

# 豌豆种质资源芽期耐旱性评价及耐旱种质筛选

李玲<sup>1</sup>, 沈宝宇<sup>1</sup>, 张天静<sup>1</sup>, 杨涛<sup>2</sup>, 刘荣<sup>2</sup>, 宗绪晓<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>辽宁省经济作物研究所, 辽阳 111000; <sup>2</sup>中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:**我国是第一大豌豆生产国,在世界豌豆生产中占有举足轻重的地位。然而,干旱是制约我国豌豆生产的主要因素,为了探索豌豆芽期耐旱性,以4份来自不同降雨量地区的豌豆种质为材料,在浓度为0%、5%、10%、15%、20%、25%和30% PEG-6000(聚乙二醇)高渗溶液模拟干旱条件产生水分胁迫进行种子萌发试验,试验中测定种子的发芽势、发芽率、发芽指数及简易活力指数4个指标的动态变化,确定了豌豆芽期耐旱性鉴定适宜的PEG-6000浓度为20%~25%。进一步以22% PEG-6000模拟早胁迫对来自我国18个不同省份的87份豌豆种质资源进行耐旱性鉴定,试验中测定种子相对发芽势、相对发芽率等、萌发耐旱指数及萌发胁迫指数等13个指标,主成分分析确定了相对发芽势、相对发芽率等7项指标作为耐旱综合评价因子,利用隶属函数法,筛选出1份高抗种质(G0002457),来自降水较少的新疆莎车,7份抗旱种质(G0002293、G0005403、G0002418、G0002083、G0000799、G0002017和G0002082),多来自降水较少的西北部春播区。本研究可为耐旱种质的选择提供科学指导,为豌豆耐旱品种改良奠定基础。

**关键词:**豌豆;种质资源;芽期;耐旱性评价;种质筛选

## Evaluation and Screening of Pea (*Pisum Sativum*) Germplasm Resources for Drought Resistance during Germination Stage

LI Ling<sup>1</sup>, SHEN Bao-yu<sup>1</sup>, ZHANG Tian-jing<sup>1</sup>, YANG Tao<sup>2</sup>, LIU Rong<sup>2</sup>, ZONG Xu-xiao<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Liaoning Institute of Cash Crops, Liaoyang 111000;

<sup>2</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** China, the largest producer of pea, plays a very important position in world pea production. However, drought is the major restriction factor to the growth of pea. In order to explore the drought resistance of pea accessions, four pea accessions from different precipitation areas were accessed with concentration of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of PEG-6000 hypertonic solution simulated drought conditions of water stress for seed germination, to study dynamic change of germination energy, germination rate, germination index and vigor index. The results showed that 20%-25% of PEG-6000 was the suitable concentration range to screen drought resistance resources at germination stage for pea. Drought resistance of 87 pea accessions from 18 different provinces of China were evaluated with 22% PEG-6000 solution. 13 items, including germination energy, germination rate, germination index and simple vigor index, relative germination energy, relative germination rate, relative bud length, relative radical length, relative bud biomass, relative radical biomass, vigor index, germination drought resistant index and germination stress index, were measured in the experiment. Through the analysis of germination indicators, the results showed that germination relevant indicators were significantly inhibited under drought stress with 22% PEG-6000. Compared to the control, the change rate of different indicators average was very different. Simple vigor index was the largest, followed by bud biomass, bud length, germination index, radical biomass and radical length. The coeffi-

收稿日期:2016-12-10 修回日期:2017-01-11 网络出版日期:2017-06-13

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20170613.0838.010.html>

基金项目:辽宁省科技厅面上项目(原优秀人才培养2015020790);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13)

第一作者研究方向为豌豆种质资源抗旱鉴定及品种选育。E-mail: lilingsws@126.com

通信作者:宗绪晓,主要从事食用豆类种质资源与基因组学研究。E-mail: zongxuxiao@caas.cn

cient of variation of each germination indicators increased significantly. The order was germination energy, germination rate, germination index, simple vigor index, bud length, bud biomass, radical length and radical biomass. The principal component analysis results showed that relative values of germination energy, germination rate, radical length, radical fresh-biomass, and germination drought resistance index, germination stress index, vigor index were the main impact factors to evaluate drought resistance for pea. Based on the subordinative function analysis of screening results, one genotype (G0002457) with the highest level (subordinative function value 0.80) of drought resistance, seven genotypes with drought resistance (G0002293 with subordinative function value 0.61, G0005403, G0002418, G0002083 and G0000799 with the same subordinative function value 0.65, G0002017 with subordinative function value 0.67 and G0002082 with subordinative function value 0.78), 11 moderately resistant genotypes with subordinative function value 0.40-0.59, 35 susceptible genotypes with subordinative function value 0.20-0.39, and 33 highly susceptible genotypes with subordinative function value 0-0.18, accounted for 1.15%, 8.05%, 12.64%, 40.23% and 37.93% of the tested genotypes. Based on analysis of climate data of origin of one genotype with the highest drought-resistance and seven genotypes with drought-resistance, most from spring-growing areas of northwestern China with less precipitation. One genotype with highly resistance from Shache of Xinjiang province with less precipitation. Five of seven genotypes with drought resistance from Ningxia province, one of them from Gansu province and another one from Henan province, which showed the drought resistant of genotypes was related to the origin of germplasm resources. The eight genotypes with drought-resistance identified were recommended to be used in the drought tolerance improvement for pea breeding.

