

江淮大豆育种种质苗期耐旱性鉴定

王应党,许孟歌,张雅娟,翁焱阳,李晓勇,孔杰杰,赵团结,何小红

(南京农业大学 大豆研究所/国家大豆改良中心/农业部大豆生物学与遗传育种重点实验室(综合)/作物遗传与种质创新国家重点实验室,江苏 南京 210095)

**摘 要:**江淮地区是我国大豆重要产区,季节性干旱时有发生,发掘适合本地区种植的耐旱新材料十分必要。选用 210 份江淮大豆育成新品种(系)及其部分亲本为材料,于 2015 和 2016 两年进行旱棚盆栽试验,以地上部干重、株高、主根长和根干重 4 个性状的耐旱系数为指标,通过主成分分析、隶属函数值法和聚类分析对其苗期耐旱性进行综合评价。结果表明:与正常供水相比,干旱胁迫下 4 个性状均显著降低,其中地上部干重、根干重、株高和主根长平均分别减小 54%、42%、39% 和 15%;方差分析显示各性状在水分处理间和材料间均存在极显著差异,而株高和根干重性状上基因型、水分处理和年份三因子间一级互作和二级互作效应均为极显著。地上部干重与株高、根干重间以及主根长与根干重间的耐旱系数存在显著正相关,反映指标间有内在联系;主成分分析提取的前 3 个相互独立的主成分的累积贡献率达 83.61%,能较好地替代原有 4 个信息部分重叠的性状;进一步获得耐旱性综合评价 *D* 值,结合聚类分析将所有材料分为强耐旱、耐旱、中度耐旱、干旱敏感、干旱强敏感 5 类。共鉴定出强耐旱材料 5 份(包括 1A2077、YC4H/NN88-31//NN73-935、蒙 8108、NN88-48/NN86-4 和 NN88-48/D76-1609)、耐旱材料 57 份。来自淮南和淮北地区的强耐旱或耐旱材料分别为 27 份(占该地区 83 份材料的 32.53%)和 19 份(占该地区 76 份材料的 25.00%)。所得结果可为大豆耐旱遗传育种提供材料。

**关键词:**大豆;苗期;耐旱性;综合评价

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.05.0669

Identification of Drought-tolerance of Soybean Germplasms from Yangtze and Huaihe River Valleys at Seedling Stage

WANG Ying-dang, XU Meng-ge, ZHANG Ya-juan, WENG Ye-yang, LI Xiao-yong, KONG Jie-jie, ZHAO Tuan-jie, HE Xiao-hong

(Soybean Research Institute/National Center for Soybean Improvement/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture/National Key Laboratory for Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The Yangtze and Huaihe River Valleys (YHRV) is an important area for soybean production in China. However, seasonal drought occurs frequently in this region, thus it is very necessary to identify and screen new drought-tolerant germplasms adapting to there. In the present study, 210 accessions of soybean germplasm, including 159 new breeding lines developed from YHRV and 51 parental lines, were planted in plastic pots under water-stressed and well-watered conditions in rain-proof greenhouse in both 2015 and 2016. The drought tolerance coefficients of shoot dry weight (SDW), plant height (PH), tap root length (TRL), and root dry weight (RDW) at seedling stage were used as drought tolerant indices. Principle component analysis, the subordinate function value method and cluster analysis were jointly applied for comprehensive evaluation of drought tolerance for the tested genotypes. The results showed that the four traits were significantly decreased under the water-stressed condition compared with those under the well-watered condition. The averages for SDW, RDW, PH and TRL were reduced by 54%, 42%, 39% and 15%, respectively. The analysis of variance (ANOVA) showed that there was very significant differences between the two water treatments among the tested genotypes for all the traits, moreover, the first and the second order interactions of the three factors, i. e. genotype, water treatment and year, for the PH and RDW were very significant. There was significant positive correlation relationship for drought-tolerant coefficients between SDW and PH, SDW and RDW, TRL and RDW, which reflected the inherent relations among the original drought tolerant indicators. The first three independent principal components extracted from principal component analysis accounted for 83.61% of the total variability and could adequately replace the original four indices which had overlapped information. To obtain the drought tolerance comprehensive evaluation *D*-value, the principal component scores for all the genotypes were then standardized through subordinate function and further average with corresponding eigenvalue as weight. All accessions were divided into five classes, i. e. high

收稿日期:2017-05-11  
基金项目:国家自然科学基金(31571691);长江学者和创新团队发展计划(PCSIRT13073);江苏省现代作物生产协同创新中心项目(JCIC-MCP)  
第一作者简介:王应党(1989-),男,硕士,主要从事大豆分子育种研究。E-mail: 2014101084@njau.edu.cn。  
通讯作者:何小红(1975-),男,博士,副教授,主要从事大豆遗传育种与植物数量遗传研究。E-mail: hestat@njau.edu.cn;  
赵团结(1969-),男,博士,教授,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: tjzhao@njau.edu.cn。

drought tolerance, drought tolerance, medium drought tolerance, drought susceptibility and high drought susceptibility, using cluster analysis based on *D*-value. Five accessions ( IA2077, YC4H/NN88-31//NN73-935, M8108, NN88-48/NN86-4 and NN88-48/D76-1609) were identified as high drought tolerance and 57 was identified as drought tolerance among the total samples. 27 lines (32.53% out of 83 genotypes in this region) from Southern YHRV and 19 lines (25.00% out of 76 genotypes in this region) from Northern YHRV were identified as high drought tolerance or drought tolerance. The screened genotypes could be used for drought tolerance breeding in soybean.

**Keywords:** Soybean; Seedling stage; Drought tolerance; Comprehensive evaluation

大豆[ *Glycine max* ( L. ) Merr. ]起源于中国,已经有 4 000 多年的栽培历史,是重要的植物蛋白质和食用油脂来源,作为油料经济作物,在农业生产中占据重要的地位<sup>[1]</sup>。随着经济发展和社会环境的改变,培育高产、优质大豆品种受到很多不利因素的限制,其中干旱是限制大豆产量最主要的非生物逆境因素<sup>[2]</sup>。目前世界上有 34.9% 的土地处于干旱和半干旱地带,遍及 50 多个国家和地区。我国是世界上干旱和半干旱土地面积较大的国家,占全国总耕地的 50% 以上<sup>[3]</sup>。

