



# 干旱胁迫对滞绿大豆种子萌发的影响及芽期抗旱性评价

王 鹏<sup>1</sup>, 侯思宇<sup>1,2</sup>, 温宏伟<sup>1</sup>, 李贵全<sup>1</sup>

(1. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学 农业生物工程研究所, 山西 太谷 030801)

**摘 要:**为研究干旱胁迫对滞绿大豆种子萌发性状的影响,以滞绿和非滞绿常规大豆品种(系)为供试材料,通过 PEG 模拟干旱胁迫,对不同基因型大豆种子萌发性状进行了对比分析,并对其抗旱性进行了综合评价。结果表明:滞绿大豆品种在干旱胁迫中后期能维持较高的吸水率,失水时间较常规品种晋大 74 延迟 6 ~ 12 h。PEG 胁迫显著降低了大豆种子的发芽率、发芽势、培根长、下胚轴长、胚根干(鲜)重及贮藏物质转运率。滞绿突变体 *stg* 在胁迫过程中吸水率最大,但发芽能力较弱。*stg* 诱变后代品系 *M9* 种子相对发芽势、相对发芽率和萌发抗旱系数均大于其它品种(系)。常规品种晋大 74 根系的伸长受 PEG 胁迫的影响最大,相对下胚轴长和相对胚根长显著小于晋大滞绿 1 号和 *stg* 诱变后代品系。晋大滞绿 1 号相对胚根长和胚根/下胚轴指数分别为 0.85 和 2.38,显著大于其它品种(系),表明其在 PEG 胁迫下会优先促进胚根的伸长。通过隶属函数值对不同大豆品种(系)进行芽期抗旱性综合评价,结果表明晋大滞绿 1 号为强抗旱类型,其杂交母本晋大 74 为中等抗旱品种。

**关键词:**滞绿大豆;PEG 胁迫;萌发性状;芽期抗旱性

## Effects of Drought Stress on Seed Germination and Evaluation of Drought Resistance in Bud Stage of Stay-green Soybean

WANG Peng<sup>1</sup>, HOU Si-yu<sup>1,2</sup>, WEN Hong-wei<sup>1</sup>, LI Gui-quan<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Institute of Agricultural Biotechnology, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** To study the effect of drought stress on the seed germination of stay-green soybean, the germination characteristics of different soybean seeds were compared and analyzed under PEG osmotic stress, and their drought resistance were evaluated comprehensively. The results showed that the stay-green soybean could maintain higher water absorption rate in the middle and late stage of PEG stress, and the time of loss water delayed 6 – 12 h compared with the common variety Jinda 74. PEG osmotic stress significantly reduced the germination rate, germination energy, radicle length, hypocotyl length, radicle dry (fresh) weight and the storage substance transportation rate of soybean seeds. Stay-green mutant *stg* had the highest water absorption rate but the weakest germination rate under PEG osmotic stress. The relative germination energy, relative germination rate and relative germination index of *M9* were all higher than those of the other varieties (lines). The root elongation of the common variety Jinda 74 was the most affected by PEG osmotic stress, and the relative hypocotyl length and relative radicle length were significantly lower than those of the other varieties (lines). The relative radicle length and relative radicle length/relative hypocotyl length ratio of Jinda stay-green 1 were 0.82 and 2.38 respectively, significantly higher than those of the other varieties (lines), indicating that it priority to promoted radicle elongation under PEG stress. The evaluation on drought resistance using subordinate function values showed that stay-green was a type of strong drought resistance and Jinda stay-green 1 was a type of medium drought resistance. The results of this study are significant to the soybean germplasm innovation and the breeding of drought-resistant varieties.

**Keywords:** Stay-green variety; PEG osmotic stress; Germination traits; Drought resistance in bud stage

山西省春季降水极少,土壤墒情不足,容易发生春旱,从而影响大豆的出苗,造成作物减产。大豆生长发育需水量大,对水分的亏缺比较敏感<sup>[1-2]</sup>。种子萌发作为生长发育的第一阶段,是植物生活史中极为重要的时期,受到水分、温度、氧气、光照、土壤等非生物因素,以及自身生理生化特征等多种因素的综合调控。其中,种子吸水能力的高低是其能

否正常萌发的先决条件。干旱造成的水分缺乏轻则延缓种子萌发的速率和时间,重则使种子不能萌发。通过 PEG 溶液进行模拟干旱胁迫试验,能够显著降低不同植物种子的发芽势、发芽率和萌发指数<sup>[3-6]</sup>。研究表明,PEG 处理可以不同程度地降低大豆种子的根长,并且浓度越大降低趋势越明显<sup>[7-8]</sup>。此外,干旱明显拟制了大豆种子贮藏物质

