

砂生槐种子吸水特性及硬实破除技术研究

张文莲^{1,2}, 张锦梅², 马光花²

¹青海民族大学生态环境与资源学院, 青海 西宁

²西宁市林业科学研究所, 青海 西宁

收稿日期: 2025年3月9日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月14日

摘要

用西藏山南地区雅鲁藏布江流域采收的砂生槐种进行吸胀实验, 筛选出硬实种子和非硬实种子, 开展硬实种子硬实破除方法筛选实验。结果表明: 采用吸胀法测定砂生槐种子的硬实率, 测得干藏3年的砂生槐种子平均硬实率为56.41%; 砂生槐因其硬实率高, 播种前采取初始水温70℃浸种24 h, 或种子机械摩擦后放置于湿润环境中缓慢吸水的措施, 可破除硬实、节省时间、节约成本, 提高同一条件下单位面积产苗量。

关键词

砂生槐, 硬实休眠, 破除技术

Study on Water Absorption Characteristics and Hard Breaking Technology of *Sophora moorcroftiana* Seeds

Wenlian Zhang^{1,2}, Jinmei Zhang², Guanghua Ma²

¹College of Ecological Environment and Resources, Qinghai Minzu University, Xining Qinghai

²Xining Institute of Forestry Science, Xining Qinghai

Received: Mar. 9th, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 14th, 2025

Abstract

The hard seeds and non-hard seeds were screened out by the imbibition experiment of *Sophora moorcroftiana* collected from the Yarlung Zangbo River Basin in Shannan area of Tibet, and the screening experiment of hard seed breaking method was carried out. The results showed that the average hard seed rate of *Sophora moorcroftiana* seeds stored for 3 years was 56.41 %. Because of

its high rate of hard fruit, it can break the hard fruit, save time, save cost and improve the seedling yield per unit area under the same condition cost by soaking the seeds in the initial water temperature of 70°C for 24 h before sowing, or placing the seeds in a humid environment after mechanical friction to absorb water slowly.

Keywords

Sophora moorcroftiana, Hard Sleep, Break Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

青海省地处青藏高原的东北部，与黄土高原交汇，是长江、黄河、澜沧江的发源地。气候特点是高寒、干旱，日照时间长，太阳辐射强，昼夜温差大，冬夏温差小，气候地理分布差异大，垂直变化明显，气温随海拔增高而递减，降雨量随海拔增高而递增。生态环境显著特点是干旱少雨、气候寒冷、植被覆盖率低、水土流失严重、生态脆弱、自然灾害频繁。近年来，大力营造灌木林，造林成效逐步突显。但海拔较高的浅、脑山地区受气候自然条件的影响，造林树种单一，优良树种少，育苗周期长，育苗生产长期滞后，无法满足该区域造林绿化苗木需求等问题。灌木是森林植物群落的重要组成部分，具有萌发能力强、天然更新快、根系发达等特性，在抗干旱、抗风沙、耐盐碱、耐寒、抗病虫、耐瘠薄等方面具有许多优良特性。在多年的植树造林中发现，灌木林适应当地严酷的自然条件，造林成活率高，适宜青海东部干旱半干旱地区林业建设，并逐步成为生态建设的当家树种[1][2]。砂生槐具有抗干旱、耐瘠薄、耐沙埋等特点，适应性极强，是西藏防风固沙和水土保持的重要先锋灌木树种，是高原生态中发挥着重要作用的资源植物[3]。国内对砂生槐营养成分及药用价值的研究较多，已成为医药学领域研究的热点内容之一。赵仕虎等人在甘肃省榆中县开展了砂生槐引种驯化与繁育研究，结果表明，砂生槐在甘肃引种栽培比较成功。在青海开展引种栽培，可增加青海高海拔地区的造林树种资源，丰富生物多样性，对青海高海拔地区的生态建设具有重要的意义。硬实性是种子为适应外界环境而形成的一种外在现象[4]，有助于延缓种子劣变[5]。但硬实种子由于种皮坚硬而不透水，导致吸水困难，萌发受阻，严重影响出苗率。因此，研究破除硬实的方法对于育苗生产具有重要意义。由于大多数豆科植物的种子存在物理性休眠(硬实)[6]，尤其小粒豆科种子的硬实率很高，不处理的种子播种后会发生严重的缺苗现象[7]。砂生槐在自然条件下，种子发芽率低，仅为10%左右，严重制约着砂生槐的繁育推广[8]。大量研究表明，热水浸种、浓硫酸处理和打磨种皮等能够有效促使种子发芽[9]-[13]。砂生槐是一种适应性强、耐旱、耐贫瘠的树种，适合在干旱和贫瘠的土地上种植。其种子硬实问题影响了其广泛种植和繁殖。本研究通过测定砂生槐种子的硬实率、种子吸胀特性，研究破除硬实的方法，筛选出最佳种子处理方式，提高种子的萌发率和出苗率，为促进砂生槐的繁殖生产提供可操作性理论依据，对于扩大种植范围和提升种植效益具有重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

