

PEG 渗透胁迫下藏沙蒿种质资源萌发特性及抗旱性评价

王绮玉¹, 刘欢^{1*}, 仁增旺堆^{2**}, 王敬龙², 罗建民¹, 黄颖¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 西藏自治区农牧科学院草业科学研究所, 西藏 拉萨 850000)

摘要:【目的】评价藏沙蒿野生种质材料萌发期抗旱性。【方法】以采自西藏地区不同生境的13份藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)种质材料为研究对象, 设置聚乙二醇(PEG-6000)浓度梯度分别为0、-0.20、-0.40、-0.60和-0.86 MPa共5个渗透胁迫处理, 研究PEG-6000渗透胁迫对藏沙蒿材料萌发特性的影响, 并采用主成分分析和隶属函数两种方法对其抗旱性进行综合评价。【结果】PEG渗透胁迫降低了藏沙蒿种子的相对发芽势、相对发芽率、相对活力指数和萌发胁迫指数。藏沙蒿在受到干旱胁迫时通过推迟发芽时间、抑制芽长和促进根长来应对干旱胁迫。通过主成分分析, 筛选出相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对活力指数和萌发胁迫指数5个抗旱性指标。【结论】主成分分析和隶属函数法综合评价认为, 抗旱性较强的种质材料为5、11和4号, 抗旱性较弱的为13号材料。

关键词:藏沙蒿; PEG渗透胁迫; 主成分分析; 隶属函数法

中图分类号:S548 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)02-0215-11

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.02.023



我国是荒漠化最严重的国家之一, 根据第五次全国荒漠化和沙化监测结果显示, 全国荒漠化土地总面积26 115.93万 hm^2 , 主要集中分布在新疆、内蒙古、西藏、甘肃、青海5省^[1]。西藏是我国3大荒漠化地区之一, 沙化土地面积2 158.36万 km^2 , 占全区总面积的17.90%^[2]。荒漠化不仅给西藏人民的生产、生活造成严重危害, 而且对青藏高原生态环境也产生了负面影响。

藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)为菊科(Compositae)

蒿属(*Artemisia*)半灌木状草本, 是西藏特有植物种, 主要呈点状或片状分布在西藏藏北和藏西北海拔3 581~4 691 m的河滩、草坡和流石滩^[3]。此外, 藏沙蒿作为西藏乡土沙生植物种, 在群落中为建群种或者优势种, 资源量丰富, 根系发达, 在退化草地修复中, 能够达到快速固沙、增加植被盖度的作用。藏沙蒿作为先锋植物种, 在高寒干旱生境胁迫条件下的生态适应性强的优势逐渐显现, 有利于后期持久稳定的植物群落的构建, 潜在应用价值巨大^[4]。

荒漠化治理的关键是植被恢复, 植被恢复能否成功的关键是种子能否萌发, 但这一过程受到众多因素影响, 其中水分是关键因素^[5]。因此, 研究不同生境藏沙蒿的抗旱性并筛选优质抗旱材料对荒漠地区植被恢复重建具有重要意义。前人对藏沙蒿的研究主要集中在藏沙蒿的资源调查^[3]、营养成分分析^[6]等方面, 而藏沙蒿作为乡土植物种, 能够适应西藏高寒干旱的生态环境, 关于其抗旱性的研究却鲜有报道。基于

收稿日期:2022-04-07; 修回日期:2022-04-26

基金项目:西藏自治区重点研发及转化计划—西藏藏沙蒿和大籽蒿资源评价与应用技术研究(XZ201902 NB01); 甘肃省自然科学基金(21JR7RA824)

作者简介:王绮玉(1994-), 女, 甘肃会宁人, 硕士研究生。

E-mail:2199559164@qq.com

*通信作者。E-mail:liuhuan@gsau.edu.cn;

**通信作者。E-mail:13989036500@163.com

此,本研究利用不同浓度的聚乙二醇(PEG-6000,以下简称PEG)溶液模拟干旱胁迫条件,研究西藏地区不同生境下13份藏沙蒿种质材料的萌发特性,初步筛选出抗旱能力较强的藏沙蒿种质材料,以期为西藏地区荒漠化退化草地植被恢复中藏沙蒿抗旱种质材料的选择提供理论参考。

表1 藏沙蒿种质资源
Table 1 The germplasm resources of *Artemisia wellbyi*

种质编号	采集地	经度	纬度	海拔/m	生境
1	日喀则市康马县嘎啦乡	89°23' E	29°15' N	4 490	河谷沙地
2	山南市朗县	93°0' E	29°30' N	3 070	河滩
3	山南市朗县	92°48' E	29°3' N	3 131	河谷地带
4	山南市桑日县	92°5' E	29°17' N	3 535	河谷地带
5	山南市乃东区	91°50' E	29°17' N	3 555	河滩
6	山南市贡嘎县杰德秀镇	91°4' E	29°17' N	3 569	河滩
7	山南市扎囊县朗赛林乡	91°31' E	29°15' N	3 577	流石滩
8	日喀则市仁布县联乡	89°41' E	29°21' N	3 799	河谷沙地
9	日喀则市桑孜珠区年木乡	89°29' E	29°19' N	3 806	沙丘地
10	拉孜县 彭措林乡	88°18' E	29°12' N	3 948	流石滩
11	萨迦县 吉定镇	88°18' E	29. 12' N	3 957	河谷沙地
12	昂仁县多白乡	86°58' E	29°19' N	4 490	流石滩
13	昂仁县南玛村	87°21' E	29°12' N	4 585	流石滩

