

## 西伯利亚白刺种子休眠和萌发特性研究

梅新娣<sup>1,2</sup>, 刘蕾<sup>1</sup>, 孙静茹<sup>1</sup>, 王宁宁<sup>1</sup>, 邓文红<sup>1</sup>, 沈应柏<sup>1\*</sup>

1. 北京林业大学生命科学与技术学院, 北京 100083

2. 新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046

**摘要:** 目的 探寻破除西伯利亚白刺种子休眠的方法, 提高其发芽率。方法 采用温水催芽、低温沙藏、98%浓硫酸、GA 等不同方法对种子进行处理后的发芽试验, 测定发芽率、发芽势、到达发芽高峰期的时间。结果 温水催芽的发芽率和发芽势分别为 30%和 10%, 种子 7 d 开始萌动, 10 d 达到发芽高峰。低温沙藏 37 d 的发芽率和发芽势分别为 55.5%、26.5%, 种子 2 d 开始萌动, 10 d 达到发芽高峰。低温沙藏 95 d 的发芽率和发芽势分别为 86.8%、60.3%, 种子 2 d 开始萌动, 7 d 达到发芽高峰。98%浓硫酸处理 2 h 的发芽率和发芽势均为 90%, 种子 1 d 开始萌动, 4 d 达到发芽高峰。98%浓硫酸处理 2 h 后播种在 MS+0.5 g/mL GA+0.5 g/mL BA 的暗培养基上, 发芽率和发芽势均为 98.1%, 种子 1 d 开始萌动, 4 d 达到发芽高峰。结论 西伯利亚白刺种子休眠属种壳休眠, 98%浓硫酸处理 2 h 后接种于 MS+0.5 g/mL BA+0.5 g/mL GA 的暗培养基上培养, 打破硬实种子休眠效果最好, 发芽率最高。

**关键词:** 西伯利亚白刺; 种子休眠; 萌发; 低温沙藏; 温水催芽

中图分类号: R282.21 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2013)04-0473-05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2013.04.020

## Dormancy and germination characteristics of *Nirtaria sibirica* seeds

MEI Xin-di<sup>1,2</sup>, LIU Lei<sup>1</sup>, SUN Jing-ru<sup>1</sup>, WANG Ning-ning<sup>1</sup>, DENG Wen-hong<sup>1</sup>, SHEN Ying-bai<sup>1</sup>

1. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

**Abstract: Objective** To break the seed dormancy and improve the germination rate of the *Nirtaria sibirica* seeds. **Methods** *N. sibirica* seeds were treated with soaking in warm water, storing with moisture sand, and immersing seed in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (98%) and gibberellic acid (GA), then the germination rate, germination vigor, and germination peak period of the seeds were determined. **Results** The germination rate and germination vigor were 30% and 10% under soaking in warm water. The seeds began to germinate on the day 7 and reached the germination peak on the day 10. The germination rate and germination vigor were 55.5% and 26.5% under storing with moisture sand for 37 d. The seeds began to germinate on the day 2 and reached the germination peak on the day 10. The germination rate and germination vigor were 86.8% and 60.3% under storing with moisture sand for 95 d. The seeds began to germinate on the day 2 and reached the germination peak on the day 7. The germination rate and germination vigor were both 90.0% under being treated with 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 2 h. The seeds began to germinate on the day 1 and reached the germination peak on the day 4. Seeds after being treated with 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 2 h were sowed on the dark medium of MS + 0.5 g/mL BA + 0.5 g/mL GA, and the germination rate and germination vigor both reached to 98.1%. The seeds began to germinate on the day 1 and reached the germination peak on the day 4. **Conclusion** The dormancy of *N. sibirica* seeds is caused by hard seed vessels. The best way of breaking the seed dormancy is first treated with 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> for 2 h and then cultured in the dark medium of MS + 0.5 g/mL BA + 0.5 g/mL GA, which could effectively break the dormancy of hard seeds and reach a high germination rate.

