



# 南方大豆种质种子耐浸水能力鉴定与分析

陈文杰, 陈 渊, 韦清源, 郭小红, 汤复跃, 梁 江

(广西农业科学院 经济作物研究所/玉米研究所, 广西 南宁 530007)

**摘要:**为鉴定比较南方不同大豆种质的耐浸水能力,为大豆种子耐浸水育种提供科学依据,本研究通过模拟田间渍害条件,对200份来自湖南等7省的南方大豆种质资源进行浸水处理120 h,然后进行标准发芽试验,记录各种质浸泡液电导率(CON120)、发芽势(GPP)、轻微损伤苗率(SISP)、发芽率(GP)和正常苗率(NSP)。采用基于主成分分析的综合指标法建立大豆种质耐浸水综合得分公式,用逐步回归分析筛选耐浸水关键指标,并建立耐浸水能力预测回归方程,计算各种质耐浸水能力值。研究表明:浸水处理后,200份南方大豆种质资源的CON120、GPP、SISP、GP、NSP均存在丰富的遗传变异,主成分分析提取两个主成分贡献率分别为64.03%和21.46%,逐步回归分析筛选出CON120、SISP、GP、NSP 4个耐浸水关键指标。不同来源地的大豆种质耐浸水能力存在差异,海南和广西大豆种质的综合耐浸水平均值较高, $U$ 值分别为0.885和0.748。综合指标法鉴定出ZDD16876等15份耐浸水能力强的大豆种质,来自广西、广东和湖南的大豆种质分别占40.00%、20.00%和20.00%。地方品种中,广东耐浸水种质比率高,广西次之,育成品种(品系)中,海南耐浸水种质比率最高。鉴定出的耐浸水种质将为今后大豆耐浸水育种提供材料基础。

**关键词:**南方大豆;种质资源;种子耐浸水;鉴定

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Seed-flooding Tolerance Identification and Comparison of Soybean Germplasm Resources in Southern China

CHEN Wen-jie, CHEN Yuan, WEI Qing-yuan, GUO Xiao-hong, TANG Fu-yue, LIANG Jiang

(Cash Crops Research Institute/Maize Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

**Abstract:** In order to identify and compare the submergence tolerance of different soybean germplasm in southern China and provide scientific basis for submergence tolerance breeding of soybean seeds, in this study 200 soybean germplasm resources (consisted of 160 landraces and 40 cultivars) coming from seven southern provinces of China were seed-flooding treated for 120 h. And then standard germination test was conducted. We counted the electrical conductivity of soaking solution after treated for 120 h (CON120), measured the germination potential percentage (GPP), the slightly injured seedling percentage (SISP), the germination percentage (GP), and the normal seeding percentage (NSP). Comprehensive tolerance index based on principal component analysis was used to establish scoring formula, stepwise regression analysis was used to select key indicators. And then, prediction regression equation of water resistance was established, soybean seed flooding tolerance values were calculated. The results showed that there were abundant genetic variations in CON120, GPP, SISP, GP, NSP of 200 soybean germplasm resources. Two principal components were extracted, with contribution ratio 64.03% and 21.46% respectively. Seed-flooding tolerance ability of soybean germplasm resources from different provinces were different. The mean value of comprehensive seed-flooding tolerance of soybean from Hainan and Guangxi province was higher than others, with average  $U$  value 0.885 and 0.748 respectively. 15 soybean germplasms with high seed-flooding tolerance, including ZDD16876 et al., were screened out by using comprehensive index. The 40, 20 and 20 percent of the 15 high seed-flooding tolerance germplasms were from Guangxi, Guangdong and Hunan province respectively. In the land races, seed-flooding tolerance ratio of soybean from Guangdong was the highest, followed by Guangxi. In the varieties, seed-flooding tolerance ratio of soybean from Hainan was the highest. These high seed-flooding tolerance soybean germplasm resources could be used for seed-flooding tolerance breeding.

**Keywords:** Southern soybean; Germplasm resource; Seeding-flooding tolerance; Identification

大豆是重要的粮油兼用作物,是人们重要的植物蛋白来源。尽管近年来中国国内大豆市场受进口大豆的冲击,大豆产业发展低迷,但大豆蛋白相

关食品加工依然依赖国内大豆生产,尤其是南方地区的大豆蛋白含量相对较高,市场对南方大豆的需求量较大。南方夏大豆播种时正值雨季,播种后土

收稿日期:2019-03-19

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-CES30);广西农业科学院团队项目(2015YT59);广西重点研发计划(桂科AB16380097)。

