

PEG 胁迫下不同胡麻品种种子 萌发期抗旱性鉴定

王宗胜¹, 张建平², 米 君³, 李闻娟²

(1. 甘肃省平凉市农业科学研究所, 甘肃 平凉 744000; 2. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070;
3. 张家口市农业科学院, 河北 张家口 075000)

摘 要: 以 14 份胡麻新品种为材料, 采用 0(对照)、21% 浓度聚乙二醇(PEG-6000)处理模拟干旱胁迫, 以研究干旱胁迫下不同胡麻品种萌发期抗旱特性的反应差异。结果表明: 21% PEG 胁迫下, 不同品种的相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长、相对胚芽鲜重、相对胚根长、相对胚根鲜重、相对发芽指数、活力指数和萌发指数 9 个指标表现并不一致, 抗旱性评价需要进行多指标的综合考虑。采用隶属函数值和抗旱指标权重相结合的抗旱性度量值进行抗旱性评价, 14 个品种的 *D* 值在 0.323~0.868, 差异明显, 晋亚 11 号的抗性居第一位, *D* 值达到了 0.868, 其次为坝亚 12 号, *D* 值为 0.787, 居第二位; 伊亚 4 号、晋亚 10 号的 *D* 值分别为 0.381、0.323, 位列最后, 抗性最差。

关键词: PEG 胁迫; 胡麻; 品种; 萌发期; 抗旱性

中图分类号: S563.2 **文献标志码:** A

Drought tolerance identification of different oilseed flax varieties at germination stage under PEG stress

WANG Zong-sheng¹, ZHANG Jian-ping², MI Jun³, LI Wen-juan²

(1. Pingliang Agricultural Research Institute, Pingliang Gansu 744000, China;
2. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;
3. Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou Hebei 075000, China)

Abstract: The experiments were conducted to investigate and identify the response difference of drought resistance traits of different oilseed flax varieties at germination stage, which used 21% PEG-6000 simulation experiments by 14 new varieties of oilseed flax domestic. The results indicated that the nine indexes including relative germination emerge、relative germination rate、relative germ length and fresh weight、relative radicle length and fresh weight、relative germination index、vitality index and sprout index performances were not consistent. The drought resistance evaluation of oilseed flax need comprehensive consideration about multi-index. To use comprehensive consideration evaluation by integrating membership function values and drought resisting index weight, the *D* value ranged from 0.323 to 0.787, the drought resisting obvious difference. The best drought resisting of *D* value reached 0.868, was Jinya 11, following by Baya 12, its *D* value was 0.787. The *D* values of drought resistance of oilseed flax varieties in the last were 0.381 and 0.323, these were Yiya 4 and Jinya 10, respectively.

Keywords: PEG stress; oilseed flax; variety; germination stage; drought tolerance

干旱严重制约着作物生产^[1], 选育抗旱性品种是解决干旱条件下作物生产的有效途径。我国干旱、半干旱地区约占全国土地面积的 52.5%, 主要集中在西北地区^[2]。胡麻 (*Linum usitatissimum* L.) 即油用亚麻, 是西北和华北旱作农业区重要的油料作物, 该区大部分地区年降水量 400~500 mm, 北部只有 200~300 mm, 属重度干旱生态区。干旱成为限制胡麻产量提高的重要非生物胁迫因素。岳国强等^[3]采用盆栽限水模拟干旱胁迫, 比较了宁夏胡麻地方品种苗期(4 叶期后)抗旱能力, 并在田间条件

收稿日期:2015-09-10
基金项目:现代农业产业技术体系专项资金(CARS-17-GW-04)
作者简介:王宗胜(1965—),男,甘肃静宁人,高级农艺师,主要从事杂粮栽培技术研究。E-mail: 401101917@qq.com。
通信作者:张建平(1972—),男,甘肃天水人,研究员,主要从事亚麻遗传育种研究。E-mail: zhangjp72@126.com。

下,对胡麻忍耐或抵御干旱胁迫的能力进行了初步鉴定。石仓吉^[4]利用灌溉地和旱地分组测定 15 个品种的 11 个性状,通过对灌溉地和旱地各性状进行差异显著性分析、抗旱系数及抗旱指数评价,评价亚麻抗旱性。祁旭升等^[5]采用综合抗旱系数与隶属函数相结合的方法,对胡麻种质资源成株期的抗旱性进行了综合评价。

