

连香树生理生化物质随海拔 的变化及其适应性研究

廖兴利, 黎云祥*, 权秋梅, 马永红, 叶兴东

(西华师范大学 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川 南充 637000)

摘要: 通过分析四川甘洛马鞍山自然保护区内不同海拔(A1:1 874 m, A2:1 996 m, A3:2 160 m, A4:2 290 m)梯度连香树的分布状况以及生理指标含量的变化,探讨了连香树对不同环境的适应能力。结果表明:随着海拔的升高,样方内连香树的总数、株高、幼树数量及树冠投影面积值均呈降低趋势,且海拔越高,其它物种抢占的空间资源越多以及环境变恶劣,连香树的适应能力下降,各种生理指标的变化为:叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)和类胡萝卜素含量在 A1 处均高于 A2、A3、A4 处。A4 与 A1 相比,叶绿素 b、叶绿素(a+b)分别下降了 42.42%和 33.96%,差异显著。超氧化物歧化酶(SOD)活性、可溶性糖含量均随着海拔升高呈下降趋势,A4 与 A1 相比,分别下降了 52.74%、66.17%,差异显著;丙二醛(MDA)和游离脯氨酸(Pro)含量均随着海拔升高呈上升趋势,A4 与 A1 相比,分别升高了 3.98 倍、4.43 倍,差异显著;可溶性蛋白含量呈先降后升趋势,A1、A3、A4 处均高于 A2 处。综合本次研究表明:A1 处最适合连香树的生长、A4 处连香树生长最差。

关键词: 连香树; 海拔; 生理生化物质

中图分类号: Q948.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)05-0641-05

Research on physiological and biochemical material's change of *Cercidiphyllum japonicum* at different altitudes and adaptability

LIAO Xing-Li, LI Yun-Xiang*, QUAN Qiu-Mei,
MA Yong-Hong, YE Xing-Dong

(Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resource Conservation, China
West Normal University, Nanchong 637000, China)

Abstract: To study the environment adaptability of *Cercidiphyllum japonicum* in Maanshan Nature Reserve in Ganluo County of Sichuan Province, the distribution conditions and contents of physiological indexes of *C. japonicum* at different altitudes(A1:1 874 m; A2:1 996 m; A3:2 160 m; A4:2 290 m) were investigated. The results showed that the total number and the height of trees, the number of young trees and the range of tree crown decreased with increasing altitude. The higher the altitude was, the more spatial resources occupied by other species were. So the environment adaptability of *C. japonicum* reduced. The change of physiological indexes showed that: contents of Chla, Chlb, Chl(a+b) and Car at A1 were higher than those at A2, A3, A4. Compared with A1, contents of Chlb and Chl(a+b) decreased significantly 42.42%, 33.96% at A4. Soluble sugar and SOD activities decreased with increasing

收稿日期: 2010-10-25 修回日期: 2011-04-10

基金项目: 四川省科技厅应用基础项目(2008JY0158); 教育部重点实验室开放基金(XNYB09-04); 四川省教育厅项目(09ZX011) [Supported by Application Basic Project of Scientific and Technological Committee of Sichuan Province(2008JY0158); Open Fund for Key Laboratory of Education Committee(XNYB09-04); Project of Education Committee of Sichuan Province.]

作者简介: 廖兴利(1986-), 女, 湖南常宁人, 硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: yx_li@263.net)

altitude. Compared with those at A1, they decreased significantly 52.74%, 66.17% at A4; MDA and Pro contents increased with increasing altitude. At A4 they increased significantly 3.98 time and 4.43 time compared with those in A1. The soluble protein content first decreased then increased. Protein content at A1, A3, A4 were higher than that in A4. In general, it is conducive to the growth and development of *C. japonicum* at A1 and they grow badly at A4.