**Key words:** pea; germplasm resources; germination stage; drought resistance; germplasms screening

豌豆,学名为 *Pisum sativum* L.,中文别名有麦豌豆、寒豆、麦豆等。软荚豌豆别名荷兰豆、甜脆豌豆等,英文名为 Pea、Garden pea、Field Pea。豌豆营养全面而均衡,含有蛋白质、脂肪、碳水化合物和矿物质元素<sup>[1]</sup>。作为人类食品和动物饲料,豌豆现在已经是世界第四大豆类作物<sup>[2]</sup>。FAO 统计数据显示,我国是世界第一大豌豆生产国,在世界豌豆生产中占有举足轻重的地位<sup>[2]</sup>。我国干豌豆生产主要分布在云南、四川、甘肃、内蒙古、青海等省区市。青豌豆主产区位于全国主要大、中城市附近,东部省份沿海地区,以及西南高海拔区域<sup>[2]</sup>。部分地区干旱现象时有发生,芽期干旱严重降低出苗率、长势和群体密度,开花结荚期干旱严重影响结荚率、子粒百粒重和单株产量,亩产大幅降低,干旱已成为豌豆生产发展的重要限制因素。

解决这一问题的途径,除了开辟水源、节水灌溉以提高水的利用率,推广应用旱地农业栽培措施外,更重要的节本增效途径就是筛选耐旱资源、培育耐旱品种<sup>[3]</sup>。国内外对玉米、大豆、小麦等<sup>[4-6]</sup>作物抗旱性已经进行了深入系统研究,并培育了耐旱品种,耐旱品种的培育和推广有效减少了小麦在旱灾时的损失<sup>[7]</sup>。我国豌豆耐旱研究较少,墨金萍等<sup>[8]</sup>采用田间自然鉴定方法对来自全国主要豌豆产区的 78 份材料进行了耐旱性鉴定

与筛选;张立勤等<sup>[9]</sup>采用盆栽试验对半无叶豌豆新品种 MZ-1 和对照品种多纳夫的耐旱性进行对比研究;段新慧等<sup>[10]</sup>以 5 种野豌豆属牧草为材料探索其耐旱性,这些研究主要集中在干旱对豌豆的生理影响方面,耐旱资源的鉴定还处于空白。抗旱性是受多因素影响的数量性状,耐旱机理复杂多样,不同生育时期表现不同。一般认为,作物在发芽期对环境变化表现最为敏感,芽期耐旱性是研究作物耐旱性的重要内容之一<sup>[11]</sup>。

作物芽期耐旱鉴定方法有多种,其中应用高渗溶液进行干旱模拟应用较多,渗透介质主要有蔗糖、甘露醇、PEG-6000 等。其中,应用 PEG-6000 模拟干旱胁迫具有易溶于水能产生强大的渗透压,不会被植物吸收,无毒害,且简单易行,具有稳定性好、重复性好、试验周期短等优点,适用于大批量种子资源芽期抗旱快速鉴定<sup>[11-13]</sup>。此方法在大豆、绿豆、普通菜豆、谷子、油菜、小麦等作物的芽期耐旱性鉴定中得到普遍应用<sup>[11,14-16]</sup>。本研究首先进行了豌豆芽期耐旱性鉴定 PEG-6000 溶液适宜浓度筛选试验,然后利用确定的适宜浓度 PEG-6000 溶液模拟旱胁迫,对 87 份豌豆种质进行耐旱性鉴定,筛选芽期耐旱豌豆种质资源,以期对豌豆耐旱生理机制研究及耐旱豌豆品种选育提供基础材料。

# 1 材料与方法

## 1.1 评价方法的建立

采用隶属函数法对豌豆种质进行芽期抗旱性综合评价,参照龚明<sup>[17]</sup>的方法计算隶属值。公式如下:

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$$

$$X_i = \sum U(X_{ij}) / n$$

$X_{ij}$  为某一品种某指标的实测值,  $X_{j\max}$  为该指标的最大值,  $X_{j\min}$  为该指标的最小值。  $U(X_{ij})$  为  $i$  品种  $j$  性状的隶属值。  $X_i$  为  $i$  品种的平均隶属函数值,  $n$  为测定指标数,  $X_i$  值越大, 表明该材料抗旱性越强。

