

大豆种质资源苗期抗旱性评价

臧紫薇,赵 雪,李海燕,李文滨,韩英鹏

(东北农业大学大豆生物学教育部重点实验室/农业部北方大豆生物学与遗传育种区域重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:利用室内盆栽干旱胁迫方法,对 11 份大豆材料进行抗旱性分析,测定与抗旱性相关的茎干重、根干重、主根长、总根长、根冠比、叶绿素含量、丙二醛含量、相对含水量共 8 项生理和形态鉴定指标,以干旱胁迫与非干旱胁迫条件下获得的生理和形态指标,来评价各指标与苗期抗旱性的关系,结合灰色关联分析对不同大豆材料抗旱性进行分析。结果表明:抗旱性较强的是东农 47、L-79、黑农 44、Conrad,灰色关联度 $r_i > 0.8$ 为抗旱性较强的品种;嫩丰 11、绥 04-5804、石大豆 1 号、绥农 29 的关联度为 $0.8 \sim 0.6$,为较抗旱品种;中黄 10 号和垦 04-8579 为较敏感品种, r_i 为 $0.6 \sim 0.5$;方正秣食豆为敏感品种,关联度 $r_i < 0.439$ 。
关键词:大豆;品种筛选;苗期;干旱胁迫
中图分类号:S332 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.06.0964

Evaluation of Drought Resistance of Soybean Germplasm in Seedling Stage
ZANG Zi-wei, ZHAO Xue, LI Hai-yan, LI Wen-bin, HAN Ying-peng
(Northeast Agricultural University, Chinese Education Ministry's Key Laboratory of Soybean Biology/Key Laboratory of Northeastern Soybean Biology and Breeding/Genetics of Chinese Agriculture Ministry, Harbin 150030, China)

Abstract: In this study, 11 germplasm were evaluated in potted drought stress experiment. A total of 8 identification indexes including seedling dry weight, root dry weight, main root length, total root length, shoot ratio, chlorophyll, malondialdehyde (MDA), relative water content was analyzed, and then analyzed the relationship between each index and with the grey relational analysis to evaluate the drought resistance of different soybean cultivars based on drought and non drought stress indexes. The results showed that the cultivars with strong resistance to drought were Dongnong 47, L-79, Heinong 44 and Conrad (the grey correlation degree $r_i > 0.8$); the cultivars with resistance to drought were Nenfeng 11, Sui 04-5804, Shidadou and Sui-nong 29 (the grey correlation degree was between $0.8-0.6$), the cultivars with sensitive to drought were Zhonghuang 10 and Ken 04-8579 (the grey correlation degree was between 0.5 and 0.6) and the cultivar with high sensitive to drought was Fangzhengmoshidou (the grey correlation degree $r_i < 0.439$).
Keywords: Soybean; Variety screening; Seedling stage; Drought resistance

干旱是严重影响作物产量的非生物因素之一^[1]。近年来,随着全球性温室效应的逐步增加而导致的干旱频率逐年增加,土壤水分亏缺是导致旱灾的直接原因。大豆是世界上重要的经济作物之一,随着大豆食品工业的发展,大豆需求量逐年增加。大豆是需水较多的作物之一,全生育期总需水量约为 2 000 mm,生育前期需水占总需水量的 32.2%^[2]。干旱可在全生育期对大豆造成伤害,尤以苗期危害最为严重,通常会导致大豆产量的严重损失。
大豆抗旱性是受诸多与抗旱有关性状影响的复杂生物学特性,包括许多生理变化和形态变化^[3-5]。在干旱胁迫条件下,大豆可通过改变自身形态或生理特征等途径来逃避或防御干旱胁迫^[6]。

前人针对大豆种质资源进行了大量的抗旱性的筛选和鉴定。张小虎等^[7]对 100 份大豆品种资源在田间进行抗旱性鉴定,共筛选得到较抗旱品种 18 份。祁旭升等^[8]对 77 份大豆种质进行了抗旱性评价,结果表明作物的抗旱性是多种性状指标对干旱胁迫的综合反应结果。蒲伟凤等^[9]以 4 份栽培大豆品种和 4 份野生大豆品种为试验材料,采用 PEG 模拟干旱胁迫对大豆根系活力和生理指标进行鉴定,结果表明大豆抗旱性与根系指标呈正相关。陈家敏^[10]于 2001-2003 综合分析了 63 份大豆种质苗期耐旱性,利用隶属函数法综合评价出了 11 份耐旱性品种。
但是基于隶属函数的评价方法是一个模糊的描述,用来评价品种抗旱性不是绝对的有效,需要

