

濒危植物西康玉兰种子休眠、萌发及贮藏特性*

韩春艳^{1,2}, 龙春林^{1**}

(1 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650204; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 研究了西康玉兰 (*Magnolia wilsonii*) 种胚的形态大小, 温度、层积、硝酸钾、浸种处理和 GA₃ 对种子休眠及萌发的影响。通过将种子脱水至不同含水量和在两种温度 (4 和 -20) 下贮藏 100 d 后测其生活力, 分析各处理对西康玉兰种子活力的影响。结果表明: 西康玉兰种子胚尚未分化完全, 需经过低温层积完成生理后熟; 低温层积和 GA₃ 可打破种子休眠, 种子最适萌发温度为 25/20。由此推测, 西康玉兰种子具有形态生理休眠特性。西康玉兰种子当含水量降至 5.39%, 存活率为 53.50%。不同含水量的种子贮藏在 -20 条件下, 100 d 后种子全部死亡; 但在 4 下含水量为 10.31% 的种子存活力高达 76%。因此, 西康玉兰种子极可能属于中间性种子, 其适宜贮藏环境为 4 下的干藏或湿藏。

关键词: 西康玉兰; 种子; 冷层积; GA₃; 形态生理休眠

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700 (2010) 01-047-06

Seed Dormancy, Germination and Storage Behavior of *Magnolia wilsonii* (Magnoliaceae), an Endangered Plant in China

HAN Chun-Yan^{1,2}, LONG Chun-Lin^{1**}

(1 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In this paper, we measured the embryo morphology and size of *Magnolia wilsonii* seeds. And the effects of temperature, stratification, KNO₃ and soaking on seed dormancy and germination were studied. Seeds were desiccated to different moisture content, and then stored at 4 and -20 for 100 d. The effects of desiccation and storage temperature on seed viability of *M. wilsonii* were analyzed. The results showed that the underdeveloped embryos of *M. wilsonii* seeds needed cold stratification to achieve physiological after-ripening. The favorable temperature for germination of *M. wilsonii* seeds was 25/20. Cold stratification and GA₃ could effectively overcome dormancy of *M. wilsonii* seeds. Therefore, *M. wilsonii* seeds have morphophysiological dormancy. About 53.50% of seeds could survive in the moisture content of 5.39%. After 100 d storage at -20, all seeds in different moisture contents died. However, after 100 d storage at 4, 76% of seeds survived. Thus, *M. wilsonii* seeds exhibited intermediate seed storage behavior. The optimum storage environments was dry or moist storage at 4.

Key words: *Magnolia wilsonii*; Seed; Cold stratification; GA₃; Morphophysiological dormancy

种子休眠是指具有生活力的成熟种子在适宜的萌发条件下仍不萌发的特性, 是植物在长期

演化过程中为适应环境变化及抵抗不良环境条件所获得的生物学特性 (Bewlley, 1997; 唐安军

* 基金资助: 国家科技基础性工作专项重点项目 (2008FY110400-2-2); 国家科技基础条件平台项目 (2005DKA21006); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KSCX2-YW-Z-0925)

** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: long@mail.kib.ac.cn

收稿日期: 2009-09-20, 2009-12-23 接受发表

作者简介: 韩春艳 (1979-) 女, 博士研究生, 主要从事种子生物学和保护生物学研究。

等, 2004)。根据种子休眠的机制可将休眠划分为5种类型: 物理休眠、生理休眠、形态休眠、形态生理休眠及复合休眠 (Baskin and Baskin, 2004)。

木兰科 (Magnoliaceae) 植物是现存被子植物中较原始的类群。全球木兰科共有16属300余种, 中国产11属170余种, 根据2004年版的《中国物种红色名录》, 木兰科受威胁种类共有10属74种, 是被子植物中受到严重威胁种类最多的科, 其中木兰属 (*Magnolia*) 有27种, 占中国木兰属植物种类的一半以上 (刘玉壶, 2004; 汪松和解焱, 2004)。目前大多数木兰科植物主要依赖种子进行有性繁殖。据统计, 除山玉兰 (*Magnolia delavayi* Franch.)、黄兰 (*Michelia champaca* Linn.)、福建含笑 (*M. fujianensis* Q. F. Zheng)、云南含笑 (*M. yunnanensis* Franch. ex Finet et Cagnep.)、合果木 (*Paramichelia baillonii* (Pierre) Hu)、观光木 (*Tsoongiodendron odorum* Chun) 等植物外, 木兰科植物绝大多数种类种子具有休眠现象。目前, 已知木兰科植物约有7属38种种子具有休眠现象 (国家林业局国有林场和林木种苗工作总站, 2001)。

