

不同处理方法对油楠成熟和过熟种子萌发特性的影响

杨锦昌, 邹文涛*, 尹光天, 李荣生, 余纽, 王旭

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 为破除油楠(*Sindora glabra* Merr. ex de Wit)种子的物理休眠, 研究不同处理方法对油楠种子萌发特性的影响。结果表明, 所有处理方法对油楠成熟和过熟种子萌发均产生显著影响。40℃热水和 50 mg L⁻¹ 萘乙酸有利于成熟种子的萌发, 发芽率超过 55%, 较对照显著提高约 10%, 而其他方法处理的成熟种子发芽率为 4.0%~46.0%, 低于对照。采用 98%浓硫酸浸泡 25 min 最有利于过熟种子的萌发, 其发芽率、发芽势和发芽指数分别较对照显著提高 90%、76%和 7 以上, 且发芽时间显著缩短了 9 d, 对过熟种子处理的其他方法均能不同程度地促进萌发。因此, 对于成熟种子, 推荐采用低温热水浸泡或弱腐蚀性的化学处理; 而对于过熟种子, 宜采用浓硫酸浸泡 25 min 的处理。

关键词: 油楠; 种子; 萌发; 物理休眠

doi: 10.11926/jtsb.3698

Effects of Different Treatments on Germination Characteristics of Mature and Over-mature Seeds of *Sindora glabra*

YANG Jin-chang, ZOU Wen-tao*, YIN Guang-tian, LI Rong-sheng, YU Niu, WANG Xu

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: In order to break physical dormancy of *Sindora glabra* seeds, the effects of different treatments on germination of seeds were evaluated. The results showed that different treatments had significant effects on germination characteristics of mature and over-mature seeds of *S. glabra*. The germination rate of mature seeds increased significantly treated by both with 40℃ hot water and 50 mg L⁻¹ NAA, which exceeded 55% with 10% more than the control. However, the germination rates treated by other methods ranged from 4.0% to 46.0%, which was lower than the control. The germination rate, germination vigor and germination index of over-mature seeds were the highest by immersion in 98% sulfuric acid for 25 min with more than 90%, 76% and 7 more than control, respectively, and germination time was shortened by 9 days compared to the control, and other treatments also promoted seed germination to various extent. Therefore, mature seeds immersed in low temperature hot water or weak corrosive chemical solution and over-mature seeds soaked in concentrated sulfuric acid for 25 min were the optimum methods.

Key words: *Sindora glabra*; Seed; Germination; Physical dormancy

种子是植物进行散布、自身繁衍和度过不良环境的主要载体; 而种子萌发是植物适应环境变化以实现自身繁衍的重要过程, 对种群更新和分布区扩

展起着潜在的决定性作用^[1-2]。种子萌发由其内在遗传因素和外界环境条件共同决定^[3-4], 不同植物由于种子形态结构多样, 影响种子萌发的主导因素

收稿日期: 2016-11-15

接受日期: 2017-03-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31570656); 林业公益性行业科研专项(201304604)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation (Grant No. 31570656), and the Special Funds for Public Welfare Forestry Industry Research (Grant No. 201304604).

作者简介: 杨锦昌(1976-), 男, 博士, 主要从事热带林木种质资源繁育与利用。E-mail: fjjyc@126.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zwt.bj@163.com

也差异较大^[5]。一些植物因种皮致密坚硬和透水透气性差导致种胚生长受到机械限制,种子难以萌发,这种硬实特性在豆科植物中表现尤为明显^[6]。硬实特性主要受遗传特性、生长环境、种子成熟度和贮藏处理等因素的影响^[3],对于同一种植物,硬实程度常因种子成熟度而异,成熟度越高,种皮往往更加紧实,硬实程度也越高^[7],其抗逆性和活力水平往往也越高,这对于植物种子传播和物种延续非常有利^[8-9],然而又会造成种子萌发率低和种群更新困难等问题^[10]。为破除硬实种子休眠和促进萌发,常采用物理、化学和生物 3 种方法^[3],但具体哪种方法最适宜,还需根据不同植物和种子成熟度等因素进行研究^[5]。

油楠(*Sindora glabra* Merr. ex de Wit)为苏木科(Caesalpiniaceae)油楠属高大乔木,天然分布于东南亚热带地区及我国海南乐东、东方、昌江、白沙、五指山、陵水、三亚以及万宁等地,是国家二级重点保护野生植物^[11-12]。油楠最为显著的特征之一是树干木质部受损后可分泌出油状液体,其可燃性与柴油相似^[13],加之材质优良和树形美观,在油用、药用、材用和观赏等方面具有良好的开发利用前景^[14]。然而,因长期遭受采伐利用和生境破坏,海南岛油楠群落日益萎缩和种群数量急剧下降,其种群密度仅为 1~2 ind. hm⁻²^[15],再加上林下天然更新能力差^[12],造成了现有油楠野生资源处于濒危状态。为加强油楠资源的保育,已从生物学特性的野外调查^[12]、硬实休眠的破除方法^[16]和迁地保护的苗木繁育^[17]等方面开展了研究;但针对不同成熟度种子的萌发研究尚未见报道。目前有关硬实种子解除休眠的研究很多^[6,18],但根据不同成熟度硬实种子进行破除休眠的相关研究较少。鉴于成熟度是衡量种子质量的重要指标之一,对种子萌发特性、抗逆性及其幼苗更新产生重要影响^[8,19-20],有必要开展不同处理方法对油楠不同成熟度种子萌发特性影响的研究,为进一步阐述油楠濒危机制、迁地保护繁育苗木和制定物种保育策略提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

