

干旱胁迫对破除硬实的苦马豆和披针叶黄华种子萌发影响

王 进^{1,2}, 张 勇^{2*}, 吕 彪^{1,2}, 陈广泉^{1,2}, 颜 霞²

(1. 河西学院 农学系, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室, 甘肃 张掖 734000)

摘 要:随胁迫的加剧, 2 种豆类种子的吸水速率和累计吸水率显著下降, 萌发起始天数推迟, 发芽率、发芽指数和活力指数显著下降, 萌发最低渗透势阈值分别为 10% (PEG6000) 和 20% (PEG6000); 2 种种子萌发于 48 h 累计吸水率的回归方程为: $y=4.881x^2-57.622x+162.71(R^2=0.8967)$, $y=-4.6667x^2+19.67+79.286(R^2=0.8829)$; 随模拟干旱的加剧, 幼苗高度、根长、次生根个数和鲜重受到抑制, 5% 的 PEG 可促进苦马豆根长、次生根的生长; 随胁迫的加剧, 幼苗干重、子叶养分转化率和幼苗饱和含水量降低, 幼苗根干重和根冠比先升高后降低; 吸胀的苦马豆受到干旱胁迫后复水不再萌发, 受到 20%~30% PEG 胁迫的披针叶黄华吸胀种子复水后萌发率随干旱胁迫的加剧而增加。

关键词: 苦马豆; 披针叶黄华; 发芽率; 吸水率; 干旱胁迫

中图分类号: S722.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2011)05-0082-05

Impacts of Drought Stress upon Broken Hard Seeds of *Swainsonia salsula* and *Thermopsis lanceolata*

WANG Jin^{1,2}, ZHANG Yong^{2*}, LV Biao^{1,2}, CHEN Guang-quan^{1,2}, YAN Xia²

(1. College of Agronomy, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu Univesities, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Impacts of drought stress upon broken hard seeds of *Swainsonia salsula* and *Thermopsis lanceolata* were investigated. With the increment of the intensity of drought stress, the rates of water absorption and accumulated rate of water absorption of the two seeds decreased significantly. The starting time of seed germination delayed. The germination rate, index of germination and vigor index declined greatly. The lowest germination osmotic potential threshold the two seeds were 20% (PEG6000) and 10% (PEG6000) respectively. Quadratic equation fitted by the germination rate of *T. lanceolata* seeds and 48 h accumulated absorbing water rate was $y=-4.6667x^2+19.67+79.286(R^2=0.8829)$, and that of *S. salsula* was $y=4.881x^2-57.622x+162.71(R^2=0.8967)$. Seedling height, root length, adventitious root amount and fresh weight of the two seeds were inhibited with the increment of drought stress. 5% PEG could promote the root length and adventitious root growth of *S. salsula*. Seedling dry weight, cotyledon nutrition convert rate and seedling saturated water content decreased with increment of drought stress. Seedling root dry weight and root/shoot ratio increased firstly, and then decreased. *S. salsula* seed under drought stress couldn't germinate after rewatering. Germination of *T. lanceolata* seed simulated with 20%—30% PEG after rewatering increased with increment of drought stress.

Key words: *Swainsonia salsula*; *Thermopsis lanceolata*; germination rate; absorbing water rate; drought stress

收稿日期: 2010-06-11 修回日期: 2010-10-11

基金项目: 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室项目(XZ0602); 河西学院硕士研究生导师科研项目(09002)。

作者简介: 王进, 男, 副教授, 主要从事种子生理抗逆性等方面的研究。

* 通讯作者: 张勇, 男, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事植物分类学研究。E-mail: zhangyong@hxy.edu.cn

