



### 紫楠种子休眠原因和快速解除方法研究

林秀灵, 史锋厚, 余中华, 龙字文, 蒋学莉, 沈永宝

#### 引用本文:

林秀灵, 史锋厚, 余中华, 龙字文, 蒋学莉, 沈永宝. 紫楠种子休眠原因和快速解除方法研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(3): 387–396.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4756>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 不同处理方法对油楠成熟和过熟种子萌发特性的影响

Effects of Different Treatments on Germination Characteristics of Mature and Over-mature Seeds of *Sindora glabra*  
热带亚热带植物学报. 2017, 25(4): 331–338 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3698>

#### PEG-6000模拟干旱胁迫对黄秋葵种子萌发和幼苗生理特性的影响

Effect of Drought Stress with PEG-6000 on Seed Germination and Physiological Properties in *Abelmoschus esculentus*  
热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 611–616 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3907>

#### 海南省入侵杂草假高粱种子萌发特性研究

Seed Germination Traits of Invasive Weed *Sorghum halepense* in Hainan Island  
热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 285–292 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4302>

#### 短期极端高温对鸡冠花种子活力及早期幼苗生理特性的影响

Effect of Short-term Extreme High Temperature on Seed Vigor of *Celosia cristata* and Physiological Characteristics of Early Seedlings  
热带亚热带植物学报. 2017, 25(2): 141–148 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3663>

#### 贵州石笔木种子萌发特性及幼苗生长规律的研究

Studies on Seed Germination Characteristics and Seedling Growth of *Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li  
热带亚热带植物学报. 2017, 25(6): 554–561 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3772>

向下翻页, 浏览PDF全文

# 紫楠种子休眠原因和快速解除方法研究

林秀灵<sup>1,2</sup>, 史锋厚<sup>1</sup>, 余中华<sup>2</sup>, 龙字文<sup>1,3</sup>, 蒋学莉<sup>1,4</sup>, 沈永宝<sup>1\*</sup>

(1. 南京林业大学林学院, 南京 210037; 2. 广东生态工程职业学院园艺与食品学院, 广州 510000; 3. 常州市林业工作站, 江苏 常州 213161; 4. 镇江市林业工作站, 江苏 镇江 212423)

**摘要:** 通过了解紫楠(*Phoebe sheareri*)种子休眠原因, 采取机械、酸碱腐蚀、层积处理(5 °C~25 °C)等措施研究解除种子休眠的最佳方法。结果表明, 种皮透水性差是抑制紫楠种子萌发的主要原因, 种子休眠类型为物理休眠。酸碱腐蚀处理未能有效促进种子的萌发, 浓硫酸和氢氧化钠处理种子不同时间(1~25 min)后, 种子发芽率提高了 33%~55%, 但种子出现严重的伤害现象, 其腐烂率高达 30%~97%。机械处理和层积处理均能有效打破种子的休眠, 其中机械处理以去种皮处理效果最好, 种子发芽率和发芽势分别提高了 99.33%和 76.00%, 但操作耗时、费力。层积处理以 25 °C暖温层积 45 d、25 °C/15 °C和 5 °C/25 °C/5 °C变温层积 60 d 效果较好, 其发芽率达 89%~93%, 发芽势达 79%~83%, 且各层积处理间发芽率、发芽势没有差异; 但与暖温层积相比, 变温层积所需层积时间更长, 种子腐烂率更高。25 °C暖温层积 45 d 是破除紫楠种子休眠的最佳方法。

**关键词:** 紫楠; 种子休眠; 解除休眠; 种子发芽; 层积

doi: 10.11926/jtsb.4756

## Studies on the Causes of Seed Dormancy of *Phoebe sheareri* and Rapid Removal Methods

LIN Xiuling<sup>1,2</sup>, SHI Fenghou<sup>1</sup>, YU Zhonghua<sup>2</sup>, LONG Ziwen<sup>1,3</sup>, JIANG Xueli<sup>1,4</sup>, SHEN Yongbao<sup>1\*</sup>

(1. College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. School of Horticulture and Food, Guangdong Eco-Engineering Polytechnic, Guangzhou 510000, China; 3. Forestry Workstation of Changzhou, Changzhou 213161, Jiangsu, China; 4. Forestry Workstation of Zhenjiang, Zhenjiang 212423, Jiangsu, China)

**Abstract:** By understanding the causes of seed dormancy of *Phoebe sheareri*, mechanical, acid-alkali corrosion and lamination treatment (5 °C~25 °C) were used to study the best methods to relieve seed dormancy. The results showed that the low permeability of seed coat was the main reason for inhibiting seed germination, and the seed dormancy type was physical dormancy. Acid and alkali corrosion treatments could not effectively break seed dormancy. After the seeds were treated with concentrated sulfuric acid and sodium hydroxide for different time (1~25 min), the germination rate was increased by 33%~55%, but the seeds were seriously damaged, and the decay rate was as high as 30%~97%. Both mechanical treatment and stratification treatments could effectively break seed dormancy, and removing whole seed coat by mechanical treatment had the best effect, and seed germination rate and germination potential increased by 99.33% and 76.00%, respectively. But this method was time-consuming and laborious. The seeds under 25 °C warm stratification for 45 d, 25 °C/15 °C and 5 °C/25 °C/5 °C variable temperature stratification for 60 d could effectively promote germination, with the

收稿日期: 2022-11-26 接受日期: 2023-08-21

基金项目: 江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2021]03); 广东生态工程职业学院 2020 年应用技术协同创新中心项目; 广州市科技计划项目(202102021289)资助

This work was supported by the Project for Innovation and Promotion of Forestry Science and Technology in Jiangsu (Grant No. LYKJ[2021]03), the Project for Collaborative Innovation Center of Applied Technology in 2020 of Guangdong Eco-Engineering Polytechnic, and the Project for Science and Technology Plan of Guangzhou (Grant No. 202102021289).

作者简介: 林秀灵(1988 年生), 女, 博士, 研究方向为园林植物种苗学。E-mail: 1091409925@qq.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ybshen@njfu.com.cn

germination rate and germination potential increased by 89%–93% and 79%–83%, respectively, and there were no obvious differences in germination rate and germination potential among these types of stratification. However, compared with warm stratification, variable temperature stratification requires longer stratification time and higher seed decay rate. Therefore, 25 °C warm stratification for 45 d was the optimal way for breaking seed dormancy of *P. shearerii*.