在海南省五指山自然保护区内(109°30.2' E, 18°50.0' N)选择生长健壮和大量结实的同一油楠(*Sindora glabra* Merr. ex de Wit)单株(高 12.0 m, 胸

径 33.5 cm), 分别于 2008 年 8 月 8 日和 23 日采集荚果而获取种子。根据荚果颜色和开裂程度将种子分为成熟和过熟 2 类,成熟种子的果荚为棕色或黄褐色、未开裂或稍有裂缝,种皮较紧实;过熟种子的果荚为黑色或黑褐色、完全开裂,种皮坚硬致密,外表具光泽。种子经现场去除种柄和剔除瘪粒后按不同成熟度装入密实袋中带回室内测定种子形态特征。

1.2 试验设计

对成熟种子设置 40℃、60℃、80℃热水浸泡 24 h (编号分别为 HW1、HW2 和 HW3), 98%浓硫酸浸泡 5、10、15 min (编号分别为 SA1、SA2 和 SA3)和 10、50、250 mg L⁻¹ 萘乙酸溶液浸泡 30 min (编号分别为 NAA1、NAA2 和 NAA3)等 9 种处理方法,对过熟种子设置 60℃、80℃、100℃热水浸泡 24 h (编号分别为 HW4、HW5 和 HW6)和 98%浓硫酸浸泡 5、10、15、20、25 min (编号分别为 SA4、SA5、SA6、SA7 和 SA8)等 8 种处理方法,以清水室温浸泡 24 h 为对照(CK),每个处理 3 次重复。由于成熟种子偏少,成熟种子的每个处理均为 50 粒,而过熟种子的每个处理均为 100 粒。

1.3 播种措施与观测指标

将处理后的种子用清水反复冲洗,在广州中国林业科学研究院热带林业研究所苗圃(113°23' E, 23°11' N)进行播种和萌发观察。播种基质为经消毒的干净河沙,播种容器为长方体塑料盆,长、宽和高分别为 85 cm、25 cm 和 20 cm;播种后定期浇水,每 2~3 d 记录萌发种子数量,持续 31 d。统计计算发芽率、发芽势、发芽指数和发芽时间^[21]。

1.4 数据处理和分析

采用 Excel 2007 软件对数据进行分析 and 制图,并用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析、非参数检验和多重比较。

2 结果和分析

2.1 成熟与过熟种子生长特性的比较

油楠成熟和过熟种子的千粒重、长度、宽度、厚度和含水率存在显著差异,成熟种子的千粒重和含水率分别是过熟种子的 1.39 倍和 1.44 倍,其长、

宽和厚度也显著高于过熟种子(表 1)。

2.2 不同处理对油楠成熟种子萌发的影响

不同处理对成熟种子萌发的影响不同,成熟种子在播种后 5 d 开始发芽,但其发芽进程和速率差异显著,HW1、NAA1、NAA2 处理和对照种子自播种后 5 d 开始大量发芽并持续到 13 d,而后发芽速率下降,播种后 31 d 发芽率均在 46%以上;HW2 和 NAA3 处理的发芽速率居中,播种后 7 d 开始集中发芽并持续至 13 d,播种 31 d 后发芽率约为 30%;SA1、SA2、SA3 和 HW3 处理的发芽进程缓慢并持续至 15 d,且发芽率均低于 17% (图 1)。不同处理对油楠成熟种子的发芽率、发芽势、发芽指数和发芽时间均有显著影响(表 2),HW1 和

NAA2 处理的效果最好,种子发芽率、发芽势和发芽指数均高于 55%、48%和 5.5;SA1、SA2 和 SA3 处理的种子发芽率、发芽势和发芽指数均显著低于对照;萘乙酸处理的发芽效果较好,但不同浓度间的发芽率存在显著差异,NAA1 处理的发芽率、发芽势和发芽指数与对照相近,NAA3 处理的发芽率、发芽势和发芽指数均分别比对照低 20.0%、20.7%和 1.4;热水处理的种子发芽率、发芽势和发芽指数差异显著,HW1 处理的种子发芽率比对照显著提高 10.6%,而 HW3 处理的最低,其种子发芽率、发芽势和发芽指数比对照显著降低 42.7%、39.4%和 3.7。浓硫酸浸泡处理的种子发芽时间显著迟于对照,其他处理的种子发芽时间与对照差异不显著。