**Key words:** *Nirtaria sibirica* Pall; seed dormancy; germination; storing with moisture sand; soaking in warm water

西伯利亚白刺 *Nirtaria sibirica* Pall 为蒺藜科 内果皮骨质, 种子硬实。主要分布在我国西北部至 (Zygophyllaceae) 白刺属 *Nirtaria* L. 的落叶小灌木<sup>[1]</sup>。 北部的新疆、青海、宁夏、甘肃和内蒙古一带。西

收稿日期: 2012-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30871727); 高等学校博士学科点专项科研基金 (20090014110014); 国家自然科学基金资助重点项目 (30330490)

作者简介: 梅新娣 (1971—), 女, 博士研究生, 主要从事植物生理学研究。E-mail: foxbridge@126.com

\*通信作者 沈应柏 E-mail: ybshen@bjfu.edu.cn

网络出版时间: 2013-01-16 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/12.1108.R.20130116.1026.004.html>

伯利亚白刺富含氨基酸<sup>[2]</sup>、矿质元素<sup>[3]</sup>、黄酮<sup>[4-5]</sup>、生物碱<sup>[6]</sup>、谷氨酸、精氨酸、油酸<sup>[7]</sup>、亚油酸、VC、VE、原花青素<sup>[8]</sup>等。既可鲜食，又具有调血糖、降低血压、调血脂、抗氧化、延缓衰老等功能<sup>[9-10]</sup>，具有良好的药用价值和经济价值<sup>[11]</sup>。目前，已有学者开展了西伯利亚白刺种苗繁殖<sup>[12-13]</sup>和种子萌发<sup>[14]</sup>等方面的研究，当年种子发芽率为 30%。本实验旨在用不同方法破除种子的休眠，提高发芽率，探讨其休眠原因，以期为大规模生产和开发利用提供依据。

## 1 材料与仪器

4 ℃干燥冷藏、成熟的西伯利亚白刺 *Nirtaria sibirica* Pall 种子，由北京林业大学生物科学技术学院高荣孚教授鉴定。恒温水浴箱（常州国华电器有限公司），拟南芥培养箱（北京五洲东方科技发展有限公司），光照培养箱（宁波江南仪器厂），超净工作台（苏州净化设备有限公司）。

## 2 方法

### 2.1 温水催芽

取出干燥种子，洗净，(50±3) ℃的恒温水浴箱中放置 48 h 催芽处理后，在 3 种基质（垫滤纸平皿、垫棉纱平皿、带细纱土营养钵）下进行播种萌发。每皿（钵）10~12 粒，每组 10 皿（钵），重复 3 次。自播种后连续统计发芽率和发芽势，观察发芽萌动时间、到达发芽高峰时间。

### 2.2 低温沙藏

4 ℃冷库中沙藏 37 d 和 95 d 后，变温催芽 7~10 d，种子露白时，进行播种。37 d 低温沙藏的种子播种于两种基质（垫滤纸平皿和带蛭石营养钵）上，每皿（钵）10~12 粒，每组 10 皿（钵），重复 3 次。95 d 低温沙藏的种子播种于 6 种不同基质的营养钵 [基质分别为纯蛭石、花土、腐殖质土、纯蛭石-珍珠岩 (3:1)、花土-珍珠岩 (3:1)、腐殖质土-珍珠岩 (3:1)] 中。每穴播种 4~6 粒，每组 24 穴，重复 3 次。自播种后连续统计发芽率、发芽势，观察发芽萌动时间、达到发芽高峰时间。

### 2.3 浓硫酸处理

干燥种子分别用 98%浓硫酸(北京化工厂生产，化学纯，质量分数 98%) 处理 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5 h，之后流水冲洗数小时，播种于垫滤纸平皿中，每皿 10~12 粒种子，每组 10 皿，重复 3 次。自播种后连续统计发芽率、发芽势、根长，观察发芽萌动时间、到达发芽高峰时

间和根形态指标等。

### 2.4 消毒处理

取出干燥种子，超净工作台上用 75%乙醇消毒 30 s，再用 0.9% NaClO<sub>3</sub> 溶液分别消毒 5、10、15、20 min，无菌水漂洗 5~6 次。然后接种至 MS+30 mg/L 蔗糖+6 mg/L 琼脂的培养基 (pH 5.8) 上。每瓶 3 粒种子，每组 15 瓶，重复 3 次。5 d 后统计污染率。

### 2.5 GA 处理

取上述消毒处理过的种子备用。根据文献资料，影响种子萌发的常见因素有 BA、GA、光照条件等，设计 3 因素 3 水平 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>) 正交试验，BA (0、0.5、1.0 g/mL)，GA (0、0.5、1.0 g/mL)，光照条件（暗光、常光、全光）。将备用种子分别接种到 9 种培养基上，每瓶 5~8 粒种子，每组 15 瓶，重复 3 次。20 d 后统计发苗率和苗形态指标等，观察发芽萌动时间、到达发芽高峰时间。

