

刘春风,谢寅峰,张往祥. 高温胁迫下 8 个观赏海棠品种的耐热性比较[J]. 江苏农业科学,2017,45(24):129-132.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.032

高温胁迫下 8 个观赏海棠品种的耐热性比较

刘春风¹, 谢寅峰², 张往祥²

(1. 江苏农林职业技术学院,江苏句容 212400; 2. 南京林业大学,江苏南京 210037)

摘要:以 8 个欧美观赏海棠品种为材料,在高温胁迫下利用生理生化指标对其耐热性进行评价。结果发现,利用持续 7 d 在 36~38 ℃ 高温胁迫后的生理生化指标进行主成分分析和系统聚类可有效区分不同观赏海棠品种的耐热性,并能对其耐热性进行有效评价。品种 B4、B10 耐热性强,品种 A2、B5 耐热性较强,品种 B7、B19 耐热性中等,品种 A4、B9 耐热性弱。结果表明,对高温胁迫后的生理生化指标进行主成分分析和系统聚类可以作为快速鉴定观赏海棠耐热性的一种方法。

关键词:观赏海棠;高温胁迫;生理生化;耐热性;主成分分析;聚类分析

中图分类号: S718.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)24-0129-03

观赏海棠(*Malus* spp.)具有观花、观果、观叶等观赏价值和较强的环境适应能力,主要分布在北温带,横跨欧亚大陆和北美洲,被广泛应用于各种园林景观中^[1]。海棠是喜光耐寒植物,一般年平均气温 7~14 ℃ 地区均有分布^[2]。近年来,随着我国城市化建设步伐的加快,各地相继从国外引进优良的观赏海棠品种,并试图将海棠进行南移推广,这些引进的资源的抗逆性和适应性是栽培者普遍关注的问题,尤其是对高温适应性的问题将影响其引种驯化、推广栽培区的范围。目前,国内外的主要研究集中在观赏海棠品种调查和分类^[3-5]、引种筛选和栽培育种、遗传背景和亲缘关系评价、形态和生理生化变化、观赏和应用价值评价、花青素代谢途径与产物、病虫害研究等方面^[3-17]。关于观赏海棠对高温适应性的研究尚未见报道。近年来,由于“温室效应”的影响,全球气温持续升高,因此,笔者对欧美观赏海棠部分品种的耐热性进行了研究,以期对观赏海棠南移推广与栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江苏省南京市溧水区傅家边农业开发区(118°22′~119°14′E,31°14′~32°37′N),属亚热带季风气候,年平均气温 15.5 ℃,年极端气温最高 39.7 ℃,最低-13.1 ℃,年平均日照 2 146 h,年平均降水 1 037 mm。土壤是黏质土,呈酸性。

1.2 材料

供试材料来源于南京林业大学引进的观赏海棠 8 个品种 2 年生的嫁接苗,8 个品种分别为 *Malus* ‘Sentinel’、*Malus* ‘Royalty’、*Malus* ‘Abundance’、*Malus* ‘Robinson’、*Malus*

‘Pink Spire’、*Malus* ‘Adams’、*Malus* ‘Radiant’、*Malus* ‘Strawberry’,编号依次为 A2、A4、B4、B7、B9、B19、B5、B10。嫁接苗于 2012 年 3 月定植,采用完全随机试验设计,株行距为 1 m×2 m,按常规生产管理。8 个品种各选 150 株大小一致、生长健壮的嫁接苗进行测定。

1.3 方法

本试验在 7 月连续 7 d 的 36~38 ℃ 高温天气后取材^[18],对观赏海棠不同品种的叶片进行生理生化测定。相对电导率用电导仪测定法测定^[19];丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[19];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法^[19];过氧化物酶(POD)活性测定采用比色法^[19];可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝染色法^[19];脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸提取-酸性茚三酮显色法^[20];可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[20];过氧化氢(H₂O₂)含量测定采用硫酸钛显色法^[19]。数据分析用 SPSS 17.0 软件对生理生化测定指标进行方差分析、因子(主成分)分析及聚类分析,聚类分析时应用欧氏距离与可变法进行系统聚类。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下 8 个观赏海棠品种的生理生化指标测定

