

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201701024

引文格式: 郑道君, 杨立荣, 云勇, 等. 濒危植物海南龙血树种子休眠机理及其生态学意义 [J]. 广西植物, 2017, 37(12):1551-1559
ZHENG DJ, YANG LR, YUN Y, et al. Seed dormancy mechanism and its ecological significance of endangered species *Dracaena cambodiana* [J]. *Guihaia*, 2017, 37(12):1551-1559

濒危植物海南龙血树种子休眠机理及其生态学意义

郑道君^{1,2,3}, 杨立荣^{1,3}, 云勇^{1,3}, 陈加利^{1,3}, 陈宣^{1,3}, 姜殿强^{1,3}, 张治礼^{1,3*}

(1. 海南省农业科学院 热带园艺研究所, 海口 571100; 2. 海南省农业科学院 农业环境与土壤研究所, 海口 571100; 3. 海南省热带特种经济植物种质资源创新利用重点实验室, 海口 571100)

摘要: 为明确濒危植物海南龙血树 (*Dracaena cambodiana*) 种子的休眠机理, 该文对海南龙血树休眠类型及破解方法进行了系统研究, 并结合海南龙血树的生境条件, 对海南龙血树种子休眠的生态学意义进行了探讨。结果表明: 海南龙血树种皮吸水性良好, 40 h 内达到萌发所需含水量; 种胚发育完全, 离体胚 2 d 开始萌发, 萌发率达 100%; 去珠孔端组织种子的萌发情况与离体胚的一致, 质密珠孔端组织的机械束缚是种子萌发障碍的直接原因; 种子含有萌发抑制物质, 其清水粗提物对白菜种子萌发率和幼苗根生长存在显著抑制作用; 低温贮藏和快速脱水均能有效解除海南龙血树种子休眠, 提高种子的萌发率和整齐度, 萌发率可达到 100%。分析认为抑制物质的存在致使种胚生长势弱而无法打破质密珠孔端组织的机械束缚, 导致海南龙血树种子休眠, 属生理休眠; 海南龙血树种子休眠特性使其种子萌发或幼苗生长适应生境条件的季节变化, 保证种群得以延续与更新。

关键词: 海南龙血树, 种子休眠机理, 休眠类型, 休眠破解, 生态适应性

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)12-1551-09

Seed dormancy mechanism and its ecological significance of endangered species *Dracaena cambodiana*

ZHENG Dao-Jun^{1,2,3}, YANG Li-Rong^{1,3}, YUN Yong^{1,3}, CHEN Jia-Li^{1,3},
CHEN Xuan^{1,3}, JIANG Dian-Qiang^{1,3}, ZHANG Zhi-Li^{1,3*}

(1. *Institute of Tropical Horticulture Research, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China*; 2. *Agricultural Environment and Soil Research Institute, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China*; 3. *Key Laboratory of Tropic Special Economic Plant Innovation and Utilization, Haikou 571100, China*)

Abstract: In order to understand the dormancy mechanism of *Dracaena cambodiana* seed, the dormancy types and methods for seed dormancy breaking were studied systematically, and the ecological significance for dormancy mechanism of *D. cam-*

收稿日期: 2017-05-31 修回日期: 2017-06-27

基金项目: 国家自然科学基金(31360071); 海南省重点研发计划项目(ZDYF2016179) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(31360071); the National Key Research and Development Program of Hainan Province(ZDYF2016179)]。

作者简介: 郑道君(1979-), 男, 海南海口人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物种质资源及保护遗传学研究, (E-mail) daojunzh@163.com。

* 通信作者: 张治礼, 博士, 研究员, 主要从事植物资源学研究, (E-mail) zzl_catas@163.com。

bodiana seeds were also investigated. The results showed that the hydrosopicity of *D. cambodiana* spermoderm was good with $(42.60 \pm 0.08)\%$ seed imbibition rates after 40 h; excised embryos began to germinate after 2 d with a germination rate of 100%, suggesting a mature embryo for *D. cambodiana*; and the germination of seeds without micropylar structure was the same to excised embryos, which showed the main reasons for failure of germination was the mechanical resistances of the hard micropylar structure; there were inhibitory substances in the seeds since when cabbage seeds were treated with the water crude extracts of *D. cambodiana* seeds for about 48 h, the seed germination and seedling growth of cabbage was inhibited obviously. Both rapid dehydration and storage under low temperature can break effectively the dormancy of *D. cambodiana* seeds, to increase the germination rate to 100% and germination uniformity. The analysis suggest that the growth potentials of the embryo maybe limited by seed-inhibitory substance are not able to break the mechanical resistances of the hard micropylar structure, and this is the dormancy mechanism of *D. cambodiana* seeds, which belong to physiological dormancy; the seed germination and seedling growth of *D. cambodiana* with the seed dormancy can adapt to the seasonal change of habitat conditions, which ensure the exist and regeneration of *D. cambodiana* population.

