

镰荚棘豆种子破除休眠及活力改善方法研究

陈 叶^{1,2}, 闫晓娟¹, 权建华^{1,2}, 马银山^{1,2}, 闫 芳^{1,2}, 罗光宏^{1,2*}

1. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000

2. 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000

摘 要: 目的 打破镰荚棘豆 *Oxytropis falcata* 种子的休眠, 提高种子活力。方法 测定种子形态特征、物理特性, 采用物理、化学方法, 进行种子硬实破除, 应用外源化学物质, 改善种子活力。结果 镰荚棘豆种子千粒质量为 1.239 g, 种子的硬实率高达 90.67%, 用浓硫酸处理 8 min 破除种子硬实, 再用激动素 (CTK) + KNO₃ 组合处理进行种子引发, 种子的发芽率高达 82.7%, 发芽势达 68.0%, 发芽时间比对照提前 2 d。结论 用浓硫酸处理 8 min 后, 用 170 mg/L 的 CTK 处理 12 h, 再在 2% KNO₃ 中浸泡 12 h, 可大幅度提高种子的发芽率和整齐度。

关键词: 镰荚棘豆; 种子硬实; 破除; 种子引发; KNO₃

中图分类号: R282.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2020)12-3298-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.12.023

Study on method of breaking dormancy and improving vitality in seeds of *Oxytropis falcata*

CHEN Ye^{1,2}, YAN Xiao-juan¹, QUAN Jian-hua^{1,2}, MA Yin-shan^{1,2}, YAN Fang^{1,2}, LUO Guang-hong^{1,2}

1. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China

2. Provincial Key Laboratory for Utilization of Characteristic Resources in Hexi Corridor of Colleges and Universities in Gansu Province, Zhangye 734000, China

Abstract: Objective To break the dormancy of *Oxytropis falcata* seeds and improve the seed vigor. **Methods** The physical and chemical methods were used to break the hard seeds, and the exogenous chemicals were used to improve the seed vigor. **Results** The 1000-seed weight was 1.239 g, and the seed hardness rate was as high as 90.67%. After 8 min of treatment with concentrated sulfuric acid, the seeds were activated by CTK + KNO₃ combination. The germination rate was up to 82.7%, the germination potential was up to 68.0%, and the germination time was 2 d earlier than the control group. **Conclusion** After treated with concentrated sulfuric acid for 8 min, treated with 170 mg/L CTK for 12 h, then soaked in 2% KNO₃ for 12 h, the germination rate and uniformity of seeds can be greatly improved.

Key words: *Oxytropis falcata* Bunge; hard seeds; break; seed priming; KNO₃

镰荚棘豆 *Oxytropis falcata* Bunge 为豆科 (Leguminosae) 多年生草本植物, 又名镰形棘豆、九头草。生于海拔 2 700~4 500 m 的山坡, 河谷, 河漫滩草甸, 分布于甘肃、青海、新疆、四川和西藏等地。镰荚棘豆味辛、性寒, 入肺、脾二经, 享有“草药之王”之誉^[1], 可治高热、喉炎、黄水疮、便血等, 外用治刀伤^[2]。裕固族称之为九头草, 被视为神草^[3]。据《晶本株草》记载其全草可入药, 在藏药中被称作草药之王, 其功能为愈合疮口、利便、防止骨刺产生、治病痛、流感、扁桃体炎等^[4]。

关于对镰荚棘豆方面的研究, 国内多集中在化学成分、黄酮提取和药理方面, 闫海燕等^[5]、杨欢等^[6]、姚淑英等^[7]分析了镰荚棘豆化学成分; 陶诗清等^[8]、杨光明等^[9]进行了黄酮的提取研究; 王栋等^[10]采用热刺激模型 (热板法) 和化学刺激模型确定了镰形棘豆镇痛作用的类型。戴衍明等^[11]研究认为镰形棘豆总提取物可以明显缩短小鼠的出血时间和凝血时间。才吉等^[12]通过临床运用研究, 认为以镰形棘豆为主的十二味翼首散具有清热解暑、防疫, 用于瘟疫, 流行性感冒, 这对当前疫情防治的应用价值极

