

艳桢桐的生态生物学特征

杨勇^{1,2}, 赖永超³, 刘楠¹, 任海¹, 张倩媚¹, 简曙光^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广东广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 广东省东莞市农业科学研究中心, 广东东莞 523086)

摘要 [目的]为艳桢桐在我国的引种驯化、栽培及开发利用提供依据。[方法]选取引种栽培于中国科学院华南植物园繁育中心及展览区内的艳桢桐为研究对象, 研究其形态学特征、解剖学结构、生理生态学特征及营养成分。[结果]在栽培条件下, 日间平均光合速率为 $3.31 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 日变化呈单峰曲线, 无明显午休现象; 气孔导度为 $0.085 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 蒸腾速率为 $2.30 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 水分利用效率为 $1.44 \mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。艳桢桐对营养元素的利用率较高, 植株体内加权平均养分含量为 N 1.45%、P 0.32%、K 0.66%、Na 0.02%、Ca 3.84%、Mg 0.14%, 其中叶片中 N、P、K、Mg 含量最高, 根中 Na 含量最高, 茎中 Ca 含量最高。艳桢桐生长速度快, 攀附及适应环境能力强; 栽培中应适时浇水及补充生长所需的 N、P、K 等矿质元素, 以维持植株生长所需的水分和养分平衡。[结论]艳桢桐喜温暖湿润、光照较好的环境及肥沃的酸性土壤, 也耐贫瘠, 适合在我国热带亚热带地区引种栽培。

关键词 艳桢桐; 园林绿化; 生态生物学特性; 引种栽培; 开发利用

中图分类号 S68 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)19-10040-04

Ecological and Biological Characteristics of *Clerodendrum splendens*

YANG Yong et al (South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650)

Abstract [Objective] The aim of the research was to provide important basis for introduction, domestication, cultivation and exploitation of *Clerodendrum splendens* in China. [Method] *C. splendens* cultivated in breeding center and exhibition area of South China Botanical Garden was chosen as research objective to survey the morphological features, anatomic structure, eco-physiological characteristics and nutrient contents. [Result] The average diurnal photosynthetic rate of *C. splendens* was $3.31 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Its daily course showed single-peaked curve with unremarkable midday depression. The stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency were $0.085 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, $2.30 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $1.44 \mu\text{mol}/\text{mmol}$, respectively. The weighted nutrient concentrations of *C. splendens* were N 1.45%, P 0.32%, K 0.66%, Na 0.02%, Ca 3.84%, Mg 0.14%, respectively. *C. splendens* had a high level of nutrient utilization efficiency and had the highest N, P, K, Mg content in leaf, Na content in root, Ca content in stem. *C. splendens* is a fast growing good climber, and has good adaptability to different environments. Water and mineral nutrition essential should be added to improve its growth when cultivating. [Conclusion] *C. splendens* prefers to grow on fertile, acidic soil, under sunny and warm-humid condition. It can also grow well on impoverished soil and is adapt to be introduced and cultivated in tropical and subtropical areas in China.

Key words *Clerodendrum splendens*; Landscape greening; Ecological and biological characteristics; Introduction and cultivation; Exploitation

藤本植物是一类主茎细长而且柔软, 自身不能直立, 利用卷须、小根、吸盘或其他特有器官攀卷于或螺旋状缠绕于他物上生长的植物^[1]。该类群适应性强, 具有独特生物学特性, 广泛分布于热带亚热带地区^[2]。藤本植物由于生长迅速、易于造型且占地面积小, 园林利用价值高^[3], 是城市立体绿化的重要材料^[3-4], 在拓展城市园林绿化空间、增加城市绿化面积、丰富园林多样性、构建特殊景观效果、形成垂直绿化和水平绿化有机结合方面具有其他植物难以替代的优势^[5]。利用藤本植物进行立体绿化是改善城市生活环境、扩大绿地数量与提高绿地质量的有效途径。目前, 藤本植物在我国城市园林绿化中存在着种源不足、绿化材料相似度高等问题^[6]。加强对具有较高园林绿化价值的乡土植物进行开发利用固然重要, 而对一些具有较高园林绿化价值、能形成独特景观的外来植物进行开发利用, 会在改善城市生态环境、增加城市异质景观、提高我国城市园林绿化水平方面发挥重要作用^[7]。在以往的园林绿化过程中, 很多外来植物引种到我国后得到广泛应用, 并未对当地生态系统造成不良影响, 如五叶地锦 (*Parthenocissus quinquefolia* Planch)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa* L.)、紫茉莉 (*Mirabilis jalapa*)、假连翘 (*Duranta repen*)、日本绣线菊 (*Spiraea japonica*)、金叶女贞 (*Ligustrum lucidum* cv) 等^[7-9]。而且, 一些原产我国的植物

