

不同预处理方式对苦豆子种子萌发及幼苗生长的影响

史超逸¹, 房闵², 图雅³, 刘建康⁴, 朱媛君¹, 杨晓晖^{1*}

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 生态保护与修复研究所, 北京 100091; 2. 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024; 3. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 4. 宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021)

摘要:【目的】苦豆子(*Sophora alopecuroides*)是一种具有耐干旱、耐盐碱、抗风沙特性的豆科植物, 是水土保持的优质植物资源, 为提高苦豆子萌发效果, 本文分析了两种打破种子休眠方式的交互处理方法对苦豆子种子萌发及幼苗生长的影响, 为苦豆子植物资源利用提供科学依据。【方法】根据硫酸浸种和热水浸种两种常见的打破苦豆子种子休眠的方式, 设计交互试验, 统计发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、鲜重、干重、含水率及幼苗生长相关指标。【结果】在20个处理组合中, 65%×80℃处理和85%×20℃两种预处理方式在各指标方面均有较好表现。其中65%×80℃处理组在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数方面均为20种处理中最高, 85%×20℃处理组萌发效果次之。在萌发速率与幼苗生长中, 65%×80℃、85%×20℃两组处理下种子萌发时滞较短、萌发速率较快, 幼苗生长情况优于其他组别, 并与0×20℃组差异显著。按浸种硫酸浓度分组, 发芽效果由优到差为: 85%>75%>65%>95%>0, 80℃热水浸种20 min的处理效果优于其他温度浸种。【结论】65%×80℃、85%×20℃两种预处理方式对加速苦豆子种子萌发、促进幼苗生长具有较优效果。本研究可为苦豆子种子萌发、幼苗建植的相关研究及生产实践提供科学依据。

关键词:苦豆子; 种子预处理; 硫酸浸种; 热水浸种; 种子萌发

中图分类号:S529 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)03-0146-10

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2023.03.019



苦豆子(*Sophora alopecuroides*), 又名苦豆草、草本槐, 为豆科(Leguminosae)槐属(*Sophora*)多年生草本植物。耐干旱、耐盐碱、抗风蚀能力较强, 在粉砂质壤土中生长情况较好^[1], 广泛分布于我国内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃和西藏等地的干旱沙漠及草地边缘地区, 是一种防风固沙的优良植物资源^[2-4]。此外,

苦豆子在畜牧业生产、土壤改良、医药制备等方面的应用也有可观的价值。宁夏是苦豆子广布的地区, 滩羊养殖也是其具有地方特色的畜牧养殖业, 有研究表明, 苦豆子残渣的蛋白质含量高, 去除毒碱的苦豆子草渣和籽渣代替苜蓿和胡麻饼喂养宁夏滩羊, 可以有效提高其体重^[5-6], 提高当地经济效益; 其总碱灌注液对奶牛乳房炎的常见致病菌有抑制作用^[7]。在民间一直有利用苦豆子作为绿肥的传统, 苦豆子沤肥可有效调节碱性土壤的pH值, 增加土壤氮、磷和钾的含量^[8]。多种苦豆子生物碱提取物可作为天然杀虫剂^[9-11], 在炎症治疗和降低抗生素的耐药性方面也有着很好的效果^[12-14]。由此可见苦豆子是一种优质的植物资源, 在生产生活中具有很高的利用价值。

收稿日期:2022-05-26; **修回日期:**2022-10-14

基金项目:国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(32061123005)

作者简介:史超逸(1997-), 女, 内蒙古包头人, 硕士研究生
E-mail: shicy13@163.com

*通信作者。E-mail: yangxh@caf.ac.cn

高效种植苦豆子是充分发挥其植物资源价值的必要条件,而提高苦豆子萌发效果是苦豆子人工种植开始环节。豆科植物种子休眠多为物理休眠(也称硬实)^[15],苦豆子种子也存在硬实现象,在国内外的研究中,热水浸种和浓硫酸浸种是打破苦豆子种子休眠的两种主要处理方式。例如,胡小文^[15]分别采用 98% 浓硫酸和不同温度水浸种,结果表明,浓硫酸、80℃热水浸种可显著提高发芽率,95℃热水浸种会导致大部分种子死亡;Hu 等^[16]采用浓硫酸浸种 5 min、20 min、35 min、50 min 和 60℃、80℃和 95℃热水浸种 1 min、5 min 和 10 min,结果表明,80℃热水浸种可以显著增加苦豆子发芽率,95℃热水浸种会造成种子死亡,导致萌发失败;陈晓丽^[17]等设置了 65%~95% 之间的 7 个硫酸浓度,结果显示:经 95% 硫酸浸种的苦豆子种子脐缝显著宽于未处理组,种子吸水率也显著高于未处理组;赵丽珍和韩路^[18]通过试验发现 75% 浓硫酸浸种 20 min 的预处理方式萌发率最高;黄文娟等^[19]采用常温水浸种 12 h 后进行后续试验,萌发率最高仅有 11.33%。上述试验结果表明,浓硫酸和热水浸种是高效打破苦豆子种子休眠,促进萌发的处理方式,常温水浸种的效果较差。幼苗生长测定法是一种常用的种子活力测定方法,通过比较各幼苗生长指标间的差异确定种子活力。通常测定幼苗的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、鲜重、干重和苗长等指标。其中,发芽率和发芽势是反映种子品质的重要指标^[20];在对大豆(*Glycine max*)种子活力的研究中发现,以发芽指数和活力指数作为幼苗生长的评价指标较为可靠^[21],发芽指数是表示发芽速率快慢的指标,当然,仅萌发速率相关指标并不能全面地测定种子成长为幼苗的能力,幼苗是否茁壮也关乎种子成苗效果。因此,综合了发芽率和幼苗茁壮程度的活力指数也是萌发试验中重点关注的指标。