Key words: *Dracaena cambodiana*, seed dormancy mechanism, types of seed dormancy, seed dormancy breaking, ecological adaptability

海南龙血树(*Dracaena cambodiana*)又名小花龙血树,属百合科龙血树属常绿小乔木,在中国仅分布在海南,可提取传统名贵中药材“血竭”(广东省植物研究所,1977;Chen & Turland,2000);也是园林绿化、家庭盆栽的名贵树种。海南龙血树天然分布生态幅极为狭小(郑道君等,2012),属典型的岩石伴生型植物,主要分布在高温少雨地区,常生长在陡峭且裸露的花岗岩或石灰岩的石缝残积土中,或紧贴石壁生长于砂壤土中(郑道君等,2010)。由于遭受掠夺性采挖、生境的严重破坏,以及生长缓慢,野生资源的自然更新失败,成年老树干于常见腐朽而死,海南龙血树野生资源已严重匮乏,日趋甚少(郑道君等,2010),为二级国家重点保护野生植物(中国数字植物标本馆,2006)和三级中国稀有濒危保护植物(国家环境保护局和中国科学院植物研究所,1987)。因此,研究海南龙血树的濒危机制,采取有效保育措施显得尤为重要和迫切。郑道君等(2010)对海南龙血树种群生境及自然更新能力调查后,分析认为“濒危生境”造成种子无法萌发或幼苗生长失败,导致种群无法实现自然更新是海南龙血树种群濒危的内因和主要原因。郑道君等(2012)还推测水分和光照强度可能是影响海南龙血树种子萌发或幼苗成活的重要因子。为了验证野外调查所做出的推论,并明确海南龙血树种子萌发的影响因子,找出自然更新失败的关键环节,郑

道君等(2016)对海南龙血树种子萌发影响因子及种子萌发环境适应性进行了研究,结果表明海南龙血树种子萌发对果皮、温度、光照强度等微环境的依赖性较强,原有生境破坏导致种子萌发微环境的改变可能是海南龙血树居群有性生殖失败,处于濒危状态的主要原因之一,同时也发现海南龙血树种子存在休眠现象。

种子休眠是植物在长期的系统发育过程中形成的抵抗外界不良环境条件,以保持物种不断发展和进化的生态特性,是调节种子萌发最佳时间和空间分布的一种机制(唐安军等,2004)。具有种子休眠特性的物种其休眠机理和类型不尽相同,这与种子萌发的环境适应性密切相关。海南龙血树种子休眠的机理是什么,属于哪种类型,破解休眠的条件是什么,休眠特性是否适应现有的生境变化?本文将对这些问题进行详尽的研究和分析。这将有助于进一步明确海南龙血树种子萌发的生态适应性,深入解析海南龙血树种群更新失败、种群濒危原因,并为种群复壮措施和种苗生产提供科学数据。

1 材料与方 法

1.1 材料

本研究所需种子均取自定植于海口地区的海

南龙血树, 这些海南龙血树由原生境采挖而来。成熟的新鲜果实用清水清洗去除果皮, 备用。海南龙血树种子近球形, 坚硬, 白色或乳白色, 直径为 5.0~6.5 mm, 成熟时的含水量为 37.67% 左右, 种皮薄, 且不易与胚乳分离。

1.2 试验设计

1.2.1 种子吸水率测定 取新鲜完整与刺破种皮的种子做为两个处理, 各设 3 个重复, 每个重复 50 粒。将种子放入广口培养瓶中用清水浸泡, 泡前称量种子的重量, 并分别在第 6、第 24、第 40、第 90、第 140、第 210 h 时取出种子, 将种子表面水用滤纸吸干后称重, 直至种子重量恒重为止, 计算种子的吸水率。吸水率(%) = (浸种后质量 - 浸种前质量) / 浸种前质量 × 100。

1.2.2 种子切割萌发处理 种子的消毒和切割均在超净工作台上进行。先用 75% 酒精消毒 10 min, 无菌水冲洗干净, 再用 0.1% 升汞消毒 5 min, 无菌水冲洗干净后备用。设 3 个处理, 分别为离体胚、去珠孔端组织种子(使胚根部分外露)和完整种子, 各 3 次重复, 每个重复 15 粒种子。培养基为不含任何激素的 MS 培养基, 生长条件为 25 ℃、3 500 lx 光照变光条件(黑暗 14 h, 光照 10 h)。记录统计各处理的萌发率。离体胚、去珠孔端组织种子 2 个处理的萌发标准为胚根伸长/向地性生长; 完整种子的萌发标准为胚根露出种孔 1 mm。

1.2.3 种子萌发抑制物质测定 参照喻梅等(2012)的方法进行。将种子用旋风磨(FOSS)打碎, 取 0.8 g 粉末, 分别用 8 mL 的清水和甲醇浸泡 48 h, 离心取上清液。清水处理的上清液直接定容至 8 mL; 甲醇处理的上清液置于通风橱内挥发风干(约 8 h)后, 加清水溶解并定容至 8 mL; 设甲醇处理对照一个, 即除了不加种子粉末, 其他同甲醇处理。取上述各处理种子提取液 3、1.5、0.5 mL, 定容至 4 mL, 加入放有一层滤纸的 7 mL 培养皿中, 设 3 个重复, 每重复 50 粒白菜种子。48 h 统计白菜种子萌芽率, 96 h 测量白菜小苗的根长和株高, 并计算简单生活力。