收稿日期:2020-06-16

基金项目:国家重点研发计划(2017YFE0111000);欧盟 H2020 研究创新项目(727312);山西农业大学青年创新项目(20142-03)。

第一作者:王鹏(1983—),男,博士,讲师,主要从事大豆品质性状遗传研究和特异种质资源创新。E-mail:sxauwp@126.com。

通讯作者:李贵全(1954—),男,教授,博导,主要从事大豆遗传育种研究和植物遗传改良及种质创新研究。E-mail:li-gui-quan@126.com。



的分解与转运,表现为大豆幼苗根的鲜重、干重以及贮藏物质转运率降低<sup>[9]</sup>。

在水资源日益短缺的情况下,要消除干旱对于作物生长的威胁,除采取更加高效的田间灌溉措施和科学合理的栽培技术手段外,更要进一步挖掘作物本身的抗旱潜力,利用特殊材料寻找新的抗旱基因,进而培育抗旱能力更强的品种。因此,鉴定和筛选耐旱型大豆种质资源对于大豆抗旱育种,增加大豆产量具有重要的意义<sup>[10]</sup>。一些研究表明,滞绿突变体由于叶绿素降解缓慢,可能会对植物的抗旱性产生一定的影响。如小麦滞绿突变体 *tasgl* 相比其野生型在灌浆期具有更强的抗旱性<sup>[11]</sup>。但目前关于滞绿突变对大豆抗旱能力的影响,特别是对于大豆种子萌发相关性状的研究还鲜有报道。本研究主要针对 PEG 胁迫过程中不同滞绿型大豆种子的萌发特性进行研究,并对不同品种芽期抗旱性进行综合评价,以阐明滞绿突变对于大豆萌发期抗旱能力的影响。旨在丰富栽培大豆的遗传基础,为大

豆抗旱品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为本课题组自主选育的大豆新品种晋大滞绿 1 号(Z1)及其 2 个亲本晋大 74(JD74)和 Z-绿仁双青豆(*stg*)。另外还包括 3 个诱变后代品系 *M3*、*M9*、*M12*,由 *stg* 经<sup>60</sup>Co 射线辐照处理获得,供试种子为性状表现稳定的第 7 代种子(已经过连续 7 代的自交纯合和表型筛选)。其中,JD74 为常规栽培品种,通过山西省作物审定委员会审定,抗旱性强,丰产性好,综合农艺性状优良,曾以 4 709.4 kg·hm<sup>-2</sup>创黄淮海地区夏播大豆超高产记录;*stg* 为自然滞绿突变体,成熟期叶片不黄化;Z1 以 JD74 为母本,*stg* 为父本,经有性杂交,采用系谱法选育而成,继承了父本的滞绿性状,植株叶片从衰老到死亡无黄化迹象,同时籽粒种皮色泽碧绿,具有良好的商品性。供试材料具体性状详见表 1。

表 1 供试材料基本情况  
Table 1 The characters of different soybean varieties ( lines)

品种(系) Varieties( lines )	叶形 Leaf shade	花色 Flower colour	种皮颜色 Seed colour	子叶颜色 Cotyledon colour	叶片是否滞绿 Stay green or not
Z1	披针形	白色	绿	绿	是
JD74	卵圆形	白色	黄	黄	否
<i>stg</i>	披针形	紫色	绿	绿	是
<i>M3</i>	卵圆形	白色	黄	黄	否
<i>M9</i>	中间型	紫色	绿	绿	是
<i>M12</i>	披针形	紫色	绿	绿	是

1.2 试验设计

精选大小均匀一致、种皮无破损的种子,洗净后用 5% 次氯酸钠消毒 40 s,蒸馏水冲洗干净后,用滤纸吸干附着水分,置于直径为 12.5 cm 的培养皿中,采用纸间发芽法,以双层滤纸作发芽床,上面再盖一层滤纸。

种子吸水试验,取 30 粒种子置于培养皿中,称量干重,纸床加入 25 mL 25% (W/V) PEG 6000 溶液,放入培养箱中,温度设定为 25 ℃,持续 60 h,3 次重复,并计算种子的吸水率。

种子萌发试验,取 10 粒种子置于培养皿中,加入 25 mL 15% (W/V) PEG 6000 溶液进行水分胁迫处理<sup>[12]</sup>,以蒸馏水处理为对照(CK),3 次重复。将培养皿置于光照培养箱中,25 ℃/14 h(白天),15 ℃/10 h(夜晚),每天清洗种子以防发霉,并更换 PEG 溶液 2 次。期间用相同浓度的 PEG 6000 溶液保持发芽床的湿润,使大豆种子在发芽期间持续处于模拟干旱条件。种子着床第 2 天开始,每天统

计发芽个数,以胚芽突破种皮 2 mm 为发芽标准。发芽结束后,随机挑选 5 株幼苗,测量胚根及下胚轴长度。称量胚芽各部分鲜重,烘干至恒重后称量各组分干重。采用隶属函数值法,对萌发期不同大豆品种(系)进行抗旱性综合评价。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子吸水率 大豆种子每隔 6 h 称重 1 次,计算吸水率。吸水率(%)=(种子湿重-种子干重)/种子干重×100。