干旱可在全生育期对大豆造成伤害,苗期干旱可导致单株产量降低 21.84%<sup>[4]</sup>。在水源不足的情况下,耐旱种质的鉴定和耐旱品种的应用是解决干旱胁迫下作物生产经济有效的途径<sup>[5]</sup>。前人在大豆耐旱性鉴定方面做了大量的研究工作:张小虎等<sup>[6]</sup>对 100 份大豆品种资源进行全生育期耐旱性鉴定,以株高、主茎节数、开花期、百粒重等性状为指标,采用隶属函数值法评价其耐旱性,共鉴定出 18 份较耐旱材料;肖佳雷等<sup>[7]</sup>对 77 份东北春大豆种质进行芽期耐旱性鉴定,以相对发芽率为单项指标评价其耐旱性,共鉴定出 23 份较耐旱材料;臧紫薇等<sup>[8]</sup>对 11 份大豆进行苗期耐旱性鉴定,以茎干重、根干重、主根长等性状为指标,结合灰色关联度分析评价其耐旱性,鉴定出 8 份较耐旱材料。大豆耐旱鉴定存在多种评价方法:有以产量<sup>[9]</sup>或叶片耐萎蔫性<sup>[2]</sup>等直接评价其耐旱性的单项指标评价法;也有隶属函数法<sup>[10]</sup>、耐旱性综合评价 *D* 值法<sup>[11]</sup>等综合评价方法。但单项指标评价法难以全面、准确地反映耐旱性的强弱<sup>[12]</sup>,为了全面、客观地评价某个材料的耐旱性,需要根据多项指标对其进行综合

评价。目前水稻<sup>[13]</sup>、玉米<sup>[14]</sup>、小麦<sup>[15]</sup>、花生<sup>[16]</sup>、油菜<sup>[17]</sup>、绿豆<sup>[18]</sup>等大多数作物的耐逆性评价多采用综合评价分析方法。现阶段,耐旱性综合评价 *D* 值评价方法已在大豆花荚期中应用<sup>[19]</sup>,该方法不仅避免了利用单一指标鉴定耐旱性时可能的片面性,而且避免了仅仅利用隶属函数法进行多项指标评价时各项指标间存在不同程度的相关性而造成的信息交叉与重叠,鉴定结果较为全面和可靠<sup>[20]</sup>。

国内对东北地区、西部地区大豆耐旱研究已有报道<sup>[19,21-23]</sup>,但对江淮地区大豆耐旱性研究较少。江淮地区是我国大豆重要产区,受西太平洋副热带高压与东亚季风的影响,季节性干旱时有发生<sup>[24]</sup>。本研究对江淮地区新近育成新品种(系)为主的材料进行苗期干旱胁迫试验,测定耐旱性相关的多个性状,并通过主成分分析、隶属函数值法和聚类分析相结合的方法构建耐旱性评级指标,用于鉴定和筛选江淮大豆育种种质耐旱新品种(系),以期为大豆耐旱遗传和耐旱大豆品种培育与应用提供材料基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为适合江淮地区的优质、高产新品种(系)159 份(包括淮北材料 76 份、淮南材料 83 份)和亲本材料 51 份(其中国外引种材料 15 份),共 210 份。新品系选自 95 个组合,其亲本来源于国内多个省区 and 美国、日本,具有较广泛的遗传基础。所有材料均由南京农业大学国家大豆改良中心提供(表 1)。

表 1 供试大豆材料名称、来源及其苗期耐旱性、综合评价 *D* 值及级别

Table 1 Name, source, drought tolerance, *D*-value and tolerance grade for the tested genotypes

编号	名称	来源	<i>D</i> 值	耐旱性级别	编号	名称	来源	<i>D</i> 值	耐旱性级别
Code	Name	Source	<i>D</i> -value	Tolerance grade	Code	Name	Source	<i>D</i> -value	Tolerance grade
L001	蒙 8108 M8108	淮北 NHRR	0.641	强耐旱 HDT	L007	HD6H/KX3H	淮北 NHRR	0.522	耐旱 DT
L002	NG94-16/DHP	淮北 NHRR	0.566	耐旱 DT	L008	Y10-05	淮北 NHRR	0.518	耐旱 DT
L003	ZC3/NG118-2	淮北 NHRR	0.559	耐旱 DT	L009	NG118/OT94-57	淮北 NHRR	0.515	耐旱 DT
L004	NG94-16/YC4	淮北 NHRR	0.552	耐旱 DT	L010	徐豆 15 XD15	淮北 NHRR	0.506	耐旱 DT
L005	徐豆 18 XD18	淮北 NHRR	0.535	耐旱 DT	L011	CD5H/T173	淮北 NHRR	0.502	耐旱 DT
L006	ZC 3/NG118-1	淮北 NHRR	0.531	耐旱 DT	L012	SXYS/AGH	淮北 NHRR	0.500	耐旱 DT

