

DOI: 10.11929/j.swfu.201810044

引文格式: 陈辉, 周成玲, 胡来宝, 等. 苏北地区4种常绿阔叶树种引种栽培适应性分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(4): 149–154.

苏北地区4种常绿阔叶树种引种栽培适应性分析

陈辉¹ 周成玲¹ 胡来宝¹ 陈伯清¹ 董频²

(1. 淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏淮安 223003; 2. 江苏艺华园林建设有限公司, 江苏淮安 223001)

摘要: 通过对苏北地区引种栽培的4种常绿阔叶树种露地越冬时期的形态特征进行观测, 测定了多个与植物耐寒性相关的生理生化指标, 结合 Logistic 方程分析、隶属函数分析等方法, 对4种常绿阔叶树种在引种栽培环境中的适应性进行了多个层面的分析和评价。结果表明: 天竺桂、台湾含笑、乐昌含笑、山杜英均能够耐受苏北地区冬季平均 $-10\sim-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温, 综合比较引种常绿阔叶树种的耐寒性, 排序为天竺桂(栟川)>天竺桂(南京)>台湾含笑>乐昌含笑>山杜英>天竺桂(成都)。因此, 4种常绿阔叶树种适宜在苏北地区引种栽培。

关键词: 天竺桂; 台湾含笑; 乐昌含笑; 山杜英; 常绿阔叶树种; 引种; 适应性评价

中图分类号: S722.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)04-0149-06

Adaptability Analysis of Introduction and Cultivation of 4 Evergreen Broad-leaved Tree Species in Northern Jiangsu Province

Chen Hui¹, Zhou Chengling¹, Hu Laibao¹, Chen Boqing¹, Dong Pin²

(1. College of Life Science and Food Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu 223003, China;

2. Jiangsu Yihua Garden Construction Co. Ltd., Huai'an Jiangsu 223001, China)

Abstract: Through the observation of the morphological characteristics of 4 evergreen broad-leaved tree species introduced and cultivated in northern Jiangsu during the wintering period, a number of physiological and biochemical indicators related to cold tolerance of plants were determined. Combining Logistic equation analysis and membership function analysis, the adaptability of 4 evergreen broad-leaved tree species in the introduction and cultivation environment was analyzed and evaluated at various levels. Results show that 4 evergreen broad-leaved tree species, including *Cinnamomum pedunculatum*, *Michelia compressa*, *Michelia chapensis* and *Elaeocarpus sylvestris*, can tolerate the average low temperature of $-10\sim-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ in winter in Jiangsu northern areas. According to the comprehensive comparison of cold tolerance of 4 species, the order from strong to weak is as the following: *Cinnamomum pedunculatum* (Luanchuan), *Cinnamomum pedunculatum* (Nanjing), *Michelia compressa*, *Michelia chapensis*, *Elaeocarpus sylvestris*, *Cinnamomum pedunculatum* (Chengdu). Comprehensive evaluation shows that 4 evergreen broad-leaved tree species are suitable for introduction and cultivation in Jiangsu northern areas.

Key words: *Cinnamomum pedunculatum*; *Michelia compressa*; *Michelia chapensis*; *Elaeocarpus sylvestris*; evergreen broad-leaved tree species; introduction; adaptability evaluation

收稿日期: 2018-10-25; 修回日期: 2019-01-18

基金项目: 江苏省政策引导类计划(产学研合作)——前瞻性联合研究项目(BY2016061-08)资助。

第1作者: 陈辉(1979—), 女, 硕士, 讲师。研究方向: 园林植物资源开发与利用。Email: 181944895@qq.com。

秦岭—淮河是暖温带和亚热带分界线，苏北灌溉总渠则是秦岭—淮河一线的东延，该地带通常被认为是我国南北地理分界线，同时具有地理、气候的南北分界意义。沿该分界线分布的苏北地区城市（主要包括徐州、宿迁、淮安、盐城、连云港等）位于北纬 32°~34°，东经 117°~119°。属于暖温带湿润、半湿润季风气候和亚热带湿润季风气候的过渡性地带，为部分原产于亚热带地区的常绿阔叶树种突破原有的生长环境，实现“南种北引”提供了有利的自然环境条件^[1]。同时，常绿阔叶树种的科学合理引种对于丰富苏北地区冬季城市景观，增加园林植物多样性亦具有重要意义。而针对苏北地区引种的常绿阔叶树种进行适应性分析能够为引种树种的选择提供科学依据，并为城市园林树种规划提供实践积累和理论参考。

