

我国竹子抗寒性研究进展

蔡 纯<sup>1,2</sup>,武荣花<sup>1\*</sup>,范自川<sup>3</sup>,张 玲<sup>4</sup>

(1. 河南农业大学 林学院,河南 郑州 450002; 2. 博爱县农业局,河南 博爱 454450;  
3. 河南省博爱县豫清竹园,河南 博爱 454450; 4. 博爱县林业局,河南 博爱 454450)

**摘要:**竹子是重要的园林绿化植物,目前我国“南竹北移”的竹子引种驯化过程中遇到的关键问题是低温对竹子造成的冻害。综述了竹子抗寒性的研究进展,包括竹子抗寒性形态指标和生理生化指标、耐寒性品种调查筛选和抗寒性引种栽培试验研究的主要成果。  
**关键词:**竹子; 抗寒性; 鉴定指标; 引种  
**中图分类号:** S795      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004 - 3268(2015)05 - 0013 - 05

Advance in Cold Resistance of Bamboo in China

CAI Chun<sup>1,2</sup>,WU Ronghua<sup>1\*</sup>,FAN Zichuan<sup>3</sup>,ZHANG Ling<sup>4</sup>

(1. College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;  
2. Boai Agricultural Bureau, Boai 454450, China; 3. Yuqing Bamboo Garden of Boai County,  
Boai 454450, China; 4. Boai Forestry Bureau, Boai 454450, China)

**Abstract:** Bamboo is an important landscape plant. The most obstruct in bamboo transplantation from south to north of China is freeze injury caused by low temperature. This paper summarized the progress on cold resistance of bamboo,including morphological indexes and physiological and biochemical indexes of cold resistance for bamboo,investigation and selection of cold resistance bamboo varieties,bamboo cold resistance introduction and cultivation.  
**Key words:** bamboo; cold resistance; identification indexes; varieties introduction

竹子属于禾本科(Gramineae)竹亚科(Bambusoideae)多年生常绿植物,广泛用于园林绿化,是一种集经济价值、生态价值、文化价值于一体的可再生林业资源。  
竹类植物 43 属,竹种 700 余种,变种和变型 150 个左右<sup>[1]</sup>。竹子大都喜温暖湿润的气候,原产地或适生地一般年平均温度为 12~22℃,1 月份平均气温为 -5~10℃,以排水良好、深厚、湿润肥沃、pH 值 5~7 的土壤为好,其分布具有明显的地带性和区域性<sup>[2]</sup>,大多分布在浙江、江西、福建、湖南、云南和四川等南方地区,在北方地区稀有分布<sup>[3]</sup>。本文综述了我国在竹子抗寒性形态指标和生理生化指标、耐寒性品种调查筛选和抗寒性引种栽培试验方面的研究成果,对丰富我国北方城市常绿阔叶植物

种类,满足城市的绿化、美化建设具有重要的指导意义。

1 竹子抗寒性的鉴定指标

抗寒性是竹子在长期低温寒冷环境下通过自然选择和遗传变异获得的一种能力。明确竹子抗寒性评价指标及指标测定,对竹子抗寒性机制研究、耐寒品种选择、抗寒引种具有现实意义。竹子抗寒性鉴定的指标分为形态指标和生理生化指标。

1.1 形态指标

在低温条件下,竹子形态会发生一些变化,而形态指标是竹子对环境适应性最直接的反映,具有简单、直观、易测的优点,但其需要长期观察,根据竹子越冬期间外部形态变化进行总结。当前,对于竹子

收稿日期:2014 - 12 - 03  
作者简介:蔡 纯(1987 - ),女,河南博爱人,在读硕士研究生,研究方向:园林植物与观赏园艺。E - mail:646598153@qq.com  
\* 通讯作者:武荣花(1964 - ),女,河南叶县人,副教授,博士,主要从事园林植物栽培生理研究。  
E - mail:wuronghua06@126.com

