

# 7份梯牧草种质材料的种子萌发期抗旱性综合评价

檀嘉琦<sup>1,2</sup>, 张鲜花<sup>1,2\*</sup>, 李思媛<sup>1,2</sup>, 袁惠<sup>1,2</sup>, 韩禧卿<sup>1,2</sup>, 庞思强<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学草业学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆草地资源与生态实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052;)

**摘要:**【目的】探究干旱胁迫对梯牧草种子萌发和幼苗生长的影响, 筛选抗旱种质。【方法】本研究以6份野生梯牧草材料及1份引种材料为研究对象, 采用PEG模拟干旱胁迫, 设置0%、5%、10%、15%、20% 5个处理梯度, 测定发芽指标与生长指标, 分析抗旱性指标差异, 确定适宜抗旱性鉴定浓度, 筛选抗旱性种质。【结果】低浓度PEG(5%)一定程度上促进梯牧草种子的根长、芽长、鲜重、活力指数, 高浓度PEG( $\geq 15\%$ )抑制其发芽率、发芽势、发芽指数、根长、芽长、根芽比和活力指数; 与芽长相比, 根长对干旱胁迫更加敏感; 15%PEG宜作为梯牧草抗旱性鉴定浓度; 野生材料具有较好的抗旱潜力, 主成分分析及隶属函数综合评价结果一致表明7份材料抗旱性由强到弱依次为MS>TM-3>TM-5>TM-6>TM-1>TM-2>TM-4。【结论】一定程度的干旱胁迫可促进梯牧草种子萌发和幼苗生长, 该研究可为梯牧草抗旱性评价及新品种培育提供参考及背景材料。

**关键词:**梯牧草; PEG; 抗旱性; 干旱胁迫; 种子萌发

中图分类号: S543 文献标志码: A 文章编号: 1009-5500(2024)02-0226-11

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.02.024



受全球变暖大环境影响, 水分已经成为限制干旱区、半干旱区植物生长的主要非生物胁迫因素之一<sup>[1]</sup>。干旱问题始终贯穿着植物的整个生活史, 水资源短缺严重制约植物的生长发育<sup>[2-3]</sup>, 长期处于干旱将导致种子萌发率低、幼苗发育不良等<sup>[4]</sup>。种子萌发阶段作为植物生活史的开始, 对干旱的响应尤其敏感, 该阶段的抗旱性直接关系到作物的出苗以及后续物种的建植、种群的扩张和群落结构的组成<sup>[5-6]</sup>。近年来, 新疆极端气候越发频繁<sup>[7]</sup>, 牧草种植与水资源匮乏的矛盾尤为突出, 严重制约着当地畜牧业发展。因此, 对当地野生草种资源进行抗旱性筛选与评价, 挖掘草种

自身抗旱潜能, 开发优良的耐旱种质资源, 是解决新疆等旱区缺水的一个重要措施<sup>[8-10]</sup>。

梯牧草(*Phleum pratense*)是世界上广为栽培的一种优良牧草, 根系极其发达, 在贫瘠的沙地旱地起到保持水土的作用<sup>[11]</sup>。其草质鲜嫩, 纤维长, 适宜于配制青贮饲料、青干草和草粉, 以备冬春时节牲畜的食用<sup>[12]</sup>, 不仅牛羊喜食, 而且是国外赛马和宠物的专用饲草, 近年来国内市场需求量与日俱增<sup>[13]</sup>, 是增加当地农牧民经济收入的好途径<sup>[14]</sup>, 具有较高的推广和应用价值<sup>[15]</sup>。梯牧草原产于欧亚大陆温带地区, 主要分布在N 40°~50°的寒冷湿润地区<sup>[16]</sup>。在中国, 梯牧草野生种仅分布于我国新疆、黑龙江, 而栽培种在东北、华北和西北地区均有大量建植<sup>[17]</sup>。目前国内审定登记的梯牧草均为引进栽培种, 如“川西”梯牧草、“岷山”梯牧草及“克力玛”梯牧草等<sup>[18]</sup>。

梯牧草对干旱较为敏感, 耐旱性较差<sup>[19]</sup>。张鲜花等<sup>[20]</sup>认为水分条件是梯牧草广域分布主要限制因素, 其窄水性是梯牧草种群繁衍与扩散对生境响应的最

收稿日期: 2023-02-21; 修回日期: 2023-04-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研项目  
(XJEDU2021H013)

作者简介: 檀嘉琦(1997-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生。E-mail: tjq19970906@163.com

\*通信作者。E-mail: zlxh1314@126.com

基本特征。并且由于梯牧草更新复壮缓慢,长期种植导致品种退化严重,营养品质大幅下降<sup>[21]</sup>,愈发严重的干旱问题也会对梯牧草的生长和产量产生显著影响<sup>[22]</sup>,已无法满足当前新疆草畜业的需求,因此选育抗旱性强的梯牧草新品种是解决问题的方法之一。目前,有关梯牧草种质萌发期抗旱性报道较少,且牧草作物萌发期抗旱性研究通常利用聚乙二醇(Polyethylene glycol, PEG)模拟干旱胁迫<sup>[23-26]</sup>的方法测定种子萌发与幼苗生长等多项指标来综合评价种质抗旱能力,进而筛选抗旱种质。

基于以上认识,本试验以6份新疆野生梯牧草及1份“岷山”梯牧草栽培种为试验材料,PEG-6000溶液

模拟干旱胁迫,探讨其在0.0%、5.0%、10.0%、15.0%、20.0%PEG胁迫下的种子萌发和幼苗生长的变化情况,明晰梯牧草材料的抗旱敏感浓度区间,确定最适PEG鉴定浓度,综合评价7份梯牧草材料抗旱能力,为我国梯牧草的抗旱新材料的筛选和育种奠定基础,加强干旱区的牧草生产与生态建设。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试材料中6份采自新疆野生生境,1份引自甘肃农业大学,共计7份梯牧草材料。种子采集时间均为2019年7月,置于室温阴凉处用密封袋贮藏,条件一致。详细信息如表1所示。

表1 供试梯牧草的编号及来源  
Table 1 Code and origin of *Phleum pratense*

编号	采集地点(来源)	地理位置		海拔/m	备注
TM-1	76团3连	N 43°00'44"	E 80°50'76"	1 727	野生
TM-2	昭苏县军马场	N 43°08'55.78"	E 80°59'15.9"	1 753	野生
TM-3	乌鲁木齐市南山二义口	N 43°28'52"	E 87°02'28"	1 900	野生
TM-4	77团9连	N 43°06'37"	E 80°45'15.6"	1 991	野生
TM-5	乌鲁木齐市南山天文台	N 43°28'13"	E 80°10'35"	2 100	野生
TM-6	昭苏县夏塔	N 42°41'1"	E 80°35'1"	2 228	野生
MS	来源于甘肃农业大学				栽培

