

濒危植物巴东木莲种子休眠与萌发特性的研究

陈发菊^{1,2} 梁宏伟² 王旭¹ 何正权² 李凤兰^{1*}

1 (北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083)

2 (三峡大学生物技术研究中心, 湖北宜昌 443002)

摘要: 巴东木莲(*Manglietia patungensis*)为我国特有种, 属国家重点保护植物。为找出其生殖环节中的致危因素, 作者对巴东木莲种子休眠与后熟过程中的形态和萌发特性进行了研究。结果表明, 巴东木莲种胚发育不完全可能是种子休眠的主要原因, 在其后熟过程中胚不断分化、发育成熟; 种皮具有较好的透性, 与休眠的关系不大; 种子不同部位均存在萌发抑制物, 胚乳中高含量的萌发抑制物是影响胚萌发的重要因素。内源激素ABA和IAA在巴东木莲种子休眠与萌发过程中起着重要作用, ABA是引起休眠的关键因素, IAA有助于种子的萌发, IAA/ABA相对含量的变化对种子的休眠和萌发产生重要影响。巴东木莲种子的休眠是由种子本身的形态和生理特点引起的综合休眠, 在4℃低温保湿条件下才能完成其形态和生理后熟过程, 而自然条件下, 巴东木莲种子成熟时正值秋季少雨, 很容易失水而不能完成其后熟过程而失去生活力, 这可能是导致该物种自然更新困难的重要原因。

关键词: *Manglietia patungensis*, 形态后熟, 生理后熟, 种子萌发

Seed dormancy and germination characteristics of *Manglietia patungensis*, an endangered plant endemic to China

Faju Chen^{1,2}, Hongwei Liang², Xu Wang¹, Zhengquan He², Fenglan Li^{1*}

1 School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083

2 Biotechnology Research Center, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002

Abstract: *Manglietia patungensis*, an endangered tree species endemic to China, is listed in National Key Protected Species. To explore the underlying mechanisms relevant to the impediment in its sexual reproduction, we studied the morphological and physiological characteristics of seeds during its dormancy and after-ripening process. The results showed that the incomplete development of embryos was the main reason for seed dormancy. The immature embryos continued differentiating and developing during the after-ripening process. As the seed coat was permeable, it would not induce seed dormancy. Germination inhibitors existed in different parts of seeds, especially in the endosperm, which was believed to be a major factor for the germination delay. Endogenous hormone ABA and IAA played an important role in the dormancy and germination of seeds. ABA was the key factor for seeds dormancy while IAA benefited germination. Therefore, the change of IAA/ABA ratio was crucial to seed dormancy and germination. Only at a temperature as low as 4°C and in a humid environment, could *M. patungensis* seeds complete the morphological and physiological after-ripening process. In fact, it was observed that the after-ripening process of *M. patungensis* seeds occurred in autumn, a season characterized by low rainfall and drought in this area. Evidently, viability loss of seeds caused by water deficit during the after-ripening period may explain the poor regeneration of this species.

Key words: *Manglietia patungensis*, morphological after-ripening, physiological after-ripening, seed germination

收稿日期: 2006-10-16; 接受日期: 2007-06-16

基金项目: 国家自然科学基金(30670202)、湖北省自然科学基金(2006ABA201)和北京林业大学理科基地创新研究基金

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lifl@bjfu.edu.cn

物种的濒危是在长期演化过程中内在因素和外部因素综合作用的结果(Alice & Richard, 2003), 而濒危植物自身的生殖繁育力的衰退、生活力的下降等内在因素是导致其濒危的根本原因(Fiediler & Jain, 1986; 张文辉等, 2002)。种子是植物生殖过程中的一个重要环节, 是植物承载个体遗传信息繁衍后代的最直接的方式。种子的遗传力、生活力、适应性以及种子向幼苗的转型能力都会影响到物种的繁衍, 直接决定一个物种的繁盛与衰亡。目前国内外对珍稀濒危植物种子生物学特性的研究有些报道, 例如对*Erica andevalensis* (Aparicio, 1995)、南川升麻(*Cimicifuga nanchuanensis*)(符近等, 1998)、青檀(*Pteroceltis tatarinowii*)(泐香香等, 2002)、明党参(*Changium smyrnioides*)(殷现伟等, 2002)、秦岭冷杉(*Abies chensiensis*)(赖江山等, 2003)、东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)(程广有等, 2004)、天女木兰(*Magnolia sieboldii*)(李澎等, 2006)、银杏(*Ginkgo biloba*)(曹帮桦和蔡春菊, 2006)、马蹄香(*Saruma henryi*)(赵桦等, 2006)、望天树(*Shorea wantianshuea*)(闫兴富和曹敏, 2006)等濒危植物的种子生物学特性进行了研究, 并探讨了种子生物学特性与其珍稀濒危的相关性, 多数濒危植物天然更新困难, 与其种子的生活力、萌发力有关。