西康玉兰 (*Magnolia wilsonii* Rehd.) 属木兰科木兰属天女木兰组 (sect. *Oyama* Nakai) 落叶灌木或落叶小乔木, 树高可达8 m, 星散分布于四川中部、西部、云南北部及贵州, 生于海拔2000~3300 m的亚高山和高山森林和灌丛中, 分布地气候湿润而寒冷 (傅立国和金鉴明, 1992; 刘玉壶, 1996; 王献溥和蒋高明, 2001)。西康玉兰为易危种, 中国特有, 属国家二级保护植物, 因其树皮可入药, 作为厚朴的代用品, 如今该植物资源破坏严重; 此外, 滥伐森林, 生境恶化, 天然繁殖能力较弱, 使其自然更新十分困难, 其成年植株已不多见 (傅立国和金鉴明, 1992; 汪松和解焱, 2004)。西康玉兰通常依赖种子进行繁殖, 但种子休眠期长, 若贮藏处理不当易导致萌发率低 (吴守清和张廷忠, 1998; 龚洵等, 2003)。而种子贮藏与种子含水量、贮藏条件 (干藏或湿藏) 和贮藏温度密切相关 (Ioannis-Takos and Merou, 2008)。根据种子的脱水耐性及贮藏环境对种子寿命的影响, 种子分为正常性种子 (orthodox seeds)、顽拗性种子 (recalcitrant seeds) 和中间性种子 (intermediate seeds) (Roberts,

1973; Ellis等, 1990; Hong and Ellis, 1996)。

本研究旨在通过对西康玉兰种子休眠特性、萌发条件和贮藏习性的研究, 明确其种子休眠类型, 找出打破休眠的有效方法及适宜萌发的条件, 促进和提高种子的萌发率, 以及对种子进行有效保存, 为开展西康玉兰种质资源的研究、保存、保护和利用等工作提供重要依据及相关技术。

1 材料与方法

1.1 种子材料

西康玉兰种子于2006年11月采自贵州省六盘水市水城县 (海拔1900 m), 种子采到后, 立即测量其含水量及初始萌发率; 随机抽取20粒种子, 以精确到0.01 mm的游标卡尺测量种子和胚的纵向长度, 计算平均值; 千粒重是随机抽取500粒种子在精确到0.0001 g的电子天平上称重, 重复3次, 计算平均值。然后将种子密封贮藏于4℃冰箱内备用。

1.2 种子萌发实验

随机选取形态完整的种子200粒, 分为4个重复, 用0.1%高锰酸钾溶液消毒30 min, 蒸馏水冲洗, 将种子均匀排列在垫有2层滤纸的150 mm培养皿中, 加入适量的蒸馏水, 盖上培养皿盖, 置于所需温度下, 光照周期为12 h/d, 记录种子萌发状态。

温度处理: 将种子 (已打破休眠) 分别在4、10、15、20、25、30和25/20℃温度下萌发, 测定种子萌发率。

GA₃和KNO₃溶液处理: 将种子置于0、200、500、1000、2000、2500 mg L⁻¹ GA₃溶液以及0、0.1%、0.5%及1.0% KNO₃溶液中, 室温下浸泡48 h, 蒸馏水冲洗3次后, 置于25/20℃下萌发。

种子层积实验: 将种子混合消毒后的湿润珍珠岩, 拌匀, 在4℃ (冷层积) 与室温 (20~23℃) (暖层积) 下分别层积至100 d。定期检查浇水保持湿润, 到既定时间后取出种子置于20℃的条件下进行培养, 测定种子的萌发率。