1.2.4 种子休眠破解试验 依据海南龙血树种子特性, 以及前期的预期实验结果, 本研究采取低温

和快速脱水处理, 进行种子休眠破解试验。(1) 低温处理: 将种子放在 4 ℃ 冰箱中进行低温冷藏处理。分别在 5、15、30、45、75 和 110 d 时取出种子进行萌发试验, 以未进行低温处理的新鲜种子作为对照。每个处理设 3 次重复, 每个重复 15 粒种子。(2) 快速脱水处理: 将种子装入大小为 8 cm × 8 cm 的封口袋中, 同时装入与种子质量比为 1 : 15 的干燥硅胶, 封好袋口, 使种子与硅胶充分接触。待处理的种子按照此法分装入 3 个封口袋。快速脱水 3、6、12、18、36、72、185 和 300 h, 在各个时间节点从 3 个封口袋中各取 15 粒种子, 作为同一时间节点的 3 个重复, 测量种子的含水量。快速脱水 3、6、12、18、36、72、185 和 300 h 后种子的含水量分别为 24.46%、23.64%、17.29%、15.43%、8.41%、4.83%、3.37% 和 3.34%。同时各取 15 粒种子, 进行各时间节点处理的种子萌芽试验。以未进行快速脱水处理的新鲜种子作为对照, 含水量为 37.43%。

上述萌芽实验在人工培养箱中进行。以清水冲洗过的河沙作为基质, 将种子置于广口培养瓶中, 在河沙含水量 16.67%、25 ℃、3 500 lx 光照变光条件(黑暗 14 h, 光照 10 h)下进行萌芽实验。播种时将种子侧放, 不覆河沙, 轻压种子使其与河沙充分接触以利吸水。每个处理设 3 次重复, 每个重复 15 粒种子。以胚根露出种孔 1 mm 为种子的萌发标准, 每 24 h 观察记录种子萌发 1 次, 记录萌发的种子数, 记录持续 60 d。

计算以下种子萌发参数, 包括萌发率(Germination percentage, GP)、萌发速率系数(Coefficient of germination rate, CGR)、萌发时滞(Germination time lag, GTL)和萌发指数(Germination index, GI):

$$GP = \text{萌发种子数} / \text{试验用种子总数} \times 100\%;$$

$$CGR = [\sum(t \times n) / \sum n] \times 100;$$

$$GI = MDG \times PV;$$

式中, GTL 为开始萌发的时间, 就是第 1 粒种子萌发所需时间。 t 为萌发试验开始时的天数; n 为 t d 内萌发的种子数(Boscagli & Sette, 2001); MDG 为日均种子萌发数, 等于萌发试验结束时种子萌发数/萌发试验经历的天数; PV 为种子最大萌发数, 等于萌发试验期间任意一天中达到的最大

表 1 海南龙血树种子提取物对白菜种子萌发与根长影响的 ANOVA 分析

Table 1 ANOVA analysis for effects of soaking solution of *D. cambodiana* seeds on germination and root length of cabbage

处理 Treatment	项目 Item	变异来源 Source of variation	平方和 Quadratic sum	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F value	显著性 Significance
甲醇提取物 Methanol extracts of <i>D. cambodiana</i> seeds	萌发率 GP	组间 Among groups	118.222	2	59.111	2.714	0.145
		组内 In group	130.667	6	21.778		
		总数 Total	248.889	8			
	根长 Root length	组间 Among groups	114.889	2	57.445	161.161	0
		组内 In group	2.139	6	0.356		
		总数 Total	117.028	8			
清水提取物 Water extracts of <i>D. cambodiana</i> seeds	萌发率 GP	组间 Among groups	1 014.222	2	507.111	25.356	0.001
		组内 In group	120	6	20		
		总数 Total	1 134.222	8			
	根长 Root length	组间 Among groups	161.272	2	80.636	295.96	0
		组内 In group	1.635	6	0.272		
		总数 Total	162.907	8			

萌发数/达到这一最大值所需的天数 (Abdul-Baki & Anderson, 1973)。

1.3.2 数据分析 利用 SPSS 13.0 软件中的单因子方差分析 (One Way ANOVA) 和最小显著性差异法 (LSD) 进行处理间的差异性分析和多重比较。用 Microsoft Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 海南龙血树种皮的透水性

海南龙血树种子种皮对吸水率的影响如图 1。图 1 显示,海南龙血树种子萌发时的含水量为 $(43.19 \pm 1.06)\%$,刺破种皮处理在前 6 h 内迅速达到 $(42.41 \pm 0.44)\%$,即接近萌发所需含水量,并在 24 h 内基本达到吸水饱和 $(45.01 \pm 0.38)\%$;种皮完整种子的吸水率缓慢升高,40 h 内种子吸水率为 $(42.60 \pm 0.08)\%$,接近或达到萌发所需水量,在 90 h 后才基本达到饱和状态。可见,刺破种子能快速提高种子的吸水率,较种皮完整处理差异显著。但完整种皮种子和刺破种皮种子均能在一定的时间内达到海南龙血树萌发时所需的含水量,

表明种皮不是海南龙血树种子萌发的限制因子。

2.2 胚发育完整性和珠孔端组织对海南龙血树种子萌芽的影响

在不加任何激素的 MS 培养基上,进行离体胚、去珠孔端组织种子和完整种子的无菌培养。结果表明海南龙血树种子离体胚和去珠孔端组织种子的萌发、以及幼苗生长均迅速。离体胚在接种 2 d 内即膨大且变浅黄色;4 d 后胚明显增长且变绿色,并发生向地性弯曲,胚根、胚轴和胚芽已明显可见分化,萌发率为 100%;10 d 后,根长均在 0.5 cm 以上,且叶片已展开;20 d 后,幼苗长度已在 5 cm 以上。

