

聚乙二醇模拟干旱胁迫下油葵种质资源萌发期抗旱性评价

王兴珍, 卯旭辉*, 贾秀革, 梁根生 (甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要 以 55 份油葵种质资源为材料, 采用浓度为 20% 的聚乙二醇(PEG-6000)模拟干旱胁迫, 以清水为对照, 研究干旱胁迫下不同油葵种质资源萌发期抗旱特性的差异。结果表明, 20% PEG-6000 胁迫下, 不同资源的相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长、相对胚根长、相对胚根数、相对鲜重 6 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, 55 个品种的 *D* 值在 0.368~0.730, 差异明显。并采用系统聚类分析的组间连接(平方欧式距离)法对品种综合能力 *D* 值进行聚类分析, 将 55 份材料分为 3 类: TK3303、PR2301 和 FK01 为第 I 类(属强抗旱类型), 占供试材料的 5.45%; 九洋 918 为第 II 类(属中等类型); 其余品种为第 III 类(属弱抗旱类型)。TK3303、PR2301 和 FK01 可作为今后油葵抗旱育种的优异种质资源。

关键词 油葵; 种质资源; 种子萌发; 抗旱性

中图分类号 S565.5 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)20-0040-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Drought Resistance of Oil Sunflower Germplasm Resources at Germination Stage under Polyethylene Glycol Simulated Drought Stress

WANG Xing-zhen, MAO Xu-hui, JIA Xiu-ping et al (Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract 55 oil sunflower germplasms were used as materials to study the difference of drought resistance characteristics of different oil sunflower germplasms at germination stage under drought stress by simulating drought stress with 20% polyethylene glycol (PEG-6000) and water as control. The results indicated that under 20% PEG-6000 stress, the relative germination potential, relative germination rate, relative germ length, relative radicle length, relative radicle number and relative fresh weight of different resources were inconsistent, and drought resistance evaluation needed comprehensive consideration of multiple indicators. The drought resistance measurement value combining the membership function value and the drought resistance index weight was used to evaluate the drought resistance. The *D* values of 55 varieties were between 0.306 and 0.730, and the difference was obvious. The inter-group connection (squared euclidean distance) method of hierarchical cluster analysis was used to cluster the *D* value of comprehensive ability of cultivars. The 55 cultivars were divided into 3 categories: TK3303, PR2301 and FK01 were the first category (strong drought resistance type), which accounted for 5.45% of the tested materials; Jiuyang 918 was classified as type II (medium type); the rest were classified as type III (weak drought resistance type). TK3303, PR2301 and FK01 could be used as excellent germplasm resources for drought resistance breeding of oil sunflower in the future.

Key words Oil sunflower; Germplasm resources; Seed germination; Drought resistance

随着全球气候变暖, 干旱已成为世界农业生产长期面临的主要制约因素, 据估计, 因干旱造成的农业损失相当于其他不良因子造成的损失总和^[1]。目前, 全世界遭受水土流失的耕地面积约 $2.5 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ^[2], 严重影响了农作物的生长, 制约了农业经济的发展^[3]。在干旱胁迫下, 植物会开启生理生化、分子等的一系列变化, 进而引起代谢紊乱, 影响植物正常生长^[4-5]。

油葵 (*Helianthus annuus* L.) 属菊科 (Compositae) 向日葵属 (*Helianthus*), 一年生草本油料作物。油葵适合我国新疆、甘肃、内蒙古、黑龙江、山东、河北等相对干旱、盐碱性大的地区大面积播种^[6]。这些地区是我国主要的干旱和半干旱地区。因此, 干旱也成了限制油葵产量提高的重要非生物胁迫因素。种子萌发期是作物第一生长发育阶段, 是胁迫的敏感期, 易受外界环境干扰。干旱胁迫直接影响种子发芽出苗, 进而影响后期生长发育, 最终造成作物产量、质量的下降^[7]。

利用聚乙二醇(PEG-6000)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^[8]。胡树平等^[9]从群

体结构与个体功能协同方面, 对向日葵品种(系)的抗旱性、密度和播期对产质量的影响、氮磷钾需肥规律、减源疏库对向日葵产质量的影响等进行了较为系统的研究。温蕊等^[10]利用 PEG 溶液模拟干旱胁迫, 对 18 个向日葵资源材料种子萌发期进行抗旱性研究。杨旭东等^[11]以 6 份不同的向日葵自交系种子为材料, 利用不同浓度的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 研究种子萌发期干旱胁迫对不同基因型向日葵种子萌发的影响。综上, 虽然均采用 PEG 溶液进行模拟干旱胁迫试验, 但不同的植物种子萌发期对干旱胁迫的耐受程度不同。因此, 依据生产实际开展不同植物种子萌发期干旱胁迫的耐受试验, 对指导生产意义重大。