**Key words:** *Phoebe shearerii*; Seed dormancy; Dormancy breaking; Seed germination; Stratification

紫楠(*Phoebe shearerii*)是我国珍贵的特有树种<sup>[1-3]</sup>,为樟科(Lauraceae)楠属常绿乔木,树型优美,叶大阴浓,是优良的园林绿化树种,也是优良的防火树种<sup>[4-7]</sup>。除此之外,紫楠还有很高的经济价值,其木材坚硬、耐腐,是高级家具、建筑等理想用材<sup>[8-10]</sup>;根叶可入药<sup>[10]</sup>,有祛湿、散瘀之功效;枝叶可提炼芳香油<sup>[11-12]</sup>,供制香料和化妆品;种子可榨油,供制皂和作润滑油。紫楠是一种极具开发利用价值的多功能生态经济树种。

紫楠主要分布在我国长江流域及以南地区,但因其自然更新能力弱,加上人为过度砍伐和气候变化,现存紫楠自然资源已濒临枯竭<sup>[3]</sup>。在生产上紫楠主要靠播种育苗,但在育苗时,紫楠种子发芽率低、出苗迟缓,即使是沙藏越冬,春播也需 3 个月左右才能出土<sup>[13]</sup>,给育苗生产带来了一定的困难,制约了紫楠的推广应用。但目前,国内外关于紫楠的研究很少,仅在种子萌发、休眠解除方面进行了初步的研究<sup>[13-16]</sup>。李珍等<sup>[14]</sup>研究表明,在 15 °C~30 °C 范围内,紫楠最适萌发温度为 25 °C,适宜的光照可促进种子的萌发。前人<sup>[13-16]</sup>曾探索种子休眠解除方法,认为种皮障碍是束缚种子萌发的主要因素,但对种子休眠的类型尚不明确,且对有效解除种子休眠的措施没有明确的结论,史晓华等<sup>[13]</sup>报道用 15 °C~25 °C 变温层积能有效解除种子休眠,而姜宗庆等<sup>[16]</sup>认为紫楠种子须经过 1 °C~5 °C 低温层积才能打破休眠。因此,系统研究紫楠种子休眠机制及快速解除休眠的方法有重要的现实意义。

笔者以采自苏州穹窿山的紫楠种子为研究对象,从种子解剖结构、透水性、离体胚发芽等方面研究种子休眠原因,同时采取机械、酸碱腐蚀、层积处理种子,探讨其对紫楠种子发芽的影响,了解种子萌发特性以及存在的差异性,从而筛选出解除紫楠种子休眠的最佳方法,以期为紫楠播种育苗技术的完善提供理论基础和技术支持,从而促进紫楠的推广应用。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

紫楠(*Phoebe shearerii*)种子采自苏州穹窿山(30°47'~32°2' N, 119°55'~121°20' E; 海拔 341.7 m),采集当年成熟的种子搓去外种皮,充分淘洗,获取纯净种子,立即试验。

### 1.2 方法

**形态指标测定** 随机选取 300 粒种子,分为 3 组,用精度为 1 mm 的游标卡尺测量种子的横径和纵径;采用精度为 0.01 g 电子天平测定种子千粒重,重复 8 次,每次重复 1 000 粒种子。用经灭菌刀片将紫楠种子从中央纵向剖开,在显微镜下观察种子的结构。参照 GB 2772—1999《林木种子检验规程》<sup>[17]</sup>,采用高恒温烘干法测定种子的初始含水量。

**种子透水性测定** 设置完整种子和刺破种子(种皮划一条裂缝) 2 个处理,每处理重复 3 次,每次重复 30 粒种子。浸种前种子先称取重量( $W$ ),然后将种子浸泡在 25 °C 恒温蒸馏水中,定期(前 6 h 每隔 2 h; 之后每隔 24 h)取出种子并用滤纸吸干种子表面水后,用精度为 0.01 g 的电子天平称重( $Wt$ ),计算种子吸水率( $\%$ )= $(Wt-W)/W \times 100\%$ 。

**发芽试验** 采用纸上法(TP)进行,以未经处理种子为对照。种子用蒸馏水冲洗干净,滤纸吸干种子表面的水分,置于直径 12 cm 的培养皿中(底部垫有 2 层润湿的滤纸),培养皿加盖置于 25 °C 恒温、12 h 光照培养箱进行催芽,试验期间保持滤纸湿润。各处理种子随机选取 200 粒,每皿 50 粒,4 次重复,每天观察并记录种子发芽情况。以胚根突破种皮超过 2 mm 为萌发标准,置床 30 d 后结束试验<sup>[18]</sup>。发芽率( $\%$ )= $n/N \times 100\%$ ;发芽势( $\%$ )= $Gpt/N \times 100\%$ ,其中,  $n$  为正常发芽的种子数量,  $N$  为播种的种子数量,  $Gpt$  为发芽达到高峰时的种子数量。

**切割处理** 紫楠种子经消毒后,设置 4 个处理进行发芽试验:去掉种皮、保留种皮,切除 1/3、

保留种皮, 切除 1/2 和完整种子(对照)。每个处理重复 4 次, 每次重复 50 粒种子。

**酸碱腐蚀处理** (1) 98%  $H_2SO_4$  处理: 种子于浓硫酸溶液中分别浸泡 0、1、2、3 min; (2) 30% NaOH 处理: 种子于 NaOH 溶液中分别浸泡 0、3、10、15、25 min; (3) 30%  $H_2O_2$  处理: 种子于  $H_2O_2$  溶液中分别浸泡 0、2、5、15、25 min。浸泡后的种子用流水冲洗 24 h, 再用蒸馏水冲洗 3 次后进行发芽试验。以未经处理的种子为对照。每处理重复 4 次, 每次重复 50 粒种子。

**层积处理** 将水选过的种子置于消毒后的湿沙中进行层积处理, 然后进行种子萌发试验。(1) 5 °C 低温层积: 在 5 °C 下分别贮藏 15、30、45、75、105、135 d; (2) 25 °C 暖温层积: 在 25 °C 下分别贮藏 15、30、40、45 d; (3) 25 °C/15 °C 变温层积: 培养箱设置 25 °C/12 h 和 15 °C/12 h 的自动控温, 在 25 °C/15 °C 变温条件下分别贮藏 15、30、45、60 d; (4) 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积: 培养箱设置 5 °C/8 h、25 °C/8 h 和 5 °C/8 h 的自动控温, 在 5 °C/25 °C/5 °C 变温条件下分别贮藏 15、30、45、60 d。以未经层积处理种子为对照。每处理重复 4 次, 每次重复 50 粒种子。

### 1.3 数据的统计分析

采用 SPSS 26.0 软件对相关数据进行方差分析, 采用 Duncan 法进行多重比较。所有数据均以平均值 $\pm$ 标准误差(Mean $\pm$ SE)表示。采用 GraphPad Prism 5 软件作图。

## 2 结果和分析

### 2.1 种子形态

紫楠种子呈卵状椭圆形, 种皮有不规则的黑斑; 其种子结构由内果皮、种皮和种胚组成, 内果皮薄, 脆壳质, 种皮薄膜质, 与内果皮常合而难分; 无胚乳, 单胚, 两侧对称, 子叶厚, 肉质。种子纵径为(8.52 $\pm$ 0.77) mm, 横径为(6.26 $\pm$ 0.34) mm, 千粒重为(205.96 $\pm$ 7.08) g, 成熟种子含水量为(40.15 $\pm$ 0.01)%。