收稿日期:2016-05-10
基金项目:国家自然科学基金(31671717,31201227,31301339);国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD35B06-1);国家现代农业产业技术体系(CARS-04-PS04)。
第一作者简介:臧紫薇(1990-),女,硕士,主要从事大豆分子辅助育种研究。E-mail:zzw19901111@163.com。
通讯作者:韩英鹏(1978-),男,博士,教授,主要从事大豆基因组学及分子辅助育种工作。E-mail:hyp234286@aliyun.com。

在其基础上对各品种和鉴定指标进行关联分析,灰色关联分析可以衡量各品种及其鉴定指标间的关联程度。本研究采用灰色关联分析的方法,拟通过大豆盆栽试验来考察大豆苗期的形态及生理指标与抗旱性的关系,进而筛选大豆抗旱种质资源,为大豆抗旱育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

经预试验初筛共选择 11 份供试材料即:Conrad、L-79、东农 47、方正秣食豆、黑农 44、垦 04-8579、嫩丰 11、石大豆 1 号、绥 04-5804、绥农 29、中黄 10 号,由东北农业大学大豆研究所提供。

1.2 方法

于 2015 年 6 月于东北农业大学抗旱棚内进行盆栽试验,试验采用 12×10 cm 花盆,每盆装等量细沙土。挑选籽粒饱满、大小一致、无病虫的种子,0.1% HgCl₂ 溶液消毒处理 5 min 后播种,播种前浇足底墒水,采取完全随机设计,每份材料设对照(正常供水)和处理(干旱胁迫)各 3 次重复,每盆播 10 粒种子,播种 7 d 后间苗,保留长势一致并且健壮的幼苗,每盆定植为 5 株。其它管理同大田^[11]。

对照组和处理组均正常供水直至二叶期时(苗龄 11 d),处理组停止供水开始干旱胁迫,胁迫 6 d 再次补充一次水分而后再次干旱,苗龄 23 d 进行各性状测定。

1.3 测定项目及方法

采用便携式 SPAD-502Plus 叶绿素计测定叶绿素含量,分别取 5 株 23 d 苗龄大豆叶片测量 6 次,计算平均值。

采用李合生^[12]的硫代巴比妥酸(TBA)法测定叶片中丙二醛(MDA)含量。将大豆幼苗用清水冲洗干净,按根(地下部)、冠(地上部)分别取样,测定总根长、主根长、地上部鲜重,根鲜重,根干重,地上部干重,处理与对照各做 3 次重复,计算平均值。分别将根、冠放入独立牛皮纸袋中,105℃杀青 25 min,于 85℃下烘干至恒重,采用张志良^[13]的称重法测定(根、冠)相对含水量(RWC),并计算根冠比(R/S)。

1.4 数据分析

1.4.1 抗旱系数评定方法 采用抗旱系数进行抗旱性评价^[14],具体公式为:

抗旱系数 = $\frac{\text{干旱胁迫}}{\text{非干旱胁迫}}$

1.4.2 灰色关联分析 灰色关联分析方法是用来

评价大豆抗旱性的综合比较方法^[15],具体公式为:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (i, k = 1, 2, \dots, n)$$

式中: $\xi_i(k)$ 为关联系数, r_i 为灰色关联度; n 表示品种数, i 表示品种序号。

1.4.3 数据处理 应用 SPSS 22.0 和 Excel 2010 进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对不同幼苗形态指标的影响

2.1.1 茎干重 如表 1 所示,大豆幼苗在干旱胁迫下,茎干重相比对照有所下降,降幅最大的是方正秣食豆和中黄 10 号,分别达到 83.87% 和 80.25%,降幅最小的是东农 47,为 38.14%。

2.1.2 根干重 不同大豆苗期根干重正常供水和干旱胁迫后的值差异大,降幅范围较大。其中方正秣食豆为 5.26%,垦 04-8579 为 3.99%,绥 04-5804 为 2.38%,黑农 44 为 0.34%,降幅偏小(表 1)。