苦马豆(*Swainsonia salsula*)是豆科苦马豆属多年生植物^[1],药用其根、茎、全草及种子,苦马豆性微苦、平,有补肾、利尿、消肿及固精之功效,主治肝硬化腹水、血管神经性水肿、慢性肝炎浮肿等症^[2-4]。一些黄酮类成分已从该植物的全草中分离得到,同时是苦马豆素(具有明显的抗肿瘤活性)的提取原料^[3-6]。披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)别名“牧马豆”,是豆科野决明属植物,广泛分布于内蒙古、甘肃、宁夏、青海等省区。牧马豆是有毒植物,可引起牲畜中毒,但也是药用植物,具有兴奋呼吸、抗辐射及祛痰止咳等功效。种子和全草可提取金雀花碱、黄华碱和臭豆碱等,该类生物碱多具有抗癌、抗心率失调、抗微生物等作用^[5-9],具有潜在的应用前景。对其药用资源的开发和绿肥及荒漠饲料作物的发展,迫切要求建立苦马豆、披针叶黄华的人工栽培技术。土壤干旱是影响种子吸胀及萌发的重要因素,本研究在PEG模拟干旱胁迫的条件下,探讨了通过硫酸破除硬实的荒漠植物种子萌发对干旱胁迫的响应,为进一步认识苦马豆和披针叶黄华种子萌发适应干旱的机制及人工种植提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2008年8月,在甘肃省张掖市大满镇沙漠边缘的田埂和荒地采集苦马豆种子500 g,披针叶黄华种子2 000 g,试验于2008年11月至2009年6月在河西学院种子检验实验室进行。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理 将干净的苦马豆和披针叶黄华种子在水中(25℃)浸泡24 h,获取硬实种子^[10],然后将苦马豆种子用90% H₂SO₄处理35 min,披针叶黄华种子用90% H₂SO₄处理120 min以破除硬实。

1.2.2 模拟干旱胁迫对种子吸水率影响测定 模拟干旱条件以5%、10%、15%、20%、25%、30%的PEG6000水溶液处理,其渗透势相当于-0.09、-0.24、-0.43、-0.66、-0.85、-1.20 MPa,以蒸馏水处理做对照,共7个处理,每处理重复2次,试验温度为25℃,吸水床用Φ7 cm培养皿,试验时各处理随机取处理好的苦马豆和披针叶黄华种子约5 g,放置于培养皿内,用适量处理液浸没种子后加盖。为减少蒸发和种子吸水引起培养皿内水势的改变,3 h更换1次溶液,试验时间为48 h,每3 h测定1次吸水量。测定时将培养皿内的种子全部取出,用滤纸吸去种子表面黏附的溶液,快速称重,并根据下式计算种子累计吸水率:种子累计吸水率/%=[(吸水后种子重量-吸水前种子重量)/(吸水前种子重

量-硬实种子重量)]×100^[10]

1.2.3 模拟干旱胁迫条件对种子萌发的影响测定

以5%、10%、15%、20%、25%、30%的PEG水溶液处理芽床,以蒸馏水处理芽床做对照,共7个处理。发芽试验用处理好的种子在人工气候箱内进行,采用25℃全光照Φ15 cm培养皿纸上(TP)发芽,每处理设4个重复,每重复50粒种子,发芽期间每天统计萌芽数,每2 d更换1次PEG水溶液处理的发芽床,以保持芽床水势恒定。记录种子起始萌发的天数,第10 d统计发芽率,计算萌发指数和活力指数。发芽率以最终达到的正常幼苗百分率计,按 $GI = \sum Gt / Dt$ 公式计算发芽指数,按 $GI \times S$ 计算活力指数,式中 GI 为萌发指数, Gt 为逐日发芽数, Dt 为相应的发芽天数, G 为发芽率, S 为幼苗鲜重^[10-13]。

1.2.4 模拟干旱胁迫条件对幼苗生长、物质分配及复水恢复率影响测定 将1.2.3第10天的正常幼苗每培养皿随机取30株测量苗高、根长、苗鲜重、芽干重、根干重、芽相对含水量、根相对含水量和根冠比;将没有萌发的种子清洗后用蒸馏水处理芽床做恢复发芽试验,第5天统计恢复发芽率。豆类种苗组织相对含水量的测定:采用饱和称重法,根冠比用根与重与芽干重的比表示。