砂生槐(*Sophora moorcroftiana* (Benth.) Baker)为豆科槐属的小灌木，高约1 m，是西藏高寒地区特有

树种，具有抗干旱、耐瘠薄、适应性极强，是西藏防风固沙和水土保持的重要先锋灌木树种。供试种子是西藏山南地区雅鲁藏布江流域沙丘地区采收干藏 3 年的野生种子。采收地海拔 3600 m，属高原亚寒带半干旱气候，具有空气稀薄，气温低，日温差大，冬春干燥，多大风等特点，年降雨量低于 450 ml。

2.2. 试验方法

培养皿中铺设 3 层滤纸做发芽床，试验时用无菌纯净水浸湿滤纸，将不同处理的种子均匀的摆放在发芽床上，培养皿置于气候箱内发芽培养，除发芽温度测试根据试验内容设定，其余试验培养温度 20℃，光照 12 h/d，光照强度 1800 lux。培养期间及时补水保持滤纸湿润。种子置床后第 2 d 开始，每 24 h 以胚根突出种皮长度达到或超过种子长度的 1/2 为萌发标准统计萌发数量，直至连续 3 d 无种子萌发视为发芽结束，计算最终的发芽率、发芽势。对 5 d 内萌发的幼苗称重，计算发芽指数和活力指数[14]。

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

$$\text{发芽势}(\%) = \frac{\text{发芽高峰日发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

始萌发时间(d)：第一粒种子萌发的天数；

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum (\text{Gt}/\text{Dt});$$

$$\text{活力指数(VI)} = \sum (\text{Gt}/\text{Dt}) \times S.$$

其中：W_x 为第 x 次测得的种子质量；W₀ 为种子初始质量；G_t 为第 t 日的发芽数；D_t 为第 t 日的发芽日数；S 为种苗平均鲜重(g)。

2.2.1. 种子基本特征

随机选取 10 粒种子，用游标卡尺(精度 0.01 mm)测量种子纵径和横径，3 次重复取平均值。每个树种随机选取 1000 粒种子，用电子天平(精度 0.01 g)称千粒质量，3 次重复取平均值。

2.2.2. 硬实率

采用吸胀法测定。随机数取供试种子各 100 粒，6 个重复，消毒处理后，纯净水浸泡，置 20℃ 人工气候箱中自然吸胀，每 24 h 以种子体积达到或超过原体积 2 倍为标准统计吸胀的种子数量，每天换水 1 次，10 d 后仍未吸胀的种子统计为硬实种子。

$$\text{硬实率}(\%) = \frac{\text{第 10 天未吸胀种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

2.2.3. 种皮透水性及吸水规律

分别称取 5 份种子各 5.0 g，用纱布包好分别放于三角瓶中，加入纯净水 30 mL，分别置于 20、30、40、50 及 60℃ 五个不同的温度条件下，用分析天平称量种子吸水后的质量，每次称量前用滤纸吸干种子表面水分。按照前 4 h 每隔 1 h 称量一次，4 h 后增加 30 mL 纯净水；之后 8 h 内每隔 2 h 称量一次，24 h 称量一次。

$$\text{吸胀率}(\%) = \frac{\text{第 t 天吸胀种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%;$$

$$\text{相对吸胀率}(\%) = \frac{\text{第 t 天吸胀种子数}}{\text{吸胀种子数}} \times 100\%;$$

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{(W_x - W_0)}{W_0} \times 100\%;$$