胡麻属于春播作物,播种期一般在 3 月中下旬和 4 月上中旬,这一时期北方春旱发生频繁,土壤墒情差,易于造成播种和出苗困难,对生产影响较大,因此,胡麻种子萌发和出苗期干旱是当前生产中重要的非生物逆境之一。利用聚乙二醇(PEG)高渗溶液模拟干旱胁迫已成为不同作物种子萌发期抗旱性

研究的重要手段^[6-11]。汪磊^[12]等研究不同浓度 PEG 模拟干旱对 3 个胡麻品种种子萌发及幼苗生长的影响,但对不同胡麻种质资源萌发期抗旱差异研究较少。本试验采用 PEG 胁迫测定 14 个新品种种子萌发特性,以期建立胡麻种子萌发期抗旱鉴定方法和评价指标,为筛选发芽期抗旱品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用我国近年来新审(鉴)定的 14 个品种,参试材料及来源见表 1。

表 1 试验材料及来源
Table 1 Materials and their origins used in this study

序号 Order	品种 Varieties	来源 Seed origins
1	陇亚 10 号 Longya No. 10	甘肃省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences
2	陇亚 11 号 Longya No. 11	甘肃省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences
3	陇亚杂 1 号 Longyaza No. 1	甘肃省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences
4	陇亚杂 2 号 Longyaza No. 2	甘肃省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences
5	陇亚 8 号 Longya No. 8	甘肃省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences
6	定亚 23 号 Dingya No. 23	甘肃省定西市农业科学院 Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Gansu
7	伊亚 4 号 Yiya No. 4	新疆自治区伊犁市农业科学院 Yili Academy of Agricultural Sciences, Xinjiang
8	坝亚 12 号 Baya No. 12	河北省张家口农业科学院 Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Hebei
9	坝亚 3 号 Baya No. 3	河北省张家口农业科学院 Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Hebei
10	天亚 9 号 Tianya No. 9	甘肃省农业职业技术学院 Gansu Academy of Agricultural and Vocational Technology
11	宁亚 19 号 Ningya No. 19	宁夏固原市农科所 Guyuan Institute of Agricultural Sciences, Ningxia
13	晋亚 10 号 Jinya No. 10	山西省农科院大同高寒研究所 Datong High and Cold Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences
14	晋亚 11 号 Jinya No. 11	山西省农科院大同高寒研究所 Datong High and Cold Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences

1.2 试验设计与方法

采用质量浓度分别为 0%(对照)和 21%(处理)PEG-6000 溶液,每个品种挑选成熟、饱满且大小适中、均匀一致的种子 720 粒,每 40 粒为一份,先用 0.1%的升汞溶液浸润 10 min,再用无菌水清洗三遍,放于直径为 9 cm 的发芽皿中,用 2 层中速滤纸做发芽床,分别用不同浓度的 PEG 溶液 6 ml 将滤纸浸湿,至滤纸饱和且表面无明水,置于培养柜 25℃、暗培养,三次重复。以萌发的幼芽达到种子长度 1/2 为发芽标准,每 24 h 调查一次发芽情况,连续调查 7 次。试验中根据需要补充相应浓度的 PEG 溶液。

1.3 测定内容及方法

按照汪磊、Zhang、成广雷和崔红艳^[12-14]等方法,计算发芽势(GE, Germination energy, %)、发芽

率(GR, Germination rate, %)、发芽指数(GI, Germination index)、活力指数(VI, Vitality index)和萌发指数(SI, Sprout index),公式如下:

$$GE = \text{前 3 天内的发芽数} / \text{供试种子数} \times 100$$

$$GR = \text{第 7 天发芽总数} / \text{供试种子数} \times 100$$

$GI = \Sigma(DG/DT)$, DG 为逐日发芽数,DT 为相应 DG 的发芽天数

$$VI = GI \times \text{幼苗生长量}$$

$SI = (1.00)nd1 + (0.75)nd3 + (0.50)nd5 + (0.25)nd7$,其中 nd1、nd3、nd5、nd7 分别为第 1、3、5、7 天的种子萌发率,1.00、0.75、0.50、0.25 分别为相应萌发天数所赋予的系数。

$$\text{伤害率}(\%) = 21\% \text{PEG 处理} / \text{对照} \times 100\%$$

第 7 天调查发芽率完毕后,在每个培养皿中随

机抽取 10 株测量,剪下根芽,分别测量胚芽长、胚根长,称胚芽、胚根鲜重。

1.4 数据处理

相对发芽势(RGE)、相对发芽率(RGR)、相对活力指数(RVI)、相对萌发指数(RPI)、相对胚芽长(RGL)、相对胚芽鲜重(RGFW)、相对胚根长(RRL)和胚根鲜重(RRFW)按照“相对性状指标(%) = 渗透胁迫处理下各性状测定值/对照各性状测定值 × 100”进行计算。