本研究对苏北地区近年来引种的天竺桂（*Cinnamomum pedunculatum*）、台湾含笑（*Michelia compressa*）、乐昌含笑（*Michelia chapensis*）、山杜英（*Elaeocarpus sylvestris*）4 种常绿阔叶树种于露地自然环境中进行了形态特征观测，并测定了多个与植物耐寒性相关的生理生化指标，综合分析了各树种对引种环境的适应性。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供试材料为 2015 至 2017 年引种栽培的天竺桂、台湾含笑、乐昌含笑、山杜英苗木。其中，天竺桂引种来源地分别为江苏南京、河南栾川和四川成都。引种栽培地点位于江苏省淮安市洪泽区苗圃（北纬 33°19′，东经 118°56′）内。

1.2 研究方法

引种苗木露地越冬，秋季采用树干裹草绳、根颈部培土等防寒措施进行养护管理。定期观测苗木的生长状况和形态特征变化。2017 年 11 月至 2018 年 3 月期间，每月进行 1 次叶片采样。采样时间为每月中旬，天气晴朗的上午。随机选取各供试树种中长势良好、结构完整的叶片，带回实验室，进行清洗。结合实验室人为温度控制处理，测定样品各项生理生化指标。

将叶片样品先用自来水冲洗干净，再用蒸馏水冲洗 2~3 遍，最后用去离子水冲洗 3 次，用吸水纸吸干。剪碎，每份称取 0.50 g，重复 3 次，放入具塞大试管，加入蒸馏水 20 mL，于室温下震荡。同样方法取叶片加入蒸馏水 20 mL，作为

CK。将大试管放入 35 ℃ 水浴锅中静置 20 min，用电导仪（上海仪电科学仪器股份有限公司，中国）测定电导率值 C_1 。再将大试管置于沸水浴中煮杀 15 min，待冷却后测定煮沸后的电导率值 C_2 。蒸馏水的电导率作为 C_0 。按公式（1）~（2）计算相对电导度（ L ）和细胞膜伤害度：

$$L = (C_1 - C_0) / (C_2 - C_0) \tag{1}$$

$$\text{细胞膜伤害度} = (L_t - L_{CK}) \times 100\% / (1 - L_{CK}) \tag{2}$$

式中： L_t 为处理叶片的相对电导度， L_{CK} 为对照处理的相对电导度。

丙二醛（MDA）含量、叶绿素含量、渗透调节物质（可溶性糖、可溶性蛋白质、脯氨酸）含量、以及抗氧化酶（超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）、抗坏血酸过氧化物酶（APX））活性等多项生理生化指标的测定采用常规生理测定方法^[2]。

运用 Logistic 方程描述各样品相对电导率变化规律，计算各引种树种的低温半致死温度（ LT_{50} ）^[3]。运用隶属函数法分析各样品的生理生化指标，综合评价各树种对引种环境的适应性^[3]。

2 结果与分析

2.1 形态特征观测

冬季低温是常绿阔叶树种北移引种的主要限制因素，通过引种的常绿阔叶树种露地越冬期间的形态特征观察，对其受冻害等级做出评价和分析（如表 1）。

表 1 引种常绿阔叶树种露地越冬冻害表现
Table 1 Characteristics of freezing symptom of introduced evergreen broad-leaved tree species in outdoor during winter period

树种	冻害级别	特征描述
天竺桂（南京）	1	叶色稍微变深，叶片出现斑点或有少量失绿
天竺桂（栾川）	1	叶色稍微变深，叶片出现斑点或有少量失绿
天竺桂（成都）	4	叶片干枯或大面积煮熟状、严重水渍，落叶量达 50% 以上，植株基本死亡
乐昌含笑	2	叶片色泽深暗，老叶出现较大褐斑，嫩叶出现叶边缘或叶尖小面积失绿，落叶量 20% 左右
山杜英	2	叶片色泽深暗，叶背有较大褐斑，20% 左右的嫩叶出现叶边缘或叶尖小面积失绿、卷缩或枯落
台湾含笑	1	叶色稍微变深，叶片出现斑点或有少量失绿