2.2.4. 种子萌发温度筛选

萌发温度设置 6 个水平，分别为 10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、10/20℃。消毒处理的种子用常温水浸种 24 h，纸床播种，放置于设置温度的人工气候箱中进行发芽试验，均采用暗培养。每个水平 100 粒种子，3 次重复。

2.2.5. 种子硬实破除物理处理措施筛选

(1) 浸种初始水温对砂生槐种子发芽特性的影响

初始浸种水温设置 8 个水平, 分别是常温(14.3℃)、30℃、40℃、50℃、60℃、70℃、80℃、沸水(93℃)。不浸种为对照(CK)。加入热水后充分搅拌, 待其自然冷却, 浸泡 24 h 后进行纸床培养。每个水平 100 粒种子, 3 次重复。

(2) 机械摩擦对砂生槐种子发芽特性的影响

室温水浸种 10 d 后仍未吸胀的种子视为试验中硬实种子, 将硬实种子置于两张 36 号水洗纱布之间, 两张纱布在水平面上做相对旋转运动进行摩擦, 至种皮发毛为度。摩擦的种子一半放入玻璃瓶中加入纯净水快速吸水, 一半种子放在内有 3 层湿润滤纸的培养皿中慢速吸水, 一起置 20℃ 人工气候箱中吸胀 24 h 后纸床培养(方法同种子特性研究), 与非硬实种子同时进行发芽特性和生理指标测定。每个水平 50 粒种子, 3 次重复。

2.3. 统计方法

使用 Excel 进行制图, 用 DPS 软件进行数据统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 种子基本特征

西藏山南地区雅鲁藏布江流域采收的砂生槐种子大多呈椭圆形, 长轴约 5~6 mm, 短轴约 4~5 mm。表面粉红或绛红色, 光滑, 种脐点状, 内凹, 种脊深色。子叶淡黄色, 质坚硬。平均千粒重 44.9 g, 属小粒种子。

3.2. 吸胀率与硬实率

采用吸胀法测定砂生槐的吸胀率与硬实率, 统计结果见表 1。

Table 1. Statistical table of swelling rate and hard solid rate

表 1. 吸胀率与硬实率统计表

| 树种名称 | 浸泡时间 | 重复号 | 供试种子数 | 吸胀率(%) | 相对吸胀率(%) | 硬实率(%) |
|------|----------|-----|-------|--------|----------|--------|
| 砂生槐 | 2021.1.6 | I | 100 | 25.00 | 54.35 | 54.00 |
| | | II | 99 | 34.34 | 75.56 | 54.55 |
| | | III | 98 | 33.67 | 68.75 | 51.02 |
| | | IV | 100 | 30.00 | 78.95 | 62.00 |
| | | V | 102 | 28.43 | 64.44 | 55.88 |
| | | VI | 100 | 32.00 | 82.05 | 61.00 |
| 平均值 | | | | 30.57 | 70.68 | 56.41 |

由表 1 可知, 砂生槐的硬实率比较高, 平均 56.41%, 吸胀特性结果见图 1。

从图 1 可看出, 砂生槐种子在第 1 d 的吸胀率最高, 为 30.57%。第 2 d 下降到 6.52%, 随着天数的增加, 吸胀率逐步降低, 第 7 d 降到了 0.34%。说明砂生槐的种子吸胀随时间的增加, 变化规律明显, 第 1 d 为吸胀高峰期。从图中相对吸胀率曲线(第 t 天吸胀种子数占总吸胀种子数的比例)可看出, 相对吸胀率随着吸胀时间的增加逐步减少, 规律明显。其中第 1 d 的相对吸胀率最高, 70.68%。第 2 d 降到 14.55%,

