

河岸带植物中华蚊母树种子休眠机制及生态适应性

李晓玲^{1,2,*}, 程岁寒^{1,2}, 栾春艳^{1,2}, 杨进^{1,2}, 温浩然^{1,2}, 黄应平^{1,2}, 黄成名³

¹三峡大学生物与制药学院, 湖北宜昌443002; ²三峡库区生态环境教育部工程研究中心(三峡大学), 湖北宜昌443002; ³三峡植物园, 湖北宜昌443111

摘要: 为探索中华蚊母树种子的休眠特性、破除休眠方法及其生态适应性, 对中华蚊母树新鲜种子的生活力、休眠率、萌发率、离体胚培养、种皮障碍、种皮萌发抑制物及破眠方法进行了研究。结果表明, 中华蚊母树新鲜种子的萌发率和生活力分别为24.99%~43.16%和71.10%~78.67%, 休眠率则为37.01%~53.67%, 表明中华蚊母树种子具有部分休眠特性且休眠具有可塑性。种胚休眠测定结果显示, 中华蚊母树种胚在形态上是发育完全的, 外源GA₃可有效提高种子的萌发率。中华蚊母树种子硬实, 种子含水量为10.31%, 吸水率为20.94%, 坚硬种皮对吸水有一定的阻碍作用。H₂O₂处理种子, 可轻度腐蚀种皮, 增强种皮的透气性。种皮内源抑制物生物学测定显示中华蚊母树种子种皮不存在内源抑制物。周期性光照结合20°C/15°C变温条件和300 mg·mL⁻¹的GA₃溶液浸泡可提高种子萌发率, 分别为43.33%和53.34%。本研究首次阐明了中华蚊母树种子休眠的主要原因为种皮存在一定的机械障碍、种皮对种胚的机械束缚作用和种皮部分透水、透气性障碍以及一定的内源激素的缺乏引起, 属于综合浅休眠类型。

关键词: 中华蚊母树; 休眠机理; 种子萌发; 内源抑制物; 生态适应性

种子休眠(seed dormancy)是指在适宜的萌发条件下, 有生活力的种子仍不能萌发的特性(Finch-Savage和Leubner-Metzger 2006)。种子休眠是避免种子在不利环境下或之前萌发的一种适应策略, 是调节种子萌发最佳时间以及植株空间分布的一种机制(Finch-Savage和Leubner-Metzger 2006; Baskin和Baskin 1998)。根据Baskin将种子休眠分为5种类型(Baskin和Baskin 2004): (1)生理休眠, 由种胚的生理抑制作用所引起的休眠; (2)形态休眠, 种子脱落时, 由于种胚细胞尚未分化或种胚尚未发育完全而不能萌发, 这种休眠类型的种子在萌发前通常需要一段时间的后熟; (3)形态生理休眠, 有些种子同时具有形态与生理的双重性休眠, 一般见于具有线形胚与未发育胚的种子; (4)物理休眠, 由于种皮或果皮不透水从而抑制种子萌发所引起的休眠, 具有该类型休眠的种子只要破除种皮或果皮对水分的阻碍作用即可萌发; (5)综合休眠, 具有物理性与生理性两重休眠形式。

三峡大坝于2010年在175 m蓄水成功后, 在水库两岸海拔145~175 m之间形成落差高达30 m的消落带, 原来的陆生生态系统演变为季节性湿地生态系统。生长环境的巨大变化和反季节水淹的频繁干扰导致原有的大部分植物种类因不适应而逐渐消亡(卢志军等2010; 樊大勇等2015)。三峡水库消落带将面临生物多样性减少、污染加剧及生态系统更为脆弱等问题。因此, 三峡水库消落带植被的恢复重建对维持三峡库区生态环境的稳定

具有十分重要的意义。目前对消落带植被的研究主要集中在植物的水淹耐受机理、耐受水淹植物的筛选及植物的群落学特征等方面(樊大勇等2015; 罗芳丽等2006; 王海锋等2008; 马利民2009), 对水库消落区植物的种子萌发及其水淹耐受性也进行了少量研究(李连发等2010; 陶敏等2011; 申建红等2011)。在国外, 尤其是在澳洲、北欧、中欧及地中海流域, 对这种季节性水淹湿地生态环境下短暂湿地植被(ephemeral wetland vegetation)种子的休眠和萌发进行了研究, 结果发现不同物种间种子休眠模式不一样, 许多类群的种子基于变温和恒温的敏感性以及一部分种子的条件休眠特性, 表现较高程度的萌发可塑性, 这与植物所占据的短暂更新生态位(regeneration niche)是相适应的(Baskin等2013; Tuckett等2010; Carta等2013; 唐安军2014)。以上这些研究均是基于一年生植物种子的休眠与萌发, 但较少见季节性湿地植物小灌木种子的休眠与萌发的研究。

中华蚊母树(*Distylium chinense*)是金缕梅科(Hamamelidaceae)蚊母树属多年生常绿河岸带小灌木(Zhang等2003), 是三峡库区河岸带固土护岸的良好树种, 同时也是上好的盆景树种(谢春花等2012)。野生的中华蚊母树除了贵州茂兰(刘济明

收稿 2016-04-14 修定 2016-07-09

资助 国家自然科学基金(51209122)和三峡大学研究生科研创新基金(2015CX154)。

* 通讯作者(E-mail: lixiaolinggz@126.com)。

等2001)有少量分布外,主要自然分布于乌江流域及长江三峡库区湖北区域(宜昌、巴东、秭归、长阳)和重庆区域(巫山、黔江、酉阳、丰都、武隆、江津)长江三峡两岸海拔200 m以下干流消落带中上部一带,平均高0.8~1.2 m(谢春花等2012)。随着水电工程的兴建,乌江流域和长江流域大部分野生中华蚊母树群落伴随着原有消落带的消失,其原生境也被淹没,再加上人类的过度采伐,导致野生资源数量和遗传多样性遭到破坏,大面积的中华蚊母树已经很少见,现存的中华蚊母树仅零星分布在乌江及长江两岸的河谷及溪流两侧(谢春花等2012)。因此对其研究及保护具有重要科学意义。Li等(2011, 2012)和刘泽彬等(2014)从形态变化、光合作用及水淹后恢复动力学等方面对中华蚊母树水淹耐受的适应机制进行了研究,结果表明中华蚊母树是一个水淹耐受性比较强的灌木树种,在三峡库区消落带植被的恢复重建中可被优先考虑。但中华蚊母树种子在自然条件下发芽率较低,甚至休眠暂不萌发。由此本实验拟从内源和外源两方面研究中华蚊母树种子的休眠特性并探索中华蚊母树种子促萌措施和打破中华蚊母树种子休眠的最佳方法,综合分析中华蚊母树种子萌发困难的原因所在及休眠的生态适应机制,为中华蚊母树用于三峡库区新消落带植被的恢复重建提供科学依据。

材料与方法

1 实验材料

2011~2013年连续3年于9月采集湖北宜昌夷陵区古龙溪(30°52'N 111°23'E)地区的中华蚊母树(*Distylium chinense* Diels.)成熟期果实,置干燥通风处,5~6 d后果皮自然裂开种子散落,清理后将种子室温暗处储存1周后用于调查中华蚊母树新鲜种子的生活力、萌发率和休眠率。储存2013年采集的种子(9月20日采集,处理方法同上)用于休眠原因研究及其他实验。