去珠孔端组织种子的萌发情况与离体胚的一致。去种孔端组织胚 2 d 内即膨大且变浅黄色,4 d 后胚根明显增长且变绿色,并发生向地性弯曲;10 d 后,叶片已经展开,萌发率为 100%。相比之下,完整种子的萌发在 29 d 后才开始,且 60 d 内的萌发率仅为 33.33%。

上述结果表明,海南龙血树种子胚形态发育完全,生理成熟;种子珠孔端组织结构是海南龙血树种子萌发的主要障碍,一旦这个束缚消失,萌发

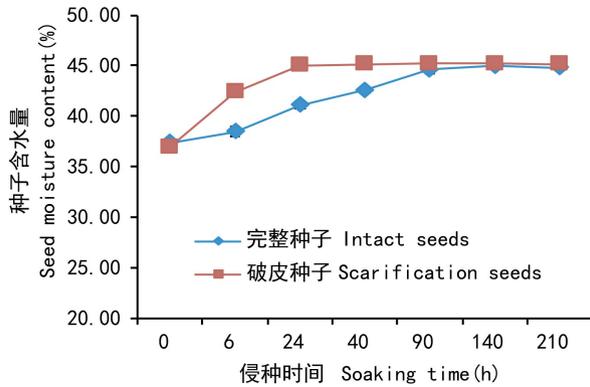


图 1 海南龙血树种子吸水曲线

Fig. 1 Water absorption curve of *D. cambodiana* seeds

就能快速发生。

2.3 海南龙血树种子提取物对白菜种子萌芽的影响

海南龙血树种子甲醇粗提物和清水粗提物对白菜种子萌发率和幼苗根生长的影响见图 2 和表 1。随着粗提物浓度的提高,对白菜种子萌发率和幼苗根生长的影响就愈加显著,除 0.5 mL 的甲醇

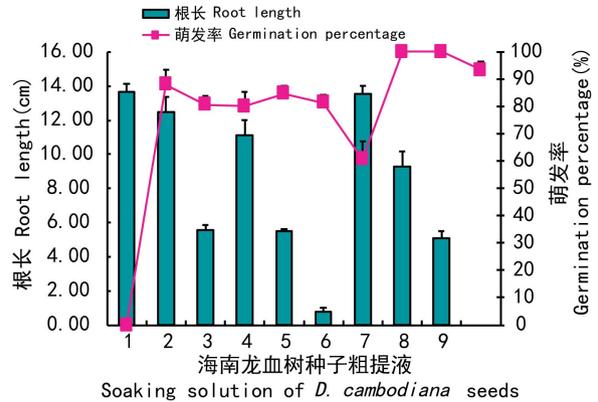


图 2 不同海南龙血树种子提取液对白菜种子萌芽和幼苗根长的影响 1-9 分别代表 0.5 mL 甲醇粗提物、1.5 mL 甲醇粗提物、3.0 mL 甲醇粗提物、0.5 mL 水粗提物、1.5 mL 水粗提物、3.0 mL 水粗提物、清水对照、低温贮藏 15 d 种子 1.5 mL 水清粗提物和室温 15 d 种子 1.5 mL 水清提取液

Fig. 2 Effects of soaking solution of *D. cambodiana* seeds on germination and seedling root length of cabbage The numbers of 1-9 were 0.5, 1.5, 3.0 mL of methanol soaking solution, 0.5, 1.5, 3.0 mL of water soaking solution, water CK, 1.5 mL of water soaking solution after 15 d storage at low temperature and at room temperature, respectively.

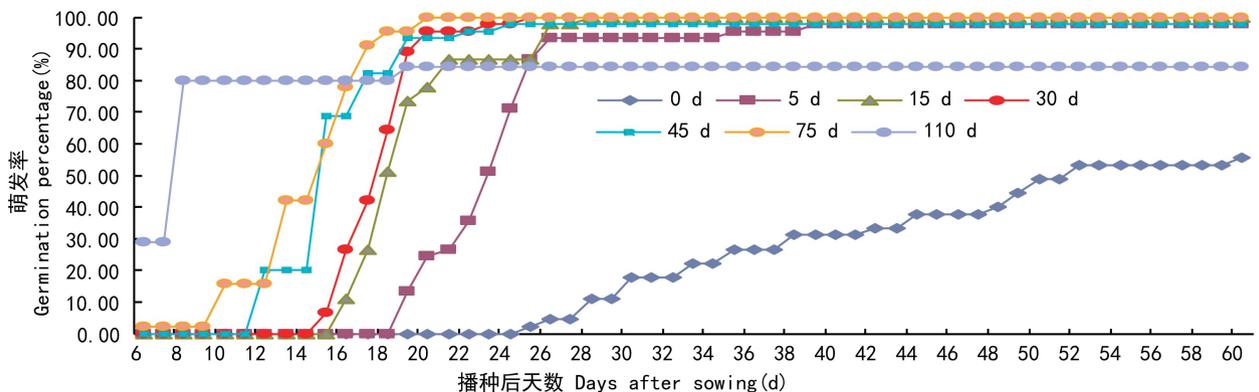


图 3 低温贮藏对海南龙血树种子萌发进程的影响

Fig. 3 Effects of low temperature storage on the germination process of *D. cambodiana* seeds

粗提物处理较清水对照处理差异不显著外 ($P = 0.79, P > 0.05$) 外,其他均存在显著差异(均 $P < 0.05$)。0.5、1.5 和 3.0 mL 的甲醇粗提物处理,白菜种子萌发率为 80%~88%。ANOVA 分析结果表明(表 1),甲醇粗提物处理间萌发率差异不显著