第三天降到 5.51%，说明砂生槐非硬实种子 70% 集中在第一天吸胀，85% 的种子集中在前 2 d 吸胀，剩余的 15% 在剩余 5 d 内吸胀。

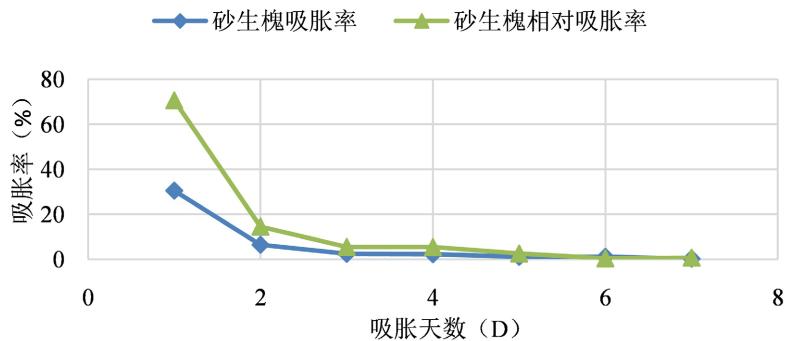


Figure 1. Imbibition rate of *Sophora moorcroftiana* seeds

图 1. 砂生槐种子吸胀率

3.3. 种皮透水性及吸水规律

砂生槐种子在 5 个浸泡温度处理下，非硬实种子吸水规律见图 2。

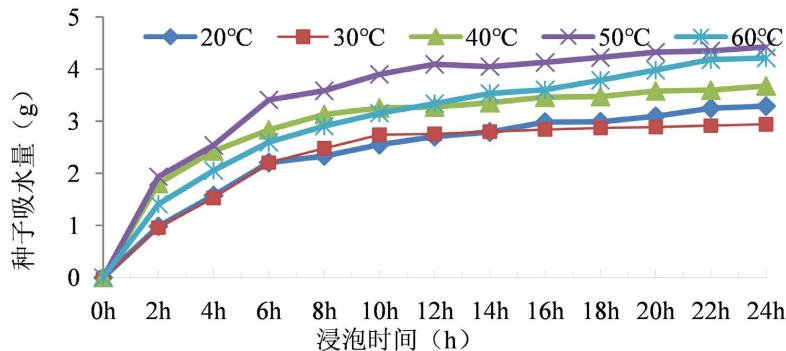


Figure 2. Water absorption curve of *Sophora moorcroftiana* seeds at different soaking temperatures

图 2. 砂生槐种子在不同浸泡温度下吸水变化曲线图

从图 2 中可看出，砂生槐非硬实种子吸水 24 h 内，种子吸水率在 65.82~88.56%，其中 50℃ 温度条件下最高，30℃ 温度条件下最低。吸水起始 12 h 内，5 个温度条件下的吸水量均较大，吸水速率排序为 50℃ > 40℃ > 60℃ > 20℃ ≥ 30℃ 温度条件。12 h 之后，除 20℃、60℃ 速度缓慢上升，其余三个温度条件趋于平缓，种子吸水趋于饱和。分析原因，20℃ 处理因温度较低，种子吸水速率低，需要较长的吸水时间。60℃ 处理因温度较高，持续高温导致种子活性下降，种子后期吸胀现象属于被动吸水。

3.4. 非硬实种子发芽特性

统计分析吸胀天数对砂生槐非硬实种子发芽率、发芽势、发芽指数的影响，结果见表 2。

从表 2 可看出，砂生槐第 1 d 吸胀种子的始发芽时间比其他吸胀时间短；第 1 d 吸胀种子的发芽率均最高，前 3 d 之间吸胀种子之间不存在差异性，但与 4 d、5 d 之间差异性显著；第 1 d 吸胀种子的发芽势最高，前 4 d 吸胀种子之间不存在差异性，但与 5 d 之间差异性显著；砂生槐的第 1 d 吸胀种子的发芽指数最高，随着种子吸胀时间的增加，与其他吸胀天数之间差异性极显著。说明砂生槐非硬实种子 24 h 内吸水饱和的种子活性较高，萌发速度较快，吸胀时间超过 24 h 的种子，种子活性降低，种子萌发与后期

生长受影响。分析原因，砂生槐非硬实种子在 24 h 内能迅速吸水饱和的种子，种子膜功能恢复较快，对种子活性影响较小。后期吸胀种子中，活性低或没有活性的种子比例较大，种子虽能吸水膨胀，但细胞膜修复能力丧失，属于被动吸水，种子活性降低，导致种子发芽指数降低。