1.2 试验设计

1.2.1 预试验 为了确定PEG模拟干旱胁迫的渗透势范围,从供试的13份藏沙蒿种质材料中随机选取6份藏沙蒿种质材料,于RXZ系列人工气候箱中进行预试验。参照 Michel & Kaufmann^[7]有关PEG浓度与其渗透势的关系,分别设置渗透势为-0.2、-0.4、-0.6、-0.86、-1.2和-1.5 MPa的PEG溶液和CK(对照,蒸馏水)共7个处理,每个处理3次重复。结果表明:当PEG溶液渗透势为-1.2和-1.5 MPa时,6份供试藏沙蒿种质材料发芽指标均为0,最终选定PEG渗透胁迫浓度为0、-0.2、-0.4、-0.6和-0.86 MPa。

1.2.2 试验方法 发芽试验参照《国际种子检验规程》^[8]。挑选籽粒饱满,大小均匀的藏沙蒿种子,用10%的NaClO溶液消毒处理3 min,蒸馏水冲洗3次,用滤纸吸干种子表面的水分,整齐排放在铺有双层定性滤纸的12 cm的方形发芽盒中,发芽盒和滤纸提前在超净工作台灭菌30 min,发芽床采用培养皿纸上(TP)法。3次重复,每个重复50粒,并对应加入等量

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试的藏沙蒿种质材料共13份(表1),由西藏自治区农牧科学院研究所协助采集藏沙蒿成熟种子,室温保存在甘肃农业大学草业学院实验室。

(7 mL)的PEG溶液,对照加入等量(7 mL)的蒸馏水,称重,置于RXZ系列人工气候箱,12 h光照/12 h黑暗,光照强度2 000 lx,湿度66%,25℃恒温萌发。发芽期间每天定时统计发芽数(种子出现种胚即视为萌发)^[9]。3个重复中有1粒种子萌发记为发芽的起始日期,观察并记录第1粒种子发芽需要的天数,每2天更换1次滤纸及滤液,并用称重法检查补充蒸馏水以维持溶液渗透势恒定,持续观察种子萌发,直到第15天发芽结束。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 种子发芽指标和生长指标的测定 种子萌发起始天数:记录各种质材料在不同PEG浓度下的起始发芽天数;

发芽势(%)=第7天发芽种子数/供试种子数×100%;

发芽率(%)=第21天发芽种子数/供试种子数×100%;

发芽指数GI= $\sum(DG/DT)$,DG为逐日发芽数,DT为相应DG的发芽天数;

活力指数(VI) = GI × 芽长

根长和芽长:发芽试验结束时,每皿随机选取 10 株进行测量。将幼苗放置于吸水纸上,直尺(0.01 cm)测定,发芽数不足 10 株的全部都测量,取其平均值。

为了消除材料之间的差异,种子发芽势、发芽率、活力指数、幼苗根长和芽长采用相对值。

相对值(%) = 胁迫处理下的值/对照值 × 100%^[10]。

1.3.2 种子萌发特性的测定 萌发胁迫指数(GSI) = 处理种子发芽指数/对照种子发芽指数^[11-12]。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理,SPSS 19.0 软件进行方差分析。抗旱性综合评价采用主成分分析(PCA)和隶属函数法。其中,隶属函数值计算公式:

$$X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$X(\mu) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

表 2 不同 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子起始发芽天数(d)的影响

Table 2 Effects of different PEG osmotic stress on the initial germination day (d) of *Artemisia wellbyi* seeds

种质编号	第 1 粒种子萌发时间(d)				
	CK	-0.20 MPa	-0.40 MPa	-0.60 MP	-0.860 MPa
1	2	2	4	6	7
2	3	4	5	8	9
3	2	3	6	8	8
4	2	3	4	9	9
5	2	3	4	8	9
6	2	2	5	8	9
7	2	3	3	7	7
8	2	3	4	7	8
9	3	3	4	8	7
10	2	3	4	7	7
11	2	3	4	6	7
12	2	3	3	6	7
13	2	2	4	7	7

2.1.2 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子发芽的影响 胁迫处理下各指标相对值能够更清晰表明不同种质的抗旱性强弱,一般相对值越大,变化幅度越小,处理受到渗透胁迫的影响越小,抗旱性越强^[15]。从相对发芽势看(图 1),13 份藏沙蒿材料的平均相对发芽势为 46.92%。随着 PEG 溶液渗透势的降低,相对发芽势均出现了不同程度的降低。-0.86 Mpa 渗透胁迫下,

式中: X 为藏沙蒿种质材料某一指标的测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为测定值的最大值及最小值。测定指标与抗性指标呈正相关采用(1)式,负相关采用(2)式^[13-14]。将各指标的隶属函数值累加,求得平均隶属函数值,平均值越大,抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子发芽和幼苗生长的影响

2.1.1 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子起始发芽天数的影响 不施加 PEG,13 份藏沙蒿种子在第 2~3 天开始萌发。施加 PEG 胁迫后,随着 PEG 溶液渗透势的降低,对藏沙蒿种子萌发延迟的作用愈加明显。PEG 渗透胁迫对 1、7、9、10、11、12 和 13 号种质材料的延迟作用较小,和 CK 相比,这些种质在较高渗透势(-0.20 MPa)和较低渗透势(-0.86 MPa)下发芽起始时间相差 4~5 d,延迟作用较小;而 2、3、4、5、6 和 8 号种质材料的萌发较 CK 推后 6~7 d,延迟明显(表 2)。

1、10 和 11 号材料降低的幅度较其他材料小,2 号材料在 -0.86 MPa 渗透势下为 87.51%,降幅最大,而 1 号材料在 -0.86 MPa 下为 29.07%,降幅最小;从相对发芽率看(图 2),13 份藏沙蒿材料的平均相对发芽率为 57.05%。-0.20 MPa 渗透胁迫对 5、6、8 和 11 号材料发芽率的影响最小,其相对发芽率都大于 100%,表现为较低程度的渗透胁迫促进种子萌发。在

