

# 丹参萌发期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选

张红瑞<sup>1</sup>,张丽欣<sup>1</sup>,李梦荷<sup>1,2</sup>,何立威<sup>3</sup>,杨丹丹<sup>1</sup>,高致明<sup>1</sup>

(1.河南农业大学农学院,河南 郑州 450046;2.新乡市农业科学院,河南 新乡 453000;

3.河南省农业科学院长垣分院,河南 长垣 453400)

**摘要:**以5个丹参栽培类型为材料,用不同浓度(0%、3%、6%、9%、12%)的PEG-6000在萌发期模拟干旱胁迫处理,测定发芽势、发芽率、子叶长、子叶宽、胚芽长、胚根长等指标,采用主成分分析和隶属函数分析进行丹参萌发期的抗旱性鉴定及抗旱指标筛选。结果表明:高浓度PEG对种子萌发产生明显的抑制作用,低浓度(3%PEG-6000)处理对丹参种子的生长发育具有促进作用,5个丹参栽培类型中豫丹参VD发芽率(0%PEG-6000)和发芽势(3%PEG-6000)最高,分别为56.50%、55.50%,豫丹参VC、豫丹参VD和豫丹参VE在12%PEG-6000下发芽率、发芽势为0%;随着PEG胁迫程度的增大,发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长、子叶长、子叶宽、十芽重、萌发指数和活力指数总体表现出先增大后减小的趋势。对各指标进行主成分分析,前2个主成分能够概括9个指标82.635%的数据信息,对在前2个主成分中特征向量较大的8个综合指标的相对值进行因子分析,可提取出2个公因子,子叶长、子叶宽、活力指数、十芽重和萌发指数在2个公因子上有较大载荷。9%PEG-6000是较适宜的抗旱性鉴定浓度。根据综合隶属函数值可得出5个供试材料抗旱性强弱顺序:豫丹参VE>豫丹参VC>豫丹参VB>豫丹参VD>豫丹参VA,其综合隶属函数值分别为:0.071、0.068、0.054、0.043、0.028,豫丹参VE为抗旱能力较强的种质,豫丹参VC抗旱能力次之,豫丹参VD和豫丹参VA抗旱性较弱;子叶长、子叶宽、活力指数、十芽重和萌发指数可以作为抗旱鉴定指标。

**关键词:**丹参;抗旱性鉴定;萌发期;渗透胁迫;抗旱指标筛选

**中图分类号:**S567.5;S338 **文献标志码:**A

## Drought resistance identification and drought resistance index selection of *Salvia miltiorrhiza* during germination

ZHANG Hongrui<sup>1</sup>, ZHANG Lixin<sup>1</sup>, LI Menghe<sup>1,2</sup>, HE Liwei<sup>3</sup>, YANG Dandan<sup>1</sup>, GAO Zhiming<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450046, China;

2. Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453000, China;

3. Henan Academy of Agricultural Sciences, Changyuan Branch Changyuan, Henan 453400, China)

**Abstract:** To compare the drought resistance of different *Salvia miltiorrhiza* cultivar types and select drought-resistant varieties, five *Salvia miltiorrhiza* cultivar types were treated with different concentrations (0%, 3%, 6%, 9%, 12%) of PEG-6000 at germination stage to simulate drought stress. The germination potential, germination rate, cotyledon length, cotyledon width, radicle length and radicle length were measured. Principal component analysis and membership function analysis were used for identification of drought resistance and selection of drought resistance indexes at the germination stage of *Salvia miltiorrhiza*. The results showed that high concentration of PEG had an obvious inhibitory effect on seed germination, and low concentration (3% PEG-6000) treatment had a promoting effect on the growth and development of *Salvia miltiorrhiza* seeds. Among the five cultivation types of *Salvia miltiorrhiza*, Yu dan shen VD had the highest germination rate (0% PEG-6000) and germination potential (3% PEG-6000), which were 56.50% and 55.50%, respectively. Yu dan shen VC, Yu dan shen VD and Yu dan shen VE had the lowest germination rate under 12% PEG-6000, which was only 0%. With the increase of PEG stress,

收稿日期:2021-11-10

修回日期:2022-05-18

基金项目:河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2018GGJS030);河南省高等学校重点科研项目(23A210002);国家自然科学基金项目(31701370)

作者简介:张红瑞(1978-),女,河南鄢陵人,博士,副教授,主要从事中药资源与栽培研究。E-mail: zhanghongrui2003@126.com

通信作者:高致明(1960-),男,河南南召人,教授,主要从事中药资源与栽培研究。E-mail: hnautcm@126.com

the germination potential, germination rate, germ length, radicle length, cotyledon length, cotyledon width, ten bud weight, germination index and vigor index showed a trend of first increasing and then decreasing. Principal component analysis was carried out for each indicator. The first two principal components summarized 82.635% of the data information of nine indicators. Factor analysis was carried out for the relative values of eight comprehensive indicators with large feature vectors in the first two principal components. The 9% PEG-6000 concentration was a more suitable one for drought resistance identification. According to the comprehensive membership function value, the order of drought resistance of five tested materials was obtained: Yu Danshen VE>Yu Danshen VC>Yu Danshen VB>Yu Danshen VD>Yu Danshen VA. The comprehensive membership function values were 0.071, 0.068, 0.054, 0.043, 0.028. Yu dan shen VE had strong drought resistance. Yu dan shen VC had the second strongest drought resistance. Yu dan shen VD and Yu dan shen VA had weaker drought resistance. Cotyledon length, cotyledon width, vitality index, ten bud weight and germination index should be used as drought resistance identification indexes.

