

濒危植物海南龙血树种子萌发及其环境适应性分析

郑道君^{a,b}, 吴宇佳^b, 云勇^a, 姜殿强^a, 陈宣^a, 张治礼^{a*}

(海南省农业科学院, a. 热带园艺研究所; b. 农作物遗传育种重点实验室, 海口 571100)

摘要: 为了解海南龙血树(*Dracaena cambodiana*)濒危的机制, 研究了果皮、温度、水分和光照强度等对其种子萌发的影响, 并分析海南龙血树种子萌发的环境适应性。结果表明, 果皮对海南龙血树种子萌发有显著抑制作用, 去除果皮且用果皮浸泡液浇灌可以显著促进种子的萌发。种子萌发对温度极为敏感, 25℃是种子萌发适宜的温度, 低于15℃或高于30℃均不能萌发, 变温处理对种子萌发具有一定的促进作用。海南龙血树种子萌发需要较高的遮荫度, 光照强度对种子萌发有显著影响。种子萌发对基质的水分含量不敏感, 在含水量为9.09%~20.00%的河沙基质中, 种子的萌发率、萌发速率指数、萌发时滞和萌发指数均无显著差异。因此, 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改变可能是海南龙血树居群有性生殖失败, 海南龙血树处于濒危状态的主要原因之一。

关键词: 海南龙血树; 环境适应性; 种子萌发; 濒危植物

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.010

Seed Germination and Its Environment Adaptability of Endangered Tree *Dracaena cambodiana*

ZHENG Dao-jun^{a,b}, WU Yu-jia^b, YUN Yong^a, JIANG Dian-qiang^a, CHEN Xuan^a, ZHANG Zhi-li^{a*}

(a. Institute of Tropical Horticulture Research; b. Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571000, China)

Abstract: In order to reveal the endangered mechanisms of *Dracaena cambodiana*, the effects of pericarp, temperature, soil moisture and light intensity on seed germination of *D. cambodiana* were studied, and its environment adaptability was analyzed. The results showed that seed germination of *D. cambodiana* was significantly inhibited by pericarp, and could be significantly promoted by removing pericarp and watering pericarp soak solution. Seed germination was very sensitive to temperature with suitable temperature of 25℃, and seeds could not germinate under below 15℃ or above 30℃. Alternating-temperature had certain facilitation to seed germination. The germination of *D. cambodiana* seeds need high shading density, light intensity had significant effect on seed germination. The germination of *D. cambodiana* seeds was insensitive to soil moisture, there were not significant differences on GP (germination rate), CRG (coefficient of germination rate), GTL (germination time lag) and GI (germination index) among soil moistures ranged from 9.09% to 20.00%. Therefore, the germination of *D. cambodiana* seeds strongly depended on pericarp and microenvironment factors, i.e. temperature and light intensity. The microenvironment changes caused by habitat destruction might be one of main reasons for failure of sexual reproduction and endangerment of *D. cambodiana*.

Key words: *Dracaena cambodiana*; Environment adaptability; Seed germination; Endangered tree

收稿日期: 2015-04-01

接受日期: 2015-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360071)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31360071).

作者简介: 郑道君(1979~), 男, 硕士, 副研究员, 从事植物种质资源及保护遗传学研究。E-mail: daojunzh@yahoo.com.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zz1_catas@163.com

海南龙血树(*Dracaena cambodiana*)又名小花龙血树,是百合科(Liliaceae)龙血树属常绿小乔木,在中国仅分布于海南^[1-2],为二级国家重点保护野生植物^[3]和三级中国稀有濒危保护植物^[4]。海南龙血树是传统名贵中药材血竭的重要来源^[1-2],民间也被誉为“不老松”、“平安树”,具有很高的观赏价值,是园林绿化、家庭盆栽的名贵树种。海南龙血树分布生态幅极为狭小^[5],由于人类无节制的掠夺性采挖,其生境受到严重破坏,以及野生资源的自然更新失败,生长缓慢,海南龙血树野生资源已严重匮乏^[6]。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。

种子萌发是植物适应环境变化以维持自身繁衍的重要过程^[7],是种子植物生活史中实现种群更新和延续的关键。多数濒危植物种群在由种子向幼苗转化阶段出现死亡率高或种子不能萌发成苗等现象,成为种群衰退的关键阶段^[8]。野外调查表明,海南龙血树自然更新极差,认为现有生境仅适合于成年海南龙血树的生长,而某些生态因子严重抑制其种子萌发或小苗生长,或者说海南龙血树在演化过程中所产生的变异并没有使其在整个生活史中每个阶段都能适应环境的急剧变化和特殊生境的消失^[6]。至于是何种生态因子,抑制作用发生在生活史的哪个阶段尚待进一步研究。郑道君等^[5]通过对海南龙血树野生资源分布调查及其与水热关系进行分析后,推测水分和光照是影响海南龙血树种子萌发率或小苗成活率的重要因子。为了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,本文探讨了果皮和环境因子(包括温度、水分与光照)对海南龙血树种子萌发的影响,结合已有的研究和野外调查结果对海南龙血树种子萌发的环境适应性进行了分析,以期系统阐述海南龙血树濒危机制,繁育苗木,有效保育海南龙血树野生资源提供重要科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验所用种子均采集自定植于海口地区的海南龙血树(*Dracaena cambodiana*),这些海南龙血树是从原生境采挖而来。采集新鲜成熟果实,除了用于带果皮实验外,其他果实均用清水清洗并去除果皮,备用。试验于2012年10月20日开始,白天温度为28℃~30℃,夜间温度为23℃~25℃。种子播种于