浸种处理: 流水冲洗种子12 h后, 在4℃下浸泡10 d, 置于25/20℃的条件下进行培养, 测定种子的萌发率。

1.3 西康玉兰种子的脱水干燥与贮藏

随机选取350粒左右新鲜种子, 在室温下 (20~23℃左右) 单层平铺于装有密闭干燥器中的活化硅胶上, 种子上面也覆上硅胶, 分别脱水0、1、4、8、12、24和48 h后, 获得不同含水量的种子。随机取20粒脱水后的种子进行含水量测定, 分为4个重复, 装入干燥的称量瓶中, 在分析天平上准确称取重量W₁, 置于103±2℃的恒温干燥箱中烘17 h, 冷却至室温, 在分析天平上称重W₂。

种子含水量以湿重为基础进行计算:

$$\text{种子含水量} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

将脱水至不同含水量的种子分成三份, 一份立即进行种子萌发, 测定其耐干性; 另外两份分别放入密闭聚乙烯袋中, 将袋装种子放入干燥盒子中, 分别置于 4 和 -20 °C 冰箱中贮藏 100 d 后测定其萌发率。未萌发种子采用四唑法测定其生活力 (宋松泉等, 2005), 将种子纵向切开, 浸入 0.5% TTC 溶液中, 在 30 °C 黑暗条件下处理 3 h, 胚染为红色的种子视为有活力的种子。

1.4 数据统计与分析

种子发芽以胚根突破种皮 1 mm 为标准; 每 2 d 观察记录种子萌发 1 次, 记录萌发种子数, 去除已发芽的种子。种子萌发参数包括萌发率 (Germination percentage) 和平均萌发时间 (Mean germination time, MGT), 其计算公式如下:

$$\text{萌发率} (\%) = \text{发芽种子数} \times 100 / \text{供试种子数}$$

$$\text{平均萌发时间 (MGT)} = (\sum t_i \times n_i) / N$$

其中 t_i 为自萌发实验开始的天数, n_i 为在 t_i 天内萌发的种子数, N 为萌发种子的总数 (Bewley and Black, 1994)。

所有实验数据采用 SPSS16.0 软件进行单因子方差分析 (One-way ANOVA), 结果以平均数 (Mean) \pm 标准差 (SE) 表示。以最小显著差异法 (least-significant difference) 对所有萌发率和平均萌发时间数据进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 西康玉兰种子特征

西康玉兰种子心形, 呈棕黑色至黑色, 种皮坚硬。种子纵长约 5.46 ~ 7.04 mm, 千粒重 60.31 ~ 67.38 g, 初始含水量约 18.79% ~ 20.61%, 种子初始萌发率为 82.00% ~ 92.00% (表 1)。纵切后, 种胚呈椭圆形, 位于种子尖端; 胚小, 纵长约 1.02 ~ 1.24 mm, 已分化出子叶; 胚乳发达, 富含油脂, 占种子绝大部分体积, 种胚包埋在胚乳中。在西康玉兰种子萌发过程中, 种胚在种子内生长伸长, 在萌发前, 种胚纵长伸长到 1.88 ~ 3.25 mm (表 1)。

2.2 温度对种子萌发的影响

在 7 个温度下对种子进行萌发实验, 发现在 4 及 10 °C 下种子不萌发, 随着温度升高, 种子萌发率逐渐升高, 在 25/20 °C 下萌发率最高, 随后萌发率逐渐降低 (图 1)。在不同温度下, 西康玉兰种子萌发率之间存在极显著差异 ($P < 0.001$)。种子在 20 °C 和 25 °C 下萌发率分别为

77.0% 和 62.33%, 低于 25/20 °C 的萌发率 81.79%。30 °C 对种子的萌发极为不利, 萌发率大幅度降低, 仅有 22.67%, 且种子易腐坏发霉致死。随着温度升高, 平均萌发时间逐渐降低, 温度显著影响种子的平均萌发时间 ($P < 0.001$)。在 15 °C、20 °C、25/20 °C 和 25 °C 下, 平均萌发时间由 45.23 d 降至 19.24 d。在 25/20 °C 和 25 °C 下, 平均萌发时间相近。综合分析各温度下种子萌发率和平均萌发时间可知, 25/20 °C 的变温对西康玉兰种子萌发最为有利。