第一作者简介:陈文杰(1982-),男,硕士,助理研究员,主要从事大豆育种、耐逆境研究。E-mail: cenwenji1030@163.com。

通讯作者:梁江(1969-),男,硕士,研究员,主要从事大豆优质高产育种研究。E-mail: liangjiang0626@163.com。

壤含水量过高易发渍害影响大豆出苗。选用耐渍大豆种质培育耐渍水能力强的大豆品种,在南方夏大豆生产中有着重要的意义。

目前关于大豆营养生长期和生殖生长期涝害方面的研究较多<sup>[14]</sup>,但其种子耐渍水同生长期耐涝能力之间并无相关性<sup>[5]</sup>,需要进一步开展大豆种子耐渍水方面的研究。实验室内对大豆浸水处理可作为模拟田间渍水来开展渍水耐性研究<sup>[6]</sup>。研究表明大豆种质资源在种子耐浸水方面存在丰富的遗传变异<sup>[7-8]</sup>,一些种质种子浸水 2 d 便完全失活,而一些种质种子浸水 10 d 还保持较高的发芽率<sup>[7]</sup>。大豆耐浸水研究需要选择恰当的指标,单一指标有利于高效快速筛选耐浸水种质,但不能全面反映大豆种质种子浸水后的耐性表现情况,如陈文杰等<sup>[9]</sup>研究发现,一些材料浸水后发芽率很高,但是正常芽率却很低,因此在鉴定不同大豆种质籽粒耐浸水能力时,采用综合指标法更有利于全面掌握种质的抗性。综合指标法鉴定作物耐逆境能力已经广泛用于水稻<sup>[10-11]</sup>、玉米<sup>[12-13]</sup>、小麦<sup>[14-15]</sup>、花生<sup>[16-17]</sup>等作物上。目前尽管有综合指标法鉴定大豆种子耐浸水能力的报道<sup>[8]</sup>,但所涉及的种质资源数量和广泛性还不足。本研究旨在采用综合指标法,鉴定来自南方 7 个省、自治区的 200 份大豆种质资源的种子耐浸水能力,研究不同省份大豆种质种子浸水耐性差异表现,并对耐性好的大豆种质做初步筛选,为今后选育耐浸水大豆品种和开展耐浸水相关研究提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为引进和收集保存的南方 200 份大豆种质材料,其中 160 份为地方品种,40 份为育成品种(品系)。地方品种中,来自福建、湖南、江西、四川、广东和广西的品种分别有 10,69,19,30,6 和 26 份。育成品种(品系)中,广东 25 份,广西 6 份,海南 9 份,其中桂春 11 号和桂春 8 号是前期初步筛选的两份种质,桂春 11 号为“耐”级别,桂春 8 号为“较耐”级别(附表 1)。

### 1.2 试验设计

试验于 2017 年在广西农业科学院明阳基地进行,试验用种均为夏繁种子正常粒(无虫食、无蜡蛾叮咬,无破损)。采用随机区组试验方法,每次处理每种质取 30 粒正常粒,3 次重复。浸水处理 120 h 后进行发芽试验,分别统计各种质材料的发芽状况,并对各材料发芽指标与种质特性进行相关性分析。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 发芽状况的统计 浸水处理方法参照陈文

杰等<sup>[8]</sup>,即 30 粒种子在 75% 的酒精中消毒 5 s,自然晾干。根据种重按  $20 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$  于 300 mL 水杯中加入去离子水,待 1 个重复需要的水杯均加完水后,依次快速将各种质种子放入相应水杯,待种子全部放完后,25 ℃ 下浸水处理 120 h,处理结束时按照放种子的顺序依次倒出浸水液,去离子水清洗处理后的种子 3 次,备用。

采用沙床法标准发芽试验 (GBT3543.4-1995)<sup>[18]</sup>测定种子活力,发芽 3 d 统计发芽势,5 d 后统计发芽率,7 d 后统计正常苗、稍微损伤苗<sup>[9]</sup>。发芽势(germination potential percentage, GPP)、发芽率(germination percentage, GP)、正常苗率(normal seedling percentage, NSP)、轻微损伤粒率(lightly injured seedling percentage, SISP)计算方法参考陈文杰等<sup>[8]</sup>;用电导仪 DZS-708 测定处理 120 h 后的浸水液电导率(CON120)。

1.3.2 相关性分析 分别将大豆发芽指标与籽粒种皮颜色、蛋白质含量、油分含量和百粒重进行相关性分析<sup>[19-20]</sup>。其中大豆种质的蛋白含量和油分含量数据来源于《中国大豆品种资源目录》<sup>[21]</sup>,种质种皮颜色记录方法参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[22]</sup>,即:1 代表黄色、2 代表绿色、3 代表棕色、4 代表黑色,随着数值的增加种皮颜色逐渐加深。百粒重为每份种质随机数 100 粒称重,重复 3 次取平均值。

1.3.3 关键性耐浸水指标的筛选 先利用隶属函数法对数据进行标准化处理,然后利用主成分分析法提取 CON120、GPP、GP、NSP、SISP 指标的主成分,利用公式  $D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j]$ ,  $j = 1, 2, 3 \cdots n$ , 计算大豆耐浸水综合得分,其中  $W_j$  为第  $j$  个综合指标的权重。根据综合指标贡献率求得  $W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}$ ,  $j = 1, 2, 3 \cdots n$ ,  $P_j$  为第  $j$  个综合指标的贡献率。以综合得分为因变量,以 5 个指标为自变量进行逐步回归分析,筛选关键性耐浸水指标。

