

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201609002

引文格式: 吕晓梅, 刘海燕, 黄丽华, 等. 山茶属五种稀有濒危植物种子的生物学特性研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(1):109-117.

LÜ XM, LIU HY, HUANG LH, et al. Biological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds in Guizhou Province [J]. Guihaia, 2017, 37(1):109-117.

山茶属五种稀有濒危植物种子的生物学特性研究

吕晓梅¹, 刘海燕², 黄丽华³, 杨乃坤⁴, 邹天才^{3*}

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省植物园, 贵阳 550004; 3. 贵州科学院, 贵阳 550001;
4. 贵阳中雄林业生态工程勘察设计有限公司, 贵阳 550004)

摘要: 长柱红山茶、美丽红山茶、贵州红山茶、皱叶瘤果茶和小黄花茶是颇具经济价值的稀有濒危植物, 局部分布于贵州高原亚地区(ⅢD10 d)常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林中。针对其物种濒危以及种子繁殖困难等问题, 该研究对其种子生物学特性进行了分析。结果表明: (1) 长柱红山茶千粒重最大(3 289.70 g)、发芽率最高(81.67%), 贵州红山茶千粒重最小(786.33 g)、发芽率最低(46.00%); (2) 小黄花茶含水率最高(48.85%), 长柱红山茶含水率最低(39.52%); (3) 长柱红山茶生活力最大(98.33%), 皱叶瘤果茶生活力最小(63.33%); (4) 5种供试山茶种子的千粒重与生活力、发芽率、发芽势、发芽指数呈极显著正相关($R \geq 0.772$, $P < 0.01$), 种子生活力与发芽率和发芽势呈极显著正相关($R \geq 0.738$, $P < 0.01$)、与发芽指数呈显著正相关($R = 0.532$, $P < 0.05$)。以上结果说明, 种皮较坚硬而不易吸水萌发, 种子遭遇动物摄食和病虫侵蚀损耗而不利于种群繁衍是其物种濒危的重要原因。该研究结果为其植物资源的保护和利用提供了参考。

关键词: 山茶属, 稀有濒危植物, 种子, 生物学特性, 贵州高原亚地区(ⅢD10d)

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)01-0109-09

Biological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds in Guizhou Province

LÜ Xiao-Mei¹, LIU Hai-Yan², HUANG Li-Hua³, YANG Nai-Kun⁴, ZOU Tian-Cai^{3*}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China; 3. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China; 4. Guiyang Zhongxiong Forestry Ecological Engineering Investigation & Design Limited Company, Guiyang, 550004, China)

Abstract: *Camellia longistyla*, *C. delicata*, *C. kweichouensis*, *C. rhytidophylla*, *C. luteoflora* are rare and endangered species with important economic value. They are locally distributed in evergreen broad-leaved forest and evergreen and deciduous broad leaved mixed forest in Guizhou Plateau (ⅢD10 d). In order to explore the seed reproduction and endangered reason of these species, the biological characteristics were studied in this paper. The results were as follows: (1) About thousand-grain weight and germination rate, the maximum was *C. longistyla* 3 289.70 g and 81.67%, the minimum was *C. kweichouensis* 786.33 g and 46.00%. (2) The maximum water content was *C. luteoflora* 48.85%, the minimum one was *C. longistyla* 39.52%. (3) The maximum viability was *C. longistyla* 98.33%, the minimum one was *C. rhytidophylla* 63.33%. (4) The results indicated that thousand grain weight was significantly positively correlated with viability, germina-

收稿日期: 2016-09-01 修回日期: 2016-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(31360075, 31560097); 贵州省科学技术基金(黔科合基础[2016]1058号) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(31360075 & 31560097); Science & Technology Foundation of Guizhou Province (2016-1058)].

作者简介: 吕晓梅(1992-), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为植物资源学, (Email) 1305078584@qq.com.

*通信作者: 邹天才, 研究员, 硕士研究生导师, 研究方向为植物资源学, (Email) 121111951@qq.com.

tion rate, germination energy and germination index ($R \geq 0.772$, $P < 0.01$). The viability and germination rate were positively correlated with germination energy significantly ($R \geq 0.738$, $P < 0.01$) and positively correlated with germination index ($R = 0.532$, $P < 0.05$). The seed coat was hard and not easy to absorb water, and it was not easy for the population reproduction because of the loss of feeding and disease and insect erosion, which was an important reason for the endangered species. The experimental results provides the reference for the protection and utilization of these plant resources.

Key words: *Camellia*, rare and endangered plant, seed, biological characteristics, Guizhou Plateau (ⅢD10 d)

山茶属 (*Camellia* Linn.) 植物 220 余种, 分布东南亚的亚热带地区, 为常绿小乔木或灌木, 花冠基部连生, 花瓣 5~12 片, 蒴果, 种子球形或多边形, 果皮角质, 胚乳丰富多油质, 是重要的园林和油料植物种质资源; 我国产 210 多种, 主产我国西南部及华南各省区 (中国科学院中国植物志编委会, 1982)。贵州有山茶属植物 13 组 49 种 4 变种, 组和种 (含变种) 分布比例分别占世界分布的 65.00% 和 18.92%、占中国分布的 72.22% 和 22.23%; 有 20 个特有种和小黄花茶 1 个特有组, 特有种比例占 37.74% (Liu et al, 2016)。贵州野生山茶中有相当数量的稀有濒危种类, 且蕴藏着多种经济用途及丰富资源价值 (邹天才, 1999, 2000; 胡光平等, 2014)。

