

白木香种子脱水耐性的发育变化及贮藏特性*

张丽霞¹, 兰芹英², 李海涛¹, 谭运洪², 管燕红¹, 李学兰^{1**}

(1 中国医学科学院药用植物研究所云南分所, 云南 景洪 666100;

2 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303)

摘要: 研究白木香种子发育进程中种子性状、萌发能力和脱水耐性的变化, 以及不同光温条件对种子萌发的影响和种子的贮藏特性。结果表明: 白木香种子在花后 78 d 获得最大干重, 进入生理成熟期, 此时萌发率接近最大值; 胚在花后 57~85 d, 脱水耐性逐渐增强, 并在花后 85 d 获得最大脱水耐性。种子萌发的适宜温度范围为 25℃~35℃, 光照对种子萌发有一定的抑制作用。新鲜白木香种子(含水量 27.45%) 在 4℃ 低温条件下贮藏 1 个月后萌发率仅为 30% 左右, 而含水量 7.38% 的干燥种子在 4℃ 低温条件下贮藏 120 d, 萌发率仍有 53.33%, 因此, 4℃ 低温和适度脱水有利于种子短期贮藏。白木香种子能忍耐一定程度的脱水, 但干燥至含水量 7.50% 以下时种子会发生损伤, 因此推测白木香种子是一种中间性种子。

关键词: 白木香; 种子发育; 脱水耐性; 种子萌发; 贮藏特性

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 2095-0845(2011)04-458-07

Developmental Changes in Relation to Desiccation Tolerance and Storage Characteristics of *Aquilaria sinensis* (Thymelaeaceae) Seeds

ZHANG Li-Xia¹, LAN Qin-Ying², LI Hai-Tao¹, TAN Yun-Hong²,
GUAN Yan-Hong¹, LI Xue-Lan^{1**}

(1 Institute of Medicinal Plant Development Yunnan Branch, Chinese Academy of Medical Sciences, Jinghong 666100, China;

2 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

Abstract: The seed traits, germinability and desiccation tolerance at different developing periods of *Aquilaria sinensis* seeds were studied in the present paper, the seed storage characteristics and effects of light and temperature on seed germination were investigated too. The results indicated that *A. sinensis* seeds reached the physiological maturation and got the maximum dry-weight at 78 d after anthesis, and seed germination percentage reached a peak at this period. Desiccation tolerance of embryos increased gradually from 57 to 85 days after anthesis and reached the maximum at 85 d after anthesis. The optimal germination temperature was 25℃ to 35℃ and seed germination was inhibited by light in a certain degree. The germination percentage of *A. sinensis* seeds was only about 30% after stored in 4℃ for 30 d when seed moisture content is 27.45%. However, the germination percentage was 53.33% after stored in 4℃ for 120 d when dehydrated to the moisture content of 7.38%. Consequently, low temperature and reasonable dehydration were more suitable for seed short-time storage. *A. sinensis* seeds could suffer dehydration in a certain degree, but the seed will be damaged when dehydrated to the moisture content of 7.50%. Thus, *A. sinensis* seeds exhibited intermediate seed storage behavior.

* 基金项目: 云南省科技计划项目(2008IF018)

** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: xlli_212@163.com

收稿日期: 2010-11-02, 2011-04-15 接受发表

作者简介: 张丽霞(1975-)女, 副研究员, 主要从事热带药用植物资源及植物保护研究。E-mail: zlx0428@yahoo.com.cn

Key words: *Aquilaria sinensis*; Seed development; Desiccation tolerance; Seed germination; Storage Characteristics