1.3.2 种子萌发相关性状 第 5 天统计发芽势,第 8 天统计发芽率<sup>[12]</sup>,公式为:

发芽势(Germination Energy, GE/%)=(第 5 天正常发芽种子数/供试种子数)×100

发芽率(Germination Rate, GR/%)=(正常发芽种子数/供试种子数)×100

萌发指数(Germination Index, GI)=∑(Gt/Dt)

式中,Gt 为时间 t 日的发芽数,Dt 为相应的发



芽天数。

贮藏物质转运率 (Transportation Ratio of Storage Substance, TRSS/% ) = ( 总干重 - 子叶干重 ) / 总干重 × 100

为避免品种间差异对试验结果带来的影响,采用性状相对值作为评价大豆抗旱性的主要指标,相对值为 PEG 处理值/对照值。计算相对发芽势 (Relative Germination Energy, RGE)、相对发芽率 (Relative Germination Rate, RGR)、相对下胚轴长 (Relative Hypocotyle Length, RHL) 和相对胚根长 (Relative Radicle Length, RRL)。萌发指数的相对值为萌发抗旱系数 (Relative Germination Index, RGI),胚根/下胚轴的相对值为胚根/下胚轴指数 (Relative Radicle Length/Relative Hypocotyls Length, RRL/RHL)。

1.3.3 抗旱性综合评价 选取相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长、萌发抗旱系数和胚根/下胚轴指数等 5 个与大豆芽期抗旱性密切相关的指标,计算各个性状的隶属函数值以及每个品种(系)的平均隶属值,对不同大豆品种(系)芽期抗旱能力进行综合评价。隶属函数计算公式为:

$$R_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$
式中, $R_{ij}$ 为第  $i$  个品种第  $j$  个性状的隶属函数值,为 0~1; $X_{ij}$ 为第  $i$  个品种第  $j$  个性状值, $X_{min}$ 为各品种第  $j$  个性状的最小值, $X_{max}$ 为各品种第  $j$  个性状的最大值。

将每一个品种各个指标的抗旱隶属函数值进行累加,求出平均值。计算公式为:

$$R_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{ij}$$
式中, $n$  为参与统计的性状的数量, $R_i$  为第  $i$  个品种的抗旱隶属函数平均值。平均值越大,说明品种的抗旱性越强,一般分为 5 级:

- 1 级为强抗旱型,平均隶属值为 0.8~1.0;
- 2 级为中等抗旱型,平均隶属值为 0.6~0.8;
- 3 级为中间型,平均隶属值为 0.4~0.6;
- 4 级为干旱较敏感型,平均隶属值为 0.2~0.4;
- 5 级为干旱敏感型,平均隶属值为 0~0.2。

### 1.4 数据分析

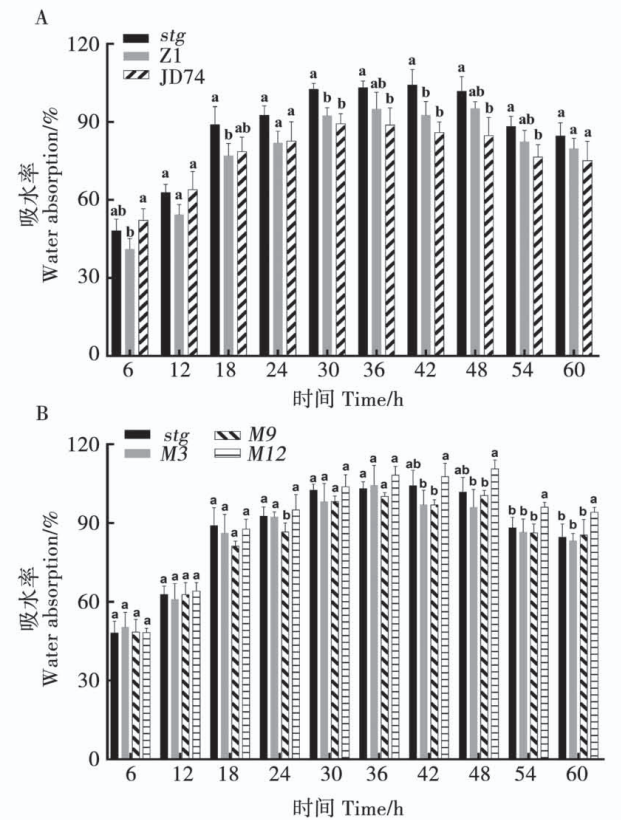
采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 进行数据处理和分析,采用 GraphPad Prism 7 进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 PEG 胁迫对大豆种子吸水率的影响

种子吸水率可作为一种鉴定大豆抗旱性的生理指标,吸水率越高,抗旱性越强<sup>[13]</sup>。由图 1 可知,PEG 胁迫初期大豆种子吸水速率快,6 h 即接近 50%,之后进入缓慢吸水阶段,且随着胁迫时间的持