Table 2. Analysis table of different imbibition time on seed germination characteristics index**表 2. 不同吸胀时间对种子发芽特性指标分析表**

| 树种名称 | 处理 | 始发芽时间(d) | 发芽率(%) | 发芽势(%) | 发芽指数 |
|------|-------|----------|---------------------|--------------------|------------------|
| 砂生槐 | 第一天吸胀 | 3 | 54.10 ± 12.38 a A | 44.81 ± 9.61 a A | 11.93 ± 5.30 a A |
| | 第二天吸胀 | 5 | 28.89 ± 18.36 ab AB | 17.78 ± 8.56 ab A | 3.49 ± 2.05 b B |
| | 第三天吸胀 | 4 | 29.76 ± 18.33 ab AB | 29.76 ± 18.33 ab A | 4.92 ± 3.40 b AB |
| | 第四天吸胀 | 5 | 22.22 ± 4.81 b AB | 30.56 ± 17.35 ab A | 3.08 ± 0.63 b B |
| | 第五天吸胀 | 5 | 8.33 ± 14.43 b B | 8.33 ± 14.43 b A | 1.25 ± 2.17 b B |

注：列间不同小写字母表示 $p < 0.05$ 水平上差异显著，不同大写字母表示 $p < 0.01$ 水平上差异显著。下同。

3.5. 适宜萌发温度

砂生槐：统计分析不同发芽温度对种子始发芽时间、发芽率、发芽势影响，结果见表 3。

Table 3. Analysis table of germination characteristics of Sophora moorcroftiana seeds at different germination temperatures**表 3. 不同发芽温度下砂生槐种子发芽特性指标分析表**

| 发芽温度(℃) | 始发芽时间(d) | 发芽率(%) | 发芽势(%) |
|----------|----------|-------------------|--------------------|
| 恒温 10 | 9 | 5.33 ± 2.08 b B | 4.33 ± 2.08 b B |
| 恒温 15 | 6 | 17.33 ± 5.51 a A | 15.67 ± 5.03 a A |
| 恒温 20 | 4 | 20.33 ± 5.69 a A | 17.67 ± 7.10 a A |
| 恒温 25 | 1 | 16.67 ± 4.04 a A | 13.00 ± 4.36 a AB |
| 恒温 30 | 2 | 19.00 ± 1.73 a A | 14.33 ± 1.16 a AB |
| 变温 10/20 | 7 | 13.33 ± 4.16 a AB | 10.33 ± 0.58 ab AB |

从表 3 可看出，恒温 25℃ 处理的砂生槐种子播种后发芽最快，始发芽时间 1 d，其次是 30℃ 恒温处理为 2 d，以后随着温度的降低，始发芽时间延长，10℃ 恒温处理 9 d 才开始发芽。恒温 20℃ 的发芽率、发芽势最高，与恒温 30℃、恒温 25℃、恒温 15℃、变温 10℃/20℃ 之间没有差异性，与恒温 10℃ 之间差异性显著。说明砂生槐种子在 15℃ 以上的环境中均能正常发芽，但环境温度高于 25℃ 时发芽快，发芽整齐，发芽率高。

3.6. 种子处理技术研究

3.6.1. 浸种初始温度对砂生槐种子发芽特性的影响

统计分析不同初始水温浸种对砂生槐种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数的影响，结果见表 4。

从表 4 可看出，本试验设定的 8 个初始水温浸泡砂生槐种子后，浸种的种子比不浸种的始发芽时间提前了 1 d。浸种初始水温对发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均有一定影响。表现出初始水温 70℃ 的热水浸泡的种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均最高，其中发芽率、发芽势与 CK、沸水、

80℃、60℃、50℃之间不存在差异性，但与40℃、30℃、常温(14.5℃)之间存在差异性；但发芽指数、活力指数与CK、其他浸种水温之间存在差异性。说明砂生槐种子用初始水温70℃的热水浸泡后，与不浸泡的对照比较，发芽率提高不明显，发芽后的种苗质量明显提高。