1.3 统计分析

应用DPS软件程序统计分析试验数据,Duncan方法进行多重比较,Excel绘图。

2 结果与分析

2.1 种子累计吸水率对模拟干旱胁迫的响应

破除硬实的苦马豆和披针叶黄华种子累计吸水率随模拟干旱胁迫的加剧呈显著降低趋势,在各种水势下,从图1、图2可以看出,苦马豆和披针叶黄华吸水速度很快,苦马豆种子在CK、5%的PEG处理下、27 h达到最大吸水率,分别为223.61%、208.64%,在10%、15%、20%、25%、30%的PEG处理下30 h达到最大吸水率,分别为194.44%、185.96%、174.51%、163.25%、154.98%;披针叶黄华种子在CK、5%、10%、15%、20%、25%、30%的PEG处理下45 h达到最大吸水率,分别为164.07%、153.87%、137.55%、128.19%、123.25%、118.40%、112.75%。

2.2 种子萌发对模拟干旱胁迫的响应

随着干旱的加剧,2种豆类种子萌发起始天数推迟,发芽率下降,萌发速度减慢,发芽时活力水平降低。由表1可见,在试验设置的干旱条件下,苦马豆种子在CK、5%的PEG6000处理下,第1天开始萌发,发芽率显著高于其他处理,在10%处理下,第2天开始萌发,在15%~30%的处理下种子不萌发;

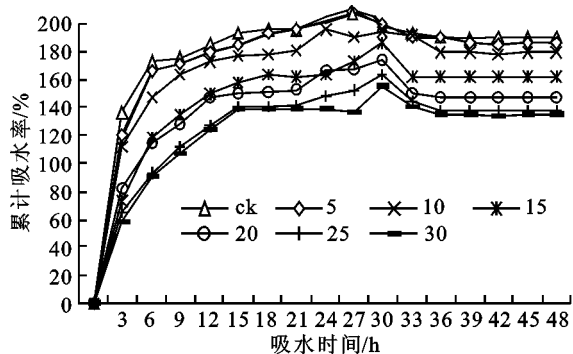


图 1 苦马豆种子累计吸水率对不同模拟干旱胁迫的响应
Fig. 1 Response of accumulated absorbing water of *S. salsula* seeds to different levels of draught stress

披针叶黄华种子在 CK 处理下,第 1 天开始萌发,在 5%~10% 处理下,第 2 天开始萌发,CK、5%、10% 的处理发芽率无差异且显著高于其他处理,在 20% 处理下,第 4 天开始萌发,25%~30% 的处理不萌发;随着干旱的加剧和水势的降低,2 种豆类种子萌发指数和活力指数显著减低,在 CK,5% 的水势下,2 种豆类发芽率无差异,在 10%~20% 水势下,披针叶黄华种子发芽率、萌发指数和活力指数显著高于苦马

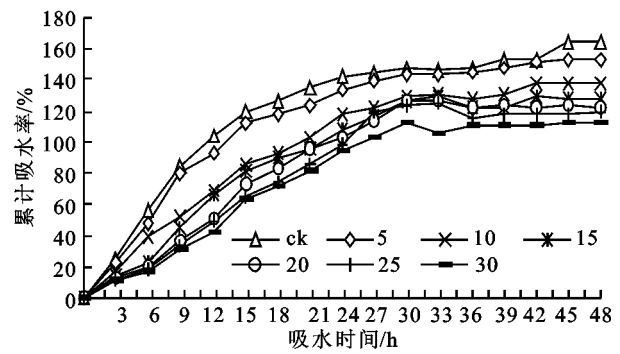


图 2 披针黄华种子累计吸水率对不同模拟干旱胁迫的响应
Fig. 2 Response of accumulated absorbing water of *T. lanceolata* seeds to different levels of draught stress

豆种子,苦马豆和披针叶黄华种子萌发的最低渗透势阈值分别为 10%(PEG6000)和 20%(PEG6000),苦马豆种子萌发对水势的变化反应敏感,披针叶黄华种子萌发对水势的变化反应较迟钝。从发芽起始天数、发芽率萌发指数、活力指数等指标来看,披针叶黄华明显的比苦马豆耐旱,当水势小于 15%(PEG6000)的处理时,苦马豆完全不能萌发,而披针叶黄华在 20% 处理时仍能萌发且萌发率达到了 80.7%。

表 1 苦马豆和披针叶黄华种子萌发对模拟干旱胁迫的响应

Table 1 Responses of *S. salsula* and *T. lanceolata* seed germination to different levels of drought stress

