

大豆种质资源萌发期耐旱性评价

张海平¹, 张俊峰¹, 陈妍¹, 张海生², 闫凯¹, 穆志新¹

(¹ 山西农业大学农业基因资源研究中心 / 农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室 / 杂粮种质资源

发掘与遗传改良山西省重点实验室, 太原 030031; ² 山西农业大学农学院, 太原 030031)

摘要: 随着全球气候的变化, 干旱已成为限制大豆产量的重要环境因素之一, 大豆种质资源耐旱性鉴定对大豆耐旱品种的培育及大豆耐旱机理的研究具有重要的意义。本研究首先选择4份耐旱性不同的材料, 以PEG-6000作为渗透胁迫剂, 研究了大豆种质在0%、10%、15%、16%、18%、20%、30%的PEG-6000溶液的胁迫下, 相对发芽率、相对发芽势、相对胚根长度、萌发耐旱指数的变化。结果表明15%~18% PEG-6000溶液是大豆萌发期耐旱鉴定的适宜浓度范围。本研究采用16% PEG-6000溶液对568份大豆资源进行大豆种子萌发期耐旱鉴定, 以相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长度、相对苗高、萌发耐旱指数、活力指数作为评价指标, 应用平均隶属函数评价法对大豆种质萌发期耐旱性进行综合评价, 筛选出耐旱种质4份, 较耐旱种质18份, 中间型种质110份, 较敏感种质194份, 敏感型种质242份。

关键词: 大豆; 种质资源; 萌发期; 耐旱鉴定; 隶属函数评价

Identification and Evaluation of Soybean Germplasm Resources for Drought Tolerance During Germination Stage

ZHANG Hai-ping,¹ ZHANG Jun-feng¹, CHEN Yan,¹

ZHANG Hai-sheng², YAN Kai¹, MU Zhi-xin¹

(¹ Center for Agricultural Genetic Resources Research, Shanxi Agricultural University/Key Laboratory of

Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture/

Shanxi Key Laboratory of Genetic Resources and Genetic Improvement, Taiyuan 030031;

² College of Agricultural, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031)

Abstract: With the change of the global climate, the drought tolerance at germination stage of soybean becomes of importance when suffering spring drought. In order to explore an optimal drought stress condition, four soybean accessions with levels of drought tolerance were tested with the concentrations of 0%, 10%, 15%, 16%, 18%, 20%, 30% of PEG-6000 solution simulated different drought conditions. The result showed that 15%~18% of PEG-6000 solution was qualified to simulate drought stress condition at germination stage of soybean. Moreover, 16% of PEG-6000 solution was applied to culture the seeds of 568 soybean germplasm accessions. The indexes were estimated using six indicators including relative germination energy, relative germination rate, relative radical length, relative bud length, germination drought tolerant index and vigor index. Based on subordination function method and the standard classification of drought tolerance in soybean, four

收稿日期: 2020-03-30 修回日期: 2020-05-28 网络出版日期: 2020-07-23

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200330001>

第一作者研究方向为大豆种质资源研究, E-mail: nkyzhp@126.com

通信作者: 穆志新, 研究方向为作物种质资源, E-mail: muzx2008@sina.com

基金项目: “十三五”重点研发计划课题 (JFYS2016ZY03003792-01); 山西省农业科学院农业科技创新研究课题 (YCX2018401); 山西省重点研发计划项目 (201903D211003)

Foundation projects: National Key R & D Program for Crop Breeding (JFYS2016ZY03003792-01), Shanxi Academy of Agricultural Sciences Agricultural Science and Technology Innovation Research Project (YCX2018401), Key Research and Development Projects in Shanxi Province (201903D211003)

drought tolerant varieties, 18 medium tolerant varieties, 110 intermediate type varieties, 194 relatively drought sensitive varieties and 242 drought sensitive varieties were identified.

Key words: soybean; germplasm resources; germination stage; drought resistance; subordination function method

随着全球气候的变化,干旱成为限制我国农业生产的主要自然灾害之一。据统计,仅2016年,全国作物受旱面积共 $2.02 \times 10^5 \text{ hm}^2$,所造成的直接经济损失可达484亿元^[1]。山西省地处黄土高原,属于温带大陆性季风气候,年降水量介于400~650 mm,降水高度集中于6-8月,约占全年降水量的70%^[2]。山西省旱地多,春季风多风大,土壤失墒快,极易发生春旱^[3]。大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)原产于我国,是重要的粮食作物和油料作物之一,是一种对水分缺失较为敏感的豆类作物^[4]。大豆萌发期是大豆生活史的重要阶段,在干旱胁迫下,大豆品种的萌发期耐旱性与田间出苗率、幼苗健壮程度密切相关,是大豆耐旱鉴定评价的关键时期之一^[5]。因此,除开辟水源、发展节水灌溉、节水栽培等措施之外,筛选及培育萌发期耐旱大豆品种是节本增效的重要途径之一。

植物种子萌发时需要充足的水分,才能进行正常的生理生化活动^[6]。在干旱胁迫下,种子内可溶性蛋白质、可溶性糖、淀粉和脂肪等主要贮藏物质降解速度和强度降低^[7],且种子的发芽势、发芽率、胚根长度、幼苗长度等多种性状均会受到抑制^[8]。随着干旱程度的增加,发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等萌发指标受到抑制而降低,但耐旱性强的品种发芽势、发芽率与对照相比降幅较小,敏感型品种发芽势、发芽率则呈相反趋势^[9]。同时,植物具有干旱复水补偿效应,刘佳月等^[10]对受到极端干旱胁迫后未发芽的种子进行复水后发现,种子仍保持活力,复水至适宜条件后,种子萌发率在70%以上。