续表 1

编号	名称	来源	D 值	耐旱性级别	编号	名称	来源	D 值	耐旱性级别
Code	Name	Source	D-value	Tolerance grade	Code	Name	Source	D-value	Tolerance grade
L013	泗豆 520 SD520	淮北 NHRR	0.498	耐旱 DT	L055	CD5H/V95-5390	淮北 NHRR	0.347	干旱敏感 DS
L014	CD5H/V95-5390	淮北 NHRR	0.497	耐旱 DT	L056	徐豆 16 XD16	淮北 NHRR	0.341	干旱敏感 DS
L015	T821101	淮北 NHRR	0.492	耐旱 DT	L057	MSB/TFS	淮北 NHRR	0.340	干旱敏感 DS
L016	CD5H/HP202	淮北 NHRR	0.489	耐旱 DT	L058	T821096	淮北 NHRR	0.337	干旱敏感 DS
L017	YC4H/GYHD	淮北 NHRR	0.486	耐旱 DT	L059	NG94-14/1A2032	淮北 NHRR	0.337	干旱敏感 DS
L018	118J7/Forrest	淮北 NHRR	0.480	耐旱 DT	L060	日本晴/44-1 RBQ/44-1	淮北 NHRR	0.333	干旱敏感 DS
L019	ZS07259/HD12	淮北 NHRR	0.473	耐旱 DT	L061	XLQ/CD5H	淮北 NHRR	0.328	干旱敏感 DS
L020	S12C324	淮北 NHRR	0.468	中度耐旱 MDT	L062	NG94-14//JL31/DHP	淮北 NHRR	0.327	干旱敏感 DS
L021	LF/YC4H	淮北 NHRR	0.460	中度耐旱 MDT	L063	FY434/CD5H	淮北 NHRR	0.324	干旱敏感 DS
L022	412785/YC4H	淮北 NHRR	0.459	中度耐旱 MDT	L064	AJZ/NG118-2	淮北 NHRR	0.320	干旱敏感 DS
L023	ZD20/AGH	淮北 NHRR	0.455	中度耐旱 MDT	L065	SD007	淮北 NHRR	0.316	干旱敏感 DS
L024	NG118-1/JD7H	淮北 NHRR	0.451	中度耐旱 MDT	L066	FD33/NG94-5	淮北 NHRR	0.309	干旱敏感 DS
L025	CD5H/ZYD4219B2	淮北 NHRR	0.451	中度耐旱 MDT	L067	YD22/Pella	淮北 NHRR	0.305	干旱敏感 DS
L026	NG118-1/JD7H	淮北 NHRR	0.444	中度耐旱 MDT	L068	H95-1	淮北 NHRR	0.301	干旱敏感 DS
L027	AJZ/NG118-3	淮北 NHRR	0.443	中度耐旱 MDT	L069	LU-01	淮北 NHRR	0.297	干旱敏感 DS
L028	徐豆 13 XD13	淮北 NHRR	0.436	中度耐旱 MDT	L070	LF/USP90-2	淮北 NHRR	0.268	干旱强敏感 HDS
L029	NN73-935/Z0102	淮北 NHRR	0.432	中度耐旱 MDT	L071	淮豆 7 号 HD7H	淮北 NHRR	0.265	干旱强敏感 HDS
L030	CD5/AJZ	淮北 NHRR	0.430	中度耐旱 MDT	L072	CD5H/HF35	淮北 NHRR	0.252	干旱强敏感 HDS
L031	NG94-16/JL31	淮北 NHRR	0.425	中度耐旱 MDT	L073	T119-1	淮北 NHRR	0.248	干旱强敏感 HDS
L032	HL03/NG94-14	淮北 NHRR	0.422	中度耐旱 MDT	L074	NG118-3/Z92029-2	淮北 NHRR	0.245	干旱强敏感 HDS
L033	LF/USP90-2	淮北 NHRR	0.418	中度耐旱 MDT	L075	USP90-2//CD5H/CD1H	淮北 NHRR	0.236	干旱强敏感 HDS
L034	NG94-16/1A2077	淮北 NHRR	0.410	中度耐旱 MDT	L076	NG118-2/OT94-47	淮北 NHRR	0.196	干旱强敏感 HDS
L035	LF/USP90-2	淮北 NHRR	0.409	中度耐旱 MDT	L077	YC4H/NN88-31//NN73-935	淮南 SHRR	0.645	强耐旱 HDT
L036	USP90-2/NG118-1	淮北 NHRR	0.398	中度耐旱 MDT	L078	NN88-48/NN86-4	淮南 SHRR	0.636	强耐旱 HDT
L037	NG94-16/TW75	淮北 NHRR	0.394	干旱敏感 DS	L079	NN88-48/D76-1609	淮南 SHRR	0.624	强耐旱 HDT
L038	NG118-2/OT94-47	淮北 NHRR	0.390	干旱敏感 DS	L080	NN493-1/YC4H	淮南 SHRR	0.586	耐旱 DT
L039	汾豆 51 FD51	淮北 NHRR	0.387	干旱敏感 DS	L081	NN86-4/CD5H	淮南 SHRR	0.583	耐旱 DT
L040	T821060	淮北 NHRR	0.385	干旱敏感 DS	L082	SB/JD74//NN9910	淮南 SHRR	0.581	耐旱 DT
L041	CD5H/HN8H	淮北 NHRR	0.384	干旱敏感 DS	L083	NN86-4/Vance	淮南 SHRR	0.568	耐旱 DT
L042	NG94-16/N2899	淮北 NHRR	0.380	干旱敏感 DS	L084	CX//NXHD/YC4H	淮南 SHRR	0.559	耐旱 DT
L043	科丰 35 KF35	淮北 NHRR	0.378	干旱敏感 DS	L085	NJ90L-1	淮南 SHRR	0.548	耐旱 DT
L044	AJZ/CD5H	淮北 NHRR	0.377	干旱敏感 DS	L086	南农 99-10 NN99-10	淮南 SHRR	0.541	耐旱 DT
L045	徐豆 14 XD14	淮北 NHRR	0.366	干旱敏感 DS	L087	NN86-4/7424	淮南 SHRR	0.539	耐旱 DT
L046	CD5H/HF35	淮北 NHRR	0.365	干旱敏感 DS	L088	NN87-23/NN86-4	淮南 SHRR	0.537	耐旱 DT
L047	ZC1H//LF/YC4H	淮北 NHRR	0.365	干旱敏感 DS	L089	南农 1138-2 NN1138-2	淮南 SHRR	0.532	耐旱 DT
L048	ZS07301/SN12	淮北 NHRR	0.364	干旱敏感 DS	L090	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.528	耐旱 DT
L049	11QQ01	淮北 NHRR	0.364	干旱敏感 DS	L091	NN86-4/D76-1609B1	淮南 SHRR	0.526	耐旱 DT
L050	T890790	淮北 NHRR	0.363	干旱敏感 DS	L092	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.524	耐旱 DT
L051	118J7/Forrest	淮北 NHRR	0.362	干旱敏感 DS	L093	NN86-4/D76-1609	淮南 SHRR	0.521	耐旱 DT
L052	Y10043	淮北 NHRR	0.360	干旱敏感 DS	L094	南农 88-31 NN88-31	淮南 SHRR	0.521	耐旱 DT
L053	V97-6490B/NN95C-13	淮北 NHRR	0.359	干旱敏感 DS	L095	NN86-4/NH5	淮南 SHRR	0.518	耐旱 DT
L054	NG118-1/JD7H	淮北 NHRR	0.358	干旱敏感 DS	L096	NN73-932/ZS18	淮南 SHRR	0.508	耐旱 DT