近年来, 研究者针对向日葵芽期、苗期、穗期、成熟期等主要生育期筛选了一批抗旱鉴定指标, 包括萌发胁迫指数、苗期反复干旱成活率、抗旱系数、抗旱指数等^[11-13]。在苗期、本田期进行抗旱鉴定易受环境影响, 耗时长、工作量大、指标测定复杂, 而芽期鉴定较为方便快捷、条件可控、短时间内可进行大批量鉴定, 因此针对芽期抗旱鉴定的研究较多。前人利用相关性分析、主成分分析、隶属函数综合分析等方法提出了较多的鉴定指标, 如相对胚根长、相对芽长、相对芽干重、相对发芽率、储藏物质转运速率、胚芽鞘长、根系活力和 β -淀粉酶活力等, 但不同研究者提出的鉴定指标并不完全相同^[14-15]。该研究为确定不同油葵种质资源的抗旱性, 筛选出

基金项目 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-14-2-22); 甘肃省青年科技基金计划 (21JR1RA357)。

作者简介 王兴珍 (1987—), 女, 甘肃白银人, 助理研究员, 硕士, 从事向日葵遗传育种研究。* 通信作者, 副研究员, 从事高产向日葵育种研究。

收稿日期 2021-03-02

具有较强抗旱能力的油葵种质资源,采用 20%的 PEG-6000 模拟干旱胁迫并测定 55 个种质资源的萌发特性,建立科学高效的抗旱鉴定方法,筛选优质抗旱育种材料,并进一步筛选具备广适性的优质抗旱向日葵品种。同时,建立油葵种质资源萌发期抗旱鉴定方法和评价指标,以期筛选萌发期抗旱种质资源提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 供试材料 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 Serial number	种质名称 Germplasm name	来源 Origin
1	Y07M4A×1606R	甘肃省农业科学院
2	九洋 918	甘肃九洋农业发展有限公司
3	陇葵杂 2 号	甘肃省农业科学院
4	Y07M4A×07M4B-3-2	甘肃省农业科学院
5	TK3361	北京天葵立德种业公司
6	Y07M4A×Y318R-1	甘肃省农业科学院
7	GK16-1	甘肃省农业科学院
8	JY6006	甘肃敬业农业科技有限公司
9	F15-2A×F15-1R-5-2-1	甘肃省农业科学院
10	法 A18	甘肃省农业科学院
11	GK16-3	甘肃省农业科学院
12	TH186	甘肃同辉种业有限责任公司
13	陇葵杂 6 号	甘肃省农业科学院
14	内葵杂 4 号	内蒙古农牧业科学院
15	F15-2A	甘肃省农业科学院
16	F15-2A×F15-1R-5-3	甘肃省农业科学院
17	F15-2A×1606R	甘肃省农业科学院
18	内葵杂 5 号	内蒙古农牧业科学院
19	F15-2A×F15-1R-2-2-1	甘肃省农业科学院
20	1606A×1606R	甘肃省农业科学院
21	YK18-5	白城市农业科学院
22	新葵杂 3 号	新疆农垦科学院
23	YK18-11	白城市农业科学院
24	YK18-10	白城市农业科学院
25	F53	辽宁省农业科学院
26	YF168	酒泉亿丰农业发展有限责任公司
27	先瑞 4 号	酒泉同庆种业有限责任公司
28	07M4A×F15-1R-5-2-2	甘肃省农业科学院
29	PR2301	新疆普瑞农业科技公司
30	Q5160	酒泉市安达种业公司
31	667A×1606R	甘肃省农业科学院
32	1606R	甘肃省农业科学院
33	F15-2A×F15-1R1	甘肃省农业科学院
34	TK3359	北京天葵立德种业公司
35	HZ011	新疆农业科学院
36	YK17-1	白城市农业科学院
37	667A×F15-1R-2-8	甘肃省农业科学院
38	TK3303	北京天葵立德种业公司
39	AD904	酒泉市安达种业有限责任公司
40	KKY1502	新疆农垦科学院
41	HM0998	酒泉市胜丰向日葵研究所
42	T305	武威天马高新农业科技有限公司
43	YK18-2	白城市农业科学院
44	FK01	中国科学院近代物理研究所
45	1606A×F15-1R-6-1	甘肃省农业科学院
46	Y07M4A	甘肃省农业科学院
47	九洋 616	甘肃九洋农业发展有限公司
48	9706R	甘肃省农业科学院
49	新葵 25 号	新疆农垦科学院
50	LKZ-13	黑龙江省农业科学院
51	先瑞 3 号	酒泉同庆种业有限责任公司
52	陇葵杂 3 号	甘肃省农业科学院
53	陇葵杂 5 号	甘肃省农业科学院
54	九洋矮大头	甘肃九洋农业发展有限公司
55	KKY1612	新疆农垦科学院