### 2.2 种子透水性

种子的休眠往往与种皮(果皮)的透性有关, 种皮(果皮)的厚度和结构可以影响种子的透水性。从图 1 可见, 紫楠完整种子和刺破种子在水浸 0~3 h 吸水速率均较快, 均呈直线上升趋势, 水浸 3 h 的吸水率分别达 3.14% 和 4.15%; 随后完整种子吸水速度有所降低, 并逐渐趋于平衡; 而刺破种子在 3~126 h 的吸水速率继续加快, 在 126 h 吸水率最高, 为 10.03%, 此时完整种子仅达 4.20%; 126 h 之后, 刺破种子吸水速率下降并趋向饱和。吸水过程中, 刺破种子的吸水率极显著高于完整种子( $P < 0.01$ ), 说明紫楠种皮透水性差, 推测导致紫楠种子休眠的原因与其种皮透水性差有关。

### 2.3 种胚休眠特性检验

为了进一步探索紫楠种子的休眠是否与其种胚有关, 对种子进行去种皮处理, 将离体胚置于适宜的环境下培养。结果表明, 紫楠完整种子置床催芽

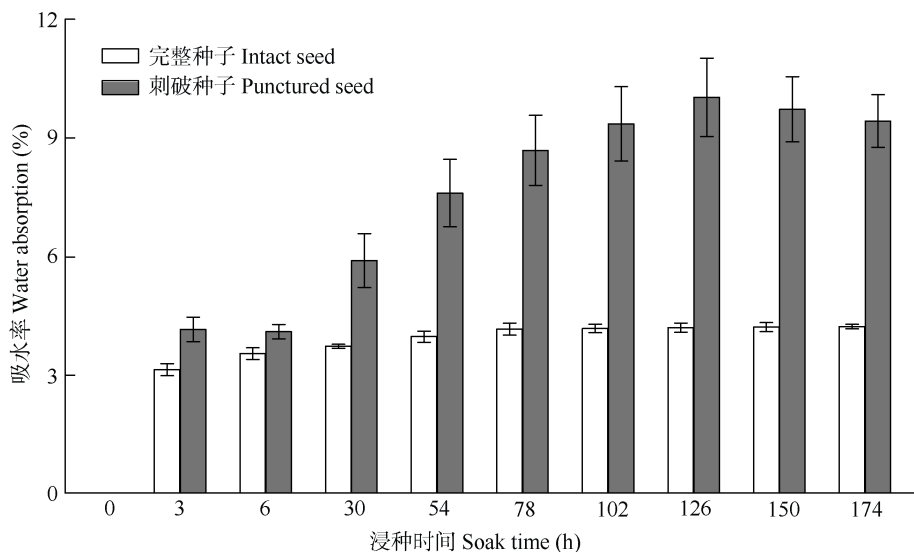


图 1 25 °C 下紫楠种子吸水率变化

Fig. 1 Change in water absorption rate of *Phoebe sheareri* seeds under 25 °C

30 d, 无萌发现象; 而离体胚发芽率达(99.33±1.16)%, 发芽势达(76.00±8.72)%, 说明紫楠种胚在适宜的环境条件下能萌发成苗, 其种胚不存在休眠现象。结合种子透水性试验可推断, 紫楠种子休眠与种胚无关, 其种皮透水性差是造成紫楠种子休眠的主要原因。

## 2.4 机械处理对种子萌发的影响

对种子进行去种皮、1/3 切和 1/2 切处理均能促进紫楠种子萌发, 发芽率分别为(99.33±0.00)%、(59.30±1.25)%和(74.00±2.83)%; 发芽势分别为(76.00±8.72)%、(50.68±4.16)%和(41.33±4.62)%, 与对照差异极显著( $P<0.01$ )。且处理种子的始发芽时

间比对照缩短了 22~26 d; 结束发芽时间比对照提早了 23~50 d(图 2)。

在种子不同切割处理中, 去种皮处理效果最明显, 置床后在第 9 天开始萌发, 比其他处理提早了 4 d; 置床 22 d 后结束发芽, 比其他处理提早 14~27 d; 其发芽率比其他处理提高 25.25%~40.40%, 发芽势比其他处理提高 33%~46%。去种皮种子始发芽时间、发芽率和发芽势与其他处理的差异均极显著( $P<0.01$ )。这进一步验证造成紫楠种子难以萌发的主要原因是种壳透水性障碍, 说明只要破损种壳, 就可促进种子萌发。去种皮处理效果最好, 其发芽速度最快, 发芽率最高, 出苗(发芽势最高)最整齐。

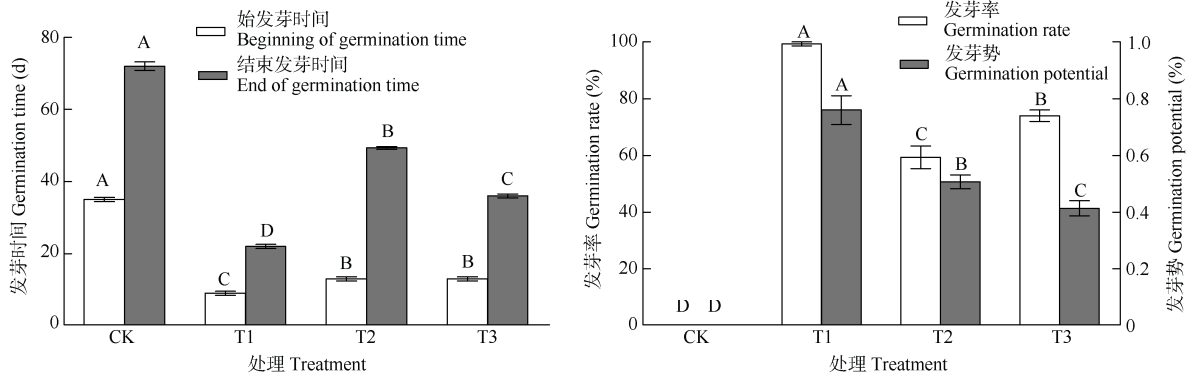


图 2 机械处理对紫楠种子萌发的影响。CK: 对照; T1: 去种皮; T2: 切除 1/3 种皮; T3: 切除 1/2 种皮。柱上不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ )。下同  
Fig. 2 Effects of mechanical treatment on the seed germination of *Phoebe sheareri*. CK: Control; T1: Seed coat remove; T2: Remove 1/3 seed coat; T3: Remove 1/2 seed coat. Different capital letters upon column indicate significant difference at 0.01 level. The same below

## 2.5 酸碱腐蚀处理对种子萌发的影响

**浓  $H_2SO_4$  腐蚀处理** 种子经 98%  $H_2SO_4$  腐蚀后, 内果皮发生了明显变化, 浸泡 1 min 后种子内果皮变软, 变棕红色; 浸泡 2~3 min 内果皮出现脱落现象。浓硫酸处理提高了种子发芽率, 达 48%~55%; 但随着浸泡时间的延长, 种子腐烂率显著上升, 浸泡 3 min 的种子腐烂率高达(52±1.69)%, 说明浓硫酸处理可以腐蚀种子内果皮, 使其变薄, 透水性增加, 一定程度上促进种子的萌发, 但浓硫酸腐蚀性过强, 对种胚也产生直接伤害。