续表 1

编号	名称	来源	D 值	耐旱性级别	编号	名称	来源	D 值	耐旱性级别
Code	Name	Source	D-value	Tolerance grade	Code	Name	Source	D-value	Tolerance grade
L097	YC96-4/NN86-4	淮南 SHRR	0.507	耐旱 DT	L139	CD5H/NN88-48	淮南 SHRR	0.386	干旱敏感 DS
L098	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.504	耐旱 DT	L140	NN73-932/ZS18	淮南 SHRR	0.378	干旱敏感 DS
L099	NN493-1	淮南 SHRR	0.491	耐旱 DT	L141	NN88-48/N21534	淮南 SHRR	0.375	干旱敏感 DS
L100	NN86-4/RLFI	淮南 SHRR	0.490	耐旱 DT	L142	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.373	干旱敏感 DS
L101	NL-1//XSD/NN88-48	淮南 SHRR	0.485	耐旱 DT	L143	NN493-1/YC4H	淮南 SHRR	0.372	干旱敏感 DS
L102	南农 87-17 NN87-17	淮南 SHRR	0.476	耐旱 DT	L144	Y96-3//YC4/8831	淮南 SHRR	0.371	干旱敏感 DS
L103	南农 87-23 NN87-23	淮南 SHRR	0.475	耐旱 DT	L145	NN87-23/NN86-4	淮南 SHRR	0.367	干旱敏感 DS
L104	YC4H/Graham	淮南 SHRR	0.469	中度耐旱 MDT	L146	NG94-16/863070D36	淮南 SHRR	0.366	干旱敏感 DS
L105	NN88-48/HCBYB	淮南 SHRR	0.466	中度耐旱 MDT	L147	CD5H/NT-1	淮南 SHRR	0.353	干旱敏感 DS
L106	NN99-6	淮南 SHRR	0.466	中度耐旱 MDT	L148	118J4/XY4	淮南 SHRR	0.351	干旱敏感 DS
L107	SP//ZGDD/YC4H///SP	淮南 SHRR	0.464	中度耐旱 MDT	L149	苏豆 8 号 SD8H	淮南 SHRR	0.350	干旱敏感 DS
L108	YC4H/NG5545	淮南 SHRR	0.463	中度耐旱 MDT	L150	通豆 8 号 TD8H	淮南 SHRR	0.346	干旱敏感 DS
L109	22369/NN88-48	淮南 SHRR	0.461	中度耐旱 MDT	L151	NN86-4/N21534	淮南 SHRR	0.339	干旱敏感 DS
L110	NN88-48/DHP	淮南 SHRR	0.459	中度耐旱 MDT	L152	NN88-48/AGH	淮南 SHRR	0.331	干旱敏感 DS
L111	NN86-4/7424	淮南 SHRR	0.456	中度耐旱 MDT	L153	NN88-48/NG4690	淮南 SHRR	0.315	干旱敏感 DS
L112	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.456	中度耐旱 MDT	L154	NN88-48/YC4H	淮南 SHRR	0.309	干旱敏感 DS
L113	Y96-3/Vance	淮南 SHRR	0.456	中度耐旱 MDT	L155	NN86-4	淮南 SHRR	0.303	干旱敏感 DS
L114	NN88-48/T173	淮南 SHRR	0.449	中度耐旱 MDT	L156	苏鲜 21 SX21	淮南 SHRR	0.297	干旱敏感 DS
L115	YC4H/NG5545	淮南 SHRR	0.445	中度耐旱 MDT	L157	南农 39 NN39	淮南 SHRR	0.291	干旱敏感 DS
L116	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.443	中度耐旱 MDT	L158	TEPZ-G	淮南 SHRR	0.230	干旱强敏感 HDS
L117	NN88-48/RLFI	淮南 SHRR	0.440	中度耐旱 MDT	L159	NN86-4/NN242	淮南 SHRR	0.229	干旱强敏感 HDS
L118	通豆 7 号 TD7H	淮南 SHRR	0.438	中度耐旱 MDT	L160	IA2077	美国 USA	0.660	强耐旱 HDT
L119	NN86-4/XSD//NN87-23	淮南 SHRR	0.435	中度耐旱 MDT	L161	大滑皮 DHP	河南 Henan	0.564	耐旱 DT
L120	USP90-2	淮南 SHRR	0.428	中度耐旱 MDT	L162	中豆 19 ZD19	湖北 Hubei	0.559	耐旱 DT
L121	NN86-4/D76-1609	淮南 SHRR	0.426	中度耐旱 MDT	L163	Beeson	美国 USA	0.539	耐旱 DT
L122	NN73-932/ZS18	淮南 SHRR	0.422	中度耐旱 MDT	L164	NG94-156	江苏 Jiangsu	0.534	耐旱 DT
L123	BG/SB//XY4	淮南 SHRR	0.422	中度耐旱 MDT	L165	蒙 8206 M8206	安徽 Anhui	0.533	耐旱 DT
L124	22369/NN88-48	淮南 SHRR	0.417	中度耐旱 MDT	L166	油 96-3 Y96-3	湖北 Hubei	0.528	耐旱 DT
L125	JD74/NN99-10	淮南 SHRR	0.417	中度耐旱 MDT	L167	科丰 1 号 KF1H	北京 Beijing	0.524	耐旱 DT
L126	NN86-4/RLFI	淮南 SHRR	0.416	中度耐旱 MDT	L168	吉林 31 JL31	吉林 Jilin	0.523	耐旱 DT
L127	NN73-932//90L-2/YSD	淮南 SHRR	0.415	中度耐旱 MDT	L169	NG4690	美国 USA	0.515	耐旱 DT
L128	YC4H/NG5545	淮南 SHRR	0.414	中度耐旱 MDT	L170	PI416937	美国 USA	0.507	耐旱 DT
L129	NN88-31/YC4H//NN73-935	淮南 SHRR	0.410	中度耐旱 MDT	L171	晋豆 23 JD23	山西 Shanxi	0.503	耐旱 DT
L130	NN493-1/YC4H	淮南 SHRR	0.408	中度耐旱 MDT	L172	泰兴黑豆 TXHD	江苏 Jiangsu	0.497	耐旱 DT
L131	NN73-935/NG6255	淮南 SHRR	0.407	中度耐旱 MDT	L173	南雄黄豆 NXHD	广东 Guangdong	0.484	耐旱 DT
L132	NG118-3/TLYSDB1	淮南 SHRR	0.405	中度耐旱 MDT	L174	台湾 75 TW75	中国台湾 China Taiwan	0.482	耐旱 DT
L133	SD1H/AGH	淮南 SHRR	0.401	中度耐旱 MDT	L175	楚秀 CX	江苏 Jiangsu	0.479	耐旱 DT
L134	YC4H/SP	淮南 SHRR	0.399	中度耐旱 MDT	L176	Graham	美国 USA	0.465	中度耐旱 MDT
L135	YC4H/NN88-31	淮南 SHRR	0.392	干旱敏感 DS	L177	徐豆 8 号 XD8H	江苏 Jiangsu	0.461	中度耐旱 MDT
L136	NN86-4/XSD	淮南 SHRR	0.391	干旱敏感 DS	L178	周 92029-2 Z92029-2	河南 Henan	0.443	中度耐旱 MDT
L137	菜豆 6 号 CD6H	淮南 SHRR	0.390	干旱敏感 DS	L179	滁豆 1 号 CD1H	安徽 Anhui	0.441	中度耐旱 MDT
L138	YC4H/SB	淮南 SHRR	0.387	干旱敏感 DS	L180	新六青 XLQ	安徽 Anhui	0.440	中度耐旱 MDT