抗寒性的研究大多通过形态指标的变化进行评价。王金革等<sup>[4]</sup>从竹子叶、枝、秆的表现和新枝叶、新笋的生长等方面进行了耐寒性评估,结果表明:金镶玉竹、乌哺鸡竹、黄古竹等耐寒性较强,表现较好,刚竹、红壳雷竹、斑竹等耐寒性稍弱;赵康<sup>[5]</sup>从叶片和枝条生长状态、发笋率、新竹的粗度和高度,评价竹子适应性,发现红竹、黄槽斑竹、红壳雷竹、菲白竹、黄条金刚竹、铺地竹等 10 余种竹子的适应性较强;贾伍员<sup>[6]</sup>选取活竹秆率、活竹墩率、地径比、发笋数、发笋墩率作为鉴定竹子抗寒性的评价指标,发现金镶玉竹、阔叶箬竹等抗寒性强,菲白竹、雷竹等表现一般。

## 1.2 生理生化指标

竹子生理生化指标相对稳定。低温胁迫下,竹子体内的生理生化指标会发生一定的变化,通过测定其变化,可以找到一些与抗寒性关系密切的指标,用于竹子抗寒性的鉴定<sup>[7]</sup>。我国竹子抗寒性生理研究起步相对较晚,近年来竹子抗寒性鉴定指标有电导率、半致死温度( $LT_{50}$ )、酶活性、游离脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、丙二醛(MDA)含量、叶绿素荧光等,与其他园林植物抗寒性生理研究相比较为落后。目前以相对电导率及可溶性蛋白、可溶性糖、游离脯氨酸含量鉴定竹子抗寒性的研究相对较多,以 MDA 含量、叶绿素荧光鉴定竹子抗寒性的研究较少,以酶活性鉴定竹子抗寒性的研究仍无定论,而在抗寒蛋白、基因方面的研究很少。

**1.2.1 膜系统与抗寒性的关系** 植物膜系统与抗寒性有着密切的关系,早在 1973 年 Lyons<sup>[8]</sup>提出“膜脂相变”学说,认为植物在受到一定低温损伤后,膜结构发生变化,透性增大,可溶性物质、电解质大量外渗,导致电导率增大。而膜破坏程度表现为电解质外渗率的大小,目前已广泛应用于各类植物抗寒性研究中<sup>[9-11]</sup>。大量研究发现,随着外界温度逐渐下降,竹子叶片的细胞质膜透性呈上升趋势,与温度呈负相关<sup>[12-13]</sup>。但竹种间上升幅度不同,随着低温持续时间的延长,各竹种的膜透性不是一直呈上升趋势,而是呈升-降-升趋势。赵兰勇<sup>[14]</sup>、胡尚连等<sup>[15]</sup>、徐传保等<sup>[16]</sup>、王文哲<sup>[17]</sup>、秦宇<sup>[18]</sup>发现,随着温度的降低,各竹种电导率表现先降低后升高的“S”型曲线,这说明各竹种在遭遇低温胁迫时,其体内的防御机制慢慢发生作用,从而提高其自我保护的能力<sup>[13]</sup>。根据电解质外渗率大小判断的竹子抗寒性强弱顺序与利用 Logistic 拟合计算所确定的竹子抗寒性强弱顺序相吻合,说明电导率、半致死温度与抗寒性密切相关,电解质外渗率是判断植物抗

寒力强弱的重要指标<sup>[19]</sup>。

膜脂不饱和脂肪酸含量与植物抗寒性有着密切的关系,不饱和脂肪酸含量的高低可以作为评价竹种耐寒性的指标之一。张玮等<sup>[20]</sup>在对丛生竹的脂肪酸含量测定时发现,竹子的膜脂不饱和脂肪酸含量越高,则抗寒性越强。低温驯化后,膜脂不饱和脂肪酸含量(主要是有棕榈油酸、亚麻酸、亚油酸)增加,膜流动性提高,从而提高了竹子的抗寒能力。