河沙基质上。

1.2 方法

所有试验均以清水冲洗过的河沙作为基质。将种子侧放于河沙上,并轻压以利于吸水。每处理播15粒种子,设3次重复。以胚根露出种孔1 mm为种子萌发标准,每天观察记录萌发的种子数,持续60 d。参照海南龙血树种子成熟时其分布区的降雨量,除水分处理外,其他处理的基质含水量控制在16.67%。

果皮处理 在室外、基质含水量约为16.67%和5.23%自然光(NS, $79.2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)下进行种子萌发试验。将果实分成3组,1组不去果皮用自来水浇灌(a);1组去除果皮用自来水浇灌(b),另外1组去除果皮用果皮浸泡液浇灌(c),按100 g新鲜果皮加1 L清水,室温浸泡1周。3个处理分别在3个0.3 m×0.6 m的塑料筐中进行。将基质装入塑料筐,每个塑料筐中的基质分3等份,各等份间用塑料板隔开,每等份为1个重复。

光照强度处理 人工遮荫棚用遮阳网、黑色尼龙网布搭建。分别设置100%、60.1%、22.6%、13.1%、5.23%、1.31%和0.3%自然光7个处理,光照强度分别约为1512.0、921.6、342.0、198.0、79.2、19.8和 $4.5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。试验分别在7个0.3 m×0.6 m的塑料筐中进行。将基质装入塑料筐,每个塑料筐中的基质分3等份,各等份间用塑料板隔开,每等份为1个重复。播种后每天观察,控制基质含水量约为16.67%。

温度处理 在人工培养箱中进行。设置恒温处理10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃和昼夜(10 h/14 h)变温处理25℃/20℃、30℃/20℃、30℃/25℃。将种子播于广口培养瓶中,每瓶播种15粒种子作为1个重复,每处理设3个重复,控制基质含水量为16.67%和光照强度为 $63.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (光/暗为10 h/14 h)。

水分处理 在人工培养箱中进行。称取在103℃干燥箱中烘至恒重的河沙40 g置于广口培养瓶中,分别加入2、4、6、8、10、12 mL蒸馏水,使含水量分别为4.77%、9.09%、13.05%、16.67%、20%和23.08%。每瓶播种15粒种子作为1个重复,每处理设3个重复。将培养瓶置于光照强度为 $63.0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (光/暗为10 h/14 h)和25℃下进行萌发试验。

1.3 数据统计分析

试验结束时统计萌发率(Germination rate, GR)、

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)。GTL即开始萌发的时间,就是第1粒种子萌发所需时间。GR=萌发种子数/种子总数×100%; $CGR = [\sum(t \times n) / \sum n] \times 100$; $GI = MDG \times PV$, 式中: t 为萌发天数; n 为第 t 天内萌发的种子数^[9]; MDG为日均种子萌发数; PV为种子最大萌发率, $PV = \text{单日最大萌发数} / \text{天数}$ ^[10]。

利用SPSS 13.0软件中的单因子方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差法(LSD)进行差异显著性分析,以 $P < 0.05$ 表示差异显著。采用Microsoft Excel软件作图。

2 结果和分析

2.1 果皮对种子萌发的影响

单因素方差分析结果表明,3个处理间的种子萌发率、萌发指数、萌发速率指数、萌发时滞均存在极显著差异(均 $P < 0.01$)。不除种皮的种子(a处

理)培养43 d才开始萌发(图1: A),在萌发时滞上与c处理(22 d)和b处理(32 d)均差异极显著($P < 0.01$)(图1: B)。a处理的种子萌发率仅为11.11%, b处理的为60%, c处理的最高,达95.0%(图1: A)。a处理的萌发指数极低,与另两个处理间的差异极显著($P < 0.01$), c处理的萌发指数最高(图1: C)。可见,果皮对海南龙血树种子萌发有显著阻碍作用,而去除果皮并用果皮浸泡液浇灌后可促进种子的萌发,但其萌发速率指数与去除果皮且用清水浇灌处理的差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 温度对种子萌发的影响

温度对海南龙血树种子萌发的影响极为显著,不同处理间的萌发率、萌发指数、萌发速率指数和萌发时滞均存在极显著差异($P < 0.01$)。恒温处理中,25℃是海南龙血树种子萌发适宜的温度,萌发率为55.56%,与其他恒温处理的差异极显著($P < 0.01$)(图2: A)。萌发指数和萌发速率指数在25℃下也极显著高于其他恒温处理($P < 0.01$)(图2: B, C),

