

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.031

不同处理对神黄豆种子发芽的影响

保华, 贺圆, 管朝旭, 黄键, 马双陆, 徐云红

(云南省林木种苗工作站, 云南 昆明 650215)

摘要: 用剪刀剪、锉子锉、与瓜子石混搓等机械处理法以及用5%氢氧化钾、98%浓硫酸等化学处理法对神黄豆种子进行预处理, 3倍种子体积沸水浸泡并自然冷却浸种48 h, 观察并统计种子吸胀粒数、种皮破裂数后置床进行发芽测定。结果表明, 除与瓜子石混搓处理外, 其余处理均能促进种子吸水膨胀, 显著提高神黄豆种子发芽率。其中以98%浓硫酸浸泡2 h处理效果最好, 其吸胀率达98.0%、发芽率最高, 达88.3%, 吸胀破皮率、不正常发芽率均为0%; 其次是锉子锉处理效果好, 其吸胀率达99.0%, 发芽率可达84.7%, 吸胀破皮率、不正常发芽率均为0%; 用5%氢氧化钾进行浸泡处理, 对种子发芽有一定的促进作用, 但发芽不整齐, 发芽速度慢, 处理14 d吸胀率为59.7%、发芽率最高为48.0%; 与瓜子石混搓处理效果相对较差, 对神黄豆种子发芽的促进作用不明显, 吸胀率为5.0%、发芽率为5.0%。

关键词: 种子发芽; 神黄豆; 机械处理法; 化学处理法; 吸胀率; 发芽率

中图分类号: S722.14; S791.11; Q945.34 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)03-0169-06

引文格式: 保华, 贺圆, 管朝旭, 等. 不同处理对神黄豆种子发芽的影响[J]. 林业调查规划, 2023, 48(3): 169-174.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.031

BAO Hua, HE Yuan, GUAN Chaoxu, et al. Effects of Different Treatments on Seed Germination of *Cassia agnes*[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(3): 169-174. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.031

Effects of Different Treatments on Seed Germination of *Cassia agnes*

BAO Hua, HE Yuan, GUAN Chaoxu, HUANG Jian, MA Shuanglu, XU Yunhong

(Yunnan Forest Seedling Work Station, Kunming 650215, China)

Abstract: *Cassia agnes* seeds were pretreated with mechanical treatment methods such as scissors, files, rubbing with melon seed stones, and chemical treatment methods such as 5% potassium hydroxide and 98% concentrated sulfuric acid. The seeds were soaked in boiling water with three times the seed volume and naturally cooled for 48 hours. The number of imbibited seeds and the number of broken seed coats were observed and counted, and then the germination was measured in the bed. The results showed that except for the treatment of mixing with melon seed stone, all other treatments could promote seed water absorption and swelling, significantly improving the germination rate of seeds. Among them, soaking in 98% concentrated sulfuric acid for 2 hours had the best effect, with a swelling rate of 98.0% and the highest germination rate of 88.3%. The swelling and breaking rate and abnormal germination rate were both 0%; secondly, the effect of file treatment was good, with a swelling rate of 99.0%, a germination

收稿日期: 2022-12-13.

第一作者: 保华(1974-), 女(回族), 贵州兴义人, 工程师. 主要从事林草种苗工程管理、林草种子质量检验与监管工作.

Email: 503621811@qq.com

责任作者: 徐云红(1973-), 女(布依族), 贵州贞丰人, 工程师. 主要从事林草种子检验及质量监管工作. Email: 1049422641@qq.com

rate of 84.7%, and a swelling rate of 0%, as well as an abnormal germination rate; soaking with 5% potassium hydroxide could promote seed germination to a certain extent, but the germination was irregular and slow, and the swelling rate was 59.7% and the highest germination rate was 48.0% after 14 days of treatment; the effect of mixing with melon seed stone was relatively poor, and the promotion effect on the germination of *Cassia agnes* seeds was not significant, with a swelling rate of 5.0% and a germination rate of 5.0%.