### 1.2 试验设计

采用PEG-6000溶液模拟干旱胁迫,共设置5个处理浓度,4次重复。溶液中PEG质量比例分别为0.0%(CK)、5.0%、10.0%、15.0%、20.0%。供试梯牧草材料籽粒饱满、大小均匀,用0.5%的次氯酸钠溶液浸泡5 min杀菌后,蒸馏水清洗5次,浸种24 h<sup>[2]</sup>。将处理后的种子置于90 mm双层滤纸培养皿中(每皿30粒),分别加入10 ml相应浓度PEG溶液或蒸馏水后在光照培养箱进行发芽试验<sup>[27]</sup>。

发芽条件为:温度25℃/15℃(昼/夜),光照周期12 h/12 h(光照/黑暗),光强5 500 lx,湿度60%。自种子置床之日起,每日固定时段记载发芽数,每2 d更换滤纸补充相应溶液维持水势不变,以胚根突破种皮1 mm,胚芽为种子长度1/2为发芽标准<sup>[28-29]</sup>,连续3 d无种子发芽视作发芽试验的结束,末次计数为第14 d<sup>[30]</sup>。试验结束时,每个培养皿中随机选择10株完整幼苗,采用精度为0.01 cm的刻度尺测量胚根长、胚芽长,用精度为0.1 mg的电子天平称量其幼苗

鲜重<sup>[28-29]</sup>。

### 1.3 测定内容及方法

1.3.1 种子发芽指标与生长指标测定 按照以下公式计算种子的发芽指标与生长指标<sup>[28]</sup>。

发芽势 = 第5天种子发芽数/供试种子总数 × 100%;

发芽率 = 第14天种子发芽数/供试种子总数 × 100%;

发芽指数 =  $\sum(G_t/D_t)$

式中: $G_t$ 为第 $t$ 天种子发芽数, $D_t$ 为相应的发芽天数。

根芽比 = 相同处理下同种材料的胚根长/相同处理下同种材料的胚芽长;

活力指数 = 发芽指数 × 幼苗鲜重<sup>[28]</sup>;

某一性状变化率 = (处理 - 对照值)/对照值 × 100%。

1.3.2 种子的萌发特性 按照以下公式计算各测定指标的相对值,包括相对发芽势、相对发芽率、相对发

芽指数、相对胚根长、相对胚芽长、相对根芽比、相对鲜重、相对活力指数8个指标<sup>[28]</sup>。

相对性状指标=不同干旱处理下的测定值/对照测定值×100%。

1.3.3 耐旱临界值与极限值 以各相对性状指标为因变量,以PEG处理浓度为自变量作回归统计分析,通过测算各相对性状指标测定值下降到50%、0%时的PEG浓度,分别得到不同材料的临界值( $D_{50}$ )和极限值( $D_0$ )<sup>[29]</sup>。

#### 1.4 抗旱性综合评价

抗旱性综合评价参照石永红等<sup>[31]</sup>采用主成分分析结合隶属函数法计算综合评价值,进行比较排序。主成分分析筛选主成分后按照公式(1)进行隶属函数值计算,然后按照公式(2)、(3)依次计算权重系数( $W_j$ )、综合评价值( $D$ )。

$$\mu(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^m P_j} \quad (2)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \times W_j] \quad (3)$$

式中, $j=1,2,3,\dots,n$ , $X_j$ 表示第 $j$ 个综合指标值, $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 分别表示第 $j$ 个综合指标的最小值与最大值, $P_j$ 表示各品种第 $j$ 个主成分所对应的贡献率。

#### 1.5 数据统计分析

用Excel 2010进行数据整理,利用SPSS 21.0进行方差分析与相关性分析,使用Origin 21.0进行绘图,数据以“平均值±标准差”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 PEG处理对梯牧草种子发芽指标的影响

与对照相比,随着PEG浓度的上升,7份梯牧草材料发芽势总体呈下降趋势,且在20%PEG处理下仅TM-3、TM-5、MS具有发芽势(图1)。

TM-3在5%PEG下与对照组发芽势一致,其余6份材料发芽势均呈下降趋势。TM-1在5%PEG下发芽势显著降低( $P<0.05$ ),幅度为10.7%;10%~15%PEG区间, TM-1、TM-2、TM-4、TM-6发芽势显著降低( $P<0.05$ ),幅度范围分别为23.8%~63.8%和61.3%~89.7%;20%PEG下, TM-3、TM-5、MS这3份材料发芽势呈现显著降低趋势

( $P<0.05$ ),降幅为60%~74.1%。

同一处理梯度下, TM-3在对照组中具有较高的发芽势;5%~15%PEG处理下, TM-3、TM-5均保持较高的发芽势;20%PEG下,发芽势表现为TM-3>TM-5>MS;不同处理下TM-4发芽势均显著低于其余7份材料( $P<0.05$ )。

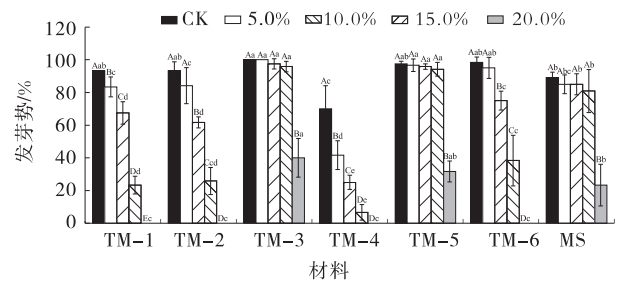


图1 PEG处理对梯牧草发芽势的影响

Fig. 1 Effect of PEG treatment on seed germination energy of *P. pratense*

注:不同大写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ ),不同小写字母表示不同材料间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

7份材料在20%PEG处理下,最终仅TM-3、TM-5、MS这3份材料能够正常萌发,且总体发芽率随着干旱梯度的增强呈下降趋势(图2)。

与对照相比,随着PEG浓度的上升,7份梯牧草材料除TM-4发芽率在PEG浓度为15%时显著降低32.3%( $P<0.05$ )外,其余6份材料的发芽率在PEG浓度5%~15%区间并无显著变化, TM-3在5%~15%PEG下发芽率与对照组一致;20%PEG浓度下,正常萌发材料均出现显著性降低( $P<0.05$ ),幅度范围在6.7%~27.4%。

