

## 4个紫花苜蓿品种萌发期抗旱性比较

惠雅佺, 罗永忠

(甘肃农业大学林学院, 甘肃兰州 730070)

**摘要:**为对比甘肃广泛种植的4个紫花苜蓿品种(甘农1号、新疆大叶苜蓿、中苜1号和中天1号)萌发期的抗旱性,采用不同浓度聚乙二醇6000(Polyethylene glycol 6000, PEG-6000)模拟干旱胁迫的方法,测定4个紫花苜蓿品种的种子在干旱胁迫下的发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比,并用隶属函数法对4个紫花苜蓿品种的萌发期抗旱性进行综合评价。结果表明:4个紫花苜蓿品种的种子发芽势、发芽率和发芽指数在各个PEG浓度下均为新疆大叶苜蓿最大,根芽比和抗旱指数为甘农1号最大;随胁迫程度的加剧4个紫花苜蓿品种的种子发芽势、发芽率、发芽指数和抗旱指数均呈下降趋势,而根芽比先升高后降低;PEG浓度为5%时最大,分别为甘农1号6.91、新疆大叶苜蓿3.68、中苜1号4.54和中天1号6.04,0%时次之;与PEG浓度为0%时相比,PEG浓度为5%时,中天1号的发芽势和发芽指数下降幅度最大,PEG浓度为25%时,新疆大叶苜蓿的发芽率和中天1号的抗旱指数下降幅度最大。萌发期综合抗旱性为甘农1号>中苜1号>新疆大叶苜蓿>中天1号。

**关键词:**紫花苜蓿;PEG-6000胁迫;种子萌发;隶属函数;抗旱性

**中图分类号:**S541<sup>+</sup>.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)06-0111-08

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.06.016



水分是影响植物生理生态特性及生长发育的重要环境因子<sup>[1-2]</sup>,随着水资源危机和干旱化危害的不断加剧,植物如何适应干旱已成为全球研究的热点问题之一<sup>[3-6]</sup>。甘肃是西北地区牧草栽培大省,据统计,栽培的优良牧草种类有47种,占整个西北牧草种的88.7%,栽培面积也以甘肃最大,其中,紫花苜蓿种植面积占牧草总面积的66.6%<sup>[7]</sup>,但甘肃省地处于旱半干旱地区,气候干燥,降水量小,导致干旱成为甘肃省最常见、影响范围最广、损失最大的自然灾害<sup>[8]</sup>,所以牧草种植和生态环境建设中选择抗旱性强的植物极为重要,而研究植物的抗旱能力可从植物的根、茎、叶和种

子入手<sup>[9-10]</sup>。其中,植物种子萌发期是植株成苗、生长的关键时期<sup>[11]</sup>,种子在萌发期如何对干旱做出响应也是植物适应干旱的重要策略。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是干旱半干旱地区广泛种植且发展前景优良的牧草品种,它具有产量高、适口性好、适应性强等特点,素有“牧草之王”的美称<sup>[12]</sup>。甘农1号(*Medicago sativa* cv. Gannong No. 1)、新疆大叶苜蓿(*Medicago sativa* cv. Xinjiang-daye)、中苜1号(*Medicago sativa* cv. Zhongmu No. 1)及中天1号(*Medicago sativa* cv. Zhongtian No. 1)是在甘肃乃至西北地区广泛种植的4个优良紫花苜蓿品种,均具有较强的抗旱性。甘肃地处黄土高原,牧草播种多在春秋两季,但黄土高原冬季气温远低于0℃,在秋季播种苜蓿会导致其无法安全越冬,因此,紫花苜蓿常在4月播种<sup>[13-14]</sup>,但该地区春季降水量平均在80-100mm之间,极大地限制了紫花苜蓿种子的萌发<sup>[15-16]</sup>,进而影响着苜蓿在甘肃的种植和畜牧业发展。聚乙二醇6000(Polyethylene glycol, PEG-6000)是一种高分子聚合物,具有很强的亲水性,能够夺取水分,对植物造成干旱胁迫,常作为水分胁迫剂应用于干

