

干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子萌发及幼苗生长的影响

陈叶^{1,2}, 闫芳^{1,2}, 马银山^{1,2}, 罗光宏^{2,3}

(1. 河西学院 农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃省河西走廊特色
资源利用省级重点实验室, 甘肃 张掖 734000; 3. 甘肃省微藻开发中心, 甘肃 张掖 734000)

摘要: [目的] 研究干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子萌发及幼苗生长的影响, 为野生种驯化和种群恢复提供参考。[方法] 以窄叶鲜卑花种子为实验材料, 采用不同浓度聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫环境, 研究干旱胁迫强度对窄叶鲜卑花种子的吸水速率、发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数和种子抗旱萌发指数及幼苗生长情况的影响。[结果] 随着干旱胁迫程度的加剧, 窄叶鲜卑花种子的吸水过程表现出急速吸水期、缓慢上升期和吸水平稳期 3 个阶段; 其发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数和种子抗旱萌发指数及苗高、根长, 苗重与胁迫强度均呈负相关; 当 PEG 浓度达 30% 时, 种子萌发完全被抑制。另一方面, 种子群体萌动、萌发和出苗达 50% 所需时间随胁迫强度的增加而越发延迟, 且各阶段对环境临界水势要求不同, 出苗阶段最为严格, 表明种子出苗过程对环境水分胁迫较为敏感, 耐旱能力较弱。[结论] 干旱胁迫显著抑制了窄叶鲜卑花种子的萌发和幼苗生长, 也说明水分是窄叶鲜卑花种子萌发和幼苗形成的主导因素之一, 在较干旱地区种植需要考虑水分的供给。

关键词: 窄叶鲜卑花; 干旱胁迫; 种子萌发; 聚乙二醇

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)06-0029-06

中图分类号: Q945.78, Q945.34

文献参数: 陈叶, 闫芳, 马银山, 等. 干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 29-34. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.005. Chen Ye, Yan Fang, Ma Yinshan, et al. Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Sibiraea angustata* [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 29-34.

Effects of Drought Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Sibiraea Angustata*

CHEN Ye^{1,2}, YAN Fang^{1,2}, MA Yinshan^{1,2}, LUO Guanghong^{2,3}

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Key Provincial Laboratory of Universities in Gansu Province for Characteristic Resources Utility in Hexi

Corridor, Zhangye, Gansu 734000, China; 3. Kaiyuan Bio-tech Development Center, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: [Objective] The effects of drought stress on the seed germination and seedling growth of *Sibiraea angustata* was investigated in order to provide reference for wild species domestication and population recovery. [Methods] To study the swelling rate, germination percentage, germination potential, germination index, vigor index, seed drought germination index and seedling growth in *Sibiraea angustata* under different concentrations of polyethylene glycol (PEG-6000) treatments. [Results] With the intensification of the stress level, the absorption process of the seeds of narrow leaves *Sibiraea angustata* showed three stages: rapid water absorption period, slow rising period and water absorption period, and the germination rate, germination potential, germination index, vigor index and seed drought-resistance germination index, seedling height and root length, and the seedling weight were negatively correlated with the stress intensity. When the polyethylene glycol concentration reached 30%, the germination of seed was inhibited completely. On the other hand, seed germination and emergence, and 50% of the time delay were decreased with the increase of stress intensity. Among them, the most stringent stage is emergence stage, seed emergence process of environmental was more sensitive, and drought

收稿日期: 2018-06-12

修回日期: 2018-07-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“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)

第一作者: 陈叶(1965—), 男(汉族), 甘肃省高台县人, 本科, 高级实验师, 研究方向为资源的开发利用。E-mail: 13993682567@163.com。

通讯作者: 马银山(1973—), 男(汉族), 甘肃省临泽县人, 硕士, 主要从事草地生态学与湿地生态学研究。E-mail: mys54072@sohu.com。

capability is weak. [Conclusion] Drought stress significantly inhibited the seed germination and seedling growth, it also suggested that water is one of the dominant factor for the formation of seed germination and seedling growth. Therefore, planting *Sibiraea angustata* in the arid areas requires consideration of water supply.