参考大豆抗旱性鉴定方法划分抗旱级别<sup>[15]</sup>, 分为 5 个级别, 1 级:  $X_i \geq 0.8$ , 高抗 (HR, highly resistant); 2 级:  $0.6 \leq X_i < 0.8$ , 抗 (R, resistant); 3 级:  $0.4 \leq X_i < 0.6$ , 中抗 (MR, moderately resistant); 4 级:  $0.2 \leq X_i < 0.4$ , 较敏感 (S, susceptible); 5 级:  $X_i < 0.2$ , 敏感 (HS, highly susceptible)。

## 1.2 材料

豌豆种子发芽期耐旱性鉴定的适宜 PEG-6000 浓度确定试验, 选择来自降水差异较大、不同地区的 4 份豌豆种质为材料, 分别为 G0003064、G0003047、G000206、G0005403 (表 1)。

表 1 87 份豌豆种质资源信息

Table 1 The passport data of 87 pea accessions

资源编号 ID	资源名称 Name	来源地 Origin	资源编号 ID	资源名称 Name	来源地 Origin
G0003063	豌豆	安徽歙县	G0002083	麻豌豆	宁夏同心县
G0003064	豌豆	安徽歙县	G0002082	豌豆	宁夏同心县
G0003049	豌豆	安徽休宁县	G0002409	食荚苑	宁夏银川市
G0003048	豌豆	安徽休宁县	G0000799	豌豆	宁夏中卫市
G0003050	豌豆	安徽休宁县	G0000794	豌豆	青海德令哈市
G0003047	豌豆	安徽休宁县	G0000793	白豌豆	青海德令哈市
G0000758	红花豌豆	福建长乐县	G0000067	大灰豌豆	山西大同市
G0000554	紫花豌豆	甘肃皋兰县	G0000095	二黑豌豆	山西代县
G0000551	白豌豆	甘肃皋兰县	G0000074	绿豌豆	山西代县
G0002019	麻豌豆	甘肃泰安县	G0000087	豌豆	山西广灵县
G0002018	豌豆	甘肃天水市	G0001010	白豌豆	山西岢岚县
G0002017	老豌豆	甘肃天水市	G0000117	大豌豆	山西岢岚县
G0000539	白雪豆	广东南雄市	G0000090	青皮豌豆	山西灵丘县
G0003724	岩茶豌豆	广西隆林县	G0000083	瓜皮豌豆	山西宁武县
G0001310	豌豆	广西隆林县	G0000077	黎麻豌豆	山西偏关县
G0001311	豌豆	广西西林县	G0000071	小豌豆	山西山阴县
G0001725	小菜豌	贵州都匀市	G0001012	白豌豆	山西寿阳县
G0001716	壳豌	贵州都匀市	G0000062	大豌豆	山西寿阳县
G0000760	登封白	河南登封市	G0000059	白豌豆	山西五寨县
G0002293	绿豌豆	河南东明县	G0000128	豌豆	山西阳曲县
G0001130	白豌豆	河南密县	G0001003	大豌豆	山西右玉县
G0000529	白豌豆	河南密县	G0000055	白豌豆	山西右玉县
G0000528	五里店	河南密县	G0000129	豌豆	山西榆次市
G0000344	哈尔滨早熟	黑龙江哈尔滨市	G0001090	大花豌豆	山西左云县
G0001244	麻中豆	湖北崇阳县	G0001020	泥河豌豆	山西左云县
G0000357	白皮豌豆	湖北崇阳县	G0000437	麻豌豆	陕西定边县
G0000356	豌豆	湖北黄梅县	G0000382	白豌豆	陕西定边县
G0000355	鱼眼豌豆	湖北蕲春县	G0001856	大灰豌豆	陕西靖边县
G0001253	菜豌豆	湖北咸丰县	G0000440	小颗豌豆	陕西靖边县
G0001229	豌豆	湖北咸丰县	G0000439	灰色豌豆	陕西榆林县
G0000369	麦豌豆	湖北咸丰县	G0001892	当地小豌豆	陕西榆林县
G0000372	菜豌	湖北咸丰县	G0003678	紫麻豌豆	西藏米林县

表 1(续)