2 实验方法

2.1 中华蚊母树新鲜种子的生活力、萌发率和休眠率的调查

2.1.1 种子的生活力测定

采用TTC法(徐运娟等2011),加以适当改良,

在25°C条件下浸种24 h后将种子沿纵向切开2半,将其中一半置于培养皿中,加入适量的0.1% TTC溶液于30°C黑暗条件下显色24 h,凡胚染为红色的即为有生活力的种子,统计显色结果,试验重复3次,每次50粒种子。种子生活力(%)=被TTC染上红色的种子数/试验用种子数×100

2.1.2 种子的灭菌

新鲜种子经过75%酒精消毒30 s,用无菌水冲洗3次,再用0.1%的升汞杀菌10 min,用无菌水冲洗3~6次后进行萌发实验。

2.1.3 新鲜种子的萌发率、休眠率的测定

将种子摆入玻璃培养皿($\Phi=9$ cm),内垫2张用无菌蒸馏水湿润过的滤纸,种子置床后立即加皿盖,置于周期性光照(昼夜:16 h/8 h,光照强度为 $22.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)下20°C/15°C变温进行萌发。每皿50粒,3次重复,每天统计种子萌发数,种子的萌发以长出的胚根长1.5 cm为标志,持续观察30 d结束萌发实验。种子萌发率(%)=萌发种子数/试验用种子数×100;种子休眠率(%)=(被TTC染上红色种子数-萌发种子数)/试验用种子数×100。

2.2 种胚休眠测定

2.2.1 离体胚培养

参考沈海龙等(2006)的方法,在无菌室的超净工作台上,先将浸泡好的种子进行消毒,用0.1%升汞消毒6.5 h后,无菌水洗3~4次备用。接种前将种子先用70%酒精消毒30 s,用无菌水冲洗3~4次。然后用0.1%的升汞溶液(加入3滴吐温-20)消毒10 min,最后用无菌水冲洗3~4次。在无菌条件下按试验要求制备带不同种皮结构的外植体材料,包括完整种子、去掉部分种皮的种子、完全去除种皮的种子、只有种仁的种子置于空白的琼脂培养基上,每个培养基上放置10粒种子,5次重复。

2.2.2 外源赤霉素(GA₃)对中华蚊母树去种皮种子的影响

取水浸20 h的中华蚊母树种子,消毒方法同2.2.1节,消毒后剥掉一半种皮,分别接种到含有5、10和15 mg·L⁻¹ GA₃的琼脂培养基上,每个培养基上接种10粒,每处理5次重复。所有培养物置于植物组织培养室[温度为(25±2)°C、光照时间为16 h·d⁻¹,光照强度18.75~22.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]进行培养。

接种后定期观察其萌发率和生长情况, 每天统计种子萌发数, 种子的萌发以长出的胚根长1.5 cm为标志, 持续观察30 d结束萌发实验。

2.3 种皮障碍研究

2.3.1 种皮结构观察

将发育良好的中华蚊母树种子分为2组, 一组种子去掉外种皮, 另一组种子置于解剖镜下纵切。2组种子均用浓度为4%、pH 6.8的戊二醛固定24 h, 再用pH 6.8的磷酸缓冲液冲洗3~4次, 每次10 min。依次用30%、50%、70%、90%及100%乙醇对种子进行脱水处理, 每次4 h。然后用二氧化碳临界点干燥仪干燥, 最后粘台、喷金, 扫描电镜(XL30, Philips, 荷兰)观察拍照。

2.3.2 种皮吸水性研究

参考李兵兵等(2013)的方法, 用万分之一电子天平精确称取中华蚊母树种子5 g, 将其放入蒸馏水中浸种, 置于25°C条件下吸胀, 每隔4 h取出种子, 擦干后准确称重, 实验设5个重复, 计算种子含水率的平均值, 并绘制种子吸水曲线。种子吸水率(%)=(吸水后种子质量-吸水前种子质量)/吸水前种子质量×100。

2.3.3 种皮破除对种子萌发的影响

取中华蚊母树种子, 用3%、6%、9%、12%和15%的双氧水(H₂O₂)浸泡种子24 h, 使种皮受到轻度腐蚀, 用清水冲洗后进行种子萌发试验, 对照为蒸馏水浸种24 h。

2.4 种壳萌发抑制物研究-生物测定法

2.4.1 种壳甲醇浸提液的提取

参考张侠等(2014)的方法, 将中华蚊母树种子解剖分离, 取种壳放入研钵, 加入液氮将种壳研磨成粉状。称取5 g种壳粉末置于锥形瓶中, 加入50 mL 80%的甲醇, 用保鲜膜封口, 放置于4°C冰箱浸提48 h, 每隔一定时间震荡一次, 浸提结束后取出过滤, 即得到种壳的甲醇浸提液。

2.4.2 种壳甲醇浸提液对白菜种子萌发的影响

将甲醇浸提液分别稀释为原浸提液浓度的10%、20%、30%和40%, 同时取50 mL 80%的甲醇溶液作为原液, 分别稀释成以上浓度, 作为对照组所用溶液。用上述不同浓度的种壳甲醇浸提液和甲醇稀释溶液分别浸泡白菜种子, 蒸馏水浸种作为对照组, 每个处理设3个重复, 每个重复50粒, 浸种4 h后, 将浸泡的白菜种子在25°C条件下, 于铺

有滤纸的培养皿中进行白菜籽发芽实验, 48 h后统计白菜籽的发芽率(以露出子叶为发芽的标准)。

2.5 种子休眠破除方法的研究

2.5.1 不同光照和温度对种子萌发的影响

实验于2013年10月在人工光照培养箱(LRH-250-G型)中进行, 光照设置为周期性光照(昼夜16 h/8 h, 光照强度为22.5 μmol·m⁻²·s⁻¹)和全黑暗(光照为0), 全黑暗条件下设置5个萌发温度: 10、15、20、25和30°C, 周期性光照条件下设置6种变温(昼/夜)培养: 15°C/10°C、20°C/10°C、20°C/15°C、25°C/10°C、25°C/15°C和30°C/15°C。全黑暗用2层黑布盖住培养皿, 使其保持24 h持续黑暗, 相对湿度控制在75%~80%。

2.5.2 化学方法对破除种子休眠及萌发的影响

将消毒过的种子进行如下处理: (1)氢氧化钠(NaOH)溶液浓度为10%、20%、30%、40%和50%, 浸泡腐蚀种子90 min (何学青等2010); (2)硫酸(H₂SO₄)溶液浓度为30%、50%、70%、90%和98%, 浸泡腐蚀种子30 min (何学青等2010); (3)赤霉素(GA₃)溶液浓度为100、300、500、700和1 000 mg·mL⁻¹, 浸泡种子24 h (屈燕等2014)。以上处理后彻底冲洗干净, 以不做任何处理的种子作为对照, 进行种子萌发试验(同2.1节)。

2.6 统计分析

分别采用Excel 2010和SPSS 17.0分析软件对数据进行统计分析和图表绘制。不同光照和温度对种子萌发的影响采用双因素方差分析(two-way ANOVA)。同一处理不同浓度对种子萌发的影响及不同年份间的种子生活力、萌发率和休眠率均采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和Duncan's multiple range test进行多重比较。