### 2.6 培养条件

种子置光照培养箱中 (26±3) ℃培养，光照周期为 16/8 h。每天观察并记录各处理的发芽情况，以种子发芽露白 2~3 mm 为准，计算种子发芽率和发芽势。

### 2.7 测定指标

根据统计结果，计算发芽率、发芽势、污染率、发苗率。

发芽率=发芽种子数/供试种子数

发芽势=种子从发芽开始到发芽高峰时段内发芽种子数/供试种子数<sup>[15]</sup>

污染率=培养 5 d 后形成污染的种子数/接种的种子数

发苗率=培养 20 d 后形成芽苗的种子数/接种的种子数

### 2.8 统计分析

发芽率、发芽势、污染率、发苗率等数据均采用 SPSS 16.0 进行方差分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 温水催芽对种子萌发的影响

由表 1 可见，温水催芽处理时，西伯利亚白刺种子 7~10 d 达到发芽高峰。温水催芽处理种子的发芽率低，细纱中和滤纸平皿中的种子发芽率为 0，纱布中发芽率为 30%，说明温水催芽不能完全打破种子的休眠，或因为种皮硬而厚，吸水性和透气性差所致低发芽率。

### 3.2 低温沙藏处理对种子萌发的影响

**3.2.1 37 d 低温沙藏处理对西伯利亚白刺种子萌发的影响** 由表 2 可见，与温水催芽相比较，37 d 低温沙藏处理显著提高了种子发芽率，种子 2 d 后开

表 1 温水催芽对西伯利亚白刺种子发芽率和发芽势的影响

Table 1 Effects of soaking in warm water on germination rate and germination vigor of *N. sibirica* seeds

处理	1 d 发芽率 / %	7 d 发芽率 / %	10 d 发芽率 / %	发芽势 / %
滤纸平皿	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00
纱布平皿	0±0.00	30±2.83	30±2.83	10±0.00
细纱	0±0.00	0±0.00	0±0.00	0±0.00

表 2 低温沙藏处理对西伯利亚白刺种子发芽率和发芽势的影响

Table 2 Effects of storing with cold moisture sand on germination rate and germination vigor of *N. sibirica* seeds

处理	时间 / d	基质	3 d 发芽率 / %	5 d 发芽率 / %	6 d 发芽率 / %	7 d 发芽率 / %	10 d 发芽率 / %	发芽势 / %
低温沙藏	37	滤纸	4.0±1.41	4.0±1.41	4.0±1.41	48.5±1.02	55.5±2.12	26.5±2.11
		蛭石	0.35±0.71	0.35±0.71	0.35±0.71	39.9±2.12	43.6±4.24	36.6±2.12
低温沙藏	95	纯蛭石	11.8±0.05	48.9±0.05	54.8±0.05	55.5±0.05	55.5±0.05	28.7±0.05
		花土	21.1±0.05	55±0.05	63.95±0.05	66.7±0.05	66.7±0.05	21.3±0.05
		腐殖质土	46.5±0.05	72.9±0.05	72.9±0.05	72.9±0.05	72.9±0.05	66.5±0.05
		蛭石-珍珠岩 (3:1)	29.3±0.05	68.5±0.05	70.3±0.05	70.6±0.05	70.6±0.05	52.6±0.05
		腐殖质土-珍珠岩 (3:1)	49.3±0.05	71.9±0.05	72.6±0.05	72.6±0.05	72.6±0.05	66.2±0.05
		花土-珍珠岩 (3:1)	47.1±0.05	79.4±0.05	80.9±0.05	86.8±0.05	86.8±0.05	60.3±0.05

始萌动, 10 d 达到发芽高峰。第 10 天时, 滤纸中发芽率为 55.5%, 蛭石中发芽率为 43.6%。滤纸中的种子发芽早且发芽率高; 蛭石中的种子出苗更为整齐, 但整体发芽率仍然偏低, 可能还需延长层积时间来完全打破种子的休眠。

