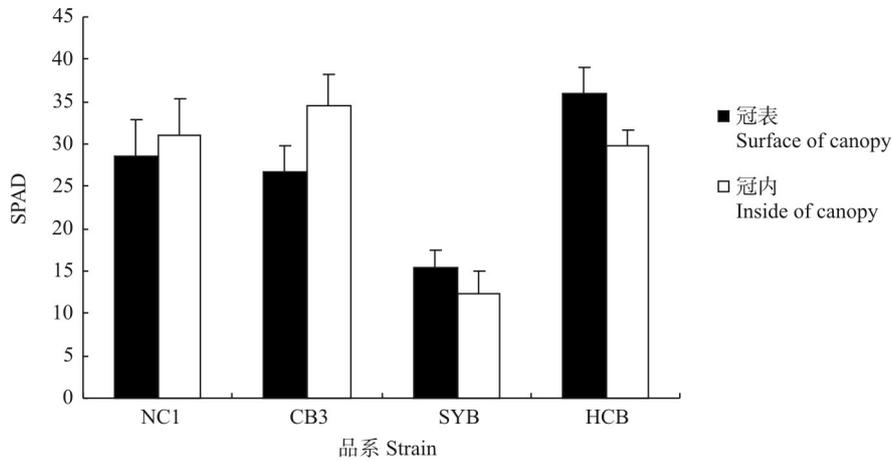


图3 山樱花叶片的 SPAD 值

Fig. 3 SPAD of *Prunus campanulata* leaves

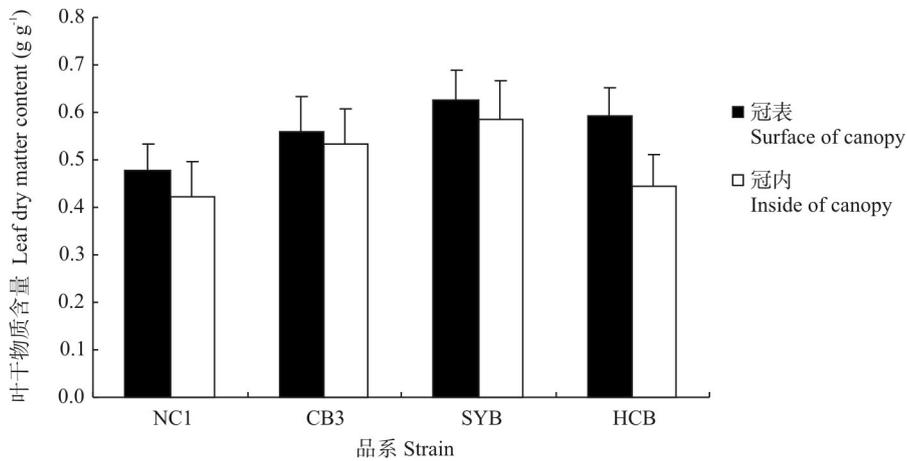


图4 山樱花的叶干物质含量

Fig. 4 Leaf dry matter content in *Prunus campanulata*

于冠内层叶片。

### 3.5 叶片功能性状间的相关性分析

在植物的生长发育过程中,叶片功能性状间通常存在相互促进或制约的关系。采用 SPSS 16.0 软件对叶片的功能性状进行 Pearson 相关性分析。由

表 1 可知,叶形指数(LI)与叶干物质含量(LDMC)间存在显著负相关( $P<0.05$ ),表现为叶形指数大的叶片,其叶干物质含量较小。比叶面积(SLA)与叶绿素含量(SPAD 值)间存在极显著正相关( $P<0.01$ ),与叶干物质含量(LDMC)间呈极显著负相关( $P<0.01$ )。比叶面积(SLA)大的叶片,其叶绿素含量也较大,但

表 1 叶片功能性状间的相关性分析

Table 1 Correlation analysis among leaf characters

	叶形指数 Leaf index	比叶面积 Specific leaf area	SPAD	叶干物质含量 Leaf dry matter content
叶形指数 Leaf index	1			
比叶面积 Specific leaf area	-0.044	1		
SPAD	-0.038	0.440**	1	
叶干物质含量 Leaf dry matter content	-0.220*	-0.463**	-0.155	1

$n=120$ ; \*:  $P<0.05$ ; \*\*:  $P<0.01$ .