实验结果

1 不同年份的中华蚊母树种子生活力、萌发率和休眠率

表1为2011~2013年间中华蚊母树新鲜种子生活力、萌发率和休眠率。连续3年种子生活力均较高, 均达到78%以上, 差异不显著。而不同年份种子萌发率和种子休眠率差异显著($P<0.05$), 变化范围较广24.99%~43.61%; 相应的休眠率的变化范围也较宽37.01%~53.67%。表明种子萌发和休眠具有较大的可塑性。

表1 不同年份中华蚊母树种子生活力、萌发率及休眠率
Table 1 Seed viability, germination, and dormancy percentage of *D. chinense* in different years

年份	种子生活力/%	种子萌发率/%	种子休眠率/%
2011	78.10±1.15 ^a	43.16±0.44 ^a	37.01±0.63 ^c
2012	78.33±0.88 ^a	35.74±0.35 ^b	42.59±0.58 ^b
2013	78.67±0.33 ^a	24.99±0.32 ^c	53.67±0.01 ^a

表中同一列的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2 中华蚊母树种胚休眠测定研究

2.1 离体胚培养

如图1所示,种皮保留程度不同的种子的生长状况有明显的差异。其中,完全去掉种皮的种子,萌发率最高为90.76% ($P<0.05$),幼苗的生长状况也最好(图1-C)。保留完整种皮的种子,在琼脂培养基中生长较缓慢,而且萌发率不高,仅为25.46%

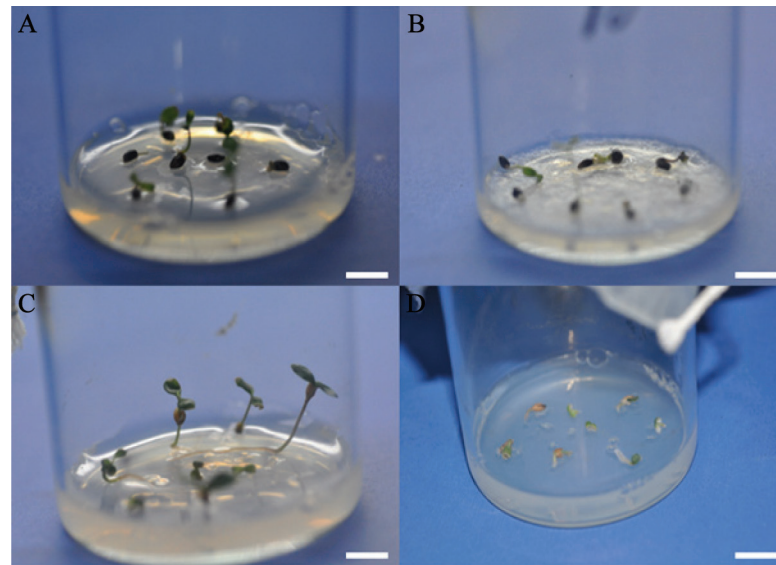


图1 中华蚊母树种子离体培养

Fig.1 *In vitro* seeds culture of *D. chinense*

A: 完整种子; B: 切掉部分种皮种子; C: 完全去掉种皮的种子; D: 只有种仁的种子(标尺=1.33 cm)。

(图1-A); 切掉部分种皮的种子,生长状况较完整种子好,萌发率也有一定程度的增加,为31.33% (图1-B); 只保留种仁的种子,萌发率最低为11.30%,在实验前期子叶张开,变绿,胚根也一定程度的生长,但是从整体来看种子生长极缓慢,随着时间的延长并未见明显生长(图1-D)。结果表明种胚结构发育完全,基本无休眠现象。

2.2 外源GA₃对种胚的影响

由图2可见,在不加GA₃的培养基中,去种皮种子的萌发率为49.67%,幼苗生长缓慢。不同浓度GA₃对中华蚊母树带外种皮胚萌发的影响差异显著,其中含赤霉素10 mg·mL⁻¹的琼脂培养基处理条件下种子萌发率达到88.33% ($P<0.05$),种子出苗率最大幼苗生长速度最快,且幼苗长势明显优于其他3组。

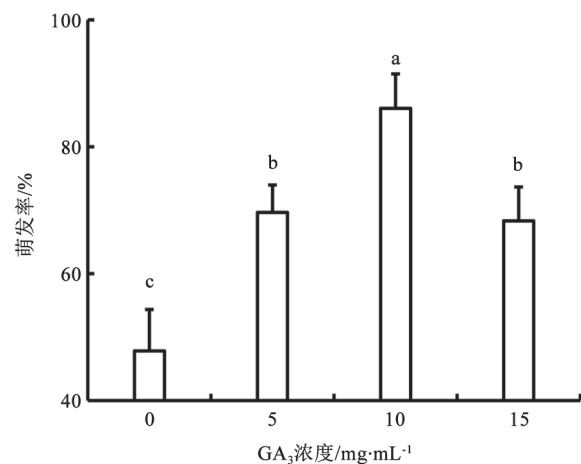


图2 不同浓度赤霉素对种胚萌发率的影响

Fig.2 Effect of different concentration of GA₃ on the embryo germination percentage of *D. chinense*

图中不同小写字母表示表示差异显著($P<0.05$)。

3 中华蚊母树的种皮障碍

3.1 种皮结构扫描电镜观察

通过对中华蚊母树种子的外部结构进行扫描电镜观察,发现中华蚊母树种子种皮几乎都是光滑且有光泽的,种皮由外种皮和内种皮有两部分组成,外种皮表面具有致密的条纹,厚且坚硬,由角质层和栅栏层紧密排列(图3-A、B、C、G、

H、I),这种紧密的排列可能会对种子的透性造成一定的阻碍。外种皮主要由厚壁细胞组成,细胞排列紧密,细胞间仅留下很小的细胞腔,具网状纹饰,这层的厚度几乎占了种皮的大半;内种皮较薄,也具网状纹饰,网眼较大,由紧密的薄壁细胞组成(图3-D、E、F、G、H、I)。种子的顶部和基部组织结构并没有较大区别,且未发现种孔(图3-B、C)。

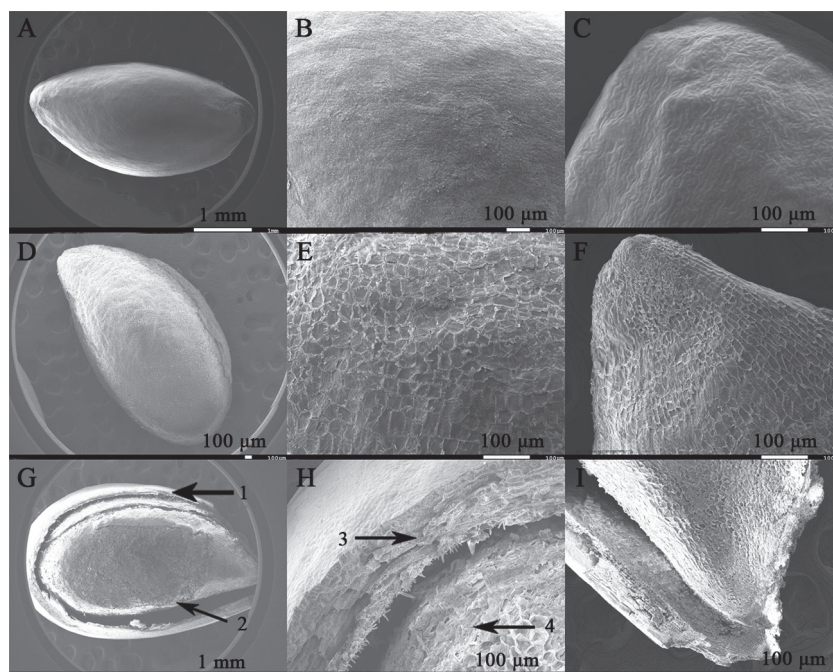


图3 中华蚊母树种子的种皮扫描电镜结构

Fig.3 Seed structure of *D. chinense* with scanning electron microscopy (SEM)

