

文章编号:1000-5641(2013)06-0150-09

濒危植物天目铁木种子休眠 及萌发特征研究

乐笑玮¹, 崔敏燕¹, 杨淑贞², 罗 远², 赵明水², 李媛媛^{1,3}

(1. 华东师范大学 资源与环境科学学院, 上海 200241;

2. 浙江天目山国家级自然保护区管理局, 浙江 临安 311311;

3. 华东师范大学 浙江天童国家森林公园生态系统野外观测研究站, 上海 200241)

摘要: 对2008年和2009年采自浙江天目山的野生天目铁木植株的种子进行萌发实验, 以探讨种子的休眠及萌发特征. 设置不同的低温储存时间、赤霉素浓度、变温温度、有无光照及不同的发芽基质等条件, 比较种子在不同条件下的萌发率. 结果表明, 吸水实验中种子浸水4 h后吸水率20%, 与浸种前重量有明显差异($p < 0.05$, t-test), 表明不属于结构休眠类型. 采种后经过短期低温(约4周)储存的种子累积萌发率高于经过较长时间低温(约16周)储存的种子萌发率($p < 0.05$, t-test), 表明种子在低温下被诱导休眠并降低了发芽潜力. 种子萌发需要较长时间的高温打破休眠(MLG为54 d), 推测可能属于较深的生理休眠类型. 赤霉酸对天目铁木种子萌发有显著的促进作用, 15/25℃加之施用浓度为400或600 mg·L⁻¹的赤霉酸, 是种子适宜的萌发条件. 在天目铁木迁地保护中, 可采种后人工施加赤霉酸, 立即在恒温培养箱中萌发, 以获得较高的萌发率.

关键词: 天目铁木; 种子休眠; 萌发率; 温度; 赤霉酸

中图分类号: Q145.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2013.06.018

Characters on the seed dormancy and germination of an endangered species, *Ostrya rehderiana*, in Tianmu Mountain, China

LE Xiao-wei¹, CUI Min-yan¹, YANG Shu-zhen², LUO Yuan²,
ZHAO Ming-shui², LI Yuan-yuan^{1,3}

(1. School of Resources and Environmental Science, Shanghai 200241, China;

2. Management Bureau of Tianmushan National Nature Reserve, Lin'an Zhejiang 311311, China;

3. Tiantong National Field Observation Station for Forest Ecosystem,
East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: *Ostrya rehderiana* is a critically endangered plant species with only five natural individuals remaining in Tianmu Mountain, Zhejiang Province, China. To explore the seed dormancy

收稿日期:2013-01

第一作者:乐笑玮,女,硕士研究生,研究方向为分子生态学. E-mail: suama_le@163.com.

通信作者:李媛媛,女,博士,副教授,研究方向为保护生物学和分子生态学.

E-mail: yyli@des.ecnu.edu.cn.

and germination of *O. rehderiana*, the seeds were collected from the natural individuals in November 2008 and 2009 and manipulated in illumination incubator in different treatments. Results showed that these seeds have a water absorption rate of 20% after immersing in water for 4 h ($p < 0.05$), indicating it was not physical dormancy (PY). The seeds have higher cumulative germination rates after short low temperature storage (4 weeks v. s. 16 weeks; $p < 0.05$), suggesting low temperature might induce seeds dormancy of *O. rehderiana*. To break dormancy, relative longer times (median length of germination time = 54 d) of temperature above 15 °C were needed, indicating the seeds may belong to physiological dormancy (PD). The most favorable germination condition was 15/25 °C employing 400 or 600 mg · L⁻¹ GA. We conclude that seeds treated with GA should be sown in a fitting condition immediately to germinate well in the *ex situ* conservation of *O. rehderiana*. In addition, it is a feasible method that seeds germinate in the nature with added GA artificially.