**Keywords:** *Salvia miltiorrhiza*; drought resistance identification; germination period; osmotic stress; drought resistance index screening

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.)是唇形科鼠尾草属植物,其干燥根及根茎为我国常用的大宗药材<sup>[1]</sup>,具有祛瘀止痛、活血通经、清心除烦等功效<sup>[2-3]</sup>。萌发期是丹参整个生育期的第一个关键阶段,直接影响其以后的生长发育与产量形成<sup>[4-6]</sup>。目前河南地区多采用育苗移栽的方式种植丹参,通常在第1年3—10月间播种育苗,10—11月初或第2年春季移栽。春播时,刚出土幼苗生长能力差,春季气温升高、光照增强,土壤容易失水;秋播时气温降低,雨水减少,常造成死苗<sup>[7]</sup>;夏播时,气候炎热、地表温度高,受干旱影响而导致出苗率低、幼苗生长缓慢<sup>[8]</sup>,因此干旱是目前该地区丹参栽培面临的主要问题之一。已有研究表明,适宜浓度的引发剂引发种子<sup>[7-8]</sup>和种子包衣<sup>[9]</sup>能提高丹参的发芽率及其抗旱性。选育萌发期抗旱性强的丹参种质,鉴定其抗旱性是提高河南地区丹参产量和质量的有效途径之一。

目前,国内外关于玉米、大麦、小麦、水稻等<sup>[10-13]</sup>作物的抗旱性鉴定和指标筛选报道较多,而关于丹参的抗旱性研究相对较少。不同栽培类型因其遗传背景、育种目标及栽培方式的不同,抗旱性表现各异。因此,鉴定丹参种质的抗旱性,筛选抗旱指标,培育抗旱品种非常必要。种子萌发期是植物生命史中最为重要的阶段,是对外界渗透胁迫响应比较敏感的时期,逆境条件下植物在这一时期的表现对农艺性状及产量具有决定性的作用,是进行抗旱性研究的重要时期<sup>[14]</sup>,且在这一时期进行抗旱性研究具有省时、容量大、环境因素影响小等优点。因此本研究采用聚乙二醇(PEG-6000)模拟不同程度的干旱胁迫,研究丹参发芽率、发芽势、胚芽长、胚根长、子叶长、子叶宽、十芽重等指标对干旱

胁迫的响应,并通过主成分分析、相关性分析和隶属函数分析等综合分析方法明确不同丹参栽培类型的抗旱性,筛选丹参萌发期抗旱指标,为丹参抗旱性评价体系的建立及抗旱性育种奠定基础。

## 1 试验设计

### 1.1 试验材料

供试5份材料为课题组从前期收集的丹参野生种质资源中筛选获得(表1)。各类型间性状差异明显、性状稳定、整齐度高,适宜在河南省洛阳、南阳、三门峡等地区及类似生态类型区域种植。根段繁殖扩繁后收集种子,选用色泽一致、外观均一、籽粒饱满、无病虫害的5个丹参栽培类型健康种子为供试材料。

### 1.2 PEG 溶液配制

参照原小燕等<sup>[15]</sup>的配制方法分别将30、60、90、120 g PEG-6000溶解在1 000 mL蒸馏水中,即得到3%、6%、9%、12%的PEG-6000溶液。本次萌发试验PEG-6000胁迫浓度设置及材料选择,均在前期预试验基础上进行。预试验内容如下:PEG-6000胁迫浓度为5%、10%、15%、20%、25%,基于丹参出苗率得出PEG-6000适宜胁迫浓度范围为0%~15%。

### 1.3 试验设计

挑选大小一致、种粒饱满、外表完整的5种栽培类型丹参种子各150粒(3次重复,每次重复50粒),用1%高锰酸钾溶液消毒,蒸馏水冲洗干净置于直径为10 cm的培养皿中,培养皿底层平铺双层滤纸作为发芽床。分别加入10 mL蒸馏水、3 g·mL<sup>-1</sup>的PEG-6000溶液、6 g·mL<sup>-1</sup>的PEG-6000溶液、9 g·mL<sup>-1</sup>的PEG-6000溶液、12 g·mL<sup>-1</sup>的PEG