显花植物完成受精发育而结实种子, 并在适宜条件下萌发成新的植株, 植物种子是其生物学特性赖以依存的基础, 在植物繁育栽培、遗传育种、生物多样性保护与利用中具有不可或缺的功能作用 (郑光华, 2004)。自 20 世纪 80 年代以来, 作为植物种质资源库主体的种子保育倍受重视和得到加强, 种子生命问题的探索一直活跃, 顽拗型种子 (recalcitrant seed) 生物学的研究已成为国内外种子科学研究的热点。顽拗型种子不耐失水, 干燥脱水易损伤, 对温度敏感而易遭冷害或冻害, 寿命短, 不耐贮藏, 多数无休眠, 且萌发迅速, 种子脱落后遇到适宜的环境即可直接萌发 (杨期和等, 2006), 但山茶植物种子等种皮坚硬的顽拗型种子则有休眠特性, 且要求生境湿润 (李磊等, 2016)。近年来, 相关文献已报道了贵州山茶属植物的生态学特征 (王君等, 2010; 杨乃坤等, 2015; 刘海燕等, 2016)、资源保护及其可持续利用等 (谢宇, 2010; 刘海燕等, 2010; 王爱杰等, 2011; 张婷等, 2010), 而对其稀有濒危山茶植物种子生物学特性的研究尚缺。

本研究选择在贵州高原亚地区 (ⅢD10d) (吴征镒等, 2010) 常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林中局部分布的长柱红山茶 (*Camellia longistyla*) (周红和陈晓春, 1983; 蓝开敏, 1988)、美丽红山茶 (*C. del-*

icata) (蓝开敏, 1988; 穆君和李崇清, 2015)、贵州红山茶 (*C. kweichouensis*)、皱叶瘤果茶 (*C. rhytidophylla*) 和小黄花茶 (*C. luteoflora*) (蓝开敏, 1988; 中国植物物种信息数据库, 2016) 等稀有濒危植物, 针对其地理分布狭窄和种群繁殖困难的科学问题, 开展了种子形态特征、千粒重、含水率、吸水性、生活力、发芽率等生物学特性的试验研究, 以期为其生物多样性的有效保护与合理利用提供科学参考。

1 材料与方 法

1.1 材料、时间和地点

山茶属 5 种植物种子均采自其原产地, 采集时间为 2015 年 10~11 月期间 (表 1)。种子采回后在室内通风干燥处自然晾干, 均使用湿砂层积对其进行短期保存, 于当年 11 月份进行播种试验。

发芽试验在 2015 年 11 月 20 日至 2016 年 3 月 15 日进行。地点选在贵阳市花溪区贵州大学林学院苗圃 (26°25'26"N, 106°40'10"E), 海拔 1 020 m, 年均气温 15.3 °C, 年均相对湿度 77%, 年均降雨量 1 129.5 mm, 年均阴天日数 235.1 d, 年均日照时数 1 148.3 h, 年均降雪日 11.3 d。选用肥力中等的壤土, pH5.7。

1.2 方法与数据处理

1.2.1 种子质量和形态特征测定 种子质量检测参照 GB2772-1999 《林木种子检验规程》(国家质量技术监督局, 2002), 从测定样品中随机数取 8 个重复, 每个重复 100 粒, 各重复分别称量 (g), 计算其平均值。形态特征测定采用随机数取 100 粒饱满种子, 通过目测法观察种子形状结构和颜色, 利用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量种子的长度、宽度和厚度, 并计算其平均值。

1.2.2 种子含水率和吸水性测定 种子含水率参照 GB2772-1999 《林木种子检验规程》(国家质量技术监督局, 2002) 和 《种子学实验指南》(刘子凡, 2010),

表 1 山茶属 5 种稀有濒危植物种子的产地概况及采种时间

Table 1 Original area overview and collection time of five rare and endangered *Camellia* seeds

| 产地概况 Original area overview | 植物种类 Species | | | | |
|--|--|---|--|--|---|
| | 长柱红山茶 <i>Camellia longistyla</i> | 美丽红山茶 <i>C. delicata</i> | 贵州红山茶 <i>C. kweichouensis</i> | 皱叶瘤果茶 <i>C. rhytidophylla</i> | 小黄花茶 <i>C. luteoflora</i> |
| 产地 Original area | 雷公山大塘 Datang of Leigongshan | 赤水金沙沟 Jingshagou of Chishui | 清镇九龙山 Jiulongshan of Qinzhen | 开阳花梨 Huali of Kaiyang | 赤水金沙沟 Jingshagou of Chishui |
| 海拔 Altitude (m) | 1 100~1 400 | 1 000~1 200 | 1 200~1 600 | 900~1 100 | 500~850 |
| 年均气温 Annual average temperature (°C) | 14.1 | 15.0 | 13.2 | 15.6 | 17.8 |
| 年均相对湿度 Relevant humidity (%) | 82.0 | 83.0 | 83.0 | 85.0 | 88.0 |
| 土壤类型 Soil type | 山地黄壤 Mountain yellow soil | 山地黄壤 Mountain yellow soil | 黄壤、黄棕壤 Yellow soil, yellow brown soil | 粉质粘土、淤泥土 Silty clay, mud soil | 砂质紫色土 Sandy purple soil |
| 土壤 pH 值 Soil pH | 4.5~6.0 | 4.5~6.0 | 4.0~5.0 | 5.5~7.0 | 4.5~5.5 |
| 生境植被特征 Vegetation habitat | 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest | 低山丘陵河谷大径竹林 Low mountain, hilly valley and big diameter bamboo forest | 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest | 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest | 中亚热带常绿阔叶林 Mid subtropical zone evergreen broad-leaved forest |
| 种群大小 Population area (km ²) | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 资源现状 Resource status | 稀有(R) | 稀有(R) | 濒危(E) | 濒危(E) | 濒危(E) |
| 采种时间(年/月/日) Collection time (y/m/d) | 2015/10/11 | 2015/10/10 | 2015/11/05 | 2015/11/02 | 2015/10/09 |
| 种子完好率 Rate of the seed (%) | 82.0 | 59.6 | 42.0 | 48.4 | 70.5 |

含水率(%) = $S_1 + S_2 - (S_1 \times S_2) / 100$, 其中: S_1 、 S_2 分别为第 1 次和第 2 次失去的水分(g)。种子吸水性用称重法测定, 吸水质量 $\Delta W = W_1 - W$, 吸水率(%) = $\Delta W / W \times 100\%$ 。式中, W_1 为种子吸水后的质量, W 为种子吸水前的质量; 设置去种皮种子(A)和不去种皮种子(B)两种处理条件下的吸水过程, 检测其不同种子的含水率、饱和吸水率和生活力。