巴东木莲(*Manglietia patungensis*)属木兰科的常绿阔叶树种, 为我国特有种, 属国家二级保护植物(傅立国, 1992)。巴东木莲不仅在研究植物系统发育与演化上具有重要的科学意义, 而且其树形优美, 花大美丽, 具有很高的观赏价值。现仅分布于我国西南局部狭小区域, 林下幼苗和幼树极为罕见, 自然繁殖更新能力严重衰退, 处于濒危状态。针对巴东木莲种子萌发困难这一限制该物种更新的关键问题, 本文通过对巴东木莲种子休眠与萌发以及生理生化特性的研究, 探讨了该物种种子难以萌发的原因, 以期找出生殖环节中的致危因素, 为该物种的保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

供试种子于2003、2004、2005年分别采集于湖北省巴东县(以BD代号)和江西省关山自然保护区(以GS为代号)。根据Dafni(1992)的方法, 每年6月

1-10日, 在巴东进行了3年人工授粉实验, 果实成熟时分别按授粉时的编号采集分装种子带回实验室。自然结实的种子编号为BDn, 同株异花授粉结实的种子为BDag, 异株异花授粉结实的种子为BDax, 采自江西关山自然保护区的自然结实的种子为GSn。

采集的新鲜种子分别进行以下3种处理: 低温保湿层积(4℃), 低温水藏(4℃)(洗净的种子放入三角瓶中, 加清水浸没种子, 3 d换一次水), 低温干藏(4℃)(含水量为5.76%), 处理时间为3个月。用于激素分析实验的种子称重后再处理。

1.2 实验方法

1.2.1 种子结构观察

采用常规石蜡切片显微观察法。切片厚度为8 μm的连续切片, 番红-固绿(Safranin-Fast Green)染色, 加拿大树胶封片, Olympus BH2显微镜观察照相。

1.2.2 种子生活力和发芽率的测定

用TTC法检测巴东木莲种子生活力。每种处理随机选取30粒种子剥取种胚, 放入培养皿中, 加20 mL 0.5%TTC溶液, 置30℃恒温箱中染色, 4 h后取出鉴定统计。重复两次。

取不同储藏处理的种子做萌发实验, 25℃光照条件下培养25 d, 统计发芽率; 取低温保湿层积处理过的种子, 分别在自然条件下和15℃、20℃、25℃、30℃的培养箱中进行光照和全暗过程的萌发实验, 以测定不同温度和光照条件对其种子萌发的影响。跟踪观察记录种子萌发情况, 25 d后统计其发芽率。每个处理50粒种子, 重复两次。

1.2.3 种子吸水速率的测定

采用称重法测定种子的透水性。取完整种子(仅去红色肉质外种皮的种子, 文中统称完整种子)和破皮种子(去红色肉质外种皮后, 用镊种钳小心镊破坚硬的中种皮的种子, 文中统称破皮种子), 称重后在室温条件下, 用蒸馏水分别浸泡6、12、18、24、36和48 h, 直至种子吸水达到饱和状态。用滤纸吸去种子表面的水分, 1/1,000的电子天平迅速称重, 每种处理20粒种子, 重复3次, 取受试种子重量的平均值, 以种子重量随吸水时间的变化来表示种子的吸水速率。

1.2.4 萌发抑制物质的生物鉴定

参考王小平等(1998)的方法,准确称取巴东木莲种子的外种皮、中种皮和胚乳各2 g,加80%甲醇研磨,4℃条件下密封浸提24 h,其间振荡5次,使其充分浸提,然后过滤,重复两次,合并滤液,35℃减压浓缩至水相,清水定容40 mL。分别稀释各组分浸提原液,使其浓度为原浓度的25%、50%和100%。

生物鉴定。分别用清水和不同浓度的浸提液浸泡白菜种子,25℃下浸泡2 h,然后按100粒/皿均匀植于垫有滤纸(用相应浓度的浸提液润湿)的培养皿中,光照培养箱中25℃下进行萌发实验,重复3次,48 h后统计白菜籽的发芽率。