白木香 (*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg) 又名土沉香, 属瑞香科 (Thymelaeaceae) 沉香属 (*Aquilaria*) 常绿乔木, 产广东、广西、海南、福建 (中国科学院中国植物志编辑委员会, 1999), 为我国特有的珍贵药用植物。其含树脂的木材为著名中药沉香, 具行气止痛, 温中止呕, 纳气平喘等功效, 用于胸腹胀闷疼痛、胃寒呕吐呃逆、肾虚气逆喘急 (国家药典委员会, 2010)。由于沉香作为香料和药材的用量很大, 随着长期的大量砍伐, 白木香的野生资源已濒临枯竭, 被列为国家二级重点保护野生植物, 载入《中国植物红皮书》和《濒危野生动植物种国际贸易公约》(ITES, 华盛顿公约) 附录等。为保护珍稀濒危的白木香资源和实现沉香药材的可持续生产, 云南、广东、海南等地相继建成了一些规模化种植基地。白木香主要采用种子繁殖, 因其种仁含有大量油分, 种子寿命较短, 不耐贮藏, 生产上一般采用随采随播。张志权 (1982)、刘军民等 (2005, 2006, 2007) 分别从白木香种子的生理生态、种子质量、超低温保存技术和贮藏方法等方面对白木香种子进行了研究, 但关于白木香种子发育与萌发能力的关系及种子在不同发育阶段的脱水行为等研究迄今尚未见报导。本文拟对白木香种子发育进程中的种子性状、萌发能力和脱水耐性变化进行观察, 并对种子在不同光温条件下的萌发行为以及种子的耐贮藏特性进行探讨, 以期为这一珍贵药用植物的适宜采收期确定、种质保存及种苗繁育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

白木香果实于 2009 年 5-7 月采自中国医学科学院药用植物研究所云南分所南药园内。母株树龄约 20 年, 采集盛花期后不同天数的果实, 剥取种子和离体胚作为实验材料。

1.2 实验方法

1.2.1 种子发育进程研究 从花后 30 d 开始, 每隔 7 d 采集一次种子, 直至种子完全成熟脱落。观察并记录每期种子的颜色变化; 取 100 粒种子测定千粒重; 取 10 粒种子测定鲜重后, 在 103℃ 恒温箱中烘 17 h 至恒重, 测定种子干重, 并以鲜重为基础计算种子含水量 (%) ,

以上测定均为 5 次重复; 然后对每期种子按 1.2.5 中的方法进行萌发实验。

1.2.2 种子和胚脱水耐性研究 采集花后 57~85 d 的种子, 剥取胚, 测定初始含水量, 然后于室温下在密闭的干燥器中采用硅胶脱水 0.5~8 h, 测定经不同脱水处理后胚的含水量、电导率、萌发率。电导率测定用 20 粒胚加 50 mL 无离子水浸种, 浸泡液在 DDS-307 型电导仪测定, 浸种与测定温度为 20~25℃, 5 次重复。

采集花后 78 d 的种子经硅胶脱水 1~12 h 后, 测定含水量, 再按 1.2.5 中的方法进行萌发实验, 观察种子和胚对脱水的耐性。

1.2.3 温度和光照对种子萌发的影响研究 选择花后 85 d 大小均匀的种子, 播于含双层滤纸的培养皿中, 然后置于不同温度 (15、20、25、30、35℃ 恒温 和 20/30℃ 变温条件) 和光照 (12 h/d, 12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 或者全黑暗 (用铝箔袋密封) 条件下进行萌发。

1.2.4 种子贮藏实验 将花后 85 d 含水量 27.45% 的新鲜种子和脱水至含水量为 7.38% 的种子装入铝箔袋, 分别放入 -20、4、10、15℃ 条件下贮藏, 室温通风条件下存放做对照。贮藏不同时间后取出, 按 1.2.5 中的方法进行萌发实验。

1.2.5 种子萌发实验 以 30 粒种子或胚为 1 个重复, 设 5 次重复, 双层滤纸做发芽床。除不同光温条件下种子的萌发实验外, 其它种子和胚萌发均在 25℃, 12 h/d (12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 的光照培养箱中进行。参照《国际种子检验规程》(1996 年版), 以胚根突出种皮长度超过种子直径作为萌发标志。逐日观察萌发情况, 并于第 24 d 统计萌发率, 根据“(胚根长+苗长)×萌发率”计算简易活力指数。

1.3 实验数据处理

采用 SPSS13.0 统计分析软件对数据进行处理, 采用该软件中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 对所有数据进行显著性检验; 采用 SigmaPlot10.0 软件作图。