1.2.3 种子生活力和发芽率测定 种子活力采用 TTC(2,3,5-氯化三苯基四氮唑)染色法测定(张志良, 1990; ISTA, 1996)。每一个种随机选取 300 粒饱满种子, 随机均分为 3 组, 直播于贵州大学南校区林学院苗圃地大棚的苗床上, 覆盖 2 cm 的壤土, 浇透水, 试验期间每天观察记录其发芽情况。种子萌发终止后测算其发芽率, 发芽率(%) = (发芽的种子数/供试种子数) × 100%。发芽势(%) = (达到高峰期时发芽种子数/供试种子数) × 100%。发芽指数(I_c) = $\sum (g_i / d_i)$, g_i 指在时间 t 日内的发芽数, d_i 为相应的发芽天数。

1.2.4 数据处理 所有数据用 SPSS 21.0 软件分析(陈胜可, 2013), 图表处理采用 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 种子形态特征

种子的种脐、外种皮、内种皮和种胚皆发育完整, 种胚的胚芽、胚轴、胚根和子叶形态明显, 种皮平滑无毛且角质坚硬。检测结果(表 2)显示, 种子体积(长、宽、厚)的大小为长柱红山茶 > 美丽红山茶 > 小黄花茶 > 皱叶瘤果茶 > 贵州红山茶。

2.2 种子千粒重、含水率、生活力和吸水率分析

对山茶属五种稀有濒危植物种子千粒重、含水率、生活力与吸水率的检测分析结果得表 3 和图 1。表 3 和图 1 表明, (1) 不同山茶种子的千粒重存在显著差异($P < 0.05$), 其中长柱红山茶种子颗粒最大, 平均千粒重达到 3.290 kg, 差异系数 5.57%, 美丽红山茶、小黄花茶次之, 皱叶瘤果茶和贵州红山茶

表 2 山茶属 5 种稀有濒危植物种子形态特征
Table 2 Morphological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds

| 形态特征 Morphological characteristics | 植物种类 Species | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | 长柱红山茶 <i>Camellia longisityla</i> | 美丽红山茶 <i>C. delicata</i> | 贵州红山茶 <i>C. kweichouensis</i> | 皱叶瘤果茶 <i>C. rhytidophylla</i> | 小黄花茶 <i>C. luteoflora</i> |
| 长 Length (mm) | 21.84 ± 2.10 | 17.86 ± 2.61 | 15.75 ± 2.32 | 15.23 ± 1.68 | 15.82 ± 1.21 |
| 宽 Width (mm) | 21.57 ± 2.48 | 16.21 ± 2.51 | 14.23 ± 2.51 | 13.62 ± 2.14 | 14.39 ± 1.45 |
| 厚 Thickness (mm) | 15.40 ± 1.82 | 13.60 ± 1.62 | 11.84 ± 2.24 | 12.96 ± 1.54 | 13.74 ± 2.50 |
| 颜色 Color | 黑褐色 Dark brown | 茶褐色 Tan | 黄棕色 Yellow brown | 灰褐色 Taupe | 黄棕色 Yellow brown |
| 形状 Shape | 三角状倒卵形 Triangular | 扇球形 Fan spherical | 扇球形 Fan spherical | 三角状倒卵形 Triangular obovate | 球形或椭球形 Spherical or euipsoidal |

表 3 山茶属 5 种稀有濒危植物种子千粒重、含水量、生活力、吸水率及其差异性分析
Table 3 Thousand grain weight, water content, viability and water absorption of five rare and endangered *Camellia* seeds and their analysis on the differences

| 指标值 Indicator | 植物种类 Species | | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | 长柱红山茶 <i>Camellia longisityla</i> | 美丽红山茶 <i>C. delicata</i> | 贵州红山茶 <i>C. kweichouensis</i> | 皱叶瘤果茶 <i>C. rhytidophylla</i> | 小黄花茶 <i>C. luteoflora</i> |
| 千粒重 (g) Thousand grain weight | 3 289.70 ± 10.59e | 1 334.15 ± 16.67d | 786.33 ± 5.37a | 898.86 ± 23.94b | 1 161.21 ± 37.56c |
| 千粒重差异系数 CV of thousand grain weight (%) | 5.57 | 2.16 | 1.18 | 4.61 | 5.60 |
| 含水量 Water content (%) | 39.52 ± 0.36a | 40.25 ± 0.39ab | 43.15 ± 0.32c | 41.22 ± 0.68b | 48.85 ± 0.29d |
| 含水量差异系数 CV of water content (%) | 1.57 | 1.67 | 1.29 | 2.83 | 1.03 |
| 生活力 Viability (%) | 98.33 ± 1.67d | 83.33 ± 1.67c | 76.67 ± 1.67b | 63.33 ± 1.67a | 73.33 ± 1.67b |
| 生活力差异系数 CV of viability (%) | 2.94 | 3.46 | 3.77 | 4.56 | 3.94 |
| 不去皮种子吸水率 Water absorption of no peeling seed (%) | 8.28 ± 0.57b | 14.4 ± 0.5c | 5.03 ± 0.46a | 7.27 ± 0.58b | 12.98 ± 0.36c |
| 差异系数 CV (%) | 11.93 | 5.96 | 16.00 | 13.72 | 4.85 |
| 去皮种子吸水率 Water absorption of peeling seed (%) | 14.14 ± 0.57b | 24.58 ± 0.56d | 7.86 ± 0.68a | 9.43 ± 0.52a | 17.88 ± 0.54c |
| 差异系数 CV (%) | 7.02 | 3.96 | 15.03 | 9.49 | 5.26 |

注: 字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。种子含水量、生活力、吸水率均为 3 组重复的平均值。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below. The water content, viability, water absorption of seed are the average of three repetitions.