—0.86 MPa 渗透胁迫下,相对发芽率降至 5.33%~35.85%,以 1 号相对发芽率最高,为 35.85%;从相对活力指数来看(图 3),随着干旱程度的增大,各藏沙蒿种质材料的相对活力指数总体呈现出下降趋势。PEG 渗透胁迫后,藏沙蒿幼苗的相对活力指数在

4.84%~27.34%。—0.20 MPa 渗透胁迫下,7 号材料相对活力指数远高于其他材料,为 91.36%,5、3 和 11 号材料次之。4、7 和 11 号材料相对活力指数下降幅度较小,较其他材料表现出较强的抗旱性。

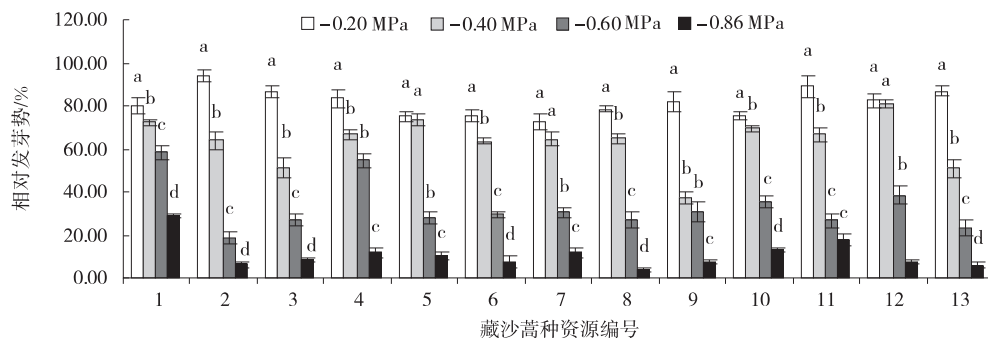


图 1 不同浓度 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子相对发芽势的影响

Fig. 1 Effects of osmotic stress with different concentrations of PEG on relative germination potential of *Artemisia wellbyi* seeds

注:图中不同小写字母表示同一种质不同 PEG 浓度处理下差异显著($P < 0.05$),下同。

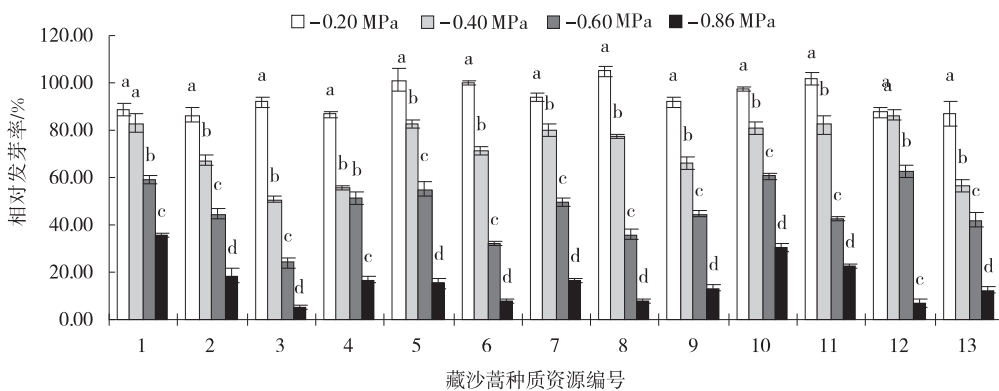


图 2 不同浓度 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子相对发芽率的影响

Fig. 2 Effects of osmotic stress with different concentrations of PEG on relative germination percentage of *Artemisia wellbyi* seeds

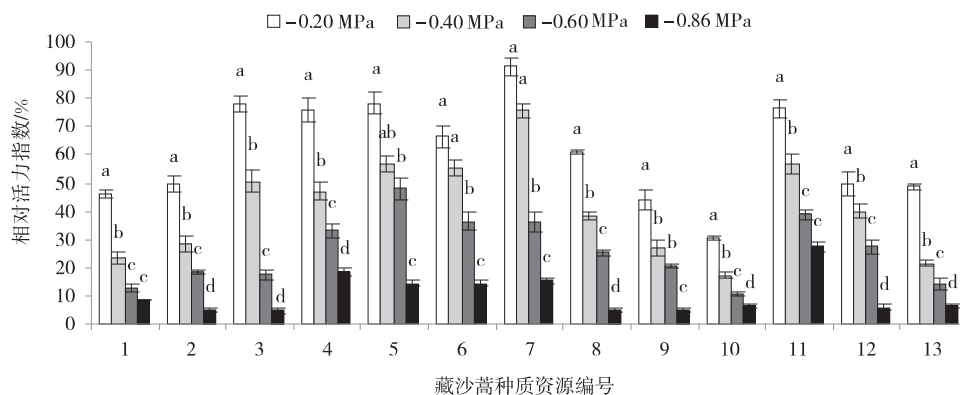


图 3 不同浓度 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子相对活力的影响

Fig. 3 Effects of osmotic stress with different concentrations of PEG on relative vigor of *Artemisia wellbyi* seeds

2.1.3 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿幼苗生长的影响 一定渗透势 PEG 有促进藏沙蒿幼苗根生长的作用(图 4)。—0.20 MPa 渗透胁迫对藏沙蒿幼苗根长均表现

为促进作用。—0.40 MPa 下,藏沙蒿幼苗的根长除 7 和 13 号材料外其他种质材料相对根长均大于 100%,表现为促进根的生长。当 PEG 溶液渗透势为—0.60