1.3.4 大豆耐浸水能力综合评价 根据逐步回归方程,计算各个材料综合耐浸水能力值  $Y$ ,然后利用隶属函数公式:  $U(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ ,  $j = 1, 2, 3 \cdots n$ , 计算各材料综合耐浸水能力隶属函数值  $U$ ,式中,  $X_j$  表示综合指标第  $j$  个值,  $X_{\min}$  表示第综合指标最小值,  $X_{\max}$  表示综合指标最大值。耐浸水级别划分参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[22]</sup>,即耐  $9: 0.9 < U \leq 1$ ; 较耐  $7: 0.7 < U \leq 0.9$ ; 中耐  $5: 0.4 < U \leq 0.7$ ; 较感  $3: 0.1 \leq U < 0.4$ ; 感  $1: U < 0.1$ 。耐浸水种

质比率计算公式为  $R(\%) = \frac{\text{耐浸水种质数}}{\text{种质总数}} \times 100$ 。

1.4 数据分析

利用 Excel 2017 进行试验数据预处理,利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析、作图及相关性分析等。

2 结果与分析

2.1 大豆种质资源浸水处理后指标统计特征

200 份大豆种质浸水 120 h 后,GPP、GP 和 NSP

均值分别为 41.88、47.89 和 25.61,说明试验处理强度偏强,有利于鉴定耐浸水能力强的材料。CON120、GPP、SISP、GP 和 NSP 变异系数分别为 42.06、68.71、105.30、61.73 和 103.67,说明浸水处理后,200 份大豆种质资源间耐浸水能力存在较大差异(表 1)。

表 1 浸水处理后 200 份大豆种质观测值的描述统计

Table 1 Descriptive statistics of 200 germplasm resources indexes after the seed-flooding treatment

参数 Parameter	电导率 CON120/(S·m <sup>-1</sup> )	发芽势 GPP/%	轻微损伤率 SISP/%	发芽率 GP/%	正常苗率 NSP/%
均值 Mean	414.47	41.88	8.18	47.89	25.61
最大值 Max.	1059.00	100.00	63.33	100.00	93.33
最小值 Min.	106.00	0	0	0	0
极差 Rang	953.00	100.00	63.33	100.00	93.33
标准差 STD	174.34	28.78	8.61	29.56	26.55
CV/%	42.06	68.71	105.30	61.73	103.67

2.2 大豆浸水相关指标及籽粒相关性状的相关性分析

如表 2 所示,GPP、GP、NSP 与百粒重均呈显著负相关,相关系数分别为 0.234、0.242 和 0.238,CON120 与百粒重显著正相关,相关系数为 0.200。CON120 同 GPP、GP 和 NSP 呈显著负相关,相关系数分别为 0.625、0.655 和 0.549。GPP、GP、NSP 间

存在较高相关性,大豆种质籽粒的蛋白含量和油份含量同 GPP、GP、NSP 无显著相关性,但油分含量同电导率存在弱相关性( $r=0.201$ )。大豆籽粒颜色同 GPP、GP、NSP 间存在显著相关性( $r$  分别为 0.142、0.178、0.177)。SISP 同种皮颜色呈显著正相关( $r=0.227$ ),同电导率呈显著负相关( $r=0.183$ )。

表 2 不同观测值间相关性分析

Table 2 Correlation analysis for observed indexes after seed-flooding treatment

指标 Index	种皮色 Seed coat color	百粒重 100-seed weight	电导率 CON120	发芽势 GPP	轻微破损率 SISP	发芽率 GP	正常苗率 NSP	蛋白含量 Protein content
百粒重 100 seed weight	0.029							
电导率 CON120	-0.187 **	0.200 **						
发芽势 GPP	0.142 *	-0.234 **	-0.625 **					
轻微破损率 SISP	0.227 **	0.016	-0.183 **	-0.025				
发芽率 GP	0.178 *	-0.242 **	-0.655 **	0.957 **	0.020			
正常苗率 NSP	0.177 *	-0.238 **	-0.549 **	0.796 **	-0.100	0.786 **		
蛋白含量 Protein content	0.018	0.030	0.068	-0.044	0.092	-0.048	-0.108	
油分含量 Oil content	-0.073	0.073	0.201 *	-0.023	-0.182	-0.002	-0.035	-0.581 **

\* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著差异。  
\* indicates a significant correlation at 0.05 level (bilateral); \*\* indicates a significant correlation at the 0.01 level (bilateral).

2.3 关键性耐浸水能力指标的筛选

主成分分析结果显示前两个成分特征向量值大于 1,且累计贡献率 85.49%(表 3),可提取前两个成分作为主成分。利用最大方差法对两个主成分进行正交旋转,并得到两个成分 z1 和 z2 的得分矩阵(表 4),第一个主成分贡献率为 64.03%,其在

GPP、GP、NSP、CON120 上有较大载荷,并与 GPP、GP、NSP 正相关,与 CON120 负相关。第二个主成分贡献率为 21.46%,其在 SISP 上有较大载荷,与 SISP 正相关(图 1)。根据各成分向量矩阵(表 4)计算得 z1 和 z2 权重分别为 0.749 和 0.251,因此大豆耐浸水综合得分公式为: $D=0.749z_1+0.251z_2$ 。

表 3 各成分的方差贡献率及累计贡献率表

Table 3 Variance contribution rate and cumulative contribution rate for each component

