

干旱胁迫对向日葵种子萌发的影响 及其抗旱性鉴定

温蕊¹,侯建华¹,张艳芳²,吕品¹,马宇¹

(1.内蒙古农业大学农学院,内蒙古呼和浩特 010018; 2.内蒙古农牧业科学院,内蒙古呼和浩特 010031)

摘要: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的形态、生理生化指标进行测定和比较,筛选与向日葵萌发期抗旱性相关的指标,并采用隶属函数法对供试材料进行抗旱性综合评价。结果表明:向日葵种子萌发期的发芽势、发芽率及发芽指数均受到抑制;相对胚根长度、相对胚芽长度、相对胚芽干重、相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数、相对MDA含量及相对ATP含量与综合抗旱能力D值呈显著正相关,这些指标均可作为萌发期抗旱性鉴定指标;供试18个向日葵材料中株系88抗旱性最强,D值为1.49,可以作为下一步寻找抗旱基因的基础材料。本研究完善了向日葵种子萌发期抗旱性的鉴定方法,对向日葵育种有一定的实践意义与参考价值。

关键词:油用向日葵;干旱胁迫;种子萌发;抗旱性

中图分类号:S332.4 **文献标志码:**A

Effect of drought stress on seed germination of sunflower on and identification of drought resistance of main variety

WEN Rui¹, HOU Jian-hua¹, ZHANG Yan-fang², LV Pin¹, Ma Yu¹

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Huhhot, Inner Mongolia 010031, China)

Abstract: PEG solution is used to simulate the drought stress. To evaluate and compare the physiological and biochemical indicators and the morphology of eighteen sunflower resources materials seeds germination period, and use the membership function method to make the comprehensive evaluation of drought resistance for the tested materials. The results showed that relative germination rate, relative germination energy and relative germination indexes were inhibited during bud stage. The relative radical length, relative germ length, relative germ dry weight, relative germination rate, relative germination energy, relative germination indexes, relative MDA contents and relative ATP contents are all positively related with the comprehensive evaluation value obviously. These indexes can be used as the identification index of drought resistance in germination. Recombinant inbred lines 88 of eighteen sunflower resources materials are stronger and the comprehensive evaluation value are 1.49, which can be used as the basis of the next step for drought resistance gene materials. This study improved the sunflower seed germination drought resistance identification methods and has certain practical significance and reference value for sunflower breeding.

Keywords: oil-sunflower; drought stress; seed germination; drought resistance

向日葵(*Helianthus annuus* L.)属菊科(Compositae)向日葵属(*Helianthus*)的一年生草本植物,起源于北美洲西南部,按籽粒的用途分为食用型、油用型和中间型3种类型。油用向日葵是世界上重要油料作物^[1],也是我国五大油料作物之一^[2],主要种植在我国华北、西北、东北的干旱和半干旱地区,是这些地

区的主要油料作物,也是这些地区改良轻度盐碱地的首选作物^[3]。

随着全球环境变化的加剧和生态平衡的破坏,水资源短缺已是全世界各国共同面临的一个严峻问题^[4]。农作物生产正面临着越来越严重的干旱威胁,而对向日葵的消费需求却与日俱增。解决这一

问题的途径,除了改善农田环境,提高水分利用效率,使之适应其生长发育外,还需培育和推广抗旱性强、具有优良农艺性状的向日葵新品种,使之适应干旱环境条件^[5]。

种子萌发期是作物第一生长发育阶段,萌发期受干旱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。关于向日葵抗旱性的研究已有报道^[6-8],但有关向日葵种子萌发期抗旱性的研究还鲜有报道。本试验采用 18% PEG-6000 溶液模拟向日葵种子在萌发期可能遇到的干旱环境,测定 SOD、CAT、POD、丙二醛(MDA)含量等生理特性和发芽势、发芽率等萌发特性,并采用模糊隶属函数对参试材料萌发期的抗旱性进行综合性评价,以期向日葵种质资源抗旱性鉴定及抗旱基因的发掘提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试材料为油用向日葵共计 18 份,包括耐旱型自选系 K58、K59 和干旱敏感型自选系 K55 及以 K55 为母本、K58 为父本杂交得到的杂种 F1 通过单粒传方法获得的 192 个 F5 重组自交系株系,在模拟干旱条件下(18% PEG-6000)发芽率高的 10 个株系(株系 35 > 118 > 28 > 192 > 29 > 184 > 50 > 81 > 88 > 101)和发芽率低的 5 个株系(株系 23 > 20 > 53 > 60 > 64),分别取以上 15 个株系的 F6 种子。

