

4个杜鹃花品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价

高晓宁, 赵冰, 刘旭梅, 黄文梅

(西北农林科技大学 风景园林艺术学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 杜鹃花 *Rhododendron* 抗旱性较差, 限制了它们在北方干旱地区园林绿化中的应用。研究杜鹃花的抗旱性可为它们在北方园林中的应用提供理论依据。以西洋杜鹃‘蓝茵’ *Rh.* ‘Lan Yin’ ‘国旗红’ *Rh.* ‘Guoqihong’ ‘爱丁堡’ *Rh.* ‘Aidingbao’ ‘粉珍珠’ *Rh.* ‘Fenzhenzhu’ 等4个杜鹃花品种为试验材料, 研究其叶片解剖结构及不同程度干旱胁迫对杜鹃花品种叶片生理指标的影响, 并用隶属函数法对其抗旱性进行评价, 筛选与抗旱性关联较大的叶片解剖及生理指标。结果表明: 随着干旱胁迫程度的增加, 4个品种的总含水量、可溶性糖、脯氨酸质量分数等显著升高 ($P < 0.05$), 叶绿素、类胡萝卜素、可溶性蛋白质量分数、细胞膜稳定性等显著降低 ($P < 0.05$), 超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性等先显著增强后会受到一定的抑制 ($P < 0.05$), ‘蓝茵’和‘爱丁堡’的过氧化氢质量摩尔浓度随干旱胁迫的增加而下降, ‘国旗红’和‘粉珍珠’的过氧化氢质量摩尔浓度先显著降低再显著升高 ($P < 0.05$)。抗旱性为‘蓝茵’ < ‘国旗红’ < ‘粉珍珠’ < ‘爱丁堡’。叶片解剖结构上, 栅栏组织厚度、栅栏组织厚度与海绵组织厚度比和叶片结构紧密度与杜鹃花抗旱性关联紧密, 对应的相关度分别为 0.850, 0.733, 0.711。生理指标上, 脯氨酸质量分数、叶片相对含水量和过氧化氢质量摩尔浓度与杜鹃花抗旱性关联紧密, 对应的相关度为: 0.893, 0.703, 0.699。以上6个指标可以作为评价杜鹃花抗旱性的主要指标。图2表7参36

关键词: 植物学; 杜鹃花; 干旱胁迫; 抗旱性

中图分类号: S718.4 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2017)04-0597-11

Physiological response to drought stress and drought resistance evaluation of four *Rhododendron* cultivars

GAO Xiaoning, ZHAO Bing, LIU Xumei, HUANG Wenmei

(College of Landscape Architecture and Arts, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: *Rhododendron* has poor drought resistance, which limits its use in gardens of arid areas in North China. Therefore, study on the drought resistance of *Rhododendron* could provide a theoretical basis for its application in northern arid gardens. Four *Rhododendron* cultivars: ‘Lan Yin’, ‘Guoqihong’, ‘Aidingbao’, and ‘Fenzhenzhu’, were selected as test material, each cultivar contains 6 plants, and leaf anatomic structural characteristics and physiological responses to different degrees of drought stress were studied (2 factors 3 level complete randomized trial). A membership function was also used to rank drought resistance. Results illustrated that total water content of the leaf and the content of soluble sugar increased significantly as drought stress increased ($P < 0.05$), but the content of chlorophyll, carotenoids, and the content of soluble proteins decreased significantly ($P < 0.05$). In addition, cell membrane permeability significantly rose ($P < 0.05$); whereas, superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities went up first then down. Furthermore, the H_2O_2 content of ‘Lan Yin’, and ‘Aidingbao’ declined as drought stress increased, but H_2O_2 content of ‘Guoqihong’ and ‘Fenzhenzhu’ decreased significantly ($P < 0.05$) first and then increased significantly ($P < 0.05$). Above all, the order of drought resistance was: ‘Lan Yin’ < ‘Guoqihong’ < ‘Fenzhenzhu’ <

收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2016-10-20

基金项目: 西北农林科技大学基本科研业务费资助项目(Z109021703)

作者简介: 高晓宁, 从事杜鹃花逆境生理等研究。E-mail: 2412668069@qq.com。通信作者: 赵冰, 副教授, 从事园林植物种质资源研究。E-mail: bingbing2003915@163.com

‘Aidingbao’. Key indicators and relativities in evaluating drought resistance of these *Rhododendron* cultivars were thickness of palisade tissue, 0.850; thickness rate of palisade, 0.733; sponge tissue, 0.711; proline contents, 0.893; leaf relative water content, 0.703; and the content of H_2O_2 , 0.699. [Ch, 2 fig. 7 tab. 36 ref.]

Key words: botany; *Rhododendron* cultivars; drought stress; drought resistance

杜鹃花 *Rhododendron* 是世界十大名花之一, 是城市重要的绿化植物。杜鹃花根系细而分布浅, 水分管理十分重要。城市生态环境的一个主要特点就是土壤水分缺失, 即使是南方城市也有季节性干旱问题, 因此, 对杜鹃花的抗旱性进行研究显得尤其必须。近年来, 国内部分学者对云锦杜鹃 *Rh. fortunei*, 露珠杜鹃 *Rh. irroratum*, 大白花杜鹃 *Rh. decorum* 等高山野生杜鹃花在干旱胁迫下的形态表现和生理响应进行了研究, 为高山杜鹃花在平原地区的引种驯化提供了理论支持。另有一些学者对部分杜鹃花和毛鹃品种的抗旱性从生理指标方面进行了评价, 未涉及到品种的叶片解剖结构对抗旱性的影响, 而且未对影响抗旱性的相关指标进行分析^[1-4]。国外的专家学者也进行过杜鹃花抗旱性的相关研究, 如 ANISKO 等^[5]主要研究了杜鹃花品种在干旱胁迫下的水势变化以及干旱胁迫对杜鹃花抗寒性的影响; MAYR 等^[6]对高山杜鹃花的木质部解剖结构与其抗旱性的关系进行了研究。本研究通过测定杜鹃花的叶片解剖结构指标及干旱胁迫下其各项生理指标, 利用隶属函数法评价其抗旱性, 筛选与杜鹃花抗旱性相关的叶片解剖结构与生理指标, 以期对杜鹃花抗旱品种的选择以及杜鹃花在园林绿化中的应用提供更好的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本试验选取西洋杜鹃 ‘蓝茵’ *Rh.* ‘Lan Yin’ ‘国旗红’ *Rh.* ‘Guoqihong’ ‘爱丁堡’ *Rh.* ‘Aidingbao’ ‘粉珍珠’ *Rh.* ‘Fenzhenzhu’ 等 4 个品种为研究对象。采用长势基本一致的 3 年生杜鹃花扦插苗作为试验材料。2015 年 10 月将杜鹃花苗移植于普通塑料花盆中, 花盆上口径为 27.9 cm, 下口径 20.9 cm, 高 18.5 cm, 盆土为松针泥炭土 [$V(\text{松针}):V(\text{泥炭})=1:1$], 1 株·盆⁻¹, 盛土量一致, 进行正常管理。田间最大持水量为 71.125%。试验于 2015 年 12 月在陕西省西北农林科技大学园林植物试验室进行。实验室温度为 18~25 ℃, 空气湿度为 50%~60%, 光照良好, 平均每日光照为 6 h, 光照强度为 500~700 lx。