Key words: *Cercidiphyllum japonicum*; altitude; physiological and biochemical material

连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)又称山白果、云义树和五君树,是连香树科连香树属的落叶大乔木,属第三纪孑遗植物,被列为国家二级保护植物。连香树果与叶可作药用,叶含焦性儿茶酚(catechol),果主治小儿惊风抽搐肢冷(潘开文等,2001)。其不仅作药用还可用作香料或材用等,亦是观赏绿化树种,已被世界各国广泛引种栽培(Bob Gibbons,1995)。目前,国内外对连香树的研究主要集中在群落和种群结构(王煜等,2002)、繁育技术(麦苗苗等,2006)、开发利用(翁关成等,2008;夏尚光,2005)等研究,而生理生态方面尚无人涉及。植物的分布受多种因素影响,其中海拔是影响植物生长发育、物质代谢、结构和功能等重要的生态因素之一。因此,本文对四川省甘洛马鞍山自然保护区内不同海拔连香树进行取样,通过比较不同海拔连香树的分布状况、光合色素含量、SOD活性、可溶性糖等含量,探讨连香树在不同海拔的适应能力,为今后的研究提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 马鞍山概况

马鞍山自然保护区位于四川省凉山彝族自治州甘洛县东南部原始林区,是凉山山系和大小相岭山系大熊猫种群生态走廊关键连接点,也是生物多样性关键区域。马鞍山属于中亚热带气候,垂直变化明显,年平均气温 16.2℃,年平均日照 1 661 h,年平均降水量 880 mm,全年无霜期大约 326 d,为各类植物的分布和生长提供了优越的条件。

连香树在该保护区分布比较集中,分布面积也很广,在海拔 1 750~2 500 m 的向阳山谷,沟旁低湿地区或杂木林中均有分布,连香树在群落中多居于乔木层,在低海拔处生长旺盛,但是有被砍伐的迹象。

1.2 取样

根据四川省甘洛马鞍山自然保护区内连香树分布的特征,于 2009 年 9 月选取雌株连香树分布较多的海拔地段进行采样,设置 4 个采样点:A1(1 874 m)、A2(1 996 m)、A3(2 160 m)、A4(2 290 m)。在

每个采样点设一个 20 m×20 m 的样方,样方内调查连香树的分布格局。每个采样点选取若干(N≥3)株长势相当、无病虫害成熟的中树(连香树)分别采集其中叶片。取样时在树冠下部东、南、西、北、中 5 个方向采摘一年生枝上的成熟叶片,各个方向取等量叶片,混匀。样品统一编号,冰箱分装后马上送实验室进行各项生理指标的测定,每指标重复 4 次。

1.3 实验方法

叶绿素含量的测定,用丙酮提取法(李合生,2000);SOD活性以抑制NBT光化还原50%作为一个酶单位(U),用U·g⁻¹FW表示(中国科学院上海植物生理研究所等,1999);丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法,单位nmol·g⁻¹FW(中国科学院上海植物生理研究所等,1999);可溶性糖含量的测定,用蒽酮比色法(周祖富等,2005);蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝G250染色法(中国科学院上海植物生理研究所等,1999);游离脯氨酸(Pro)含量采用酸性茚三酮法测定(汤章城,1999),单位用μg·g⁻¹FW表示。

1.4 统计分析方法

所有数据均运用SPSS11.5中的One-way ANOVA方法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同海拔连香树的分布状况

A1:1 874 m,28°42′57.1″N,102°53′28.9″E。群落中乔木层高度变化为12~17 m,树冠投影面积变化为81~180 m²,优势树种为连香树,伴生种主要有漆树(*Rhus vernici flua*)、青榨槭(*Acer davidii*)、野核桃(*Juglans cathayensis*);灌木层盖度为20%~35%,植物高度变化为2~5 m,树冠投影面积变化为1~6 m²,主要植物有大枝绣球(*Hydrangea rosthornii*)、野核桃幼苗、青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)幼苗;草丛盖度为30%~45%,高度变化为0.5~3 m,主要植物为川莓(*Rubus setchuenensis*)、裂叶荨麻(*Urtica fissa*)、小悬钩子(*R. nutans*)。该海拔样方中连香树的总数量为5,除幼树

外平均株高为 14 m, 平均树冠投影面积为 132 m², 幼树数量为 1。

A2: 1 996 m, 28°42′49.9″ N, 102°53′38.4″ E。群落中乔木层高度变化为 9~13 m, 树冠投影面积变化为 70~150 m², 优势树种为连香树、漆树, 伴生种主要有青冈栎、野核桃; 灌木层盖度 30%~45%, 植物高度变化 2~6 m, 树冠投影面积变化 3~10 m², 主要植物有大枝绣球、狗枣弥猴桃 (*Actinidia kolomikta*)、野核桃幼苗、领春木 (*Euptelea pleiospermum*) 幼苗; 草丛盖度为 35%~45%, 高度变化为 0.5~3 m, 主要植物为裂叶荨麻、桦叶荚蒾 (*Viburnum betulifolium* Batal)、小悬钩子、落新妇 (*Astilbe chinensis*)。该海拔样方中连香树的总数量为 4, 平均株高为 12 m, 平均树冠投影面积为 110 m², 幼树数量为 0。