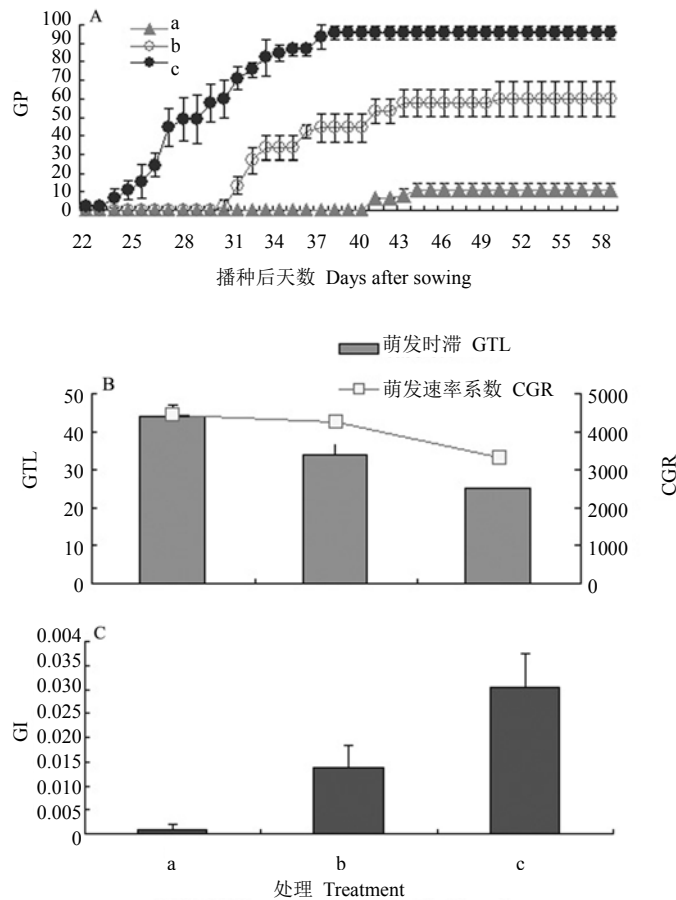


图1 果皮对海南龙血树种子萌发的影响。a: 未去果皮用自来水浇灌; b: 去除果皮用自来水浇灌; c: 去除果皮用果皮浸泡液浇灌; GR:萌发率; GTL: 萌发时滞; CGR: 萌发速率系数; GI: 萌发指数。下图同。

Fig. 1 Effect of pericarp on germination of *Dracaena cambodiana*. a: Fruits with tap water; b: Seed with tap water; c: Seed with pericarp soak solution; GR: Germination rate; GTL: Germination time lag; CGR: Coefficient of germination rate; GI: Germination index. The same is following Figures.

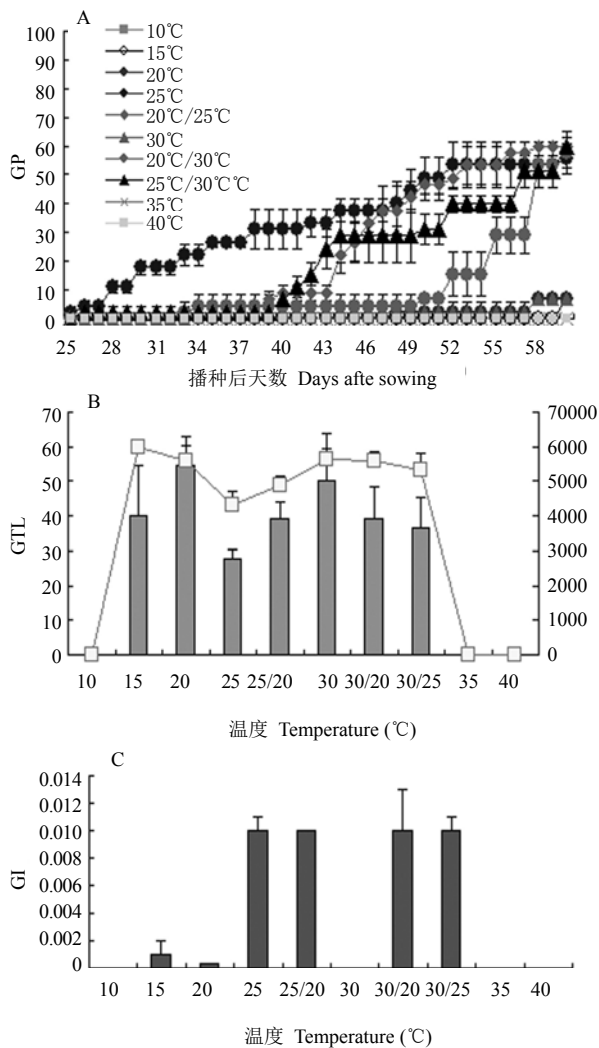


图2 温度对海南龙血树种子萌发的影响

Fig. 2 Effect of temperature on germination of *Dracaena cambodiana*

但 25°C 的种子萌发时滞为 27.67 d, 与其它恒温处理间的差异不显著(图 2: B)。15°C、20°C 和 30°C 的种子萌发率均为 6.67%, 低于 15°C 或高于 30°C 种子不萌发(图 2: A)。

变温处理对海南龙血树种子的萌发有一定的促进作用, 但与 25°C 处理的萌发率、萌发指数和萌发时滞差异不显著。25°C/20°C、30°C/20°C、30°C/25°C 处理的萌发率分别为 60%、57.78% 和 60%, 比 25°C 处理的略高(图 2: A); 25°C/20°C、30°C/20°C、30°C/25°C 处理的萌发时滞分别为 39.33 d、39 d 和 36.33 d (图 2: B)。25°C/20°C 处理的萌发速率指数与 25°C 的差异不显著, 比 30°C/20°C 和 30°C/25°C 处理低, 差异极显著 ($P < 0.01$)。此外, 变温处理间的萌发率、萌发指数和萌发时滞均差异不显著。