1.2 试验设计

2015 年 12 月进行水分胁迫, 充分灌溉, 使土壤含水量一致, 停止灌溉后等土壤自然落干进行干旱胁迫。待土壤水分降至试验要求后, 每天早上 8:00 用电子秤(载量 30.0 kg, 感量 1.0 g)称量法将土壤含水量控制在设定范围内, 并补充其水分消耗, 准确记录加水量, 胁迫第 8 天早上进行采样, 选取植株新梢成熟叶片置入冰盒中带回试验室, 立即剪碎混合均匀后对样品进行理化指标测试。试验重复 3 次。

试验设置 3 个水分处理: ①正常水分处理, 田间持水量的 75%~80%(对照); ②中度干旱胁迫处理, 田间持水量的 40%~45%; ③重度干旱胁迫处理, 田间持水量的 30%~35%。6 盆·处理⁻¹, 1 株·盆⁻¹。

1.3 形态表现观察方法

叶片萎蔫情况是判断植物受干旱胁迫程度最为直观的依据^[7-11]。干旱胁迫下, 杜鹃花的生长会受到一定影响, 尤其是对新生叶片的影响较大。主要表现为幼叶反卷, 新梢成熟叶片依次出现萎蔫、下垂、皱缩等现象, 老叶会出现加速脱落的现象。因此, 以叶片的形态表现为依据, 划分干旱胁迫对杜鹃花影响的程度, 以方便观察。具体区分方法为: I 级: 幼叶反卷, 10%以下叶片出现萎蔫、下垂、皱缩现象; II 级: 幼叶反卷, 10%~29%以下叶片出现萎蔫、下垂、皱缩现象; III 级: 幼叶反卷, 30%~59%以下叶片出现萎蔫、下垂、皱缩现象; IV 级: 幼叶反卷, 60%以上叶片出现萎蔫、下垂、皱缩现象。隔 2 d 观察 1 次。

1.4 叶片解剖结构观测

分别取 4 个杜鹃花品种对照组的叶片, 进行叶片解剖结构的观察。取样时间为晴天的 9:00~11:30。具体为用刀片取每个叶片的中部各 5 份, 不超过 0.7 cm × 0.3 cm, 放入小瓶中保存。将已切好的材料尽快地浸入体积分数为 4%戊二醇固定液中, 材料固定完毕, 保存于加盖的容器内, 抽气, 贴上标签。一

般固定时间不低于 24 h。磷酸缓冲液(0.1 mol·L⁻¹, pH 6.8)漂洗 4 次, 用体积分数 30%, 50%, 70%, 80%, 90%, 100%乙醇依次脱水, 乙酸异戊酯置换后, 用二氧化碳临界点干燥仪(K-850)进行干燥, 离子溅射仪(E-1045)喷金, 再用 JSM-6360LV 扫描电镜进行观察。观测指标有: 叶片总厚度、角质层厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、气孔长宽、气孔密度, 并计算栅栏组织厚度与海绵组织厚度的比值、叶片组织结构紧密度和叶片组织疏松度和气孔面积。

1.5 生理指标测定方法

叶片的水分测量参考明冬风^[12]的方法。叶绿素质量分数采用丙酮浸提法测定; 质膜透性采用相对电导率法; 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度采用硫代巴比妥酸法测定; 脯氨酸质量分数(Pro)采用磺基水杨酸提取茚三酮显色法测定; 可溶性糖质量分数采用蒽酮比色法测定; 可溶性蛋白质和过氧化氢(H₂O₂)质量分数采用南京建成生物有限公司的试剂盒测定; 超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定; 叶片过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定^[13]。吸光度采用日本岛津 UV-2450 型紫外可见分光光度计测定吸光值。生理指标测定均重复 3 次。

1.6 数据处理

采用隶属函数法对 4 种杜鹃花的抗旱性进行综合评价, 与形态表现进行对比。采用灰色关联分析法计算各指标与品种平均隶属函数值的关联系数, 进而求得各指标与抗旱性的关联度, 排序并筛选与抗旱性关联度大的指标。隶属函数值的计算方法: 如果某一指标与抗旱性成正相关, 则采用以下公式进行计算: $U(x) = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ 。如果某一指标与抗旱性成负相关, 则采用以下公式进行计算: $U(x) = [1 - (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})]$ 。然后求出每个品种的平均隶属函数值, 以平均隶属函数值排序, 数值越大, 抗旱性越强。

关联系数计算的方法为: ①建立灰色系统: 以各品种的平均隶属函数值组成参考函数序列, 记为 x_0 ; 以各品种各个指标的平均值为比较数列, 记为 $x_i (i=1, 2, \dots, 21)$, 分别代表叶绿素 a, 叶绿素 b 含量, \dots , 气孔密度。 $x_0 = \{x_0(k) | k=1, 2, \dots, 4\}$ 。 $x_i = \{x_i(k) | k=1, 2, \dots, 4\}$, ($i=1, 2, \dots, 21$)。②用内插法将比较数列无量纲化。③计算关联系数和关联度。关联系数计算公式如下:

$$\varepsilon_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \varepsilon \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \varepsilon \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|}, \quad (i=1, 2, \dots, 21; k=1, 2, \dots, 4)。$$

其中: ε 为分辨系数, $0 < \varepsilon < 1$, 一般取 $\varepsilon = 0.5$ 。关联度计算公式如下:

$$y_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \varepsilon_i(k), \quad (i=1, 2, \dots, 21)。$$

采用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 分析软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 杜鹃花的形态表现

2.1.1 杜鹃花叶片解剖结构观察 由表 1 可知: ‘爱丁堡’的气孔面积、栅栏组织厚度、角质层厚度远大于其他 3 个品种。‘国旗红’和‘粉珍珠’的气孔密度远小于‘蓝茵’和‘爱丁堡’的气孔密度。‘国旗红’的栅栏组织厚度和海绵组织厚度的比值以及叶片组织结构紧密度远高于其他 3 个品种; 叶片组织结构松散度远低于其他 3 个品种, 说明其叶片结构较其他 3 个品种更加紧致。