A3: 2 160 m, 28°42′09.7″ N, 102°54′45.8″ E。群落中乔木层高度变化为 8~14 m, 树冠投影面积变化为 45~144 m², 优势树种为连香树、野核桃, 伴生种主要有青榨槭、漆树; 灌木层盖度为 35%~

45%, 植物高度变化为 1~4 m, 树冠投影面积变化为 2~7 m², 主要植物有狗枣弥猴桃、鞘柄拔契 (*Smilax stan*)、领春木幼苗; 草丛盖度约为 60%~70%, 高度变化为 0.5~2 m, 主要植物为川莓、桦叶荚蒾、落新妇。该海拔样方中连香树的总数量为 4, 平均株高为 9 m, 平均树冠投影面积为 81 m², 幼树数量为 0。

A4: 2 291 m, 28°41′34.3″ N, 102°55′13.5″ E。群落中乔木层高度变化为 7~14 m, 树冠投影面积变化为 40~140 m², 优势树种为连香树、野核桃, 伴生种主要有青榨槭、漆树; 灌木层盖度为 40%~55%, 植物高度变化为 1~5 m, 树冠投影面积变化为 4~6 m², 主要植物有狗枣弥猴桃、大枝绣球、鞘柄拔契; 草丛盖度为 80%~90%, 高度变化为 0.6~2 m, 主要植物为川莓、桦叶荚蒾、裂叶荨麻。该海拔样方中连香树的总数量为 3, 平均株高为 8 m, 平均树冠投影面积为 72 m², 幼树数量为 0。

2.2 不同海拔高度连香树光合色素含量的变化

随着海拔的升高, 叶绿素 a、叶绿素 b 含量以及

表 1 连香树叶绿素和类胡萝卜素含量随海拔梯度的变化

Table 1 Chlorophyll and carotenoid contents of *C. japonicum* at different altitudes

海拔 Elevation (m)	A1	A2	A3	A4
叶绿素 a Chla content (mg · g ⁻¹ FW)	0.73 ± 0.07a	0.58 ± 0.09ab	0.56 ± 0.06ab	0.51 ± 0.12ab
叶绿素 b Chlb content (mg · g ⁻¹ FW)	0.33 ± 0.03a	0.24 ± 0.01b	0.23 ± 0.02b	0.19 ± 0.03b
叶绿素总量 Chl content (mg · g ⁻¹ FW)	1.06 ± 0.10a	0.82 ± 0.10ab	0.79 ± 0.09ab	0.70 ± 0.13b
类胡萝卜素 Car content (mg · g ⁻¹ FW)	0.13 ± 0.01a	0.11 ± 0.02a	0.04 ± 0.01b	0.12 ± 0.03a
叶绿素 a/b Chla/Chlb	2.24 ± 0.57a	2.38 ± 0.33a	2.45 ± 0.12a	2.91 ± 0.63a

总叶绿素含量呈降低趋势, 在 A4 处其含量均达到最低水平, A4 与 A1 相比分别下降了 30.14%、42.42% 和 33.96%, 叶绿素 b 含量以及总叶绿素含量变化显著 ($P < 0.05$)。其中 Chlb 降低的幅度大于 Chla, 因此 Chla/Chlb 的比值随海拔的升高而增加, 正因为 Chlb 的降幅大, Chla 在叶绿素总量的比重有所提高 (表 1)。从表 1 可看出, 类胡萝卜素 (Car) 的含量在 A1 处高于 A2、A3、A4 处。A1 与 A3 相比, 升高了 69.23%, 差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 不同海拔高度连香树超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的变化

从图 1 看出, 随着海拔的升高, SOD 活性的变化呈降低趋势。A1、A2 和 A3 之间的 SOD 活性变化均未达到显著水平 ($P > 0.05$), 但活性都高于 A4。A4 与 A1、A2、A3 相比, SOD 活性下降了 52.74%、48.58%、40.26%, 前两者降幅显著 ($P < 0.05$)。

2.4 不同海拔高度连香树叶片丙二醛 (MDA) 含量变化

由图 2 可见, 随着海拔的升高, MDA 含量呈升高趋势, A1、A2、A3 之间的 MDA 含量差异不显著 ($P > 0.05$)。A4 处 MDA 含量要显著高于 A1、A2 和 A3 ($P < 0.05$)。A4 与 A1、A2 和 A3 相比, 分别升高了 3.98 倍、2.24 倍、1.78 倍。

