

不同花生品种(系)萌发期抗旱性鉴定评价

刘永惠, 詹成芳, 沈 一, 陈志德

(江苏省农业科学院经济作物研究所, 南京 210014)

摘要:以发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长、胚轴长、幼芽长、幼苗鲜/干重的相对值为指标,通过 PEG6000 模拟干旱处理,对 15 份花生品种(系)进行萌发期抗旱性鉴定。结果显示,胁迫处理初期,低浓度处理对种子萌发有促进作用,随着胁迫处理时间的延长及胁迫处理浓度的升高,种子萌发受抑制程度增强。除相对幼芽长以外,其他相对指标都和品种综合抗旱能力呈极显著正相关。通过隶属函数法结合抗旱分级标准筛选出泰花 4 号、徐花 13 号、泰 0125、泰 0005 等 4 份抗旱品种,泰花 5 号、濮花 28、中花 16 等 3 份中抗材料,表明该方法可以作为一种快速、简便的鉴定花生萌发期抗旱性的方法。

关键词:花生;萌发期;抗旱性;隶属函数法

Identification of Drought Tolerance in Peanut Varieties/Lines at the Germination Stage

LIU Yong-hui, ZHAN Cheng-fang, SHEN Yi, CHEN Zhi-de

(Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014)

Abstract: In this paper, drought tolerance at the germination stage of 15 peanut varieties (lines) was identified by PEG6000 treatment. The index took into account 8 indicators including relative germination energy, germination rate, germination index, radicle length, hypocotyl length, buds length and seedling fresh/dry weight. The results indicated that seed germination was promoted by low level of PEG6000 at early stage of stress treatment, but restrained with the extension of processing time and higher concentration. Except for the relative buds length, all other indicators were significantly positively correlated with the comprehensive drought tolerance of each variety. Based on subordination function method and the standard classification of tolerant ability in peanut, we screened 4 drought tolerant varieties (Taihua4, Xuhua13, Tai0125, Tai0005) and 3 mediate tolerant varieties (Taihua5, Puhua28, Zhonghua16), indicating the method as a quick and convenient technique in identification of drought tolerance of peanut germination.

Key words: peanut; germination stage; drought resistance; subordination function method

干旱是世界范围内的一个普遍问题,全球约有 100 多个国家或地区面临着水资源短缺的难题^[1]。花生 (*Arachis hypogaea* L.) 作为世界范围内广泛栽培的油料与经济作物,每年因干旱造成的经济损失超 5 亿美元^[2]。中国作为花生主产国之一,有 70% 的花生产区受到不同程度的干旱胁迫影响^[3]。全国因干旱引起花生减产率平均在 20% 以上^[4]。干旱已成为我国花生生产的首要限制因子,开展花

生抗旱资源鉴定筛选研究具有重要的意义。

关于花生抗旱性鉴定的方法很多,常见的有根据形态学特征、室内萌发特性、生理生化指标、产量等进行抗旱性评价^[5]。其中室内萌发特性鉴定常在人工模拟干旱条件下进行,其优点是简单易行,条件易于控制,试验周期相对较短。PEG6000 无毒,且分子质量大不易被植物吸收,已被广泛应用于作物萌发期及苗期的人工模拟干旱鉴定^[6-8]。萌发期是作物生长的

关键时期,直接关系到后期幼苗的建立、植株密度以及最终的产量形成^[9]。王传堂等^[10]研究表明应用室内 PEG 发芽技术选择抗旱花生基因型是极其有效的。齐敏忠等^[11]用 PEG6000 模拟干旱环境,以种子活力指数为指标,筛选出鲁花 10 号、海花 1 号、双纪 2 号等耐旱性较强的山东花生品种。张智猛等^[12]研究认为在 17.5% 的 PEG6000 胁迫浓度条件下,不同花生品种间萌发期表现差异最大,是较适宜的鉴定浓度。本研究利用 PEG6000 模拟干旱方法,对 15 份近年来参加江苏花生区试的品种(系)进行萌发期干旱鉴定,并采用隶属函数法对品种抗旱性进行综合评价,旨在为花生抗旱育种研究筛选优异种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用 15 份花生品种(系)进行试验,其中 14 份来源于江苏省 2014 年花生新品种鉴定试验参试品种(系),1 份(中花 16)为 2013 年江苏省鉴定品种,具体见表 1。

