

# 14份紫花苜蓿种子萌发期抗旱性评价

杨学清<sup>1</sup>,任卫波<sup>1\*</sup>,白卓安<sup>1</sup>,郭慧琴<sup>2</sup>,苑峰<sup>3</sup>,刘亚玲<sup>3</sup>

(1. 内蒙古大学生态与环境学院,内蒙古 呼和浩特 010021;2. 内蒙古农业大学,内蒙古 呼和浩特 010010;3. 内蒙古草种业技术创新中心,内蒙古 呼和浩特 010070)

**摘要:**【目的】旨在明确紫花苜蓿种子在干旱胁迫下的发芽特性。【方法】对内蒙古广泛栽培的14个紫花苜蓿品种种子萌发过程中多个抗旱性指标进行测定,并使用15%聚乙二醇-6000(PEG-6000)模拟干旱胁迫,用隶属函数法对其抗旱性进行综合评价。【结果】干旱胁迫条件下,14个紫花苜蓿品种的发芽率、发芽势和发芽指数均显著降低。不同紫花苜蓿品种种子萌发期的抗旱性强弱顺序依次为4030>蕴能>3010>飞跃>巨能551>WL343>巨能201>沃蓿1号>WL168>耐盐之星>阿尔刚金>WL298>雷霆>北极熊。【结论】根据种子萌发试验,初步认为4030、蕴能抗旱能力较强。以上结果为选育紫花苜蓿抗旱新品种提供了理论依据和基础材料。

**关键词:**紫花苜蓿;PEG-6000;种子萌发;抗旱性

**中图分类号:**S541.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2025)01-0205-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2025.01.024



植物生长和生产力在其生命周期中受到各种环境因素的严重损害,干旱胁迫是阻碍植物充分发挥遗传潜力和限制全球作物产量的主要因素<sup>[1]</sup>。干旱胁迫严重损害了叶片的气体交换、养分吸收、光合作用、细胞膜稳定性和渗透稳态,主要是由于渗透胁迫对植物生长过程的限制<sup>[2-3]</sup>。植物利用多种机制来应对干旱胁迫,例如,植物早期开花<sup>[4]</sup>和根冠干质量比的变化降低了根冠生长速率<sup>[5]</sup>,并降低了叶片膨胀率<sup>[6]</sup>。更为

复杂的是,作物对于干旱胁迫的反应因其发育阶段而异,干旱可能发生在生长季节的不同时间<sup>[7]</sup>。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)被称为“牧草之王”,由于其高产、优质和对环境的适应性强,在全球范围内广泛种植<sup>[8]</sup>。中国紫花苜蓿的种植布局主要集中在北方地区,种植面积排名前9位的省份全部位于北方,占中国苜蓿种植总面积的71.5%<sup>[9]</sup>。现阶段,苜蓿已经成为推动草业健康发展和稳定增长、优化种植模式的关键饲料植物,同时,它也是我国重要的高品质饲草<sup>[10]</sup>。与其他牧草相比,苜蓿相对耐旱,尽管苜蓿品种可以适应缺水地区,但缺水仍对其生产力产生负面影响<sup>[11]</sup>。在不同生育期紫花苜蓿受到的干旱影响不同<sup>[12]</sup>,通常在种子发芽和幼苗生长早期影响更大。因此,提高苜蓿的抗旱性以增加其作为饲料的潜力仍然是研究重点。

种子发芽和幼苗早期生长是影响植物种群成功建立的关键阶段,且种子萌发是植物生命史上的一个重要阶段<sup>[13]</sup>。因此,种子在这一阶段所表现出的耐旱性反映了它们对于干旱条件的整体抵抗能力<sup>[14]</sup>。聚乙二醇(PEG)是一种具有显著亲水性的大分子有机化合物,在渗透压下可溶于水,但不能穿透细胞壁。通

**收稿日期:**2024-02-24;**修回日期:**2024-07-29

**基金资助:**国家 STI 2023 项目(2022ZD04017);内蒙古自治区科技计划重大项目(2023JBGS0008;2021ZD00804);呼和浩特市揭榜挂帅项目(2023-JBGS-S-1);内蒙古教育厅高等学校创新团队项目(No. NMGIRT2316);鄂尔多斯市揭榜挂帅项目(2022EEDSKJXM003)。

