

不同楸树品种的抗旱性鉴定

王改萍, 岑显超, 彭方仁, 杨红宁

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 利用人工气候室模拟干旱胁迫环境研究了 7 个楸树 *Catalpa bungei* 品种和梓树 *C. ovata* 的生长指标和生理生化指标, 旨在研究楸树抗旱特性。供试材料为各品种的 1 年生扦插苗, 分别在 4 种不同聚乙二醇(PEG)6000 质量浓度 0 (ck), 40, 80 和 120 g·L⁻¹ 下进行处理, 研究与抗旱性相关的生长及生理指标的差异性, 并利用隶属函数法及系统聚类分析法对楸树进行了抗旱性的综合评价。实验结果表明, 抗旱性较强的为光叶楸、梓树和金丝楸, 其次为周楸 2 号和南阳楸, 而楸树原种、圆基长果楸和豫楸 1 号的抗旱性最弱。且发现抗旱能力中等的周楸 2 号和南阳楸随水分胁迫强度的增加, 其抗旱能力逐渐降低, 但其他树种的抗旱性在不同水分强度下表现基本一致。从隶属函数以及聚类分析结果的一致性来看, 40 和 80 g·L⁻¹ PEG 6000 处理的结果更适合对楸树抗旱性的评价。图 1 表 3 参 16

关键词: 树木生理学; 楸树; 抗旱性; 隶属函数; 聚类分析

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)06-0815-07

Drought resistance in seedlings of *Catalpa bungei* cultivars

WANG Gai-ping, CEN Xian-chao, PENG Fang-ren, YANG Hong-ning

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: In order to provide a theoretical foundation for afforestation in arid and semi-arid regions and to exploit the *Catalpa* resource, drought resistance in one-year-old seedlings of 7 cultivars of *Catalpa bungei* and *C. ovata* were studied using a completely random design with treatments of 0, 40, 80, and 120 g·L⁻¹ and three replications by applying simulated drought stress with PEG 6000. Using method of subordinate function and a system cluster analysis, growth and physiological indexes related to drought resistance were measured and evaluated. Results showed that ‘Guangye’ and ‘Ginsi’ cultivars, and *C. ovata* had higher drought resistance followed by ‘Zhou 2’ and ‘Nanyang’ and finally the stock, ‘Yuanchang’, and ‘Yu 1’. Drought resistance of ‘Zhou 2’ and ‘Nanyang’ decreased with the increasing drought stress, but drought resistance of the other cultivars were not greatly changing in any content of drought stress. The method of subordinate function and system cluster analysis revealed that 40 and 80 g·L⁻¹ PEG 6000 were suitable for evaluation of drought resistance with *C. bungei* in the seedling stage. [Ch, 1 fig. 3 tab. 16 ref.]

Key words: tree physiology; *Catalpa bungei*; drought resistance; subordinate function; cluster analysis

楸树 *Catalpa bungei* 属紫葳科 Bignoniaceae 梓树属 *Catalpa*, 原产中国, 是中国生态幅度较大的优良乡土树种、特有的优质珍贵用材树种和著名园林观赏树种^[1-2]。在中国的暖温带和亚热带广泛分布, 其中以山东、江苏、河南、安徽分布较多。为了扩大楸树生产, 研究不同楸树品种对于干旱胁迫的适应性及其机制, 进而选育耐旱且高产品种、家系或无性系, 成为提高树木生产潜力, 摆脱干旱胁迫的最基本途径。目前, 对楸树干旱胁迫方面的研究较少^[3-4], 而其抗旱能力是评价其适应性, 确定推广栽培范围的重要依据, 因此, 对楸树进行抗旱性研究在林业生产上具有重要的现实意义。笔者选用 7 个

收稿日期: 2008-11-13; 修回日期: 2009-03-06

基金项目: “十一五”国家科学技术支撑计划项目(2006BAD24B08); 江苏省高技术项目(BG2006319)

作者简介: 王改萍, 讲师, 硕士, 从事林木培育及林木生理生化研究。E-mail: zhwcgp@sina.com。通信作者: 彭方仁, 教授, 博士生导师, 从事经济林培育和楸树资源恢复等研究。E-mail: frpeng@njfu.com.cn