1.2.5 内源激素ABA、IAA的提取分离与测定

参照夏小娣等(1992)的方法。

样品制备。取分别经自然储藏、4℃保湿砂藏、4℃水藏和4℃干藏处理的种子各0.5 g(处理前已称重),加入少量PVP,加80%冷甲醇5 mL,冰上研磨,用80%冷甲醇洗净转入50 mL烧杯,加内标 [$^{13}\text{C}_6$ -IAA(浓度为10 ng/uL)加6 uL, D^3 -ABA(54 ng/uL)加4 uL]浸泡过夜,真空抽滤两次弃残渣,收集滤液加一滴氨水转入浓缩瓶,35℃减压浓缩至水相。将水相倒入5 mL试管中,冻融3次后化冻离心,取上清液,重复两次。上清液用2 mol/L的HCl调pH值至2.5–3.0,等体积的乙酸乙酯萃取3次,合并有机相,冰冻除水,35℃浓缩至干,0.1 mol/L醋酸液溶解样品,过 C_{18} 小柱(Part No.WAT051910),收集所得洗脱液转入毛细管经甲酯化处理后,用于GC/MS定性定量分析。

气相色谱条件:色谱柱DB-5-MS石英毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm)。载气为氦气,流速为0.8 mL/min。GC程序升温条件,初始温度为50℃,以

20℃/min的速率升至180℃后再以10℃/min升到220℃,保持15 min,升至280℃进样,不分流,进样体积为1 uL。

质谱(MS)条件:EI, 70 eV, 接口温度为250℃,离子源温度为200℃, Emission Current: 150 μA , Det: 500 v。全扫描,扫描速度0.4 s/次,扫描范围为m/z 29–450。

ABA、IAA的定量分析采用GC-MS-SIM完成,内源ABA的选择特征离子(m/z)为162和190,内标 D_3 -ABA的选择特征离子(m/z)为165和193;内源IAA的选择特征离子(m/z)为202和261,内标 $^{13}\text{C}_6$ -IAA的选择特征离子(m/z)为208和267。

2 结果

2.1 后熟处理前后种子胚的形态结构比较

巴东木莲种子的形态解剖观察发现,低温保湿处理前后种胚的形态结构发生了明显变化。处理前的种胚呈桶状,没有形态分化(图1a);胚很小,位于种孔端,占种子体积的很小一部分,仅有根端和芽端的极性分化,在形态上未发育完全;胚乳发达,占据种子的绝大部分体积,胚乳细胞特化,细胞核及细胞器消失,细胞腔内充满了蛋白颗粒(图1b)。经低温保湿处理后的种子胚已有明显的形态分化(图1c),种胚分化出完整的胚根、胚轴、胚芽和子叶(图1d),说明胚发育不完全可能是巴东木莲种子后熟的主要原因。

2.2 种子的生活力

用TTC法检测种子生活力的结果见表1。可以看出巴东木莲种子的生活力很高,除空粒外,有胚种子的生活力高达98%以上,说明种子难萌发并不

表1 不同来源巴东木莲种子生活力的TTC法检测结果

Table 1 Seed viability of *Manglietia patungensis* from different sources detected by TTC method

种源 Seed sources	有生活力 With viability	无生活力 Without viability	空瘪粒 Empty	生活力 Viability (%)
巴东自然结实的种子 Seeds from natural pollination in Badong County	57	1	2	95
巴东同株异花授粉结实的种子 Seeds from the artificial geitonogamy after emasculation in Badong County	59	1	0	98.33
巴东异株异花授粉结实的种子 Seeds from artificial xenogamy after emasculation in Badong County	60	0	0	100
江西关山自然保护区自然结实的种子 Seeds from the natural pollination in Guanshan	54	1	5	90

