

4 种地被观赏竹抗旱性综合评价研究

赵 兰^{1,2}, 邢新婷^{1*}, 聂庆娟³, 辜夕容²

(1. 中国林业科学研究院 木材工业研究所, 北京 100091; 2. 西南大学 资源与环境学院, 重庆 400716;
3. 河北农业大学 园林旅游学院, 河北 保定 071000)

摘 要:以黄条金刚竹、菲白竹、铺地竹、菲黄竹 4 种地被观赏竹为试验材料, 进行人为控水干旱胁迫, 以正常浇水组为对照, 测定干旱胁迫下 4 种地被观赏竹的质膜透性、丙二醛含量、游离脯氨酸含量等生理生化指标, 运用主成分分析方法和隶属函数法对 4 种地被观赏竹进行抗旱性指标的选取和抗旱性综合评价。结果表明, 各生理指标反映抗旱能力从高到低顺序为 CAT、POD、脯氨酸、SOD、可溶性蛋白、叶片含水量、细胞质膜透性、可溶性糖、MDA、叶绿素含量, 4 种地被观赏竹的抗旱性从高到低顺序为黄条金刚竹、菲白竹、菲黄竹、铺地竹。

关键词:地被观赏竹; 抗旱性; 主成分分析; 隶属函数法

中图分类号:S795 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2011)01-0018-04

Comprehensive Evaluation on Drought Resistance of Four Dwarf Ornamental Bamboo Species

ZHAO Lan^{1,2}, XING Xin-ting^{1*}, NIE Qing-juan³, GU Xi-rong²

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
3. College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Physiological and biochemical indices of the four dwarf bamboos species under drought stress were measured (*Pleioblastus kongosensis* f. *aureostriatus*, *Sasa fortunei*, *Sasa argenteostriatus* and *Sasa auricoma*). Their drought resistances were evaluated by subordinate functions. The results indicated that the water content of leaf, the free proline contents, the cell membrane permeability, the MDA contents and the activities of SOD, POD and CAT could be considered as the indices of drought tolerance, and the drought resistances of four dwarf ornamental bamboos was in the order of *Pleioblastus kongosensis* f. *aureostriatus* > *Sasa fortunei* > *Sasa auricoma* > *Sasa argenteostriatus*.

Key words: dwarf ornamental bamboos; drought resistance; principle component analysis; subordinate function

竹子作为一种重要的森林资源, 近年来, 其研究涉及有关于结构与物理力学性能、竹材化学等材性方面^[1-3], 形态分类、栽培、利用等宏观方面, 竹林生态和病虫害防治方面^[4-6], 遗传育种、解剖学、细胞学和分子生物学研究等各个领域^[7-12], 但在竹子抗旱性方面的研究还少见报道。竹子的抗旱性研究目前多侧重于外部形态特征上^[13], 在生理生化方面的研究仅见铺地竹 (*Sasa argenteostriatus*)、平安竹

(*Pseudosasa japonica* cv. *Tsutsumiana*) 和小佛肚竹 (*Bambusa ventricosa*) 的报道^[14-16]。本文以黄条金刚竹 (*Pleioblastus kongosensis* f. *aureostriatus*)、铺地竹、菲黄竹 (*Sasa auricoma*)、菲白竹 (*Sasa fortunei*) 为材料, 测定了持续干旱胁迫下几个重要生理生化指标的变化, 分析其变化规律及其与抗旱性的关系, 利用综合评价方法评价 4 种地被观赏竹的抗旱性, 为竹子抗性机理研究及扩大竹子适生范

收稿日期: 2010-03-16 修回日期: 2010-07-19

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目: 景观竹林和绿化观赏竹的培育管护技术 (2006BAD19B0304)