表 1 西康玉兰种子特征

Table 1 The characteristics of *Magnolia wilsonii* seeds

种子特征 Seed characteristics	
种子千粒重 1000 seed weight (g)	63.48 \pm 0.73
种子纵长 Seed length (mm)	5.91 \pm 0.29
种子含水量 Seed moisture content (%)	19.37 \pm 0.42
成熟种胚纵长 Mature embryo length (mm)	1.11 \pm 0.11
萌发种胚纵长 Germinating embryo length (mm)	2.54 \pm 0.69
萌发率 Germination percentage (%)	87.50 \pm 2.22

2.3 GA₃对西康玉兰种子萌发的影响

由图 2 可知, GA₃ 可有效打破西康玉兰种子的休眠, 且随着 GA₃ 浓度升高, 种子萌发率也随之升高, 平均萌发时间则随之降低。对不同 GA₃ 浓度处理下种子萌发率进行单因子方差分析, 结果表明 GA₃ 浓度显著影响种子萌发率 ($P < 0.001$) 和平均萌发时间 ($P < 0.05$)。GA₃ 浓度由 200 mg/L 升到 2500 mg/L 时, 种子萌发率由 25.33% 增至 83.5%, 平均萌发时间由 43.85 d 缩短至 29.46 d, 完全打破西康玉兰种子休眠。2000 mg/L 和 2500 mg/L GA₃ 处理下, 西康玉兰种子萌发率相差甚小。

2.4 浸种处理、KNO₃ 和层积作用对西康玉兰种子萌发的影响

KNO₃ 溶液和浸种处理均不能打破西康玉兰种子休眠 (表 2)。在室温条件下, 暖层积 100 d 后, 西康玉兰种子萌发率为 0 (表 2)。在低温 4 °C 条件下, 冷层积可有效打破西康玉兰种子休眠, 随着冷层积时间的延长, 种子萌发率逐渐增加, 平均萌发时间则逐渐缩短。西康玉兰种子在 4 °C 冷层积 100 d 后, 种子萌发率达 78.00%, 说明种子休眠被有效地打破。

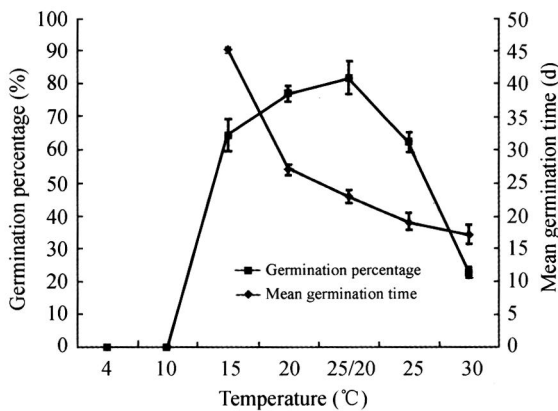


图 1 温度对西康玉兰种子萌发的影响

Fig. 1 Effects of temperature on germination of *Magnolia wilsonii* seeds

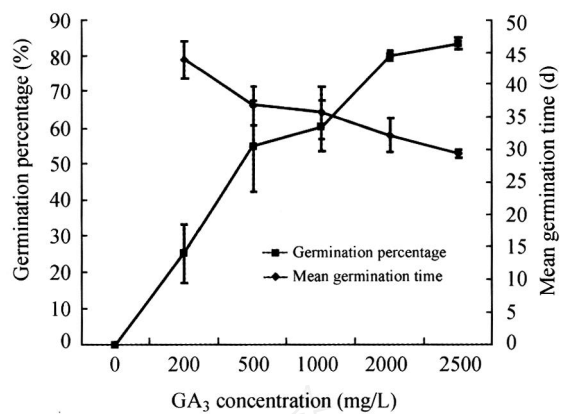
图 2 GA₃对西康玉兰种子萌发的影响

Fig. 2 Effects of GA₃ on germination of *Magnolia wilsonii* seeds

表 2 不同处理对西康玉兰种子萌发的影响

Table 2 Effects of different treatments on germination of *Magnolia wilsonii* seeds