目前针对硫酸和热水浸种单独处理对苦豆子萌发的研究已有不少,而在李艳芳^[22]、孙慧^[23]等人的研究中,化学试剂浸种与热水浸种、低温层积结合的预处理方式能大幅提高黄檗(*Phellodendron amurense*)与梭鱼草(*Pontederia cordata*)的萌发率,但浸种时间过长会抑制紫花苜蓿(*Medicago sativa*)幼苗生长^[24]。常见的苦豆子种子预处理中,长时间硫酸浸种才能达

到较好的萌发效果,但硫酸浸种对其幼苗生长是否具有影响,目前还未有研究。因此,本研究将硫酸和热水浸种处理方式相结合,以期筛选出促进苦豆子快速、优质萌发的预处理方式,为高效利用苦豆子植物资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试苦豆子种子为 2021 年在宁夏盐池县野外采集获得,千粒重为 22.719 g。

1.2 试验设计

选取籽粒饱满、大小均一的种子进行后续试验。试验设置硫酸浸种与热水浸种的交互处理。硫酸浸种分别采用 65%、75%、85%、95% 硫酸浸种 20 min,另设一组未经硫酸浸种的对照组(CK_{硫酸}),水浸种分别采用 20℃、40℃、60℃、80℃浸种 20 min,其中 20℃室温浸种为对照组(CK_{温度})。处理顺序为先用硫酸浸种 20 min 后以流动的清水清洗种子 10 min,洗净硫酸后用不同温度蒸馏水恒温浸泡 20 min。擦干处理后种子的水分,采用纸间萌发法,每个处理设置 3 个重复,每个重复在培养皿中放置 30 粒种子。在培养皿底部铺两张滤纸,种子上盖一层滤纸,用蒸馏水将滤纸充分浸湿,以倾斜培养皿无流动水为宜,当连续 3 d 累计发芽数不再增加时,方可认为萌发试验结束^[25-26],试验持续 14 d。在下文中以 65%×40℃表示 65% 浓硫酸浸泡后再以 40℃水浸泡的处理方式,其他处理组同理。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 种子萌发相关指标统计 以胚根突破种皮视为发芽。

$$\text{发芽率}(G_p) = n/N \times 100\%$$

式中: n 为最终发芽种子数, N 为供试种子数。

$$\text{发芽势}(G_e) = n/N \times 100\%;$$

式中: n 为发芽高峰时(5 d)累计发芽种子数, N 为供试种子数。

$$\text{发芽指数}(G_i) = \sum(G_t/D_t)$$

式中: G_t 指在时间 t 日内的发芽总数, D_t 为相应萌发天数;

$$\text{活力指数}(V_i) = G_i \times m$$

式中: m 为发芽试验结束后的幼苗重量^[27-28]。

1.3.2 胚根、胚轴及幼苗生长相关指标测量和计算
利用游标卡尺,在每个重复中选取10株幼苗,分别于第7 d和14 d测量胚轴和胚根长度,以此计算胚轴和胚根第7~14 d的生长量,试验结束后及时测量苗长,不满10株的全部测量。待萌发试验完成后使用千分天平称量以上幼苗鲜重,后放入烘箱中85℃烘干至恒重,称量干重。植株含水率、胚轴生长量和胚根生长量的计算公式如下:

$$\text{含水率} = (m_f - m_d) / m_f \times 100\%$$

式中: m_f 为鲜重, m_d 为干重。

$$\text{胚轴生长量} = L_{h_{14}} - L_{h_7}$$

式中: $L_{h_{14}}$ 为第14天胚轴长度, L_{h_7} 为第7天胚轴长度。

$$\text{胚根生长量} = L_{r_{14}} - L_{r_7}$$

式中: $L_{r_{14}}$ 为第14天胚根长度, L_{r_7} 为第7天胚根长度。

1.4 数据分析

本文所有数据采用SPSS 24.0统计软件分析,分析前对数据进行检验和转换,使其通过正态分布和方差齐性检验,对发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、

胚轴长、胚根长、胚轴生长量、胚根生长量、苗长、干重、鲜重和含水率进行多因素方差分析,Tukey's HSD用于检验处理间多重比较的差异显著性($\alpha=0.05$)。统计数据以平均值±标准误差(mean±SE)表示。采用GraphPad Prism 8软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同预处理方式对种子萌发的影响

经75%和85%硫酸浸种处理的各组在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数方面均无显著差异,发芽效果整体优于其他处理组(图1),发芽率较未经硫酸浸泡平均值分别提高了51.94%和52.42%(图1-A),活力指数平均值分别为CK_{硫酸}组的7.31倍和8.30倍(图1-D)。在发芽效果较差的65%、95%硫酸浸种和未经硫酸浸种的CK_{硫酸}处理组中,经80℃热水浸种处理的种子发芽率在同一硫酸浸种组内显著高于其他3个温度($P<0.05$,图1-A),发芽整齐度和幼苗成活能力也有明显改善(图1-B~D)。这说明80℃热水浸种在打破苦豆子种子休眠、增加发芽整齐度、提高成活能力方面都有显著效果,但还应搭配适当的硫酸浸种才能达到可观的发芽状态。65%×80℃和