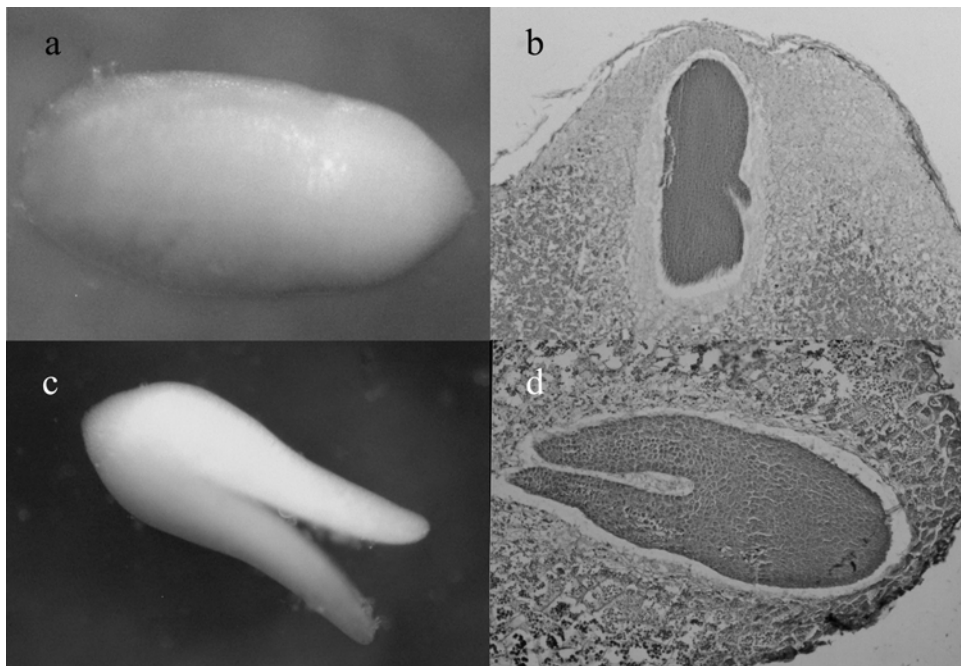


图1 巴东木莲种子处理前后形态结构变化

a: 处理前的种子胚; b: 处理前种子胚的纵切面; c: 处理后的种子胚; d: 处理后种子胚的纵切面

Fig. 1 The changes in morphology and structure of seeds of *Manglietia patungensis*. (a) Embryo of the pre-treated seeds; (b) Vertical-section of embryo pre-treated seeds; (c) Embryo of the after-treated seeds; (d) Vertical-section of embryo of after-treated seeds.

表2 不同储藏条件巴东木莲种子生活力的影响

Table 2 The viability of *Manglietia patungensis* seeds under various storage conditions

处理 Treatment*	有生活力 With viability	无生活力 Without viability	空瘪粒 Empty	生活力 Viability (%)
低温保湿 (4℃) Moisture and low temperature (4℃)	59	0	1	98.33
低温干藏 (4℃) Dry and low temperature (4℃)	7	51	2	11.67
自然干藏 Dry and natural temperature	0	59	1	0

*用于不同储藏处理的种子均为采自于巴东人工异株异花授粉结实的种子。每处理30粒, 两次共60粒。

The seeds used in the three treatments were all from artificial xenogamy after emasculation in Badong, Hubei. Each treatment had 60 seeds with two repeats.

是其生活力低所致。自然结实种子虽有少量空粒(可能是自然授粉不良的原因), 但其生活力与同株异花授粉和异株异花授粉的种子没有明显差异。

不同处理条件对种子生活力的影响较大(表2), 自然干藏和低温干藏的种子, 在储藏过程中大部分因失水而失去生活力, 低温保湿储藏能保持种子生活力, 说明巴东木莲的种子在其后熟过程中不仅需要一定的低温条件, 还需要保持充足的水分才能实现种子形态后熟和生理后熟。

2.3 种皮对种子透水性的影响

从图2可以看出: 在前6 h完整种子与破皮种子的吸水速率均直线上升, 分别达到总吸水量的56%

和64%; 6-24 h吸水速度较快, 破皮种子在达到吸水饱和前比完整种子吸水速度稍快; 24 h后种子处于缓慢吸水阶段, 直到达到饱和状态, 破皮种子达到峰值所用的时间与完整种子基本相同, 在室温下36 h后达到饱和状态, 两者的饱和度基本一致。由此可见, 巴东木莲种子的种皮对其透水性影响不明显, 与其休眠的关系不大。

2.4 种子浸提液的生物测定

巴东木莲种子各部位浸提液对白菜籽萌发的检测结果见表3。外种皮和胚乳的浸提液对白菜籽萌发的抑制作用最强, 但两者之间没有明显差异, 中种皮的抑制作用较弱; 随着各部位浸提液浓度的

表3 巴东木莲种子各部分不同浓度的浸提液对白菜种子萌发的影响

Table 3 Effects of extract from different parts of *Manglietia patungensis* seeds on the germination of Chinese cabbage seeds

白菜种子萌发率 Germination rate of Chinese cabbage seeds (%)	对照 Control	外种皮浸提液浓度 Concentration of extraction solvent of testa			中种皮浸提液浓度 Concentration of extraction solvent of mesosperm			胚乳浸提液浓度 Concentration extraction solvent of endosperm		
		100%	50%	25%	100%	50%	25%	100%	50%	25%
		99.33	0.33	50.00	73.33	16.33	63.00	83.67	0.00	37.33