成分 Component	特征量 Eigenvalue	贡献率 Contribution ratio/%	累计贡献率 Cumulative contribution/%
1	3. 20	64. 03	64. 03
2	1. 07	21. 46	85. 49
3	0. 43	8. 61	94. 10
4	0. 25	5. 07	99. 17
5	0. 04	0. 83	100. 00

表 4 各成分向量矩阵

Table 4 Components of the factor matrix

指标 Index	成分 Component	
	z1	z2
电导率 Con120	-0. 231	-0. 276
发芽势 GPP	0. 301	-0. 058
轻微损伤率 SISP	-0. 029	0. 909
发芽率 GP	0. 300	-0. 009
正常苗 NSP	0. 281	-0. 157

表 5 逐步回归分析拟合过程的方差分析

Table 6 Analysis of ANOVA in the fitting process of stepwise regression analysis

模型 Model		非标准化系数 Unstandardized coefficient		标准系数 Standardized coefficient	t	显著性 Significance
		B	标准误差 Std. error			
1	Constant	-1. 168	0. 044		-26. 834	0
	GP	2. 440	0. 077	0. 913	31. 513	0
2	Constant	-0. 274	0. 065		-4. 242	0
	GP	1. 740	0. 069	0. 651	25. 239	0
	CON20	-1. 727	0. 111	-0. 400	-15. 496	0
3	Constant	-0. 587	0. 042		-13. 845	0
	GP	1. 845	0. 042	0. 691	44. 069	0
	CON20	-1. 438	0. 069	-0. 333	-20. 898	0
	SISP	1. 306	0. 070	0. 225	18. 655	0
4	Constant	-0. 604	0. 019		-31. 426	0
	GP	1. 374	0. 026	0. 514	53. 813	0
	CON20	-1. 335	0. 031	-0. 309	-42. 487	0
	SISP	1. 493	0. 032	0. 257	46. 005	0
	NSP	0. 675	0. 025	0. 243	27. 546	0
5	Constant	-0. 597	0		-26482. 641	0
	GP	0. 752	0	0. 281	12474. 180	0
	CON20	-1. 334	0	-0. 309	-36192. 312	0
	SISP	1. 543	0	0. 265	40276. 924	0
	NSP	0. 599	0	0. 216	20315. 575	0
	GPP	0. 730	0	0. 266	11901. 814	0

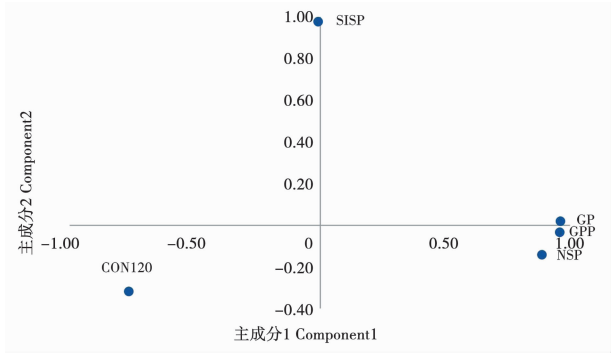


图 1 两个主成分散点图

Fig. 1 Scatter plots of the first two principal components in the principal component analysis

以各材料  $D$  值为因变量,以 CON120、GPP、GP、NSP、SISP 指标为自变量进行的逐步回归分析表明:逐步回归分析引入变量过程中,每次引入变量建立的回归方程均有统计学意义 ( $P < 0. 001$ ) (表 5)。但引入 GPP 变量时,模型调整  $R^2$  仅增加 0. 006 (表 6),因此选择 CON120、GP、NSP、SISP 变量为关键耐浸水能力指标,综合耐浸水能力预测回归方程为: $Y = -0. 605\ 4 + 1. 374X_{GP} - 1. 335X_{CON120} + 1. 493X_{SISP} + 0. 675X_{NSP}$ 。

表 6 逐步回归分析模型汇总  
Table 5 Summary of stepwise regression analysis model

模型 Model	$R$	$R^2$	调整 $R^2$ Adjusted $R^2$	标准估计的误差 Std. error of the estimate	$F$	$P$
1	0.913 a	0.834	0.833	0.323	993.087	0
2	0.962 b	0.925	0.924	0.217	240.142	0
3	0.986 c	0.973	0.973	0.131	348.025	0
4	0.997 d	0.994	0.994	0.059	758.770	0
5	1.000 e	1.000	1.000	0	141653171.700	0

a:预测变量 (常量) GP; b:预测变量 (常量) GP, CON120; c:预测变量 (常量) GP, CON120, SISP; d:预测变量 (常量) GP, CON120, SISP, NSP; e:预测变量 (常量) GP, CON120, SISP, NSP, GPP。  
a:Predictors (Constant) GP; b:Predictors (Constant) GP, CON120; c:Predictors (Constant) GP, CON120, SISP; d:Predictors (Constant) GP, CON120, SISP, NSP; e:Predictors (Constant) GP, CON120, SISP, NSP, GPP.