**收稿日期:**2020-12-30; **修回日期:**2021-02-18

**基金项目:**国家自然科学基金(32160409);甘肃省自然科学基金项目(17JR5RA145);甘肃农业大学学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-111)资助

**作者简介:**惠雅佺(1996-),女,甘肃环县人,硕士研究生。

E-mail:1594553205@qq.com

罗永忠为通信作者。

E-mail:493517987@qq.com

旱模拟<sup>[17]</sup>。目前国内外利用 PEG-6000 模拟干旱胁迫的方法对各类植物种子萌发的影响研究较多<sup>[18-22]</sup>,对于甘肃广泛种植的这 4 个紫花苜蓿品种在干旱胁迫下的萌发期抗旱性比较研究较少,因此本实验通过采用 PEG-6000 模拟干旱的方法,测定不同浓度 PEG-6000 下 4 个紫花苜蓿品种的种子的发芽势、发芽率、发芽指数等萌芽指标,对 4 种紫花苜蓿萌发期抗旱性做综合评价,为甘肃乃至西北地区干旱半干旱区的牧草种植提供参考,并为植物节水农业技术措施的制定提供理论依据与支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试的 4 个紫花苜蓿品种为:甘农 1 号、新疆大叶苜蓿、中苜 1 号及中天 1 号,种子净度为 96%~98%,均来自甘肃农业大学草业学院。

### 1.2 试验方法

1.2.1 种子和培养皿处理 选择成熟、饱满、大小适宜、均匀一致且无病虫害的 4 个紫花苜蓿品种的种子,

参照《国际种子检验规程》<sup>[23-24]</sup>,先浸泡 24 h,再用质量分数为 0.5%的高锰酸钾溶液浸泡 30 min,进行消毒,之后用无菌水反复冲洗 5~6 次,用滤纸吸干备用。将玻璃培养皿(内径 90 mm)放入高温灭菌锅中 121 °C 灭菌 25 min<sup>[25]</sup>待用。

1.2.2 实验设计 用不同浓度的 PEG-6000 溶液对 4 个紫花苜蓿品种的种子进行处理,即 0%、5%、10%、15%、20%、25%(分别称取 0.5、10、15、20、25 g 聚乙二醇,溶于蒸馏水中,并定容至 100 mL)。苜蓿种子各设 6 个处理,每个处理各设 3 个重复,每个重复各种 50 粒种子,发芽期 10 d。在事先灭菌消毒过的培养皿中铺设双层大小与培养皿内径一致的滤纸,分别加入等量的不同浓度的 PEG-6000 溶液,直至滤纸饱和,称其重量。之后将 50 粒种子均匀摆放在滤纸上,放入光照强度 5 500 lx,相对湿度 60%,温度为 25 °C 的人工智能气候培养箱(光照/黑暗时间为 12 h/12 h)中催芽<sup>[26]</sup>(表 1)。每天定时观察并记录种子萌发情况,用 1/10000 电子天平称量培养皿的重量,并用蒸馏水补足损失的水分以保证 PEG 的浓度。

表 1 实验设计

Table 1 Experimental design

品种	PEG-6000 浓度	种子数	重复	培养条件		
				温度	湿度	光照/黑暗时间
新疆大叶苜蓿	0.5%、10%、15%、 20%、25%	50 粒	3	25 °C	60%	12 h/12 h
甘农 1 号						
中天 1 号						
中苜 1 号						

### 1.3 测量指标与方法

将 3 次重复中有 1 粒种子萌发时作为该处理种子发芽的开始,连续 3 d 没有种子萌发作为发芽的结束,统计每天的发芽数、发芽总数,并计算以下指标:

1)发芽势 = 4 d 内种子发芽总数/供试种子数 × 100%

2)发芽率 = 10 d 内种子发芽总数/供试种子数 × 100%

3)发芽指数 =  $\sum(GT/DT)$

式中:GT 为第 t 天的发芽数,DT 为相应的发芽时间(d)

4)抗旱指数 = PEG 胁迫下种子发芽指数/对照种子发芽指数

5)根芽比:种子发芽结束时,每个处理随机选 10 株,测量其根长与芽长,计算根芽比<sup>[22]</sup>

### 1.4 抗旱性综合评价方法

利用隶属函数法<sup>[26]</sup>对 4 个紫花苜蓿品种进行综合评价,隶属函数值  $X(\mu)$  如下式:

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

式中: $X$  为某一紫花苜蓿某一指标测定值的均值, $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  为某一紫花苜蓿品种某一指标均值的最大值和最小值。如果某一指标与抗性指标呈负相关,则可以通过反隶属函数计算其抗旱性隶属函数值:

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

根据平均隶属函数值大小确定抗旱性强弱并进行排序,平均值越大,抗旱性越强。

### 1.5 数据分析

用 Excel 2010 整理数据并作图,用 SPSS 22.0 统计分析软件进行方差分析,显著性水平为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫下 4 个紫花苜蓿品种的种子发芽势和发芽率的变化