表 1 试验材料  
Table 1 Tested material

编号 Code	材料 Material	来源 Origin	基本性状 Basic traits
A	豫丹参 VA Yu dan shen VA	河南嵩县 Song County, Henan	株型直立、高大紧凑。茎绿色、柔毛较少,小叶深绿色倒卵圆形叶,肥厚有光泽,叶面皱缩,叶边缘圆锯齿状。单株分枝数 2~7 个。根朱红色。单株根干重 135.00 g,丹酚酸 B 含量 4.30%,总丹参酮含量 0.55%。 Plants erect, tall and compact. Stem green, less villous, leaflets dark green, obovate, thick and shiny, surface shriveled, margin circular serrate. The number of branches per plant is 2~7. The root is vermilion. The dry weight of the root per plant is 135.00 g, the content of salvianolic acid B is 4.30%, and the content of total tanshinone is 0.55%.
B	豫丹参 VB Yu dan shen VB	河南嵩县 Song County, Henan	株型直立、高大紧凑。茎绿色,小叶深绿色披针形、扁平有光泽,叶面皱缩,叶片较扁平。单株分枝数 2~5 个。根砖红色。单株根干重 113.00 g,丹酚酸 B 含量 4.34%,总丹参酮 0.41%。 Plants erect, tall and compact. Stem green, leaflets dark green, lanceolate and glossy, surfaceshriveled and flat. The number of branches per plant is 2~5. The root is brick-red. The dry weight of the root per plant is 113.00 g, the content of salvianolic acid B is 4.34%, and the content of total tanshinone is 0.41%.
C	豫丹参 VC Yu dan shen VC	河南淅池 Mianchi County, Henan	株型较松散。茎多为绿色,柔毛较少,小叶绿色披针形,偶有叶边缘带紫,叶片皱缩较为明显。单株分枝数 2~4 个。根砖红色。单株根干重为 94.00 g,丹酚酸 B 含量 3.27%,总丹参酮含量 0.37%。 Plants loose. Stem mostly green, less pubescence. Leaflets green and lanceolate, occasionally margin purple, surface significantly shriveled. The number of branches per plant is 2~4. The root is brick-red. The dry weight of the root per plant is 94.00 g, the content of salvianolic acid B is 3.27%, and the content of total tanshinone is 0.37%.
D	豫丹参 VD Yu dan shen VD	河南淅池 Mianchi County, Henan	株型直立、高大紧凑。茎多紫色、被长柔毛,小叶深绿色倒卵圆形、肥厚有光泽,略微皱缩,叶边缘圆锯齿状、深紫色,叶柄紫色。单株分枝数 3~5 个。根条数多、朱红色。平均单株根干重为 82.00 g。丹酚酸 B 含量 4.88%,总丹参酮含量 0.42%。 Plants erect, tall and compact. Stem purple, long villous, leaflets dark green, obovate, thick and shiny, surface slightly shriveled, margin crenate, dark purple, petioles purple. The number of branches per plant is 3~5. The number of lateral roots is large. The root is vermilion. The dry weight of the root per plant is 82.00 g. The content of salvianolic acid B is 4.88%, and the content of total tanshinone is 0.42%.
E	豫丹参 VE Yu dan shen VE	河南淅池 Mianchi County, Henan	株型为簇状,茎为绿色,柔毛较少,小叶嫩绿色倒卵圆形,叶片略微皱缩。单株分枝数 3~5 个。根橙红色。平均单株根干重为 70.00 g。丹酚酸 B 含量 4.59%,总丹参酮含量 0.57%。 Plants tufted. Stem green, less villous, leaflets light green, obovate, surface slightly shriveled. The number of branches per plant is 3~5. The root is orange-red. The dry weight of the root per plant is 70.00 g. The content of salvianolic acid B is 4.59%, and the content of total tanshinone is 0.57%.

-6000 溶液,形成 PEG-6000 浓度分别为 0%、3%、6%、9%、12% 的 5 个处理,25℃ 恒温培养。从种子置床之日起开始观察,以胚根突破种皮 1 mm、胚芽为种子长 1/2 为发芽标准,定时记录发芽的丹参种子数,记录时长为 10 d。

#### 1.4 调查项目

1.4.1 种子发芽率 种子置床后第 10 天取出培养皿,调查参试材料各处理每个重复的发芽数,并计算发芽率。

发芽率(%) = 第 10 天发芽种子数/供试种子数 × 100%

1.4.2 种子发芽势 种子置床后第 5 天取出培养皿,调查参试材料各处理每个重复的发芽数,并计算发芽势。

发芽势(%) = 第 5 天发芽种子数/供试种子数 × 100%

1.4.3 胚根长、胚芽长、子叶长、子叶宽 各材料种

子置床后第 10 天,各处理每个重复随机取 30 粒发芽种子测定胚根长、胚芽长、子叶长及子叶宽,求其平均值。

1.4.4 十芽重 种子置床后第 10 天参试材料各处理每个重复随机选取 10 株幼苗,用万分之一天平称量其芽鲜重,求其平均值<sup>[16]</sup>。

1.4.5 萌发指数、活力指数 萌发指数  $GI = \sum (DG/DT)$ , DG 为逐日发芽数,DT 为 DG 对应的发芽天数(d);活力指数  $VI = GI \times$  最后 1 天测的胚根长<sup>[17]</sup>。

