

李 鹏,刘济明,颜 强,等. 干旱胁迫对小蓬竹繁殖和某些生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(8):181-184.

# 干旱胁迫对小蓬竹繁殖和某些生理特性的影响

李 鹏<sup>1</sup>, 刘济明<sup>1</sup>, 颜 强<sup>1</sup>, 池 馨<sup>1</sup>, 廖小锋<sup>2</sup>, 王军才<sup>1</sup>

(1. 贵州大学林学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州科学院/贵州省山地资源研究所, 贵州贵阳 550001)

**摘要:**以小蓬竹幼苗为材料,采用人工控水的方法,设置轻度干旱、中度干旱和重度干旱 3 个水分胁迫梯度以及对照(CK),研究小蓬竹相关生理特性对水分胁迫的响应情况。经过 70 d 水分胁迫试验,结果发现:与 CK 相比,随着干旱胁迫强度的增加,小蓬竹的叶片逐渐减少,轻度干旱胁迫影响较小,而在中度和重度干旱胁迫条件下显著减少;在轻度、中度干旱胁迫下的出竹率和成笋率较 CK 变化不显著,但重度干旱条件下极显著低于 CK。在轻度干旱胁迫条件下,水分饱和和亏及小枝水势与 CK 差异不显著;在中度、重度干旱胁迫条件下,水分饱和和亏显著或极显著提高,小枝水势与水分饱和和亏变化趋势相反。小蓬竹根系活力在各处理下大小为轻度干旱胁迫 > 重度干旱胁迫 > 中度干旱胁迫 > CK,其中轻度干旱胁迫为 CK 的 2.42 倍。有研究认为,小蓬竹通过减小地上蒸发面积、减少出竹率、维持根的活力等多种形态与生理策略,实现对干旱胁迫较强的忍耐性和较好的适应性。

**关键词:**小蓬竹;干旱胁迫;繁殖;相对含水量;生理特性;根系活力

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0181-03

水分短缺是干旱、半干旱地区作物生产和植被恢复的关键制约因素<sup>[1]</sup>。在长期进化过程中,植物为了适应干旱胁迫,发生了一系列的生理生化反应,并逐渐形成了一些特异的耐旱机制。干旱胁迫下,植物的水分饱和和亏、小枝水势、根系活力、繁殖等变化已广泛用于植物对逆境的反应机理研究<sup>[2-4]</sup>。小蓬竹(*Drepanostachyun luodianense*)属禾本科竹亚科镰序竹属,别称藤竹,是我国特产的一次性开花结实的合轴丛生型竹种。竹体圆筒状,长达 10 m,地径 0.40~1.50 cm,以分蘖繁殖为主,在《中国物种红色名录》中被列为极危种。小蓬竹种群主要分布于罗甸县、长顺县、紫云苗族布依族自治县、望谟县的喀斯特山地上<sup>[5]</sup>。小蓬竹不仅具有经济和社会效益如造纸、编织凉椅、农具等,而且可用作优良的梯度绿化园林绿化竹种,具有良好的开发前景。在喀斯特环境下,由于降水分布的时空不均匀性、土体的不连续性、植被覆盖率低导致的涵养水源功能较差等,使得整个喀斯特区域针对植物的临时性干旱事件频发<sup>[6]</sup>。作为喀斯特生境的适生竹种小蓬竹在其生态系统中发挥着水源涵养、水土保持、养分平衡等生态功能<sup>[7]</sup>。笔者所在的团队在之前的研究中主要侧重于干旱胁迫对小蓬竹的光合作用<sup>[8]</sup>及保护酶特性<sup>[9]</sup>的方面,但叶片组织水力、繁殖更新、根系活力等也是从机理上了解小蓬竹适应喀斯特生境的重要内容,需要加以研究完善。因此,本研究通过 70 d 的盆栽试验,研究小蓬竹对于干旱胁迫的响应,旨在探讨干旱胁迫对小蓬竹某些相关生理生态特性与抗旱性的关系,进一步丰富小蓬竹耐旱机理的研究内容。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