2.5 不同海拔高度连香树叶片可溶性糖含量

从图 3 看出, 随着海拔的升高可溶性糖含量呈降低趋势。A1 与 A2 的可溶性糖含量并无显著差异, 但两者均显著高于 A3 和 A4。A3、A4 与 A1 相比, 可溶性糖含量分别下降了 35.93%、66.17%; A3、A4 与 A2 相比, 可溶性糖含量分别下降了 33.13%、64.69%。

2.6 不同海拔高度连香树叶片可溶性蛋白含量的变化

从图 4 看出, 可溶性蛋白含量随着海拔的升高

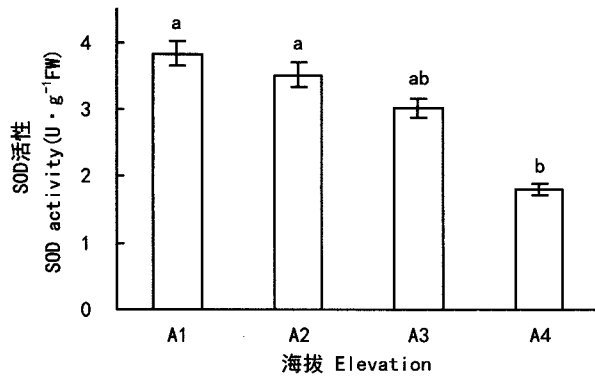


图1 连香树叶 SOD 活性随海拔梯度的变化
Fig.1 Activities of SOD in leaves of *C. japonicum* at different altitudes

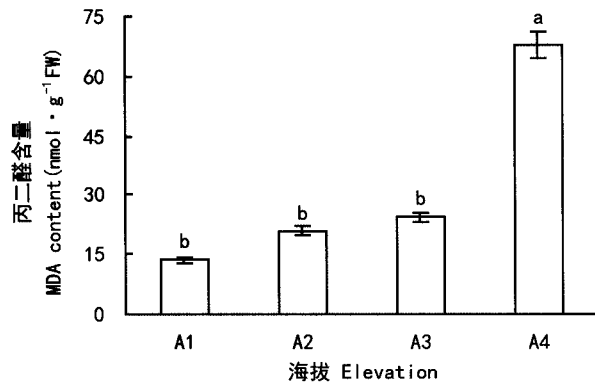


图2 连香树叶丙二醛(MDA)随海拔梯度的变化
Fig.2 Content of MDA in leaves of *C. japonicum* at different altitudes

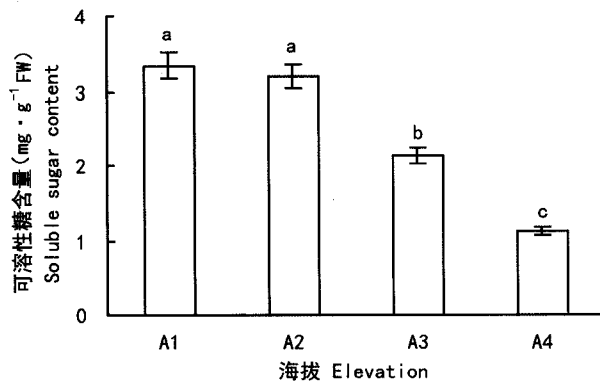


图3 连香树叶可溶性糖含量随海拔梯度的变化
Fig.3 Content of soluble sugar in leaves of *C. japonicum* at different altitudes

呈先降低后升高趋势。在 A2 处可溶性蛋白含量最低(10.88±1.02),在 A4 处最高(13.92±0.40)。A3、A4 与 A1 相比,可溶性蛋白含量分别上升

6.90%、6.08%,升幅未达到显著水平($P>0.05$)。A3、A4 与 A2 相比,可溶性蛋白含量分别上升 19.67%、27.94%,其中后者上升的幅度达到显著水平($P<0.05$)。