续,体内水势逐渐高于外界环境,各品种(系)均出现失水现象。其中,常规品种 JD74 种子吸水率在胁迫 12 h 内高于两个滞绿品种 *stg* 和 Z1(图 1 A),并于处理 30 h 达到最大值;滞绿突变体 *stg* 种子吸水率于胁迫 18 h 后超过 JD74,此后也始终高于其它 2 个大豆品种;滞绿品种 Z1 种子吸水率 30 h 后才超过 JD74,但始终低于其父本 *stg*。整体来看,只有滞绿突变体 *stg* 种子的吸水率在胁迫处理 30~48 h 期间超过 100%,说明其在干旱胁迫下仍具有较强的吸水能力。滞绿突变体 *stg* 诱变后代不同品系当中,M12 种子吸水能力表现最强,其最大吸水率甚至超过 *stg*(图 1 B)。



同一时期不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Different lowercase in the same time indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

图 1 PEG 胁迫下不同大豆品种(系)吸水率的变化  
Fig. 1 Changes of water absorption rate of soybean under PEG osmotic stress

### 2.2 PEG 胁迫对大豆种子萌发的影响

由表 2 可知,15% 的 PEG 处理显著降低了大豆种子的发芽势、发芽率和萌发指数。清水(CK)条件下,滞绿品种 Z1 种子的发芽势和发芽率均为最大,说明该品种在正常条件下发芽表现最好。诱变后代品系 M9 种子相对发芽势、相对发芽率和萌发抗旱系数均大于其它品种(系),说明其在 PEG 胁迫条件下发芽速度快,发芽比较均匀,整体情况最好。滞绿品种 Z1 相对发芽势显著高于常规品种 JD74,

相对发芽率低于 JD74,但差异不显著。滞绿突变体 *stg* 发芽能力较弱,在 CK 条件下的各项发芽指标都较低,虽然在胁迫过程中吸水率最大,但相对发

芽势、相对发芽率和萌发抗旱系数都显著低于其它品种(系)。

表 2 PEG 胁迫对大豆发芽率和发芽势的影响

Table 2 Effects of PEG stress on germination energy and germination rate

品种(系)	处理	发芽势	相对发芽势	发芽率	相对发芽率	萌发指数	萌发抗旱系数
Variety( line)	Treatment	GE/%	RGE	GR/%	RGR	GI	RGI
<i>stg</i>	CK	26.7 ± 3.3 f	0.13 ± 0.02 e	32.2 ± 3.9 f	0.21 ± 0.02 b	2.81 ± 0.49 e	0.14 ± 0.02 c
	PEG	3.3 ± 0.0 g		6.7 ± 0.0 g		0.40 ± 0.03 f	
Z1	CK	92.2 ± 5.1 a	0.73 ± 0.09 b	96.7 ± 5.8 a	0.83 ± 0.06 a	12.32 ± 1.02 a	0.42 ± 0.03 b
	PEG	66.7 ± 6.7 cd		80.0 ± 3.3 cd		5.18 ± 0.54 cd	
JD74	CK	88.9 ± 5.1 a	0.63 ± 0.06 cd	93.3 ± 3.3 ab	0.88 ± 0.07 a	12.43 ± 1.02 a	0.41 ± 0.05 b
	PEG	55.6 ± 7.7 e		82.2 ± 6.9 cd		5.09 ± 0.47 cd	
<i>M3</i>	CK	85.6 ± 10.2 a	0.60 ± 0.03 d	88.9 ± 6.9 abc	0.87 ± 0.07 a	12.14 ± 0.91 a	0.40 ± 0.06 b
	PEG	51.1 ± 8.4 e		76.7 ± 3.3 de		4.85 ± 0.38 d	
<i>M9</i>	CK	86.7 ± 0.0 a	0.85 ± 0.07 a	87.8 ± 1.9 bc	0.95 ± 0.06 a	11.73 ± 0.32 a	0.52 ± 0.03 a
	PEG	73.3 ± 5.8 bc		83.3 ± 3.3 cd		6.04 ± 0.26 c	
<i>M12</i>	CK	81.1 ± 6.9 ab	0.70 ± 0.03 bc	84.4 ± 6.9 cd	0.85 ± 0.09 a	10.31 ± 0.46 b	0.46 ± 0.02 ab
	PEG	56.7 ± 3.3 de		71.1 ± 5.0 e		4.73 ± 0.11 d	

同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Different lowercase in the same column indicate significant difference( $P < 0.05$ ). The same below.