2009 年 7 月中旬从小蓬竹原生地贵州罗甸县董架乡将长势较为一致的野生小蓬竹竹丛截杆(地上部分长度保留 0.8 m)后移栽至贵州大学林学院苗圃;移栽竹丛于 9 月长出新叶,2010 年 8—9 月发笋,成功进行更新繁殖;2010 年 12 月将成活的长势较为一致的小蓬竹竹丛进行分蘖繁殖;选取根系较为一致的分蘖后的小蓬竹植株,种植于规格一致的聚丙烯花盆内(底部内径 24 cm,盆口内径 29 cm,盆高 22 cm),土壤统一采用经多菌灵消毒后的喀斯特石灰土。用烘干法测定土壤的田间持水量(FC, 37.43%)以及土壤含水量(Cs, 11.58%),并称量盆质量(PZ, 0.25 kg),控制移栽时装入盆中土壤的质量(TZ, 8.50 kg, 约距花盆沿 2~3 cm),将每个盆编号,做好相应记录,而后进行常规的统一水肥管理。小蓬竹分蘖盆栽后老叶逐渐脱落,当年冬季置于温室内越冬,春季气温回暖后搬出大棚置于开阔处自然状态下,盆栽苗于 2011 年 3 月长出新枝叶;至 7 月中旬,选取长势良好、较为一致的无病虫害小蓬竹盆栽苗,移入隔绝降水的透明大棚作为干旱胁迫试验材料,此时盆中苗木平均质量约 0.35 kg。

### 1.2 试验设计

考虑到 9 月是小蓬竹集中出笋时期,干旱胁迫试验时段设置为 7 月底至 10 月初,可观察到干旱胁迫对小蓬竹繁殖生长的影响。以 Hsiao 在 1973 年提出的中生植物水分梯度的划分为基本依据,设置 4 个土壤水分梯度,即其土壤含水量分别为田间持水量的 80%(CK)、60%(轻度干旱胁迫)、40%(中度干旱胁迫)、20%(重度干旱胁迫),每个处理 3 个重复,每个重复 3 盆<sup>[10]</sup>。

2011 年 7 月 25 日开始控水处理,采用盆栽称重控水法<sup>[11]</sup>。试验于贵州大学林学院苗圃大棚内进行,避免降水对试验的影响,每天 17:00—18:00 称重并调节水分状况(电子称,感量 5 g),至 8 月 5 日各个处理均达到设定的水分条件,

收稿日期:2014-01-14

基金项目:贵州省国际科技合作计划[编号:黔科合外 G 字(2013)7010 号]。

作者简介:李 鹏(1987—),男,安徽宿州人,硕士研究生,从事野生植物资源保护与利用研究。E-mail:lp761410952@163.com。

通信作者:刘济明,教授,硕士研究生导师,从事植物生态学研究。E-mail:karst0623@163.com。

至 10 月 18 日胁迫处理结束,其间不施肥并随时拔除杂草。

1.3 测定项目及方法

叶片相对数量为原有个体胁迫结束时叶片数量与胁迫开始时叶片数量的比值,用百分比表示;出笋率为胁迫结束时出土的竹笋总数量与母竹数量的比值,用百分比表示;竹笋成活率为胁迫结束时还成活的竹笋数量与总出笋数量之比,用百分比表示;幼竹地径指成活幼竹土面处直径,以游标卡尺测定。取新鲜叶片称其鲜质量,在蒸馏水中浸泡 24 h 后称其饱和和鲜质量,最后在 110 ℃ 下烘并称其干质量,计算公式为:叶片相对含水量 = (鲜质量 - 干质量) / (饱和质量 - 干质量) × 100%;水分饱和亏 = 100% - 相对含水量。采用压力室法测定小枝水势,测定时间为 17:00,测定仪器使用美国 PMS Instrument Company 生产的 Model 1000 Pressure Chamber Instrument。根系活力采用 TTC 法进行测定,上述生理指标均参照文献[12]进行测定。叶片保水力用叶片失水速率反映,失水速率越快,表明保水力越差,参照文献[13]的方法测定。