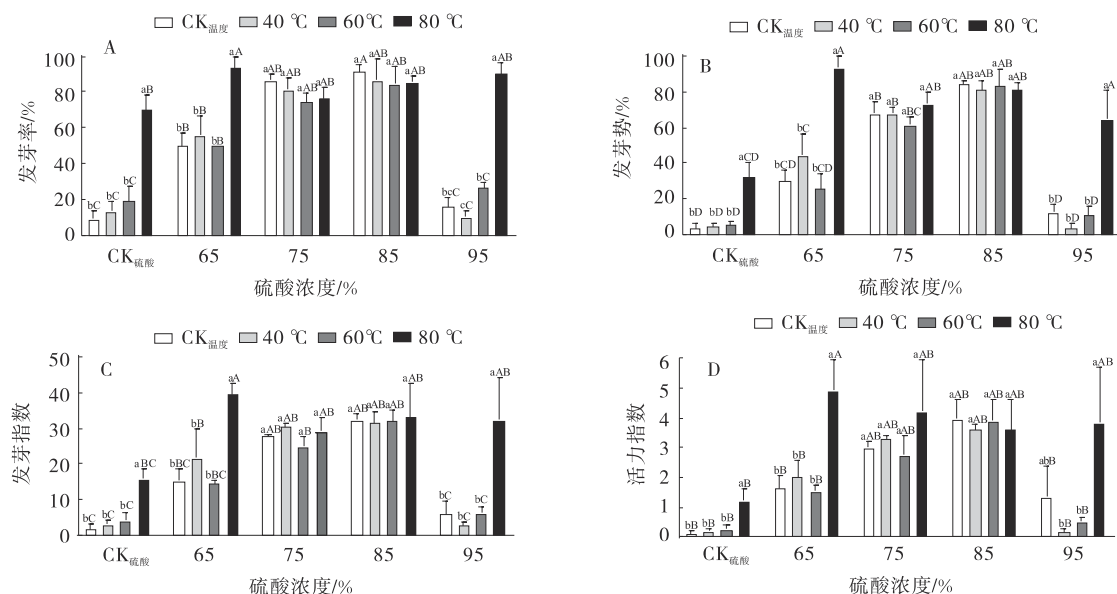


图1 不同预处理对苦豆子发芽率(A)、发芽势(B)、发芽指数(C)和活力指数(D)的影响

Fig. 1 Effects of different pretreatment on germination percentage (A), germination energy (B), germination index (C) and vitality index (D) of *Sophora alopecuroides*

注:指标统计数据以平均值±标准差表示;图中不同小写字母表示各指标同一硫酸浸种处理后经4个温度水浸种的组间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示各指标在20种浸种处理间差异显著($P<0.05$),下同

85%×CK_{温度} 两组处理发芽效果较为突出,与效果最差的CK_{硫酸}×CK_{温度}处理组相比,发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数分别提高了84.44%、90.00%、37.8倍、4.81倍和82.22%、81.11%、30.52倍、3.86倍,其中除活力指数外均有显著差异($P<0.05$)。

从种子萌发曲线(图2)可以看出,各处理的萌发时滞为2~3 d,80℃热水浸种,对打破种子休眠,加快种子萌发效果较好。75%和85%硫酸与各温度水浸种处理结合,种子发芽进程较统一,萌发高峰期在第5天,发芽率均在70%以上(图2-B,C)。

65%×80℃和85%×CK_{温度} 2组处理发芽效果最好,发芽率分别为93.33%和91.11%,试验第5天萌发率分别为86.66%和70.00%,2组处理均在第6天完成萌发。95%硫酸浸种处理组和CK_{硫酸}组发芽效果不理想(图2-D,E),发芽率低,发芽进程缓慢,除95%×80℃、CK_{硫酸}×80℃ 2组发芽率较高外,其他处理组发芽率均低于30%,95%×80℃处理组萌发高峰期在第6天,完成萌发所需时间长,发芽势较低(图1-B)。