续表 1

编号	名称	来源	<i>D</i> 值	耐旱性级别	编号	名称	来源	<i>D</i> 值	耐旱性级别
Code	Name	Source	<i>D</i> -value	Tolerance grade	Code	Name	Source	<i>D</i> -value	Tolerance grade
L181	冀豆 7 号 JD7H	河北 Hebei	0. 431	中度耐旱 MDT	L196	OT94-47	美国 USA	0. 377	干旱敏感 DS
L182	邯郸里外青 HDLWQ	河北 Hebei	0. 428	中度耐旱 MDT	L197	浙春 3 号 ZC3H	浙江 Zhejiang	0. 367	干旱敏感 DS
L183	Vance	美国 USA	0. 426	中度耐旱 MDT	L198	NG6255	美国 USA	0. 361	干旱敏感 DS
L184	诱处 4 号 YC4	北京 Beijing	0. 422	中度耐旱 MDT	L199	T173	日本 Japan	0. 355	干旱敏感 DS
L185	NG5545	美国 USA	0. 419	中度耐旱 MDT	L200	T821058	江苏 Jiangsu	0. 354	干旱敏感 DS
L186	L65-3366-C	美国 USA	0. 410	中度耐旱 MDT	L201	合丰 35 HF35	黑龙江 Heilongjiang	0. 336	干旱敏感 DS
L187	黑农 26 HN26	黑龙江 Heilongjiang	0. 408	中度耐旱 MDT	L202	矮脚早 AJZ	湖北 Hubei	0. 326	干旱敏感 DS
L188	D76-1609	美国 USA	0. 401	中度耐旱 MDT	L203	苏小豆 ZXD	江苏 Jiangsu	0. 306	干旱敏感 DS
L189	矮秆黄 AGH	安徽 Anhui	0. 400	中度耐旱 MDT	L204	N7241	安徽 Anhui	0. 292	干旱敏感 DS
L190	HL05	美国 USA	0. 392	干旱敏感 DS	L205	B295	美国 USA	0. 288	干旱敏感 DS
L191	ZW-1	江苏 Jiangsu	0. 392	干旱敏感 DS	L206	汉川八月爆 HCBYB	湖北 Hubei	0. 246	干旱强敏感 HDS
L192	正阳 148 ZY148	河南 Henan	0. 392	干旱敏感 DS	L207	通山薄皮黄豆甲 TSBPHDJ	湖北 Hubei	0. 241	干旱强敏感 HDS
L193	临河粉青豆 LHFQD	江苏 Jiangsu	0. 385	干旱敏感 DS	L208	晋豆 21 JD21	山西 Shanxi	0. 231	干旱强敏感 HDS
L194	油 96-4 Y96-4	湖北 Hubei	0. 381	干旱敏感 DS	L209	中作 00683 ZZ00683	北京 Beijing	0. 230	干旱强敏感 HDS
L195	NH5	美国 USA	0. 381	干旱敏感 DS	L210	通山黄豆 TSHD	湖北 Hubei	0. 223	干旱强敏感 HDS

NHRR = 淮北;SHRR = 淮南;HDT = 强耐旱(0. 586 < *D* <0. 660);DT = 耐旱(0. 469 < *D* ≤0. 586);MDT = 中度耐旱(0. 394 < *D* ≤0. 469);DS = 干旱敏感(0. 268 < *D* ≤0. 394);HDS = 干旱强敏感(*D* ≤0. 268)。

NHRR = Northern Huaihe river region; SHRR = Southern Huaihe river region; HDT = High drought tolerance (0. 586 < *D*); DT = Drought tolerance (0. 469 < *D* ≤0. 586); MDT = Medium drought tolerance (0. 394 < *D* ≤0. 469); DS = Drought susceptibility (0. 268 < *D* ≤0. 394); HDS = High drought susceptibility (0. 196 < *D* ≤0. 268)。

1.2 试验设计

采用旱棚盆栽试验,分别于 2015 和 2016 年在南京农业大学江浦试验站进行。盆钵高 24 cm、直径 30 cm,每盆装土和沙共 10. 5 kg(土壤和沙按 4:1 比例混合,以便于洗根并调查根系性状)。设正常供水(well-watered, WW)和干旱胁迫(water-stressed, WS)两种水分处理,每个水分处理下均采用随机区组设计,3 次重复。2015 年 5 月和 2016 年 5 月选取籽粒饱满的各供试材料种子直播,每盆 6 粒,二节期(V2)间苗,每盆定植生长相近植株 3 株。

当大豆植株生长到三节期(V3)开始进行水分胁迫处理,采用滴灌系统定量给水,正常供水水分含量控制在 35% ~40%,干旱胁迫水分含量控制在 15% ~20%,采用便携式土壤水分测量仪探测盆土水分含量。干旱胁迫处理 30 d 后取样,在子叶处将植株剪断,分成地上部和根部两部分,将地上部放进牛皮纸袋;用水将盆土充分浸湿,将盆土连同植株根部轻轻倒出,再用流水轻轻冲洗,洗净根上所有附泥,阴干后放进牛皮纸袋。

1.3 测定项目与方法

株高(plant height, PH, cm):用直尺测量从子叶节到植株顶端生长点的长度;主根长(tap root length, TRL, cm):直尺测量从子叶节到主根尖端的

长度;地上部干重(shoot dry weight, SDW, g)、根干重(root dry weight, RDW, g):105℃ 条件下杀青 30 min,再于 80℃ 条件下烘干至恒重,电子天平称重。测定方法参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》<sup>[25]</sup>。

1.4 数据分析

利用 SAS 9. 2 软件的 MEANS 过程<sup>[26]</sup>计算各性状及其耐旱系数的描述统计量、GLM 过程<sup>[26]</sup>进行两年干旱胁迫试验的联合方差分析、CORR 过程<sup>[26]</sup>计算 Pearson 相关系数。方差分析所用的线性模型为:

$$y_{ijkl} = \mu + g_i + s_j + t_k + (gs)_{ij} + (gt)_{ik} + (st)_{jk} + (gst)_{ijk} + r_{l(jk)} + e_{ijkl}$$