1.4 数据统计与分析

所有获得数据的统计与分析均用 SPSS 17.0 完成,差异显著性检验采用新复极差法;图表处理采用 Excel 2003 软件。

表 1 干旱胁迫下小蓬竹叶片相对数量与生长繁殖情况

处理	叶片相对数量(%)	出笋率(%)	成竹率(%)	幼竹地径(mm)
CK	120.88 ± 2.56aA	366.67 ± 33.33aA	100.00 ± 0.00aA	6.23 ± 0.13aA
轻度干旱胁迫	118.16 ± 3.00aA	333.33 ± 33.33aA	100.00 ± 0.00aA	5.93 ± 0.30aA
中度干旱胁迫	84.14 ± 2.03bB	200.00 ± 57.74abAB	72.22 ± 14.70aA	4.80 ± 0.15aAB
重度干旱胁迫	69.54 ± 2.50cC	100.00 ± 57.74bB	16.67 ± 16.67bB	1.40 ± 1.40bB

注:n=3。同列数据后不同小写、大写字母表示差异显著(P<0.05)、极显著(P<0.01)。下同。

干旱胁迫约 15 d 时,各处理陆续有竹笋出土,各处理竹笋出土时间差异不大,胁迫结束时调查了小蓬竹出笋成竹及幼竹生长情况,结果见表 1。从表 1 可见,与 CK 相比,轻度干旱胁迫下的小蓬竹出笋率、成竹率并没有受到显著影响,重度干旱胁迫下的出笋率极显著低于 CK、轻度干旱胁迫,但与中度干旱胁迫差异不显著;中度干旱胁迫的成竹率没有显著降低,但重度干旱胁迫下的小蓬竹成竹率极显著低于 CK、轻度干旱胁迫和中度干旱胁迫,说明重度干旱胁迫下的水分亏缺对小蓬竹出笋、成竹极为不利,出笋幼竹死亡率较高。至于干旱胁迫结束时,仍成活的幼竹地径情况与出笋、成竹情况类似。

2.2 组织水分状况

细胞水分含量常用相对含水量表示,植物细胞遭受干旱胁迫时,其相对含水量变化范围为 50% ~ 100% 或更低<sup>[17]</sup>。小蓬竹叶片相对含水量以 CK 最大,随着干旱胁迫的加重逐渐降低,但轻度、中度干旱胁迫与 CK 差异不显著,仅重度干旱胁迫极显著低于轻度干旱胁迫、CK,比 CK 低 23.16%,说明干旱胁迫对小蓬竹叶片相对含水量的影响显著(表 2)。

植物水分饱和亏有 2 种意义:一是植物水分亏缺的能力,

2 结果与分析

整个干旱胁迫期间,所有处理的小蓬竹均无死亡。干旱胁迫约 1 个月后,中度与重度干旱胁迫下小蓬竹开始明显萎蔫。相对于 CK 而言,轻度干旱胁迫下的叶片仅在正午时段稍微向内卷曲,中度与重度干旱胁迫下的小蓬竹叶片在晴天的白天(除上午早些时候)完全展开外,其他时候都处于稍微卷曲(中度胁迫)或较为严重卷曲(重度胁迫)的状态。

2.1 叶片相对数量与生长繁殖情况

由表 1 可知,干旱胁迫结束时,轻度干旱胁迫与 CK 的叶片相对数量比刚开始胁迫时有所增加,但二者差异不显著;中度、重度干旱胁迫的叶片相对数量有所减少,分别为胁迫前的 84.14%、69.54%,二者均极显著小于 CK 与轻度干旱胁迫,且重度干旱胁迫极显著小于中度干旱胁迫。扩展生长是环境和植物内部代谢活动相互作用的结果,在各种与植物生长有关的环境因素中,水的有效性占主导地位<sup>[14-15]</sup>,干旱胁迫使叶片扩展受到抑制,从而影响总叶面积。有研究表明,作物叶面积决定冠层对光的截获能力,从而影响光合作用、蒸腾作用及其最终产量<sup>[16]</sup>。