Table 4. Analysis table of seed germination characteristics of *Sophora moorcroftiana* under different initial water temperatures
表4. 不同初始水温下砂生槐种子发芽特性指标分析表

| 初始水温(℃) | 始发芽时间(d) | 发芽率(%) | 发芽势(%) | 发芽指数 | 活力指数 |
|----------|----------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|
| 常温(14.5) | 2 | 15.33 ± 6.66 bc AB | 14.33 ± 4.93 bc AB | 4.17 ± 1.40 b B | 0.61 ± 0.20 bc B |
| 30 | 2 | 16.00 ± 6.08 bc AB | 14.33 ± 6.66 bc AB | 3.92 ± 1.63 b B | 0.57 ± 0.25 bc B |
| 40 | 2 | 12.33 ± 2.52 c B | 11.33 ± 1.16 c B | 3.20 ± 0.71 b B | 0.45 ± 0.08 c B |
| 50 | 2 | 19.67 ± 8.62 abc AB | 14.67 ± 4.16 bc AB | 4.10 ± 1.67 b B | 0.55 ± 0.16 bc B |
| 60 | 2 | 20.00 ± 6.25 abc AB | 18.00 ± 5.29 abc AB | 5.11 ± 1.62 b AB | 0.72 ± 0.20 bc B |
| 70 | 2 | 28 ± 6.00 a A | 27.00 ± 6.00 a A | 8.74 ± 1.86 a A | 1.28 ± 0.29 a A |
| 80 | 2 | 20.67 ± 4.04 abc AB | 19.33 ± 5.13 abc AB | 5.29 ± 1.30 b AB | 0.76 ± 0.10 b AB |
| 沸水(93) | 2 | 21.67 ± 5.13 abc AB | 18.67 ± 6.03 abc AB | 5.88 ± 1.83 b AB | 0.87 ± 0.30 b AB |
| 不浸泡(CK) | 3 | 25.67 ± 3.79 ab AB | 21.37 ± 4.73 ab AB | 5.90 ± 0.81 b AB | 0.82 ± 0.12 b AB |

3.6.2. 机械摩擦对砂生槐种子发芽特性的影响

通过对砂生槐非硬实种子与机械磨擦后的硬实种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数进行比较，结果见表5。

Table 5. Statistical analysis table of seed germination of *Sophora moorcroftiana* after mechanical friction
表5. 机械摩擦后砂生槐种子发芽情况统计分析表

| 处理 | 发芽率(%) | 发芽势(%) | 发芽指数 | 活力指数 |
|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 非硬实种子 | 39.33 ± 4.16 a A | 40.67 ± 4.16 a A | 18.28 ± 3.79 a A | 3.30 ± 1.05 a A |
| 硬实种子慢吸水 | 33.33 ± 5.03 a A | 27.33 ± 7.02 b B | 11.50 ± 2.50 b AB | 1.98 ± 0.44 b AB |
| 硬实种子快吸水 | 18.67 ± 4.16 b B | 12.67 ± 3.06 c C | 5.59 ± 2.06 c B | 0.95 ± 0.37 bc B |
| 常温水浸泡 24 h (CK) | 16 ± 7.00 b B | 0.6 ± 1.067 d D | 4.09 ± 1.93 c B | 0.52 ± 0.27 c B |

从表5可看出，砂生槐非硬实种子的发芽率、发芽势、发芽指数与活力指数都最高，发芽率与硬实种子慢吸水之间无显著性差异，与硬实种子快吸水、CK之间存在极显著差异，硬实种子快吸水与未摩擦处理的种子(CK)之间无显著差异性；发芽势4个处理相互之间差异极显著；发芽指数非硬实种子与硬实种子慢吸水、硬实种子快吸水、CK之间差异性显著，硬实种子慢吸水与硬实种子快吸水、CK之间差异性显著，硬实种子快吸水与CK之间显著差异；活力指数非硬实种子与硬实种子慢吸水、硬实种子快吸水、CK之间差异性显著，硬实种子快吸水与CK之间差异性显著，硬实种子慢吸水与硬实种子快吸水之间不存在显著差异性。说明干藏3年的砂生槐硬实种子活力较高，通过机械摩擦破除硬实后，吸水速率影响种子活性，缓慢吸水的活性明显高于快速吸水的种子。分析原因，砂生槐硬实种子破除硬实后快速吸胀的种子膜功能恢复相对较慢，在吸胀过程中无法完全修复，对种子活性影响较大；砂生槐硬实种子破除硬实后慢速吸水时，种子膜功能恢复程度和速度都大于破除硬实后快速吸水的硬实种子与CK，说明砂生槐硬实种子慢速吸水后种子自我调节的能力强。此结论与马正华“大花野豌豆种子活力及生理指标