Keywords: *Sibiraea angustata*; drought stress; seed germination; polyethylene glycol

植物从种子萌发到幼苗生长是其生活史中最敏感的时期,极易受到外界环境各种因子的影响^[1]。干旱胁迫会推迟种子的萌发或降低发芽力,因此,它是种子萌发过程中的一个主要的限制性因素^[2]。种子萌发对干旱胁迫的响应反映了其适应局部环境的生态机制^[3]。窄叶鲜卑花(*Sibiraea angustata*)为蔷薇科灌木,生于山坡灌木丛、山谷、砂石滩上,分布于甘肃,青海,四川,西藏藏族自治区等地,是青藏高原的特有种,尤以北纬 31°以北和 34°以南区域最为集中^[4]。其树形美观,叶色翠绿,具有良好的观赏和生态价值。窄叶鲜卑花以叶和果穗药用^[5-6]。目前,关于窄叶鲜卑花的研究多集中于化学成分测定^[6-7],药理作用^[6-8],但干旱胁迫对其种子萌发特性未见报道。本研究在祁连山区调查发现,窄叶鲜卑花虽结实量大,但在分布区常呈零星分布,成片分布较少,且实生苗密度小,植被再生能力较差,种群更新慢。目前,祁连山国家级自然保护区因生态问题突出,政府出台了系列整治措施,严禁滥采乱伐,而藏区牧民常采集其枝叶和果穗用于消除腹胀,用养矛盾突显。为使这一民族药用资源永续利用,在浅山区开展驯化栽培和种群恢复意义深远。为此,本实验以窄叶鲜卑花种子为材料,采用不同 PEG-6000 水溶液模拟干旱胁迫环境来研究窄叶鲜卑花种子的萌发特性,揭示窄叶鲜卑花种子萌发特性,为野生种驯化和种群恢复提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试材料 窄叶鲜卑花蒴果于 2016 年 10 月采自祁连山区,经度 101°15', 纬度 38°26'; 海拔 2 902.23 m。蒴果风干后脱粒、清选,得 95 g 种子。选择籽粒饱满、色泽正常的种子,用 75% 酒精消毒 10 s,捞出后再用蒸馏水反复清洗种子,沥去水分待用。

1.1.2 供试药剂 PEG-6000,购自天津市致远化学试剂有限公司。模拟干旱环境条件设 0, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% 聚乙二醇(PEG)水溶液处理,用渗透仪测定渗透势分别为:0, -0.05, -0.14, -0.28, -0.45, -0.69, -0.99 MPa。

1.2 方法

1.2.1 吸水实验 取 12 cm×12 cm×5 cm 的发芽盒,放入不同浓度 PEG 溶液润湿发芽纸,再选取处理后的窄叶鲜卑花种子 100 粒点播在发芽纸上,每个处

理重复 4 次,置于 25 °C 的恒温箱内培养。为减少蒸发和种子吸水引起培养皿内发芽纸水势的改变,3 h 更换 1 次发芽纸和溶液。每 3 h 测定 1 次吸水量,48 h 后结束吸水实验。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,并根据公式计算种子吸胀速率:

$$W_z = (W_T - W_0) / W_0 \times 100\%$$

式中: W_z ——种子重量的增加率; W_T, W_0 ——种子吸水后、前的重量^[9]。

1.2.2 PEG 对种子萌发和幼苗生长的实验 设 0, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% 聚乙二醇(PEG)水溶液处理,以蒸馏水处理作对照(CK),共 7 个处理,用标准发芽实验方法,每个处理点播 100 粒种子,重复 4 次,在 25±1 °C 下进行发芽实验,待种子萌动后,置于 25±1 °C、光照/黑暗为 14/10 h 的条件下培养。发芽期间每天定时补水。从种子开始吸水始计时,将幼苗萌发可分为萌动、萌发、出苗 3 个阶段^[10],因其种子很小,其标准定为:50% 的种子露白达 0.3 cm 为萌动;50% 的种子子叶突破种皮,种苗长为 0.3 cm 为萌发;50% 的种子子叶完全展开,种苗长为 0.7 cm 为出苗。

