

文章编号: 1005-0906(2010)04-0077-05

# 不同玉米自交系萌芽期的抗旱性研究

张磊, 耿立格, 王丽娜, 张动敏

(河北省农林科学院粮油作物研究所 / 河北省作物遗传育种实验室, 石家庄 050031)

**摘要:** 以聚乙二醇(PEG)-6000 作为渗透剂模拟水分胁迫, 胁迫溶液渗透势范围在  $-0.3 \sim -0.7$  MPa, 分析进行玉米种子水分胁迫萌发试验的条件; 以种子萌发抗旱指数为依据对 97 份玉米自交系进行萌芽期抗旱性鉴定。结果表明,  $-0.5$  MPa(PEG)-6000 处理可以作为玉米萌芽期抗旱性鉴定的水分胁迫条件; 在相同剂量的 PEG-6000 胁迫溶液下, 相关分析显示, 千粒重与相对发芽率呈显著负相关, 与活力抗旱指数呈极显著负相关, 与萌发抗旱指数未呈显著性相关。

**关键词:** 玉米; 自交系; 种子萌发; 抗旱性; 渗透胁迫**中图分类号:** S513.01; S513.024**文献标识码:** A

## Drought Resistance of Different Maize Inbred Lines in Germination Stage

ZHANG Lei, GENG Li-ge, WANG Li-na, ZHANG Dong-min

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Crop Genetics and Breeding Laboratory of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** Using polyethylene glycol (PEG)-6000 with osmotic potential from  $-0.3$  to  $-0.7$  MPa for simulating water stress, the osmotic concentration for evaluation of drought resistance in maize was researched. The drought resistance of 97 maize inbred lines was evaluated according to germination drought resistance index. The results showed that  $-0.5$  MPa(PEG)-6000 stress was proper condition for the evaluation of drought resistance at germination period in maize. There existed inbred lines with different types of drought resistance, which were the important germplasms for drought resistant breeding in China. Results of correlation analysis indicated that 1 000-grain weight negatively and significantly correlated with relative germination rate, the vigor index of drought resistance had extremely significant negative correlation with 1 000-grain weight, and the germination drought resistance index hadn't significant correlation with 1 000-grain weight under the same dosage of PEG-6000 osmotic stress solutions.

**Key words:** Maize; Inbred line; Germination; Drought resistance; Osmotic stress

干旱是影响玉米稳产的重要环境因素, 玉米生长期都可能受到干旱胁迫。玉米从萌发到出苗这一阶段需水较少(仅占总需水量的 3.1% ~ 6.1%), 但这一时期对水分却最为敏感<sup>[1]</sup>。水分不足往往影响种子出苗, 造成缺苗断垄, 严重年份缺苗可达 40% ~ 50%。近年来许多学者对玉米的干旱机制、抗旱性的鉴定方法和指标等方面做了大量研究<sup>[2-8]</sup>, 而关于玉米自交系萌芽期的抗旱性鉴定研究较少。1949 年以

来, 我国玉米育种人员培育和从国外引进了一批优良自交系, 这些自交系是我国玉米抗旱育种的宝贵资源。玉米不同自交系对干旱的适应性和抗御能力不同, 准确地鉴定与评价玉米自交系抗旱性是培育抗旱玉米杂交种的重要前提。本研究选用我国科研和生产中常用的自交系为材料, 利用 PEG-6000 高渗溶液模拟水分胁迫, 分析适用于玉米种子萌发期抗旱性鉴定的条件, 根据种子萌发抗旱指数评价其萌发期抗旱性, 为玉米自交系的抗旱改良提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选取河北省作物种质资源库中 97 份玉米自交

**收稿日期:** 2010-01-05**作者简介:** 张磊(1981-), 女, 河北晋州人, 硕士, 主要从事作物种质资源安全保存、评价和利用研究。

耿立格为本文通讯作者。

系(2008年更新繁殖)为供试材料。PEG-6000(化学分析纯)为胁迫试剂。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 高渗溶液配制

配制渗透势依次为  $-0.3$  MPa、 $-0.5$  MPa、 $-0.7$  MPa 的 PEG-6000 溶液。根据 Michel 等<sup>[9]</sup>的公式：
$$\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T$$