种类如月季 (*Rosa chinensis*)、山茶 (*Common camellia*)、牡丹 (*Paeonia suffruticosa*) 等引种到国外后, 经过驯化或改良, 不但在园林绿化中发挥重要作用, 而且为引种国家或地区带来了可观的经济效益^[10-12]。

艳桢桐 (*Clerodendrum splendens*) 隶属于马鞭草科 (Verbenaceae) 桢桐属 (*Clerodendrum*), 是一种大型常绿木质藤本植物, 原产非洲西部热带地区^[13], 在我国热带和亚热带地区有栽培。其叶对生、光滑、鲜绿, 圆锥花序组成大型顶生的聚伞花序, 花冠红色到深红色, 花形独特, 花色灿烂, 花期为 11 月~次年 1 月; 园林观赏价值高, 常作园林植物栽培于家庭庭院和公园^[14]。艳桢桐喜温湿, 不耐寒, 可以通过种子和扦插繁殖^[15], 其根、叶片以及树皮具有较大的药用价值^[16]。目前国内外对艳桢桐的研究主要集中在药用价值^[13,16]和植物化学成分分析^[17], 另有一些有关形态解剖学^[18-19]和花粉氨基酸含量研究^[20], 而对其生态生物学特性的系统研究尚未见报道。这为其引种、驯化、栽培及在城市立体绿化中的应用带来困难。作为一种能形成独特景观、具有较高园林绿化价值的藤本植物, 艳桢桐在我国尚未被广泛开发利用。为此, 笔者从形态解剖学特征、光合生理指标、营养元素含量等方面对艳桢桐的生态生物学特性进行系统研究, 为该物种的引种、栽培、驯化、入侵性评价以及在城市立体绿化中的开发利用等提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料 以引种栽培于中国科学院华南植物园繁育中心及展览区内的艳桢桐为对象。艳桢桐栽培时间为 3 年, 生长于光照充足的环境中, 长势良好, 均已开花结实。种植

基金项目 科技部支撑计划项目 (2008BAJ10B03); 广东省科技计划项目 (2006B60101034, 2008A060207017)。

作者简介 杨勇 (1983-), 男, 湖南怀化人, 硕士研究生, 研究方向: 植物生态学。* 通讯作者。

收稿日期 2010-03-31

时除初次施足基肥外,每年加施 1~2 次 N-P-K 复合肥(总量约 150 g/株)。除干旱季节浇水以保持土壤潮湿外,平时基本为粗放管理。试验时选取生长良好的成熟植株。

1.2 试验地概况 中国科学院华南植物园位于广州市,113°21'E,23°10'N,属于亚热带季风气候区。园内以低丘陵台地为主,土壤为赤红壤和沙质中壤土,地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林。夏季炎热潮湿,秋冬温暖干旱,年平均气温 21.8℃,最热月平均温度 28.3℃,极端最高温度 38.3℃,最冷月温度 13.3℃,极端最低温度 -0.8℃,冬季几乎无霜冻。年平均降雨量 1 623.6~1 899.8 mm,雨量集中于 4~9 月,10 月~翌年 3 月为旱季,干湿季节明显。年平均日照时数为 1 875.1~1 959.9 h,年太阳总辐射量 105.3~109.8 kJ/cm²。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 形态学特征。参照任海等方法^[21],选取生长良好的 4 株同龄植株测量平均节间距、枝角、每株枝条数、每枝条着叶数等。采用常规石蜡切片方法观察叶片纵切面结构图,叶表皮通过石蜡制片整体染色程序在显微镜下完成^[22]。采用烘干称重法^[21]测定叶片含水量。采用美国 Li-cor3000 叶面积仪^[21]直接测定叶面积。

1.3.2 生理生态学方法。采用美国 Li-cor 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统测定叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等。测定时采用标准叶室,利用自然光照,选择在晴朗无风的天气(2008 年 7 月 5 日)进行。7:00~17:00 每 2 h 测定 1 次,测定时选取同一植株中部向阳的 4 个部位的 4 片当年生成熟叶片进行,每个叶样重复 4 次,结果取平均值。

瞬时水分利用效率 = 净光合速率 / 蒸腾速率

1.3.3 营养元素测定。野外采集新鲜植物样品带回实验室,按照叶、枝、主茎、根分开,用去离子水清洗干净后,在恒温箱中 60℃烘干,干样品磨碎后通过 80 目筛。用酸消化,其中用流动注射分析仪测定 N、P 含量,用原子吸收光谱仪^[23]测定 Na、K、Ca 和 Mg 含量。