表 1 试验材料及来源

Table 1 Material and origins used in this study

编号 Code	花生品种(系) Peanut varieties(lines)	选育单位 Breeding units
JS1	宁泰 9922	江苏省农业科学院
JS2	泰花 4 号	江苏省泰兴市农科所
JS3	泰花 5 号	江苏省泰兴市农科所
JS4	淮花 1 号	江苏泗县现代农业发展有限公司
JS5	连 1001	江苏省连云港市农科所
JS6	徐花 13 号	江苏省徐州市农科所
JS7	徐 0627	江苏省徐州市农科所
JS8	9203-608	江苏省泰兴市农科所
JS9	东花 9 号	江苏省东海县农科所
JS10	濮花 33	河南省濮阳市农业科学院
JS11	濮花 28	河南省濮阳市农业科学院
JS12	赣榆 10-6	江苏省赣榆县农科所
JS13	中花 16	江苏省农业科学院
JS14	泰 0125	江苏省泰兴市农科所
JS15	泰 0005	江苏省泰兴市农科所

1.2 试验方法

试验共设 3 个处理,以清水处理作为对照 CK,不同浓度的模拟干旱胁迫处理由 PEG6000 (分析纯),分别按质量体积比配置成处理 I (15% PEG6000) 和处理 II (20% PEG6000) 的胁迫液。每个品种挑选饱满、大小一致的种子 180 粒,分别置于

装有清水的带盖塑料盒中(20 粒/盒),使种子吸水膨胀,24 h 后取出吸涨种子,吸干种子表面水分后放回,分别加入 60 mL 清水或不同浓度胁迫液,于光照培养箱内进行萌发,培养箱条件设置为黑暗 24 h、27~28℃。以胚根长大(等)于种子长为发芽标准。从第 3 天开始每天统计发芽数,连续统计 5 d。同时第 7 天测量胚根长、胚轴长、幼芽长、幼苗鲜/干重(不含子叶)。每个处理 3 次重复,为确保 PEG6000 胁迫浓度的相对稳定,发芽期间每 2 d 更换 1 次胁迫液,对照同期更换清水。

1.3 性状指标及计算公式

调查不同浓度模拟干旱胁迫下花生种子的发芽势(GE, germination energy)、发芽率(GR, germination rate)、发芽指数(GI, germination index)、胚根长(RL, radicle length)、胚轴长(HL, hypocotyl length)、幼芽长(BL, buds length)、幼苗鲜/干重(F/DW, fresh/dry weight),并折算对应的相对指标值。

发芽势(%) = 发芽第 3 天正常发芽粒数/供试种子数 × 100;

发芽率(%) = 发芽第 7 天正常发芽粒数/供试种子数 × 100;

发芽指数 = \sum 每天正常发芽的种子数/相对应的天数;

相对指标值(%) = 处理指标/对照指标 × 100。

1.4 数据分析

为了更好地综合评价参试品种的抗旱性,采用隶属函数法^[13],分别折算所测指标相对值的具体隶属函数值 $U(X_{ij})$ 及某品种的平均隶属函数值 X_i 。公式如下: $U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$; $X_i = \sum U(X_{ij}) / n$ 。式中, X_{ij} 为 i 材料 j 性状相对指标的实测值, X_{jmax} 、 X_{jmin} 分别为该指标的最大值和最小值。 $U(X_{ij})$ 为 i 材料 j 性状的隶属函数值。 X_i 为 i 材料的平均隶属函数值, n 为测定指标数(本文中 n=8), X_i 值越大,表明该材料抗旱性越强。另外,由于本试验采用了 2 个胁迫处理浓度,因此文中涉及的 $U(X_{ij})$ 、 X_i 值都为指标在 2 个处理浓度下折算值的再平均。