**1.2.2 保护酶系统与抗寒性的关系** 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)是植物体内重要的保护酶系统。当植物受到低温胁迫后,细胞内会产生和积累大量的活性氧自由基,酶系统则起着清除活性氧自由基、减少自由基对植物伤害的作用。低温胁迫下,植物体中保护酶活性的强弱直接关系到抵御低温伤害的能力<sup>[21]</sup>。对不同竹种低温胁迫后,SOD、POD、PPO 活性与抗寒性有较强的关联度,可以作为评价竹子抗寒性的指标<sup>[13,19]</sup>。有研究显示,竹子细胞内的 SOD、POD 活性与其抗寒性呈正相关<sup>[13,18]</sup>,随着温度的降低,相关抗氧化酶活性均表现出先升高后降低再升高的趋势<sup>[14,22]</sup>,但目前对 SOD 活性与抗寒性关系的研究仍存在分歧,PPO 活性与竹子抗寒性关系的研究较少。刘西岭等<sup>[22]</sup>在引种试验中发现,石绿竹的 SOD 活性较为稳定,人面竹、金镶玉竹、铺地竹、黄槽石绿竹和篾竹等 5 个竹种 SOD 活性变化与温度的变化呈明显负相关,而应叶青等<sup>[23]</sup>在自然降温下对红秆寒竹生理生化指标的研究中发现,随着温度的降低 SOD 活性表现出先降低后升高的趋势。

**1.2.3 细胞渗透调节物质与抗寒性的关系** 植物细胞中可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸可通过提高细胞液浓度,降低渗透势,保持细胞内水分不减少,使植物细胞免受水分胁迫,从而减少逆境对植物造成的伤害<sup>[24]</sup>。随着温度的降低,细胞中可溶性蛋白、可溶性糖、游离脯氨酸含量增加,与竹子抗寒性呈正相关<sup>[16,18]</sup>,而滕召勇<sup>[25]</sup>发现,对竹种低温处理后,有的竹种脯氨酸含量反而下降,与自然观测结果相关性不明显,说明将脯氨酸含量变化作为抗寒性测试指标还需进一步探讨。

**1.2.4 MDA 与抗寒性的关系** MDA 是膜脂过氧化的最终产物,可反映出细胞损伤的程度,是各种植物抗寒性研究中普遍采用的抗寒性指标。目前研究发现,竹子在遭受低温胁迫后,MDA 含量随着伤害程度的增大而升高<sup>[13]</sup>,研究显示,斑苦竹、阔叶箬竹、大明竹从  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  开始 MDA 含量均开始上升,至  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  开始下降,变化幅度较大,在  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  时达到

最低点,随后 MDA 含量转而上升,在  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  达到一个新的高度<sup>[18]</sup>。

### 1.2.5 叶绿素含量、叶绿素荧光与抗寒性的关系

低温胁迫后,植物的叶绿素含量下降,导致光合机能受阻,从而对植物造成伤害,严重时甚至死亡。有研究显示竹子受到低温胁迫后,随着温度的降低、胁迫时间的延长,叶绿素含量出现先增加后减少的现象,在一定程度上叶绿素的降解有利于提高竹子的抗寒性<sup>[16]</sup>。此外抗寒性强的竹种叶绿素含量高于抗寒性弱的竹种,反映了叶绿素与竹子抗寒性的关系<sup>[12-13]</sup>。