表 1 油楠不同成熟度种子特性

Table 1 Characters of *Sindora glabra* seeds with different maturities

	千粒重 1000-seed weight (g)	长度 Length (cm)	宽度 Width (cm)	厚度 Thickness (cm)	含水率 Moisture content (%)
成熟 Mature	2780.0 ± 110.1a	2.16 ± 0.13a	1.81 ± 0.14a	1.11 ± 0.09a	12.37 ± 1.31a
过熟 Over-mature	1998.6 ± 93.0b	1.93 ± 0.12b	1.55 ± 0.14b	1.01 ± 0.07b	8.60 ± 0.87b

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Data followed different letters indicate significant differences at 0.05 level by Duncan's Multiple Range Test. The same is following Tables.

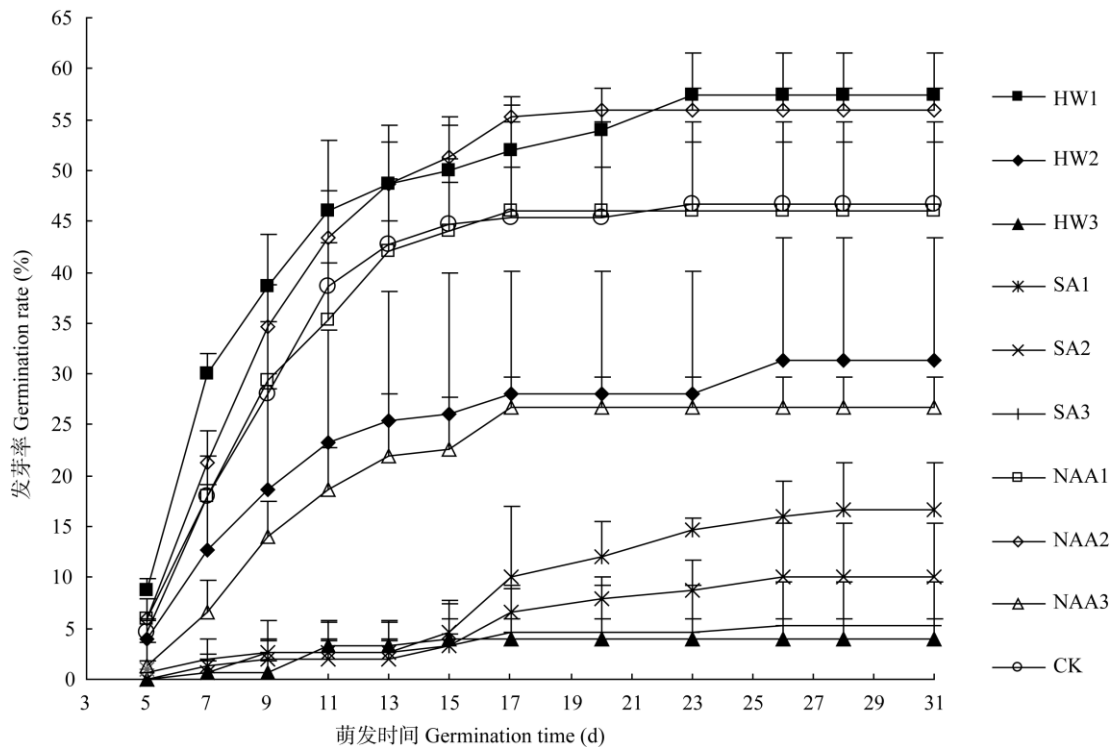


图 1 不同处理对油楠成熟种子萌发的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on germination of mature seeds of *Sindora glabra*

表 2 不同处理对油楠成熟种子萌发的影响

Table 2 Effects of different treatments on germination of mature seeds of *Sindora glabra*

处理 Treatment	发芽率 (%) Germination rate	发芽势 (%) Germination vigor	发芽指数 Germination index	发芽时间 Germination days
HW1	57.3 ± 4.2a	48.7 ± 5.8a	5.7 ± 0.4a	10 ± 2b
HW2	31.3 ± 12.1c	25.3 ± 12.7b	3.1 ± 1.2b	11 ± 3b
HW3	4.0 ± 2.0f	3.3 ± 2.3c	0.4 ± 0.2d	11 ± 2b
SA1	16.7 ± 4.6de	2.7 ± 1.2c	1.7 ± 0.5cd	18 ± 2a
SA2	10.0 ± 5.3ef	2.0 ± 2.3c	1.0 ± 0.5d	16 ± 3a
SA3	5.3 ± 4.2f	2.7 ± 3.1c	0.5 ± 0.4d	15 ± 4a
NAA1	46.0 ± 8.7b	42.0 ± 7.2a	4.6 ± 0.9a	9 ± 1b
NAA2	56.0 ± 2.0a	48.7 ± 4.2a	5.6 ± 0.2a	10 ± 1b
NAA3	26.7 ± 3.1cd	22.0 ± 6.0b	2.7 ± 0.3bc	11 ± 1b
CK	46.7 ± 6.0b	42.7 ± 2.3a	4.1 ± 1.5a	10 ± 0b