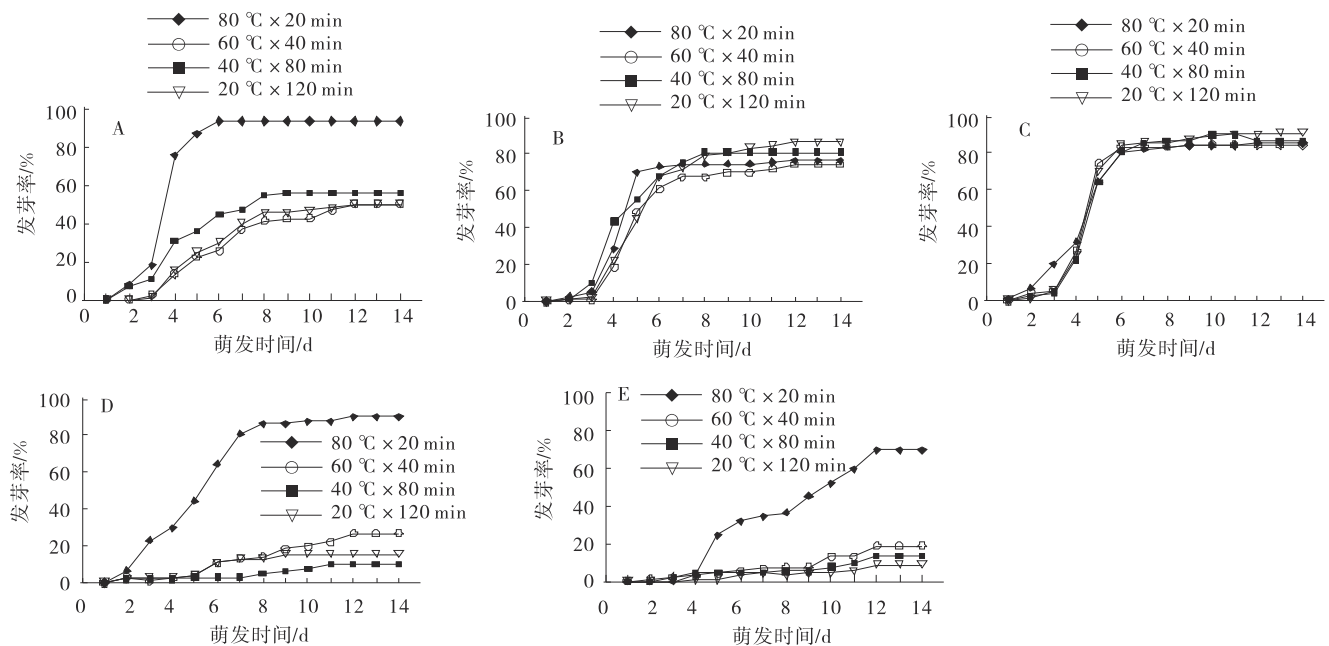


图2 苦豆子种子萌发曲线。

Fig. 2 Seed germination curve of *Sophora alopecuroides*.

注:A:65%硫酸浸种;B:75%硫酸浸种;C:85%硫酸浸种;D:95%硫酸浸种;E:CK_{硫酸}

对苦豆子4个发芽指标进行双因素方差分析,发芽势、发芽指数和活力指数影响均显著($P<0.05$)(表1)。

表1 硫酸浸种与热水浸种交互作用对苦豆子种子萌发指标的影响

Table 1 Tow-way ANOVAs of the interactions between sulfuric acid concentration and water temperature on seed germination index of *Sophora alopecuroides*

处理	发芽率		发芽势		发芽指数		活力指数	
	F	P	F	P	F	P	F	P
硫酸浸种 ×热水浸种	25.566	<0.001	13.671	<0.001	3.564	<0.005	3.16	<0.005

2.2 不同预处理方式对胚轴和胚根生长的影响

胚轴长、胚根长、胚轴生长量及胚根生长量呈现

85%>75%>65%>95%>CK 的趋势(图3)。

85%×CK_{温度}处理组胚轴和胚根长度最长,分别达

21.92、11.29 mm,与最短值分别相差 14.59、8.72 mm,差异显著($P<0.05$)。65%×80℃处理组的胚轴与胚根长度分别为 19.58 和 8.26 mm,仅次于 85%×CK_{温度}处理组,2 组差异不显著(图 3-A,B)。

85%×CK_{温度}处理组的胚轴生长量与胚根生长量最大,分别为 8.92 和 6.60 mm,其胚轴生长量与 65%×80℃处理组有显著差异($P<0.05$),85%×CK_{温度}处理组的胚根生长量为 65%×80℃组的 1.9 倍(图 3-C,D)。

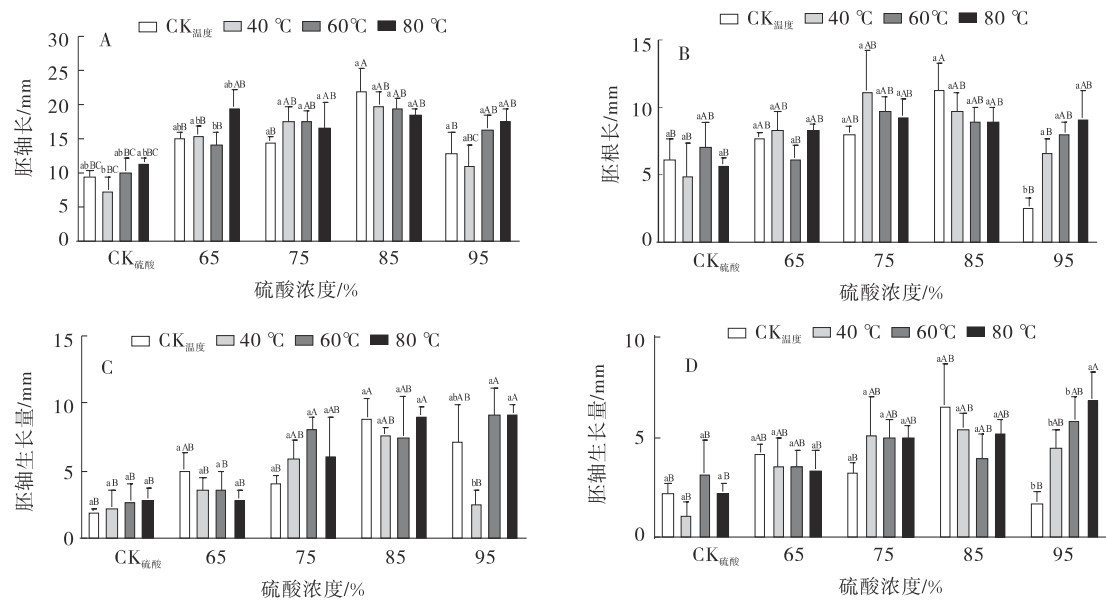


图3 不同预处理下苦豆子胚轴长(A)、胚根长(B)、胚轴生长量(C)和胚根生长量(D)

Fig. 3 Hypocotyls length(A),radicle length(B),hypocotyls growth lengths (C) and radicle growth lengths(D) of *Sophora alopecuroides* under different pretreatment