利用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 10.5 进行材料间各指标的差异性检验。参照邱丽娟^[15]、祁旭升^[5]和王曙光等^[16]的方法,采用隶属函数和抗旱指标权重相结合的方法对抗旱性进行综合评价,计算公式为:

$$\text{隶属函数值} \quad \mu(x) = \frac{PI - PI_{i \min}}{PI_{i \max} - PI_{i \min}}$$
$$\text{抗旱性量度值} \quad D = \sum_{i=1}^n [\mu(x) \times (|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|)]$$

式中, PI 、 $PI_{i \min}$ 、 $PI_{i \max}$ 为各性状抗旱指数的值、最小值、最大值; r_i 为各性状抗旱指数与平均抗旱指数的相关系数, $|r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|$ 为指数权数,表示第 i

个指标在所有指标中的重要程度。

2 结果与分析

2.1 PEG 胁迫对不同胡麻品种发芽势和发芽率的影响

发芽率、发芽势是衡量种子发芽能力的重要指标,分别反映了种子的发芽能力、发芽速度。由表 2 可以看出,渗透胁迫下各品种平均发芽势为 52.56%,对照处理为 90.95%,胁迫处理较对照降低了 38.39 个百分点。经 t 测验,胁迫处理低于对照,差异极显著;渗透胁迫下各品种发芽率平均为 87.98%,低于对照 4.82 个百分点,但是 t 测验未达到显著水平。表明发芽率对胁迫敏感度较低,同时也表明,胁迫主要导致发芽速度显著降低。经方差分析,渗透胁迫下不同品种间相对发芽势差异极显著,表明不同品种的萌发速度对胁迫抗性不同,其中晋亚 11 号抗性最高(83.89%),其次定亚 23 号,坝亚 12 号也有较高的抗性,而天亚 9 号最低(12.97%)。不同品种间相对发芽率差异较小,轮选 2 号、晋压 11 号、陇亚 11 号与伊亚 4 号差异显著,其它品种间差异不显著。

表 2 PEG 模拟干旱胁迫对不同品种间发芽势和发芽率的影响

Table 2 Germination energy and germination rate of different oilseed flax varieties under PEG simulation drought stress

品种 Varieties	发芽势 Germination energy/%			发芽率 Germination rate/%		
	处理 Treatment	对照 CK	相对发芽势 Relative germination energy	处理 Treatment	对照 CK	相对发芽率 Relative germination rate
轮选 2 号 Lunxuan No.2	60.83	93.33	65.39 ± 30.56aAB	94.17	91.67	102.70 ± 4.68a
宁亚 19 号 Ningya No.19	42.50	88.33	48.26 ± 7.16abAB	85.83	90.83	94.89 ± 10.84ab
天亚 9 号 Tianya No. 9	12.50	97.50	12.97 ± 7.18bB	95.00	98.33	96.75 ± 7.78ab
晋亚 10 号 Jinya No.10	67.50	96.67	69.97 ± 16.51aA	85.83	96.67	88.89 ± 15.03ab
坝亚 12 号 Baya No.12	73.33	92.50	79.36 ± 4.92aA	97.50	95.83	101.80 ± 4.04a
伊亚 4 号 Yiya No.4	50.00	84.17	59.73 ± 26.41aAB	72.50	91.67	79.48 ± 11.20b
定亚 23 号 Dingya No.23	57.50	70.00	82.51 ± 8.00aA	78.33	80.00	99.07 ± 16.79ab
陇亚 8 号 Longya No.8	56.67	93.33	60.23 ± 23.30aAB	89.17	93.33	95.71 ± 10.77ab
坝选 3 号 Baxuan No.3	47.50	99.17	47.86 ± 10.66abAB	87.50	99.17	88.23 ± 6.32ab
晋亚 11 号 Jinya No.11	70.00	85.00	83.89 ± 32.69aA	90.00	90.00	100.00 ± 2.78a
陇亚 11 号 Longya No.11	43.33	91.67	48.56 ± 47.36abAB	89.17	89.17	100.00 ± 0.00a
陇亚杂 2 号 Longyaza No.2	61.67	97.50	62.99 ± 19.34aAB	93.33	98.33	94.89 ± 9.25ab
陇亚杂 1 号 Longyaza No.1	49.17	100.00	49.17 ± 5.20abAB	90.00	100.00	90.00 ± 9.01ab
陇亚 10 号 Longya No.10	43.33	84.17	51.60 ± 16.85abAB	83.33	84.17	99.11 ± 17.06ab
AV	52.56**	90.95	58.75	87.98	92.80	95.11
SD	15.37	8.11	18.36	6.69	5.84	6.45
CV	29.24	8.92	31.26	7.60	6.30	6.79

