

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2018.03.019

6 种高寒牧区禾本科牧草抗旱性研究与评价

李京蓉^{1,2}, 周学斌⁶, 马 真^{2,3*}, 刘泽华¹, 石国玺⁴, 王文颖¹, 张中华^{2,5},
郭美玲^{2,5}, 姚步青², 张春辉³, 马 丽^{2,5}, 周华坤^{2,3*}

(1. 青海师范大学, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院西北高原生物研究所青海省寒区恢复生态学重点实验室, 青海 西宁 810001; 3. 青海大学省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室, 青海 西宁 810016; 4. 天水师范学院甘肃省农业固体废弃物资源化利用重点实验室, 甘肃 天水 741000; 5. 中国科学院大学, 北京 100049; 6. 青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810001)

摘要:本研究选择在高寒地区种植多年的 6 种禾本科牧草, 对其进行种子萌发期和苗期抗旱性试验。用 PEG 模拟水分胁迫及连续干旱法来研究干旱胁迫对种子发芽率及种子幼苗期生理指标的影响, 以此来综合评价六种禾本科牧草的抗旱性强弱。种子萌发期研究结果表明, 5% 的 PEG 浓度有效促进种子萌发, 高 PEG 浓度显著抑制种子发芽率。经连续干旱胁迫法处理的苗期牧草, 测定其相对含水量、丙二醛含量、可溶性糖含量和叶绿素含量四项生理指标。对两个时期隶属值综合分析可知, 六种牧草的抗旱性强弱为: 草原看麦娘 (*Alopecurus pratensis*) > 无芒雀麦 (*Bromus inermis*) > 同德短芒披碱草 (*Elymus breviaristatus*) > 同德贫花鹅观草 (*Roegneria pauciflora*) > 大颖草 (*Roegneria grandiglumis*) > 扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*)。

关键词: 干旱; 萌发期; 苗期; 生理指标; 抗旱性

中图分类号: S152.481

文献标识码: A

文章编号: 1007-0435(2018)03-0659-07

Research and Evaluation on Drought Resistance of Six Grasses in High-cold Pastoral Area

LI Jing-rong^{1,2}, ZHOU Xue-bing⁶, MA Zhen^{2,3*}, LIU Ze-hua¹, SHI Guo-xi⁴, WANG Wen-ying¹,
ZHANG Zhong-hua^{2,5}, GUO Mei-ling^{2,5}, YAO Bu-qing², ZHANG Chun-hui³, MA Li^{2,5}, ZHOU Hua-kun^{1,2*}

(1. Qinghai Normal University, Xining, Qinghai Province 810008, China; 2. Key Laboratory of Cold Restoration Ecology, Qinghai Province, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai Province 810008, China; 3. State Key Laboratory of Ecology and Plateau Agriculture and Animal Husbandry, Sanjiang, Qinghai Province 810016, China; 4. Gansu Key Laboratory for Utilization of Agricultural Solid Waste Resources, Gansu Province, Tianshui Normal University, Tianshui, Gansu Province 741000, China; 5. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 6. Qinghai hydrological water resources survey bureau, Xining, Qinghai Province 810001, China)

Abstract: In this study, six forage grasses cultivated in alpine region were selected to evaluate their seed germination and seedling drought resistance. The effects of drought stress on physiological indexes of six grasses on seed germination and seedling stage were studied by PEG simulation of water stress and continuous drought. The main conclusions of this study were as follows: In seed germination period, low PEG concentration (5%) promoted seed germination, and high PEG concentration significantly inhibited seed germination rate. At the seedling stage, seedlings treated by successive drought and the relative water content, malondialdehyde content, soluble sugar content and chlorophyll content of the physiological indexes were measured. Two periods of membership value comprehensive analysis found that the drought resistance of six grasses was in following order: *Alopecurus pratensis* > *Bromus inermis* > *Elymus breviaristatus* > *Roegneria pauciflora* > *Roegneria grandiglumis* > *Agropyron cristatum*

Key words: Drought; Germination period; Seedling stage; Physiological index; Drought resistance

收稿日期: 2017-12-28; 修回日期: 2018-05-21

基金项目: 青海省自然科学基金项目 (2016-ZJ-910; 2015-ZJ-919Q); 省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室开放研究项目 (2017-KF-02; 2017-ZZ-11), 青海省创新平台建设专项 (2017-ZJ-Y20, 2016-ZJ-Y01); 国家自然科学基金项目 (31672475; 31702163; 31600335); 2017 年度青海三江源生态保护和建设二期工程科研和推广 (2017-S-1) 资助