楸树品种和梓树 *Catalpa ovata* 为试验材料, 采用 PEG 6000(聚乙二醇, 分子量为 6000)模拟干旱胁迫, 通过测定相关的生理生化指标, 把各性状的抗旱系数转换成新的独立的综合指标^[5-6], 利用隶属函数求出综合指标的隶属函数值, 在隶属值的基础上求出各品种的抗旱性度量值后, 对楸树进行抗旱性鉴定, 以期能为楸树研究、良种选育和进一步推广应用提供理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料及处理

试验品种为: 圆基长果楸(圆基)、南阳楸(南阳)、周楸 2 号(周 2)、豫楸 1 号(豫 1)、金丝楸(金丝)、光叶楸(光叶)、楸树(原种)和梓树。供试材料为 2006 年夏季在南京林业大学树木园扦插池进行嫩枝扦插繁殖的 1 年生扦插苗, 苗木于秋季移植到黑色营养钵里, 基质为产于江苏镇江的有机质营养土。挑选长势好, 生长健壮, 无病虫害苗木进行试验。

水分胁迫试验在人工气候室内进行(气候室设定温度为 26 ℃, 空气相对湿度为 80%)。苗木在装盛 Hoagland 完全营养液的塑料水槽内培养 1 周, 在此期间用通气泵间歇通气供氧 40 min·h⁻¹, 每隔 7 d 更换 1 次营养液。1 周后将苗木进行以下处理: ①在正常营养液栽培(ck); ②加有 40 g·L⁻¹PEG 6000 的营养液; ③80 g·L⁻¹PEG 6000; ④120 g·L⁻¹PEG 6000。在胁迫处理后的第 7 天 9:00 进行采样, 测定相对电导率、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)、可溶性糖等生理生化指标。并于处理前后采用直尺和游标卡尺分别测定苗木的苗高和地径, 生物量测定采用全株生物量烘干称量法。每个品种每个处理 3 株, 各指标测定重复 3 次。

1.2 试验方法

质膜相对透性采用电导仪法测定, 以相对电导率表示细胞膜受胁迫伤害的程度[相对电导率 = (处理电导率/煮沸后电导率) × 100]^[7]。MDA 质量摩尔浓度测定采用 TBA 法^[7]; SOD 活性测定采用 NBT 光化学还原法^[8]; 可溶性糖质量分数测定采用蒽酮比色法^[9]; Pro 质量分数测定采用磺基水杨酸法^[10]。

1.3 数据处理

采用 Excel 表格结合统计软件对数据进行整理和分析, 用 DPS(数字像素系统)数据处理系统进行系统聚类。各指标抗旱系数 = 水分胁迫下的指标测定值 / 对照指标测定值^[11]。抗旱性综合评价: 采用数学分析隶属函数法以及系统聚类方法^[12-13]对测定的各项指标进行转换和综合分析评价。各指标隶属函数计算公式为: 试验测定数据经整理, 用模糊数学隶属度公式进行定量转换, 再将各指标隶属函数值取平均值进行无性系间相互比较。隶属函数公式为: $U = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中: U 为隶属函数值, X_i 为无性系某项指标测定值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为所有参试无性系中某一指标的最大值和最小值。如果某一指标与综合评判结果为负相关, 则用反隶属函数进行定量转换, 计算公式为 $U = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对苗木生长性状的影响

由表 1 可知, 在胁迫条件下, 楸树各品种苗木的高生长量、地径生长量、生物量增量均低于对照, 但在不同胁迫强度下降低的幅度存在明显差异。方差分析结果表明, 不同品种之间的高生长、地径生长、生物量差异达到极显著水平, 在 3 种 PEG 6000 质量浓度处理下高生长和地径生长与对照存在显著性差异, 但生物量与对照在 80 和 120 g·L⁻¹ 条件下存在显著性差异, 但在 40 g·L⁻¹ 处理下差异不显著。在 40 g·L⁻¹ 处理下, 楸树、圆基和豫 1 生物量增量降幅明显低于对照, 抗旱系数分别为 0.59, 0.71, 0.68, 但其他品种变化不明显, 甚至略高于对照。表 1 中还可看出, 在 80 和 120 g·L⁻¹ 胁迫处理下, 各生长指标的抗旱系数均明显降低, 楸树和圆基的下降量最大。

2.2 干旱胁迫对 8 种楸树品种叶片生理指标的影响

不同楸树品种在干旱胁迫条件下, 其相关的生理指标也发生显著性变化(表 2)。Pro 和可溶性糖是植物体内的渗透调节剂, 其质量分数增加可提高细胞的溶质含量, 从而增强其渗透能力。方差分析