2 结果

2.1 白木香种子发育过程中性状和萌发能力的变化

从开花后 30~85 d, 白木香果实体积逐渐增大, 果皮颜色由绿色变为黄绿色; 种子颜色逐渐从白色变为灰色, 再变为灰褐色, 完全成熟时变为黑褐色; 种子基部的附属体由白色逐渐变为黄色, 再变为黄褐色; 种子的千粒重和干重随着发育进程逐渐增加, 并在 78 d 时达到最大值, 分别为 209.36 g 和 0.113 g (表 1)。花后 71 d, 果

实开始陆续成熟；到花后 85 d，大部分果实成熟，裂开，种子脱落或悬挂在树上。

花后 30 ~ 85 d，种子含水量逐渐降低，由 89.75% 下降至 27.46%（表 1），但不同阶段脱水速率不等。30 ~ 50 d 种子的含水量快速降低，随后的 1 周内无显著变化；57 ~ 71 d 种子含水量再次显著降低，71 ~ 78 d 内变化较小；花后 78 d 的种子已达到生理成熟，但之后至 85 d 的种子又出现含水量明显下降的现象，可见白木香种子有明显的成熟脱水过程。

种子发育过程中萌发率及简易活力指数的变化如图 1 所示。花后 50 d，种子尚无萌发能力，57 d 时，20% 的种子开始获得萌发能力；71 d 时，50% 的种子具有萌发能力；85 d 时，种子的萌发率达到最大值 88.33%，和 78 d 种子的萌发率无显著差异。种子的简易活力指数亦随着发育进程逐渐升高，并在 85 d 时达到最大值。

2.2 白木香种子和胚发育过程中脱水耐性的变化

不同发育时期的胚经硅胶脱水 0.5 ~ 8 h 后，含水量逐渐降低。除花后 78 d 外，其它阶段萌发率均呈现先上升后下降的趋势。即轻微脱水，有助于胚的萌发，随着脱水加剧，胚的萌发率出现不同程度的降低，具有明显的脱水损伤。花后 57 d，胚脱水 3 h，初始含水量由 74.51% 下降至 52.16% 时，胚完全失去活力；花后 64 ~ 71 d，胚脱水 5 h，初始含水量分别由 51.88% 和 31.75% 下降至 24.19% 和 12.47% 时，胚也完全丧失活力；而在花后 78 d，胚脱水 5 h，初始含水量由 29.85% 降至 5.52% 时，胚仍具有 26.25% 的萌发率；花后 85 d，当胚的含水量由 24.42% 降至 15.15% 时，胚的萌发率由 82.5% 升高到 98.75%，持续脱水 5 h，当含水量降至 6.31% 时，胚的萌发率仍高达 86.25%，脱水 8 h，含水量降至 4.24% 时，萌发率仍有 68.75%。由此可见，随着胚成熟度的增加，脱水耐性逐渐增强，85 d 胚获得最大脱水耐性（图 2）。

表 1 白木香种子在发育过程中的性状变化

Table 1 Changes of some properties in developing seeds of *Aquilaria sinensis*

花后天数 Days after flowering/d	种子颜色 Colour of seed	种子千粒重 FW of 1000 seeds/g	种子干重 DW of per seed/g	种子含水量 Moisture content of seed/%
30	白色	108.80±4.17e	0.015±0.003d	89.75±2.52a
50	灰色	197.44±1.98c	0.048±0.008c	76.49±1.31b
57	灰褐色	202.73±2.48bc	0.059±0.011c	71.76±4.65b
64	灰褐色	203.90±2.85b	0.077±0.004b	57.70±6.42c
71	黑褐色	201.74±4.10bc	0.106±0.006a	46.86±3.94d
78	黑褐色	209.36±3.18a	0.113±0.010a	45.46±6.37d
85	黑褐色	180.44±3.74d	0.102±0.005a	27.46±2.89e

注：不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Different letters on right corner in each row mean significant differences at $P < 0.05$.