持续高温胁迫后,不同观赏海棠品种间相对电导率的差异极显著($P < 0.01$)。品种 A4、B9、B19 的相对电导率都超过了 50%,表明持续高温胁迫较大程度地破坏了品种 A4、B9、B19 叶片细胞膜,增加了细胞膜透性;品种 A4 叶片的相对电导率最高,达到 68.57%,其次为品种 B9(56.85%)、B19(50.00%),品种 B5、B7、B10 叶片的相对电导率较小,分别为 43.50%、35.10%、33.10%,品种 B4 叶片的相对电导率最小,为 31.90%。相对电导率最高的品种 A4 为最低品种 B4 的 2.15 倍。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间 MDA 含量差异极显著($P < 0.01$),品种 A4、B9 的 MDA 含量分别达到 64.29、60.91 μmol/g,极显著高于其他品种,品种 B19、B5、A2 的 MDA 含量在 31~40 μmol/g,含量居中等,品种 B10、B7、B4 的 MDA 含量远低于其他品种,其中最低为 B4,仅为

收稿日期:2016-07-16

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)2043]。

作者简介:刘春风(1970—),女,河南禹县人,博士,讲师,主要从事园林植物栽培工作。E-mail:497240465@qq.com。

通信作者:谢寅峰,博士,教授,主要从事植物生理研究工作。
E-mail:lcfen949@sina.com。

5.93 μmol/g,其次为 B7(6.50 μmol/g)。MDA 含量较高的品种 B9、A4 为较低品种 B4、B7 的 9.36 ~ 10.85 倍。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间 SOD 活性差异极显著 ($P < 0.01$),品种 A2 的 SOD 活性最高,为 2 197.39 U/g,其次为品种 A4、B9,分别为1 648.04、1 582.87 U/g,品种 B19 的 SOD 活性最低,为 682.81 U/g,其次为品种 B10(955.93 U/g),SOD 活性最高的品种 A2 为 SOD 活性最低的 B19 的 3.2 倍。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间的可溶性蛋白含量也差异极显著 ($P < 0.01$),品种 B10 的可溶性蛋白含量最高,为 223.70 mg/g,其次为品种 B4(182.88 mg/g),品种 B7 的可溶性蛋白含量最低,为 75.97 mg/g,其次为 B19(78.23 mg/g),其余介于 93.15 ~ 137.45 mg/g,可溶性蛋白含量最高的品种 B10 为最低的品种 B7 的 2.94 倍。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间的可溶性糖含量差异显著 ($P < 0.05$),品种 B19、B4

的可溶性糖含量较高,分别为 91.07、90.59 mg/g,品种 A2 的可溶性糖含量最低,为 58.25 mg/g,其次为品种 B10(65.58 mg/g)、B5(65.90 mg/g),可溶性糖含量最高的品种 B19 为可溶性糖含量最低的品种 A2 的 1.56 倍。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间的脯氨酸含量差异显著 ($P < 0.05$)。品种 B5 的脯氨酸含量最高,为 22.53 μg/g,其次为品种 A2、B4,分别为 21.71、21.78 μg/g,品种 B19 的脯氨酸含量最低,为 17.09 μg/g。高温胁迫后,不同观赏海棠品种间的过氧化氢含量差异极显著 ($P < 0.01$),品种 B9 的 H₂O₂ 含量最高,为 15.45 μmol/g,其次为品种 A4(11.52 μmol/g),品种 B10 的过氧化氢含量最低,为 6.03 μmol/g,其次为品种 A2、B5,分别为 6.26、6.53 μmol/g,其余介于 7.46 ~ 10.46 μmol/g,过氧化氢含量最高的品种 B9 为过氧化氢含量最低品种 B10 的 2.56 倍。

表 1 高温胁迫下 8 个观赏海棠品种的生理生化指标

品种编号	相对电导率 (%)	丙二醛含量 (μmol/g)	超氧化物歧化酶活性 (U/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	脯氨酸含量 (μg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)	过氧化氢含量 (μmol/g)
A2	41.55E	35.61B	2 197.39A	137.45C	21.71a	58.25e	6.26D
A4	68.57A	64.29A	1 648.04B	93.15E	18.48b	84.62b	11.52B
B4	31.90H	5.93D	1 337.68D	182.88B	21.78a	90.59a	7.46D
B5	43.50D	31.13B	1 121.97E	137.36C	22.53a	65.90d	6.53D
B7	35.10F	6.50D	1 429.24CD	75.97F	17.96bc	75.36c	9.11C
B9	56.85B	60.91A	1 582.87BC	112.52D	18.89b	85.14b	15.45A
B10	33.10G	15.84C	955.93E	223.70A	18.08b	65.58d	6.03D
B19	50.00C	39.62B	682.81F	78.23F	17.09c	91.07a	10.46BC