MPa,对根长的作用因种质不同各异,2、5、6和8号材料表现为促进作用,其他种质材料的根长较CK均呈现不同程度的降低。当渗透势降至 -0.86 MPa时,根长下降明显,和CK差异显著($P<0.05$)。不同PEG渗透胁迫对藏沙蒿幼苗的芽长表现为抑制作用(11号

材料除外)。 -0.20 和 -0.40 MPa渗透胁迫下,11号材料相对芽长大于100%,表现为促进芽的生长(图5)。不同生境的藏沙蒿种质对PEG渗透胁迫的耐受程度和响应有所不同。

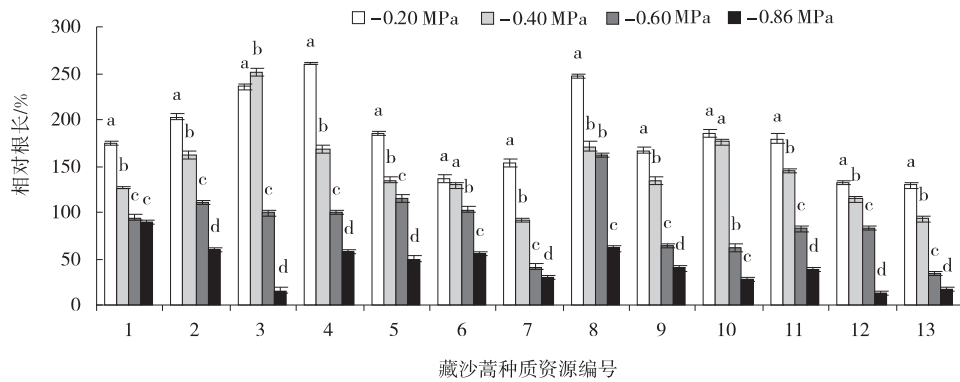


图4 不同浓度PEG渗透胁迫对藏沙蒿种子相对根长的影响

Fig. 4 Effects of osmotic stress with different concentrations of PEG on relative root length of *Artemisia wellbyi* seeds

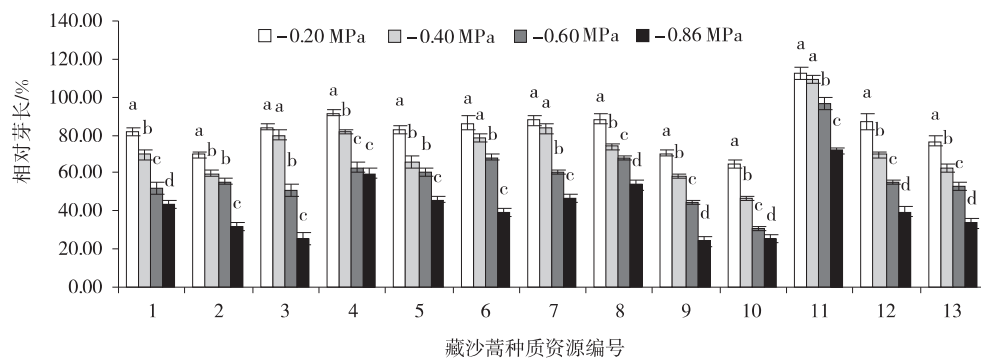


图5 不同浓度PEG渗透胁迫对藏沙蒿种子相对芽长的影响

Fig. 5 Effects of osmotic stress with different concentrations of PEG on relative bud length of *Artemisia wellbyi* seeds

2.2 PEG渗透胁迫对藏沙蒿种子萌发特性的影响

萌发胁迫指数是衡量植物种子发芽能力的重要指标^[16],反应种子的萌发速度和整齐度^[17]。13份藏沙蒿材料的萌发胁迫指数范围在0.10~0.93。同一藏沙蒿材料之间随着渗透势的降低,萌发抗旱指数持续下降。 -0.20 MPa下,3、5和7号材料较CK相比下降幅度较小,10号材料下降幅度最大,为54%。5和11号材料在 -0.60 和 -0.86 MPa下,下降幅度较小。在 -0.86 MPa渗透胁迫下,各种质材料萌发抗旱指数有明显的降低。

2.3 13份藏沙蒿种质材料萌发期各指标相关性分析

为进一步明确藏沙蒿各指标与抗旱性的关系,对13份藏沙蒿种质材料的相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对芽长、相对活力指数和萌发胁迫指数6项指标在4个渗透胁迫下的测定值均赋相同权重1,进行

相关性分析(表4)^[18-19]。结果表明,相对芽长和相对活力指数,相对活力指数和萌发胁迫指数两两之间相关系数均大于0.6,且都为极显著相关($P<0.01$);相对发芽势和相对发芽率也有较高的相关性,相关性达到显著水平($P<0.05$),说明耐旱信息有重叠,因此需要对6项观测指标进行主成分分析筛选主要耐旱评价指标以确保评价结果更加准确可靠^[20]。

2.4 耐旱性评价指标筛选

对13份藏沙蒿种质材料的6项观测指标进行主成分分析(表5),前3个成分的累计贡献率达到86.33%,其特征根 $\lambda>1$ (表5)。第1个主成分中载荷较大的是相对活力指数和萌发胁迫指数,载荷数分别为0.983和0.860(表6)。第2个主成分中载荷最大的是相对发芽势和相对发芽率,载荷数为0.914和0.845。第1和第2主成分的特征向量反映了种子的

表3 PEG渗透胁迫对藏沙蒿种子萌发胁迫指数的影响

Table 3 Effects of PEG osmotic stress on germination stress index index of *Artemisia wellbyi* seeds