**3.2.2 95 d 低温沙藏处理对西伯利亚白刺种子萌发的影响** 由表 2 可见, 低温沙藏时间越长, 对提高发芽率越有利。低温沙藏 95 d 时最高发芽率和发芽势为 86.8%和 60.3%, 种子 2 d 开始萌动, 7 d 达到发芽高峰。远超过低温沙藏 37 d 时最高发芽率和发芽势。在不同培养基质中, 7 d 后发芽率趋于稳定。说明经过层积处理时间越长, 发芽率高, 发芽势强, 发苗整齐。同时还可见, 6 种不同基质相比较, 就发芽率而言, 纯蛭石<蛭石-珍珠岩 (3:1), 花土<花土-珍珠岩 (3:1), 腐殖质土≈腐殖质土-珍珠岩 (3:1); 带珍珠岩的效果显著好于不带珍珠岩, 说明透气性在发芽中的重要性。蛭石、花土、腐殖质土三者相比较, 纯蛭石<花土<腐殖质土, 说明营养性在发芽中也至关重要。基质为花土-珍珠岩 (3:1) 时发芽早, 发芽率高, 发芽势强, 发芽整齐, 发芽效果最好。

**3.3 浓硫酸处理对种子萌发的影响**

由表 3 可见, 浓硫酸处理时间越长, 发芽率越高, 但浓硫酸处理时间越长, 种子畸形率也提高。

浓硫酸处理 2 h 以内种子发芽率、发芽势和根长均随浓硫酸处理时间增长而改善; 浓硫酸处理 2 h 后发芽率、发芽势和根长都随时间增长而趋于稳定或降低。处理 2 h 时发芽较整齐, 1 d 开始发芽萌动, 4 d 达到发芽高峰。由此说明, 从发芽率、发芽势、发芽整齐度并结合降低浓硫酸对种子的毒害作用来看, 浓硫酸处理 2 h 最好。

**3.4 不同消毒处理方法的筛选**

由表 4 可见, 处理 3、4、6、7 使种子接种的污染率为 0, 考虑到尽量降低消毒剂对种子的毒害作用, 处理 3 和处理 6 适用于对西伯利亚白刺种子进行消毒以获得无菌植株材料。

**3.5 GA 对获得无菌芽苗的影响**

由表 5 中可见, 从发苗率、发芽势和苗生长状态看, 最适合种子萌发的培养基为 MS+BA 0.5 g/mL+GA 0.5 g/mL, 暗光条件下培养发苗率、发芽势均达到 98.1%, 1 d 开始萌动发芽, 4 d 达到发芽高峰。虽然浓硫酸处理后播种在滤纸上的发芽率和发芽势均为 90%, 但种子在培养基中的发芽率和芽苗长势状态都远远好于在滤纸条件下的生长状态。实验中观察发现, 在一定范围内, BA 质量浓度越大, 腋芽数量越多; GA 质量浓度越大, 节间距越大; 光照条件下不利于种子的萌发。以上结果说明 MS 培养基提供了种子萌发所需的基本营养; BA 有利于细

表 3 98%浓硫酸处理对西伯利亚白刺种子发芽率和发芽势的影响

Table 3 Effects of treating with sulfuric acid (98%) on germination rate and germination vigor of *N. sibirica* seeds

处理时间 / h	4 d 发芽率 / %	发芽势 / %	根长 / cm	达发芽高峰时间 / d	根形态
0	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	0.00±0.00 a	未露白
0.5	10.00±0.00 b	10.00±0.00 b	2.00±0.23 b	1.00±0.00 a	植株小
1.0	40.00±1.92 c	40.00±1.92 c	1.53±0.14 c	4.00±0.58 bc	植株小
1.5	58.33±2.33 d	58.33±2.33 d	4.00±0.12 e	3.67±0.33 bc	整齐
2.0	90.00±0.00 e	90.00±0.00 e	4.77±0.17 e	3.00±0.00 b	较整齐
2.5	84.62±2.36 e	84.62±2.36 e	3.90±0.01 e	3.00±0.00 b	较整齐
3.0	100.00±0.00 f	100.00±0.00 f	2.37±0.14 d	2.67±0.33 b	畸形多
3.5	100.00±0.00 f	100.00±0.00 f	1.80±0.07 cd	3.00±0.58 b	畸形多
4.0	90.00±0.00 e	90.00±0.00 e	0.95±0.29 c	4.00±0.00 bc	畸形多
4.5	90.00±0.00 e	90.00±0.00 e	0.53±0.14 b	5.00±0.00 c	畸形多

表中不同小写字母表示差异显著  $P < 0.01$ , 下同

Different lowercase letters mean significant difference  $P < 0.01$ , same as below

表 4 消毒处理对西伯利亚种子污染率的影响

Table 4 Effects of sterilization treatment on contamination rate of *N. sibirica* seeds