作者简介: 李京蓉 (1994-), 女, 青海民和人, 硕士研究生, 主要从事草地生态恢复研究, E-mail: 350440948@qq.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail: hkzhou@nwipb.cas.cn; mazhen@nwipb.cas.cn

中国有广袤的疆土和复杂的地形,干旱和半干旱地区主要集中在华北、东北和西北地区^[1]。各地环境中都各具特色。当植物遭遇不良环境(如低温、干旱、盐),则发生一系列的生理生化代谢反应,表现为可逆抑制植物的代谢和生长,在严重的情况下甚至会造成不可挽回的伤害,导致整个植物的死亡,给农业和畜牧业的生产带来不可估量的损失^[2]。

青海省位于青藏高原东北方向,天然草地资源十分丰富。而青海省内几乎无良好的饲料资源,优质的饲草供应已成为制约该牧区畜牧业发展的障碍。一些地方采用了开发利用当地野生种质资源的方法来解决这一矛盾,更多的是从外地或国外采购的解决方案来满足这种需求,但是引进品种不适合在当地恶劣的自然条件下耕作。若要长期稳定地解决种源问题,寻找高产优质饲草种源以治理生态环境和改良退化草地已迫在眉睫^[3-4]。

本试验选取的六种草种为多年生禾本科牧草。多生长于海拔 3 000~3 600 m 以上的天然草地,是很多地区草地改良和人工草地建设的优良牧草,还是退耕还林、水土保持的重要牧草。然而,这些优良牧草目前仍处于试验阶段,还未大规模种植并应用于草地恢复与畜牧业发展中。

研究表明,干旱胁迫会造成植物生理脱水,导致细胞和组织的水势下降,从而影响植物的各项生理生化反应过程^[5]。同时,干旱胁迫还会破坏线粒体、叶绿体及其核结构的功能,影响光合作用和呼吸作用^[6]。此外,青海特殊的地理位置及气候,容易发生春旱等干旱胁迫会影响种子萌发时的吸水量,造成萌发不稳定,萌发率低,并且影响出苗率,严重时完全抑制种子萌发^[7-8],也会导致植物细胞膨压降低,从而阻碍植物生长^[9]。

张美俊^[10]、石永红^[11]等试验表明丙二醛(malondialdehyde, MDA)、可溶性糖含量及叶绿素含量能够作为评价植物抗旱性的指标。因此,本试验通过探究这六种牧草在萌发期,主要是苗期对干旱的生理响应,综合评价它们的抗旱性强弱,为草甸恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选取了在青海省分布较为广泛的 6 种禾本科牧草进行抗旱性评价(见表 1)。

表 1 供试材料

Table 1 Test materials

种名	拉丁名	来源
Species name	Latin name	Source
同德贫花鹅观草	<i>Roegneria pauciflora</i>	青海省牧草良种繁殖场
草原看麦娘	<i>Alopecurus pratensis</i>	青海省草原总站
无芒雀麦	<i>Bromus inermis</i>	青海省牧草良种繁殖场
大颖草	<i>Roegneria grandiglumis</i>	青海省草原总站
扁穗冰草	<i>Agropyron cristatum</i>	青海省草原总站
同德短芒披碱草	<i>Elymus breviaristatus</i>	青海省牧草良种繁殖场

1.2 试验材料处理方法

1.2.1 牧草萌发期试验材料处理方法 水分胁迫条件由聚乙二醇(polyethyleneglycol, PEG)溶液产生。共设 6 种处理,即 PEG 质量浓度分别为 0% (CK,蒸馏水)、5%、10%、15%、20%、25%。选择成熟、饱满、中等大小、均匀、无病的健康种子作为萌发材料。每粒试验种子用 1% NaCl 消毒 15 分钟,用蒸馏水清洗干净并放入铺有滤纸的培养皿中,加入适量的 PEG 溶液,使其发芽。培养皿放置在培养箱中,温度控制在 20℃左右,每天大约 12 h 光照。每天给培养皿加等量的 PEG 溶液,滤纸浸透,少许剩余,每 4 天更换一次滤纸,以减少水势变化。对照(CK)以蒸馏水代替 PEG。每个浓度梯度 4 个重复(包括对照),每个重复 50 粒种子。从观察的日期起,从种子置于培养皿开始,胚芽长度为种子长度的 1/2 作为萌发的标准。将重复中最早有一粒发芽的日期作为开始,之后每天记录发芽种子的数量,当连续 12 天每个培养皿都不再有种子萌发时将其作为发芽的结束期^[12-14]。