PEG 模拟干旱胁迫下,4 个紫花苜蓿品种的种子发芽势和发芽率随胁迫程度的加剧均呈下降趋势,且新疆大叶苜蓿种子的发芽势和发芽率在 6 种处理下均最大,并与其他 3 个紫花苜蓿品种的发芽势和发芽率差异显著(图 1)( $P < 0.05$ )。在 PEG 溶液浓度为 5% 时,中苜 1 号的发芽势与新疆大叶苜蓿、甘农 1 号和中天 1 号的发芽势差异显著( $P < 0.05$ ),其发芽势比新疆大叶苜蓿降低了 10.67%,比其他两种分别增加了 4%(甘农 1 号)和 5.33%(中天 1 号);随着干旱程度的加剧,在 PEG 溶液浓度达到 25% 时,新疆大叶苜蓿和中苜 1 号的发芽势差异不显著,但这两个品种均与甘农 1 号和中天 1 号的发芽势差异显著( $P < 0.05$ ),新疆大叶苜蓿(13.33%)是甘农 1 号(7.33%)

和中天 1 号(7.33%)的 1.82 倍,中苜 1 号(11.33%)是甘农 1 号(7.33%)和中天 1 号(7.33%)的 1.55 倍(图 1-A),在 PEG 溶液浓度为 5% 和 15% 时,4 种紫花苜蓿品种间发芽率差异显著( $P < 0.05$ ),甘农 1 号、新疆大叶苜蓿、中苜 1 号和中天 1 号在 PEG 浓度为 5% 和 15% 时的发芽率之比分别为 80.67:90.67:77.33:72.67 和 31.33:54.67:47.33:15.33(图 1-B)。

甘农 1 号在 PEG 溶液浓度为 15%、20% 和 25% 下的发芽势、发芽率均差异显著( $P < 0.05$ );新疆大叶苜蓿在高浓度(15%、20% 和 25%)间的发芽势、发芽率差异显著( $P < 0.05$ );中苜 1 号在 PEG 溶液浓度为 10% 下的发芽势和 15% 下的发芽势、发芽率差异显著( $P < 0.05$ ),且这两个浓度下的发芽势与其他 4 个处理下的发芽势差异显著( $P < 0.05$ );中天 1 号在低浓度(0%、5%、10%)下的发芽势、发芽率与在高浓度(15%、20%、25%)下的发芽势和发芽率差异显著( $P < 0.05$ ),且在低浓度之间也差异显著( $P < 0.05$ )。

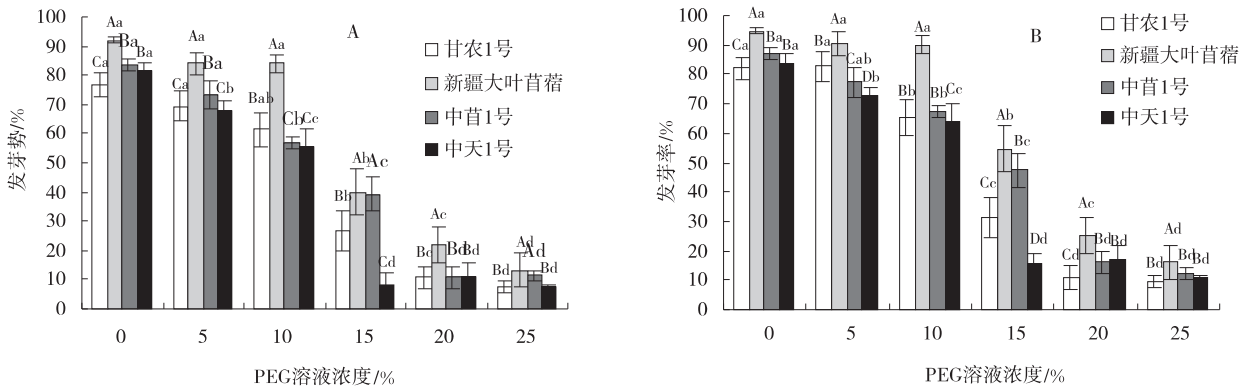


图 1 不同胁迫下紫花苜蓿种子的发芽势和发芽率

Fig. 1 Germination potential and germination rate of alfalfa seeds among four different cultivars under different stresses

注:不同大写字母表示相同 PEG 浓度下不同苜蓿品种间差异显著( $P < 0.05$ ),不同小写字母表示相同苜蓿品种下不同 PEG 浓度之间差异显著( $P < 0.05$ ),下同