同处理组相比,在10%PEG处理下, TM-4和MS发芽率较低,且TM-4在15%PEG处理下发芽率显著低于其余材料( $P<0.05$ );在20%PEG下, TM-3发芽率最高,整体表现为TM-3>TM-5>MS。

与对照相比,7份梯牧草材料发芽指数总体随干

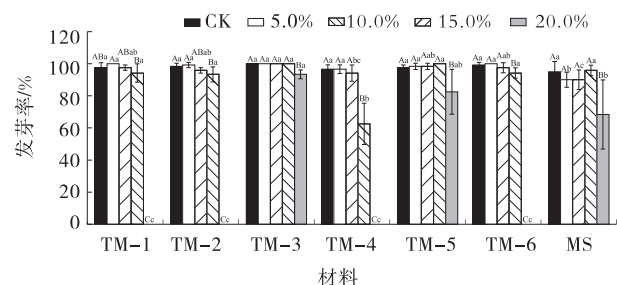


图2 PEG处理对梯牧草发芽率的影响

Fig. 2 Effect of PEG treatment on seed germination rate of *P. pratense*

旱胁迫程度加深,呈持续下降趋势(图3)。5%PEG下, TM-2、TM-3、TM-4和TM-5发芽指数显著降低( $P < 0.05$ ),幅度为7.3%~10.8%;10%、15%和20%PEG下,7份材料发芽指数均呈显著降低趋势( $P < 0.05$ ),且在20%时达到最大,幅度范围分别为12.5%~24.7%、18.4%~60.3%、49.9%~59.6%。

同一处理梯度下, TM-3在所有PEG处理下均具有最高的发芽指数,与其余材料相比差异显著( $P < 0.05$ ),表明其发芽指数受干旱的影响较小,而TM-4发芽指数均显著低于其余6份材料( $P < 0.05$ ),干旱对其影响较大。

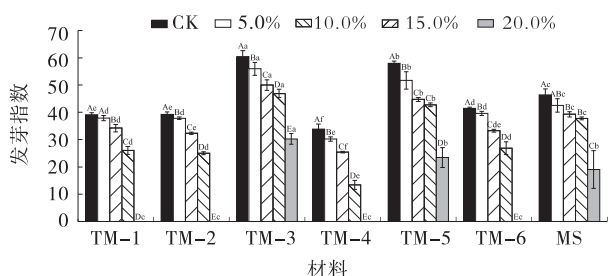


图3 PEG处理对梯牧草发芽指数的影响

Fig. 3 Effect of PEG treatment on seed germination index of *P. pratense*

## 2.2 PEG处理对梯牧草种子生长指标的影响

随着PEG浓度的上升,7份梯牧草材料的胚根长除TM-2和TM-4呈持续下降趋势外,其余5份材料胚根长总体呈先上升后下降的趋势(图4)。

与对照相比,5%PEG下, TM-1、TM-3、TM-5和TM-6胚根长呈显著上升趋势( $P < 0.05$ ),幅度为16.6%~37.2%,其余材料并无显著变化;10%PEG下, TM-1、TM-4和TM-6胚根长呈显著下降趋势( $P < 0.05$ ),幅度为21.7%~44.1%;15%PEG~20%PEG下,各材料均呈持续显著下降趋势( $P < 0.05$ ),幅度为分别为46.2%~82.9%和89.9%~92.6%。

同处理组相比, TM-5在CK、5%PEG、10%PEG、15%PEG处理下均保持较高的胚根长, TM-3在20%PEG处理下胚根长最高;而TM-4则在5%~15%PEG处理下胚根长均较低,表明其胚根生长受干旱影响较大。

随着PEG浓度上升,7份梯牧草材料胚芽长总体呈先上升后下降趋势(图5)。5%PEG下,7份材料胚芽长均呈显著性增长( $P < 0.05$ ),增长幅度为

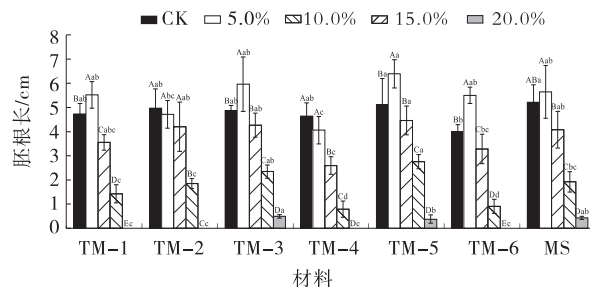


图4 PEG处理对梯牧草胚根长的影响

Fig. 4 Effect of PEG treatment on seedradicle length of *P. pratense*

11.1%~74.4%;10%PEG下,7份材料胚芽长并无显著变化;15%PEG下, TM-1、TM-2、TM-4和TM-6胚芽长呈显著降低趋势( $P < 0.05$ ),幅度为31.5%~55.1%;20%PEG下,3份正常萌发材料胚芽长均呈显著下降趋势( $P < 0.05$ ),幅度为85.1%~91.2%。

同处理组相比,在CK处理下, TM-4胚芽长显著低于其余6份材料( $P < 0.05$ );5%PEG下, TM-6胚芽长最大,显著高于其余材料( $P < 0.05$ );10%PEG下,7份材料的胚芽长并无显著差异;15%PEG下, TM-5胚芽长显著高于其余材料( $P < 0.05$ ),而TM-4胚芽长最低,差异显著( $P < 0.05$ );在20%PEG处理下, TM-3依旧保持着较大的胚芽长,3份正常萌发材料胚芽长大小排序为:TM-3>MS>TM-5,与胚根生长情况相近。

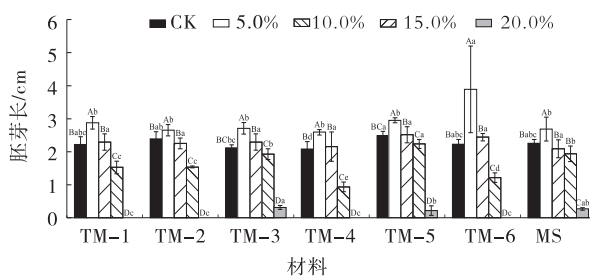


图5 PEG处理对梯牧草胚芽长的影响

Fig. 5 Effect of PEG treatment on seed plumule length of *P. pratense*

与对照相比,5%PEG下,7份材料根芽比仅TM-4呈显著降低趋势( $P < 0.05$ ),幅度为30.1%,其余6份材料并无显著变化(图6);10%PEG下, TM-1、TM-3、TM-4和TM-6根芽比显著降低( $P < 0.05$ ),幅度为18.3%~45.4%;15%PEG下,7份材料根芽比均呈显著降低趋势( $P < 0.05$ ),幅度为40.1%~62.3%;20%PEG下,3份正常萌发材料中,