发芽率(%) = (发芽数/供试种子数) × 100%。

1.2.2 牧草苗期试验材料处理方法 选择土壤需筛分除石去杂质,土壤:细砂:生物肥料的比例为 4:1:1,入盆浇透,然后用 1% NaCl 消毒的种子均匀地撒在盆中,播种深度 1 cm,再轻轻的用干土覆盖。播种后,将花盆放置在露天的室外环境中(避免雨水),直到幼苗长到 2~3 片叶时开始间苗,每盆留 30 株。每种牧草 6 盆,共计 36 盆。生长到 4~5 片叶片时进行处理。设置干旱胁迫处理和对照(正常浇水)两组。所有材料都是实验前 3 d 浇水以使每盆土壤处于饱和含水状态与正常浇水(土壤含水量保持在 22.78±2.01%)作为对照。样品分别于第 0 d、第 4 d、第 8 d、第 12 d 和第 16 d 早上 7:00—8:30 am (8:30—9:00 am) 采样,选用长势一致、外观大小相似的叶片,样品用塑料包装后,用保鲜膜包裹置于实验室的冰箱中,并及时测

定各项生理指标。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 相对含水量 取样称重后立即浸入水中后数小时,吸干水分,立即称重;再次浸泡在水中一段时间,吸干水分,然后称重,直到两次称重的结果基本一致,即新鲜的叶重(W_t),放在烘箱中烘干至恒重,称干重(W_d)。按下式计算:

$$\text{叶片相对含水量}(\%) = 100\% \times [(W_t - W_d) / (W_t - W_d)]$$

1.3.2 MDA 含量和可溶性糖含量 MDA 含量和可溶性糖含量采用硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA) 比色法测定,采用双组分分光光度计法可同时测定出可溶性糖的含量^[15]。取上述酶提取液 1.5 ml,加入 2.5 ml 0.6% 的 TBA 溶液,混匀于沸水浴中反应 15 min,迅速冷却后 4℃ 下离心 10 min,取上清液测定 450、532 和 600 nm 下的吸光度^[16]。

1.3.3 叶绿素相对含量 称取剪碎的鲜样,于研钵中研成匀浆,加 80% 丙酮,继续磨至组织变白,再过滤至 25 ml 容量瓶中,反复用丙酮清洗数次,最后用丙酮定容至 25 ml。以 80% 丙酮为空白对照,测定 470 nm、646 nm、663 nm 波长下的吸光值。

$$Ca = 12.21D_{663} - 2.81D_{646};$$

$$Cb = 20.13D_{646} - 5.03D_{663};$$

$$\text{叶绿素总浓度 } C = Ca + Cb;$$

$$Cx.c = (1000D_{470} - 3.27Ca - 104Cb) / 229;$$

Ca、Cb、叶绿素 a 和叶绿素 b 的浓度;Cx. c,类胡萝卜素的总浓度。

根据下式计算组织中各色素的含量:

$$\text{色素含量}(\text{mg/g}) = [\text{色素浓度 } C(\text{mg/ml}) \times \text{提取液总量}(\text{ml}) \times \text{稀释倍数} \times 1000] / \text{样品叶片鲜重}(\text{g})。$$

1.4 综合评价方法

应用 Fuzzy 数学中隶属函数法^[17-20] 进行综合评判,其计算公式如下:

(1) 与抗旱性呈正相关的参数采用公式:

$$U(X_{ijk}) = X_{ijk} - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min}$$

(2) 与抗旱性呈负相关的参数采用公式:

$$U(X_{ijk}) = 1 - X_{ijk} - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min}$$

式中,U(X_{ijk}) 为第 i 个草种第 j 个干旱天数第 k 项指标的隶属度,且 U(X_{ijk}) ∈ [0, 1]; X_{ijk} 表示第 i 个草种第 j 个干旱天数第 k 个指标测定值;