**作者简介:**杨学清(1997-),女,内蒙古自治区巴彦淖尔市杭锦后旗人,硕士研究生。

E-mail:yangxq98121@163.com

\*通信作者,研究方向为生态组学与分子生态学、草种创新与草地生态修复。

E-mail:rweibo2022@163.com

过诱导水分流失,使种子遭受干旱胁迫而不造成损害,能够有效的模拟作物萌发所需的干旱胁迫环境<sup>[15]</sup>。虽然已有大量研究利用PEG-6000模拟干旱胁迫来评估苜蓿幼苗对干旱胁迫的抗性,但对紫花苜蓿种子在萌发过程中抗旱性的综合评价研究不多。本研究对14个紫花苜蓿种子的各项抗旱性指标,如发芽率、发芽活力、胚芽和胚根的长度以及根与芽的比例等进行了统计和分析,并使用PEG-6000在浓度为15%水平上产生干旱胁迫,连续观察在干旱胁迫下种子的萌发情况,使用隶属度函数法<sup>[16]</sup>对苜蓿种子在萌发阶段的抗旱能力进行全面评估,以确定14个苜蓿品种在萌发阶段的抗旱表现,并从中筛选出能够客观评价这一特性的关键指标,为干旱地区紫花苜蓿新品种的筛选提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验于2023年在内蒙古大学进行,本试验所选用的紫花苜蓿品种的信息见表1。

表1 参试紫花苜蓿品种的名称及来源

Table 1 Name and origin of tested alfalfa seeds

编号	品种名称	来源
1	WL168	北京正道种业有限公司
2	耐盐之星	克劳沃(北京)生态技术有限公司
3	沃蓿1号	克劳沃(北京)生态技术有限公司
4	巨能201	克劳沃(北京)生态技术有限公司
5	蕴能	克劳沃(北京)生态技术有限公司
6	阿尔刚金	北京正道种业有限公司
7	巨能551	克劳沃(北京)生态技术有限公司
8	WL343	北京正道种业有限公司
9	4030	克劳沃(北京)生态技术有限公司
10	北极熊	百斯特种业有限公司
11	雷霆	百斯特种业有限公司
12	WL298	北京正道种业有限公司
13	3010	克劳沃(北京)生态技术有限公司
14	飞跃	克劳沃(北京)生态技术有限公司

### 1.2 试验设计

挑选大小均匀一致、无病虫害、籽粒饱满的种子,将种子用75%乙醇浸种消毒2h,然后用蒸馏水漂洗6次,将处理过的种子用质量分数为2%NaClO溶液浸

泡10min,用蒸馏水漂洗3次以去除残留的溶液。设定2种不同的处理方式:对照组(CK)浇10mL蒸馏水,PEG干旱胁迫(DS)使用15%的PEG-6000溶液(15gPEG+85mL蒸馏水)10mL。

采用纸上发芽法<sup>[17]</sup>,置于垫有3层滤纸的12cm圆形培养皿中(100粒种子/培养皿),每个处理3次重复。将所有带种子的培养皿置于恒温24℃、光照强度1250lx、相对湿度45%~58%的培养箱中,培养10d。根据《国际牧草检验规程》<sup>[18]</sup>,每天统计发芽数,并及时处理发霉的种子,并以称重法补充蒸馏水至恒重。

### 1.3 测定指标与方法

将根长或芽长等于种子长度视为发芽,在试验结束时测定根长、芽长、计算根芽比。

发芽势=4d内发芽数/测试的种子数量×100%;

发芽率=最终发芽后10天内正常发芽的种子数/试验种子数×100%;

发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ ;

式中:Gt=第t天发芽的种子数量,Dt=相应的发芽天数<sup>[19]</sup>。

根芽比(RRE):发芽试验后,从每个处理培养皿中随机选择10株幼苗,并使用直尺(1mm)测量根长(RL)和芽长(EL),取平均值并计算根芽比。

活力指数=发芽指数×Sx

式中:Sx为平均芽长。

抗旱指数=干旱胁迫下的种子发芽指数/对照种子发芽指数。

### 1.4 数据的统计分析

使用Microsoft Excel 2019对数据进行初步处理,采用SPSS 26.0单因素方差分析比较PEG-6000胁迫下的发芽率、根长、活力指数和发芽指数等。使用Origin 2021软件做图。统计学显著性设定为0.05水平。

利用隶属函数的方法评估14种紫花苜蓿种子在萌发阶段的抗旱能力。公式如下:

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

式中: $X(\mu)$ 为某一供试品种的某一抗旱指标的隶属函数值; $\mu$ 为某一供试品种的某一抗旱指标; $X$ 为某一供试品种的某一抗旱指标的测定值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为所有供试品种中该指标的最大值和最小值。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对14个紫花苜蓿品种种子萌发的影响