1.2 试验方法

1.2.1 种子萌发特性的测定 按照李龙等^[9]方法,选取 18 个供试材料各 50 粒饱满种子,经消毒处理(75%酒精消毒 60 s,0.1% HgCl₂ 消毒 8 min,蒸馏水漂洗数次),置于铺有 2 层滤纸的培养皿(9 cm)中,分别加 3 ml 18% PEG-6000 溶液(模拟干旱)和蒸馏水(对照),置于 25℃ 恒温光照培养箱中(光照周期为光/黑暗:8/16 h)培养 10 d,期间每天更换滤纸以保持恒定 PEG 浓度,每个处理重复 3 次。

种子置床后第 2 d 开始,每天统计种子发芽数,第 4 d 计算发芽势(%) (GE),发芽结束后计算发芽率(%) (GR)、发芽指数(GI),从每个培养皿中随机选取 15 株测量胚芽长度(cm) (EL)、胚根长度(cm) (RL),称量胚芽鲜重(g) (EFW)、胚根鲜重(g) (RFW),将称过鲜重的胚芽、胚根 105℃ 烘干 30 min,85℃ 烘干 8 h 后称量胚芽干重(g) (EDW)、胚根干重(g) (RDW)。计算公式如下:

(1) 种子发芽率、相对发芽率:

发芽率(GR) = (第 7 d 发芽种子数/供试种子

数) × 100%;

相对发芽率(RGR) = (处理种子发芽率/对照种子发芽率) × 100%。

(2) 发芽指数、相对发芽指数:

发芽指数(GI) = $\sum(G_i/D_i)$ (D_i 为发芽日数; G_i 为相对应的每日发芽数);

相对发芽指数(RGI) = (处理发芽指数/对照发芽指数) × 100%。

(3) 种子发芽势、相对发芽势:

发芽势(GV) = (第 3 d 发芽种子数/供试种子数) × 100%;

相对发芽势(RGV) = (处理发芽势/对照发芽势) × 100%^[10]。

(4) 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%。

1.2.2 生理生化指标的测定 丙二醛(MDA)含量测定参照李合生^[10]硫代巴比妥酸(TAB)比色法。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用李合生^[10]抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原比色法测定,以每单位时间内光还原 50% 氮蓝四唑为 1 个酶活性单位,单位为 U·g⁻¹ FW。过氧化物酶(POD)活性测定参照张宪政^[11]愈创木酚法。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定。ATP 含量测定按照苏州科铭生物技术有限责任公司的 ATP 含量试剂盒分别测定萌发种子的 ATP 含量。对照组与处理组均在种子萌发试验 72 h 取样,迅速研磨样品得到新鲜酶液,4℃ 保存备用。

1.3 抗旱性综合评价方法

采用隶属函数法进行抗旱性综合评价。隶属函数值的计算公式(1)所示。

$$\mu(X_{ij}) = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}}{\bar{X}_j} \quad (2)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (3)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_{ij}) \times W_j] \quad (4)$$

式中, X_{ij} 为 i 品种第 j 项指标测定值; $X_{j\min}$ 为全部品种第 j 项指标的最小值; $X_{j\max}$ 为全部品种第 j 项指标的最大值。 $\mu(X_{ij})$ 为 i 品种第 j 项指标的隶属函数值。 \bar{X}_j 表示全部品种第 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, D 表示各

品种的抗旱性综合评价, D 值越大, 抗旱性越强^[12]。

1.4 数据统计分析

利用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对向日葵种子萌发特性的影响

从表 1 可以看出, 18% PEG 模拟干旱胁迫下, 相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数、相对胚根、胚芽长度以及相对胚根、胚芽干重均低于 1, 表明干旱

胁迫显著抑制了种子的萌发。

不同供试材料间的比较发现, 株系 29、株系 88、K59 这 3 个材料的相对发芽率、相对发芽势和相对发芽指数均显著高于其它材料, 表明其对干旱胁迫的耐受性较强。相对发芽势较低的株系 23、101、184 这 3 个材料在所有供试材料中的相对发芽率也最小。从相对胚芽长度、相对胚根长度、相对胚芽干重和相对胚根干重看(表 1), 对干旱胁迫敏感的有株系 81、184 和 192, 对胁迫较不敏感的有株系 29、88 和 K55。