二是植物从干旱缺水的土壤中吸收水分的能力。一般认为,植物抗旱性强,水分饱和亏就大,且其值受环境影响较小<sup>[18]</sup>、较稳定。随着土壤水分含量的降低,小蓬竹叶片水分饱和亏不断升高;轻度干旱胁迫的水分饱和亏与 CK 差异不显著,但中度、重度干旱胁迫与 CK、轻度干旱胁迫相比差异显著或极显著(表 2)。说明在中度干旱胁迫与重度干旱胁迫下,小蓬竹叶片出现了严重的水分亏缺,同时也表明小蓬竹能耐高达 30% 的水分饱和亏。

通常植物组织的水势愈低,则吸水能力愈强,反之吸水能力则较弱,这种变化规律可用以确定植物的受旱程度和抗旱能力<sup>[19]</sup>。小蓬竹小叶的叶柄特殊,不便于用压力室法测定小叶水势,因此笔者在正午时测定了小枝水势,以代表组织水分状况。由表 2 可看出,CK 的小蓬竹小枝水势最高,为 -0.96 MPa;小蓬竹小枝水势随干旱胁迫程度的加重而逐渐降低,CK 与轻度干旱胁迫差异不显著,与中度、重度干旱胁迫差异显著或极显著。李娟等对黄条金刚竹的研究也发现,随着干旱胁迫的持续,其叶片水势不断降低<sup>[20]</sup>。

离体叶片失水时间和失水速率能够综合反映植物叶片保

表 2 干旱胁迫下小蓬竹组织水分状况

处理	叶片相对含水量(%)	水分饱和亏(%)	小枝水势(MPa)	失水时间(h)	失水速率[g/(h·g)]
CK	90.67 ± 4.18aA	9.33 ± 0.42aA	-0.96 ± 0.19aA	14.67 ± 0.33aA	0.048 7 ± 0.002 8aA
轻度干旱胁迫	89.67 ± 4.33aA	10.33 ± 0.33aA	-1.12 ± 0.25aA	13.67 ± 0.33aA	0.049 1 ± 0.008 1aA
中度干旱胁迫	80.00 ± 1.53abAB	20.00 ± 1.53bAB	-1.87 ± 0.20bAB	9.00 ± 0.00bB	0.067 2 ± 0.006 1abA
重度干旱胁迫	69.67 ± 1.86bB	30.33 ± 1.86cB	-2.26 ± 0.18bB	7.67 ± 0.88bB	0.079 1 ± 0.006 4bA

水力。由表 2 可以看出,CK 的小蓬竹离体叶片失水时间最长,为 14.67 h;小蓬竹离体叶片失水时间随胁迫程度的加重逐渐缩短,但仅中度、重度干旱胁迫的失水时间极显著缩短;失水速率也有类似规律,与谢乾瑾对蒙古莠(*Caryopteris mongholica*)抗旱生理的研究结果<sup>[13]</sup>一致。

### 2.3 根系活力

根系是植物直接感受土壤养分、水分信号并吸收土壤养分与水分器官<sup>[21]</sup>。干旱胁迫下,各处理的小蓬竹根系活力从大到小依次为轻度干旱胁迫>重度干旱胁迫>中度干旱胁迫>CK(图 1),由此可知干旱胁迫下小蓬竹根系活力并没有减弱,其中轻度干旱胁迫下的根系活力为 30.39 mg/(g·h),极显著强于 CK,且达到了 CK 的 2.42 倍。在不同程度干旱胁迫下的根系活力均比 CK 高,说明干旱胁迫能提高小蓬竹根系吸收水分以及矿物质的能力,有助于度过干旱环境。