A: 种子外种皮全图; B: 种子外种皮基部; C: 种子外种皮顶部; D: 去掉外种皮的种子; E: 去掉外种皮的种子基部; F: 去掉外种皮的种子顶部; G: 种子纵切面全图; H: 种子纵切面基部; I: 种子纵切面顶部; 1、3: 外种皮; 2、4: 内种皮。

3.2 中华蚊母树的种子吸水性

随着吸水时间的延长,中华蚊母树种子的吸水率先增加后趋于平稳,最后达到饱和(图4)。在吸水的前22 h,种子吸水率变化较大,其中16~22 h为种子吸水快速期,吸水率几乎呈直线上升,当吸水22 h时吸水率达19.39%。随着吸水时间的延长,种子吸水率的增幅逐渐减小,吸水34 h后,吸水率逐渐趋于平稳,70 h时吸水趋向饱和状态,吸水率为20.94%,此后随着吸水时间的延长吸水率并没有变化。可见,中华蚊母树种子吸水较慢,吸水率较低,表明种皮存在一定的透水障碍。

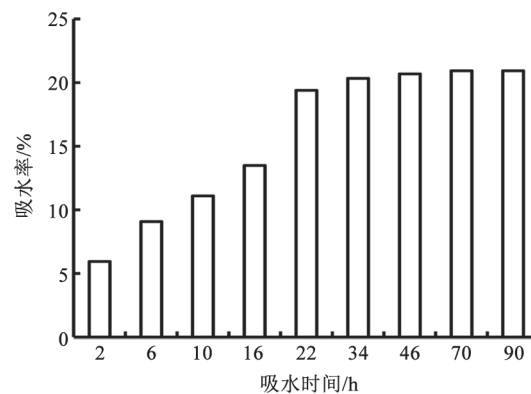


图4 中华蚊母树种子吸水曲线

Fig.4 Imbibition curve of *D. chinense* seed

3.3 种皮破除对种子萌发的影响

不同浓度 H_2O_2 浸泡种子,其萌发率与空白对照的萌发率(20.08%)相比,有不同程度的提高,其中以3% H_2O_2 浸泡种子的萌发率最高,为30.00% ($P<0.05$),随着 H_2O_2 浓度的增大,种子萌发率逐渐减小(图5)。因为用 H_2O_2 处理种子,可使种皮受到轻度腐蚀,增强种皮的透气性。结果表明,种皮存在一定的透气障碍。

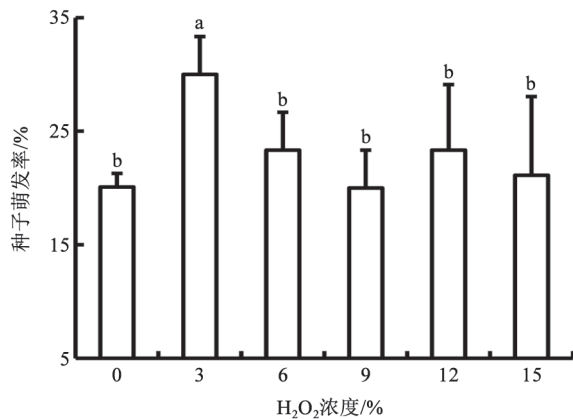


图5 不同 H_2O_2 浓度对种子萌发的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of H_2O_2 on the seed germination

图中不同小写字母表示表示差异显著($P<0.05$)。

3.4 中华蚊母树的种壳甲醇浸提液作用

如图6所示,随着浸提物和甲醇浓度的增大,白菜种子的萌发率显著下降。经10%浸提物和10%甲醇浸泡的白菜种子萌发率达到99.33%、98.66%,且萌发的幼苗长势良好。经20%浸提物和20%甲醇处理的白菜种子的萌发率都明显下降,分别为88.00%、42.00%,且萌发起始时间延迟1 d,20%浸提物浸泡的种子萌发率比20%甲醇处理的种子萌发率高46%,长势也更好。当浸提物和甲醇浓度提高到30%和40%时,白菜种子萌发率趋于0,且白菜种子的种皮颜色较实验之前变化明显,颜色由浅褐色变为深褐色。结果表明,中华蚊母树种子种皮不存在内源抑制物。

4 中华蚊母树的种子休眠破除方法

4.1 不同光照和温度处理对种子萌发的影响

从图7可知,周期性光照和全黑暗结合和变温和恒温培养条件对种子萌发的影响差异显著($P<0.05$)。在全黑暗结合恒温培养条件下,随温度升

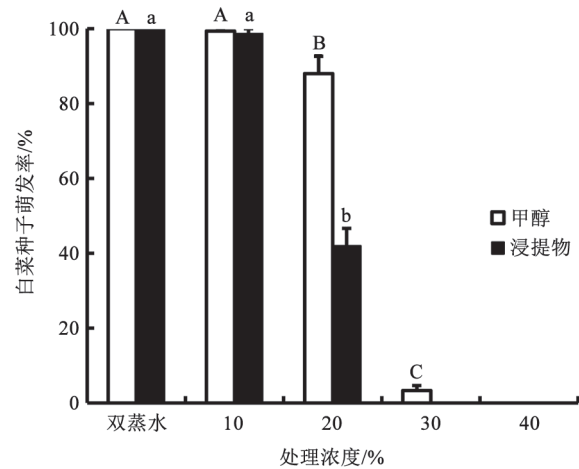


图6 种壳甲醇浸提物对白菜种子萌发率的影响

Fig.6 Effects of methanol extraction from seed hull on seed germination percentage of Chinese cabbage

图中不同大写字母表示不同浓度甲醇处理之间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示不同浓度浸提液处理之间差异显著($P<0.05$)。

高,萌发率增加;温度继续增加,则萌发率反而下降,其中在20°C恒温条件下萌发率最高,为34.00%,最低为10°C下,萌发率为9.00%。在周期性光照条件下,在20°C/10°C~25°C/15°C变温条件下种子萌发率较高,20°C/15°C变温条件下萌发率最高,为43.33%,最低在30°C/15°C变温下,萌发率为12.33%。双因素方差分析结果显示,光照、温度、光照×温度对种子萌发率的影响差异极显著($P<0.01$)。由此可知,种子在周期性光照条件下的萌发率高于全黑暗条件下,变温培养条件下高于恒温条件,且周期性光照条件结合变温条件下萌发率进一步提高,表明适当的光照条件结合变温培养有利于中华蚊母树种子的萌发。

4.2 不同化学试剂对种子萌发的影响

如图8所示,不同浓度NaOH溶液浸泡种子,种子萌发率差异不显著,50% NaOH浸泡过的种子萌发率略有提高达到27.78%,而经低浓度NaOH浸泡的种子萌发率比对照组还低,只有18.89%;经不同浓度 H_2SO_4 浸泡的种子其萌发率随着 H_2SO_4 浓度的增大出现先增大后减小的趋势,在 H_2SO_4 浓度为70%时种子萌发率达到最大为55.56% ($P<0.01$);经不同浓度赤霉素浸泡的种子其萌发率随着赤霉素浓度的增大也出现先增大后减小的趋势,在赤霉素浓度为300 $mg \cdot mL^{-1}$ 时种子萌发率达到最大为