结果表明,不同楸树品种之间的 Pro、可溶性糖均存在显著或极显著差异,不同干旱处理与对照之间也存在显著性差异。光叶、梓树、南阳、金丝的 Pro 和可溶性糖在胁迫条件下均高于对照,但南阳和金丝的可溶性糖在 $20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG 6000 处理时略低于 40 和 $80\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理,说明南阳和金丝对高强度水分胁迫适应性略差;而圆基和豫 1 表现为在低强度干旱胁迫条件下低于对照,但在高强度水分胁迫时低于对照,反应二者渗透调节物质积累能力较差。

SOD 活性与植物抗氧化胁迫能力呈正相关。许多研究表明 SOD 酶活性的高低是植物抗旱性的重要指标。方差分析结果表明,不同楸树品种之间的 SOD 存在极显著差异,不同处理之间的 SOD 也达到显著性差异。周 2、光叶、楸树、南阳、梓树和金丝等苗木在不同干旱胁迫条件下, SOD 积累明显高于对照,其抗旱能力较强;而圆基和豫 1 的 SOD 积累低于对照,从 SOD 积累的特性可知,后者的抗旱能力低于前者。

植物叶片相对电导率值可作为评定植物在水分胁迫下细胞的相对透性和组织受伤程度的指标。表 2 中各楸树品种叶片相对电导率表现为在较强胁迫水平下,电导率显著增加,且周 2、梓树和金丝的相对电导率随胁迫强度的增大而增加。也发现豫 1 和楸树在 $80\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ PEG 6000 处理时电导率达到最大值,胁迫强度达到 $120\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时电导率下降,可能是苗木在 $80\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫下生理受害较大,至 $120\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理时膜的交换系统受损严重,导致相关离子交换出现异常。方差分析结果也表明,不同楸树品种之间的相对电导率存在极显著差异,且 80 和 $120\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理和对照之间存在显著性差异,但 $40\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 胁迫处理下的电导率和对照之间差异不显著。

MDA 对细胞膜有毒害作用,其质量分数变化是脂膜损伤程度的重要标志之一。在干旱胁迫条件下,各楸树品种叶片 MDA 质量分数的变化表现不同。方差分析表明,不同楸树品种的 MDA 质量分数存在极显著差异,不同处理间也达到极显著差异。在胁迫条件下 MDA 显著增加的苗木为豫 1、楸树和圆基,且豫 1 随胁迫强度的增大 MDA 显著增加,但其他品种 MDA 增加不明显,有的略低于对照。

表 1 水分胁迫对楸树各品种生长指标的影响

Table 1 Effect of water stresses on growth characteristics of *Catalpa*

品种	PEG 处理/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	高生长量		地径生长量		全株生物量增量	
		测定值/ cm	抗旱 系数	测定值/ mm	抗旱 系数	测定值/ ($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)	抗旱 系数
周 2	0	3.50	1.00	0.28	1.00	0.46	1.00
	40	2.70	0.77	0.22	0.77	0.50	1.09
	80	1.20	0.34	0.08	0.30	0.42	0.91
	120	0.50	0.14	0.05	0.18	0.15	0.33
光 叶	0	1.50	1.00	0.23	1.00	0.51	1.00
	40	1.20	0.80	0.24	1.05	0.46	0.91
	80	0.50	0.33	0.18	0.78	0.35	0.70
	120	0.39	0.26	0.05	0.34	0.34	0.67
楸 树	0	1.55	1.00	0.23	1.00	0.61	1.00
	40	1.20	0.77	0.14	0.62	0.36	0.59
	80	0.50	0.32	0.11	0.48	0.23	0.37
	120	0.30	0.19	0.04	0.18	0.16	0.26
梓 树	0	2.00	1.00	0.19	1.00	0.67	1.00
	40	1.50	0.75	0.17	0.90	0.66	0.98
	80	1.00	0.50	0.08	0.43	0.57	0.85
	120	0.50	0.25	0.03	0.17	0.55	0.82
南 阳	0	3.50	1.00	1.24	1.00	0.70	1.00
	40	2.30	0.66	1.21	0.98	0.60	0.86
	80	1.40	0.40	0.94	0.76	0.35	0.50
	120	1.00	0.29	0.49	0.40	0.30	0.44
圆 基	0	2.50	1.00	0.47	1.00	0.57	1.00
	40	1.52	0.61	0.31	0.66	0.41	0.71
	80	0.50	0.20	0.12	0.26	0.33	0.57
	120	0.40	0.16	0.12	0.26	0.21	0.36
豫 1	0	3.00	1.00	0.66	1.00	0.46	1.00
	40	2.50	0.83	0.65	0.98	0.31	0.68
	80	0.50	0.17	0.41	0.62	0.24	0.53
	120	0.50	0.17	0.24	0.36	0.11	0.23
金 丝	0	1.70	1.00	1.05	1.00	0.49	1.00
	40	1.50	0.88	0.92	0.88	0.51	1.03
	80	1.00	0.59	0.85	0.81	0.45	0.91
	120	1.00	0.59	0.22	0.21	0.25	0.50