资源编号 ID	资源名称 Name	来源地 Origin	资源编号 ID	资源名称 Name	来源地 Origin
G0001298	麻豌豆	湖南茶陵县	G0003595	白豌豆	西藏米林县
G0001298	麻豌豆	湖南茶陵县	G0002502	豌豆	新疆昌吉市
G0001288	小豌豆	湖南临湘县	G0002546	豌豆	新疆昌吉市
G0001283	剥豌豆	湖南黔阳县	G0002547	豌豆	新疆昌吉市
G0001295	菜豌豆	湖南永顺县	G0000927	哈密豌豆	新疆哈密市
G0001284	白豌豆	湖南永顺县	G0002462	丰实大豌豆	新疆莎车县
G0000206	大豌豆	内蒙古乌盟市	G0002458	大绿豌豆	新疆莎车县
G0000204	大豌豆	内蒙古乌盟市	G0002457	白豌豆	新疆莎车县
G0000194	灰豌豆	内蒙古乌盟市	G0005845	豌豆	云南巧家县
G0005444	麻豆子	宁夏固原市	G0005846	豌豆	云南巧家县
G0002418	麻豌豆	宁夏陶乐县	G0005848	豌豆	云南巧家县
G0005403	麻豌豆	宁夏同心县			

豌豆种质资源芽期耐旱性评价及耐旱种质筛选试验,供试材料总计 87 份(表 1),来自全国 18 个省份。其中 52 份资源原产地降水相对较少(春播区年降水 < 200 mm,生育期间 < 100 mm;冬播区年降水 < 1000 mm,生育期间 < 120 mm),35 份资源原产地雨水相对充沛(春播区年降水 > 500 mm,生育期间 > 200 mm;冬播区年降水 > 1400 mm,生育期间 > 700 mm),资源全部由中国农业科学院作物科学研究所提供。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 豌豆种子发芽期耐旱性鉴定的适宜 PEG-6000 浓度确定** 以来自降水差异较大、不同地区的 4 份豌豆种质为材料,每个品种精选子粒饱满、无破损的种子 90 粒,用自来水冲洗 30 min,再用 2% 的次氯酸钠溶液消毒 15 min,无菌水冲洗 4~5 次,将种子均匀放在发芽盒中的双层滤纸上,用不同浓度(5%、10%、15%、20%、25% 和 30% (W/W)) 的 PEG-6000 溶液 20 mL 润湿,以等量蒸馏水处理为对照(CK),每个处理 3 次重复,每个重复 15 粒,置于 25 °C 人工培养箱中避光培养。

**1.3.2 芽期耐旱性鉴定** 以 87 份种质为材料,选择 1.3.1 中确定的适宜浓度,3 次重复,置于 25 °C 人工培养箱中避光培养。从种子置床之日起开始逐日统计发芽种子数。8d 后结束发芽试验,每盒随机选取 5 株幼苗测定其总芽高、根长及其鲜重等指标。

### 1.4 测定指标

发芽相关指标按农作物发芽技术规定(GB/T35434 1995),第 5 天统计种子发芽势,第 8 天统计发芽率。

发芽势(GE, germination energy) = 第 5 天发芽种子数/供试种子数 × 100% ;

发芽率(GR, germination rate) = 第 8 天发芽种子数/供试种子数 × 100% ;

发芽指数(GI, germination index) =  $\sum(DG/DT)$ , DG 为逐日发芽数,DT 为相应 DG 的发芽天数;

简易活力指数(SVI, simple vigor index) = GR × 幼苗长度(cm)。

干旱胁迫下的相对值计算方法如下:

相对发芽势(RGE, relative germination energy) = (处理发芽势/对照发芽势) × 100% ;

相对发芽率(RGR, relative germination rate) = (处理发芽率/对照发芽率) × 100% ;

相对芽长(RBL, relative bud length) = (处理苗高/对照苗高) × 100% ;

相对根长(RRL, relative radical length) = (处理根长/对照根长) × 100% ;

相对芽鲜重(RBB, relative bud biomass) = (处理苗鲜重/对照苗鲜重) × 100% ;

相对根重(RRB, relative radical biomass) = (处理根鲜重/对照根鲜重) × 100% ;

活力指数(VI, vigor index) = (相对苗高 × 相对发芽率) × 100% ;

萌发耐旱指数与萌发胁迫指数的测定参考王赞等<sup>[18]</sup>及安永平等<sup>[19]</sup>的方法计算。

萌发耐旱指数(GDRI, germination drought resistant index) = 渗透胁迫下的萌发指数/对照萌发指数;

其中,萌发指数 = (1.00) nd<sub>2</sub> + (0.75) nd<sub>4</sub> +

(0.50)nd6 + (0.25)nd8, 其中 nd2、nd4、nd6、nd8 分别为第 2、4、6、8 天的种子发芽率, 1.00、0.75、0.50、0.25 分别为相应萌发天数所赋予的耐旱系数。

萌发胁迫指数(GSI, germination stress index) = 处理种子发芽指数/对照种子发芽指数。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2007 和 DPS 软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 PEG-6000 对豌豆种质发芽的影响