2.3 不同处理对油楠过熟种子发芽的影响

不同处理对油楠过熟种子发芽时间、发芽进程和发芽速率的影响差异显著(图 2), SA7 和 SA8 处理的种子于播种后 9 d 开始发芽, 11 d 萌发最多并持续至 15 d, 以后趋于缓慢, 播种后 31 d 发芽率均高于 80%; SA5 和 SA6 处理的种子自播种后 13 d 开始发芽, 17 d 大量发芽并持续至 23 d, 之后趋于平缓; HW4、HW5、HW6、SA4 处理和对照的种子发芽比较缓慢, 发芽率低于 13%。不同处理对油楠

过熟种子的发芽率、发芽势、发芽指数和发芽时间均有显著影响(表 3), 以浓硫酸处理的效果最好, 热水处理的次之, 对照最差。随着浓硫酸处理时间的延长, 种子的发芽率和发芽指数均显著提高, SA8 处理的发芽率高达 97.7%, 发芽率、发芽势和发芽指数分别比对照提高了 90%、76%和 7 以上, 且发芽时间显著缩短了 9 d; 热水处理的种子发芽率、发芽指数和发芽时间与对照存在显著差异, 而不同热水处理间的差异不显著。

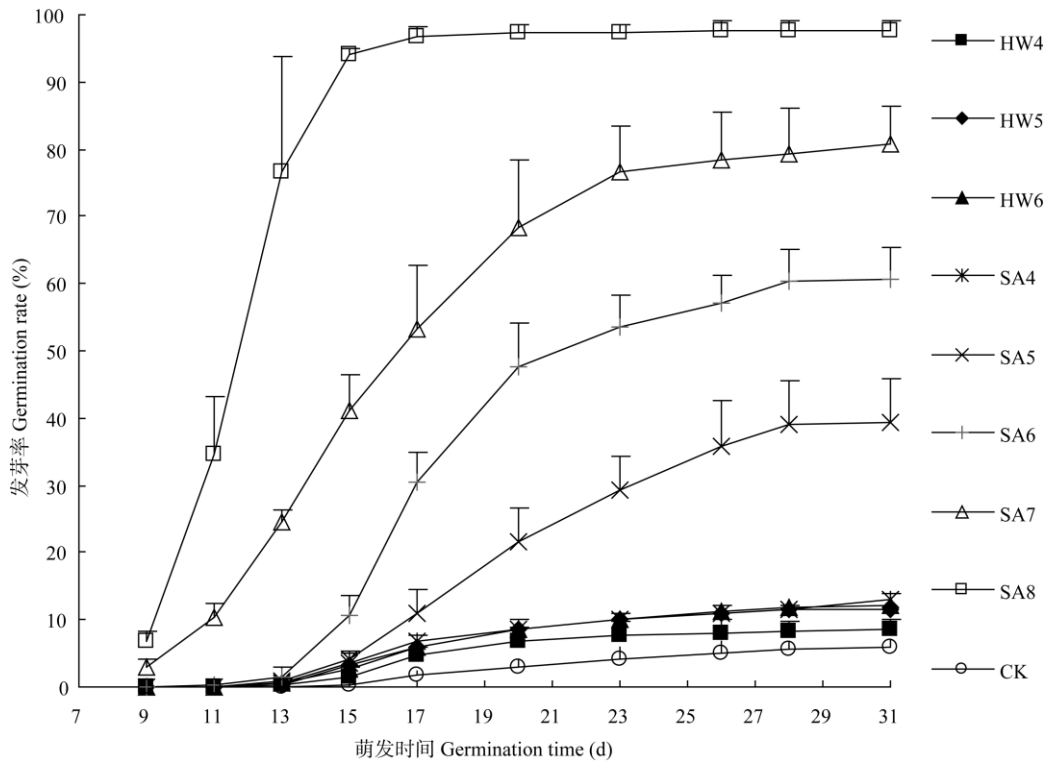


图 2 不同处理对过熟种子发芽的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on germination of over-mature seeds of *Sindora glabra*

表3 不同处理对油楠过熟种子萌发特性的影响

Table 3 Effects of different treatments on germination characters of over-mature seeds of *Sindora glabra*

处理 Treatment	发芽率 (%) Germination rate	发芽势 (%) Germination vigor	发芽指数 Germination index	发芽时间 Germination days
HW4	8.7 ± 1.5f	0.3 ± 0.6c	0.47 ± 0.12f	19 ± 2bc
HW5	11.7 ± 1.5ef	0.3 ± 0.6c	0.63 ± 0.12ef	19 ± 1bc
HW6	12.0 ± 1.0ef	0.7 ± 0.6c	0.67 ± 0.06ef	19 ± 1b
SA4	13.0 ± 1.0e	0.7 ± 0.6c	0.70 ± 0.10e	20 ± 0bc
SA5	39.3 ± 6.4d	1.0 ± 0.0c	1.93 ± 0.28d	21 ± 1ab
SA6	60.7 ± 4.7c	1.3 ± 5.0c	3.27 ± 0.29c	19 ± 1bc
SA7	80.7 ± 5.7b	24.7 ± 1.5b	5.17 ± 0.50b	17 ± 1d
SA8	97.7 ± 1.5a	76.7 ± 17.1a	7.87 ± 0.25a	13 ± 1e
CK	6.0 ± 1.0g	0.0 ± 0.0c	0.27 ± 0.06g	22 ± 2a