表 2 不同浓度 PEG6000 对楸树不同品种苗木生理生化指标的影响

Table 2 Effect of drought stress on seedling physiological and biochemical indexes of *Catalpa*

品种	处理/ (g·L ⁻¹)	脯氨酸 Pro		可溶性糖		SOD 酶活性		相对电导率		丙二醛 MDA	
		测定值/ (μg·g ⁻¹)	抗旱 系数	测定值/ (μg·g ⁻¹)	抗旱 系数	测定值/ (μg·g ⁻¹)	抗旱 系数	测定值/ %	抗旱 系数	测定值/ (μg·g ⁻¹)	抗旱 系数
周 2	0	0.022 9	1.00	14.831 6	1.00	3 043.95	1.00	9.575 5	1.00	19.940 3	1.00
	40	0.027 5	1.20	21.057 1	1.42	3 790.59	1.25	9.891 5	1.03	21.600 4	1.08
	80	0.028 3	1.24	13.104 3	0.88	4 271.50	1.40	12.582 2	1.31	20.748 1	1.04
	120	0.071 6	3.13	17.849 8	1.20	3 896.68	1.28	12.817 7	1.34	20.258 9	1.02
光叶	0	0.018 8	1.00	14.859 2	1.00	5 607.72	1.00	11.372 1	1.00	19.790 6	1.00
	40	0.022 8	1.22	16.213 4	1.09	6 934.96	1.24	8.167 9	0.72	21.078 4	1.07
	80	0.049 8	2.65	15.978 5	1.08	6 882.71	1.23	13.769 1	1.21	20.656 8	1.04
	120	0.084 7	4.51	25.817 2	1.74	6 647.66	1.19	22.682 9	1.99	19.551 0	0.99
楸树	0	0.018 3	1.00	23.891 2	1.00	4 335.09	1.00	11.648 9	1.00	13.643 1	1.00
	40	0.020 9	1.14	30.691 4	1.28	5 218.11	1.20	20.490 4	1.76	19.585 9	1.44
	80	0.021 0	1.14	22.417 9	0.94	5 568.83	1.28	28.451 1	2.44	20.883 3	1.53
	120	0.020 5	1.12	21.597 7	0.90	3 669.93	0.85	20.418 1	1.75	16.883 3	1.24
梓树	0	0.021 8	1.00	16.649 8	1.00	3 314.54	1.00	18.018 6	1.00	18.735 8	1.00
	40	0.023 1	1.06	17.998 8	1.08	3 941.07	1.19	21.685 8	1.20	18.549 3	0.99
	80	0.030 5	1.40	19.921 9	1.20	4 529.61	1.37	25.513 4	1.42	19.902 3	1.06
	120	0.030 5	1.40	21.500 0	1.29	4 606.24	1.39	29.159 2	1.62	22.592 2	1.21
南阳	0	0.022 6	1.00	18.438 2	1.00	5 480.08	1.00	1.413 0	1.00	4.431 4	1.00
	40	0.027 0	1.20	20.805 5	1.13	6 108.38	1.11	1.049 2	0.74	4.861 6	1.10
	80	0.033 2	1.47	22.431 7	1.22	6 326.83	1.15	2.068 9	1.46	4.348 4	0.98
	120	0.033 8	1.50	21.657 9	1.17	6 143.77	1.12	3.102 0	2.20	5.908 6	1.33
圆基	0	0.028 7	1.00	13.104 3	1.00	3 068.36	1.00	1.714 4	1.00	7.693 0	1.00
	40	0.025 4	0.88	12.289 0	0.94	3 603.69	1.17	1.116 0	0.65	14.741 9	1.92
	80	0.037 9	1.32	14.002 5	1.07	2 536.30	0.83	1.740 4	1.02	10.845 5	1.41
	120	0.033 0	1.15	17.170 6	1.31	3 129.22	1.02	14.782 6	8.62	11.200 5	1.46
豫 1	0	0.024 0	1.00	17.761 1	1.00	4 796.50	1.00	2.895 3	1.00	7.014 6	1.00
	40	0.021 6	0.90	17.260 8	0.97	5 190.06	1.08	2.684 3	2.68	7.790 7	1.11
	80	0.023 8	0.99	17.415 7	0.98	4 748.95	0.99	8.104 3	2.80	10.418 7	1.49
	120	0.030 6	1.27	22.850 4	1.29	4 735.15	0.99	5.343 0	1.85	10.984 6	1.57
金丝	0	0.026 9	1.00	13.565 4	1.00	3 753.32	1.00	5.132 0	1.00	6.348 4	1.00
	40	0.027 7	1.03	15.561 7	1.15	4 255.85	1.13	5.921 7	1.15	7.262 8	1.14
	80	0.031 0	1.15	16.113 1	1.19	6 571.78	1.75	5.830 4	1.14	6.361 4	1.00
	120	0.033 6	1.25	15.066 5	1.11	5 504.18	1.47	6.756 6	1.32	7.434 8	1.17