收稿日期: 2019-12-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目: 环境条件和放牧干扰对肃南草地物种多样性影响机制的研究 (31660161); 甘肃省科技厅项目 (2018A-090); 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目 (2017C-17)

作者简介: 陈 叶 (1965—), 男, 甘肃高台人, 高级试验师, 主要从事资源的利用研究。Tel: 13993682567 E-mail: cy-6508@163.com

*通信作者 罗光宏 (1965—), 男, 甘肃高台人, 教授, 主要从事植保研究。Tel: 13993693452 E-mail: 13993693452@163.com

高。据最新文献报道,从镰形棘豆中分离得到 27 个黄酮类成分^[13];Chen 等^[14]通过小鼠耳肿胀模型、大鼠佐剂关节炎模型、热板法和醋酸扭体法发现,高剂量的镰形棘豆总黄酮与挥发油组合物具有良好的抗炎镇痛活性。牛俐燃等^[15]研究认为含镰形棘豆黄酮提取物的血清对人肺腺癌细胞活力有较好的抑制作用,并能够诱导细胞凋亡,将细胞周期阻滞在 G₀/G₁ 期。而对镰荚棘豆种子特性和人工繁育鲜有研究。据笔者在祁连山部分地区调查,发现该药材分布稀疏,繁殖速率慢,其生境一旦被破坏,恢复能力极差,由于开采过度,在牧民生活的附近地区已很难找到其分布的野生资源,资源濒临灭绝。为使这一民族药材得以可持续利用,笔者对破除镰荚棘豆种子休眠和种子引发进行了研究。

1 材料与试剂

1.1 材料

2018 年 9 月在甘肃省肃南县东大河林场(E101°15', N38°26', 海拔为 3 559.60 m)采集样品,经笔者鉴定为镰荚棘豆 *Oxytropis falcata* Bunge 果荚,在实验室获取种子 450 g,在 4 °C 低温下贮藏备用。

1.2 试剂与仪器

人工气候箱(广东泰宏君科学仪器股份有限公司);聚乙二醇(PEG)和赤霉素(GA)购自国药集团化学试剂有限公司;激动素(CTK)购自上海宇涵生物科技有限公司;盐酸和硫酸购自白银化工有限公司;NaOH 和 KNO₃ 购自天津市光复科技发展有限公司,以上试剂均为分析纯。

2 方法

2.1 种子外部形态和粒质量的测定

选取饱满、健壮的种子,描述形态特征,随机取 100 粒种子,测量其长度、宽度和厚度,用百粒法测定其千粒质量。

2.2 不同处理对镰荚棘豆种子硬实破除效果的研究

2.2.1 机械处理种皮 将种子置于石英砂的研钵中研磨,以种子表面失光泽为止,用蒸馏水浸泡 24 h,测定硬实率和发芽率。

2.2.2 浓硫酸处理 用质量分数为 98%的浓硫酸处理 4、6、8、10 min,用蒸馏水浸种 24 h,测定种子硬实率和发芽率。

2.2.3 1 mol/L 的 NaOH 处理 用 1 mol/L NaOH 处理 15、20、25、30 min,用蒸馏水浸种 24 h,测定种子硬实率和发芽率。

2.2.4 H₂O₂ 处理 用 H₂O₂ 处理 20、40、60、80 min,

再置于蒸馏水中浸种 24 h,测定硬实率和发芽率。

2.2.5 浓盐酸处理 用浓盐酸处理 20、25、30、35 min,再置于蒸馏水中浸种 24 h,测定硬实率和发芽率。以蒸馏水处理种子为对照。

2.3 外源物质处理对镰荚棘豆种子萌发的影响

用“2.2”项中筛选出最佳的方法破除种子硬实,选用不同浓度 KNO₃ (0、2%、4%、6%、8%)、PEG (0、5%、10%、15%、20%)、GA (0、130、150、170 mg/L)、CTK (0、130、150、170 mg/L) 处理芽床,测定种子发芽情况,筛选能改善种子活力的外源化学物质。