3 结论和讨论

3.1 不同处理方法对种子萌发特性的影响

本研究结果表明, 热水、浓硫酸和萘乙酸处理对油楠种子的萌发均有显著影响, 且解除种子休眠的效果也差异显著。40℃热水和 50 mg L⁻¹萘乙酸对成熟种子的处理效果最好, 其种子发芽率较对照显著提高约 10%, 发芽势和发芽指数较对照也有提高, 而其他处理对成熟种子的萌发效果均不理想, 尤其是高温热水和强腐蚀性的处理方法效果最差。对于过熟的种子, 采用 98%浓硫酸浸泡 25 min 的效果最好, 其发芽率、发芽势和发芽指数分别比对照显著增加了 90%、76%和 7 以上, 且发芽时间显著缩短了 9 d, 而其他处理的发芽率、发芽势和发芽指数也均有提高, 且发芽时间明显缩短。大量研究表明, 酸蚀或热水处理是破除硬实种子物理休眠的有效方法, 这两种方法在处理大批量种子上比较实用, 且处理时间也相对较短^[22-23]。本研究也表明, 对于成熟种子, 采用一定温度的热水处理效果较好, 而对于过熟种子则采用浓硫酸处理的效果更好。总体上, 油楠成熟种子的萌发率不超过 60%, 这可能与观测时间和种子特性有关。李海滨等^[16]对尖峰岭油楠种子萌发的研究表明, 用 50℃热水浸泡的种子 30 d 和 90 d 的发芽率分别为 33.3%和 95.3%; 而直接播种的种子 30 d 和 90 d 后的发芽率分别为 10.7%和 79.3%。本研究中 40℃热水和清水(对照)浸泡的种子 31 d 的发芽率均大于前者 30 d 的发芽率, 表明种子来源不同会造成种子硬实度的差异, 最终导致发芽率不同^[5], 而观测时间的延长则有助于一些硬实种子在后期开始吸胀并萌发。

3.2 不同成熟度种子的特性及其与萌发处理措施的关联

油楠成熟和过熟种子的千粒重、大小和含水率存在显著差异, 且对照处理下的熟与过熟种子萌发特性也存在显著差异, 由此推测种子硬实度应该随成熟度的增加而显著增加。刘金平等^[24]对合欢(*Albizia julibrissin*)不同成熟度的种子特性进行研究, 认为乳熟、蜡熟和完熟种子的千粒重和含水率随成熟度的增加而不断下降, 而硬实率则迅速增加。李婷等^[10]对国槐(*Sophora japonica*)不同成熟期的种子形态特征和内含物进行研究, 认为从成熟期到过熟期, 种子的种皮颜色逐步加深、种皮结构更致密、种子重量和含水率均呈下降并稳定的趋势。因此, 对于硬实类种子而言, 种子硬实特性与成熟度紧密相关, 且与种子含水率呈显著负相关。荚果和种子的形态学和生理学特征可以作为判断种子硬实程度的有效指标^[7]。种子硬实程度的差异, 导致了不同处理方法在解除硬实休眠时产生不同的效果^[5]。油楠成熟种子可能含有相当比例的非硬实种子, 这类种子还没有完全形成比较坚硬的种壳, 种皮细胞具有一定的渗透性, 遇水较易吸胀^[8], 采用腐蚀性弱的化学处理或温水浸泡处理效果较好。过熟种子因表皮致密坚硬, 即使用 100℃热水也难以软化坚硬的种皮, 而采用浓硫酸才能腐蚀坚硬的种皮, 使胚根和胚芽的张力足以突破种壳束缚, 从而促进种子的萌发^[25-26]。对于豆科硬实类种子来说, 成熟度既是体现种子硬实程度和活力水平的重要指标^[8-9], 又是破除种子休眠的参考依据^[5], 因此, 宜根据种子不同成熟度采取有针对性的处理措施来解决硬实种子的物理休眠^[27], 尤其是对于濒危植物来说, 种子获取较难且数量偏少, 在进行萌发处

理时,宜先采取逐步升温的方法,高温浸泡后还未吸胀的种子再用浓硫酸处理,这样既节约成本,又可以提高种子发芽率,降低高温和浓硫酸对非硬实种子的伤害,提高种子发芽率^[21]。

