

曹志华,吴中能,王 云,等. 不同竹种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):203-205.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.074

# 不同竹种耐湿性生理指标综合评价及其预测

曹志华<sup>1</sup>, 吴中能<sup>1</sup>, 王 云<sup>2</sup>, 陈兴福<sup>2</sup>, 高 健<sup>3</sup>

(1. 安徽省林业科学研究院, 安徽合肥 230031; 2. 安徽省广德县林业科学研究所, 安徽广德 242200;  
3. 国际竹藤中心, 北京 100000)

**摘要:**以 5 种竹种为试验材料, 研究淹水胁迫对不同竹种生理指标的影响, 建立符合竹种耐水湿生理指标综合评价的方法, 以筛选出耐水湿竹种, 为安徽省竹种进一步的耐湿性研究奠定理论基础。利用 7 个单项指标, 采用主成分分析、系统聚类分析和隶属函数法对竹种的耐湿能力进行综合评价, 结果表明: 7 个单项指标集约于 2 个主成分, 累计贡献率为 0.908。通过隶属函数值  $D$  评价耐湿性的强弱, 并利用聚类分析可将其分为 3 类: 第Ⅰ类是耐湿类型, 包括灰水竹和淡竹; 第Ⅱ类是中度耐湿类型, 包括红壳竹和实心竹; 第Ⅲ类是不耐湿类型, 包括毛竹。利用耐湿性的综合评价值与单项指标间建立的最优回归方程可以预测其他竹种耐湿性的大小。结合隶属函数的综合评价方法, 耐水湿竹种筛选试验表明, 以灰水竹和淡竹耐湿性最强。

**关键词:** 竹种; 耐湿性; 综合评价; 预测

**中图分类号:** S727.150.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)04-0203-03

安徽省沿江滩涂地和低湿地资源丰富, 发展水渍地绿化造林潜力很大。积极开展耐水湿竹种筛选研究并加以推广, 不仅可以提高沿江地区 and 低湿地土地资源的利用率, 而且对于调整农村产业结构、改善生态环境意义重大。关于竹类抗旱性的生理生化有相关研究<sup>[1-3]</sup>, 且竹种主要是地被观赏竹等, 有关竹种抗性的研究主要集中于与抗性有关的形态及单个理化指标的分析<sup>[4-6]</sup>, 对竹种的耐湿性筛选及综合评价未见报道, 而近年来国内外学者在作物和树种的耐湿机理和耐湿性遗传改良研究方面做了大量工作, 从不同角度研究了作物和树种耐湿性鉴定的方法<sup>[7-13]</sup>。本研究借鉴其他植物的综合评价方法, 利用主成分分析法在不损失或很少损失原有信息的前提下, 将众多的指标转换成少数且彼此独立的因子。结合隶属函数法, 可得到各竹种耐水湿的综合评价值, 从而能比较科学地对竹种的耐水湿性进行评价。因此, 在对多项生理指标测定的基础上, 利用主成分分析、隶属函数和动态聚类法对 5 种竹种的耐水湿性进行综合评价, 以期对耐水湿竹种的选择提供 1 种可行的方法, 同时为耐水湿竹种的引种、栽培、推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本试验在安徽省广德县林业科学研究所试验地完成, 该地区属北亚热带湿润气候区, 年均气温 15.6℃, 年均降水量 1 299 mm, 无霜期 220 d, 日照时间 2 162 h。试验地的土壤为

水稻田土, pH 值 6.5, 土层厚 0.7~1.2 m。2012 年 10 月, 在广德县河滩地落设 1 hm<sup>2</sup> 耐水湿竹种试验示范基地。竹母移植按照安徽省主要用材树种造林与经营标准, 于 2013 年 4 月上旬完成试验林建设。

### 1.2 试验材料

2013 年 8 月, 在广德县进行耐水湿竹种淹水试验, 试验竹种选定为新造林的毛竹 (*Phyllostachys edulis*)、淡竹 (*Phyllostachys glauca*)、实心竹 (*Phyllostachys heteroclada* f. *solida*)、红壳竹 (*Phyllostachys iridescens*)、灰水竹 (*Phyllostachys platy-glossa*) 5 种。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 耐水湿处理** 模拟自然水涝, 对新造林地进行淹水处理, 处理分 3 个水平: CK: 竹种正常生长和管理, 不刻意人为浇灌; T<sub>1</sub> 处理: 渍水, 水面在土壤表面以下 5~10 cm, 模拟地下水水位过高; T<sub>2</sub> 处理: 轻度淹水胁迫, 人工淹水水面高于土面 4 cm 左右, 随时添加水, 保持水位的一致。