种质编号	胁迫指数			
	−0.20 MPa	−0.40 MPa	−0.60 MPa	−0.86 MPa
1	0.57±0.012 ^a	0.34±0.025 ^b	0.25±0.015 ^c	0.19±0.007 ^d
2	0.71±0.230 ^a	0.48±0.320 ^b	0.33±0.012 ^c	0.15±0.013 ^d
3	0.93±0.030 ^a	0.64±0.044 ^b	0.35±0.031 ^c	0.13±0.017 ^d
4	0.83±0.032 ^a	0.57±0.023 ^b	0.53±0.012 ^b	0.31±0.015 ^c
5	0.93±0.040 ^a	0.84±0.078 ^a	0.79±0.058 ^a	0.31±0.031 ^b
6	0.75±0.055 ^a	0.70±0.034 ^a	0.53±0.035 ^b	0.16±0.020 ^c
7	0.93±0.029 ^a	0.91±0.019 ^a	0.64±0.035 ^b	0.33±0.020 ^c
8	0.69±0.038 ^a	0.52±0.007 ^b	0.37±0.003 ^c	0.10±0.013 ^d
9	0.62±0.025 ^a	0.46±0.025 ^b	0.47±0.020 ^b	0.20±0.006 ^c
10	0.46±0.009 ^a	0.37±0.015 ^b	0.35±0.003 ^b	0.25±0.015 ^c
11	0.72±0.018 ^a	0.45±0.030 ^b	0.40±0.015 ^{bc}	0.49±0.042 ^c
12	0.52±0.020 ^a	0.57±0.035 ^a	0.49±0.026 ^a	0.16±0.019 ^b
13	0.64±0.031 ^a	0.34±0.012 ^b	0.26±0.021 ^c	0.17±0.015 ^d

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)下同。

表4 干旱胁迫下13份藏沙蒿材料各指标间相关系数

Table 4 Correlation coefficients of 13 *Artemisia wellbyi* materials under drought stress

观测指标	相对发芽势	相对发芽率	相对根长	相对芽长	相对活力指数	萌发胁迫指数
相对发芽势	1	.				
相对发芽率	0.600*	1				
相对根长	0.173	−0.153	1			
相对芽长	0.292	0.169	0.107	1		
相对活力指数	−0.009	−0.036	0.082	0.689**	1	
萌发胁迫指数	−0.114	0.027	0.009	0.378	0.906**	1

注:**表示具有极显著相关性($P<0.01$),*表示具有显著相关性($P<0.05$)。

萌发特性,且藏沙蒿种质抗旱性与其发芽特性呈正相关。第3个主成分对应特征向量中载荷最大的是相对根长,载荷数为0.925,说明植物抗旱性与根系生长特性密切相关,抗旱性强的种质材料根系通常越发达。因此,以上5项指标可作为藏沙蒿种质材料抗旱性综合评价的主要指标。

表5 3个主成分的特征值以及贡献率

Table 5 Characteristic values and contribution rates of the 3 principal components

主成分	特征值λ	累计贡献率
I	2.4	40.31
II	1.6	67.76
III	1.1	86.33

表6 各因子载荷矩阵

Table 6 Loading matrix of each component

测定指标	主成		
	I	II	III
相对发芽势	0.121	0.914	0.156
相对发芽率	0.055	0.845	−0.363
相对根长	0.177	0.075	0.925
相对芽长	0.815	0.176	0.175
相对活力指数	0.983	−0.138	−0.091
萌发胁迫指数	0.860	−0.206	−0.251

2.5 13份藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性综合评价

根据相关性分析和主成分分析的结果,筛选出相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对活力指数和萌

表 7 各成分向量矩阵
Table 7 Components of the vector matrix

主成分	X1	X2	X3	X4	X5
I	0.778 0	0.354 0	0.113 8	0.632 2	0.553 1
II	0.712 2	0.658 4	0.058 4	-0.107 5	-0.160 5
III	0.147 8	-0.343 9	0.876 4	-0.086 2	-0.237 8

发胁迫指数 5 个指标综合评价,对 13 份藏沙蒿种质材料进行主成分评价。

根据各成分的载荷矩阵(表 6)和向量矩阵(表 7),可得各因子的得分公式:

$$F_1=0.121X_1+0.055X_2+0.177X_3+0.983X_4+0.860X_5$$

$$F_2=0.914X_1+0.845X_2+0.075X_3-0.138X_4-0.206X_5$$

$$F_3=0.156X_1-0.363X_2+0.925X_3-0.091X_4-0.251X_5$$

根据 13 份藏沙蒿种质材料 F_1 、 F_2 、 F_3 的值,综合得分: $F=0.403 1 F_1+0.677 6 F_2+0.863 3 F_3$

根据主成分综合得分可知(表 8),13 份藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性为 $1>4>5>11>10>8>12>2>3>6>7>9>13$ 。

为了验证不同评价分析方法的准确性,用隶属函数法,对 13 份藏沙蒿种质材料,采用以上 5 项指标综合评价,得到 13 份藏沙蒿种质材料隶属函数值的平均值范围为 0.212 7~0.668 9(表 9)。5 号藏沙蒿种质材料的平均值最高,为 0.668 9,其次是 11 号和 4 号,分别为 0.629 7 和 0.574 1,而 13 号藏沙蒿种质材料平均值最低,为 0.212 7。结果表明,5、11 和 4 号藏沙蒿种质材料抗旱性较强,而 13 号藏沙蒿种质材料抗旱性较弱。

表 8 各藏沙蒿种质材料主成分分析 F 值及抗旱性排序

Table 8 Order of Principal Component Analysis F value and drought resistance of *Artemisia wellbyi* germplasm materials