Key words: *Ostrya rehderiana*; seed dormancy; germination rate; temperature; gibberellin (GA)

0 引 言

濒危物种由于栖息地丧失或人类活动的影响等原因,在种群当前状态和长期维持能力方面都会有所衰退。繁殖困难成为许多濒危物种种群自我更新过程中的主要问题之一^[1,2],个体繁殖的成功与否对种群长期生存能力有重要影响^[3]。对于植物来说,种子萌发是繁殖过程的重要环节。种子萌发既需要水分、氧气、温度等外界环境条件,又要求种子自身发育良好。当条件适宜时,种子休眠也被认为是阻止有活力种子萌发的因素^[4]。休眠可促使种子在合适的季节和环境条件下发芽,也是控制种群内幼苗定居空间位置的主要方式,是植物的一种重要的适应特征^[5,6]。不同植物要求不同条件建立新一代个体,各自有着适应不同环境的进化方式,因此存在着与气候和栖息地多样性相一致的多种休眠机制^[7]。

从休眠机制来看,种子休眠一般可分为 5 种类型:内源性的生理休眠(Physiological dormancy, PD)、形态休眠(Morphological dormancy, MD)和形态生理休眠(Morphophysiological dormancy, MPD),外源性的结构休眠(Physical dormancy, PY)和组合休眠(结构休眠 + 生理休眠, PY + PD)^[8]。PD 是种子的胚生长潜力低不能突破机械阻力而导致的休眠^[5],MD 类型是种子成熟时胚小且发育不完全,需要生长到一定长度后才可突破种子发芽^[8],MPD 是形态和生理的联合原因导致。通常可基于中位发芽时间(Median length of germination time, MLG)判断休眠类型,如果种子成熟时胚已经生长完全则属于 PD 或者不休眠(Non-dormant, ND)类型,MLG 若大于 30 d 一般为 PD,若少于 30 d 则一般为 ND;如果种子成熟时胚没有生长到足够长,则属于 MD 或者 MPD 类型,在适宜条件下 MLG 不超过 30 d 就是 MD,超过 30 d 即为 MPD^[9]。外源性的 PY 是由于种皮或果皮上有一层或几层栅栏细胞(palisade cells)导致水分不能透过种皮而无法发芽的休眠方式^[5]。PY + PD 是结构休眠和生理休眠的结合。

铁木属(*Ostrya*)是桦木科(Betulaceae)一属,包括 7 个物种,分布于亚洲东部、欧洲、北美洲和中美洲,我国有 4 种^[10]。其中天目铁木(*Ostrya rehderiana*)为我国浙江天目山特有的珍稀树种,是该属分布于我国东部的唯一种类,在系统发育和生物地理方面有独特性。目

前全世界仅残存 5 株野生植株,生存状况极度濒危,加之其更新能力很弱,野外环境种子萌发率极低^[11,12]. 虽然通过扦插等无性繁殖方法获得了新个体,但成活率不高^[11]. 有性生殖时幼苗对生长条件要求苛刻,不易存活^[11,12]. 若不及时采取有效繁殖措施,将有灭绝的危险. 本文对采自天目山野生植株的种子进行休眠和萌发特征分析,探讨以下问题:① 天目铁木种子是否休眠? 属于哪种休眠类型? ② 种子成熟后低温储存是否有利于种子萌发;③ 种子萌发的适宜条件. 以期为天目铁木的有性繁殖提供理论价值,为其迁地保护提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

现存野生天目铁木分布于浙江临安天目山国家级自然保护区(E191°24'11"—119°27'11", N30°18'30"—30°21'37"),属北亚热带气候,四季分明,气候温和,雨量充沛,光照适宜. 从山麓至山顶年均温 14.8~8.8℃,年降水量 1 390~1 870 mm,年日照时数 1 550~2 000 h,土壤随海拔升高由亚热带红壤向温带型棕黄壤过渡^[13].

分别于 2008 年和 2009 年 11 月份在天目山采集野生天目铁木果实,带回华东师范大学以备室内和室外萌发实验. 上海市属于北亚热带季风性气候,雨热同期,日照充分,雨量充沛,四季分明. 全年平均气温 16.9℃,年降水量约为 1 272 mm,年日照时间约 1 810 h.