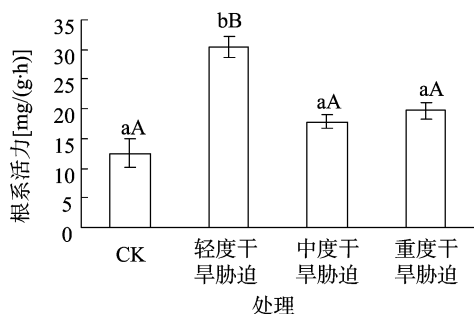


图 1 干旱胁迫下小蓬竹根系活力的变化

### 3 小结

在某种程度上,小蓬竹叶片相对数量与叶面积具有相同的意义。相对于 CK 而言,轻度干旱胁迫对小蓬竹叶面积影响轻微(表 1),说明小蓬竹在轻度干旱胁迫下能够正常扩展生长;当干旱胁迫强度进一步增大时,植株用于叶片扩展的资源投入量大幅减少,小蓬竹细胞增大受阻,叶片相对数量相对于胁迫前不断减少,同时部分叶片提前衰老与枯落,因此叶面积不断减小,小蓬竹通过这种方式能有效减少水分的蒸腾散失以应对水分亏缺。植物通过保持一个较小的总叶面积来使单位叶面积的光合作用维持在一定水平,这是植物适应土壤水分减少的一种重要方式<sup>[22]</sup>。

临时性的轻度干旱胁迫及中度干旱胁迫对小蓬竹的繁殖影响较小,而重度干旱胁迫不但极显著地降低了小蓬竹克隆繁殖个体的数量与成活率(表 1),还极显著降低了克隆繁殖个体的质量。成活幼竹地径不断减小,几乎无法完成更新繁殖,这可能是因为光合产物积累对繁殖消耗支撑不够<sup>[23]</sup>,也可能是因为小蓬竹的生物量在干旱胁迫下进行了分配调整。

随着胁迫强度的增加,叶片相对含水量与小枝水势不断降低,叶片水分饱和和亏不断增大,离体叶片失水时间变短,而叶片的失水速率不断提高(表 2)。小蓬竹植株水势下降,使其保持与下降的土壤水势间的差距,有助于根部从土壤中吸收水分<sup>[24]</sup>,以调节相关的生理生化过程,保证各种生命活动的进行。这说明轻度胁迫下的小蓬竹叶片能够维持原有的持水力,但干旱胁迫的进一步加重打破了小蓬竹叶片水分平衡,使其持水力显著降低。

根系活力是反映根系生命活动的重要生理指标,其高低

会影响根系吸收水分和矿质离子的能力<sup>[25]</sup>,根系活力的下降不仅会影响植物对水分和矿质元素的吸收,而且对根系的合成代谢和地上部分的同化作用都会产生不利的影响,因此水分胁迫下维持较高的根系活力是植物抗旱能力强的一种表现<sup>[26]</sup>。轻度干旱胁迫下的小蓬竹根系活力极显著增强,而中度、重度干旱条件下的小蓬竹能够维持较高的根系活力,这提升了小蓬竹在干旱胁迫下吸收水分的能力,有助于小蓬竹度过干旱条件。

仅从本研究的条件与深度可以看出,在 70 d 的轻度干旱胁迫下,小蓬竹并未表现出不适应的状况,这可能与其在喀斯特地区经过长期的适应与锻炼而形成的对临时性干旱的抗性有关。对不少其他植物的类似研究也显示,适度干旱胁迫能增强植物对干旱的适应性<sup>[27]</sup>。中度干旱胁迫下的小蓬竹完全可以忍耐 70 d 时间尺度的胁迫,但不利于现有个体的生长,同时也限制了通过克隆进行的繁殖更新,长时间持续的中度干旱必然导致现有种群的消亡。当胁迫强度进一步加重,水势小于一定限度(阈值)时,细胞终究会失去调控能力而死亡。小蓬竹适应干旱的机理主要是通过降低植株整体叶量及提高叶片的保水力,以此降低植株蒸腾耗散;维持比 CK 更高的根系活力,加强根系对水分及矿质营养的吸收能力,实现其对干旱胁迫较强的忍耐性和较好的适应性。此外,笔者推测 8、9 月期间,70 d(或略长)为小蓬竹在重度干旱环境下的极限忍耐时长,如果在日均温更高的夏季,小蓬竹在重度干旱胁迫下的忍耐时间会更短。