2.1.1 PEG-6000溶液模拟干旱胁迫对紫花苜蓿种子发芽率的影响 浇蒸馏水条件下,每个品种的发芽率差异显著,其中,蕴能、3010、飞跃的发芽率较高分别为96.0%、91.0%、89.0%,WL298的发芽率最低,为64.0%(图1)。

在PEG胁迫下,14个紫花苜蓿品种种子的发芽率明显下降且受到不同程度的抑制。其中,PEG胁迫下蕴能的发芽率最高,为33.0%,显著高于其他品种,北极熊的发芽率则是最低,为10.0%。PEG胁迫下,蕴能、巨能551、WL168的发芽率与其他品种差异显著( $P<0.05$ ),耐盐之星、沃蓿1号、北极熊、巨能201、阿尔刚金、WL343、4030、雷霆、WL298、3010飞跃的发芽率差异不显著( $P>0.05$ )。

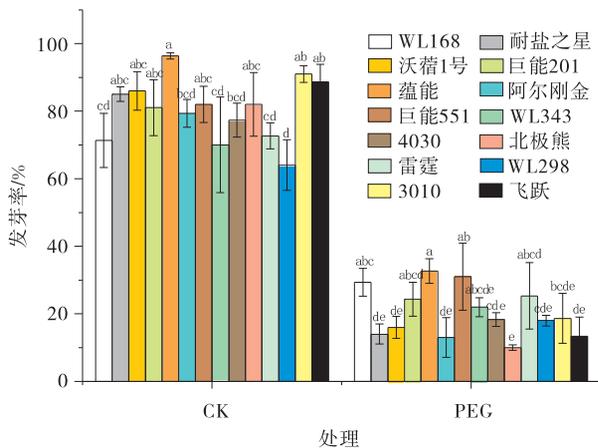


图1 PEG-6000胁迫下紫花苜蓿品种种子的发芽率

Fig. 1 Germination rate of 14 alfalfa varieties under PEG-6000 stress

注:相同处理不同品种间,不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

2.1.2 PEG-6000溶液模拟干旱胁迫对紫花苜蓿种子发芽势的影响 所有品种的种子发芽势均呈下降趋势。CK处理中,蕴能和沃蓿1号的种子发芽势最高,分别为80%和77%,显著高于其他品种;北极熊的种子发芽势最低,为44%(图2)。

在干旱胁迫处理中,4030和蕴能的种子发芽势最高,分别为15%和14%;北极熊的种子发芽势最低为3%,相比对照组显著下降了41%。在PEG浓度下,所有品种的发势与对照组发芽势相比差异显著( $P<0.05$ );蕴能和4030的发势与其他品种差异显著

( $P<0.05$ )。

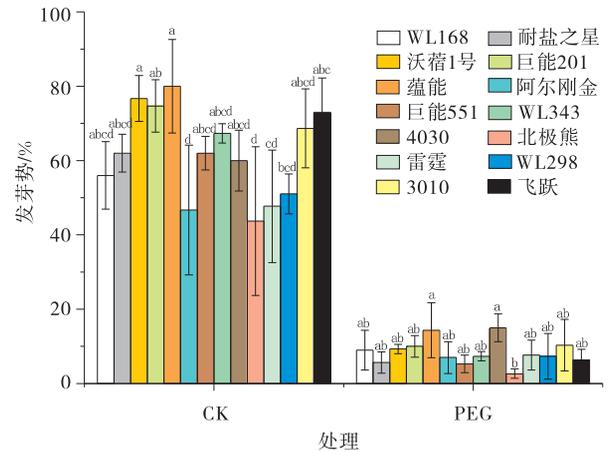


图2 PEG-6000胁迫下紫花苜蓿品种种子的发芽势

Fig. 2 Germination potential of 14 alfalfa varieties under PEG-6000 stress

2.1.3 PEG-6000胁迫对不同品种种苗生长的影响 在干旱胁迫条件下,紫花苜蓿根冠比的变化能够反映地上生物量和地下生物量的关系,且在水分胁迫条件下,植物的根冠比与抗旱性呈正相关,能够有效反映植物品种抗旱性的强弱<sup>[20-21]</sup>。由表2所示,在PEG的干旱压力下,不同程度的降低了14种紫花苜蓿品种的胚根和胚芽的生长。在PEG干旱胁迫和CK条件下,蕴能的胚根长、胚芽长、活力指数均高于阿尔刚金;蕴能的活力指数均高于其他品种。从所测试的紫花苜蓿种子数据来看,在干旱压力下,胚根的长度、胚芽的长度以及胚根与胚芽的长度比并没有明确的模式,呈现出上升或下降的趋势的品种数量各占一半;所有种类的活力指数都显示出下降的态势(表2)。