Key words: seed germination; *Cassia agnes*; mechanical treatment method; chemical treatment method; swelling rate; germination rate

神黄豆(*Cassia agnes*), 苏木科(Hemataceae)决明属(*Cassia*)植物, 原产云南、广西等地, 分布于中南半岛的深山地林中^[1]。乔木, 树干高大挺拔, 树形伟岸丰满, 树冠雄壮优美, 枝叶碧绿清爽, 花期较长, 花色艳丽迷人, 初夏盛开时满树粉红如霞, 散发出浓郁扑鼻的清香, 具有很高的观赏价值。神黄豆适应性强, 栽培管理容易, 喜高温、阳光充足的环境, 对土壤要求不严, 耐瘠薄, 在深厚肥沃、排水良好的土壤条件下生长良好。在园林绿化中适合作景区的主景树, 可置于构图中心作主景, 也适合作行道树, 或作背景树, 是园林植物中一种值得推广的优良树种^[2]。种子含有亚油酸甘油酯、 β -谷甾醇、芦荟大黄素、大黄酸、表阿夫儿茶精、儿茶素、芫花素、槲皮苷、香叶木素等, 可入药, 常用于治疗麻疹, 水痘, 感冒, 胃痛, 便秘^[3]。

神黄豆种子种皮致密坚硬, 吸水性能差。新鲜采收的种子, 置于 60~80℃ 的热水浸种 24 h 后播种, 发芽率仅为 26%~28%^[1]。在笔者的生产实践中发现, 充分干燥的种子吸水性能更差, 播种 3 个月的种子发芽率最高仅为 5%, 以上说明其种子能否顺利吸涨严重影响到神黄豆的育苗生产。因此, 探寻一种在播种前对神黄豆种子进行预处理, 促进种子吸水膨胀并提高种子发芽率的方法, 对加快这一优良树种的推广应用具有重要现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试神黄豆种子采自云南省新平县。神黄豆每年 3—5 月开花, 次年 3—5 月种子成熟, 在其成熟季节, 采集果皮为黑褐色, 果荚摇动有响声, 剥开后中果皮为灰绿色, 可分节剥成单粒时, 采收果荚, 适当晾晒后用木棒或钝器敲打圆柱形果荚, 脱离种子, 然后将种子置于室内阴凉通风处晾干。获得的供试种子按《林木种子检验规程》(GB 2772—1999) 进行种

子的净度、千粒重、优良度、含水量测定^[4]。供试种子的净度为 98.7%、千粒重为 313.4 g、优良度为 98%, 含水量为 9.8%。采用经过净度测定获得的净种子进行发芽试验, 每个处理 100 粒种子, 3 次重复。

1.2 试验方法

1.2.1 机械处理法

机械处理法采用剪刀、锉子及与瓜子石混搓等对种子进行预处理。处理时以种脐为中线, 在种脐左侧或右侧用剪刀和锉子破坏种皮, 剪、锉时以破坏外种皮且不伤到胚乳为宜; 将种子与瓜子大小的碎石子按 2:1 比例混合放入布袋, 用力搓至种皮毛糙。处理后用 3 倍种子体积的沸水浸泡种子, 自然冷却后浸种 48 h, 每 24 h 换冷水一次。

1.2.2 化学处理法

用 5% 氢氧化钾和 98% 浓硫酸对种子进行预处理。处理时分别用 5% 氢氧化钾浸泡种子 7 d、14 d、21 d; 用 98% 浓硫酸浸泡种子 0.5 h、1 h、1.5 h、2 h、2.5 h、3 h、4 h、5 h、6 h。浸泡处理期间用玻璃棒不断搅拌, 浸泡结束后, 用流水充分冲洗种子, 处理后用 3 倍种子体积的沸水浸泡种子, 自然冷却后浸种 48 h, 每 24 h 换冷水一次。

1.2.3 对照

对神黄豆净种子直接用 3 倍种子体积的沸水进行浸泡处理, 自然冷却后浸种 48 h, 每 24 h 冷水换水一次。

各试验处理结束并经沸水处理后, 部分处理过的种子的种皮在吸水后出现皱缩并呈木耳状而极易脱落, 置床发芽测定前用流水将其冲洗干净, 以免测定过程中霉变感染影响种子发芽。

1.3 发芽测定

1.3.1 测定指标

1) 吸胀率: 种子经预处理并沸水浸泡 48 h 吸水膨胀的种子粒数占处理种子总数的百分比。即:

$$\text{吸胀率}(\%) = (a/N) \times 100$$

式中: a 为吸水膨胀的种子粒数; N 为处理样品种

子数。

2)吸胀破皮率:吸水膨胀种皮破裂的种子数占吸水膨胀种子总数的百分比。即:

吸胀破皮率(%) = (b/a) × 100

式中:a 为吸水膨胀的种子总数;b 为吸水膨胀种皮破裂的种子数。

3)发芽率^[4]:在规定条件下及规定期限内生成正常幼苗的种子粒数占供试种子粒数的百分比。正常幼苗是指幼苗结构正常、完整或带轻微缺陷且生长均衡、受到次生性感染的幼苗。即:

发芽率(%) = (n/N) × 100

式中:n 为正常发芽的种子数;N 为处理样品种子数。

4)不正常发芽率^[4]:在规定条件下及规定期限内不能生成正常幼苗的种子粒数占供试种子粒数的百分比。不正常幼苗是指幼苗结构不完整、受严重损伤无法恢复正常、畸形苗或不匀称苗、受原发性感染的幼苗。即:

不正常发芽率(%) = (m/N) × 100

式中:m 为不正常幼苗数;N 为处理样品种子数。

1.3.2 置床管理

置床前,在各种子处理结束后,用流水充分清洗,分别统计吸胀粒数、硬粒数、种皮破裂数,计数后均匀置于培养盒中,然后将发芽盒放入光照 16 h,光照强度 1 000 lx,温度(30 ± 2)℃ 的光照培养箱进行发芽测定,测定期间经常检查测定种子健康状况及水分、通气、温度、光照,确保种子发芽条件适宜。

1.3.3 观察与计数

依照《林木种子检验规程》(GB 2772—1999)^[4]中同属树种凤凰木的发芽测定方法,于置床后第 7 天开始进行初次记数,第 14 天进行末次记数,记录种子发芽数、不正常幼苗数,计算发芽率、不正常发芽率。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel(2007)和 SPSS(26.0)统计分析软件进行数据统计和方差分析,单因素方差分析时用邓肯 Duncan 提出的新复极差法进行多重比较,结果以 P < 0.05 表示显著性差异。

2 结果与分析

2.1 机械处理法对神黄豆种子发芽的影响

机械处理法对神黄豆种子发芽的影响试验结果见表 1。

表 1 机械处理法对神黄豆种子发芽的影响

Tab. 1 Effect of mechanical treatment method on germination of *Cassia agnes* seeds

处理方式	吸胀率 /%	吸胀破皮 率/%	发芽率 /%	不正常发 芽率/%
剪刀剪	82.0 ± 9.5 *	0	67.3 ± 10.1 *	2.0
挫刀挫	99.0 ± 1.0 *	0	84.7 ± 2.3 *	2.0
瓜子石搓	5.0 ± 3.0 *	0	5.0	0
对照	0	0	0	0

注:*表示 P < 0.05,下同。

表 1 显示,用剪刀和锉子破坏外种皮能显著促进神黄豆种子吸水膨胀,大幅提高种子发芽率,种子吸胀率、发芽率与对照相比差异显著(P < 0.05),不正常发芽率与对照差异不显著。尤其是用锉子处理的种子发芽效果最好,其吸胀率为 99.0%,发芽率为 84.7%,其次是剪刀处理,种子吸胀率为 82.0%,发芽率为 67.3%。与瓜子石混搓对神黄豆种子发芽影响不大,发芽率提升效果不明显,差异不显著,吸胀率、发芽率仅为 5.0%,这可能与神黄豆种子的种皮致密坚硬,吸水性能差,以及在混搓过程中处理不到位,未伤及种皮栅栏组织有关,影响了种子吸水膨胀与种子萌发^[5]。

2.2 化学处理法对神黄豆种子发芽的影响

用 5%氢氧化钾及 98%浓硫酸对神黄豆种子进行浸泡预处理,均能促进神黄豆种子吸水膨胀,显著提高神黄豆种子发芽率,与对照差异显著。

2.2.1 5%氢氧化钾浸泡处理对神黄豆种子发芽的影响

5%氢氧化钾浸泡处理对神黄豆种子发芽的影响试验结果见表 2。

表 2 5%氢氧化钾浸泡处理对神黄豆种子发芽的影响

Tab. 2 Effect of 5% potassium hydroxide soaking on seed germination

处理方式	吸胀率 /%	吸胀破皮 率/%	发芽率 /%	不正常发 芽率/%
5%氢氧化钾 浸泡 7 d	34.7 ± 3.8 *	0	34.0 ± 1.0 *	0
5%氢氧化钾 浸泡 14 d	59.7 ± 3.8 *	0	48.0 ± 3.0 *	0
5%氢氧化钾 浸泡 21 d	65.7 ± 4.7 *	2.7 ± 2.5 *	40.7 ± 7.2 *	1
对照	0	0	0	0