2.4 不同外源物质组合对镰荚棘豆种子种子活力的影响

将“2.3”项中筛选出的改善种子活力的外源物质两两组合,浸泡种子 24 h,测定种子萌发情况,并测定幼苗生长状态。以上发芽试验每处理 100 粒种子,重复 4 次,在变温 25 °C/15 °C (25 °C 光照 14 h,光强 12 000 Lx,15 °C 黑暗 10 h)的培养箱内培养 20 d,测定发芽率、发芽势、苗高、根长;称取根和苗的鲜质量;计算发芽指数(GI)和活力指数(GS)。

发芽率=发芽种子数/供试种子数

发芽势=发芽高峰期发芽种子数/供试种子数

$GI = \sum G_t / D_t$

$GS = GI \times S$

G_t 为逐日发芽数; D_t 为相应的发芽日数; S 为苗质量

2.5 数据分析

测定数据均通过 Excel 2007 进行整理、作图,用 SPSS 18.0 软件进行分析,用 LSD 进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 种子的形态特征和粒质量的测定

通过外部形态观测,镰荚棘豆种子呈褐色,肾形而扁平,有光泽。种子长为 (2.06±0.38) mm,种子宽为 (1.69±0.39) mm,千粒质量为 (1.239 0±0.050 4) g。

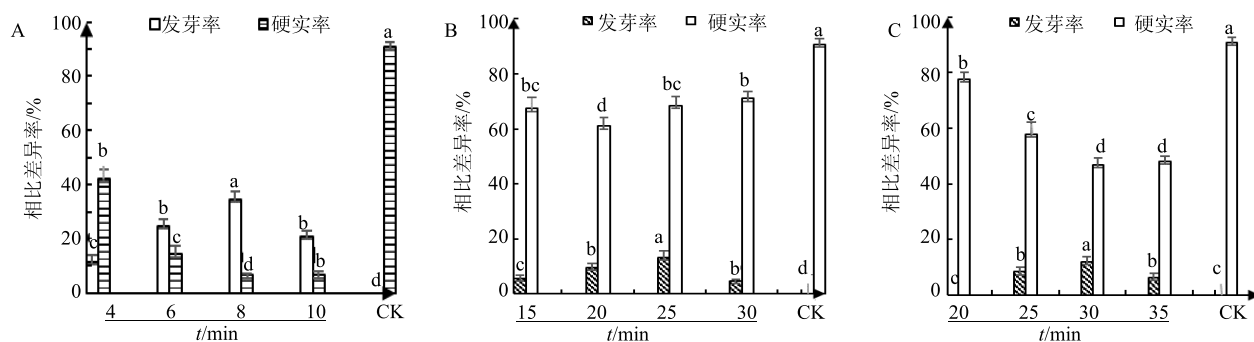
3.2 不同处理对种子硬实率和发芽率的影响

经测定,镰荚棘豆种子的硬实率约 90.67%,发芽率为 0。用 30% H₂O₂ 处理不能破除种子的硬实;用浓硫酸处理 4、6、8、10 min 均能不同程度的破除硬实,有部分种子发芽(图 1-A),且与对照相比差异达显著水平,处理 8 min 和 10 min 破除镰荚棘豆的硬实比其他处理效果好,但处理 10 min 的种子发芽率低于 8 min 处理,可能处理时间过长,致部分种胚受损,而 8 min 处理硬实