1.2 试验方法 选取均匀一致、无病虫害的健康种子,用 1%的次氯酸钠溶液浸种消毒 10 min,无菌水冲洗 3 次,室温下水分平衡 15 h,待用。发芽试验参照农作物种子检验相关国家标准^[12]及杨旭东等^[11,13]的方法进行。每个培养皿中放置 3 层滤纸作为发芽床,在每个培养皿中整齐摆放 50 粒种子,分别选用 25 mL 质量浓度为 0(对照)及 20%的 PEG-6000 模拟正常及干旱胁迫条件,每个处理设置 3 次重复,置于人工智能气候培养箱中,温度设置为恒温 25 ℃,进行 3 d 暗处理,之后设定光照周期为 12 h/12 h(光期/暗期)、光强为 2 500 lx 进行培养。为保持胁迫浓度,每天定时更换 20% PEG-6000 溶液和无菌水。种子发芽期间,每天观察种子萌发情况并记录发芽粒数,直至第 10 天发芽试验结束。种子发芽标准:胚根突破种皮 2 mm 为发芽种子。

干旱发芽试验(CT):采用 20%的 PEG-6000(以下简称 PEG)溶液作为培养试剂,其他处理同标准发芽试验。

1.3 测定内容及方法 参照杨旭东等^[11-13]的方法在供试材料培养至第 1 粒种子萌发(鉴定发芽标准为胚根长 2 mm)开始,每天在同一时间调查记录每个培养皿中的发芽种子数,持续记录 7 d 后计算发芽势(GE,%)、发芽率(GR,%)和发芽指数(GI)。第 7 天调查发芽率完毕后,从每个培养皿中随机选取 20 株长势相当的幼苗进行形态指标测定,测量种子的胚芽长(SL,mm)、胚根长度(GL,mm)、胚根数(GN)和鲜重(FW,g)等性状,求其平均作为各项性状指标的代表值。

1.4 数据统计分析 利用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 12.0 进行材料间各指标的差异性检验。参照 Mahesh 等^[4,11,14]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,分析中涉及的计算公式如下:

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

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

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum(DG/DT)$$

式中,DG 为逐日发芽数,DT 为相应 DG 的发芽天数。

相对发芽势(RGE)、相对发芽率(RGR)、相对发芽指数(RGI)、相对胚芽长(RGL)、相对胚根长(RRL)、胚根数(RRN)和相对鲜重(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。

抗旱系数=干旱胁迫下指标的均值/对照指标的均值

综合抗旱系数=所有测定指标抗旱系数的加权平均值

$$\text{隶属函数值 } \mu(x) = (PI - PI_{\min}) / (PI_{\max} - PI_{\min})$$

$$\text{抗旱性量度值 } D = \sum_{i=1}^n [U(x) \times |r_i| \div \sum_{i=1}^n |r_i|]$$

式中,PI、PI_{min}、PI_{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| ÷ ∑
|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 胁迫对不同油葵品种发芽势和发芽率的影响 由表 2 可看出,在 20%PEG-6000 的胁迫处理下,萌发期 PEG-6000 处理后油葵的生长受到了不同程度地抑制,对各项指

标的抑制程度也不同。鲜重、胚芽长、发芽率降低幅度较大,对于干旱胁迫的反应较敏感;而主胚根长、胚根数降低幅度较小,表明干旱胁迫下,营养物质优先向根中转移。进一步分析处理与对照的变异系数发现,6个性状处理中,发芽势、发芽率、胚根数、鲜重的变异系数明显大于对照,表明萌发期的干旱胁迫增大了种质间差异。依据同一指标不同种质的胁迫

系数平均值将各指标对干旱逆境的敏感程度排序如下:鲜重 > 胚芽长 > 发芽率 > 胚根数 > 主胚根长 > 发芽势。从各项指标干旱胁迫系数看,同一种质不同指标或同一指标不同种质的干旱胁迫系数变化幅度和指标抗旱系数的变异都较大,很难直接用某一指标胁迫系数来判断种质的抗旱性。因此需要进行多指标综合分析才能较准确地把握种质的抗旱性。

表2 PEG-6000模拟干旱胁迫对油葵萌发期生长的影响

Table 2 Effects of PEG-6000 simulated drought stress on sunflower growth at germination stage

处理 Treatment	统计参数 Statistical parameter	发芽势 Germination energy	发芽率 Germination rate//%	胚芽长 Germ length//cm	主胚根长 Radicle length//cm	胚根数 Radicle number//根	鲜重 Fresh weight//g
干旱胁迫 Drought stress	最大值	0.680	68.0	11.691	11.691	52.753	30.850
	最小值	0.041	4.1	2.005	2.000	9.000	0.920
	平均值	0.455	44.7	7.640	7.682	28.268	11.853
	变异系数	0.448	44.8	0.254	0.245	0.319	0.570
对照 Control	最大值	0.940	100.0	16.467	17.133	64.333	43.450
	最小值	0.048	6.0	2.010	1.533	12.000	1.296
	平均值	0.494	60.4	10.758	8.616	34.545	17.019
	变异系数	0.411	0.411	0.255	0.413	0.314	0.541

2.2 主成分分析筛选苗期抗旱性综合评价指标 该试验中,球形检验显著性测验值为0.000,小于0.05,说明变量之间存在相关性;KMO检验统计量为0.235,说明变量之间的偏相关性较强,适合做因子分析。对于干旱胁迫下测得的数据经主成分分析,选取特征值 > 1的4个主成分,得到如表3所示的结果。由表3可看出,前4个主成分的累计方差贡献率达89.890%,表明前4个主成分反映了70个油葵种质的6个抗旱性描述指标89.890%的信息,因此选用前4个主成分描述