1.2 种子基本参数测定

采集后先剥掉外部果苞,留下褐色小坚果. 因其果皮小而坚硬,不易与种皮分离,为符合习惯,将小坚果称为种子. 种子放置于室温干燥处低温保存. 随机抽取种子 50 粒,用游标卡尺测量长度、宽度和厚度. 随机取 100 粒为 1 组,共 8 组,用电子天平称量每组重量.

1.3 吸水实验

随机选取 150 粒种子进行吸水实验,3 组重复每组各 50 粒,先用电子天平称取每组质量,然后放置于培养皿中用蒸馏水湿润的滤纸上,在 25℃恒温培养箱中分别浸泡 1、2、3、4、6、8、10、12、14、16、24、48、72、96、144 h 后将种子捞出,用定量滤纸吸干表面水份,室温下快速称重. 计算种子平均吸水率,做吸水曲线. 吸水率计算公式:吸水率 = $(W_t - W_0)/W_0 \times 100\%$, W_t 为种子吸水 t 时间后的质量, W_0 为实验前的起始质量.

1.4 打破休眠与萌发实验

1.4.1 经过低温储存时间长短的萌发

把种子分成两部分进行不同时间的萌发实验:一部分经过约 4 周在冬季室温下进行低温保存后(11 月至 12 月份),于 12 月底开始萌发,实验在光照培养箱中进行. 另一部分在冬季室温下低温储存约 16 周(11 月至次年 3 月份),于次年 3 月中旬进行培养箱内(2008 年和 2009 年种子)和室温下(2009 年种子)萌发实验. 储存期间如有发霉的种子则清除.

萌发前先干燥种子用 0.3% 的 K_2MnO_4 溶液浸泡 30 min 进行消毒,再用蒸馏水浸泡 48~72 h,待种皮软化后冲洗干净,开始萌发实验.

1.4.2 不同浓度赤霉酸溶液在不同温度下的萌发

在培养箱中进行的实验条件是,设置 3 种浓度赤霉酸(gibberellic acid, GA_3)溶液:不施、200 $mg \cdot L^{-1}$ 和 400 $mg \cdot L^{-1}$,在溶液中浸泡 4 h;每种浓度下设置 3 个变温条件:15/25、10/20、5/15℃,与变温匹配无光照 12 h 与光照 12 h 交替. 另一种萌芽方式为室温下萌

发,设置 4 种浓度施用赤霉酸溶液(0、200、400 和 600 mg · L⁻¹)进行. 每处理 3 个重复,每皿放置 40~50 粒种子,每天加水控制在滤纸不干、培养皿内不积水.

1.4.3 有光照和无光照条件下萌发

选用 200 mg · L⁻¹或 400 mg · L⁻¹赤霉酸处理的种子,15/25 ℃或室温下,分别在有光照和无光照两种条件下萌发. 黑暗条件设置为用锡箔纸完全包住培养皿,光照条件为光照 12 h 和黑暗 12 h 交替,光照 12 h 温度为变温的高温,黑暗 12 h 为低温. 每皿 40~50 粒种子,各 3 组重复,培养条件与上面相同.

1.4.4 不同发芽基质下萌发

设置滤纸、草炭土和土壤 3 种萌发基质. 选用 200 mg · L⁻¹赤霉酸处理的种子,15/25 ℃在滤纸和草炭土两种基质上萌发. 另选取 400 mg · L⁻¹赤霉酸处理的种子,室温下分别置于滤纸和土壤中萌发. 滤纸条件同前,草炭土为市场上购到的培养土,土壤为校园内大树下取的湿润细土,在培养皿上铺一层草炭土或土壤,种子均匀摆放后用细土覆盖,滴加蒸馏水使土湿润. 每皿 40~50 粒,3 组重复,培养条件与前面相同.

1.5 数据处理

种子大小和重量计算平均值、标准差及变异系数,得出种子的千粒重. 以种子胚根长度超过 2 mm 作为萌发标准,从播种第 1 天开始每天记录种子的萌发个数,直到连续 30 d 没有新萌发的种子为止,萌发的种子移出至新容器中. 用下述公式计算每种条件下种子的发芽率:发芽率(%)=(发芽种子粒数/参试种子总粒数)×100%.