与CK相比,在PEG胁迫条件下,胚根长、胚芽长以及活力指数都呈现下降趋势,其中活力指数下降的最显著,达到了16.81%,而胚芽长的下降幅度最少,仅为0.07%;与之相反的是,胚根长/胚芽长却增加0.05%。

### 2.2 紫花苜蓿种子萌发期抗旱性综合评价

2.2.1 PEG-6000胁迫下7项指标的相关性分析 通过对7个选定的萌发期抗旱性指标进行相关性分析发现,在14种苜蓿品种中,发芽率、发芽指数以及活力指数之间呈现出了极为显著的正相关关系( $P<0.01$ );胚根长与根芽比存在极显著正相关( $R=0.935$ ,  $P<0.01$ ),据此可以推断,胚根的增长和根芽所包含的发芽信息在93.5%上是一致的,其他各指标间相关性不显著(表3)。

表2 14个紫花苜蓿品种的种子胚发育情况

Table 2 Seed embryo development of 14 alfalfa varieties

品种	胚根长(RL)/cm		胚芽长(EL)/cm		胚根长/胚芽长(RL/EL)		活力指数(VI)	
	CK	PEG	CK	PEG	CK	PEG	CK	PEG
WL168	7.57±3.98 <sup>ab</sup>	5.49±2.45 <sup>bc</sup>	0.63±0.09 <sup>ab</sup>	0.55±0.11 <sup>ab</sup>	12.36±6.92 <sup>a</sup>	9.86±3.59 <sup>bcde</sup>	18.6±2.66 <sup>cde</sup>	4.64±0.96 <sup>b</sup>
耐盐之星	6.11±3.75 <sup>ab</sup>	7.9±3.31 <sup>ab</sup>	0.58±0.06 <sup>b</sup>	0.58±0.11 <sup>ab</sup>	10.28±5.65 <sup>a</sup>	13.46±5.31 <sup>ab</sup>	17.9±1.83 <sup>de</sup>	2.78±0.52 <sup>de</sup>
沃蓿1号	4.86±1.87 <sup>b</sup>	7.25±3.15 <sup>ab</sup>	0.58±0.09 <sup>b</sup>	0.59±0.11 <sup>ab</sup>	8.36±2.94 <sup>a</sup>	12.24±4.94 <sup>abcd</sup>	20.4±3.11 <sup>bcd</sup>	3.98±0.73 <sup>ab</sup>
巨能201	6.57±3.12 <sup>ab</sup>	4.92±2.38 <sup>bc</sup>	0.61±0.11 <sup>b</sup>	0.62±0.09 <sup>ab</sup>	10.89±5.15 <sup>a</sup>	7.71±3.35 <sup>de</sup>	22.3±4.07 <sup>ab</sup>	4.58±0.63 <sup>b</sup>
蕴能	6.01±3.26 <sup>ab</sup>	6.39±2.81 <sup>abc</sup>	0.6±0.08 <sup>b</sup>	0.57±0.08 <sup>ab</sup>	10.02±5.00 <sup>a</sup>	11.5±6.14 <sup>abcde</sup>	24.7±3.45 <sup>a</sup>	5.46±0.79 <sup>a</sup>
阿尔刚金	6.71±1.75 <sup>ab</sup>	4.56±1.35 <sup>bc</sup>	0.72±0.05 <sup>a</sup>	0.55±0.12 <sup>ab</sup>	9.31±2.15 <sup>a</sup>	8.33±1.82 <sup>cde</sup>	21.3±1.34 <sup>bc</sup>	2.66±0.59 <sup>de</sup>
巨551	6.60±2.32 <sup>ab</sup>	6.27±3.21 <sup>abc</sup>	0.72±0.1 <sup>a</sup>	0.64±0.11 <sup>a</sup>	9.09±2.95 <sup>a</sup>	9.4±3.92 <sup>bcde</sup>	20.9±2.79 <sup>bcd</sup>	4.23±0.73 <sup>ab</sup>
WL343	7.68±2.5 <sup>ab</sup>	7.74±4.03 <sup>ab</sup>	0.72±0.13 <sup>a</sup>	0.65±0.11 <sup>a</sup>	11.33±4.86 <sup>a</sup>	11.9±5.45 <sup>abcde</sup>	20.3±3.75 <sup>bcd</sup>	3.23±0.55 <sup>cd</sup>
4030	8.60±3.94 <sup>a</sup>	9.49±2.95 <sup>a</sup>	0.68±0.06 <sup>ab</sup>	0.58±0.07 <sup>ab</sup>	12.50±5.16 <sup>a</sup>	16.12±3.98 <sup>a</sup>	19.5±1.78 <sup>bcde</sup>	4.26±0.5 <sup>ab</sup>
北极熊	5.45±2.10 <sup>ab</sup>	4.79±3.08 <sup>bc</sup>	0.62±0.05 <sup>ab</sup>	0.51±0.15 <sup>b</sup>	8.82±3.71 <sup>a</sup>	8.83±4.27 <sup>bcde</sup>	16.9±1.28 <sup>c</sup>	1.05±0.3 <sup>f</sup>
雷霆	5.83±2.56 <sup>ab</sup>	3.86±2.24 <sup>c</sup>	0.64±0.15 <sup>ab</sup>	0.52±0.12 <sup>b</sup>	9.17±3.48 <sup>a</sup>	7.06±3.39 <sup>e</sup>	16.98±3.9 <sup>e</sup>	3.65±0.82 <sup>bc</sup>
WL298	6.86±3.72 <sup>ab</sup>	6.41±2.93 <sup>abc</sup>	0.72±0.08 <sup>a</sup>	0.59±0.07 <sup>ab</sup>	9.28±4.77 <sup>a</sup>	10.6±4.35 <sup>bcde</sup>	19.2±2.11 <sup>bcde</sup>	2.94±0.36 <sup>de</sup>
3010	7.00±2.62 <sup>ab</sup>	7.77±2.85 <sup>ab</sup>	0.58±0.10 <sup>b</sup>	0.6±0.08 <sup>ab</sup>	12.4±5.17 <sup>a</sup>	13.14±4.85 <sup>abc</sup>	21.17±3.5 <sup>bc</sup>	3.99±0.51 <sup>ab</sup>
飞跃	7.38±2.44 <sup>ab</sup>	7.3±4.74 <sup>ab</sup>	0.64±0.09 <sup>ab</sup>	0.6±0.11 <sup>ab</sup>	11.83±4.82 <sup>a</sup>	12.0±6.81 <sup>abcde</sup>	24.6±3.52 <sup>a</sup>	2.49±0.47 <sup>c</sup>