表 2 显示,5%氢氧化钾浸泡神黄豆种子 7 d、14 d、21 d,其吸胀率为 34.7%、59.7%、65.7%,发芽率为 34.0%、48.0%、40.7%,吸胀率、发芽率与对照差异显著。随着处理时间增加,吸胀率逐渐增加,发芽率呈先增加后下降的趋势。浸泡 21 d,吸胀种子的种皮开始破裂,出现不正常幼苗。用 5%氢氧化钾处理在一定程度上能软化种子外层胶质,促进神黄豆种子吸水膨胀,增强酶的活性,对种子发芽有一定提升作用。发芽率呈先增加后下降趋势,这可能是在长时间的氢氧化钾浸泡处理中,子叶和胚乳吸水膨胀过程中受到氢氧化钾毒害有关,解剖吸水膨胀未发芽种子发现,子叶和胚乳多变褐死亡。

2.2.2 98%浓硫酸处理对神黄豆种子发芽的影响

98%浓硫酸处理对神黄豆种子发芽的影响试验结果见表 3。

表 3 98%浓硫酸处理对神黄豆种子发芽的影响

Tab. 3 Effect of 98% concentrated sulfuric acid on germination of *Cassia agnes* seeds

处理方式	吸胀率 /%	吸胀破皮 率/%	发芽率 /%	不正常发 芽率/%
98%浓硫酸 浸泡 0.5 h	27.3±5.5 *	0	42.0±6.2 *	0
98%浓硫酸 浸泡 1 h	61.0±4.0 *	0	69.7±8.5 *	0
98%浓硫酸 浸泡 1.5 h	70.0±6.2 *	0	78.3±1.5 *	0
98%浓硫酸 浸泡 2 h	98.0±1 *	0	88.3±4.9 *	1.0
98%浓硫酸 浸泡 2.5 h	100.0±0 *	0.6	79.0±3.6 *	3.7±1.5 *
98%浓硫酸 浸泡 3 h	100.0±0 *	2.7	74.3±0.6 *	4.3±1.5 *
98%浓硫酸 浸泡 4 h	100.0±0 *	11.3±2.1 *	71.3±3.2 *	9.7±1.5 *
98%浓硫酸 浸泡 5 h	100.0±0 *	37.0±2.0 *	49.3±3.5 *	25.0±2.6 *
98%浓硫酸 浸泡 6 h	100.0±0 *	68.0±3.5 *	18.3±4.2 *	29.3±4.2 *
对照	0	0	0	0

表 3 显示,用 98%浓硫酸浸泡处理神黄豆种子,能显著促进种子吸水膨胀,提高种子发芽率,种子吸胀率、发芽率与对照呈显著性差异。结果表明,用 98%浓硫酸处理神黄豆种子 2 h 以内,吸胀率与处理时间呈正相关,各处理间呈显著性差异,2 h 及以

上则差异不显著。随着处理时间增加,发芽率呈先增加后下降趋势,处理 2 h 时发芽率最高,达 88.3%,处理 6 h 发芽率仅为 18.3%。浓硫酸处理 2 h 后开始出现不正常幼苗,随着处理时间延长,不正常幼苗数逐渐增加,不正常发芽率与处理时间呈正相关;浓硫酸处理 2.5 h,种子开始出现种皮破裂现象,并且随处理时间延长,种皮破裂数增加,种皮破裂数与处理时间呈正相关。浓硫酸处理 6 h,种皮破裂数最高,达 68.0%,不正常发芽率高达 29.3%。种皮破裂与不正常幼苗高度关联。究其原因,可能与浓硫酸处理时间过长有关,浓硫酸不但腐蚀了种子表面坚硬的胶质层,还腐蚀了子叶及胚乳,降低了种子活力,导致不正常幼苗数增加而降低了发芽率。同时发现,浓硫酸处理 0.5 h、1 h、1.5 h,种子吸胀率比发芽率低,但在发芽测定过程中陆续有少量种子继续吸水膨胀发芽,这可能跟浓硫酸处理不完全有关,而对照、机械处理以及 5%氢氧化钾浸泡处理则无此类现象发生,这可能与上述处理并未突破种皮栅栏组织有关。