采用 t 检验和方差分析(ANOVA)比较不同条件下的发芽率差异,多重比较采用 Duncan 检验. 数据处理采用 R 软件进行.

2 结 果

2.1 种子基本参数

经测量,天目铁木种子的平均长度、宽度、厚度分别为 9. 628 mm、2. 191 mm、0. 927 mm,千粒重为 9. 984 4 g(见表 1).

表 1 天目铁木种子大小和千粒重

Tab. 1 Size and weight (×1000) of *O. rehderiana* seeds

	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm	千粒重/g
平均值	9. 628(1. 455)	2. 191(0. 281)	0. 927(0. 195)	9. 984 4(0. 295 1)
变异系数	15. 11%	12. 84%	21. 05%	2. 96%

注:括号中为标准差.

2.2 吸水实验

种子从浸水之初即开始吸水,至 1 h 吸水率为 8%但与开始浸水时重量无差异($p>0. 05$),从第 4 小时开始(吸水率为 20%)重量与浸水之初有显著差异($p<0. 05$),24 h 后吸水率达到 34%,至 144 h 则为 66%(见图 1).

2.3 种子萌发特征

2.3.1 不同浓度赤霉酸溶液在不同温度下的萌发

不同浓度赤霉酸溶液和不同温度梯度下的发芽情况如图 2 所示,总体上,经 4 周低温储存的种子萌发率高于 16 周低温储存的($p<0. 05$, t-test).

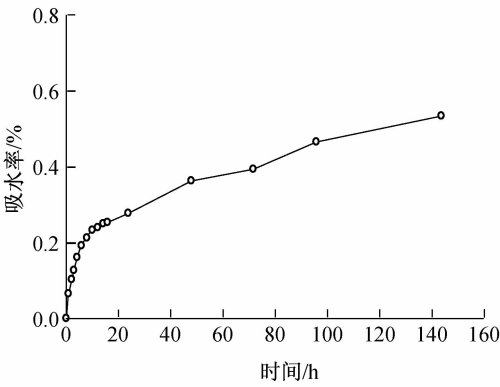
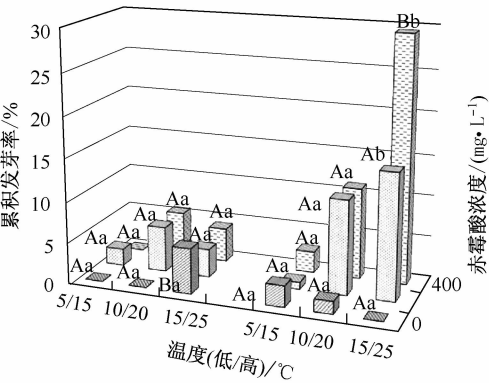


图1 天目铁木种子吸水率曲线

Fig. 1 Water absorption rate curve of *O. rehderiana* seeds

经过 16 周低温储存的种子(见图 2),不施用 GA_3 时,15/25 $^{\circ}\text{C}$ 的发芽率显著高于 5/15 $^{\circ}\text{C}$ 和 10/20 $^{\circ}\text{C}$ ($p<0.05$, ANOVA). 经过 4 周低温的种子(见图 2), GA_3 浓度为 $400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,15/25 $^{\circ}\text{C}$ 的发芽率显著高于 5/15 $^{\circ}\text{C}$ 和 10/20 $^{\circ}\text{C}$ ($p<0.05$, ANOVA),达 28.52%. 温度为 15/25 $^{\circ}\text{C}$ 时,200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 400 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度的 GA_3 下发芽率高于不施 GA_3 ($p<0.05$, ANOVA).

3 种温度的发芽进程如图 3 所示. 每个温度下发芽率随着培养天数的增加而增加,低温(5/15 $^{\circ}\text{C}$)时培养 64 d 开始萌发($200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{GA}_3$),较高温度(10/20 $^{\circ}\text{C}$ 和 15/25 $^{\circ}\text{C}$)培养 29 d 即开始萌发($400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{GA}_3$),且温度越高累积萌发率增长越快. 3 个温度下培养至 99 d,累积萌发率不再增加. 从培养至萌发的时间长度中位数(MLG)为 54 d. 最终 15/25 $^{\circ}\text{C}$ 、 $400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{GA}_3$ 经过 4 周低温储存的种子萌发率最高,为 28.52%(见图 3C).