的种子颗粒较小, 平均千粒重仅有 0.899 kg 和 0.786 kg, 差异系数为 4.61%、1.18%。(2) 不同山茶种子的含水量存在显著差异 ($P < 0.05$), 除了贵州红山茶和小黄花茶的生活力差异不显著外, 其它三种山茶种子的生活力之间也存在显著差异 ($P < 0.05$); 小黄花茶种子的含水量较高 48.85% (CV: 1.03%), 而生

活力较低 73.33% (CV: 3.94%); 长柱红山茶种子的含水量最低 39.52% (CV: 1.57%), 而生活力则最高 98.33% (CV: 2.94%)。从图 1 可以看出, 种子千粒重的变化趋势与生活力一致, 而与含水量变化趋势不一致。(3) 不同山茶种子吸水率存在显著差异 ($P < 0.05$), 五种供试植物均表现为去种皮种子的吸

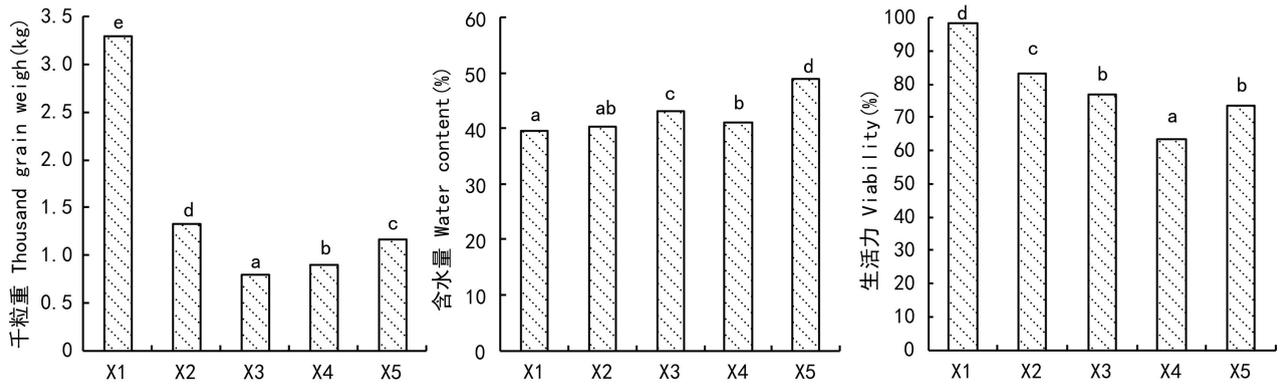


图 1 山茶属 5 种稀有濒危植物种子的千粒重、含水量、生活力比较 X1、X2、X3、X4、X5 分别表示长柱红山茶、美丽红山茶、贵州红山茶、皱叶瘤果茶、小黄花茶。下同。

Fig. 1 Comparison of thousand grain weight, water content, viability of five rare and endangered *Camellia* seeds X1, X2, X3, X4 and X5 in the figure indicates *Camellia longsiyula*, *C. delicate*, *C. kweichouensis*, *C. rhytidophylla*, *C. luteoflora* respectively. The same below.

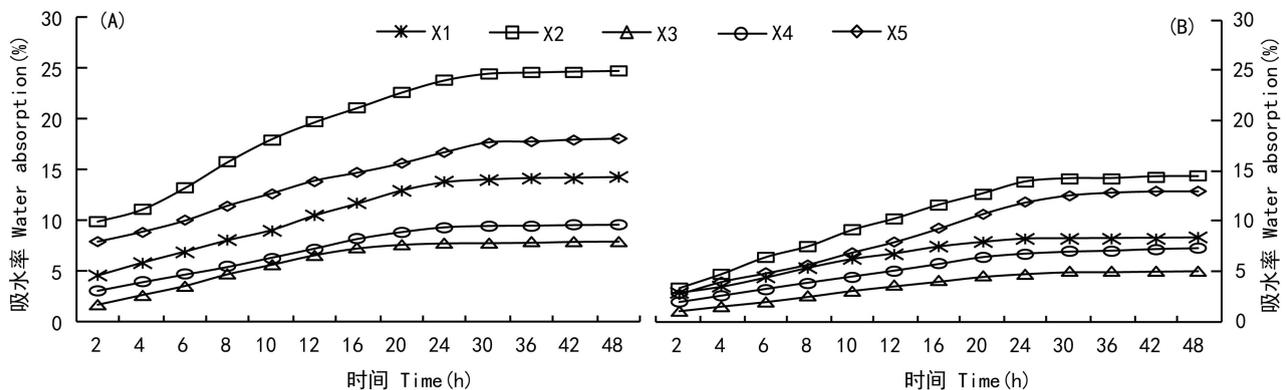


图 2 山茶属 5 种稀有濒危植物种子在去种皮 (A) 和不去种皮 (B) 处理下的吸水率差异

Fig. 2 Differences of water absorption between peeled (A) and normal seeds (B) of five rare and endangered *Camellia* seeds

水率大于不去种皮种子的吸水率,且五种植物种子去种皮和不去种皮的吸水率大小顺序一致,皆为美丽红山茶>小黄花茶>长柱红山茶>皱叶瘤果茶>贵州红山茶。去种皮和不去种皮处理的种子吸水率均在 30 h 后趋于饱和和稳定状态。去种皮条件下种子吸水过程中(图 2:A),美丽红山茶在 2 h 到 30 h 期间吸水量快速增加,30 h 时的吸水率为 24.31%,随后吸水速度变缓,饱和时吸水率为 24.58%;小黄花茶在 24 h 之前吸水速度较快,24 h 时吸水速率达到 16.57%,24 h 后吸水速度变慢,饱和时吸水速率达到 17.88%;长柱红山茶和皱叶瘤果茶在 24 h 之前吸水速度较快,24 h 时吸水速率分别达到 13.64%和 9.18%,24 h 之后吸水速度变慢,饱和时吸水速率达