注:同列中不同小写字母表示在0.05水平上差异显著( $P<0.05$ )。

表3 PEG-6000胁迫下14个苜蓿品种各指标间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of 14 alfalfa varieties under PEG-6000 stress

测定指标	发芽率	发芽势	发芽指数	胚根长	胚芽长	根芽比	活力指数
发芽率	1						
发芽势	-0.366	1					
发芽指数	0.815**	-0.038	1				
胚根长	-0.04	0.017	0.098	1			
胚芽长	-0.229	-0.329	-0.277	0.388	1		
根芽比	0.092	0.118	0.27	0.935**	0.049	1	
活力指数	0.717**	-0.182	0.877**	0.229	0.184	0.239	1

注:\*\*在0.01级别(双尾),相关性显著。

2.2.2 不同处理的隶属函数法综合评价 本研究以紫花苜蓿的发芽指数、根芽比、活力指数、抗旱指数等8个抗旱性指标作为评价依据<sup>[22]</sup>,通过模糊数学隶属法对14份紫花苜蓿种质资源进行抗旱性综合评价,综合评价D值越大说明紫花苜蓿抗旱能力越强。14份紫花苜蓿品种的种子在萌发期的抗旱性能力大小的顺序为4030>蕴能>3010>飞跃>巨能551>WL343>巨能201>沃蓿1号>WL168>耐盐之星>阿尔刚金>WL298>雷霆>北极熊。

### 3 讨论

近年来,国内外学者对苜蓿种质的抗旱性进行了广泛的研究<sup>[23-24]</sup>。结果表明,不同品种乃至同一品种的抗旱性在不同生育期和不同环境条件下存在差异。

干旱是植物遇到的一种主要的非生物胁迫,可能是抑制或延迟种子发芽、幼苗生长不良和建立的原因。在这些阶段中,种子萌发对植物的生存至关重要,对水分供应的反应非常灵敏。这一阶段的抗旱性直接影响植物后续的生长发育<sup>[25]</sup>,因此,研究种子萌发过程中的抗旱性具有重要的现实意义。