1.3 种子发芽指标测定

从播种的第 2 天开始,每天记录种子发芽情况,以胚根长度达种子长度相等为发芽标准,以连续 3 d 无种子萌发视为萌发结束。测定种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、平均发芽时间、萌发抗旱指数。

$$\text{发芽指数}(G_I): G_I = \sum G_t / D_t$$

式中: G_t ——逐日萌发数; D_t ——相应发芽的天数。

$$\text{活力指数}(V_I): V_I = G_I \cdot S$$

式中: G_I ——发芽指数; S ——幼苗的长度。

$$\text{平均发芽时间(MGT)}: \text{MGT} = \sum(G_t \cdot D_t) / \sum G_t$$

式中: G_t ——第 t 天发芽的种子数; D_t ——自播种后的第几天。

$$\text{萌发抗旱指数(GDRI)}: \text{GDRI} = \text{PI}_S / \text{PI}_C$$

式中: PI_S ——水分胁迫下种子萌发指数; PI_C ——对照种子萌发指数;其中, $\text{PI} = 1.00\text{nd}_2 + 0.75\text{nd}_4 + 0.50\text{nd}_6 + 0.25\text{nd}_8$; $\text{nd}_2, \text{nd}_4, \text{nd}_6, \text{nd}_8$ ——第 2, 4, 6, 8 d 的种子萌发率;1.00, 0.75, 0.50, 0.25——相应萌发天数的抗旱系数^[11]。

1.4 幼苗生长指标的测定

将上述培养 14 d 的幼苗每培养皿随机数取 30 株,测定根长、苗长、称取苗鲜重、干重。

1.5 数据处理

数据应用计算机 DPS 程序统计分析实验数据, Duncan 方法进行多重比较, Graphpad prism 5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子吸胀速率的影响

由图 1 可以看出,窄叶鲜卑花种子吸水过程表现出先升后降,其过程呈现 3 个阶段,即急速吸水期、缓慢上升期和吸水平稳期。置床后 15 h 内为急剧吸水期,吸水率由 0 上升 38%~70.19%;置床后 15~36 h 后为稳定吸水期,吸水率从 38%~70.19% 上升到 50%~89.15%;置床后 36 h 后为吸水平稳期,吸水率维持在 46%~89.15% 波动。在不同处理中,种子在 CK, 5%, 10% PEG 处理下 36 h 达最大吸水率,分别为 89.15%, 78.82%, 75.49%;在 15%, 20%, 25% PEG 处理下, 39 h 达到最大吸水率,分别为 76.22%, 76.21%, 67.81%;在 30% PEG 溶液处理下, 48 h 达到最大吸水率,为 46.78%, 各处理的吸胀速率均低于对照。总体而言,随 PEG 浓度的增加,吸胀速率表现出先急升,再缓慢上升,后平稳的趋势。