2.3 不同处理对神黄豆种子发芽影响的比较分析

不同处理方法对神黄豆种子发芽的影响不同,除与瓜子石混搓处理外,均能促进种子吸水膨胀,提高种子发芽率(图 1)。

随着 5%氢氧化钾处理时间增加,吸胀率逐渐增加,发芽率呈先增加后下降的趋势,吸胀率、发芽率与对照差异显著,浸 21 d,吸胀种子的种皮开始破裂,出现不正常幼苗。98%浓硫酸处理 2 h 以内,各时间处理的种子吸胀率差异显著,2 h 以上种子吸胀率则无差异,但不正常幼苗数增加,与对照及各处理呈显著性差异。98%浓硫酸处理 2.5 h 开始出现吸胀种子种皮破裂现象,种子破皮率为 1.0%,种皮破裂与处理时间有关联,随着处理时间增加,吸胀破皮率增加,处理 6 h,种子吸胀破皮率达 68.0%。98%浓硫酸处理 3 h 及以上,各时间处理的吸胀破皮率差异显著,3 h 以内则无差异。其中以浓硫酸浸泡处理 2 h 效果最好,吸胀率高,吸胀破皮率低,不正常发芽率低,发芽率最高,达 88.3%;其次是锉子锉处理,吸胀种子无种皮破裂现象,其吸胀率为 99%,发芽率为 84.7%。而对照种子未出现种子吸胀及种皮破裂现象,吸胀率和吸胀破皮率均为 0%,发芽率也为 0%。浓硫酸浸泡处理 2 h 和锉子锉处理对神黄豆种子的发芽影响差异不显著。表明未经预处理的种子,其种皮致密坚硬且覆盖脂质层,种皮栅栏细胞角质层的存在影响了种子吸水^[5]。剪刀剪、锉子锉