作者简介: 赵兰, 女, 硕士研究生, 主要从事森林培育研究。E-mail: zhaolan047@sohu.com

* 通讯作者: 邢新婷, 女, 副研究员, 主要从事森林培育、及其木材性质相互关系的研究。E-mail: xingxinting@caf.ac.cn

围提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在江苏扬州将黄条金刚竹、菲白竹、菲黄竹、铺地竹 4 种地被观赏竹容器苗各 150 盆于 2009 年 3 月底移至塑料大棚中,盆栽土壤为梅子壳与黄壤 3 : 7 的混合土,干旱处理苗木于实验开始前一天浇透水,以后不再浇灌,使其干旱;对照苗木正常浇水。实验于 5 月 9 日开始,在干旱胁迫第 0、3、6、9、12 d 上午 9:00 时取当年生成熟的新鲜叶片,共取样 5 次。每个处理重复 3 次进行生理生化指标的测定。采样时间的天气情况如表 1,降雨对试验土壤湿度基本无影响,竹苗均置于遮雨棚内。

表 1 试验期间天气情况

Table 1 The weather conditions in the test period

采样 时间	5 月 9 日 (第 0 天)	5 月 12 日 (第 3 天)	5 月 22 日 (第 6 天)	5 月 15 日 (第 9 天)	5 月 18 日 (第 12 天)
温度(℃)	19	29	31	21	30
天气	阴	晴	晴	阴雨	晴

1.2 方法

1.2.1 测定方法 利用烘干称重法测定叶片含水量;采用电导法使用 DDS-307 型电导仪测定细胞质膜透性;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用 NBT 光还原法测定超氧化物歧化酶活性;采用愈创木酚法测定过氧化物酶活性^[17]。采用丙酮浸提法测定叶绿素含量^[18];采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛含量^[19];采用紫外吸收法测过氧化氢酶活性^[20]。

1.2.2 数据分析方法 采用模糊数学中隶属函数的方法^[21-22],对品种各个抗旱指标的隶属值进行累加,求取平均数,并进行品种间比较,以评定抗旱性。

①分别对所测的抗旱指标用下式求每个品种各指标的具体隶属值:

$$x(u)=(x-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})$$

式中, x 为各品种的某一指标测定值, x_{\max} 为测试品种某一指标测定值内的最大值, x_{\min} 为该指标中最小值。

②如某一指标与抗旱性为负相关,可用反隶属函数计算其抗旱隶属函数值:

$$x(u)_{\text{反}}=1-(x-x_{\min}/x_{\max}-x_{\min})。$$

③把每一品种各指标的抗旱隶属值进行累加,并求其平均数。平均数越大,抗旱性就越强。

2 结果与分析

2.1 抗旱指标的选取

参考周广生等方法^[23],用公式(抗旱系数 $\alpha =$

处理测定值/对照测定值)将原始数据进行转换,求得各性状的抗旱系数(表 2)。对 4 种地被观赏竹的 10 个生理指标的抗旱系数进行相关分析,得到相关系数矩阵(表 3)。由表 3 可看出所有理化指标间都存在着一定的相关性,从而使得它们所提供的信息发生重叠,同时各指标在抗旱性中所起的作用也不尽相同,通过主成分分析得出与抗旱性相关性强的因子,更好的选择抗旱性评价指标。

特征值在某种程度上可以被看成是表示主成分影响力度大小的指标,如果特征值小于 1,说明该主成分的解釋力度还不如直接引入一个原变量的平均解釋力度大,因此一般可以用特征值大于 1 作为纳入标准。从表 4 看,4 种地被观赏竹 10 个生理生化指标,按主成分的特征值大于 1 可提取 2 个主成分,累积贡献率为 94.35%,基本上反映全部指标的信息。通过主成分分析把原来的 10 个生理生化指标转换为 2 个新的主成分,第一主成分的特征值为 8.44,贡献率为 84.39%,叶片含水率、相对电导率、丙二醛、脯氨酸、可溶性蛋白以及 CAT、POD、SOD 酶活性在此主成分上有较高载荷,说明第一主成分基本反映了这些指标与抗旱性的关系;第二主成分的特征值为 1.00,贡献率为 9.96%,叶绿素、可溶性糖在此主成分上有较高载荷,说明第二主成分主要反映叶绿素和可溶性糖与抗旱性的关系。提取这两个主成分基本上反映全部指标的信息,所以决定用 2 个新的变量来代替原来的 10 个变量。