($P = 0.145$),但对幼苗根生长的影响差异极显著 ($P < 0.01$);不同浓度清水粗提物对白菜种子萌发率和幼苗根生长均呈极显著差异($P < 0.01$)。多重比较结果表明,同一浓度水平,清水粗提物处理对白菜种子萌发率和幼苗根生长的限制作用均比甲醇

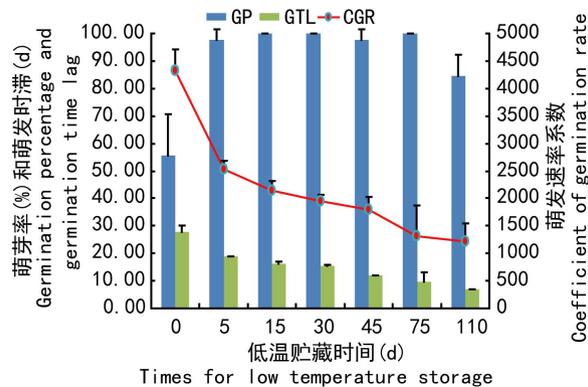


图4 低温贮藏对海南龙血树种子萌发率、萌发速率系数和萌发时滞的影响 GP为种子萌芽率(%),GTL为种子萌发时滞(d),CGR为萌发速率系数。下同。

Fig. 4 Effects of rapid dehydration on the GP, CGR, GTL of *D. cambodiana* seeds GP, GTL and CGR were for germination percentage(%), germination time lag(d) and coefficient of germination rate, respectively. The same below.

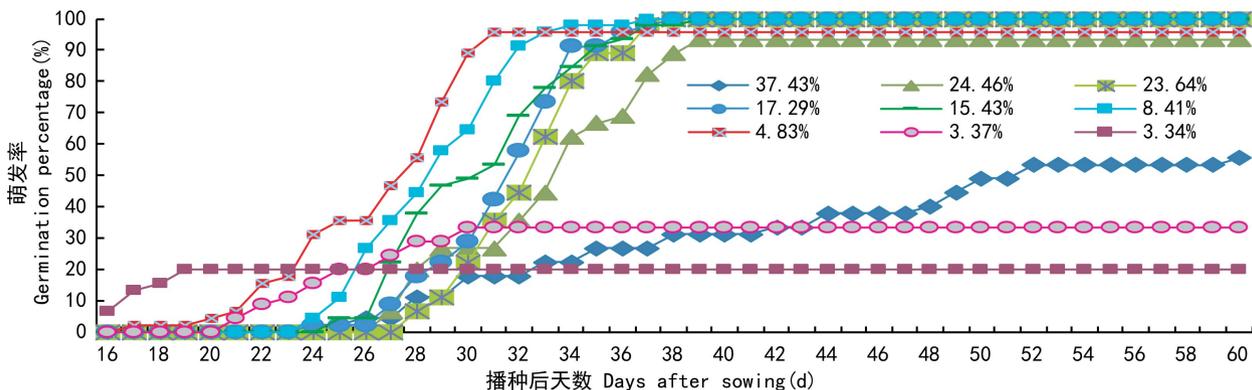


图5 快速脱水对海南龙血树种子萌发进程的影响

Fig. 5 Effects of rapid dehydration on the germination process of *D. cambodiana* seeds

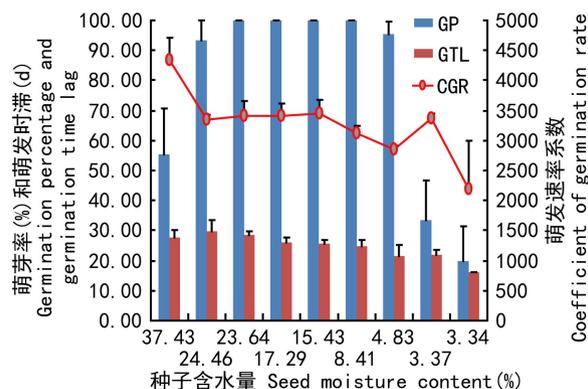


图6 快速脱水对海南龙血树种子萌发率、萌发速率系数和萌发时滞的影响

Fig. 6 Effects of rapid dehydration on the GP, CGR, GTL of *D. cambodiana* seeds

粗提物处理高,其中3.0 mL水平清水粗提物和3.0 mL水平甲醇粗提物对白菜种子萌发限制作用达到极显著水平($P < 0.01$);对幼苗根生长的限制作用在3个处理水平间的差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。可见,海南龙血树种子中含有抑制种子萌发和幼苗生长的物质,且这类物质主要存在于清水提取物中。

2.4 低温贮藏对海南龙血树种子萌发的影响

低温贮藏处理的种子萌发结果见图3和图4。低温贮藏5 d后,海南龙血树种子的萌发率达97.33%;随着贮藏时间的延长,种子的萌发率均达到或接近100%,贮藏110 d后种子的萌发率有下降的趋势(图3、图4)。随着贮藏时间的延长,种子的萌发速率和萌发时滞均随之下下降,表现为种子萌发时间提前,萌发整齐度提高(图4)。单因