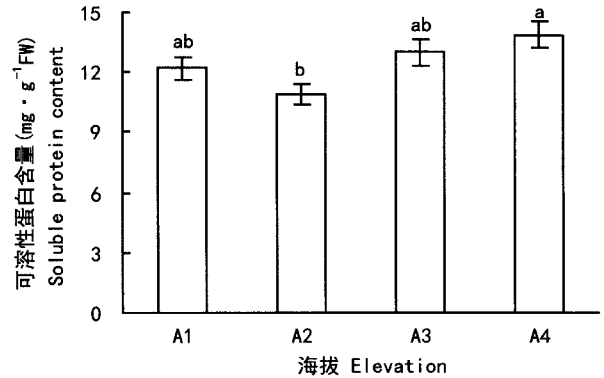


图4 连香树叶可溶性蛋白含量随海拔梯度的变化
Fig.4 Content of soluble protein in leaves of *C. japonicum* at different altitudes

2.7 不同海拔高度连香树叶片游离脯氨酸(Pro)含量的变化

由图5可见,随着海拔的升高 Pro 含量呈升高趋势。A1、A2、A3 之间差异不显著($P>0.05$)。A4 与 A1、A2、A3 相比,Pro 含量分别升高了 4.43 倍、2.50 倍、1.50 倍,差异显著($P<0.05$)。

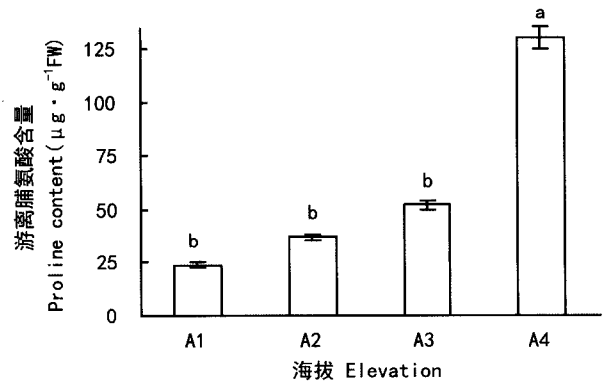


图5 连香树叶脯氨酸含量随海拔梯度的变化
Fig.5 Content of proline in leaves of *C. japonicum* at different altitudes

3 讨论

从连香树的分布状况可以看出,随着海拔的升高,连香树的株高、树冠投影面积、总数量均呈减少趋势,在 A4 处各值均最低。连香树的幼树仅在 A1

处存在,在 A2、A3、A4 处均无,这样的状况对维持连香树种群的延续是不利的,其更新受到限制。

连香树为乔木中的优势种,种内、种间竞争都会存在。其它乔木与连香树除了抢占上层空间外,还会强烈地竞争地下部分的资源,所以优势种在空间上要有强烈的扩散能力。正因为如此,整个群落进入主林层的大树很少。而连香树在 A1 处独为优势种,其树高、树冠投影面积值也均较大,这说明在 A1 处其对环境的适应能力很强。在 A2、A3、A4 处,林内的乔木优势种树高、树冠投影面积值均出现不同程度的下降,而这将会有一部分地上和地下的资源被其它物种抢占。其它物种抢占的空间越大,越容易向优势种转化。从连香树的分布状况可以看出,漆树、野核桃树和青榨槭一直与连香树形成强烈的种间竞争关系。此外,随着海拔的升高,温度下降、氧含量降低、干旱、太阳辐射以及紫外线增加等,环境越来越恶劣,环境对植物的胁迫加重也是连香树株高、总数量以及树冠投影面积减少的原因之一。因此,连香树在 A1 处比 A2、A3、A4 更适合生长。

叶绿素是植物光合复合体的重要组分,在光合作用中参与光能的吸收、传递和转化。a、b、(a+b) 和 car 含量在 A1 处均高于 A2、A3、A4 处,且 A4 处含量最低。随着海拔的升高,叶绿素 a/b 值呈上升趋势。植物叶绿素含量与辐射有关,强辐射下,植物叶绿素含量会降低(韩利军等,2002)。而且低温下 Chlb 的降解速度比 Chla 快(吴栋栋等,2009),所以随着海拔的升高,温度降低,Chlb 的降幅大,正是 a/b 值上升的原因。

MDA 常被用来作为脂质过氧化指标,表示细胞膜脂过氧化程度和对逆境条件反应的强弱(徐兴友等,1991;刘亚云等,2007;胡景天等,1999)。随海拔的升高,MDA 含量在 A4 处显著高于 A1、A2、A3 处,其含量在 A1 处最低。游离脯氨酸是一种重要的有机渗透调节物质,是一种抗性指标(赵风云等,2000;林栖凤等,2000)。随着海拔的升高,A4 处游离脯氨酸含量显著高于 A1、A2、A3 处,且 A1 处最低。游离脯氨酸含量和 MDA 含量变化一致,说明了 A1 处连香树叶细胞膜受到伤害最小,海拔环境对连香树胁迫也最小,其在 A1 处生长最旺盛。