目前,在萌发期耐旱性鉴定中,干旱胁迫主要采用甘露醇、蔗糖、聚乙二醇等高渗溶液进行干旱模拟。其中PEG-6000因其对细胞毒性小、易于控制、实验周期短等特点而被广泛使用^[11]。前人对大豆萌发期耐旱鉴定所采用的适宜PEG-6000浓度存在差异。舒英杰等^[12]对大豆萌发期耐旱鉴定适宜PEG-6000浓度进行筛选,结果表明,20%~25%的PEG-6000为适宜浓度;刘博等^[13]使用5个山西省主栽品种对PEG-6000浓度进行筛选,认为15%~20%是大豆萌发期耐旱鉴定的理想浓度。在

大豆萌发期耐旱鉴定方面,肖佳雷等^[14]使用20%PEG-6000,以相对发芽率为评价指标,对黑龙江省的78份主推品种进行萌发期耐旱鉴定,筛选出5份耐旱种质。谭春燕等^[15]使用15%PEG-6000对20份大豆种质进行胁迫,并利用7个生理生化指标结合隶属函数评价法对20份春大豆进行耐旱鉴定,筛选出5份耐旱材料。周玉丽等^[16]对30份大豆种质进行耐旱鉴定,结果表明大豆种子吸水率、发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等均存在显著差异,认为这些指标可以作为大豆种子萌发期耐旱性的鉴定指标,同时筛选出4份耐旱性强的种质。

前人对大豆萌发期耐旱鉴定开展了大量工作,初步建立了大豆萌发期耐旱鉴定体系、鉴定评价指标、耐旱性分级标准,并筛选出一批萌发期耐旱种质^[12-16]。本研究通过采用适宜浓度的PEG-6000溶液模拟萌发期干旱环境,对568份大豆种质资源进行了萌发期耐旱鉴定,筛选出萌发期耐旱种质,为山西省大豆抗旱育种、抗旱机制研究提供材料基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2018年11月至2019年4月在山西农业大学农业基因资源研究中心完成。供试种质共计568份详见(<http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200330001>,附表1),由山西省种质库和中国农业科学院作物科学研究所提供。主要来源于中国黄淮海产区,其中山西省375份、北京市44份、河北省41份、山东省17份、河南省14份、甘肃省13份、辽宁省13份、陕西省5份、江苏省4份、宁夏回族自治区2份、吉林省3份、安徽省3份、黑龙江省1份、广西壮族自治区1份、浙江省1份、湖北省1份,国外21份,未知来源9份。

1.2 试验设计

1.2.1 萌发期模拟干旱胁迫适宜浓度的确定 为筛选适宜浓度的PEG-6000溶液,以相对发芽率为指标,对60份大豆进行初步筛选,试验方法及评价指标参考《大豆种质资源描述规范和数据标

准》^[17]。选择 2 份耐旱性强(周豆 17: 相对发芽率 0.98、TN4-94: 相对发芽率 0.97), 2 份耐旱性弱(汾豆 78: 相对发芽率 0.39、品豆 21: 相对发芽率 0.10)的大豆种质作为试验材料, 设置 10%、15%、16%、18%、20%、30% 6 个浓度梯度的 PEG-6000 溶液在种子萌发期进行胁迫。

每份材料挑选大小一致、表面光滑、无破损的种子 180 粒, 参考刘海坤等^[18]氯气发生法对种子进行消毒。气体反应体系为 15% 次氯酸钠溶液 100 mL, 5 mol/L 的盐酸 50 mL, 消毒 4 h。待氯气散尽后, 将消毒后的种子迅速放入预先灭菌的培养皿中, 并转移至超净操作台上待用。试验以双层滤纸为芽床, 在培养皿(直径 9 cm)中加入 20 mL 适宜浓度的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫处理, 对照加入等量无菌水, 置于光照培养箱(博讯 BSG-250)中发芽, 温度 25 ℃, 相对湿度 80%, 光暗周期为 16/8 h, 实验组与对照组各 3 次重复, 每重复 30 粒种子。以后每日补充适量 PEG-6000 溶液或无菌水, 保持滤纸湿润, 隔 3 d 更换一次滤纸。以胚芽为种子长 1/2, 胚根长约为种子身长的一半为发芽标准, 每日统计发芽数直至第 8 天, 每皿选取 5 株具有代表性的大豆幼苗测量胚根长度、幼苗长度。

1.2.2 萌发期耐旱鉴定 以 568 份大豆种质为材料, 使用适宜浓度的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫环境, 对照为等量无菌水, 3 次重复。试验方法如 1.2.1 所述。

1.3 测定指标

对发芽势、发芽率、胚根长度、苗高、萌发指数、简易活力指数等 6 个指标进行测定, 测定方法参考李玲等^[19]。

1.4 数据处理与评价方法建立

采用 Excel 2010 与 SPSS 20.0 软件进行数据统计及分析。

参考李玲等^[19]的方法, 以大豆各种质 6 个指标的测量值作为基础数据, 计算相对发芽势、相对发芽率、萌发耐旱指数、活力指数、相对胚根长度、相对苗高等 6 个耐旱指数。并采用平均隶属函数法对大豆种质进行萌发期耐旱性综合评价^[20], 公式如下。

$$\hat{F}_{ij} = (F_{ij} - F_{jmin}) / (F_{jmax} - F_{jmin}) \quad \bar{F}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \hat{F}_{ij}$$