2.1.3 主根长 干旱条件下维持较高的吸水能力是植株耐旱的一个重要机制,根系的发达程度是评价作物抗旱性的指标之一。在干旱胁迫下东农 47 和黑农 44 主根长仅分别下降 2.77% 和 2.24%,降幅偏小;而绥农 29、石大豆 1 号和中黄 10 号主根长降幅较大,分别为 32.22%、30.56% 和 31.87%(表 1)。

2.1.4 总根长 如表 1 所示,垦 04-8579 在干旱胁迫下总根长下降幅度为 1.17%,相比其它品种降幅最小,而其中中黄 10 号和 Conrad 降幅较大,分别下降了 35.45% 和 21.38%。

2.1.5 根冠比 大豆幼苗根冠比是指大豆幼苗地下部分与地上部分的比值,它的大小直接反映了根与地上部分生长发育的相关性,在干旱胁迫下植物体有通过增大根冠比来适应环境的趋势^[16]。11 个测试品种的根冠比降幅差异显著,其中方正秣食豆、垦 04-8579、中黄 10 号变幅较大,分别增加 487.37%、392.87% 和 261.61%。而其中变幅最小的是绥农 29,仅增加 33.48%。

2.2 干旱胁迫对不同幼苗生理指标的影响

2.2.1 叶绿素含量 从表 2 可以看出,在干旱胁迫下大豆幼苗叶片的叶绿素含量降低,这与王敏等^[4]的研究结果一致。降幅最小的是东农 47,仅为 0.6%,黑农 44 和绥农 29 降幅也较小,分别为 1.75% 和 1.79%。叶绿素含量降幅较大的是中黄 10 号和 L-79,分别为 29.52% 和 22.33%。

表 1 干旱胁迫对大豆幼苗形态指标的影响

Table 1 Effects of drought stress on morphological characteristics of soybean seedling

材料 Materials	茎干重			根干重			主根长			总根长			根冠比		
	Seedling dry weight/g			Root dry weight/g			Main root length/cm			Total root length/cm			Shoot root ratio		
	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement /%	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement /%	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement /%	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement /%	对照 Normal	干旱 Drought	变幅 Wave/%
Conrad	0.20	0.10	49.00	0.15	0.12	23.68	21.20	17.78	16.13	28.06	22.06	21.38	0.76	1.14	49.64
L-79	0.26	0.12	54.69	0.17	0.12	30.95	23.06	20.98	9.02	25.22	22.76	9.75	0.66	1.00	52.38
东农 47 Dongnong 47	0.19	0.12	38.14	0.16	0.14	10.26	22.38	21.76	2.77	24.50	23.30	4.90	0.80	1.17	45.09
方正秣食豆 Fangzhengmoshidou	0.19	0.03	83.87	0.15	0.14	5.26	24.22	20.52	15.28	28.88	25.00	13.43	0.82	4.80	487.37
黑农 44 Heinong 44	0.15	0.09	40.00	0.15	0.15	0.34	18.52	17.55	5.24	23.94	21.80	8.94	0.99	1.64	66.10
垦 04-8579 Ken04-8579	0.15	0.09	41.56	0.14	0.13	3.99	20.92	17.65	15.63	24.84	24.55	1.17	0.90	4.42	392.87
嫩丰 11 Nenfeng 11	0.15	0.07	50.67	0.14	0.12	14.08	23.86	20.70	13.24	23.86	22.70	4.86	0.95	1.65	74.15
石大豆 1 号 Shidadou 1	0.17	0.10	39.76	0.14	0.06	54.71	20.88	14.50	30.56	23.80	21.80	8.40	0.83	0.63	24.82
绥 04-5804 Sui04-5804	0.20	0.11	43.43	0.17	0.16	2.38	25.36	18.64	26.50	29.00	25.22	13.03	0.85	1.46	72.58
绥农 29 Suinong 29	0.19	0.10	46.24	0.17	0.12	28.24	23.96	16.24	32.22	25.72	21.06	18.12	0.91	1.22	33.48
中黄 10 号 Zhonghuang 10	0.20	0.04	80.25	0.14	0.10	28.57	30.00	20.44	31.87	33.00	21.30	35.45	0.69	2.50	261.61