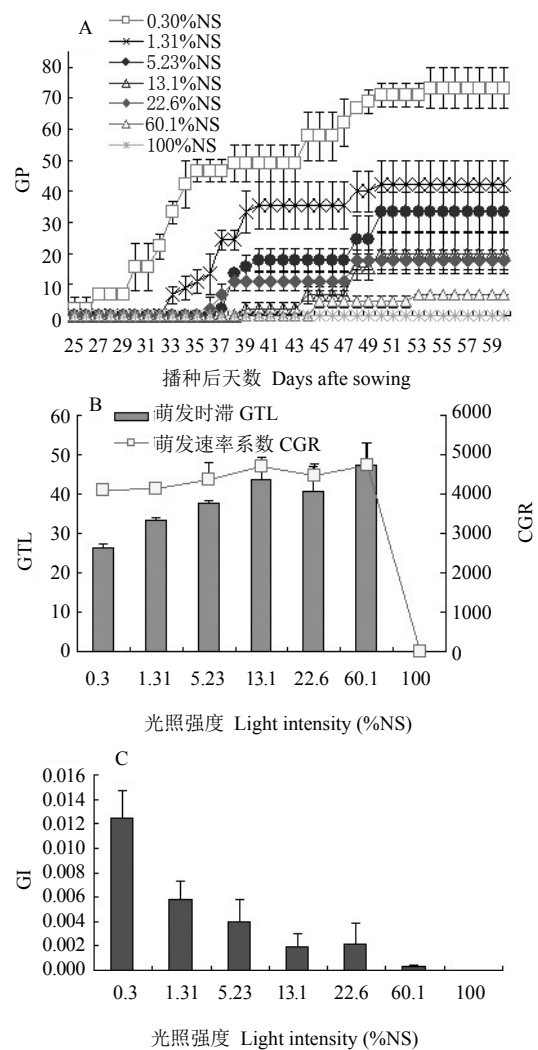


图3 光照强度对海南龙血树种子萌发的影响

Fig. 3 Effect of light intensity on germination of *Dracaena cambodiana*

2.3 光照对种子萌发的影响

随着遮荫度的提高, 海南龙血树种子的萌发率和萌发指数提高, 0.3% NS 的萌发率最高, 为 73.33%, 100% NS 下的萌发率为 0 (图 3: A), 0.3% NS 的萌发指数也最高(图 3: C)。除 22.6% NS 处理外, 种子的萌发时滞和萌发速率指数随着遮荫度的提高呈下降趋势, 0.3% NS 的萌发时滞为 26.33 d, 而 60.1% NS 为 47.33 d (图 3: B)。单因素方差分析表明, 不同遮荫处理间的种子萌发率、萌发指数、萌发时滞和萌发速率指数差异极显著。LSD 多重比较表明, 除萌发速率指数外, 0.3% NS 处理的萌发指数、萌发率和萌发指数与其他处理的差异极显著 ($P < 0.01$)。由此可见, 光照对海南龙血树种子萌发有显著的影响, 海南龙血树种子萌发需要较高的遮荫度。

2.4 水分对种子萌发的影响

在水分处理中, 海南龙血树种子均在 23~26 d 开始萌发(图 4: A), 含水量为 9.09%、13.05%、16.67% 和 20.00% 处理的萌发率为 46.67%~55.56%。单因素方差分析表明, 海南龙血树种子的萌发率、萌发时滞、萌发速率指数在不同水分处理间存在极显著差异($P < 0.01$)(图 4: A、B), 基质水分对海南龙血树种子萌发有影响。但 LSD 多重比较表明, 在较大范围

内水分对海南龙血树种子萌发的影响不显著, 萌发率、萌发速率指数和萌发指数在含水量为 9.09%、13.05%、16.67% 和 20.00% 间均不存在显著差异, 仅 4.77% 和 23.08% 与 13.05%、16.67%、20.00% 间的萌发率差异显著($P < 0.05$), 4.77% 与 9.09%、13.05%、16.67%、20.00% 间的萌发速率指数差异极显著($P < 0.01$), 4.77% 与 13.05%、20.00% 间的萌发指数差异显著($P < 0.05$), 而与 9.09%、16.67% 间无显著差异。