注:同列不同小写字母、大写字母分别表示品种间差异显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 8 个观赏海棠品种的耐热性主成分分析

首先对 8 个海棠品种的 7 个指标数据进行标准化和正向化^[21],然后进行主成分分析(表 2 至表 4)。前 4 个主成分的累计贡献率已达 91.768%,基本保留了 7 个耐热相关性状的全部信息(表 4)。第 1 主成分贡献率达 49.837%,第 2 主成分贡献率达 23.933%,第 3 主成分贡献率达 9.202%,第 4 主成分贡献率达 8.795%。第 1 主成分中相对电导率、丙二醛含量、过氧化氢含量有较大的载荷系数,相关分析表明,相对电导率与丙二醛含量、过氧化氢含量的相关系数分别为 0.952、0.719,丙二醛含量与过氧化氢含量的相关系数为 0.692,三者呈显著或极显著正相关。第 2 主成分中载荷系数较大的为 SOD 活性。第 3 主成分中可溶性蛋白含量和脯氨酸含量有较大的载荷系数,相关分析表明可溶性蛋白含量与脯氨酸含量的相关系数为 0.370。第 4 主成分中载荷系数较大的为可溶性糖含量。因此,第 1 主成分可以看作由相对电导率、丙二醛含量、过氧化氢含量组成的细胞膜稳定性因子,第 2 主成分可以看作 SOD 抗氧化因子,第 3 主成分可以看作

由可溶性蛋白含量和脯氨酸含量组成的渗透调节因子,第 4 主成分可以看作为可溶性糖含量。

主成分表达式: $Y_1 = 0.478X_1 + 0.437X_2 + 0.020X_3 + 0.389X_4 + 0.287X_5 - 0.327X_6 + 0.489X_7$; $Y_2 = 0.236X_1 + 0.330X_2 + 0.677X_3 + 0.025X_4 - 0.457X_5 + 0.408X_6 - 0.032X_7$; $Y_3 = -0.120X_1 - 0.172X_2 + 0.147X_3 + 0.565X_4 + 0.552X_5 + 0.536X_6 - 0.151X_7$; $Y_4 = 0.287X_1 + 0.434X_2 - 0.359X_3 - 0.510X_4 + 0.327X_5 + 0.467X_6 - 0.127X_7$ 。式中: X_1 为相对电导率, X_2 为丙二醛含量, X_3 为 SOD 活性, X_4 为可溶性蛋白含量, X_5 为脯氨酸含量, X_6 为可溶性糖含量, X_7 为 H₂O₂ 含量。

表 2 主成分特征值、贡献率及累计贡献率

主成分编号	特征值	百分率 (%)	累计百分率 (%)
1	3.489	49.837	49.837
2	1.675	23.933	73.771
3	0.644	9.202	82.973
4	0.616	8.795	91.768

表 3 各单项指标的相关系数

指标	相对电导率	MDA 含量	SOD 活性	可溶性蛋白含量	脯氨酸含量	可溶性糖含量	H ₂ O ₂ 含量
相对电导率	1						
MDA 含量	0.952**	1					
SOD 活性	0.190	0.261	1				
可溶性蛋白含量	0.567	0.438	0.105	1			
脯氨酸含量	0.283	0.185	-0.401	0.370	1		
可溶性糖含量	-0.355	-0.203	0.350	-0.356	-0.388	1	
H ₂ O ₂ 含量	0.719*	0.692*	0.066	0.575	0.480	-0.636	1

注:“**”“*”分别表示极显著 ($P < 0.01$)、显著 ($P < 0.05$) 相关。

表 4 前 4 个主成分分析因子载荷

变量	载荷系数			
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
X_1	0.478	0.236	-0.120	0.287
X_2	0.437	0.330	-0.172	0.434
X_3	0.020	0.677	0.147	-0.359
X_4	0.389	0.025	0.565	-0.510
X_5	0.287	-0.457	0.552	0.327
X_6	-0.327	0.408	0.536	0.467
X_7	0.489	-0.032	-0.151	-0.127