素分析结果表明,不同低温贮藏时间处理间,种子萌发率、萌发速率和萌发时滞均差异显著($P < 0.01$)。不经低温处理的种子28 d后才开始萌发,萌发整齐度极差,平均萌发率仅为55.56%。LSD多重比较分析结果表明,不同低温贮藏时间处理在萌发率、萌发速率和萌发时滞均与不经低温处理的差异显著或极显著。可见,低温贮藏对海南龙血树种子萌发有显著的促进作用。

为了探讨低温贮藏促进海南龙血树种子萌发的机理,本文进行了低温贮藏15 d后,海南龙血树种子清水粗提物对白菜种子萌发影响的实验。结果表明(图2),低温贮藏15 d,海南龙血树种子清水粗提物对白菜种子萌发率没有影响,达100%;

与同一水平浓度清水粗提物(1.5 mL 水清提取液)相比较,低温贮藏 15 d 种子 1.5 mL 水清粗提物对白菜幼苗根生长抑制作用也明显减弱,但与清水对照相比较仍显著限制了白菜幼苗根的生长($P < 0.01$)。可见,低温贮藏降低了海南龙血树种子中种子萌发抑制物的浓度。

2.5 快速脱水对海南龙血树种子萌发的影响

快速脱水处理的种子萌发结果见图 5 和图 6。在种子含水量下降至 4.83%~24.46%,种子的萌发率均接近或达到 100%,萌发速率下降,萌发率和萌发速率与不脱水处理存在显著差异($P < 0.05$);萌发时滞则不显著($P > 0.05$),但随着种子含水量下降,萌发时滞有下降的趋势。上述结果表明,当种子含水量快速下降到 4.83%~24.46%,能促进海南龙血树种子萌发,提高种子的萌发整齐度,但对种子萌发时间没有影响。当含水量下降到 3.37%和 3.34%时,虽然种子的萌发时间有所提前,但萌发率快速下降至 33.33%和 20.00%。

进一步的白菜种子萌发实验结果表明(图 2),与对照相比,海南龙血树种子含水量快速下降在 15%左右时(种子室温放置 15 d),种子的清水粗提物(室温 15 d 种子 1.5 mL 水清提取液)显著限制白菜种子萌发($P = 0.049$, $P < 0.05$)和幼苗根的生长($P < 0.01$)。这表明脱水并不能明显降低种子萌发抑制物质,脱水可能是通过改变种子珠孔端组织质密性而破解海南龙血树休眠。

3 讨论

3.1 海南龙血树种子休眠类型与机理

按照 Baskin & Baskin(2004)对种子休眠类型的划分,种子休眠有生理休眠、形态休眠、形态生理休眠、物理休眠和综合休眠(物理休眠+生理休眠)。在许多植物中,种皮或果皮阻止水分进入而引起种子休眠,即为物理休眠(邹琇莹等,2003;李城德等,2008)。本研究中,种子吸水实验结果表明,虽然刺破种子能提高种子的吸水率,但完整种皮种子也可在 40 h 内达到萌发时所需的含水量。因此,种皮不是海南龙血树种子萌发的限制因子,排除了海南龙血树种子是物理休眠和综合

休眠的可能。

海南龙血树种子离体胚在无添加激素的 MS 培养基上,4 d 后萌发率达到 100%,10 d 后开始形成生长良好的幼苗。因此,海南龙血树种子胚已经生理成熟,且种子胚不含有萌发抑制物质,排除海南龙血树种子存在形态休眠和形态生理休眠的可能性。

海南龙血树种子胚乳较为坚实。为了找出海南龙血树种子休眠的原因,本研究在无添加激素的 MS 培养基上进行了去珠孔端组织种子萌发试验。结果发现离体胚和去珠孔端组织处理的萌发率(100%)和萌发速度一致。可见,海南龙血树种子的休眠,与质密的胚根覆盖物(珠孔端组织)的机械束缚(它们对胚根伸长起物理障碍作用)密切相关。种胚的生长势不足以打破珠孔端组织的束缚(邹琇莹等,2003;路覃坦等,2009;Khan & Saminy,1982),导致海南龙血树种子不能快速地萌发。这一现象与 Baskin & Baskin(2004)对种子生理休眠的定义是一致的,即阻碍胚根伸长的生理抑制机制引起的休眠。

虽然白菜种子萌发试验结果表明,海南龙血树种子中含有抑制物质,能显著抑制白菜种子的萌发和幼苗生长,且这类物质主要存在于清水提取物中。但是上述去珠孔端组织可极大促进种子萌发的试验结果证明,种子中含有抑制物质不是影响海南龙血树种子萌发直接原因。海南龙血树种子萌发抑制物质可能是通过影响种胚的生长势进而抑制种子萌发。这与路覃坦等(2009)对四种国产野生无鬃尾种子休眠类型的解释一致。

3.2 海南龙血树种子休眠破解方法

低温贮藏是解除种子休眠的有效方法,在很多植物种子萌发中得到应用(Vandelook et al,2009;付婷婷等,2009;刘艳芳等,2009)。通过低温贮藏使种子内部发生许多物质上的改变,降低抑制物质的含量,增加生长激素,从而促进种子萌发(罗弦等,2010)。本研究中,经低温处理 110 d 后,种子的萌发时滞仅为 7 d,萌发率达 100%,且萌发整齐度高;不经低温处理的种子 28 d 后才开始萌发,萌发整齐度极差,萌发率为 55.56%。可见,低温贮藏对海南龙血树种子萌发有显著的促