式中,  $\psi_s$  为溶液的渗透势(bar),  $1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa}$ ;  $C$  为 PEG-6000 溶液的浓度(g/kg);  $T$  为溶液的温度( $^{\circ}\text{C}$ )。

### 1.2.2 种子水分胁迫萌发

选取 6 份玉米自交系(郑 58、L981、Mo17、478、大 38 和黄早四)进行种子水分胁迫萌发。设 3 次重复, 每处理 30 粒种子。先将 6 份玉米干种子经  $0.1\%$   $\text{HgCl}_2$  消毒 8 min, 用蒸馏水冲洗干净, 再用不同渗透势的 PEG-6000 分别浸泡 12 h, 置于铺有 3 层滤纸的发芽盒( $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ )中, 分别加入 15 mL 不同渗透势的 PEG-6000 溶液。以不含 PEG-6000 的蒸馏水处理的种子为对照, 置于培养箱中( $25^{\circ}\text{C}$ )催芽。调查第 2、4、6、8 天发芽种子数, 计数胚芽、胚根长度均超过 1 mm 的个体。第 8 天剪下根和芽, 把胚芽、胚根放入铝盒置于烘干箱中,  $105^{\circ}\text{C}$  杀青 5 min, 于  $80^{\circ}\text{C}$  恒温烘干并称量。

根据 6 份自交系在不同渗透势下的相对发芽率, 确定最适 PEG-6000 胁迫浓度, 在最适浓度下对另外 91 份自交系进行胁迫处理, 每处理 30 粒种子, 设对照, 3 次重复。

### 1.2.3 种子相对发芽率

发芽率是指发芽试验终期全部正常发芽的种子

数占供试种子数的百分比。相对发芽率是指在胁迫条件下种子的发芽率占对照条件下发芽率的百分比(相对发芽率 = 水分胁迫下种子发芽率 / 对照条件下种子发芽率  $\times 100\%$ )。

### 1.2.4 种子萌发抗旱指数

按 Bouslama 等<sup>[10]</sup>的公式计算。种子萌发抗旱指数 = 水分胁迫下种子萌发指数(PIS) / 对照种子萌发指数(PIC)。其中,  $PI = 1.00nd_2 + 0.75nd_4 + 0.50nd_6 + 0.25nd_8$ ,  $nd_2$ 、 $nd_4$ 、 $nd_6$ 、 $nd_8$  分别为第 2、4、6、8 天各材料的萌发率。

### 1.2.5 种子活力抗旱指数

种子活力抗旱指数 = 水分胁迫下种子活力指数(VIS) / 对照种子活力指数(VIC)

活力指数 =  $PI \times S_x$ 。其中  $S_x$  为第 8 天芽、根干重(g)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同渗透胁迫处理对玉米自交系发芽的影响

通过对 6 份玉米自交系不同渗透势下第 8 天种子相对发芽率和活力抗旱指数(表 1)进行统计分析, 结果表明, 不同胁迫强度 ( $F_{\text{相对发芽率}} = 768.01 > F_{0.01} = 6.01$ ,  $F_{\text{活力抗旱指数}} = 234.62 > F_{0.01} = 6.01$ )、自交系自身的特性 ( $F_{\text{相对发芽率}} = 449.14 > F_{0.01} = 4.25$ ,  $F_{\text{活力抗旱指数}} = 115.53 > F_{0.01} = 4.25$ )以及胁迫强度和自交系间互作效应 ( $F_{\text{相对发芽率}} = 30.48 > F_{0.01} = 3.51$ ,  $F_{\text{活力抗旱指数}} = 32.08 > F_{0.01} = 3.51$ )均对发芽有极显著影响。6 份自交系的相对发芽率和活力抗旱指数随胁迫强度的增加而降低, 在  $-0.5$  MPa 的胁迫强度下, 自交系间的相对发芽率明显不同于其他处理, 自交系之间的标准差达 38.0, 反应出自交系之间的差异。

表 1 玉米自交系不同渗透胁迫处理的发芽指标

Table 1 Indexes of maize inbred lines under different osmotic stress intensities.