注:不同小、大写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。* * 代表对照与处理间差异极显著($P < 0.01$)。下同。
Note: Different small letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level. * *, significant difference at $P < 0.01$ level. The same below.

2.2 PEG 胁迫对不同胡麻品种幼芽生长的影响

胚芽长、胚根长、胚芽鲜重和胚根鲜重是生长发育的重要指标(表 3)。在胁迫条件下胚根鲜重、胚芽鲜重和胚芽长的相对值分别为 47.44%,41.34%和 31.07%,与对照相比,胁迫处理下,胚芽长、胚根

长、胚芽鲜重和胚根鲜重分别降低了68.59、21.89、58.55 和 52.94 个百分点。且胚根长相对值>胚芽长相对值,胚根鲜重相对值>胚芽鲜重相对值,表明胚根生长对水分胁迫的抗性比胚芽高。

表 3 PEG 模拟干旱胁迫对胚根和胚芽鲜重的影响
Table 3 Radicle and germ fresh weight and length under PEG simulation drought stress.

品种 Varieties	胚根鲜重/(g·10 株 ⁻¹) Radicle fresh weight/(g·10plant ⁻¹)			胚芽鲜重/(g·10 株 ⁻¹) Germ fresh weight/(g·10plant ⁻¹)			胚根长/cm Radicle length			胚芽长/cm Germ length		
	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate
轮选 2 号 Lunxuan No. 2	0.0317	0.0687	46.73 ± 6.85a	0.187	0.444	42.23 ± 2.57ab	1.333	1.553	86.92 ± 15.117ab	2.463	6.277	39.40 ± 4.26ab
宁亚 19 号 Ningya No. 19	0.0477	0.0920	51.77 ± 5.91a	0.249	0.490	50.94 ± 0.86a	1.643	2.953	56.08 ± 10.198b	1.880	6.793	27.77 ± 5.76ab
天亚 9 号 Tianya No. 9	0.0303	0.0653	47.65 ± 13.70a	0.180	0.410	43.95 ± 7.48ab	1.910	1.953	102.83 ± 30.768ab	1.870	6.330	29.56 ± 1.50ab
晋亚 10 号 Jinya No. 10	0.0163	0.0607	27.07 ± 4.57a	0.055	0.312	17.37 ± 18.90b	0.650	1.360	50.88 ± 23.395b	0.487	5.453	9.11 ± 7.18b
坝亚 12 号 Baya No. 12	0.0320	0.0857	37.61 ± 3.49a	0.216	0.505	42.92 ± 7.32ab	1.167	1.283	91.18 ± 24.687ab	1.673	6.263	27.09 ± 10.66ab
伊亚 4 号 Yiya No. 4	0.0363	0.0717	49.09 ± 16.79a	0.131	0.451	28.04 ± 23.72ab	1.027	1.443	71.83 ± 40.900b	1.430	5.487	24.92 ± 22.39ab
定亚 23 号 Dingya No. 23	0.0313	0.0707	43.76 ± 11.65a	0.135	0.477	28.09 ± 17.62ab	1.020	1.770	57.54 ± 19.187b	1.517	5.757	26.14 ± 19.48ab
陇亚 8 号 Longya No. 8	0.0323	0.0977	35.89 ± 14.81a	0.182	0.466	39.42 ± 15.62ab	1.127	2.320	53.57 ± 32.772b	1.713	6.533	26.15 ± 5.59ab
坝选 3 号 Baxuan No. 3	0.0443	0.0877	58.83 ± 28.67a	0.167	0.445	42.52 ± 23.72ab	1.967	2.150	91.49 ± 4.820ab	1.983	6.170	32.70 ± 8.28ab
晋亚 11 号 Jinya No. 11	0.0347	0.0633	56.52 ± 24.90a	0.158	0.402	39.62 ± 11.60ab	1.103	1.040	106.25 ± 18.161ab	2.040	6.393	31.89 ± 12.28ab
陇亚 11 号 Longya No. 11	0.0517	0.0933	55.49 ± 14.15a	0.226	0.449	51.87 ± 21.72a	2.060	2.130	100.67 ± 37.350ab	2.263	6.197	38.25 ± 17.32ab
陇亚杂 2 号 Longyaza No. 2	0.0493	0.1053	46.87 ± 21.28a	0.235	0.493	48.15 ± 15.44ab	2.093	3.077	66.31 ± 26.398b	2.900	7.533	38.08 ± 27.83ab
陇亚杂 1 号 Longyaza No. 1	0.0523	0.1063	50.33 ± 18.91a	0.263	0.480	55.80 ± 21.84a	2.450	3.017	85.05 ± 33.237ab	3.393	7.357	47.38 ± 24.49a
陇亚 10 号 Longya No. 10	0.0663	0.1183	56.61 ± 26.29a	0.265	0.555	47.80 ± 10.21ab	2.073	1.637	135.77 ± 75.013a	2.437	6.783	36.58 ± 23.75ab
AV	0.040	0.085	47.44 * *	0.189	0.456	41.34 * *	1.545	1.978	82.60	2.004	6.380	31.07 * *
SD	0.01	0.02	8.99	0.06	0.06	10.55	0.55	0.67	24.59	0.70	0.61	9.06
CV/%	32.03	21.61	18.95	31.10	12.48	25.51	35.41	33.71	29.77	34.74	9.51	29.16