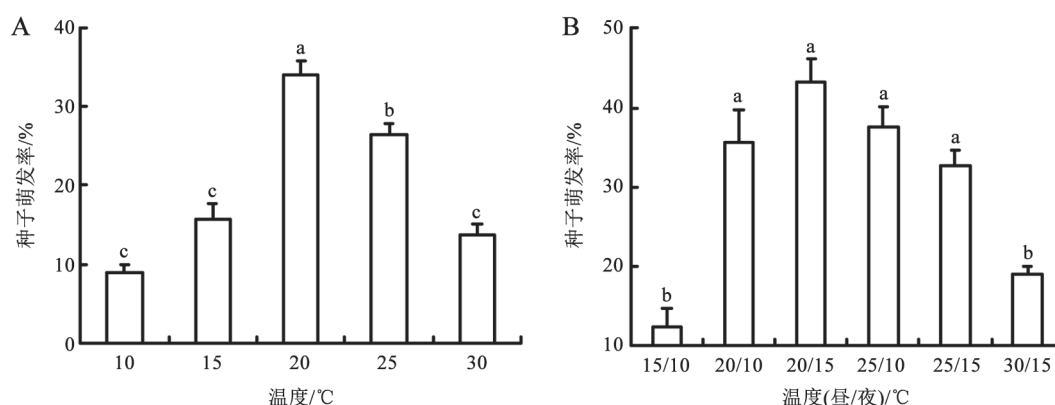


图7 光照和温度对种子萌发的影响

Fig.7 Effects of light and temperature on the seed germination

A: 全黑暗结合恒温培养; B: 周期性光照结合变温培养。图中不同小写字母表示表示差异显著($P < 0.05$)。

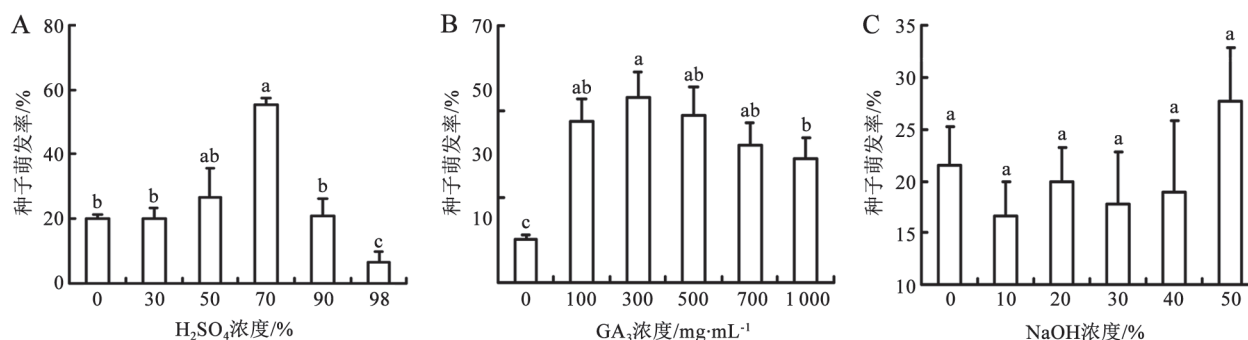


图8 不同化学溶液处理对种子萌发的影响

Fig.8 Effects of different chemical reagent treatments on the seed germination

A: H₂SO₄溶液; B: GA₃溶液; C: NaOH溶液。图中不同小写字母表示表示差异显著($P < 0.05$)。

53.34% ($P < 0.01$), 不同浓度的赤霉素浸泡对中华蚊母树种子的萌发率都有较大提高, 萌发率均达到40%以上。

讨 论

1 中华蚊母树种子休眠属性及机理

硬实种子, 又称为硬实、硬粒种子(hardseed), 是由于种皮(有时也包括果皮)坚硬而很难进行吸胀萌发的种子(杨期和等2006; Wang等2007)。大多数湿地植物种子的物理休眠是由于种皮和稃阻碍了水分渗入引起的(刘贵华等2005)。中华蚊母树种子为硬实种子, 种子外种皮非常坚硬, 主要是由光滑且厚的角质层和栅栏组织构成, 内种皮则由排列紧密的薄壁细胞组成(图3), 种子表皮凹孔不明显或消失, 均导致水分难以渗入。实验发现, 中华蚊母树种子含水量仅为10.31%, 吸水速度很慢,

种子吸水达到饱和状态所需要的时间较长(70 h), 总的吸水率仅为20.94%(图4)。从中华蚊母树种子自身的含水率和吸水性能来看, 中华蚊母树种子的萌发可能会受到含水量较少的影响, 从而导致相关物质的代谢过程缓慢, 进而影响种子的萌发, 而这些又与其坚硬的外种皮结构具有紧密联系, 这种结构对中华蚊母树种子抵御严寒和外界不良条件的破坏有一定的保护作用, 但同时也使种子的胚和胚乳难以获得足够的水分和氧气, 并对胚根和胚芽冲破种皮造成机械阻力, 阻碍种子的萌发。

离体胚培养和外源GA₃对胚的影响实验表明(图1), 中华蚊母树种胚在形态上是发育完全的, 其本身基本无休眠现象, 当满足萌发条件时即可萌发; 种壳是导致种子处于休眠状态而不能萌发的主要原因之一; 仅有种仁时萌发状态差, 表明种皮

可能还有萌发所需的某种激素。中华蚊母树种子的外种皮虽然会对种子萌发造成一定的阻碍,但其对种仁也具有一定的保护作用,饱满的内种皮较外种皮软,可能含有一定的营养物质和激素供种子萌发,当彻底去除种皮只剩种仁时种子萌发和长势差可能是因为缺少萌发所需的营养物质和激素。 GA_3 是一类植物激素,主要用于促进种子萌发,当 GA_3 浓度适量时对中华蚊母树种子的作用表现为促进,随着 GA_3 浓度的不断增大,促进作用逐渐转化为抑制作用。在中华蚊母树种子中萌发所需的激素可能不足,萌发过程中加入一定量的 GA_3 可以适当提高种子的萌发率,促进细胞分裂和生长。因此,我们推测中华蚊母树种胚基本不存在休眠,种子的休眠主要是由于种壳存在一定的机械障碍、硬实种皮对种胚的机械束缚作用和部分透水、透气性障碍以及一定的内源激素的缺乏引起,属于综合浅休眠类型。

在本研究中,根据中华蚊母树种子休眠的原因,要打破中华蚊母树种子的休眠可以采用破坏种皮和激素浸泡的方法以促进种子的萌发。其中以70% H_2SO_4 溶液的作用效果最为明显。种子的种皮遭到破坏时,种子的透性就会增加,有利于种子吸水,又可以减轻种胚突破种皮时的机械阻力。用不同浓度的 GA_3 溶液处理种子也对种子的萌发具有促进作用,其中以 $300\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度的溶液效果最佳,可以有效提高中华蚊母树种子的萌发率,打破其休眠。