参考大豆抗旱性鉴定方法^[14],将花生抗旱性分为 5 个等级,1 级: $0.8 \leq X_i$, 高抗(HR); 2 级: $0.6 \leq X_i < 0.8$, 抗(R); 3 级: $0.4 \leq X_i < 0.6$, 中抗(MR); 4 级: $0.2 \leq X_i < 0.4$, 较敏感(S); 5 级: $X_i < 0.2$, 敏感(HS)。

所采集的数据用 Excel、SPSS19.0 软件进行处理和方差分析,为确保方差分析的同质性,进行了数

据的反正弦转换。

2 结果与分析

2.1 不同胁迫处理浓度下花生种子萌发情况

如表 1 所示,随着 PEG6000 胁迫处理浓度的升高,种子萌发生长受抑制程度逐渐增强,表现为各项测定指标值逐渐降低。具体来看:对照平均发芽势为 40%,发芽率 84.4%,发芽指数 8.9,胚根长 4.2 cm,胚轴长 2.5 cm,幼芽长 1.8 cm,幼苗鲜重 1.4 g,幼苗

干重 0.4 g。与对照相比,胁迫处理后在发芽率、胚轴长、幼芽长、幼苗鲜重方面变化尤为明显,处理 I 分别比对照降低了 22.9%、48%、83.3%、57.1%;处理 II 分别比对照降低了 46.6%、72%、94.4%、71.4%。方差分析显示:CK 与处理 I 间的差异,除发芽势、发芽率、发芽指数以外,其他指标都达到了显著或极显著水平;CK 与处理 II 的所有指标都呈显著或极显著差异;处理 I 与处理 II 间仅发芽率、发芽指数、胚根长、幼苗干重间的差异未达到显著水平。

表 1 不同干旱胁迫浓度下参试品种(系)的性状表现及差异显著性

Table 1 Germination and significant difference analysis of peanut varieties/lines under different drought stress

处理 Treatment	发芽势(%) GE	发芽率(%) GR	发芽指数 GI	胚根长(cm) RL	胚轴长(cm) HL	幼芽长(cm) BL	幼苗鲜重(g) FW	幼苗干重(g) DW
CK	40.0±13.8 a A	84.4±10.2 a A	8.9±3.8 a A	4.2±1.1 a A	2.5±0.7 a A	1.8±0.8 a A	1.4±0.6 a A	0.4±0.2 a A
I	40.3±16.3 a A	65.1±17.3 ab A	8.0±4.4 ab A	3.1±0.8 b A	1.3±0.4 b B	0.3±0.1 b B	0.6±0.3 b B	0.2±0.1 b AB
II	25.5±18.0 b A	45.1±24.7 b A	5.7±4.4 b A	3.0±1.4 b A	0.7±0.3 c C	0.1±0.1 c C	0.4±0.2 c C	0.2±0.1 b B

不同大、小写字母分别表示差异达 0.01 和 0.05 显著水平

Different uppercase and lowercase letters in the same line denoted respectively significant differences at 0.01 or 0.05 level

2.2 不同胁迫处理浓度下相对性状表现

为了排除品种本身差异,更好地比较品种抗旱性,折算了各项指标的相对值。如表 2 所示,处理 I 相对发芽势平均值较高,且有 10 个品种在 90% 以上,占参试总数的 66.7% (图 1),表现为胁迫处理初期,低浓度处理对种子萌发有促进作用。同时,大部分品种处理 I 的相对发芽率、发芽指数、胚根长、幼

苗干重值,都集中在 50% ~ 90% 之间,约占总数的 60% 以上。各参试品种的相对幼芽长较小,处理 I 仅有 1 个品种达到 41.4%,其余都低于 26%;处理 II 也仅 4 个品种在 10% 以上(图 2)。与处理 I 相比,处理 II 的各相对性状值都有明显降低,平均值均未超过 70%;其中相对胚轴长、幼苗鲜重,所有参试品种都降到了 50% 以下,相对幼芽长平均值仅 6.9%。

表 2 不同干旱胁迫浓度下参试品种相对性状表现

Table 2 The relative traits of peanut varieties/lines under different drought stress

(%)