式中, \hat{F}_{ij} 为某份种质某一指标的测定值, F_{jmin} 为该测定值中的最小值, F_{jmax} 为该测定值的最大值。

\hat{F}_{ij} 为 i 品种该指标的隶属函数值, \bar{F}_i 为 i 品种的总隶属函数值, n 为指标数。

根据相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对苗高、萌发耐旱指数、活力指数 6 个指标的总隶属函数值区分耐旱等级。耐旱等级标准如下^[5]: 耐旱型: $\bar{F}_i \geq 0.8$; 较耐旱型: $0.6 \leq \bar{F}_i < 0.8$; 中间型: $0.4 \leq \bar{F}_i < 0.6$; 较敏感型: $0.2 \leq \bar{F}_i < 0.4$; 敏感型: $\bar{F}_i < 0.2$ 。

2 结果与分析

2.1 适宜 PEG-6000 浓度筛选

不同浓度 PEG-6000 溶液对 4 份大豆种质萌发期胁迫结果见表 1。PEG-6000 溶液浓度为 10%~18% 时, 种子发芽; PEG-6000 浓度为 20% 时, 耐旱种质发芽率受到显著抑制, 且敏感种质不发芽; PEG-6000 溶液浓度为 30% 时, 种子均不发芽。结果表明, PEG-6000 溶液在 0~20% 范围内, 种子具有发芽能力, 当 PEG-6000 溶液浓度为 30% 时, 种子受到严重抑制, 均不能萌发。4 份材料种子的发芽势、发芽率、萌发指数、胚根长度 4 个指标值随着 PEG-6000 溶液浓度的增加而降低。

15%~18% PEG-6000 溶液胁迫下, 耐旱种质除发芽率外其他 3 个指标值与对照相比差异极显著; 而敏感种质的 4 个指标值与对照值相比, 差异极显著。结果表明, 大豆萌发期耐旱鉴定所适宜的 PEG-6000 浓度范围为 15%~18%。

在 15% PEG-6000 处理下, 耐旱种质的发芽率与对照相比差异不显著。而 16% PEG-6000 处理下, 发芽势、胚根长度、萌发指数、发芽率与对照相比差异极显著或显著。同时, 16% PEG-6000 处理下发芽势、发芽率与 15% PEG-6000 处理相比, 差异极显著或显著。结果表明, 16% PEG-6000 溶液的胁迫程度高于 15% PEG-6000 溶液。为提高对耐旱种质的筛选效力, 本研究进而采用 16% PEG-6000 溶液对 568 份种质进行筛选。

2.2 干旱胁迫对大豆种质萌发的影响

采用 16% PEG-6000 溶液对 568 份大豆种质进行模拟干旱胁迫, 结果见表 2。发芽势、发芽率、胚根长度、苗高、萌发指数、简易活力指数的平均值均小于对照, 表明在干旱胁迫下这些性状均受到了抑制。简易活力指数平均值变化率为 -93%, 受抑制程度最大, 其次为苗高、萌发指数、发芽势、胚根长度、发芽率。结果表明不同的性状受到的抑制程度不同。

表 1 不同 PEG-6000 浓度下描述统计分析
Table 1 Descriptive statistical analysis at different PEG-6000 concentrations

耐旱性 Drought tolerance	PEG-6000 浓度 (%) Concentration	发芽势 GE	发芽率 GR	胚根长度 (mm) RL	萌发指数 GI
耐旱种质 Drought tolerant varieties	0 (CK)	0.76 ± 0.16Aa	0.93 ± 0.06Aa	64.58 ± 4.87Aa	1.48 ± 0.20Aa
	10	0.71 ± 0.13Aa	0.93 ± 0.08Aa	59.92 ± 2.62Ab	1.32 ± 0.16Aa
	15	0.42 ± 0.04Bb	0.87 ± 0.07Aa	42.13 ± 2.21Bc	0.99 ± 0.05Bb
	16	0.20 ± 0.05Cc	0.77 ± 0.05Ab	33.84 ± 4.49Cd	0.78 ± 0.08Bc
	18	0.13 ± 0.04Cc	0.62 ± 0.16Bc	22.08 ± 2.04De	0.51 ± 0.20Cd
	20	0.09 ± 0.09Cc	0.18 ± 0.10Cd	7.84 ± 1.99Ef	0.21 ± 0.14De
	30	0	0	0	0
敏感种质 Drought sensitive varieties	0 (CK)	0.81 ± 0.04Aa	0.97 ± 0.05Aa	74.79 ± 11.45 Aa	1.61 ± 0.04Aa
	10	0.78 ± 0.03Aa	0.94 ± 0.05Aa	54.39 ± 3.90Bb	1.30 ± 0.07Bb
	15	0.17 ± 0.08Bb	0.30 ± 0.11Bb	9.40 ± 7.04Cc	0.35 ± 0.14Cc
	16	0.05 ± 0.03Cc	0.12 ± 0.06Cc	4.35 ± 2.04Cc	0.13 ± 0.06Cc
	18	0.03 ± 0.04Cc	0.06 ± 0.0Cc	1.85 ± 0.55Cc	0.07 ± 0.05Cc
	20	0	0	0	0
	30	0	0	0	0

多重比较采用 LSD 法检验,不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)
Multiple comparisons were tested by LSD method, different small letters mean significant differences at 0.05 level, different capital letters mean significant differences at 0.01 level. GE: Germination energy, GR: Germination rate, RL: Radical length, GI: Germination index. The same as below