其中:μ 为总体平均数;g<sub>*i*</sub> 为试验材料基因型效应(*i* = 1, 2, …, 210);s<sub>*j*</sub> 为水分处理效应(*j* = 1, 2);t<sub>*k*</sub> 为年份效应(*k* = 1, 2);(gs)<sub>*ij*</sub>、(gt)<sub>*ik*</sub>和(st)<sub>*jk*</sub>为基因型、水分处理和年份三因子间一级互作效应;(gst)<sub>*ijk*</sub>为上述三因子间二级互作效应;r<sub>*l(jk)*</sub>为年份 × 水分处理环境内区组效应(*l* = 1, 2, 3);e<sub>*ijkl*</sub>为随机误差。

1.5 耐旱性鉴定

参照周广生等<sup>[20]</sup>应用耐逆性综合评价 *D* 值法对供试基因型的耐旱性进行鉴定和级别归组。主要程序包括:

(1) 计算各个基因型在各个性状上耐旱性测度—耐旱系数 (drought tolerance coefficient, DTC):

$$DTC_{iq} = \bar{y}_{iq(WS)} / \bar{y}_{iq(WW)} \times 100\%$$

其中:  $\bar{y}_{iq(WS)}$  和  $\bar{y}_{iq(WW)}$  分别为干旱胁迫和正常供水条件下基因型  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 210$ ) 在  $q$  ( $q = 1, 2, \dots, 4$ ) 性状上观测值的平均数。

(2) 对不同性状的耐旱系数进行主成分分析, 以消除因耐旱系数间可能存在的相关性而造成的信息交叉和重叠, 同时还能对变量进行降维。根据累积贡献率大于 80% 的准则提取前  $P$  个主成分, 用以替代原有的耐旱系数用于耐旱性评价。计算各基因型在这些主成分上的得分  $x_{ip}$  ( $p = 1, 2, \dots, P$ )。

(3) 利用隶属函数将各基因型在所提取的各个主成分上的得分值进行标准化 (标度到区间  $[0, 1]$ ):

$$x'_{ip} = u(x_{ip}) = [x_{ip} - \min(x_p)] / [\max(x_p) - \min(x_p)]$$

其中:  $\max(x_p)$  和  $\min(x_p)$  分别为所有基因型在第  $p$  个主成分上得分的最大值和最小值。

(4) 计算各基因型的耐旱性综合评价  $D$  值 (该基因型在所提取的各个主成分上的标准化得分的加权平均数):

$$D_i = \sum_{p=1}^P (w_p x'_{ip})$$

其中:  $w_p = \hat{\lambda}_p / \sum_{p=1}^P (\hat{\lambda}_p)$  为第  $p$  个主成分的权重;  $\hat{\lambda}_p$  为主成分分析中第  $p$  个主成分的特征值。

(5) 以各基因型的耐旱性综合评价  $D$  值为指标进行系统聚类分析, 将供试基因型分为 5 类, 确定 5 级耐旱性的分组标准, 最终对各基因型耐旱性级别归组。

上述分析中主成份分析和系统聚类分别利用 SAS 9.2 软件中的 PRINCOMP 和 CLUSTER 过程实现<sup>[26]</sup>。

2 结果与分析

2.1 苗期干旱对江淮大豆育种种质耐旱性相关性状的影响

由表 2 可知, 干旱胁迫下 4 个耐旱性相关性状均有不同程度的下降, 地上部干重、根干重、株高和主根长平均分别降低 54%、42%、39% 和 15%。各性状耐旱系数的变异系数介于 8.75% (株高) ~ 24.19% (地上部干重), 说明各耐旱性相关性状上均存在不同程度的基因型差异, 因此应利用多个性状对大豆苗期耐旱性进行综合评价。此外还注意到, 主根长具有最大的平均耐旱系数 (0.85), 变幅为 0.61 ~ 1.13, 说明干旱胁迫下植株可能通过优先维持 (甚至促进) 主根生长以尽可能保持对水分的吸收。

表 2 大豆苗期耐旱性相关性状在正常供水和干旱胁迫条件下的描述统计结果  
Table 2 Summary statistics of all traits related to drought tolerance at seedling stage in soybean under water-stressed and well-watered conditions

性状 Trait	处理 Treatment	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	变幅 Range	变异系数 CV/%	耐旱系数 DTC		
					Mean ± SD	Range	CV/%
地上部干重	WS	4.39 ± 1.04	2.11 ~ 7.97	23.60	0.46 ± 0.11	0.20 ~ 0.79	24.19
SDW/g	WW	9.63 ± 1.43	6.78 ~ 15.59	14.83			
株高	WS	37.58 ± 4.21	23.07 ~ 48.60	11.21	0.61 ± 0.05	0.45 ~ 0.76	8.75
PH/cm	WW	61.67 ± 7.30	40.41 ~ 98.99	11.84			
主根长	WS	29.62 ± 2.47	20.50 ~ 38.00	8.33	0.85 ± 0.09	0.61 ~ 1.13	10.45
TRL/cm	WW	35.18 ± 3.23	27.50 ~ 46.60	9.17			
根干重	WS	0.75 ± 0.12	0.50 ~ 1.32	15.95	0.58 ± 0.10	0.26 ~ 0.92	17.24
RDW/g	WW	1.34 ± 0.27	0.71 ~ 2.54	20.02			

SD = 标准差; CV = 变异系数; DTC = 耐旱系数; WS = 干旱胁迫; WW = 正常供水。  
SD = Standard deviation; CV = Coefficient of variation; DTC = Drought tolerance coefficient; WS = Water-stressed; WW = Well-watered.

对各耐旱性相关性状两年干旱胁迫试验结果进行联合方差分析 (表 3), 结果表明各性状在基因型间、水分处理间和年份间均存在极显著的差异, 说明遗传差异、干旱对各性状产生的抑制作用和环境变异均有统计学意义。株高和根干重性状上基因型、水分处理和年份三因子间一级互作和二级互作效应均为极显著, 说明以这两个性状作为测度时

各基因型对干旱胁迫和环境变化存在差异响应, 并且各基因型对干旱胁迫的差异响应还会因环境变化而变化, 因此一方面筛选出对干旱具有不同响应的大豆基因型是存在遗传资源物质基础的, 另一方面耐旱性鉴定结果还会受环境影响, 要筛选出稳定的耐旱大豆基因型应进行多年或多点的多环境试验。