到 14.14%和 9.43%;而贵州红山茶吸水率最低,在 2~16 h 之间吸水量有增加,16 h 时的吸水率达到 7.19%,16 h 之后其吸水缓慢,饱和时吸水率达到 7.86%。在不去种皮种子的吸水过程中(图 2:B),山茶属五种植物种子吸水到 30 h 时吸水率分别为美丽红山茶 14.40%>小黄花茶 12.98%>长柱红山茶 8.28%>皱叶瘤果茶 7.27%>贵州红山茶 5.03%,再过 18 h 进入饱和,其饱和吸水率分别为美丽红山茶 14.19%>小黄花茶 12.55%>长柱红山茶 8.21%>皱叶瘤果茶 6.92%>贵州红山茶 4.92%。

2.3 种子发芽率分析

将供试植物的种子播于试验苗圃大棚内的苗床上,常温下 69 d 后开始发芽,77 d 后幼苗开始出土,

表 4 山茶属 5 种稀有濒危植物种子的发芽率试验统计

Table 4 Germination rate test statistics of five rare and endangered *Camellia* seeds

| 指标值 Indicator | 植物种类 Species | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | 长柱红山茶 <i>Camellia longsiyla</i> | 美丽红山茶 <i>C. delicata</i> | 贵州红山茶 <i>C. kweichouensis</i> | 皱叶瘤果茶 <i>C. rhytidophylla</i> | 小黄花茶 <i>C. luteoflora</i> |
| 播种量 Sowing number | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| 发芽数 Germination number | 245 | 164 | 138 | 157 | 183 |
| 发芽率 Germination rate (%) | 81.67 ± 2.6d | 54.67 ± 1.20b | 46.00 ± 2.08a | 52.33 ± 2.19ab | 61.00 ± 1.53c |
| 发芽率差异系数 CV (%) | 5.52 | 3.81 | 7.84 | 7.23 | 4.34 |
| 发芽势 Germination energy (%) | 61.00 ± 1.12d | 41.00 ± 1.53b | 34.67 ± 1.20a | 39.67 ± 1.86b | 46.00 ± 1.15c |
| 发芽势差异系数 CV (%) | 3.28 | 6.45 | 6.00 | 8.10 | 4.35 |
| 发芽指数 Germination index | 6.04 ± 0.29c | 4.33 ± 0.40ab | 3.63 ± 0.11a | 4.74 ± 0.45b | 4.76 ± 0.20b |
| 发芽指数差异系数 CV (%) | 8.37 | 16.03 | 5.34 | 16.42 | 7.23 |

注: 播种量、发芽数为 3 组重复之和; 发芽率、发芽势、发芽指数为 3 组重复的平均值。

Note: Sowing number, germination number are the sum of three repetitions; water content, viability, water absorption of seed are the average of three repetitions.

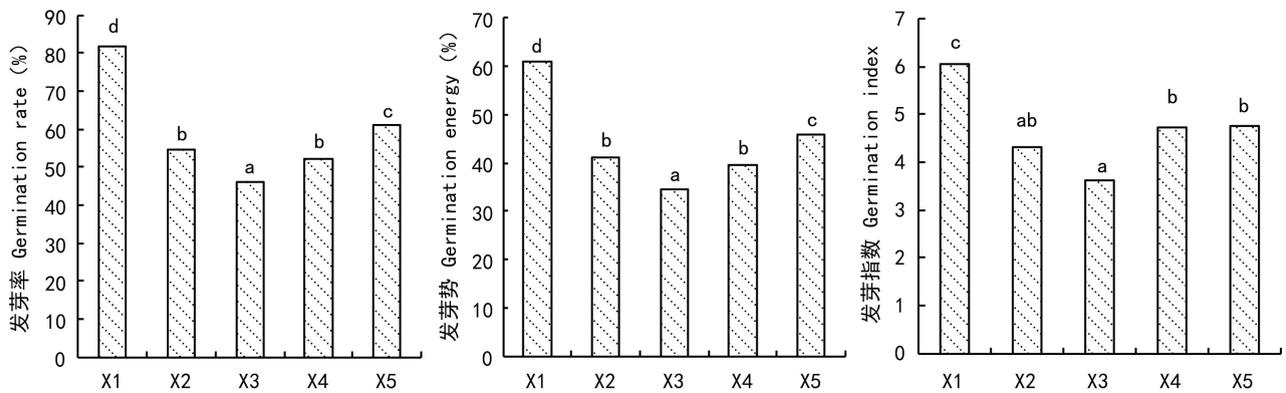


图 3 山茶属 5 种稀有濒危植物的种子发芽率、发芽势和发芽指数

Fig. 3 Comparison of seed germination rate, germination energy, germination index of five rare and endangered *Camellia* seeds

105 d 后(2016 年 3 月中旬)种子发芽全部结束,观测统计发芽率、发芽势和发芽指数的结果得表 4 和图 3。表 4 和图 3 显示:(1)供试五种山茶植物种子发芽率、发芽势、发芽指数的大小变化趋于一致;(2)五种不同山茶植物的种子发芽率和发芽势皆具有显著差异($P < 0.05$),长柱红山茶发芽率和发芽势最高、分别达到 81.67% 和 61.00%,依次为小黄花茶 61.00%、46.00%,美丽红山茶 54.67%、41.00%,皱叶

瘤果茶 52.33%、39.67%,贵州红山茶 61.00%、34.67%;(3)发芽指数的相关分析表明,美丽红山茶与贵州红山茶差异不显著,皱叶瘤果茶与小黄花茶差异不显著、与长柱红山茶差异显著($P < 0.05$),长柱红山茶发芽指数最高 6.04,其次是小黄花茶 4.76、皱叶瘤果茶 4.74,美丽红山茶 4.33、贵州红山茶 3.63。