种质编号	F_1	F_2	F_3	F	排序
1	1.01	2.81	0.52	2.76	1
2	-1.09	-0.25	0.16	-0.47	8
3	-1.30	-2.04	1.66	-0.47	9
4	1.72	0.40	1.28	2.06	2
5	-0.69	-0.27	1.62	0.93	3
6	0.04	-0.91	-0.27	-0.83	10
7	1.71	-0.54	-1.86	-1.29	11
8	2.12	0.12	-0.60	0.42	6
9	-1.97	-1.10	-0.28	-1.78	12
10	-0.80	1.44	-0.07	0.59	5
11	1.59	0.69	-0.40	0.76	4
12	0.13	0.82	-0.86	-0.13	7
13	-2.48	-1.17	-0.89	-2.56	13

3 讨论

3.1 PEG 渗透胁迫对藏沙蒿种子萌发的影响

种子萌发是藏沙蒿生活史中的关键阶段,也是评价其抗旱性强弱的重要时期。PEG 作为理想的渗透压剂,广泛用于种子萌发期抗旱性快速鉴定^[21-22],因

此用来研究藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性是一种比较可靠的方法。本研究 13 份藏沙蒿种子的相对活力指数和萌发胁迫指数等指标随着 PEG 溶液渗透势的降低而下降,这与在草地早熟禾^[23]、大麦^[24]、扁蓿豆^[25]和偃麦草^[13]等牧草及作物上的研究结果一致。研究中藏沙蒿幼苗芽长随着 PEG 渗透胁迫的加大而持续

表9 耐旱指标隶属值及其综合评价

Table 9 Membership value of drought tolerance index and its comprehensive evaluation

种质编号	相对发芽势	相对发芽率	相对根长	相对活力指数	萌发胁迫指数	平均值	排序
1	0.722 2	0.766 0	0.528 0	0.184 2	0.308 5	0.501 8	5
2	0.458 1	0.391 3	0.414 0	0.224 9	0.345 1	0.366 7	10
3	0.284 0	0.089 8	0.597 0	0.385 0	0.427 9	0.356 7	11
4	0.564 2	0.334 5	0.676 2	0.633 3	0.662 2	0.574 1	3
5	0.369 0	0.789 0	0.484 5	0.748 6	0.953 4	0.668 9	1
6	0.302 8	0.481 9	0.376 5	0.615 5	0.563 0	0.467 9	7
7	0.311 0	0.628 0	0.177 5	0.811 9	0.930 6	0.571 8	4
8	0.301 8	0.632 6	0.767 9	0.361 4	0.332 6	0.479 3	6
9	0.230 7	0.435 2	0.334 9	0.211 0	0.391 1	0.320 6	12
10	0.414 5	0.854 4	0.398 5	0.058 8	0.248 8	0.395 0	8
11	0.551 4	0.772 6	0.400 8	0.796 3	0.627 2	0.629 7	2
12	0.458 6	0.592 8	0.195 0	0.342 3	0.365 1	0.390 8	9
13	0.318 3	0.256 8	0.085 3	0.173 8	0.229 2	0.212 7	13

下降,而根长在-0.20和-0.40 MPa较低胁迫程度下被促进,说明藏沙蒿幼苗会通过促进根系生长抑制芽的生长来适应干旱胁迫,这与杨利艳等^[26]对藜麦的研究结果一致。此外,在受到干旱胁迫时藏沙蒿种子会普遍推迟1~7 d发芽,这种推迟发芽时间以及促进根生长的策略,与西藏垂穗披碱草耐旱性评价^[27]一致,对于它适应高寒干旱环境具有重要意义。

有研究表明较低浓度的PEG可以启动种子体内的保护机制,减少种子吸胀过程中膜系统的损伤,有利于膜系统的修复,从而促进种子萌发^[28]。而本研究, -0.2 MPa仅对4份材料表现为促进作用,这与一些较低浓度的PEG能够促进玉米^[29]、牧草种子萌发的发现不同,可能是由于藏沙蒿种质对于干旱胁迫较为敏感, -0.20 MPa已经对部分材料的萌发产生了抑制作用。牛奎举等^[23]在对甘肃野生草地早熟禾抗旱研究中发现-0.10 MPa对部分草地早熟禾种质产生了抑制作用。朱世杨、张小玲等^[30]在对花椰菜抗旱性研究中也发现较低浓度的PEG对花椰菜种子的萌发和生长影响不大。

适宜的PEG胁迫浓度可以提高抗旱性鉴定的准确性^[31],不同牧草或者作物种子模拟干旱胁迫的渗透压存在较大差异^[32],本研究中, -0.20 MPa下,不同藏沙蒿种质材料对胁迫的敏感性已表现出差异,当PEG渗透势降至-0.86 MPa时,藏沙蒿种质材料各萌发指标受到较为明显的抑制,当PEG溶液渗透势进一步降

至-1.20 MPa时,藏沙蒿萌发完全被抑制,不能体现材料之间的差异性,所以-0.20~-0.86 MPa可以用来进行藏沙蒿抗旱性评价。本研究将4个胁迫梯度下测得的数据设权重为1,用相对指标进行评价,可能会忽略一些藏沙蒿材料在不同胁迫程度下的差异,但从抗旱性排序看,与试验中观察的结果较为一致,能够有效地对13份藏沙蒿材料抗旱性进行鉴定。