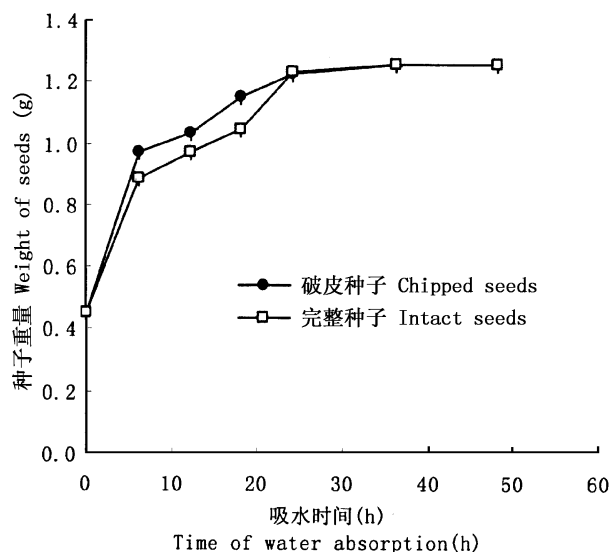


图2 巴东木莲种子的吸水曲线

Fig. 2 Water absorption curve of *Manglietia patungensis* seeds

降低, 抑制作用明显减弱。说明种子胚乳中存在萌发抑制物, 与巴东木莲种子的深度休眠有密切关系。

2.5 不同处理前后巴东木莲种子内源ABA和IAA含量的变化

不同处理前后巴东木莲种子内源ABA和IAA含量的测定结果如图3所示。处理前种子的ABA含量高(1007.89 ng/g鲜重), IAA含量低(140.71 ng/g鲜重); 经4个月4℃低温保湿层积和水藏处理后, ABA含量显著下降, IAA含量明显增加; 干藏种子的ABA含量仍然较高。说明巴东木莲种子内源ABA和IAA含量的变化与种子休眠和萌发具有相关性。干藏过程中, 种子可能因失水失去生活力, 不能实现内源激素的平衡转化。

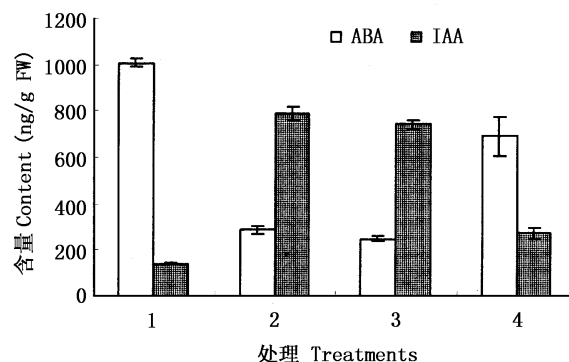


图3 不同储藏条件对巴东木莲种子内源ABA和IAA含量的影响

1: 未处理; 2: 低温保湿(4℃); 3: 低温水淹(4℃); 4: 低温干燥(4℃)

Fig. 3 Influences of various storage conditions on endogenous ABA and IAA contents of seeds of *Manglietia patungensis* seeds. (1), CK; (2) Moisture and low temperature (4℃); (3) Flooding and low temperature (4℃); (4) Dry and low temperature (4℃).

2.6 种子的萌发

2.6.1 各种处理条件对巴东木莲种子萌发的影响

不同处理条件对巴东木莲种子萌发的影响较大, 结果见表4。自然干藏和低温干藏的种子在储藏过程中失水, 失去生活力而不能萌发; 在4℃低温保湿储藏能保持种子生活力, 并能有效地解除其休眠, 种子萌发率达到100%; 4℃水淹种子的萌发率与4℃保湿储藏种子的萌发率基本一致。实验还发现不同浓度外源赤霉素处理新收获的巴东木莲种子均不能使其萌发, 因此外源赤霉素不能破除该物种种子休眠; 新采收的种子去种皮后也不能萌发, 说明该物种种子的休眠不是种皮机械限制所致。

2.6.2 不同光温条件对巴东木莲种子萌发的影响

用低温保湿处理后的种子在不同温度和光照

表4 5种处理条件对巴东木莲种子萌发的影响

Table 4 Effects of five treatments conditions of on the germination of *Manglietia patungensis* seeds

萌发率 Germination percentage (%)	赤霉素 Treated 48 or 72 h with 200 or 400 ppm GA ₃	低温干藏 Dry and low temperature (4℃)	低温保湿 Moisture and low temperature (4℃)	低温水淹 Flooding and low temperature (4℃)	自然干藏 Dry and room temperature
	0	0	100	98	0

表5 温度和光照对巴东木莲种子萌发的影响

Table 5 Effects of temperature and light on the germination of *Manglietia patungensis* seeds

光处理 Light treatments		温度 Temperature				
		15℃	20℃	25℃	30℃	自然温度 Natural temp. 15–30℃)
暗培养 Dark cultivation	7 d	未裂	未裂	未裂	未裂	
	10 d	未裂	50%	67%	59%	
	15 d	9%	70%	75%	71%	
	25 d	19%	98%	98%	99%	
光培养 Light cultivation	7 d	未裂	43%	50%	67%	
	10 d	10%	87%	94%	90%	
	15 d	15%	80%	87%	85%	
	25 d	27%	99%	100%	95%	
自然光照 Natural light	50 d					97%