2.1.2 干旱胁迫下杜鹃花的形态表现 由表 2 可知: 随着干旱胁迫程度和干旱天数的增加, 杜鹃花的受胁迫表现也越来越明显。对照组的杜鹃花生长良好; 中度干旱胁迫下, ‘蓝茵’达到Ⅱ级的受胁迫程度的处理天数为第 3 天, ‘国旗红’‘爱丁堡’‘粉珍珠’为第 7 天; 重度干旱胁迫下, ‘蓝茵’达到Ⅲ级的受胁迫程度的处理天数为第 3 天, 达到Ⅳ级的受胁迫程度的处理天数为第 5 天, ‘国旗红’‘爱丁堡’和‘粉珍珠’第 7 天分别达到Ⅳ级、Ⅲ级、Ⅱ级。以干旱胁迫下杜鹃花的形态表现综合评价来说, 抗旱性可排序为‘蓝茵’<‘国旗红’<‘爱丁堡’<‘粉珍珠’。

2.2 不同程度干旱胁迫对杜鹃花生理生化指标的影响

2.2.1 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片水分含量的影响 由图 1 可得: 随着干旱胁迫程度的增加, 4 个杜鹃花品种的总含水量均有显著的增加, 其中‘蓝茵’的增幅最大, 为 41.8%, ‘国旗红’的增幅最

表1 4个杜鹃花品种的叶片解剖结构指标(平均值±标准误)

Table 1 Characteristics of leaf anatomical structure of four *Rhododendron* cultivars (mean ± E_s)

品种	气孔面积/ μm^2	气孔密度/(个· mm^{-2})	叶片厚度/ μm	栅栏组织厚度/ μm
‘蓝茵’	24.847 ± 3.881 ab	220.079 ± 7.744 b	143.102 ± 6.508 ab	33.883 ± 1.685 a
‘国旗红’	30.966 ± 4.517 a	132.765 ± 11.577 a	133.444 ± 4.085 a	44.551 ± 2.913 ab
‘爱丁堡’	40.131 ± 4.061 c	241.130 ± 8.480 b	159.570 ± 3.919 b	45.069 ± 2.794 c
‘粉珍珠’	22.425 ± 3.458 a	116.259 ± 7.672 a	136.642 ± 5.998 a	39.892 ± 2.596 b
品种	栅栏组织与海绵组织厚度比值/%	角质层厚度/ μm	叶片组织结构紧密度/%	叶片组织结构疏松度/%
‘蓝茵’	40.340 ± 2.054 a	1.148 ± 0.169 a	23.777 ± 0.886 a	59.323 ± 1.096 c
‘国旗红’	66.687 ± 6.210 c	1.240 ± 0.131 a	33.381 ± 1.932 c	51.425 ± 1.818 a
‘爱丁堡’	55.780 ± 3.782 b	2.956 ± 0.336 b	28.204 ± 1.437 b	51.076 ± 1.314 b
‘粉珍珠’	55.714 ± 3.221 b	1.320 ± 0.193 a	29.130 ± 1.166 b	52.983 ± 1.800 b

说明: 根据 Duncan 检验, 表中字母在同一参数内纵向比较, 相同者表示无显著差异($P>0.05$)。

表2 干旱胁迫下4个杜鹃花品种的形态表现

Table 2 Morphological features of four *Rhododendron* cultivars under drought stress

品种	处理	不同处理天数下的形态表现				品种	处理	不同处理天数下的形态表现			
		1	3	5	7 d			1	3	5	7 d
‘蓝茵’	对照	I	I	I	I	‘爱丁堡’	对照	I	I	I	I
	中度干旱	I	II	II	II		中度干旱	I	I	I	II
	重度干旱	I	III	IV	IV		重度干旱	I	I	II	III
‘国旗红’	对照	I	I	I	I	‘粉珍珠’	对照	I	I	I	I
	中度干旱	I	I	I	II		中度干旱	I	I	I	II
	重度干旱	I	I	II	IV		重度干旱	I	II	II	II

小, 为 6.8%。‘爱丁堡’和‘粉珍珠’的增幅介于两者之间。除‘粉珍珠’自由水含量有显著增加外, 其余 3 个品种在重度干旱胁迫下的自由水含量和对照组相比变化不显著, 但是中度干旱胁迫下, ‘蓝茵’自由水含量显著下降, 而‘国旗红’和‘爱丁堡’的自由水含量显著升高。束缚水含量的变化趋势为‘粉珍珠’的显著下降, 其余 3 个品种有少量的增加。说明在重度胁迫下, ‘粉珍珠’的束缚水向自由水转化, 并且自由水的增量比束缚水减量, 其余 3 个品种总含水量的增量是由束缚水含量增加引起的。就叶片相对含水量而言, ‘蓝茵’的叶片相对含水量和对照组相比变化不显著, 而其余 3 个品种都有显著的增加。

2.2.2 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片叶绿素和类胡萝卜素质量分数的影响 随着干旱胁迫程度的增加, 4 个品种杜鹃花的叶绿素和类胡萝卜素均有显著的降低, 且中度干旱胁迫的降幅小于重度干旱胁迫。在重度干旱胁迫下, ‘蓝茵’的叶绿素 a, 叶绿素 b, 总叶绿素和类胡萝卜素的降幅均为最小, 分别为 30.6%, 43.0%, 67.2%和 61.4%; 而‘粉珍珠’的叶绿素 a, 叶绿素 b 和类胡萝卜素降幅均为最大, 分别为 47.5%, 56.6%和 70.6%, ‘爱丁堡’的叶绿素 b 降幅最大, 为 76.0%(图 2)。

2.2.3 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片渗透调节物质的影响 由表 3 可得: 4 个杜鹃花品种随着干旱胁迫程度的增加, 可溶性糖质量分数均有一定程度的增加。‘粉珍珠’的可溶性糖质量分数比其他 3 个品种都高, 且升高十分显著, 而其他 3 个品种升高不显著。随着干旱胁迫程度的增加, ‘蓝茵’的可溶性蛋白质质量分数变化不显著, 其他 3 个品种的质量分数先显著下降, 再略有上升, 但上升不显著。说明相对于其他 3 个品种, 可溶性蛋白质质量分数对‘蓝茵’的渗透调节作用不是很大。随干旱胁迫程度的增加, ‘粉珍珠’脯氨酸的质量分数先降低再升高, 而其他 3 个品种均先升高再降低。重度干旱胁迫下, ‘蓝茵’和‘粉珍珠’的脯氨酸质量分数增量显著, 而‘国旗红’和‘爱丁堡’的增量不显著。

