

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2017.20299

史锋厚, 庄珍, 罗帅, 丁彦芬, 沈永宝. 香圆种子萌发特征及催芽技术[J]. 植物科学学报, 2017, 35(2): 299-304

Shi FH, Zhuang Z, Luo S, Ding YF, Shen YB. Study on germination characteristics and acceleration technology of *Citrus wilsonii* seeds [J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35(2): 299-304

## 香圆种子萌发特征及催芽技术

史锋厚<sup>1,3</sup>, 庄珍<sup>2</sup>, 罗帅<sup>1,3</sup>, 丁彦芬<sup>2</sup>, 沈永宝<sup>1,3</sup>

(1. 南京林业大学林学院, 南京 210037; 2. 南京林业大学风景园林学院, 南京 210037;

3. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京 210037)

**摘要:**以香圆(*Citrus wilsonii* Tanaka)种子为实验材料,通过测定种皮透水性、种皮机械障碍、发芽温度等对种子萌发的影响从而探讨种子萌发特征;通过切割种子、热水浸种、赤霉素浸种、低温层积等处理方式探索种子的催芽方法。结果显示:香圆种皮不存在透水性障碍,但其机械障碍对种子萌发具有抑制作用,且内种皮对萌发影响较大;种子在15℃、25℃、35℃恒温及15℃/30℃变温条件下均可萌发,其最适萌发温度为25℃;采用低温层积、热水浸种、切除1/3种子等方法均可一定程度上促进种子萌发。生产中宜采用始温60℃热水浸种24 h的方法对香圆种子进行催芽。

**关键词:**香圆种子;萌发特征;催芽技术

中图分类号:Q945.6

文献标识码:A

文章编号:2095-0837(2017)02-0299-06

## Study on germination characteristics and acceleration technology of *Citrus wilsonii* seeds

Shi Feng-Hou<sup>1,3</sup>, Zhuang Zhen<sup>2</sup>, Luo S<sup>1,3</sup>, Ding Yan-Fen<sup>2</sup>, Shen Yong-Bao<sup>1,3</sup>

(1. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

3. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** *Citrus wilsonii* seeds were selected as experimental material to study seed germination characteristics by testing the influence of seed coat water permeability, seed coat mechanical obstacle, and germination temperature on germination, and to determine the optimal pre-germination method of cutting seeds, soaking seeds, GA treatment, and cold stratification. Results showed that there was no water permeability barrier in the *Citrus wilsonii* seed coat. However, mechanical resistance of the seed coat inhibited germination, and the endotesta had a considerable influence. *Citrus wilsonii* seeds could germinate at constant temperatures of 15℃, 25℃, and 35℃, and at changing temperatures of 15℃/30℃. The most appropriate germination temperature was 25℃. Cold temperature stratification, immersion in hot water, and removing one-third of the seeds promoted the germination process to a certain extent. Thus, immersion in hot water at an initial temperature of 60℃ for 24 h could be used to accelerate germination in production.

**Key words:** *Citrus wilsonii* seeds; Germination characteristics; Germination acceleration technology

收稿日期:2016-06-12, 退修日期:2016-07-21。

基金项目:江苏省林业三新工程项目(lysx[2013]37);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

This work was supported by grants from the Three New Forestry Projects of Jiangsu Province (lysx[2013]37) and Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD)。

作者简介:史锋厚(1981-),男,博士,副教授,研究方向为林木种苗学(E-mail:280918109@qq.com)。

种子萌发是复杂的生理生化过程, 其中, 水分、氧气和温度在此过程中发挥着重要作用, 一切影响种子水分吸收、气体交换、种皮突破及发芽温度变化的因素都可能干扰种子萌发<sup>[1,2]</sup>。种皮对于保护种子具有重要作用, 但因其透气、透水性较差, 机械障碍等因素影响了种子的萌发<sup>[3]</sup>。针对这些阻碍种子萌发的因素, 可采用不同的催芽方法促进种子萌发, 如选择适宜的温湿度发芽条件、机械处理、水浸处理、低温层积、赤霉素处理等<sup>[4,5]</sup>。