2 中华蚊母树种子休眠的生态适应性意义

三峡工程建成后形成垂直落差达30 m的消落带,水库蓄水运行后,消落带由原来的陆生生态系统演变为季节性湿地生态系统。生长环境的巨大变化和反季节水淹的频繁干扰将导致消落带原有的植被种类因不适应而逐渐消亡。种子作为植物的一种繁殖体,是植物生活史周期中最能忍受不利环境的阶段,湿地植物种子一般采用休眠的形式来度过不利环境的干扰,保存种子的活力,通过萌发时间的选择达到躲避洪水的目的,更利于物种的延续(Anderson和Milberg 1998)。在本研究中,连续3年(2011~2013年)对中华蚊母树种子休眠进行调查,结果(表1)发现不同年份由于光照水热条件不一样,种子休眠的程度不一样,即中华蚊母树

种子具有休眠可塑性。水库消落带这种季节性湿地生态系统,由于环境影响因素的不确定性,如洪水、持续干旱、不同的温度和光照条件等,引起种子休眠和萌发的可塑性特征。

Cohen认为,种子这种内在的休眠机制是抵御环境不稳定性的一种有益适应机制,因此这种脆弱的生态栖息地可作为温度和光照对种子萌发影响的模式系统之一(Carta等2013; Cohen 1996)。温度强烈影响种子的萌发率,适宜的温度促进种子的萌发和幼苗的生长(鱼小军等2006)。国外学者van der Valk和Davis (1994)在对普列利湿地的研究中发现,*Scirpus fluviatilis*的种子必须在低温状态与水中储存1年以上后再置于高温($30\sim 32^\circ\text{C}$)和强光下才能萌发。在自然条件下,昼夜存在变温,而且变温更有利于某些种子的萌发(Carta等2013; 鱼小军等2004; Gulzar等2001)。在本研究中,中华蚊母树种子在 $20^\circ\text{C}/10^\circ\text{C}\sim 25^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}$ 变温条件下萌发率较高,且所有变温处理下的萌发率都高于恒温处理下的萌发率(图7)。关于变温能促进种子萌发的原因,一方面认为变温能促进酶的活性,有利于促进储藏物质转化,促进种皮发生机械变化而利于透气和透水,从而打破休眠促进萌发(鱼小军等2006);另一方面,在季节性湿地生态系统中,土壤表层温度变化较为剧烈,变温的促进效果可以看做是植被覆盖在土壤完全水淹条件间隙下的一种审查机制(censoring mechanism) (Thompson等1983; Probert 2000; Pons 2000)。Thompson和Grime (1983)的研究发现,对季节性湿地生态系统的物种来说种子的萌发对变温的需要是经常发生的。在三峡库区消落区这种季节性湿地,种子如果要想在瞬息万变的自然生境中萌发,最容易满足的温度条件是变温,而表层土壤温度受外界环境条件的变化的影响较为敏感,容易满足种子萌发对变温的要求,变温条件下更接近自然条件下的温度,所以更利于中华蚊母树种子的萌发。种子萌发对光照的需求通常与种子接近土壤表面是相关联的,而且是大部分湿地植物的共同特征(Thompson和Grime 1983; Probert 2000)。Wei (2010)研究发现山地河岸植物领春木(*Euptelea pleiospermum*)种子在黑暗/光照交替条件下比黑暗条件下萌发率高。本实验结果同样表明适当的光照有利于中华蚊母树

种子萌发,特别是与变温处理结合培养,这与大部分湿地植物种子的行为是一致的(Baskin和Baskin 1998; Carta等2013)。由此可见,中华蚊母树种子萌发和出苗对温度和光照的响应,也可能是中华蚊母树种子对季节性湿地系统复杂多变的生境条件下的一种生态适应性。

很多湿地植物可通过改变生命周期的长短来避免洪水的直接伤害。即在洪水到来前就已完成了—个生命周期,以种子的形式存活在土壤中以躲避洪水的干扰。在外界环境条件适宜的情况下可迅速萌发(Karrenberg等2002),如莎草科的*Carex rubrum* (van der Sman等1992)。而像蓼科的*Rumex palustris*等一些植物,甚至可改变生命循环中的某个过程,如推迟开花和结实时间达到避开洪水的目的(Blom等1994)。中华蚊母树的生活史与三峡库区“冬蓄夏排”的运行节律一致,种子在每年9~10月蓄水前成熟炸裂落地,泥沙杂草掩埋散布距离较近,种子以休眠或降低萌发的方式来避免个体或同胞竞争以及各种有害因素,以获得最大的生态利益并确保物种延续(武高林和杜国祯2008)。在三峡库区恶劣的条件下,中华蚊母树种子暂不萌发进入休眠状态,而且这种休眠在不同的环境条件下具有休眠可塑性,这种休眠适应机制在一定程度上避免了水淹胁迫等不利条件对种子的伤害甚至致死作用;而在翌年4~5月份水库退水后提供了种子萌发所需的适宜的温度、湿度、氧气和光照条件,种子顺利萌发,幼苗正常生长,顺利完成生活史。中华蚊母树种子休眠可能具有以下几方面的生态适应性:(1)种子的休眠可塑性可确保中华蚊母树在季节性湿地多变环境下以种子库的形式进行物种保存;(2)防止种子同时大量萌发以免幼苗与母株或幼苗与幼苗在之间的竞争;(3)作为对环境不适合幼苗建成时的一种生存适应;(4)使种子在合适的时间与地点萌发,提高幼苗定居的机会;(5)成为遗传下来的许多生命周期特征之一,从而使中华蚊母树在季节性湿地生境中的适合度达到最大。

参考文献

Anderson L, Milberg P (1998). Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Sci Res*, 8: 29–38

- Baskin CC (2003). Breaking physical dormancy in seeds—focussing on the lens. *New Phytol*, 158: 227–238
- Baskin CC, Baskin JM (1998). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego: Academic Press
- Baskin CC, Baskin JM, Gehan J, Wijetungaa A (2013). Seed dormancy and storage behaviour in tropical Fabaceae: a study of 100 species from Sri Lanka. *Seed Sci Res*, 23: 257–269
- Baskin JM, Baskin CC (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Sci Res*, 14: 1–16
- Blom CWPM, Voosenek LACJ, Banga M, Engelaar WMHG, Rijnders JHGM, Van De Steeg HM, Visser EJW (1994). Physiological ecology of riverside species: adaptive responses of plants to submergence. *Ann Bot*, 74: 253–263
- Carta A, Bedini G, Müller JV, Probert RJ (2013). Comparative seed dormancy and germination of eight annual species of ephemeral wetland vegetation in a Mediterranean climate. *Plant Ecol*, 214: 339–349
- Cohen D (1966). Optimizing reproduction in a randomly varying environment. *J Theor Biol*, 12: 119–129
- Du GL, Du GZ (2008). Relationships between seed size and seedling growth strategy of herbaceous plant: a review. *Chin Appl Ecol*, 19 (1): 191–197 (in Chinese with English abstract) [武高林, 杜国祯(2008). 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展. *应用生态学报*, 19 (1): 191–197]
- Fan DY, Xiong GM, Zhang AY, Liu X, Xie ZQ, Li ZJ (2015). Effect of water-level regulation on species selection for ecological restoration practice in the water-level fluctuation zone of Three Gorges Reservoir. *J Plant Ecol*, 39 (4): 416–432 (in Chinese English abstract) [樊大勇, 熊高明, 张爱英, 刘曦, 谢宗强, 李兆佳 (2015). 三峡库区水位调度对消落带生态修复中物种筛选实践的影响. *植物生态学报*, 39: 416–432]
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytol*, 171: 501–523
- Gulzar S, Khan MA (2001). Seed germination of a halopytic grass *Aeluropus Lagopoides*. *Ann Bot*, 87: 319–324
- He XQ, Hu XW, Wang YR (2010). Study on seed dormancy mechanism and breaking technique of *Leymus chinensis*. *Acta Bot Bor-Occid Sin*, 30 (1): 0120–0125 (in Chinese English abstract) [何学青, 胡小文, 王彦荣(2010). 羊草种子休眠机制及破除方法研究. *西北植物学报*, 30 (1): 0120–0125]
- Karrenberg S, Edwards PJ, Kollmann J (2002). The life history of Salicaceae living in the active zone of floodplains. *Freshw Biol*, 47: 733–748
- Li BB, Wei XH, Xu Y (2013). The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking. *Acta Ecol Sin*, 33 (15): 4631–4638 (in Chinese English abstract) [李兵兵, 魏小红, 徐严(2013). 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法. *生态学报*, 33 (15): 4631–4638]
- Li LF, Liao JX, Jiang MX, Huan HD, He D (2010). Effects of dry storage and water submersion on seed germination of 21 herbaceous species indigenous to the Three Gorges Reservoir Region. *J Wuhan Bot Res*, 28 (1): 99–104 (in Chinese English abstract) [李连发, 廖建雄, 江明喜, 黄汉东, 何东(2010). 干藏和淹水对