不同品种间幼芽生长抗性不同。胚根鲜重相对值坝选 3 号、陇亚 10 号、晋亚 11 号较高,分别为 58.83%,56.61%和 56.52%;晋亚 10 号、陇亚 8 号较低,分别是 27.07%和 35.89%,但方差分析差异不显著。不同品种胚芽鲜重、胚根长和胚芽长的相对值差异达 5%显著水平,胚芽鲜重相对值陇亚杂 1 号最高(55.80%),陇亚 11 号次之(51.87%);晋亚 10 号最低,仅 17.37%;胚根长相对值陇亚 10 号最高,达 135.77%,晋亚 10 号最低(50.88%);胚芽长

相对值陇亚杂 1 号最高,轮选 2 号次之,分别是 47.38%和 39.40%,晋亚 10 号最低(9.11%)。

2.3 PEG 胁迫对不同胡麻品种种子活力的影响

种子活力与种子发芽力对种子发芽环境胁迫的敏感性有很大的差异。发芽指数、活力指数和萌发指数是种子活力的重要指标。与对照相比,胁迫处理下,发芽指数、活力指数和萌发指数分别降低了60.70%,83.08%和 48.14%。发芽指数、活力指数和萌发指数的相对值分别为 40.45%,20.46%和

53.11%(表 4),表明胁迫处理使种子活力极显著下降。发芽指数相对值品种间差异极显著,坝亚 12 号、定亚 23 号和晋亚 11 号较高,分别是 54.27%、50.98%和 50.74%,坝选 3 号最低(29.49%)。活力指数相对值品种间差异不显著,陇亚 11 号最高(36.61%),坝选 3 号和陇亚杂 1 号较低,分别是6.76%和 8.75%。萌发指数相对值品种间差异极显著,坝亚 12 号最高,为 69.33%,天亚 9 号最低,为 38.58%。

表 4 PEG 模拟干旱胁迫对胡麻种子发芽指数、活力指数和萌发指数的影响
Table 4 Germination index (GI), vitality index (VI) and sprout index (PI) under PEG simulation drought stress