**NaOH 腐蚀处理** 种子经 30% NaOH 处理后内果皮变薄, 由暗褐色变为浅褐色。处理后种子置床催芽 30 d, 除处理 3 min 的发芽率有所提高, 其余处理发芽率均为 0。当处理时间超过 10 min 时, 种子出现严重腐烂现象, 腐烂率达 90%, 表明 30% NaOH 处理不能有效促进紫楠种子的萌发, 反而对

种胚造成严重的伤害。

**$H_2O_2$  腐蚀处理** 种子经 30%  $H_2O_2$  处理后, 种子内果皮无明显变化。处理后种子置床催芽 30 d, 除处理 2 min 的种子发芽率为(7±0.82)%, 其余处理均无萌发迹象。种子腐烂率为 9%~16%, 与对照差异均显著( $P<0.05$ ), 表明 30%  $H_2O_2$  处理未能促进紫楠种子的萌发。

## 2.6 层积处理对种子萌发的影响

**5 °C 低温层积处理** 种子经 5 °C 低温层积后, 置床催芽 30 d。从图 3 可见, 层积 15 和 30 d 的种子均无萌发现象; 层积 45~135 d 提高了种子发芽率, 且种子始发芽时间提早了 12~19 d; 结束发芽时间缩短了 17~27 d。其中, 层积 135 d 的效果最明显, 置床后在第 16 天开始发芽, 置床 45 d 后结束发芽; 其发芽率提高了(71±1.70)%, 发芽势提高了(52±4.49)%, 说明 5 °C 低温层积 135 d 能基本解除紫楠种子休眠。

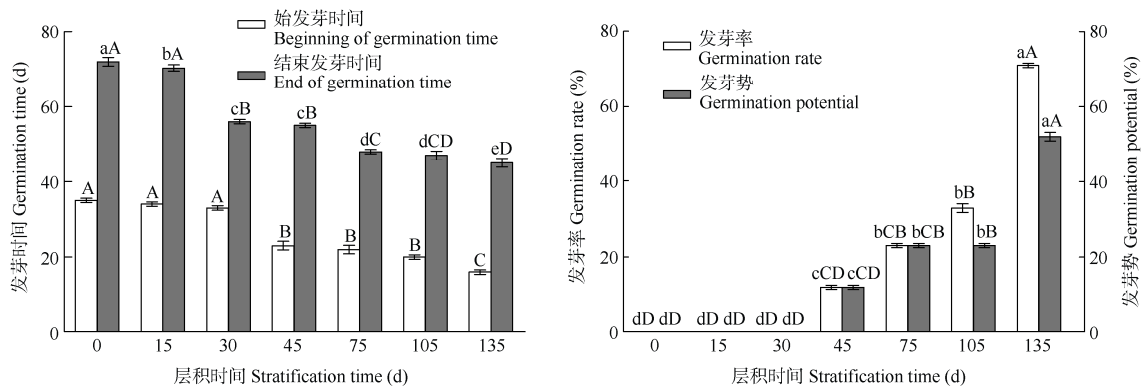


图3 5 °C低温层积处理对紫楠种子萌发的影响。柱上不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Fig. 3 Effect of 5 °C cold stratification on seed germination of *Phoebe sheareri*. Different lowercase letters upon column indicate significant difference at 5% level.

**25 °C暖温层积处理** 结果表明, 25 °C暖温层积处理对种子萌发均有明显促进作用(图4)。种子层积 15 d, 置床催芽第 9 天开始发芽, 发芽率为(28±2.06)%, 发芽势为(25±1.02)%; 层积 30 d, 在第 6 天开始发芽, 发芽率为(74±1.63)%, 发芽势为(64±1.24)%; 层积 40 d, 种子有大部分出现露白现象, 置床催芽 8 d 后种子萌发率超过 50%, 28 d 后结束发芽, 发芽率高达(92±1.70)%, 发芽势超过 70%; 层积 45 d, 约有 35%种子胚根已突破种皮, 置床催芽 6 d 后种子萌发率超过 50%, 20 d 后结束发芽, 发

芽率超过 90%, 发芽势超过 80%。且 25 °C暖温层积处理后种子的始发芽时间、结束发芽时间、发芽率和发芽势均与对照达极显著差异(P<0.01)。层积 40 和 45 d 的种子在发芽时间、发芽率和发芽势上与其他处理时间之间的差异达极显著水平(P<0.01); 层积 45 d 比层积 40 d 种子提早 8 d 结束发芽。说明 25 °C暖温层积有明显破眠作用, 层积 40 d 就能解除种子休眠。因此, 层积 45 d 处理效果最好, 其发芽率、发芽势最高, 且种子萌发时间大大缩短。

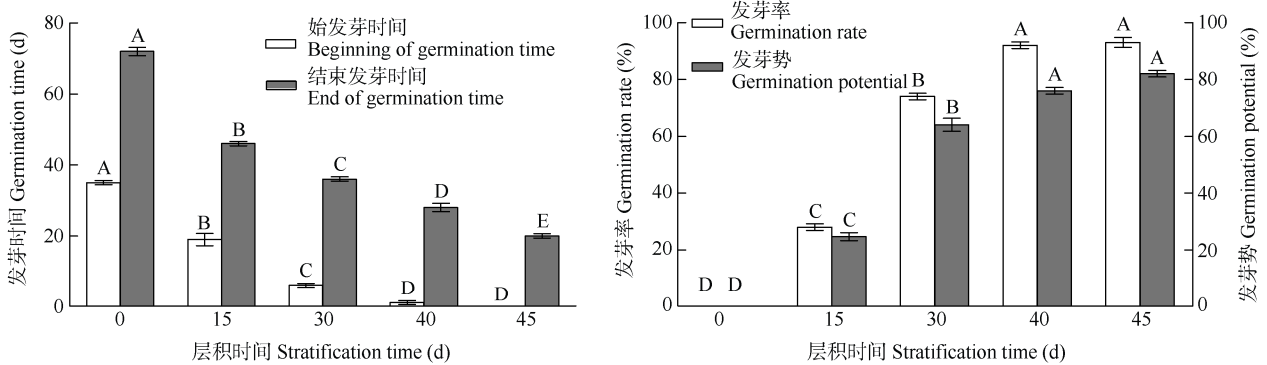


图4 25 °C暖温层积对紫楠种子萌发的影响

Fig. 4 Effects of 25 °C warm stratification on seed germination of *Phoebe sheareri*

**25 °C/15 °C变温层积处理** 结果表明(图5), 25 °C/15 °C变温层积处理能有效促进紫楠种子萌发。层积处理时间超过 30 d, 种子发芽率在 70%以上, 发芽势在 60%以上; 随着层积时间的延长, 种子始发芽时间缩短到 0 d; 发芽结束时间提早到 15 d。层积处理不同时间种子的始发芽时间、结束发芽时间、发芽率和发芽势均与对照的差异达极显