2.2.4 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片质膜稳定性和活性氧代谢的影响 随着干旱胁迫程度的增加, ‘蓝茵’和‘爱丁堡’的细胞膜透性变化不显著, ‘国旗红’和‘粉珍珠’的胞膜透性显著变大。‘蓝茵’‘国旗红’‘爱丁堡’‘粉珍珠’增幅分别为 30.9%, 51.6%, 2.9%和 47.7%(表 4)。而‘国旗红’的丙二醛质量摩尔浓度有显著增加, 其他 3 个品种的丙二醛质量摩尔浓度变化不显著, 增幅分别为 5.6%, 15.2%, 1.7%和 10.5%。综合来看, 4 个品种的细胞膜稳定性顺序由弱到强为: ‘国旗红’ <

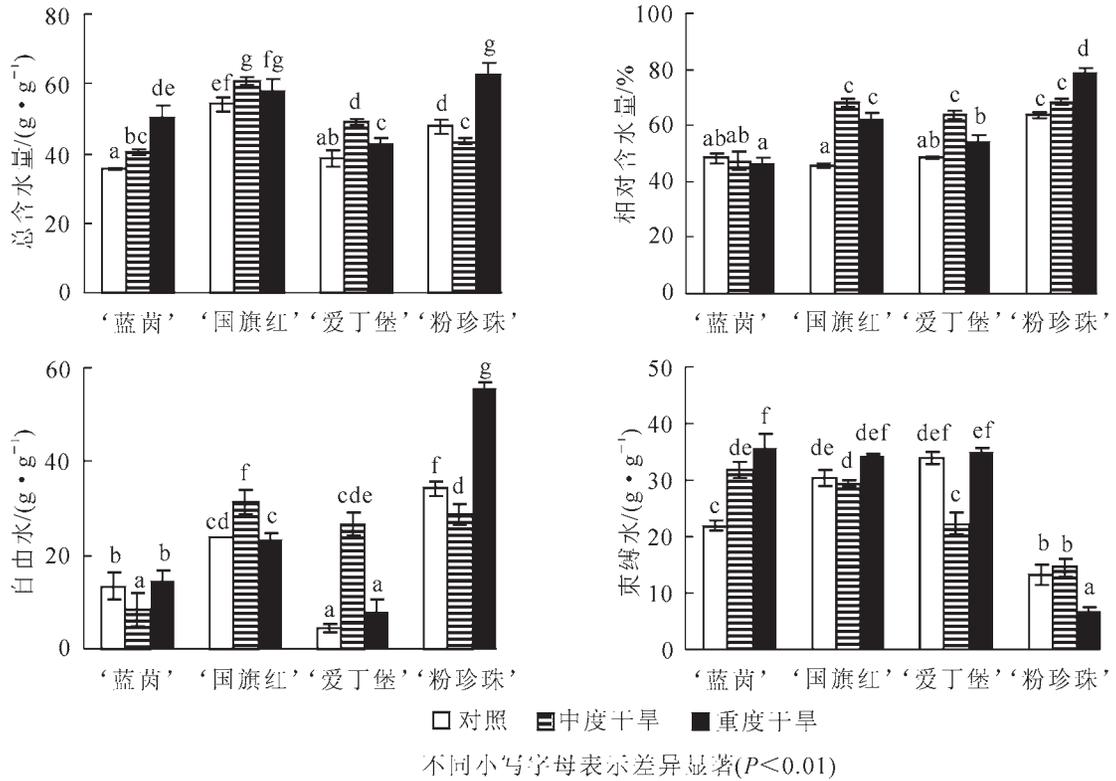


图 1 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片水分的影响

Figure 1 Effects of drought stress on water content in leaf of four *Rhododendron* cultivars

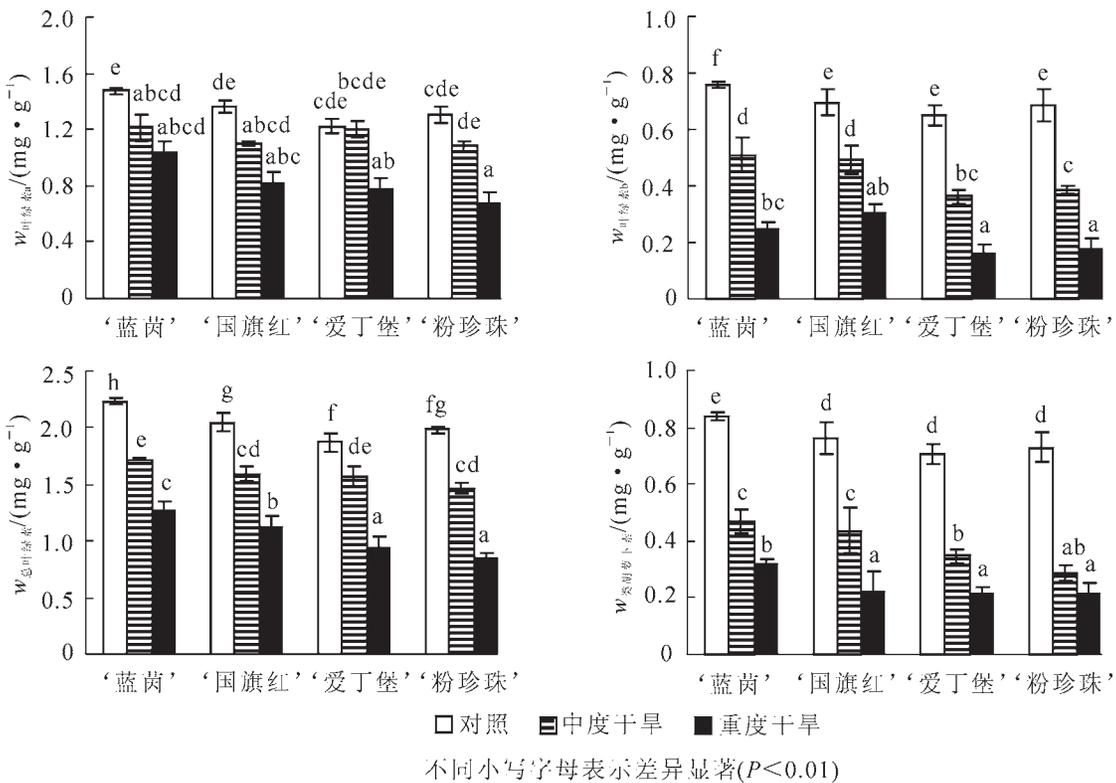


图 2 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片叶绿素和类胡萝卜素的影响

Figure 2 Effects of drought stress on chlorophyll and carotenoids content in leaf of four *Rhododendron* cultivars

‘粉珍珠’ < ‘蓝茵’ < ‘爱丁堡’。由表 5 可得：‘蓝茵’和‘国旗红’的超氧化物歧化酶活性随干旱胁迫程度的增加，先增加再降低，而‘爱丁堡’和‘粉珍珠’的超氧化物歧化酶活性一直增加。说明前 2 个品种的超氧化物歧化酶活性随干旱胁迫程度的增加受到了抑制，而后 2 个品种的活性没有受到抑