香圆 (*Citrus wilsonii* Tanaka) 为芸香科 (Rutaceae) 柑橘属常绿乔木, 是长三角地区优良的乡土树种, 综合利用价值较高。其果实可作中药、茶饮, 也可用于提取香精; 砧木可用于嫁接佛手 (*C. medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)、柑橘 (*C. reticulata* Blanco) 等。香圆四季常青, 叶、花、果均具有观赏价值, 是优良的城乡绿化树种<sup>[6]</sup>。香圆以种子繁殖为主, 但其播种发芽整齐度较差, 且针对香圆种子萌发及催芽技术的研究鲜有报道。本文通过测定香圆种子的种皮透水性、种皮机械障碍、发芽温度等因素对种子萌发的影响揭示种子萌发特性, 并通过切割种子、浸种处理、赤霉素处理、低温层积等方式探索种子的最佳催芽方法, 以期为全面掌握香圆种子繁殖技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

以香圆种子为实验材料。香圆果实于 2014 年 12 月上旬采自江苏省常熟市, 果实正常成熟, 采后带回南京林业大学种子中心实验室。剥取种子后测定千粒重为  $(468.3 \pm 4.4)$  g, 初始含水量  $44.8\% \pm 0.3\%$ 。

### 1.2 种皮对种子萌发的影响

#### 1.2.1 种皮透水性测定

将新鲜种子均匀平铺于室内通风处 (约 15℃), 自然风干 1 d, 随机选取  $3 \times 50$  粒饱满种子, 采用低恒温烘干法 ( $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , 17 h) 测定种子初始含水量  $G$ 。

从含水量为  $G$  的种子中, 再随机选取  $3 \times 50$  粒, 划伤内、外种皮, 称重, 记为  $M_1$ ; 室温 (约 15℃) 去离子水浸种, 每隔 4 h (或 8 h) 取出, 用吸水纸吸去种子表面水分并称重, 记为  $M_2$ , 以完整种子作为对照, 按照下列公式计算种子吸水率及含

水量:

$$\text{种子吸水率} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%;$$

$$\text{种子含水量} = \frac{M_2 - M_1 \times (1 - G)}{M_2} \times 100\%。$$

#### 1.2.2 种皮机械障碍定性测定

随机选取 4 组新鲜饱满种子, 每组  $4 \times 50$  粒, 分别做如下处理: (1) 去除内、外种皮, 解除内、外种皮对种子萌发的全部阻碍; (2) 划伤内、外种皮远胚端, 解除内、外种皮对透水性的影响, 但保留其对胚端的机械障碍; (3) 去除外种皮、保留内种皮, 消除外种皮的影响; (4) 去除外种皮并划伤内种皮远胚端, 消除外种皮的影响及内种皮对透水性的影响, 保留内种皮对胚端的机械障碍。

以完整种子作为对照, 将各组种子分别置于 25℃ 恒温培养箱中进行棉床发芽实验, 每天 7:00 – 19:00 时照光, 光照强度为 1500 lx。比较各组种子萌发情况, 定性分析内、外种皮是否对种子萌发存在机械障碍。

### 1.3 温度对种子萌发的影响

随机选取 4 组新鲜饱满种子, 每组  $4 \times 50$  粒, 分别置于 15℃、25℃、35℃ 恒温及 15℃/30℃ 变温 (12 h/12 h) 培养箱中进行沙床发芽实验, 每天 7:00 – 19:00 时照光, 光照强度为 1500 lx。

### 1.4 不同催芽处理对种子萌发的影响

随机选取 7 组新鲜饱满种子, 每组  $4 \times 50$  粒, 分别做如下处理: (1) 切除 1/3 种子: 用消毒刀片在远胚端切除 1/3 种子; (2) 水浸处理: 将种子置于始温 60℃ 的热水中浸种 24 h; (3) 赤霉素 ( $\text{GA}_3$ ) 处理: 分别以 200 mg/L 和 500 mg/L 的  $\text{GA}_3$  溶液浸种 24 h; (4) 低温层积: 将种子与湿沙按照 1:3 的比例混匀 (湿沙以手握成团, 松手即散为宜), 在  $4^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  环境中分别层积 30、45、60 d, 每周搅拌 1 次并适时补充水分。

以未处理的种子作为对照, 将上述各组处理后的种子与对照置于 25℃ 恒温培养箱中进行沙床发芽实验, 每天 7:00 – 19:00 时照光, 光强照度为 1500 lx。