- 三峡库区21种草本植物种子萌发的影响. 武汉植物学研究, 28 (1): 99–104]
- Li XL, Li N, Yang J, Ye FZ, Chen FJ, Chen FQ (2011). Morphological and photosynthetic responses of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to simulated autumn and winter flooding in Three Gorges Reservoir Region of the Yangtze River, China. *Acta Ecol Sin*, 31: 31–39
- Li XL, Luan CY, Yang J, Cheng FJ (2012). Survival and recovery growth of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to complete submergence in the Three Gorges Reservoir Region. *Proc Eng*, 28: 85–94
- Liu GH, Yuan LY, Su RL, Li W (2005). Effects of storage condition and duration on seed germination of six wetland perennials. *Acta Ecol Sin*, 25 (2): 371–374 (in Chinese with English abstract) [刘贵华, 袁龙义, 苏睿丽, 李伟(2005). 储藏条件和时间对六种多年生湿地植物种子萌发的影响. 生态学报, 25 (2): 371–374]
- Liu JM (2001). The seed bank and its germinative characters of the *Distylium chinensis* community in Guizhou, Maolan Karst forest. *Acta Ecol Sin*, 21 (2): 198–203 (in Chinese English abstract) [刘济明(2001). 贵州茂兰喀斯特森林中华蚊母树群落种子库及其萌发特征. 生态学报, 21 (2): 197–203]
- Liu YW, Li M, Yao DW (2010). Effects of priming treatment with vermiculite and hormone breaking thermo dormancy of seedlings of lettuce seed. *J Shanghai Jiaotong Univ (Agric Sci)*, 28 (6): 509–513 (in Chinese with English abstract) [刘彦文, 李明, 姚东伟(2010). 蛭石和激素引发对打破莴苣种子高温休眠影响的研究. 上海交通大学学报(农业科学版), 28 (6): 509–513]
- Liu ZB, Cheng RM, Xiao WF, Guo QS, Wang N (2014). Effect of flooding on growth, photosynthesis and fluorescence characteristics of *Distylium chinense*. *Sci Sil Sin*, 50 (9): 73–81 (in Chinese English abstract) [刘泽彬, 程瑞梅, 肖文发, 郭泉水, 王娜(2014). 模拟水淹对中华蚊母树生长及光合特性的影响. 林业科学, 50 (9): 73–81]
- Lu ZJ, Li LF, Huang HD, Tao M, Zhang QF, Jiang MX (2010). Preliminary effects of im pounding on vegetation in drawdown zone of the Three Gorges Reservoir Region. *J Wuhan Bo Res*, 28 (3): 303–314 (in Chinese with English abstract) [卢志军, 李连发, 黄汉东, 陶敏, 张全发, 江明喜(2010). 三峡水库蓄水对消涨带植被的初步影响. 武汉植物学研究, 28 (3): 303–314]
- Luo FL, Wang L, Zeng B, Ye XQ, Chen T, Liu D, Zhang YH, Kuhn A (2006). Photosynthetic responses of the riparian plant *Arundinella anomala* Steud. in Three Gorges reservoir region as affected by simulated flooding. *Acta Ecol Sin*, 26 (11): 3602–3609 (in Chinese English abstract) [罗芳丽, 王玲, 曾波, 叶小齐, 陈婷, 刘巖, 张艳红, Arnd Kuhn (2006). 三峡库区岸生植物野古草 (*Arundinella anomala* Steud.) 光合作用对水淹的响应. 生态学报, 26 (11): 3602–3609]
- Ma LM, Tang YP, Zhang M, Teng YX, Liu DY, Zhao JF (2009). Evaluation of adaptability of plants in water-fluctuation-zone of the Three Gorges Reservoir. *Acta Ecol Sin*, 29 (4): 1885–1892 (in Chinese with English abstract) [马利民, 唐燕萍, 张明, 滕衍行, 刘东燕, 赵建夫(2009). 三峡库区消落区几种两栖植物的适生性评价. 生态学报, 29 (4): 1885–1892]
- Pons TL (2000). Seed responses to light. In: Fenner M (ed). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd edn. Wallingford: CAB International, 237–260
- Probert RJ (2000). The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. In: Fenner M (ed). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd edn. Wallingford: CAB International, 261–292
- Qu Y, Ou Z, You XT, Wang G, Wang CW (2014). Effects of gibberellin on seed germination characteristics in three populations of *Meconopsis racemosa*. *Acta Phytophysiol Sin*, 50 (9): 1374–1378 (in Chinese with English abstract) [屈燕, 区智, 尤小婷, 王盖, 王朝文(2014). 赤霉素对总状绿绒蒿三个居群种子萌发特性的影响. 植物生理学报, 50 (9): 1374–1378]
- Shen HL, Yang L, Zhang JY, Feng DD, Fan SH (2006). Influencing factors to seed dormancy and germination characteristics of *Sorbus pohuashanensis*. *Sci Silv Sin*, 42 (6): 133–138 (in Chinese with English abstract) [沈海龙, 杨玲, 张建瑛, 冯丹丹, 范少辉(2006). 花楸树种子休眠影响因素与萌发特性研究. 林业科学, 42 (10): 133–138]
- Shen JH, Zeng B, Lei ST, Su XL, Huan WJ (2011). Seed submergence tolerance of four annual species growing in the water-level-fluctuation zone of Three Gorges Reservoir, China, and effects of long-term submergence on their seed germination. *J Plant Ecol*, 35 (3): 237–246 (in Chinese with English abstract) [申建红, 曾波, 类淑桐, 苏晓磊, 黄文军(2011). 三峡水库消落区4种一年生植物种子的水淹耐受性及水淹对其种子萌发的影响. 植物生态学报, 35 (3): 237–246]
- Tang AJ (2014). Morphophysiological dormancy and changes of endogenous ABA and GA₄ contents in seeds of *Musella lasiocarpa*. *J Plant Ecol*, 50 (4): 419–425 (in Chinese with English abstract) [唐安军(2014). 地涌金莲种子形态生理休眠及激素的动态变化. 植物生理学报, 50 (4): 419–425]
- Tao M, Bao DC, Jiang MX (2011). Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration. *Acta Ecol Sin*, 31 (4): 906–913 (in Chinese with English abstract) [陶敏, 鲍大川, 江明喜(2011). 三峡库区9种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义. 生态学报, 31 (4): 906–913]
- Thompson K, Grime JP (1983). A comparative study of germination responses to diurnally-fluctuating temperatures. *J Appl Ecol*, 20: 141–156
- Tuckett RE, Merritt DJ, Hay FR, Hopper SD, Dixon KW (2010). Dormancy, germination and seed bank storage: a study in support of *ex situ* conservation of macrophytes of southwest Australian temporary pools. *Freshw Biol*, 55: 1118–1129
- van der Sman AIM, Blom CWPM, van der Steeg HM (1992). Phenology and seed production in *Chenopodium rubrum*, *Rumex maritimus* and *Rumex palustris* related to photoperiod in river forelands. *Can J Bot*, 70: 392–400
- Wang HF, Zeng B, LI Y, Qiao P, Ye XQ, Luo FL (2008). Effects of long-term submergence on survival and recovery growth of four riparian plants in Three Gorges Reservoir Region, China. *J Plant Eco (Chinese Version)*, 32 (5): 977–984 (in Chinese with English abstract) [王海锋, 曾波, 李娅, 乔普, 叶小齐, 罗芳丽(2008). 长期完全水淹对4种三峡库区岸生植物存活及恢复生长的影响.