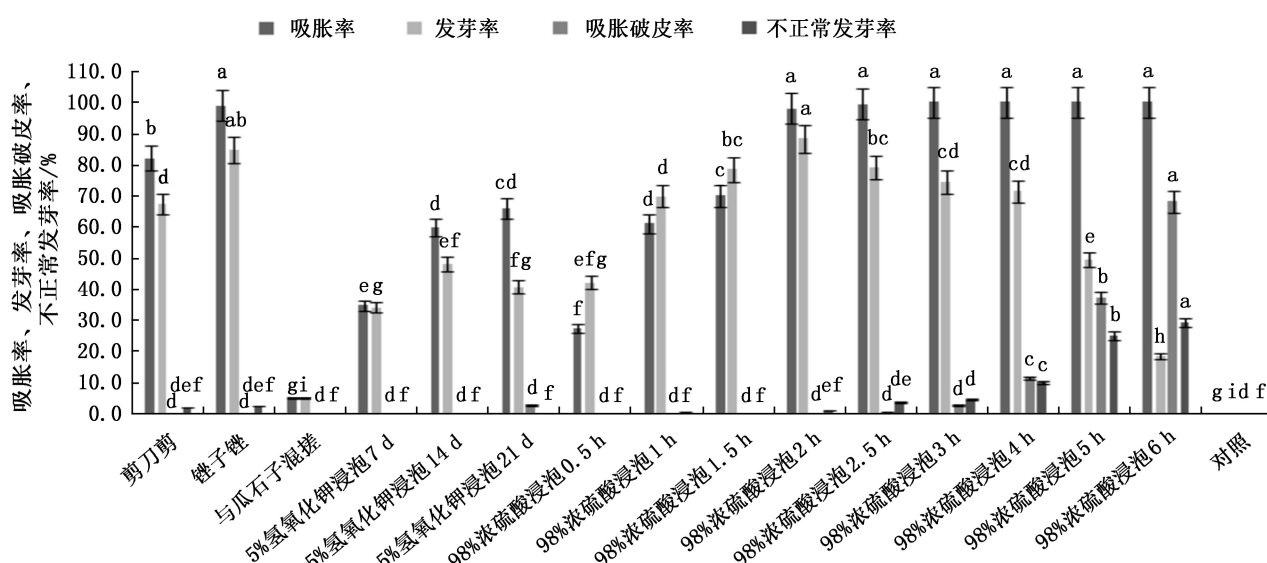


图1 不同处理神黄豆种子发芽比较

Fig. 1 Germination comparison of *Cassia agnes* seeds with different treatments

处理同样出现不正常幼苗数,但与对照差异不显著,这可能与种子原发性活力有关。

3 结论与讨论

种子萌发是从种子吸胀开始,吸胀程度决定于种子成分、种皮对水分的透性以及环境中水分的有效性。种皮透性不良是大多数豆科植物种子的特性,其对延长种子寿命,延续种类及远距离传播是有利的。种皮对发育中的胚起着物理的阻碍作用,由于种皮的不透水性使胚得不到必要的水分,阻碍了萌发,除去或损伤种皮可以促进萌发^[5]。

1) 采用机械处理法对神黄豆种子种皮进行机械处理,除与瓜子石混搓的处理效果不明显外,剪刀剪、铧子铧均大幅促进种子吸水膨胀,显著提高神黄豆种子的发芽率。其中以铧子处理效果最好,吸胀率达99%,发芽率达85%,其次是剪刀处理,吸胀率为82%,发芽率为67%,与瓜子石混搓效果最差,吸胀率为5%、发芽率为5%,这可能是由于在混搓过程中处理不到位,未伤及种皮栅栏组织,影响了种子吸水膨胀与种子萌发^[5]。试验结果与一些学者的研究结果一致,如邱琼等^[6]对粉花山扁豆采用枝剪剪破种皮处理,显著促进了种子萌发;郭丽云^[7]采用砂擦破凤凰木种皮以及文亦蒂等^[8]对银合欢种子采用研磨的方式均显著提高了发芽率。采用机械法对种皮进行处理是针对种皮坚硬树种促进发芽的有效手段,但是,在实际育苗生产中,对每粒种子进行机械处理,工作量大,任务重,效率低下,再加上在

机械处理种子过程中力度不易掌握,过强则易伤及子叶和胚乳,过轻则对种子发芽的促进作用有限,达不到试验结果用于实际生产的目的,因而在大规模育苗生产中的推广应用受到限制,仅限于小规模生产。

2) 用5%氢氧化钾浸泡处理神黄豆种子,处理14 d吸胀率为59.7%、发芽率最高仅为48.0%,处理21 d吸胀率为65.7%、发芽率仅为40.7%。用5%氢氧化钾浸泡处理,对种子发芽有一定的促进作用,但处理时间长,且发芽不整齐,发芽速度慢,不建议在生产中运用。可能是因为该种子表面所含蜡质较少而是由致密的栅栏组织组成,该处理不能改善种子的吸水性能而迅速促进种子吸水萌发。用5%氢氧化钾对种子进行预处理,在厚朴^[9]、乌柏^[10]等种子表面富含蜡质的树种中应用较为广泛。其目的是通过氢氧化钾的作用除去附着在种子表面的蜡质层,创造通气透气条件,以便水分和空气进入种子,使种子发芽。

3) 用98%浓硫酸处理2 h对种子种皮腐蚀效果适中,发芽效果最好,在腐蚀种子种皮的同时并未对子叶和胚乳造成损伤,在促进种子吸水膨胀的同时显著提高了种子发芽率,种子发芽率达88.3%,种子萌发的不正常幼苗数仅为1.0%。这与邱琼等^[6]用浓硫酸处理粉花山扁豆,发芽率由1.3%提高至86.2%;郭丽云^[7]对凤凰木种子在进行发芽测定时用浓硫酸拌种处理0.5 h,发芽率由7.3%提高至43%;郝海坤等^[11]对铁刀木种子采用浓硫酸处理,

发芽率达 90%, 比对照提高 23 个百分点的结论一致。采用 98% 浓硫酸对种皮坚硬的种子进行处理, 可大幅度提高种子发芽率, 在林木种子检验规程中常作为成熟技术应用在台湾相思、格木、羊蹄甲、皂荚等树种的发芽测定中, 但不同树种, 不同浓度硫酸处理种子时间各不相同^[4]。文亦芾等^[8]、周锦业等^[12]采用不同浓度硫酸、不同处理时间对银合欢、银叶金合欢种子发芽进行研究, 结果表明, 不同树种种子种皮坚硬不同, 处理时间也不相同, 处理时间过长, 容易灼伤种子, 影响种子发芽率; 处理时间过短, 起不到破坏种皮促进种子萌发的目的。在规模化生产育苗中, 建议推广使用 98% 浓硫酸对神黄豆种子浸泡处理 2 h, 但一定要严格控制处理时间并在处理结束后及时将种子冲洗干净, 以免处理时间过长对子叶和胚乳造成损伤而影响发芽率。