仅TM-3显著下降( $P<0.05$ ),幅度为31.2%;相较于15%PEG而言,20%PEG时材料的根芽比反而呈现上升趋势,其中TM-3和TM-5根芽比显著上升( $P<0.05$ ),幅度分别为30.6%、51.8%。

同一处理梯度下,7份材料根芽比在对照间组无显著差异;5%PEG处理下,TM-3、TM-5和MS具有较高的根冠比,TM-4和TM-6根冠比较低;10%PEG下,TM-3和MS依旧具有较高的根冠比,TM-4根冠比较低;15%PEG下,TM-5根冠比最高,显著高于其他材料( $P<0.05$ ),而此时TM-6根冠比较低;20%PEG下,TM-5根冠比显著高于TM-3和MS,差异显著( $P<0.05$ )。

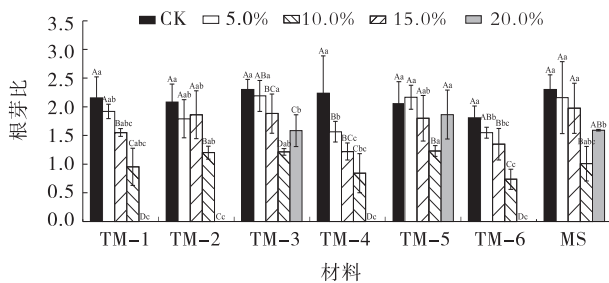


图6 PEG处理对梯牧草根芽比的影响

Fig. 6 Effect of PEG treatment on ratio of radicle to plumule of *P. pratense*

与对照相比,5%PEG下,TM-1、TM-2、TM-3、TM-5和TM-6鲜重呈显著增长趋势( $P<0.05$ ),幅度为31.3%~245.6%(图7);10%PEG浓度下,TM-4、TM-5、TM-6和MS鲜重则呈显著下降趋势( $P<0.05$ ),幅度为35.2%~60.5%,仅TM-2鲜重显著增长( $P<0.05$ ),幅度为165.9%;15%PEG下,TM-1、TM-2、TM-4和TM-5鲜重显著降低( $P<0.05$ ),幅度为60.6%~84.1%;20%PEG下,3份正常萌发的材料中仅MS鲜重显著降低( $P<0.05$ ),幅度为66.4%。

对照组中,MS鲜重最高( $P<0.05$ ),而TM-2和TM-3鲜重显著低于其余材料( $P<0.05$ );5%PEG下,TM-5鲜重显著高于其余材料( $P<0.05$ ),TM-4鲜重较低;10%PEG下,TM-1和TM-2具有较高的鲜重;15%PEG下,TM-1至TM-5这5份材料的鲜重均处于较低水平,仅TM-6和MS鲜重水平较高,且MS鲜重显著高于其余6份材料( $P<0.05$ );在

20%PEG下,鲜重水平表现为TM-5>MS>TM-3,差异显著( $P<0.05$ )。

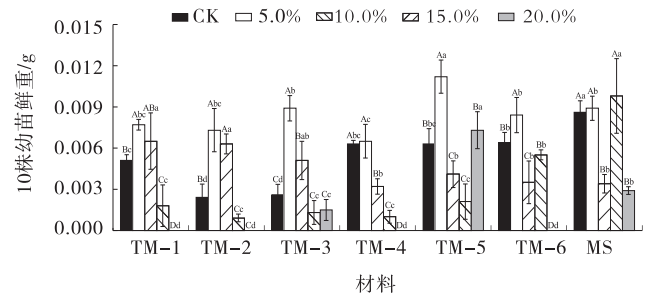


图7 PEG处理对梯牧草幼苗鲜重的影响

Fig. 7 Effect of PEG treatment on seedling weight of *P. pratenses*

与对照相比,5%PEG下,TM-1、TM-2、TM-3、TM-5和TM-6活力指数均显著增长( $P<0.05$ ),幅度为25.1%~222.8%(图8);10%PEG下,TM-2和TM-3活力指数呈显著上升趋势( $P<0.05$ ),幅度为62.7%~119.3%,TM-4、TM-5、TM-6和MS则呈显著下降趋势( $P<0.05$ ),幅度为49.9%~66.5%;15%PEG下,7份材料中除MS活力指数无显著变化,其余6份材料活力指数均显著降低( $P<0.05$ ),幅度为44.2%~76.6%;20%PEG下,TM-3、TM-5和MS活力指数均显著降低( $P<0.05$ ),幅度为46.9%~86.2%。

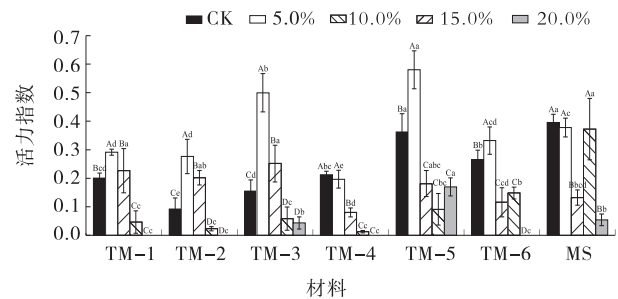


图8 PEG处理对梯牧草活力指数的影响

Fig. 8 Effect of PEG treatment on vital index of *P. pratense*

同一处理梯度下,TM-5和MS在对照组中具有较高的活力指数,显著高于其他材料( $P<0.05$ ),而TM-2活力指数最低,差异显著( $P<0.05$ );在5%PEG下,TM-5活力指数最高( $P<0.05$ ),TM-4活力指数显著低于其余材料( $P<0.05$ );10%PEG下,TM-1和TM-3活力指数较高,TM-4、TM-6和MS活力指数较低;15%PEG下,MS活力指数最高,显著高于其余材料( $P<0.05$ ),TM-1、TM-2、TM-3和TM-4则具较低的活力指数;在20%PEG

下, TM-5活力指数最高, 显著高于 TM-3和 MS的活力指数( $P<0.05$ )。

7份梯牧草材料间种子萌发和幼苗生长情况并不一致, 随着 PEG 胁迫增强, 处理较对照的变幅存在较大波动(图1~8), 且在较高浓度 PEG(15%~20%)胁迫下, 各项指标受到显著抑制。TM-1、TM-2、TM-4和 TM-6在 20%PEG 下存在不能萌发或萌发不正常幼苗(露白长度过短, 仅具有初生根尖)现象, 其胚根长、胚芽长、根芽比、幼苗鲜重及活力指数在对比中无样本。