从各树种的形态特征变化来看，台湾含笑以及南京种源、栾川种源的天竺桂抗寒性基本能够适应苏北地区的露地栽培环境，其观赏价值基本上没有降低。乐昌含笑和山杜英目前已广泛应用于浙江、上海、江苏南部等地的城市园林建设领域，引种至苏北地区露地越冬表现出轻微冻害，春季气温回升之后，其恢复生长状况基本良好，观赏价值依然能够满足城市园林绿化需要。成都种源的天竺桂抗寒性最弱，分析其原因，主要是引种地域跨度过大，植株自身抗寒性调节不能满足对环境的适应。由此可见，苏北地区引种常绿阔叶树种时在树种选择方面可以主要参考生长于浙江、上海和江苏南部等地的树种，引种来源地也以长江中下游地区为主。

2.2 相对电导率 Logistic 方程分析及 LT₅₀

由图 1 可知，引种常绿阔叶树种在不同温度环境中的细胞膜伤害度基本都呈“S”型曲线变化趋势，因此建立 Logistic 方程模型并计算各树种的 LT₅₀ 可以进一步直观、精确地评价各引种树种对低温的适应性。

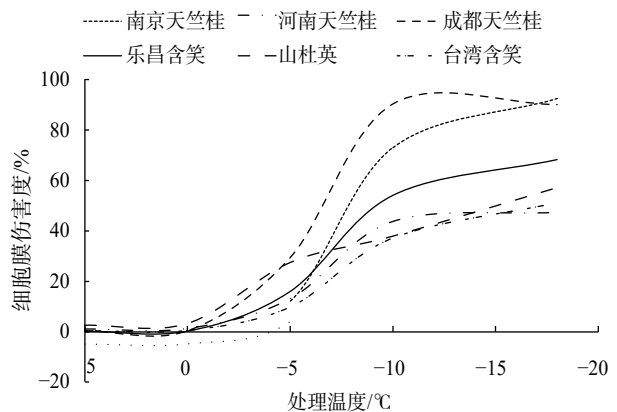


图 1 引种常绿阔叶树种不同温度环境中的细胞膜伤害度变化趋势

Fig. 1 The change trend of cell membrane damaged degree of introduced evergreen broad-leaved tree species in different temperature

由表 2 可知，本研究引种的常绿阔叶树种中，台湾含笑、南京种源的天竺桂和栾川种源的天竺桂 LT₅₀ 低于-10℃，乐昌含笑、山杜英和成都种源的天竺桂 LT₅₀ 低于-7℃。根据淮安及周边城市气象数据资料，苏北地区冬季平均最低温度为-8~-7℃，因此从理论上讲，本研究引种的常绿阔叶树种基本上都能够耐受苏北地区的冬季低温，即可以在苏北地区露地栽培。

表 2 引种常绿阔叶树种相对电导率回归方程及 LT₅₀

Table 2 The regression equation of the relative electrical conductivity and LT₅₀ of introduced evergreen broad-leaved tree species

树种	Logistic 方程	R ²	LT ₅₀ /℃
天竺桂（南京）	y=0.422 6x+4.578 3	0.926 4	-10.83
天竺桂（栾川）	y=0.278 2x+2.826 7	0.895 2	-10.16
天竺桂（成都）	y=0.486 4x+3.437 4	0.853 3	-7.07
乐昌含笑	y=0.414 1x+3.930 4	0.930 7	-9.49
山杜英	y=0.266 0x+2.079 4	0.957 4	-7.82
台湾含笑	y=0.309 8x+3.593 1	0.929 8	-11.60

2.3 生理生化指标分析

由图 2~7 可知，供试树种在各项指标中的排列顺序不尽相同，但每项指标中各树种测定值的变化趋势基本一致。2017 年 11 月至次年 1 月，随着温度的降低，供试的引种树种 MDA 含量呈上升趋势，表明各树种受低温伤害的程度加剧。而叶绿素含量呈下降趋势，渗透调节物质逐渐积累，含量呈上升趋势，抗氧化酶活性呈上升趋势，则是各树种自身的保护性调节。随着春季气温回升，引种树种的各项指标的回落（叶绿素含量回升）趋势表明其恢复生长的动态过程。