表 2 568 份大豆种质萌发期干旱胁迫下各性状的比较分析
Table 2 Comparison of the germination traits for 568 accessions of soybean under drought stress

处理 Treatments	指标 Index	发芽势 (%) GE	发芽率 (%) GR	胚根长度 (mm) RL	苗高 (mm) HL	萌发指数 GI	简易活力指数 SVI
ddH ₂ O	最大值	100.00	100.00	179.99	88.43	2.83	86.79
	最小值	33.33	80.00	20.14	15.09	0.57	3.98
	平均值	73.33	86.81	55.97	39.73	1.68	34.81
	标准差	16.08	6.28	30.06	14.29	0.34	13.74
	变异系数 (%)	21.93	7.23	53.71	35.97	20.24	39.47
16% PEG-6000	最大值	81.11	94.44	103.73	32.94	1.97	28.66
	最小值	0	0	0	0	0	0
	平均值	23.10	31.95	18.96	5.15	0.49	2.31
	标准差	17.80	21.21	17.83	4.21	0.38	2.92
	变异系数 (%)	77.06	66.38	94.04	81.75	77.55	126.41
平均值变化率 Average rate of change		-0.68	-0.63	-0.66	-0.87	-0.71	-0.93

平均值变化率=(处理组指标平均数 - 对照组指标平均数) / 对照组指标平均数
Average rate of change=(The average of experimental group-The average of control group) / The average of control group. HL: Bud length, SVI: Simple vigor index

鉴定指标变异系数越大,则表明该指标越敏感,活力指数在品种间差异较大,变异系数为 1.12,表明易受干旱胁迫的影响。6 个鉴定指标在 16% PEG-6000 溶液的胁迫下受到抑制程度存在差异。其中,该指标易受干旱胁迫的影响;相对发芽率变异系数最小,为 0.65 (表 3)。

表 3 568 份大豆种质萌发期 6 个鉴定指标的比较分析

Table 3 Comparison of the germination indexes for 568 accessions of soybean under drought stress

耐旱指数 Drought tolerance index	相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对胚根长度 RRL	相对苗高 RHL	萌发耐旱指数 GDTI	活力指数 VI
最大值 Maximum	0.99	1.00	1.99	0.52	1.00	0.44
最小值 Minimum	0	0	0	0	0	0
平均值 Average	0.32	0.37	0.36	0.13	0.29	0.06
标准差 SD	0.24	0.24	0.31	0.10	0.21	0.07
变异系数 CV	0.75	0.65	0.87	0.78	0.72	1.12

RGE: Relative germination energy, RGR: Relative germination rate, RRL: Relative radical length, RHL: Relative bud length, GDTI: Germination drought tolerant index, VI: Vigor index. The same as below

2.3 干旱胁迫下鉴定指标的相关性分析

由表 4 可见, 相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长、相对苗高、萌发耐旱指数、活力指数的相关分析表明, 6 个鉴定指标间均呈现极显著正相关, 萌

发耐旱指数与相对发芽势相关性最高 ($r=0.953$)。6 个鉴定指标与平均总隶属函数值呈极显著正相关, 相关程度依次为萌发耐旱指数、相对发芽率、相对发芽势、活力指数、相对苗高及相对胚根长度。

表 4 大豆萌发期不同耐旱评价指标间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between drought tolerance indexes at germination stage in soybean

耐旱指数 Drought tolerance index	相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对胚根长度 RRL	相对苗高 RHL	萌发耐旱指数 GDTI	活力指数 VI
相对发芽率 RGR	0.861**					
相对胚根长度 RRL	0.711**	0.726**				
相对苗高 RHL	0.679**	0.677**	0.682**			
萌发耐旱指数 GDTI	0.953**	0.915**	0.754**	0.706**		
活力指数 VI	0.785**	0.832**	0.726**	0.889**	0.834**	
平均总隶属函数值 TMV	0.931**	0.932**	0.834**	0.842**	0.959**	0.926**

** 表示极显著 ($P<0.01$)

** represent significance level at $P<0.01$. TMV: Total membership value. The same as below

2.4 16% PEG-6000 溶液胁迫下隶属函数耐旱评价

2.4.1 568 份大豆种质资源耐旱级别划分 采用模糊数学的隶属函数法对 568 份种质在 16% PEG-6000 溶液胁迫下的耐旱性进行综合评价 (表 5)。根据大豆耐旱等级划分标准, 经鉴定获得耐旱种质 4 份, 较耐旱种质 18 份, 中间型种质 109 份, 较敏感种质 192 份, 敏感型种质 245 份。

从整体来看, 耐旱及较耐旱种质共 22 份, 占总材料数的 3.87%, 其中地方品种 (系) 11 份, 占地方品种 (系) 数的 5.70%, 占总材料数的 1.94%; 育成品种 (系) 8 份, 占育成品种 (系) 的 2.26%, 占总材

料数的 1.41%; 引进品种 (系) 3 份, 占引进材料数的 14.29%, 占总材料数的 0.53%。

2.4.2 大豆耐旱种质综合评价分析 由表 6 可知, 1 级耐旱型种质的相对发芽势、相对发芽率、活力指数的隶属值均大于 0.7。2 级耐旱型种质相对发芽势、相对发芽率、萌发耐旱指数的隶属值大于 0.6, 但部分种质相对胚根长、相对苗高或活力指数的隶属值较低, 如绿茶豆、PD18807、长杂豆、TN4-94、OAC Talbot、荏黑豆等。结果表明, 在土壤干旱的情况下, 耐旱型种质发芽速度快、发芽率高, 与敏感型种质相比, 其胚根生长较快, 主根扎根能力较强。