注:图中胚根和胚轴长度为第 14 d 测量结果

对苦豆子胚轴和胚根生长指标进行双因素方差分析,结果表明:硫酸浸种与热水浸种交互作用对胚轴长、胚轴生长量、胚根长和胚根生长量均无显著影响(表 2)。

表 2 硫酸浸种与热水浸种交互作用对苦豆子胚轴和胚根生长的影响

Table 2 Two-way ANOVA of effects of sulfuric acid concentration and water temperature interactions on hypocotyls and radicle growth lengths of *Sophora alopecuroides*

处理	胚轴长		胚轴生长量		胚根长		胚根生长量	
	F	P	F	P	F	P	F	P
硫酸浸种 ×热水浸种	1.031	0.435	0.784	0.597	1.428	0.182	1.352	0.218

2.3 不同预处理方式对幼苗生长的影响

经硫酸浸种的幼苗长度优于 CK_{硫酸}组。85%×CK_{温度}组幼苗长度最大(38.88 mm),与 CK_{硫酸}×CK_{温度}组相差 14.61 mm,差异显著($P<0.05$)。CK_{硫酸}与 CK_{温度}、40℃和 60℃热水浸种处理结合,幼苗干重显著高于其他 17 组处理,其他 17 组处理间无显著差异。80℃热水浸种处理可在一定程度上提高幼苗鲜重。

经硫酸浸种的幼苗含水率高于未经硫酸浸泡且热水浸种温度较低的 3 组处理,高温热水浸种(80℃)提高幼苗含水率方面效果显著($P<0.05$)(图 4)。

对苦豆子幼苗生长指标进行双因素方差分析,结果表明:硫酸浸种与热水浸种交互作用对含水率影响显著($P<0.05$);对苗长、干重和鲜重影响均不显著(表 3)。

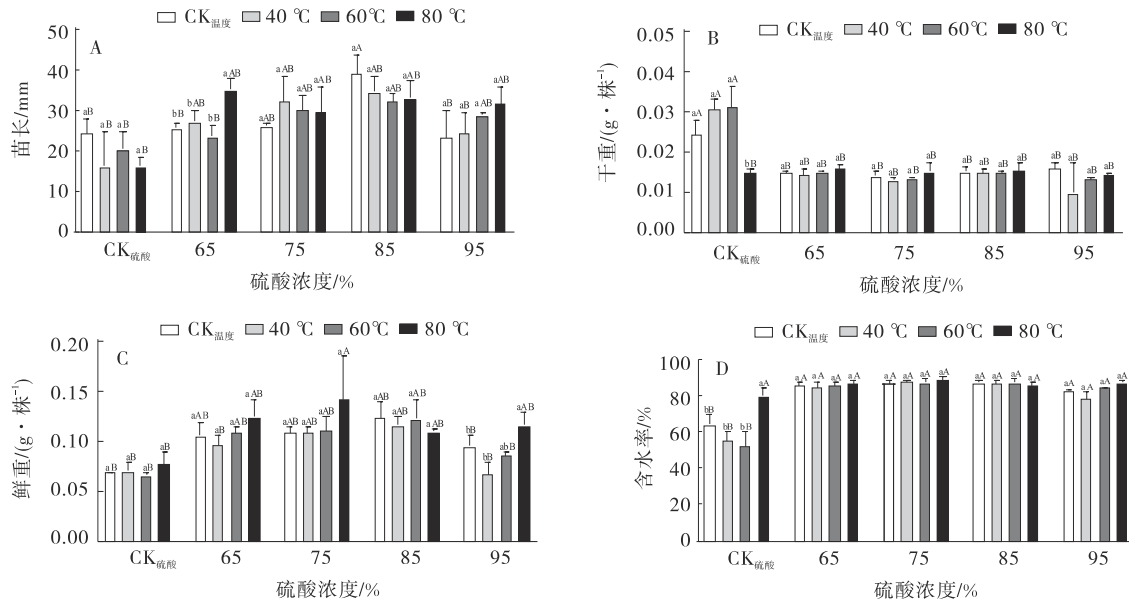


图 4 不同预处理下苦豆子幼苗长度(A)、幼苗干重(B)、鲜重(C)和含水率(D)

Fig. 4 Seedling length (A), dry weigh (B), fresh weight (C) and moisture content (D) of *Sophora alopecuroides* under different pretreatment

表 3 硫酸浸种与热水浸种交互作用对苦豆子幼苗生长的影响

Table 3 Tow-ANOVA of effects of sulfuric acid concentration and water temperature interactions on seedling growth of *Sophora alopecuroides*

处理	苗长		干重		鲜重		含水率	
	F	P	F	P	F	P	F	P
硫酸浸种 ×热水浸种	0.916	0.537	0.973	0.485	1.073	0.400	0.877	<0.001

3 讨论

3.1 不同预处理方式对种子萌发的影响

在豆科种子物理休眠破除试验中,硫酸浸种与热水浸种是两种最常用的方法,试验中多以发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数作为评价标准,发芽率是评定种子发芽能力及种子质量优劣等级的重要指标之一^[10],发芽势能表示种子生活力强弱,其高低对种子萌发过程中的吸胀、代谢、酶促反应等活动有直接的反映^[27],活力指数越高,幼苗生长越旺盛。许多植物种子经硫酸浸种和热水浸种后发芽率都有显著的提升。例如:吕玉兰等^[30]对 12 种野生豆科草种的研究中发现硫酸浸种和热水浸种均能提高发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数,且其中 11 种都表现出 80℃热水浸种效果优于 60℃的情况;经 65、75℃热水浸种处理的紫花苜蓿种子在各指标上均有明显提高^[31];将军