2.4 不同省份大豆种质种子耐浸水能力鉴定与比较

根据综合耐浸水能力预测回归方程计算各材料综合耐浸水能力值  $Y$ , 并利用隶属函数计算各种质得分的隶属函数  $U$  值, 然后根据耐浸水级别划分标准按不同省份将各种质耐浸水能力归类的结果表明:海南和广西的大豆材料  $U$  值均值分别为 0.885 和 0.748, 高于所有种质的平均值 0.624, 其余省份材料  $U$  值均值均低于所有种质均值, 福建大豆种质  $U$  值均值最小。海南和广西耐浸水种质比

率最高, 分别为 25.00% 和 18.75%, 江西和福建种质中未发现“耐”级别的大豆种质(表 7)。

鉴定为“耐”级别的 ZDD16876、ZDD22124 等 15 份大豆种质中, 有 6 份来自广西, 占总“耐”级种质的 40.00%, 来自广东、湖南的种质分别有 3 份, 海南的种质有 2 份。耐浸水能力最强的为来自广东的黑色种皮资源 ZDD16876(表 8)。桂春 11 号和桂春 8 号的  $U$  值分别为 0.975 和 0.937, 均在 15 份“耐”级别材料中。

表 7 综合指标法对 200 份大豆种质资源种子耐浸水鉴定结果  
Table 7 The seed flooding tolerance identification result of 200 soybean germplasm resources using comprehensive index method

省份 Province	种质数 Germplasm number	$U$ 均值 Mean of $U$	耐浸水级别 Seed-flooding tolerance grade					$R$ 值 $R$ value
			1	3	5	7	9	
福建 Fujian	10	0.484	0	3	6	1	0	0
广东 Guangdong	31	0.574	0	7	14	7	3	9.68
广西 Guangxi	32	0.748	0	3	8	15	6	18.75
海南 Hainan	8	0.885	0	0	0	6	2	25.00
湖南 Hunan	70	0.586	2	18	17	30	3	4.29
江西 Jiangxi	19	0.518	1	5	9	4	0	0
四川 Sichuan	30	0.576	0	9	11	9	1	3.33
均值 Mean	—	0.624	—	—	—	—	—	—

表 8 15 份耐浸水级别为 9 级的大豆种质资源

Table 8 15 seed-flooding tolerance soybean germplasms of tolerance level 9

种质 Germplasm	省份 Province	种质类型 Germplasm type	种皮色 Coat color	U 值 U value	CON120	SISP	GP	NSP
ZDD16876	广东	LR	4	1.000	240.00	3.33	93.33	93.33
ZDD22124	湖南	LR	1	0.992	258.00	3.33	93.33	93.33
SV11	广西	C	1	0.975	209.13	1.67	93.33	81.67
ZDD16874	广东	LR	4	0.971	277.00	6.67	90.00	83.33
ZDD22132	湖南	LR	3	0.971	280.00	63.33	36.67	0
H54	海南	C	1	0.951	270.00	6.67	93.33	66.67
ZDD17227	广西	LR	1	0.949	260.00	6.67	86.67	76.67
SV8	广西	C	1	0.937	321.00	6.67	87.78	81.11
ZDD16877	广东	LR	4	0.932	317.00	6.67	86.67	80.00
ZDD14738	湖南	LR	1	0.931	258.00	10.00	80.00	70.00
ZDD17009	广西	LR	1	0.930	305.00	0.00	100.00	73.33
ZDD13330	四川	LR	1	0.923	330.00	30.00	60.00	53.33
ZDD17125	广西	LR	1	0.921	255.00	6.67	86.67	63.33
ZDD06814	广西	LR	2	0.918	292.00	13.33	80.00	60.00
H19	海南	C	1	0.918	254.00	0.00	86.67	83.33

LR:地方品种; C:育成品种(品系)。

LR: Landrace; C: Cultivar (line).

2.5 不同类型大豆种质种子耐浸水能力比较

200 份大豆种质资源中,地方品种和育成品种(品系)“耐”级浸水种质各有 11 份和 4 份,分别占各种质的 6.88% 和 10.00%。地方品种耐浸水综合得分的  $U$  均值为 0.614,育成品种(品系)的为 0.591。鉴定为耐浸水能力最强和最弱的两份大豆材料 ZDD16876 和 ZDD14695 均来自于地方品种。地方品种种质资源中,广东资源的耐浸水综合得分  $U$  均值最高,为 0.767,次之为广西,福建和江西两

省最低。耐浸水种质比率广东最高,为 50.00%,其次为广西,为 15.38%,福建和江西地方品种种质中未见“耐”级的大豆种质(表 9)。

大豆育成品种(品系)主要来自于广东、广西和海南,3 省育成品种(品系)耐浸水综合得分的  $U$  均值大小顺序为:海南 > 广西 > 广东,海南和广西“耐”级的育成品种(品系)均为 2 份,分别占各自省育成品种(品系)的 25.00% 和 33.33%。广东育成品种(品系)中未见“耐”级的大豆种质(表 10)。