逆境能引起植物体内活性氧代谢紊乱,严重时造成细胞死亡(Chen,1989)。相应地植物体内也形成复杂的抗氧化系统,保护植物免受活性氧伤害(Salin,1988)。超氧化物歧化酶是植物体内重要的

抗氧化酶,能清除过量的 O₂·、·OH 等自由基(吴栋栋等,2009)。随海拔的升高,SOD 活性在 A1 处最高,A2、A3 处其活性也显著高于 A4 处。因而,可以看出 A1 处,连香树清除活性氧的能力显著高于 A2、A3、A4 处。可溶性糖是重要的能源物质和许多生理生化反应的基础(潘远智等,2006),同时可溶性糖的浓度与植物的抗冻能力成正比(Palonen,1999)。可溶性糖通过降低细胞质的冰点防止细胞内结冰(Sakai & Yoshida,1968),使植物安全度过低温季节。本实验在 A1、A2 处可溶性糖含量显著高于 A3、A4 处,且 A4 处其含量最低。可溶性蛋白在氮素代谢中起着代谢库的作用(潘远智等,2006)。本实验中 A1 处可溶性蛋白较高,与 A3、A4 相差不多,但显著高于 A2 处。A2 处其含量较低,可能是因为土壤 PH 值使合成蛋白质的相关细胞器受损,抑制了新蛋白的合成。SOD 活性、可溶性糖和可溶性蛋白含量在 A1 处均保持高水平,前两者在 A4 处均处于最低水平,这些说明 A1 处连香树生长旺盛,A4 处不利于连香树的生长。

参考文献:

- 汤章城. 1999. 现代植物生理实验指导[M]. 北京:科学出版社:35-40
- 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 1999. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社:30-33
- 周祖富,黎兆安. 2005. 植物生理学实验指导[M]. 广西大学:86-87
- Bob Gibbons. 1995. Tree of Britain and Europe[M]. London: Chancer press:13-15
- Chen SY. 1989. Membrane lipid peroxidation and plant stress[J]. *Chin Bull Bot*,6(4):211-217
- Han LJ(韩利军),Yang CW(阳成伟),Ou ZY(欧志英). 2002. Progress in biosynthetic pathway and its biological functions of plant carotenoid(类胡萝卜素的生物合成途径及生物学功能研究进展)[J]. *J Biol(生物学杂志)*,19(6):1-3
- Hu JT(胡景天),Gu ZY(顾振瑜),Wen JL(文建雷). 1999. Effect of water stress on membrane lipid peroxidation in maple(水分胁迫对元宝枫膜脂过氧化作用的影响)[J]. *J Northwest For Univ(西北林学院学报)*,14(2):10-12
- Lin QF(林栖凤),Li GY(李冠一). 2000. Research progress in salt tolerance in plants(植物耐盐性研究进展)[J]. *Progress in Biotech(生物工程进展)*,20(2):21-22
- Liu YY(刘亚云),Sun HB(孙红波),Chen GZ(陈光志). 2007. Effects of PCBs on *Aegiceras corniculatum* seedlings growth and membrane protective enzyme system(多氯联苯对桐花树幼苗生长及膜保护酶系统的影响)[J]. *J Appl Ecol(应用生态学报)*,18(1):123-128
- Mai MM(麦苗苗),Shi DX(石大兴),Wang ML(王米力),et al. (下转第 574 页 Continue on page 574)

质须根,黄白色。鳞叶2~3枚,圆筒状,长16~28 cm,直径约3 cm,先端钝。叶2枚,叶裂片放射状排列,11~14枚,长圆形或长圆状椭圆形,长13~16 cm,宽4.5~6.5 cm,先端长渐尖,具长约2 cm的芒状长尾,基部渐狭成不明显的柄,边缘全缘,上面绿色,背面淡白色或灰白色,中脉与侧脉上面下凹,背面凸起;叶柄长38~42 cm,粗壮,上部稍细,下部逐渐变粗达2 cm,浅绿色,鞘筒状,边缘膜质,先端钝圆。花序柄比叶柄短,长约27 cm,浅绿色。佛焰苞黄绿色,具淡白色条纹,管部圆筒形,长约9 cm,直径2~2.5 cm,喉部斜平展,檐片卵圆形,长9.5 cm,宽约9 cm,先端具长约10.5 cm的线形长尾,斜向下伸出。肉穗花序单生,雄花序未见;雌花序近圆锥形,长3~3.2 cm,粗达1.7 cm,花密集,子房长圆形,长约3 mm,具棱,1室,基生胎座,具3~5胚珠,柱头圆锥状;附属器圆锥状或圆锥状长圆形,长6.5