自 Kautsky 发现了叶绿素荧光动力学现象后,叶绿素荧光动力学逐渐成为一种技术被应用于逆境胁迫的研究中<sup>[26]</sup>,用来探测植物的生长、受病害及胁迫的生理状况<sup>[27]</sup>。在竹子遭受低温后,叶片荧光参数的变化,可作为竹子受伤情况和抗冻能力的鉴定指标。方竹叶片的叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$  (PS II 原初光能转化效率)、 $Y(II)$  (PS II 实际光化学量子产量)、 $qP$  (光化学淬灭系数)、 $ETR$  (表观电子传递速率)呈现先降低后升高的趋势;在  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冻害胁迫处理下, $ETR$ 、 $Y(II)$ 、 $qP$  皆为 0,表明此时方竹已失去光合能力<sup>[28]</sup>。而在对山东省阳谷县引种的罗汉竹、金镶玉竹、黄金间碧玉竹、茶杆竹、水胖竹、乌脯鸡竹、淡竹、紫竹、黎竹低温胁迫后,固定荧光  $F_0$  上升, $ETR$ 、 $F_v/F_0$  (PS II 的潜在活性)和  $F_v/F_m$  值明显降低<sup>[3]</sup>。

## 2 竹子耐寒性品种调查筛选和抗寒性引种试验

### 2.1 竹子耐寒性品种调查筛选

竹子原地地条件温暖湿润,随着引种工作的不断北移,温度不断降低,当前竹子已基本形成了一个具有一定适应性的种群。但耐寒性是竹子固有的遗传特性,这种特性使竹子不同属之间抗寒性存在较大差异,即使同属不同种,或者同种不同变种间都存在着较大的差异。为进一步扩大竹林种植范围,最大限度发挥竹子园林绿化作用,在全国各地大力开展了竹子适地、优质、高效品种的筛选工作。

据研究,单轴型或复轴型竹种耐寒性强于合轴型竹种<sup>[29-32]</sup>,散生竹、混生竹抗寒性强于丛生竹<sup>[5,32-33]</sup>,这为我国竹子耐寒性品种的筛选奠定了一定的基础。在筛选方法上,可对强低温胁迫下存活下来的竹子进行耐寒性等级划分<sup>[34-36]</sup>,或通过多年反复观测调查<sup>[36]</sup>评定竹子耐寒性。同时,竹子在受到冻害后,叶片、枝条、主干会受到不同程度的损

伤,其内部的生理生化指标会发生不同程度的变化,在低温胁迫后对竹子生理指标的测定也是竹子耐寒性品种筛选的重要方法<sup>[37]</sup>。目前竹子生理生化研究相对较少,各指标间变化不一致,甚至根据不同指标得出抗寒性相反的结论。因此,对竹子耐寒性品种筛选需多个指标综合分析,从而得到真实、准确的结论。

### 2.2 竹子抗寒性引种栽培试验

我国竹类引种具有悠久的历史。早在金元时期便有竹子的引种记载,清朝年间北京怀柔县红螺寺引种竹子建立皇家竹林,1965 年陕西观楼台试验林场“南竹北移”试验首先获得成功。20 世纪 60—70 年代,大规模的“南竹北移”引种工作使一些抗性较强的散生竹引种到黄河以北流域,使毛竹在山东崂山、文登一带扎根,而刚竹、淡竹、红竹能在北京、大连等地生长,青皮竹引种在浙南形成了大片的用材竹林,粉单竹也在浙南、长沙一线栽培等<sup>[38]</sup>。

近年来,竹子引种栽培工作在全国各地纷纷开展,并取得较大成绩。在南方地区,甜竹、大头典竹、吊丝单竹<sup>[39]</sup>、越香竹<sup>[40]</sup>、撑绿竹<sup>[41]</sup>等引至云南地区,出笋品质优、生长表现好且耐寒性强;黄金间碧玉竹<sup>[42]</sup>引种至云南,若在当年和次年采取一定的防护措施,可抵御寒害;巨龙竹引种至广州完全成功<sup>[43]</sup>;吊丝单、吊丝球、青皮竹、撑麻 25 号可在浙南地区推广和开发<sup>[44]</sup>;金丝慈竹从湖南永州引种至南京,经过 10 a 的野外驯化,获得成功<sup>[45]</sup>。