X_{max}、X_{min} 为所有参试种中第 k 项指标的最大值和最小值。

1.5 数据分析

试验数据处理采用 Excel 2007、SPSS 20.0 分析试验数据和 Orgin 程序绘图,试验数据处理了相同物种和不同 PEG 浓度间以及相同 PEG 浓度下不同物种之间的差异,用 SNK 方法在 0.05 显著水平上做多重比较^[2]。

2 结果与分析

2.1 PEG 对禾本科牧草萌发期抗旱性影响

从图 1 可以看出,种子萌发后对水分胁迫具有较强的适应性。用不同浓度的 PEG 溶液处理试验种子,当 PEG 浓度低(5% PEG) 时,有效促进种子萌发,6 种牧草发芽率相比对照均有所增加;另外,除在 0% 和 10% PEG 浓度时各品种发芽率相近外,15%~25% PEG 浓度下的 6 种禾本科牧草种子的发芽率随 PEG 浓度的增加呈显著降低趋势(P < 0.05)。由图可知,6 种牧草发芽率大小顺序为:草原看麦娘 > 无芒雀麦 > 同德短芒披碱草 > 同德贫花鹅观草 > 大颖草 > 扁穗冰草。

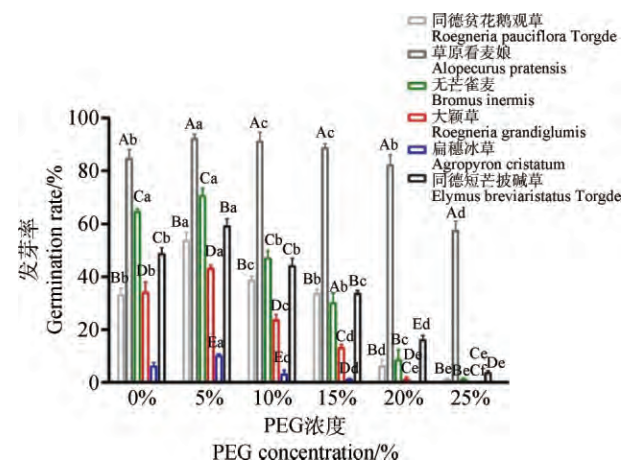


图 1 不同 PEG 浓度处理下发芽率
Fig. 1 Relative germination rate of six grasses under different PEG concentrations treatment

注:小写字母表示同一物种浓度间差异,大写字母表示同一浓度下物种间差异
Note: Lowercase letters indicate difference in concentrations of the same species, and capital letters indicate difference between species at the same concentration

2.2 干旱胁迫对禾本科牧草苗期各生理指标影响

图 2 可知,各牧草叶片相对含水量与对照(土壤含水量保持在 22.78 ± 2.01%) 相比变化不大,而各

牧草相对含水量均随干旱天数增加而呈现明显的下降趋势。不同牧草间比较,对照、4 d 与 8 d 时,各品种相对含水量变化不大,但第 12 d、16 d 时,各品种间相对含水量存在显著差异,下降速度依次是大颖草>扁穗冰草>同德贫花鹅观草>同德短芒披碱草>草原看麦娘>无芒雀麦。