3.3 油楠濒危原因与保育策略

过熟种子自然萌发率低于 10%,推测过熟种子的硬实率应该高于 90%;而油楠天然更新时,种子待果荚完全开裂弹出后落地并在适宜的环境下才能萌发,其种子硬实度应该高于过熟种子,在天然状态下萌发率可能更低和萌发时间可能更长,从而导致其种群更新困难^[12]。野外调查时,观察到油楠树下有许多坚硬的种子未萌发且少有幼苗或幼树,种群密度不足 20 ind. hm⁻²^[12],而其分布生境相似,均为保护树种青皮(*Vatica mangachapoi*),其幼树和幼苗的密度分别超过 6927 和 11150 ind. hm⁻²^[28]。由此可见,油楠天然更新能力差和竞争能力弱。另一方面,李意德等^[15]对尖峰岭三分区乔木层群落的研究表明,胸径≥12 cm 以上的油楠种群密度为 1 ind. hm⁻²,显著低于青皮的 48 ind. hm⁻²,表明了油楠种群数量少。有学者认为,植物濒危的主要原因有两方面:一是植物本身的生物学特性,二是环境胁迫的作用和人类活动的干扰^[29]。油楠过熟种子萌发率和萌发速率低,使其在种间竞争中处于不利地位,其种子的硬实特性也是导致该物种自然更新困难的内在原因。此外,由于乱砍滥伐和毁林开荒等活动,造成了天然生境不断遭受破坏以及油楠种群面积与数量不断减少^[30-31],这种人类活动的剧烈干扰是导致油楠种群濒危的外在因素。因此,建议既要在原地保护的基础上,进一步加强保护区边缘的低密度种群或散生单株的保护^[32],尽量减少人为不必要的干扰;同时,又要根据不同成熟度种子采取温水或浓硫酸处理方法提高种子萌发率和缩短萌发时间,解除种子硬实特性造成的种子休眠以促进种子繁育^[33],从而实现油楠资源的异地保存。

参考文献

- [1] JIAO D Y, TAN Y H, TANG S X, et al. Ecological characteristics of germination of *Plukenetia volubilis* seeds [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2011, 19(16): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
焦冬英, 谭运红, 唐寿贤, 等. 星油藤种子萌发的生态学特性研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2011, 19(16): 529–535. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.06.007.
- [2] WANG H H, WANG P C, ZHAO G, et al. Seed size and germination strategy of *Sophora davidii* under drought stress [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(2): 335–341. doi: 10.5846/stxb201312032878.
王慧慧, 王普昶, 赵钢, 等. 干旱胁迫下白刺花种子大小与萌发对策 [J]. *生态学报*, 2016, 36(2): 335–341. doi: 10.5846/stxb201312032878.
- [3] YANG Q H, YIN X J, YE W H. Dormancy mechanism and breaking methods for hard seeds [J]. *Chin Bull Bot*, 2006, 23(1): 108–118. doi: 10.3969/j.issn.1674-3466.2006.01.014.
杨期和, 尹小娟, 叶万辉. 硬实种子休眠的机制和解除方法 [J]. *植物学通报*, 2006, 23(1): 108–118. doi: 10.3969/j.issn.1674-3466.2006.01.014.
- [4] LUO D, WANG M J, LI Y H, et al. Four legumes response to simulated drought in the stages of seed germination and seedling growth and drought resistance assessment [J]. *Ecol Environ Sci*, 2015, 24(1): 224–230. doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.02.007.
罗冬, 王明玖, 李元恒, 等. 四种豆科牧草种子萌发和幼苗生长对干旱的响应及抗旱性评价 [J]. *生态环境学报*, 2015, 24(1): 224–230. doi: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.02.007.
- [5] DU J C, WANG Z L, ZHAO L L, et al. Study on breaking hard seed effect of different treat methods for *Melilotoides ruthenica* strain 90-36 [J]. *Seed*, 2011, 30(4): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2011.04.011.
杜建材, 王照兰, 赵丽丽, 等. 不同处理方法破除扁蓿豆品系 90-36 种子硬实的效果研究 [J]. *种子*, 2011, 30(4): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2011.04.011.
- [6] FANG F, PENG Z, GUO Z M, et al. Study on seed hardness characteristic and germination promoting of *Robinia pseudoacacia* seeds [J]. *J CS Univ For Technol*, 2013, 33(7): 72–76.
方芳, 彭彰, 郭志民, 等. 刺槐种子硬实特性及萌发促进的研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(7): 72–76.
- [7] WANG Y, HOU Y, LI X Y, et al. A study on the relationship between the pod, seed development and the occurrence of seed hardness of *Melilotus ruthenicus* [J]. *Pratacult Sci*, 2012, 21(3): 303–307.
王颖, 侯宇, 李晓宇, 等. 扁蓿豆荚果和种子发育及硬实发生的关系 [J]. *草业科学*, 2012, 21(3): 303–307.
- [8] CAO B H, ZHAI M P, GUO J J, et al. Study on vigor difference of seeds with different hard degree in *Robinia pseudoacacia* [J]. *Sci Silv Sin*, 2005, 41(2): 42–47. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2005.02.007.
- [9] WANG J, FAN H L, ZHANG X H, et al. Study on relationship between hard-seededness and seed vigor in *Sophora alopecuroides* and *Thermopsis lanceolata* [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2013, 33(8): 1665–1673.
王进, 范惠玲, 张新慧, 等. 苦豆子和披针叶黄华种子硬实特性与