温度和湿度是竹子向我国北方引种的限制性因素,尤其以温度更为关键。竹子在引种过程中,因北方冬季寒冷,会发生不同程度的冷害和冻害,严重时甚至死亡。薛贵山等<sup>[46]</sup>发现,黄甜竹引种到  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温、降雨量 1 000 mm 地区是可行的。孙守家<sup>[47]</sup>从南京林业大学竹类研究所引进竹种 20 种,在山东蒙山脚下栽培 3 a (年平均气温  $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端最低温度  $-20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年相对湿度 69%),结果表明:早竹、凤尾竹、鹅毛竹、铺地竹等 9 种竹子能安全越冬,生长良好,具有较强的生长适应性;篾竹、矢竹等 6 种竹子略有冻害,但能越冬;毛金竹、桂竹等 5 种竹子冻害严重,不能安全越冬,其中黎竹全部死亡。张玉龙等<sup>[48]</sup>于 1983 年将淡竹从晋南夏县引种到晋中榆次(年平均气温  $9.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量为 407.1 mm),通过 15 a 的试验观察,淡竹在晋中平川区基本不受冻害,生长良好。李作军<sup>[49]</sup>1999 年从安吉竹种园、四川大学以及南京林业大学引种黄秆京竹、寿竹、矢竹、白纹阴阳竹到陕西关中(年平均气温  $13.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极端低温  $-14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均相对

湿度 70.1%), 经过 5 a 栽培管理, 所有竹种在试验地的耐寒表现均较好, 适宜当地栽植, 其中黄秆京竹、寿竹、白纹阴阳竹和金竹生长正常, 无明显冻害表现; 矢竹和黎竹受害轻微, 初显冻情。赵康<sup>[5]</sup>自陕西楼观台引种 46 种竹子(栽培种)到北京地区(年均气温 11.8℃, 最冷 1 月平均气温 -4.7℃, 年降水量 638.8 mm)进行栽培, 经过 2 a 的观察, 结果表明: 红竹、黄槽斑竹、红壳雷竹、菲白竹、黄条金刚竹、铺地竹等 10 余种竹子的适应性较强。

从整体上来说, 竹子从南向北移栽受冻害程度大于从北向南移栽, 从高山引竹进平原受冻轻<sup>[9]</sup>, 向阳南坡冻害比北坡轻, 滨海地带冻害比内陆轻, 植株周围有屏障的比没有屏障的冻害轻, 新竹冻害重, 栽植密度小的竹林受冻害要严重<sup>[50]</sup>。因此, 在竹子向北引种的过程中, 一方面要选择温暖、湿润, 土壤肥沃, 具有一定防风、防寒、防旱的地区; 另一方面要选择抗寒性强的竹种加以栽培管理, 种植时适当密植或混交<sup>[30,44]</sup>, 形成霜冻屏障。同样, 对于北方寒冷地区, 可采取适当的保护措施加以防护。针对不同的竹种, 可采取不同的防寒措施, 对于较为高大的散生竹, 可采取缠秆加风障; 对于植株较短的混生竹, 可采取根部覆盖马粪及树叶; 对于低矮的丛生竹则可用设施大棚加强保暖<sup>[30,47]</sup>。另外, 对于春季引种栽植的竹子, 抗旱、防风是关键, 采取浇水与高喷灌叶面给水相结合, 即 7 d 浇一次水, 每天利用高喷灌进行叶面给水, 搭风障进行防风, 以保证竹子安全度过春季干旱及风沙天气, 达到生产栽培成活率要求<sup>[51]</sup>。在夏、秋季连续干热风天气, 可进行浇水及高喷灌给水, 降低竹秆、竹叶表面温度, 创造湿润的小气候, 满足竹子生长的要求, 达到更好的绿化效果。除此之外, 适当的施肥<sup>[52]</sup>、外喷植物生长调节剂等也可以提高竹子引种的成功率, 其对抗寒性也起着一定的作用。