### 2.3 不同浓度 PEG 间测定指标的差异性分析

为确定梯牧草种质抗旱鉴定最适 PEG 浓度(表2), 与对照相比, 5%PEG 下, 梯牧草胚根长、胚芽长、鲜重及活力指数增长显著( $P<0.05$ ); 10%PEG 下, 梯牧草发芽势、发芽指数、胚根长、根芽比及活力指数显著降低( $P<0.05$ ); 15%PEG 下, 除发芽率外其余各项指标呈显著降低趋势( $P<0.05$ ); 当 PEG 浓度达到

20%时, 各指标总体幅度显著降低( $P<0.05$ ), 各指标变异系数较大, 差异明显, 但其数值较少, 均值较小, 且7份材料中4份材料此时已无法正常萌发(图1~8), 不能准确评估材料间的抗旱强弱程度。

### 2.4 梯牧草种子萌发期抗旱性综合评价

2.4.1 梯牧草萌发期耐旱临界值与极限值 耐旱临界值和极限值分析结果(表3)表明, 7份材料中  $D_0$ 和  $D_{50}$ 相对发芽率均值最大, 相对根长均值最小。结合7份材料中8个相对指标的平均  $D_0$ 分析, TM-3的耐旱极限值最大(PEG 浓度为 30.3%), 表现出较强的抗旱性, TM-1、TM-2和 TM-4的平均值较低, 其中 TM-4最低(PEG 浓度为 19.6%), 抗旱性较弱; 分析8个指标平均  $D_{50}$ , 仍以 TM-3的耐旱临界值最高(PEG 浓度为 22.2%), TM-4最低(PEG 浓度为 11.9%)。根据  $D_0$ 和  $D_{50}$ 的单独排序来看, 7份梯牧草材料耐旱临界值和极限值排序并不一致, 7份材料8个指标临界浓度大体范围在 15%~20%。

表2 PEG 处理下各测定指标总体显著性分析及变异系数

Table 2 Total significance analysis and variation coefficient of measured indexes under PEG treatment

测定指标	项目	PEG				
		0.0%	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
发芽势	均值/%	91.667±11.018 <sup>a</sup>	83.691±19.528 <sup>ab</sup>	72.500±23.893 <sup>b</sup>	52.143±35.904 <sup>c</sup>	13.571±17.707 <sup>d</sup>
	变异系数	0.120	0.233	0.330	0.689	1.305
发芽率	均值/%	97.738±3.149 <sup>a</sup>	97.738±3.960 <sup>a</sup>	96.191±4.324 <sup>a</sup>	91.429±13.347 <sup>a</sup>	34.881±42.460 <sup>b</sup>
	变异系数	0.032	0.041	0.045	0.146	1.217
发芽指数	均值/%	45.514±9.621 <sup>a</sup>	42.276±8.488 <sup>ab</sup>	37.049±7.872 <sup>b</sup>	31.268±11.117 <sup>c</sup>	10.385±12.876 <sup>d</sup>
	变异系数	0.211	0.201	0.212	0.356	1.240
胚根长	均值/%	4.794±0.684 <sup>b</sup>	5.393±1.019 <sup>a</sup>	3.778±0.843 <sup>c</sup>	1.714±0.737 <sup>d</sup>	0.149±0.222 <sup>e</sup>
	变异系数	0.143	0.189	0.223	0.430	1.487
胚芽长	均值/%	2.269±0.196 <sup>b</sup>	2.908±0.631 <sup>a</sup>	2.293±0.272 <sup>b</sup>	1.618±0.449 <sup>c</sup>	0.093±0.142 <sup>d</sup>
	变异系数	0.087	0.217	0.119	0.278	1.519
根芽比	均值/%	2.127±0.329 <sup>a</sup>	1.934±0.381 <sup>a</sup>	1.663±0.398 <sup>b</sup>	1.027±0.273 <sup>c</sup>	0.552±0.812 <sup>d</sup>
	变异系数	0.155	0.197	0.239	0.266	1.470
10株鲜重	均值/%	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0.008±0.002 <sup>a</sup>	0.005±0.002 <sup>b</sup>	0.003±0.003 <sup>c</sup>	0.001±0.002 <sup>d</sup>
	变异系数	0.409	0.206	0.369	1.044	1.758
活力指数	均值/%	0.241±0.108 <sup>b</sup>	0.365±0.133 <sup>a</sup>	0.168±0.072 <sup>c</sup>	0.108±0.126 <sup>d</sup>	0.028±0.049 <sup>e</sup>
	变异系数	0.448	0.365	0.426	1.174	1.741

注: 同行不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.4.2 梯牧草萌发期主成分分析及隶属函数综合评价 8个测定指标的相对值之间呈显著正相关(表4), 因此, 为防止各测定指标的抗旱信息重叠, 以 15%PEG 作为抗旱鉴定最适浓度(表2~3), 利用主成分分析分析7份梯牧草材料的相对发芽率、相对发芽指数等8个相对性状指标。结果表明(表5), 新的2个

综合指标涵盖了8个抗旱指标的 91.939% 的信息, 可用于梯牧草材料的抗旱种质评价。综合指标 C(I) 中, 相对发芽指数、相对芽长、相对发芽势及相对发芽率的因子负荷均在 0.9 以上, 综合指标 C(II) 中, 因子负荷大于 0.7 的有相对鲜重及相对活力指数。

表3 PEG处理下7份梯牧草种子萌发期的耐旱临界值与极限值

Table 3 Critical and limit values of seven *P. pratense* germination periods under PEG treatment