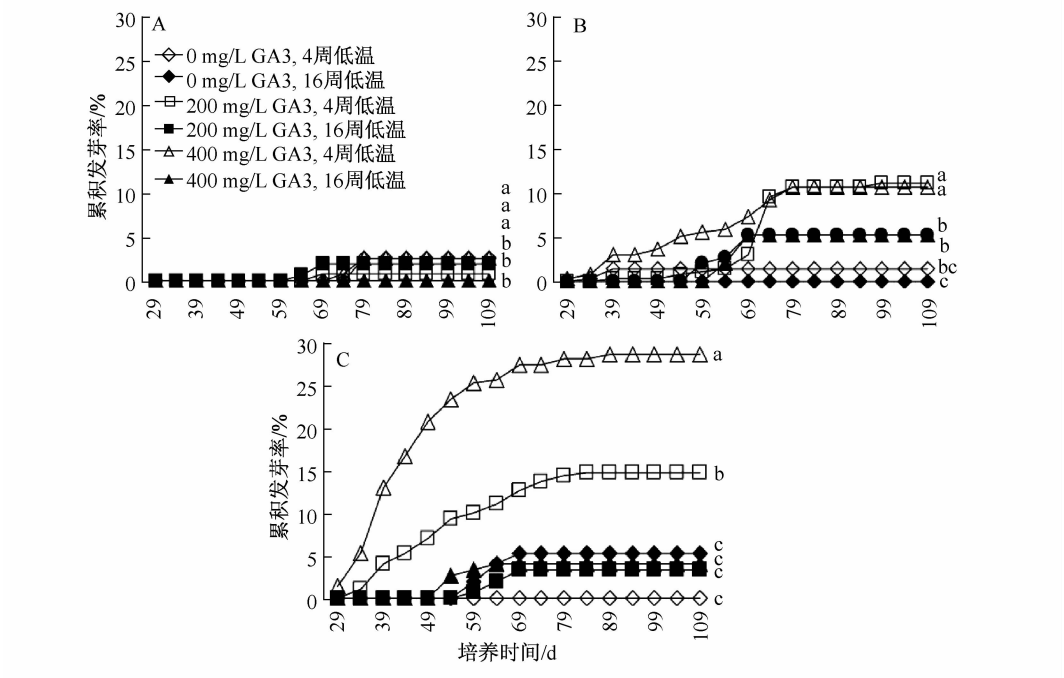


注:不同字母表示有显著差异($p<0.05$),大写字母表示横向相同赤霉素浓度条件下的方差分析结果,小写字母表示纵向相同温度条件下的方差分析结果

图2 低温储存 16 周(左)和 4 周(右)的天目铁木种子施用不同浓度赤霉素在不同温度下的累积发芽率(%)

Fig. 2 Cumulative germination percentage of *O. rehderiana* seeds incubated at three different GA_3 concentrations and three different temperatures, following 16 weeks (left) and 4 weeks (right) prechill

经双尾 ANOVA 检验(见表 2),低温储存时间长短、培养温度和赤霉酸浓度对天目铁木种子发芽率的影响均显著($p<0.05$, ANOVA),3 种因素的作用重要性为低温储存时间长短>培养温度>施用赤霉酸浓度. 但 3 种因素的交互作用对发芽率都没有显著影响($p>0.05$, ANOVA).



注:不同字母表示有显著差异($p<0.05$),A 为 5/15 °C,B 为 10/20 °C,C 为 15/25 °C

图 3 低温储存 16 周(实心)和 4 周(空心)的天目铁木种子施用不同浓度赤霉酸在不同温度下的发芽

Fig. 3 Germination of *O. rehderiana* seeds incubated at three different GA₃ concentrations and three different temperatures, following 16 weeks (closed symbols) and 4 weeks (open symbols) prechill.