### 1.5 数据统计与分析

观测各处理下种子的发芽状况, 以伸出子叶作为发芽标准, 实时统计发芽种粒数 (香圆种子存在多胚现象, 因此不统计幼苗数), 全部种子 (腐烂

种子除外)发芽结束后,统计并计算发芽时间、发芽率和发芽指数<sup>[7]</sup>。

采用 Excel 2007 软件处理数据并制作图表, SPSS 18.0 软件进行方差分析及多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 种皮对种子萌发的影响

#### 2.1.1 种子透水性测定结果

香圆种子自然风干 1 d 后种子含水量约为 40%,此时种子吸水速度较快(图 1)。浸种第 1 d 种子吸水率及含水量均大幅提高,随后渐缓。至第 3 d 时,完整种子吸水率为 15.8%,划伤种皮的种子吸水率为 18.6%,种子含水量分别为 48.2%和 49.4%,种子含水量之间差异达显著水平( $P<0.05$ );

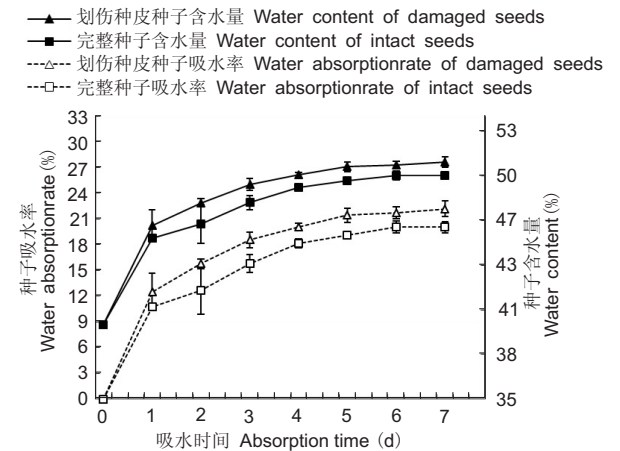


图 1 香圆种子吸水率测定

Fig. 1 Determination on water absorption rate of *Citrus wilsonii* seeds

4 d 后,2 组种子吸水性趋于一致,无明显差异;至第 7 d,完整种子与划伤种皮种子的吸水率分别为 20.1% 和 21.2%,含水量分别为 50.0% 和 50.9%,种子含水量之间差异未达到显著水平( $P>0.05$ )。上述结果表明,划伤种皮后种子吸水速度略快于完整种子,但 2 组种子在 7 d 内的吸水量基本一致,说明香圆种子的种皮透水性较好,对种子渗透吸水无明显阻碍作用。

#### 2.1.2 种皮机械障碍定性测定结果

种皮的结构、厚度或其含有的特殊成分(如蜡质、油)等均会对种子萌发产生机械障碍,还可能导致种子休眠。在 25℃条件下,完整香圆种子(对照)发芽相对缓慢,8 d 时开始萌发,至 35 d 发芽结束,发芽指数为 2.42;而去除内、外种皮的种子发芽迅速且整齐,5 d 时开始萌发,9 d 内发芽结束,发芽率达 100%,发芽指数提高至 7.94(表 1)。

研究发现,香圆种子去除内、外种皮后,可以在较短时间内完全萌发,表明香圆种胚发育完整且不存在休眠。与划伤内、外种皮处理相比,去除内、外种皮的种子萌发更为迅速,可见在解除透水性因素的影响后,种皮的存在仍然延长了种子的发芽时间,因此种皮对种子萌发存在明显机械障碍。

去除外种皮、保留内种皮的种子所用发芽时间与完整种子较为接近,而与去除内、外种皮的种子相差较大,证实内种皮对香圆种子萌发存在阻碍作用。去除外种皮、保留内种皮的处理中,部分种子

表 1 不同处理组香圆种子发芽情况  
Table 1 Germination results of *Citrus wilsonii* seeds under different treatment conditions