表 1 干旱胁迫下向日葵种子萌发特性相对值

Table 1 Sunflower seed germination characteristics under drought stress

材料 Material	相对 发芽率 RGR	相对 发芽势 RGE	相对 发芽指数 RGI	相对 胚根长 RRL	相对 胚芽长 RGL	相对 胚根干重 RRDW	相对 胚芽干重 REDW
35	0.72bc	0.59de	0.89a	0.46bc	0.24gh	0.04c	0.44bc
118	0.72bc	0.70bc	0.39d	0.39de	0.43b	0.03c	0.14g
28	0.65d	0.44fg	0.36de	0.29fg	0.29f	0.02c	0.41bcd
192	0.44ef	0.06i	0.16fg	0.21h	0.21h	0.02c	0.22defg
29	0.68cd	0.81a	0.83a	0.37de	0.58a	0.05c	0.78a
184	0.04i	0.02i	0.02g	0.12ij	0.16i	0.04c	0.26cdefg
50	0.70bcd	0.38gh	0.36de	0.17hi	0.31ef	0.04c	0.16fg
81	0.49e	0.47fg	0.35de	0.07j	0.09i	0.05c	0.23cdefg
88	0.90a	0.73ab	0.88a	0.51b	0.59a	0.06c	0.89a
101	0.33g	0.23i	0.24ef	0.47bc	0.21h	0.04c	0.35cdefg
23	0.06i	0.04i	0.03g	0.43cd	0.39c	0.03c	0.36cdef
20	0.43ef	0.50ef	0.40d	0.34ef	0.35d	0.04c	0.38bcde
53	0.02i	0.32hi	0.01g	0.24gh	0.17b	0.04c	0.20cdefg
60	0.70bcd	0.57de	0.55c	0.30fg	0.43d	0.04c	0.35g
64	0.40f	0.67bcd	0.75ab	0.43cd	0.34i	0.02c	0.15efg
K55	0.17h	0.22i	0.25def	0.62a	0.34de	0.06c	0.39b
K58	0.72bc	0.60cde	0.43c	0.21h	0.25g	0.48b	0.32cdefg
K59	0.76b	0.65bcd	0.67bc	0.20h	0.39c	0.99a	0.30cdefg

注: 同列中标记不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。相对发芽率: Relative germination rate(RGR); 相对发芽势: Relative germination energy(RGE); 相对发芽指数: Relative germination index(RGI); 相对胚根长: Relative radicle length(RRL); 相对胚芽长: Relative germ length(RGL); 相对胚根干重: Relative radicle dry weight(RRDW); 相对胚芽干重: Relative embryo bud dry weight(REDW)。

Note: Data with mark different letters in a column significant difference at 0.05 level.

2.2 干旱胁迫对向日葵种子萌发期生理特性的影响

由表 2 可知, 干旱胁迫下, 供试不同材料间抗氧化保护酶系和丙二醛含量及 ATP 含量的差异较大, 相对 SOD 酶活性变化介于 1.22 ~ 0.06, 相对 CAT 酶活性变化介于 6.49 ~ 0.09, 相对 POD 酶活性变化介于 9.82 ~ 0.01, 说明干旱胁迫下, 不同供试材料间抗氧化酶活性变化差异较大, 有些明显增加, 如株系 88、株系 35、株系 64、K55 等; 有些明显降低, 如 K55、K58、株系 28 等。丙二醛含量与 ATP 含量也表现相同规律, 相对 MDA 含量变化范围为 1.86 ~ 0.35, 最

高值为株系 35, 最低值为株系 60; 相对 ATP 含量变化范围为 14.17 ~ 0.08, 最高值为株系 35、株系 88、株系 81 等, 最低值为株系 50、株系 29、株系 184 等。

2.3 相关性分析

12 个测定指标相对值的相关分析(表 3)表明, 相对发芽率、相对发芽势与相对发芽指数之间, 相对发芽指数与 ATP 含量相对值、相对胚芽长度与相对胚芽干重之间均呈极显著正相关; SOD 酶活性相对值与 POD 酶活性相对值呈极显著负相关。相对胚芽长度分别与相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指