4) 对种皮进行破皮处理, 加快种子吸水膨胀, 是促进种子萌发的关键, 但处理方式不同, 开始吸水膨胀的位置与处理方式有关。在机械处理法中, 仅最初在剪刀剪口及锉子锉口处出现木耳状变化, 然后逐渐扩展到整粒种子并吸水膨胀。在用 98% 浓硫酸处理中, 则在用沸水处理后种子表面迅速出现木耳状变化并迅速吸水膨胀。而用碱水处理则未出现木耳状变化。这可能因为种子在高浓度的硫酸处理时, 表面种皮腐蚀较为均匀, 打破种皮栅栏组织屏障较为完全, 解除了硬实种子的生理休眠, 提高了发芽率。

参考文献:

- [1] 国家林业局国有林场和林木种苗工作总站. 中国木本植物种子[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [2] 张淑红. 神黄豆[J]. 植物杂志, 2003, 6: 28.
- [3] 和东阳, 王利勤. 神黄豆果实化学成分的研究[J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(11): 1355-1359.
- [4] 国家质量技术监督局. 林木种子检验规程: GB2772-1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [5] 傅家瑞. 种子生理[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [6] 邱琼, 杨德军, 陈显兵, 等. 不同处理方法对粉花山扁豆种子发芽率的影响[J]. 西部林业科学, 2011, 40(1): 80-82.
- [7] 郭丽云. 不同处理对凤凰木种子发芽的影响[J]. 广东林业科技, 2006, 22(1): 36-38.
- [8] 文亦芾, 张发兵, 曹国军. 几种处理对银合欢种子活力的影响研究[J]. 草业畜牧, 2007, 137(4): 9-14.
- [9] 余启高. 几种处理对厚朴种子活力的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(4): 911-916.
- [10] 张燕. 不同处理对乌柏种子发芽的影响[J]. 广东林业科技, 2009, 25(3): 60-63.
- [11] 郝海坤, 唐玉贵, 黄志玲. 浓硫酸和热水处理对铁刀木种子发芽的影响[J]. 林业科技开发, 2011, 25(2): 99-101.
- [12] 周锦业, 丁国昌, 卜朝阳, 等. 不同处理方式对银叶金合欢种子发芽的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(5): 121-124.

责任编辑: 许易琦

(上接第 168 页)

- [16] 韦昌雷, 王立中, 刘芳蕊, 等. 大兴安岭南麓河湿地多年冻土活动层地温研究[J]. 温带林业研究, 2019, 2(3): 37-40.
- [17] 周幼吾, 郭东信, 邱国庆, 等. 中国冻土[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [18] 张齐兵. 大兴安岭北部植被对高胁迫冻土环境及干扰的响应[J]. 冰川冻土, 1994(2): 97-103.
- [19] 刘足根, 朱教君, 袁小兰, 等. 辽东山区长白落叶松天然更新调查[J]. 林业科学, 2007(1): 42-49.
- [20] HU J, HOPPING K A, BUMP J K, et al. Climate change and water use partitioning by different plant functional groups in a grassland on the Tibetan Plateau[J]. Plos One, 2013, 8(9): e75503.
- [21] REICHSTEIN M, BAHN M, CIAIS P, et al. Climate ex-

tremes and the carbon cycle[J]. Nature, 2013, 500(7462): 287-295.

- [22] ZIMOV S A, SCHUUR E A G, CHAPIN F S I. Permafrost and the global carbon budget[J]. Science, 2006, 312(5780): 1612-1613.
- [23] TARNOCAL C, CANADELL J G, SCHUUR E, et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2009, 23(2): 1-11.
- [24] HARDEN J W, KOVENC D, PINGC L, et al. Field information links permafrost carbon to physical vulnerabilities of thawing[J]. Geophysical Research Letters, 2012, 39(15): 51-60.

责任编辑: 陈旭