- 植物生态学报, 32 (5): 977-984]
- Wang YR, Hanson J, Mariam YW (2007). Effect of sulfuric acid pretreatment on breaking hard seed dormancy in diverse accessions of five wild *Vigna* species. *Seed Sci Techno*, 35: 550-559
- Wei XZ, Liao JX, Jiang MX (2010). Effects of pericarp, storage conditions, seed weight, substrate moisture content, light, GA₃ and KNO₃ on germination of *Euptelea pleiospermum*. *Seed Sci Techno*, 38: 1-13
- Xie CH, Li XL, Luan CY, Yang J, Chen FJ, Li ZY (2012). SRAP analysis of genetic diversity of riparian plant *Distylium chinense* in Hubei Province. *Bull Bot Res*, 32 (3): 311-319 (in Chinese with English abstract) [谢春花, 李晓玲, 栾春艳, 杨进, 陈发菊, 李争艳(2012). 湖北河岸带植物中华蚊母树遗传多样性的SRAP分析. *植物研究*, 32 (3): 311-319]
- Xu YJ, Ji Q, Chen L, Liu X (2011). Study on testing viability of *Cistanche tubulosa* seeds. *Seed*, 30 (6): 29-32 (in Chinese with English abstract) [徐运娟, 季青, 陈浪, 刘昕(2011). 管花肉苁蓉种子活力测定研究. *种子*, 30 (6): 29-32]
- Yang QH, Yin XJ, Ye WH (2006). Dormancy mechanism and breaking methods for hard seeds. *Chin Bull Bot*, 23 (1): 108-118 (in Chinese with English abstract) [杨期和, 尹小娟, 叶万辉(2006). 硬实种子休眠的机制和解除方法. *植物学通报*, 23 (1): 108-118]
- Yu XJ, Shi SL, Long RJ, Wang F, Chen BJ (2006). Reserach progress on effects of ecological factors on seed germination. *Acta Prata Sin*, 23 (10): 44-49 (in Chinese with English abstract) [鱼小军, 师尚礼, 龙瑞军, 王芳, 陈本建(2006). 生态条件对种子萌发影响研究进展. *草业科学*, 23 (10): 44-49]
- Yu XJ, Wang YR, Zhang JQ, Sun JH, Dong Q (2004). Studies on dormancy characteristics of *Cleistogenes songorica* and *Plantago lessingii* seed and some methods for breaking it. *Acta Prata Sin*, 13 (6): 45-49 (in Chinese with English abstract) [鱼小军, 王彦荣, 张建全, 孙建华, 董强(2004). 无芒隐子草和条叶车前种子破除休眠研究. *草业科学*, 13 (6): 45-49]
- Zhang X, Li J, Lü HY, Li ZC, Zhou YR, Zhao Y (2014). Relationship between characteristic of *Crataegus songorica* husk, seed coat, embryo and seed dormancy. *J Plant Ecol*, 50 (6): 867-874 (in Chinese with English abstract) [张侠, 李进, 吕海英, 李志成, 周燕荣, 赵颖(2014). 准噶尔山楂种壳、种皮、种胚特性与种子休眠的关系. *植物生理学报*, 50 (6): 867-874]
- Zhang ZY, Chang HT, Endress PK (2003). Hamamelidaceae. In: Wu ZY, Raven PH, Hong DY (eds). *Flora of China* (Vol 9). Beijing: Science Press, 18-42

Seed dormancy mechanism and ecological adaptability of riparian plant *Distylium chinense*

LI Xiao-Ling^{1,2,*}, CHENG Sui-Han^{1,2}, LUAN Chun-Yan^{1,2}, YANG Jin^{1,2}, WENG Hao-Ran^{1,2}, HUANG Ying-Ping^{1,2}, HUANG Cheng-Ming³

¹College of Biological and Pharmaceutical Sciences, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; ²Engineering Research Center of Eco-Environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education (Three Gorges University), Yichang, Hubei 443002, China; ³Three Gorges Botanical Garden, Yichang, Hubei 443111, China

Abstract: The seed viability, dormancy and germination percentages, the culturing of embryos, the obstacles of seed testa, the inhibitor of seed germination, and breaking dormancy experiments were conducted to explore the dormancy mechanism of *Distylium chinense* seeds, techniques for breaking the seed dormancy and its ecological adaptation. The study shows that the viability, germination, and dormancy percentages of *D. Chinense* fresh seeds are 71.10%–78.67%, 24.99%–43.16% and 37.01%–53.67%, which indicates that the *D. Chinense* seeds have partial dormancy characteristics with dormancy plasticity. The germination of embryos showed that the embryo structure was fully developed and GA₃ can improve the germination of seed. *D. Chinense* seed is hard-seed. The moisture content was only 10.31%, and the water absorption percentage was 20.94%; the seed water absorption was impeded by seed testa. Seeds soaking in corrosive H₂O₂ enhanced permeability of seed. Biological test to intrinsic inhibitor displays endogenous inhibitor did not exist in seed testa. The cyclical light combined with variable temperature 20°C/15°C and 300 mg·mL⁻¹ GA₃ solution can effectively break the dormancy and germination percentage were 43.33% and 53.34%, respectively. This study firstly systematically illustrates the reason of *D. chinense* seed dormancy is due to the mechanical obstacles of shell, the mechanical restraint effect of hard testa on embryo, the gas and water permeability barrier and the lack of endogenous hormones. The results show that the seed dormancy belonged to non-deep combined dormancy.

Keywords: *Distylium chinense*; seed dormancy mechanism; seed germination; endogenous inhibitor; ecological adaptability

Received: 2016-04-14 Revised: 2016-07-09

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51209122) and Graduate Scientific Research Foundation of Three Gorges University (Grant No. 2015CX154).

*Corresponding author (E-mail: lixiaolinggz@126.com).