叶干物质含量(LDMC)较小。

## 4 结论和讨论

研究表明,不同品系山樱花的叶形指数有极显著差异( $P<0.01$ ),以 NC1 品系的最大, CB3 品系的最小。虽然前人的研究表明,叶片对环境因子反应敏感,环境通过调节叶片表型性状而影响苗木的根系发育和生长<sup>[12]</sup>。由于试验地不同品系栽植区较小,光照、水肥、温度没有存在明显的差异,因此认为不同品系山樱花的叶形指数差异主要还是品系间遗传作用的结果。如果不同品系山樱花在环境梯度变化较大的区域,经过一定时间,环境变化的影响是否可能产生叶形指数响应,还有待进一步验证。不同品系福建山樱花大多表现为冠表层的叶形指数高于冠内层,这与胡杨不同冠层的叶形指数<sup>[15-16]</sup>不一致,胡杨的叶形指数随冠层的升高而减小,其原因可能是胡杨多为异形叶,同一植株同时具有条形、披针形、卵形及扩卵形叶,异形叶是胡杨树冠顶层叶形指数最小的主要原因。此外,胡杨的展叶格式为从上往下展叶,具有最小叶形指数(即最大叶面积)的叶片占据树冠顶层,有利于充分利用光热资源。而福建山樱花的展叶格局为上下同时展叶,同时福建山樱花的栽植密度为  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ ,不同冠层均能接受较为充足的光照,因而冠内外叶形指数不呈现递减的显著变化。

比叶面积的大小与叶片的厚度、形状和重量等有直接关系,在一定程度上反映了叶片获取光能和强光下自我保护的能力<sup>[17]</sup>。其与植物的生长和生存对策有紧密联系,水分胁迫时,植物会降低比叶面积以减少水分散失<sup>[18]</sup>。比叶面积还能反映植物对不同生境的适应特征,成为植物比较生态学研究中的首选指标<sup>[19]</sup>。比叶面积越大的植物,单位干重的叶片面积越大,叶片越薄;比叶面积较大的植株,其叶片干物质含量较小,同时较大的叶片面积有利于捕获更多的光能,提高了植物具有更快的生长速度的可能性<sup>[20-21]</sup>。研究表明, HCB 品系的比叶面积最大, SYB 品系的最小。由于 SYB 品系叶片干物质含量最高(分母大),因此才导致其比叶面积较小。对于同一物种,为了在截获更多光能的同时保证自身不受强光的伤害,通常冠层上部叶片的比叶面积小于下部,且在最隐蔽的地方形成的叶子往往具有最高的比叶面积<sup>[22]</sup>。冠内层的比叶面积比

冠表层的大,这与前人的研究结果一致。

有研究表明,叶绿素总量与 SPAD 值呈显著性正相关<sup>[23]</sup>,因此可以用 SPAD 值作为衡量叶绿素总量的指数。本研究结果表明,福建山樱花各品系间的 SPAD 值存在极显著差异,其中, HCB 品系的最高, SYB 品系最低。这可能是因为 NC1、CB3 和 HCB 属于早花品种,盛花期一般在 2 月份,采样时其花期已经过了一段,有大量成熟叶片,而品系 SYB 属于晚花品种,采样时植株上有大量嫩叶,一般认为成熟叶片的叶绿素含量较嫩叶高<sup>[11]</sup>,因此, NC1、CB3 和 HCB 的叶绿素总量较高,其 SPAD 值也较大。

各品系间的比叶面积与 SPAD 值间存在极显著正相关。植物的比叶面积越大,其单位干重的叶片表面积也越大,叶片越薄,这样更有利于捕获更多的光能,因此可以提高植物光合作用效率,有利于植物生长<sup>[3]</sup>。各品系福建山樱花的比叶面积为  $\text{HCB}>\text{CB3}>\text{NC1}>\text{SYB}$ ,叶干物质含量为  $\text{SYB}>\text{CB3}>\text{HCB}>\text{NC1}$ ,除了品系 NC1 外,其他品系基本都表现为比叶面积越大,叶干物质含量越小。这与植物比叶面积和叶干物质含量呈负相关关系的结论一致。