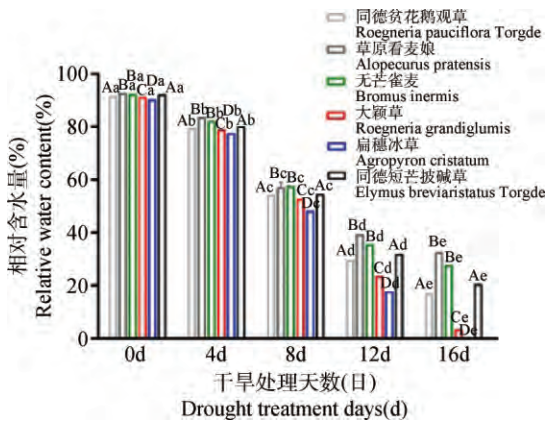


图 2 干旱胁迫对相对含水量的影响

Fig. 2 Effect of Drought Stress on Relative Water Content

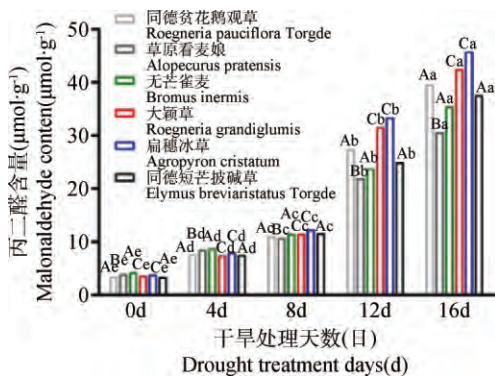


图 3 干旱胁迫对丙二醛含量的影响

Fig. 3 Effect of Drought Stress on Malondialdehyde Content

由图 3 可知,丙二醛含量随干旱胁迫程度的增强而呈整体上升趋势。在 12 d 和 16 d,大颖草、扁穗冰草 MDA 增加最多,分别比对照增加了 9.14, 12.31 倍和 9.31, 12.78 倍;MDA 增加最少的为草原看麦娘和无芒雀麦,分别为对照的 5.84, 8.77 倍和 5.71, 8.52 倍;同德短芒披碱草和同德贫花鹅观草的增量则居中,分别是对照的 7.84, 11.82 倍和 8.39, 12.14 倍。表明大颖草、扁穗冰草受害最大,草原看麦娘、无芒雀麦受害则最小。

可溶性糖含量在图 4 中呈先升高后降低的趋势。在 8 d 时,可溶性糖含量最高,并自此开始下降。其中,大颖草、扁穗冰草分别比对照下降了 1.53

和 2.82 倍,相比其他物种可溶性糖含有量最少,抗旱能力相对其他牧草较弱。

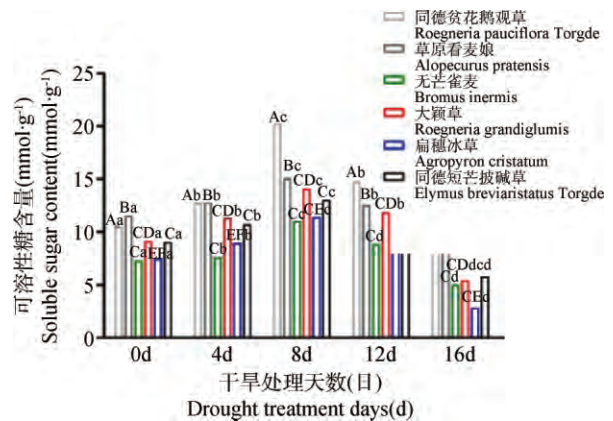


图 4 干旱胁迫对可溶性糖含量的影响

Fig. 4 Effect of Drought Stress on Soluble Sugar Content

叶绿素含量由图 5 可知,在第 0~4 d,各牧草叶绿素均呈现显著增加的趋势($P < 0.05$),但从第 8~16 d 开始,各牧草叶绿素含量随干旱天数的增加呈现下降趋势,且各品种间存在显著差异($P < 0.05$)。

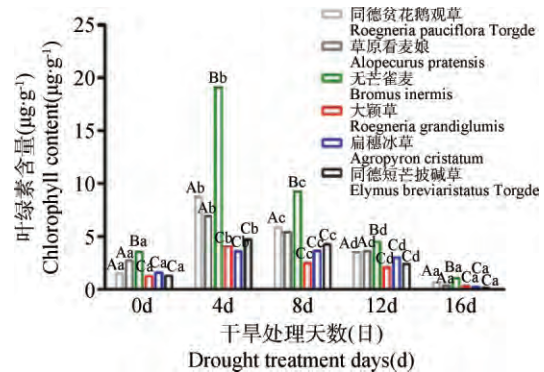


图 5 干旱胁迫对叶绿素含量的影响

Fig. 5 Effects of Drought Stress on Chlorophyll Content

注:小写字母表示同一物种浓度间差异,大写字母表示同一浓度下物种间差异

Note: Lowercase letters indicate difference in concentrations of the same species, and capital letters indicate difference between species at the same concentration

2.3 禾本科牧草抗旱性综合评价

将参试的 6 种牧草与各项生理指标进行综合分析,计算 6 种牧草各指标隶属度值,并以各牧草的平均抗旱隶属度作为鉴定抗旱性强弱的综合评价指标。根据 6 种牧草的抗旱性指标隶属函数值及抗旱能力大小(表 2),六种牧草的隶属函数值平均数大小依次为:草原看麦娘>无芒雀麦>同德短芒披碱草>同德贫花鹅观草>大颖草>扁穗冰草。

表2 各牧草对干旱胁迫适应指标的隶属函数值及评价

Table 2 Membership value and evaluation of adaptation indexes of herbage to drought stress