处理 Treatment		相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对发芽 指数 RGI	相对胚根长 RRL	相对胚轴长 RHL	相对幼芽长 RBL	相对幼苗 鲜重 RFW	相对幼苗 干重 RDW
I	平均数 Average	108.3	76.2	89.2	75.2	54.9	16.6	49.6	67.6
	最大值 Max.	202.8	94.4	146.7	111.9	86.4	41.4	100.5	135.9
	最小值 Min.	48.2	54.4	60.1	49.6	36.5	3.8	31.4	42.9
II	平均数 Average	66.5	51.3	57.5	67.5	26.1	6.9	25.2	47.2
	最大值 Max.	181.6	91.2	130.3	98.6	45.5	15.4	48.8	104.5
	最小值 Min.	0	0	0	0	0	0	0	0

RGE: relative germination energy, RGR: relative germination rate, RGI: relative germination index, RRL: relative radicle length, RHL: relative hypocotyl length, RBL: relative buds length, RFW: relative fresh weight, RDW: relative dry weight, the same as below

2.3 不同花生品种(系)抗旱隶属函数值及综合评价

为避免采用单一指标进行抗旱评价的片面性,采用隶属函数法分别获得了 15 份参试品种的相对指标隶属函数值 $U(X_{ij})$ 及其平均隶属函数值 X_i (表 3),并以各品种的平均隶属函数值作为综合评价指标。由

表 3 可知,15 个参试品种的平均隶属函数值最大为 0.725,最小 0.204;其中有 4 份品种平均隶属函数值都大于 0.6,分别为 JS2、JS6、JS14、JS15,按照抗旱性等等级分类归为 2 级,抗(R);JS3、JS11、JS13 品种平均隶属函数值介于 0.4 ~ 0.6 之间,属于 3 级,中抗(MR);其余品种都低于 0.4,归为 4 级,敏感(S)。

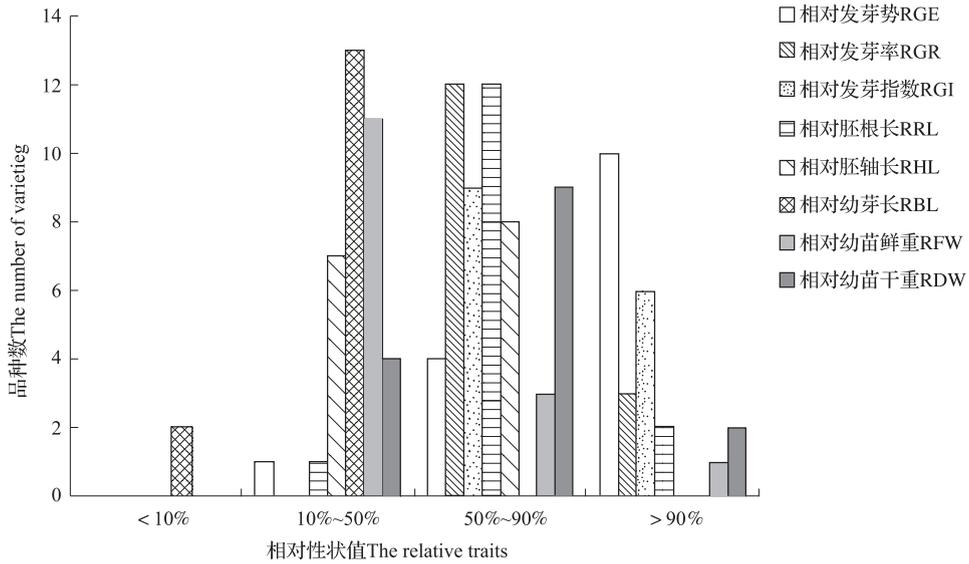


图 1 参试品种在处理 I 条件下相对指标次数分布情况

Fig. 1 Frequency distribution of the relative traits under the condition of treatment I