1.4 数据处理与分析 采用单因素方差分析法(one way ANOVA)分析植株器官对营养元素含量的影响,并以最小显著差异法(LSD)比较植株不同器官间营养元素含量的差异。数据采用 Excel 处理和作图,采用 SPSS16.0 统计软件分析。

2 结果与分析

2.1 生物学特性 艳桢桐为大型木质攀援藤本植物,叶长 8~11 cm,宽 6~9 cm,纸质,对生,卵圆形至椭圆形,基部心形,叶缘圆滑;网状脉,主脉明显;叶片肥大、光滑、暗绿;叶柄较短。大型管状花,花冠宽大,红色至深红色;花期为晚冬至早春。喜温度高、热量丰富的环境,不耐霜冻,耐修剪,可塑性强。对土壤要求不高,但在富含有机质、排水良好的酸性土壤上生长最佳。艳桢桐的主根发达,生长速度快,年生长量约 1.8 m。艳桢桐可通过种子和扦插繁殖,凭借自身主茎缠绕于支持物生长,攀援能力强,能在较短的时间内覆盖支持物或地面。

2.2 形态解剖学特征 从图 1 可以看出,艳桢桐叶片为异面叶,栅栏组织与海绵组织比约为 1:3,栅栏组织排列较紧密、有序,而海绵组织排列较疏松而无序,细胞呈无规则型,有明显的胞间隙。与一些植物相比,艳桢桐的栅栏组织厚度一般,叶片厚度处于中间水平^[24-25]。从叶表皮结构图可以



图 1 艳桢桐的叶片形态解剖学特征

Fig. 1 Leaf anatomical structure of *Clerodendrum splendens*

看出,叶片的主脉粗壮,小脉稀疏,叶片的维管组织发达。

艳桢桐、山药、禾雀花在华南植物园的生长以及栽培环境相似,因此将三者的形态学指标进行比较。由表 1 可知,

艳桢桐的平均节间距、枝角、每枝条着叶数、平均叶面积、下表皮气孔数均大于山药和禾雀花,其每枝枝条数、叶厚度均小于山药和禾雀花,其单位叶面积干重、栅栏组织厚度、栅皮

表 1 艳桢桐、山药和禾雀花的形态比较

Table 1 Comparisons on morphological characteristics of *Clerodendrum splendens*, *Piper hancei* and *Mucuna birdwoodiana*

指标 Index	平均节间 距//cm Distance between branches	每枝枝条数 Branch number per individual	枝角//° Branch angle	着叶描述 Leaf description	每枝条 着叶数 Leaf number per branch	单位叶面积 干重 mg/cm ² Weight per area	平均叶面积 cm ² Average leaf area	叶厚度 μm Leaf thickness	栅栏组织 厚度//μm Thickness of palisade tissue	小脉间距 μm Distance of intervascular	下表皮气孔 数//No/mm ² Number of stomata on the lower epidermis	栅皮比 Epidermis cell/ palisade	脉岛数 No/mm ² Vein-islet number
艳桢桐 <i>Clerodendrum splendens</i>	14.75±2.67	9.80±2.10	70.30±5.20	整枝分布	14.50±2.90	5.50±1.60	58.60±37.97	190.00±70.00	50.00	280.00	166.00	11.20	6.20
山药 ^[27] <i>Piper hancei</i>	6.88±1.30	56.50±9.50	55.50±13.30	整枝分布	13.30±6.14	3.30±0.70	29.00±6.50	210.10±49.00	15.00	410.00	40.00	17.20	1.30
禾雀花 ^[27] <i>Mucuna birdwoodiana</i>	12.60±3.80	22.30±3.90	47.40±17.10	整枝分布	13.10±9.00	7.90±1.00	40.40±12.40	410.00±170.00	60.00	151.00	13.00	8.10	17.10

比、脉岛数均介于山茱萸和禾雀花之间。

2.3 生理生态学特征 经测定,艳桢桐当年生成熟叶片的日平均光合速率为 $3.31 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,蒸腾速率为 $2.30 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,水分利用效率为 $1.44 \mu\text{mol}/\text{mmol}$,气孔导度为 $0.085 \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

由图2可知,在自然条件下,艳桢桐的净光合速率日进程呈现典型的单峰曲线。早晨和傍晚净光合速率较低,此时光合有效辐射低,光合作用弱。日出后,随着时间的推移,光合有效辐射逐渐增加,艳桢桐的净光合速率迅速升高,至11:00达到最高值,并在11:00~13:00存在稳定的高峰期,之后迅速降低,无明显午休现象。艳桢桐叶片蒸腾速率和净光合速率的日变化过程相似。从早晨开始,随着大气温度和光合有效辐射的不断增加,蒸腾速率逐渐增大,特别是在9:00~11:00蒸腾速率有一个明显的快速放大的过程,11:00达到最大值。这可能是因为在这段时间光合速率迅速提高而导致同化速率上升,对水分的需求急剧增加。而在栽培条件下,水分充足,不存在抑制蒸腾速率的环境条件。此后蒸腾