处理	处理方法	污染率 / %
1	乙醇 30 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 5 min	62.6±10.88 c
2	乙醇 30 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 10 min	26.7± 2.51 b
3	乙醇 30 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 15 min	0 ± 0.00 a
4	乙醇 30 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 20 min	0 ± 0.00 a
5	乙醇 60 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 5 min	28.9± 1.39 b
6	乙醇 60 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 10 min	0 ± 0.00 a
7	乙醇 60 s+0.9% NaClO <sub>3</sub> 15min	0 ± 0.00 a

胞分裂, GA 有利于茎的伸长生长, 能加速萌发。

#### 4 讨论

本实验探讨了西伯利亚白刺种子萌发所需的条件。研究表明, 未经过任何处理的西伯利亚白刺种子, 由于种子硬实率较高, 发芽率几乎为 0; 温水催芽后, 种子 7 d 开始萌动, 10 d 达到发芽高峰, 发芽率和发芽势分别为 30%和 10%, 这与曾彦军<sup>[14]</sup>的研究结果相似。低温沙藏 37 d 后, 种子 2 d 开始萌动, 10 d 达到发芽高峰, 发芽率和发芽势分别为 55.5%和 26.5%。低温沙藏 95 d 后, 种子 2 d 开始萌动, 7 d 达到发芽高峰, 发芽率和发芽势分别为

表 5 GA 对西伯利亚白刺种子发苗率和发芽势的影响

Table 5 Effects of GA on germination rate and germination vigor of *N. sibirica* seeds

处理	处理方法	4 d 发苗率 / %	发芽势 / %	苗形态特征
1	MS+暗光	85.185±1.541 b	85.185±1.541 b	露白, 长叶, 长根
2	MS+BA 0.5 g/mL+常光	42.593±1.077 a	42.592±1.077 a	露白, 叶萌发
3	MS+BA 1.0 g/mL+全光	38.889±1.890 a	38.889±1.890 a	露白, 多腋芽, 无叶
4	MS+GA 0.5 g/mL+常光	87.037±8.781 b	87.037±8.781 b	露白, 抽杆, 细弱
5	MS+BA 0.5 g/mL+GA 0.5 g/mL+全光	40.740±2.182 a	40.740±2.182 a	露白, 展叶, 抽杆, 下叶黄化
6	MS+BA 1.0 g/mL+GA 0.5 g/mL+暗光	87.040±4.210 b	87.037±4.210 b	萌发, 茎粗壮, 多腋芽, 无叶
7	MS+全光	35.185±1.105 a	35.185±1.105 a	露白, 长叶, 长根, 极细弱
8	MS+BA 0.5 g/mL+GA 0.5 g/mL+暗光	98.148±4.544 b	98.148±4.544 b	萌发, 展叶, 茎粗壮
9	MS+BA 1.0 g/mL+GA 1.0 g/mL+常光	38.889±1.890 a	38.889±1.890 a	萌发, 抽杆, 节间距很大, 细弱

86.8%和 60.3%。98%浓硫酸处理后, 种子 1 d 开始发芽萌动, 4 d 达到发芽高峰, 发芽率和发芽势均达到 90%。98%浓硫酸处理种子后, 在添加 0.5 g/mL GA

的培养基进行培养, 种子 1 d 开始萌动发芽, 4 d 达到发芽高峰, 发苗率和发芽势都高达 98.1%。由此得出, 浓硫酸处理 2 h 后的西伯利亚白刺种子, 接种于

MS+0.5 g/mL GA+0.5 g/mL BA+暗光的培养基上培养,是破除种子休眠,提高种子发芽率和发芽势,保持种苗整齐度的最佳方法,能为西伯利亚白刺大规模育苗提供新途径和新思路。

野生植物种子大多具有休眠现象以适应环境,种子休眠的机制和打破种子休眠技术一直是种子萌发研究的重点内容<sup>[16]</sup>。种子休眠原因大致可归为两大类:一类是内源因素,即种胚本身的因素;第二类是外源因素,即种壳的限制,包括种壳的机械阻碍、不透水性、不透气性等。对于种胚生理后熟的种子采用层积处理,变温处理等方法可打破种子的休眠,而抑制物引起的种子休眠常用流水冲洗、硫酸浸泡和高温等方法去除抑制物<sup>[17]</sup>。