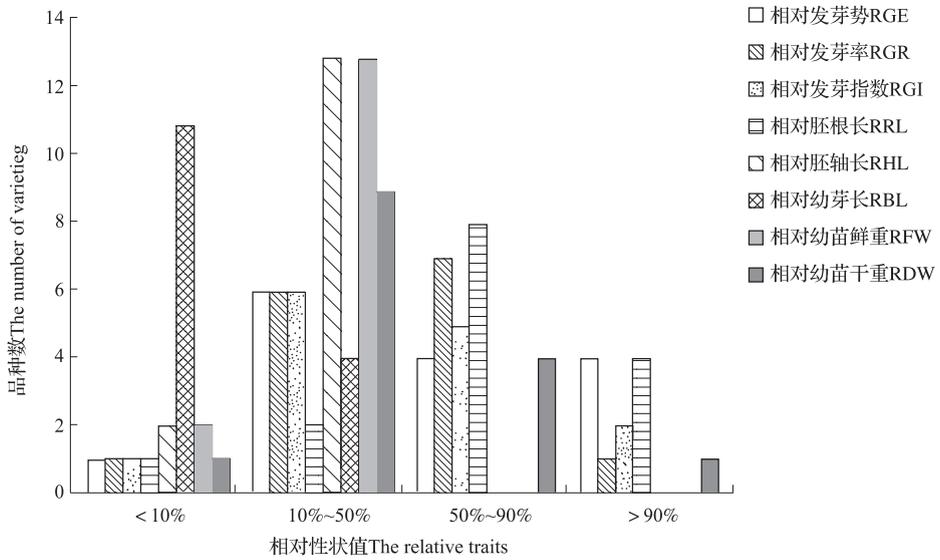


图 2 参试品种在处理 II 条件下相对指标次数分布情况

Fig. 2 Frequency distribution of the relative traits under the condition of treatment II

2.4 抗旱鉴定指标间的相关性分析

以参试品种的 8 个相对指标的隶属函数值及其平均隶属函数值(综合评价指标)进行相关性分析。结果显示(表 4):综合评价指标与除相对幼芽长以外的其他 7 个指标均呈极显著正相关;相对发芽势、发芽率、发芽指数之间呈极显著正相关,而与其他 5 个指标间相关性不显著;在这 5 个指标之间,相对胚轴长与相对胚根长($R = 0.684$)、幼芽长($R = 0.706$)、幼苗鲜重($R = 0.895$)、幼苗干重($R = 0.782$)相关性较大,达到了极显著水平;相对幼苗鲜重与相对胚根长($R = 0.559$)、幼芽长($R = 0.752$)、幼苗干重($R = 0.909$),及相对幼苗干重与相对幼芽长

($R = 0.668$)均呈显著或极显著正相关;除此以外的其他性状间相关性较小,未达到显著水平。

3 讨论

作物抗旱性是指作物对水分缺失环境的适应和耐受能力^[15]。花生抗旱性研究比其他作物相对较晚,近几年随着花生经济效益的提高,花生抗旱性研究日益受到重视^[16]。种子萌发期被认为是作物生命周期的起点,也是衡量作物抗旱性强弱的重要时期^[17]。从相关研究中可以发现,在进行萌发期抗旱鉴定时,不同作物适宜的水分胁迫浓度不同,这可能与种子大小、基因型以及是否进行吸胀处理等因素有关^[18-19]。

表 3 参试品种(系)的抗旱隶属值及综合评价

Table 3 The subordinate function values and comprehensive evaluation of peanut varieties/lines