表 3 大豆苗期耐旱性相关性状方差分析结果

Table 3 Analysis of variance for the four traits related to drought tolerance at seedling stage in soybean									
变异来源 Source of variation	自由度 DF	地上部干重 SDW		株高 PH		主根长 TRL		根干重 RDW	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
区组(年份×处理) Block within year×treatment	8	34. 69	7. 08 **	1100. 75	24. 06 **	603. 59	18. 84 **	3. 16	29. 69 **
基因型 G	209	8. 03	1. 64 **	333. 66	7. 29 **	60. 01	1. 87 **	0. 36	3. 41 **
处理 T	1	4842. 84	989. 21 **	361849. 87	7909. 07 **	18880. 47	589. 46 **	211. 12	1982. 49 **
年份 Y	1	11350. 22	2318. 42 **	776. 11	16. 96 **	86382. 37	2696. 90 **	136. 50	1281. 75 **
基因型×处理 G×T	209	3. 90	0. 80	85. 20	1. 86 **	37. 95	1. 03	0. 14	1. 38 **
基因型×年份 G×Y	209	7. 46	1. 52 **	83. 68	1. 83 **	37. 95	1. 18 *	0. 15	1. 37 **
处理×年份 T×Y	209	90. 39	18. 46	8685. 09	189. 83 **	4. 18	0. 13	7. 63	71. 66 **
基因型×处理×年份 G×T×Y	209	3. 80	0. 78	52. 49	1. 15	38. 06	1. 19 *	0. 10	0. 98
误差 Error	1672	4. 90		45. 75		32. 03		0. 11	

G = 基因型; T = 处理; Y = 年份; MS = 均方; F = F 值; \* 和 \*\* 分别代表在 0. 05 和 0. 01 水平达到显著。  
G = Genotype; T = Treatment; Y = Year; MS = Mean square; F = F value; \* and \*\* represent significant at the levels of  $P < 0. 05$  and  $P < 0. 01$ , respectively.

2. 2 各耐旱性相关性状间的相关性分析

表 4 列出了各耐旱性相关性状间的相关系数。在干旱胁迫条件下,除株高与主根长、根干重间相关不显著外,其余性状间均存在极显著正相关;地上部干重与株高间的相关系数最高( $r = 0. 465$ ),其次是地上部干重与根干重间( $r = 0. 347$ )。这些性状的耐旱系数间相关系数有一半为极显著正相关(包括地上部干重与株高间、地上部干重与根干重间以及主根长与根干重间)。这些相关性反映了性状间有内在联系,同时也说明它们直接用于大豆耐旱性评价时存在信息的交叉和重叠。

表 4 大豆苗期耐旱性相关性状间的 Pearson 相关系数  
Table 4 Pearson's correlation coefficients among the four traits related to drought tolerance at seedling stage in soybean

性状 Trait	地上部干重 SDW	株高 PH	主根长 TRL	根干重 RDW
SDW	1. 000	0. 465 **	0. 137 **	0. 347 **
PH	0. 288 **	1. 000	0. 042	0. 069
TRL	0. 107	0. 046	1. 000	0. 233 **
RDW	0. 191 **	0. 033	0. 271 **	1. 000

右对上角为干旱胁迫条件下各性状间的相关系数;左对下角为各性状耐旱系数间的相关系数;\* 和 \*\* 分别代表在 0. 05 和 0. 01 水平达到显著相关。

Above diagonal, the correlation coefficients among the traits under water-stressed condition; Under diagonal, the correlation coefficients among drought tolerance coefficient; \* and \*\* represent significant at the levels of  $P < 0. 05$  and  $P < 0. 01$ , respectively.

2. 3 耐旱系数的主成分分析

上节(2. 2 节)分析表明苗期耐旱性相关性状间

存在信息的交叉和重叠,因此综合评价时不能简单直接相加。主成分分析可以将这些相关性状重新组合成一组新的相互独立的综合指标替代原有性状。由表 5 可知,前 3 个主成分的累积贡献率达到 83. 61%,能代表原有 4 个性状耐旱系数的绝大部分信息,故以下我们将利用这前 3 个主成分对大豆苗期耐旱性进行综合评价。第 1 主成分在各个性状上都有较大的载荷,尤其是在地上部干重(0. 571 2)和根干重(0. 523 3)上,可以看作生物量因子。第 2 主成分在地上部和地下部性状上具有相反的符号,可以看作地上与地下部协调因子。第 3 主成分在主根长上具有最大的载荷(0. 661 6),可以看作主根因子。

表 5 各性状耐旱系数的主成分特征向量及贡献率  
Table 5 Eigenvectors and contribution rates of the major principal components derived from the drought tolerance coefficients for the four traits

性状 Trait	特征向量 Eigenvector		
	成分 1	成分 2	成分 3
	Component 1	Component 2	Component 3
地上部干重 SDW	0. 5712	0. 3676	0. 3841
株高 PH	0. 4269	0. 6274	0. 4049
主根长 TRL	0. 4666	-0. 5146	0. 6616
根干重 RDW	0. 5233	-0. 4543	-0. 5009
特征值 Eigenvalue	3. 0167	1. 1266	0. 8855
贡献率 Contribution rate/%	36. 92	27. 66	19. 03
累积贡献率 Cumulative contribution/%	36. 92	64. 58	83. 61

2.4 江淮大豆育种种质苗期耐旱性综合评价和耐旱级别归组

将2.3节中各性状耐旱系数的前3个相互独立的主成分用作大豆苗期耐旱性评价的综合指标,经过隶属函数法标准化和以各主成分特征值为权重的加权平均分析,计算出各基因型的耐旱性综合评价*D*值(表1)。再以*D*值为指标进行系统聚类,将供试材料划分为5类,确定5级耐旱性的分组标准(表6),最终对各供试基因型耐旱性级别归组(表1)。总样本中鉴定出强耐旱材料5份(包括IA2077、YC4H/NN88-31//NN73-935、蒙8108、NN88-48/NN86-4和NN88-48/D76-1609)、耐旱材料57份(共占29.52%),干旱强敏感及干旱敏感材料86份(占40.96%)。来自淮北地区的76份新品种(系)中,表现强耐旱或耐旱的有19份(占25.00%),表现干旱强敏感或干旱敏感的有40份(占52.63%);来自淮南地区的83份新品种(系)中,表现强耐旱或耐旱的有27份(占32.53%),表现干旱强敏感或