条件下进行发芽实验, 结果见表5。初期暗培养种子的发芽进程明显比光照条件下慢, 但并不影响最终的种子萌发率。温度对巴东木莲种子的萌发有较大的影响, 低于20℃时, 不利于种子萌发; 在20–30℃范围内, 25 d左右种子萌发率可高达100%。自然播种(3月20日播种)的种子两周开始破壳, 50 d才能出土; 而在控制温度25±2℃条件下, 一周开始破壳, 25 d发芽。因此, 在一定温度范围内, 温度影响种子的萌发速率而不影响其最终的萌发率。

3 讨论

自然界中种子的休眠现象普遍存在, 通常由种皮机械障碍、或胚发育不完全、或调节种子休眠与萌发的关键物质含量等引起(符近等, 1998)。在很多植物中种皮及其覆盖物的限制是影响种子萌发的重要因素, 如紫荆(*Cercis chinensis*)种子的种皮成为限制种子萌发的重要因素(孙秀琴等, 1998); 南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)和秤锤树(*Sinojackia xylocarp*)种子坚实的种皮是限制萌发的机械障碍(史忠礼等, 1991; 史晓华等, 1999); 华榛(*Corylus chinensis*)果皮的不透性以及对其萌发幼胚的机械障碍是导致华榛种子繁殖力低的主要原因(杨期和等, 2003); 赖力等(1989)通过种子的呼吸测定指出, 种皮的透水性障碍可能是诱导红松(*Pinus koraiensis*)种子休眠的主导因素。但本研究表明, 巴东木莲种子坚硬的种皮并不构成限制种子萌发的

障碍。

果实脱落时, 种胚在形态上未发育完全, 需经一段时间的后熟, 种胚才能发育完全, 这种休眠称为形态胚休眠。巴东木莲种子为有胚乳种子, 种子成熟时, 种胚在形态上仅有芽端和根端的分化, 胚发育不完全。在预备实验中将其胚剥离进行离体培养, 多数胚不能萌发, 少数胚萌发生长成无根畸形苗, 进一步证明了巴东木莲种子胚具有形态休眠的特性, 种子胚需要一个形态后熟过程才能萌发。种子胚的形态后熟已在多种植物的种子中发现。如兰花种子, 当果实成熟开裂时, 种胚尚未分化, 只具有一个细胞团, 只有当种子在土壤中与微生物共生后, 经1–2个月才逐渐发育完全(Rasmussen, 1995); 濒危植物南川升麻的种子脱落时种胚发育处于球形胚时期, 需要一个长期的形态后熟过程才能完成胚的形态发育(符近等, 1998); 濒危植物明党参种子成熟时种胚处于球形胚或心形胚时期(邱英雄等, 2001); 银杏种子外形成熟时, 仅在个别种子中形成了球形胚, 多数种子的胚是在后熟过程中逐渐形成并发育完全(曹帮华等, 2006); 天女木兰种子成熟时胚的发育处于心形时期(李澎等, 2006)。种子胚的形态休眠可能是物种对环境变化的一种生存适应。

在导致种子生理休眠的诸多原因中, 抑制物被认为是最重要的原因之一(Bewley & Black, 1994), 发芽抑制物在植物种子中广泛存在。赵敏等(2000)发现桔梗(*Platycodon grandiflorum*)种子存在内源抑

制物; 韩宝瑞等(2000)发现西洋参(*Panax quinquefolius*)果肉中存在抑制发芽的物质; 党海山等(2005)发现毛柄小勾儿茶(*Berchemiella wilsonii*)种子的不同部位存在的萌发抑制物是限制种子萌发的重要因素。本研究表明, 巴东木莲种子的种皮和胚乳中均存在抑制种子萌发的物质, 尤其是胚乳中的萌发抑制物质可能是影响巴东木莲种子萌发的重要生理因素。

脱落酸(ABA)被认为是最普遍的萌发抑制物, 在种子的休眠发生中起重要作用(Hilhorst & Karssen, 1992), 研究表明ABA在转录水平上阻遏基因的表达(Villiers, 1968; Nicola *et al.*, 1996)。1977年Khan提出种子的休眠与发芽调节理论, 具有生理后熟的种子多数由内源激素的平衡和消长变化决定种子的休眠与萌发, 这些物质包括萌发促进物质赤霉素(GA₃)、生长素(IAA)、细胞分裂素(CK)和萌发抑制物质脱落酸(ABA)。外源GA₃具有拮抗ABA的作用, IAA对解除种子休眠具有重要作用, 外源GA₃能打破休眠是通过抑制IAA氧化酶, 增加IAA含量, IAA通过诱导胚细胞伸长和分化促进种子萌发而实现的(Khan, 1977; 杨期和等, 2003); ABA被认为是导致欧洲红豆杉种子休眠的主要原因(Le PDMT, 1977); 在东北红豆杉种子中也含大量的ABA(程广有等, 2004)。