~7 cm,直径约1.5 cm,黄绿色,先端圆钝,下部渐狭成长约2 cm,粗8~10 mm的柄,柄上具多数线状披针形的中性花,中性花长7~12 mm,黄白色,先端细尖状。

本种与乡城南星 *A. xiangchengense* J. Li et A. M. Li 相似,但本种植株较高,达90 cm,被白粉;叶裂片短而窄;叶柄短;佛焰苞檐片卵圆形,短而宽,先端线状长尾长达10.5 cm,斜向下;雌花序圆锥状,较短;附属器圆锥形或圆锥状长圆形,下部渐狭成柄状,具多数线状披针形的中性花等可以区别。

四川:峨眉山,海拔2 000 m,闵伯清与祝正银1507号(模式标本,存四川省中药学校);同地,祝正银,无号。

球茎民间入药,叫白南星,燥湿化痰,却风镇惊,消肿。

(上接第645页 Continue from page 645)

2006. A preliminary study on the *in vitro* culture of *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc(连香树离体快繁初步研究)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **33**(1):186-189
- Palonen P. 1999. Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars[J]. *J Am Soc Hort Sci*, **124**(1):507-513
- Pan KW(潘开文), Liu ZG(刘照光). 2001. Grey correlation and cluster analysis on relationship between *Cercidiphyllum japonicum* community and its environment(用关联度和聚类分析法研究连香树人工群落与环境的关系)[J]. *J Appl Ecol*(应用生态学报), **12**(2):161-167
- Pan YZ(潘远智), Jiang MY(江明艳). 2006. Effects of shade on the photosynthetic characteristics and growth of *Poinsettia*(遮荫对盆栽一品红光合特性及生长的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **33**(1):100-101
- Sakai A, Yoshida S. 1968. The role of sugar and related compounds in variations of freezing resistance [J]. *Cryobiology*, **5**(1):160-174
- Salin ML. 1988. Toxic oxygen species and protective system of the chloroplast [J]. *Physiol Plant*, **72**:681-689
- Wang Y(王煜), Liu SX(刘胜祥). 2002. Study on the natural population dynamics of *Cercidiphyllum japonicum* in Hubei(湖北省连香树自然种群分布研究)[J]. *J Central China Normal Univ*(华中师范大学学报), **1**(1):93-96
- Weng GC(翁关成), Fan MX(范明香), Hu JG(胡金根). 2008. The utilization value and propagation of an endangered plant *Cercidiphyllum japonicum*(濒危物种连香树的利用价值与繁育技术)[J]. *J Modern Agric Sci Tech*(现代农业科技), **21**(1):118-119
- Wu DD(吴栋栋), Zhou YB(周永斌), Yu DP(于大炮), et al. 2009. Physiological response of *Betula ermanii* at different altitudes in Changbai Mountain(不同海拔长白山岳桦的生理变化)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **29**(5):2 279-2 285
- Xia SG(夏尚光). 2005. The resource propagation and conservation utilization policy of an old endangered tree *Cercidiphyllum japonicum*(古老珍稀树种连香树的资源培育和保护性利用对策)[J]. *J Modern Agric Sci Tech*(现代农业科技), **1**(1):54-57
- Xu XY(徐兴友), Wang ZH(王子华), Zhang FJ(张凤娟), et al. 2008. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and membrane lipid peroxidation of the roots of six wild flowers in the eastern section of Yanshan Mountain(干旱胁迫对6种野生耐旱花卉幼苗根系保护酶活性及脂质过氧化作用的影响)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **44**(2):45-46
- Zhao FY(赵凤云), Guo SL(郭善利), Wang ZL(王增兰). 2003. Recent advances in study on transgenic plants for salt tolerance(耐盐转基因植物研究进展)[J]. *J Plant Physiol Mol Biol*(植物生理与分子生物学报), **29**:171-178