变异(表3)。

根据各成分得分系数,获得主成分函数如下:

第一主成分 $F_1: F_1 = 0.137X_1 + 0.731X_2 + 0.750X_3 + 0.726X_4 + 0.332X_5 + 0.083X_6$ 。根据累计贡献率和特征向量在生物学中的意义可见,第1主成分主要支配胚根数、主胚根长和胚芽长,说明胚根数、主胚根长、胚芽长对第1主成分贡献较大,可初步判断第1主成分反映的是油葵种质在干旱胁迫下根部及胚芽的生长情况。

表3 各成分得分系数及贡献率

Table 3 Standardized scoring coefficient and contribution of different comprehensive indexes

主成分 Principal component	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution %	累计贡献率 Cumulative contribution//%
1	0.137	0.731	0.750	0.726	0.332	0.083	2.525	36.070	36.070
2	-0.765	-0.334	0.435	0.050	0.698	0.195	1.469	20.979	57.049
3	0.498	-0.464	0.465	-0.656	-0.077	0.067	1.297	18.533	75.582
4	-0.036	-0.033	-0.127	0.005	-0.231	0.963	1.002	14.308	89.890

注:表中 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 分别表示鲜重、胚根数、主胚根长、胚芽长、发芽率、发芽势

Note: $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ in the table represent fresh weight, radicle number, radicle length, germ length, germination rate and germination potential, respectively

第二主成分 $F_2: F_2 = -0.765X_1 - 0.334X_2 + 0.435X_3 + 0.050X_4 + 0.698X_5 + 0.195X_6$ 。可见第2主成分主要支配主胚根长、胚芽长、发芽率和发芽势,且主胚根长、胚芽长、发芽率和发芽势在0.01水平上显著相关,故称第2主成分为发芽势。说明在干旱条件下,油葵种质的发芽势是比较明显的抗旱指标。

第三主成分 $F_3: F_3 = 0.498X_1 - 0.464X_2 + 0.465X_3 - 0.656X_4 - 0.077X_5 + 0.067X_6$ 。可见第3主成分中载荷较高的性状主要支配鲜重、主胚根长,这2个性状皆与植株地上部生长与地下部生长状况有关,说明在干旱条件下,植株地上部与地下部的变化是比较明显的抗旱指标。

第四主成分 $F_4: F_4 = -0.036X_1 - 0.033X_2 - 0.127X_3 + 0.005X_4 - 0.231X_5 + 0.963X_6$ 。可见第4主成分主要支配发芽势,更进一步说明在干旱条件下,发芽势是非常重要的抗旱

指标。

由上述4个函数可看出,植株根部生长情况、鲜重和发芽势可解释干旱胁迫下油葵苗期生长情况,因此这3个指标可作为油葵苗期抗旱性鉴定评价的综合指标。

2.3 油葵萌发期抗旱性综合评价 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,评价抗旱性需要进行多指标综合考虑。该研究依据相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长、相对胚根长、相对胚根数和鲜重等指标为依据,求得隶属函数值,再根据其权重求得加权抗旱系数,使用加权隶属函数法求得萌发期抗旱能力D值。通过D值对不同油葵种质资源种子萌发期的抗旱性进行综合评价(表4),可以挑选出抗旱性最优的油葵种质。一

一般而言, D 值越大,表明其抗旱能力越强。由表4可看出, D 值的变化范围为0.306~0.730,TK3303和PR2301的抗性最强, D 值达0.730;其次为FK01, D 值为0.728;九洋918抗旱