2.4 种子生物学特性的相关分析

供试山茶五种稀有濒危植物种子生物学特性的

表 5 山茶属 5 种稀有濒危植物种子生物学特性的相关分析

Table 5 Correlation analysis on biological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds

| | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | Y5 | Y6 | Y7 | Y8 |
|----|----|--------|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Y1 | 1 | -0.430 | 0.862 * * | 0.026 | 0.158 | 0.936 * * | 0.933 * * | 0.772 * * |
| Y2 | | 1 | -0.404 | 0.262 | 0.037 | -0.190 | -0.185 | -0.190 |
| Y3 | | | 1 | 0.114 | 0.317 | 0.735 * * | 0.738 * * | 0.532 * |
| Y4 | | | | 1 | 0.947 * * | 0.141 | 0.148 | 0.090 |
| Y5 | | | | | 1 | 0.211 | 0.202 | 0.125 |
| Y6 | | | | | | 1 | 0.987 * * | 0.861 * * |
| Y7 | | | | | | | 1 | 0.868 * * |
| Y8 | | | | | | | | 1 |

注: * 为显著相关($P < 0.05$), ** 为极显著相关($P < 0.01$)。Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、Y6、Y7、Y8 分别对应的是山茶属 5 种植物种子的千粒重、含水量、生活力、不去皮种子吸水率、去皮种子吸水率、发芽率、发芽势和发芽指数。下同。

Note: * Shows significant correlation ($P < 0.05$), ** Show extremely significant correlation ($P < 0.01$). Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7 and Y8 indicate thousand grain weight, water content, viability, water absorption of no peeling seed, water absorption of peeling seed, germination rate, germination energy, germination index of five *Camellia* species seeds. The same below.

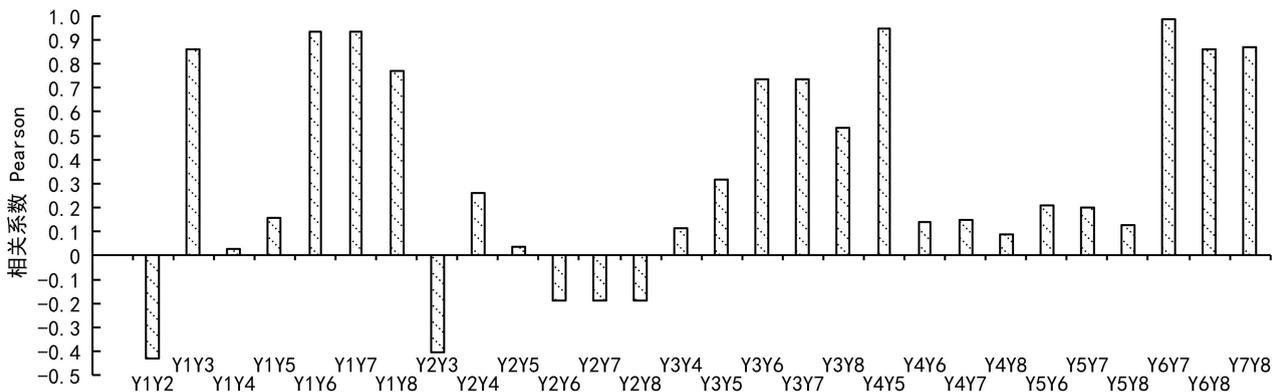


图 4 山茶属 5 种稀有濒危植物种子生物学特性相关性分析的图示

Fig. 4 Correlation analysis on biological characteristics of five rare and endangered *Camellia* seeds

相关性分析结果(表 5、图 4)表明:(1)种子的千粒重与生活力、发芽率、发芽势、发芽指数呈极显著正相关($R = 0.862, P < 0.01$; $R = 0.936, P < 0.01$; $R = 0.933, P < 0.01$; $R = 0.772, P < 0.01$); (2)种子生活力与发芽率、发芽势呈极显著正相关($R = 0.735, P < 0.01$; $R = 0.738, P < 0.01$); (3)种子生活力与发芽指数呈显著正相关($R = 0.532, P < 0.05$); (4)种子发芽率与发芽势、发芽指数呈极显著正相关($R = 0.987, P < 0.01$; $R = 0.861, P < 0.01$); (5)种子发芽势与发芽指数呈极显著正相关($R = 0.868, P < 0.01$)。

3 讨论与结论

3.1 供试山茶属种子大型顽拗,其千粒重与生活力、发芽率、发芽势、发芽指数呈极显著正相关

从种子的形态特征来看,山茶属五种稀有濒危植物的种子皆属于大粒种子,种子外观的颜色为褐色和深棕色较多,种子的千粒重与其形体大小密切相关,种子体积大,籽粒饱满,其种子相对较重,体积最大的长柱红山茶千粒重达到 3 289.70 g (CV:3.37),而含水

量为最小 39.52% (CV:1.57), 体积最小的贵州红山茶千粒重为 786.33 g (CV:1.18), 含水量为 43.15% (CV:1.29), 与顽拗型种子的千粒重多在 500 g 以上, 大粒种子采收后含水量较高, 大多在 30% 以上 (Hong & Elms, 1996) 的特点相一致。供试五种山茶植物的种子, 较其同一中亚热带常绿阔叶林木和常绿落叶阔叶混交林植被中的其他植物种类而言, 种子 (或果实) 偏大偏重, 含水量 $\geq 39.52\%$, 这说明山茶植物采用了繁育大型顽拗型种子的生殖策略, 种子依靠自身重力脱落在母株附近, 可以避免阳光直射而造成水分缺失从而保证其生活力。但是, 其遭遇动物摄食的机会增多, 造成自然生境中的种子损失、种源稀少、繁衍困难而使该物种趋于濒危。种子试验分析表明, 种子千粒重与生活力、发芽率、发芽势、发芽指数呈极显著正相关 ($R \geq 0.772, P < 0.01$)。一般地, 大质量种子比小质量种子含有更多的储藏营养物质, 种子的内含物质会直接影响到种子的生活力 (叶常丰, 1994)。长柱红山茶种子籽粒大、生活力高, 种子发芽率也高, 这与长柱红山茶种子内含物质较多, 使其生理发育所需的营养物质供给充足有关。相比较而言, 贵州红山茶、皱叶瘤果茶、小黄花茶的种子籽粒小、千粒重较轻, 种子内藏物质偏少, 不足以维持提供种子发育过程中所需的营养物质, 影响了种子的生活力和发芽率而难以形成植物种群繁衍应有的幼苗扩散格局, 导致植株稀少和物种濒危。种子内营养物质的积累与新陈代谢密切相关, 而水分是种子细胞内新陈代谢作用的介质, 五种供试山茶种子都是含水量在 39%~49% 之间的顽拗型种子, 不耐失水, 种子内部所含水分一部分参与生理过程, 一部分由于蒸发而造成水分缺失, 影响种子的正常代谢和发育而降低了种子生活力, 也是其物种濒危的原因之一。因此, 在物种保育和生产应用中保障其水分供应充足, 更有利于促进种子萌发和幼苗生长, 这在山茶属植物资源的有效保护和合理利用方面具有重要意义。