表3 干旱胁迫对4个杜鹃花品种叶片的渗透调节物质的影响(平均值±标准误)

Table 3 Effects of drought stress on osmotic adjustment substance content in leaf of four *Rhododendron* cultivars ($\bar{x} \pm E_s$)

品种	处理	可溶性糖/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	脯氨酸/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
‘蓝茵’	对照	17.474 ± 0.797 a	3.524 ± 0.792 a	1.426 ± 0.011 a
	中度干旱	22.635 ± 1.489 a	1.061 ± 0.240 a	28.282 ± 0.064 h
	重度干旱	22.711 ± 2.280 a	1.500 ± 0.264 a	9.114 ± 0.801 b
‘国旗红’	对照	21.951 ± 1.253 a	11.121 ± 1.993 d	14.060 ± 0.008 d
	中度干旱	20.424 ± 0.888 a	2.135 ± 0.307 a	18.199 ± 0.032 f
	重度干旱	23.596 ± 1.365 a	5.427 ± 0.972 a	14.393 ± 0.085 de
‘爱丁堡’	对照	16.591 ± 2.027 a	9.980 ± 0.288 d	15.008 ± 0.062 e
	中度干旱	18.670 ± 3.485 a	5.650 ± 0.667 bc	17.987 ± 0.321 f
	重度干旱	19.070 ± 2.706 a	6.645 ± 0.959 c	14.489 ± 0.659 de
‘粉珍珠’	对照	100.435 ± 8.967 b	14.820 ± 1.578 f	14.360 ± 0.052 d
	中度干旱	123.183 ± 10.974 c	11.662 ± 2.570 de	12.797 ± 0.074 c
	重度干旱	230.304 ± 6.085 d	12.697 ± 1.184 ef	20.755 ± 0.707 g

说明: 根据 Duncan 检验, 表中字母在同一参数内纵向比较, 相同者表示无显著差异($P>0.05$)。

表4 干旱胁迫对4个杜鹃花品种叶片的质膜稳定性的影响(平均值±标准误)

Table 4 Effects of drought stress on membrane permeability in leaf of four *Rhododendron* cultivars ($\bar{x} \pm E_s$)

品种	处理	细胞膜透性/%	丙二醛/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)
‘蓝茵’	对照	10.390 ± 1.515 abc	0.124 ± 0.010 f
	中度干旱	10.919 ± 1.420 abc	0.120 ± 0.008 f
	重度干旱	13.596 ± 1.414 c	0.131 ± 0.008 f
‘国旗红’	对照	13.130 ± 0.642 bc	0.066 ± 0.005 cd
	中度干旱	16.739 ± 1.073 d	0.085 ± 0.005 e
	重度干旱	19.905 ± 2.440 e	0.076 ± 0.003 de
‘爱丁堡’	对照	9.623 ± 0.860 a	0.058 ± 0.001 bc
	中度干旱	9.451 ± 0.361 a	0.046 ± 0.005 a
	重度干旱	9.902 ± 0.340 ab	0.059 ± 0.006 bc
‘粉珍珠’	对照	16.546 ± 3.092 d	0.057 ± 0.009 abc
	中度干旱	21.849 ± 2.371 ef	0.053 ± 0.006 ab
	重度干旱	24.438 ± 2.858 f	0.063 ± 0.005 bc

说明: 根据 Duncan 检验, 表中字母在同一参数内纵向比较, 相同者表示无显著差异($P>0.05$)。

制。而过氧化物酶活性先显著升高再降低, 说明4个品种的过氧化物酶活性随干旱胁迫程度的增加, 先增强后受到了抑制。另外, ‘蓝茵’和‘爱丁堡’的过氧化氢质量分数随干旱胁迫的增加而下降, ‘国旗红’和‘粉珍珠’的过氧化氢质量分数先降低再升高, 说明随着干旱胁迫程度的增加前2个品种的过氧化氢酶活性不断增强, 而后2个品种的过氧化氢酶活性, 先升高后受到了抑制。

2.3 抗旱性综合评价

以每种杜鹃花各项指标的平均隶属函数值作为杜鹃花抗旱能力的综合评价标准, 数值越大说明其抗旱能力越强。由表6可得: 4种杜鹃花的抗旱能力从小到大为‘蓝茵’<‘国旗红’<‘粉珍珠’<‘爱丁堡’。

2.4 杜鹃花各生理指标与抗旱性的关联度

由表7可得: 与杜鹃花抗旱性关联度最大的3个叶片解剖结构指标分别为: 栅栏组织厚度、栅栏组织厚度与海绵组织厚度比和叶片结构紧密度, 对应的相关度为: 0.850, 0.733, 0.711; 与杜鹃花抗旱性关联度最大的3个生理指标分别为脯氨酸质量分数、叶片相对含水量和过氧化氢质量分数, 对应的相关度为 0.893, 0.703, 0.699, 相关度接近 0.700。

表 5 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种叶片的活性氧代谢的影响(平均值±标准误)

Table 5 Effect of drought stress on H₂O₂ and active oxygen scavenging systems in leaf of four *Rhododendron* cultivars ($\bar{x} \pm E_s$)

品种	处理	超氧化物歧化酶/(×16.67 nkat·g ⁻¹)	过氧化物酶/(×16.67 nkat·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	过氧化氢/(mmol·g ⁻¹)
‘蓝茵’	对照	247.166 ± 8.086 g	34.630 ± 4.855 c	6.184 ± 0.079 a
	中度干旱	249.410 ± 8.731 g	55.467 ± 5.823 d	2.244 ± 0.434 a
	重度干旱	145.156 ± 7.869 d	25.794 ± 3.942 b	2.532 ± 0.061 a
‘国旗红’	对照	78.012 ± 6.332 b	10.607 ± 2.940 a	18.232 ± 0.091 ef
	中度干旱	178.117 ± 4.411 e	25.143 ± 3.556 b	2.600 ± 0.825 a
	重度干旱	120.120 ± 6.200 c	10.588 ± 2.587 a	12.802 ± 2.247 cd
‘爱丁堡’	对照	124.076 ± 3.686 c	6.389 ± 0.194 a	16.580 ± 5.561 de
	中度干旱	150.305 ± 3.100 d	26.408 ± 0.221 b	6.013 ± 0.084 ab
	重度干旱	226.944 ± 3.597 f	4.289 ± 0.867 a	9.231 ± 0.466 bc
‘粉珍珠’	对照	38.522 ± 4.393 a	39.074 ± 6.239 c	25.545 ± 3.433 g
	中度干旱	79.680 ± 1.028 b	59.477 ± 4.849 d	14.802 ± 2.417 de
	重度干旱	117.686 ± 8.840 c	37.366 ± 2.038 c	20.964 ± 3.329 f