著水平。表明层积处理 30 d 能基本解除紫楠种子休眠, 但萌发时间较长, 此时播种会造成种子出苗不整齐现象。层积处理 45 d 能彻底解除紫楠种子休眠, 其种子始发芽时间均为 0, 发芽率均超过 85%, 发芽势均达 80%左右。与层积处理 45 d 相比, 层积处理 60 d 效果更好, 种子萌发时间缩短了 14 d。

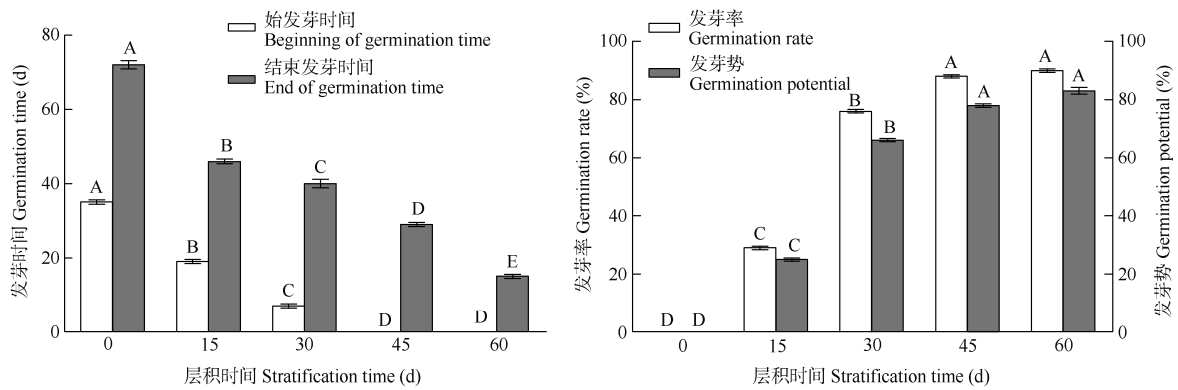


图 5 25 °C/15 °C 变温层积对紫楠种子萌发的影响

Fig. 5 Effect of 25 °C/15 °C stratification on seed germination of *Phoebe sheareri*

**5 °C/25 °C/5 °C 变温层积处理** 随着 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积时间的延长, 种子发芽率呈明显上升的趋势(图 6)。层积处理 30 d, 种子发芽率和发芽势均超过 50%, 始发芽时间为 18 d, 比对照缩短了 17 d。层积处理 45 d, 种子发芽率为(87±1.25)%, 发芽势为(72±1.32)%, 始发芽时间为 0 d, 结束发芽

时间为 29 d。层积处理 60 d, 种子结束发芽时间比层积处理 45 d 的缩短了 11 d。这表明 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积能有效促进紫楠种子萌发, 层积 45 d 就可以完全解除紫楠种子休眠, 而层积处理 60 d 效果最好, 不仅发芽率、发芽势高, 且其出苗整齐, 所需萌发时间最短。

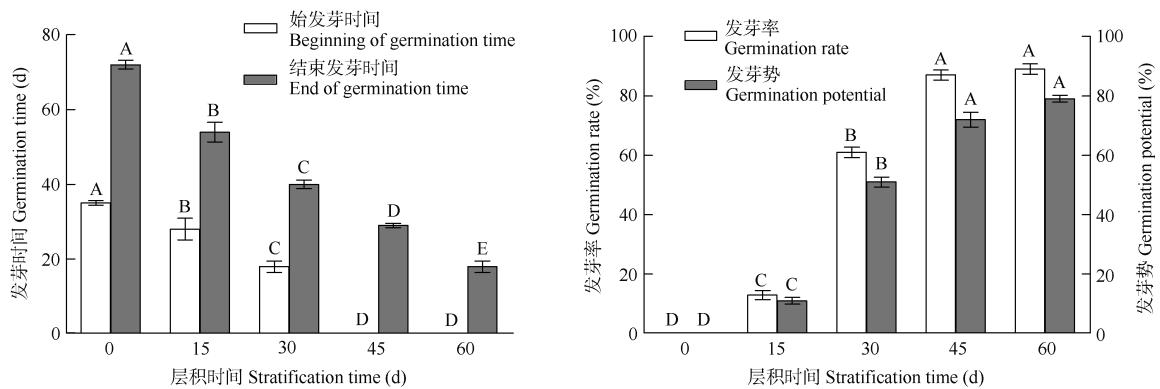


图 6 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积对紫楠种子萌发的影响

Fig. 6 Effect of 5 °C/25 °C/5 °C stratification on seed germination of *Phoebe sheareri*

**2.7 解除休眠措施**

从图 7 可见, 去种皮、5 °C 低温层积 135 d、25 °C 暖温层积 45 d、25 °C/15 °C 变温层积 60 d 和 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积 60 d 均可有效解除紫楠种子休眠, 发芽率和发芽势均有较大幅度提高, 同时明显缩短发芽时间。多重对比分析表明, 去种皮处理的发芽率最高, 其次为 25 °C 暖温层积 45 d、25 °C/15 °C 变温层积 60 d 和 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积 60 d, 发芽率最低的是 5 °C 低温层积 135 d。在层积处理中, 25 °C 暖温层积 45 d、25 °C/15 °C 变温层积 60 d 和 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积 60 d 效果较好。与其他 4 种处理相比, 5 °C 低温层积效果最不理想,

其发芽率、发芽势最低, 种子所需发芽时间最长。

**3 结论和讨论**

**3.1 紫楠种子形态解剖结构**

双子叶植物种子分为有胚乳和无胚乳种子 2 大类<sup>[19]</sup>。无胚乳种子具有肥大子叶, 内贮藏的营养物质可供种子萌发幼苗生长之需。笔者通过形态解剖试验, 发现紫楠种子由内果皮、种皮和种胚组成; 内无胚乳, 单胚, 两侧对称; 与《中国木本植物种子》<sup>[20]</sup>中记载相一致。与其他无胚乳种子一样<sup>[14,21]</sup>, 紫楠种子内具有贮存功能的 1 对肥厚子叶, 子叶几乎充