3.2 藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性的评价

植物抗旱性受多种因素影响^[33-34],以单一指标评价藏沙蒿萌发期的抗旱性具有一定的片面性,需用多个指标进行综合评价^[34]。隶属函数法被广泛用于抗逆性评价^[35-36],王亚楠等^[38]通过隶属函数法采用多项指标对10种草本植物进行抗旱性综合评价,克服了仅用少数指标进行评价的不足。另一方面,仅采用隶属函数的方法对多个指标进行评价,会导致单个指标提供的信息重叠。由于不同指标之间存在着不同的相关性,因此很难用单一的方法进行植物抗旱性鉴定^[39-41]。主成分分析可以将多个指标整合成几个较少的综合指标。这些综合指标之间不存在相关性,可以从原有的多个与植物抗旱性相关的指标中反映出整体的信息,逐渐被用于一些植物的抗旱性综合评价^[42-43]。秦立刚等^[44]对3种葱属植物进行抗旱性评价时,通过主成分分析对所测指标赋予不同权重,进一步采用隶属函数法对3种葱属植物进行综合评价,增强了研究结果的准确性。闫晶秋子等^[45]对巨菌草幼

苗抗盐碱性进行综合评价时,通过相关性和主成分分析筛选出主要影响指标,采用隶属函数进行综合评价,使评价结果更接近真实性。本研究在主成分分析筛选抗旱评价指标的基础上,对13份藏沙蒿材料的抗旱性进行鉴定,主成分分析13份藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性为 $1>4>5>11>10>8>12>2>3>6>7>9>13$ 。隶属函数法13份藏沙蒿种质材料萌发期抗旱性为 $5>11>4>7>1>8>6>10>12>2>3>9>13$ 。两种方法综合评价下1、4、5和11号材料抗旱性较强,9和13号材料抗旱性较弱,两种评价方法得到的结果较为统一,可以比较准确地反映其抗旱性。

4 结论

高浓度的PEG(-0.86 Mpa)溶液抑制藏沙蒿种子的发芽,并且出现延缓种子发芽现象。对藏沙蒿种子用PEG模拟干旱胁迫的渗透势保持在-0.20~-0.86 Mpa较为适宜。通过主成分分析和隶属函数法计算各材料的综合评价值(F 值和隶属值 D)。主成分评价13份藏沙蒿种质材料抗旱性排名前三的为1、4和5号材料,隶属函数法抗旱性较强的为5、11和4号材料,抗旱性最弱的均为13号材料。

参考文献:

- [1] 屠志方,李梦先,孙涛. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果及分析[J]. 林业资源管理,2016,1(1):1-5.
- [2] 李伟娟. 雅鲁藏布江中上游沙化土地动态研究[D]. 拉萨:西藏大学,2019.
- [3] 王敬龙,史睿智,仁增旺堆,等. 西藏草地藏沙蒿资源分布调查[J]. 西藏农业科技,2018,40(1):40-42.
- [4] 沈渭寿,李海东,林乃峰,等. 雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果[J]. 生态学报,2012,32(17):5609-5618.
- [5] 白梦杰. 十种荒漠植物种子萌发与出苗的生态特性研究[D]. 兰州:兰州大学,2019.
- [6] 刘彦兵,刘欣瑜,张书航,等. 西藏3种蒿属植物营养成分与矿物质元素含量研究[J]. 草地学报,2019,27(5):1448-1453.
- [7] Michel B E, Kaufmann M R. The Osmotic Potential of Polyethylene Glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51(5):914-916.
- [8] 高燕. 国际种子检验协会(ISTA)[J]. 中国标准化,2017,(1):150-155.
- [9] 李雪华,刘志民,蒋德明,等. 七种蒿属植物种子重量形状及萌发特性的比较研究[J]. 生态学杂志,2004(5):57-60.
- [10] 熊雪,郎万鑫,王春芳,等. 不同谷子品种萌发期抗旱性综合评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):93-97.
- [11] Bouslam A M, Schapugh W T. Stress tolerance in soybeans I: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance[J]. Crop Science, 1984, 24(5):933-937.
- [12] 付学琴,贺浩华,文飘,等. 东乡野生稻回交重组系的抗旱性评价体系[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1277-1285.
- [13] 李培英,孙宗玖,阿不来提. PEG模拟干旱胁迫下29份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J]. 中国草地学报,2010,32(1):32-39.
- [14] 葛芳红,王宁,胡澍,等. 陕北黄土丘陵沟壑区主要植物种子对干旱胁迫的萌发响应及抗旱性评价[J]. 草业科学,2018,35(2):348-356.
- [15] 王赞,李源,吴欣明,等. PEG渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报,2008,30(1):50-55.
- [16] Sharma A D, Rathore S V S, Kalyani S, et al. Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench)[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 165(22):75-81.
- [17] 刘佳月,杜建材,王照兰,等. 紫花苜蓿和黄花苜蓿种子萌发期对PEG模拟干旱胁迫的响应[J]. 中国草地学报,2018,40(3):27-34+61.
- [18] 王艺陶,周宇飞,李丰先,等. 基于主成分和SOM聚类分析的高粱品种萌发期抗旱性鉴定与分类[J]. 作物学报,2014,40(1):110-121.
- [19] 朱晓东,赵术伟,陈国秋. 基于主成分分析的谷子品种萌芽期抗旱性鉴定与分类[J]. 辽宁农业科学,2021(6):1-7.
- [20] 张巩亮,李逸,魏媛媛,等. 寒地水稻抗旱相关性状主成分分析及综合评价[J]. 福建农业学报,2020,35(8):811-819.
- [21] 张海平,张俊峰,陈妍,等. 大豆种质资源萌发期耐旱性评价[J]. 植物遗传资源学报,2021,22(1):130-138.
- [22] 张宇君,赵丽丽,王普昶,等. 燕麦萌发期抗旱指标体系构建及综合评价[J]. 核农学报,2017,31(11):2236-2242.