2.3 各指标的隶属函数和聚类综合分析

植物受到逆境胁迫后，其生理变化是错综复杂的，并受多种因素的综合影响，孤立地用某一种指标表示这一复杂生理过程，很难真实地反映植物的抗旱性强弱。因此，植物的抗旱性运用抗旱隶属函数值法进行综合评价比较客观和科学。采用数学分析的隶属函数法对表 1 和表 2 中各指标进行转换，计算在 40, 80 和 120 g·L⁻¹ PEG 6000 水分胁迫处理下各指标的隶属函数，并对每一品种楸树的各个相关指标的隶属函数值累加求其平均值，再根据平均值的大小进行排序(表 3)，对楸树各品种的抗旱能力进行综合评价。根据表 3 隶属函数的排序，各品种在不同胁迫强度下，抗旱能力有所不同，在 40, 80 和 120 g·L⁻¹ 胁迫处理下其抗旱能力由高到低排序分别为：周 2>光叶>梓树>南阳>周 2>圆长>楸树>豫 1；金丝>光叶>梓树>南阳>周 2>圆长>楸树>豫 1；光叶>南阳>金丝>梓树>周 2>豫 1>楸树>圆长。根据上述结果可把楸树品种分为 2 组，第 1 组包括周 2、光叶、梓树、南阳和金丝，属抗旱性较强类型；第 2 组包括楸树、圆长和豫 1，属抗旱性较弱类型。在不同胁迫强度下，光叶和梓树的抗旱能力较稳定，而周 2、南阳和金丝对不同的胁迫强度反应差异较大。周 2 在 40 g·L⁻¹PEG 6000 胁迫处理时抗旱能力最强(第 1 位)，80 g·L⁻¹ 和 120 g·L⁻¹ 胁迫处理时较差(第 5 位)，

表 3 楸树不同品种各指标的隶属函数及其综合评判结果

Table 3 Subordinate function values of *Catalpa* and results of comprehensive appraisal