数之间,相对发芽指数与相对胚芽干重,CAT 酶活性相对值与 ATP 含量相对值之间均呈现显著正相关。

从 18 个供试材料 12 个抗旱性相关指标相关系数矩阵(表 3)可以看出,所有测定指标间都存在着

相关性,从而使得它们所提供的信息发生重叠,同时各指标在抗旱性中所起的作用也不尽相同,直接利用这些单个指标进行抗旱性评价可能具有不可靠性。

表 2 干旱胁迫下向日葵种子生理特性的相对值

Table 2 Physiological characteristics of sunflower seeds under drought stress

编号 Material	SOD			CAT			POD			MDA			ATP		
	干旱 Drought	对照 Control	相对值 Relative value												
35	203.56	195.52	1.04bcd	0.39	0.06	6.49a	270.00	847.00	0.32e	19.40	10.45	1.86a	19208.06	1355.62	14.17a
118	217.78	465.71	0.47f	0.08	0.08	1.07c	19.00	46.00	0.41e	6.11	8.09	0.76g	9624.79	24043.67	0.40d
28	180.50	168.25	1.07b	0.04	0.03	1.12bc	1.00	106.00	0.01e	21.51	14.92	1.44c	5295.20	5066.07	1.05d
192	193.16	193.75	1.00bcd	0.16	0.32	0.49c	141.00	278.00	0.51e	11.87	15.35	0.77g	2022.49	6263.11	0.32d
29	153.57	166.19	0.92de	0.11	0.37	0.28c	35.00	106.00	0.33e	24.82	21.72	1.14e	4708.53	32680.19	0.14d
184	191.04	191.58	1.00bcd	0.20	0.12	1.62c	392.00	515.00	0.76de	26.49	25.76	1.03f	6751.35	46131.93	0.15d
50	197.09	205.87	0.96cde	0.09	0.12	0.81bc	118.00	137.00	0.86de	18.58	13.33	1.39cd	1939.62	23418.80	0.08d
81	212.00	206.78	1.03bcd	0.09	0.14	0.67c	213.00	77.00	2.77cd	21.38	20.86	1.02f	7012.43	1600.62	4.38c
88	221.37	181.42	1.22a	0.63	0.29	2.20bc	266.00	90.00	2.96b	17.72	10.80	1.64b	15658.62	1422.94	11.00b
101	188.04	190.22	0.99bcd	0.07	0.09	0.78c	53.00	101.00	0.52e	19.27	11.74	1.64b	6980.04	21073.70	0.33d
23	203.17	217.38	0.93cde	0.13	0.19	0.69c	177.00	173.00	1.02de	16.99	12.90	1.32d	20441.00	10967.73	1.86cd
20	192.11	186.93	1.03bcd	0.15	0.05	2.80b	29.00	97.00	0.30e	16.26	22.11	0.74g	5512.45	3181.33	1.73cd
53	190.88	190.82	1.00bcd	0.03	0.03	0.81c	32.00	42.00	0.76de	29.16	42.84	0.68g	13197.72	4520.20	2.92d
60	160.10	187.27	0.85e	0.03	0.03	0.96c	41.00	43.00	0.95de	14.19	40.77	0.35h	12597.79	5122.78	2.46cd
64	198.26	195.84	1.01bcd	0.38	0.06	5.87a	67.00	76.00	0.88de	27.57	23.66	1.17e	9355.70	12218.12	0.77cd
k55	40.32	706.06	0.06g	0.06	0.40	0.15bc	874.00	89.00	9.82a	12.39	8.77	1.41cd	4924.65	16260.95	0.30d
k58	190.13	181.48	1.05bc	0.07	0.79	0.09c	1452.00	416.00	3.49bc	8.17	18.67	0.44h	20841.25	33618.97	0.62d
k59	196.96	204.49	0.96cde	0.05	0.25	0.19c	40.00	85.00	0.47e	9.81	12.77	0.77g	14024.45	5623.00	2.49cd

注:同列中标记不同字母的数据在 0.05 水平上差异显著。

Note: Data with mark different letters in a column significant difference at 0.05 level.