处理 Treatments	处理 Treatments	萌发率 Germination percentage (%)	平均萌发时间 Mean germination time (d)
	0	0	-
KNO ₃	0.1 %	0	-
	0.5 %	0	-
	1.0 %	0	-
浸种处理	对照	0	-
	10 d	0	-
暖层积	0 d	0	-
	40 d	0	-
	80 d	0	-
	100 d	0	-
冷层积	0 d	0	-
	40 d	42.67 ±1.33	29.56 ±3.33
	80 d	46.00 ±6.00	32.84 ±4.24
	100 d	78.00 ±2.00	23.28 ±2.10

2.5 脱水干燥及贮藏对种子生活力的影响

种子脱水在开始阶段,含水量急剧下降,直至脱水时间至 12h,西康玉兰种子含水量由 19.36%降至 5%左右,脱水时间至 48 h,含水量降至 3.28% (图 3)。随着西康玉兰种子含水量降低,种子活力也随之降低 (图 3)。对不同含水量种子活力进行单因子方差分析,结果表明,含水量显著影响种子生活力 ($P < 0.05$)。当种子含水量由 19.36%降至 10.31%,种子生活力由 83.50%降至 70.00%;当含水量降至 5.39%,仍有 53.50%的种子保持生活力;含水

量降至 5%以下,约半数的种子失去生活力 (图 3)。种子在 -20 下贮藏 100 d 后,所有种子全部死亡。而种子在 4 下贮藏 100 d 后,脱水干燥后的种子活力并没有显著下降。在 4 下贮藏 100 d 后,含水量为 19.36%和 10.31%的种子生活力分别为 73.33%和 76%,含水量 3.77%~7.62%的种子生活力为 45.00%~50.00% (图 4)。由此结果可知,西康玉兰种子具较强的脱水耐性,无法忍受零下低温,但在 4 条件下贮藏 100 d 后,种子有效地保存了生活力。

3 讨论

在木兰科植物中,由于具有未完全发育的胚,种子通常具形态休眠或形态生理休眠 (Baskin and Baskin, 1998)。具形态休眠的种子具未分化或已分化但未完全发育 (即可分辨出子叶和下胚轴) 的小胚,在萌发前,胚需在种子内生长;而形态生理休眠是指种子同时具备形态休眠和生理休眠 (Baskin and Baskin, 2004; Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006)。西康玉兰种子胚乳丰富,在种子成熟时,种胚已分化出子叶和胚根,但胚小,仅占种子体积的 1/5 左右,在种子萌发前,胚需在种子内部生长,因此西康玉兰种子具有形态休眠特性。而且,需要长时间的低温冷层积和 GA₃ 才能打破种子休眠,因此,西康玉兰种子具有形态生理休眠特性。形态生理休眠特性在木兰科植物非常常见,例如玉兰 (*M. denudata*)、天女木兰 (*M. sieboldii*)

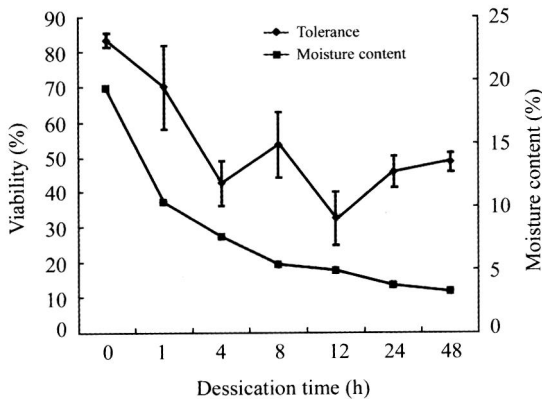


图3 脱水对西康玉兰种子含水量和活力的影响
Fig. 3 Effects of desiccation on moisture content and viability of *Magnolia wilsonii* seeds