品种 Varieties	发芽指数 Germination index			活力指数 Vitality index			萌发指数 Sprout index		
	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate	21% PEG	CK	伤害率 Injure rate
轮选 2 号 Lunxuan No. 2	11.490	27.139	42.31 ± 7.64abcdeABC	2.501	13.904	19.07 ± 18.00a	110.000	183.125	59.95 ± 14.59abcAB
宁亚 19 号 Ningya No. 19	9.072	19.678	46.31 ± 6.08abcdABC	2.692	11.447	21.16 ± 23.71a	86.250	144.375	60.14 ± 10.88abcAB
天亚 9 号 Tianya No. 9	8.148	24.694	34.07 ± 8.77deABC	1.729	11.800	19.56 ± 15.56a	64.792	172.708	38.58 ± 11.54cB
晋亚 10 号 Jinya No. 10	11.292	26.944	42.03 ± 3.69abcdeABC	0.725	10.040	15.53 ± 7.90a	111.667	184.167	60.67 ± 8.85abcAB
坝亚 12 号 Baya No. 12	14.661	27.111	54.27 ± 4.99aA	3.634	16.030	17.89 ± 23.01a	126.458	182.917	69.33 ± 6.47aA
伊亚 4 号 Yiya No. 4	10.044	26.417	38.73 ± 17.03bcdeABC	1.865	13.885	31.09 ± 13.84a	86.875	177.292	49.62 ± 16.27abcAB
定亚 23 号 Dingya No. 23	11.361	22.444	50.98 ± 8.45abAB	1.912	11.849	18.85 ± 16.14a	96.458	147.500	65.63 ± 8.25abAB
陇亚 8 号 Longya No. 8	12.670	33.278	38.14 ± 5.21bcdeABC	2.670	18.741	18.74 ± 4.53a	101.875	214.167	47.60 ± 8.51abcAB
坝选 3 号 Baxuan No. 3	11.084	37.667	29.49 ± 5.50cC	2.349	19.945	6.76 ± 12.93a	96.250	238.750	40.37 ± 6.87cAB
晋亚 11 号 Jinya No. 11	12.631	25.056	50.74 ± 13.71abcAB	2.534	11.666	29.96 ± 22.42a	116.667	170.417	68.89 ± 17.03aAB
陇亚 11 号 Longya No. 11	10.384	33.210	31.82 ± 11.55deBC	3.016	17.583	36.61 ± 19.33a	91.875	213.125	44.20 ± 23.45bcAB
陇亚杂 2 号 Longyaza No. 2	13.972	34.972	39.91 ± 6.33abcdeABC	4.124	20.930	31.34 ± 19.81a	107.917	224.375	48.00 ± 9.25abcAB
陇亚杂 1 号 Longyaza No. 1	11.893	37.389	31.84 ± 4.40deBC	3.826	21.930	8.75 ± 17.85a	100.208	237.500	42.22 ± 4.01cAB
陇亚 10 号 Longya No. 10	9.522	26.556	35.66 ± 6.26cdeABC	3.241	17.864	11.19 ± 18.08a	85.417	175.417	48.38 ± 12.18abcAB
AV	11.30 ^{**}	28.75	40.45	2.63 ^{**}	15.54	20.46	98.76 ^{**}	190.42	53.11 ^{**}
SD	1.82	5.58	7.79	0.91	3.96	8.91	15.60	30.39	10.69 ^{**}
CV/%	16.09	19.39	19.26	34.73	25.51	43.55	15.80	15.96	20.12

2.4 抗旱性的综合评价

种子发芽过程是一个极复杂的生理生化过程,而 PEG 胁迫下影响种子萌发的因素很多。从以上结果看,各材料不同抗旱指标间的表现趋势并不一致,说明作物的抗旱性不能仅通过单一指标研究。因此,评价抗旱性时需要进行多指标综合考虑。本研究以相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长和鲜重、相对胚根长和鲜重、相对发芽指数、活力指数和萌发指数共 9 个指标为依据,采用隶属函数值和抗

旱指标权重相结合计算抗旱性度量值 *D*,对不同胡麻品种种子萌发期的抗旱性进行综合评价(表 5)。一般而言,综合评价值越大,表明其抗旱能力越强,可以看出晋亚 11 号的抗性最强,*D* 值达到了 0.868,其次为坝亚 12 号,*D* 值为 0.787。轮选 2 号、陇亚 10 号、定亚 23 号、宁亚 19 号这 4 个品种抗性较强;晋亚 10 号、伊亚 4 号的抗性相对最差,*D* 值分别为 0.323 和 0.381。

3 讨 论

种子萌发是种子植物生活史中的关键阶段,也是衡量植物抗旱性强弱的重要时期,直接关系到植物的出苗情况^[17]。发芽率、发芽势、种子活力指数等指标反映的是作物种子发芽速度、发芽整齐度和幼苗健壮的趋势,常作为评价种子发芽的指标,是作物育种中重要的衡量指标^[18-20]。不同浓度的 PEG 常被用来在各种作物上做模拟干旱胁迫试验^[9-10]。本试验中,21% PEG 浓度胁迫下,胡麻种子发芽率、胚根长、发芽势、胚根鲜重、胚芽鲜重和胚芽长均较对照处理分别降低了 4.82, 21.89, 38.39, 52.94,