性居第3位, D 值为0.654;这4个材料对干旱胁迫反应较迟钝,为油葵萌发期抗旱性强的种质。F53的抗性最差, D 值为0.306。

表4 抗旱指标的综合分析

Table 4 Comprehensive analysis of drought tolerance index

种质名称 Germplasm name	隶属函数 Membership function						综合抗旱 系数 Comprehensive drought resistance coefficient	D 值 D Value	排名 Rank
	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽率 Relative germination rate	相对胚芽长 Relative germ length	相对主胚根长 Relative radicle length	相对胚根数 Relative radicle number	相对胚芽鲜重 Relative fresh weight of germ			
TK3303	0.974	0.148	0.276	0.162	0.697	0.604	7.266	0.730	1
PR2301	0.977	0.250	0.999	0.782	0.890	0.094	9.621	0.730	1
FK01	0.980	0.359	0.269	0.312	0.959	0.436	8.021	0.728	2
九洋 918 Jiuyang918	0.972	0.078	0.274	0.244	0.682	0.436	7.139	0.654	3
TK3359	0.981	0.389	0.277	1.000	0.680	0.003	8.921	0.618	4
F15-2A×F15-1R1	0.977	0.250	0.276	0.232	0.894	0.541	7.759	0.615	5
1606A×F15-1R-6-1	0.975	0.197	0.276	0.175	0.682	0.568	7.273	0.612	6
陇葵杂 6 号 Longkuiza No.6	0.977	0.250	0.274	0.502	0.576	0.155	7.452	0.585	7
07M4A×F15-1R-5-2-2	0.010	0.705	0.265	0.383	0.680	0.270	6.755	0.583	8
GK16-3	0.366	0.250	0.276	0.563	0.775	0.168	7.221	0.579	9
Y07M4A×07M4B-3-2	0.983	0.442	0.261	0.983	0.680	0.007	8.911	0.576	10
XKY1502	0.974	0.136	0.277	0.080	0.495	0.743	6.941	0.568	11
九洋 616 Jiuyang616	0.980	0.359	0.276	0.209	0.676	0.494	7.415	0.561	12
AD904	0.000	0.250	0.277	0.029	0.472	0.962	6.074	0.559	13
F15-2A	0.164	0.148	0.276	0.589	0.850	0.169	7.068	0.551	14
YF168	0.967	0.000	0.277	0.114	0.694	0.740	7.072	0.535	15
九洋矮大头 Jiuyang' aidatou	0.990	0.705	0.276	0.143	0.288	0.448	6.944	0.522	16
内葵杂 5 号 Neikuiza No.5	0.183	0.136	0.276	0.297	0.683	0.362	6.310	0.510	17
YK18-2	0.977	0.250	0.335	0.910	0.687	0.024	8.648	0.509	18
F15-2A×F15-1R-5-2-1	0.975	0.182	0.276	0.366	0.800	0.321	7.588	0.502	19
GK16-1	0.969	0.000	0.270	0.268	0.682	0.401	7.050	0.500	20
TH186	0.986	0.562	0.276	0.467	0.754	0.222	8.047	0.496	21
LKZ-13	0.975	0.182	0.276	0.399	0.495	0.203	7.050	0.492	22
F15-2A×F15-1R-5-3	0.975	0.182	0.278	0.349	0.996	0.401	7.953	0.492	22
T305	0.974	0.148	0.276	0.150	0.694	0.634	7.273	0.491	23
YK17-1	0.981	0.389	0.287	0.549	0.000	0.000	6.660	0.473	24
法 A18 Fa A18	0.973	0.122	0.276	0.104	0.684	0.769	7.311	0.463	25
TK3361	0.971	0.042	0.298	0.328	0.691	0.328	7.214	0.459	26
667A×F15-1R-2-8	0.981	0.389	0.277	0.497	0.212	0.070	6.919	0.453	27
XKY1612	0.977	0.250	0.273	0.201	0.324	0.359	6.547	0.451	28
F15-2A×F15-1R-2-2-1	0.975	0.190	0.271	0.271	0.691	0.400	7.283	0.450	29
667A×1606R	0.972	0.078	0.276	0.274	0.736	0.411	7.265	0.450	29
1606A×1606R	0.971	0.042	0.317	0.144	0.684	0.646	7.206	0.450	29
YK18-11	0.974	0.157	0.270	0.330	0.684	0.324	7.284	0.440	30
JY6006	0.986	0.562	0.276	0.160	0.566	0.546	7.408	0.440	30
F15-2A×1606R	0.979	0.302	0.276	0.224	0.794	0.516	7.605	0.435	31
9706R	0.979	0.308	0.277	0.137	0.691	0.667	7.452	0.430	32
Q5160	0.975	0.182	0.278	0.151	0.937	0.753	7.853	0.423	33
陇葵杂 5 号 Longkuiza No.5	0.975	0.172	0.276	0.456	0.491	0.162	7.131	0.423	33
新葵杂 3 号 Xinkuiza No.3	0.977	0.250	0.276	0.633	0.684	0.114	7.918	0.418	34
陇葵杂 2 号 Longkuiza No.2	0.981	0.389	0.276	0.156	0.638	0.591	7.392	0.410	35
Y07M4A	0.969	0.000	0.276	0.900	0.686	0.027	8.267	0.410	35
内葵杂 4 号 Neikuiza No.4	0.974	0.157	0.275	0.442	0.503	0.175	7.110	0.402	36
新葵 25 号 Xinkui No.25	0.975	0.190	0.276	0.471	0.363	0.121	6.940	0.393	37
YK18-5	0.977	0.250	0.276	0.890	0.684	0.029	8.512	0.388	38
YK18-10	0.977	0.250	0.275	0.663	0.722	0.109	8.048	0.388	38
1606R	0.974	0.136	0.296	0.256	0.481	0.343	6.822	0.388	38
陇葵杂 3 号 Longkuiza No.3	0.975	0.182	0.277	0.385	0.841	0.315	7.690	0.376	39
Y07M4A×Y318R-1	0.974	0.148	0.256	0.491	0.503	0.144	7.166	0.369	40
Y07M4A×1606R	0.974	0.157	0.278	0.594	0.691	0.133	7.756	0.368	41
HM0998	0.975	0.172	0.274	0.387	0.475	0.206	6.977	0.367	42
先瑞 3 号 Xianrui No.3	0.975	0.172	0.257	0.423	0.684	0.236	7.409	0.361	43
先瑞 4 号 Xianrui No.4	0.980	0.359	0.276	0.498	0.770	0.205	7.918	0.333	44
HZ011	0.979	0.308	0.276	0.352	0.631	0.284	7.373	0.324	45
F53	0.252	0.148	0.273	0.405	1.000	0.341	7.134	0.306	46