用表 4(主成分载荷矩阵)中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根得到两个主成分中每个指标所对应的系数,可得到两个主成分表达式:

$$F_1=0.34x_1+0.23x_2-0.34x_3+0.34x_4+0.34x_5+0.33x_6-0.32x_7+0.24x_8-0.33x_9+0.32x_{10}$$

$$F_2=-0.14x_1-0.64x_2+0.10x_3-0.01x_4-0.03x_5+0.19x_6+0.23x_7+0.66x_8-0.17x_9+0.13x_{10}$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值和的比例作为权重计算主成分综合模型:

$$F=\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}F_1+\frac{\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2}F_2$$

即可得到主成分综合模型:

$$F=0.29x_1+0.14x_2-0.29x_3+0.31x_4+0.30x_5+0.31x_6-0.27x_7+0.28x_8-0.31x_9+0.30x_{10}$$

由上式的主成分综合模型,根据各指标所占的权重值大小,即可以看出在干旱胁迫下各指标的重要性。权重值越大,重要性越大,反之亦然。所以

说,4 种地被观赏竹在干旱胁迫过程中,各指标反映 POD、可溶性蛋白、叶片含水量、相对电导率、可溶其抗旱性能力从高到低依次为 CAT、POD、脯氨酸、性糖、丙二醛、叶绿素含量。

表 2 4 种地被观赏竹生理生化指标的抗旱系数

Table 2 Drought-resistant coefficients of the physiological and biochemical indices of the four dwarf ornamental bamboos

试验竹种	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>
黄条金刚竹	0.97	0.79	1.67	0.74	0.73	0.99	1.73	0.91	3.97	0.88
菲黄竹	0.93	0.90	1.90	0.72	0.72	1.00	2.22	0.96	6.56	0.91
菲白竹	0.94	0.78	1.63	0.83	0.84	1.06	2.31	1.42	3.35	0.99
铺地竹	0.33	0.70	7.02	0.07	0.11	0.83	4.48	0.74	11.67	0.64

注:*a*—叶片含水量;*b*—叶绿素;*c*—细胞膜相对透性;*d*—CAT;*e*—POD;*f*—SOD;*g*—丙二醛;*h*—可溶性糖;*i*—脯氨酸;*j*—可溶性蛋白(下同)

表 3 9 个理化指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlative coefficient matrix of 9 physiological and biochemical indices

测定指标	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>f</i>	<i>j</i>
<i>a</i>	1.000									
<i>b</i>	0.709**	1.000								
<i>c</i>	−0.998**	−0.706**	1.000							
<i>d</i>	0.985**	0.672**	−0.991**	1.000						
<i>e</i>	0.966**	0.675**	−0.967**	0.980**	1.000					
<i>f</i>	0.900**	0.563**	−0.923**	0.944**	0.904**	1.000				
<i>g</i>	−0.979**	−0.687**	0.967**	−0.948**	−0.940**	−0.816**	1.000			
<i>h</i>	0.570*	0.152	−0.604*	0.678**	0.681**	0.792**	−0.448	1.000		
<i>i</i>	−0.940**	−0.450**	0.944**	−0.959**	−0.940**	−0.922**	0.915**	−0.715**	1.000	
<i>j</i>	0.897**	0.584*	−0.919**	0.941**	0.882**	0.935**	−0.823**	0.741**	−0.891**	1.000

表 4 各综合指标的系数、特征值及贡献率

Table 4 Coefficients, eigenvalues and proportions of comprehensive indices

主成分	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	0.983	0.672	−0.991	0.999	0.980	0.953	−0.940	0.695	−0.957	0.944	8.44	84.39	84.39
2	−0.136	−0.634	0.101	−0.015	−0.026	0.185	0.229	0.657	−0.168	0.129	1.00	9.96	94.35
3	−0.100	0.379	0.059	−0.023	−0.023	0.114	0.242	0.253	0.232	0.121	0.36	3.62	97.97
4	0.000	0.050	0.026	−0.003	0.177	−0.085	−0.038	0.136	−0.008	−0.249	0.12	1.24	99.20
5	−0.005	−0.007	0.016	0.015	0.046	−0.191	−0.034	0.041	0.031	0.124	0.06	0.58	99.79
6	−0.063	0.001	0.054	0.019	0.060	0.025	0.002	−0.035	−0.021	0.021	0.01	0.13	99.92
7	0.016	−0.007	−0.022	−0.017	0.031	−0.004	0.043	−0.015	−0.004	0.005	0.00	0.04	99.96
8	0.005	−0.011	0.000	−0.027	0.017	0.016	−0.023	0.000	0.032	0.007	0.00	0.03	99.99
9	−0.001	−0.006	−0.005	0.016	0.002	0.001	0.003	−0.002	0.013	−0.003	0.00	0.01	100.00
10	0.002	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	100.00