表 2 低温储存时间长短、培养温度、赤霉酸浓度及其交互作用对天目铁木种子发芽率的影响

Tab.2 Effects of chilling preservation times, incubation temperatures, GA₃ concentrations and their interactions on germination percentage of *O. rehderiana* seeds

变异来源	发芽率 #
低温储存时间长短	6.743 *
培养温度	4.808 *
赤霉酸浓度	3.888 *
低温储存时间长短×培养温度	1.729 ns
低温储存时间长短×赤霉酸浓度	2.449 ns
培养温度×赤霉酸浓度	1.326 ns
低温储存时间长短×培养温度×赤霉酸浓度	1.826 ns

注: # 表格中为 F 值, * 表示 $0.01<p<0.05$, ns 表示 $p>0.05$.

2.3.2 不同浓度赤霉酸在室温下的萌发

经过较长低温(约 16 周)分别施用 0、200、400 和 600 mg · L⁻¹ 的 GA₃ 于 3 月份进行室

温下萌发,结果为不施 GA₃ 种子发芽率最低为 0.67%,而施用 600 mg · L⁻¹ GA₃ 的种子萌发率最高,为 10.67% ($p<0.05$, ANOVA).

2.3.3 有无光照及不同发芽基质下的萌发

在光暗交替或完全黑暗的条件下(见表 3),浓度为 400 mg · L⁻¹ 的 GA₃ 时,累积发芽率没有显著差异($p>0.05$, t-test). 只有经过 4 周低温储存的种子,GA₃ 浓度 200 mg · L⁻¹ 温度为 15/25 ℃时,光暗交替下的发芽率大于黑暗的($p<0.05$, t-test).

不同培养基质(见表 3),4 周低温储存的种子在滤纸培养下的发芽率大于草炭土($p<0.05$, t-test),草炭土没有发芽的种子. 经过 16 周低温储存的种子在两种培养基质下发芽率没有显著差异($p>0.05$, t-test).

表 3 天目铁木种子在有无光照和不同发芽基质下的累积发芽率

Tab.3 Cumulative germination rates of *O. rehderiana* seeds
in different illuminations and germination textures %

	4 周低温储存		16 周低温储存	
	200 mg · L ⁻¹ GA ₃ 15/25 ℃	400 mg · L ⁻¹ GA ₃ 15/25 ℃	400 mg · L ⁻¹ GA ₃ 15/25 ℃	400 mg · L ⁻¹ GA ₃ 室温
黑暗	3.33	4.67	9.33	13.33
12 h 光照/12 h 黑暗	28.33 *	20.67	4.00	8.67
草炭土或土壤	0.00	0.00	6.00	13.33
滤纸	28.33 *	20.67 *	4.00	8.67

注: * 表示与上面条件有显著差异($p<0.05$).

3 讨 论

种子休眠是一段特定的时间内任何正常环境因子组合下,种子即使处于最适条件下也不萌发的阶段^[8],是物种本身的遗传特征,也会受到大量环境因素的影响^[7]. 一般情况下,外源性结构休眠(PY)的种子由于种皮难以透水,在浸水 24 h 后重量不会增加. 但从本研究的吸水实验来看,天目铁木种子浸水 24 h 重量显著增加($p<0.05$, ANOVA),吸水率为自身重量的 34%,表明种子萌发不受外源性休眠的制约.

一般认为,低温能够打破大多数植物种子的休眠,主要通过激发分解酶的活性以促进种子储藏蛋白(seed storage protein)的分解,从而为种子萌发和幼苗生长提供营养物质^[14],生理休眠(PD)的种子往往多是这种类型^[5]. 然而,本实验中经过 4 周低温的种子累积发芽率却高于 16 周低温的种子($p<0.05$, t-test, 图 1),表明经历越长的低温反而不利于种子萌发. 张若蕙等对天目铁木种子的萌发实验也表明,11 月份新采摘种子的萌发率为 16.2%,经过冬季低温后于次年 3 月的发芽率仅为 6.2%^[12]. Fehrenbach 对同属的美洲铁木(*O. virginiana*)研究也得到类似结果,认为幼嫩的种子在采摘后立即种下可以获得更高的发芽率^[15]. 这种成熟后可立即萌发的种子可能属于不休眠(ND)类型.