本研究中, 用不同浓度外源GA₃处理巴东木莲种子, 并不能破除休眠使其萌发, 说明其种子休眠并非高含量的ABA单因子作用的结果, 并发现在低温层积前后种子中内源ABA、IAA的含量及其相对比例发生了显著的变化: 处理前ABA含量很高, IAA含量低, ABA的抑制作用占优势; 处理过程中ABA逐渐分解, IAA不断合成; 处理后IAA的促进作用占优势, 有利于种子萌发。ABA可能是引起巴东木莲种子休眠的重要原因之一, 处理过程中种子内源激素的平衡变化与其萌发的相关性及其作用机理有待于进一步研究。

巴东木莲种子的休眠是形态休眠和生理休眠综合作用的结果。种子休眠特性是物种在长期系统发育演化过程中形成的对环境的适应, 是调节最佳萌发时间和空间以适应环境变化延续生命的一种机制(唐安军等, 2004)。巴东木莲种子成熟时已是深秋, 土壤水分少, 种子以休眠的方式以度过即将来临的寒冷冬季。实验表明巴东木莲种子胚的形态后

熟和种子内物质的相互转化需要一个长期的低温保湿过程才能完成, 而在自然条件下, 巴东木莲种子落地时虽然气温已经很低, 但正处于干旱季节, 种子难以完成后熟过程。从结构上看, 种子具有很坚硬的中种皮保护胚和胚乳, 由于其透水性好, 加上种胚很小, 靠近种孔, 很容易失水而失去生活力, 这可能是导致该物种稀有和濒危的重要原因。

参考文献

- Aparicio A (1995) Seed germination of *Erica andevalensis* Cabezudo and Rivera (Ericaceae), an endangered edaphic endemic in southwestern Spain. *Seed Science and Technology*, **23**, 705–713.
- Bewley JD, Black M (1994) *Seeds: Physiology of Development and Germination*, pp. 199–257. Plenum Press, New York.
- Cao BH (曹帮华), Cai CJ (蔡春菊) (2006) Study on the after-ripening physiology and endogenous hormones of *Ginkgo biloba* seeds. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **42**(2), 32–37. (in Chinese with English abstract)
- Cheng GY (程广有), Tang XJ (唐晓杰), Gao HB (高红兵), Shen XH (沈熙环) (2004) Dormancy mechanism and relieving techniques of seed of *Taxus cuspidate* Sieb. et Zucc. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), **26**, 5–9. (in Chinese with English abstract)
- Dang HS (党海山), Zhang YJ (张燕君), Jiang MX (江明喜), Huang HD (黄汉东), Jin X (金霞) (2005) A preliminary study on dormancy and germination physiology of endangered species *Berchemiella wilsonii* (Schneid) Nakai var. *pubipetiolata* H. Qian seeds. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **23**, 327–331. (in Chinese with English abstract)
- Fiediler PL, Jain SK (1986) *Conservation Biology*. Chapman and Hall, London.
- Fu J (符近), Qi WQ (奇文清), Gu ZH (顾增辉), You RL (尤瑞麟) (1998) Seed dormancy and germination in *Cimicifuga nanchuanensis*. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **40**, 303–308. (in Chinese with English abstract)
- Fu LG (傅立国), Jin JM (金鉴明) (1992) *The Red Data Book of China's Plants: Rare and Endangered Species* (Vol. I) (中国植物红皮书: 稀有濒危植物(第1卷)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Fu XX (洪香香), Fang SZ (方升佐), Du Y (杜艳) (2002) A study on mechanism of dormancy and germination condition of *Pteroceltis tatarinowii* Maxim. seeds. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), **11**, 9–13. (in Chinese with English abstract)
- Han BR (韩宝瑞), Huang YG (黄耀阁), Li XG (李向高) (2000) Six kinds germination inhibitors in American Ginseng pulp. *Special Wild Economic Animal and Plant Research* (特产研究), **22**(1), 13–17. (in Chinese with English abstract)