为筛选豌豆芽期耐旱鉴定最适宜 PEG-6000 浓度, 以来自降水差异较大、不同地区的 4 份豌豆种质 G0003064、G0003047、G000206、G0005403 为材料。设置不同浓度(5%、10%、15%、20%、25% 和 30% (W/W))的 PEG-6000 溶液进行种子萌发, 以等量蒸馏水处理为对照, 检测不同豌豆种质间发芽指标变化动态。结果发现, 蒸馏水处理(CK)的 4 份材料发芽率均达到 100%, 而 6 种不同浓度 PEG-6000 处理条件下, 低浓度(15%以下)对豌豆种子发芽的影响不明显, 20% 时明显抑制了豌豆种子的萌发及胚根、胚芽的生长, 种质间差异明显, 浓度为 25% 时虽然发芽率低且芽长较短, 但不同资源受抑制的程度也明显不一致, 30% 不发芽。因此认为室内采用模拟干旱胁迫法鉴定豌豆发芽期耐旱性的适宜 PEG-6000 浓度为 20% ~ 25%。本试验进而以 22% PEG

溶液浓度作为对 87 份豌豆种质萌芽期耐旱性鉴定的水分胁迫浓度。

### 2.2 22% PEG-6000 模拟干旱胁迫对豌豆种质发芽相关指标的影响

经 22% PEG-6000 对 87 份豌豆种质模拟干旱胁迫后, 豌豆种质发芽势为 0 ~ 66.67%, 平均为 10.33%, 较对照变化率为 -87.68%; 发芽率为 0 ~ 100%, 变幅最大, 平均为 35.11%, 较对照变化率为 -60.39%; 其他发芽相关指标也受到明显抑制, 简易活力指数变化率最大为 -94.39%, 其次为芽鲜重、芽总长、发芽指数、萌发指数、根鲜重、根长, 较对照变化率分别为 -90.24%、-89.22%、-86.69%、-85.10%、-78.24%、-54.16% (表 2)。由此可见, 旱胁迫对豌豆种子萌发的抑制作用表现在多个性状上, 且抑制程度性状间差异较大。另外, 处理与对照相比, 除根鲜重比对照降低 5.24% 以外, 其余各指标性状变异系数增加明显, 其中发芽势变异系数变化最大, 是对照的 7.56 倍, 其次是发芽率、萌发指数、发芽指数、简易活力指数、芽总长、芽鲜重、根长, 分别是对照的 4.57 倍、2.93 倍、2.24 倍、2.09 倍、1.38 倍、0.90 倍和 0.57 倍(表 2), 说明不同品种的耐旱鉴定指标在干旱胁迫下差异更明显。综上所述, 豌豆的芽期耐旱性与多项指标有关, 运用任何单一指标进行评价均有一定的片面性, 应对其进行综合分析和评价。

表 2 87 份豌豆种质芽期蒸馏水和 22% PEG-6000 旱胁迫下各指标的比较

Table 2 Comparison of the germination indices for 87 accessions of pea under water and 22% PEG-6000

处理 Treatments	指标 Index	发芽势 (%) GV	发芽率 (%) GR	芽总长 (cm) RSL	根长 (cm) RL	芽鲜重 (g) FW	根鲜重 (g) RW	发芽 指数 GI	简易 活力 指数 VI	萌发 指数 GI
蒸馏水(CK)	最大值 Max.	100	100	16.27	19.00	0.46	0.24	69.25	16.27	2.75
	最小值 Min.	42.22	53.33	1.97	2.93	0.05	0.03	6.69	1.05	0.67
	平均值 Average	83.88	88.65	9.17	11.17	0.24	0.11	40.86	8.30	1.49
	标准差 SE	15.11	11.97	3.07	4.09	0.07	0.04	13.44	3.24	0.40
	变异系数(%) CV	18.01	13.50	33.51	36.66	30.90	42.38	32.89	38.97	27.06
22% PEG-6000	最大值 Max.	66.67	100	4.50	12.83	0.09	0.06	29.61	2.48	1.07
	最小值 Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	平均值 Average	10.33	35.11	0.99	5.12	0.02	0.02	5.44	0.47	0.22
	标准差 SE	15.94	26.38	0.79	2.95	0.01	0.01	5.80	0.56	0.24
	变异系数(%) CV	154.25	75.13	79.59	57.59	58.77	40.16	106.58	120.59	106.23
变化率	平均值(%) Average	-87.68	-60.39	-89.22	-54.16	-90.24	-78.24	-86.69	-94.39	-85.10
	变异系数(%) CV	756.47	456.52	137.51	57.09	90.19	-5.24	224.05	209.44	292.57