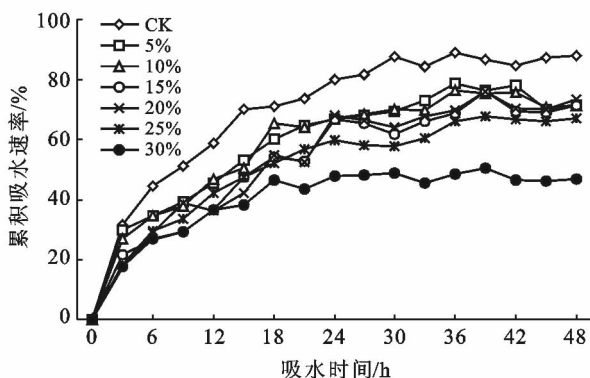


图 1 PEG 渗透胁迫下窄叶鲜卑花种子在 25 °C 下的累积吸水率

2.2 干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子萌芽的影响

由表 1 可以看出,PEG 浓度从 5% 增加到 25%

时,发芽率由对照的 94% 分别下降到 86.00%, 62.67%, 45.33%, 30.67%, 20.27%; PEG 浓度达 30% 时,种子芽率为 0,种子完全被抑制,与对照相比,各处理均达到极显著水平 ($p < 0.01$),表明窄叶鲜卑花种子的发芽率随 PEG 浓度的升高而呈明显的下降趋势。由表 1 看出,随着胁迫程度的加剧,发芽势呈下降趋势。在 5% 处理下,发芽势比对照下降 19.21%;在 10% 处理下,发芽势比对照下降 26.66%;在 15% 处理下,发芽势下降更快,比对照下降了 64%;各处理与对照相比,差异均达到极显著水平 ($p < 0.01$),15% 与 25% 处理相比差异不显著 ($p > 0.05$)。说明随着胁迫的加剧,种子发芽的高峰期明显滞后。从表 1 看出,随着胁迫程度的加剧,种子的发芽指数和活力指数与胁迫程度呈负相关。从 5%~25% 与对照相比,发芽指数分别下降了 20.34%, 40.50%, 76.10%, 86.75% 和 89.53%,且处理间差异达极显著水平 ($p < 0.01$)。从 5%~25% 与对照相比,活力指数分别下降了 42.90%, 65.10%, 87.93%, 93.3% 和 64.86%,且差异达极显著 ($p < 0.01$)。浓度为 30% 时,种子完全被抑制。窄叶鲜卑花种子在 0, 5% 及 10% PEG 浓度处理下(表 1),第 3 d 开始萌发;在 15% PEG 处理下,第 5 d 开始萌发;在 20% 及 25% PEG 处理下,第 6 d 开始萌发,而 30% PEG 处理一直未见萌发。说明随着胁迫强度增加,种子萌发时间明显滞后,种子萌发受抑制程度加重,在高强度处理下,种子萌发受到较大程度的抑制。平均发芽日数常用来表示发芽速率。日数越小,表示发芽速度越快。由表 1 可以看出,随 PEG 浓度的升高,各处理的平均发芽日数逐渐升高。PEG 浓度为 5%, 10% 时,与对照相比差异不显著,说明低浓度 PEG 对窄叶鲜卑花的发芽速率影响很小;当 PEG 浓度在 15% 以上时,与对照间差异达极显著水平 ($p < 0.01$)。说明高浓度 PEG 抑制了种子的萌发速率。总体来看,PEG 在低浓度时对初始发芽时间和平均发芽日数影响较小,但对发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数影响较大。

表 1 PEG 处理对窄叶鲜卑花种子发芽的影响

处理	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	初始发芽时间/d	平均发芽日数/d
CK	94.00 ± 0.0200 ^{aA}	65.33 ± 0.0306 ^{aA}	10.4363 ± 0.0205 ^{aA}	64.4963 ± 0.0649 ^{aA}	3	5.56 ± 0.8906 ^{aA}
5%	86.00 ± 0.0200 ^{bB}	46.12 ± 0.0200 ^{bB}	8.3136 ± 0.5545 ^{bB}	36.8292 ± 0.0723 ^{bB}	3	5.60 ± 0.1162 ^{aA}
10%	62.67 ± 0.0306 ^{cC}	38.67 ± 0.0231 ^{cC}	6.2099 ± 0.1936 ^{cC}	22.5419 ± 0.0090 ^{cC}	3	5.66 ± 0.2959 ^{aA}
15%	45.33 ± 0.0306 ^{dD}	1.33 ± 0.0115 ^{dD}	2.4949 ± 0.2135 ^{dD}	7.7840 ± 0.0148 ^{dD}	5	9.72 ± 0.3668 ^{bB}
20%	30.67 ± 0.0306 ^{eE}	0.67 ± 0.0115 ^{dD}	1.3829 ± 0.0214 ^{eE}	4.3008 ± 0.0083 ^{eE}	5	9.78 ± 1.4698 ^{bB}
25%	20.67 ± 0.0306 ^{fF}	0.00 ± 0.0000 ^{eE}	1.0923 ± 0.0968 ^{eE}	3.3096 ± 0.0055 ^{fF}	6	9.94 ± 0.9592 ^{bB}
30%	0	—	—	—	—	—