2.3 PEG 胁迫对大豆胚根和下胚轴生长的影响

根是作物吸收水分的主要器官,并且对干旱的响应比较敏感,根系的特性和活动与抗旱性有密切的关系<sup>[14]</sup>。表 3 结果显示,PEG 胁迫明显抑制了大豆下胚轴和胚根的生长。CK 条件下,常规品种 JD74 下胚轴长和胚根长最大,其次是 Z1。胁迫处理后,JD74 相对下胚轴长为 0.26,相对胚根长为

0.41,显著小于滞绿品种 Z1 和其它滞绿突变体诱变后代品系,说明萌发期 JD74 根系的伸长和发展受 PEG 渗透胁迫的影响最大。滞绿品种 Z1 相对胚根长和胚根/下胚轴指数分别为 0.85 和 2.38,显著大于其它品种(系),表明其在 PEG 胁迫条件下会优先促进胚根的伸长,有利于种子吸收更多的水分。

表 3 PEG 胁迫对大豆胚根和下胚轴生长的影响

Table 3 Effects of PEG stress on the growth of radicle and hypocotyls

品种(系)	处理	下胚轴长	相对下胚轴长	胚根长	相对胚根长	胚根/下胚轴	胚根/下胚轴指数
Variety( line)	Treatment	Hypocotyls length/cm	RHL	Radicle length/cm	RRL	RL/HL	RRL/RHL
JD74	CK	7.24 ± 0.47 a	0.26 ± 0.02 c	4.24 ± 0.39 a	0.41 ± 0.11 c	0.59 ± 0.08 d	1.60 ± 0.39 c
	15% PEG	1.87 ± 0.19 e		1.72 ± 0.29 e		0.92 ± 0.15 bcd	
Z1	CK	5.37 ± 0.79 b	0.36 ± 0.03 bc	2.92 ± 0.43 b	0.85 ± 0.18 a	0.55 ± 0.08 d	2.38 ± 0.64 a
	15% PEG	1.96 ± 0.41 e		2.40 ± 0.23 c		1.30 ± 0.39 ab	
<i>M3</i>	CK	2.36 ± 0.04 de	0.51 ± 0.05 a	1.78 ± 0.46 de	0.76 ± 0.22 ab	0.76 ± 0.19 cd	1.50 ± 0.43 c
	15% PEG	1.21 ± 0.13 f		1.30 ± 0.16 e		1.09 ± 0.21 abc	
<i>M9</i>	CK	2.72 ± 0.34 cd	0.46 ± 0.15 ab	2.22 ± 0.44 cd	0.75 ± 0.13 ab	0.84 ± 0.25 cd	1.82 ± 0.96 b
	15% PEG	1.23 ± 0.32 f		1.66 ± 0.42 e		1.45 ± 0.65 a	
<i>M12</i>	CK	3.08 ± 0.52 c	0.40 ± 0.10 ab	2.26 ± 0.21 cd	0.57 ± 0.14 bc	0.75 ± 0.11 cd	1.49 ± 0.53 c
	15% PEG	1.20 ± 0.09 f		1.28 ± 0.28 e		1.08 ± 0.27 abc	



2.4 PEG胁迫对大豆幼苗贮藏物质转移的影响

由表4可知,PEG胁迫显著降低了大豆种子胚根的鲜重和干重。CK和PEG胁迫条件下,JD74和Z1的胚根鲜重和干重均显著大于其它品种(系)。贮藏物质转运率代表了除水分以外,种子在萌发过程中营养物质由子叶向根系、幼叶等器官输出的情况。PEG胁迫条件下,常规品种JD74种子中贮藏物质的转运率仅为CK条件下的74%,Z1和M12都

超过90%,其它2个诱变后代品系M3、M9的贮藏物质转运率都超过CK。结果表明,PEG胁迫对不同基因型大豆幼苗的生长有较大的差异,滞绿品种(系)根系在胁迫处理中伸长程度大于普通品种JD74,主要是由于子叶内的贮藏物质优先提供给根系,使其在胁迫条件下加快伸长,以获取更多的水分。

表4 PEG胁迫对大豆幼苗贮藏物质转移的影响  
Table 4 Effect of PEG stress on the transportation ratio of storage substance

品种(系) Varity( line)	处理 Treatment	胚根鲜重 Fresh weight of root/g	相对胚根鲜重 Relative fresh weight of root	胚根干重 Dry weight of root/g	相对胚根干重 Relative dry weight of root	贮藏物质转运率 Transportation ratio of storage substance/%	相对贮藏物质 转运率 Relative transportation ratio of storage substance
JD74	CK	0.353 ± 0.04 a	0.234 ± 0.010 d	0.027 ± 0.002 a	0.442 ± 0.032 c	20.1 ± 1.1 a	0.74 ± 0.05 c
	15% PEG	0.083 ± 0.008 e		0.012 ± 0.000 cd		14.1 ± 0.7 bc	
Z1	CK	0.266 ± 0.023 b	0.337 ± 0.015 b	0.024 ± 0.003 b	0.446 ± 0.007 c	14.9 ± 1.5 b	0.92 ± 0.08 b
	15% PEG	0.092 ± 0.005 e		0.011 ± 0.001 d		13.6 ± 0.2 bc	
M3	CK	0.136 ± 0.009 d	0.413 ± 0.024 a	0.010 ± 0.001 d	0.643 ± 0.032 a	7.3 ± 1.4 e	1.57 ± 0.08 a
	15% PEG	0.057 ± 0.007 fg		0.007 ± 0.001 e		11.7 ± 0.5 bcd	
M9	CK	0.169 ± 0.016 c	0.319 ± 0.005 b	0.014 ± 0.001 c	0.409 ± 0.017 c	9.4 ± 0.9 de	1.47 ± 0.25 a
	15% PEG	0.051 ± 0.006 fg		0.006 ± 0.000 e		13.7 ± 1.4 bc	
M12	CK	0.176 ± 0.021 c	0.274 ± 0.021 c	0.011 ± 0.001 cd	0.555 ± 0.019 b	10.9 ± 5.1 cd	0.95 ± 0.34 b
	15% PEG	0.048 ± 0.002 g		0.006 ± 0.000 e		12.3 ± 0.2 bcd	