进作用。进一步试验结果表明,低温贮藏降低了海南龙血树种子萌发抑制物的含量,低温贮藏 15 d 后海南龙血树种子清水粗提物对白菜种子萌发率已无影响,均达 100%。同时低温贮藏也可能有利于改变珠孔端组织的结构。

海南龙血树种子快速脱水并不能降低种子内部抑制物质的含量,种子清水提取液对白菜种子萌发的显著抑制作用仍存在。但种子快速脱水能显著提高种子萌发的整齐度,以及随着种子含水量下降,种子萌发时间也有提前的趋势。我们推测,海南龙血树种子快速脱水可能改变了珠孔端组织结构的质密性,减弱了机械束缚力,且这种改变程度随着种子含水量下降有上升的趋势。关于海南龙血树种子低温处理及快速脱水后,珠孔端组织结构动态变化,本题组正在进行系统地研究。

上述结果为进一步阐明海南龙血树种子休眠原因及破解机理提供了依据,即海南龙血树种子休眠是由于抑制物质的存在致使种胚生长势弱而无法打破质密珠孔端组织的机械束缚,导致种子休眠。而通过低温贮藏能显著降低影响种胚生长势的抑制物质(这个过程可能也增加了提高种胚生长势的激素类物质,并有利改变了珠孔端组织的结构),进而提高了胚打破珠孔端组织机械束缚的生长势,或通过脱水处理改变珠孔端组织结构的质密性,减弱珠孔组织结构机械束缚力,均可提高海南龙血树种子的萌发率、萌发整齐度。

3.3 海南龙血树种子休眠的生态学意义

种子对萌发条件的响应反映了其适应环境的生态对策(吴征镒,1995)。海南龙血树种子萌芽对温度的要求极高(郑道君等,2016),分布区 9—10 月份其果实成熟后分布区的温度在 25~30℃,能满足种子萌芽所需温度。但随之而来的春冬干旱对海南龙血树的幼苗生长极为不利。为适应这种环境条件,海南龙血树种子形成了休眠特性。郑道君等(2016)研究结果表明,无论何种萌发条件,海南龙血树种子的平均萌发率在 55.6%,萌发时滞近 30 d,种子的萌发进程缓慢,萌发不整齐。种子休眠是植物避开恶劣环境的一种策略,是植物在长期的系统发育过程中,形成的抵抗外界不良环境条件,以保护物种不断发展与进化的生态

特性,也是调节种子萌发的最佳时间以及植株空间分布的一种机制(唐安军等,2004)。如距瓣尾囊草种子夏季休眠,在时间上避开了高温的不良环境;8—9 月,环境温度开始逐渐降低,此时自然生境下的距瓣尾囊草种子完成休眠陆续开始萌发,形成实生苗(张云香等,2013)。

海南龙血树的种子休眠特性有利于减少幼苗因春冬干旱而导致死亡,保证种群得以延续与更新。研究发现,种子脱水能显著提高种子萌发的整齐度,并且随着种子含水量下降,种子开始萌发的时间也有提前的趋势。在野外生境中,海南龙血树种子成熟后便是较长时间的旱季,这有利于种子脱水,进而提高种子的萌发率、整齐度和萌发时间。在即将到来的雨季,海南龙血树种子快速且整齐地萌发,并在雨季中生长。可见,海南龙血树种子具有的休眠特性使其生殖生长能很好地适应生境条件的季节变化。然而,植被砍伐,生境破坏,微环境的改变,包括光照增强、温度升高、原生境中食果动物的种类和数量减少,使得海南龙血树种子即使在雨季,萌发也严重受挫(郑道君等,2016)。因此,野外少见有海南龙血树幼苗。

参考文献:

- ABDUL-BAKI AA, ANDERSON JD, 1973. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed [J]. *Crop Sci*, 13: 222-226.
- BARKER HG, 1974. The evolution of weeds [J]. *Ann Rev Ecol Syst*, 5: 1-24.
- BASKIN JM, BASKIN CC, 2004. A classification system for seed dormancy [J]. *Seed Sci Res*, 14: 1-16.
- BOSCAGLI A, SETTE B, 2001. Seed germination enhancement in *Satureja montana* L. ssp. *montana* [J]. *Seed Sci Technol*, 29: 347-355.
- CHEN XQ, TURLAND NJ. DRACAENA VANDELLI EX LINNAEUS [M]//WU ZY, RAVEN PH, 2000. *Flora of China*. 16 ed. Beijing, Science Press; St. Louis, Missouri Botanical Garden 17 Press, 24: 215-217.
- Chinese Virtual Herbarium [EB/OL]. 2006. [2010-8-10]. <http://www.cvh.org.cn/> [中国数字植物标本馆.2006 [EB/OL]. [2010-08-10] <http://www.cvh.org.cn/>]
- FU TT, CHENG HY, SONG SQ, 2009. Advances in studies of seed dormancy [J]. *Chin Bull Bot*, 44(5): 629-641. [付婷婷,程红焱,宋松泉,2009.种子休眠的研究进展 [J]. *植物学报*, 44(5): 629-641.]