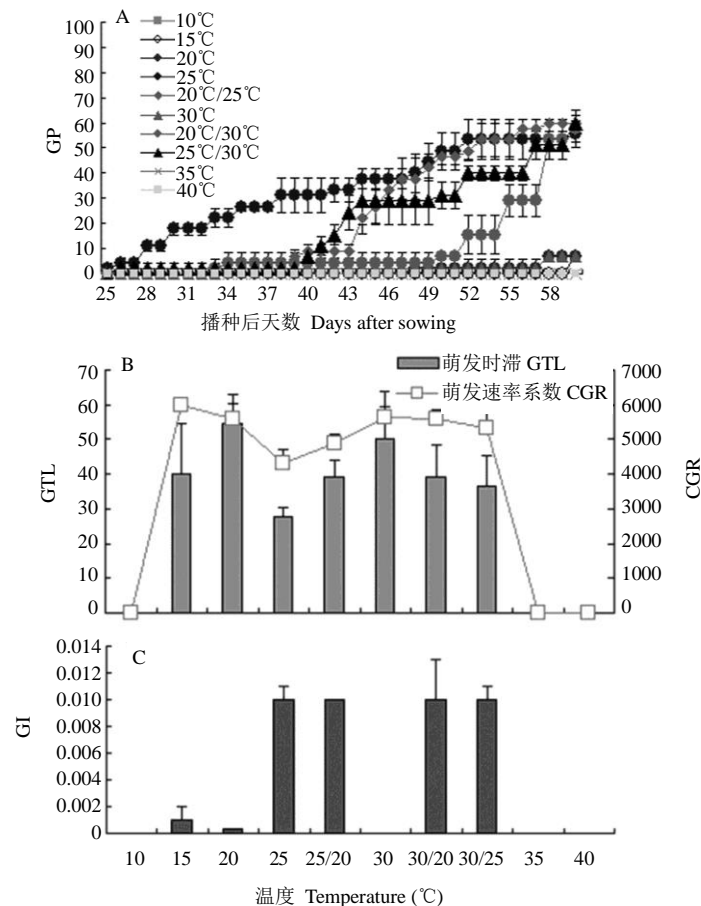


图 4 基质水分对海南龙血树种子萌发的影响

Fig. 4 Effect of soil moisture on germination of *Dracaena cambodiana*

3 讨论

3.1 海南龙血树种子萌发的影响因素

本研究结果表明, 果皮对海南龙血树种子萌发有显著的阻碍作用, 不管是萌发率、萌发指数、萌发速率指数还是萌发时滞, 去果皮与未去果皮均存在显著差异。已有研究表明, 植物果皮中存在抑制种子发芽的物质, 甚至引起种子的休眠^[11-14]。可见, 海南龙血树新鲜果皮可能含有种子萌发抑制物质,

影响了种子的萌发。果皮的透气性或透水性也可能抑制种子的萌发^[14]。但是, 用浸泡 7 d 的果皮浸泡水浇灌种子, 可明显提高海南龙血树种子的萌发率, 萌发时滞缩短, 萌发速率指数下降, 种子萌发整齐度较好, 推测果皮浸泡 7 d 后, 果皮中的某些物质发生了变化, 产生某种促进种子萌发的物质。

温度是影响植物种子萌发的关键因子之一, 但不同植物种子对萌发温度的响应不尽相同。任艳萍等研究表明, 高温更适宜黄顶菊(*Flaveria bidentis*)

种子的萌发, 40℃的萌发率虽较35℃的下降, 但仍达90.25%^[15]。星油藤(*Plukenetia volubilis*)种子对温度极为敏感, 随着温度的升高, 种子的萌发率显著提高, 35℃下为81.7%, 25℃仅为20%, 而低于20℃不萌发^[7]。低温不利于大叶茶品种‘勐海大叶茶’(*Camellia sinensis* var. *assamica* ‘Menghai Dayecha’)种子的萌发, 10℃的种子萌发率和萌发指数均为0; 15℃种子才会逐渐萌发, 萌发率仅8.3%^[16]。温度对距瓣尾囊草(*Urophyta rockii*)种子的萌发有显著的影响, 20℃为种子萌发的最适温度, 萌发率可达67%以上, 30℃高温可能使种子失去活性导致不能萌发, 而15℃其萌发在一定程度上也受到抑制^[17]。而李雪华等的研究表明, 画眉草(*Eragrostis pilosa*)种子萌发的温度范围较宽, 温度达34℃的萌发率与适宜温度的相近^[18]。本研究结果表明, 海南龙血树种子萌发对温度极为敏感。25℃是种子萌发适宜的温度, 萌发率为55.56%, 而15℃、20℃和30℃的萌发率仅为6.67%, 低于15℃或高于30℃种子不萌发。变温对一些植物种子的萌发具有促进作用^[19-20]。本研究中, 变温(25℃/20℃、30℃/20℃、30℃/25℃)虽对种子的萌发有一定的促进作用, 但与25℃恒温处理的差异不显著。且与25℃处理相比, 变温对海南龙血树种子的萌发进程反而有阻碍作用。这与画眉草^[18]、黄顶菊^[15]和‘勐海大叶茶’^[16]种子的萌发特性一致。

不同植物种子萌发对光照强度的响应不一样。Raich等对43种马来西亚龙脑香科树种进行研究, 大多数树种的种子在遮荫和强光下都能很好地萌发^[21]。闫兴富等的研究表明, 强光照(55.4% NS)使辽东栎(*Quercus liaotungensis*)种子的萌发率和萌发指数提高^[22]。贺顺钦等采用人工遮荫方法证明50%全光照对辽东栎种子萌发最有利^[23]。闫兴富等对望天树种子萌发的研究表明, 裸地上的强光照和深度遮荫均不利种子的萌发, 中等程度的遮荫有利于种子萌发^[24]。与此相反, 本研究表明遮荫有利于海南龙血树种子的萌发, 不仅能提高种子的萌发率, 还能加快种子萌发的进程。这与Kubitzki等^[25]和Navaro等^[26]的研究结果一致。Kyreh等认为光对种子萌发的影响主要体现在强光下种子温度升高导致种子含水量下降, 进而影响种子的萌发^[27]。还有研究表明, 光照是通过红光/远红光的比率来对种子萌发进行调控, 红光/远红光可激发种子中GA和ABA^[28]。