处理/ %	萌发起始天数		发芽率/%		萌发指数		活力指数	
	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华
CK	1	1	96.7±2.31Aa	97.3±1.15Aa	93.±2.73Aa	73.8±2.14Aa	5.5±0.21Aa	8.79±0.86Aa
5	1	2	97.3±1.15Aa	95.3±2.31ABab	87.±3.21Bb	34.2±2.03Bb	5.04±0.26Bb	3.83±0.17Bb
10	2	2	25.3±5.03Bb	93.3±1.15ABbc	5.3±0.81Cc	30.3±1.36Cc	0.15±0.02Cc	2.8±0.44BCc
15	—	3	0±0Cc	91.3±4.16Bc	0±0Dd	23.8±1.71Dd	0±0Cc	1.98±0.35Cd
20	—	4	0±0Cc	80.7±2.31Cd	0±0Dd	13.06±0.78Ee	0±0Cc	0.90±0.13De
25	—	—	0±0Cc	0±0De	0±0Dd	0±0Ff	0±0Cc	0±0Df
30	—	—	0±0Cc	0±0De	0±0Dd	0±0Ff	0±0Cc	0±0Df

注:同列中不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著,不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,(表 2、表 3 相同)。

2.3 2 种豆类种子发芽率与 48 h 累计吸水率的关系

由图 1、图 2 数据结合表 1 进行发芽率于累计吸水率回归分析结果表明,模拟干旱胁迫条件下,2 种豆类种子发芽率于 48 h 累计吸水率均呈显著正相关($P<0.05$),种子开始萌发的吸水率小于最大累计吸水率,2 种豆类种子发芽率于累计吸水率的相关趋势及回归方程见图 3。

2.4 干旱胁迫对 2 种硬实豆类幼苗生长的影响

从幼苗生长情况来看, H_2SO_4 处理的苦马豆硬实种子在蒸馏水处理下萌发,幼苗鲜绿,子叶平展,心叶可见但不展开; 5% PEG 处理下,子叶平展,心叶小但可见,幼苗鲜绿; 10% PEG 处理下,萌发的幼苗 50%

初生根缺失,60% 幼苗种皮紧裹子叶,40% 幼苗种皮脱离子叶呈锐角展开。 H_2SO_4 处理的披针叶黄华硬实种子在蒸馏水处理下萌发,幼苗生长健壮、鲜绿,子叶大而平展或呈大钝角展开,心叶抽出但未展开; 5% PEG 处理下,幼苗生长健壮、鲜绿,子叶肥厚呈锐角展开,心叶小但可见; 10% PEG 处理下,幼苗鲜绿,种皮全部脱离子叶,但子叶厚,呈小锐角微展,心叶不可见; 15%~20% PEG 处理下,种皮紧裹子叶,幼苗生长较小。由表 2 可见,随模拟干旱胁迫的加剧,披针叶黄华幼苗的苗高、根长、次生根个数和幼苗鲜重降低; 5% PEG 处理,促进了的苦马豆苗高、根长、次生根个数的增加,10% 的 PEG 处理显著下降。

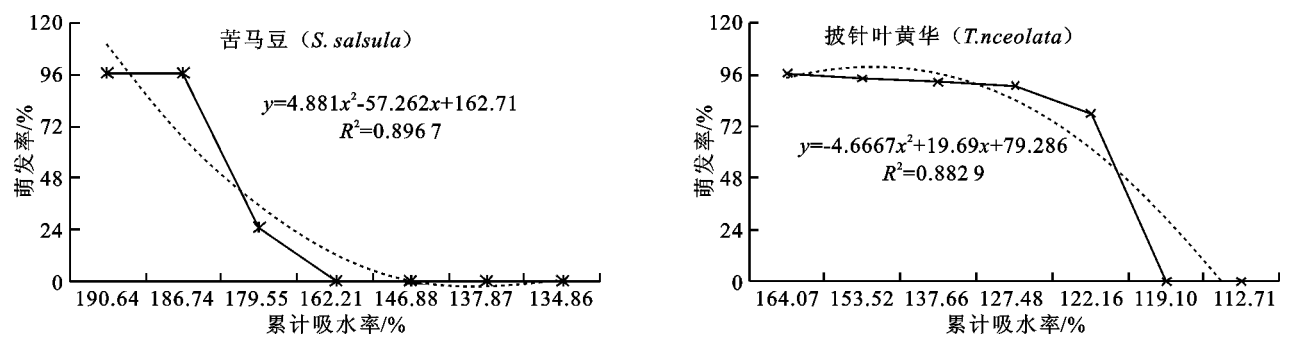


图 3 2 种豆类种子发芽率与 48 h 累计吸水率的关系

Fig. 3 Relationship of two types of seed germination rate and accumulated absorbing water rate with in 48 h