近年来, “南竹北移”工作在我国取得了显著的成效, 但对竹子抗寒性机制的研究较少, 仅仅通过形态指标的观测、生长范围的调查难以从生理机制上分析竹子的抗寒性。

### 3 问题与展望

由于竹子抗寒机制的复杂性, 目前对竹子抗寒性的研究仅限于形态指标和生理生化指标的测定上, 而对竹子低温胁迫下抗寒机制的研究较少, 并且一些生理生化指标与抗寒性的关系尚未完全明确, 对竹子抗寒性研究还需要进一步的探索。竹子的抗寒性是竹子体内一系列生理生化过程综合作用的结

果, 既受相关基因的调控, 也受外界自然条件的影响, 所以对竹子抗寒性的研究要综合多个指标进行评定, 不能仅靠单一指标来评定。植物在低温胁迫下一系列的形态特征、生理生化变化取决于内部相关基因的表达, 因此, 研究与抗寒相关的基因以及基因组序列、信号转导和基因表达等是未来竹子研究的重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 陈松河. 观赏竹园林景观应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [2] 竺肇华. 中国热带地区竹藤发展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [3] 苏永侠. 竹类引种及生物学特性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [4] 王金革, 陈进勇. 北京植物园竹亚科植物耐寒性评价[J]. 世界竹藤通讯, 2012, 10(2): 1-8.
- [5] 赵康. 北京地区竹类引种试验初报[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(4): 14-19.
- [6] 贾伍员. 竹类资源在泰安的引种试验[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [7] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [8] Lyons J M. Chilling injury in plants[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1973, 24: 445-466.
- [9] 李卫, 孙中海, 章文才, 等. 柑橘抗寒育种早期鉴定的一种指标[J]. 植物学报, 1998, 40(9): 827-830.
- [10] 车代弟, 王军虹, 刘慧民. 丰花月季抗寒生理指标和抗寒性的关系[J]. 北方园艺, 2000, 4(2): 57.
- [11] Zhang G Z, Xiao X Y. A comparative study on cold resistance of eight introduced turf grasses[J]. Bull Bot Res, 1997, 17(2): 200-206.
- [12] 刘国华, 栾以玲, 张艳华. 自然状态下竹子的抗寒性研究[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(2): 10-14.
- [13] 刘国华, 林树燕. 4 种地被竹生理指标对低温的响应[J]. 竹子研究会刊, 2011, 30(4): 6-10.
- [14] 赵兰勇. 部分竹子抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [15] 胡尚连, 曹颖, 段宁, 等. 不同类型竹种抗寒性的灰色关联与聚类分析[J]. 福建林学院学报, 2010, 30(4): 327-332.
- [16] 徐传保, 戴庆敏. 低温胁迫对竹子 3 种渗透调节物质的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(1): 127-130.
- [17] 王文哲. 日照地区部分竹子的抗寒性研究[J]. 山东林业科技, 2012(5): 22-25.
- [18] 秦宇. 山东省引种观赏竹的抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [19] 吴继林. 大湖竹种园丛生竹种的收集及其耐寒性评