率只有 6.67%，发芽率高达 34.7%。从图 1-B 可知，用 1 mol/L NaOH 处理 15、20、25、30 min 中，均能降低硬实率，与对照相比差异达显著水平，其中，处理 20 min 破除镰荚棘豆的硬实比其他效果明显，硬实率为 61%，发芽率为 9.7%。从图 1-C 可知，用浓盐酸处理 20、25、30、35 min 中，均能降低硬实率，与对照相比差异达显著水平，其中，处理 30 min 破除镰荚棘豆的硬实比其他处理效果好，硬实率占 46.67%，发芽率提高到

12%。用研磨法种子硬实率约为 18.65%，种子的发芽率为 25.45%左右。

综上所述可以看出， H_2O_2 处理不能破除种子的硬实；用浓盐酸处理和 1 mol/L NaOH 处理破除镰荚棘豆硬实的效果不理想；用研磨法种子的硬实率虽可大幅度降低，但误差大，难以把握。而用浓硫酸处理可大幅度破除镰荚棘豆硬实，提高发芽率。因此，可选择浓硫酸处理 8 min 做为破除镰荚棘豆种子硬实的最佳方法。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

图 1 硫酸 (A)、NaOH (B)、盐酸 (C) 对破除种子硬实的影响

Fig. 1 Effect of sulfuric acid (A), NaOH (B), and HCl (C) on breaking hard seeds

3.3 种子引发剂对种子发芽率的影响

3.3.1 KNO_3 和 PEG 对种子发芽率的影响 将种子采用浓硫酸处理 8 min 后，用不同浓度的 KNO_3 处理，均能不同程度地影响种子的发芽势和发芽率（表 1），其中，2%处理的种子的发芽率高达 60%，发芽势达 42.3%，分别比对照高 27.3%和 22.3%，

表 1 KNO_3 和 PEG 对种子发芽率的影响

Table 1 Effects of KNO_3 and PEG on seed germination rate

引发剂	质量分数/%	初始发芽天数/d	发芽势/%	发芽率/%
KNO_3	0(CK)	5	20.0±2.00c	34.7±2.89c
	2	4	42.3±3.79a	60.0±4.00a
	4	5	25.3±2.52b	42.7±4.62b
	6	5	14.7±2.08c	31.3±5.03c
	8	5	7.3±2.08d	9.3±0.58d
PEG	0(CK)	5	20.0±2.00a	34.7±2.89b
	5	4	22.3±1.53a	50.3±3.21a
	10	4	16.0±4.00b	25.7±4.04c
	15	5	2.0±1.00c	3.7±1.51d
	20	0	0.0±0.00c	0.0±0.00d

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下表同

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

after the data in the same column, as shown in the following table

且差异达显著水平，发芽时间比对照提前 1 d，而其他处理的种子发芽率和发芽势均低于对照。用体积分数为 5%、10%、15%、20% PEG 处理中，5%处理种子的发芽率高达 50.3% ($P < 0.05$)，发芽势达 22.3% ($P > 0.05$)，发芽时间比对照提前 1 d，效果最好，其他处理均低于对照。

3.3.2 激素对种子发芽率的影响 将种子采用浓硫酸处理 8 min 后，用 GA 质量浓度梯度为 130、150、170、190 mg/L 处理（表 2），150 mg/L 处理

表 2 激素对种子发芽率的影响

Table 2 Effects of hormones on seed germination rate

引发剂	质量浓度/(mg·L ⁻¹)	初始发芽天数/d	发芽势/%	发芽率/%
GA	0(CK)	5	20.0±2.00bc	34.7±2.89bc
	130	5	14.7±1.53c	30.7±8.33c
	150	4	52.0±3.61a	64.0±4.00a
	170	4	25.0±7.00b	43.7±4.51b
	190	4	17.0±2.65c	33.7±4.93c
CTK	0(CK)	5	20.0±2.00c	34.7±2.89c
	130	4	30.3±6.43b	63.3±4.04b
	150	4	32.3±2.52b	44.0±8.00c
	170	4	47.0±5.00a	74.7±6.11a
	190	4	30.0±6.24b	62.7±3.51b