豆 (*Phaseolus vulgaris*) 和 银 合 欢 (*Leucaena leucocephala*) 经硫酸浸种,发芽率较对照组分别提高了 25% 和 37.9%,达到了 98% 和 86%^[32];胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 种子经 98% 硫酸浸种 10 min 能显著提高发芽率^[33]。50℃温水浸种 24 h 提高杜仲 (*Eucommia ulmoides*) 发芽率和发芽势的效果最为显著,分别达到 84.67% 和 43.50%^[34];印度田菁 (*Sesbania sesban*) 经 80℃热水浸种 3 min 和浓硫酸浸种 6 min 发芽率均提高了 77%^[35];在王念奎^[36]的研究中,65℃热水浸种处理下香樟 (*Cinnamomum camphora*) 种子萌发整齐、迅速。相比硫酸浸种和热水浸种,擦破种皮的方法摩擦程度不宜把控,易造成胚的损伤,热水浸种简单易操作,不易损伤胚,成本低,在生产中应用方便可靠^[31]。胡小文^[15]研究发现,80℃热水浸种相较于 60℃解除苦豆子种子休眠的效果更好,95℃已经达到了苦豆子的致死温度^[37],该温度下处理 1 min 即有 82% 的不正常

种子,处理 10 min 后,种子完全死亡。无预处理的对照组,发芽率仅为 4%。在陈晓丽等^[16]的研究中,未经硫酸处理的种子前 5 d 无种子萌发,本研究也呈现相似的结果,CK_{硫酸}×CK_{温度}处理,前 5 d 的发芽率为 1%,终发芽率仅为 8.89%。80℃是提高苦豆子发芽率效果最好的浸种温度。控温培养试验中,持续高温(50、60℃)培养的苦豆子发芽率显著高于低温(20、30 和 40℃)培养组,这种情况在高低变温的环境下尤为明显^[35],说明温度在打破豆科种子物理休眠中扮演着重要的角色。有研究表明,经硫酸浸种的苦豆子种子可快速进入吸胀阶段^[19],脐缝显著宽于未处理组^[16],这可能是由于经过硫酸浸泡的苦豆子种子栅栏层受到影响,增加了种皮透性^[38],促进了水分吸收和氧气进入。陈乙实等^[39]的研究结果中,98%硫酸浸种 10 min 打破苦豆子种子休眠的效果最好,其发芽率为 91.67%,发芽势为 88.33%,发芽指数 11.16,本研究中 65%×80℃处理组发芽效果更优,发芽率、发芽势和发芽指数较陈乙实的结果提高了 1.66%、5.00% 和 28.32。然而并不是所有豆科耐干旱植物均以硫酸浸种为最优预处理方式,例如,疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)种子在 98%硫酸浸种 20 min 处理下其出苗率低于常温水浸种 24 h 和 48 h,且在水分适宜的条件下差异显著^[40]。因此 80℃热水浸种与适宜浓度的硫酸浸种结合可有效打破苦豆子种子休眠,促进种子萌发。

3.2 不同预处理对苦豆子幼苗生长的影响

浸种对提高幼苗活力有着不可忽视的作用,浸种处理影响种子萌发过程中吸胀、萌发、发芽和成苗 4 个关键阶段,改善相关生理生化过程,从而促进种子发芽成苗^[41]。预处理发芽试验的结果可以测定种子的最大潜力,还可以评估田间播种价值^[42]。如:直接播种未经预处理的硬实豆科种子,常出现出苗不齐或缺苗的现象,热水浸种与硫酸浸种可高效打破豆科种子休眠,促进出苗,提高种植产业投入产出比^[43]。伊风艳^[44]等的研究结果显示,浓硫酸浸种 25 min,扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)发芽率最高,浸种超过 30 min 后扁蓿豆幼苗生长缓慢,种子霉变率升高。6 种山蚂蝗(*Podocarpium podocarpum*)种子的胚根长度在浸种 15 min 时最长,随浸种时间增加,幼苗胚根长度降低^[45]。紫花苜蓿也存在相似的情况,随浸种时间延

长,其根、芽生长受抑制程度增大^[24]。在本研究中,经硫酸与热水浸种交互处理的种子,其胚轴与胚根的长度较未经硫酸浸泡组更长,说明这种组合的浸种方式有利于苦豆子胚的生长。98%硫酸浸种 30 min 时,望江南(*Cassia occidentalis*)的幼苗鲜重和地下生物量均为最高,40 及 80℃热水浸种也可显著促进其幼苗子叶的生长^[46],浓硫酸浸种 120 min 可使穗花牡荆(*Vitex agnus-castus*)幼苗更易突破种皮^[47]。60~70℃热水浸种对文冠果(*Xanthoceras sorbifolius*)幼苗株高和基茎生长具有促进作用,水温在 80℃以上时幼苗株高和基茎粗度有所下降^[48],热水浸种对 6 种山蚂蝗幼苗生长的研究中也出现了类似的结果,水温低于 70℃,对山蚂蝗幼苗的胚根生长无显著影响,但 80℃热水浸种会抑制其幼苗胚根的生长,对后续成苗建植造成不利影响^[45]。70℃水浸种野火球(*Trifolium lupinaster*)种子、20℃水浸种野豌豆(*Vicia sepium*)种子后进行扦插,繁殖效果最好;80℃水浸种 5 min 后蓝花棘豆(*Oxytropis caerulea*)的种子活力指数最高,铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)在浓硫酸浸种 20 min 时,在轻度干旱条件下建植效果最好^[49]。本研究结果显示,硫酸和热水浸种交互作用对苦豆子幼苗含水率有显著影响;经硫酸与热水组合浸种处理的幼苗鲜重、含水率和苗长均高于仅采取热水浸种的处理组,因此在苦豆子的广泛种植中可优先考虑使用硫酸与热水组合浸种的处理方式,提高建植效果。