初探”中结论一致。

4. 结论与讨论

采用吸胀法测定砂生槐种子的硬实率，测得干藏3年的砂生槐种子平均硬实率为56.41%。分析非硬实种子的吸胀特性，发现非硬实种子70%集中在第1天吸胀，85%的种子集中在前2天吸胀，剩余的15%在剩余5天内吸胀。在30~50℃温度条件下10 h内吸水量可接近饱和状态。24 h内吸水饱和的种子活性较高，萌发速度较快，吸胀时间超过24 h的种子，种子活性降低，种子萌发与生长受影响。砂生槐种子在15℃以上的环境中均能发芽，但环境温度升高时发芽速度提升。

之前的研究表明，机械磨破种皮可以降低豆科种子的硬实率[15]~[18]，何玉霞[19]研究的中草七号扁蓿豆种子，罗天琼等[20]研究的多花木蓝种子，都通过机械打磨的方法把发芽率提高到90%以上。本研究砂生槐种子采用湿沙摩擦处理后沙藏催芽的技术措施可提高发芽率的结论，与其他学者的研究结果基本一致。

参考文献

- [1] 徐生旺. 重视乡土灌木树种驯化, 恢复高原原生森林植被[J]. 防护林科技, 2008(3): 78-79, 99.
- [2] 王志涛. 青海省东部地区几种野生和引进树种育苗及造林技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [3] 林少敏. 西藏砂生槐种子萌发特性研究[J]. 草业科学, 2002(5): 30-32.
- [4] 卢想. 野生大豆硬实破除方法探讨[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(17): 40-42.
- [5] 贾龙, 罗高玲, 陈燕华, 等. 基于SSR标记初步定位小豆驯化相关性状QTL[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(5): 1426-1434.
- [6] 胡小文, 武艳培, 王彦荣. 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.
- [7] 颜启传. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [8] 张胜. 西藏砂生槐抗旱育苗技术研究[D]: [硕士学位论文]. 拉萨: 西藏大学, 2009.
- [9] 张光辉, 刘大军, 杨晓旭, 等. 打破菜豆种子硬实条件优化的研究[J]. 中国农学通报, 2021, 37(32): 57-65.
- [10] 许倩, 林纬, 黎起秦, 等. 香合欢硬实破除及丛芽诱导[J]. 农业研究与应用, 2020, 33(1): 16-21.
- [11] 毕俊昌. 硬实种子休眠的机制和解除方法[J]. 农业开发与装备, 2015(3): 83.
- [12] 郭丽娜, 何必凤. 河北木蓝种子萌发特性研究[J]. 陕西农业科学, 2022, 68(8): 24-28, 62.
- [13] 穆海婷, 贾雪, 苗一凡, 等. 不同处理对东方山羊豆硬实种子萌发的影响[J]. 种子, 2022, 41(9): 106-109.
- [14] 马正华, 田丰. 大花野豌豆种子活力及生理指标初探[J]. 种子, 2013, 1(32): 92-94.
- [15] 伊风艳, 杨鼎, 温超, 等. 野生扁蓿豆种子硬实破除方法研究[J]. 种子, 2022, 41(3): 132-136, 144.
- [16] 张萍, 张雯, 韩海英, 等. 紫云英种子破除硬实方法研究[J]. 园艺与种苗, 2022, 42(1): 38-39, 41.
- [17] 崔乐乐, 刘佳月, 王照兰, 等. 不同方法破除黄花苜蓿新品系种子硬实的效果研究[J]. 种子, 2020, 39(6): 24-30.
- [18] 杜建材, 王照兰, 赵丽丽, 等. 不同处理方法破除扁蓿豆品种90-36种子硬实的效果研究[J]. 种子, 2011, 30(4): 37-41.
- [19] 何玉霞. 中草7号扁蓿豆种子硬实的破除方法研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2022, 43(3): 102-107.
- [20] 罗天琼, 龙忠富, 莫本田. 不同处理对多花木蓝硬实种子萌发的影响[J]. 农技服务, 2022, 39(6): 63-66.