2.2 隶属函数抗旱性综合评价

植物抗旱性是多因素互作的复杂的综合性状,以单一指标作为抗旱指标的直接评价标准难以全面反映植物的真实抗旱能力。采用模糊数学中隶属函数的方法,对这些指标信息分别计算隶属函数值,得到隶属函数算术平均值,以评价各竹种的抗旱性。

干旱胁迫下,4 种地被观赏竹各指标的隶属函数值及其均值列于表 5。由表 5 可以看出,黄条金刚竹的各指标隶属函数均值最大(0.62),说明它在这 4 种地被观赏竹中是抗旱性较强的品种。各竹种按隶属函数均值大小抗旱性顺序排列为:黄条金刚竹、菲白竹、菲黄竹、铺地竹,反映了 4 种地被观赏竹抗旱性的强弱顺序。

表 5 干旱胁迫下的隶属函数值

Table 5 The subordinate function values under drought stress

指标	黄条金刚竹	菲黄竹	菲白竹	铺地竹
叶片含水量	0.95	0.85	0.91	0.00
叶绿素	0.34	0.99	0.73	0.62
细胞膜透性	0.09	0.13	0.11	1.00
丙二醛	0.67	0.82	0.77	0.02
可溶性糖	0.85	0.48	0.26	0.29
脯氨酸	0.76	0.12	0.60	0.03
过氧化氢酶	0.72	0.50	0.52	0.01
过氧化物酶	0.65	0.63	0.58	0.08
超氧化物歧化酶	0.93	0.47	0.97	0.13
可溶性蛋白	0.20	0.30	0.25	0.94
均值	0.62	0.53	0.57	0.31
抗旱性排序	1	3	2	4

3 结 论

通过主成分分析,用 2 个新的变量代替原来 10 个生理指标变量,计算求得主成分综合模型,并利用模型得出 10 种生理指标有抗旱性相关排序由高到低依次为 CAT、POD、脯氨酸、POD、可溶性蛋白、叶片含水量、相对电导率、可溶性糖、丙二醛、叶绿素含量。用隶属函数对 4 种地被观赏竹的抗旱能力进行综合评判,结果得出,抗旱能力由强到弱依次为:黄条金刚竹>菲白竹>菲黄竹>铺地竹。该结果与 4 种地被观赏竹干旱胁迫下的形态表现一致。

抗旱性是一个受多种因素影响的复杂数量性状,隶属函数分析提供了一条在多指标测定的基础上对材料进行综合评价的方法,将它应用于抗旱品种的选择,更具科学性和可靠性。由于各指标不但有各自的单方面作用,更重要的是具有多指标间的相互作用,只有对这些指标的交互作用加以深入综合分析,才能提高抗旱鉴定的准确性,提高引种时筛选抗旱品种的可靠性。因此,利用多指标对品种进行综合评价,才有可能真正揭示品种对水分反应特性的实质,提高抗旱评价的准确性。

参考文献:

[1] 洗杏娟,洗定国. 竹材的微观结构及其力学性质的关系[J]. 竹子研究汇刊,1990,9(3):10-12.
XIAN X J,XIAN D G. The relationship of microstructure and mechanical properties of bamboo[J]. Jouranl of Bamboo Research, 1990,9(3):10-12.

[2] YU Y, FEI B H, ZHANG B, *et al.* Cell-wall mechanical properties of bamboo investigated by in-situ imaging nanoindentation[J]. Wood and Fiber Science, 2007,39(4):527-535

[3] LIESE W. Advances in Bamboo research[J]. Journal of Nanjing Forestry University,2001,25(4):2-6.