### 参考文献:

- [1] Bouwman A F, van Vuuren D P, Derwent R G, et al. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2002, 141 (1/2/3/4): 349–382.
- [2] 徐兴友, 张凤娟, 龙 茹, 等. 6 种野生耐旱花卉幼苗叶片脱水和根系含水量与根系活力对干旱胁迫的反应 [J]. 水土保持学报, 2007, 21 (1): 180–184.
- [3] 尹宝重, 王 艳, 张月辰. 干旱胁迫对红小豆苗期生理生化特性的影响 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39 (7): 65–67, 70.
- [4] 张美俊, 杨武德, 乔治军, 等. 不同糜子品种萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价 [J]. 草地学报, 2013, 21 (2): 302–307.
- [5] 刘济明. 贵州喀斯特地区小蓬竹生态特性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [6] 朱守谦, 韦小丽, 祝小科, 等. 乌江流域喀斯特石质山地水分特征研究 [C]//朱守谦. 喀斯特森林生态研究 III. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 30–37.
- [7] 蒙朝阳. 喀斯特植物小蓬竹群落生态学与繁殖栽培技术研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [8] 刘济明, 颜 强, 廖小锋, 等. 干旱胁迫对小蓬竹光合生理的影响 [J]. 贵州农业科学, 2013, 41 (8): 65–69.
- [9] 刘济明, 李 鹏, 廖小锋, 等. 干旱胁迫对小蓬竹生理生化特性的影响 [J]. 西北农业学报, 2013, 22 (9): 153–157.
- [10] Hsiao T C. Plant responses to water stress [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1973, 24: 519–570.
- [11] 国 琳, 张劲松, 孟 平, 等. 山茱萸光合及水分利用特征对土壤水分胁迫的响应 [J]. 河北农业大学学报, 2010, 33 (1): 21–26.
- [12] 邹 琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 62–63.

陈雪梅, 欧 静, 陈 训, 等. 雷山杜鹃种子特性及萌发试验研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 184–186.

# 雷山杜鹃种子特性及萌发试验研究

陈雪梅<sup>1</sup>, 欧 静<sup>1</sup>, 陈 训<sup>2</sup>, 张玉武<sup>3</sup>, 韦小丽<sup>1</sup>

(1. 贵州大学林学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州科学院, 贵州贵阳 550001; 3. 贵州省生物研究所, 贵州贵阳 550009)

**摘要:**为了探明雷山杜鹃种子的萌发特性, 对采自梵净山国家级自然保护区的雷山杜鹃的种子形态、千粒质量、吸水率及种皮抑制物质进行观察与测定, 统计了种子在不同贮藏时间、不同浸种方法及不同培养温度处理下的发芽率和发芽势, 并对所得数据作方差分析与 *LSD* 检验。结果表明, 雷山杜鹃种子呈长椭圆形, 种皮呈红褐色, 表面有细条纹, 两端有翅, 长  $(2.50 \pm 0.19)$  mm、宽  $(1.02 \pm 0.08)$  mm、厚  $(0.30 \pm 0.03)$  mm, 千粒质量为  $(0.284 \pm 0.010)$  g; 种皮透水性较好, 刺破种皮种子浸提液对白菜种子发芽有显著的抑制作用, 完整种皮种子表现不明显; 在常温下, 随着贮藏时间延长, 种子发芽率和发芽势逐渐下降; 用 400 mg/L  $GA_3$  浸种 24 h, 种子发芽率和发芽势分别提高了 19.21、67 百分点; 在 15~25 °C 条件下, 种子发芽势和发芽率随着培养温度的升高逐渐降低。