%

材料	临界值	相对发芽势	相对发芽率	相对发芽指数	相对根长	相对芽长	相对根芽比	相对鲜重	相对活力指数	均值
Material	CV	RG	RGR	RGI	RRL	RPL	R RL/PL	RSW	RVI	Mean
TM-1	D <sub>0</sub>	19.5	20.6	20.3	19.4	19.9	20.1	19.2	19.1	19.8
	D <sub>50</sub>	12.7	17.1	15.8	14.1	16.6	14.0	16.4	15.8	15.3
TM-2	D <sub>0</sub>	19.7	20.7	20.3	19.7	20.1	20.3	19.0	18.8	19.8
	D <sub>50</sub>	12.5	17.0	15.5	14.6	16.1	15.4	17.9	17.6	15.8
TM-3	D <sub>0</sub>	24.5	58.0	29.8	20.4	21.1	48.7	20.1	19.5	30.3
	D <sub>50</sub>	19.5	43.1	20.6	15.8	17.8	24.5	18.7	17.9	22.2
TM-4	D <sub>0</sub>	19.7	20.2	19.9	19.3	19.6	20.6	19.1	18.3	19.6
	D <sub>50</sub>	7.0	16.1	13.8	11.0	15.9	10.9	11.3	9.6	11.9
TM-5	D <sub>0</sub>	23.5	38.9	27.9	20.3	20.9	43.0	42.3	24.0	28.5
	D <sub>50</sub>	18.9	30.0	18.7	16.1	17.4	24.5	25.6	15.2	20.2
TM-6	D <sub>0</sub>	19.8	20.7	20.4	19.8	19.4	20.0	20.5	20.1	20.1
	D <sub>50</sub>	14.0	17.0	15.4	12.3	16.6	13.9	16.1	14.1	14.9
MS	D <sub>0</sub>	22.9	35.1	26.2	20.4	21.2	44.8	29.6	25.1	28.2
	D <sub>50</sub>	18.2	26.6	19.2	14.7	17.3	22.8	20.0	15.5	19.3
均值	D <sub>0</sub>	21.4	30.6	23.6	19.9	20.3	31.1	24.3	20.7	—
	D <sub>50</sub>	14.7	23.9	17.0	14.1	16.8	18.0	18.0	15.1	—

注: D<sub>50</sub>、D<sub>0</sub>分别表示各相对性状指标测定值下降到50%、0%时的PEG浓度。

表4 PEG处理下各指标总体相关性分析

Table 4 Total correlation analysis of each index under PEG treatment

指标	相对发芽势	相对发芽率	相对发芽指数	相对根长	相对芽长	相对根芽比	相对鲜重	相对活力指数
相对发芽势	1.00							
相对发芽率	0.77**	1.00						
相对发芽指数	0.90**	0.91**	1.00					
相对根长	0.87**	0.68**	0.88**	1.00				
相对芽长	0.83**	0.77**	0.90**	0.86**	1.00			
相对根芽比	0.85**	0.83**	0.90**	0.87**	0.75**	1.00		
相对鲜重	0.52**	0.48**	0.55**	0.63**	0.56**	0.57**	1.00	
相对活力指数	0.57**	0.46**	0.59**	0.69**	0.61**	0.59**	0.99**	1.00

注: \*表示在0.05水平上显著, \*\*表示在0.01水平上极显著。

采用隶属函数法,以C(I)、C(II)为评价指标,利用公式(1)~(3),计算7份梯牧草材料的抗旱综合评价(表6)。结果表明,供试梯牧草材料的综合评价价值差异较为明显,总体介于0.121~1.000之间,其综合评价价值大于0.6的材料有MS、TM-3、TM-5及TM-6,说明在种子萌发期这4份材料具有较强的抗旱性,综合评价价值小于0.2的仅有TM-4,显示出较弱的抗旱性,7份材料抗旱性综合评价由强到弱依次为MS > TM-3 > TM-5 > TM-6 > TM-1 > TM-2 > TM-4。

### 3 讨论

#### 3.1 PEG模拟干旱胁迫对梯牧草种子萌发的影响

种子萌发的关键在于水分的吸收<sup>[32]</sup>,萌发需水阈值越大,种子耐旱性越差<sup>[33]</sup>。有研究显示,PEG模拟干旱胁迫可延缓植物种子萌发时间<sup>[34]</sup>,对其萌发能力总体上具有一定的抑制作用<sup>[29]</sup>。本研究也验证了这一点,随着胁迫程度加剧,梯牧草种子萌发时间和发芽高峰均出现了滞后现象,幼苗生长也受到抑制,分析认为是PEG限制了梯牧草种子萌发吸涨时对水分的有效吸收,延缓其后续生长进度,造成种子活力各

表5 梯牧草各综合指标因子负荷量及贡献率

Table 5 Characteristic vector and contribution ration of comprehensive indexes factors of *P. pratense*

指标负荷量	C(I)	C(II)
相对发芽指数	0.973	0.148
相对芽长	0.939	-0.187
相对发芽势	0.912	0.016
相对发芽率	0.912	-0.030
相对根长	0.852	-0.512
相对鲜重	0.517	0.839
相对活力指数	0.600	0.788
相对根芽比	0.602	-0.707
贡献率/%	65.115	26.824
累计贡献率/%	65.115	91.939

项指标的下降,并且种质不同其干旱受害症状表现也有所差异。

许翩翩等<sup>[35]</sup>指出,一定水平的PEG处理可以促进种子活力,若浓度过高超出种子耐受极限,则无法正常萌发。本研究结果表明,供试材料TM-1、TM-2、TM-4和TM-6在20%PEG下无法正常萌发,说明20%PEG浓度已达到或超出了这4份材料的耐旱忍受程度,其表现符合耐旱极限值(表3)。结合发芽指标来看,萌发水分需求较低的TM-3、TM5和MS在20%PEG下,依然表现出较强的抗旱能力,其耐旱极限值(表3)和抗旱综合评价(表6)远高于无法正常萌发的材料。亦有研究指出,种子萌发率的降低是对干旱环境的一种适应型策略,能提高对不稳定环境的适应能力,有效降低“闪苗”风险<sup>[36]</sup>。

### 3.2 PEG模拟干旱胁迫对梯牧草幼苗生长的影响

本研究中,随着干旱程度的增大,梯牧草材料的发芽率、发芽势和发芽指数受到抑制均呈现出降低的趋势,与前人研究结果一致<sup>[5,29]</sup>。同时,低浓度PEG

(5%~10%)在一定程度上促进梯牧草种子的根长、芽长、鲜重和活力指数,与段敏敏等<sup>[29]</sup>研究PEG胁迫下新疆地区狗牙根(*Cynodon dactylon*)种质芽期抗旱性结果相同,闫兴富等<sup>[36]</sup>在研究不同温度下PEG-6000模拟干旱对柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)种子萌发的胁迫效应时也有类似的报道。这可能是低浓度PEG处理造成的水分亏缺,对种子起到了“引发”的作用,种子为适应干旱而促进根芽营养再分配,以便吸收更多的水分满足其萌发需要,这种自身调节机制被认为是物种在长期繁衍过程中对环境变化的适应性反应<sup>[36]</sup>。但随着PEG处理浓度的上升,干旱胁迫对种子的抑制作用逐渐超过引发带来的促进作用,材料生长发育延缓,旱害症状加剧,高浓度PEG( $\geq 15\%$ )对梯牧草发芽率、发芽势、发芽指数、根长、芽长、根芽比和活力指数均起到显著抑制作用,与段敏敏<sup>[29]</sup>,孙晓梵等<sup>[2]</sup>研究结果相符。