1.4.6 隶属函数法对参试材料抗旱性评估 以抗旱相关生理及形态指标测定结果为依据,参照郝小琴等<sup>[18]</sup>的隶属函数分析法对丹参 5 个栽培类型的抗旱相关指标的加权平均隶属函数值进行计算,并分别综合评价各品种的抗旱性。隶属函数分析中涉及的相关参数的计算参照下式:

相对值(抗旱系数)=测定值/对照值

$$\mu(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

标准差系数:

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X}_j)^2}}{\bar{X}_j}$$

权重系数:

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j}$$

综合隶属函数值:  $D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \times W_j], j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

式中,  $X_{ij}$  为  $i$  栽培类型的第  $j$  项指标测定值,  $X_{j\min}$  为所有栽培类型第  $j$  项指标的最小值,  $X_{j\max}$  为全部栽培类型第  $j$  项指标的最大值;  $\mu(X_{ij})$  为  $i$  栽培类型第  $j$  项指标的隶属函数值。  $\bar{X}_j$  表示全部栽培类型第  $j$  项指标的平均值,  $V_j$  表示第  $j$  项指标标准差系数;  $W_j$  表示第  $j$  项指标权重系数。  $D$  表示各栽培类型的抗旱性

综合评价隶属函数值,  $D$  值越大, 抗旱性越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 丹参不同栽培类型各指标对 PEG 胁迫的响应

由表 2 可知, PEG 模拟干旱胁迫处理后, 不同栽培类型丹参萌发期的生长发育指标发生了一系列的变化。B 和 C 的发芽率、发芽势随着胁迫浓度的增加表现为先升高后降低再升高的双峰趋势, 而其他 3 个栽培类型的发芽势均表现为随 PEG 浓度增加呈先升高再降低趋势, 低浓度 (3% PEG-6000) 处理促进作用最大, 高浓度 (12% PEG-6000) 产生抑制; A、E 发芽率与其发芽势变化趋势相同, 而 D 的发芽率则表现为随着胁迫浓度增大而逐渐减小的趋势。5 个丹参栽培类型中 D 在 PEG-6000 浓度为 0%、3%、6% 时发芽率均高于相同浓度处理下的其他材料, 最高可达 56.5%, C、D 和 E 在 12% PEG-6000 下发芽率最低, 仅为 0%。低浓度 (3% PEG-6000) 处理对丹参种子的发芽及生长发育具有促进作用, 但浓度过高 (12% PEG-6000) 会抑制丹参种子的萌发。随着干旱胁迫程度的增大, 除 D 外其他

表 2 不同干旱胁迫处理下丹参的主要形态指标

Table 2 Main morphological growth indexes of *S. miltiorrhiza* under different drought stress