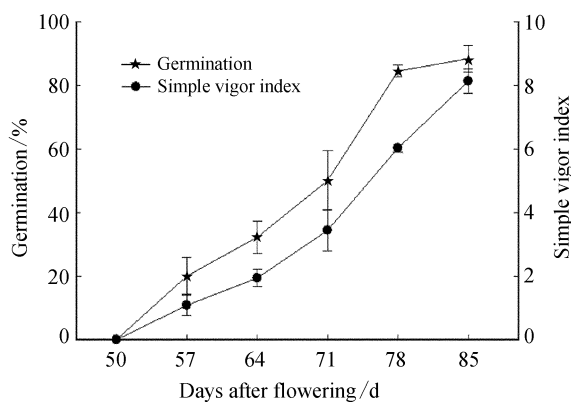


图 1 白木香种子发育过程中萌发率和简易活力指数的变化

Fig. 1 Changes in germination percentage and simple vigor index of *Aquilaria sinensis* seeds during development

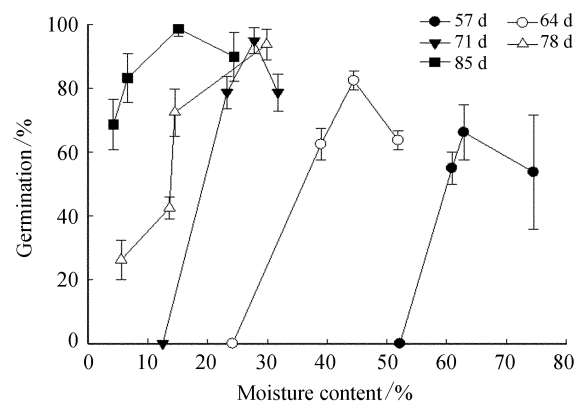


图 2 白木香胚发育过程中脱水耐性的变化

Fig. 2 Changes in desiccation tolerance of *Aquilaria sinensis* embryos during development

电导率是检测种子脱水耐性的一个重要指标, 它反映了脱水对种子产生的损伤程度 (傅家瑞和宋松泉, 2001)。不同发育时期胚在脱水过程中电导率的变化如图 3 所示, 结果显示: 随着白木香种子不断发育成熟, 其内含物质不断积累, 脱水耐性逐渐增强, 脱水对其产生的损伤逐渐减弱, 电导率值也相应减小。花后 85 d, 胚的脱水耐性达到最大时, 脱水受到的损伤程度最小, 其电导率值也最低。电导率实验结果与种子发育逐渐成熟, 脱水耐性逐渐增加, 胚活力逐渐升高的结果一致。

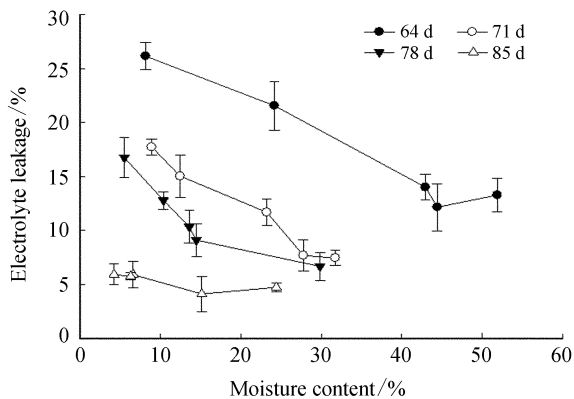


图 3 不同时期白木香胚脱水过程中电导率的变化

Fig. 3 Changes of Electrolyte leakage of *Aquilaria sinensis* embryos at different developmental stages during dehydration

花后 78 d 的种子经硅胶脱水 1~12 h 后, 随着含水量的降低, 种子萌发率也呈现先升后降的趋势。当初始含水量由 46.42% 降至 25.33% 时, 萌发率由 78.33% 增至 85.00%; 继续脱水, 含