虽然单因素分析表明, 水分对海南龙血树种子萌发影响显著, 但多因素分析表明海南龙血树

种子的萌发率、萌发速率指数、萌发时滞和萌发指数在9.09%、13.05%、16.67%和20.00%间差异均不显著。

3.2 海南龙血树种子萌发的环境适应性

种子散布是大多数植物占领新生境的决定因素^[29-30]。动物是主要的种子散布媒介之一。热带地区90%以上的树种都是依赖食果动物完成果实或种子散布^[31]。动物散布种子最根本和最重要的意义是种子散布连接起了成株繁殖与后代建群的整个生活史循环, 这对植物更新和扩散格局的产生是极为重要的。食果动物散布种子还可以帮助种子躲避动物捕食^[32], 或者占据新的生境^[33]、避免竞争^[34]和实现定向散布^[31]。海南龙血树的花序为总状花序, 1个花序能产生几百上千粒种子, 且成熟后的种子鲜红色, 果肉多, 这可招引食果动物, 如鸟类取食果实后可以达到长距离传播种子的目的。同时, 鸟类取食果实后排出种子也起到除去果皮的作用, 可增加种子萌发的机会。这是海南龙血树延续、更新和扩大种群, 避免种群内部竞争资源的一种策略, 是适应环境的表现之一。海南龙血树生境特殊, 生长于坡地陡峭、甚至绝壁的岩石缝间或边上, 同一地方能够提供它生长的岩石缝很少。海南龙血树现有生境的过度破坏和片段化^[6], 可能使鸟类等动物变少, 增加了这种策略的风险。

种子对萌发条件的响应反映了其适应环境的生态对策。海南龙血树种子萌发对温度的要求极高, 但其分布区在9-10月果实成熟后的温度约为25℃/30℃, 能够满足种子萌发所需温度。这表明海南龙血树种子萌发对生境有特化的适应性。这验证了热量因子是影响海南龙血树地理分布的首要水热指标^[5]。海南龙血树分布区9-11月份还处于一年中的雨季, 其生长的石缝间是石壁上能够蓄水的地方, 且海南龙血树萌发对水分的要求范围广。因此, 海南龙血树种子能够很好地适应分布区的温度和水分。但是随之而来的春冬干旱对海南龙血树的幼苗生长极为不利(将另文报道), 可见海南龙血树的生殖策略失败。

海南龙血树生长于坡地陡峭、地形开朗、光照充足、蓄水力弱的岩石缝间或边上, 具有典型的强耐旱、喜阳和喜钙的生态习性^[6]。但强光照对海南龙血树种子萌发有显著的抑制作用, 而遮荫有利于海南龙血树种子的萌发, 表现在提高种子的萌发率和加快种子萌发的进程。遮荫也能有效地避免太阳

直射而提高种子萌发温度和减少水分蒸发。Pons认为这种抑制作用可使幼苗避开不利于其生长的干旱环境, 因为强光通常伴随着威胁幼苗生长的强烈干旱^[35,41]。虽然石缝间能够为海南龙血树种子萌发营造所需的荫蔽条件, 但生境遭受破坏, 大量植被被砍伐, 林下生境消失^[6], 提高了海南龙血树种子所处微环境的光照强度和温度, 加速水分蒸发, 使原有的林内“凉湿效应”向“干暖效应”发展, 这对种子萌发极为不利。海南岛在远古时期是热带雨林广布的, 西汉早期海南岛的森林覆盖率曾高达90%, 西南部也密布热带雨林^[36]。此后由于人类不断垦殖, 海南岛的热带雨林快速消失, 西南部沿海地区的植被已经变成稀树草原和灌丛。就环境适应性而言, 海南龙血树现有微生境对其种子萌发却极为不利。

在本研究中, 海南龙血树种子的萌发率最高仅为60%左右, 萌发时间至少要22 d, 这表明海南龙血树种子存在休眠现象, 种子休眠是植物避开恶劣环境的一种策略。此外, 海南龙血树种子的萌发速率系数均较高, 种子的萌发进程缓慢, 萌发不整齐, 这有利于形成不同生长期的幼苗, 以应对变化的环境, 减少幼苗因环境变化导致高的死亡率, 保证种群得以延伸与更新。

综上所述, 在长期的选择和进化过程中, 海南龙血树种子萌发适应了现有的大环境, 进化出特有的生存对策。果实成熟期有适合其种子萌发的水分与温度; 石缝间又为其提供了荫蔽条件和生境中最好的蓄水条件。但是这个适应性是高度特化的, 或者说对环境有着很强的依赖性, 因此是极不稳定的。海南龙血树种子萌发对温度或强光照极为敏感, 也需要在一定的水分才能萌发。长期的植被砍伐, 生境破坏, 原生境中食果动物的种类和数量减少, 微环境改变(包括光照、温度和水分), 海南龙血树种子萌发严重受挫, 又表现出了极差的生态适应性。这与我们前期的分析结果是一致的^[5]。因此, 现有海南龙血树生境仅适合于成年海南龙血树成长^[6], 却是抑制种子萌发的“濒危生境”。海南龙血树对环境依赖性强的生殖过程, 是其种群生活史上最脆弱的环节, 也是其处于濒危状态的主要原因之一。