注:不同大小写字母表示差异在 0.01, 0.05 水平显著性。下同。

2.3 干旱胁迫对窄叶鲜卑花幼苗生长的影响

由表 2 可以看出,随着 PEG 浓度的增加,窄叶鲜卑花根长、苗长呈下降趋势。PEG 浓度从 5% 增加到 25% 时,与对照相比,根长分别下降 22.1%, 51.9%, 64.5%, 72.6% 和 78.6%, 苗长分别下降 28.3%, 41.3%, 49.5%, 49.6% 和 50.9%, 各处理与对照相比差异达极显著水平 ($p < 0.01$)。说明干旱胁迫程度与根长、苗长呈负相关,且从下降程度看,对根长的影响大于苗长。由表 2 可以看出,窄叶鲜卑花幼苗鲜重和干重都随着 PEG 梯度的增加呈逐渐降低的趋势。PEG 浓度为 5% 时,与对照相比,株鲜重下降 6.32%, 差异达

极显著水平 ($p < 0.01$); 而干重下降 5.55%, 与对照相比差异不显著 ($p > 0.05$)。当浓度为 10% 时,鲜重下降 20.0%; 干重下降 22.22%, 与对照相比差异达极显著水平 ($p < 0.01$)。表明轻度干旱,对干重影响较小,对鲜重影响较大。总体而言,干旱胁迫使窄叶鲜卑花幼苗的生物量积累明显下降,对鲜重的影响大于干重。实验中还发现在蒸馏水处理下,幼苗生长健壮,心叶顺利抽出,种皮脱离子叶; 5% PEG 处理下,幼苗生长健壮,心叶抽出,85% 的种皮完全脱离子叶; 10% PEG 处理下,心叶小,50% 种皮脱离子叶; 15%~25% PEG 处理下,幼苗弱小,萌发种子的种皮粘连子叶。

表 2 PEG 处理对窄叶鲜卑花幼苗生长的影响

处理	根长/mm	苗长/mm	鲜重(mg/株)	干重(mg/株)
0(CK)	13.87±1.7129 ^{aA}	6.18±0.9692 ^{aA}	0.95±0.3512 ^{aA}	0.18±0.1528 ^{aA}
5%	10.80±1.6274 ^{bB}	4.43±0.9353 ^{bB}	0.89±0.2000 ^{bB}	0.17±0.0577 ^{aA}
10%	6.67±0.9942 ^{cC}	3.63±0.855 ^{cC}	0.76±0.2000 ^{cC}	0.14±0.0577 ^{bB}
15%	4.93±0.7397 ^{dD}	3.12±0.6149 ^{dCD}	0.63±0.4359 ^{dD}	0.13±0.1732 ^{bB}
20%	3.80±0.6103 ^{eE}	3.11±0.6477 ^{dCD}	0.43±0.1528 ^{eE}	0.07±0.0577 ^{cC}
25%	2.97±0.5561 ^{fF}	3.03±0.7589 ^{dD}	0.30±0.1528 ^{fF}	0.05±0.0577 ^{dD}
30%	—	—	—	—

2.4 干旱胁迫对窄叶鲜卑花种子抗旱萌发指数的影响

种子萌发抗旱指数是评价种子萌发期抗旱性的可靠指标。从图 2 可以看出,随 PEG 浓度增加,窄叶鲜卑花种子的萌发抗旱指数呈下降趋势。PEG 浓度在 0~10% 时,萌发抗旱指数呈直线式的下降; 在 10%~15% 之间,则呈断崖式下降,由 0.633 7 下降到 0.076 6, PEG 浓度在 15% 以上时,变化趋势趋于平缓,抗旱指数在 0~0.076 6 之间,浓度为 30% 时,萌芽被完全抑制,经回归分析,得回归方程为: $y = 0.9273 - 3.7022x$ ($r = 0.9271$)。说明 PEG 胁迫处理对种子萌发的延缓作用突出。

2.5 干旱胁迫下,种子萌动、萌发和出苗各阶段的需水阈值研究

采用 Scott^[12]的方法,在正常供水条件下,种子群体萌动、萌发和出苗达 50% 所需时间分别为 53.33,

97.33 和 154.33 h, 经 0~30% PEG 胁迫处理后,需要的时间比 CK 延长了 6.26~579.43%, 11.31~336.51% 和 12.60~308.27% (表 3)。