自交系 Inbred lines	相对发芽率(%) Relative germination rate			种子活力抗旱指数 Vigor index of drought resistance		
	-0.3 MPa	-0.5 MPa	-0.7 MPa	-0.3 MPa	-0.5 MPa	-0.7 MPa
郑 58	64.8	29.6	0	0.189	0.017	/
L981	35.4	3.9	0	0.129	0.012	/
478	68.3	11.7	0	0.082	0.015	/
Mo17Ht	31.5	5.6	0	0.057	0.003	/
大 38	96.6	94.9	55.2	0.412	0.335	0.041
黄早四	96.7	70.0	23.3	0.558	0.184	0.020
平均数 $\pm$ 标准差	65.5 $\pm$ 28.3	36.0 $\pm$ 38.0	13.1 $\pm$ 22.6	0.238 $\pm$ 0.202	0.094 $\pm$ 0.137	0.012 $\pm$ 0.016

### 2.2 玉米自交系萌芽期抗旱性评价

97 份自交系在  $-0.5$  MPa 胁迫强度下的相对发

芽率、种子活力抗旱指数、种子萌发抗旱指数见表 2。卡平方测定表明, 其频率分布均为近似正态分布

( $x^2_{\text{相对发芽率}}=10.42$ ;  $x^2_{\text{活力抗旱指数}}=5.09$ ;  $x^2_{\text{萌发抗旱指数}}=8.74$ ;  $x^2_{0.05,9}=16.92$ )。方差分析结果表明,各自交系间相对发芽率、种子活力抗旱指数、种子萌发抗旱指数差异均达极显著水平( $F_{\text{相对发芽率}}=27.89$ ;  $F_{\text{活力抗旱指数}}=16.57$ ;  $F_{\text{萌发抗旱指数}}=10.99$ ;  $F_{0.01}=1.61$ ), 说明  $-0.5$  MPa 的 PEG-6000 能比较准确地显示其萌芽期的抗旱能力。

由表 2 可见,自交系的千粒重、相对发芽率、种子活力抗旱指数、种子萌发抗旱指数的平均值分别为 244.6 g、57.0%、0.190 和 0.61, 变幅分别为 168.6 ~ 397.8 g、3.59% ~ 96.67%、0.003 ~ 0.480、0.10 ~ 0.91, 玉米的抗旱性表现出较大的差异, 表明我国玉米自交系存在着丰富多样的抗旱类型。

表 2 水分胁迫下玉米自交系萌芽期抗旱性综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation on drought resistance of maize inbred lines at germination period under water stress