表 9 不同省份大豆地方品种综合耐浸水能力鉴定结果

Table 9 The comprehensive tolerance identification result of soybean landraces from different province								
省份 Province	种质数 Germplasm number	$U$ 均值 Mean of $U$	耐浸水级别 Seed-flooding tolerance grade					$R$ 值 $R$ value
			1	3	5	7	9	
福建 Fujian	10	0.484	0	3	6	1	0	0
广东 Guangdong	6	0.767	0	1	1	1	3	50.00
广西 Guangxi	26	0.749	0	2	7	13	4	15.38
海南 Hainan	0	—	—	—	—	—	—	—
湖南 Hunan	69	0.592	2	17	17	30	3	4.35
江西 Jiangxi	19	0.518	1	5	9	4	0	0
四川 Sichuan	30	0.576	0	9	11	9	1	3.33
均值 Mean		0.614						

表 10 不同省份育成品种(品系)综合耐浸水能力鉴定结果

Table 10 The comprehensive tolerance identification result of soybean cultivars (lines) from different provinces

省份 Province	材料数 Germplasm number	<i>U</i> 均值 Mean of <i>U</i>	耐浸水级别 Seed-flooding tolerance grade					<i>R</i> 值 <i>R</i> value
			1	3	5	7	9	
福建 Fujian	0	—	—	—	—	—	—	—
广东 Guangdong	25	0. 528	0	6	13	6	0	0
广西 Guangxi	6	0. 747	0	1	1	2	2	33. 33
海南 Hainan	8	0. 885	0	0	0	6	2	25. 00
湖南 Hunan	1	0. 204	0	1	0	0	0	0
江西 Jiangxi	0	—	—	—	—	—	—	—
四川 Sichuan	0	—	—	—	—	—	—	—
均值 Mean		0. 591						

3 讨 论

3.1 浸水处理后大豆种质不同表现

大豆种质种子的耐浸水能力同其籽粒大小和种皮颜色有关。种子籽粒大小同耐浸水能力呈显著负相关<sup>[6-8,23]</sup>,黑色种皮大豆种质平均耐浸水能力高于黄色种皮大豆<sup>[6-7]</sup>。本研究中发现大豆百粒重同浸种后的 GPP、GP、NSP 呈显著负相关(表 2)。大豆种皮颜色同 GPP、GP、NSP 间存在显著相关性,随着种皮颜色变深,大豆耐浸水能力增强。

研究表明,在涝害导致的厌氧状态下,植物可以通过“静止策略”(quiescence strategy)降低能量消耗来应对缺氧状态<sup>[24]</sup>,如耐涝水稻种质“FR13A”<sup>[25]</sup>。耐浸水大豆材料 Peking 在缺氧条件下不发芽,在氧气正常时恢复发芽,也是通过“静止策略”实现耐浸水,相反一些不耐浸水材料则在缺氧条件下依然发芽,厌氧呼吸产生有害物质损伤种子致使发芽率下降甚至种子失活<sup>[26-27]</sup>。本研究中以 ZDD16876 为代表的耐浸水材料,GPP、GP、NSP 值较大,而 SISP、CON120 值小,这类种质的外渗物质少,处理后种子依然保持较强活力。其耐浸水机制可能同 Peking 相似,而 ZDD22132 为代表的耐浸水材料,CON120、GPP、GP、NSP 值均较小,而 SISP 值较大,这类材料浸水处理后依然保持一定活力,但种子已经受到一定程度伤害,表现为处于“亚健康”状态<sup>[8]</sup>,这类材料耐浸水性可能同厌氧呼吸后细胞修复机制有关。

3.2 大豆耐浸水能力鉴定指标

植物某一个耐逆境性状往往是多角度的,一般有多个观测值进行某性状的耐性描述,根据生产需要选择相应的观测值进行研究。筛选耐性强的种质时适合选择与生产密切相关的某单一简易观测值,对种质进行耐性综合评价时则需要综合多个观

测值进行更全面的分析<sup>[14,23]</sup>。Hou 等<sup>[5]</sup>以发芽率为指标,从 730 份材料中筛选出份 20 高耐浸水大豆种质。Sayama 等<sup>[28]</sup>以发芽率和正常苗率为指标检测到 4 个大豆种子耐浸水相关的 QTL。刘瑞君等<sup>[29]</sup>利用浸水后大豆种子发芽率为指标研究了一个 RIL 群体耐浸水性,Ali 等<sup>[30]</sup>发现浸水 48 h 后大豆相对苗长遗传力最大,建议以浸水 48 h 后大豆苗长为指标研究大豆耐浸水能力。陈文杰等<sup>[9]</sup>研究大豆种子活力随浸水时间变化时发现,大豆种子浸水处理后,尽管部分种子不能正常发芽,但其能长出根或者子叶等,依然具有一定活力,用 SISP(轻微损伤率)和 IBSP(严重损伤率)来描述,随后鉴定广西育种上利用率高的地方品种、近期选育的大豆中间材料及大豆品种种子耐浸水能力时,发现 CON120、GP、GPP、SISP、IBSP、NSP 等 6 个与种子耐浸水能力相关性状可用主成分分析法提取 2 个主成分,更为全面地鉴定大豆种子耐浸水能力<sup>[8]</sup>。本研究表明,CON120、GP、GPP、SISP( IBSP 归入此类)、NSP 这 5 个指标间存在显著相关性(表 2),难以用单个指标来衡量种质的耐浸水能力。对 5 个指标进行主成分分析也提取 2 个主成分,1 个主成分与 CON120、GP、GPP、NSP 相关,另 1 个主成分与 SISP 相关,这与陈文杰等<sup>[8]</sup>研究结果一致。为筛选关键耐浸水指标,本研究还以由 2 个主成分构成的耐浸水综合得分为因变量,以 CON120、GP、GPP、SISP、NSP 这 5 个指标为自变量,进行逐步回归分析,结果发现 GPP 对预测方程影响很小,从而建立了以 CON120、GP、SISP、NSP 这 4 个指标为自变量的大豆耐浸水能力预测公式,对 200 份资源进行评价。陈文杰等<sup>[8]</sup>利用综合指标法鉴定的“耐”级别的大豆材料桂春 11 号,在本研究耐浸水能力鉴定中也为“耐”级别,说明利用综合指标鉴定种质资源耐浸水比较稳定可靠。