### 2.2 不同干旱胁迫下 4 个紫花苜蓿种子发芽指数和抗旱指数的变化

4 个紫花苜蓿品种的种子的发芽指数和抗旱指数在 PEG 浓度从 0% 上升到 25% 的过程中,均呈现下降的趋势。新疆大叶苜蓿的发芽指数在 5 种浓度处理下(除 PEG 浓度为 15% 外)均比其他 3 种紫花苜蓿的发芽指数大,且除 PEG 浓度为 25% 的处理下与其他 3 种紫花苜蓿的种子发芽指数差异不显著外,在其他 PEG 浓度下与其他 3 种紫花苜蓿的种子发芽指数差异均显著( $P < 0.05$ )。在 PEG 浓度为 0% 的情况下,新疆大叶苜蓿(37.25)的种子发芽质量最好,其次是中苜 1 号(32.20)

和中天 1 号(29.03),种子发芽质量最差的为甘农 1 号(26.49);当 PEG 浓度达到 25% 时,4 个紫花苜蓿品种的种子发芽指数差异不显著(图 2-A)。PEG 浓度达到 20% 以上时,4 个紫花苜蓿品种间抗旱指数差异均不显著,PEG 浓度在低浓度(5% 和 10%)时,甘农 1 号种子的抗旱指数与其他 3 个紫花苜蓿品种的抗旱指数差异显著( $P < 0.05$ )。另外,PEG 浓度为 25% 时,新疆大叶苜蓿的抗旱指数(0.109)最大,其余 3 个紫花苜蓿品种的种子的抗旱指数均不到 0.1(图 2-B)。

4 个紫花苜蓿品种在 PEG 浓度为 0% 时的发芽指数、抗旱指数与 5% 和 25% 下的发芽指数和抗旱指数

差异显著( $P < 0.05$ ),在PEG浓度为25%时,甘农1号、新疆大叶苜蓿、中苜1号和中天1号的发芽指数较PEG浓度为0%时分别下降了91.39%、88.94%、90.15%和92.83%。PEG浓度从5%上升到25%的

过程中,中天1号种子的抗旱指数下降最快,中苜1号的下降最慢,在PEG浓度达到15%时,中天1号的种子抗旱指数较PEG浓度为0%时降低了85.7%,中苜1号则降低了52.7%。

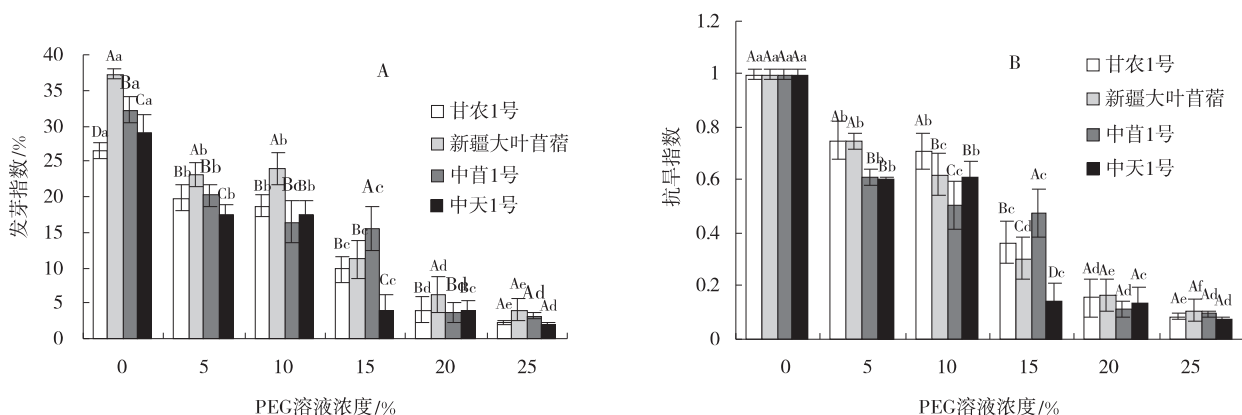


图2 4个紫花苜蓿品种的种子的发芽指数和抗旱指数

Fig. 2 Seed germination index and drought resistance index of four alfalfa cultivars under

### 2.3 不同干旱胁迫下4种紫花苜蓿根芽比的变化

在各处理下甘农1号的根芽比均最大,新疆大叶苜蓿的根芽比均最小。在PEG浓度为5%、20%和25%下,不同紫花苜蓿品种间根芽比差异显著( $P < 0.05$ ),在PEG浓度从0%上升到25%的过程中,4种紫花苜蓿的根芽比大小为甘农1号>中天1号>中苜1号>新疆大叶苜蓿(图3)。