草种 Grass species	发芽率 Germination rate	相对含水量 Relative water	MDA含量 MDA content	叶绿素 Chlorophyll	可溶性糖 Soluble sugar	综合评价 Comprehensive evaluation
同德贫花鹅观草 <i>Roegneria pauciflora</i>	0.363	0.165	0.476	0.481	0.572	0.498
草原看麦娘 <i>Alopecurus pratensis</i>	0.424	0.197	0.598	0.475	0.537	0.568
无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i>	0.387	0.182	0.528	0.514	0.462	0.543
大颖草 <i>Roegneria grandiglumis</i>	0.361	0.129	0.447	0.454	0.514	0.475
扁穗冰草 <i>Agropyron cristatum</i>	0.337	0.119	0.438	0.443	0.475	0.458
同德短芒披碱草 <i>Elymus breviaristatus</i>	0.355	0.143	0.488	0.472	0.498	0.519

3 讨论

抗旱性是受多种因素影响的一种复杂的定量性状。一个物种在所有性状上都不会特别显著。因此,孤立的用单一指标评定牧草的抗旱性是片面的,得出的结果可能并不能准确的代表牧草的实际抗旱能力。因此,为了反映植物抗旱性,在评价植物抗旱时,应利用多种指标对牧草抗旱性进行综合评价,并结合实际生长情况进行综合评价。此外,牧草干旱胁迫下的抗旱性机制及其改善方法还有待进一步研究^[21-23],以取得准确可靠的结果。

水分是种子萌发的必要条件之一。抗旱性强的牧草具有较高的萌发率以及抗旱性弱的牧草具有较低的萌发率。而 Blum^[24]与 Sharma^[25]认为,水分胁迫下植物种子的萌发率和抗旱性并不是呈正相关关系,甚至是负相关的。在研究牧草种子萌发特性及其抗旱性差异时,不同浓度的 PEG 溶液一般被用作渗透胁迫因子,模拟土壤自然水势,在水分胁迫下对牧草种子萌发进行处理。目前,关于豆科植物的研究较多^[22,26-27]和 *Agropyron vristatum*^[5,28]。结果表明,PEG 胁迫下种子萌发率可以作为这些牧草抗旱性能的评定指标。本研究对六种禾本科牧草发芽率的结果分析与前面的研究保持一致。

叶绿素是一种植物合成有机色素、进行光合作用的物质,外部的环境情况会影响它的合成与降解,以此反映牧草对外界胁迫的应对能力。干旱胁迫情况下,叶绿素含量在初始的前几天有所升高,之后会逐渐降低。有研究表明抗旱性强的牧草的叶绿素含量高于抗旱性弱的牧草的叶绿素含量^[29-31]。其原因

可能是由于叶绿素生物合成作用减弱引起的水分的急剧减少;另一方面,由于干旱引起植物中活性氧的积累,氧自由基的积累直接或间接活化膜脂质过氧化,造成膜渗透性损伤,加速叶绿素分解^[30]。结果表明,在干旱胁迫下6种禾本科草叶绿素的变化趋势与黄华等^[32]、张晓海等^[33]的结果一致,在第0~4 d,各牧草叶绿素均呈现显著增加的趋势,而从第8~16 d开始,各牧草叶绿素含量随干旱天数的增加呈现下降趋势,且各品种间存在显著差异。本试验中叶绿素含量的大小顺序为:草原看麦娘>无芒雀麦>同德短芒披碱草>同德贫花鹅观草>大颖草>扁穗冰草。

干旱胁迫下植株体表首先体现出植株慢慢发黄,体内表现为叶片含水量下降。试验表明,干旱胁迫下6种禾本科牧草叶片相对含水量均随干旱胁迫时间的增长而呈显著下降趋势,这与前人的研究结果一致^[27,34-35]。所得出相对含水量的大小顺序依次是:草原看麦娘>无芒雀麦>同德贫花鹅观草>同德短芒披碱草>大颖草>扁穗冰草。