栽培类型 Cultivar type	处理 Treatment	发芽率/% Germination rate	发芽势/% Germination potential	胚芽长/mm Germ length	胚根长/cm Radicle length	子叶长/mm Cotyledon length	子叶宽/mm Cotyledon width	十芽重/mg Ten bud weight	萌发指数 Germination index	活力指数 Vitality index
A	0%	32.00±0.05c	25.33±0.05b	5.71±1.89a	5.59±2.12a	4.71±1.29a	4.81±1.10a	110±6.18a	22.82±1.92a	127.59±5.72a
	3%	47.33±0.04a	38.67±0.06a	2.17±0.55c	4.52±1.36b	4.77±0.85a	5.10±0.95a	80±3.39b	22.82±1.53a	103.06±6.03b
	6%	44.00±0.05ab	33.33±0.06ab	3.45±1.38b	4.11±0.96b	4.54±0.91a	4.25±1.40b	140±4.88a	19.95±2.14b	82.05±5.11c
	9%	34.67±0.09bc	27.33±0.09ab	2.33±0.45c	3.36±1.27c	3.77±0.71b	3.67±0.83c	80±4.37b	15.75±2.06c	52.93±4.02d
	12%	12.00±0.06d	8.67±0.06c	2.17±0.67c	1.51±0.69d	3.56±0.72b	3.26±0.96c	60±5.36b	4.86±1.49d	7.32±0.84e
B	0%	34.00±0.12a	29.33±0.08abc	7.88±2.50a	3.67±1.26b	4.77±1.13a	4.26±1.06b	100±3.44b	17.35±1.25c	63.68±3.68b
	3%	41.33±0.08a	36.67±0.10ab	2.69±0.55b	4.44±1.46a	5.13±0.99a	5.23±1.06a	170±3.82a	21.38±2.03b	95.01±5.14a
	6%	28.00±0.09b	22.00±0.09bc	2.27±0.50bc	2.95±1.26c	4.11±1.05b	3.95±1.05bc	80±2.32b	13.73±1.54d	40.55±4.09c
	9%	47.33±0.10a	42.00±0.07a	2.03±0.36d	2.77±1.17c	3.87±0.70b	3.52±0.83c	90±2.62b	23.33±1.37a	64.71±3.13b
	12%	32.00±0.09a	16.67±0.08c	1.85±0.26d	1.57±1.07d	3.15±0.49c	2.68±0.45d	70±5.01b	12.37±2.51e	19.43±1.22d
C	0%	13.00±0.07b	12.50±0.06c	7.03±2.70ab	2.60±0.69b	4.57±0.51a	4.32±0.61b	150±3.21a	6.92±0.82b	17.98±2.53b
	3%	26.50±0.03a	27.50±0.05a	8.64±1.65a	4.16±1.72a	5.24±0.71a	5.30±1.05a	170±5.79b	14.25±1.33a	59.33±3.43a
	6%	15.00±0.06b	16.00±0.03bc	6.59±1.06b	1.68±0.67b	3.60±0.64b	3.26±0.84c	110±4.35c	7.56±1.35b	12.67±2.52c
	9%	25.00±0.07a	23.50±0.06ab	5.32±1.00b	1.55±0.53b	3.60±0.67b	3.28±0.64c	70±3.52d	11.94±1.62a	18.51±1.65b
	12%	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00c	0.00±0.00b	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00e	0.00±0.00c	0.00±0.00d
D	0%	56.50±0.18a	54.00±0.09a	6.25±0.88a	2.94±0.82b	4.03±0.49b	4.23±0.37b	100±4.64b	31.97±3.46a	93.92±3.19b
	3%	52.50±0.03a	55.50±0.03a	5.94±0.75a	3.99±0.84a	5.33±0.66a	5.34±0.65a	160±4.03a	30.99±2.48a	123.57±5.48a
	6%	52.50±0.08a	52.00±0.05a	6.92±0.87a	4.10±1.12a	4.59±0.96ab	4.52±1.11ab	120±6.88a	27.86±3.07b	114.24±3.72a
	9%	35.50±0.08b	27.50±0.04b	6.49±0.37a	1.26±0.32c	4.57±0.74ab	4.06±0.60ab	100±4.19b	14.62±2.46c	18.46±2.24c
	12%	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00d
E	0%	9.00±0.04c	8.00±0.03c	7.43±2.15a	1.94±0.46b	4.43±0.53a	3.75±0.88a	130±5.65a	3.88±0.28c	7.52±1.12c
	3%	14.00±0.03a	14.50±0.02a	7.85±2.56a	3.39±0.87a	5.06±1.43a	5.13±1.35a	150±4.34a	8.92±1.43a	30.21±3.73a
	6%	12.00±0.07b	11.50±0.08b	8.89±3.00a	3.10±1.59a	5.04±0.81a	4.42±0.67a	160±4.28a	4.95±0.79b	15.35±1.91b
	9%	12.50±0.07ab	8.50±0.06b	8.26±1.36a	1.61±0.53b	4.44±0.79a	4.45±1.20a	110±3.47b	3.81±0.74c	6.14±1.01c
	12%	0.00±0.00d	0.00±0.00d	0.00±0.00b	0.00±0.00c	0.00±0.00b	0.00±0.00b	0.00±0.00c	0.00±0.00d	0.00±0.00d

注: 不同小写字母表示丹参栽培类型间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: The different lowercase letters indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ).



表 4 主成分分析结果

Table 4 Results of principal components analysis

指标 Index	特征向量 Eigenvector	
	第 1 主成分 Prin 1	第 2 主成分 Prin 2
发芽率 Germination rate	-0.621	-0.474
发芽势 Germination potential	0.713	-0.654
胚芽长 Germ length	0.789	-0.511
胚根长 Radicle length	0.098	0.789
子叶长 Cotyledon length	0.868	0.055
子叶宽 Cotyledon width	0.713	0.625
十芽重 Ten bud weight	0.807	0.468
萌发指数 Germination index	0.508	0.713
活力指数 Vitality index	0.818	-0.540
特征根 Characteristic root	5.214	3.050
贡献率 Contribution rate/%	52.136	30.499
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	52.136	82.635

表 5 各指标因子载荷、特征根和贡献率

Table 5 Factor loading, characteristic root, and contribution rate of each comprehensive index

指标 Index	因子载荷 Factor loading	
	F1	F2
发芽势 Germination potential	-0.058	0.391
胚芽长 Germ length	0.107	0.125
胚根长 Radicle length	0.191	0.066
子叶长 Cotyledon length	0.312	-0.150
子叶宽 Cotyledon width	0.252	-0.003
十芽重 Ten bud weight	0.292	-0.142
萌发指数 Germination index	0.002	0.318
活力指数 Vitality index	-0.165	0.415
特征根 Characteristic root	4.300	1.720
贡献率 Contribution rate/%	53.745	21.495