### 3.3 不同省份大豆耐浸水种质分析

陈文杰等<sup>[8]</sup>利用综合耐浸水能力法对主要来自广西育成或引进品种、地方品种以及近期选育的大豆中间材料等的137份大豆材料进行籽粒耐浸水能力鉴定,发现137份大豆材料耐浸水能力存在丰富的遗传变异,为进一步研究来自南方不同省份的大豆种质间差异。本研究对200份来自福建、湖南、江西、四川、广东、广西和海南7个省份的大豆材料籽粒耐浸水能力进行鉴定,160份地方品种中,广西、广东两省大豆种质耐浸水综合值高于福建、湖南、四川、江西等省,这可能与两省夏大豆播种季节正值多雨季节有关,筛选大豆耐浸水种质资源时。可考虑优先广东、广西的地方品种。育成品种(品系)耐浸水综合值均值高于地方品种,“耐”级别大豆种质所占的比率也高于地方品种,尤其是来自海南的育成品种(品系)耐浸水能力值 $U$ 均值为0.885,较总材料均值高0.294,这可能是因为当地播种季节常遇到多雨渍害,使新品种(品系)选育过程中有“耐浸水”定向选择效应。尽管育成品种(品系)耐浸水能力值 $U$ 均值高于地方品种,但鉴定的耐浸水综合值最大与最小的材料却均来自地方品种,地方品种在种子耐浸水方面存在丰富的遗传变异,可从地方品种中挖掘耐浸水能力强的大豆种质资源。

## 4 结 论

200份大豆种质资源进行浸水处理后,种质的CON120、GPP、GP、SISP、NSP存在丰富遗传变异。采用综合指标法对200份大豆种质进行耐浸水鉴定,来自不同省份的大豆种质及地方品种和育成品种(品系)的耐浸水能力存在差异,地方品种中,广东耐浸水种质比率高,次之广西,育成品种(品系)中,海南耐浸水种质比率高。筛选出16份耐浸水能力强的大豆种质,这些种质可用于耐浸水大豆品种选育及大豆耐浸水遗传和生理机制研究。

## 参考文献

[1] 王芳,赵团结,喻德跃,等. 大豆苗期耐淹性的遗传与QTL分析[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 748-753. (Wang F, Zhao T J, Yu D Y, et al. Inheritance and QTL analysis of submergence tolerance at seedling stage in soybean *Glycine max* (L.) Merr[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(5): 748-753.)

[2] 孙慧敏,赵团结,盖钧镒. 大豆苗期耐淹性的遗传与QTL分析[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 590-595. (Sun H M, Zhao T J, Gai J Y. Inheritance and QTL mapping of waterlogging tolerance at seedling stage of soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 590-595.)

[3] Vantoai T T, Beuerlein A F, Schmitthenner S K, et al. Genetic variability for flooding tolerance in soybeans[J]. Crop Science, 1994, 34(4): 1112-1115.

[4] 陈文杰,汤复跃,梁江,等. 大豆耐涝研究进展[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 191-195. (Chen W J, Tang F Y, Liang J, et al. Research progress on waterlogging tolerance in soybean[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(2): 191-195.)

[5] Wu C J, Chen P G, Hummer W, et al. Effect of flood stress on soybean seed germination in the field[J]. American Journal of Plant Sciences, 2017, 8: 53-68.

[6] Hou F F, Thseng F S. Studies on the screening technique for pre-germination flooding tolerance in soybean[J]. Japan Crop Science, 1992, 61(3): 447-453.

[7] Hou F F, Thseng F S. Studies on the flooding tolerance of soybean seed: Varietal differences[J]. Euphytica, 1991, 57: 169-173.

[8] 陈文杰,梁江,汤复跃,等. 不同大豆种质种子耐浸水能力鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 381-390. (Chen W J, Liang J, Tang F Y, et al. Analysis of seed-flooding tolerance of soybean germplasm[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(3): 381-390.)

[9] 陈文杰,陈渊,梁江,等. 不同浸水时间对大豆种子发芽的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(12): 1981-1984. (Chen W J, Chen Y, Liang J, et al. Effect of different soaking durations on soybean seed germination[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(12): 1981-1984.)