速率缓慢降低,在11:00~15:00存在一个相对稳定的高峰期,维持在 $3.57 \sim 3.75 \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。15:00后由于同化速率下降,对水分需求减少,蒸腾速率迅速下降。艳桢桐叶片的气孔导度日变化与净光合速率、蒸腾速率的日变化趋势基本相似,最大值出现在11:00左右,为 $0.117 \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。11:00~15:00,气孔导度略微下降,但是下降的幅度较小,在15:00左右气孔导度约为其最大值的91%。此段时间持续较大的气孔开度,有利于光合速率和蒸腾速率的维持。15:00后,气孔导度逐渐降低,与光合速率和蒸腾速率一同下降。艳桢桐的水分利用效率日进程随净光合速率和蒸腾速率呈现单谷型曲线。日出后随着光合有效辐射的增加,净光合速率增加,但此时相对湿度大,温度低,蒸腾速率小,净光合速率增幅大于蒸腾速率增幅,水分利用效率在7:00左右达到最大值($5.17 \mu\text{mol}/\text{mmol}$)。随着光合有效辐射和净光合速率增加到一定强度后,蒸腾速率增加幅度大于光合速率增幅,水分利用效率逐渐减少,15:00左右达到最低值($0.56 \mu\text{mol}/\text{mmol}$),随后平缓增加。

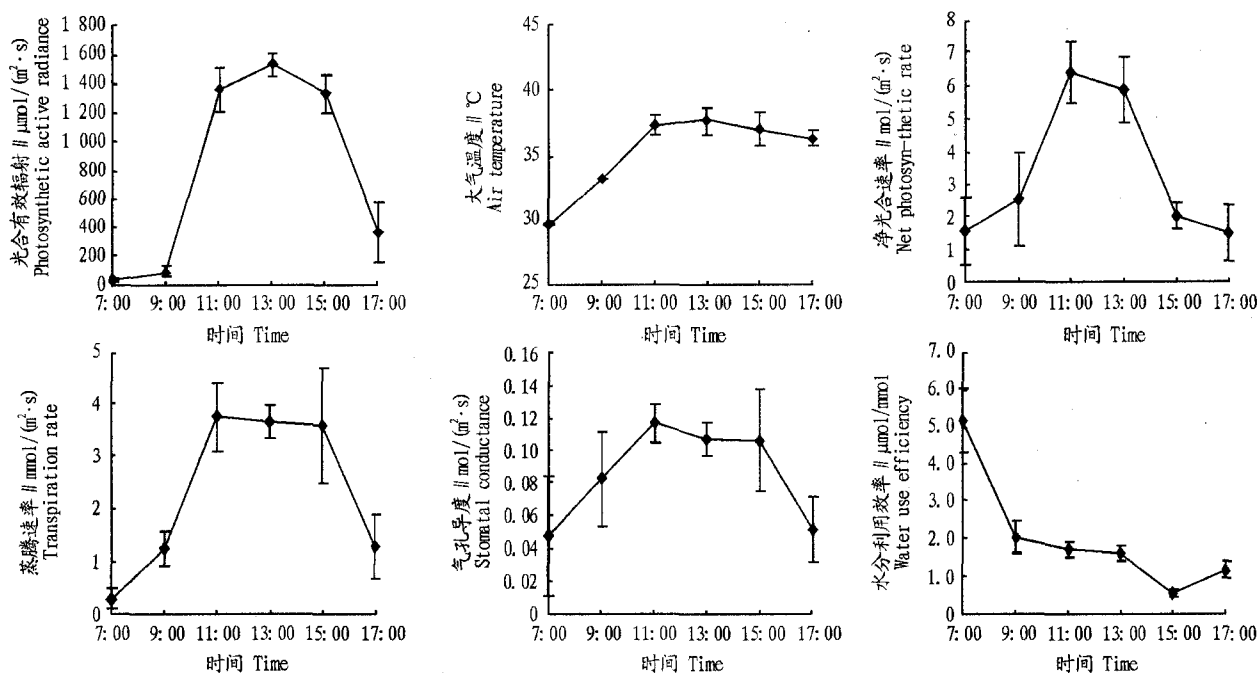


图2 艳桢桐叶片的光合有效辐射、大气温度、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率日变化

Fig. 2 Diurnal variation of photosynthetic active radiation, air temperature, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency

2.4 各器官主要营养元素含量 由表2可知,艳桢桐茎中总营养元素含量最高,根其次,枝最少。植株加权平均养分含量(即整个植株磨碎混匀后的测定结果)为 $\text{Ca} > \text{全N} > \text{全K} > \text{全P} > \text{Mg} > \text{Na}$ 。植株的不同器官中,N、P、K等营养元素的平均含量不同。叶片中全N、全K、全P、Mg含量最高,Ca含量最低。茎中全N、全K、全P、Mg含量最低,而Ca含量最高。Na元素在根中的含量最高,不同器官中的N、K、Ca元素含量差异在0.05水平显著。在所有被测定的元素中,Na元素在各器官中含量都是最低的,且在各器官之间的差异最小。

3 结论

植物光合作用常与叶面积、叶片厚度、叶片的排列方式和单叶的光合能力有关^[22]。艳桢桐的叶面积大,枝角大,节

间距大,下表皮气孔数量多。这些特点均有利于艳桢桐增加叶面光照和同化能力,从而具有更大的竞争力。因此,艳桢桐在园林绿化中有较大的竞争优势,有很好的开发利用前景。

叶片是植物进化过程中对环境较敏感且可塑性较大的器官,其结构特征最能体现环境因子的影响或者植物对环境的适应^[26]。栅栏组织和海绵组织的分化程度反映了环境水分状态^[27]。艳桢桐叶片栅栏组织和海绵组织出现一定程度的分化,叶肉细胞间隙较大,表明艳桢桐适宜于生长在水分较为充裕的环境;其粗壮的主脉则有利于叶片水分的运输,提高植物对水分的利用效率,有利于藤本植物向更大的空间攀缘和伸展。植物叶片栅栏组织厚度与抗寒能力呈正相关^[28]。艳桢桐的叶片和栅栏组织厚度一般。这与其抗寒能力不强的特性相一致。但是,这也有利于艳桢桐防止水分的

过度蒸腾,表明它适合在气温较高、冬无霜冻的热带与亚热带地区引种栽培。我国热带亚热带区域气候温暖湿润,与艳桢桐的原产地自然条件接近,易引种成功,无需经历长时间的生态驯化过程。

表 2 艳桢桐各器官营养元素含量
Table 2 Nutrient content in different organs of *Clerodendrum splendens* g/kg

器官 Organ	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	Na	Ca	Mg	平均值 Mean
叶 Leaf	27.27 ± 0.17 a	5.26 ± 0.51 a	10.25 ± 0.12 a	0.23 ± 0.03 b	9.99 ± 0.73 d	4.12 ± 0.10 a	9.52 ± 0.28
根 Root	11.03 ± 0.11 c	2.66 ± 0.06 bc	5.87 ± 0.06 b	0.29 ± 0.03 a	62.88 ± 1.07 b	0.43 ± 0.01 c	13.86 ± 0.22
茎 Stem	7.96 ± 0.21 d	2.09 ± 0.18 c	4.88 ± 0.05 d	0.20 ± 0.02 b	66.49 ± 0.92 a	0.42 ± 0.01 c	14.47 ± 0.24
枝 Branch	11.64 ± 0.44 b	2.81 ± 0.32 b	5.39 ± 0.06 c	0.24 ± 0.04 ab	14.14 ± 0.21 c	0.60 b	5.80 ± 0.18
平均值 Mean	14.48 ± 0.23	3.21 ± 0.27	6.60 ± 0.07	0.24 ± 0.04	38.37 ± 0.73	1.40 ± 0.03	10.71 ± 0.23

注:不同字母表示不同器官间营养元素含量差异在 0.05 水平显著。
Note: Different letters indicate significant difference in nutrient content of organs at 0.05 level.

攀援植物对光照的趋向性和适应性对其生长具有重要意义^[29]。艳桢桐具有较高的净光合速率,其叶片净光合速率日变化呈现单峰曲线,存在较为稳定的高峰期,无明显的午休现象。这表明水肥充足的栽培条件下,艳桢桐对高温和强光照有较强的适应能力,适合在我国热带亚热带地区引种栽培。在水分充足的条件下,艳桢桐可以维持高的蒸腾速率,有利于矿质元素和光合产物在植物体内的运输,有利于降低叶片温度,维持光合系统高效正常运行。气孔是二氧化碳进入和水分散失的门户。气孔导度的变化直接影响光合作用和蒸腾作用^[25]。艳桢桐的气孔导度、蒸腾速率与净光合速率均表现出同步的单峰曲线日变化进程。这表明水分条件良好,艳桢桐植株没有受到胁迫时,可维持较高的气孔开度和高效的光合作用水平。植物水分利用效率是光合速率和蒸腾速率的比值,反映植物对水分的利用情况,在一定程度上反映植物的耗水性^[30]。艳桢桐的水分利用效率日平均值为 1.44 μmol/mmol,与一些植物如山药(*Piper hancei*)^[31]和首冠藤(*Bauhinia corymbosa*)^[32]相比,其水分利用效率日平均值相对较低。这表明艳桢桐对水分的需求量大,在高温干燥季节应及时浇水以满足其水分需求。