理种子的发芽率高达 64%，发芽势达 52%，与对照相比差异显著，发芽时间比对照提前 1 d，效果最好，190 mg/L 处理的发芽率低于 150 mg/L 处理，说明 GA 有低促高抑效应。在 CTK 质量浓度梯度为 130、150、170、190 mg/L 处理中（表 2），引发规律与 GA 有相似之处，也呈现低促高抑效应，其中，170 mg/L 处理种子的发芽率高达 74.7%，发芽势达 46.8%，与其他处理相比，差异均达显著水平，发芽时间比对照提前 1 d，效果最好。

综上所述，用 170 mg/L 的 CTK 处理对种子引发效果最好，150 mg/L 的 GA 次之，其次为 2% 的 KNO₃，用 PEG 处理效果相对较差。

3.4 不同组合的种子引发剂对种子发芽率的影响

将“3.2”项中选出的 3 种引发剂进行两两组合（表 3），从表 3 可知，不同组合处理对种子的引发效果也明显不同。GA+CTK、GA+KNO₃ 和 CTK+KNO₃ 组合的发芽势分别比对照高出 43.7%、44.0% 和 48.3%；GA+CTK、GA+KNO₃ 和 CTK+KNO₃ 组合的发芽率分别比对照高出 43.7%、44.0% 和 48.3%，发芽指数分别比对照增加 120%、140% 和 180%，活力指数分别比对照增加 112.5%、137.5% 和 225.0%。各处理的指标与对照相比差异均达显著水平。其中，CTK+KNO₃ 组合引发效果最好，种子的发芽率高达 82.7%，发芽势达 68%，发芽时间比对照提前 2 d。由此说明，CTK+KNO₃ 组合是种子引发的最佳方法。

表 3 种子引发组合对种子发芽率的影响

Table 3 Effect of seed initiation combination on seed germination rate

引发剂组合	组合浓度	初始发芽天数/d	发芽势/%	发芽率/%	GI	GS
浓硫酸 (CK)	0	5	20.0±2.00b	34.7±2.89c	0.5±0.05b	0.8±0.56c
GA+CTK	150 mg·L ⁻¹ +170 mg·L ⁻¹	3	63.7±4.93a	69.3±3.79b	1.1±0.21a	1.7±0.31b
GA+KNO ₃	150 mg·L ⁻¹ +2%	3	64.0±2.65a	71.7±3.51b	1.2±0.15a	1.9±0.24b
CTK+KNO ₃	170 mg·L ⁻¹ +2%	3	68.3±2.08a	82.7±4.16a	1.4±0.14a	2.6±0.26a

4 讨论

4.1 镰荚棘豆种子的硬实特性

种子硬实产生的原因是种皮坚韧，从而对胚产生机械作用而抑制种子萌发^[16]，彭幼芬^[17]认为，种子硬实数量由基因控制，与种子的成熟度和环境有关。硬实种子可长期保持其生活力，对种质资源的保存有特殊意义^[18]，但硬实又会造成萌发率低，种苗稀少，种群更新慢。本实验结果表明，镰荚棘豆种子长为 (2.06±0.38) mm，种子宽为 (1.69±0.39) mm，千粒质量为 (1.239±0.050 4) g，种子的硬实率约 90.67%，由此可知，镰荚棘豆属小粒高硬实率种子，这与笔者在镰荚棘豆生长地调查发现的分布少，幼苗少，群体小、植株稀少十分吻合。说明种子硬实特性是制约种群的主因，也是导致濒危的重要因素。

4.2 不同处理对硬实的破除

种子硬实在自然界广泛存在，破除硬实种子的方法较多^[18]，因种皮结构和质地不同，破除方法各异，从而产生“殊途同归”的效应。本实验采用酸蚀、碱蚀，H₂O₂ 处理和研磨。结果表明，用 HCL、H₂O₂ 和 NaOH 处理效果不理想，用硫酸处理和研磨处理，对破除硬实效果较好，但研磨处理费时费工，