2.4 向日葵萌发期抗旱性综合性评价

用隶属函数法对 18 个向日葵材料的相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数等 7 个萌发特性和 5 个生理指标的相对值进行了综合性评价,得到 18 个向日葵材料萌发期的综合抗旱能力 D 值(表 4)。 D 值越大表明抗旱性越强。供试 18 个材料 D 值变化范围为 0.36~1.49,其中株系 88 抗旱性最强, D 值为 1.49,184 的抗旱性最弱, D 值为 0.36,K55 和株系 60 抗旱性居中, D 值分别为 0.70 和 0.71。重组自交系株系 88、35、29、64 的 D 值显著大于亲本 K55 和 K58,较大于非亲本材料 K59,说明重组自交系群体出现了超亲分离现象。

2.5 12 个指标与隶属函数综合评价的相关分析

相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数、相对胚根长度、相对胚芽长度、相对胚芽干重、相对 CAT 活性、相对 MDA 活性和相对 ATP 含量均与隶属函数综合评价显著相关,表明这些指标均可作为向

日葵萌发期抗旱性筛选鉴定的主要参考指标(表 5)。

3 讨论

多数研究结果表明,干旱胁迫对植物体的生理生化过程有着不同程度的影响,而且受供试植物体间基因型的不同,植物体对干旱胁迫的响应也不尽相同。本研究 PEG 模拟干旱胁迫下,18 个供试材料 SOD、CAT、POD 保护酶活性及 MDA 和 ATP 含量与对照相比有增有减,不同供试材料对同一生理指标和同一材料对不同生理指标对干旱胁迫的响应均存在显著差异。ATP 作为生命活动中能量的重要携带者,为植物维持正常的生命活动提供了保障。在干旱胁迫下,ATP 含量的增加,为各种代谢活动的正常进行保持了较高的能荷,抗旱性能被直接和间接的增强了,表现出对于干旱胁迫的适应性^[13]。

表 3 12 个指标的相关性系数矩阵

Table 3 12 indexes of correlation coefficient matrix

项目 Item	相对发芽率 RGR	相对发芽势 RGE	相对发芽指数 RGI	相对胚根长度 RRL	相对胚芽长度 RGL	相对胚根干重 RRDW	相对胚芽干重 REDW	相对 SOD 活性	相对 CAT 活性	相对 POD 活性	相对 MDA 含量	相对 ATP 含量
相对发芽率 RGR	1											
相对发芽势 RGE	0.781**	1										
相对发芽指数 RGI	0.774**	0.861**	1									
相对胚根长 RRL	-0.007	0.148	0.308	1								
相对胚芽长 RGL	0.488*	0.577*	0.587*	0.506*	1							
相对胚根干重 RRDW	0.308	0.266	0.219	-0.264	0.079	1						
相对胚芽干重 REDW	0.367	0.380	0.544*	0.446	0.660**	-0.048	1					
相对 SOD 活性	0.258	0.106	0.178	-0.458	-0.096	0.078	0.229	1				
相对 CAT 活性	-0.126	0.043	0.083	0.103	-0.227	-0.244	0.039	0.264	1			
相对 POD 活性	-0.185	-0.127	-0.088	0.390	0.001	0.017	0.125	-0.660**	-0.238	1		
相对 MDA 含量	-0.031	-0.201	0.029	0.40	0.011	-0.312	0.449	0.047	0.384	0.113	1	
相对 ATP 含量	0.414	0.362	0.619**	0.298	0.147	-0.04	0.449	0.332	0.569*	-0.028	0.45	1

注 (Note): * : $P < 0.5$; ** : $P < 0.1$ 。

表 4 18 个向日葵材料的隶属函数值及抗旱性综合评价

Table 4 The membership function of 18 sunflower material value and drought resistance comprehensive evaluation