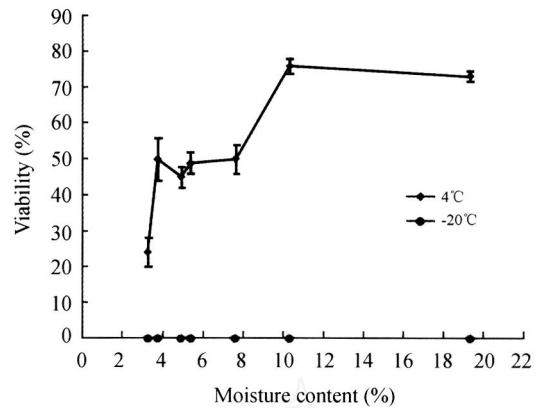


图4 贮藏温度对不同含水量下西康玉兰种子活力的影响
Fig. 4 Effects of storage temperature on viability of *Magnolia wilsonii* seeds in different moisture contents

和巴东木莲 (*Manglietia patungensis*) 种子的休眠即是形态休眠和生理休眠综合作用的结果, 均具有未完全发育的小胚, 需经过低温冷层积处理解除生理休眠以及完成形态上的发育, 在种子萌发前, 种胚在种子内部明显生长伸长 (孙昌高等, 1987; 杜凤国等, 2006; 陈发菊等, 2007)。

西康玉兰种子脱水到 10.31% 时, 种子活力由 83.50% 下降至 70.00%, 随着种子脱水至更低的含水量, 种子活力迅速下降, 其半致死含水量 (W_{L50}) 约为 5.39%, 但当种子含水量降低至 3.28%, 仍有 48.57% 的种子具有生活力 (图 3)。由此可知, 西康玉兰种子具较强的脱水耐性, 种子可忍耐 5% 以下的含水量。西康玉兰种子在 -20℃ 下贮藏 100 d 后, 种子全部死亡, 而贮藏于 4℃ 下的种子仍保持较高的活力。含水量 3.77% 的种子在 4℃ 下贮藏 100 d 后, 有活力的种子达 50.00% (图 4)。因此, 西康玉兰种子不能忍受 -20℃ 下的长时间贮藏, 但在 4℃ 下可有效保持种子生活力。由此认为, 西康玉兰种子极可能属于中间性种子, 且属起源于温带的中间性种子。起源于热带的中间性种子贮藏寿命在贮藏温度低于 10℃ 时开始下降, 例如含水量 10% ~ 11% 的小果咖啡 (*Coffea arabica*) 种子在 10℃ 下可有效地保持种子生活力 (Hong and Ellis, 1992); 而适应于温带的中间性种子在 -20 ~ 5℃ 的低温条件下也可有效地保持生活力 (Hong and Ellis, 1998, 2003), 如野菱种子 (*Zizania palustris*) (含水量为 9% ~ 11.5%) 和欧洲榛

子 (*Corylus avellana*) (含水量为 10% ~ 13%) 分别密封贮藏于 -2℃ 和 -5℃ 时, 可有效保持生活力 (Hong and Ellis, 2003)。

Hong and Ellis (2003) 认为在防止或延迟种子萌发的条件下, 中间性种子在冷湿环境下进行贮藏, 可有效地保持生活力。西康玉兰种子在 4℃ 下低温保湿贮藏 (冷层积) 100 d 后, 种子萌发率可达 78%, 生活力降低非常少, 且层积作用更有利于种子的萌发 (表 1)。由此结果可知, 西康玉兰种子可长时间贮藏于 4℃ 下 (干藏或湿藏) 而不丧失生活力。

西康玉兰多分布在高海拔湿润寒冷的地区, 年平均温仅有 17.1℃, 产区气温低, 雨量多 (傅立国和金鉴明, 1992)。西康玉兰种子打破休眠需要长时间的冷层积作用, 且在温度萌发实验中, 在 20℃ 和 25/20℃ 时萌发效果较好, 高温对种子萌发不利, 易造成种子腐烂霉变, 这可能是对环境的一种适应。而植物的生态与种子贮藏习性息息相关, 适应于高纬度和高海拔的植物种子能够忍耐较低的温度而不会遭受冷害 (Hong and Ellis, 1996), 西康玉兰其高海拔湿润寒冷的生活环境可能是导致其贮藏行为的主要原因。由此可见, 西康玉兰种子休眠和贮藏习性的生理特性与其自然分布环境密切相关, 完全是适应生态环境条件的结果。