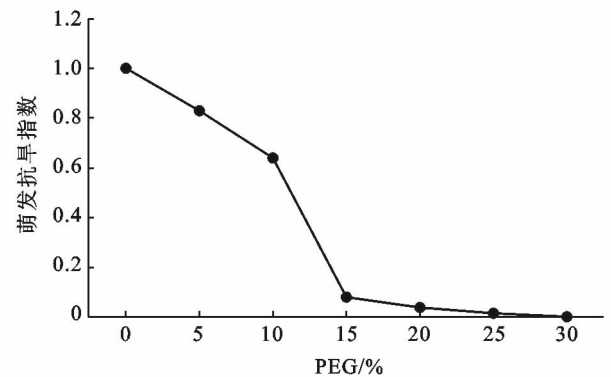


图 2 不同浓度 PEG 处理对窄叶鲜卑花种子萌发抗旱指数的影响

表 3 水分胁迫条件下种子群体吸水时间与萌动、萌发和出苗百分率的关系

环境水势/ MPa	50% 萌动		50% 萌发		50% 出苗	
	时间/h	+CK%	时间/h	+CK%	时间/h	+CK%
0	53.33	0	97.33	0	154.33	0
-0.05	56.67	6.26	108.33	11.31	173.67	12.60
-0.14	72.33	35.63	153.00	57.20	289.00	120.35
-0.28	123.00	130.64	217.00	143.50	453.67	195.08
-0.45	209.00	291.90	353.67	294.19	527.33	308.27
-0.69	362.34	579.43	424.86	336.51	—	—

注: +CK% = (处理达各个阶段所需时间 - 对照达到相应阶段所需时间) ÷ 对照达到相应阶段所需时间 × 100%。

经拟合方程后,种子群体萌动、萌发和出苗达 50% 的环境临界水势分别为 -0.7154 , -0.5904 和 -0.5619 MPa(表 4)。由此表明种子在萌发过程中,对水分的需求呈增加趋势,即对干旱的反应程度在加大,其中出苗阶段对水分的要求最高。

表 4 种子萌动、萌发、出苗时间与环境水势的关系及各阶段临界水势

阶段	拟合方程	相关系数 r	临界水势
萌动	$1/t=0.0176+0.0246w$	0.961	-0.7154
萌发	$1/t=0.0098+0.0166w$	0.978	-0.5904
出苗	$1/t=0.0059+0.0105w$	0.924	-0.5619

注: w 为水势。

3 讨论

水分是影响农林业生产最主要的因素,干旱不仅制约植物的生长与产量,也会引起植物空间结构与功能的变化,对植物的伤害在所有非生物逆境胁迫中占首位^[13]。而在种子萌发期的植物更容易受到水分胁迫等不利因素的影响,故死亡率较高,所以,种子的萌发特性以及幼苗阶段的生长常被用于评价植物的抗逆性^[14]。

不同的植物种子,在吸胀和萌发时对水势的要求不同,萌发期间吸水的速度也不同。本实验结果表明,随 PEG 浓度的增加,窄叶鲜卑花种子吸胀速率表现出先急升后平稳的趋势,吸胀速率可划分为 3 个阶段,15 h 内为急速吸水期,15~36 h 为缓慢上升期,36 h 后为吸水平稳期。种子在 CK, 5%, 10% PEG 处理下 36 h 达最大吸水率,在 15%, 20%, 25% PEG 处理下,39 h 达到最大吸水率,在 30% PEG 溶液处理下,48 h 达到最大吸水率,各处理的吸胀速率均低于对照,说明种子在较高水势下快速吸水,在低水势下缓慢吸水。由此也说明窄叶鲜卑花种子萌发对干旱有特殊的适应策略,水势较高时,种子加速吸水,促进萌发,在低水势下,种子通过贮藏物控制水分,延缓或阻止种子萌发,种子的萌发对水势有较强的依赖性,这可能是窄叶鲜卑花在干旱胁迫环境中繁育的主要途径之一。因此,种植时必须保证较高的水势,满足种子吸胀生理,保证良好的田间出苗率。

水分是植物生长和植被分布重要的制约因素,也是种子萌发的关键生态因子。徐建新等^[15]的研究认为,轻度干旱胁迫,对种子的萌发有促进作用,胁迫强度增加,抑制作用增强。本研究表明,干旱胁迫推迟了种子萌发的高峰期,导致种子发芽率、发芽势、活力指数、发芽指数和种子抗旱萌发指数均与 PEG 浓度