58.55和 68.59 个百分点;发芽指数、活力指数和萌发指数分别降低了 60.70%,83.08%和 48.14%。可见,21% PEG 胁迫抑制了胡麻种子萌发和幼芽发育,但各指标敏感程度不同,依次为:发芽率相对值>胚根长相对值>发芽势>胚根鲜重相对值>胚芽鲜重相对值>胚芽长相对值,可见,渗透胁迫对胚芽的抑制作用大于对胚根,与王赞等^[21]的研究相一致。试验表明,干旱胁迫下胡麻种子能保持相当高的发芽率和胚根伸长能力,但生长发育的速度受到明显抑制;表现在发芽势、胚根和胚芽生长量显著下降,且抗旱性强的品种所受影响明显低于抗旱性弱的品种。

表 5 抗旱指标的综合分析
Table 5 Comprehensive analysis of drought tolerance index.

品种 Varieties	隶属函数 Membership function									D 值 D value	位次 Order
	相对发芽势 Relative germination energy	相对发芽率 Relative germination rate	相对胚芽鲜重 Relative germ fresh weight	相对胚根鲜重 Relative radicle fresh weight	相对胚根长 Relative radicle length	相对胚芽长 Relative germ length	相对发芽指数 Relative germination index	相对活力指数 Relative vitality index	相对萌发指数 Relative sprout index		
晋亚 11 号 Jinya No. 11	1.000	0.884	0.927	0.579	0.652	0.595	0.858	0.918	0.985	0.868	1
坝亚 12 号 Baya No. 12	0.936	0.961	0.332	0.665	0.475	0.470	1.000	0.956	1.000	0.787	2
轮选 2 号 Lunxuan No. 2	0.739	1.000	0.619	0.647	0.425	0.792	0.518	0.639	0.695	0.692	3
陇亚 10 号 Longya No. 10	0.545	0.845	0.930	0.792	1.000	0.718	0.249	0.644	0.319	0.670	4
定亚 23 号 Dingya No. 23	0.981	0.844	0.526	0.279	0.078	0.445	0.867	0.521	0.880	0.661	5
宁亚 19 号 Ningya No. 19	0.498	0.664	0.778	0.873	0.061	0.487	0.679	1.000	0.701	0.651	6
陇亚 11 号 Longya No. 11	0.502	0.884	0.895	0.898	0.587	0.761	0.094	0.723	0.183	0.609	7
陇亚杂 2 号 Longyaza No. 2	0.705	0.664	0.623	0.801	0.182	0.757	0.420	0.754	0.306	0.569	8
陇亚杂 1 号 Longyaza No. 1	0.510	0.453	0.732	1.000	0.403	1.000	0.095	0.630	0.118	0.496	9
坝选 3 号 Baxuan No. 3	0.492	0.377	1.000	0.654	0.478	0.616	0.000	0.319	0.058	0.436	10
陇亚 8 号 Longya No. 8	0.666	0.699	0.278	0.574	0.032	0.445	0.349	0.420	0.293	0.429	11
天亚 9 号 Tianya No. 9	0.000	0.744	0.648	0.692	0.612	0.534	0.185	0.485	0.000	0.419	12
伊亚 4 号 Yiya No. 4	0.659	0.000	0.693	0.278	0.247	0.413	0.373	0.376	0.359	0.381	13
晋亚 10 号 Jinya No. 10	0.804	0.405	0.000	0.000	0.000	0.000	0.506	0.000	0.718	0.323	14

不同胡麻品种间的抗性差异显著,通过各指标分析表明,代表发芽速度的指标——发芽势、发芽指数和萌发指数,品种间显著差异;而代表生长速度的指标——长度和鲜重差异较小,表明品种抗性主要取决于发芽能力的抗性强弱。

胡麻属于双子叶油料作物,针对萌发期抗旱性鉴定筛选的研究,抗旱性指标没有统一的定论。本研究以对相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长和鲜重、相对胚根长和鲜重、相对发芽指数、活力指数和萌发指数等 9 个指标进行分析,结果表明,不同胡麻品种萌发期抗旱指标表现趋势并不一致,表明胡麻