植物器官的养分含量反映植物的营养状况和养分需求状况,与养分的供应存在直接关系^[33]。植物器官营养元素含量和营养元素之间的比例能够很大程度上反映植株的生长状况^[34]。植物体中,N、P、K 都是可移动营养元素,为植物必须的大量元素^[35]。N、P 均是重要的结构组成元素。N 能够促进植物的生长,提高光合作用;P 能够促进植物根系发育、新器官的生成以及植物抗逆能力的提高;K 虽不是植物的结构组成元素,却是植物生理活动最重要的元素之一,能够促进植物的光合作用。Ca 是细胞的结构物质^[35],与蒸腾作用有关^[36-37],具有不可流动性^[34]。Mg 元素是构成叶绿素的重要元素,与呼吸作用、磷酸和蛋白质的代谢密切相关,为可移动营养元素,为植物必须的微量元素^[34]。艳桢桐具有数量较多的叶片和较大的叶面积,其叶片中 N、P、K 和 Mg 含量最高,表明叶片是整个植株的生理活动中心,有利于艳桢桐叶片的光合作用和生长,以达到快速攀援和覆盖的目的。叶片中 Ca 含量最低,有利于降低叶片的蒸腾作用,减少水分散失,以更好地适应阳光充裕的生境。根和枝条中 Ca 含量最高。这主要是由于 Ca 元素具有不可流动性,随着植物器官生长而不断积累,在生理代谢旺盛的器官中积累较少,而

在根和主茎中积累较多。根和茎中营养元素含量较高,表明艳桢桐对营养元素的吸收能力和运输能力强,营养利用效率高,对生长环境适应性强,可塑性好。

由此可知,艳桢桐适合在我国热带和亚热带地区引种栽培,其生长速度快、攀援及覆盖能力强、耐干旱、耐贫瘠等特性使其在棚架绿化、廊架组景、立柱绿化及墙面绿化等立体绿化方面具有良好的应用前景。引种栽培时,要合理、适时地浇水、施肥,尽量种植于有机质丰富的酸性土壤,保持土壤湿润。在生长旺盛季节,尤其要保证水分供应。在生长过程中,应适时适量地补充 N、P、K 等矿质元素的供应,维持植株所需的养分平衡。在植物生长迅速的春夏时期,应增大养分的供应量,以解决植株的养分限制。在植物的开花期,则可适当地修剪枯枝败叶,合理调节植株的养分供应,以促进艳桢桐的快速生长、开花、形成景观及适应环境。

参考文献

[1] 王发国,陈红峰,刘东明,等. 广东省野生藤本植物资源及其在园林绿化中的应用[J]. 中南林业科技大学学报,2009,29(3):157-161.
[2] 蔡永立. 浙江天童森林公园藤本植物的基本特征[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1999(2):75-81.
[3] 胡海燕,姜钢. 藤本植物立体绿化[J]. 陕西林业科技,2005(2):32-34.
[4] 蔡永立,宋永昌. 藤本植物生活型系统的修订及中国亚热带东部藤本植物的生活型分析[J]. 生态学报,2000,20(5):808-814.
[5] 季梦成,郑钢,俞曙光. 浙江龙玉山自然保护区藤本植物资源及园林应用[J]. 林业科学,2008,44(9):165-169.
[6] 曾凤,王美娜,陈红峰. 广州市观赏藤本植物资源以及园林应用[J]. 中国园林,2009(9):51-55.
[7] 李斌,王咏,谢久详. 长春市园林绿化外来种的初步研究[J]. 长春师范学院学报:自然科学版,2008,27(1):73-76.
[8] 李斌,王咏,何春光. 长春地区外来植物的初步研究[J]. 长春师范学院学报:自然科学版,2007,26(5):85-88.
[9] 王爱民,李新国. 试论城市绿化中乡土植物与外来植物的互补性[J]. 广西园艺,2008,19(2):24.
[10] 何晓燕,包志毅. 英国引种家威尔逊引种中国园林植物种质资源及其影响[J]. 浙江林业科技,2005,25(3):56-61.
[11] 罗桂环. 西方对中国-园林之母的认识[J]. 自然科学史研究,2000,19(1):72-78.
[12] 罗桂环. 西方从中国的植物引种及其影响[J]. 古今农业,1995(1):1-6.
[13] SHRIVASTAVA N, PATEL T. *Clerodendrum* and healthcare: an overview [J]. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, 2007, 1(1):142-150
[14] WONG M. Tropical Vines for Hawaii's Landscapes [J]. Ornaments and Flowers, 2007, 35:1-21.
[15] RIFFLE R L. The tropical look [M]. Portland: Timber Press, 1998: 3-4.
[16] OKWU D E, IROABUCHI F. Phytochemical composition and biological activities of *Uvaria chamae* and *Clerodendron splendens* [J]. E-Journal of Chemistry, 2009, 6(2):553-560.