材料 Material	胚根长度 RL	胚芽长度 EL	胚根干重 RDW	胚芽干重 EDW	发芽率 GR	发芽势 GE	发芽指数 GI	SOD	CAT	POD	MDA	ATP	综合评价值(D)	排序 Order
35	0.71	0.30	0.02	0.39	0.80	0.72	1.00	0.85	1.00	0.03	1.00	1.00	1.392	
118	0.58	0.68	0.001	0.00	0.79	0.86	0.43	0.35	0.15	0.04	0.27	0.02	0.66	13
28	0.40	0.40	0.00	0.36	0.71	0.54	0.40	0.87	0.16	0.00	0.72	0.07	0.77	6
192	0.24	0.25	0.01	0.10	0.48	0.05	0.16	0.81	0.06	0.05	0.28	0.02	0.41	16
29	0.54	0.99	0.03	0.84	0.74	1.00	0.94	0.75	0.03	0.03	0.53	0.004	1.003	3
184	0.08	0.13	0.02	0.16	0.02	0.00	0.007	0.81	0.24	0.08	0.45	0.005	0.36	18
50	0.18	0.44	0.02	0.02	0.77	0.45	0.39	0.77	0.11	0.09	0.69	0.00	0.67	11
81	0.00	0.00	0.03	0.11	0.53	0.57	0.38	0.83	0.09	0.28	0.45	0.31	0.63	14
88	0.79	1.00	0.04	1.00	1.00	0.90	0.99	1.00	0.33	0.30	0.86	0.78	1.49	1
101	0.73	0.25	0.02	0.27	0.35	0.26	0.25	0.80	0.11	0.05	0.86	0.02	0.67	12
23	0.65	0.61	0.01	0.29	0.05	0.02	0.02	0.75	0.09	0.10	0.64	0.13	0.56	15
20	0.48	0.51	0.02	0.31	0.47	0.61	0.44	0.83	0.42	0.03	0.26	0.12	0.74	7
53	0.29	0.17	0.02	0.07	0.00	0.37	0.00	0.81	0.11	0.08	0.22	0.20	0.40	17
60	0.41	0.68	0.01	0.27	0.77	0.70	0.61	0.69	0.14	0.10	0.00	0.17	0.71	9
64	0.65	0.51	0.001	0.01	0.43	0.82	0.85	0.82	0.90	0.09	0.54	0.05	0.97	4
K55	1.00	0.50	0.04	0.33	0.17	0.26	0.27	0.00	0.01	1.00	0.71	0.02	0.70	10
K58	0.25	0.33	0.47	0.23	0.80	0.73	0.48	0.85	0.00	0.35	0.06	0.04	0.71	8
K59	0.22	0.61	1.00	0.21	0.83	0.80	0.76	0.78	0.02	0.05	0.28	0.17	0.88	5

作物抗旱性是一个受多因素影响、复杂的数量性状^[14]。白玉^[15]、王贺正^[16]等人的研究表明单一的使用某一指标的绝对值来比较不同品种的抗旱性,不能消除品种间固有差异的影响。本文采用干旱胁迫与其对照的相对值进行分析,可以消除品种间固有差异,使得供试材料间抗旱性的比较鉴定

更为准确,如本实验中干旱胁迫下低发芽率的株系 60,其相对发芽率显著高于高发芽率株系 101、株系 81 和株系 192。而且通过单一的一、二个指标进行抗旱或耐旱性筛选,与品种实际的抗旱能力虽有一定的相关性,但不完全相关,甚至有很大的出入,本实验的研究结果亦说明了这一点,如干旱胁迫下低

发芽率株系 64,其相对发芽率也较低,但综合抗旱性评价较高。利用隶属函数法进行作物抗旱性的综合评价已有大量报道^[17-19],且利用隶属函数法对

向日葵种子萌发期抗旱性综合性评价结果与实际结果较为接近。

表 5 向日葵种子萌发期 12 个指标与隶属函数综合评价的相关分析

Table 5 Sunflower seed germination period 12 indicators related to the membership function of the integrated evaluation analysis

指标 Indices	隶属函数综合 评价价值 D	指标 Indices	隶属函数综合 评价价值 D	指标 Indices	隶属函数综合 评价价值 D
相对胚根长 RRL	0.510*	相对发芽率 RGR	0.658**	相对 CAT 活性	0.558
相对胚芽长 RGL	0.560*	相对发芽势 RGE	0.701**	相对 POD 活性	0.025
相对胚根干重 RRDW	0.091	相对发芽指数 RGI	0.910**	相对 MDA 含量	0.509*
相对胚芽干重 REDW	0.675**	相对 SOD 活性	0.224	相对 ATP 含量	0.745**

注(Note): * : $P < 0.5$; ** : $P < 0.1$.