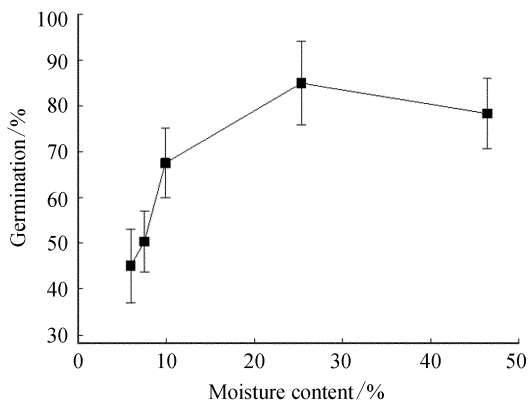


图 4 白木香种子的脱水耐性

Fig. 4 The desiccation tolerance of *Aquilaria sinensis* seeds

水量降至 9.89% 时, 萌发率下降至 67.5%; 当含水量降至 5.94% 时, 种子萌发率仍有 45%。经方差分析结果表明: 含水量为 46.42%、25.33% 和 9.89% 的种子, 萌发率间无显著差异; 当含水量降至 7.50% 以下时, 萌发率则显著低于新鲜种子 (图 4)。

2.3 温度和光照对白木香种子萌发的影响

以花后 85 d 的种子为实验材料, 分别在不同温度和光照条件下进行萌发。实验结果显示: 在交替光照条件下, 温度对白木香种子的萌发率和萌发速率的影响较大 (图 5)。在 25~35℃ 及 20/30℃ 变温条件下, 种子萌发率较高, 萌发速率快, 一般在 3~5 d 左右开始萌发, 15 d 萌发基本结束, 其中在 25℃ 条件下萌发率最高, 达 88%。经方差分析结果显示, 25、30、35℃ 及 20℃/30℃ 变温条件下, 种子的最终萌发率无显著差异, 但在 25℃ 条件下种子第 7 d 的发芽势, 显著高于其它处理。20℃ 条件下, 种子萌发速率较慢; 而 15℃ 条件下, 种子虽然能够萌发, 但当胚根突破种皮一定时候就停止生长, 大部分种子无法发育成正常幼苗。故白木香种子可萌发的温度范围为 20~35℃, 适宜的温度范围为 25~35℃, 种子萌发不需要变温处理。

相同温度下, 种子在交替光照与黑暗条件下相比, 除 25℃ 外, 光照条件下种子的萌发率均低于黑暗条件 (图 6: A); 比较 20~35℃ 下种子的简易活力指数发现, 黑暗条件下种子的简易活力指数均显著高于相同温度光照条件下的简易活力指数 (图 6: B)。可见光照对白木香种子的萌发有

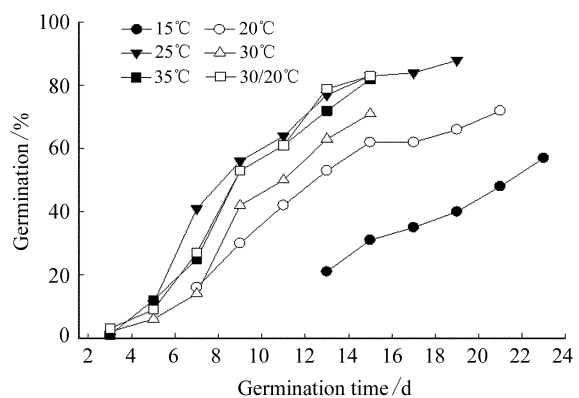


图 5 温度对白木香种子萌发率和萌发速率的影响

Fig. 5 Effect of temperature on germination percentage and germination rate of *Aquilaria sinensis* seeds