PEG-6000是一种非渗透剂,仅通过影响水分吸收来影响种子发芽。这就使种子吸水受到限制,造成脱水,并模拟干旱胁迫条件。近几年,PEG-6000作为一种模拟干旱压力的工具,在饲料作物和其他植物种子萌发阶段的研究中得到了广泛的应用<sup>[26-28]</sup>。陈小倩等<sup>[29]</sup>研究发现,使用15%浓度的PEG-6000溶液能显著降低紫花苜蓿的发芽率,这使其成为研究紫花苜蓿在干旱压力下反应的最理想模拟浓度。冯金奎

表4 14个紫花苜蓿品种抗旱指标隶属函数值及抗旱性综合评价

Table 4 Assessing the significance of membership roles and a thorough analysis of drought resilience in 14 different alfalfa varieties

品种	隶属函数值								抗旱性综合值	排序
	发芽率	发芽势	发芽指数	胚根长	胚芽长	根芽比	活力指数	抗旱指数		
WL168	0.375	0.417	0.402	0.402	0.181	0.484	0.426	1.000	0.461	9
耐盐之星	0.375	0.792	0.296	0.515	0.129	0.606	0.220	0.333	0.408	10
沃蓿1号	0.417	0.833	0.578	0.288	0.172	0.353	0.523	0.524	0.461	8
巨能201	0.500	0.458	0.689	0.213	0.405	0.192	0.733	0.571	0.470	7
蕴能	1.000	0.167	1.000	0.323	0.138	0.432	1.000	0.714	0.597	2
阿尔刚金	0.208	1.000	0.248	0.188	0.560	0.115	0.493	0.381	0.399	11
巨能551	0.667	0.000	0.289	0.378	0.991	0.184	0.585	0.714	0.476	5
WL343	0.208	0.208	0.183	0.683	1.000	0.566	0.456	0.476	0.473	6
4030	0.292	0.708	0.321	1.000	0.517	1.000	0.472	0.857	0.646	1
北极熊	0.208	0.250	0.000	0.065	0.000	0.116	0.000	0.000	0.080	14
雷霆	0.333	0.708	0.199	0.000	0.086	0.000	0.213	0.905	0.306	13
WL298	0.000	0.458	0.104	0.427	0.776	0.295	0.338	0.524	0.365	12
3010	0.583	0.583	0.639	0.605	0.190	0.752	0.584	0.476	0.551	3
飞跃	0.417	0.625	0.613	0.595	0.448	0.618	0.743	0.143	0.525	4

等<sup>[30]</sup>模拟不同干旱胁迫条件下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响表明,15%浓度的PEG对提高紫花苜蓿的活力指数最显著。陈志峰等<sup>[31]</sup>的研究也表明,当PEG为15%的浓度时,紫花苜蓿相关的抗氧化酶的活性和抗旱基因的表达都显著增加,说明在此浓度下紫花苜蓿具有良好的生存能力。本研究利用15%浓度的PEG-6000来模拟干旱条件,结果表明,与对照样品相比,14种苜蓿种子的发芽率、发芽率和发芽率指数均呈显著的下降趋势;而与对照相比,胚根长度和胚芽长度却有不同程度的增加,这与朱学海<sup>[32]</sup>的研究结果一致,谷子胚根长、胚芽长在-0.25~0.50 MPa PEG-6000胁迫下具有促进作用,说明同一植物的不同品种对干旱胁迫的做出的反应是不一样的。本研究结果表明,4030和蕴能在干旱条件下的胚根长、胚芽长都显著高于其它品种,而北极熊的胚根长和胚芽长相对较短,轻度干旱胁迫能促进种子发芽,一定的干旱胁迫也能促进根系的生长。

植物的耐旱能力是多个评价指标共同作用的结果,不能仅仅依赖一个指标来评估<sup>[33-34]</sup>,而应该根据研究的目标来选择多个评价指标来衡量植物的耐旱能力。已有大量的研究关于紫花苜蓿在萌发期抗旱指标的选择。本研究利用隶属函数法综合评价14个紫花苜蓿品种的种子发芽和幼苗等8个指标,结果显示,4030的抗旱能力最强,而北极熊的抗旱能力最低。