2.5 萌发期抗旱性综合评价

各品种(系)隶属函数值如表5所示,滞绿大豆品种Z1和诱变后代M9平均隶属值大于0.80,为强

抗旱类型;M3平均隶属值为0.61,属较强抗旱类型;JD74和M12平均隶属值为0.4~0.6之间,为中等抗旱类型。

表5 萌发指标的隶属函数值及抗旱分级  
Table 5 The subordinate function values of the germination indexes and evaluation on drought-resistance

品种(系) Variety (line)	相对发芽率 RGR	相对发芽势 RGE	相对胚根长 RRL	萌发抗旱系数 RGI	胚根/下胚轴指数 RRL/RHL	均值 Average	级别 Rank
JD74	0.91	0.69	0.00	0.74	0.12	0.49	3
Z1	0.84	0.83	1.00	0.71	1.00	0.88	1
M3	0.89	0.65	0.80	0.68	0.01	0.61	2
M9	1.00	1.00	0.77	1.00	0.37	0.83	1
M12	0.86	0.80	0.36	0.84	0.00	0.57	3

3 讨论

种子萌发阶段是进行植物抗旱性研究相对重要的阶段,可以对植物耐旱性进行早期鉴定<sup>[15]</sup>。种子吸水速率与芽苗期抗旱性具有较高的相关性<sup>[16]</sup>。一般来说,抗旱性强的作物品种吸水速率快,在干旱胁迫下能够快速发芽,相对发芽率、相对发芽势、

萌发抗旱系数等发芽指标表现较好。本研究结果显示,PEG胁迫初期,滞绿亲本stg及其杂交后代Z1种子吸水速率低于常规亲本JD74;胁迫中后期,二者吸水能力增强,并且失水时间较JD74延迟6~12 h。滞绿突变体stg诱变后代3个品系当中,滞绿品系M12吸水 and 保水能力更强,表现出明显的超亲优势。此外,干旱胁迫明显降低了大豆种子的发芽



势、发芽率及发芽指数。从相对发芽势、相对发芽率和萌发抗旱系数来看,滞绿突变体 *stg* 诱变后代品系 *M9* 表现最好,说明其在 PEG 胁迫处理下具有较强的发芽能力。滞绿品种 *Z1* 相对发芽势比较高,表明其前期发芽速度较快,能够在水分胁迫时快速吸水萌发,这也是抗旱性的一种表现。常规大豆品种 *JD74* 在 PEG 胁迫时的表现正好与 *Z1* 相反,而滞绿突变体 *stg* 可能由于品种退化或感病等原因,其发芽率在 CK 和 PEG 处理时均比较低。结果表明,滞绿大豆品种(系)在萌发期具有较强的抵御干旱胁迫的能力。

种子萌发期子叶内各种酶活性增强,促进贮藏物质的分解,水解产物除保证自身的呼吸作用,其余大部分转运到胚根或胚芽等生长旺盛的部位,促进下胚轴和胚根的快速发育<sup>[17]</sup>。干旱胁迫可以抑制大豆萌发期的胚芽长、主根长和根重等指标,且干旱程度越大抑制效应越明显<sup>[7]</sup>。同时,干旱胁迫下营养物质会优先提供给胚根,促进根系伸长和发育,而抑制下胚轴的生长<sup>[18]</sup>。因此,发达的根系和较高的贮藏物质转运率与植物的耐旱能力呈明显正相关<sup>[19-20]</sup>。本研究表明,PEG 胁迫下不同大豆品种(系)相对胚根长均大于相对下胚轴长,并且胚根/下胚轴比值也大于 CK 处理,说明胁迫处理更有利于胚根的伸长,与前人研究结果一致。其中,滞绿品种 *Z1* 相对胚根长、胚根/下胚轴指数最大,相对下胚轴长最小,表明其在 PEG 胁迫处理下根系的伸长程度最大,有利于更好地吸收水分。此外,PEG 胁迫处理下,除 *JD74* 外其余品种(系)的贮藏物质转运率都很高,尤其是滞绿突变体 *stg* 诱变后代品系 *M3* 和 *M9* 贮藏物质转运率甚至超过 CK 处理,这可能源于种子营养物质调节分配的结果。