- 价研究[J]. 竹子研究会刊, 2008, 27(1): 19-26.
- [20] 张玮, 谢锦忠, 吴继林, 等. 低温驯化对部分丛生竹种叶片膜脂脂肪酸的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 139-143.
- [21] 刘鸿先, 曾韶西, 王以柔, 等. 低温对不同耐寒力黄竹幼苗子叶各细胞器官中 SOD 的影响[J]. 植物生理学报, 1985, 11(1): 48-57.
- [22] 刘西岭, 刘汉柱, 辛华, 等. 青岛引种的 5 个竹种与当地竹种的抗寒性比较研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(8): 129-131.
- [23] 应叶青, 魏建芬, 郭璟, 等. 自然低温对红杆寒竹生理特性的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2010, 29(3): 10-14.
- [24] 利千容, 王建波. 植物逆境细胞及生理学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 7-8.
- [25] 滕召勇. 湖南丛生观赏竹抗寒性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [26] 李晓, 冯伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2186-2196.
- [27] Stirbet A. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2011, 104(1): 236-257.
- [28] 史世京, 胡尚连, 曹颖, 等. 冷冻胁迫下方竹抗氧化酶活性和叶绿素荧光特性[J]. 福建农林学报, 2013, 33(1): 38-42.
- [29] 刘秋芳, 张旭东, 周金星, 等. 我国竹子抗寒性研究进展[J]. 世界林业研究, 2006(5): 59-62.
- [30] 黄衍串. 竹子冻害的调查研究[J]. 西南林学院学报, 1993, 13(4): 285-288.
- [31] 彭映辉, 项文化, 田大伦, 等. 特大冰冻雪灾后长沙市竹类的冻害状况[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 55-58.
- [32] 刘玮, 黄程前, 黄滔, 等. 长沙地区观赏竹引种筛选研究[J]. 经济林研究, 2013, 31(4): 132-139.
- [33] 邱尔发. 城市绿化竹子生态适应性评价[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 2896-2902.
- [34] 刘国华. 山东省引种栽培竹种生长情况调查及对比研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2006, 37(4): 586-590.
- [35] 卢义山, 李荣锦, 倪竞德. 竹类植物种质资源圃抗寒性竹种的选择[J]. 江苏林业科技, 2007, 34(2): 12-18.
- [36] 赵金发, 董文渊, 毛闻君, 等. 冰雪灾害对大关县 4 种竹林损害的调查研究[J]. 西部林业科学, 2009, 38(1): 96-100.
- [37] 林树燕, 丁雨龙. 电导法对 7 种观赏竹的抗寒性测定[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 34-38.
- [38] 周芳纯. 竹林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [39] 邹跃国. 云南甜竹、大头典竹、吊丝单竹引种栽培试验研究[J]. 竹子研究汇刊, 2003, 22(1): 38-42.
- [40] 马丽莎, 史军义, 易同培, 等. 越香竹引种初报[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19314-19315, 19318.
- [41] 傅建生. 撑绿竹在水富县的引种造林研究初报[J]. 竹子研究会刊, 2006, 25(2): 24-28.
- [42] 张进友. 黄金间碧玉竹引种实验[J]. 竹子研究会刊, 2003, 22(3): 37-39.
- [43] 杜凡. 巨龙竹的变异类型及其引种区域的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2001, 20(1): 19-26.
- [44] 金川, 王月英. 丛生竹的引种及其生产力评定[J]. 贵州林业科技, 1991, 6(2): 62-68.
- [45] 张春霞. 金丝慈竹在南京生长表现及其应用潜力[J]. 竹子研究会刊, 2011, 30(1): 44-47.
- [46] 薛贵山, 温太辉. 笋用良种黄甜竹引种研究报告[J]. 竹类研究汇刊, 1990, 9(2): 88-102.
- [47] 孙守家. 山东蒙山竹类引种试验初报[J]. 山东林业科技, 2002(4): 8-11.
- [48] 张玉龙, 吴建功, 马荣田. 淡竹引种栽培试验初报[J]. 山西林业科技, 2003(1): 44-45.
- [49] 李作军. 6 种观赏竹在关中地区引种实验[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [50] 温从辉, 林峰, 金玉峰. 绿竹冻害的成因及减灾预防措施[J]. 林业科技开发, 2003(5): 15-21.
- [51] 赵好战, 马拥军, 王维佳. 竹子引种及应用技术研究报告[J]. 河北林果研究, 2003, 18(3): 264.
- [52] 罗丽雯. 磷对慈竹抗寒性的影响研究[J]. 竹子研究会刊, 2011, 30(3): 24-28.