表 5 供试材料基于隶属函数耐旱等级的分布情况

Table 5 Distribution of drought tolerant level of test materials based on subordination function method

耐旱等级 Drought tolerant level	平均总隶属函数值 Average value of total membership value	材料数 Numbers	频率(%) Frequency	地方品种(系)数 Local variety	育成品种(系)数 Improved variety	引进品种(系)数 Introduced variety
耐旱型 Drought tolerant type	0.82	4	0.70	2	1	1
较耐旱型 Medium tolerant type	0.69	18	3.17	9	7	2
中间型 Intermediate type	0.48	109	19.19	49	52	8
较敏感型 Relatively drought sensitive type	0.29	192	33.80	70	116	6
敏感型 Drought sensitive type	0.09	245	43.13	63	178	4
合计 Total		568	100	193	354	21

表 6 22 份大豆种质耐旱指标隶属值及耐旱性综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of drought-tolerant index membership value and drought resistance of drought tolerant varieties at germination stage

编号 No.	名称 Name	来源 Origin	统一编号 Accession number	隶属值 Subordinate function value						总隶属函数值 TMV	耐旱等级 Drought tolerant level
				相对发芽势 RGE	相对发芽率 RGR	相对胚根长度 RRL	相对苗高 RHL	萌发耐旱指数 GDTI	活力指数 VI		
1	Saline	美国	-	0.89	1.00	0.47	0.80	0.96	0.95	0.85	1
2	周豆 17	中国河南周口	ZDD24770	0.99	0.97	0.57	0.71	0.86	0.82	0.82	1
3	沈丘平顶式	中国河南沈丘	-	0.86	0.78	0.47	1.00	0.81	0.92	0.81	1
4	圆黑豆	中国山西右玉	ZDD02481	0.77	0.90	0.53	0.94	0.64	1.00	0.80	1
5	Z13-631-2	中国甘肃兰州	-	1.00	0.97	0.49	0.59	1.00	0.69	0.79	2
6	Z13-631-7	中国甘肃兰州	-	0.99	0.76	0.49	0.83	0.87	0.76	0.78	2
7	中黄 66	中国北京	-	0.99	0.87	0.47	0.71	0.86	0.74	0.77	2
8	绿茶豆	中国山西天镇	ZDD08999	0.95	0.97	0.34	0.64	0.94	0.74	0.76	2
9	一窝蜂	中国山西平陆	ZDD08989	0.78	0.85	0.85	0.59	0.69	0.59	0.72	2
10	PD18807	中国山西太原	-	0.79	0.81	0.39	0.82	0.71	0.79	0.72	2
11	TN4-94	美国	-	0.99	0.98	0.55	0.37	0.98	0.43	0.72	2
12	大黄豆(1)	中国山西曲沃	ZDD08889	0.91	0.72	0.78	0.56	0.74	0.48	0.70	2
13	OAC Talbot	美国	-	1.00	0.83	0.57	0.39	0.92	0.38	0.68	2
14	晋遗 20 号	中国山西太原	ZDD18888	0.89	0.71	0.40	0.73	0.64	0.61	0.66	2
15	茬黑豆	中国山西阳城	ZDD09506	0.71	0.86	1.00	0.37	0.62	0.38	0.66	2
16	小黑豆	中国山西长子	ZDD09484	0.80	0.92	0.76	0.37	0.68	0.41	0.66	2
17	晋品 15 号	中国山西太原	ZDD18854	0.94	0.81	0.51	0.40	0.87	0.38	0.65	2
18	长杂豆	中国山西沁水	ZDD02130	0.77	0.78	0.38	0.64	0.72	0.60	0.65	2
19	绿色大豆	中国山西古县	ZDD09130	0.72	0.80	0.51	0.59	0.69	0.56	0.65	2
20	汾豆株选	中国山西太原	ZDD18873	0.83	0.81	0.33	0.48	0.80	0.47	0.62	2
21	圆黄豆(2)	中国山西平鲁	ZDD08615	0.65	0.74	0.37	0.64	0.70	0.57	0.61	2
22	小黑豆	中国山西襄垣	ZDD09490	0.71	0.94	0.35	0.46	0.68	0.51	0.61	2

-: 表示品种(系)统一编号不详

-: unknown the accession number of cultivars (lines)

3 讨论

3.1 PEG-6000 渗透胁迫对种子发芽的影响

PEG-6000 溶液作为高分子渗透剂之一,具有降低水势、模拟干旱环境的作用,其作用机理主要是使植物细胞、组织失水,导致植物得不到所需水分,最终抑制其正常生长发育^[21]。因此,PEG-6000 被广泛应用于多种作物的萌发期耐旱资源的评价与筛选^[8-10]。

由于品种、处理及培育方式的差异,目前大豆种质萌发期耐旱鉴定所适宜的 PEG-6000 浓度尚未统一,15%^[5]、15.5%^[22]、20%^[17]、15%~20%^[13]、20%~25%^[15]等浓度均有使用。本研究使用 4 份耐旱性不同的材料对 PEG-6000 浓度进行筛选,结果表明:在 15% PEG-6000 溶液胁迫下,除发芽率外,种子的发芽势、胚根长度、萌发指数均受到显著的抑制;在 18% PEG-6000 溶液胁迫下,种子发芽率低,胚根几乎不生长。由此可见,15%~18% PEG-6000 是大豆萌发期耐旱鉴定的适宜浓度范围。本研究选择使用 16% PEG-6000 模拟干旱环境,568 份供试材料的发芽率、发芽势、胚根长度、苗高、萌发指数、简易活力指数等 6 个性状均受到显著抑制,可对其耐旱性进行有效评价。