轻重程度难以掌握，且部分胚易受损伤，因此用硫酸处理 8 min 破除效果最好，硬实率仅为 6.67% 左右，发芽率达 34.7%。杨期和等^[19]认为，硬实种子的种皮和组分不同，特别是不透性物质（如角质、木栓质、木质素等）含量差异，导致硬实程度存在差异，这很好地解释了本实验用 HCl、H₂O₂ 和 NaOH 处理破除种子硬实效果差的原因，是这些处理对种皮结构和组分改变较少，对种皮的透性影响较小，而用硫酸处理很好地破除了硬实，说明硫酸破坏了种皮结构，增加了种皮的透性。郝建平等^[16]和许岳飞等^[18]的研究结果支持了本研究结果。贾娟等^[20]也做了类似实验，认为镰荚棘豆硬实率为 60%，用浓硫酸处理 5 min 后，发芽率提高至 75%，与本实验差异较大，可能与生境不同相关，有待于今后深入研究。

4.3 引发处理对种子发芽率的影响

种子萌发是内因和环境综合作用的结果。种子引发处理技术是基于种子萌发生物学机制提出的促进种子萌发、提高幼苗抗性、改善营养状况的一种种子处理手段^[21-22]。种子引发技术包括液体引发、固体引发、抗菌物质引发、激素引发、细胞信号分子引发、细胞周期性药物引发以及生

物引发等^[23]。其中,种子激素引发是利用一定浓度的激素进行浸种,并精确控制温度和时间,达到促进萌发且不引起伤害的技术^[23]。

本实验结果表明,用硫酸处理种子 8 min,虽较好地破除了休眠,但发芽率较低,发芽持续时间长,种用价值极低。说明破除休眠后,种子内物质的转化及酶活性滞后,尚需准备和修复时间。而选用 2% KNO₃ 引发种子的发芽率高达 60%,发芽势达 42.3%;用 5% PEG 引发的种子发芽率高达 50.3%,发芽势达 22.3%;用 150 mg/L GA 引发的种子发芽率高达 64%,发芽势达 52%;用 170 mg/L CTK 引发的种子发芽率高达 74.7%,发芽势达 46.8%,引发效果均显著高于对照,且激素引发引发效果最好,李振华等^[24]和韩云华等^[23]的研究支持了本结果。说明种子引发提高了种子活力^[25]、引起种子内部各种生理生化变化^[25-26]。因此,在用硫酸处理 8 min 处理的基础上,选用 CTK 或 GA 引发种子,种子发芽率能大幅度提高,发芽时间比对照提前 2 d。

4.4 组合引发处理对种子发芽率的影响

前人对种子的引发处理多采用单一因素进行研究^[21,23,26-28],而采用复合处理的研究较少。本研究结果表明,用 GA+CTK、GA+KNO₃ 和 CTK+KNO₃ 组合处理的发芽率明显高于对照,其中,CTK+KNO₃ 组合引发效果最好,种子发芽率高达 82.7%,发芽势达 68%,发芽时间比对照提前 2 d。单剂和复合剂的研究结果总体表现为复合引发>单一引发>不引发,本研究结果与张飞等^[28]的研究完全吻合,这对综合休眠种子提高种子芽率有一定的启示。因此,用浓硫酸处理 8 min 后,再在 170 mg/L CTK 和 2% KNO₃ 中分别浸泡 12 h,既可破除镰荚棘豆种子的休眠,又可大幅度提高种子活力和发芽整齐度。