研究中即使经过层积处理和变温处理,西伯利亚白刺种子的发芽率和发芽势仍然较低,而98%浓硫酸处理可显著提高种子的发芽率和发芽势,硫酸处理2 h以内,随处理时间增长,种子的发芽率和发芽势逐渐提高并趋于稳定。98%浓硫酸处理能破除种子硬实的种壳并打破种子休眠,说明西伯利亚白刺种子发芽主要受种壳的限制,而生理因素不是限制种子发芽的主要原因,西伯利亚白刺种子休眠属种壳休眠,种皮结构可阻碍水分和气体的交换,这与毛柄小勾儿茶、银杏、秤锤树、决明<sup>[18]</sup>、刺萼<sup>[19]</sup>等植物的种子相似。

同时,本研究发现GA对西伯利亚白刺种子的发芽有明显的促进作用,GA组的胚根较白,茎叶粗壮且伸长速度较快,根毛分布较密,此结果与姜新强等<sup>[20]</sup>报道的用GA处理野生地榆种子发芽效果基本一致。说明GA能促使种子细胞分裂分化,加速种子萌发。

致谢:吉林省白城市林业科学院张建秋院长为本研究提供的西伯利亚白刺种子材料。

#### 参考文献

- [1] 赵可夫, 范海, 江行玉, 等. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用 [J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 31-35.
- [2] 王文成, 杜卫军, 王淑芬. 冀东地区西伯利亚白刺开发利用价值研究 [J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(2): 29-31.
- [3] 和彦苓, 张丽萍, 刘永华, 等. 内蒙地产白刺果中微量元素含量分析 [J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(2): 28.
- [4] 刘金荣, 阎平, 李艳, 等. 西伯利亚白刺果实微量元素及总黄酮含量测定 [J]. 中国现代应用药学, 2002, 19(5): 385-386.
- [5] 王恒, 朱瑞罡, 谭勇, 等. HPLC测定唐古特白刺中槲皮素、山柰素和异鼠李素的含量 [J]. 中成药, 2008, 30(12): 1860-1861.
- [6] 李方群, 刘金荣, 王鲁石. 维药白刺总生物碱的含量测定 [J]. 上海中医药杂志, 2007, 41(6): 76-78.
- [7] 王洪伦, 刘永军, 赵先恩, 等. HPLC-APCI-MS法分析测定白刺籽油中游离脂肪酸 [J]. 分析实验室, 2007, 26(11): 25-28.
- [8] 李永强, 杨士花, 朱任俊, 等. 西伯利亚白刺果实花色苷的初步鉴定 [J]. 食品科学, 2009, 30(9): 77-79.
- [9] 丁晨旭, 索有瑞, 李玉林, 等. 复合白刺籽油软胶囊免疫调节作用研究 [J]. 中成药, 2008, 30(1): 125-128.
- [10] 索有瑞, 李玉林, 王洪伦, 等. 柴达木盆地唐古特白刺果实调节免疫、抗疲劳和耐寒冷作用研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17(6): 717-721.
- [11] 樊莲莲, 刘金荣, 赵文彬, 等. 唐古特白刺不同时期果实及叶所含黄酮的比较 [J]. 中医药导报, 2007, 13(5): 7-8.
- [12] 张启昌, 李双福, 其其格. 西伯利亚白刺的微繁殖技术 [J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(4): 12-13.
- [13] 王晨霞, 陈贵林. 西伯利亚白刺的组织培养与快速繁殖 [J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(6): 1143-1144.
- [14] 曾彦军. 干旱荒漠区几种优势植物种子萌发生态学研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [15] 张瑞博, 李思锋, 黎斌, 等. 小叶野决明种子萌发特性研究 [J]. 中药材, 2010, 33(1): 13-15.
- [16] 王子华, 代波, 潘玉霞, 等. 沙生植物滨旋花种子特性及萌发研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(10): 113-117.
- [17] 郑光华. 种子生理研究 [M]. 第4版. 北京: 北京科学出版社, 2004.
- [18] 张春平, 何平, 杜丹丹, 等. 决明种子硬实及萌发特性研究 [J]. 中草药, 2010, 41(10): 1700-1704.
- [19] 黄必胜, 程军, 詹亚华. 刺萼参种子发芽试验 [J]. 中药材, 2002, 25(3): 161-162.
- [20] 姜新强, 王奎玲, 刘庆超, 等. 野生地榆种子萌发特性研究 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 318-322.