但在 16% PEG-6000 溶液胁迫下,相对胚根长度的最大值为 1.99,其胚根长度大于对照(表 3)。这一结果与郝俊峰等^[23]对苜蓿萌发期的耐旱性的研究结果一致。胚根长度与耐旱性关系密切,耐旱性强的种质在干旱胁迫下,胚根的生长速度快,发根能力强,能很快形成幼苗根系,主根下扎深度大于其他品种^[5]。本研究发现,在 16% PEG-6000 溶液胁迫下,荏黑豆、一窝蜂、大黄豆(1)、小黑豆和周豆 17 这 5 份种质相对胚根长度大于 1.00。由此可见,16%PEG-6000 溶液对这 5 份种质的胚根生长起促进作用,说明这 5 份种质在萌发期具有较强的耐旱性。

3.2 大豆种质萌发期耐旱鉴定指标的选择

植物的耐旱性是一个复杂的综合性状,受多种因子调控,单一的评价指标不能完全反映大豆的耐旱性。本研究对 6 个鉴定指标的比较分析及相关分析表明,不同大豆种质对干旱适应策略不同,是多种机制共同调控的结果。但对大量种质资源进行耐旱鉴定筛选时,对多个性状进行调查工作量大,因此有研究提出对种质资源进行大量筛选时应选择简单、快捷的单一指标,以提高材料筛选效率^[24]。王俊娟等^[24]认为 7 d 胚根长可作为鉴定指标来筛选棉花

种质或后代材料,陈新等^[25]提出种子活力指数可作为裸燕麦萌发期耐旱鉴定优选指标。本研究结果表明,种子活力指数及相对胚根长度是对干旱胁迫较敏感的 2 个指标,在品种(系)间差异较大,若以这 2 个指标作为鉴定指标,易遗漏一部分耐旱种质。如绿茶豆、汾豆株选、荏黑豆、晋品 15 号等材料为较耐旱种质但其相对胚根长度或活力指数的隶属值较低。相关分析表明,萌发耐旱指数与平均总隶属函数值呈极显著正相关($r=0.959$)。同时,萌发耐旱指数变异系数为 0.72,在 6 个指标中属于对干旱胁迫敏感程度较低的指标。因此,对大量种质进行鉴定时,萌发耐旱指数可作为大豆萌发期耐旱初步鉴定指标。这一结论与水稻^[26]、油菜^[27]等作物的萌发期抗旱性研究一致。

3.3 大豆种质萌发期耐旱性鉴定综合评价

前人研究表明,采用单一指标对种质资源耐旱性鉴定结果是不准确的,且不同指标对种质抗旱性强弱的评价也不一致^[28]。因此对大豆种质进行抗旱性鉴定时,除关注种子萌发相关性状外,还应兼顾幼苗的生长势,方可全面评价种质的耐旱性^[29]。目前,多数学者采用相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长度等指标对大豆萌发期耐旱性进行综合评价,这些指标可以较全面地体现种质的萌发速率、出苗率和幼苗健壮程度^[30]。本研究对 568 份大豆种质萌发期耐旱鉴定结果表明,在干旱胁迫下不同种质的性状指标受到的抑制程度不同,且同一种质的不同性状指标受到的抑制程度也不同。相关性分析表明,相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对苗高、萌发耐旱指数、活力指数之间呈极显著正相关,且与平均总隶属函数值呈极显著正相关。因此对大豆种质资源萌发期耐旱性鉴定时,相对发芽势、相对发芽率、相对根长、相对苗高、萌发耐旱指数、活力指数这 6 个指标可以直观、详细地反映出大豆种质在萌发期的耐旱性,可用于对初筛所获得的耐旱种质进行耐旱等级评价。这一结果与朱珍珍等^[31]对小豆耐旱性评价的结论基本一致。

3.4 大豆萌发期耐旱种质与来源的关系

对 22 份耐旱、较耐旱种质进行地理来源分析发现,其中 15 份种质来源于春旱较严重的地区,其中 11 份来自山西省^[2],2 份来自河南省周口市^[32],2 份来自甘肃省^[33],这表明材料的耐旱性与其地理来源有关。从种质类型来看,在耐旱型大豆种质中以地方品种居多,共 11 份,占耐旱种质总数的 50%;其次为育成品种(系)、引进品种(系)。在春