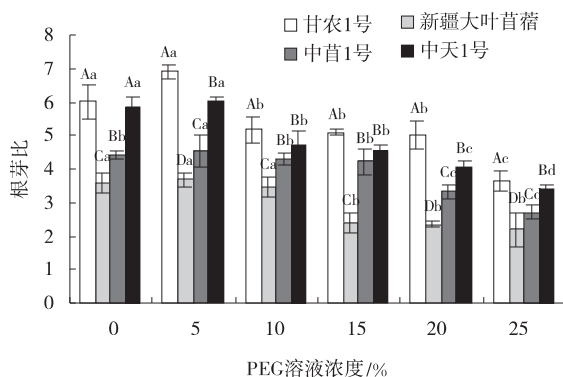


图3 4个紫花苜蓿品种根芽比

Fig. 3 Root-shoot ratio of four alfalfa cultivars under different PEG concentration

4个紫花苜蓿品种的根芽比在PEG浓度从0%上升到25%的过程中,呈现先升高后降低的变化趋势:4个紫花苜蓿品种的根芽比在PEG浓度为5%时均大于其他PEG浓度。甘农1号、中天1号、中苜1号和新疆大叶苜蓿的根芽比PEG浓度为5%较0%分别增加了14.78%、3.6%、2.95%和3.37%。中苜1号和中

新疆大叶苜蓿的根芽比在各个PEG浓度之间的变化较甘农1号和中天1号缓慢:25%的PEG浓度较5%的PEG浓度,甘农1号和中天1号分别降低了47.18%和43.54%,中苜1号 and 新疆大叶苜蓿分别降低了40.31%和40.48%。

### 2.4 4个紫花苜蓿品种的种子抗旱性综合评价

对不同PEG浓度下4个紫花苜蓿品种萌芽期的发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比进行二因素方差分析(表2),紫花苜蓿的发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比在不同PEG浓度下有极显著变化( $P < 0.01$ ),发芽势、发芽率、发芽指数和抗旱指数4项萌芽指标在不同品种间也有极显著变化( $P < 0.01$ ),不同品种间根芽比呈显著差异( $P < 0.05$ ),但不同PEG浓度及紫花苜蓿品种二者交互作用对紫花苜蓿的发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比无显著影响。

利用隶属函数法对4个紫花苜蓿品种的发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比进行综合评价,得到4个紫花苜蓿品种的抗旱指标隶属函数值(表3)。根据隶属函数值的平均值进行排序,得出4个紫花苜蓿品种的种子萌芽期抗旱性强弱依次为甘农1号>中苜1号>新疆大叶苜蓿>中天1号,中苜1号 and 新疆大叶苜蓿隶属函数值的平均值差异不显著,表明两者的抗旱性差异不明显。

表 2 PEG 浓度、苜蓿品种及二者的交互作用对紫花苜蓿种子发芽指标的双因素方差分析 ( $F$  值)Table 2 Two-way ANOVA ( $F$ -values) showing the effects of PEG concentration, alfalfa cultivars and their interaction on seed germination indexes

因子	PEG 浓度		品种		交互作用	
	$df$	$F$	$df$	$F$	$df$	$F$
发芽势	5	155.639**	3	12.815**	15	1.49
发芽率	5	163.986**	3	14.897**	15	1.646
发芽指数	5	137.591**	3	9.307**	15	1.808
抗旱指数	5	132.906**	3	2.073**	15	1.553
根芽比	5	2.846**	3	7.853*	15	0.344

注: \* :  $P < 0.05$ , \*\* :  $P < 0.01$

表 3 4 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 3 The value of membership function and comprehensive evaluation of drought resistance among four alfalfa cultivars

品种	隶属函数值						
	发芽势	发芽率	发芽指数	抗旱指数	根芽比	平均值	排序
甘农 1 号	0.58	0.52	0.41	0.51	0.66	0.536	1
新疆大叶苜蓿	0.54	0.58	0.41	0.44	0.50	0.494	3
中苜 1 号	0.50	0.51	0.46	0.49	0.52	0.496	2
中天 1 号	0.42	0.45	0.38	0.45	0.51	0.442	4