### 2.3 芽期旱胁迫条件下耐旱鉴定指标主成分分析及耐旱综合评价指标确定

主成分分析获得的前3个主成分的累积贡献率为89.043%,其中第1主成分累积贡献率是59.16%(表3),耐旱指标中相对发芽势、相对发芽率、相对根长、萌发耐旱指数、萌发胁迫指数和活力指数影响突出;第3主成分中占绝对主导地位的耐旱指标是相对根鲜重;第2主成分中相对影响大的指标为相对芽总长及相对芽鲜重(表3),但影响不及第1主成分及第3主成分中占主导地位的耐旱鉴定指标。因此,相对发芽势、相对发芽率、相对根长、萌发耐旱指数、萌发胁迫指数、活力指数和相对根鲜重等7个耐旱评价指标被确定为不同豌豆种质资源芽期耐旱综合评价指标。

表3 主成分分析结果

Table 3 The results of principal component analysis

测定指标 Indices	因子 Component		
	1	2	3
相对发芽势 RGE	0.809	-0.474	-0.118
相对发芽率 RGR	0.839	-0.314	0.035
相对芽总长 RBL	0.652	0.668	-0.268
相对根长 RRL	0.754	0.011	0.362
相对芽鲜重 RBB	0.671	0.658	-0.174
相对根鲜重 RRB	0.336	0.411	0.798
萌发耐旱指数 GDRI	0.906	-0.364	0.043
萌发胁迫指数 GSI	0.905	-0.369	-0.021
活力指数 VI	0.876	0.327	-0.232
特征值 Eigenvalue	5.324	1.748	0.941
百分率(%) Percentage	59.160	19.424	10.458
累积贡献率(%)	59.160	78.585	89.043
Accumulative percentage			

表4 87份豌豆种质资源平均隶属值及抗性评价

Table 4 The subordinative function value and resistant evaluation of 87 pea accessions

资源编号 ID	平均隶属值 Subordinative function value	抗性评价 Resistant evaluation	资源编号 ID	平均隶属值 Subordinative function value	抗性评价 Resistant evaluation
G0000344	0	HS	G0003063	0.26	S
G0001298	0.05	HS	G0000760	0.26	S
G0005845	0.05	HS	G0000062	0.26	S
G0001253	0.06	HS	G0001020	0.27	S
G0000206	0.06	HS	G0003724	0.27	S
G0000204	0.06	HS	G0001130	0.27	S
G0003049	0.07	HS	G0000793	0.28	S
G0001856	0.07	HS	G0001244	0.28	S
G0001010	0.08	HS	G0002018	0.29	S
G0003678	0.09	HS	G0001283	0.30	S
G0003048	0.09	HS	G0001725	0.32	S
G0002462	0.09	HS	G0000355	0.33	S
G0002019	0.10	HS	G0000128	0.34	S
G0000095	0.10	HS	G0000372	0.34	S
G0003050	0.11	HS	G0000077	0.34	S
G0000071	0.11	HS	G0003064	0.35	S
G0002409	0.12	HS	G0002502	0.35	S
G0001229	0.12	HS	G0001311	0.36	S
G0001298	0.13	HS	G0001284	0.37	S
G0000794	0.13	HS	G0003047	0.37	S
G0000369	0.14	HS	G0000357	0.37	S
G0000440	0.14	HS	G0000059	0.39	S
G0001012	0.14	HS	G0002546	0.39	S
G0001288	0.14	HS	G0001892	0.39	S
G0000087	0.14	HS	G0000129	0.40	MR
G0005846	0.15	HS	G0000529	0.41	MR
G0001090	0.15	HS	G0003595	0.42	MR
G0000554	0.15	HS	G0000067	0.43	MR

表 4(续)

资源编号 ID	平均隶属值 Subordinative function value	抗性评价 Resistant evaluation	资源编号 ID	平均隶属值 Subordinative function value	抗性评价 Resistant evaluation
G0000117	0.15	HS	G0000382	0.43	MR
G0005848	0.16	HS	G0000356	0.43	MR
G0005444	0.17	HS	G0000090	0.46	MR
G0000083	0.17	HS	G0000528	0.48	MR
G0001003	0.18	HS	G0001716	0.55	MR
G0000758	0.20	S	G0000927	0.55	MR
G0000194	0.20	S	G0002547	0.59	MR
G0002458	0.21	S	G0002293	0.61	R
G0000551	0.21	S	G0005403	0.65	R
G0000539	0.23	S	G0002418	0.65	R
G0001310	0.24	S	G0002083	0.65	R
G0001295	0.24	S	G0000799	0.65	R
G0000439	0.24	S	G0002017	0.67	R
G0000437	0.25	S	G0002082	0.78	R
G0000074	0.26	S	G0002457	0.80	HR
G0000055	0.26	S			