处理方法 Treatment method	萌动时间 Germination time (d)	发芽结束时间 Germination end time (d)	发芽率 Germination rate (%)	发芽指数 Germination index
对照 CK	8 ± 0.47 (aA)	35 ± 2.05 (aA)	90 ± 3.70 (cD)	2.42 ± 0.09 (dD)
去除内、外种皮 Removal of testa and endotesta	5 ± 0.47 (bB)	9 ± 0.47 (dD)	100 ± 0.94 (aA)	7.94 ± 0.23 (aA)
划伤内、外种皮 Scratch testa and endotesta	6 ± 0.82 (bB)	14 ± 1.25 (bBC)	97 ± 1.42 (bBC)	7.23 ± 0.28 (bB)
去外种皮保留内种皮 Removal of testa	8 ± 0.94 (aA)	33 ± 1.25 (aA)	99 ± 0.94 (aAB)	4.64 ± 0.98 (cC)
去外种皮、划伤内种皮 Removal of testa, scratch endotesta	5 ± 0.47 (bB)	11 ± 0.82 (cCD)	92 ± 1.96 (cCD)	7.67 ± 0.54 (abAB)

注:表中同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),同列不同大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),下同。  
Note: Different lowercase letters in the table indicate significant differences at  $P<0.05$ , and different capital letters indicate very significant differences at  $P<0.01$ , same below.

的胚根虽无法突破内种皮，却能在内种皮包裹下反向伸长(图 2)，说明种胚在其包裹下仍可以获得萌发所需的水分，进一步证实内种皮对香圆种子萌发的阻碍作用主要为机械障碍。相对于划伤内、外种皮的处理，去除外种皮并划伤内种皮的处理可使香圆种子发芽时间缩短 3 d，发芽指数稍有提高。可见，在排除透水性因素及内种皮的影响后，外种皮的机械障碍对香圆种子萌发也存在轻微抑制作用。

综上可知，香圆种胚不存在休眠现象，但种皮机械障碍抑制了种子萌发，延长了种子的萌发时间，且内种皮对种子萌发影响较大。

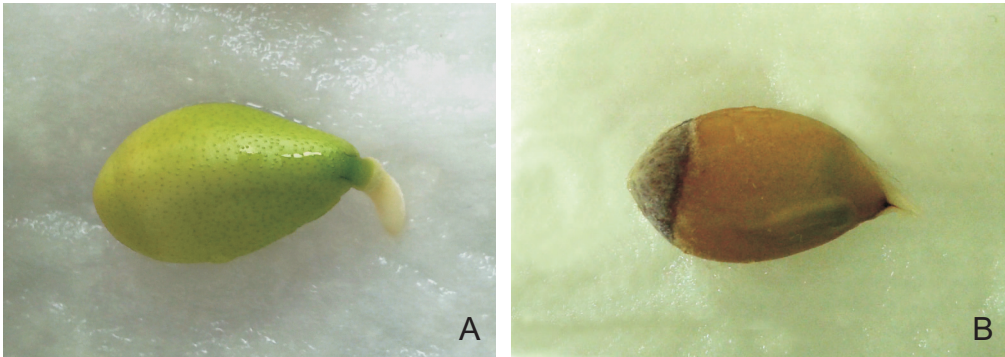
2.2 温度对种子萌发的影响

研究发现，随着温度的提高，香圆种子发芽所用时间逐渐缩短，发芽指数增高，但种子发芽率却逐渐降低。在 15℃条件下香圆种子发芽较为缓慢，置沙床 24 d 后开始萌动，全程历经 76 d，发芽率为 89%；在 25℃条件下发芽时间明显缩短，第 8 天开始萌发，发芽历经 34 d，发芽率为 85%；在 35℃条件下发芽最快，置沙床第 5 d 便开始萌动，全程仅历经 17 d，发芽指数远高于其它各组种子，但发芽率仅为 76%，与前 2 组的差异达到极显著水平( $P < 0.01$ )；在 15℃/30℃变温条件下，发芽

效果不佳，发芽历经 36 d，且发芽率及发芽指数均较低(表 2)。

2.3 不同催芽处理对种子萌发的影响

由种皮机械障碍定性测定结果可知，划伤或去除内、外种皮可解除种皮对种子萌发的阻碍作用，但此方法不适用大规模播种育苗，故采取不同的催芽方法对香圆种子进行处理。研究发现(表 3)，切除种子远胚端 1/3 后，种子发芽迅速，萌动时间比对照提前 4 d，发芽时间缩短 18 d，发芽指数大幅提高，但种子切口处易受到污染，导致种子发芽率偏低；始温 60℃热水浸泡 24 h 处理的种子发芽迅速且整齐，第 5 d 开始萌发，全程历经 16 d，种子发芽率提高至 90%，发芽指数最高，催芽效果最佳；200 mg/L 和 500 mg/L GA<sub>3</sub>溶液浸种 24 h 对种子萌发无明显促进作用，前者种子发芽率略有提高，但萌发速度与对照基本一致，后者发芽时间缩短了 3 d，发芽指数稍有提高，但种子发芽率与对照无显著差异( $P > 0.05$ )；低温层积处理可加快种子萌发进程，提高种子发芽率，层积 30 d 后种子发芽历时 20 d；层积 45 d 的种子发芽情况进一步改善，到14 d 发芽结束时，发芽率达 89%，发芽指数接近对照的 2 倍；层积 60 d 的种子发芽指