季降水较少或以旱地种植为主的地区,经过长期的自然选择和人工选择,耐旱性较强的种质才能适应干旱环境。

参考文献

- [1] 杨新星,王东侠. 2016 年全国旱灾及抗旱行动情况. 中国防汛抗旱, 2017, 27(1): 30-33
Yang X X, Wang D X. The national drought and drought relief actions in 2016. China Flood & Drought Management, 2017, 27(1): 30-33
- [2] 袁瑞强,龙西亭,王鹏,宋羨方. 山西省降水量时空变化及预测. 自然资源学报, 2015, 30(4): 651-663
Yuan R Q, Long X T, Wang P, Song X F. Tempo-spatial variation and forecast of precipitation in Shanxi province. Journal of Natural Resources, 2015, 30(4): 651-663
- [3] 钱锦霞,王振华. 山西省春旱趋势及对农业的影响. 自然灾害学报, 2008, 17(4): 105-110
Qian J X, Wang Z H. Trend of spring drought in Shanxi Province and its influence on agriculture. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(4): 105-110
- [4] 刘艮舟,盖钧镒,马育华. 江淮下游大豆地方品种抗旱性鉴定的初步研究. 南京农业大学学报, 1989, 12(1): 15-21
Liu G Z, Gai J Y, Ma Y H. Evaluation of drought-tolerance of soybean germplasm from lower Yangze and Huai Valley. Journal of Nanjing Agricultural University, 1989, 12(1): 15-21
- [5] 王利彬,刘丽君,裴宇峰,董守坤,孙聪姝,祖伟,阮英慧. 大豆种质资源萌发期抗旱性鉴定. 东北农业大学学报, 2012, 43(1): 36-42
Wang L B, Liu L J, Pei Y F, Dong S K, Sun C S, Zu W, Ruan Y H. Drought resistance identification of soybean germplasm resources at bud stage. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(1): 36-42
- [6] 陆时万,徐祥生,沈敏健. 植物学. 北京: 人民教育出版社, 1982: 73-77
Lu S W, Xu X S, Shen M J. Botany. Beijing: People's Education Press, 1982: 73-77
- [7] 孙奎香,于道均,张玉凤,丁红,慈敦伟,康涛,戴良香. 水分胁迫对花生种子萌发过程中贮藏物质降解的影响. 中国农学通报, 2012, 28(12): 60-65
Sun K X, Yu Q G, Zhang Y F, Ding H, Ci D W, Kang T, Dai L X. The effects of water stress on the degradation of storage materials during peanut seed germination process. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(12): 60-65
- [8] 王兰芬,武晶,景蕊莲,程须珍,王述民. 绿豆种质资源萌发期抗旱性鉴定. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 498-503
Wang L F, Wu J, Jing R L, Cheng X Z, Wang S M. Drought resistance identification of mungbean germplasm resources at bud stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(3): 498-503
- [9] 王景伟,金喜军,杜文言,史振声,张玉先. 干旱胁迫对芸豆种子萌发及生理特性的影响. 干旱区研究, 2014, 31(4): 734-738
Wang J W, Jin X J, Du W Y, Shi Z S, Zhang Y X. Effect of drought stress on germination and physiological properties of *Phaseolus coccineus* Seeds. Arid Zone Research, 2014, 31(4): 734-738
- [10] 刘佳月,杜建材,王照兰,崔乐乐,赵彦慧. 紫花苜蓿和黄花苜蓿种子萌发期对 PEG 模拟干旱胁迫的响应. 中国草地学报, 2018, 40(3): 29-36, 63
Liu J Y, Du J C, Wang Z L, Cui L L, Zhao Y H. Response of *Medicago sativa* L. and *M. falcata* L. to PEG drought stress in seed germination period. Chinese Journal of Grassland, 2018, 40(3): 29-36, 63
- [11] Khajeh-Hosseini M, Powell A A, Bingham I J. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. Seed Science and Technology, 2003, 31(3): 715-725
- [12] 舒英杰,周玉丽,时侠清,胡能兵,邵庆勤,杜军利. 大豆种子萌发期耐旱性鉴定的适宜 PEG-6000 浓度筛选. 大豆科学, 2015, 34(1): 56-59
Shu Y J, Zhou Y L, Shi X Q, Hu N B, Shao Q Q, Du J L. Screening of appropriate PEG-6000 concentration for the identification of soybean drought tolerance. Soybean Science, 2015, 34(1): 56-59
- [13] 刘博,卫玲,肖俊红,杨海峰,段学艳,陈爱萍,任瑞兰. PEG 模拟干旱条件下大豆萌发特性研究. 种子, 2018, 37(12): 56-60
Liu B, Wei L, Xiao J H, Yang H F, Duan X Y, Chen A P, Ren R L. Study on the characters of seed germination in soybean under drought stress simulated by polyethylen. Seed, 2018, 37(12): 56-60
- [14] 肖佳雷,李炜,来永才,毕影东,李婉,李丽丽,赵明,王宗涛,战妍. 黑龙江省春大豆种质资源萌发期抗旱鉴定与筛选. 作物杂志, 2012(1): 142-145
Xiao J L, Li W, Lai Y C, Bi Y D, Li W, Li L L, Zhao M, Wang Z T, Zhan Y. Identification and screening of drought-desistant spring soybean germplasm in Heilongjiang. Crops, 2012(1): 142-145
- [15] 谭春燕,陈佳琴,朱星陶,杨春杰,龚丽娜. 干旱胁迫下 20 份春大豆材料的种子活力及抗旱性评价. 种子, 2018, 37(7): 74-78
Tan C Y, Chen J Q, Zhu X T, Yang C J, Gong L N. Evaluation on seed vigor and drought resistance of 20 spring soybean varieties under the PEG stress. Seed, 2018, 37(7): 74-78
- [16] 周玉丽,朱平,胡能兵,邵庆琴,杜军利,舒英杰. 不同大豆品种萌发期耐旱性评价及耐旱种质筛选. 大豆科学, 2015, 34(4): 616-623
Zhou Y L, Zhu P, Hu N B, Shao Q Q, Du J L, Shu Y J. Evaluation of drought resistance of different soybean at seed germination stage and the screening of germplasm. Soybean Science, 2015, 34(4): 616-623
- [17] 邱丽娟,常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 71-72
Qiu L J, Chang R Z. Descriptors and data standard for soybean. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 71-72
- [18] 刘海坤,卫志明. 一种大豆成熟种子的消毒方法. 植物生理学通讯, 2002, 38(3): 260-261
Liu H K, Wei Z M. A disinfection method for mature soybean seeds. Plant Physiology Journal, 2002, 38(3): 260-261
- [19] 李玲,沈宝宇,张天静,杨涛,刘荣,宗绪晓. 豌豆种质资源萌发期耐旱性评价及耐旱种质筛选. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 778-785
Li L, Shen B Y, Zhang T J, Yang T, Liu R, Zong X X.