3.2 去种皮种子和不去种皮种子的饱和吸水率差异显著, 种皮坚硬障碍吸水萌发使其物种繁衍困难而濒危

试验表明, 去种皮种子的吸水率大于不去种皮种子的吸水率, 五种供试植物种子去种皮和不去种皮的吸水率大小皆为美丽红山茶 > 小黄花茶 > 长柱红山茶 > 皱叶瘤果茶 > 贵州红山茶。五种供试植物种子在去种皮和不去种皮两种处理条件下, 均为美丽红山茶的吸水率最大, 分别达到 24.58%、14.40%, 贵州红山茶的吸水率最小, 仅有 7.86%、5.03%。该五种山茶属植

物种子去种皮和不去种皮的吸水率大小顺序一致, 但吸胀过程、饱和点和饱和吸水速率却有较大差异, 而且, 五种供试山茶种子在去种皮和不去种皮两种处理条件下的饱和吸水率差异显著 ($P < 0.05$)。在种子吸水试验中, 去种皮种子的吸水率可以达到不去种皮种子吸水率的 1.3~1.8 倍, 表明山茶种子的种皮角质较坚硬, 对种子的吸水有较大的阻碍作用, 也说明了顽拗型种子对于水分极其敏感, 适合湿润生境生存的原因。角质坚硬的种皮会严重阻碍种子对环境中的水分的正常吸收, 导致自身水分含量不足以供给生理代谢的正常进行, 种皮坚硬也是山茶属植物濒危原因所在。为此, 提供种子在贮藏保存中的适当水分保障和优化种子破皮的处理方案在生产实践中有应用价值。

3.3 探明五种稀有濒危山茶植物种子的休眠机理及生理机制具有重要应用价值

种子的生活力表现是其物种生命力世代繁衍的主要过程, 种子萌发是实现植物种群更新及物种延续的关键 (王一峰等, 2009)。种子植物通过种子散布、萌发和幼苗定居可使植物远距离扩散 (张世挺等, 2003)。在自然选择压力下, 种子的萌发生理活性及其发芽率的高低对于其物种的繁殖及扩散至关重要。试验结果表明, 供试山茶种子要经过 69 d 开始发芽, 77 d 幼苗开始出土, 105 d 后种子发芽全部结束, 足以证明其种子具有明显的休眠特征, 这是顽拗型种子低温敏感性的重要表征, 冬季的低温会抑制种子内生理过程的酶促反应速度, 种子内自由水 0℃ 以下固化对细胞质膜造成伤害, 生理代谢失活, 种子活力将明显降低或丧失。在种子播种休眠过程中, 也可能会由于环境因素的影响而产生霉变、腐烂或者发生病虫害, 导致其不能萌发, 严重影响种子的发芽率和成苗率。因此, 深入研究其种子休眠与萌发的生理机制, 探索解决种子收集保存和储藏运输的优化处理方案来提高种子质量和生产效益, 具有重要的现实意义。

参考文献:

- CHEN SK, 2013. SPSS statistical analysis from entry to master [M]. Beijing: Tsinghua University Press. [陈胜可, 2013. SPSS 统计分析从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社.]
- HONG TD, ELMS RH, 1996. A protocol to determine seed storage behaviour [M] // ENGELS JM. IPGRI technical bulletin. No. 1. Rome: International Plant Genetic Resources Institute: 1-51.
- HU GP, WANG GP, HU G, et al, 2014. Study on the ornamental germplasm resource of *Camellia kweichowensis* Chang [J]. J Anhui Agric Sci, 42 (27): 9408-9411, 9424. [胡光平, 王桂