A：胚根正常伸长；B 胚根反向伸长。  
A: Radicle elongation; B: Radicle reverse elongation.

图 2 香圆种子萌发过程中胚根生长状况  
Fig. 2 Radicle growth conditions of *Citrus wilsonii* seeds during germination

表 2 不同温度条件下香圆种子发芽状况  
Table 2 Germination results of *Citrus wilsonii* seeds at different temperatures

温度 Temperature (℃)	萌动时间 Germination time (d)	发芽结束时间 Germination end time (d)	发芽率 Germination rate (%)	发芽指数 Germination index
15	24 ± 0.82 (aA)	76 ± 4.55 (aA)	89 ± 1.63 (aA)	0.85 ± 0.08 (dD)
25	8 ± 0.94 (bBC)	34 ± 2.62 (bB)	85 ± 3.70 (bA)	2.51 ± 0.08 (bB)
35	5 ± 0.47 (cC)	17 ± 1.41 (cC)	76 ± 2.49 (cB)	4.83 ± 0.10 (aA)
15/30	9 ± 0.47 (bB)	36 ± 1.25 (bB)	73 ± 0.94 (cB)	2.10 ± 0.07 (cC)



表 3 不同催芽处理对香圆种子萌发的影响  
Table 3 Influence of different acceleration treatments on the germination of *Citrus wilsonii* seeds

处理方法 Treatment method	萌动时间 Germination time (d)	萌发结束时间 Germination end time (d)	发芽率 Germination rate (%)	发芽指数 Germination index
对照 CK	8 ± 0.82 (aA)	33 ± 0.94 (aA)	81 ± 2.87 (cC)	2.55 ± 0.58 (eE)
切除种子 1/3	4 ± 0.47 (bB)	15 ± 0.94 (dD)	70 ± 1.25 (dD)	3.76 ± 0.18 (cC)
60℃始温水浸 24 h	5 ± 0.47 (bB)	16 ± 0.94 (dD)	90 ± 0.94 (aA)	5.37 ± 0.29 (aA)
200 mg/L GA <sub>3</sub> 处理 24 h	8 ± 0.94 (aA)	33 ± 2.05 (aA)	86 ± 4.41 (bB)	2.49 ± 0.11 (eE)
500 mg/L GA <sub>3</sub> 处理 24 h	7 ± 1.25 (aA)	30 ± 0.94 (bB)	80 ± 2.64 (cC)	2.95 ± 0.16 (dD)
低温层积 30 d	5 ± 0.94 (bB)	20 ± 0.94 (cC)	87 ± 2.49 (bcAB)	4.07 ± 0.19 (bB)
低温层积 45 d	5 ± 0.94 (bB)	14 ± 1.63 (dD)	89 ± 3.51 (abAB)	5.07 ± 0.20 (aA)
低温层积 60 d	5 ± 0.82 (bB)	15 ± 0.94 (dD)	82 ± 1.63 (cC)	5.26 ± 0.25 (aA)

数高达 5.26，但种子发芽率低于层积 30 d 和 45 d 的种子。

综上所述，切除种子 1/3、60℃始温热水浸种、低温层积(以 30 ~ 45 d 为宜)等处理均可不同程度促进香圆种子萌发，其中，60℃始温水浸种 24 h 处理操作简便、节约成本，较适用于生产。