[10] 杨瑰丽,杨美娜,李帅良,等. 水稻萌芽期抗旱指标筛选与抗旱性综合评价[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(2): 1-5. (Yang M L, Yang M N, Li S L, et al. Screening and comprehensive evaluation of drought resistance indices of rice at germination stage[J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(2): 1-5.)

[11] 邹德堂,郭微,孙健,等. 水稻不同基因型耐盐相关性状主成分分析及综合评价[J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(8): 1-9. (Zou D T, Guo W, Sun J, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of salt tolerance related traits in different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49(8): 1-9.)

[12] 龙文靖,万年鑫,辜涛,等. 玉米苗期耐低铁能力的综合评价及其预测[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(4): 734-742. (Long W J, Wan N X, Gu T, et al. Comprehensive evaluation and forecast of low iron tolerant ability in maize seedling stage[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(4): 734-742.)

[13] 张海艳,赵海军. 不同品种玉米萌发期和苗期耐盐性综合评价[J]. 玉米科学, 2016, 24(5): 61-67. (Zhang H Y, Zhao H J. Comprehensive evaluation of salt tolerance of different corn varieties at the germination and seedling stages[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(5): 61-67.)

[14] 李龙,毛新国,王景一,等. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 988-999. (Li L, Mao X G, Wang J Y, et al. Drought tolerance evaluation of wheat germplasm resources[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(7): 988-999.)

[15] 白志英,李存东,孙红春,等. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4264-4272. (Bai Z Y, Li C D, Sun H C, et al. Principal compo-



nent analysis and comprehensive evaluation on physiological indices of drought resistance in wheat substitution[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(12): 4264-4272. )

[16] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 等. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选[J]. 植物遗传资源学报, 植物遗传资源学报, 2017, 18(6): 1079-1087. (Sun D L, Bian N F, Chen Z D, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at germination stage[J]. Journal of Plant Genetic resources, 2017, 18(6): 1079-1087. )

[17] 于天一, 林建材, 孙学武, 等. 花生幼苗耐酸鉴定指标筛选及综合评价[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(4): 488-495. (Yu T Y, Lin J C, Sun X W, et al. Screen of acid resistance evaluation indicators and comprehensive evaluation in peanut seedlings of different genotypes[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2017, 39(4): 488 -495. )

[18] 国家技术监督局. GB/T 3543. 4-1995. 农作物种子检验规程: 发芽试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995. (State Technology Supervision Administration. GB/T 3543. 4-1995. Rules for testing crop seeds: Germination tests[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 1995. )

[19] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. (Gai J Y. Test Statistics method[M]. Beijing: China Agriculture Publishing Press, 2000. )

[20] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1378-1382. (Zhou G S, Mei F Z, Zhou Z Q, et al. Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of water logging resistance of different whet varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(11): 1378-1382. )

[21] 常汝镇, 孙建英. 中国大豆品种资源目录(续编一)[M]. 北京: 农业出版社, 1991. (Chang R Z, Sun J Y. Catalogue of soybean germplasm resources in China (Continuation 1) [M]. Beijing: Agriculture Publishing Press, 1991. )

[22] 邱丽娟, 常汝镇. 大豆种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 69-73. (Qiu L J, Chang R Z. Descriptors and data standard for soybean (*Glycine* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 69-73. )

[23] 王芳, 赵团结, 盖钧镒. 大豆野生与栽培资源苗期耐淹性的鉴定、生态区特征和优异种质发掘[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 828-834. (Wang F, Zhao T J, Gai J Y. Evaluation, eco-region characterization and elite germplasm identification of submergence tolerance at seedling stage in wild and cultivated soybeans[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 828-834. )

[24] Bailey S J, Voesenek L A C J. Flooding stress: Acclimations and genetic diversity[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59(1): 313-319.

[25] Kawano N, Ito O, Sakagami J I. Morphological and physiological responses of rice seedlings to complete submergence( flash flooding)[J]. Annals of Botany, 2009, 103(2): 161-169.

[26] Nakajima T, Seino A, Nakamura T, et al. Does pre-germination flooding-tolerance soybean cultivar germinate better under hypoxia conditions [J]. Plant Production Science, 2015, 18(2): 146-153.

[27] Tian X H, Nakamura T, Kokubun M. The role of seed structure and oxygen responsiveness in pre-germination flooding tolerance of soybean cultivars[J]. Plant Production Science, 2005, 8(2): 157-165.

[28] Sayama T, Nakazaki T, Ishikawa G, et al. QTL analysis of seed-flooding tolerance in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) [J]. Plant Science, 2009, 176(4): 514-521.

[29] 刘瑞君, 靖静, 李志, 等. 栽培×野生大豆2个重组自交家系群体种子耐淹性遗传分析[J]. 大豆科学, 32(5): 581-586. (Liu R J, Jing J, Li Z, et al. Genetic analysis of seed germination characters under submergence stress in two recombinant inbred line populations of *Glycine max* × *Glycine soja* [J]. Soybean Science, 32(5): 581-586. )

[30] Ali M J, Yu Z P, Xing G N, et al. Establishment of evaluation procedure for soybean seed-flooding tolerance and its application to screening for tolerant germplasm sources[J]. Legume Research, 2017, 41(133): 1-9.