- 萍, 胡刚, 等, 2014. 贵州红山茶观赏种质资源研究 [J]. 安徽农业科学, 42(27): 9408-9411.]
- ISTA.1996. International rules for seed testing [J]. Seed Sci Technol, 24(Suppl.): 151-154, 335.
- LAN KM, 1988. Flora of Guizhou (Vol. 5) [M]. Chengdu: Sichuan Ethnic Publishing Company. [蓝开敏. 1988. 贵州植物志(第五卷) [M]. 成都: 四川民族出版社.]
- LI L, MENG ZG, LONG GQ, et al, 2016. Advances on recalcitrant seeds of plants [J]. J Trop Subtrop Bot, 24(1):106-118. [李磊, 孟珍贵, 龙光强, 等, 2016. 植物顽拗性种子研究进展 [J]. 热带亚热带植物学报, 24(1):106-118.]
- LIU HY, HUANG CM, ZOU TC, et al, 2010. Study on propagation by seed of five species endemic *Camellia* in Guizhou [J]. Seed, 29(11): 105-106. [刘海燕, 黄彩梅, 邹天才, 等, 2010. 5种贵州特有山茶的种子繁殖试验研究 [J]. 种子, 29(11): 105-106.]
- LIU HY, ZOU TC, 2016. Evaluation and utilize of rare and endangered *Camellia* L. plant resources in Guizhou [C]. Dali: The International Camellia Society: 241-250.
- LIU HY, YANG NK, LI YY, et al, 2016. Population structure and dynamic analysis of the rare and endangered plant *Camellia longistyla* [J]. Plant Sci J, 34(1): 89-98. [刘海燕, 杨乃坤, 李媛媛, 等, 2016. 稀有濒危植物长柱红山茶种群特征及数量动态研究 [J]. 植物科学学报, 34(1): 89-98.]
- LIU ZF, 2010. Seed science laboratory manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press: 23. [刘子凡, 2010. 种子学实验指南 [M]. 北京: 化学工业出版社: 23.]
- MU J, LI CQ, et al, 2015. The community research of Guizhou *Camellia delicata* [J]. Seed, 34(3):60-64. [穆君, 李崇清, 等, 2015. 贵州美丽红山茶 *Camellia delicata* 调查研究 [J]. 种子, 34(3):60-64.]
- STATE BUREAU OF QUALITY AND TECHNICAL SUPERVISION, 2002. GB2772-1999. The state bureau of quality and technical supervision [S]. Beijing: Standards Press of China: 60-62. [国家质量技术监督局, 2002. GB2772-1999. 林木种子检验规程 [S]. 北京: 中国标准出版社: 60-62.]
- SCIENTIFIC DATABASE OF CHINA PLANT SPECIES, 2016. (<http://www.plants.csd.cn/eflora/Default.aspx>) [中国植物物种信息数据库 (<http://www.plants.csd.cn/eflora/Default.aspx>), 2016]。
- THE EDITORIAL COMMITTEE OF *CHINA FLORA* OF CHINESE ACADEMY OF SCIENCES, 1982. Flora Reipublicae Popularis Sinicae [M]. Beijing: Science Publishing Company (49): 3. [中国科学院《中国植物志》编辑委员会, 1982. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社 (49): 3]
- WANG AJ, HUANG CM, LUI HY, et al, 2011. Talking about seeds breeding and seeding optimization cultivation of *Camellia sircercsis* [J]. Seed, 30(8): 105-107. [王爱杰, 黄彩梅, 刘海燕, 等, 2011. 茶树种子繁殖与幼苗优化培育的探讨 [J]. 种子, 30(8): 105-107.]
- WANG J, LIU HY, ZOU TC, et al, 2010. Population ecology of *Camellia luteoflora* in Guizhou. [J]. Guizhou Agric Sci, 38(11): 59-62. [王君, 刘海燕, 邹天才, 2010. 贵州特有植物小黄花茶的种群生态学研究 [J]. 贵州农业科学, 38(11): 59-62.]
- WANG J, ZHOU XL, LIU HY, et al, 2010. Evaluation on conservation and exploitation of plant resource of *Camellia* L. in Guizhou [J]. Guizhou Sci, 28(02): 83-88, 92. [王君, 周晓玲, 刘海燕, 等, 2010. 贵州山茶属植物资源保护与开发应用评价 [J]. 贵州科学, 28(02): 83-88, 92.]
- WU GL, DU GZ, 2008. Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant a review [J]. Chin J Appl Ecol, 19(1): 191-197. [武高林, 林国楨, 2008. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展 [J]. 应用生态学报, 19(1): 191-197.]
- WU ZY, SUN H, ZHOU ZK, et al, 2010. Floristics of seed plants from China [M]. Beijing: Science Press: 55-78. [吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等, 2010. 中国种子植物区系地理 [M]. 北京: 科学出版社: 55-78]
- XIE Y, 2010. Germplasm resources of sect. *Camellia* in the genus *Camellia* [J]. South Chin Agric (Gard Flow Ed), 4(2): 54-56. [谢宇, 2010. 山茶属红山茶组植物种质资源 [J]. 南方农业(园林花卉版), 4(2): 54-56.]
- YANG QH, YI XJ, YE WH, et al, 2006. Biological characteristics of recalcitrant-type seeds and evolution of seed recalcitrance [J]. Chin J Ecol, 25(01): 79-86. [杨期和, 尹小娟, 叶万辉, 等, 2006. 顽拗型种子的生物学特性及种子顽拗性的进化 [J]. 生态学杂志, 25(01): 79-86.]
- YANG NK, ZOU TC, LIU HY, et al, 2015. Age structure and spatial distribution pattern of endemic plant *Camellia jnairei* var. *lapidea* population in Guizhou Province, China. [J]. J Trop Subtrop Bot, 23(02): 205-210. [杨乃坤, 邹天才, 刘海燕, 等, 2015. 贵州特有植物长柱红山茶种群年龄结构及空间分布格局研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 23(02): 205-210.]
- YE CF, 1994. Seed science [M]. Beijing: Agricultural Press of China: 14-59. [叶常丰, 1994. 种子学 [M]. 北京: 中国农业出版社: 14-59.]
- ZHANG T, LIU HY, ZOU TC, et al, 2010. Main chemical components in leaves of 8 wild *Camellia* species in Guizhou [J]. Guizhou Agric Sci, 38(11): 78-80. [张婷, 刘海燕, 邹天才, 等, 2010. 贵州 8 种野生山茶叶片主要化学成分的含量 [J]. 贵州农业科学, 38(11): 78-80.]
- ZHANG ZL, 1990. The experimental guide for plant physiology [M]. Beijing: Higher Education Press. [张志良, 1990. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社.]
- ZHENG GH, 2004. Researches on seed physiology [M]. Beijing: Science Press: 15. [郑光华, 2004. 种子生理研究 [M]. 北京: 科学出版社: 15.]
- ZHOU H, CHEN XC, 1983. *Camellia longistyla*-another *Camellia* species in our province [J]. Guizhou For Sci Technol, 3: 35-36. [周红, 陈晓春, 1983. 长柱红山茶 *Camellia longistyla*—我省又一山茶新种 [J]. 贵州林业科技, 3: 35-36.]
- ZOU TC, 1999. Inquire into peculiar ornamental *Camellia* conservation and sustainable using in Guizhou [J]. Guizhou Sci, 17(4): 316-322. [邹天才, 1999. 贵州特优观赏山茶种质资源及其可持续利用探讨 [J]. 贵州科学, 17(4): 316-322.]
- ZOU TC, 2000. Studies on nursery stock produce technique for product market forecast of *Camellia luteoflora* and *C. longistyla* [J]. Guizhou Sci, 18(3): 209-215. [邹天才, 2000. 小黄花茶和长柱红山茶种质资源利用的研究 [J]. 贵州科学, 18(3): 209-215.]