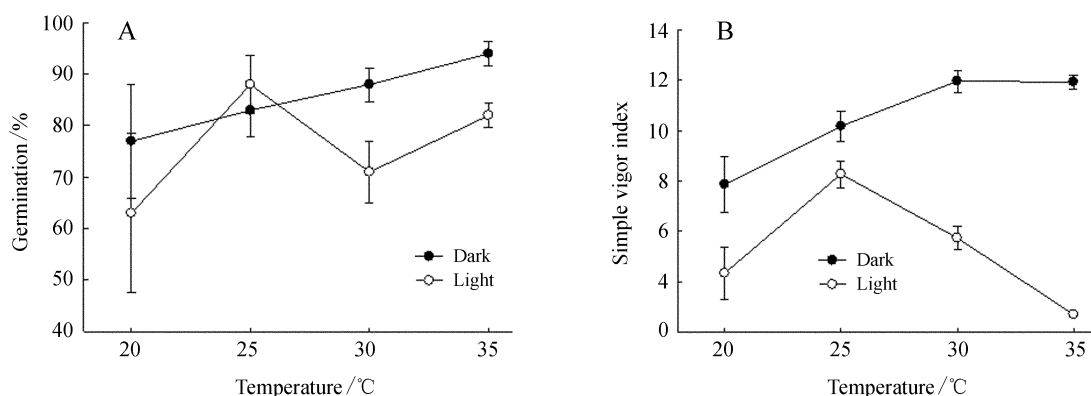


图6 光照对白木香种子萌发率 (A) 和简易活力指数 (B) 的影响
Fig. 6 Effect of light on germination percentage (A) and simple vigor index (B) of *Aquilaria sinensis* seeds

一定的抑制作用, 黑暗条件更适于种子萌发。

2.4 贮藏温度对白木香种子萌发的影响

采集新鲜白木香种子, 测定其初始萌发率为 88.33%。然后在 -20、10、15°C 条件下贮藏 1 个月, 由于种子含水量较高 (含水量 27.45%), 大部分种子发霉坏死; 在 4°C 条件下保存的新鲜种子萌发率下降为 30% 左右。

新鲜种子采集后脱水至含水量为 7.38%, 测定其萌发率为 54%; 然后贮藏于不同温度条件下 (图 7)。结果显示: 在室温通风条件下存放 7 d, 种子萌发率无显著变化; 存放 15 d, 萌发率下降为 34.67%, 存放 30 d 后, 萌发率仅有 7.2%。贮藏于 -20、10、15°C 条件, 贮藏 30 d 后, 萌发率无显著下降; 贮藏 120 d 后, 大部分种子丧失萌发能力。贮藏于 4°C 条件下, 贮藏 120 d 后, 种子萌发率无显著下降, 仍有 53.33%; 贮藏 180 d 后, 萌发率下降为 12%。

以上结果表明, 对白木香种子进行适度脱水, 并在 4°C 低温条件进行贮藏, 有利于延长种子的寿命, 可作为白木香种子的短期贮藏方法。

3 讨论

本实验研究结果表明, 对白木香种子而言, 花后 71 d 至 85 d 是一个关键时期。花后 71 d, 白木香果实和种子颜色变为黄绿色和黑褐色, 此后不再发生变化; 此时, 种子的干重、含水量与花后 78 d 均无显著差异; 但是花后 71 d 时种子萌发率低且不耐脱水, 基本上无种子价值。花后 78 d, 白木香种子的干重和千粒重达到最大值,

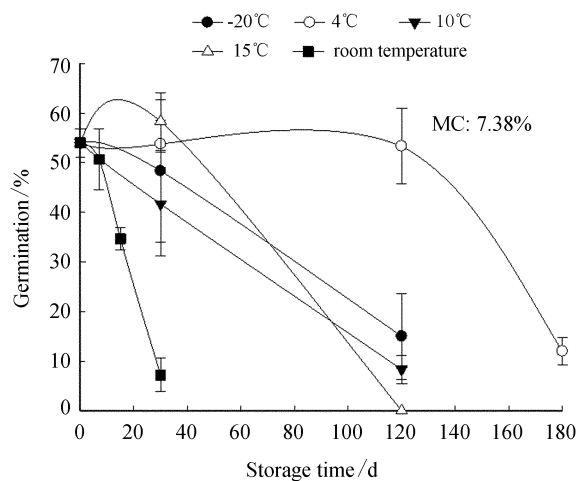


图7 不同贮藏温度和贮藏时间对白木香种子萌发率的影响
Fig. 7 Effect of storage temperature and storage time on germination percentage of *Aquilaria sinensis* seeds

进入生理成熟期。此时, 种子萌发率接近最大值, 并具有较强的脱水耐性。因为此时白木香果实已开始陆续裂开, 种子脱落。如不及时采收, 大量种子从母株脱落之后掉在地表, 日光曝晒和自然风干会导致其含水量快速下降, 萌发率也随之显著降低, 甚至失去活力, 因此, 可确立此阶段为白木香种子的适宜采收时期。适宜采收期的确定对于维持白木香种子的高萌发率具有重要的实践意义。