干旱胁迫使牧草生物膜的结构和功能受到一定程度的损害,随着干旱时间的增长,生物膜所受损害程度逐渐加深,影响植物体内一系列的生理生化代谢反应。抗旱性强弱的指标MDA是细胞膜过氧化的终产物,丙二醛含量一般情况下可代表细胞膜的伤害程度^[36]。结果表明,随着水分胁迫时间的延长,丙二醛含量在12~16 d期间显著增加,研究结果与辛国荣等^[37-38]的结果一致,但也有人^[39]认为抗旱性强的品种的MDA含量相较于不抗旱品种反而增加较多。这种现象可能是在干旱胁迫下不同品种的丙二醛对此胁迫的敏感度存在差异,因此导致调

节程度的不同。本试验中丙二醛含量的大小顺序是:无芒雀麦>草原看麦娘>同德短芒披碱草>同德贫花鹅观草>大颖草>扁穗冰草。

在干旱胁迫下,一些可溶性物质在植物体内会自发的迅速积累,以降低其体内渗透潜力,从而保证干旱胁迫下植物的正常供水量。其中,可溶性糖是植物体细胞内的主要渗透调节物,可溶性糖含量的多少直接体现出细胞受到的干旱胁迫强度,也可判定植物对逆境胁迫的抵抗力^[40-41]。试验表明,6种禾本科牧草在第8d前可溶性糖迅速积累,当干旱胁迫持续到12d时,各禾本科牧草的可溶性糖含量都有所降低,但相较于对照仍呈上升趋势,直到16d时,与对照没有显著的差异。

本研究以6种高寒地区的禾本科牧草为研究对象,选择种子萌发期和幼苗期两个对水分最为敏感的时期进行了抗旱性试验并测定相关生理生化指标。试验通过人工模拟牧草的逆境生长环境,但这与牧草的实际生长逆境条件仍存在很大差别。因此,取得的所有实验数据还有待于到实践中去检验。本试验仅对幼苗的抗旱性能做了研究,对干旱胁迫下6种禾本科牧草的水分临界期以及其他指标的影响还有待于进一步研究。以后的研究如果能与实际环境条件和生产实际相结合,使筛选出的抗旱性高的高寒草甸优良牧草服务于实际生产需要并有效促进畜牧业的发展。

4 结 论

本文选择了六种禾本科牧草,进行种子萌发期以及幼苗期抗旱性研究。可知,从种子萌发期抗旱性结果表明,PEG浓度在5%时促进种子萌发,较高PEG浓度(15%~25%)显著抑制种子发芽率。通过对萌发期发芽率和苗期各生理指标进行隶属综合值评价得出,6种牧草抗旱性强弱为:草原看麦娘>无芒雀麦>同德短芒披碱草>同德贫花鹅观草>大颖草>扁穗冰草。

参 考 文 献

[1] 武维华. 植物生理学[M]. 北京:北京科学出版社,2003
 [2] 梁国玲. 羊茅属(*Festuca* L.) 4种牧草抗旱耐寒性研究与评价[D]. 西宁:青海大学,2007:10-20
 [3] 王大明,颜红波. 退牧还草改善草地生态环境[J]. 青海草业,2001(03):37-39
 [4] 刘迎春. 人工草地放牧利用研究现状[J]. 四川草原,2005(5):6-9