**关键词:** 雷山杜鹃; 种子特性; 贮藏时间; 浸种; 温度; 萌发试验

**中图分类号:** S685.210.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0184-03

雷山杜鹃 (*Rhododendron leishanicum* Fang et S. S. Cheng) 是杜鹃花属常绿灌木, 主要生于海拔 1 850~2 300 m 的山坡灌木丛中或草地上, 分布于贵州省的雷公山和梵净山, 高

收稿日期: 2014-04-08

基金项目: 贵州省农业科技攻关项目 (编号: 黔科合 NY 字 [2011] 3076 号); 贵州省社会发展科技攻关项目 (编号: 黔科合 NY 字 [2013] 3152 号)。

作者简介: 陈雪梅 (1987—), 女, 贵州大方人, 硕士研究生, 主要从事种苗繁育新技术研究。E-mail: 372395829@qq.com。

通信作者: 欧 静, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事园林植物资源利用与种苗培育的研究。E-mail: coloroj@126.com。

1.5~4 m, 冠形优美, 花鲜红至紫红, 花冠宽钟状, 极具观赏价值, 非常适合应用于园林绿化造景<sup>[1]</sup>。目前有关雷山杜鹃种子繁殖方面的报道极少, 仅见刘仁阳等研究的赤霉素浸种对雷山杜鹃种子萌发的影响, 得出赤霉素浓度为 400 mg/L 浸种 36 h 最适宜种子萌发<sup>[2]</sup>。本试验就梵净山国家自然保护区采集的雷山杜鹃种子进行了研究, 观察种子的形态, 测定种子的千粒质量、吸水率及种皮抑制物质, 研究了不同贮藏时间、不同浸种方法及不同培养温度对雷山杜鹃种子发芽率和发芽势的影响, 探讨雷山杜鹃种子的萌发特性, 探索提高雷山杜鹃种子发芽率的途径与方法, 旨在为雷山杜鹃的驯化引种、苗木生产等进一步研究奠定基础。

[13] 谢乾瑾. 蒙古莜抗旱生理生态特性的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

[14] 山 仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1–18.

[15] Kume T, Takizawa H, Yoshifuji N, et al. Impact of soil drought on sap flow and water status of evergreen trees in a tropical monsoon forest in northern Thailand [J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238(1/2/3): 220–230.

[16] Randall H C, Sinclair T R. Sensitivity of soybean leaf development to water deficits [J]. *Plant, Cell & Environment*, 1988, 11(9): 835–839.

[17] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2002, 25(2): 275–294.

[18] 黄颜梅, 张 健, 罗承德. 树木抗旱性研究 [J]. 四川农业大学学报, 1997, 15(1): 49–54.

[19] Mrema A F, Granhall U, Sennerby – Forsse L. Plant growth, leaf water potential nitrogenase activity and nodule anatomy in leucaena leucocephala as affected by water stress and nitrogen availability [J]. *Trees – Structure and Function*, 1997, 12(1): 42–48.

[20] 李 娟, 彭镇华, 高 健, 等. 干旱胁迫下黄条金刚竹的光合和叶绿素荧光特性 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1395–1402.

[21] 齐 健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应 [J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1264–1268.

[22] Gindaba J, Rozanov A, Negash L. Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 201(1): 119–129.

[23] Sardans J, Rodà F, Peñuelas J. Effects of water and a nutrient pulse supply on *rosmarinus officinalis* growth, nutrient content and flowering in the field [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 53(1): 1–11.

[24] Mayek – Pérez N Ó, García – Espinosa R, López – Castañeda C Á, et al. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2002, 60(4): 185–195.

[25] 谭 勇, 梁宗锁, 董娟娥, 等. 水分胁迫对不同产地板蓝根幼苗抗氧化酶活性和根系活力的影响 [J]. 华北农学报, 2006, 21(5): 20–23.

[26] 魏 媛, 喻理飞. 一年生构树幼苗对水分胁迫的生理响应 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 40–44.

[27] 蒲光兰, 胡学华, 周兰英. 水分胁迫下乌柏离体叶片的生理生化特性经济林研究 [J]. 经济林研究, 2004, 22(2): 20–23.