围绕向日葵种子萌发期抗旱性的研究,人们已经从多个生理或形态指标上进行了研究,提出了不同的抗旱性鉴定指标^[7,20-22]。杨旭东^[23]等对向日葵种子萌发期的活力指数、幼苗鲜重、电导率及抗旱指数等进行测定,并采用灰色关联度的方法进行综合性评价。本实验分析了 7 个种子萌发特性指标和 5 个种子萌发生理特性指标与综合指标 D 值的相关性,其中相对胚芽干重、发芽率、发芽势、发芽指数及相对 ATP 含量与 D 值呈极显著正相关,相对胚根长度、胚芽长度及相对 MDA 含量与 D 值呈显著正相关(表 5),这些指标均可作为萌发期抗旱性鉴定指标。而相对胚根干重、相对 SOD、CAT 及 POD 酶活性与向日葵萌发期抗旱性相关不显著(表 5),是否适合作为向日葵萌发期抗旱性鉴定指标,仍需进一步研究。本文首次在向日葵种子萌发期抗旱性鉴定中采用了 ATP 含量作为抗旱性鉴定的指标,进一步扩充了向日葵萌发期抗旱性鉴定指标体系,为今后的向日葵抗旱育种提供了一定的理论依据。

参考文献:

[1] Feng J, Vick B A, Lee M K, et al. Construction of BAC and BLBAC libraries from sunflower and identification of linkage group-specific clone by over go hybridization[J]. Theoretical & Applied Genetics, 2006, 113(1):23-32.

[2] 房冬梅.向日葵 SSR 分子标记遗传连锁图谱的构建[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.

[3] 裴怀弟,吴科生,王红梅,等.混合盐胁迫对油葵保护性酶活性、细胞膜透性及其主要农艺性状的影响[J].干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 149-153.

[4] 张秀琴.气候变化背景下我国农业水资源管理的适应对策[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.

[5] 张灿军,姚宇卿,王育红,等.旱稻抗旱性鉴定方法与指标研究——I 鉴定方法与评价指标[J].干旱地区农业研究, 2005, 23(3):33-36.

[6] 胡树平,高聚林,马 捷,等.油葵不同品种抗旱性能比较[J].

干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 94-101.

[7] 陈 雪,于海峰,侯建华,等.向日葵芽期、苗期抗旱性鉴定方法研究[J].中国油料作物学报, 2009, 31(3):344-348.

[8] 侯建华,于海峰,陈 雪,等.油用向日葵芽期抗旱性 SSR 分子标记研究[C]//中国作物学会. 2010 中国作物学会学术年会论文集摘要集. 2010.

[9] 李 龙.普通菜豆种质资源抗旱性鉴定与抗旱生理特性研究[D].北京:中国农业科学院,2014.

[10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2001.

[11] 张宪政,陈凤玉,王荣富.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.

[12] 张美俊,杨武德,乔治军,等.不同糜子品种萌发期对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J].草地学报, 2013, 21(2): 302-307.

[13] 张明生,谢 波,谈 锋,等.甘薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J].中国农业科学, 2003, 36(1):13-16.

[14] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价[J].植物生态学报, 2011, 35(1): 100-109.

[15] 白 玉.谷子萌发期和苗期抗旱性研究及抗旱鉴定指标的筛选[D].北京:首都师范大学,2009.

[16] 王贺正,马 均,李旭毅,等.水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J].作物学报, 2005, 31(11): 1485-1489.

[17] 张 娜,赵宝平,张艳丽,等.干旱胁迫下燕麦叶片抗氧化酶活性等生理特性变化及抗旱性比较[J].干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 166-171, 218.

[18] 冷益丰,张 彪,赵久然,等.转基因玉米种子萌发期抗旱性鉴定[J].干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 177-182.

[19] 翟春梅,王 赞,邓 波,等.紫花苜蓿苗期抗旱性鉴定指标筛选及综合评价[J].干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 167-172.

[20] 王婷婷,侯建华,吕 品,等.干旱胁迫对不同基因型向日葵萌发的影响研究[J].种子, 2015, 24(10): 8-11.

[21] 毕经纬.向日葵芽苗期抗旱性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[22] 王道杰,桂月靖,杨翠玲,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标——III.油菜苗期抗旱性及鉴定指标筛选[J].西北农业学报, 2012, 21(5): 108-113.

[23] 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.