### 3 讨论

种子萌发期是植株成活的关键时期,也是对水分响应敏感的阶段,种子萌发期的抗旱性强弱直接影响着植株后期的生长发育<sup>[27]</sup>,因此,研究种子萌发期的抗旱性有着直接的现实意义。发芽率能够反映种子品质的优劣;发芽势表征着种子的活力、出苗整齐度;发芽指数能反映种子发芽的质量;抗旱指数能很好地反映出材料间抗旱性的差异<sup>[28-30]</sup>。本研究中,4 种紫花苜蓿种子的发芽率、发芽势、发芽指数和抗旱指数种间差异显著,可能是因为种子的生理状态(成熟度)不一,通常情况下,成熟度越好,种子就具有较高且保持时间较长的活力,能够为其萌发提供的营养物质就越充足,发芽指标值也就越高;种子的成熟度不高或较差时,难以获得较高的活力,种子发芽就会受到影响<sup>[31]</sup>。大量研究表明<sup>[32-35]</sup>,利用不同浓度的 PEG 溶液模拟干旱胁迫对不同牧草的发芽率、发芽势、抗旱指数等的研究,可初步判定植物整体的抗旱性。有研究表明,随干旱胁迫的加剧,种子的发芽率、发芽势、抗旱指数呈下降趋势,如董浩等<sup>[36]</sup>研究发现随着胁迫浓度的升高,黑麦草、鼠茅草、二月兰和毛叶苕子 4 种种子的发芽率和抗旱指数不断下降;李静静等<sup>[37]</sup>认为,PEG-6000 胁迫处理后不同基因型小麦品种的发芽率、发芽势、发芽

指数均受到抑制,但不同品种的降幅存在显著差异。本研究同样采用 PEG 模拟干旱的方法,发现 4 种紫花苜蓿种子的发芽率、发芽势、发芽指数和抗旱指数随干旱胁迫的加剧呈下降趋势,这与前人<sup>[38]</sup>的研究结果一致。也有研究表明,低浓度的 PEG 溶液对植株萌芽有促进作用,如曾怡<sup>[39]</sup>关于垂穗披碱草和老芒麦的研究发现,PEG 溶液浓度为 5% 时,对两者的主根长和根芽比均有促进作用;肖亮等<sup>[40]</sup>发现 5% 的 PEG 溶液对芒草幼苗的胚根生长有促进作用,对胚芽生长有抑制作用;孙清洋等<sup>[41]</sup>研究表明随着 PEG 浓度的增加 4 种老芒麦幼苗胚根长先升后降。本研究表明,4 种紫花苜蓿在 PEG 浓度为 5% 时,根芽比最大,未受 PEG 胁迫时次之,该结论与上述结果相一致,说明 PEG 浓度为 5% 时可促进根的形成,高浓度的 PEG 溶液对其有抑制作用。据报道,在低浓度(5%)的 PEG 溶液胁迫下植物吸收的营养物质先供给地下部分(胚根),利于植株存活,根芽比较未受胁迫时增大,但当干旱胁迫加剧,根部不能吸收到更多的营养物质时,胚芽的生长加剧,以提高光合作用,为植株供给营养,根芽比较未受胁迫时减小<sup>[42-43]</sup>。当然,低浓度的 PEG 溶液对植物幼苗根的形成是否具有促进作用,也可能与植物的品种和植物对水分的敏感度有关<sup>[44]</sup>。

植物的抗旱性是一个受多种因素影响的复杂性

状,不能单纯地用一两个指标说明,应根据研究目的选用多个指标综合评价,才能比较客观地表现植物的抗旱性<sup>[45]</sup>,而对于苜蓿抗旱性评价的指标筛选,前人们已做了很多研究,从本研究结果不难看出仅根据各项单一指标对4种紫花苜蓿的抗旱性进行排序的结果非常不一致,而对这些指标进行隶属函数值的计算,取其平均值,然后排序,既消除了个别指标产生的片面性,又由于平均值是[0,1]区间上的纯数,使各紫花苜蓿品种抗旱性差异具有可比性,所以采用隶属函数法进行综合评价更具有可行性和可靠性和科学性<sup>[44-46]</sup>。本研究选取发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和根芽比作为评价4种紫花苜蓿萌发期抗旱性的指标,分别分析了不同浓度的PEG溶液对4种紫花苜蓿种子发芽势、发芽率、发芽指数、抗旱指数和幼苗根芽比的影响,采用隶属函数法进行综合评价排序,结果表明4种紫花苜蓿种子萌发期的抗旱性强弱顺序依次为甘农1号>中苜1号>新疆大叶苜蓿>中天1号,曾泽堂等<sup>[47]</sup>综合分析得出甘农1号紫花苜蓿种子的抗旱性强于新疆大叶苜蓿,杨姝等<sup>[22]</sup>对27份紫花苜蓿种质抗旱性的研究表明中苜1号种质的抗旱性高于新疆大叶苜蓿,这与本研究基本相同。本研究得出甘农1号和中苜1号较其他2种苜蓿更适合在甘肃乃至整个的西北地区种植,但本研究只对4种紫花苜蓿萌发期各指标进行综合评价,还需对4种紫花苜蓿在其他生育阶段的抗旱性进行进一步比较。