NC1 品系历年盛花期均在农历正月初一左右,盛花期约 15 d,其枝叶长势看起来不如 HCB 品系和 CB3 品系。CB3 品系盛花期较 NC1 品系推迟约 1 周,花期长约 15 d,花量稠密;长势优良。SYB 品系历年盛花期在 3 月 1 日左右,花量大、花序稠密,盛花期约 8 d,调查时植株上还散布着粉红偏白的花朵。HCB 品系通常在 2 月下旬为盛花期,花期 10 d 左右,花量稀疏,采样时树上已经没有挂花,叶子长得比较茂盛,枝干长势良好,冠幅较大。由于 CB3 品系的 SPAD 值、叶干物质含量较大,花期长,花量稠密,可推荐作为园林观赏和行道树种进行重点栽培。

## 参考文献

- [1] Zhang L, Luo T X. Advances in ecological studies on leaf lifespan and associated leaf traits [J]. Acta Phytocool Sin, 2004, 28(6): 844-852.  
张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 844-852.
- [2] Zai S M, Wen J, Guo D D, et al. Determination of leaf area of sweet pepper based on support vector machine model and image processing [J]. Trans Chin Soc Agri Engin, 2011, 27(3): 237-241.  
宰松梅, 温季, 郭冬冬, 等. 基于支持向量机模型和图像处理技