编号 No.	自交系 Inbred lines	千粒重(g) 1 000-grain weight	相对发 芽率(%) RGR	活力抗 旱指数 VIS/VIC	萌发抗 旱指数 PIS/PIC	抗旱 类型 Type	编号 No.	自交系 Inbred lines	千粒重(g) 1 000- grain weight	相对发芽 率(%) RGR	活力抗旱 指数 VIS/VIC	萌发抗 旱指数 PIS/PIC	抗旱 类型 Type
1	suwan-1	280.8	86.2	0.164	0.92	HR	39	黄早四	198.5	70.0	0.184	0.67	M
2	suwan-2	293.5	90.0	0.171	0.90	HR	40	中 7490	352.7	86.2	0.128	0.66	M
3	系 599	183.4	84.4	0.480	0.89	HR	41	中系 2-11	241.8	78.0	0.178	0.65	M
4	K14	283.1	78.3	0.179	0.87	HR	42	白野四	168.6	58.1	0.225	0.65	M
5	苏 4A	243.7	61.1	0.353	0.86	HR	43	444	271.7	71.7	0.216	0.65	M
6	冀 257	246.8	79.7	0.206	0.86	HR	44	承 215	218.0	73.1	0.275	0.65	M
7	鲁原 133	206.7	87.9	0.461	0.85	HR	45	苏 94-2	256.2	59.8	0.316	0.64	M
8	BS110	227.0	78.0	0.431	0.84	HR	46	获白	274.1	91.5	0.293	0.64	M
9	齐 319	233.0	74.6	0.226	0.84	HR	47	HE127	297.7	51.6	0.148	0.64	M
10	502	197.5	89.2	0.202	0.84	HR	48	K22	243.1	61.1	0.126	0.63	M
11	浚 248	282.8	93.5	0.157	0.83	HR	49	齐 102	263.6	67.9	0.130	0.63	M
12	大 38	193.2	94.9	0.335	0.82	HR	50	获唐黄 17	278.0	72.8	0.148	0.62	M
13	多黄 4	219.0	90.0	0.391	0.80	HR	51	K12	250.6	63.2	0.162	0.62	M
14	CF5	303.3	71.8	0.100	0.80	HR	52	综 31	213.0	70.0	0.209	0.62	M
15	黄矮 -2	197.2	78.3	0.255	0.79	HR	53	冀 35	205.0	45.0	0.199	0.61	M
16	陕综 5	246.1	73.9	0.173	0.77	R	54	琼 151	255.1	65.6	0.111	0.61	M
17	金黄 48	258.0	56.4	0.167	0.77	R	55	旅综 C3	264.8	45.0	0.083	0.61	M
18	郑 653	185.5	65.5	0.277	0.75	R	56	E28	199.1	85.8	0.250	0.60	M
19	野鸡红	170.4	93.3	0.373	0.75	R	57	单王白	247.1	33.7	0.259	0.60	M
20	辽 5114	224.1	57.9	0.283	0.74	R	58	C83-5	302.3	58.3	0.206	0.60	M
21	4015-1	214.8	61.8	0.330	0.74	R	59	PT103	253.0	47.6	0.192	0.59	M
22	原武 02	190.6	91.7	0.288	0.74	R	60	矮 68	302.7	78.3	0.128	0.58	M
23	衡 96-3	235.8	73.0	0.277	0.74	R	61	冀 53	301.8	47.9	0.070	0.57	M
24	齐 205	202.4	81.7	0.249	0.74	R	62	矮源 311	231.7	63.3	0.195	0.57	M
25	齐 107	204.5	88.3	0.264	0.73	R	63	冀 815	244.3	25.5	0.121	0.55	M
26	单 619	175.4	89.1	0.364	0.73	R	64	辽 7352	177.9	35.5	0.167	0.55	M
27	郑 32	197.5	81.7	0.347	0.73	R	65	丹 3130	397.8	32.1	0.076	0.54	M
28	武 314	231.5	77.2	0.240	0.72	R	66	天 4	222.6	41.4	0.303	0.54	M
29	东 156	178.5	83.7	0.331	0.72	R	67	长 69	287.9	38.9	0.067	0.54	M
30	永 340	261.1	77.4	0.241	0.72	R	68	丁 45-522	263.7	43.9	0.125	0.53	S
31	早 3	211.9	47.8	0.369	0.71	M	69	库 6	266.0	49.0	0.125	0.52	S
32	太系 102	248.9	76.7	0.246	0.70	M	70	系 444	304.9	41.1	0.261	0.52	S
33	3189	257.4	78.3	0.154	0.70	M	71	suwan-3	226.2	50.0	0.070	0.52	S
34	8112	268.1	80.0	0.272	0.70	M	72	P12	297.3	54.6	0.066	0.51	S
35	78	187.7	96.7	0.279	0.69	M	73	鲁原 33	260.7	41.7	0.072	0.51	S
36	津 93	195.3	87.4	0.425	0.69	M	74	海 49	306.7	7.9	0.093	0.51	S
37	C83-4	293.1	55.2	0.244	0.68	M	75	金黄 225	246.3	33.4	0.100	0.50	S
38	Pt110	253.0	91.7	0.269	0.68	M	76	紫 24	169.7	30.9	0.074	0.49	S