处理/ (g·L ⁻¹)	品 种	苗高 生长量	地径 生长量	生物量 增量	脯氨酸 Pro	可溶 性糖	SOD 活性	相对 电导率	丙二醛 MDA	综合 评价	排名
40	周 2	0.464 4	0.337 1	0.919 5	0.955 2	1.000 0	1.000 0	0.812 1	0.899 4	0.80	1
	光叶	0.580 5	1.000 0	0.589 8	1.000 0	0.318 2	0.947 3	0.966 9	0.919 0	0.79	2
	楸树	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.768 3	0.719 7	0.745 2	0.455 1	0.519 0	0.53	6
	梓树	0.377 3	0.656 6	1.000 0	0.533 5	0.297 2	0.655 3	0.728 2	1.000 0	0.66	3
	南阳	0.000 0	0.822 4	0.491 9	0.935 7	0.395 5	0.199 7	0.954 9	0.884 4	0.59	5
	圆长	0.580 5	0.077 9	0.224 9	0.000 0	0.000 0	0.566 1	1.000 0	0.000 0	0.31	8
	豫 1	0.716 0	0.840 0	0.175 2	0.039 3	0.070 6	0.000 0	0.000 0	0.869 8	0.34	7
	金丝	0.915 2	0.592 1	0.805 4	0.439 3	0.434 4	0.317 6	0.752 7	0.833 8	0.64	4
80	周 2	0.417 9	0.072 7	0.859 4	0.148 2	0.000 0	0.623 9	0.832 5	0.892 2	0.48	5
	光叶	0.395 3	0.811 9	0.536 6	1.000 0	0.575 9	0.433 6	0.890 3	0.886 3	0.69	2
	楸树	0.369 8	0.345 2	0.281 1	0.092 1	0.164 5	0.495 5	0.200 0	0.000 0	0.24	7
	梓树	0.790 7	0.265 2	1.000 0	0.247 0	0.939 8	0.584 2	0.775 3	0.852 6	0.68	3
	南阳	0.553 5	0.772 9	0.000 0	0.287 7	1.000 0	0.354 8	0.748 3	1.000 0	0.59	4
	圆长	0.079 1	0.000 0	0.607 2	0.199 9	0.555 5	0.000 0	1.000 0	0.220 1	0.33	6
	豫 1	0.000 0	0.563 6	0.266 1	0.000 0	0.291 3	0.176 9	0.000 0	0.082 6	0.17	8
	金丝	1.000 0	1.000 0	0.859 9	0.098 3	0.913 6	1.000 0	0.932 2	0.962 2	0.85	1
120	周 2	0.020 9	0.278 9	0.139 5	0.591 7	0.359 3	0.699 4	0.997 0	0.951 4	0.50	5
	光叶	0.000 0	0.000 0	0.628 8	1.000 0	1.000 0	0.546 7	0.907 2	1.000 0	0.64	1
	楸树	0.132 4	0.263 2	0.511 9	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.940 3	0.568 2	0.30	7
	梓树	0.256 5	0.235 6	0.835 1	0.082 6	0.464 7	0.876 2	0.958 7	0.623 0	0.54	4
	南阳	0.335 0	1.000 0	1.000 0	0.111 5	0.324 7	0.442 9	0.879 7	0.402 4	0.56	2
	圆长	0.058 6	0.543 9	0.427 9	0.009 0	0.487 5	0.279 5	0.000 0	0.190 4	0.25	8
	豫 1	0.073 3	0.893 3	0.000 0	0.045 5	0.459 0	0.226 9	0.927 6	0.000 0	0.33	6
	金丝	1.000 0	0.049 7	0.378 7	0.038 1	0.248 0	1.000 0	1.000 0	0.683 0	0.55	3

而南阳在 $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 胁迫处理时抗旱力提高(第 2 位), 在 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 胁迫处理时较差(第 5 位和第 4 位), 金丝则在 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 胁迫处理时抗旱能力最强(第 1 位), 在 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 胁迫时较差(第 4 位和第 3 位)。

聚类分析也是植物抗旱鉴定中经常用到的方法, 对表 3 中隶属函数值用类平均法进行聚类分析(图 1) 可以看出, 在 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 条件下, 楸树、圆长、豫 1 的欧氏距离接近, 可划分为 1 个等级, 周 2、光叶、梓树、金丝和南阳划为 1 个等级。在 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 条件下, 周 2、圆长、楸树和豫 1 划分为 1 个抗旱等级, 光叶、南阳、梓树和金丝为 1 个等级。在 $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 条件下, 周 2、楸树、南阳、豫 1 和圆长划分为 1 个抗旱等级, 光叶、梓树和金丝为 1 个等级。从上述结果可得出, 随着胁迫强度的加大, 聚类分析中一些楸树品种归于不同的抗旱等级中。周 2 和南阳在 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 胁迫时划分为抗旱能力较强等级, 在 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 胁迫时, 南阳为抗旱能力较强等级, 而周 2 为不抗旱等级。到 $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 胁迫时, 周 2、南阳均为不抗旱等级, 而楸树、圆长和豫 1 始终为不抗旱等级, 光叶、梓树和金丝始终为抗旱能力较强等级。在 40 和 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 干旱胁迫下, 隶属函数的排序与聚类分析的分类是一致的。