- 活力关系研究 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1665–1673.
- [10] LI T, PENG Z D. Effect of different seed collecting time periods on germination and physiological metabolism of *Sophora japonica* seeds [J]. J NE For Univ, 2016, 44(3): 33–36. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2016.03.007.
李婷, 彭祚登. 不同采种期对国槐种子萌发及生理代谢的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(3): 33–36. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2016.03.007.
- [11] CHEN D Z, ZHANG D X, HOU D. *Sindora glabra* [M]// Flora of China, Vol. 10. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2010: 25–26.
- [12] WU Z F, YANG J C, CHENG T L, et al. Biological characteristics and oleoresin production of *Sindora glabra* in Hainan Island [J]. Sci Silv Sin, 2014, 50(4): 144–151. doi: 10.11707/j.1001-7488.20140421.
吴忠锋, 杨锦昌, 成铁龙, 等. 海南油楠的重要生物学特性及产油特征 [J]. 林业科学, 2014, 50(4): 144–151. doi: 10.11707/j.1001-7488.20140421.
- [13] YANG J C, WU Z M, YIN G T, et al. Physical and chemical properties of the oleoresin of *Sindora glabra* in Jianfengling National Nature Forest Reserve, Hainan Island of China [J]. Sci Silv Sin, 2011, 47(9): 21–27. doi: 10.11707/j.1001-7488.20110904.
杨锦昌, 吴仲民, 尹光天, 等. 海南尖峰岭油楠树脂油的主要理化特性 [J]. 林业科学, 2011, 47(9): 21–27. doi: 10.11707/j.1001-7488.20110904.
- [14] YANG J C, LI Q Q, YIN G T, et al. Study on chemical components of oleoresin from different wild *Sindora glabra* individuals in Jianfengling, Hainan, China [J]. For Res, 2016, 29(2): 245–249. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.02.015.
杨锦昌, 李琼琼, 尹光天, 等. 海南尖峰岭野生油楠不同单株树脂化学成分研究 [J]. 林业科学研究, 2016, 29(2): 245–249. doi: 10.3969/j.issn.1001-1498.2016.02.015.
- [15] LI Y D, FANG H, LUO W, et al. The resource and community characteristics of *Vatica mangachapoi* forest in Jianfengling National Nature Reserve, Hainan Island [J]. Sci Silv Sin, 2006, 42(1): 1–6. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2006.01.001.
李意德, 方洪, 罗文, 等. 海南尖峰岭国家级保护区青皮林资源与乔木层群落学特征 [J]. 林业科学, 2006, 42(1): 1–6. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2006.01.001.
- [16] LI H B, ZENG D Q, WEN Y C, et al. Resources profile and cultivation strategy of *Sindora glabra* in Hainan [J]. Trop For, 2011, 39(3): 30–33. doi: 10.3969/j.issn.1672-0938.2011.03.009.
李海滨, 曾冬琴, 温艺超, 等. 海南油楠资源概况及其培育对策 [J]. 热带林业, 2011, 39(3): 30–33. doi: 10.3969/j.issn.1672-0938.2011.03.009.
- [17] YANG J C, YIN G T, LI R S, et al. Study on seedling cultivation of *Sindora grabla* [J]. Pract For Technol, 2011(10): 29–30.
杨锦昌, 尹光天, 李荣生, 等. 油楠实生苗培育试验研究 [J]. 林业实用技术, 2011(10): 29–30.
- [18] WANG Y R, HANSON J. An improved method for breaking dormancy in seeds of *Sesbania sesban* [J]. Exp Agric, 2008, 44(2): 185–195.
- [19] NERSON H. Effects of seed maturity, extraction practices and storage duration on germinability in watermelon [J]. Sci Hort, 2002, 93(3–4): 245–256. doi: 10.1016/S0304-4238(01)00332-6.
- [20] NOGUEIRA N W, DE FREITAS R M O, TORRES S B, et al. Physiological maturation of cowpea seeds [J]. J Seed Sci, 2014, 36(3): 312–317. doi: 10.1590/2317-1545v36n31007.
- [21] CHEN Y W, WEI X L, YANG X Y, et al. Study on breaking methods for hard seed of rare species *Ormosia xylocarpa* [J]. Seed, 2015, 34(11): 37–40. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2015.11.037.
陈艳伟, 韦小丽, 杨玄烨, 等. 珍贵树种木荚红豆硬实种子破除方法研究 [J]. 种子, 2015, 34(11): 37–40. doi: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2015.11.037.
- [22] XU Y F, BI Y F, LUO F C, et al. Study on the methods of hard seed treatment of *Leucaena leucocephala* [J]. Pratacult Sci, 2006, 23(8): 58–62. doi: 10.3969/j.issn.1001-0629.2006.08.013.
许岳飞, 毕玉芬, 罗富成, 等. 银合欢硬实种子处理方法研究 [J]. 草业科学, 2006, 23(8): 58–62. doi: 10.3969/j.issn.1001-0629.2006.08.013.
- [23] QIN Y R, JIANG G M, CEN Z Y, et al. Research on the seed's germination characteristic of *Zenia insignis* as the vanguard tree for afforestation in karst areas [J]. Seed, 2008, 27(12): 15–21. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2008.12.005.
覃勇荣, 蒋光敏, 岑忠用, 等. 喀斯特地区造林先锋树种任豆种子萌发特性 [J]. 种子, 2008, 27(12): 15–21. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2008.12.005.
- [24] LIU J P, LIU L. Effects of different maturity and humidity and treatments on the germinability of *Albizia julibrissin* seeds [J]. Pratacul Anim Husb, 2010(6): 13–15. doi: 10.3969/j.issn.1673-8403.2010.06.005.
刘金平, 刘柳. 成熟度、干湿度与处理对合欢种子发芽力的影响 [J]. 草业与畜牧, 2010(6): 13–15. doi: 10.3969/j.issn.1673-8403.2010.06.005.
- [25] ZHOU Z Q, LI T S, HU X W. Seed dormancy and germination characteristics of four Cyperaceae species [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2013, 33(9): 1885–1890.
周芝琴, 李廷山, 胡小文. 莎草科 4 种植物种子休眠与萌发特性的