- [23] 牛奎举,金小煜,李慧萍,等. 甘肃野生草地早熟禾萌发期抗旱性鉴定与评价[J]. 草地学报,2016,24(5):1041—1049.
- [24] 鞠乐,齐军仓,贺雪,等. 大麦种子萌发期对渗透胁迫的响应及抗旱性鉴定指标的筛选[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(1):172—176.
- [25] 肖红,徐长林,鱼小军,等. 不同产地扁蓿豆种子萌发期抗旱性综合评价[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(5):73—77+265.
- [26] 杨利艳,杨小兰,朱满喜,等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 种子,2020,39(9):36—40.
- [27] 周晶,孙侃,周忠义,等. 西藏3份垂穗披碱草耐旱性评价[J]. 作物杂志,2021(5):205—210.
- [28] 罗冬,王明玖,李元恒,等. 四种豆科牧草种子萌发和幼苗生长对干旱的响应及抗旱性评价[J]. 生态环境学报,2015,24(2):224—230.
- [29] 邹成林,翟瑞宁,钦洁,等. 不同浓度PEG模拟干旱胁迫对玉米种子萌发特性的影响[J]. 玉米科学,2021,29(6):68—75.
- [30] 朱世杨,张小玲,刘庆,等. PEG模拟干旱胁迫下花椰菜种质资源萌发特性及抗旱性评价[J]. 核农学报,2019,33(9):1833—1840.
- [31] 侯泽豪,卢奕,孙坤坤,等. 甜芥资源萌发期耐旱性鉴定体系建立与种质筛选[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(1):95—102.
- [32] 余方玲,杨满业,干友民,等. 川西北高寒草地3种禾草种子萌发期抗旱性[J]. 草业科学,2011,28(6):993—997.
- [33] Jian H J, Wang J, Wang T Y, *et al.* Identification of rapeseed (*Brassica napus* L.) microRNAs involved in early stage seed germination under salt and drought stresses[J]. *Frontiers in Plant Science*,2016,7(7):653—658.
- [34] Xie X Y, Zhang X, He Q L. Identification of drought resistance of rapeseed (*Brassica napus* L.) during germination stage under PEG stress[J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*,2013,11(2):751—756.
- [35] 陈小倩,徐庆国. PEG—6000干旱胁迫对5种牧草种子萌发的影响研究[J]. 中国农学通报,2015,31(26):7—11.
- [36] 陈东凯,骆汉,马瑞,等. 沙蒿种子萌发对NaCl及聚乙二醇胁迫的响应[J]. 水土保持通报,2021,41(1):161—166.
- [37] 张元恺,李亚,张剑挥,等. 盐害和模拟干旱条件对沙蒿种子萌发的影响[J]. 种子,2019,38(11):7—11.
- [38] 王亚楠,赵思明,曹兵. PEG-6000模拟干旱胁迫下10种草本植物萌发期抗旱性比较[J]. 草地学报,2020,28(4):983—989.
- [39] Li Z, Lu G Y, Zhang X K, *et al.* Improving drought tolerance of germinating seeds by exogenous application of gibberellic acid (GA3) in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. *Seed Science and Technology*,2010,38:432—440.
- [40] Bai P, Ran C, Xie X. Influence of drought stress on physiological characteristics and agronomic traits at bud stage of rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2014,47:3566—3576.
- [41] Channaoui S, Idrissi I S, Mazouz H, *et al.* Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages[J]. *OCL — Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*,2019,26:23.
- [42] Liu Y, Xu H, Wen X, *et al.* Effect of polyamine on seed germination of wheat under drought stress is related to changes in hormones and carbohydrates[J]. *Journal of Integrative Agriculture*,2016 15:2759—2774.
- [43] Pavia I, Rocha L, Moutinho—Pereira J, *et al.* Screening for drought resistance during germination of modern and old Iberian wheat cultivars[J]. *Acta Botanica Croatica*,2019,78(2):169—174.
- [44] 秦立刚,李雪,李韦瑶,等. PEG干旱胁迫对3种葱属植物种子萌发期渗透调节物质及酶活性的影响[J]. 草地学报,2021,29(1):72—79.
- [45] 闫晶秋子,李钢铁,刘玉军,等. 基于主成分分析及隶属函数法的巨菌草幼苗耐盐碱性评价[J]. 浙江农业学报,2019,31(9):1531—1540.

Evaluation of germination characteristics and drought resistance of *Artemisia wellbyi* germplasm under PEG osmotic stress

WANG Qi-yu¹, LIU Huan^{1*}, REN Zengwangdui^{2**}, WANG Jing-long²,
LUO Jian-min¹, HUANG Ying¹

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Grassland Science Research Institute, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China)

Abstract: 【Objective】 The aim of this research was toto evaluate the drought resistance of *Artemisia wellbyi* wild germplasm materials at the germination stage. 【Method】 We selected thirteen *A. wellbyi* germplasm materials collected from various habitats in Tibet as the research subjects and applied five osmotic stress treatments using a PEG-6000 concentration gradient of 0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.86 MPa. Our aim was to investigate the effects of PEG-6000 osmotic stress on the germination characteristics of *A. artemisia*, and comprehensively evaluate its drought resistance using Principal Component Analysis and Membership Function method. 【Result】 PEG osmotic stress reduced the relative germination potential, relative germination percentage, relative vigor index and germination stress index of *A. wellbyi* seeds. *A. wellbyi* responded to drought stress by delaying germination time, inhibiting bud length and promoting root length. Through principal component analysis, we identified five drought resistance indexes: relative germination potential, relative germination rate, relative root length, relative vigor index and germination stress index. 【Conclusion】 Based on the comprehensive evaluation using two methods, materials No. 5、11 and 4 ranked as the top three in drought resistance, while material No. 13 ranked the lowest in drought resistance.

Key words: *Artemisia wellbyi*; PEG osmotic stress; principal component analysis; membership function

(责任编辑 靳奇峰)