续表 2 Continued 2

编号 No.	自交系 Inbred lines	千粒重(g) 1 000-grain weight	相对发 芽率(%) RGR	活力抗 旱指数 VIS/VIC	萌发抗 旱指数 PIS/PIC	抗旱 类型 Type	编号 No.	自交系 Inbred lines	千粒重(g) 1 000- grain weight	相对发芽 率(%) RGR	活力抗旱 指数 VIS/VIC	萌发抗 旱指数 PIS/PIC	抗旱 类型 Type
77	鲁原 92	223.5	31.8	0.153	0.49	S	88	原齐 722	222.5	10.4	0.140	0.35	HS
78	D黄 198	228.0	45.2	0.261	0.49	S	89	478	254.6	11.7	0.015	0.33	HS
79	白苏 635	289.7	51.8	0.148	0.47	S	90	白 330	276.0	4.8	0.055	0.32	HS
80	苏 75	356.9	47.9	0.110	0.47	S	91	黄 C	273.4	19.1	0.020	0.31	HS
81	齐 305	238.4	20.5	0.070	0.45	S	92	5003	239.6	15.9	0.016	0.30	HS
82	郑 58	267.4	29.6	0.017	0.43	S	93	OH43	235.6	14.6	0.138	0.28	HS
83	沈 137	249.2	33.3	0.045	0.42	HS	94	L981	291.5	3.9	0.012	0.26	HS
84	黄野 4	216.1	28.0	0.209	0.41	HS	95	CA498	222.8	17.1	0.015	0.20	HS
85	H21	212.0	27.1	0.063	0.41	HS	96	Mo17Ht	260.9	5.6	0.003	0.13	HS
86	京 404	236.5	7.7	0.176	0.40	HS	97	5003B	250.8	3.6	0.004	0.10	HS
87	多黄 25	232.7	26.9	0.036	0.38	HS	平均数 ± 标准差 244.6 ± 42.7 57.0 ± 26.5 0.190 ± 0.11 0.61 ± 0.17						

玉米萌芽期抗旱性分类没有统一标准,为便于比较玉米萌芽期的抗旱性,本文提出一定干旱处理条件下的群体逐级分类法,即以群体平均值加或减一个标准差将群体分为极强抗旱类型、中间类型和极弱抗旱类型;再计算中间类型的群体平均值和标准差,以中间类型的群体平均值加或减一个标准差为标准,将中间类型群体分为强抗旱类型、中度抗旱类型和弱抗旱类型。依据种子萌发抗旱指数采用上述方法将试验材料抗旱性分为 5 种类型:萌发抗旱指数 >0.78 为极强抗旱(HR);萌发抗旱指数在 0.72 ~ 0.78 为强抗旱(R);萌发抗旱指数 0.54 ~ 0.72 为中度抗旱(M);萌发抗旱指数 0.43 ~ 0.54 为弱抗旱(S);萌发抗旱指数 <0.43 为极弱抗旱(HS)。

由表 2 可知,表现为极强抗旱类型(HR)的自交

系有 15 份,占鉴定总数的 15.46%;表现为强抗旱类型(R)的自交系有 15 份,占鉴定总数的 15.46%;表现为中度抗旱类型(M)的自交系有 37 份,占鉴定总数的 38.14%;表现为弱抗旱类型(S)的自交系有 15 份,占鉴定总数的 15.46%;表现为极弱抗旱类型(HS)的自交系有 15 份,占鉴定总数的 15.46%。

### 2.3 抗旱性的相关分析

相关分析结果表明(表 3),千粒重与相对发芽率呈显著负相关( $r=-0.21^*$ ),与种子活力抗旱指数呈极显著负相关( $r=-0.48^{**}$ ),与种子萌发抗旱指数未呈显著相关( $r=-0.19$ );种子萌发抗旱指数与相对发芽率呈极显著相关( $r=0.86^{**}$ ),与种子活力抗旱指数呈极显著相关( $r=0.70^{**}$ );种子活力抗旱指数与相对发芽率呈极显著相关( $r=0.67^{**}$ )。

表 3 水分胁迫下与玉米抗旱性相关指标分析

Table 3 The correlations of traits and index related with drought resistance of maize under water stress

指标 Indexes	千粒重 1 000-grain weight	萌发抗旱指数 PIS/PIC	活力抗旱指数 VIS/VIC
相对发芽率	-0.21*	0.86**	0.67**
活力抗旱指数	-0.48**	0.70**	
萌发抗旱指数	-0.19		

注:\*\*表示差异极显著,\*表示差异显著。

Note:\*\* stands for significant difference at 0.01 level; \* stands for significant difference at 0.05 level.