## 4 结论

采用PEG-6000模拟干旱对4个紫花苜蓿品种萌发期的抗旱性进行研究,利用隶属函数法对4个紫花苜蓿品种进行综合评价,其萌发期抗旱性表现为甘农1号>中苜1号>新疆大叶苜蓿>中天1号,因此,甘农1号和中苜1号较其他2个紫花苜蓿品种更适合在甘肃乃至西北地区种植,但植物萌发期的抗旱性与其他生育阶段的抗旱性可能并不完全一致。因此,在萌发期抗旱性强的紫花苜蓿品种在其后期生长中是否依旧保持较强的抗旱性还需进一步试验证明。

### 参考文献:

- [1] 罗珠珠,牛伊宁,李玲玲,等. 陇中黄土高原不同种植年限苜蓿草地土壤水分及产量响应[J]. 草业学报,2015,24(1):31-38.
- [2] 杨雪梅,杨太保,刘海猛,等. 气候变暖背景下近30年北半球植被变化研究综述[J]. 干旱区研究,2016,33(2):379-391.
- [3] 何凌仙子,贾志清,刘涛,等. 植物适应逆境胁迫研究进展[J]. 世界林业研究,2018,31(2):13-18.
- [4] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell and Environment,2010,25(2):239-250.
- [5] 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.
- [6] 罗永忠,李广,闫丽娟,等. 水分胁迫下新疆大叶苜蓿水分代谢指标变化及相互关系研究[J]. 草地学报,2016,24(5):981-987.
- [7] 曾彦军,王彦荣,李春杰. 我国西北地区牧草种子生产现状及存在问题浅析[J]. 草业科学,1996,16(5):42-46.
- [8] 常根柱. 中国西北干旱草地生态区划分及宜栽牧草[J]. 草原与草坪,2007,27(1):82-86.
- [9] 翟春梅. 紫花苜蓿抗旱性评价及对水分胁迫适应机制的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2008:2-3.
- [10] 耿华珠. 中国苜蓿[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 王彦勤,杜汉强,伏建增. 播期对紫花苜蓿生长发育及农艺性状的影响[J]. 甘肃农业科技,2010,41(11):15-17.
- [14] 王英哲,徐博,徐安凯,等. 播期对紫花苜蓿草产量、生长发育及越冬率的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(8):16-20.
- [15] Guan X K,Zhang X H,Turner N C,*et al.* Two perennial legumes(*Astragalus adsurgens* P all, and *Lespedeza davurica* S.) adapted to semiarid environments are not as productive as Lucerne (*Medicago sativa*), but use less water[J]. Grass Forage Sci,2013,68(3):469-478.
- [16] Luo Z Y,Liu H,Yan G J,*et al.* Roots of Lucerne Seedlings are More Resilient to a Water Deficit than Leaves or Stems[J]. Agronomy,2019,9(3):123-134.
- [17] 程波,胡生荣,高永,等. PEG模拟干旱胁迫下5种紫花苜蓿萌发期抗旱性的评估[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(1):53-59.
- [18] 李诚,王苗,郭凤霞,等. 模拟干旱胁迫对翟麦种子萌发的影响[J]. 农业与技术,2020,40(20):30-32.
- [19] 赵璞,温之雨,董文琦,等. PEG-6000模拟干旱胁迫对8个玉米种质种子萌发及活力的影响[J]. 种子,2020,39