致谢 在实验和写作过程中, 得到唐安军博士、程治英研究员和罗吉凤实验师的指导和帮助。

〔参考文献〕

- 刘玉壶, 1996. 中国植物志 (第30卷) [M]. 北京: 科学出版社, 82—199
- 刘玉壶, 2004. 中国木兰 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 6—378
- 宋松泉, 程焱焱, 龙春林等, 2005. 种子生物学研究指南 [M]. 北京: 科学出版社, 57—60
- 汪松, 解焱主编, 2004. 中国物种红色名录 (第1卷) [M]. 北京: 高等教育出版社, 325—328
- 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站主编, 2001. 中国木本植物种子 [M]. 北京: 中国林业出版社, 142—169
- 傅立国, 金鉴明, 1992. 中国植物红皮书: 稀有濒危植物第1卷 [M]. 北京: 科学出版社, 426—427
- Baskin CC, Baskin JM, 1998. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination [M]. San Diego: Academic Press
- Baskin JM, Baskin CC, 2004. A classification system for seed dormancy [J]. *Seed Science Research*, 14: 1—16
- Bewley JD, 1997. Seed germination and dormancy [J]. *The Plant Cell*, 9: 1055—1066
- Bewley JD, Black M, 1994. Seeds: Physiology of Development and Germination [M]. New York: Plenum Press
- Chen F (陈发菊), Liang HW (梁宏伟), Wang X (王旭) *et al.*, 2007. Seed dormancy and germination characteristics of *Manglietia patungensis*, an endangered plant endemic to China [J]. *Biodiversity Science (生物多样性)*, 15 (5): 492—499
- Du FG (杜凤国), Wang H (王欢), Yang DM (杨德冒) *et al.*, 2006. Morphology and biological characters of seed of *Magnolia sieboldii* K. Koch [J]. *Journal of Beihua University (Natural Science)* (北华大学学报 (自然科学版)), 3: 269—272
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1990. An intermediate category of seed storage behavior? Coffee [J]. *Journal of Experimental Botany*, 41 (230): 1167—1174
- Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G, 2006. Seed dormancy and the control of germination [J]. *New Phytologist*, 171: 501—523
- Gong X (龚询), Zhang QT (张启泰), Pan YZ (潘跃芝), 2003. The relationship between floristic character and conservation *ex situ* of endangered plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, 3: 354—360
- Hong TD, Ellis RH, 1992. Optimum air-dry seed storage environments for arabica coffee [J]. *Seed Science and Technology*, 20: 547—560
- Hong TD, Ellis RH, 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. IPGRI Technical Bulletin No. 1 [M]. Rome: International Plant Genetic Resources Institute
- Hong TD, Ellis RH, 1998. Contrasting seed storage behaviour among different species of Meliaceae [J]. *Seed Science and Technology*, 26: 77—95
- Hong TD, Ellis RH, 2003. Storage [A]. In: Vozzo JA (ed). Tropical Tree Seed Manual [M], Washington DC: United States Department of Agriculture Forest Service, 125—136
- Ioannis-Takos EK, Merou T, 2008. Desiccation and storage behavior of bay laurel (*Laurus nobilis* L.) seeds [J]. *European Journal of Forest Research*, 127: 125—131
- Roberts EH, 1973. Predicting the storage life of seed [J]. *Seed Science and Technology*, 1: 499—514
- Sun CG (孙昌高), Xu XY (徐秀瑛), Mei HW (梅捍卫) *et al.*, 1987. Morphology changes in stratification of *Magnolia denudata* seed [J]. *Seed (种子)*, 1: 22—25
- Tang AJ (唐安军), Long CL (龙春林), Dao ZL (刀志灵), 2004. Review on development of seed dormancy mechanisms [J]. *Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究)*, 3: 241—251
- Wang XP (王献溥), Jiang GM (蒋高明), 2001. The threatened status and protected measures of Magnoliaceae species in China [J]. *Journal of Plant Resources and Environment (植物资源与环境学报)*, 4: 43—47
- Wu SQ (吴守清), Zhang TZ (张廷忠), 1998. Preliminary experiment on seedling of *Magnolia wilsonii* [J]. *Guizhou Forestry Science and Technology (贵州林业科技)*, 1: 42—43