3 讨论

影响种子萌发的因素很多，其中，种皮因素不可忽视。种皮透水透气性差、硬实度高、纤维木质化和果胶质加厚、种皮厚角组织形成大量的果胶质和石细胞等都有可能阻碍种子萌发<sup>[8]</sup>。有研究发现，紫椴 (*Tilia amurensis* Rupr.) 和东北红豆杉 (*Taxus cuspidata* S. et Z.) 等植物的种皮均存在透水障碍，刺破种皮有利于种子吸水<sup>[9,10]</sup>。杨万霞等<sup>[11]</sup>对青钱柳 (*Cyclocarya paliurus* (Batal.) Ijinsk) 种皮结构解剖研究发现，其外种皮表面角质化、中种皮木栓质、内种皮木质而坚硬，这些因素在一定程度上阻碍了胚与外界的水气交换，但真正阻碍种胚萌发特别是胚根生长和伸长的主要原因则源于种皮结构导致的机械障碍。本实验与青钱柳种子的研究结果相似，香圆种皮不存在透水障碍，但其内种皮存在明显的机械障碍，但其作用有限，只是在一定程度上延长了种子的发芽时间。

适宜的温度是种子萌发的必要条件。孙昌高等<sup>[12]</sup>研究发现，香圆种子在 15℃ ~ 30℃ 的恒温及变温环境中都能很快发芽，尤其以变温环境为宜。而本研究发现香圆种子在 15℃、25℃、35℃ 恒温及 15℃/30℃ 变温环境中均能萌发，但变温环境中种子发芽效果不存在优势。香圆种子在 15℃ 条件下发芽缓慢，发芽时间长，整齐度最低；但在

15℃/30℃ 变温环境中，发芽率均低于各组恒温环境的种子；在 35℃ 条件下萌发最快，发芽整齐度最高，但种子发芽率明显低于 15℃ 和 25℃ 条件下的种子，发芽率降低的原因可能是高温导致种子失水过多从而影响种子的萌发<sup>[13]</sup>。同时，在 35℃ 条件下，种子腐烂率明显增加，这也是导致发芽率降低的原因。综合对比各组种子发芽结果可知，适宜香圆种子萌发的最佳温度为 25℃ 恒温，在此条件下，可以保证种子具有较高的发芽率和发芽指数。

种子催芽方法较多，如机械处理、低温层积、热水浸种、化学药剂浸种等，其效果表现在缩短发芽时间、提高发芽率和发芽整齐度等方面<sup>[4,5]</sup>。在生产实践中，机械处理方法应用不多，原因是机械擦伤或切割种子易导致细菌感染，且剥除或划伤种皮操作较繁琐，因此机械处理的应用范围和效果不及热水浸种<sup>[14]</sup>。热水浸种通常针对硬实性种子，如将闽引圆叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia* cv. Minyin) 种子用 100℃ 热水处理 3 min 可提高发芽率<sup>[15]</sup>；沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus* (Maxim. ex Kom.) Cheng f.) 种子经 60℃ 热水处理 5 min 可显著提高种子发芽势，并有效降低种皮硬实率<sup>[16]</sup>。香圆种子虽不是硬实种子，但采用始温 60℃ 热水浸种 24 h 处理种子仍可获得较好的催芽效果，有效缩短发芽时间，且发芽率和发芽指数表现最佳。此外，低温层积处理，尤其是层积 30 d 和 45 d，可以显著促进种子萌发，但效果不及热水浸种处理好，这说明低温层积同样有利于软化种皮、提高种子发芽能力。有关赤霉素促进种子萌发的报道较多<sup>[4,5]</sup>，但在本实验中赤霉素处理并未促进香圆种子的萌发，这可能是因为赤霉素促进种子萌发的作用机理是参与种子内部生理生化代谢，而

阻碍香圆种子萌发的机制来自物理性因素。

## 4 结论

香圆种胚不存在休眠现象,但其种皮的机械障碍对种子萌发存在抑制作用,且内种皮的抑制作用较大;25℃恒温为香圆种子较适宜的萌发温度;切除种子 1/3、热水浸种、低温层积等处理对香圆种子萌发均具有促进作用。在实际生产过程中,宜采取始温 60℃热水浸种 24 h 的方法进行种子催芽。