但是,如果天目铁木种子成熟后没有遇到适宜条件,随后经历冬季的时间越长萌发率越低,表明低温可能促使种子进入休眠状态. 虽然低温是打破大多植物种子休眠的条件,但是有些植物的种子在低温下会被诱导休眠,如忍冬科(Caprifoliaceae)的 *Diervilla lonicera* 在自然状况下冬天播种的种子在低温下被诱导进行 PD^[16]. 对同属的美洲铁木和欧洲铁木(*O. carpiniifolia*)的报道都表明,一旦刚刚成熟时没有播种萌发,种子则进入顽固的休眠

期,之后则需要打破内源性休眠才可发芽,并且打破休眠需要3个月的热层积和5个月的低温层积,而后还需较长的培养时间才可获得较高的发芽率^[16-18]。因此,天目铁木采摘后经历低温越长的种子(约16周)估计被诱导成较为深度的休眠状态,比经历低温时间短的种子(约4周)发芽率低。

种子萌发进程表明(见图2),从给予适宜的温度开始至种子萌发最短需要29 d(10/20℃和15/25℃,400 mg·L⁻¹ GA₃),最长则在第99天观察到萌发的种子(10/20℃,200 mg·L⁻¹ GA₃),中位时间长度是54 d,表明种子萌发需要经历高温(>15℃)打破休眠,并且萌发过程需要较长时间(>30 d)。根据Baskin等对种子休眠方式的划分^[8],种子萌发时间超过30 d的一般是PD或者MPD,这两种类型的区别主要取决于种子成熟时胚是否生长到接近发芽时胚的大小。据报道,天目铁木种子刚刚成熟时即可发芽^[12],推测胚已经生长完全,因此随后进入的休眠可能是PD类型,但需要进一步实验证实。

本实验表明天目铁木种子在15/25℃萌发率最高,是较为适宜的温度。25℃左右同样是许多植物种子发芽的最适温度,如20~30℃培养下,同为桦木科的赤杨(*Alnus glutinosa*)种子发芽率最高^[19];蓝靛果忍冬(*Lonicera caerulea* var. *emphyllocalyx*)的种子在20℃或者15/25℃温度是最优的发芽条件^[20]。

种子休眠的内部机制是激素的调控,主要由维持休眠的脱落酸(abscisic acid, ABA)和促进发芽的赤霉素(gibberellins, GA)两种激素的不同水平来控制^[7,8],因此较高浓度的赤霉素是打破休眠和促进萌发的又一必要条件^[5]。本实验中,经4周低温的种子在施用最高浓度(400 mg·L⁻¹)GA₃下发芽率最高($p<0.05$, ANOVA),室温发芽的种子也是最高浓度(600 mg·L⁻¹)GA₃发芽率最高($p<0.05$, ANOVA),而低浓度或者不施GA₃种子萌发率几乎为零。之前的研究也表明赤霉素对天目铁木种子萌发有促进作用^[11,12]。休眠种子内的GA:ABA是控制种子是否休眠的内部机制,当GA的相对含量大于ABA时种子将解除休眠^[7,21]。但是,光照的有无以及土壤和滤纸两种发芽基质对天目铁木种子的萌发率没有显著影响($p>0.05$, t -test)。

本研究表明,天目铁木种子存在相对复杂的发芽及休眠机制,种子一般11月份成熟,没有休眠即可萌发。但种子成熟后因大多没有合适条件而不萌发,在随之而来的冬季低温下被诱导休眠,并且时间越长休眠越深。第二年春天虽条件适宜,但种子需经过长时间复杂条件来打破深度休眠,仍然不能很快萌发。由此延迟了种群的更新,并在群落中丧失与其他幼苗竞争的时机,加之人类活动导致栖息地减少、干扰增大等因素的影响,使天目铁木种子几乎难以在野外萌发,种群更新困难,这可能是造成濒危的主要原因。建议天目铁木有性繁殖应辅以人工措施,可采种后施加赤霉素,随即在培养箱中培养以获得较高的萌发率。另外,人工施用赤霉素处理种子后在野外播种也是一种可行的方法。

致谢:陈小勇教授在论文的写作中提出了宝贵意见,王凤协助种子发芽实验,在此感谢!