本研究结果显示,经PEG处理后的梯牧草材料根芽比总体呈下降趋势,与众多学者研究结果<sup>[1,33-34]</sup>相反。材料根长较芽长在相同PEG处理下降幅更大,受到的抑制更为明显,说明梯牧草根系较幼芽部分对干旱胁迫更加敏感,根长受到的旱害更加严重,比芽长更适合反应梯牧草抗旱能力,与姜黎等<sup>[37]</sup>研究野榆钱菠菜(*Atriplex aucheri*)种子耐旱性评价结果相同。干旱胁迫下材料根系生长分配越多,对地上部分生长受抑的补偿越大,抗旱性就更强<sup>[38]</sup>。根芽比呈持续下降趋势的TM-1、TM-2、TM-4和TM-6材料均来源于昭苏伊犁河谷流域,水文气象资料显示该地区水热条件优越,气候温和湿润,长期处于水分充足条件下的梯牧草面对干旱环境,萌发表现较差,适应能力较弱。在20%PEG时能正常萌发并且其根芽比呈现

表6 梯牧草综合指标值、隶属函数值与综合评价

Table 6 Comprehensive index, value of subordinate function and comprehensive evaluation of *P. pratense*

编号	综合指标		隶属函数值		综合评价	排序
	C(I)	C(II)	D(I)	D(II)		
TM-1	-0.820	-0.210	0.526	0.404	0.490	5
TM-2	-0.340	-1.010	0.601	0.212	0.487	6
TM-3	1.890	-0.630	0.950	0.303	0.761	2
TM-4	-4.180	-0.170	0.000	0.413	0.121	7
TM-5	2.000	-1.890	0.967	0.000	0.685	3
TM-6	-0.760	1.640	0.535	0.849	0.627	4
MS	2.210	2.270	1.000	1.000	1.000	1
Wj			0.708	0.292		



上升趋势的TM-3、TM-5和MS材料萌发水分需求较低,抗旱性表现较强,可在后期试验增加PEG处理梯度,观测后续发芽率、根芽比等种子萌发参数的变化,结合苗期数据进一步探讨干旱胁迫下梯牧草自身调节机制,挖掘野生材料优良抗旱基因。

### 3.3 梯牧草萌发期抗旱性综合评价分析

梯牧草萌发期的抗旱鉴定由于受到诸多因素影响,单一指标的抗旱分析均存在一定的偏颇,无法准确地反映其抗旱性差异<sup>[10]</sup>。本研究中7份材料耐旱临界值与极限值并不呈正比关系,同样说明参考的鉴定指标不同,抗旱强弱排序就会产生一定的差异<sup>[29]</sup>,因此要评价梯牧草种质资源的抗旱性应以多指标,多角度、全方位综合考虑。7份材料总体干旱敏感浓度区间介于15%~20%,参考相关文献<sup>[24,29]</sup>综合分析,宜以15%PEG作为梯牧草萌发期抗旱鉴定最适浓度。隶属函数综合评价结果相较临界值与极限值的不同一是在于最适鉴定浓度的确立,考虑到了不同材料间的抗旱性差异,并采用相对指标消除了材料间本底差异<sup>[10,39]</sup>;二是主成分分析结合隶属函数既能避免抗旱信息的重叠及兼顾各指标间的相互关系,又能为因子赋予权重<sup>[28-29,31]</sup>,使得综合评价鉴定结果更加的科学、可靠。鉴于此,本研究采用主成分结合隶属函数综合评价法,得出7份材料抗旱性由强到弱依次为MS>TM-3>TM-5>TM-6>TM-1>TM-2>TM-4。

对野生种质资源进行抗旱鉴定,筛选出抗旱性强的优良牧草,并通过现代育种技术手段培育新品种(系)是发掘优质抗旱性基因、丰富国有种质资源的重要手段<sup>[28]</sup>。处于萌发期的植物对水分颇为敏感,种子的萌发能力能在一定程度上反映该品种苗期对水分胁迫的忍耐能力<sup>[10,33]</sup>。对新疆各野生生境的梯牧草种质进行抗旱性鉴定,可以选育出具有较高抗旱能力的梯牧草资源,从而满足当前草产业的需求。由于抗旱能力是一种综合特征,贯穿植物各个生长期,且不同时期的抗旱能力也存在一定的差异<sup>[6]</sup>,萌发期抗旱性强弱与苗期是否一致仍需探讨。本研究仅从萌发期对梯牧草的抗旱性进行了初步的讨论,并对其进行了相应的综合抗旱排序,但为了科学、准确地筛选具有较高抗旱性的梯牧草品种,还有待于在苗期进一步检验。

## 4 结论

干旱胁迫对梯牧草种子萌发的影响总体上表现为“低促高抑”,且材料不同旱害症状也不一致。低浓度PEG(5%)一定程度上增强梯牧草根长、芽长、鲜重和活力指数;随胁迫加重,梯牧草发芽率、发芽势、发芽指数、根长、芽长、根芽比和活力指数等指标显著下降;与芽长相比,根长对干旱胁迫更加敏感。15%PEG宜作为鉴定浓度对各项指标进行综合评价,7份梯牧草材料抗旱能力由强到弱依次为MS>TM-3>TM-5>TM-6>TM-1>TM-2>TM-4。野生材料部分抗旱指标表现要优于栽培种,具有较好的抗旱潜力。研究结果可为今后梯牧草抗旱种质筛选,培育抗旱新品种提供一定的参考依据。

### 参考文献:

- [1] 闫兴富,邓晓娟,王静,等. 种子大小和干旱胁迫对辽东栎幼苗生长和生理特性的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(10):3331-3339.
- [2] 孙晓梵,张一龙,李培英,等. 茉莉酸甲酯浸种对狗牙根种子萌发期抗旱性影响[J]. 中国草地学报,2021,43(4):53-60.
- [3] 安玉艳,梁宗锁. 植物应对干旱胁迫的阶段性策略[J]. 应用生态学报,2012,23(10):2907-2915.
- [4] 张玉林,尹本丰,陶冶,等. 冻融过程对荒漠短命植物种子萌发的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(2):301-312.
- [5] 张春辉,马真,任彦梅,等. 青藏高原高寒草甸六种杂类草植物种子萌发期抗旱性研究[J]. 草地学报,2022,30(5):1159-1164.
- [6] 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.
- [7] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 新疆气候变化研究进展[J]. 干旱区研究,2011,28(3):499-508.
- [8] 杨景辉,王艳荣,苏敏,等. 三种草坪草对土壤水分利用特征的比较研究[J]. 中国草地学报,2012,34(6):44-48.
- [9] 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.
- [10] 段敏敏,李培英,孙宗玖,等. PEG胁迫下50份新疆狗牙根种质芽期抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报,2015,37(4):27-34.
- [11] 张冬生,江彩华,肖腊兴,等. 猫尾草的价值与栽培技术