Roberts (1973) 根据种子的贮藏特性将种子分为正常性种子和顽拗性种子两种类型, 随后 Ellis 等 (1990) 又确认介于两者之间还存在第 3 种类型即中间性种子。正常性种子在母体植株上经历成熟脱水, 成熟时含水量通常在 15% ~ 20%,

能被进一步脱水到很低含水量 (<5%) 而不发生伤害, 在干燥和低温状态下能长期贮藏而不丧失活力, 如大多数农作物、蔬菜和果树的种子; 顽拗性种子不经历成熟脱水, 成熟时含水量相对较高 (40% ~ 60%), 对脱水敏感, 多数种子干燥到 15% ~ 20% 含水量时即死亡, 同时顽拗性种子对低温高度敏感, 在 15℃ 以下就会发生低温伤害, 所以很难用常规方法对它们进行贮藏, 如热带植物荔枝、龙眼、可可、红毛丹、黄皮等 (杨期和等, 2002)。Kundu 和 Kachari (2000) 对沉香属另一植物沉香 (*Aquilaria agallocha*) 的种子脱水敏感性和顽拗性行为研究表明, 沉香含水量从 35% 降低到 20% 时活力逐渐减低, 含水量降低到 20% 以下时种子活力快速丧失, 含水量降低到 7% ~ 11% 种子活力完全丧失, 属于顽拗性种子。而白木香种子的含水量随着发育逐渐下降, 且在达到生理成熟后至完全成熟脱落前, 含水量由 45.46% 快速下降为 27.46%, 具有明显的成熟脱水事件; 花后 78 d 的种子经脱水含水量下降至 5.94% 时, 仍具有 45% 的萌发率, 表明白木香种子具有一定的耐脱水性; 脱水至 7.38% 含水量的种子在 4℃ 低温条件下能贮藏 180 d, 表明白木香种子能耐一定的低温。以上实验结果表明, 白木香种子不是顽拗性种子。中间性种子的重要特征之一是能忍耐一定程度的脱水, 但干燥至相对低的含水量 (7% ~ 12%) 时种子往往会发生损伤 (Elli 等, 1990)。白木香种子含水量由 46.42% 脱水至 9.89% 时, 萌发率无显著差异; 继续脱水, 种子萌发率显著下降; 另外, 含水量为 7.38% 的白木香种子在 -20℃ 低温条件下贮藏 120 d 时, 萌发率仅有 15%; 据此可推测白木香种子是一种中间性种子。

白木香种子的耐脱水性是在成熟过程中逐渐形成的, 在成熟脱落时即花后 85 d 才表现出最大程度的耐脱水性。此时, 种子浸泡液的电导率值也表现最低, 且脱水前后的电导率值保持在一个相似的水平上, 说明其细胞膜已具有较高的稳定性。许多植物种子最耐脱水的阶段在时间上或多或少与种子的生理成熟期即达最大干重的时期相一致 (Ellis 等, 1987), 如荔枝、龙眼、黄皮等顽拗性种子, 但也有一些种子只有在最大干物质积累后的一段时间才能达到最大脱水耐性, 如

七叶树种子在生理成熟期后 10 d 左右达到最大脱水耐性 (陈淑芬, 2006)。本研究结果表明白木香种子也是在生理成熟期后 7 d 左右才达到最大脱水耐性。

温度和光照是影响种子萌发的重要环境因子。白木香种子的萌发温度为 20 ~ 35℃, 适宜萌发温度为 25 ~ 35℃, 此结果与张志权 (1982) 的研究相同。而黑暗条件下白木香种子的简易活力指数显著高于相同温度光照条件下的简易活力指数 (图 6: B), 表明光照对白木香种子的萌发有一定的抑制作用, 黑暗条件更适于白木香种子萌发。