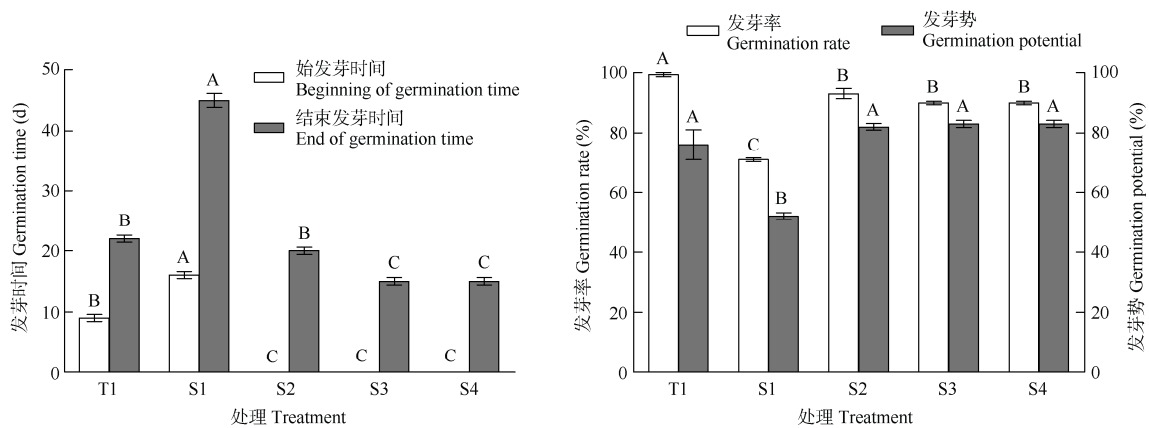


图7 不同破眠处理的种子发芽情况比较。T1: 去种皮; S1: 5 °C 低温层积 135 d; S2: 25 °C 暖温层积 45 d; S3: 25 °C/15 °C 变温层积 60 d; S4: 5 °C/25 °C/5 °C 变温层积 60 d。

Fig. 7 Comparison of seed germination of *Phoebe sheareri* under dormancy-breaking treatments. T1: Remove seed coat; S1: 5 °C cold stratification for 135 days; S2: 25 °C warm stratification for 45 days; S3: 25 °C/15 °C stratification for 60 days; S4: 5 °C/25 °C/5 °C stratification for 60 days.

满整个种腔。有研究表明<sup>[14,21-22]</sup>, 不同无胚乳种子内种胚发育情况不同, 且种胚是否发育成熟与种子休眠特性密切相关。浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)<sup>[14]</sup>种子种胚发育尚未成熟, 胚芽很小, 需通过一定温度的生理后熟和胚芽、胚根的增大才能萌发; 枳椇(*Hovenia acerba*)<sup>[21]</sup>和叶底红(*Phyllagathis fordii*)<sup>[22]</sup>种子种胚已发育成熟, 无需经生理后熟处理, 枳椇离体胚发芽率达 80%, 叶底红种子发芽率高达 88%。在本研究中, 紫楠成熟种子种胚已发育成熟, 跟叶底红和枳椇种子一样, 无需经生理后熟处理, 离体胚就能发芽, 且发芽率高达 99.33%, 说明紫楠成熟种子的种胚后熟已完成。

### 3.2 紫楠种子休眠的原因

种子休眠是指有发芽能力的种子在适宜萌发的环境条件下不萌发的现象<sup>[21]</sup>。本研究测定紫楠种子的发芽率为 0%, 显然紫楠种子具有休眠习性。造成种子休眠的因素有种胚后熟未完成、种皮机械阻碍、萌发抑制物存在以及外界环境条件限制等。根据 Baskin 等<sup>[23]</sup>对休眠类型的划分, 可将种子休眠划分为生理休眠、形态休眠、形态生理休眠、物理休眠和综合休眠 5 种类型。其中, 生理休眠主要是由种胚生理抑制作用引起的; 形态休眠是由种胚细胞尚未分化或种胚尚未发育完全引起的; 形态生理休眠一般是指未发育胚或线性胚的种子, 具有生理与形态的双重性休眠; 物理休眠主要是指种皮(种壳)对种子萌发的限制性作用; 综合休眠具有生理性和物理性 2 种休眠形式。本研究表明, 紫楠种子休眠与种胚无关, 这与枳椇<sup>[21]</sup>相似, 由此推测, 造成种

子休眠很可能是由种皮限制性作用引起。紫楠种皮脆壳质, 通过硫酸腐蚀处理可软化种皮, 种子发芽率提高了 55%; 去种皮处理能完全破除种皮障碍, 种子发芽率提高了 99.33%, 这与枳椇、黄山花楸(*Sorbus amabilis*)、鸡爪槭(*Acer palmatum*)、色木槭(*A. mono*)、元宝枫(*A. truncatum*)和美国红枫(*A. rubrum*)等种子一致<sup>[21,24-25]</sup>, 即种皮障碍限制了种子的萌发。种子透水性试验结果表明, 刺破种子吸水率远远高于完整种子, 且差异达极显著水平, 这与前人<sup>[13-162]</sup>的研究结果相一致。因此, 种皮透水性差是抑制紫楠种子萌发的主要原因, 根据 Baskin 等<sup>[23]</sup>对休眠类型划分, 紫楠种子休眠属于物理休眠。

### 3.3 紫楠种子休眠的破除方法

针对种皮障碍导致种子萌发困难的问题, 可采用一些措施破损种皮, 削弱其阻碍作用, 满足种胚对水气的需求<sup>[21]</sup>。层积处理、酸蚀处理也可在一定程度上改变种皮的结构<sup>[26]</sup>, 使其种皮破损。其中层积处理是一种有效且常用的破眠方法, 其作用表现在许多方面, 对于种皮透水透气性差、种皮存在机械障碍、种子内存在发芽抑制物等原因引起的种子休眠, 层积处理对打破种子休眠有较好的效果<sup>[27-28]</sup>。本研究表明, 5 °C 低温层积 135 d 后可有效打破紫楠种子休眠, 发芽率提高了 71%, 发芽时间比对照提早了 19 d, 结束发芽时间缩短了 27 d。

大量研究表明, 单独采用暖温层积未能有效解除种子的休眠。如东北刺人参(*Oplopanax elatus*)种子经 20 °C 暖温层积 7 个月后萌发率仍为 0%<sup>[29]</sup>; 蜡瓣花(*Corylopsis coreana*)种子经 20 °C 暖温层积 6 个



月后萌发率仅为 45%<sup>[30]</sup>；凤丹(*Paeonia ostii*)<sup>[31]</sup>和东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)<sup>[32]</sup>种子经暖温(20 °C 或 25 °C)层积后种子内营养物质都转化缓慢,不利于种胚生长发育。然而邓慧君<sup>[33]</sup>的研究表明,25 °C暖温层积能明显打破白魔芋(*Amorphophallus albus*)种子内源激素的平衡( $\omega_{GA3}$  上升,  $\omega_{ABA}$  下降),从而有效破除种子的休眠。在本研究也有类似结果,即 25 °C暖温层积能有效打破紫楠种子休眠,层积 40 d 后种子发芽率超过 90%,发芽势高达 80%。关于紫楠种子在暖温层积过程中内部发生的一系列有利于解除休眠的生理生化变化还有待进一步研究。