## 2.4 豌豆发芽期耐旱性综合评价

采用经主成分分析确定的 7 项指标对豌豆发芽期耐旱性进行综合评价。依据隶属函数法计算 87 份豌豆资源的平均隶属值,根据划分的耐旱等级标准,获得了 1 份高抗资源,为 G0002457,平均隶属值为 0.80;抗旱种质 7 份,占供试材料的 8.05%,分别为 G0002293、G0005403、G0002418、G0002083、G0000799、G0002017 和 G0002082;中抗种质 11 份,占供试材料的 12.64%;较敏感和敏感的材料分别为 35 份和 33 份,分别占供试材料的 40.23% 和 37.93% (表 4)。

## 3 讨论

### 3.1 PEG-6000 浓度的摸索

PEG-6000 模拟干旱胁迫,是通过调节溶液的渗透压来达到限制水分进入种子内的目的,在某种意义上,PEG-6000 处理对种子萌发来说,起到了水分胁迫的作用<sup>[18,20]</sup>。高浓度的 PEG-6000 胁迫对所用材料损伤严重,达不到鉴定耐旱类型与早敏感类型的目的;低浓度溶液胁迫耐旱类型与早敏感类型差异不明显。PEG 浓度的使用问题仍在探索中,不同作物芽期模拟旱胁迫的 PEG-6000 溶液浓度不同,如普通菜豆 19.6%,大豆 20%~25%,绿豆 21.8%,油菜 10%<sup>[11,14,21-22]</sup>。目前,对豌豆芽期研究甚少,本研究通过不同浓度 PEG-6000(5%、10%、15%、20%、25% 和 30% (W/W))对豌豆种质萌发的影响分析

表明,20%的 PEG-6000 模拟干旱胁迫显著抑制了豌豆胚芽和胚根的生长,不同种质受抑制的程度明显不一致,浓度为 25% 时虽然发芽率低且芽长较短,但不同资源受抑制的程度也明显不一致。因此认为,室内采用模拟干旱胁迫法鉴定豌豆发芽期耐旱性的适宜 PEG-6000 浓度为 20%~25%。本试验进而以 22% PEG 溶液浓度作为豌豆萌芽期耐旱性鉴定的水分胁迫浓度,结果也证明了该浓度能明显区分不同豌豆种质耐旱性差异。20%~25% 范围内其他浓度还有待进一步试验验证。

### 3.2 芽期耐旱指标及评价方法确定

植物的抗旱性是由遗传因子和环境共同控制的一个复杂的数量性状,单纯的用一个抗旱指标很难说明问题,只有采用多个指标的综合评价,才能比较客观地反映不同种质的耐旱性<sup>[23]</sup>。以相对发芽率为单一指标评价芽期耐旱性简单易行,能够短时间内对大批材料进行筛选<sup>[24]</sup>。研究表明,发芽率高的资源尽管出苗率高,但幼苗未必健壮,芽期耐旱性强的品种不仅需要较高的出苗率,还应具有较好的长势,以保证后期正常生长<sup>[25]</sup>。因此,仅利用相对发芽率单一生理指标对芽期耐旱性进行评价,存在一定的片面性<sup>[11,26]</sup>。评价种子芽期耐旱性指标一般用相对发芽势、相对发芽率、发芽指数、活力指数等进行综合测定评价<sup>[27-28]</sup>,这些指标反映植物种子发芽速度、整齐度和幼苗健壮的程度。以相对发芽率等相对值来评价豌豆种质芽期的耐旱性,可以避免

不同基因型种子在正常条件(对照)下各指标所存在的差异对实验结果的影响,较客观反映待测种子在水分胁迫下的萌发水平<sup>[16]</sup>。本研究结果表明,22% PEG-6000 模拟干旱胁迫下不同豌豆种质间的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数等均存在显著差异,说明这些指标可以作为豌豆种子萌发期耐旱性的评价指标。通过主成分分析发现,相对发芽势、相对发芽率、相对根长、萌发耐旱指数、萌发胁迫指数、活力指数和相对根鲜重等 7 个指标与耐旱性关系密切。王以芝<sup>[29]</sup>研究认为抗旱类型大豆种质萌发率高,胚根生长速度快,抗胁迫能力强,敏感型大豆种质萌芽率低,胚根生长慢,抗胁迫能力弱,根系与耐旱性密切相关;孙祖东等<sup>[30]</sup>研究表明根系的发达程度也是作物的耐旱性指标之一,与本研究结果一致。利用隶属函数法进行综合分析。而这种结合多种指标进行综合评价的方法,有利于更加全面、精确地区分不同种质耐旱性的强弱,增加了鉴定结果的可靠性。