2.3 观赏海棠 8 个品种的耐热性排序及聚类分析

根据表 5 列出的观赏海棠 8 个品种的 4 个因子得分值和表 2 中的主成分贡献率,按照公式 $\sum n_i = 1 = A_i B_i$ (A 为主成分贡献率; B 为不同品种的因子得分值; $i = 1, \dots, 4; n = 8$) 计算 8 个观赏海棠品种的耐热能力,结果(表 5)表明,8 个品种的耐热能力由大到小的顺序为 $B4 > B10 > B5 > B7 > A2 > B19 > B9 > A4$ 。利用主成分分析得到的 4 个因子得分值(表 5),选欧氏距离与可变法进行聚类分析,将观赏海棠 8 个品种分为 4 个等级,即耐热性强、耐热性较强、耐热性中等、耐热性弱。结果(图 1)表明,耐热性强的品种为 $B4$ 、 $B10$;耐热性较强的品种为 $A2$ 、 $B5$;耐热性中等的品种为 $B7$ 、 $B19$;耐热性弱的品种为 $A4$ 、 $B9$ 。

表 5 8 个观赏海棠品种主成分分析因子得分及耐热能力排序

品种	$Y(i,1)$	$Y(i,2)$	$Y(i,3)$	$Y(i,4)$	耐热能力
A2	1.386	-2.443	-0.596	0.121	0.062
A4	-2.664	-0.875	0.128	-0.382	-1.559
B4	1.714	0.686	1.431	1.119	1.248
B5	1.313	-0.661	0.340	-0.270	0.504
B7	0.314	0.799	-1.490	1.057	0.303
B9	-2.550	-0.517	0.563	-0.035	-1.346
B10	2.182	1.105	-0.120	-1.521	1.207
B19	-1.695	1.906	-0.256	-0.088	-0.420

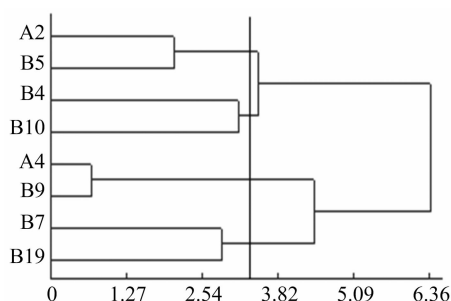


图 1 观赏海棠 8 个品种耐热性聚类分析树状图

3 讨论

主成分分析法是一种多元统计分析方法,可以将许多指标简化浓缩为少数几个甚至一个独立的综合评价指标,使简化的指标既能基本包含全部指标具有的信息,又使指标之间相互无关。它是一种客观实用评价方法,在经济、管理、环境、教育等评价领域得到了较广泛的应用。首先必须对数据进行标准化处理,此外,反向指标必须进行正向化处理后再做标准化,正向化处理以线性处理方式比反向指标取倒数的非线性处理方式要科学一些^[21]。

本试验在处理数据时,对反向指标采用了正向化处理后再做标准化处理,分析结果比较理想,利用经主成分分析法简化后的 4 个互相独立的因子进行聚类后,得到的分类结果与试验田间观测的结果基本吻合^[22]。将观赏海棠 8 个品种分为 4 个等级,即耐热性强、耐热性较强、耐热性中等、耐热性弱。耐热性强的品种为 $B4$ 、 $B10$;耐热性较强的品种为 $A2$ 、 $B5$;耐热性中等的品种为 $B7$ 、 $B19$;耐热性弱的品种为 $A4$ 、 $B9$ 。耐热能力由大到小的顺序为: $B4 > B10 > B5 > B7 > A2 > B19 > B9 > A4$ 。因此,本人认为持续 7 d 的 $36 \sim 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温胁迫能够有效区分不同观赏海棠品种的耐热性,利用生理生化指标进行主成分分析和系统聚类方法可以快速鉴定观赏海棠的耐热性,缩短田间试验观察期,为观赏海棠向南方推广栽培提供了 1 种较快速的鉴定方法。此方法在茶花品种耐热性的鉴定及其他研究中也应用^[18,23-24]。

参考文献:

- [1] 楚爱香,汤庚国. 观赏海棠品种分类研究进展[J]. 生物学通报, 2008,43(7):15-17.
- [2] 陈恒新. 山东海棠品种分类与资源利用研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.
- [3] 张宁,沈红香,高遐虹,等. 苹果属部分观赏品种与中国野生种的亲缘关系[J]. 园艺学报,2007,34(5):1227-1234.
- [4] 沈红香,张宁,姚允聪. 基于叶片特征的观赏海棠分类研究[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京:中国林业出版社, 2006:45-51.
- [5] 沈红香,高遐虹,沈漫,等. 部分观赏海棠品种植株形态比较[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京:中国林业出版社, 2007:655-658.
- [6] Romer J P, Iles J K, Haynes C L. Selection preferences for crabapple cultivars and species[J]. HortTechnology,2003,13(3):522-526.
- [7] 王明荣. 引进 33 种欧洲海棠品种繁殖栽培研究及景观应用价值评价[D]. 南京:南京林业大学,2005.
- [8] 郭翎,周世良,张佐双,等. 苹果属种、杂交种及品种之间关系的 AFLP 分析[J]. 林业科学,2009,45(4):33-40.
- [9] Ranney T, Eaker T. Variation in ploidy levels and reproductive pathways among flowering crabapples[J]. HortScience, 2004, 39(4):773.
- [10] 李晓磊. 观赏海棠(*Malus* sp.)花粉特性及花果香气研究[D]. 泰安:山东农业大学,2008.
- [11] Lloyd J E, Herms D A, Rose M A, et al. Fertilization rate and irrigation scheduling in the nursery influence growth, insect performance, and stress tolerance of 'Sutyam' crabapple in the landscape[J]. HortScience,2006,41(2):442-445.
- [12] 曲晓玲. 观赏海棠基础生物学研究[D]. 泰安:山东农业大学,2006.
- [13] 董建云. 现代海棠视觉特征及其城市景观应用价值研究[D]. 保定:河北农业大学,2007.
- [14] 耿健. 观赏海棠花青素代谢途径与产物的研究[D]. 重庆:西南大学,2011.
- [15] 刘军丽,沈红香,高遐虹,等. ^{60}Co γ 辐射对苹果属观赏海棠诱变效应的研究初报[J]. 中国农学通报,2009,25(8):223-226.
- [16] 郭蕾,郑大睿,仇兰芬,等. 不同北美海棠品种抗蚜性调查[J]. 广东农业科学,2008(12):103-104.

李乃伟, 汤兴利, 束晓春, 等. 利用正交设计研究基质环境对白芨组培苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 132–135.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.24.033

利用正交设计研究基质环境对白芨组培苗生长的影响

李乃伟¹, 汤兴利², 束晓春¹, 徐道华^{1,2}, 周义峰^{1,3}

(1. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏南京 210014; 2. 南京农业大学, 江苏南京 210095;

3. 中国科学院南京分院东台滩涂研究院, 江苏盐城 224200)

摘要:为提高白芨组培苗的驯化成活率及促进其生长, 设计 $L_9(3^3)$ 正交试验, 选用苔藓、椰糠和珍珠岩 3 种不同基质, 设置 3 个水平不完全区组试验, 检测各处理移栽存活率、叶片数、叶片长、叶片宽、根数和根长, 探讨不同基质组合对白芨组培苗炼苗的影响。结果显示, 质量比 1:6:12 的苔藓、椰糠、珍珠岩组合最有利于白芨组培苗驯化, 成活率达 60.49%; 质量比 1:9:4 的组合最有利于白芨组培苗生物量积累, 1 月龄苗株质量达到 1.46 g; 质量比 1:6:12 的组合最有利于叶片数增多和叶片的伸长生长, 叶片数达到 3.3 张, 株高、叶片长分别为 0.93、7.81 cm; 质量比 1:3:8 的组合最有利于叶片宽度生长, 达到 0.91 cm; 质量比 1:18:24 的组合最有利于根数增多, 平均根数达 10.3 条; 质量比 1:9:4 的组合最有利于根系的伸长生长, 总根长达 56.87 cm, 最长根长达 10.04 cm, 平均根长达 5.79 cm。正交试验直观分析结果表明, 3 种栽培基质对白芨组培苗炼苗影响的大小顺序为苔藓 > 椰糠 > 珍珠岩, 最有利于移栽存活和地上部分生长的基质组合均为质量比 1:6:12 的苔藓、椰糠、珍珠岩。方差分析结果表明, 苔藓对移栽成活率、地上部分影响显著, 而苔藓、椰糠、珍珠岩 3 种栽培基质对生物量生长、地下部分生长影响均不显著。