抗旱性与胡麻基因型有关。这一点,与其他作物上的研究相一致^[22-24]。因此,评价胡麻抗旱性时需要进行多指标的综合考虑。这样,不仅可以避免单一指标的局限性、不稳定性和片面性,而且可以较好地揭示指标性状和抗旱性的关系。然而,本试验中 21% PEG 对不同胡麻品种种子萌发期生理生化指标的影响,不同胡麻品种种子萌发期在大田试验中相关指标的研究以及指标性状和抗旱性关系方面还需要做进一步探讨和研究。本文采用隶属函数值和抗旱指标权重相结合计算抗旱性度量值 D,对 14 份材料进行评价,晋亚 11 号和坝亚 12 号为高抗性,伊亚

4 号和晋亚 10 号对干旱胁迫敏感,其它材料介于二者之间。

参 考 文 献:

[1] Pruthvi V, Narasimhan R, Nataraja K N. Simultaneous expression of abiotic stress responsive transcription factors, AtDREB2A, AtHB7 and AtABF3 improves salinity and drought tolerance in peanut (*Arachis hypogaea* L.): e111152[J]. *PLoS One*, 2014,9(12):e111152.

[2] 王立祥,王龙昌.中国旱地农业研究[M].南京:江苏科学技术出版社,2009.

[3] 岳国强,程炳文,殷秀琴,等.胡麻抗旱节水品种筛选研究[J].现代农业科技,2009,(14):61-64.

[4] 石仓吉.亚麻品种抗旱性评价研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(9):1-5.

[5] 祁旭升,王兴荣,许 军,等.胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J].中国农业科学,2010,43(15):3076-3987.

[6] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等.PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J].中国油料作物学报,2007,29(4):425-430.

[7] Mahesh K, Balaraju P, Ramakrishna B, et al. Effect of Brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 induce water stress[J]. *American Journal of Plant Science*, 2013,4(12):2305-2313.

[8] Xiong D Q, Guan L M, Wu Z X, et al. Chang. Physiological responses of Brazil banana seedling to drought stress simulated by PEG-6000[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, 14(8): 1117-1121.

[9] Gorai M, Aloui W El, Yang X J, et al. Toward understanding the ecological role of mucilage in seed germination of a desert shrub *Henophyton deserti*: interactive effects of temperature, salinity and osmotic stress[J]. *Plant and Soil*, 2014,374:727-738.

[10] Guo R, Zhou J, Ren G X, et al. Physiological responses of linseed seedlings to iso osmotic polyethylene glycol, salt, and alkali stresses[J]. *Agronomy Journal*, 2013,105:764-772.

[11] 贺鸿雁,孙存华,杜 伟,等.PEG6000 胁迫对花生幼苗渗透调节物质的影响[J].中国油料作物学报,2006,28(1):76-78.

[12] 汪 磊,谭美莲,严明芳,等.PEG 模拟干旱对胡麻种子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):227-232.

[13] 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.

[14] Qie L F, Jia G Q, Zhang W Y, et al. Mapping of quantitative trait locus (QTLs) that contribute to germination and early seedling drought tolerance in the interspecific cross *setaria italica* × *setaria viridis*[J]. *PLoS One*, 2014,9(7):1-8.

[15] 邱丽娟,常汝镇.大豆种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.

[16] 王曙光,孙黛珍,周福平,等.六倍体小黑麦萌发期抗旱性分析[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1403-1408.

[17] Jahantab E, Javdani Z, Bahari A, et al. Effect of priming treatments on seed germination percentage and rate in the early stages of Triticale plants grown under drought stress conditions[J]. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2013,5(17):1909-1917.

[18] Zhang H X, Zhang G M, Lü X T, et al. Salt tolerance during seed germination and early seedling stages of 12 halophytes[J]. *Plant and Soil*, 2015,388:229-241.

[19] Manangkil O E, Vu H T, Mori T N, et al. Mapping of quantitative trait loci controlling seedling vigor in rice (*Oryza sativa* L.) under submergence[J]. *Euphytica*, 2013,192:63-75.

[20] Han Z P, Ku L X, Zhang Z Z, et al. QTLs for seed vigor-related traits identified in maize germinated under artificial aging conditions: e92535[J]. *PLoS One*, 2014,9(3):e92535.

[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):31-35.

[22] Beebe S E, Rao I M, Cajiao C, et al. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments[J]. *Crop Science*, 2008,48(2):582-592.

[23] Belko N, Cisse N, Diop N N, et al. Selection for postflowering drought resistance in short- and medium-duration cowpeas using stress tolerance indices[J]. *Crop Science*, 2014,54(1):25-33.

[24] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生萌芽期水分胁迫品种适应性及抗旱性评价[J].干旱地区农业研究,2009,27(5):173-182.