变温层积在一定程度上改变种皮的伸缩性,引发种皮破裂,并刺激种子代谢<sup>[34-35]</sup>,能有效促进种子萌发。一般在一定温度范围内变动才会解除休眠,如苦酸模(*Rumex obtusifolius*)<sup>[36]</sup>和欧洲笋(*Lycopus europaeus*)<sup>[37]</sup>种子必须分别在 15 °C~23 °C 和 17 °C~27 °C 变动才有效。但也有研究表明,种子休眠的解除必须经低、暖温的交替变温层积才有效,如岩高兰(*Empetrum hermaphroditum*)<sup>[38]</sup>种子单纯经低温 1 °C~5 °C 或暖温 5 °C~25 °C 变温层积 16~32 周后,种子发芽率仅为 10%~38%;当先低温变温层积 12 周,再经暖温变温层积 20 周后,种子发芽率高达 93%。史晓华等<sup>[13]</sup>的研究表明,紫楠种子仅通过 15 °C~25 °C 变温层积就能有效解除种子休眠;然而姜宗庆等<sup>[16]</sup>的研究表明紫楠种子必须经 1 °C~5 °C 低温处理才能有效解除休眠。在本研究中,5 °C/25 °C/5 °C 和 25 °C/15 °C 变温层积均能有效解除紫楠种子休眠,且效果一样,说明紫楠种子休眠的解除与是否经 1 °C~5 °C 低温处理没有直接关系,这与姜宗庆等<sup>[16]</sup>的结论不一致。

综上,酸碱腐蚀不能有效解除紫楠种子的休眠,且腐蚀性过强,对种子造成严重伤害,不宜使用。机械处理和层积处理均能有效破除紫楠种子休眠,但是机械处理操作麻烦,耗时耗力,不宜用于大批量种子生产推广应用。5 °C 低温层积所需时间过长,可能会错过紫楠最佳播种时间;5 °C~25 °C 变温层积和 25 °C 暖温层积效果都很好,相比之下,25 °C 暖温层积时间较短,且腐烂率极小。因此,25 °C 暖温层积 45 d 是打破紫楠种子休眠的最佳方法,值得在实际生产或科研试验中进行推广。

## 参考文献

[1] LI X, LI X J, SHI F H, et al. Effects of slow-release fertilizer amount

- on the growth of container seedlings of *Phoebe sheareri* [J]. *J NW For Univ*, 2022, 37(4): 152–157. [李鑫, 李晓菁, 史锋厚, 等. 缓释肥施用量对紫楠容器苗生长的影响 [J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(4): 152–157. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2022.04.20.]
- [2] LIU D R, ZHU Y, WANG J H, et al. Community structure and its species diversity of *Phoebe sheareri* in Liyang of Jingsu Province [J]. *J Chin Urban For*, 2021, 19(4): 12–16. [刘冬瑞, 朱颖, 王金虎, 等. 江苏溧阳紫楠群落结构及物种多样性特征 [J]. *中国城市林业*, 2021, 19(4): 12–16. doi: 10.12169/zgcsly.2019.12.18.0001.]
- [3] WANG Y, MA X H, LU Y F, et al. Assessing the current genetic structure of 21 remnant populations and predicting the impacts of climate change on the geographic distribution of *Phoebe sheareri* in southern China [J]. *Sci Total Environ*, 2022, 846: 157391. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157391.
- [4] LI J, LU Y F, YANG A N, et al. Species diversity of natural *Phoebe sheareri* communities with different disturbance intensities [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2019, 36(2): 279–288. [李军, 陆云峰, 杨安娜, 等. 紫楠天然群落物种多样性对不同干扰强度的响应 [J]. *浙江农林大学学报*, 2019, 36(2): 279–288. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.2019.02.009.]
- [5] SHI H W, DENG Y C, LIU S C, et al. Technology of container seedling cultivation of *Phoebe sheareri* in Wuhan [J]. *Hubei For Sci Technol*, 2020, 49(5): 83–84. [史红文, 邓永成, 刘淑超, 等. 武汉地区紫楠容器育苗技术 [J]. *湖北林业科技*, 2020, 49(5): 83–84. doi: 10.3969/j.issn.1004-3020.2020.05.027.]
- [6] XU H D, ZHU B, WEI X M, et al. Root functional traits mediate rhizosphere soil carbon stability in a subtropical forest [J]. *Soil Biol Biochem*, 2021, 162: 108431. doi: 10.1016/j.soilbio.2021.108431.
- [7] HUANG X, WU Y, LI Y, et al. First report of *Colletotrichum fructicola* causing anthracnose on *Phoebe sheareri* in China [J]. *Plant Dis*, 2022, 106(7): 1994. doi: 10.1094/PDIS-08-21-1841-PDN.
- [8] LIU H, LIU M, TANG W, et al. Wood structural characteristics of *Phoebe sheareri* [J]. *J NE For Univ*, 2017, 45(2): 53–56. [刘虎, 刘敏, 汤雯, 等. 紫楠木材的构造特征 [J]. *东北林业大学学报*, 2017, 45(2): 53–56. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2017.02.011.]
- [9] CHEN A L, ZHAO Z H, GONG W, et al. Predicting suitable distribution areas of *Phoebe sheareri* in China under climate change [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(5): 435–444. [陈爱莉, 赵志华, 龚伟, 等. 气候变化背景下紫楠在中国的适宜分布区模拟 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(5): 435–444. doi: 10.11926/jtsb.4201.]
- [10] FAN Y, LOU Y K, KU W P, et al. Age structure and spatial point pattern of *Phoebe sheareri* population in Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2020, 37(6): 1027–1035. [范忆, 楼一恺, 库伟鹏, 等. 天