作物的抗旱性是由微效多基因控制的数量性状<sup>[21]</sup>,因此必须结合多种指标来对抗旱性进行综合评价<sup>[22]</sup>。李玲等<sup>[23]</sup>研究发现,干旱胁迫对于豌豆种子萌发的抑制作用表现在多个性状上,并且各个性状受抑制的程度差异也比较大。隶属函数法将多个抗旱相关性状的隶属值进行综合,可以更加全面准确地评价各品种的抗旱性,并且提高抗旱性筛选的可靠性<sup>[24]</sup>。本研究选取相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长、萌发抗旱系数和胚根/下胚轴指数等 5 个与大豆芽期抗旱性密切相关的指标,采用隶属函数分析手段,对供试大豆材料芽期抗旱性进行了综合评价,结果表明滞绿品种 *Z1* 在芽期综合抗旱能力最强。其亲本晋大 74 本身就是一个抗旱能力强、综合性状优良的推广品种,经过与滞绿突变体 *stg* 杂交后选育出的晋大滞绿 1 号大豆新品种不

仅抗旱能力得到了进一步提高,并且具有了滞绿突变体的一些优良性状表现,对于大豆种质资源创新和品种改良具有重要的理论和实践意义。但是,植物某一生长发育时期的抗旱性不能代表整个生育期的抗旱性<sup>[25]</sup>,而且不同大豆抗旱种质资源的抗旱能力及其与产量的关系也具有多样性<sup>[26]</sup>。本研究对不同基因型大豆品种(系)在 PEG 胁迫下的萌发性状进行了对比分析,也对芽期不同品种(系)的抗旱性进行了综合评价,结果对于评判各供试大豆材料的抗旱性具有一定的参考意义,但并不能代表其它生育时期抗旱能力的强弱,特别是滞绿突变对于大豆抗旱能力的影响还有待进一步的研究。

4 结 论

综上所述,滞绿突变体 *stg* 在 PEG 模拟干旱胁迫中后期具有较强的吸水和保水能力,但发芽能力最弱。滞绿杂交后代品种晋大滞绿 1 号、滞绿诱变后代品系 *M9* 在 PEG 胁迫条件下,种子吸水率以及相对发芽势、相对胚根长、胚根/下胚轴指数、贮藏物质转运率等各项指标均显著大于常规品种晋大 74。通过隶属函数值对不同大豆品种(系)进行芽期抗旱性综合评价的结果表明晋大滞绿 1 号和 *M9* 均为强抗旱类型,晋大 74 为中等抗旱品种。

参考文献

[1] 杨鹏辉,李贵全,郭丽,等. 干旱胁迫对不同抗旱大豆品种花荚期质膜透性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 127-130. (Yang P H, Li G Q, Guo L, et al. Effect of drought stress on plasma membrane permeability of soybean varieties during flowering-podding stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 127-130.)

[2] 蒲伟凤,李桂兰,张敏,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, 29(4): 615-622. (Pu W F, Li G L, Zhang M, et al. Effects of drought stress on root characteristics and physiological indexes of *Glycine soja* and *Glycine max*[J]. Soybean Science, 2010, 29(4): 615-622.)

[3] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(4): 425-430. (Yang C J, Zhang X K, Zou C S, et al. Effects of drought simulated by PEG-6000 on germination and seedling growth of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2007, 29(4): 425-430.)

[4] Khodarahmpour Z, Motamedi M. Evaluation of drought and salinity stress effects on germination and early growth of two cultivars of maize (*Zea mays* L.) [J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(66): 14868-14872.

[5] 曾彦军,王彦荣,萨仁,等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 953-956. (Zeng Y J, Wang Y R, Sa R, et al. Response of seed germination of three