2.4 油葵综合抗旱能力 D 值的聚类分析 采用系统聚类分析(平方欧式距离)法对品种综合能力 D 值进行

聚类分析(图1),在L1处可将55个油葵种质资源聚为3类:TK3303、PR2301和FK01为第I类(属强抗旱类型),占供试材料的5.45%;九洋918为第II类(属中等类型);其余品种为第III类(属弱抗旱类型)。TK3303、PR2301和FK01可作为今后油葵抗旱育种的优异种质资源。

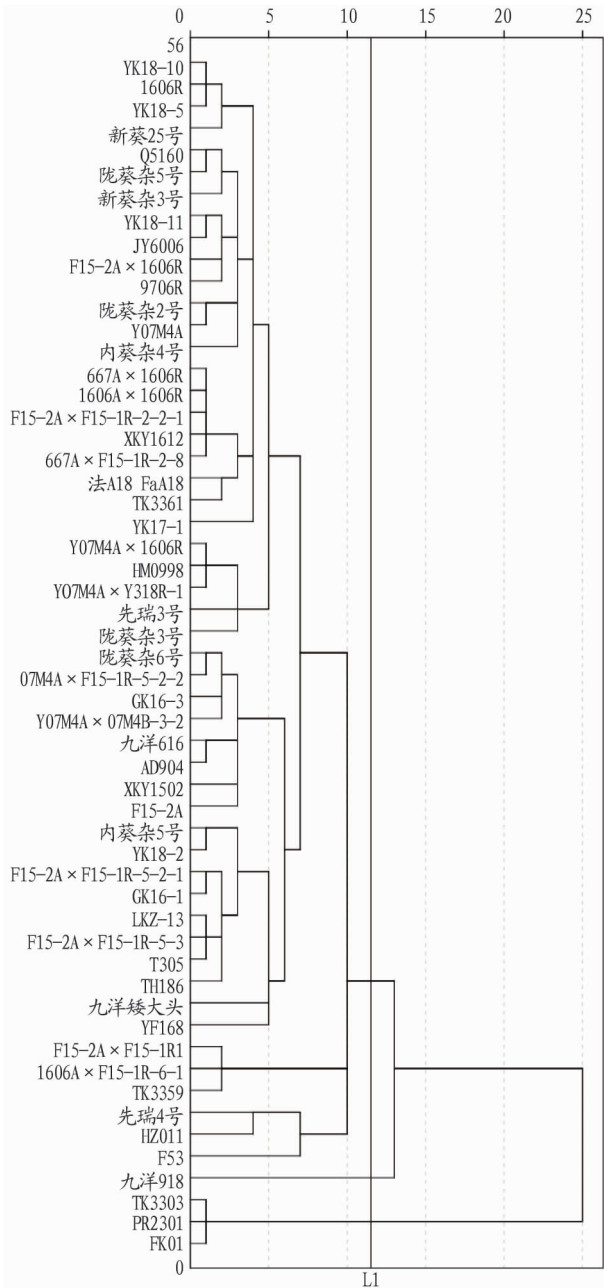


图1 55份油葵种质资源综合抗旱能力D值的系统聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of 55 oil sunflower germplasm resources based on D-value of drought-resistance comprehensive evaluation

3 讨论

油葵属于双子叶油料作物,针对其萌发期抗旱性鉴定筛选的研究,目前尚无统一的抗旱性指标。该研究以相对发芽势、相对发芽率、相对胚芽长、相对胚根长、相对胚根数及鲜重等指标进行分析。

植物抗旱性是复杂的数量性状,受多基因共同控制,与

植物类型、基因型和环境因子等性状密切相关。同时,植物在受到干旱胁迫时,抵御适应干旱的途径和方式也多种多样。已有的研究表明,单一指标具有片面性,不能作为鉴定品种(系)抗旱性的指标^[16]。近年来学者们常利用综合评价法进行鉴定筛选,其中最常用的是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。这种方法考虑了不同指标的权重,消除了品种(系)间固有差异,真实反映其抗旱性,还能定量地鉴定出每个材料的抗旱能力,已在多种作物抗旱性鉴定中应用^[13,17-18]。该试验研究了20%PEG-6000对不同油葵品种种子萌发期生理生化指标的影响,但关于不同油葵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与抗旱性关系方面还需要进一步探讨和研究。