关键词:白芨; 炼苗; 栽培基质; 正交设计

中图分类号: S567.23⁺9

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2017)24-0132-04

白芨 [*Bletilla striata* (Thunb.) Reichb. f.] 为兰科 (Orchidaceae) 白芨属 (*Bletilla* Reichb. f.) 多年生宿根草本植物^[1], 其干燥块茎入药^[2], 具有收敛止血、消肿生肌等功效, 常用于治疗咯血、吐血、外伤出血、疮疡肿毒及皮肤皲裂^[3]。现代药理学研究表明, 白芨还具有抗肿瘤^[4]、抗菌^[5]等作用。此外, 白芨花色艳丽, 也是优良的景观植物; 白芨块茎中所含的白芨胶, 在食品工业中常用作混悬剂及乳化剂^[6]。近年来, 白芨原料的市场需求量快速上升, 野生白芨遭到疯狂采挖, 导致其野生资源贮藏量急剧减少, 濒临灭绝。目前, 白芨已经被列为国家级重点保护野生药用植物。为了保护白芨野生资源并

保障其市场供应, 对其进行“野生转家种”势在必行^[7]。

种苗繁育是植物“野生转家种”的重要环节, 通常采用播种、扦插、分根及组培等方式。白芨种子极多, 每个花茎可结果荚 3~8 个, 每个果荚含种子 2 000~10 000 粒, 但其种子极小, 呈粉末状且胚乳极不发达, 仅有 2~3 个胚乳细胞, 因此, 白芨种子自然散落率和常规人工抚育成苗率极低。当前, 农户多采用分根法繁殖白芨, 但其繁殖系数较低, 仅为 2~3, 因此, 种苗繁育成为白芨“野生转家种”规模化生产的瓶颈。应用组织培养技术进行白芨胚体拯救是当前研究的热点, 也是有效的繁殖方法^[8-9], 并且已有相关研究的成功报道^[10-12]。然而, 白芨无菌苗出瓶后的炼苗驯化和促进成苗技术仍不成熟, 炼苗成活率较低。

营养、水分、光照等是组培苗炼苗成活的主要影响因子。炼苗使用的培养基质为组培苗根部生长提供营养和水分。因此, 基质的选择及配比是影响白芨组培苗炼苗成功的关键因素。

目前, 国内外对于白芨“野生转家种”的研究相对较少, 不同基质环境对白芨组培苗生长的影响未见报道。鉴于此, 笔者对不同基质组合白芨组培苗的驯化成活率和生长状况进行比较研究, 以期明确白芨组培苗的适宜培养基质, 并完善白芨种苗繁殖和栽培的技术体系, 为白芨产业化栽培提供科学依据。

收稿日期: 2016-06-26

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(17)3006]; 江苏省产学研联合创新资金——前瞻性联合研究项目(编号: BY2014116)。

作者简介: 李乃伟(1983—), 男, 山东聊城人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物遗传育种及种苗繁殖研究工作。Tel: (025) 84347088; E-mail: linaiwei8828@163.com。

通信作者: 周义峰, 硕士, 副研究员, 主要从事药用植物资源学研究。E-mail: njgzhou@163.com。

[17] 邓丽娟, 沈红香, 姚允聪. 观赏海棠品种对土壤干旱胁迫的响应差异[J]. 林业科学, 2011, 47(3): 25–32.

[18] 李纪元, 李辛雷, 范妙华, 等. 高温胁迫下 15 个茶花品种的耐热性[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(6): 636–640.

[19] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008.

[20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[21] 俞立平, 潘云涛, 武夷山. 学术期刊评价中主成分分析法应用悖论研究[J]. 情报理论与实践, 2009, 32(9): 84–87.

[22] 刘春风, 刘少轩, 谢寅峰, 等. 高温胁迫对观赏海棠形态和生长的影响[J]. 林业科技开发, 2013, 27(3): 42–45.

[23] 袁霞, 何斌. 八角林地土壤酶活性和养分的分布特点及其相关分析[J]. 经济林研究, 2004, 22(2): 10–13.

[24] 王玉娟, 陈永忠, 王湘南, 等. 稻草覆盖对油茶幼林林地土壤温度及新梢的影响[J]. 经济林研究, 2009, 27(2): 49–52.