4 结论

本研究证明硫酸与热水浸种交互作用对苦豆子种子萌发和幼苗含水率有显著影响,对胚轴、胚根、苗长、幼苗干重和鲜重无显著影响。综合考虑,使用 85%×CK_{温度}与 65%×80℃两种预处理方式,可对种子萌发和幼苗生长起到促进作用。本研究可为苦豆子种子萌发、幼苗建植的相关研究及生产实践提供科学依据。

参考文献:

- [1] 苏永霞,冯平,朝克图,等. 苦豆子种子营养成分及其急性毒性[J]. 西北农业学报,2021,30(5):681—688.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 40 卷)[M]. 北京:科学出版社,1994:80—81.
- [3] 张雨,苏丹丹,王亚男,等. 旱生植物苦豆子研究综述[J].

- 中国野生植物资源, 2021, 40(9): 55—58.
- [4] 王彦芹, 张宁, 李志军. 苦豆子种子萌发期及幼苗期对盐、旱耐受性的探索[J]. 分子植物育种, 2017, 15(3): 1090—1095.
- [5] 杨阳, 刘秉儒. 苦豆子植物特性及资源化利用研究进展[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(12): 4—9.
- [6] 尹长安, 李跃忠, 杜盐平, 等. 滩羊对苦豆子废渣的利用[J]. 中国养羊, 1994(3): 26—29.
- [7] 赵明, 段金彪, 张森, 等. 基于中药资源产业化过程副产物开发禽畜用药及饲料添加剂的策略与路径[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(18): 3628—3632.
- [8] 祖丽胡玛尔·赛买提, 艾克拜尔·伊拉洪, 艾则孜·艾沙. 秸秆腐熟剂对苦豆子沤肥氮、磷、钾含量及动态变化的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1865—1871.
- [9] Shoukat R F, Shakeel M, Rizvi S A H, *et al.* Larvicidal, Ovicidal, Synergistic, and Repellent Activities of *Sophora alopecuroides* and Its Dominant Constituents Against *Aedes albopictus* [J]. *Insects*, 2020, 11(4): 246.
- [10] Rizvi S A H, Xie F, Ling S Q, *et al.* Development and evaluation of emulsifiable concentrate formulation containing *Sophora alopecuroides* L. extract for the novel management of Asian citrus psyllid [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26 (21): 21871—21881.
- [11] Lotfalizadeh H, Hosseini F. Chalcidoid parasitoids (Hymenoptera) of *Etiella zinckenella* (Treitschke) (Lep.: Pyralidae) on *Sophora alopecuroides* L. in Iran [J]. *North—Western Journal of Zoology*, 2014, 10 (2): 251—258.
- [12] Luo D, Lin Q, Tan J L, *et al.* Water—soluble matrine—type alkaloids with potential anti—neuroinflammatory activities from the seeds of *Sophora alopecuroides* [J]. *Bio—organic Chemistry*, 2021, 116: 105337.
- [13] Luo D, Wu Z N, Zhang J H, *et al.* Sophaloseedlines A—G: Diverse matrine—based alkaloids from *Sophora alopecuroides* with potential anti—hepatitis B virus activities [J]. *Chinese Journal of Chemistry*, 2021, 39(9): 2555—2562.
- [14] Jaktaji R P, Mohammadi P. Effect of total alkaloid extract of local *Sophora alopecuroides* on MIC and intracellular accumulation of ciprofloxacin, and *acrA* expression in ciprofloxacin high resistance *Escherichia coli* clones [J]. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 2017, 12: 55—60.
- [15] 胡小文. 豆科植物种子休眠形成与破除机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [16] 陈晓丽, 郭玉海, 崔旭盛, 等. 硫酸处理对苦豆子种皮结构和发芽的影响[J]. 中国种业, 2011(8): 43—45.
- [17] 赵丽珍, 韩路. 水分与盐分对荒漠植物种子萌发的影响[J]. 塔里木大学学报, 2012, 24(3): 96—104.
- [18] Hu X W, Wang Y R, Wu Y P, *et al.* Role of the lens in physical dormancy in seeds of *Sophora alopecuroides* L. (Fabaceae) from north—west China [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2008, 59(6): 491—497.
- [19] 黄文娟, 张越, 梁继业, 等. 光—温耦合条件对 3 种豆科植物种子萌发特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(6): 234—237.
- [20] 郭何生, 姜岩, 柯金水. 农业大辞典[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 393.
- [21] 郑文寅, 姚大年, 张文明. 大豆种子活力评定指标的研究[J]. 种子, 2007, 26(12): 70—73.
- [22] 李艳芳, 刘琰璐, 张昭, 等. 引发剂对黄檗种子休眠解除作用的研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 209—216.
- [23] 孙慧, 程锐, 程宪伟, 等. 典型湿地植物在盐碱胁迫下的催芽方法研究[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(2): 367—375.
- [24] 赵满兴, 万娅妮, 王文强, 等. 浸种剂和浸种时间对紫花苜蓿种子发芽的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(36): 153—158.
- [25] 孙可蒙, 隋晓青, 王玉祥, 等. PEG 模拟干旱胁迫下 12 份新疆野生无芒雀麦种质萌发期抗旱性评价[J]. 草原与草坪, 2020, 40(6): 102—107+117.
- [26] 闫蒙, 韩肃磊, 包金连, 等. 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(4): 9—16.
- [27] 刘孝欣, 陈仕勇, 李世丹, 等. GA₃ 处理对耐寒燕麦品种种子萌发的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(4): 103—106+113.
- [28] 张泽华, 许静玉, 宋美妮, 等. NaCl 胁迫对甘肃省不同地区盐生草种子萌发特性的影响[J]. 2022, 42(5): 132—141.
- [29] 谭云飞, 王世清, 严福林, 等. 民族药大丁草种子萌发特性研究[J]. 北方园艺, 2019(5): 131—137.
- [30] 吕玉兰, 黄家雄, 刘倩. 热水和浓硫酸处理对 12 个野生豆科草种子萌发的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23