4 结论

该研究结果表明,20%PEG-6000溶液模拟中度干旱胁迫处理不同程度地抑制了供试材料的生长。其中,根部及胚芽的抑制程度最高,且PEG-6000胁迫处理加大了不同品种间的差异。各测定性状的抗旱系数分布显示,鲜重在供试材料间的差异较大。前人研究认为,胚根数和胚根长是萌发期评价抗旱性较好的指标,并且油葵萌芽期发芽率、发芽势和鲜重等指标均能用来评价品种抗旱性^[19-21]。该研究发现,20%PEG-6000胁迫抑制了油葵种子萌发和幼芽发育,但各指标敏感程度不同,依次为鲜重>胚芽长>发芽率>胚根数>主胚根长>发芽势。可见,渗透胁迫对胚芽的抑制作用大于胚根,与王赞等^[22]的研究结果相一致。该研究发现,不同油葵品种萌发期抗旱指标表现趋势并不一致,表明油葵抗旱性与油葵基因型有关。这一点,与其他作物上的研究相一致^[23-24]。该研究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,并采用系统聚类分析的组间连接(平方欧式距离)法对品种综合能力D值进行聚类分析,可分为3类:TK3303、PR2301和FK01为第I类(属强抗旱类型),占供试材料的5.45%;九洋918为第II类(属中等类型);其余品种为第III类(属弱抗旱类型)。TK3303、PR2301和FK01可作为今后油葵抗旱育种的优异种质资源。

参考文献

- [1] 山仑,康绍忠,吴普特.中国节水农业[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [2] 汪军成.盐生草盐分分区隔化耐盐机制研究[D].兰州:甘肃农业大学,2017.
- [3] 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.
- [4] MAHESH K,BALARAJU P,RAMAKRISHNA B,et al.Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 induced water stress[J].American journal of plant science,2013,4(12):2305-2313.
- [5] XIONG D Q,GUAN L M,WU Z X,et al.Physiological responses of Brazil banana seedlings to drought stress simulated by PEG-6000[J].Agricultural science & technology,2013,14(8):1117-1121.
- [6] GORAI M,EL AIOUI W,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(1/2):727-738.
- [7] 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(3):764-772.

- 691.
- [17] FOGARTY N M.A review of the effects of the Booroola gene (FecB) on sheep production[J].Small Rumin Res,2009,85(2/3):75-84.
- [18] TAKEDA M,OTSUKA F,TAKAHASHI H,et al.Interaction between gonadotropin-releasing hormone and bone morphogenetic protein-6 and -7 signaling in L β T2 gonadotrope cells[J].Mol Cell Endocrinol,2012,348(1):147-154.
- [19] SELVARAJU S,FOLGER J K,GUPTA P S,et al.Stage-specific expression and effect of bone morphogenetic protein 2 on bovine granulosa cell estradiol production;regulation by cocaine and amphetamine regulated transcript[J].Domest Anim Endocrinol,2013,44(3):115-120.
- [20] LIMA I M T,BRITO I R,ROSSETTO R,et al.BMPRII and BMPRII mRNA expression levels in goat ovarian follicles and the *in vitro* effects of BMP-15 on preantral follicle development[J].Cell Tissue Res,2012,348(1):225-238.
- [21] ERICKSON G F,SHIMASAKI S.The spatiotemporal expression pattern of the bone morphogenetic protein family in rat ovary cell types during the estrous cycle[J].Reprod Biol Endocrinol,2003,1(1):1-9.
- [22] KHALAF M,MORERA J,BOURRET A,et al.BMP system expression in GCs from polycystic ovary syndrome women and the *in vitro* effects of BMP4,BMP6,and BMP7 on GC steroidogenesis[J].Eur J Endocrinol,2013,168(3):437-444.
- [23] SOUZA C J,MACDOUGALL C,MACDOUGALL C,et al.The Booroola (FecB) phenotype is associated with a mutation in the bone morphogenetic receptor type 1 B (BMPRI1) gene[J].J Endocrinol,2001,169(2):R1-R6.
- [24] COSTA J J,PASSOS M J,LEITÃO C C,et al.Levels of mRNA for bone morphogenetic proteins,their receptors and SMADs in goat ovarian follicles grown *in vivo* and *in vitro*[J].Reprod Fertil Dev,2012,24(5):723-732.
- [25] 马晓萌,轩俊丽,王慧华,等.TXNRD1 基因多态性与乌珠穆沁绵羊生长性状的关联分析[J].畜牧兽医学报,2016,47(5):909-921.
- [26] LIVAK K J,SCHMITTGEN T D.Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2^{- $\Delta\Delta C_t$} method [J].Methods,2001,25(4):402-408.
- [27] GUO X F,HU W P,LANG X Z,et al.Two single nucleotide polymorphisms sites in $\alpha 1$ -AT gene and their association with somatic cell score in Chinese Holstein cows[J].J Biol Res (Thessalon),2017,24(1):1-8.
- [28] ORISAKA M,JIANG J Y,ORISAKA S,et al.Growth differentiation factor 9 promotes rat preantral follicle growth by up-regulating follicular androgen biosynthesis[J].Endocrinology,2009,150(6):2740-2748.
- [29] PAN Z Y,WANG X Y,DI R,et al.A 5-methylcytosine site of growth differentiation factor 9 (GDF9) gene affects its tissue-specific expression in sheep[J].Animals,2018,8(11):1-12.
- [30] LIU C,YUAN B,CHEN H,et al.Effects of MiR-375-BMPRI2 as a key factor downstream of BMP15/GDF9 on the Smad1/5/8 and Smad2/3 signaling pathways[J].Cell Physiol Biochem,2018,46(1):213-225.
- [31] SHOKROLLAHI B,MORAMMAZI S.Polymorphism of GDF9 and BMPRI1 genes and their association with litter size in Markhoz goats[J].Reprod Domest Anim,2018,53(4):971-978.
- [32] LIU Q Y,PAN Z Y,WANG X Y,et al.Progress on major genes for high fecundity in ewes[J].Front Agr Sci Eng,2014,1(4):282-290.
- [33] PULKKI M M,MOTTERSHEAD D G,PASTERNAK A H,et al.A covalently dimerized recombinant human bone morphogenetic protein-15 variant identifies bone morphogenetic protein receptor type 1B as a key cell surface receptor on ovarian granulosa cells[J].Endocrinology,2012,153(3):1509-1518.
- [34] HIRSCHHORN T,LEVI-HOFMAN M,DANZIGER O,et al.Differential molecular regulation of processing and membrane expression of Type-I BMP receptors:Implications for signaling[J].Cell Mol Life Sci,2017,348(14):2645-2662.
- [35] RAJESH G,MISHRA S R,PAUL A,et al.Transcriptional and translational abundance of Bone morphogenetic protein (BMP) 2,4,6,7 and their receptors BMPRI1,1B and BMPRI2 in buffalo ovarian follicle and the role of BMP4 and BMP7 on estrogen production and survival of cultured granulosa cells[J].Res Vet Sci,2018,118:371-388.
- [36] DA CUNHA E V,MELO L R F,SOUZA G B,et al.Effect of bone morphogenetic proteins 2 and 4 on survival and development of bovine secondary follicles cultured *in vitro*[J].Theriogenology,2018,110:44-51.
- [37] FOROUGHINIA G,FAZILEH A,EGHBALSAIED S.Expression of genes involved in BMP and estrogen signaling and AMPK production can be important factors affecting total number of antral follicles in ewes[J].Theriogenology,2017,91:36-43.
- [38] HU X,POKHAREL K,PEIPPO J,et al.Identification and characterization of miRNAs in the ovaries of a highly prolific sheep breed[J].Anim Genet,2016,47(2):234-239.
- [39] 周梅,曹晓涵,贺小云,等.绵羊 *FSTL1* 基因组织表达及其多态性与产羔数之间的关系[J].农业生物技术学报,2018,26(5):801-810.
- [40] GUO X F,WANG X Y,DI R,et al.Metabolic effects of FecB gene on follicular fluid and ovarian vein serum in sheep (*Ovis aries*)[J].Int J Mol Sci,2018,19(2):1-14.