- (10):48-52.
- [20] 鱼小军,肖红,徐长林,等.扁蓿豆和苜蓿种子萌发期抗旱性和耐盐性比较[J].植物遗传资源学报,2015,16(2):405-410.
- [21] 万里强,李向林,石永红,等.PEG 胁迫下 4 个黑麦草品种生理生化指标响应与比较研究[J].草业学报,2010,19(1):83-88.
- [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] 刘玲,孟淑春.2012 版《国际种子检验规程》修订通报[J].核农学报,2012,26(5):762-763.
- [24] 秦峰梅,张红香,武祎,等.盐胁迫对黄花苜蓿发芽及幼苗生长的影响[J].草业学报,2010,19(4):71-78.
- [25] 回振龙,李自龙,刘文瑜,等.黄腐酸浸种对 PEG 模拟干旱胁迫下紫花苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响[J].西北植物学报,2013,33(8):1621-1629.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 余贵海,起雪宏,王正启,等.14 个玉米杂交种萌发期抗旱性评价[J].西南农业学报,2016,29(7):1499-1505.
- [29] 李培英,孙宗玖,阿不来提.PEG 模拟干旱胁迫下 29 份燕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.
- [30] 成广雷,张海娇,赵久然,等.临界胁迫贮藏条件下不同基因型玉米种子活力及生理变化[J].中国农业科学,2015,48(1):33-42.
- [31] 保琼莉,唐一然,保万魁,等.镉对不同品种苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响[J].生态学杂志,2020,39(5):1695-1705.
- [32] 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.
- [33] Tobel 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.
- [34] 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.
- [35] José A C, Da Silva E A A, Davide A C, *et al.* Effects of drying rate and storage time on Magnolia ovata sprangseed viability[J]. Seed Science and Technology, 2011, 39(2):425-434.
- [36] 董浩,史桂芳,牟小翎,等.四种果园绿肥种子在 PEG-6000 模拟干旱胁迫下的萌发特性与抗旱性评价[J].山东农业科学,2020,52(11):141-145.
- [37] 李静静,任永哲,白露,等.PEG-6000 模拟干旱胁迫下不同基因型小麦品种萌发期抗旱性的综合鉴定[J].河南农业大学学报,2020,54(3):368-377.
- [38] 伏兵哲,兰剑,李小伟,等.PEG-6000 干旱胁迫对 16 个苜蓿品种种子萌发的影响[J].种子,2012,31(4):10-14.
- [39] 曾怡.川西北高原野生老芒麦种质资源抗旱性初步研究[D].雅安:四川农业大学,2009.
- [40] 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.
- [41] 孙清洋,李志勇,李鸿雁,等.水分胁迫对老芒麦种质萌发及幼苗生理特性的影响[J].中国草地学报,2016,38(3):19-25+95.
- [42] 黄萍,张新俊,朱彬彬,等.阿拉伯婆婆纳和白三叶对干旱胁迫的生理响应及抗旱性比较[J].甘肃农业大学学报,2020,55(2):133-137.
- [43] 郭晋梅,刘娟,董宽虎.PEG 胁迫对白羊草种子萌发的影响[J].中国草地学报,2015,37(2):58-62.
- [44] 高雪芹,伏兵哲,穆怀彬,等.PEG-6000 干旱胁迫对沙芦草种子萌发特性的影响及其抗旱性评价[J].种子,2013,32(8):11-16.
- [45] 王焱,蔡伟,兰剑,等.12 个苜蓿品种抗旱性综合评价[J].草原与草坪,2018,38(2):80-88.
- [46] 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.
- [47] 曾泽堂,罗永忠,柳佳.PEG-6000 模拟干旱胁迫下 3 种西北广植紫花苜蓿萌发与抗旱性综合评价研究[J].种子科技,2018,36(4):107+109.

# Comparison of drought resistance among four alfalfa cultivars during germination

HUI Ya-ning, LUO Yong-zhong

(The College of forestry in Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** This study aimed to compare the drought resistance during the germination period among four alfalfa cultivars (*Medicago sativa* cv. Gannong No. 1, Xinjiangdaye, Zhongmu No. 1 and Zhongtian No. 1), which were widely planted in Gansu. The study used Polyethylene glycol 6000 (PEG-6000) to simulate drought stress to determine the germination potential, germination rate, germination index, drought resistance index and root-shoot ratio. And the membership function method was used to comprehensively evaluate the drought resistance of the four alfalfa species during the germination period. The results showed that the germination potential, germination rate and germination index of the four alfalfa species were the greatest for cv. Xinjiangdaye under all PEG concentrations, while the drought resistance index and root-shoot ratio were the greatest in cv. Gannong No. 1. The germination potential, germination rate, germination index and drought resistance index of the four alfalfa cultivars all decreased along with increasing concentration of PEG. The root-shoot ratio of alfalfa showed a trend of initial increase following by a decrease, and reached the maximum values at PEG concentration of 5%, with 6.91, 3.68, 4.54 and 6.04 for Gannong No. 1, Xinjiangdaye, Zhongmu No. 1 and Zhongtian No. 1, respectively. Compared with the control (no PEG), germination potential and germination index decreased most in Zhongtian No. 1 at 5% PEG, and germination rate in Xinjiangdaye and drought resistance index in Zhongtian No. 1 decreased most at 25% PEG. The comprehensively drought resistance during the germination period followed an order of Gannong No. 1 > Zhongmu No. 1 > Xinjiangdaye > Zhongtian No. 1. Our results would provide guidance in the selection and planting of alfalfa in Gansu and possibly the entire northwestern region.

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