- (5):1669—1672.
- [31] 周玉雷,成启明,都帅,等. 不同处理方法对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 中国饲料,2020(14):16—23.
- [32] 陈海魁,任贤,贝盏临,等. 植物种子的硬实现象及其处理方法研究综述[J]. 甘肃农业,2008(2):80—81.
- [33] 张鹏,孙旭东,刘洋. 几种预处理措施对胡枝子种子萌发的影响[J]. 种子,2014,33(1):1—4.
- [34] 王宁,董莹莹,袁美丽,等. 温水浸种对杜仲种子萌发过程中保护酶活性及内源激素含量变化的影响[J]. 植物研究,2020,40(4):523—529.
- [35] 胡小文,武艳培,王彦荣,等. 豆科种子休眠破除方法初探[J]. 西北植物学报,2009,29(3):568—573.
- [36] 王念奎. 不同浸种方式对香樟种子活力的影响[J]. 林业勘察设计,2008(2):59—63.
- [37] Auld T D, O'Connell M A. Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae [J]. Austral Ecology, 1991, 16(1):53—70.
- [38] 胡小文,武艳培,王彦荣. 苦豆子种子休眠的形成及其解剖结构变化[J]. 西北植物学报,2009,29(1):16—21.
- [39] 陈乙实,娜丽克斯·外里,王树林,等. 不同处理方法对7种豆科植物种子休眠以及成苗特性的影响[J]. 草地学报,2017,25(4):823—831.
- [40] 刘镇,曾凡江,刘波,等. 不同供水量和种子处理对疏叶骆驼刺种子出苗的影响[J]. 草业学报,2010,19(6):93—99.
- [41] 柳旭,刘娟,刘倩,高娅妮,等. 种子预处理的作用机制研究进展[J]. 应用生态学报,2016,27(11):3727—3738.
- [42] 曲艳,李青丰. 四种豆科种子休眠及萌发特性的研究[J]. 草原与草业,2018,30(4):35—40.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 罗小燕,李欣勇,孙英男,等. 不同处理对山蚂蝗种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 热带农业科学,2017,37(11):16—21.
- [46] 张群珧,张倩,陈平等. 不同处理对望江南种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 仲恺农业工程学院学报,2018,31(4):15—19.
- [47] 马琳,王啸博,刘秀丽. 穗花牡荆的种实解剖结构及催芽技术研究[J]. 植物科学学报,2023,41(3):370—379.
- [48] 吴玉霞,王海峰,姜继元,等. 热水浸种对文冠果种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 经济林研究,2018,36(4):165—169.
- [49] 王黎梅. 呼和浩特市4种园林灌木种子萌发及幼苗建植研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.

Effects of different pretreatment on seed germination and seedling growth of *Sophora alopecuroides*

SHI Chao-yi¹, FANG Min², TU ya³, LIU Jian-kang⁴, ZHU Yuan-jun¹,
YANG Xiao-hui^{1*}

(1. Institute of desertification, Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. PowerChina Beijing Engineering Corporation Limited, Beijing 100024, China; 3. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 4. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: [Objective] *Sophora alopecuroides* is a kind of leguminous plant with characteristics of drought tolerance, saline-alkali tolerance and resistance against the erosion by wind and sand. It is a kind of quality plant resource

for conservation of water and soil. In this paper, the effects of two kinds of interactive treatment methods on seed germination and seedling growth of *S. alopecuroides* were studied, which provided scientific basis for the utilization of this plant resources. 【Method】 Using two common methods of breaking the dormancy of *S. alopecuroides* seeds by soaking in sulfuric acid and soaking in hot water, an interactive experiment was designed to calculate the germination rate, germination potential, germination index, vitality index, fresh weight, dry weight, water content and related indexes of seedling growth. 【Result】 In the 20 treatment combinations, the pretreatment methods of $65\% \times 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85\% \times 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ showed good performance in all indicators. Among the 20 treatments, $65\% \times 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ combined treatment group had the highest germination percentage, germination energy, germination index and vigor index. The $85\% \times 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ combined treatment group had the second highest effect. In terms of seed germination rate and seedling growth, compared with other treatments, the above two treatment groups had a shorter time delay and faster germination speed, and the seedling growth was better than other groups, and the difference was significant with the $0 \times 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ group. At the same time, this study also found that, grouped by sulfuric acid concentration, the overall trend was $85\% > 75\% > 65\% > 95\% > 0$, and the treatment effect of $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ warm water soaking for 20 min was better than that of other three warm water soaking temperatures. 【Conclusion】 $65\% \times 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $85\% \times 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pretreatments had better effects on seed germination and seedling growth of *S. alopecuroides*. This study can provide scientific basis for seed germination, seedling establishment and production practice of *S. alopecuroides*.

Key words: *Sophora alopecuroides* L.; seed pretreatments; sulfuric acid soaked; hot water soaked; seed germination