研究中发现，在入冬初期，供试树种的部分指标值呈现波动性变化。由图 2 可知，各树种 MDA 含量的变化趋势是先降低再升高再降低。表明供试的引种树种在初冬气温骤降和 1 月份气温最低时，MDA 含量处于较高水平，随着自然温度的稳定和回升，各树种受低温影响得到一定程度的缓解和恢复。台湾含笑、栾川种源的天竺桂和南京种源的天竺桂 MDA 含量增幅较小，其耐寒性强于山杜英、乐昌含笑及成都种源的天竺桂。

不同树种的各项生理生化指标对低温作用的敏感度各不相同，例如，栾川种源的天竺桂 SOD 活性的最高峰值出现时间晚于另外两地引种的同种植株，这表明来自不同种源地的同一树种各项生理调节过程对低温敏感度也会存在差异。

依据各项生理生化指标对供试的引种树种耐寒性进行排序，其结果差别较大，甚至部分指标显示的排序结果与形态观测结果并不一致。分析其原因，树木的耐寒性是多个生理调节过程综合作用的结果。亦有前人研究表明，植物耐寒性相关的各生理过程对低温的敏感程度不同，不同的生理过程之间有着相互促进或抑制的作用，致使

各项生理生化指标之间具有相关性^[4-6]。因此,以个别生理生化指标作为评价标准无法全面反映引树种的耐寒能力,依据单个指标来评价树种对引种环境的适应性也必定有失客观。

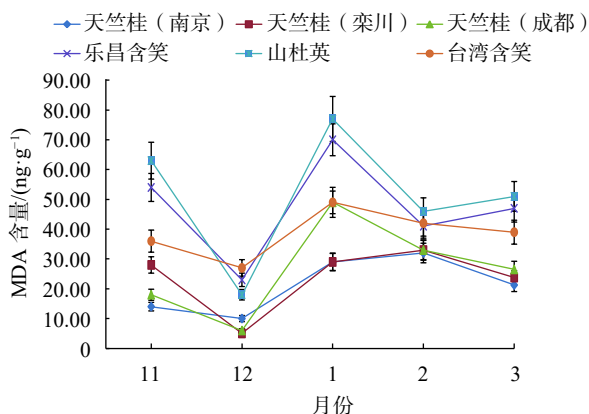


图2 引种常绿阔叶树种越冬时期MDA含量变化

Fig. 2 MDA content changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

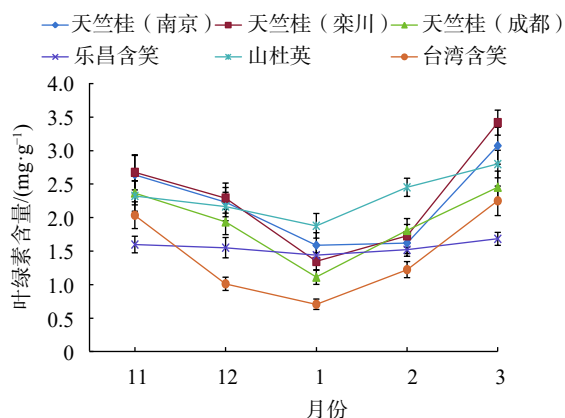


图3 引种常绿阔叶树种越冬时期叶绿素含量变化

Fig. 3 Chlorophyll content changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

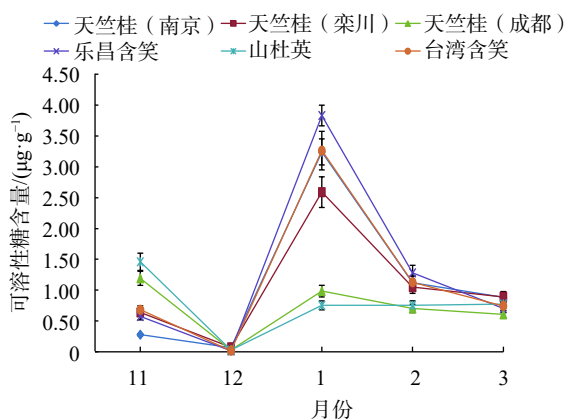


图4 引种常绿阔叶树种越冬时期可溶性糖含量变化

Fig. 4 Soluble sugar content changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