- Guangdong Institute of Botany, 1977. Flora Hainanica, Tomus 4 [M]. Beijing: Science Press; 1-155. [广东省植物研究所, 1977. 海南植物志, 第4卷 [M]. 北京: 科学出版社: 1-155.]
- Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2006. Chinese Virtual Herbarium [EB/OL]. [2010-08-10] <http://www.cvh.org.cn> [中国科学院植物研究所. 中国数字植物标本馆. 2006 [EB/OL]. [2010-08-10] <http://www.cvh.org.cn>]
- KHAN AA, SAMINY C, 1982. The physiology and biochemistry of seed development, dormancy and germination [M]. Amsterdam/New York/Oxford, Elsevier Biomedical Press; 203-241.
- LI CD, LI W, LI MF, et al, 2008. Seed dormancy and germination in endangered plant *Podophyllum hexandrum* Royle [J]. Bull Bot Res, 28(5): 618-621. [李城德, 李唯, 栗孟飞, 等, 2008. 濒危植物桃儿七种子休眠特性的研究 [J]. 植物研究, 28(5): 618-621.]
- LIU YF, WEI Y, YAN C, 2009. Germination characteristics and ecological adaptation of dimorphic seeds of *Borszczowia aralocaspica* [J]. Acta Ecol Sin, 29(12): 6609-6614. [刘艳芳, 魏岩, 严成, 2009. 异子蓬二型种子的萌发与休眠特性及其生态适应 [J]. 生态学报, 29(12): 6609-6614.]
- LU TT, ZHANG JZ, SUN GF, et al, 2009. Study on the dormancy type of seeds of four species of wild Iris in China [J]. Acta Prata Sin, 18(2): 130-137. [路覃坦, 张金政, 孙国峰, 等, 2009. 四种国产野生无髯鸢尾种子休眠类型的研究 [J]. 草业学报, 18(2): 130-137.]
- LUO X, PAN YZ, YANG XJ, et al, 2010. Effect of cold stratification on dormancy and germination of four *Carex* species seeds [J]. Acta Prata Sin, 19(3): 117-123. [罗弦, 潘远智, 杨学军, 等, 2010. 低温层积处理对4种苔草种子休眠与萌发的影响 [J]. 草业学报, 19(3): 117-123.]
- National Environment Protection Administration, Chinese Academy of Sciences, 1987. China rare and endangered protective plant lists [M]. Beijing: Science Press; 38. [国家环境保护局, 中国科学院植物研究所, 1987. 中国珍稀濒危保护植物名录 [M]. 北京: 科学出版社: 38.]
- TANG AJ, LONG CL, DAO ZL, 2004. Review on development of seed dormancy mechanisms [J]. Acta Bot Yunnan, 26(3): 241-251. [唐安军, 龙春林, 刀志灵, 2004. 种子休眠机理研究概述 [J]. 云南植物研究, 26(3): 241-251.]
- VANDELOOK F, BOLLE N, VAN ASSCHEJA, 2009. Morphological and physiological dormancy in seeds of *Aegopodium podagraria* (Apiaceae) broken successively during cold stratification [J]. Seed Sci Res, 19(2): 115-123.
- WU ZY, 1995. Vegetation of China [M]. Beijing: Science Press. [吴征镒, 1995. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社.]
- YU M, ZHOU SB, WU XY, et al, 2012. Dormancy break approaches and property of dormant seeds of wild *Cryptotaenia japonica* [J]. Acta Ecol Sin, 32(4): 1347-1354. [喻梅, 周守标, 吴晓艳, 等, 2012. 野生鸭儿芹种子休眠特性及破除方法 [J]. 生态学报, 32(4): 1347-1354.]
- ZHANG YX, HU HY, YANG LJ, et al, 2013. Seed dispersal and germination of an endangered and rare species *Urophysa rockii* (Ranunculaceae) [J]. Plant Divers Res, 35(3): 303-309. [张云香, 胡灏禹, 杨丽娟, 等, 2013. 珍稀濒危植物距瓣尾囊草种子散布及萌发特性 [J]. 植物分类与资源学报, 35(3): 303-309.]
- ZHENG DJ, LI HW, YUN Y, et al, 2010. Investigation on the habitat and natural regeneration capacity of *Dracaena cambodiana* population [J]. J Trop Subtrop Bot, 18(6): 627-632. [郑道君, 李海文, 云勇, 等, 2010. 海南龙血树种群生境及自然更新能力调查 [J]. 热带亚热带植物学报, 18(6): 627-632.]
- ZHENG DJ, YUN Y, WU YJ, et al, 2012. Geographical distribution of wild *Dracaena cambodiana* in China and its relationship with hydrothermal factors [J]. J Trop Subtrop Bot, 20(4): 326-332. [郑道君, 云勇, 吴宇佳, 等, 2012. 海南龙血树野生资源分布及其与水热关系分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 20(4): 326-332.]
- ZHENG DJ, WU YJ, YUN Y, et al, 2016. Seed germination and its environment adaptability of endangered tree *Dracaena cambodiana* [J]. J Trop Subtrop Bot, 24(1): 71-79. [郑道君, 吴宇佳, 云勇, 等, 2016. 濒危植物海南龙血树种子萌发及其环境适应性分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 24(1): 71-79.]
- ZOU XY, FOUNTAIN DW, MORGAN ER, 2003. Seed dormancy of *Sandersonia aurantiaca* broken by interaction of GA₃ and mechanical treatment [J]. Acta Prata Sin, 12(5): 70-76. [邹琇莹, Fountain DW, Morgan ER, 2003. 赤霉素及机械处理的相互作用对破除 *Sandersonia aurantiaca* 种子休眠的研究 [J]. 草业学报, 12(5): 70-76.]