呈负相关,且对发芽势的影响重于发芽率。这一结论与徐建新等的研究结果有差异,而与喻泽莉等^[16]和郝楠等^[17]的研究结果一致。说明窄叶鲜卑花种子的萌发对水势的要求较高,在较高水势的环境中,种子采取了“顺应”策略,而逆境时,种子采取“躲避”的策略。实验也发现,随着胁迫的加剧,发芽高峰期明显滞后,且发芽势比发芽率敏感,这与孙霞等^[18]在木蓝上的研究一致,说明随干旱强度的增加,导致种子内部伤害严重,抑制了活性酶和激素代谢的变化。

关于幼苗生长对干旱胁迫的响应,王进^[9]认为,干旱对苦豆子(*Sophora alopecuroides*)根长和苗高有抑制作用,但对幼苗根干重有促进作用;而杨旭东^[19]通过向日葵(*Helianthus annuus*)实验认为,幼苗根长、苗长、鲜重、干重随 PEG 浓度的增加均呈下降趋势。本实验研究结果与杨旭东的研究相近,在苗干重上与王进的研究结论不同,这可能与种子特性及生境有关。由此说明,随着胁迫加剧,导致幼苗生长缓慢,不利于幼苗的生物量积累。从干旱对根长的影响大于苗长的结果看,说明幼苗对干旱有特殊适应机制,主要是通过控制地下部分来缓解轻度干旱对其幼苗的伤害。

吸水是种子萌发的先决条件,充足的水分供应是种子吸胀萌发的保证。本实验结果表明,在水分充足的条件下,种子 3 d 就开始发芽,但随胁迫的加重,种子的发芽初始时间明显推迟 2~3 d(或更多),平均发芽日数延长 1~5 d。说明种子萌发是通过渗透调节来适应干旱生境,PEG 浓度越高越不利于窄叶鲜卑花种子的吸水和萌芽,也说明了窄叶鲜卑花虽株种子量巨大,呈明显的“种子雨”特征,且在适宜条件下芽率达 94%,但种子萌发表现出典型的“机会主义”倾向,部分种子虽萌发,但种子瘦小,若供给不足,常又自生自灭,这较好地解释了窄叶鲜卑花分布区常呈零星分布,实生苗稀少,而湿度大、降水多的阴坡却呈片状分布的特点。

4 结论

随着胁迫程度的加剧,窄叶鲜卑花种子的吸水过程表现出急速吸水期、缓慢上升期和吸水平稳期 3 个阶段;其发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数和种子抗旱萌发指数及苗高、根长,苗重与胁迫强度均呈负相关关系。当 PEG 浓度达 30% 时,种子萌发完全被抑制。种子群体萌动、萌发和出苗达 50% 的环境临界水势分别为 -0.7154 , -0.5904 和 -0.5619 MPa。由此说明,干旱胁迫显著抑制了窄叶鲜卑花种子的萌

发和幼苗生长,也说明水分是窄叶鲜卑花种子萌发和幼苗形成的主导因素之一,在较干旱地区种植需要考虑水分的供给。

[参 考 文 献]