表 6 9% PEG-6000 浓度时各抗旱相关指标隶属函数值

Table 6 Membership function values of drought resistance indexes at 9% PEG-6000

栽培类型 Cultivar type	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	胚芽长 Germ length	胚根长 Radicle length	子叶长 Cotyledon length	子叶宽 Cotyledon width	十芽重 Ten bud weight	萌发指数 Germination index	活力指数 Vitality index	综合隶属函数值 Comprehensive membership function value	排序 Sort
A	0.046	0.002	0.000	0.083	0.008	0.001	0.045	0.067	0.000	0.028	5
B	0.077	0.037	0.144	0.000	0.000	0.008	0.068	0.053	0.102	0.054	3
C	0.131	0.092	0.049	0.082	0.006	0.000	0.000	0.161	0.092	0.068	2
D	0.000	0.012	0.089	0.042	0.065	0.033	0.094	0.000	0.056	0.043	4
E	0.077	0.000	0.099	0.140	0.042	0.071	0.081	0.067	0.060	0.071	1
均值 Mean	0.066	0.028	0.076	0.069	0.024	0.023	0.058	0.070	0.062	0.066	
标准差 Standard deviation	0.048	0.038	0.054	0.052	0.028	0.030	0.037	0.058	0.040	0.048	
变异系数 Coefficient of variation	72.49%	134.39%	71.47%	75.09%	117.46%	133.03%	64.01%	83.53%	64.49%	72.49%	

变异系数变幅为 64.01%~134.39%，说明本研究选用的丹参材料类型丰富，具有较好的代表性。以标准差系数赋予权重，求得各项指标的隶属函数值和综合隶属函数值 ( $D$  值)，综合值越大，说明该栽培类型的抗旱性就越强，反之越弱。根据综合隶属函数值可得出丹参抗旱性强弱依次为 E、C、B、D、A，其综合隶属函数值分别为：0.071、0.068、0.054、0.043、0.028，说明 E 和 C 抗旱能力相对较强，A 的抗旱能力相对较弱。

### 3 讨论

萌发期是植物生长发育的起始阶段，植物在这一时期最容易受到各种逆境胁迫，逆境胁迫通过影响出苗率和成苗率决定了全田基本苗数，最终影响产量构成。所以在萌发期鉴定品种抗旱性对干旱地区的农业生产具有重要意义。植物抗旱性鉴定一般采用土壤干旱和高渗溶液模拟干旱 2 种方法，其中聚乙烯二醇高渗溶液模拟干旱胁迫的方法简单、可重复、稳定，适合在萌发期快速鉴定大量品种 (系) 的抗旱性，目前已成为对很多植物种子在萌发期进行抗旱性研究的重要手段。本研究采用 5 个浓度的 PEG-6000 溶液对丹参萌发期抗旱性进行分析，根据发芽率和对各种指标的伤害率情况将 9% 作为丹参萌发期抗旱性鉴定的适宜 PEG 浓度。研究发现，高浓度 PEG 对种子萌发产生明显的抑制作用，且各指标对渗透胁迫的响应并不一致，这与安永

平等<sup>[19]</sup>、赵海明等<sup>[20]</sup>、王赞等<sup>[21]</sup>、鞠乐等<sup>[11]</sup>的研究一致。12% PEG-6000 下 C、D 和 E 种子发芽率为 0，可能是因为丹参种子在萌发初期会快速吸水以保证萌发所需水分，过高的渗透胁迫抑制种子吸水，

从而导致其无法萌发。低浓度的 PEG 胁迫 (3% 或 6%) 促进部分栽培类型丹参种子的萌发及胚根、胚芽、子叶生长，这与赵方媛等<sup>[22]</sup>低浓度 (10%、20%) PEG-6000 有利于小黑麦种子萌发，并对幼苗根与

胚芽的生长有一定促进作用的研究一致,与王涛等<sup>[23]</sup>低浓度的PEG处理有利于促进丹参种子萌发和保证出苗的研究结论一致。据表6各指标在9%PEG-6000的隶属函数值的变异系数大小可知,发芽势、子叶长、子叶宽的变异系数分别为134.39%、117.46%和133.03%,说明这3个指标对干旱胁迫反应较敏感。

鉴定作物的抗旱性除了选择合适的评价指标外,还有要有适宜的鉴定方法。隶属函数法既能消除个别指标鉴定带来的片面性,又可使所有供试材料抗旱性具有可比性。主成分分析则可以在保证原有信息不损失的前提下,将复杂的多个单项指标转化为几个综合指标。近年来主成分分析联合隶属函数法等多方法多指标相结合手段已在胡麻<sup>[24]</sup>、酒用糯高粱<sup>[25]</sup>、谷子<sup>[26]</sup>、棉花<sup>[27]</sup>等作物抗旱性鉴定中广泛运用。本研究利用主成分分析法将9个单项指标转化成2个主成分,选取其中特征向量较大的8个指标,进一步进行因子分析,选择在2个公因子上有较大载荷的6个相关指标作为抗旱鉴定指标。由于各指标之间所用单位不同,因此结合加权隶属函数法消除不同指标间单位的差异,最后根据综合隶属函数值得出供试5个丹参材料的抗旱性强弱顺序,筛选出抗旱性较强的种质E。张树林等<sup>[28]</sup>认为萌发期抗旱性鉴定的关键指标分别是芽长、发芽势和根鲜重。张立坤等<sup>[29]</sup>运用主成分分析法结合综合隶属函数法评价了燕麦的抗旱性,筛选出萌发指数、发芽指数、活力指数、鲜重、胚芽长、胚根长和发芽势等抗旱鉴定指标。不同试验筛选出的抗旱鉴定指标不同可能是因为研究材料不同。因此,依据生产实际需求,针对不同药用植物开展种子萌发期干旱胁迫的耐旱试验,筛选耐旱材料,对指导中药材生产和选育耐旱品种意义重大。