## 参考文献:

- [1] Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy[M]. 3rd ed. New York: Springer, 2013.
- [2] 王友凤, 马祥庆. 林木种子萌发的生理生态学机理研究进展[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 19–22.  
Wang YF, Ma XQ. Advances in physiological and ecological characters of tree seed germination research[J]. World Forestry Research, 2007, 20(4): 19–22.
- [3] 杨期和, 叶万辉, 宋松泉, 殷寿华. 植物种子休眠的原因及休眠的多形性[J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 837–843.  
Yang QH, Ye WH, Song SQ, Yin SH. Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(5): 837–843.
- [4] 周正立, 于军, 武建林, 徐崇志. 林木种子催芽处理研究进展[J]. 塔里木农垦大学学报, 2001, 13(4): 54–57.  
Zhou ZL, Yu J, Wu JL, Xu CZ. Advances in accelerating germination disposals of tree seed research[J]. Journal of Tarim University of Agricultural Reclamation, 2001, 13(4): 54–57.
- [5] 张梦霞, 张艳红. 国内观赏植物种子采收、贮藏与催芽处理技术研究进展[J]. 辽东学院学报: 自然科学版, 2009, 16(3): 241–248.  
Zhang MX, Zhang YH. Collection, storage and germination-accelerating technique of ornamental plant seeds in China[J]. Journal of Eastern Liaoning University: Natural Science Edition, 2009, 16(3): 241–248.
- [6] 陈有民. 园林树木学: 修订版[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.  
Chen YM. Landscape Trees and Shrubs: Revised Edition[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1990.
- [7] 汪洋, 闫慧娟, 张国君, 丁凤霞, 张锐, 杨俊明. 油松不同种源种子萌发特性[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 143–146.  
Wang Y, Yan HJ, Zhang GJ, Ding FX, Zhang R, Yang JM. Seed germination characteristics of different provenances of *Pinus tabulaeformis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 143–146.
- [8] 刘雅帅. 山茱萸种子休眠机理研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [9] 张洁, 杨立学, 王海南, 王会仁. 紫椴种皮透性及种子浸提物生物效应的研究[J]. 森林工程, 2015, 31(2): 1–4.  
Zhang J, Yang LX, Wang HN, Wang HR. Water permeability of seed coat and bio-effect of seed extraction material of *Tilia amurensis*[J]. Forest Engineering, 2015, 31(2): 1–4.
- [10] 程广有, 唐晓杰, 高红兵, 沈熙环. 东北红豆杉种子休眠机理与解除技术探讨[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 5–9.  
Cheng GY, Tang XJ, Gao HB, Shen XH. Dormancy mechanism and relieving techniques of seeds of *Taxus cuspidate* Sieb. et Zucc[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(1): 5–9.
- [11] 杨万霞, 洪香香, 方升佐. 青钱柳种子的种皮构造及其对透水性的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(5): 25–28.  
Yang WX, Fu XX, Fang SZ. The seed coat structure of *Cyclocarya paliurus* and its effects on water permeability[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2005, 29(5): 25–28.
- [12] 孙昌高, 方坚, 徐秀瑛. 芸香科药用植物种子发芽的研究[J]. 基层中药杂志, 1999, 13(2): 24–25.  
Sun CG, Fang J, Xu XY. A study on the medicinal plant seed germination of *Rutaceae*[J]. Primary Journal of Chinese Materia Medica, 1999, 13(2): 24–25.
- [13] 杨期和, 杨威, 李秀荣. 热带植物种子萌发影响因素初探[J]. 种子, 2001(5): 45–48.  
Yang QH, Yang W, Li XR. Primary studies on the seeds germination of tropical plants[J]. Seed, 2001(5): 45–48.
- [14] 黄世洋, 罗荣太. 圆叶决明硬实种子处理方法的试验[J]. 广西畜牧兽医, 2009, 25(3): 138–139.  
Huang SY, Luo RT. Study on methods for treating hard seeds of *Chamaecrista rotundifolia*[J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2009, 25(3): 138–139.
- [15] 罗旭辉, 詹杰, 陈义萍, 应朝阳, 黄榕辉. 浸种处理对闽引羽叶决明种子萌发的影响[J]. 草原与草坪, 2010, 30(2): 47–49.  
Luo XH, Zhan J, Chen YP, Ying CY, Huang RH. Effect of soaking treatments on germination of *Chamaecrista rotundifolia* cv. Minyin seeds[J]. Grassland and Turf, 2010, 30(2): 47–49.
- [16] 丁琼, 王华, 贾桂霞, 郝玉光. 沙冬青种子萌发及幼苗生长特性[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 633–639.  
Ding Q, Wang H, Jia GX, Hao YG. Seed germination and seedling performance of *Ammopiptanthus mongolicus*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2006, 30(4): 633–639.