[4] 张新明. 观赏竹在园林绿化中的功用及其发展方向[J]. 竹子研究汇刊,1999,18(4):24-27.
ZHANG X M. Function and development tendency of ornimental bamboo in gardening[J]. Journal of Bamboo Research, 1999,18(4):24-27.

[5] 张玲,曹帮华,贾波,等. 山东地区地被竹引种试验初步研究[J]. 世界竹藤通讯,2009,7(1):4-7.
ZHANG L,CAO B H,JIA B, *et al.* A preliminary study of introduction experiment of dwarf bamboo in Shandong Province [J]. World Bamboo and Rattan,2009,7(1):4-7.

[6] 卢义山,李荣锦,倪竞德. 竹类植物资源的收集及其利用研究[J]. 江苏林业科技,2007,34(1):1-6.
LU Y S, LI R J, NI J D. The collection of bamboo germplasms and their utility probe [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology,2007,34(1):1-6.

[7] MANDAL A K. Genetic improvement of bamboo [J] . Indian Forester, 1992,118(1):55-59.

[8] 邢新婷,傅懋毅. 竹类植物遗传改良研究进展[J]. 林业科学研究,2003,16(3):358-365.

XING X T, FU M Y. Advances in genetic improvement of bamboo plants[J]. Forest Research,2003,16(3):358-365.

[9] 方伟,黄坚钦,卢敏,等. 17 种丛生竹材的比较解剖研究[J]. 浙江林学院学报,1998,15(3):225-231.
FANG W,HUANG J Q,LU M, *et al.* Comparative anatomy on seventeen species of tufted bamboos[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,1998,15(3):225-231.

[10] THOMAS T A , ARORA R K, RANBIR S. Genetic resources of bamboos in India-their diversity, utilization and social economic role [A]. In: Rao A N, Sastry C B. Recent reasearch on bamboo (First edition) [C] . India : Scenario Publications,1985:6-16.

[11] ANITA K PEARSON, OLIVER P PEARSON, ISABEL A GOMEZ. Biology of the bamboo Chusquea culeou (Poaceae : Bambusoideae) in southern Argentina[J]. Vegetatio,1994 (111):93-126.

[12] FRIAR,G Kochert. Bamboo germplasm screening with nuclear restriction fragment length polymorphisms[J]. Theor. Appl. Genet, 1991(82):69- 703.

[13] 戴宪德,徐传保,戴庆敏. 竹子资源及研究进展[J]. 山东林业科技,2009(1):107-111.

[14] 林树燕,丁雨龙. 平安竹抗旱生理指标的测定[J]. 林业科技开发,2006,20(1):40-41.
LIN SH Y, DING Y L. Physiological responds to drought stress of *Pseudosasa japonica* [J]. China Forestry Science and Technology,2006,20(1):40-41.

[15] 林树燕,丁雨龙. 三种观赏竹抗旱生理指标的研究及其综合评价[J]. 竹子研究汇报,2006,25(2):7-9.
LIN SH Y, DING Y L. Researches on indexes of drought resistance of three ornamental bamboo species and corresponding comprehensive evaluation[J]. Jouranl of Bamboo Research, 2006,25(2):7-9.

[16] 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.
LI S Y, DING Y L. Establishment of cold resistance of 7 ornamental bamboo species by electric conductivity[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(1):34-38.

[17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[18] 李合生. 植物生理生化试验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[19] 邹奇. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[20] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,3 版,2005.

[21] 陶向新. 模糊数学在农业科学中的初步应用[J]. 沈阳农业大学学报,1982,13(2):96-107.

[22] 路贵和,安海润. 作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展[J]. 山西农业科学,1999,27(4):39-4
LU G H, AN H R. Progress in the research of crop drought-resistance appraise methods and indexes [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1999, 27(4):39-4.

[23] 周广生,梅方竹,周竹青,等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学,2003,36 (11):1378-1382.
ZHOU G H, MEI G Z,ZHOU ZH Q, *et al.* Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36 (11):1378-1382.