表 3 方差分析

Table 3 The variance analysis

因素 Factors	偏差平方和 Square of deviance	自由度 Freedom degree	F 比 F ratio	F 临界值 F critical value	显著性 Significance
溶剂浓度//% Solvent concentration	0.529	2	105.800	19.000	*
时间//min Time	0.042	2	8.400	19.000	
微波功率//W Microwave power	0.131	2	26.20	19.000	*
误差 Error	0.01	2			

由表 2、3 可知,溶剂浓度对黄酮得率的影响最大,微波功率次之,萃取时间对其影响最小,其中溶剂浓度和微波功率在 $P < 0.05$ 时达到显著水平。各因素最佳组合为 $A_3B_1C_3D_2$,即:2.5 g 西番莲叶干粉用 75 ml 60% 的乙醇溶液在微波功率为 350 W 时,间歇萃取 9 min 可得黄酮得率为 3.459 3%。

2.3 验证试验 按照正交实验得到的优选条件,重复实验 3 次,黄酮得率分别为 3.468%、3.457%、3.463%。黄酮的平均得率为 3.463%。

3 结论与讨论

微波辐射不仅提高了紫果西番莲叶黄酮类化合物的提取率,还大大缩短了萃取时间。传统的抽提工艺在乙醇浓度 60%,温度 80 ℃,料液比 1:50,浸提时间为 1 h 时,其得率最高为 2.81%^[11],而利用微波处理,在短时间内黄酮得率可达 3.46%,产率提高了 23.13%。微波处理的另一显著的优点是节省时间,相比于传统的抽提时间为 1 h 或更长,微波萃取只需要 5~7 min 就可达到更好的效果。此外,该实验在操作过程中严格控制温度不高于 60 ℃,因为当温度高于 60 ℃ 时,黄酮类物质原来的结构会遭到破坏,不仅影响其黄酮得率,也不利于以后黄酮类物质的鉴定。

参考文献

- [1] DENG JUN, ZHOU Y J, BAI M M, et al. Anxiolytic and sedative activities of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* [J]. *Journal of Ethnopharmacology* 2010, 128(2010):148-153.

(上接第 10043 页)

- [17] PINTO W J, NES W R. 24beta-ethylsterols, n-alkanes and n-alkanols of *Clerodendrum splendens* [J]. *Phytochemistry*, 1985, 24(5):1095-1097.
- [18] INAMDAR J A. Anatomical studied in *Clerodendrum splendens* G. Don [J]. *Proceedings of the India Academy of Science Section B*, 1968, 67(1):8-17.
- [19] INAMDAR J A. Epidermal structure and ontogy of stomata in some Verbenaceae [J]. *Annual of Botany*, 1969, 33(1):55-66.
- [20] MONDAL A K, MONDAL S, MANDAL S. The free amino acids of pollen of some angiospermic taxa as taxonomic markers for phylogenetic interrelationships [J]. *Current Science*, 2009, 96(8):1071-1081.
- [21] 任海,彭少麟,戴智明,等. 了哥王的生态生物学特征 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(12):1529-1532.
- [22] 梁彦,汪矛,郭洁,等. 3 属 3 种毛茛科植物幼苗形态结构及其系统演化分析 [J]. *西北植物学报*, 2007, 27(7):1357-1363.
- [23] 李志安,丁明懋,方伟,等. 马占相思人工林生态系统养分物质的储存与分布 [J]. *生态学报*, 1995, 15(S1):103-104.
- [24] 蔡永立,宋永昌. 浙江天童常绿落叶林藤本植物的适应生态学 I. 叶片解剖特征的比较 [J]. *植物生态学报*, 2001, 25(1):90-98.
- [25] 林植芳,吴彤,孔国辉,等. 8 种城市绿化攀援植物的光合作用和水分关系特性 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(6):473-481.
- [26] 王勋陵,王静. 植物的形态结构与环境 [M]. 兰州:兰州大学出版社,