(上接第44页)

- [8] 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):76-78,82.
- [9] 胡树平,高聚林,马捷,等.油菜不同品种抗旱性能比较[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):94-101.
- [10] 温蕊,侯建华,张艳芳,等.干旱胁迫对向日葵种子萌发的影响及其抗旱性鉴定[J].干旱地区农业研究,2018,36(2):186-191.
- [11] 杨旭东,聂慧,侯建华,等.PEG 模拟干旱胁迫对向日葵种子萌发的影响[J].种子,2016,35(5):71-75.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中华人民共和国国家标准 农作物种子检验规程 发芽试验:GB/T 35434—1995[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [13] 张丽英,张正斌,徐萍,等.黄淮小麦农艺性状进化及对产量性状调控机理的分析[J].中国农业科学,2014,47(5):1013-1028.
- [14] 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):3076-3087.
- [15] 崔良基.向日葵栽培生理与栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2013.
- [16] 刘富社,阿兰·博让,彭克敬.向日葵研究与开发[M].北京:中国科学技术出版社,1994.
- [17] 贾秀苹,陈炳东,卯旭辉,等.甘肃省向日葵产业化发展的思考[J].农业科技通讯,2011(3):7-10.
- [18] 卯旭辉,陈炳东,葛玉彬,等.高产优质油菜杂交种陇葵杂2号选育[J].中国种业,2012(4):52-53.
- [19] HAIRMANIS A,KUSTIANTO B,SUWARNO S.Correlation analysis of agronomic characters and grain yield of rice for tidal swamp areas[J].Indonesian journal of agricultural science,2013,11(1):11-15.
- [20] MATHURE S,SHAIKH A,RENUKA N,et al.Characterisation of aromatic rice (*Oryza sativa* L.) germplasm and correlation between their agronomic and quality traits[J].Euphytica,2011,179(2):237-246.
- [21] 金梦阳,危文亮,严新初.我国向日葵育种研究现状及发展对策[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2008,29(3):232-236.
- [22] 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.
- [23] 宋殿秀,崔良基,王德兴,等.食用向日葵杂交种根系形态和生物量对苗期干旱的响应[J].辽宁农业科学,2020(5):1-4.
- [24] 马宇.向日葵苗期抗旱性评价及全基因组关联分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2018.