参考文献

- [1] Guangdong Institute of Botany. Flora Hainanica, Tomus 4 [M]. Beijing: Science Press, 1977: 1–155.
广东省植物研究所. 海南植物志, 第4卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1977: 1–155.
- [2] CHEN X Q, TURLAND N J. *Dracaena Vandellii* ex Linnaeus [M]// WU Z Y, RAVEN P H. Flora of China, Vol. 24. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2000: 215–217.
- [3] Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Chinese Virtual Herbarium [OL]. (2006–07–01) [2010–8–10]. <http://www.cvh.org.cn/>
中国科学院植物研究所. 中国数字植物标本馆 [OL]. (2006–07–01) [2010–8–10]. <http://www.cvh.org.cn>.
- [4] National Environment Protection Administration, Chinese Academy of Sciences. China Rare and Endangered Protective Plant Lists [M]. Beijing: Science Press, 1987: 1–38
国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1–38.
- [5] ZHENG D J, YUN Y, WU Y J, et al. Geographical distribution of wild *Dracaena cambodiana* in China and its relationship with hydrothermal factors [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, 20(4): 326–332. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.002.
郑道君, 云勇, 吴宇佳, 等. 海南龙血树野生资源分布及其与水热关系的分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(4): 326–332. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.002.
- [6] ZHENG D J, LI H W, YUN Y, et al. Investigation on the habitat and natural regeneration capacity of *Dracaena cambodiana* population [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(6): 627–632. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.006.
郑道君, 李海文, 云勇, 等. 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, 2010, 18(6): 627–632. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.006.
- [7] JIAO D Y, TAN Y H, TANG S X, et al. Ecological characteristics of germination of *Plukenetia volubilis* seeds [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2011, 19(16): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
焦冬英, 谭运红, 唐寿贤, 等. 星油藤种子萌发的生态学特性研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(16): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
- [8] ZHANG W H, ZU Y G, LIU G B. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, 22(9): 1512–1520. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2002.09.021.
张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1512–1520. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2002.09.021.
- [9] BOSCAGLI A, SETTE B. Seed germination enhancement in *Satureja montana* L. ssp. *montana* [J]. *Seed Sci Techn*, 2001, 29:347–355.
- [10] ABDUL-BAKI A A, ANDERSON J D. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed [J]. *Crop Sci*, 1973, 13: 222–226.