说明：根据 Duncan 检验，表中字母在同一参数内纵向比较，相同者表示无显著差异(P>0.05)。

3 结论与讨论

水分是植物生命活动的重要组成部分，是保证植物正常生长及发育的重要因子。研究表明：4 个杜鹃花品种的总含水量显著升高，而且除‘蓝茵’的叶片相对含水量无显著变化外，其余 3 个品种都有显著的增加。这虽然与安玉艳等^[14]对杠柳 *Periploca sepium* 的研究结果不一致，但是杜鹃花叶片的总含水量和自由水含量均上升，说明干旱胁迫提高了杜鹃花对土壤水分的吸收。

干旱胁迫会抑制叶绿素的合成，并且加快叶绿素的分解，使叶绿素含量快速下降^[15-16]。类胡萝卜素在植物光合作用中担负着光吸收辅助色素和保护叶绿素氧化破坏的重要功能，有些类胡萝卜素还是脱落酸(A-BA)合成的前体^[17]。在本研究中，干旱胁迫下杜鹃花的叶绿素和类胡萝卜素质量分数均显著降低，说明杜鹃花的光合产量有所减少。在哈申格日乐等^[18]对樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* 等耐干旱植物以及白志英等^[19]对小麦 *Triticum aestivum* 的研究中也有相似的结果。

干旱胁迫下，植物会通过提高细胞液中的渗透调节物质的浓度来维持细胞膨压，防止细胞脱水，为

表 6 干旱胁迫对 4 个杜鹃花品种解剖结构及生理指标平均隶属函数值

Table 6 Synthetically membership function value of four *Rhododendron* cultivars

品种	平均隶属函数值	排序
‘蓝茵’	0.432	4
‘国旗红’	0.491	3
‘爱丁堡’	0.593	1
‘粉珍珠’	0.505	2

表 7 杜鹃花抗旱性与各指标的关联系数、关联度和关联序

Table 7 Correlative modulus, correlative degree and correlative order of the indexes of drought resistance of *Rhododendron* cultivars

指标	关联度	关联序	指标	关联度	关联序
气孔面积	0.691	9	叶绿素 a	0.389	22
气孔密度	0.544	16	叶绿素 b	0.469	18
叶片厚度	0.592	14	叶绿素	0.389	21
栅栏组织厚度	0.850	2	类胡萝卜素	0.416	20
栅栏组织与海绵组织厚度比值	0.733	3	可溶性糖	0.609	13
角质层厚度	0.700	6	可溶性蛋白	0.697	8
叶片组织结构紧密度	0.711	4	脯氨酸	0.893	1
叶片组织结构疏松度	0.379	24	细胞膜透性	0.637	12
总含水量	0.687	10	丙二醛	0.388	23
自由水含量	0.681	11	超氧化物歧化酶	0.455	19
束缚水含量	0.589	15	过氧化物酶	0.471	17
相对含水量	0.703	5	过氧化氢	0.699	7

正常生命活动创造条件^[20-21]。渗透调节物质主要有可溶性糖和可溶性蛋白质。本研究表明：随着干旱胁迫程度的增加，杜鹃花的可溶性糖质量分数升高，可溶性蛋白质质量分数降低，杜鹃花可溶性糖的变化与吴敏等^[22]对栓皮栎 *Quercus variabilis* 的研究结果一致，说明杜鹃花可以通过积累可溶性糖来调节细胞的渗透势。另外，杜鹃花可溶性蛋白质的变化与吴敏等^[22]研究结果不一致。根据魏良民^[23]和葛体达^[24]研究，在干旱胁迫下，蛋白质的合成受到抑制，并且干旱胁迫会诱导蛋白质降解。因此，杜鹃花叶片的可溶性蛋白质质量分数下降的主要原因是其叶片蛋白质发生了降解。

另外，脯氨酸在植物的渗透调节中也起重要作用。植株体内脯氨酸质量分数在一定程度上反映了植株体内的水分状况，因而可以作为植物缺水情况的参考性生理指标^[25]。脯氨酸与植物抗旱性的关联性有很多争论，有的研究认为可以用植物体内脯氨酸质量分数的多少来衡量植物的抗旱性，也有的研究认为其两者的关联性并不显著^[26-28]。本研究表明：随着干旱胁迫程度的增加，杜鹃花的脯氨酸质量分数显著增加，说明杜鹃花的抗旱性与其叶片中的脯氨酸积累有一定的关系。范苏鲁等^[29]对大丽花 *Dahlia pinnata* 和毛永成等^[30]对鸡爪槭 *Acer palmatum* 的研究也有相似的结果。

细胞膜具有选择透性。干旱胁迫会造成细胞膜过氧化，选择透过性的降低或丧失，细胞内大量离子外渗，从而使组织浸出液的相对电导率升高，并且丙二醛是细胞膜脂过氧化的产物之一，是检测膜损伤程度的公认指标^[31]。在本研究中，随着干旱胁迫程度的增加，杜鹃花的细胞渗透率增加，但丙二醛摩尔质量浓度变化不显著，但均有小幅升高，并且杜鹃花品种间丙二醛质量摩尔浓度差异比较大，总的来说杜鹃花的细胞膜稳定性降低。这与范苏鲁等^[29]对大丽花和吴敏等^[22]对栓皮栎的研究结果一致。

干旱胁迫下，植物体内会产生过量的活性氧，包括超氧自由基、过氧化氢等，但由超氧化物歧化酶、过氧化物酶等抗氧化酶组成的抗氧化防御体系可以清除植物体内产生的活性氧，维持细胞膜稳定^[12]。本研究表明：随着干旱胁迫程度的增加，超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性先增强后会受到一定的抑制，‘蓝茵’和‘爱丁堡’的过氧化氢质量分数随干旱胁迫程度的增加而下降，‘国旗红’和‘粉珍珠’的过氧化氢质量分数先降低再升高，说明随着干旱胁迫程度的增加前2个杜鹃花品种的过氧化氢酶活性不断增强，而后2个品种的过氧化氢酶活性先升高后受到了抑制。这与柯世省等^[4]对云锦杜鹃，丁玲等^[32]对黄瓜 *Cucumis sativus* 幼苗的研究结果一致。

根据平均隶属函数值，4个杜鹃花品种的抗旱能力从小到大为‘蓝茵’ < ‘国旗红’ < ‘粉珍珠’ < ‘爱丁堡’，这与干旱胁迫下杜鹃花的形态表现有一定的差异，主要体现在‘粉珍珠’与‘爱丁堡’的顺序上。结合叶片的形态解剖结构来看，其主要原因是‘粉珍珠’叶片革质，叶片组织结构紧密度相对较大，相对含水量大。因此干旱胁迫下‘粉珍珠’的叶片形态变化不显著。