## 4 结 论

本试验采用隶属函数法结合主成分分析法的抗旱性综合评价方法对5个丹参栽培类型萌发期的抗旱性进行了综合性评价。确定了9%PEG-6000为丹参种子萌发期抗旱性评价的适宜浓度,以综合隶属函数值为评价指标得出5个丹参栽培类型的抗旱性为:豫丹参VE>豫丹参VC>豫丹参VB>豫丹参VD>豫丹参VA,其中豫丹参VE和豫丹参VC萌发期抗旱能力较强,可作为丹参抗旱育种和抗旱机理研究的优异种质。通过主成分分析和相关性分析筛选出了子叶长、子叶宽、十芽重、发芽势、萌发指数和活力指数作为丹参萌发期抗旱快速鉴定指标。

## 参 考 文 献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.  
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020.
- [2] 张乙川. 对丹参化学成分及临床药理的研究进展[J]. 中国医药指南, 2015, 13(11): 214-215.  
ZHANG Y C. Research progress on chemical constituents and clinical pharmacology of *Salvia miltiorrhiza*[J]. Guide of China Medicine, 2015, 13(11): 214-215.
- [3] 刘斌. 一味丹参,功同四物[N]. 上海中医药报, 2018-08-31(4).  
LIU B. *Salvia miltiorrhiza* has the same function as four things[N]. Shanghai Traditional Chinese Medicine News, 2018-08-31(4).
- [4] 郭效龙, 宋希云, 裴玉贺, 等. 玉米自交系萌发期和苗期抗旱性指标的筛选[J]. 植物生理学报, 2018, 54(11): 1719-1726.  
GUO X L, SONG X Y, PEI Y H, et al. Screening of drought resistance indexes of maize inbred lines[J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(11): 1719-1726.
- [5] 和根强, 薛润光, 郭承刚, 等. 丹参种子的萌发特性研究[J]. 种子, 2014, 33(4): 82-83, 85.  
HE G Q, XUE R G, GUO C G, et al. Study on seed germination characteristics of *Salviae miltiorrhizae* Bunge[J]. Seed, 2014, 33(4): 82-83, 85.
- [6] 孙群, 梁宗锁, 李绍军, 等. 丹参种子形态结构与吸水萌发特性[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(10): 934-938.  
SUN Q, LIANG Z S, LI S J, et al. Study on configuration fabric and germinative conditions of *Salvia miltiorrhiza* seeds[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2004, 29(10): 934-938.
- [7] 睢少华, 王渭玲, 胡景江, 等. 引发处理对丹参种子萌发及幼苗抗旱性的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(7): 93-97.  
SUI S H, WANG W L, HU J J, et al. Effects of priming treatments on germination and seedling drought-resistances of *Salvia miltiorrhiza* bunge[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010, 19(7): 93-97.
- [8] 黄文静, 李铂, 王楠, 等. 种衣剂对丹参种子萌发及幼苗抗旱性的影响[J]. 种子, 2018, 37(7): 19-23.  
HUANG W J, LI B, WANG N, et al. Effect of seed coating agent on seed germination and seedling drought tolerance of *Salvia miltiorrhiza*[J]. Seed, 2018, 37(7): 19-23.
- [9] 张玉, 石晓晨, 马云, 等. 甘露醇引发处理对丹参种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 天津中医药, 2018, 35(8): 631-633.  
ZHANG Y, SHI X C, MA Y, et al. Effect of mannitol initiation treatment on seed germination and seedling growth of *Salvia miltiorrhiza*[J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2018, 35(8): 631-633.
- [10] 翟新秘, 秦利军, 项阳, 等. 隶属函数分析法对25份贵州玉米种质抗旱性评价研究[J]. 种子, 2018, 37(9): 51-55.  
ZHAI X M, QIN L J, XIANG Y, et al. Evaluation of drought-tolerance in 25 maize germplasms based on subordinate functional analysis[J]. Seed, 2018, 37(9): 51-55.
- [11] 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.