- [J]. 广东林业科技, 2007, 23(5): 92-94, 99.
- [12] 杜文华, 田新会, 曹致中. 猫尾草不同品种的种子产量和适应性评价[J]. 草业学报, 2004, 13(3): 52-56.
- [13] 杜文华. 猫尾草营养价值及栽培利用研究进展[J]. 草原与草坪, 2003, 23(4): 7-11.
- [14] 魏永林. 环境因子对猫尾草种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 青海气象, 2003(1): 26-29.
- [15] 张鲜花, 李江艳, 袁小强, 等. 不同海拔梯牧草生物型种群构件的生物量分配策略[J]. 草原与草坪, 2021, 41(3): 1-8.
- [16] 师尚礼, 曹文侠, 陈耀, 等. 猫尾草产业发展现状与前景分析[J]. 草原与草坪, 2020, 40(5): 1-7.
- [17] 曹致中. 我国猫尾草引种栽培与猫尾草产业之梗概[J]. 中国草地, 2003, 25(6): 73-75.
- [18] 穆春生, 李南洙, 刘自学, 等. 克力玛猫尾草新品种引育[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(5): 498-502.
- [19] 周卫生, 干友民, 李才旺, 等. 猫尾草的研究概况[J]. 草业科学, 2003, 20(6): 16-20.
- [20] 张鲜花, 朱进忠, 李江艳. 新疆野生梯牧草种质资源分布与保护利用[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(8): 1560-1568.
- [21] Masuko T, Kodama I, Ohta N. Effects of Addition of Formic Acid or Mixture of Bacterial Inoculant and Enzyme on Fermentation of Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.), Timothy (*Phleum pratense* L.) and Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Silages[J]. Japanese Journal of Grassland Science, 1996, 42(1): 13-19.
- [22] 褚红丽, 马文馨, 田新会, 等. 猫尾草新品系的抗旱性研究[J]. 中国草地学报, 2021, 43(11): 52-59.
- [23] 秦文静, 梁宗锁. 四种豆科牧草萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 61-70.
- [24] 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.
- [25] 孙艳茹, 石屹, 陈国军, 等. PEG模拟干旱胁迫下8种绿肥作物萌发特性与抗旱性评价[J]. 草业学报, 2015, 24(3): 89-98.
- [26] 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.
- [27] 汤丽斯, 孙宗玖, 武文超, 等. 生物菌剂浸种对干旱胁迫下伊犁绢蒿种子萌发的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(2): 17-27.
- [28] 孙宗玖, 李培英, 阿不来提, 等. 种子萌发期38份偃麦草种质耐盐性评价[J]. 草业科学, 2012, 29(7): 1105-1113.
- [29] 段敏敏, 孙宗玖, 李培英. PEG胁迫下新疆地区狗牙根种子的萌发特性[J]. 草业科学, 2016, 33(7): 1275-1284.
- [30] 国家质量技术监督局. 草种子检验规程发芽试验: GB/T 2930.4-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [31] 石永红, 万里强, 刘建宁, 等. 多年生黑麦草抗旱性主成分及隶属函数分析[J]. 草地学报, 2010, 18(5): 669-672.
- [32] Barrios D, Flores J, Sánchez J A, et al. Combined effect of temperature and water stress on seed germination of four *Leptocereus* spp. (Cactaceae) from Cuban dry forests[J]. Plant Species Biology, 2021, 36(3): 512-522.
- [33] 李文烧, 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): 3066-3074.
- [34] 王传旗, 刘文辉, 张永超, 等. 老芒麦成苗期间的耐旱性及其需水条件[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(8): 151-158.
- [35] 许翩翩, 王建柱. 三种常见边坡植物对模拟干旱环境抗旱性能的研究[J]. 草业学报, 2018, 27(2): 36-47.
- [36] 闫富兴, 周立彪, 思彬彬, 等. 不同温度下PEG-6000模拟干旱对柠条锦鸡儿种子萌发的胁迫效应[J]. 生态学报, 2016, 36(7): 1989-1996.
- [37] 姜黎, 赵振勇, 田长彦. 模拟干旱胁迫与温度对野榆钱菠菜种子发芽特性和幼苗生长的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(12): 27-32.
- [38] 马富举, 李丹丹, 蔡剑, 等. 干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 724-730.
- [39] 景蕊莲, 吕小平. 用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(4): 292-296.

# Comprehensive evaluation of drought resistance of 7 *Phleum pratense* forage germplasm materials during seed germination

TAN Jia-qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Xian-hua<sup>1,2\*</sup>, LI Si-yuan<sup>1,2</sup>, YUAN Hui<sup>1,2</sup>, HAN Xi-qing<sup>1,2</sup>,  
PANG Si-qiang<sup>1</sup>

(1. College of Grassland Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Key Laboratory of Grassland Resources and Ecology, Urumqi 830052, China;)

**Abstract:** **【Objective】** In order to explore the effects of drought stress on seed germination and seedling growth of *Phleum pratense*, the drought-resistant germplasm was screened. **【Method】** In this study, 6 wild *Phleum pratense* L. forage materials and 1 introduced species material were used as research objects. PEG was used to simulate drought stress, and 5 treatment gradients of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% were set. The germination indexes and growth indexes were determined, the differences of drought resistance indexes were analyzed, and the appropriate drought resistance identification concentration was determined and drought resistance germplasm was screened. **【Result】** The results showed that the low concentration of PEG (5%) could promote the root length, shoot length, seedling fresh weight and vigour index, while the high concentration of PEG ( $\geq 15\%$ ) would inhibit the germination rate, germination potential, germination index, root length, shoot length, root-shoot ratio and vigour index. And the root length of *Phleum pratense* L. was more sensitive than shoot length for drought stress. 15% PEG was suitable for identifying drought resistance. Wild materials had better drought resistance potential. The results of principal component analysis and membership function comprehensive evaluation showed that the drought resistance of the seven materials was MS > TM-3 > TM-5 > TM-6 > TM-1 > TM-2 > TM-4 from strong to weak. **【Conclusion】** The research revealed that a certain degree of drought stress could promote seed germination and seedling growth of *Phleum pratense*, and could provide some reference for the screening of drought-tolerant germplasm and the breeding of new drought-tolerant varieties of *Phleum pratense*.

**Key words:** *Phleum pratense*; PEG; drought resistance; drought stress; seed germination

(责任编辑 康宇坤)