- [11] LEI N F, SU Z X, CHEN J S, et al. Germination inhibitors in fruit of rare and endangered *Davidia involucrate* [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2003, 9(6): 607–610.
雷泞菲, 苏智先, 陈劲松, 等. 珍稀濒危植物珙桐果实中的萌发抑制物质 [J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(6): 607–610.
- [12] SHI F H, CHEN Y B, SHI J S. Study on germination inhibitor of Nanjing linden seeds [J]. *J Fujian Coll For*, 2007, 27(3): 222–225. doi: 10.3969/j.issn.1001-389X.2007.03.007.
史锋厚, 沈永宝, 施季森. 南京椴种子发芽抑制物研究 [J]. *福建林学院学报*, 2007, 27(3): 222–225. doi: 10.3969/j.issn.1001-389X.2007.03.007.
- [13] ZHAO M, WANG Y, KANG L. Study on activity of inner inhibitory substances of *Acanthopanax senticosus* (Rupr. et Maxim) harms fruits and seeds [J]. *China J Chin Mat Med*, 2001, 26(8): 534–538. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2001.08.008.
赵敏, 王炎, 康莉. 刺五加果实及种子内源萌发抑制物质活性的研究 [J]. *中国中药杂志*, 2001, 26(8): 534–538, doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2001.08.008.
- [14] REN J Y, LIN Y, YUE M. Seed germination characteristics of *Betula albo-sinensis* at mountain taibai, china [J]. *J Plant Ecol*, 2008, 32(4): 883–890. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.04.017.
任坚毅, 林玥, 岳明. 太白山红桦种子的萌发特性 [J]. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 883–890. doi: 10.3773/j.issn.1005-264X.2008.04.017.
- [15] REN Y P, GU S, JIANG S, et al. Influence of light, temperature and salinity on seed germination of *Flaveria bidentis* (Compositae), a new exotic plant [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2008, 30(4): 477–484. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2008.04.015.
任艳萍, 古松, 江莎, 等. 温度、光照和盐分对外来植物黄顶菊种子萌发的影响 [J]. *云南植物研究*, 2008, 30(4): 477–484. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2008.04.015.
- [16] CHEN Z X, ZHENG L, LAN Q Y, et al. Germination characteristics of Menghai Daye tea seeds [J]. *Plant Diver Res*, 2012, 34(1): 63–68. doi: 10.3724/SPJ.1143.2012.11037.
陈志欣, 郑丽, 兰芹英, 等. ‘勐海大叶茶’种子萌发特性 [J]. *植物分类与资源学报*, 2012, 34(1): 63–68. doi: 10.3724/SPJ.1143.2012.11037.
- [17] ZHANG Y X, HU H Y, YANG L J, et al. Seed dispersal and germination of an endangered and rare species *Urophysa rockii* (Ranunculaceae) [J]. *Plant Diver Res*, 2013, 35(3): 303–309. doi: 10.7677/ynzwjy201313036.
张云香, 胡灏禹, 杨丽娟, 等. 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*, 2013, 35(3): 303–309. doi: 10.7677/ynzwjy201313036.
- [18] LI X H, LI Q L, JIANG D M, et al. Germination strategy and ecological adaptability of *Eragrostis pilosa* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(4): 607–610.
李雪华, 李晓兰, 蒋德明, 等. 画眉草种子萌发对策及生态适应性 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(4): 607–610.
- [19] LI K H, HU Y K, ADELI ·MAIDY, et al. Impact of temperature on seed germination of *Pedicularis verticillata* (Scrophulariaceae) [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2006, 28(4): 421–424. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2006.04.015.
李凯辉, 胡玉昆, 阿德力·麦地, 等. 温度对轮叶马先蒿种子发芽的影响 [J]. *云南植物研究*, 2006, 28(4): 421–424. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2006.04.015.
- [20] LI L, ZHANG X M. Effect of temperature and salinity on germination of two *Kalidium* species (Chenopodiaceae) [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 13(3): 317–321. doi: 10.3321/j.issn:1006-687X.2007.03.007.
李利, 张希明. 温度和盐分对两种盐爪爪属植物种子萌发的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(3): 317–321. doi: 10.3321/j.issn:1006-687X.2007.03.007.
- [21] RAICH J W, KHOON G W. Effects of canopy openings on tree seed germination in a Malaysian dipterocarp forest [J]. *J Trop Ecol*, 1990, 6(2): 203–217.
- [22] YAN X F, WANG J L, ZHOU L B. Effects of light intensity on *Quercus liaotungensis* seed germination and seedling growth [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, 22(7): 1682–1688.
闫兴富, 王建礼, 周立彪. 光照对辽东栎种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22(7): 1682–1688.
- [23] HE S Q, WANG F Q. Relationship between the seedling growth of *Quercus liaotungensis* and light [J]. *For Res*, 2001, 14(6): 697–700. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2001.06.018.
贺顺钦, 王发其. 辽东栎苗木早期生长与光的关系 [J]. *林业科学研究*, 2001, 14(6): 697–700. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2001.06.018.
- [24] YAN X F, CAO M. Effects of light intensity on seed germination and seedling early growth of *Shorea wantianshuea* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, 18(1): 23–29.
闫兴富, 曹敏. 不同光照对望天树种子萌发和幼苗早期生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 23–29.
- [25] KUBITZKI K, ZIBURSKI A. Seed dispersal in flood plain forests of Amazonia [J]. *Biotropica*, 1994, 26(1): 30–43. doi: 10.2307/2389108.
- [26] NAVARO L, GUITIÁN J. Seed germination and seedling survival of tow threatened endemic species of the northwest, Iberian Peninsula [J]. *Biol Conserv*, 2003, 109(3): 313–320. doi: 10.1016/S0006-3207(02)00151-9.
- [27] KYEREH B, SWAME M D, THOMPSON J. Effect of light on the

- germination of forest trees in Ghana [J]. *J Ecol*, 1999, 87(5): 772–783. doi: 10.1046/j.1365-2745.1999.00386.x.
- [28] YAN A, WU M J, GAN Y B. Progress on regulatory mechanisms of light and temperature on seed germination [J]. *J Nucl Agri Sci*, 2014, 28(1): 52–59. doi: 10.11869/j.issn.1000-8551.2014.01.0052.
- 颜安, 吴敏洁, 甘银波. 光照和温度调控种子萌发的分子机理研究进展 [J]. *核农学报*, 2014, 28(1): 52–59. doi: 10.11869/j.issn.1000-8551.2014.01.0052.
- [29] RIBBENS E, SILANDER J A Jr, PACALA S W. Seedling recruitment in forests: Calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion [J]. *Ecology*, 1994, 75(6): 1794–1806. doi: 10.2307/1939638.
- [30] WEHNCKE E V, HUBBELL S P, FOSTER R B, et al. Seed dispersal patterns produced by white-faced monkeys: Implications for the dispersal limitation of neotropical tree species [J]. *J Ecol* 2003, 91(4): 677–685. doi: 10.1046/j.1365-2745.2003.00798.x.
- [31] HOWE H F, SMALLWOOD J. Ecology of seed dispersal [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1982, 13: 201–228. doi: 10.1146/annurev.es.13.110182.001221.
- [32] VENABLE D L, BROWN J S. The population-dynamic functions of seed dispersal [J]. *Vegetatio*, 1993, 107–108(1): 31–55. doi: 10.1007/BF00052210.
- [33] BARKER H G. The evolution of weeds [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1974, 5: 1–24. doi: 10.1146/annurev.es.05.110174.000245.
- [34] HUGHES L, WESTOBY M. Fate of seeds adapted for dispersal by ants in Australian sclerophyll vegetation [J]. *Ecology*, 1992, 73(4): 1285–1299. doi: 10.2307/1940676.
- [35] PONS T L. Seed responses to light [M]// FENNER M. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 2000: 237–260.
- [36] LI Y D. Biodiversity of tropical forest and its protection strategies in Hainan Island, China [J]. *For Res*, 1995, 8(4): 455–461.
- 李意德. 海南岛热带森林的变迁及生物多样性的保护对策 [J]. *林业科学研究*, 1995, 8(4): 455–461.