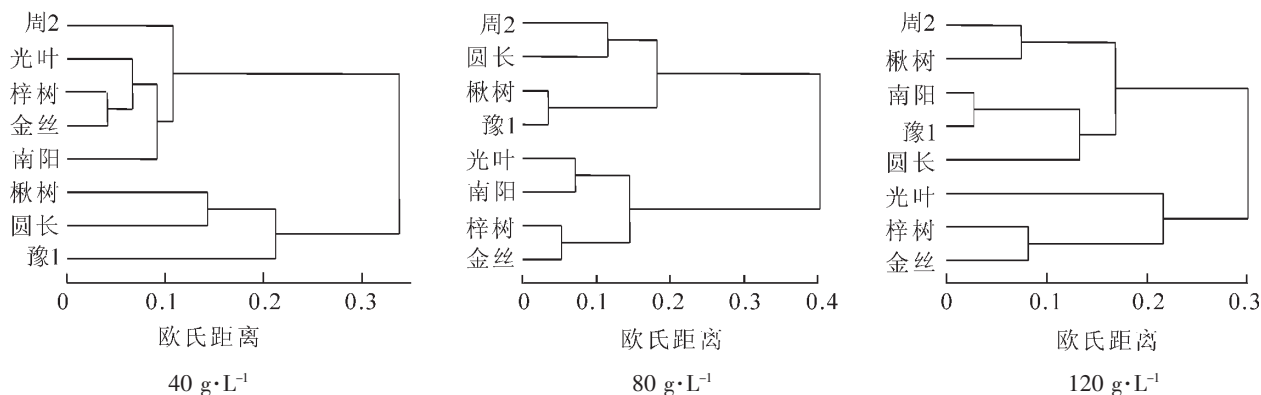


图 1 40, 80, $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000 条件下系统聚类分析欧氏距离

Figure 1 Cluster analysis on kinds (types) under 40, 80, and $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ PEG 6000

3 讨论

植物对干旱的抗性是一个由多因素相互作用、非常复杂的数量性状^[14]。目前, 对植物抗旱性鉴定的指标较多, 得出的结论不一; 仅采用单项指标分别进行评价的结果难以统一且不可靠^[15-16]。从本研究的结果可以看出仅根据各项单一指标对不同楸树品种材料进行抗旱性排序, 差异很大, 不能作出判断。本研究以各性状的抗旱系数作为抗旱能力的指标, 通过隶属函数计算对各抗旱系数进行综合, 使不同楸树品种的抗旱性能能够进行比较, 在综合指标的基础上, 再利用系统聚类分析方法, 使结果更加可靠。由于抗旱性是由多个抗旱特征共同反映的, 在实际育种和推广工作中, 应根据育种目标的不同, 有所侧重。如果所育的品种是应用于干旱较轻的地区或灌溉条件较好的地区, 则应主要根据轻度水分胁迫下的抗旱生产力选择品种。若培育的品种应用于干旱地区或灌溉条件较差地区, 选择的指标应主要根据中、重度水分胁迫时的抗旱生产力。

在本研究中, 综合隶属函数和系统聚类分析的结果可以看出, 光叶、梓树和金丝的抗旱性较强, 其次为周 2 和南阳, 楸树、圆长和豫 1 的抗旱性最差。在 40 和 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 水分胁迫条件下, 发现隶属函数的排序与聚类分析的分类是一致的, 说明这 2 种处理结果更适合对楸树抗旱性的评价。

参考文献:

- [1] 郭从俭, 钱士金, 王连卿, 等. 楸树栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [2] 杨玉珍, 王顺财, 彭方仁. 我国楸树研究现状及开发利用策略[J]. 林业科技开发, 2006, 20 (3): 4 - 7.