- Evaluation and screening of Pea (*Pisum Sativum*) germplasm resources for drought resistance during germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(4): 778-785
- [20] 刘学义. 大豆抗旱性评定方法探讨. *中国油料作物学报*, 1986(4): 23-26
- Liu X Y. Discussion on evaluation method of drought resistance of soybean. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1986(4): 23-26
- [21] Muscolo A, Sidari M, Anastasi U, Santonoceto C, Maggio A. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 2014, 9(1): 354-363
- [22] 赵晶云. 大豆萌发期抗旱性状的 AFLP 分析及其 QTL 定位. 山西: 山西农业大学, 2003
- Zhao J Y. Analysis of drought resistance in sprouting soybean by AFLP and QTL mapping. Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2003
- [23] 郝俊峰, 张玉霞, 贾玉山, 格根图, 田永雷, 李宇宇. PEG-6000 胁迫下苜蓿萌发期抗旱性鉴定与评价. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2020, 48(11): 2-10
- Hao J F, Zhang Y X, Jia Y S, Ge G T, Tian Y L, Li Y Y. Identification and evaluation of drought resistance of alfalfa at germination stage under PEG-6000 stress. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2020, 48(11): 2-10
- [24] 王俊娟, 叶武威, 王德龙, 樊伟莉, 王帅. 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. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(6): 840-846
- Wang J J, Ye W W, Wang D L, Fan W L, Wang S. Germination characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance of 41 accessions of cotton germplasm at seed germination stage under PEG6000 stress. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(6): 840-846
- [25] 陈新, 宋高原, 张宗文, 吴斌. PEG-6000 胁迫下裸燕麦萌发期抗旱鉴定与评价. *植物资源遗传学报*, 2014, 15(6): 1188-1195
- Chen X, Song G Y, Zhang Z W, Wu B. Identification and evaluation of drought resistance of Naked Oat (*Avena nuda* L.) under PEG-6000 stress at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(6): 1188-1195
- [26] 安永平, 强爱玲, 张媛媛, 张文银, 曹桂兰, 韩龙植. 渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(4): 421-426
- An Y P, Qiang A L, Zhang Y Y, Zhang W Y, Cao G L, Han L Z. Study on characteristics of germination and drought-resistance Index by osmotic stress in rice. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(4): 421-426
- [27] 张霞, 谢小玉. PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究. *西北农业学报*, 2012, 21(2): 72-77
- Zhang X, Xie X Y. Studies on identification indexes of drought resistance by PEG during seed germination of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21(2): 72-77
- [28] 贾寿山, 朱俊刚, 王曙光, 史玉刚, 孙黛珍. 山西小麦地方品种萌发期的抗旱性. *华北农学报*, 2011, 26(2): 213-217
- Jia S X, Zhu J G, Wang S G, Shi Y G, Sun D Z. Drought resistance of Shanxi wheat landraces at sprouting stage. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(2): 213-217
- [29] 周红霞. 大豆种质芽苗期耐旱性评价及全基因组关联分析. 山西: 山西农业大学, 2015
- Zhou H X. Evaluation of soybean drought tolerance during seeding stage and association analysis. Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2015
- [30] 李俐俐, 刘天学, 赵霞. 大豆种子萌发期对渗透胁迫的响应. *大豆科学*, 2007, 26(4): 550-554
- Li L L, Liu T X, Zhao X. Response of soybean varieties to osmotic stress at germination stage. *Soybean Science*, 2007, 26(4): 550-554
- [31] 朱珍珍, 陈宏伟, 廖芳丽, 李莉, 刘昌燕, 刘良军, 杨访问, 孙虎, 范如旂, 毛政, 沙爱华, 万正煌. 小豆种子萌发期耐旱性评价及耐旱种质资源筛选. *南方农业学报*, 2019, 50(6): 1183-1190
- Zhu Z Z, Chen H W, Liao F L, Li L, Liu C Y, Liu L J, Yang F W, Sun H, Fan R Q, Mao Z, Sha A H, Fang Z H. Evaluation and screening of adzuki bean germplasm resources for drought tolerance during germination stage. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(6): 1183-1190
- [32] 牛亚豪, 江宪发, 徐峰. 周口市历年干旱分析. *河南水利与南水北调*, 2012(12): 159-160
- Niu Y H, Jiang X F, Xu F. Annual drought analysis of Zhou Kou. *Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion*, 2012(12): 159-160
- [33] 王红丽, 张绪成, 于显枫, 侯慧枝, 方彦杰, 马一凡. 甘肃半干旱区季节性干旱分布特征研究. *甘肃农业科技*, 2018(7): 69-72
- Wang H L, Zhang X C, Yu X F, Hou H Z, Fang Y J, Ma Y F. Distribution characteristics of seasonal drought in semi-arid region of Gansu. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2018(7): 69-72