- [1] Omami E N, Haigh A M, Medd R W, et al. Changes in germinability, dormancy and viability of *Amaranthus retroflexus* as affected by depth and duration of burial [J]. *Weed Research*, 1999, 39(5): 345-354.
- [2] Hardegree S P, Emmerich W E. Effect of polyethylene glycol exclusion on the water potential of solution-saturated filter paper [J]. *Plant Physiology*, 1990, 92(2): 462-466.
- [3] 赵晓英,任继周,王彦荣,等. 3种锦鸡儿种子萌发对温度和湿度的响应[J]. *西北植物学报*, 2005, 25(2): 211-217.
- [4] 吴宁. 川西北窄叶鲜卑花灌丛的类型和生物量及其与环境因子的关系[J]. *植物学报*, 1998, 40(9): 860-870.
- [5] 陶婷婷, 濂井康雄, 王天志, 等. 窄叶鲜卑花的化学成分[J]. *中国天然药物*, 2006, 4(4): 257-259.
- [6] 姚莉, 鞠洋. 窄叶鲜卑花促消化作用的实验研究[J]. *中国中西医结合消化杂志*, 2009, 17(6): 376-378.
- [7] 卫阳飞. 柳茶对四氧嘧啶糖尿病小鼠降糖作用和对高脂血症大鼠游离脂肪酸影响的实验研究[D]. 甘肃 兰州: 兰州大学, 2012.
- [8] 谢勇辉, 俞颂华, 余银芳, 等. 窄叶鲜卑花的化学成分及药理活性研究进展[J]. *江西中医学院学报*, 2014, 26(5): 97-100.
- [9] 王进, 罗光宏, 颜霞, 等. 干旱胁迫对苦豆子种子吸胀萌发和幼苗生长的影响[J]. *中草药*, 2011, 42(9): 1807-1811.
- [10] 李文娆, 张岁岐, 山仑. 水分胁迫下紫花苜蓿和高粱种子萌发特性及幼苗耐旱性[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 556-563.
- [11] 何学青, 呼天明, 许岳飞, 等. PEG-6000 模拟水分胁迫对柳稷种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *草地学报*, 2014, 22(3): 1007-0435.
- [12] Scott S J, Jones R A, Williams W A. Review of data-analysis methods for seed germination [J]. *Crop Science*, 1984, 24(6): 1192-1199.
- [13] 岳勇丽. 干旱胁迫在不同品种杨梅苗期生长和生理生化特性[D]. 福建 福州: 福建农林大学, 2012.
- [14] 杨景宁, 王彦荣. PEG 模拟干旱胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. *草业学报*, 2012, 21(6): 23-29.
- [15] 徐建新, 杨洁, 吴景, 等. 聚乙二醇模拟干旱对新疆橡胶草种子萌发与幼苗生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(5): 96-100.
- [16] 喻泽莉, 何平, 张春平, 等. 干旱胁迫对决明种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2012, 34(2): 39-44.
- [17] 郝楠, 李月明, 吴玉群, 等. 玉米种子萌芽期抗旱性的初步筛选[J]. *辽宁农业科学*, 2010(5): 40-42.
- [18] 孙霞. 聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫对干旱河谷 5 种木蓝种子萌发的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2010, 16(3): 317-322.
- [19] 杨旭东. PEG 模拟干旱胁迫对向日葵种子种子活力影响的研究[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [14] 郑军, 阎长虹, 夏文俊, 等. 干湿循环对新型固化土承载强度影响的试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2009, 28(S1): 3051-3056.
- [15] 程佳明, 王银梅, 苗世超, 等. 固化黄土的干湿循环特性研究[J]. *工程地质学报*, 2014, 22(2): 226-232.
- [16] 苏涛, 张兴昌. EN-1 对砒砂岩固化土坡面径流水动力学特征的影响[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(11): 68-75.
- [17] 梁止水, 吴智仁, 杨才千, 等. 基于 W-OH 的砒砂岩抗蚀促生机理研究[J]. *水利学报*, 2016, 47(9): 1160-1166.
- [18] 梁止水, 吴智仁, 杨才千, 等. 砒砂岩固结体防水抗蚀及紫外耐久性能研究[J]. *人民黄河*, 2016, 38(6): 46-48.
- [19] 梁止水, 杨才千, 吴智仁. W-OH 与砒砂岩固结体力学性能研究[J]. *人民黄河*, 2016, 38(6): 30-34.
- [20] Goh G S, Rahardjo H, Choon L E. Shear strength equations for unsaturated soil under drying and wetting [J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2010, 136(4): 594-606.
- [21] American Society for Testing and Materials. Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures [M]. West Conshohocken: ASTM, USA, ASTM D, 2004: 559-03.
- [22] 杨同, 徐川, 王宝学, 等. 岩土三轴试验中的黏聚力与内摩擦角[J]. *中国矿业*, 2007, 16(12): 104-107.
- [23] 何利军, 孔令伟. 土的应力—应变关系的一种描述模式[J]. *工程地质学报*, 2010, 18(6): 900-905.

(上接第 28 页)