- YANG Yuzhen, WANG Shuncai, PENG Fangren. Current situation and countermeasures of research and exploitation on *Catalpa bungei* in China [J]. *China For Sci Technol*, 2006, **20** (3): 4 – 7.
- [3] 王改萍, 岑显超, 何力, 等. 水分胁迫对楸树苗木光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, **31**(6): 57 – 60.
- WANG Gaiping, CEN Xianchao, HE Li, *et al.* Effects of water stress on photosynthetic characteristics of *Catalpa bungei* [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2007, **31** (6): 57 – 60.
- [4] 岑显超, 彭方仁, 陈隆升, 等. 楸树品种间水分特征曲线主要参数比较与抗旱性评价[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (6): 760 – 764.
- CEN Xianchao, PENG Fangren, CHEN Longsheng, *et al.* Pressure-volume curves and drought resistance of *Catalpa bungei* cultivars [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (6): 760 – 764.
- [5] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 不同小麦品种(系)耐湿性的综合评价[J]. 生物数学学报: 自然科学版, 2003, **18** (1): 98 – 104.
- ZHOU Guangsheng, MEI Fangzhu, ZHOU Zhuqing, *et al.* Comprehensive evaluation of water logging resistance of different wheat varieties [J]. *J Biomath*, 2003, **18** (1): 98 – 104.
- [6] 王孟本, 李洪建, 任建中, 等. 杨树杂交无性系品种抗旱性的比较研究[J]. 山西大学学报, 2002, **25** (2): 176 – 179.
- WANG Mengben, LI Hongjian, REN Jianzhong, *et al.* Comparative study on the drought resistance of eight poplar clones [J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*, 2002, **25** (2): 176 – 179.
- [7] 马武昌, 王雁, 彭镇华. 车前和紫花地丁对水分胁迫的生理反应[J]. 林业科学研究, 2006, **19** (5): 633 – 637.
- MA Wuchang, WANG Yan, PENG Zhenhua. The physiological responses of *Plantago asiatica* L. and *Viola philippica* Cav. to water stress [J]. *For Res*, 2006, **19** (5): 633 – 637.
- [8] 柯世省, 金则新. 干旱胁迫对夏蜡梅叶片脂质过氧化及抗氧化系统的影响[J]. 林业科学, 2007, **43** (10): 28 – 33.
- KE Shishen, JIN Zexin. Effects of drought stress on lipid peroxidation and antioxidant system in leaves of *Calycanthus chinensis* [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, **43** (10): 28 – 33.
- [9] 贾万利, 苗海霞, 孙明高, 等. 6 种苗木抗旱性评价指标分析[J]. 山东农业大学学报, 2007, **38** (2): 163 – 168.
- JIA Wanli, MIAO Haixia, SUN Minggao, *et al.* Comprehensive assessment of drought resistance of six tree species seedlings [J]. *J Shandong Agric Univ Nat Sci*, 2007, **38** (2): 163 – 168.
- [10] 蒲光兰, 袁大刚, 胡学华, 等. 土壤干旱胁迫对 3 个杏树品种生理生化特性的影响[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22** (4): 375 – 379.
- PU Guanglan, YUAN Dagang, HU Xuehua, *et al.* Effect of soil drought stress on physiological and biochemical characteristics in three *Armeniaca vulgaris* cultivars [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22** (4): 375 – 379.
- [11] 鲁守平, 孙群, 洪露, 等. 不同种源地乌拉尔甘草发芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2007, **8** (2): 189 – 194.
- LU Shouping, SUN Qun, HONG Lu, *et al.* Drought resistance evaluation of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. from different regions in germination stage [J]. *J Plant Genetic Resour*, 2007, **8** (2): 189 – 194.
- [12] 薛慧勤, 孙兰珍, 甘信民. 花生品种抗旱性综合评价及其抗旱机理的数量分析[J]. 干旱地区农业研究, 1999, **17** (1): 83 – 87.
- XUE Huiqin, SUN Lanzhen, GAN Xinmin. Study on comprehensive assessment and mechanism of drought resistance in peanut cultivars [J]. *Agric Res Arid Area*, 1999, **17** (1): 83 – 87.
- [13] 何雪银, 文仁来, 吴翠荣, 等. 模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J]. 西南农业学报, 2008, **21** (1): 25 – 29.
- HE Xueyin, WEN Renlai, WU Cuirong, *et al.* Analysis of maize drought resistance at seeding stage by fuzzy subordination method [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2008, **21** (1): 25 – 29.
- [14] 黎燕琼, 郑绍伟, 陈泓, 等. 林木抗旱性研究及其进展[J]. 世界林业研究, 2007, **20** (1): 10 – 15.
- LI Yanqiong, ZHENG Shaowei, CHEN Hong, *et al.* Review and progress of drought resistance of tree species [J]. *World For Res*, 2007, **20** (1): 10 – 15.
- [15] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, **17** (12): 2408 – 2412.
- LI Guiquan, ZHANG Haiyan, JI Lan, *et al.* Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean varieties [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (12): 2408 – 2412.
- [16] 高三基, 罗俊, 张华, 等. 甘蔗抗旱性生理生化鉴定指标[J]. 应用生态学报, 2006, **17** (6): 1051 – 1054.
- GAO Sanji, LUO Jun, ZHANG Hua, *et al.* Physiological and biochemical indexes of drought resistance of sugarcane (*Saccharum* spp.) [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (6): 1051 – 1054.