[5] 张丽娟,张淑艳,苏慧,等. 几种冰草属植物种子萌发期及幼苗期抗旱性比较研究[J]. 哲里木畜牧学院学报,2000,10(4):1-7
 [6] 姚雅琴,汪沛洪,胡东维,等. 水分胁迫下小麦叶肉细胞超微结构变化与抗旱性的关系[J]. 西北植物学报,1993(01):16-20+80-81
 [7] Kaya M D, Ok ? u G, Atak M, et al. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. European Journal of Agronomy, 2006, 24(4): 291-295
 [8] Jafar M Z, Farooq M, Cheema M A, et al. Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2012, 198(1): 38-45
 [9] Farooq M, Irfan M, Aziz T, et al. Seed priming with ascorbic acid improves drought resistance of wheat [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2013, 199(1): 12-22
 [10] 张美俊,杨武德,乔治军,等. 不同糜子品种萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 草地学报,2013,21(02):302-307
 [11] 石永红,万里强,刘建宁,等. 干旱胁迫对6个坪用多年生黑麦草品种抗旱性的影响[J]. 草地学报,2009,17(01):52-57
 [12] 朱教君,李智辉,康宏樟,等. 聚乙二醇模拟水分胁迫对沙地樟子松种子萌发影响研究[J]. 应用生态学报,2005(05):801-804
 [13] 施积炎,丁贵杰. 水分胁迫对不同种源马尾松种子发芽的影响[J]. 山地农业生物学报,2000,19(5):332-337
 [14] 冯淑华,陈雅君. 干旱对草地早熟禾种子萌发的影响[J]. 草地与草坪,2006(1):70-71
 [15] 郝再彬,苍晶,徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004,106-108
 [16] 李轶冰,杨顺强,任广鑫,等. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较[J]. 生态学报,2009,29(03):1341-1347
 [17] 付宝春,薄伟. 玉簪抗旱性隶属函数及主成分分析[J]. 草地学报,2014,22(06):1324-1330
 [18] 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(05):669-672
 [19] 张文辉,段宝利,周建云,等. 不同种源栓皮栎幼苗叶片水分关系和保护酶活性对干旱胁迫的响应[J]. 植物生态学报,2004,28(4):483-490
 [20] 黎燕琼,刘兴良,郑绍伟,等. 岷江上游干旱河谷四种灌木的抗旱生理动态变化[J]. 生态学报,2007,27(3):870-878
 [21] 吕德彬,杨建平. 水分胁迫下不同小麦品种抗性反应与产量表现的相关关系[J]. 河南农业大学学报,1994
 [22] 于卓,史绣华,孙祥. 四种植物种子萌发及苗期抗旱性差异的研究[J]. 西北植物学报,1997,17(3):410-415
 [23] 皱琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000,159-173
 [24] A. Blum, Bebi Sinmena, O. Ziv. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening tests in wheat [J]. Euphytica, 1980, 29
 [25] Sharma M L. Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species [J]. Agron. J, 1973(65): 982-987
 [26] 王颖,穆春生,王靖,等. 松嫩草地主要豆科牧草种子萌发期耐旱性差异研究[J]. 中国草地学报,2006,28(1):7-12
 [27] 郭彦军,倪郁,吕俊,等. 豆科牧草种子萌发特性与其抗旱性差

- 异的研究[J]. 中国草地,2003,25(3):24-27
- [28] 李景欣,云锦凤,苏布道,等. 几个不同种群冰草的抗旱性比较研究[J]. 干旱区资源与环境,2004(05):163-167
- [29] 张卫红,刘大林,苗彦军,等. 西藏3种野生牧草苗期对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报,2017,37(21):7277-7285
- [30] 张力君,易津,贾光宏,等. 9种禾草对干旱胁迫的生理反应[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2000(04):14-19
- [31] 马宗仁,刘荣堂. 牧草抗旱生理学[M]. 兰州:兰州大学出版社:47-48
- [32] 史晓霞,毛培春,张国芳. 15份马蔺材料苗期抗旱性比较[J]. 草地学报,2007(4):353-358
- [33] 黄华. 干旱胁迫条件下油松幼苗生长及抗旱性的研究[J]. 西北林学院学报,2004,19(2):1-4
- [34] 高宁,高辉远,石定燧,等. 水分胁迫下两种草坪草的渗透调节与抗旱性的关系[J]. 中国草地,1995(04):44-48
- [35] 李雪莲,张国芳,谷艳蓉,等. 4种多年生禾草苗期抗旱性的比较研究[J]. 四川草原,2005(01):13-15
- [36] 韩建民. 抗旱性不同的水稻品种对渗透胁迫的反应及其与渗透调节的关系[J]. 河北农业大学学报,1990(01):17-21
- [37] Perdomo P, J A Murphy, G A Berkowitz. Physiological changes associated with performance of Kentuck bluegrass cultivars during summer stress[J]. Hort Science,1996(31):1182-1186
- [38] 辛国荣,董美玲,宋淑明. 牧草抗旱性研究1水分胁迫下几种燕麦品种的一些生理生化变化及其与植物抗旱性关系的研究[J]. 草业科学,1996(05):52-57
- [39] 辛国荣,董美玲,宋淑明. 牧草抗旱性研究2水分胁迫下8种燕麦品种的抗旱性综合评价[J]. 草业科学,1996(06):31-35
- [40] 温洋,孙吉雄,王代军. 干旱胁迫对冷地型草坪草生理特性的研究[J]. 草原与草坪,2005,108(1):43-45
- [41] 张丽. 平欧杂种榛抗盐碱生理机制研究及其耐盐性评价[D]. 北京:中国林业科学研究院,2015:3-8+52

(责任编辑 贾婉)