肖亮和他的团队<sup>[35]</sup>对水分胁迫如何影响芒草种子的萌发和幼苗的生长进行了研究。研究结果显示,在PEG胁迫的条件下,种质材料的发芽率和发芽能力都受到了不同程度的抑制,这一发现在本次研究中也得到了相似的结论。因此,可以认为水分胁迫是导致种质材料丧失活力或死亡的重要原因之一。本研究通过对各项指标的相关性分析发现在PEG胁迫条件下,发芽率与发芽指数之间存在着非常显著的正相关性,这一发现与郝俊峰等<sup>[25]</sup>对15个苜蓿品种种子进行的研究结果是一致的。本实验利用隶属函数法综合评价14个紫花苜蓿品种的种子发芽和幼苗等8个指标,抗旱性排序为4030>蕴能>3010>飞跃>巨能551>WL343>巨能201>沃蓿1号>WL168>耐盐之星>阿尔刚金>WL298>雷霆>北极熊。植物在萌发阶段的抗旱能力可能与其整个生长周期的抗旱能力并不是完全匹配的。目前,对紫花苜蓿干旱胁迫反应的研究有限,对于在萌发阶段具有较高抗旱性的苜蓿品种,在其生长的后期是否还能维持较强的抗旱性,需要进行进一步的综合研究。

## 4 结论

使用PEG-6000在浓度为15%水平上产生干旱胁迫,利用隶属函数法综合评价14个紫花苜蓿品种的种子发芽和幼苗指标,抗旱性表现由强到弱为4030>蕴

能>3010>飞跃>巨能 551>WL343>巨能 201>沃  
 蓿 1 号>WL168>耐盐之星>阿尔刚金>WL298>  
 雷霆>北极熊。

#### 参考文献:

- [1] Forestan C, Cigliano R A, Farinati S, *et al.* Stress-induced and epigenetic-mediated maize transcriptome regulation study by means of transcriptome reannotation and differential expression analysis[J]. *Sci Rep*, 2016, 6:30446.
- [2] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants[J]. *Plant Cell Environ*, 2002, 25:275-294.
- [3] Quan W, Liu X, Wang H, *et al.* Comparative physiological and transcriptional analyses of two contrasting drought tolerant alfalfa varieties[J]. *Front Plant Sci*, 2016, 6:1256.
- [4] Neumann P M J A o B. Coping mechanisms for crop plants in drought-prone environments [J]. *Ann Bot*, 2008, 101:901-907.
- [5] Gowda V R, Henry A, Yamauchi A, *et al.* Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice[J]. *Field Crop Res*, 2011, 122:1-13.
- [6] Deikman J, Petracek M, Heard J E. Drought tolerance through biotechnology: improving translation from the laboratory to farmers' fields[J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2012, 23:243-250.
- [7] Csiszar J, Feherjuhasz E, Kotai E, *et al.* Effect of osmotic stress on antioxidant enzyme activities in transgenic wheat calli bearing MsALR gene[J]. *Ind Crop Prod*, 2005, 116:215-223.
- [8] 全国畜牧总站. 中国草业统计 2017[M]. 北京:中国农业出版社, 2018:8.
- [9] 南丽丽, 师尚礼, 张建华. 不同根型苜蓿根系发育能力研究[J]. *草业学报*, 2014, 23(2):117-124.
- [10] 马婷燕, 罗飞, Clement Nzabanita, 等. 国内外 36 个苜蓿品种的发芽特性综合评价[J]. *种子*, 2019, 38(1):44-53.
- [11] Zhang G, Shan S, Wu Y, *et al.* The KCS gene is involved in the formation of chloroplast stromules and other physiological processes in jute (*Corchorus capsularis* L.) [J]. *Ind Crop Prod*, 2019, 141:111781.
- [12] Diatta A A, Min D, Jagadish S V K. Chapter two—drought stress responses in non-transgenic and transgenic alfalfa current status and future research directions author links open overlay panel [J]. *Advances in Agronomy*, 2021, 170:35-100.
- [13] 李硕, 苗丽宏, 聂中南, 等. 干旱胁迫对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(3):15-22.
- [14] 贾蓉, 庞妙甜, 杜利霞, 等. 5 个苜蓿品种种子萌发期干旱耐受性研究[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(5):114-119.
- [15] 陈颖, 彭鸿旭, 李健欣, 等. PEG 模拟干旱对饲料桑幼苗生长及叶片光系统 II 的影响[J]. *浙江农业科学*, 2018, 59(2):259-265.
- [16] 穆怀彬, 伏兵哲, 德英. PEG-6000 胁迫下 10 个苜蓿品种幼苗期抗旱性比较[J]. *草业科学*, 2011, 28(10):1809-1814.
- [17] 惠雅佺, 罗永忠. 4 个紫花苜蓿品种萌发期抗旱性比较[J]. *草原与草坪*, 2021, 41(6):111-118.
- [18] Ista T I S T. International rules for seed testing. Rules 1985 [J]. *Seed Science and Technology*, 1985, 2(13):299-513.
- [19] 张晨妮, 周青平, 颜红波, 等. PEG-6000 对老芒麦种质材料萌发期抗旱性影响的研究[J]. *草业科学*, 2010, 27(1):119-123.
- [20] 张立全, 贾旭慧, 赵静玮. PEG 模拟干旱胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生长的影响[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(11):3759-3764.
- [21] 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.
- [22] 杨姝, 杜桂娟, 马凤江. 27 份紫花苜蓿种质资源萌发期抗旱性评价[J]. *辽宁农业科学*, 2019(3):7-12.
- [23] Dai A. Increasing drought under global warming in observations and models [J]. *Nature Climate Change*, 2013. 3(1):52-58.
- [24] Pokhrel Y, Felfelani F, Satoh Y, *et al.* Global terrestrial water storage and drought severity under climate change [J]. *Nature Climate Change*, 2021, 11(3):226-233.
- [25] 郝俊峰, 张玉霞, 朱爱民, 等. PEG-6000 干旱胁迫下 15 个苜蓿品种种子萌发抗旱性评价[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2020(1):90-95.
- [26] Tobe K, Zhang L P, Qiu G Y, *et al.* Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species [J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 47(2):191-201.