编号 Code	隶属函数值 The subordinate function values $U(X_{ij})$									抗旱等级 Resistant grade	排名 Ranking
	相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对发芽指数 RGI	相对胚根长 RRL	相对胚轴长 RHL	相对幼芽长 RBL	相对幼苗鲜重 RFW	相对幼苗干重 RDW	X_i		
	JS 1	0.228	0.490	0.233	0.496	0.553	0.376	0.411	0.303		
JS 2	0.462	0.461	0.439	0.785	1.000	0.791	0.959	0.905	0.725	R	1
JS 3	0.517	0.655	0.507	0.570	0.421	0.547	0.604	0.455	0.535	MR	5
JS 4	0.183	0.000	0.144	0.500	0.386	0.500	0.188	0.059	0.245	S	13
JS 5	0.407	0.461	0.364	0.295	0.358	0.370	0.198	0.172	0.328	S	11
JS 6	0.220	0.677	0.326	0.562	0.815	0.614	0.819	0.851	0.611	R	4
JS 7	0.069	0.420	0.204	0.213	0.145	0.297	0.097	0.339	0.223	S	14
JS 8	0.392	0.757	0.349	0.688	0.407	0.244	0.183	0.151	0.396	S	8
JS 9	0.278	0.336	0.243	0.295	0.190	0.164	0.240	0.302	0.256	S	12
JS 10	0.044	0.203	0.077	0.397	0.231	0.290	0.223	0.171	0.204	S	15
JS 11	0.424	0.755	0.414	0.460	0.502	0.372	0.305	0.254	0.436	MR	7
JS 12	0.128	0.290	0.183	0.730	0.490	0.325	0.328	0.423	0.362	S	10
JS 13	0.419	0.840	0.421	0.771	0.480	0.432	0.407	0.314	0.511	MR	6
JS 14	0.899	0.996	0.917	0.824	0.637	0.195	0.526	0.405	0.675	R	2
JS 15	0.990	0.957	1.000	0.640	0.468	0.390	0.357	0.275	0.635	R	3

表 4 抗旱指标的相关性分析

Table 4 The correlation analysis of drought resistance index

项目 Items	相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对发芽指数 RGI	相对胚根长 RRL	相对胚轴长 RHL	相对幼芽长 RBL	相对幼苗鲜重 RFW	相对幼苗干重 RDW
相对发芽率	0.781 **	1.000						
相对发芽指数	0.981 **	0.820 **	1.000					
相对胚根长	0.505	0.487	0.496	1.000				
相对胚轴长	0.320	0.328	0.331	0.684 **	1.000			
相对幼芽长	-0.002	-0.069	-0.002	0.292	0.706 **	1.000		
相对幼苗鲜重	0.280	0.296	0.309	0.559 *	0.895 **	0.752 **	1.000	
相对幼苗干重	0.071	0.192	0.149	0.374	0.782 **	0.668 **	0.909 **	1.000
综合评价指标	0.730 **	0.716 **	0.758 **	0.745 **	0.831 **	0.510	0.824 **	0.676 **

* 表示差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)

* Correlation is significant at the 0.05 level, ** Correlation is significant at the 0.01 level

本研究分别采用了 15%、20% PEG6000 胁迫处理浓度,从试验结果来看,这 2 个处理浓度下,参试品种萌发生长都受到了抑制,其中 20% PEG6000 处理后抑制程度更明显,甚至个别品种表现为不萌发,这与张智猛等^[12]的研究结果基本一致。此外,在调查的 8 个性状中,幼芽受抑制程度最明显,表现为在对照条件下,幼芽长均值为 1.8 cm,而处理 I、处理 II 的平均值分别仅 0.3 和 0.1 cm,分别降低了 83.3% 和 94.4%;相关性分析显示,除相对幼芽长与综合评价指标差异不显著外,其他指标与综合评

价指标间都呈极显著差异,推测可能是由于花生幼芽对 PEG6000 胁迫较为敏感,因此不同品种间差异无法表现出来,也表明相对幼芽长可能不适宜作为花生萌发期抗旱性鉴定的参考指标。这与油菜萌发期抗旱鉴定结果^[20-21]相一致。与幼芽长骤减不同,处理 I 的相对发芽势平均值达到了 108.3%,且有 9 个参试品种相对发芽势 $> 100%$,表现出胁迫处理初期,低浓度的胁迫处理可以促进种子萌发^[22]。

关于作物抗旱性的评价方法也有很多,常用的有隶属函数法、灰色关联度法、回归分析、聚类分析

等。本研究采用隶属函数法,折算了各单项指标的隶属函数值,从相关性分析结果来看,部分呈显著或极显著相关,部分差异不显著,表明各单项指标在花生抗旱性评价中所起的作用是不同的,因此仅依据单项指标不能准确地评价品种抗旱能力。本研究利用综合评价指标结合抗旱分级标准,从 15 份参试品种中筛选出泰花 4 号、徐花 13 号、泰 0125、泰 0005 等 4 份抗旱品种,泰花 5 号、濮花 28、中花 16 等 3 份中抗材料。表明该方法适用于花生萌发期抗旱性鉴定,并可以对不同品种的抗旱能力进行早期判断,具有简便、快捷、可重复性高等优点。当然本研究仅是萌发期的鉴定结果,还需要与旱棚或田间鉴定相结合,以进一步验证其抗旱性。