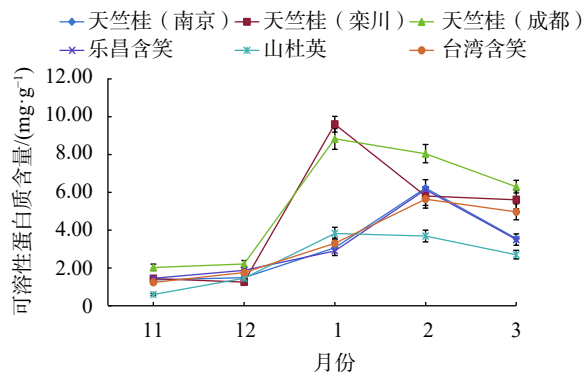


图5 引种常绿阔叶树种越冬时期可溶性蛋白质含量变化

Fig. 5 Soluble protein content changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

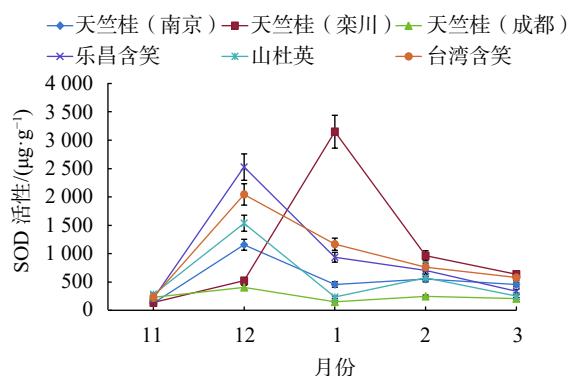


图6 引种常绿阔叶树种越冬时期SOD活性变化

Fig. 6 SOD activity changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

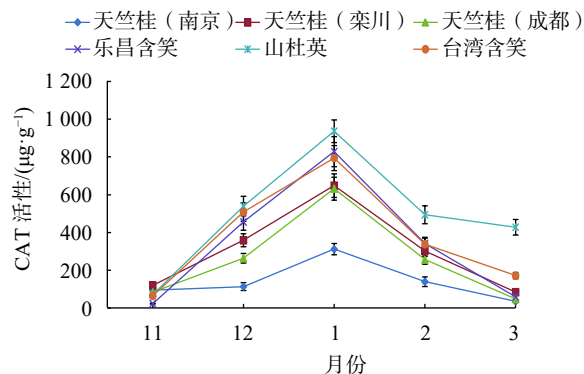


图7 引种常绿阔叶树种越冬时期CAT活性变化

Fig. 7 CAT activity changes of introduced evergreen broad-leaved tree species in winter period

2.4 引种适应性综合分析

植物对环境的适应性调节错综复杂,单一的评价指标不足以全面反映其适应性规律,研究表明运用隶属函数法综合分析植物应对环境变化的各类指标是目前较为科学的评价方法^[7]。本研究将测定的生理生化指标做标准化处理,并且考虑各项指标的权重系数,运用模糊数学隶属函数法

综合评价引种的常绿阔叶树种对引种环境的适应性，并以 D 值大小对评价结果进行排序，结果见表 3。本研究中引种的常绿阔叶树种适应性由强到弱排序为天竺桂（栾川）>天竺桂（南京）>台湾含笑>乐昌含笑>山杜英>天竺桂（成都）。结合上述形态观测的结果，可将引种的常绿阔叶树种的适应性分为 3 个等级：天竺桂（栾川）、天

竺桂（南京）、台湾含笑抗寒性强，能够适应苏北地区冬季低温环境，安全露地越冬；乐昌含笑、山杜英抗寒性较强，虽然略有轻微冻害表现，但能够自行恢复正常生长，观赏价值基本不受影响；天竺桂（成都）抗寒性弱，基本不能适应苏北地区的生长环境，出现严重冻害，甚至植株死亡，不适宜在该地区引种栽培。

表 3 引种常绿阔叶树种适应性综合分析

Table 3 Comprehensive analysis on adaptability of introduced evergreen broad-leaved tree species