表 2 苦马豆和披针叶黄华幼苗生长对模拟干旱胁迫的响应

Table 2 Responses of *S. salsula* and *T. lanceolata* seedling growth to different levels of drought stress

处理/ %	苗高/cm		根长/cm		次生根个数		幼苗鲜重/g	
	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华
CK	3.09±0.05Aa	2.89±0.18Aa	3.44±0.18Aa	2.32±0.12Aa	1.8±0.40Bb	3.47±0.55Aa	0.59±0.04Aa	1.19±0.20Aa
5	2.39±0.12Bb	2.65±0.20ABa	3.66±0.41Aa	1.97±0.19Ab	2.23±0.21Aa	3.12±0.43Aa	0.58±0.04Aa	1.12±0.11Aa
10	1.39±0.12Cc	2.32±0.06Bb	0.68±0.38Bb	1.92±0.21Ab	0±0Cc	3.08±0.42Aa	0.33±0.02Bb	0.95±0.12Bb
15	0±0Dd	1.825±0.21Cc	0±0Cc	1.33±0.26Bc	0±0Cc	0.78±0.02Bb	0±0.00Cc	0.83±0.12Bc
20	0±0Dd	1.183±0.12Dd	0±0Cc	0.912±0.19Cd	0±0Cc	0.1±0.1Bc	0±0Cc	0.66±0.07Cd
25	0±0Dd	0±0Ee	0±0Cc	0±0De	0±0Cc	0±0Bc	0±0Cc	0±0De
30	0±0Dd	0±0Ee	0±0Cc	0±0De	0±0Cc	0±0Bc	0±0. Cc	0±0De

2.5 模拟干旱胁迫对 2 种豆类幼苗饱和含水量、恢复率和物质分配的影响

由表 3 可见,随模拟干旱胁迫的加剧,幼苗的干重增加,子叶养分转化率降低,幼苗饱和含水量降低,在 5% 的模拟干旱胁迫胁迫下,苦马豆幼苗根干重和根冠比增加,之后随模拟干旱胁迫的加剧幼苗

根干重和根冠比降低,披针叶黄华在 5%~10% 模拟干旱胁迫下幼苗根干重和根冠比增加,之后降低;吸胀的苦马豆受到干旱胁迫后复水不再萌发,受到 20%~30% PEG 胁迫的披针叶黄华吸胀种子复水后萌发率随干旱胁迫的加剧而增加。

表 3 模拟干旱胁迫对 2 种豆类物质分配、幼苗饱和含水量和恢复率的影响

Table 3 Impacts of simulated drought stress upon the matter distribution of two been seeds, seeding saturated water content and recovery rate