从叶片解剖结构来说，植物抗旱性主要与叶片厚度、叶片角质层厚度、栅栏组织厚度、栅栏组织与海绵组织厚度比值、叶片组织结构紧密度、气孔密度呈正相关，与叶片气孔面积、叶片组织结构疏松度呈负相关^[33-36]。与杜鹃花抗旱性关联度最大的3个叶片解剖结构指标分别为栅栏组织厚度、栅栏组织厚度与海绵组织厚度比和叶片结构紧密度，相关度为均达70%以上。这与邱权等^[34]的研究结果基本一致。与杜鹃花抗旱性关联度最大的3个生理指标分别为脯氨酸质量分数、叶片相对含水量和过氧化氢质量分数相关度接近0.700。这与黄承玲等^[1]对高山杜鹃花的研究结果有差异，一方面是因为杜鹃花与高山杜鹃花的差异显著，另一方面可能是因为其测量的生理指标覆盖面小。

4 参考文献

- [1] 黄承玲, 陈训, 高贵龙. 3种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J]. 林业科学, 2011, 47(6): 48 - 55.
HUANG Chengling, CHEN Xun, GAO Guilong. Physiological response of seedlings of three *Azalea* species of drought stress and evaluation of drought resistance [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, 47(6): 48 - 55.
- [2] 李娟, 黄丽华, 陈训. 2种杜鹃对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J]. 西南农业学报, 2015, 28(3): 1067 - 1072.
LI Juan, HUANG Lihua, CHEN Xun. Physiological response of Two *Rhododendron simsii* seedlings to drought stress and drought resistance evaluation [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2015, 28(3): 1067 - 1072.

- [3] 张长芹, 罗吉凤, 苏玉芬. 6种杜鹃花的耐旱适应性研究[J]. 广西植物, 2002, **22**(2): 174 – 176.
ZHANG Changqin, LUO Jifeng, SU Yufen. The research of drought tolerance on 6 species of *Rhododendron* [J]. *Guihaia*, 2002, **22**(2): 174 – 176.
- [4] 柯世省, 杨敏文. 水分胁迫对云锦杜鹃抗氧化系统和脂类过氧化的影响[J]. 园艺学报, 2007, **34**(5): 1217 – 1222.
KE Shisheng, YANG Minwen. Effects of water stress on antioxidant system and lipid peroxidation in leaves of *Rhododendron fortunei* [J]. *Acta Horti Sin*, 2007, **34**(5): 1217 – 1222.
- [5] ANISKO T, LINDSTROM O M. Cold hardiness and water relations parameters in *Rhododendron* cv. Catawbiense Boursault subjected to drought episodes [J]. *Physiol Plant*, 1996, **98**(1): 147 – 155.
- [6] MAYR S, BEIKIRCHER B, OBKIRCHER M A, *et al.* Hydraulic plasticity and limitations of alpine *Rhododendron* species [J]. *Oecologia*, 2010, **164**(2): 321 – 330.
- [7] BABU R C, ZHANG Jingxian, BLUM A, *et al.* HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection [J]. *Plant Sci*, 2004, **166**(4): 855 – 862.
- [8] OBER E S, BLOA M L, CLARK C J A, *et al.* Evaluation of physiological traits as indirect selection criteria for drought tolerance in sugar beet [J]. *Field Crops Res*, 2005, **91**(2/3): 231 – 249.
- [9] TOKER C, CANCI H, YILDIRIM T. Evaluation of perennial wild Cicer species for drought resistance [J]. *Genet Resour Crop Evolut*, 2007, **54**(8): 1781 – 1786.
- [10] 李震, 吴北京, 陆光远, 等. 不同基因型油菜对苗期水分胁迫的生理响应[J]. 中国油料作物学报, 2012, **34**(1): 33 – 39.
LI Zhen, WU Beijing, LU Guangyuan, *et al.* Differences in physiological responses of *Brassica napus* genotypes under water stress during seedling stage [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2012, **34**(1): 33 – 39.
- [11] 姜慧芳, 任小平, 段乃雄. 中国龙生型花生的耐旱性鉴定与综合评价[J]. 中国农业科学, 1999, **32**(增刊): 59 – 63.
JIANG Huifang, REN Xiaoping, DUAN Naixiong. Screening and evaluation for drought tolerance in Chinese dragon groundnut [J]. *Sci Agric Sin*, 1999, **32**(supp): 59 – 63.
- [12] 明东风. 硅对水分胁迫下水稻生理生化特性、亚显微结构及相关基因表达的调控机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
MING Dongfeng. *Regulatory Mechanisms of Silicon on Physiological and Biochemical Characteristics, Ultrastructure and Related Gene Expression of Rice Under Water Stress* [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [13] 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: 135 – 260.
- [14] 安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳. 杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应[J]. 生态学报, 2011, **31**(3): 716 – 725.
AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang. Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(3): 716 – 725.
- [15] 李芳兰, 包维楷, 吴宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J]. 生态学报, 2009, **29**(10): 5406 – 5416.
LI Fanglan, BAO Weikai, WU Ning. Morphological and physiological responses of current *Sophora davidii* seedlings to drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(10): 5406 – 5416.
- [16] 朱志梅, 杨持. 草原沙漠化过程中植物的耐胁迫类型研究[J]. 生态学报, 2004, **24**(6): 1093 – 1100.
ZHU Zhimei, YANG Chi. Researches on the stress resistant types of the plants during the grassland sandy desertification process [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24**(6): 1093 – 1100.
- [17] 费小红, 安保光, 赵宝华, 等. 类胡萝卜素参与水稻抗氧化胁迫的研究进展[J]. 现代农业科学, 2009, **16**(1): 22 – 23.
FEI Xiaohong, AN Baoguang, ZHAO Baohua, *et al.* Carotenoid antioxidant coercion to participate in rice research [J]. *Mod Agric Sci*, 2009, **16**(1): 22 – 23.
- [18] 哈申格日乐, 宋云民, 李吉跃, 等. 水分胁迫对毛乌素地区4树种幼苗生理特性的影响[J]. 林业科学研究, 2006, **19**(3): 358 – 363.
Hashengerile, SONG Yunmin, LI Jiyue, *et al.* The influence of draught stress on the physiological indexes of seedlings