[参 考 文 献]

- [1] WEEKLEY C W, RACE T. The breeding system of *Ziziphus celata* Judd and DW Hall (Rhamnaceae), a rare endemic plant of the Lake Wales Ridge, Florida, USA: implications for recovery [J]. *Biological Conservation*, 2001, 100: 207-213.

- [2] YOUNG A G, HILL J H, MURRAY B G, et al. Breeding system, genetic diversity and clonal structure in the sub-alpine forb *Rutidosis leiolepis* F. Muell. (Asteraceae) [J]. Biological Conservation, 2002, 106: 71-78.
- [3] EVANS M E K, MENGES E S, GORDON D R. Reproductive biology of three sympatric endangered plants endemic to Florida scrub [J]. Biological Conservation, 2003, 111: 235-246.
- [4] BEWLEY J D. Seed germination and dormancy [J]. Plant Cell, 1997(9): 1055-1066.
- [5] GENEVE R L. Impact of temperature on seed dormancy [J]. HortScience, 2003, 38: 336-341.
- [6] PENFIELD S, KING J. Towards a systems biology approach to understanding seed dormancy and germination [J]. Proceedings of the Royal Society B, 2009, 276: 3561-3569.
- [7] FINCH-SAVAGE W E, LEUBNER-METZGER G. Seed dormancy and the control of germination [J]. New Phytologist, 2006, 171: 501-523.
- [8] BASKIN J M, BASKIN C C. A classification system for seed dormancy [J]. Seed Science Research, 2004, 14: 1-16.
- [9] SAUTU A, BASKIN J M, BASKIN C C, et al. Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America [J]. Seed Science Research, 2007, 17: 127-140.
- [10] 匡可任, 李沛琼. 中国植物志(第 21 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [11] 管康林, 陶银周. 濒危树种——天目铁木的现状和繁殖[J]. 浙江林学院学报, 1988(5): 90-92.
- [12] 张若蕙, 龚关文, 沈锡康, 等. 天目铁木花粉种子及幼苗的研究[J]. 浙江林业科技, 1988(8): 7-11.
- [13] 张方纲. 天目山植物志[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010.
- [14] GAI Y P, LI X Z, JI X L, et al. Chilling stress accelerates degradation of seed storage protein and photosynthetic protein during cotton seed germination [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2008, 194: 278-288.
- [15] FEHRENBACH W E. *Ostrya virginiana* characteristics and potentials of a little known native [C]// Proceeding of the fourth conference of the Metropolitan tree improvement alliance. New York: [s. n.], 1983: 61-67.
- [16] HIDAYATI S N, BASKIN J M, BASKIN C C. Dormancy-breaking and germination requirements for seeds of *Dicervilla lonicera* (Caprifoliaceae), a species with underdeveloped linear embryos [J]. Canadian Journal of Botany, 2000, 78: 1199-1205.
- [17] METZGER F T. *Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch eastern hophornbeam [C]// Silvics of North America (Volume 2). Washington DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, 1990: 490-496.
- [18] The Open Wiki-Base for Practical Plants. *Ostrya carpinifolia* [EB/OL]. (2012-09-12) [2012-12-9]. http://practicalplants.org/wiki/Ostrya_carpinifolia.
- [19] GOSLING P G, MCCARTAN S A, PEACE A J. Seed dormancy and germination characteristics of common alder (*Alnus glutinosa* L.) indicate some potential to adapt to climate change in Britain [J]. Forestry, 2009, 82: 573-582.
- [20] PHARTYAL S S, KONDO T, HOSHINO Y, et al. Morphological dormancy in seeds of the autumn-germinating shrub *Lonicera caerulea* var. *emphyllocalyx* (Caprifoliaceae) [J]. Plant Species Biology, 2009, 24: 20-26.
- [21] KUCERA B, COHN M A, LEUBNER-METZGER G. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination [J]. Seed Science Research, 2005, 15: 281-307.