- 术的甜椒叶面积测定 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 237–241.
- [3] Liang S, Zhao G X, Zhu X C. Hyperspectral estimation models of chlorophyll content in apple leaves [J]. Spectrosc Spect Anal, 2012, 32(5): 1367–1370.  
梁爽, 赵庚星, 朱西存. 苹果树叶片叶绿素含量高光谱估测模型研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1367–1370.
- [4] Yu F, Lin S, Zhang J F, et al. Measurement of leaf area based on algorithm of image characteristic value [J]. J China Agri Univ, 2007, 12(4): 67–69.  
于峰, 林杉, 张峻峰, 等. 一种基于图像特征值算法的叶面积测定方法 [J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(4): 67–69.
- [5] Lü Y L, Shi J S, Chen Z, et al. The study of community characteristics of *Cerasus campanulata* [J]. Fujian For Sci Techn, 2006, 33(2): 29–33.  
吕月良, 施季森, 陈璋, 等. 福建山樱花群落学特征研究 [J]. 福建林业科技, 2006, 33(2): 29–33.
- [6] Wei Y H, Lin K, Lin Q. Research status of *Cerasus campanulata* and its application in landscape of Fujian Province [J]. Anhui Agri Sci Bull, 2011, 17(19): 136–137.  
魏云华, 林魁, 林清. 福建山樱花研究现状及其园林应用 [J]. 安徽农学通报, 2011, 17(19): 136–137.
- [7] Gao S, Hong X B, Yin G, et al. Correlation and regression analysis between leaf area, mean fruit weight and leaf characteristic values of Chinese plum [J]. J Anhui Agri Sci, 2000, 28(3): 359–360.  
高山, 洪晓波, 尹光, 等. 中国李叶片特征值与叶面积及平均果重的相关回归分析 [J]. 安徽农业科学, 2000, 28(3): 359–360.
- [8] Li C L, Wang J H, Zhang S Z, et al. Regression analysis of leaf area and leaf index of manchurian catalpa [J]. J Gansu For Sci Techn, 2008, 33(4): 27–29.  
李春兰, 王军辉, 张宋智, 等. 楸树叶面积与叶形指数的回归分析 [J]. 甘肃林业科技, 2008, 33(4): 27–29.
- [9] Li Y L, Cui J H, Su Y Z. Specific leaf area and leaf dry matter content of some plants in different dune habitats [J]. Acta Ecol Sin, 2005, 25(2): 305–311.  
李玉霖, 崔建垣, 苏永中. 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]. 生态学报, 2005, 25(2): 305–311.
- [10] Wu X C, Zhang Q L, Zang R G, et al. Leaf area index and specific leaf area of natural poplars in Ergis Basin [J]. J NW For Univ, 2009, 24(4): 10–15.  
吴晓成, 张秋良, 臧润国, 等. 额尔齐斯河天然杨树树林叶面积指数及比叶面积的研究 [J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 10–15.
- [11] Wang Y Z, Hong W, Wu C Z, et al. Variation of chloroplast pigments of various age leaves along elevation gradients of dominant species in *Castanopsis carlessii* forests in Lingshishan National Forest Park [J]. Sci Silv Sin, 2010, 46(11): 43–51.  
王英姿, 洪伟, 吴承祯, 等. 灵石山米槠林优势种不同叶龄叶绿体色素沿海拔梯度的变化 [J]. 林业科学, 2010, 46(11): 43–51.
- [12] Jiang L F, Shi F C, Wang H T, et al. Application tryout of chlorophyll meter SPAR-502 in forestry [J]. Chin J Ecol, 2005, 24(12): 1543–1548.  
姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计SPAD-502在林业上应用 [J]. 生态学报, 2005, 24(12): 1543–1548.
- [13] Hu M H, Jia Z R, Li Q F, et al. Interspecific and intraspecific variation of needle character of seven *Picea* species [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin, 2013, 33(12): 2529–2536.  
胡劭鸿, 贾子瑞, 李青粉, 等. 云杉属7种针叶性状种间和种内变异分析 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(12): 2529–2536.
- [14] Wilson P, Thompson K, Hodgson J. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies [J]. New Phytol, 1999, 143(1): 155–162.
- [15] Zheng Y Q, Feng M, Li Z J. Investigation of bud burst, shoot growth and leaf expansion in *Populus euphratica* of different ages [J/OL]. Acta Ecol Sin, [2014–04–11]. doi: 10.5846/stxb201304240804.  
郑亚琼, 冯梅, 李志军. 胡杨枝芽生长特征及其展叶物候研究 [J/OL]. 生态学报, [2014–04–11]. doi: 10.5846/stxb201304240804.
- [16] Wang Y L, Jiao P P, Gu Y Y, et al. Study on the relationship between leaf shape change and POD enzyme of *Populus euphratica* [J]. J Arid Land Resour Environ, 2013, 27(4): 184–189.  
王玉丽, 焦培培, 顾亚亚, 等. 胡杨叶形变化与POD同工酶的关系研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 184–189.
- [17] Gao X B, Zhang X S, Cai L J. The determination and correlation analysis of leaf area of ornamental plant [J]. J Fujian For Sci Techn, 2009, 36(2): 231–234, 251.  
高祥斌, 张秀省, 蔡连捷. 观赏植物叶面积测定及相关分析 [J]. 福建林业科技, 2009, 36(2): 231–234, 251.
- [18] Liu F Y, Zhang Z X, Wang X Q, et al. Effects of habitat heterogeneity on early growth of *Quercus franchetii* natural regeneration seedlings in the Jinsha River Dry-hot Valley [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2011, 17(3): 338–344.  
刘方炎, 张志翔, 王小庆, 等. 生境异质性对金沙江干热河谷锥连栎天然更新幼苗早期生长的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(3): 338–344.
- [19] Chen W X, Huang J J. Comparative study of two methods of determination of plant leaf area [J]. Jilin Agri, 2010, 21(10): 50–51.  
陈伟祥, 黄佳佳. 两种植物叶面积测定方法的比较研究 [J]. 吉林农业, 2010, 21(10): 50–51.
- [20] Cornelissen J H C, Diez P C, Hunt R. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types [J]. J Ecol, 1996, 84(5): 755–765.
- [21] Wright I J, Wearby M. Cross-species relationships between seedling relative growth rate, nitrogen productivity and root vs. leaf function in 28 Australian woody species [J]. Funct Ecol, 2000, 14(1): 97–107.
- [22] Ellsworth D S, Reich P B. Canopy structure and vertical patterns of photosynthesis and related leaf traits in a deciduous forest [J]. Oecologia, 1993, 96(2): 169–178.
- [23] Li M X, Zhang L S, Li B Z, et al. Relationship between spectral reflectance feature and their chlorophyll concentrations and SPAD value of apple leaves [J]. J NW For Univ, 2010, 25(2): 35–39.  
李敏夏, 张林森, 李丙智, 等. 苹果叶片高光谱特性与叶绿素含量和SPAD值的关系 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 35–39.