2013 年 8 月开始挖渠注水等措施, 进行水淹处理, 淹水时间为 7 d, 随机区组设计, 每处理含各竹种 5 株, 重复 3 次。每个处理小区为 20 m<sup>2</sup>, 每个处理小区四周用挖掘机做埂高出地面 60 cm 并夯实, 以免渗水。处理小区之间间隔 4 m。采样于 2013 年 9 月 2 日 08:00 进行, 所采竹叶的位置来自于第 3 分枝和第 4 分枝, 各竹种叶片存放于密封袋中, 密封袋放置于有冰袋环绕的泡沫箱中, 当天带回实验室处理。

**1.3.2 理化指标测定** 叶片含水量测定采用烘干法<sup>[14]</sup>; 叶绿素测定用 80% 的丙酮提取比色法<sup>[15]</sup>; 细胞质膜透性采用电导法测定<sup>[14]</sup>; 丙二醛 (MDA) 含量采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[16]</sup>; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[14]</sup>; 过氧化氢酶 (CAT) 采用紫外吸收法<sup>[16]</sup>; 过氧化物酶 (POD) 活性采用愈创木酚法测定<sup>[17]</sup>。根据所测得的数据, 分别计算各耐水湿处理组 and 对照组各性状的平均值。参考周广生等的方法<sup>[12]</sup>, 首先将原始数据以相对指标为单位进行标准化转换, 求得各理化

收稿日期: 2014-06-05

基金项目: 国家科技支撑计划 (编号: 2012BAD23B0503)。

作者简介: 曹志华 (1985—), 女, 安徽阜阳人, 博士, 助理研究员, 主要从事竹栽培和病虫害等研究。E-mail: caozhihua0558@126.com。

通信作者: 吴中能, 研究员, 主要从事用材林及竹子育种与栽培研究。

E-mail: wznkshf@sohu.com。

指标性状的耐湿系数,并进行简单相关分析<sup>[12,18]</sup>,得出各理化指标的相关系数矩阵,耐湿系数计算公式如下:

耐湿系数(α) =  $\frac{\text{处理测定值}}{\text{对照测定值}} \times 100\%$ 。(1)

1.3.3 数据处理 运用 DPS V7.05 专业版软件完成试验数据的主成分分析。并利用隶属函数值对几种竹种的耐湿性进行综合评价。运用的主要公式如下:

(1) 隶属函数值

$U(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{(X_{\max} - X_{\min})}, j = 1, 2, \dots, n。$ (2)

式中: $X_j$  表示第  $j$  个因子的得分值; $X_{\min}$  表示第  $j$  个因子得分的最小值; $X_{\max}$  表示第  $j$  个因子得分的最大值。

(2) 权重

$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, j = 1, 2, \dots, n。$ (3)

式中: $W_j$  表示第  $j$  个公因子在所有公因子中的重要程度; $P_j$  为各品种第  $j$  个公因子的贡献率。

(3) 综合评价

表 1 5 种竹种各单项理化指标的耐湿系数

竹种	耐湿系数						
	相对含水量	叶绿素 a/叶绿素 b	质膜透性	可溶性糖含量	丙二醛含量	CAT 活性	POD 活性
毛竹	0.891 5	0.847 7	1.222 5	0.933 2	1.016 4	1.190 5	1.321 5
淡竹	0.959 6	1.017 7	1.142 1	1.286 3	1.139 5	2.918 7	3.011 2
实心竹	0.909 3	0.992 0	1.535 6	1.308 5	1.136 8	1.305 4	2.003 0
红壳竹	0.948 8	0.999 1	1.197 8	1.200 4	1.147 8	1.256 2	2.235 4
灰水竹	1.025	1.032 0	0.989 6	1.343 2	0.938 0	2.895 4	3.632 1

表 2 7 个理化指标的相关系数矩阵

指标	相对含水量	叶绿素 a/叶绿素 b	质膜透性	可溶性糖含量	丙二醛含量	CAT 活性	POD 活性
相对含水量	1.000 0						
叶绿素 a/叶绿素 b	0.743 0**	1.000 0					
质膜透性	-0.750 1**	-0.200 8	1.000 0				
可溶性糖含量	0.668 9*	0.963 1**	-0.045 1	1.000 0			
丙二醛含量	-0.451 6	0.185 7	0.589 3	0.1324	1.000		
CAT 活性	0.802 6**	0.610 0*	-0.667 3*	0.588 0	-0.329 5	1.000 0	
POD 活性	0.957 1**	0.831 9**	-0.634 8*	0.790 2**	-0.303 7	0.904 6**	1.000 0