## 3 结论与讨论

萌发出苗是玉米整个生育期的第一阶段,能否在受旱情况下保持较高的萌发率和出苗率,直接关系到以后的生长发育和产量形成。以往鉴定品种的

抗旱能力,常在田间人为控制土壤水分,根据品种在不同土壤水势下的出苗率来鉴别品种的抗旱性,此法虽然接近生产实际情况,但较为费工费时,同时田间条件难以控制,重复性较差。Bouslama 等提出根据种子在高渗溶液或不同渗透势的土壤中的发芽

势和发芽率来评价萌发期的抗旱性,并提出了用种子萌发指数来反映种子在高渗溶液中的发芽势和发芽率,认为种子萌发抗旱指数是评价种子萌芽期的可靠指标。大量研究结果表明,用 PEG 作为渗透剂进行干旱模拟可代替土壤水分胁迫处理,获得比较可靠的结果<sup>[1]</sup>。以此为根据,本研究以玉米自交系在  $-0.5\text{ MPa}$  的 PEG-6000 水溶液中的萌发抗旱指数评价出极强和极弱抗旱材料各 15 份,强抗旱和弱抗旱材料各 15 份,中抗旱类型材料 37 份。但这仅仅是玉米自交系萌芽期抗旱性分析结果,同一玉米自交系其他生育期的抗旱性还有待于进一步研究。

种子大小关系到播种深度和种芽的顶土能力,适合深播探墒的品种具有粒大的特点。王茅雁等<sup>[12]</sup>用盆栽法测定了 6 个玉米品种在供水适宜和干旱条件下的出苗率,认为千粒重与品种的抗旱性间无规律性。本试验研究发现,千粒重与相对发芽率呈显著负相关( $r=-0.21^*$ ),与活力抗旱指数呈极显著负相关( $r=-0.48^{**}$ ),与萌发抗旱指数相关系数达到  $-0.19$ 。其原因是本试验在筛选渗透胁迫溶液浓度的同时,也限制溶液用量,比较在相同有限水分条件下种子萌发的差异。这种试验设计有效地控制了环境水分,但是玉米不同基因型子粒重量的差异较大,种子从吸胀到萌发的绝对需水量不同,控制胁迫溶液用量可能有利于小粒种子萌发,但不利于大粒种子。因此,对于子粒大小差异较大的材料所用的胁迫溶液量还需研究。在抗旱自交系早期筛选过程中,千粒重能否成为一个参考指标还有待进一步研究。

种子发芽过程本身是一个极复杂的生理生化过程,玉米萌芽期抗旱性除受其自身遗传、生理特性的

影响外,还受干旱胁迫强度与持续时间的影响。另外,不同学者采用不同抗旱评价指标和分级标准也会影响抗旱性评价的一致性。因此,玉米抗旱性评价的准确性需要不同研究结果的相互佐证。

#### 参考文献:

- [1] 山 仑. 我国西北地区植物水分研究与旱地农业增产[C]. 北方旱区农业学术论文选编, 1983.
- [2] 黎 裕. 作物抗旱鉴定方法与指标[J]. 干旱地区农业研究, 1993 (11): 91-99.
- [3] 徐明慧, 关义新, 马兴林, 等. 玉米萌芽期抗旱性研究[J]. 玉米科学, 2003, 11(1): 53-56.
- [4] 胡兴波, 曹敏建, 王学智, 等. 不同玉米品种萌芽期及苗期抗旱性初步研究[J]. 玉米科学, 2004, 12(3): 66-70.
- [5] 宋 碧, 曾永德, 左乾勇, 等. 不同玉米品种萌芽期抗旱性研究[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(1): 17-19.
- [6] 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.
- [7] 张 健, 池宝亮, 黄学芳, 等. 玉米萌芽期水分胁迫的抗旱性分析[J]. 山西农业科学, 2007, 35(2): 34-38.
- [8] 孙军伟, 冀天会, 杨子光, 等. 玉米萌芽期抗旱性鉴定研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(3): 104-107.
- [9] Michel B E, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51: 914-916.
- [10] Bouslama M, et al. Stress tolerance in soybeans[J]. Evaluation Crop Sci., 1984, 24: 933-937.
- [11] Hohl M, Peter S. Water relations of growing maize coleoptiles. Comparison between mannitol and polyethylene glycol 6000 as external osmotica for adjusting turgor pressure[J]. Plant Physiology, 1991, 95: 716-722.
- [12] 王茅雁, 邵世勤, 张建华, 等. 饲用玉米发芽出苗期抗旱性鉴定方法和指标的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 1994, 15(4): 37-42.