白木香种子寿命较短, 在室内通风条件下, 种子贮藏 15 d, 萌发率即显著降低, 贮藏 30 d, 大部分种子丧失生活力; 刘军民等 (2006) 对白木香种子进行了短期贮藏 (45 d), 采用 3 种含水量种子 (19.30%、9.34%、7.35%) 贮藏于 4℃ 低温条件下, 结果表明 3 种含水量种子至少可保持 45 d 的生活力; 同时也开展了白木香种子的超低温保存研究 (刘军民等, 2007), 研究结果表明, 含水量为 7.35% 的白木香种子在超低温条件下保存 55 d 后, 较常温和 4℃ 低温条件下保存 35 d 后, 能保持较高的萌发率, 表明超低温条件能实现白木香种子的长期保存。本实验中以含水量为 27.45% 的新鲜种子和脱水至含水量为 7.38% 的干燥种子为材料, 研究了 -20、10、15 和 4℃ 条件下白木香种子的贮藏行为。研究结果表明, 高含水量种子在贮藏过程中容易发霉坏死, 而适度脱水有利于白木香种子的贮藏, 其中 4℃ 低温条件可将含水量为 7.38% 的白木香种子寿命由 30 d 延长至 180 d, 适于白木香种子的短期贮藏。

了解种子的脱水耐性在发育过程中的变化后, 在种子发育的特定时期进行适度的脱水处理后可使种子贮藏寿命得到最大限度的延长, 因此合理适度的脱水对种子的贮藏具有十分重要的意义 (杨期和等, 2002)。本项研究中, 由于种子数量不足, 仅以 27.45% 和 7.38% 两种含水量的种子为材料开展了种子贮藏特性研究, 由于含水量为 7.38% 的白木香种子在贮藏前萌发率已较新鲜种子显著下降, 因此探寻一种更为适宜的含水量梯度用于白木香种子贮藏, 还有待今后进一步深入研究。

致谢 中国医学科学院药用植物研究所高微微研究员和祁建军副研究员对本文提出了宝贵意见!

〔参 考 文 献〕

- 中国科学院中国植物志编辑委员会, 1999. 中国植物志, 第52卷(第1分册) [M]. 北京: 科学出版社, 290
- 刘军民, 徐鸿华, 徐梓勤, 2005. 白木香种子质量研究 [J]. 广州中医药大学学报, **22** (6): 470
- 陈淑芬, 2006. 七叶树种子脱水敏感性机理研究 [D]. 南京: 南京林业大学研究生硕士学位论文
- 国家药典委员会编, 2010. 中华人民共和国药典, 2010年版一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 172—173
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1987. The development of desiccation-tolerance and maximum seed quality during maturation in six grain legumes [J]. *Annals of Botany*, **53**: 23—29
- Ellis RH, Hong TD, Roberts EH, 1990. An intermediate category of seed storage behavior? [J]. *Journal of Experimental Botany*, **41**: 1167—1174
- Fu JR (傅家瑞), Song SQ (宋松泉), 2001. Advances in study on desiccation tolerance of seeds [J]. *Journal of Tropical and Sub-tropical Botany* (热带亚热带植物学报), **9** (4): 345—354
- Kundu M, Kachari J, 2000. Desiccation sensitivity and recalcitrant behaviour of seeds of *Aquilaria agallocha* Roxb [J]. *Seed Science and Technology*, **28**: 755—760
- Liu JM (刘军民), Xu HH (徐鸿华), Xu ZQ (徐梓勤) *et al.*, 2006. Effect of different storage methods on germination capacity of *Aquilaria sinensis* [J]. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine* (广州中医药大学学报), **23** (3): 253—255
- Liu JM (刘军民), Xu ZQ (徐梓勤), Xu HH (徐鸿华) *et al.*, 2007. Study on cryopreservation of seeds of *Aquilaria sinensis* [J]. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine* (广州中医药大学学报), **24** (5): 414—415
- Roberts EH, 1973. Predicting the storage life of seeds [J]. *Seed Science and Technology*, **1**: 499—514
- Yang QH (杨期和), Ye WH (叶万辉), Song SQ (宋松泉) *et al.*, 2002. Seed desiccation-tolerance and its relationship to seed types and developmental stages [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **22** (6): 1518—1525
- Zhang ZQ (张志权), 1982. Physio-ecological studies on the seed of *Aquilaria sinensis* [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报), **4**: 86—90