表 2 干旱胁迫对大豆幼苗生理指标的影响

Table 2 Effects of drought stress on physiological characteristics of soybean seedling

材料 Materials	叶绿素含量			丙二醛含量			相对含水量		
	Chlorophyll/(mg·g ⁻¹ FW)			MDA/(μmol·g ⁻¹ FW)			Relative water content/%		
	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement/%	对照 Normal	干旱 Drought	变幅 Wave/%	对照 Normal	干旱 Drought	降幅 Decrement/%
Conrad	39.40	35.60	9.64	60.45	62.51	3.41	2.11	0.558	73.55
L-79	42.10	32.70	22.33	52.12	69.17	32.71	1.93	0.266	86.19
东农 47 Dongnong 47	33.60	33.40	0.60	61.71	90.91	47.33	1.61	0.502	68.86
方正秣食豆 Fangzhengmoshidou	36.60	32.50	11.20	65.22	67.67	3.76	1.80	0.166	90.80
黑农 44 Heinong 44	28.50	28.00	1.75	49.44	67.63	36.79	1.76	0.74	58.00
垦 04-8579 Ken04-5579	36.10	34.30	4.99	24.31	80.14	229.59	1.75	0.76	56.67
嫩丰 11 Nenfeng 11	36.40	34.10	6.32	78.09	90.72	16.17	1.57	0.55	64.92
石大豆 1 号 Shidadou 1	35.80	31.10	13.13	29.16	51.49	76.61	2.41	0.6375	73.55
绥 04-5804 Sui04-5804	37.70	34.00	9.81	90.61	96.86	6.89	1.82	0.32	82.42
绥农 29 Suinong 29	33.60	33.00	1.79	0.17	0.12	28.24	23.96	16.24	32.22
中黄 10 号 Zhonghuang 10	42.00	29.60	29.52	0.14	0.10	28.57	30.00	20.44	31.87

2.2.2 丙二醛(MDA)含量 丙二醛含量的高低是反应膜脂过氧化作用强弱的重要指标,干旱胁迫下,植物体内的膜质过氧化物会增加,最终分解产生有毒物质,破坏生物膜的功能和结构^[17]。如表2所示,干旱胁迫下,不同大豆品种幼苗丙二醛含量差异显著,变幅最大的是垦 04-8579,增加229.59%,而变幅最小的是 Conrad、方正秣食豆和绥农 29,仅增加 3.41%、3.76%和 6.89%。

2.2.3 相对含水量 由表2可以看出,测试品种之间相对含水量变幅差异显著,降幅最大的是方正秣食豆,可达 90.8%,其次是 L-79,降幅为 86.19%。变化较小的是中黄 10 号和绥农 29,分别下降 31.87%和 32.22%。

2.3 大豆苗期抗旱性综合评价

大豆抗旱性是一个由多基因控制的数量性状,

表3 各品种的灰色关联度及抗旱性排序

Table 3 Grey relational grade and drought-resistance order of soybean cultivars

材料 Materials	东农 47 Dongnong 47	L-79	黑农 44 Heinong 44	Conrad	嫩丰 11 Nenfeng 11	绥 04-5804 Sui 04-5804	石大豆 1 号 Shidadou 1	绥农 29 Suinong 29	中黄 10 号 Zhong-huang 10	垦 04-8579 Ken 04-5579	方正秣食豆 Fangzheng-moshidou
关联度 Relativity	0.859	0.821	0.820	0.818	0.789	0.783	0.757	0.755	0.555	0.514	0.439
排序 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

3 结论与讨论

对大豆种质形态指标和生理指标进行准确的鉴定是对其进行抗旱性评价的前提,大豆抗旱性是由多基因控制的数量性状,采用多性状指标相结合的方式对大豆品种进行抗旱性鉴定可以提高鉴定的准确性。本研究在苗期对 11 个大豆品种进行抗旱性评价,结果表明:茎干重、根干重、主根长、总根长、叶绿素含量和相对含水量 6 项指标在干旱条件下均有下降,品种间下降幅度不同;根冠比和丙二醛含量数值则升高。同时,本研究采用灰色关联分析方法评价大豆的抗旱性,其抗旱性顺序为:东农 47 > L-79 > 黑农 44 > Conrad > 嫩丰 11 > 绥 04-5804 > 石大豆 1 号 > 绥农 29 > 中黄 10 号 > 垦 04-8579 > 方正秣食豆。部分品种的性状指标有待进一步研究调查。