参考文献

- [1] Wei Z, Cheng L, Chuang J Q, et al. Studies on the responses of root, shoot and drought resistance in the seedlings of forage triticale to water stress [J]. *J Agric Sci*, 2009, 1(2): 50-57
- [2] Sun L, Hu R B, Shen G X, et al. Genetic engineering peanut for higher drought- and salt-tolerance [J]. *Food Nutr Sci*, 2013, 4: 1-7
- [3] Wan X R, Li L. Regulation of ABA level and water-stress tolerance of *Arabidopsis* by ectopic expression of a peanut 9-cis-epoxy-carotenoid dioxygenase gene [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2006, 347(4): 1030-1038
- [4] 程曦, 赵长星, 王铭伦, 等. 不同生育时期干旱胁迫对花生抗旱指标值及产量的影响 [J]. *青岛农业大学学报: 自然科学版*, 2010, 27(4): 282-284
- [5] 王传堂, 张建成. 花生遗传改良 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2013
- [6] 王俊娟, 叶武威, 王德龙, 等. PEG 胁迫条件下 41 份陆地棉种质资源萌发特性研究及其抗旱性综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(6): 840-846
- [7] 刘永惠, 沈一, 陈志德. 花生种质苗期抗旱性鉴定与评价 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(11): 108-110
- [8] 陈新, 宋高原, 张宗文, 等. PEG-6000 胁迫下裸燕麦萌发期抗旱性鉴定与评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(6): 1188-1195
- [9] Khajeh-pour M. *Industrial crops* [M]. Isfahan: University Jihad publications of Isfahan branch, 2004
- [10] 王传堂, 申馥玉, 苗华荣, 等. 花生抗旱性的灰色关联分析 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 1995, 11(3): 205-206
- [11] 齐敏忠, 朱红霞, 杨德才, 等. PEG 渗透处理对花生品种抗旱性的影响 [J]. *花生科技*, 1995(4): 27-28
- [12] 张智猛, 万书波, 戴良香, 等. 花生品种芽期抗旱性指标筛选与综合性评价 [J]. *中国农业科技导报*, 2010, 12(1): 85-91
- [13] 田宏, 刘洋, 张鹤山, 等. PEG-6000 胁迫下 6 份狼尾草萌发期抗旱性研究 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 24(52): 6116-6119
- [14] 王利彬, 刘丽君, 裴宇峰, 等. 大豆种质资源芽期抗旱性鉴定 [J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(1): 36-42
- [15] 张宏勇, 张勇强, 张喜英, 等. 华北平原冬小麦生长对水分胁迫的响应 [J]. *华北农学报*, 2003, 18(3): 23-26
- [16] 李锦辉, 汤丰收. 花生抗旱育种研究进展 [J]. *花生学报*, 2002, 31(2): 23-26
- [17] 周巧玲, 徐庆国. PEG6000 对不同黑麦草品种萌发期抗旱性的影响 [J]. *作物研究*, 2014, 28(2): 159-161
- [18] 张健, 池宝亮, 黄学芳, 等. 以活力抗旱指数作为玉米萌芽期抗旱性评价指标的初探 [J]. *华北农学报*, 2007, 22(1): 22-25
- [19] 杨子光, 张灿军, 冀天会, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究 IV 萌发期抗旱指标的比较研究 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(12): 173-176
- [20] 李震, 杨春杰, 张学昆, 等. PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定 [J]. *中国油料作物学报*, 2008, 30(4): 438-442
- [21] 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): 78-81
- [22] 朱学海, 宋燕春, 赵治海, 等. 用渗透剂胁迫鉴定谷子芽期耐旱性的方法研究 [J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(1): 62-67