- xeromorphic shrubs to drought stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(8): 953-956.)
- [6] 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): 66-67, 70. (Hu X B, Cao M J, Wang X Z, et al. Studies on drought resistance of the different hybrid in seedling emergence stage and in seedling stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2004, 12(3): 66-67, 70.)
- [7] 莫金钢, 马建, 张丽辉, 等. 干旱胁迫对大豆种子萌发的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(5): 701-704. (Mo J G, Ma J, Zhang L H, et al. Effect of drought stress on germination of soybean[J]. Soybean Science, 2014, 33(5): 701-704.)
- [8] 邓思雪. 干旱胁迫下不同大豆品种萌发特性及其耐旱性评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018. (Deng S X. Germination characteristic under drought stress and evaluation of drought tolerance of soybean varieties [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.)
- [9] 吴其林. 土壤干旱对大豆种子萌发、幼苗生长的影响及复水后的补偿生长研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008. (Wu Q L. Influence of soil drought on seeds germination and seedling growth of soybean and compensatory effects of rewatering during middle-late growth stage [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2008.)
- [10] 孙彩霞, 沈秀英. 作物抗旱性鉴定指标及数量分析方法的研究进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1): 49-51. (Sun C X, Shen X Y. Advances in studies on identification indexes and methods of quantitative analyses for crop drought resistance[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2002, 18(1): 49-51.)
- [11] Tian F X, Gong J F, Zhang J, et al. Enhanced stability of thylakoid membrane proteins and antioxidant competence contribute to drought stress resistance in the *tasgl* wheat stay-green mutant[J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64(6): 1509-1520.
- [12] 舒英杰, 周玉丽, 时侠清, 等. 大豆种子发芽期耐旱性鉴定的适宜 PEG-6000 浓度筛选[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 56-59. (Shu Y J, Zhou Y L, Shi X Q, et al. Screening of appropriate PEG-6000 concentration for the identification of soybean drought tolerance at germination stage [J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 56-59.)
- [13] 吴伟, 陈学珍, 谢皓, 等. 干旱胁迫下大豆抗旱性鉴定[J]. 分子植物育种, 2005, 3(2): 188-194. (Wu W, Chen X Z, Xie H, et al. Drought resistance appraisal of the soybean varieties in forced arid conditions [J]. Molecular Plant Breeding, 2005, 3(2): 188-194.)
- [14] 孙祖东, 陈怀珠, 杨守臻, 等. 大豆抗旱性研究进展[J]. 大豆科学, 2001, 20(3): 221-226. (Sun Z D, Chen H Z, Yang S Z, et al. Advances in drought tolerance in soybean[J]. Soybean Science, 2001, 20(3): 221-226.)
- [15] 孙景宽, 张文辉, 张洁明, 等. 种子萌发期 4 种植物对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(9): 1811-1818. (Sun J K, Zhang W H, Zhang J M, et al. Response to drought stresses and drought-resistances evaluation of four species during seed germination[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(9): 1811-1818.)
- [16] 侯建华, 吕凤山. 玉米苗期抗旱性鉴定研究[J]. 华北农学报, 1995, 10(3): 89-93. (Hou J H, Lyu F S. A study on drought resistance identification of maize seedlings [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1995, 10(3): 89-93.)
- [17] 傅家瑞. 种子生理学[M]. 北京: 科学出版社, 1985. (Fu J R. Seed physiology[M]. Beijing: Science Press, 1985.)
- [18] 李俐俐, 刘天学, 赵霞. 大豆种子萌发期对渗透胁迫的响应[J]. 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 [J]. Soybean Science, 2007, 26(4): 550-554.)
- [19] Benjamin J G, Nielsen D C. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea [J]. Field Crops Research, 2006, 97(2): 248-253.
- [20] 陈学珍, 谢皓, 郝丹丹, 等. 干旱胁迫下 20 个大豆品种芽期抗旱性鉴定初报[J]. 北京农学院学报, 2005, 20(3): 54-56. (Chen X Z, Xie H, Hao D D, et al. Drought resistance evaluation of 20 soybean at bud stage [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2005, 20(3): 54-56.)
- [21] 武丽娜, 赵泓, 刘凡. 蔬菜抗渗透胁迫基因工程研究进展[J]. 分子植物育种, 2008, 6(6): 1167-1174. (Wu L N, Zhao H, Liu F. Advances in genetic engineering of vegetables for osmotic stress resistance[J]. Molecular Plant Breeding, 2008, 6(6): 1167-1174.)
- [22] 岳爱琴, 杜维俊, 赵晋忠, 等. 不同大豆品种抗旱性的研究[J]. 山西农业大学学报, 2005, 25(2): 157-160. (Yue A Q, Du W J, Zhao J Z, et al. Study on analysis of drought resistance in soybean[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005, 25(2): 157-160.)
- [23] 李玲, 沈宝宇, 张天静, 等. 豌豆种质资源芽期耐旱性评价及耐旱种质筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 778-785. (Li L, Shen B Y, Zhang T J, et al. Evaluation and screening of pea (*Pisum Sativum*) germplasm resources for drought resistance during germination stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 778-785.)
- [24] 李贵全, 张海燕, 季兰, 等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412. (Li G Q, Zhang H Y, Ji L, et al. Comprehensive evaluation on drought-resistance of different soybean varieties [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2408-2412.)
- [25] 任学良, 李国柱, 程文林, 等. 绿豆突变体的抗旱性研究[J]. 核农学报, 2004, 18(2): 100-103, 99. (Ren X L, Li G Z, Cheng W L, et al. Drought resistance characters of induced mung bean mutants [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2004, 18(2): 100-103, 99.)
- [26] 路贵和, 刘学义, 任小俊, 等. 黄淮海地区大豆抗旱种质资源的多样性研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 251-255. (Lu G H, Liu X Y, Ren X J, et al. Diversity in soybean germplasm with drought resistance in Huang-Huai-Hai valleys [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 251-255.)