参考文献

- [1] Chen W H, Wang R, Shi Y P. Flavonoids in the poisonous plant *Oxytropis falcate* [J]. *J Nat Prod*, 2010, 73(8): 1398.
- [2] 青海省生物研究所. 青藏高原药物图鉴 第一册 [M]. 西宁: 青海省人民出版社, 1972.
- [3] 赵汝能. 甘肃中草药资源志(下册) [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2007.
- [4] 中国科学院西北高原研究所. 青海植物志(第 2 卷) [M]. 西宁: 西宁人民出版社, 1999.
- [5] 闫海燕, 高黎明. 镰形棘豆化学成分的研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(2): 246-248.
- [6] 杨 欢, 王 栋, 童 丽, 等. 镰形棘豆的化学成分研究 (I) [J]. 中国药理学杂志, 2008, 43(5): 338-340.
- [7] 姚淑英, 马云保, 唐 亚, 等. 镰形棘豆的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(12): 1418-1421.
- [8] 陶诗清, 吴先琪, 胡伯林. 镰形棘豆总黄酮甙元的含量测定 [J]. 中草药, 1980, 11(11): 493-496.
- [9] 杨光明, 王 栋, 张芳芳, 等. 镰形棘豆总黄酮和总酚的含量测定 [J]. 药学与临床研究, 2009, 17(5): 376-379.
- [10] 王 栋, 杨 欢, 童 丽, 等. 藏药镰形棘豆的镇痛抗炎活性 [J]. 药学与临床研究, 2008, 16(2): 90-93.
- [11] 戴衍朋, 杨 欢, 童 丽, 等. 镰形棘豆止血作用初步研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2008, 24(2): 107-108.
- [12] 才让吉. 藏药十二味翼首散合四味藏木香汤治疗流行性感冒 108 例 [J]. 中国民族医药杂志, 1999, 5(3): 13.
- [13] Zhang X J, Li L Y, Norbo K S, et al. Flavonoids from Tibetan medicine *Oxytropis falcate* Bunge [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2014, 23(2): 99-105.
- [14] Chen Z P, Qu M M, Chen H X, et al. The studies of anti-inflammatory and analgesic activities and pharmacokinetics of *Oxytropis falcate* Bunge extraction after transdermal administration in rats [J]. *Fitoterapia*, 2011, 82(3): 426-433.
- [15] 牛俐燃, 李冠聪, 张婉婷, 等. 镰形棘豆黄酮含药血清对人肺癌 A549 细胞活力、凋亡及周期的影响 [J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(7): 790-795.
- [16] 郝建平, 徐笑飞, 杨东方, 等. 北柴胡快速繁殖及种子萌发条件研究 [J]. 中草药, 2008, 39(5): 752-756.
- [17] 彭幼芬. 世界林木种子生理概况和趋势 [J]. 世界林业研究, 1998, 17(2): 8-12.
- [18] 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.
- [19] 杨期和, 尹小娟, 叶万辉. 硬实种子休眠的机制和解除方法 [J]. 草业科学, 2006, 3(1): 108-118.
- [20] 贾 娟, 刘 芳, 苏红田, 等. 不同处理方法对 5 种豆科牧草种子萌发特性的影响 [J]. 草地学报, 2012, 20(2): 342-34.
- [21] 杨小环, 王玉国, 杨文秀, 等. 种子引发对水分胁迫下大豆幼苗生理特性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1191-1195.
- [22] Jisha K C, Vijayakumari K, Jos Puthur T. Seed priming

- for abiotic stress tolerance: an overview [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35: 1381-1396.
- [23] 韩云华, 王彦荣, 陶奇波. 种子激素引发 [J]. 草业科学, 2016, 33(12): 2494-2502.
- [24] 李振华, 王建华. 种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 646-660.
- [25] 郑安俭, 王州飞, 张红生. 作物种子萌发生理与遗传研究进展 [J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 218-223.
- [26] 靳晓青, 甄爱, 胡晓辉. 不同引发方式对老化南瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响 [J]. 北方园艺, 2017(16): 7-12.
- [27] 马超, 孔蓓蓓, 张均, 等. 不同引发剂处理对水分胁迫下小麦发芽及幼苗生理特性的影响 [J]. 核农学报, 2017, 31(2): 357-363.
- [28] 张飞, 朱凯, 王艳秋, 等. 种子引发对盐渍土壤条件下高粱芽苗生理特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 47-53.