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

2.2 主成分分析

利用 DPS 软件对 7 个单项指标的耐湿系数进行主成分分析,提取 2 个综合指标,其贡献率分别为 65.1%、25.7%,累积贡献率达 90.8%,其余可忽略不计(表 3)。第 1 主成分主要包括相对含水量、CAT 活性和 POD 活性;第 2 主成分主要包括叶绿素 a/叶绿素 b 值、质膜透性、可溶性糖含量、丙二醛含量。这样就把原来 7 个单项指标转换为 2 个新的相互独立的综合指标,这 2 个综合指标代表了原来 7 个单项指标 90.8% 的信息,同时根据贡献率的大小可知各综合指标的相对重要

$D_i = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j], i = 1, 2, \dots, k。$ (4)

式中: $D_i$  为材料在水胁迫条件下用综合指标评价所得的耐湿性综合评价值; $k$  为样品数。

2 结果与分析

2.1 7 个理化指标的相关性分析

水胁迫处理后(2013 年 9 月 3 日),即测定 5 种竹种处理与对照的相应理化指标,植株受到不同程度的水胁迫影响。根据公式(1)得到各耐湿系数(表 1),再进行相关分析(表 2)。从表 1 可知,所有竹种各单项指标的变化幅度不同,因而用不同单项指标的耐湿系数来评价竹种耐湿性,则结果均不相同。说明竹种耐湿性是一个复杂的综合性状,用任何的单项指标评价竹种耐湿性都有片面性。从表 2 可以看出,5 种竹种的 7 个生理生化指标之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,同时各指标在耐湿性中所起的作用也不尽相同。因此若直接利用这些指标对竹种的耐湿性进行评价,则不能准确评价各竹种的耐湿性。

性。根据各综合指标的指标系数(表 3)及单项指标的耐湿系数(表 1)求出每种竹种 2 个综合指标(即公因子) $C(\chi)$  的得分值(表 4)。

2.3 综合评价

2.3.1 隶属函数分析和权重的确定 根据因子得分值,由式(1)分别求出 5 种竹种所有因子的隶属函数值  $U(\chi)$ (表 4)。再根据 2 个综合指标贡献率的大小(分别为 65.1%、25.7%),由式(2)分别求出各综合指标的权重,分别为 0.717、0.283(表 4)。

表 3 各综合指标的系数及贡献率

主成分	相对含水量	叶绿素 a/叶绿素 b	质膜透性	可溶性糖含量	丙二醛含量	CAT 活性	POD 活性	贡献率
1	0.454	0.384	-0.310	0.361	-0.155	0.420	0.468	0.651
2	-0.106	0.415	0.482	0.444	0.615	-0.092	0.024	0.257

2.3.2 综合评价的确定 竹种耐湿性综合评价值反映了各竹种的综合耐湿能力的大小,其中灰水竹  $D$  值最大,为 0.774,表明该竹种最耐湿。另外,毛竹、淡竹、实心竹、红壳竹的耐湿  $D$  值分别为 0、0.692、0.471、0.479。用最大距离法对

$D$  值进行聚类分析,可将 5 个竹种划分为 3 类:灰水竹、淡竹为一类,属高度耐湿类型;红壳竹、实心竹为一类,属中度耐湿类型;毛竹属不耐湿类型。这与竹种在水胁迫处理下的形态变化一致,毛竹的叶片由绿变为黄色或黄绿色,小枝发黑,而

表 4 5 种竹种综合指标值  $C(\chi)$ 、权重、隶属函数值  $U(\chi)$ 、 $D$  值及综合评价

竹种	$C(1)$	$C(2)$	$U(1)$	$U(2)$	$D$	综合评价
毛竹	-2.903 2	-1.898 8	0	0	0	不耐湿
淡竹	1.397 5	0.602 1	0.699 2	0.673 0	0.692	高度耐湿
实心竹	-1.290 0	1.817 3	0.262 4	1.000 0	0.471	中度耐湿
红壳竹	-0.448 4	0.628 5	0.399 3	0.680 1	0.479	中度耐湿
灰水竹	3.244 0	-1.149 1	1.000 0	0.201 7	0.774	高度耐湿
贡献率	0.651	0.257				
权重			0.717	0.283		