- 研究 [J]. 西北植物学报, 2013, 33(9): 1885–1890.
- [26] LIU B R, DONG K H, LI G. Effects of different treatments on seeds germination of *Astragalus kifonsanicus* [J]. Pratacult Sci, 2014, 31(8): 1493–1497. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2013-0603.
- 刘碧荣, 董宽虎, 李刚. 不同处理对鸡峰黄芪种子萌发的影响 [J]. 草业科学, 2014, 31(8): 1493–1497. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2013-0603.
- [27] HU X W, WU Y P, WANG Y R, et al. Progress of physical dormancy release of Legume species [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2009, 29(2): 420–427. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2009.02.034.
- 胡小文, 武艳培, 王彦荣, 等. 豆科植物种子物理性休眠解除机制的研究进展 [J]. 西北植物学报, 2009, 29(2): 420–427. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2009.02.034.
- [28] HAO Q Y, WANG G, LÜ B, et al. Natural regeneration characteristics of *Vatica mangachapoi* at different altitudes in Hainan Island [J]. For Resour Manage, 2012(5): 39–45, 58. doi: 10.3969/j.issn.1002-6622.2012.05.008.
- 郝清玉, 王贵, 吕冰, 等. 海南岛不同海拔高度青皮林天然更新特征 [J]. 林业资源管理, 2012(5): 39–45, 58. doi: 10.3969/j.issn.1002-6622.2012.05.008.
- [29] CHAI S F, JIANG Y S, WEI X, et al. Seed germination characteristics of endangered plant *Sinia rhodoleuca* [J]. Chin J Ecol, 2010, 29(2): 233–237.
- 柴胜丰, 蒋运生, 韦霄, 等. 濒危植物合柱金莲木种子萌发特性 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(2): 233–237.
- [30] LI X Q. Using remote sensing technology to monitor and research tropical primeval forest in Jianfeng Mountain, Haninan, China [J]. Remote Sens Land Resour, 1996(4): 16–22.
- 李学谦. 海南尖峰岭国家森林公园原始森林动态变化遥感监测研究 [J]. 国土资源遥感, 1996(4): 16–22.
- [31] HUANG J X, HUANG F B, XU H, et al. Genetic diversity of *Vatica mangachapoi* in Hainan Island revealed by ISSR [J]. Sci Silv Sin, 2008, 44(5): 46–52. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2008.05.010.
- 黄久香, 黄妃本, 许涵, 等. 海南岛青梅 AFLP 标记的遗传多样性 [J]. 林业科学, 2008, 44(5): 46–52. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2008.05.010.
- [32] LIU J, JIANG J M, ZOU J, et al. Genetic diversity of central and peripheral populations of *Toona ciliata* var. *pubescens*, an endangered tree species endemic to China [J]. Chin J Plant Ecol, 2013, 37(1): 52–60. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00006.
- 刘军, 姜景民, 邹军, 等. 中国特有濒危树种毛红椿核心和边缘居群的遗传多样性 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(1): 52–60. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00006.
- [33] ZHENG D J, WU Y J, YUN Y, et al. Seed germination and its environment adaptability of endangered tree *Dracaena cambodiana* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2016, 24(1): 71–79. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.010.
- 郑道君, 吴宇佳, 云勇, 等. 濒危植物海南龙血树种子萌发及其环境适应性分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(1): 71–79. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.010.