常用的抗旱品种鉴定方法有生理生化鉴定、形态鉴定、分子标记等,简单的生理生化指标有时忽视了植物外在形态的生长需求,而单一的形态指标难以解释植物体内在的生理变化,这种鉴定方法往往不能准确的判断品种的抗旱性。朱鹏等^[18]用

单一性状无法准确衡量大豆的抗旱性,因此需要一个将抗旱指标综合评价分析的方法。灰色关联分析方法是目前应用较多的综合评价大豆抗旱性的方法,其评价作物品种的抗旱性强弱主要根据关联度,关联度越大表示品种的抗旱性越强。本研究测试品种灰色关联分析及抗旱性评价见表 3,灰色关联度 $r_i > 0.8$ 为抗旱性较强的品种,抗旱性较强的有东农 47、L-79、黑农 44、Conrad;关联度为 0.8 ~ 0.6 的为较抗旱品种,较抗旱品种有嫩丰 11、绥 04-5804、石大豆 1 号、绥农 29;较敏感品种 r_i 为 0.6 ~ 0.5,较敏感品种有中黄 10 号和垦 04-8579;关联度 $r_i < 0.4$ 为敏感品种,敏感品种有方正秣食豆。

PEG-6000 作为渗透介质,对 5 种抗旱性不同的大豆品种进行多参数综合评价。结果表明,在干旱胁迫下植物的相对含水量下降,丙二醛含量升高,与本试验的研究结果一致。陈雪等^[19]采用生理生化指标和形态指标相结合的方法,将 11 份向日葵材料苗期的 14 项指标分为初级指标和次级指标进行抗旱性研究,为作物苗期抗旱鉴定提供了有价值的参考评价方法。本研究采用生理生化指标与形态指标相结合的方法,对大豆苗期茎干重、根干重、主根长、总根长、根冠比、叶绿素含量、丙二醛含量、相对含水量 8 项指标进行鉴定。

植物抗旱鉴定的根本任务就是培育在干旱条件下能高产稳产的品种^[20]。为了满足农业科技的需求,任何一种筛选方法都必须与生产实践相结合,本试验中所采用的土壤均是大田土壤,在室外条件下,进行自然干旱处理,避免了室内与大田环境条件不符的因素,试验重复性好。

由于目前对大豆抗旱性评价的研究多集中于实验室条件下,局部生育期无法完全代表全生育期品种的抗旱性,而且如昆虫防治、土壤生态环境、农药等外界环境因素干扰和田间防治管理等都会对

大豆种质抗旱性产生影响。

参考文献

[1] Varshney R K, Paulo M J, Grando S, et al. Genome wide association analyses for drought tolerance related traits in barley[J]. Field Crops Research, 2012,126: 171-180.

[2] 王彦文,王延宇,王鑫,等. 大豆生育期需水量与产量效应关系[J]. 吉林农业科学,1995(2):29-31. (Wang Y W, Wang Y Y, Wang X, et al. Effect of water demand and yield in soybean growing period[J]. Jilin Agricultural Sciences, 1995(2):29-31.)

[3] Araus J L, Slafer G A, Reynolds M P, et al. Plant breeding and drought in C3 cereals; What should we breed for? Annals of Botany, 2002,89: 925-940.

[4] 王敏,张从宇,马同富,等. 大豆品种苗期抗旱性研究[J]. 中国油料作物学报,2004,26(3):30-33. (Wang M, Zhang C Y, Ma T F, et al. Studies on the drought resistance of seedling in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2004,26(3):30-33.)

[5] 孔照胜,武云帅,岳爱琴,等. 不同大豆品种抗旱性生理生态指标综合分析[J]. 华北农学报,2001,16(3):40-45. (Kong Z S, Wu Y S, Yue A Q, et al. Comprehensive analysis on drought resistance physiological indexes of different soybean varieties[J]. Acta Agriculturae Boreali -Sinica,2001,16(3):40-45.)