树种	MAD含量	相对电导率	叶绿素含量	渗透调节物质含量			抗氧化酶活性				D 值	排序
				脯氨酸	可溶性糖	可溶性蛋白质	SOD	POD	CAT	APX		
天竺桂（南京）	0.100	0.025	0.085	0.108	0.070	0.027	0.032	0.062	0.000	0.068	0.576	3
天竺桂（栾川）	0.082	0.080	0.091	0.062	0.058	0.089	0.087	0.030	0.039	0.009	0.628	1
天竺桂（成都）	0.091	0.000	0.053	0.098	0.000	0.118	0.000	0.000	0.028	0.022	0.410	6
山杜英	0.000	0.055	0.016	0.021	0.097	0.028	0.073	0.098	0.049	0.000	0.438	5
乐昌含笑	0.013	0.063	0.095	0.000	0.009	0.000	0.034	0.023	0.085	0.125	0.447	4
台湾含笑	0.040	0.086	0.000	0.025	0.078	0.036	0.074	0.077	0.057	0.105	0.578	2
权重系数	0.101	0.086	0.095	0.108	0.097	0.118	0.087	0.098	0.085	0.125		

结合引种树种 LT_{50} 分析，虽然成都种源的天竺桂理论上能够耐受 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温，但是该树种实际生长过程中生理代谢综合调节并不能适应苏北地区的环境条件，因此在园林应用过程中选择合适的引种种源地尤为重要。

3 结论与讨论

通过对苏北地区引种的 4 种常绿阔叶树种的形态特征观测和多项生理生化指标测定及分析得知，天竺桂、台湾含笑、乐昌含笑、山杜英 4 个树种在苏北地区引种栽培均具有良好的适应性，能够在苏北地区顺利露地越冬，且春季恢复生长后观赏价值基本未降低，因此具有在当地园林应用中的推广价值。但是，引种来源地的选择对于引种成活率至关重要。综合评价本研究供试的 4 种常绿阔叶树种，河南栾川种源的天竺桂对苏北地区引种环境的适应性最强，南京种源的天竺桂和台湾含笑适应性次之，乐昌含笑和山杜英适应性良好，而成都种源的天竺桂越冬存活率极低。因此，就常绿阔叶树种的引种而言，苏北地区适于在纬度跨越不超过 2° 的地区范围内选择合适的树种。河南栾川位于北纬 33° 附近，与苏北地区处于同一纬度地带，两者自然环境相似度较高。天竺桂在河南栾川伏牛山北坡一带有自然群落分布，因此，该地区适宜作为苏北地区引种天

竺桂的最佳种源地。

依据相对电导率和 Logistic 方程模型分析，各树种的 LT_{50} 能够精确地量化评价标准，增加引种植物适应性分析的科学性，是一项方便实用的评价指标。然而， LT_{50} 是人为控制实验条件下得到的量化参考，并不能作为引种适应性评价的唯一标准。而且，植物能够突破原有生长环境在引种地正常生长，是其自身多种生理过程的综合作用的结果，各种调节机制表现出相关性^[8]。因此，基于隶属函数法的运用，并考虑各项指标在植物适应性能力方面的权重，对引种植物的适应性进行综合评价，能够更加客观和全面地分析植物的引种价值。

园林绿化树种的引种工作是一项复杂的工程，这一工作的科学化推进可以在本研究的基础之上，结合植物物候观测、植物激素含量、植物抗寒基因表达和调控等方面的研究做进一步深入探讨^[9-10]。

〔参 考 文 献〕

[1] 殷淑燕. 植物地理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[2] 李小方, 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.

[3] 盖钧镒. 试验统计方法: 第四版 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

- [4] 张天翔, 林宗铿, 曹明华, 等. 不同甜椒品种抗寒性研究初报 [J]. 福建农业学报, 2014, 29(2): 160–164.
- [5] 朱根海, 刘祖祺, 朱培仁. 应用 Logistic 方程确定植物组织低温半致死温度的研究 [J]. 南京农业大学学报, 1986, 9(3): 11–16.
- [6] 卢芳. 徐州市 8 种常绿阔叶树种抗寒性研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [7] 许瑛, 陈煜, 陈发棣, 等. 菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(3): 974–981.
- [8] 庄炳莉. 自然降温过程中 5 个常绿阔叶树种的耐寒性研究 [D]. 江苏: 南京林业大学, 2008.
- [9] 田星, 樊军锋, 张锦梅. 8 种美洲黑杨无性系抗寒性评价 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38(3): 80–86.
- [10] 李大培, 李生萍, 高向倩, 等. 安康‘紫仁’核桃响应干旱胁迫的生理评价研究 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2018, 38.

(责任编辑 冯 雪)