### 3.3 豌豆芽期耐旱材料与产地的关系

通过对 7 份抗性材料和 1 份高抗材料来源地气候数据分析,发现豌豆抗旱种质多来自降水较少的西北部春播区,其中 7 份抗性材料分别来自西北的宁夏(5 份)、甘肃(1 份),仅有 1 份来自河南;而 1 份高抗材料是来自降水很少的新疆莎车,这一结果说明耐旱资源与资源来源地有一定的关系。王兰芬等<sup>[14]</sup>采用 PEG-6000 对 113 份绿豆种质资源进行萌芽期耐旱鉴定,结果表明抗旱种质集中分布在西北地区。段新慧等<sup>[10]</sup>以 5 种野豌豆属牧草为材料采用 PEG-6000 旱胁迫进行种子萌发期耐旱鉴定,聚类分析结果表明,供试材料的抗旱性也与品种来源有关。这可能是因为我国西北部大部分地区干旱缺水,种质在干旱环境下经过长期的自然选择,具有了一定的抗旱性。

植物的抗旱性是由遗传因子和环境共同控制的一个复杂的数量性状,是对干旱环境的适应能力,其表现形式及机理复杂多样,不同生育时期抗旱机理存在差异,抗旱能力不同<sup>[31]</sup>,本试验仅对豌豆萌芽期耐旱性进行了鉴定,筛选出的抗旱种质在苗期和全生育期的抗旱性还有待进一步试验鉴定,不同时期抗旱性相关性还值得深入研究。

### 参考文献

[1] 宗绪晓. 食用豆类高产栽培与食品加工[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:10  
[2] 宗绪晓. 豌豆生产技术[M]. 北京:北京教育出版社,2016:1-2

[3] 路贵和,安海润. 作物抗旱性鉴定方法与指标研究进展[J]. 山西农业科学,1999,27(4):39-43  
[4] 武斌,李新海,肖木辑,等. 53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J]. 中国农业科学,2007,40(4):665-676  
[5] 杨剑平,陈学珍,王文平,等. 大豆实验室 PEG-6000 模拟干旱体系的建立[J]. 中国农学通报,2003,19(3):65-68  
[6] 景蕊莲,吕小平. 用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(4):292-296  
[7] 张娟,谢惠民,张正斌,等. 小麦抗旱节水生理遗传育种研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(3):231-238  
[8] 墨金萍,王梅春,连荣芳. 豌豆种质资源抗旱性鉴定与利用价值分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(5):1-6  
[9] 张立勤,王智琦,徐生明,等. 针叶豌豆 MZ-1 抗旱性研究[J]. 甘肃农业科技,2009(12):13-15  
[10] 段新慧,李鸿雁,师文贵,等. 几种野豌豆属牧草抗旱性鉴定[C]//中国草学会牧草育种委员会第七届代表大会论文集. 昆明:云南科技出版社,2009:388-397  
[11] 李龙,王兰芬,武晶,等. 普通菜豆种质资源芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(4):600-605  
[12] 李自超,刘文欣,赵笃乐. PEG 胁迫下水陆稻幼苗生长势比较研究[J]. 中国农业大学学报,2001,6(3):16-20  
[13] 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  
[14] 王兰芬,武晶,景蕊莲,等. 绿豆种质资源芽期抗旱性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(3):498-503  
[15] 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  
[16] 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  
[17] 龚明. 作物抗旱性鉴定方法与指标及其综合评价[J]. 云南农业大学学报,1989(1):37-81  
[18] 王赞,李源,吴欣明,等. PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定[J]. 中国草地学报,2008,30(1):50-55  
[19] 安永平,强爱玲,张媛媛,等. 渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(4):421-426  
[20] 王颖,穆春生,王靖,等. 松嫩草地主要豆科牧草种子萌发期耐旱性差异研究[J]. 中国草地学报,2006,28(1):7-12  
[21] 周玉丽,朱平,胡能兵,等. 不同大豆品种发芽期耐旱性评价及耐旱种质筛选[J]. 大豆科学,2015,34(4):616-623  
[22] 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  
[23] 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  
[24] 王述民,张亚芝,魏淑红,等. 普通菜豆种质资源描述规范和数据库标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006:56-57  
[25] 郝建辉. 扁蓊豆抗旱性鉴定及抗旱指标的筛选[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006  
[26] Teran H, Singh S P. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean [J]. Crop Sci, 2002, 42: 64-70  
[27] 李培英,孙宗玖,阿不来提,等. PEG 模拟干旱胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J]. 中国草地学报,2010,32(1):32-39  
[28] 张晨妮,周青平,颜红波,等. PEG-6000 对老芒麦种质材料萌发期抗旱性影响的研究[J]. 草业科学,2010(1):119-123  
[29] 王以芝. 大豆种子吸水率与抗旱性[J]. 种子世界,1989(1):23-24  
[30] 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  
[31] Levitt J. Responses of plants to environmental stresses[M]. New York:Academic Press,1972