[6] 梁建秋,张明荣,吴海英. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学,2010,29(2):341-346. (Liang J Q, Zhang M R, Wu H Y. Advances in drought tolerance of soybean[J]. Soybean Science, 2010,29(2):341-346.)

[7] 张小虎,刘学义. 大豆品种资源抗旱性鉴定指标及方法[J]. 山西农业科学,2011(2):106-108,112. (Zhang X H, Liu X Y. Drought resistance identifying indicators and methods in soybean germplasm[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2011(2):106-108,112.)

[8] 祁旭升,刘章雄,关荣霞,等. 大豆成株期抗旱性鉴定评价方法研究[J]. 作物学报,2012,38(4):665-674. (Qi X S, Liu Z X, Guan R X, et al. Comparison of evaluation methods for drought-resistance at soybean adult stage[J]. Acta agronomica sinica, 2012,38(4):665-674.)

[9] 蒲伟凤,李桂兰,等. 干旱胁迫对野生和栽培大豆根系特征及生理指标的影响[J]. 大豆科学,2010,28(4):615-622. (Pu W F, Li G L, et al. Effects of drought stress on root characteristics and physiological indexes of *Glycine soja* and *Glycine max*[J]. Soybean Science,2010,28(4):615-622.)

[10] 陈加敏. 大豆苗期耐旱性的鉴定及苗期耐旱性和根系性状的遗传研究[D]. 南京农业大学,2004. (Chen J M. Studies on identification of drought tolerance and genetic mechanism of drought tolerance root traits of soybean seedling[D]. Nanjing Agricultural

University,2004.)

[11] 张少林. 东北地区大豆春播及大田管理技术[J]. 吉林农业, 2014,22:25. (Zhang S L. Technology and field management in Northeast spring soybean[J]. Agriculture in Jilin,2014,22:25.)

[12] 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. (Li H S. Principles and techniques of plant physiology and biochemistry experiment [M]. Beijing Higher Education Press,2001.)

[13] 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社,1990. (Zhang Z L. Experimental instruction of plant physiology (Second Edition) [M]. Beijing Higher Education Press,1990.)

[14] 江龙. 作物抗旱性的研究方法[J]. 贵州农业科学,1999,27(5):70-72. (Jiang L. Research methods of crop drought resistance[J]. Guizhou Agricultural Sciences,1999,27(5):70-72.)

[15] 尹洪军,张俊廷,张欢欢,等. 应用灰色关联分析方法确定分层注水量公式[J]. 数学的实践与认识,2012(13):94-99. (Yi H J, Zhang J T, Zhang H H, et al. Application of grey correlation analysis method to determine the formula of stratified water injection [J]. Mathematics in Practice and Theory,2012(13):94-99.)

[16] 杨俊,马健,王婷婷,等. 5种荒漠植物抗旱性及其与抗旱指标相关性的定量评价[J]. 干旱区资源与环境,2009(6):143-146. (Yang J, Ma J, Wang T T, et al. The quantitative evaluation on drought-resistance and its relationship with drought resistance indexes of five desert plants[J]. Journal of Arid land Resources and Environment,2009(6):143-146.)

[17] 蒲伟凤. 不同类型大豆种质资源抗旱性比较及野生大豆抗旱性筛选[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2010. (Pu W F. Comparison of drought resistance in different soybean types and screening of drought resistance in *Glycine soja*[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology,2010.)

[18] 朱鹏,韩阳,阮亚男. 不同大豆品种苗期抗旱性比较[J]. 大豆科学,2008,27(4):711-714. (Zhu P, Han Y, Ruan Y N. Comparison on drought resistance of different soybean varieties at seedling stage[J]. Soybean Science,2008,27(4):711-714.)

[19] 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. (Chen X, Yu H F, Hou J H, et al. Drought resistance of sunflower in bud and seedling emergence stage[J]. Chinese Journal of crop sciences,2009,31(3):344-348.)

[20] 王燕平,任海祥,孙晓环,等. 不同基因型大豆花荚期抗旱性综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2015(1):37-44. (Wang Y P, Ren H X, Sun X H, et al. Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean cultivar at flowering-podding stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources,2015(1):37-44.)