- JU L, QI J C, HE X, et al. The response of barley to osmotic stress during germination stage and the screening of drought resistance indicators[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(1): 172-176.
- [12] 李国瑞. 西南地区小麦品种萌发期抗旱性评价与植物生长调节剂筛选[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- LI G R. Drought resistance evaluation and plant growth regulator screening of wheat varieties during germination in Southwest China [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [13] 杨瑰丽, 杨美娜, 李帅良, 等. 水稻萌芽期抗旱指标筛选与抗旱性综合评价[J]. *华南农业大学学报*, 2015, 36(2): 1-5.
- YANG G L, YANG M N, LI S L, et al. Screening and comprehensive evaluation of drought resistance indices of rice at germination stage [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015, 36(2): 1-5.
- [14] 齐华, 许晶, 孟显华, 等. 水分胁迫下燕麦萌芽期抗旱指标的研究[J]. *种子*, 2009, 28(7): 7-10.
- QI H, XU J, MENG X H, et al. Studies on the drought resistance index of oat at germination stage under water stress[J]. *Seed*, 2009, 28(7): 7-10.
- [15] 原小燕, 符明联, 何晓莹. 不同抗旱性油菜种子萌发期抗旱指标比较研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(5): 77-81.
- YUAN X Y, FU M L, HE X Y. The comparative study on drought resistance index of rape with different drought resistance in germination [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(5): 77-81.
- [16] 张金玲, 张艳阳, 张叶, 等. 张家口地区谷子主栽品种萌发期抗旱性评价[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(4): 65-72.
- ZHANG J L, ZHANG Y Y, ZHANG Y, et al. Drought resistance evaluation of main millet cultivars in Zhangjiakou during germination [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(4): 65-72.
- [17] 杜彦斌. 5个胡麻品种抗旱性的综合评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- DU Y B. Evaluation on drought resistance characteristics of the five flax variety[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [18] 郝小琴, 姚鹏鹤, 高峰荣, 等. 低温胁迫对微胚乳超甜超高油玉米耐寒性生理生化特性的影响[J]. *作物学报*, 2014, 40(8): 1470-1484.
- HAO X Q, YAO P H, GAO Z R, et al. Effects of low temperature stress on the physiological and biochemical characteristics of cold tolerance in micro-endosperm super sweet and super high oil maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(8): 1470-1484.
- [19] 安平平, 强爱玲, 张媛媛, 等. 渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(4): 421-426.
- AN Y P, QIANG A L, ZHANG Y Y, et al. Study on characteristics of germination and drought-resistance index by osmotic stress in rice [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(4): 421-426.
- [20] 赵海明, 孙桂枝, 王学敏, 等. 百脉根种质苗期抗旱性鉴定及综合评价[J]. *草原与草坪*, 2011, 31(6): 18-26.
- ZHAO H M, SUN G Z, WANG X M, et al. Comprehensive evaluation and identification of drought resistance of *Lotus corniculatus* in seedling stage[J]. *Grassland and Turf*, 2011, 31(6): 18-26.
- [21] 王赞, 李源, 高洪文, 等. 鸭茅苗期抗旱性综合评价[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(6): 31-36.
- WANG Z, LI Y, GAO H W, et al. Comprehensive evaluation of drought resistance for *Dactylis glomerata* L. at seedling stage[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(6): 31-36.
- [22] 赵方媛, 田新会, 杜文华. 小黑麦萌发期抗旱条件模拟和抗旱指标的筛选[J]. *干旱地区农业研究*, 2017, 35(2): 96-102.
- ZHAO F Y, TIAN X H, DU W H. Screening on drought simulation conditions and drought-resistant parameters at germination stage of triticale[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(2): 96-102.
- [23] 王涛, 刘世勇, 江晓波, 等. 不同产地丹参种子形态及萌发特性的研究[J]. *四川农业大学学报*, 2014, 32(3): 293-297.
- WANG T, LIU S Y, JIANG X B, et al. Morphological and germination characteristics of *Salvia miltiorrhiza* seeds of different habitats [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2014, 32(3): 293-297.
- [24] 罗俊杰, 欧巧明, 叶春雷, 等. 重要胡麻栽培品种的抗旱性综合评价及指标筛选[J]. *作物学报*, 2014, 40(7): 1259-1273.
- LUO J J, OU Q M, YE C L, et al. Comprehensive valuation of drought resistance and screening of indices of important flax cultivars [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(7): 1259-1273.
- [25] 汪灿, 周棱波, 张国兵, 等. 酒用糯高粱资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(8): 1388-1402.
- WANG C, ZHOU L B, ZHANG G B, et al. Drought resistance identification and drought resistance indices screening of liquor-making waxy sorghum resources at adult plant stage[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(8): 1388-1402.
- [26] 张文英, 智慧, 柳斌辉, 等. 谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(5): 560-565.
- ZHANG W Y, ZHI H, LIU B H, et al. Indexes screening for drought resistance test of foxtail millet [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(5): 560-565.
- [27] 罗俊杰, 石有太, 陈玉梁, 等. 甘肃不同色彩陆地棉抗旱指标筛选及评价研究[J]. *核农学报*, 2012, 26(6): 952-959.
- LUO J J, SHI Y T, CHEN Y L, et al. Screening and evaluation of drought tolerant indices of colored upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) IN Gansu[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012, 26(6): 952-959.
- [28] 张树林, 刘玉玲, 田丽, 等. 不同小麦新品系萌发期抗旱性的筛选与鉴定[J]. *分子植物育种*, 2018, 16(21): 7138-7147.
- ZHANG S L, LIU Y L, TIAN L, et al. Screening and identification of drought resistance of different new wheat lines during germination period[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16(21): 7138-7147.
- [29] 张立坤, 宛涛, 张晓明, 等. 不同燕麦品种萌发期的抗旱性比较研究[J]. *草原与草业*, 2019, 31(4): 26-33.
- ZHANG L K, WAN T, ZHANG X M, et al. A comparative study on drought resistance in the germination of different oat varieties [J]. *Grassland and Prataculture*, 2019, 31(4): 26-33.