- 目山紫楠种群年龄结构与点格局分析 [J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(6): 1027–1035. doi: 10.11833/j.issn.2095-0756.20190631.]
- [11] MENG Z L, LIANG R L. Analysis of the essential oils obtained from the fresh leaves of *Phoebe sheareri* and *Phoebe bournei* in Guangxi and *Phoebe zheman* in Emei Area of Sichuan Province [J]. Flavour Frag Cosmet, 2019(2): 1–8. [孟中磊, 梁瑞龙. 广西紫楠、闽楠与四川峨眉桢楠鲜叶精油成分分析 [J]. 香料香精化妆品, 2019(2): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1000-4475.2019.02.001.]
- [12] JIANG H H. Study on isolation and identification of *Phoebe sheareri* and its bioactivities [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017. [姜浩瀚. 紫楠有效成分分离纯化鉴定及其生物活性研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.]
- [13] SHI X H, TIAN L J, SHI Z L. Study on seed dormancy physiology of *Phoebe sheareri* [J]. Seed, 1988(1): 32–33. [史晓华, 田丽洁, 史忠礼. 紫楠种子休眠生理的研究 [J]. 种子, 1988(1): 32–33. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.1988.01.045.]
- [14] LI Z, WANG S J, LIU C L, et al. Study on seed germination characteristics of *Phoebe sheareri* and *Phoebe chekiangensis* [J]. N Hort, 2012(7): 58–60. [李珍, 王素娟, 刘纯玲, 等. 紫楠及浙江楠种子萌发特性研究 [J]. 北方园艺, 2012(7): 58–60.]
- [15] CHEN Q H, SHAO A H, JIANG X, et al. Effects of different pretreatment on the seed germination of *Phoebe sheareri* [J]. Contern Hort, 2018(7): 37–39. [陈勤华, 邵爱华, 蒋旭, 等. 不同预处理对紫楠种子萌发的影响 [J]. 现代园艺, 2018(7): 37–39. doi: 10.14051/j.cnki.xddy.2018.07.016.]
- [16] JIANG Z Q, LI C Z, ZHOU X, et al. Study on dormancy characteristics and removal measures of *Phoebe sheareri* seeds [J]. Seed, 2020, 39(12): 92–94. [姜宗庆, 李成忠, 周霞, 等. 紫楠种子休眠特性及解除措施研究 [J]. 种子, 2020, 39(12): 92–94. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2020.12.092.]
- [17] The State Bureau of Quality and Technical Supervision. GB/T 2772—1999 Rules for forest tree seed testing [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999: 19–20. [国家质量监督局. GB/T 2772—1999 林木种子检验规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 19–20.]
- [18] LI Y, LI H Y, PANG S F, et al. Research on the physiological mechanism of GA and ABA regulating *Ginseng Radix et Rhizoma* seed dormancy [J]. Mol Plant Breed, 2023, 21(12): 4036–4042. [李渊, 李红钰, 逢世峰, 等. GA 和 ABA 调控人参种子休眠的生理机制 [J]. 分子植物育种, 2023, 21(12): 4036–4042. doi: 10.13271/j.mpb.021.004.036.]
- [19] YE Q H, CENG D, CHEN Z D, et al. Plant Biology [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2002: 47–49. [叶庆华, 曾定, 陈振端, 等. 植物生物学 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2002: 47–49.]
- [20] ZHOU B X. Seeds of Woody Plants in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001: 767–770. [国家林业局国有林场、林木种苗工作站. 中国木本植物种子 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 767–770.]
- [21] LI Y, SHEN Y B. A study on the seed dormancy mechanism and ways of dormancy breaking in *Hovenia acerba* Lindl. [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2014, 38(2): 57–62. [李英, 沈永宝. 枳椇种子休眠原因及解除方法 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(2): 57–62. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2014.02.012.]
- [22] LIN X X, CHEN Z D, LIN Q J, et al. Study on the germination characters of *Phyllagathis fordii* [J]. China Agri Sci Bull, 2013, 29(28): 156–159. [林秀香, 陈振东, 林秋金, 等. 叶底红种子发芽特性研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(28): 156–159. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2013.28.030.]
- [23] BASKIN J M, BASKIN C C. A classification system for seed dormancy [J]. Seed Sci Res, 2004, 14(1): 1–16. doi: 10.1079/SSR2003150.
- [24] CAO S S. Study on seed dormancy characteristics of *Sorbus amabilis* Cheng ex Yü [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2009. [曹珊珊. 黄山花楸种子休眠特性研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2009.]
- [25] SONG W G. Causes of dormancy and germination method of seeds for four kinds of *Acer* (Tourn.) Linn. [J]. Protect For Sci Tech, 2016(8): 31–33. [宋伟国. 4 种槭树种子的休眠原因及催芽方法试验 [J]. 防护林科技, 2016(8): 31–33. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2016.08.011.]
- [26] STEINBAUER G P. Dormancy and germination of *Fraxinus* seeds [J]. Plant Physiol, 1937, 12(3): 813–824. doi: 10.1104/pp.12.3.813.
- [27] BETHKE P C, GUBLER F, JACOBSEN J V, et al. Dormancy of *Arabidopsis* seeds and barley grains can be broken by nitric oxide [J]. Planta, 2004, 219(5): 847–855. doi: 10.1007/s00425-004-1282-x.
- [28] MEYER S E, PENDLETON R L. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentata* (Rosaceae) [J]. Ann Bot, 2000, 85(4): 521–529. doi: 10.1006/anbo.1999.109.
- [29] ZHANG P. Study on seed dormancy mechanism and seedling cultivation of *Oplonanax elatus* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004. [张鹏. 东北刺人参种子休眠机制及播种育苗技术研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.]
- [30] KIM J H, LEE A K, SUH J K. Effect of warm and cold stratification, and ethanol treatment on germination of *Corylopsis* seeds [J]. Hort Sci, 2016, 43(2): 84–91. doi: 10.17221/351/2014-HORTSCI.
- [31] QIAN X Y. Physiological mechanism of breaking seed dormancy and effect of seedling quality on *Paeonia ostii* by different temperature and gibberellic acid [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009. [钱仙云. 温度与 GA<sub>3</sub> 解除凤丹种子休眠的生理代谢变化及其对幼苗

- 质量的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.]
- [32] LI J C, ZHUANG X D. Effects of stored substances on *Taxus cuspidate* seeds through different temperature and GA<sub>3</sub> treatment [J]. *Agric Jilin*, 2015(4): 88–89. [李晶菡, 庄晓冬. 温度及 GA<sub>3</sub> 处理对东北红豆杉种子贮藏物质的影响 [J]. *吉林农业*, 2015(4): 88–89. doi: 10.14025/j.cnki.jlny.2015.04.036.]
- [33] DENG H J, LIU H L, NIU Y, et al. Effects of stratification treatments on dormancy in *Amorphophallus albus* seeds [J]. *J SW Univ (Nat Sci)*, 2018, 40(7): 38–43. [邓慧君, 刘海利, 牛义, 等. 层积处理对打破白魔芋实生种子休眠的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(7): 38–43. doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.07.006.]
- [34] KONDO T, SATO C, BASKIN J M, et al. Post-dispersal embryo development, germination phenology, and seed dormancy in *Cardocrinum cordatum* var. *glehnii* (Liliaceae s. str.), a perennial herb of the broadleaved deciduous forest in Japan [J]. *Am J Bot*, 2006, 93(6): 849–859.
- [35] FU Q, YANG Q H, YE W H. Summarization on methods to relieve seed dormancy [J]. *J Guangxi Agric Biol Sci*, 2003, 22(3): 230–234. [傅强, 杨期和, 叶万辉. 种子休眠的解除方法 [J]. *广西农业生物科学*, 2003, 22(3): 230–234.]
- [36] VAN ASSCHE J A, VANLERBERGHE K A. The role of temperature on the dormancy cycle of seeds of *Rumex obtusifolius* L. [J]. *Funct Ecol*, 1989, 3(1): 107–115. doi: 10.2307/2389681.
- [37] THOMPSON P A. Germination of *Lycopus europaeus* L. in response to fluctuating temperatures and light [J]. *J Exp Bot*, 1969, 20(1): 1–11. doi: 10.1093/jxb/20.1.1.
- [38] BASKIN C C, ZACKRISSON O, BASKIN J M. Role of warm stratification in promoting germination of seeds of *Empetrum hermaphroditum* (Empetraceae), a circumboreal species with a stony endocarp [J]. *Am J Bot*, 2002, 89(3): 486–493. doi: 10.3732/ajb.89.3.486.