处理/ %	饱和含水量/%		恢复率/%		苗干重/(g·10 株 ⁻¹)		根干重/(g·10 株 ⁻¹)		根冠比	
	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华	苦马豆	披针叶黄华
CK	92.69±1.55Aa	91.02±0.73Aa	0±0Aa	0±0Cc	0.038 3±0.006 8Bb	0.096 9±0.003 5Cc	0.006 3±0.000 8Bb	0.015 9±0.001 3ABbc	0.165 2±0.019 4Bb	0.164 4±0.007 2Aa
	88.23±1.3Bb	89.62±1.22Aa	0±0Aa	0±0Cc	0.055 1±0.002 3Aa	0.100 8±0.009 6Cc	0.013 7±0.001 7Aa	0.019 6±0.005 9ABab	0.277 1±0.027 1Aa	0.197 0±0.048 6Aa
5	81.94±4.3Cc	86.11±0.86Aa	0±0Aa	0±0Cc	0.056 6±0.005Aa	0.115 1±0.014 2Cc	0.002 7±0.000 6Cc	0.021 8±0.002 8Aa	0.069 7±0.015 3Cc	0.189 7±0.006 3Aa
	0±0Dd	77.79±4.8Bb	0±0Aa	0±0Cc	0±0Cc	0.180 2±0.027Bb	0±0Dd	0.013 8±0.000 5BCc	0±0Dd	0.076 8±0.013 5Bb
10	0±0Dd	72.14±9.27Bc	0±0Aa	80±2Bb	0±0Cc	0.217 8±0.014Aa	0±0Dd	0.009 3±0.001 5Cd	0±0Dd	0.042 7±0.009 3BCc
	0±0Dd	0±0Cd	0±0Aa	89±1.55Aa	0±0Cc	0±0Dd	0±0Dd	0±0De	0±0Dd	0±0Cd
20	0±0Dd	0±0Cd	0±0Aa	89±1.55Aa	0±0Cc	0±0Dd	0±0Dd	0±0De	0±0Dd	0±0Cd
	0±0Dd	0±0Cd	0±0Aa	89±1.55Aa	0±0Cc	0±0Dd	0±0Dd	0±0De	0±0Dd	0±0Cd

3 结论与讨论

不同类型的豆类,在吸胀和萌发时对水分的要求不同,萌发时吸水速度不同,一般认为抗旱类型的植物种子吸水速度快,而敏感类型的种子吸水速度慢^[14-15]。苦马豆和披针叶黄华吸水速度都很快,说明

它们都属于抗旱类型的植物,但两者相比较披针叶黄华比苦马豆更加抗旱。披针叶黄华种子萌发对水分更敏感,在低的水势下,影响种子吸胀和吸水率。

在不同渗透势下,豆类种子萌发起始天数和发芽率、发芽指数和活力指数受到的影响不同,在 2 个豆类中,苦马豆受到的影响大,在水势低于 10%,种

子不再萌发,披针叶黄华在水势低于 20% 时,种子不再萌发,说明披针叶黄华种子萌发比苦马豆抗旱,同时因苦马豆种子吸胀干旱胁迫后复水不再萌发,在进行人工栽培驯化过程中,一定要保持较高的水势,使其充足吸胀后发芽成苗。

在水分胁迫下,发芽种子通常会调节地上与地下器官比例,使其有限的营养物质和水分优先满足根部生长,在 PEG 渗透胁迫下,苗高比根长生长受胁迫影响更大。2 种豆类的苗高和幼苗生长量随干旱胁迫的加强而降低。从根长来看,披针叶黄华根长随干旱加剧根长减小,而苦马豆种子在 5% PEG 胁迫下,根长增加,以后随干旱的加剧而根长降低,这说明苦马豆种子萌发对干旱有特殊适应机制,通过增加根的生长来缓解轻度干旱对其萌发幼苗的危害。

苦马豆和披针叶黄华种子吸胀萌发对水势的特殊要求及干旱胁迫后复水萌发特性决定了披针叶黄华适合较广泛的干旱环境繁衍,苦马豆适合在水势较高的环境中萌发,受胁迫后的苦马豆种子不再萌发。这一特性对苦马豆种群的自然扩繁很不利,这也是苦马豆种群易被演替的原因。

随着干旱的加剧,苗干重增加,根干重在轻度胁迫下增加,重度胁迫下降低,根冠比随胁迫的加剧先升后降,这表明豆类种子萌发过程中对于外界干旱环境能够首先采取增加胚根/胚芽比来适应(这与甘草等作物研究^[14-17]相一致)。但胁迫时间长或干旱很严重时,种子萌发受到抑制甚至不能成苗。因此播种时,一方面考虑墒情,使种子顺利萌发,同时幼苗生长时考虑适当干旱炼苗,提高幼苗根冠比,促进幼苗健壮生长。在干旱渗透胁迫下,幼苗组织含水量降低,这有利于细胞维持较低水势而吸水。

参考文献:

- [1] 陈默君,贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:634-637.
- [2] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草(第 4 卷)[M]. 上海:上海科学技术出版社,1999: 660-663.
- [3] MA Z J, MENG D L, LI X, *et al.* Study on the chemical constituents from the roots and stems of *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC. [J] Plant Cell, 2003, 20(2):1042-1061. (in Chinese)
- [4] 姚荣成. 苦马豆的研究进展[J]. 药学实践杂志, 2003, 21(1): 43-44.
YAO R C. Advances in studies on *Phaerophysa salula* [J]. The Journal of Pharmaceutical Practice, 2003, 21, 43-44. (in Chinese)
- [5] 邹林,杨鸣琦. 苦马豆素抗肿瘤作用研究进展[J]. 动物医学进展, 2006, 27(4): 36-38.
ZOU L, YANG M Q. Progress on anti-tumor activity of swainsonine[J]. Progress in Veterinary Medicine with English Abstract, 2006, 27(4): 36-38. (in Chinese).
- [6] 马忠俊,孟大利,王玉霞,等. 苦马豆根和茎中化学成分的研究[J]. 沈阳药科大学学报, 2003, 20(2): 104-106.
MA Z J, MENG D L, WANG Y X, *et al.* Study on the chemical constituents from the roots and stems of *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC [J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2003, 20(2) 104-106. (in Chinese)
- [7] 吴旭锦,杨鸣琦,白春黎,等. 苦马豆素的来源及分离鉴定方法[J]. 动物医学进展, 2005, 26(5): 41-44.
WU X J, YANG M Q, BAI C L, *et al.* Progress in the method for swainsonine source and separating method[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2005, 26(5), 41-44 (in Chinese)
- [8] 赵宝玉,阮娜,何生虎,等. 牧马豆中生物碱的提取分离及鉴定[J]. 动物医学进展 2003, 23(4): 86-91.
ZHAO B Y, RUAN N, HE S H, *et al.* The extraction, isolation and identification of alkaloids from *Thermopsis lanceolata* [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2003(4): 86-91. (in Chinese)
- [9] 李勇,晁向阳,张永康. 披针叶黄华的研究进展[J]. 农业科学研究, 2007(1): 46-52.
LI Y, YAO X Y, ZHANG Y K. Research progress of *Thermopsis lanceolata* [J]. Journal of Agriculture Sciences, 2007 (1): 46-52. (in Chinese)
- [10] 尹燕桦,董学会. 种子学实验技术[M]. 北京:中国农业出版社, 1997: 87-96.
- [11] 张晓曼,孙晓光,杜绍华,等. 四季报春种子萌芽生物学特性研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 85-87.
ZHANG X M, SUN X G, DU S H, *et al.* Biological characteristics of seeds germination in *Primul aobconica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(5): 85-87. (in Chinese)
- [12] 颜启传. 种子检验原理与技术[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2001: 50-80.
- [13] 国际种子检验协会. 种苗评定与种子活力测定方法手册[S]. 徐本美,译. 北京:北京农业大学出版社, 1993: 53-56.
- [14] 廖彦军,王彦荣,萨仁,等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 953-956.
ZENG Y J, WANG Y R, SA R, *et al.* Response of seed germination of three xeromorphic shrubs to drought stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(8): 953-956. (in Chinese)
- [15] 刘长利,王文全,魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀萌发的影响[J]. 中草药, 2004, 12(35): 1403-1405.
LIU C L, WANG W Q, WEI S L. Influence of drought stress on imbibition germ ination of *Glycyrrhiza uralensis* seed[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2004, 12(35): 1403-1405. (in Chinese)
- [16] 廖彦军,王彦荣,庄光辉,等. 红砂和霸王种子萌发对干旱与播深条件的响应[J]. 生态学报, 2008(8): 1629-1634.
ZENG Y J, WANG Y R, ZHUANG G H, *et al.* Seed germination responses of *Reaumuria soongorica* and *Zygophyll um xanthoxylum* to drought stress and sowing depth[J]. Chinese Journal of Applied Cology, 2002(8): 1629-1634. (in Chinese)
- [17] 张香凝,孙向阳,王保平,等. *Larrea tridentata* 种子发芽对水分胁迫的响应[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 36-38.
ZHANG X N, SUN X Y, WANG B P, *et al.* Response of *Larrea tridentata* seed germination to water stress[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(2): 36-38. (in Chinese)