- of four tree species in Maowusu [J]. *Forest Res*, 2006, **19**(3): 358 – 363.
- [19] 白志英, 李存东, 孙红春, 等. 干旱胁迫对小麦叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响及染色体调控[J]. 华北农学报, 2009, **24**(1): 1 – 6.
BAI Zhiying, LI Cundong, SUN Hongchun, *et al.* The effect and chromosomal control on chlorophyll content and carotenoid content under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Acta Agric Boreal-Sin*, 2009, **24**(1): 1 – 6.
- [20] EISSENSTAT D M, YANAI R D. The ecology of root lifespan [J]. *Adv Ecol Res*, 1997, **27**: 1 – 60.
- [21] SILVA E N, FERREIRA-SILVA S L, VIÉGAS R A, *et al.* The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants [J]. *Environ Exper Bot*, 2010, **69**(3): 279 – 285.
- [22] 吴敏, 张文辉, 周建云, 等. 干旱胁迫对栓皮栎幼苗细根的生长与生理生化指标的影响[J]. 生态学报, 2014, **34**(15): 4223 – 4233.
WU Min, ZHANG Wenhui, ZHOU Jianyun, *et al.* Effects of drought stress on growth, physiological and biochemical parameters in fine roots of *Quercus variabilis* Bl. seedlings [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(15): 4223 – 4233.
- [23] 魏良民. 几种旱生植物水分生理特性的比较研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 1991, **8**(2): 75 – 79.
WEI Liangmin. The comparative study on water physiological speciality of several xerophytes [J]. *J Xinjiang Univ Nat Sci Ed*, 1991, **8**(2): 75 – 79.
- [24] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 水分胁迫下夏玉米根叶保护酶活性变化及其对膜脂过氧化作用的影响[J]. 中国农业科学, 2005, **38**(5): 922 – 928.
GE Tida, SUI Fangong, BAI Liping, *et al.* Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize [J]. *Sci Agric Sin*, 2005, **38**(5): 922 – 928.
- [25] 俞建妹, 唐树生, 王凌晖. 水分胁迫对桂花幼苗生长及生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(4): 2107 – 2109.
YU Jianmei, TANG Shusheng, WANG Linghui. Effects of water stress on the seedling growth and physiological characteristics of *Osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, **38**(4): 2107 – 2109.
- [26] 马红梅, 陈明昌, 张强. 柠条生物形态对逆境的适应性机理[J]. 山西农业科学, 2005, **33**(3): 47 – 49.
MA Hongmei, CHEN Mingchang, ZHANG Qiang. Mechanisms of *Peashrub*'s biological forms in adapting to adversity [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 2005, **33**(3): 47 – 49.
- [27] 曹帮华, 张明如, 翟明普, 等. 土壤干旱胁迫下刺槐无性系生长和渗透调节能力[J]. 浙江林学院学报, 2005, **22**(2): 161 – 165.
CAO Banghua, ZHANG Mingru, ZHAI Mingpu, *et al.* Growth and osmotic adjustment of *Robinia pseudoacacia* clones under drought stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2005, **22**(2): 161 – 165.
- [28] 陈敏, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河中游地区3种植物的抗旱机理研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27**(4): 747 – 754.
CHEN Min, CHEN Yaning, LI Weihong, *et al.* Drought resistance mechanism of three plant species in the middle reaches of Tarim River, China [J]. *Acta Bot Boreal-Occident*, 2007, **27**(4): 747 – 754.
- [29] 范苏鲁, 苑兆和, 冯立娟, 等. 干旱胁迫对大丽花生理生化指标的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(3): 651 – 657.
FAN Sulu, YUAN Zhaohe, FENG Lijuan, *et al.* Effects of drought stress on physiological and biochemical parameters of *Dahlia pinnata* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(3): 651 – 657.
- [30] 毛永成, 刘璐, 王小德. 干旱胁迫对3种槭树科植物生理特性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2016, **33**(1): 60 – 64.
MAO Yongcheng, LIU Lu, WANG Xiaode. Effect of drought stress on physiological characteristics of three plants of Aceraceae [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2016, **33**(1): 60 – 64.
- [31] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, *et al.* Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds [J]. *Planta*, 1999, **207**(4): 604 – 611.
- [32] 丁玲, 吴雪, 杜长霞, 等. 短期干旱胁迫对黄瓜幼苗叶片抗氧化系统的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2015, **32**(2): 285 – 290.
DING Ling, WU Xue, DU Changxia, *et al.* An antioxidant system in cucumber seedling leaves with short term

- drought stress [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2015, **32**(2): 285 – 290.
- [33] 李爱平, 王晓江, 杨小玉, 等. 库布齐沙漠几种沙生灌木叶解剖结构耐旱特征研究[J]. 中国沙漠, 2010, **30**(6): 1405 – 1410.
- LI Aiping, WANG Xiaojiang, YANG Xiaoyu, *et al.* Evaluation of drought resistance capacity of desert shrubs in Hobq desert based on characteristics of leaf anatomical structure [J]. *J Desert Res*, 2010, **30**(6): 1405 – 1410.
- [34] 邱权, 潘昕, 李吉跃, 等. 青藏高原 20 种灌木抗旱形态和生理特征[J]. 植物生态学报, 2014, **38**(6): 562 – 575.
- QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, *et al.* Morphological traits and physiological characteristics in drought tolerance in 20 shrub species on the Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2014, **38**(6): 562 – 575.
- [35] 王国富, 李连国, 李晓燕, 等. 沙棘叶片表面形态特征与抗旱性的关系[J]. 园艺学报, 2006, **33**(6): 1310 – 1312.
- WANG Guofu, LI Lianguo, LI Xiaoyan, *et al.* Relationship between the morphological characteristics of leaf surface and drought resistance of sea buckthorn [J]. *Acta Horti Sin*, 2006, **33**(6): 1310 – 1312.
- [36] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报, 1991, **13**(3): 92 – 100.
- LI Jiyue. Mechanisms of drought tolerance in plant [J]. *J Beijing For Univ*, 1991, **13**(3): 92 – 100.
- =====

《浙江农林大学学报》再次入选中国科学引文数据库核心库

中国科学院文献情报中心公布了 2017–2018 年度中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, 简称 CSCD)收录来源期刊(http://sciencechina.cn/cscd_source.jsp)。《浙江农林大学学报》榜上有名, 再次入选 CSCD 核心库。

经过 CSCD 定量遴选、专家定性评估, 2017–2018 年度 CSCD 收录来源期刊 1 229 种, 其中中国出版的英文期刊 201 种, 中文期刊 1 028 种。CSCD 来源期刊分为核心库和扩展库 2 个部分, 其中核心库 885 种(标记为 C), 扩展库 344 种(标记为 E)。

CSCD 由中国科学院文献情报中心于 1989 年创建, 与美国的 SCI 接轨, 用于分析国内科学技术活动的整体状况, 帮助科教决策部门科学地评价我国科学活动的宏观水平和微观绩效, 帮助科学家客观地了解自身的学术影响力。来源期刊 2 年遴选 1 次, 每次遴选均采用定量与定性相结合的方法, 定量数据来自于中国科学引文数据库, 定性评价则通过聘请国内专家定性评估对期刊进行评审。定量与定性综合评估结果构成了 CSCD 来源期刊。

吴伟根