- [2] ZUCOLOTTI S M, GOULART S, MONTANHER A B, et al. Bioassay-guided isolation of anti-inflammatory C-glucosylflavones from *Passiflora edulis* [J]. *Planta Med*, 2009, 75(11):1221-1226.
- [3] KAMALDEEP DHAWAN, SANJU DHAWAN, ANUPAM SHARMA. *Passiflora*: a review update [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2004, 94:1-23.
- [4] 潘琢,郑穗平. 两种西番莲的化学成分及药理活性研究进展 [J]. *现代食品与药品杂志*, 2007, 17(2):5-9.
- [5] 李小燕,邓光辉,罗伟强,等. 微波萃取广山楂叶中黄酮类化合物的工艺研究 [J]. *生物物质化学工程*, 2007, 41(4):39-42.
- [6] 陈建真,吕主源,叶磊,等. 微波辅助提取麦冬黄酮的工艺研究 [J]. *中华中医药杂志*, 2009, 24(2):216-218.
- [7] 曲有乐,李玉龙,于春光,等. 微波辅助萃取加拿大一枝黄花的花中总黄酮的工艺研究 [J]. *光谱实验室*, 2009, 26(3):476-479.
- [8] 符稳群,林雨婷. 微波辅助萃取白花蛇舌草黄酮的研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(30):14680-14681.
- [9] 苗方,侯刚健,安芸,等. 分光光度法对银杏茶中总黄酮的含量测定 [J]. *医学理论与实践*, 2009, 22(3):359-360.
- [10] 刘可越,周斌,刘海军. 垂柳叶黄酮的微波提取工艺 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(31):9813,9823.
- [11] 刘南波,郑穗平,邹江冰,等. 西番莲叶总黄酮的提取工艺研究 [J]. *现代食品科技*, 2009, 25(6):622-624.
- [12] 周宝利,姚婷,张健,等. 苦参黄酮对黄瓜枯萎病及抗性生理的影响 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(2):78-82.
- [13] 孔卫青,杨金宏,彭云武,等. 家蚕黄酮合酶基因 BmFNS I 的克隆与干涉载体的构建 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(5):26-30.
- [14] 卢其能,杨清,沈春修,等. 马铃薯类黄酮-3-O-葡萄糖基化酶基因的克隆与表达分析 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(4):11-16.
- [15] 尚海涛. 液质联用分析黄毛耳草中的黄酮类化合物 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(6):26-27.
- [16] 霍强,王宇,高荣远,等. 瑞香狼毒总黄酮的提取及体外抗氧化作用研究 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2010, 31(2):83.
- [17] 朱飞娥,田自华,张子义. 甘草总黄酮微波法提取工艺的研究 [J]. *畜牧与饲料科学*, 2008, 29(5):1-2.

1989,105-108.

- [27] 李芳兰,包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应 [J]. *植物学通报*, 2005, 22(S1):118-127.
- [28] SUN J. High light effects oil CO₂ fixation gradients across leaves [J]. *Plant Cell and Environment*, 1996, 19:1261-1271.
- [29] 梁莉,钟章成. 4 种攀援植物光合作用对不同光照的适应 [J]. *西南师范大学学报:自然科学版*, 2004, 29(5):856-859.
- [30] 王旭军,吴际友,廖德志,等. 乐东拟单性木兰光合蒸腾和水分利用效率研究 [J]. *中国农学通报*, 2008, 24(10):175-178.
- [31] 简曙光,李玲,张倩媚,等. 山蒟 (*Piper hancei*) 的生态生物学特征 [J]. *生态环境学报*, 2009, 18(2):608-613.
- [32] 李玲,陈永聚,任海,等. 首冠藤的生态生物学特征 [J]. *热带与亚热带植物学报*, 2009, 17(6):528-534.
- [33] 官丽莉,刘菊秀,周小勇. 土壤条件与植物响应 [J]. *生态环境*, 2003, 12(4):478-481.
- [34] 刘广全,赵士洞,王耗,等. 锐齿栎林个体光合器官生长与营养季节动态 [J]. *生态学报*, 2001, 21(6):883-889.
- [35] 蒋廷惠,占新华,徐阳春,等. 钙对植物抗逆能力的影响及其生态学意义 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(5):971-976.
- [36] 刘鹏,郝朝运,陈子林,等. 不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系 [J]. *土壤学报*, 2008, 45(3):304-312.
- [37] 潘瑞识. 植物生理学 [M]. 北京:高等教育出版社, 1979:31-32.