耐水湿能力较强的灰水竹叶片形态基本上无变化。

2.4 耐湿性鉴定指标的选择及品种耐湿性预测

把耐湿性综合评价值( $D$  值)作因变量,把各单项指标的耐湿系数( $\alpha$  值)作自变量建立最优回归方程为: $Y = -2.73 + 3.31X_2 - 0.18X_5 + 0.09X_6$ 。式中: $X_2$ 、 $X_5$ 、 $X_6$  分别代表叶绿素 a/叶绿素 b 值、丙二醛含量、CAT 活性为指标的耐湿系数, $R^2 = 0.999\ 8$ ,极显著。由方程可知,在 7 个单项指标中,上述 3 个指标对耐湿性有显著影响,因此在鉴定中可有选择地测定这些指标,使鉴定工作相对简单。同时亦可在相同条件下测定其他竹种的 4 个指标,求耐湿系数,根据耐湿系数利用该方程就可预测其他品种的耐湿性。

3 结论与讨论

本试验中 5 个竹种的耐湿性由 2 个综合指标  $C(1)$ 、 $C(2)$  共同决定,某一综合指标值的高低并不能完全决定某一品种耐湿性的强弱。5 个竹种中,灰水竹的综合评价值( $D$  值)最大,耐湿性最强。但在灰水竹的 2 个综合指标中,综合指标  $C(1)$  的  $U(1)$  值最大(为 1.000),综合指标  $C(2)$  的  $U(2)$  值却较小,为 0.201 7;实心竹的  $U(2)$  值最大(为 1.000),说明竹种不同其耐湿机制也不尽相同。

植物的耐湿性不仅是一个受多种因素影响的复杂的数量性状,且不同竹种的抗逆机制不尽相同,从而使得不同竹种在逆境条件下对某一具体指标的反应也不尽相同。因而用单一指标难以全面准确地反映竹种抗逆性的强弱<sup>[19-21]</sup>。本研究运用主成分分析法、隶属函数法和聚类分析对多指标的交互作用进行深入综合分析,旨在提高耐湿性鉴定的准确性,使得耐湿性竹种的筛选更具科学性和可靠性。

在本试验中,利用所建立的回归方程筛选出一些对竹种耐湿性鉴定有显著影响的指标,从而使得竹种耐湿性的鉴定与利用研究更有预见性。同时,利用该方法对竹种抗逆性进行综合评价的意义还在于可以使抗逆栽培等具有较强的针对性。

参考文献:

[1] 赵 兰,邢新婷,江泽慧,等. 4 种地被观赏竹的抗旱性研究[J]. 林业科学研究,2010,23(2):221-226.  
[2] 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.  
[3] 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]. 竹子研究汇刊,2006,25(2):7-9.  
[4] 张艳华,刘国华,王福升. 淹水胁迫下 5 种竹子生理生化指标的变化[J]. 林业科技开发,2009,23(5):71-74.

[5] 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]. 福建林学院学报,2013,33(1):38-42.  
[6] 张 玮. 耐寒竹种丛生竹种的筛选与快繁技术[D]. 北京:中国林业科学研究院,2008.  
[7] 徐永杰,邓先珍,代新平,等. 基于主成分分析和聚类分析的油桐优良家系抗性综合评价[J]. 中南林业科技大学学报,2012,32(7):24-27.  
[8] Kumutha D, Sairam R K, Ezhilmathi K, et al. Effect of waterlogging on carbohydrate metabolism in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.): Up-regulation of sucrose synthase and alcohol dehydrogenase[J]. Plant Science, 2008, 175(5):706-716.  
[9] Yin D M, Chen S M, Chen F Di, et al. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67(1):87-93.  
[10] Yiu J C, Liu C W, Fang D Y, et al. Waterlogging tolerance of Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) enhanced by exogenous spermidine and spermine[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2009, 47(8):710-716.  
[11] 刘 丹,逯华涛,姜岳忠,等. 几个杨树无性系对天牛抗性的评价[J]. 西北林学院学报,2012,27(3):72-75,104.  
[12] 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.  
[13] 王 军,周美学,许如根,等. 大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究[J]. 中国农业科学,2007,40(10):2145-2152.  
[14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.  
[15] 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.  
[16] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.  
[17] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2005.  
[18] 孟凡珍,张振贤,于贤昌. 不同生态型结球大白菜抗寒性的评价[J]. 中国农业大学学报,2004,9(4):35-39.  
[19] 许桂芳,张朝阳,向佐湘. 利用隶属函数法对 4 种珍珠菜属植物的抗寒性综合评价[J]. 西北林学院学报,2009,24(3):24-26.  
[20] 李长江,温晓霞,孙 渭,等. 陕南主栽烟草品种化学成分综合评价与分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(7):67-74.  
[21] 曾小玲,方淑桂,陈文辉,等. 不同基因型菜心耐湿性综合评价[J]. 热带作物学报,2010,31(4):572-576.