- [27] 陈文,马瑞君,王桔红. 盐和PEG模拟干旱胁迫对沙米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012,30(4):113-119.
- [28] Jose A C, Da Silva E A A, Danide A C, *et al.* Effects of drying rate and storage time on *Magnoliaovata* Spreng. seed viability[J]. *Seed Science and Technology*, 2011, 39(2):425-434.
- [29] 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.
- [30] Jinkui F, Decheng W, Changyong S, *et al.* Effects of cold plasma treatment on alfalfa seed growth under simulated drought stress [J]. *Plasma Science and Technology*, 2018, 20(3):035505.
- [31] Chen Z, Guo H, Sui C, *et al.* Effects of drought and salt stress on activities of antioxidant protective enzymes and expression of stress genes in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings[J]. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2021, 15(4):553-558.
- [32] 朱学海. 谷子耐旱资源筛选及其遗传多样性分析[D]. 北京:中国农业科学院, 2008.
- [33] 贾秀峰,李波. PEG模拟干旱评价苜蓿幼苗抗旱性试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(8):155-157.
- [34] 李显利,米福贵,闫立军,等. 草地早熟禾不同品种抗旱性的评价分析[J]. 草原与草坪, 2010, 30(3):43-46.
- [35] 肖亮,易自力,段楚青,等. 水分胁迫对芒草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国草地学报, 2014, 36(3): 40-46.

## Drought resistance evaluation of 14 alfalfa varieties during seed germination

YANG Xue-qing<sup>1</sup>, REN Wei-bo<sup>1\*</sup>, BAI Zhuo-an<sup>1</sup>, GUO Hui-qin<sup>2</sup>, YUAN Feng<sup>3</sup>,  
LIU Ya-lin<sup>3</sup>

(1. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot, Inner Mongolia 010021, China; 2. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 3. Inner Mongolia grass seed Technology Innovation Center, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China)

**Abstract:** Drought is a significant environmental factor that affects plant growth, development, productivity and distribution. Alfalfa growth and production are particularly vulnerable to the negative effects of drought. The aim of this study was to evaluate the germination characteristics of alfalfa seeds under environmental stress during early germination. The drought resistance of 14 alfalfa varieties widely cultivated in Inner Mongolia was assessed during seed germination, using a range of drought resistance indexes. The drought resistance of alfalfa was evaluated by the membership function method using 15% PEG 6000 (PEG-6000) to simulate drought stress. The results showed that drought stress significantly reduced the germination rate, germination potential, and germination index of all 14 alfalfa germplasm resources. The drought resistance ranking of the different alfalfa varieties at the germination stage was as follows: 4030 > Yunneng > 3010 > Feiyue > Juneng 551 > WL343 > Juneng 201 > Wuzur No. 1 > WL168 > Salt-tolerant Star > Algonzin > WL298 > Thunder > Polar Bear. Based on seed germination tests, it was concluded that 4030 and Yunneng exhibited strong drought resistance. These results provide a theoretical basis and essential resources for breeding new drought-resistant alfalfa varieties.

**Key words:** alfalfa; PEG-6000; seed germination; drought resistance

(责任编辑:新奇峰)