- Hilhorst HWM, Karssen CM (1992) Seed dormancy and germination: the role of abscisic acid and gibberellins and the importance of hormone mutants. *Plant Growth Regulation*, **11**, 225–238.
- Khan AA (1977) *The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination*, pp. 6–68. North Holland Publishing Company Amsterdam, Oxford, New York.
- Lai JS (赖江山), Li QM (李庆梅), Xie ZQ (谢宗强) (2003) Seed germinating characteristics of the endangered plant *Abies chensiensis*. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 661–666. (in Chinese with English abstract)
- Lai L (赖力), Zheng GH (郑光华), Xing HW (幸宏伟) (1989) Relationship between seed coat of Korean pine and its dormancy. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **31**, 928–933. (in Chinese with English abstract)
- Le Page-Degivry MT (1977) Non-Acidic inhibitors and embryo dormancy in *Taxus baccata*. *Physiologia Plantarum*, **41**, 85–88.
- Li P (李澎), Lu XJ (陆秀君), Yao F (姚飞), Guo R (郭蕊) (2006) Preliminary study on reasons of seed dormancy of *Magnolia sieboldii* K. Koch. *Seed* (种子), **25**(2), 36–39. (in Chinese with English abstract)
- Miller AL, Duncan RP (2003) Extrinsic and intrinsic controls on the distribution of the critically endangered cress, *Isochnocarpus exilis* (Brassicaceae). *Biological Conservation*, **110**, 153–160.
- Nicola SC, Nicola SG, Rodrigue ZD (1996) Antagonistic effects of abscisic acid and gibberellic acid on the breaking of dormancy of *Fagus sylvatica* seeds. *Plant Physiology*, **96**, 244–250.
- Qiu YX (邱英雄), Fu CX (傅承新) (2001) Studies on the endangerment mechanism of and conservation strategies for *Changium smyrnioides*. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 151–156. (in Chinese with English abstract)
- Rasmussen HN (1995) *Terrestrial Orchids: from Seed to Mycotrophic Plant*, pp. 1–237. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Shi XH (史晓华), Li NL (黎念林), Jin L (金玲), Zhu QG (朱秋桂), Xu BM (徐本美) (1999) Seed dormancy and germination of *Sinojackia xylocarpa*. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), **16**, 228–233. (in Chinese with English abstract)
- Shi ZL (史忠礼), Zhou JH (周菊华), Wang ZQ (王子卿) (1991) Research on seed dormancy of *Taxus chinensis* var. *mairei*. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology* (浙江林业科技), **11**(5), 1–6. (in Chinese with English abstract)
- Sun XQ (孙秀琴), An PA (安蒲璠), Li QM (李庆梅) (1998) Study on breaking the seed dormancy and stimulating the seed germination for *Cercis chinensis*. *Forest Research* (林业科学研究), **11**, 407–411. (in Chinese with English abstract)
- Tang AJ (唐安军), Long CL (龙春林), Dao ZL (刀志灵) (2004) Review on development of seed dormancy mechanisms. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **26**, 241–251. (in Chinese with English abstract)
- Villers TA (1968) Effect of regulators on seed germination and dormancy. *Planta*, **82**, 342–354.
- Xia XD (夏小娣), Zhu YJ (诸颖杰), Lu WL (陆文梁), Chen HJ (陈华君), Jin YJ (金幼菊), Wang TH (王天华) (1992) A method for determining the content of the plant endogenous IAA by GC-MS/IS. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **9**(2), 61–64. (in Chinese with English abstract)
- Yan XF (闫兴富), Cao M (曹敏) (2006) Influence of light and temperature on the germination of *Shorea wantianshuea* (Dipterocarpaceae) seeds. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **23**, 642–650. (in Chinese with English abstract)
- Yang QH (杨期和), Ye WH (叶万辉), Song SQ (宋松泉), Yin SH (殷寿华) (2003) Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **23**, 837–843. (in Chinese with English abstract)
- Yin XW (殷现伟), Chang J (常杰), Ge Y (葛滢), Guan BH (关保华), Fan MY (樊梅英), Qiu YX (邱英雄) (2002) A comparison of dormancy and germination of seeds between an endangered species, *Changium smyrnioides*, and a non-endangered species, *Anthriscus sylvestris*. *Biodiversity Science* (生物多样性), **10**, 425–430. (in Chinese with English abstract)
- Zhang WH (张文辉), Zu YG (祖元刚), Liu GB (刘国彬) (2002) Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 1512–1520. (in Chinese with English abstract)
- Zhao H (赵桦), Yang PJ (杨培君), Li HN (李会宁) (2006) Research of the biological characters on the seeds of *Saruma henryi* Oliv. *Guihaia* (广西植物), **26**, 14–17. (in Chinese with English abstract)
- Zhao M (赵敏), Xu ZF (徐兆飞), Wang RH (王荣华), Zhang W (张伟) (2000) Preliminary study on the characteristics of inner inhibitory substances for *Platycodon grandiflorum* seed. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), **28**, 51–54. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 周玉荣)