干旱敏感的有25份(占30.12%);51份亲本材料中,表现强耐旱或耐旱的有16份(占31.37%),表现干旱强敏感或干旱敏感的有21份(占41.17%)。

淮北地区的强耐旱或耐旱代表品种(系)有蒙8108(L001)、NG94-16/DHP(L002)、徐豆18(L005)和徐豆15(L010)等,干旱强敏感或干旱敏感代表品种(系)有T119-1(L073)、淮豆7号(L071)和NG118-2/OT94-47(L076)等;淮南地区强耐旱或耐旱代表品种(系)有NN88-48/NN86-4(L078)、NN86-4/CD5H(L081)、NN88-48/D76-1609(L079)和NN86-4/Vance(L083)等,干旱强敏感或干旱敏感代表品种(系)有苏鲜21(L156)、南农39(L157)和TEPZ-G(L158)等;亲本材料中强耐旱或耐旱代表品种(系)有IA2077(L160)、Beeson(L163)、蒙8206(L165)、PI416937(L170)和晋豆23(L171)等;干旱强敏感或干旱敏感代表品种(系)有中作00683(L209)、通山黄豆(L210)和晋豆21(L208)等。

表6 供试大豆材料苗期耐旱性级别分组及其频率分布

Table 6 Grouping and frequency distribution of drought tolerance grades at seedling stage in soybean					
耐旱性级别	<i>D</i> 值范围	总样本(占比)	淮北(占比)	淮南(占比)	亲本(占比)
Drought tolerance grade	<i>D</i> -value range	Whole sample/%	NHRR/%	SHRR/%	PL/%
强耐旱 HDT	(0.586, 0.660]	5(2.38)	1(1.32)	3(3.61)	1(1.96)
耐旱 DT	(0.469, 0.586]	57(27.14)	18(23.68)	24(28.92)	15(29.41)
中度耐旱 MDT	(0.394, 0.469]	62(29.52)	17(22.37)	31(37.35)	14(27.45)
干旱敏感 DS	(0.268, 0.394]	72(34.29)	33(43.42)	23(27.71)	16(31.37)
干旱极强敏感 HDS	(0.196, 0.268]	14(6.67)	7(9.21)	2(2.41)	5(9.80)
合计 Total		210(100)	76(100)	83(100)	51(100)

NHRR = 淮北;SHRR = 淮南;PL = 亲本;HDT = 强耐旱;DT = 耐旱;MDT = 中度耐旱;DS = 干旱敏感;HDS = 干旱强敏感。  
NHRR = Northern Huaihe river region; SHRR = Southern Huaihe river region; PL = Parental lines; HDT = High drought tolerance; DT = Drought tolerance; MDT = Medium drought tolerance; DS = Drought susceptibility; HDS = High drought susceptibility.

3 结论与讨论

大豆耐旱性是复杂的数量性状,它通过一系列生理生化 and 形态变化表现出来,具有单个性状研究的局限性和综合研究的复杂性。肖佳雷等<sup>[7]</sup>对77份东北春大豆种质以相对发芽率为指标进行芽期耐旱性鉴定,由于耐旱机制的多样性利用单项指标不能全面衡量耐旱性。王伟等<sup>[27]</sup>对12份大豆材料采用隶属函数法进行多指标苗期耐旱性综合鉴定,但单独的隶属函数法多指标综合评价不能消除因各项指标间存在不同程度的相关性而造成的信息交叉与重叠,而该研究中一些性状间存在极显著相关。本文以大豆苗期4个耐旱性相关性状的耐旱系数作为耐旱性衡量指标,应用耐逆性综合评价*D*值评价方法<sup>[20]</sup>对大豆苗期耐旱性进行综合评价。研

究发现耐旱系数间相关系数半数为极显著正相关,这些相关性反映了指标间有内在联系,直接将它们用于耐旱性评价时会存在信息的交叉和重叠<sup>[11,20]</sup>。主成分分析将这些存在不同程度相关性的耐旱系数转换为相互独立的综合指标;隶属函数法则将各基因型在各主成分上的得分都规格化到[0,1]区间上,便于进一步地综合和基因型间耐旱性的比较;以各主成分特征值为权重的加权平均*D*值计算既考虑了各主成分重要性差异,又避免人为规定权重的主观性;以*D*值为指标进行系统聚类,确定耐旱性的分组标准,同样可以减少人为分组的主观性<sup>[20,28]</sup>。公认耐旱材料PI416937和晋豆23等正确归组验证了该综合评价方法的可靠性。

本研究共鉴定出淮南地区强耐旱或耐旱材料27份(占该地区材料总数的32.53%),淮北地区强



耐旱或耐旱材料 19 份(占该地区材料总数的 25.00%)。淮南地区强耐旱或耐旱代表品种(系)有 NN88-48/NN86-4 (L078)、NN86-4/CD5H (L081)、NN88-48/D76-1609 (L079) 和 NN86-4/Vance (L083) 等,是 NN86-4 和 NN88-48 等核心亲本与国内外优良亲本的组合结果。亲本材料中强耐旱或耐旱代表品种(系)有 PI416937 (L170)、晋豆 23 (L171)、IA2077 (L160)、Beeson (L163) 和蒙 8206 (L165) 等,其中 PI416937<sup>[29]</sup>和晋豆 23<sup>[30]</sup>为前人研究中报道的耐旱材料。晋豆 21 (L208)<sup>[31]</sup>在前人研究中也鉴定为耐旱材料,但在本研究中晋豆 21 被归组到干旱敏感型,这可能与试验所处的生态环境条件或材料自身遗传基础有关,也可能是由于本试验环境误差造成的。

旱棚盆栽试验是人工模拟干旱胁迫的有效方法,可控性和重复性高。但由于受光照和温度等大棚小气候影响以及其它环境因素的综合作用,旱棚盆栽试验与大田自然干旱胁迫结果可能存在一定的差异。通过技术改进和设施投入,不断提高旱棚人工模拟干旱的仿真度,可以不断提高鉴定结果的实际应用效果。本研究中株高和根干重等耐旱性相关性状上基因型、水分处理和年份三因子间一级互作和二级互作效应均为极显著,说明各基因型对干旱胁迫和环境变化存在差异响应,这与前人研究结果一致<sup>[21]</sup>,因此要筛选出稳定的耐旱大豆基因型还应进行多年或多点的多环境试验。

参考文献

[1] Liu Z, Li H, Fan X, et al. Phenotypic characterization and genetic dissection of nine agronomic traits in Tokachi nagaha and its derived cultivars in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) [J]. Plant Science, 2017, 256:72-86.

[2] Pathan S M, Lee J D, Sleper D A, et al. Two soybean plant introductions display slow leaf wilting and reduced yield loss under drought [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2014, 200 (3): 231-236.

[3] 林汉明,常汝镇,邵桂花,等. 中国大豆耐逆研究[M]. 北京:中国农业出版社,2009:1-60. (Lin H M, Chang R Z, Shao G H, et al. Soybean stress tolerance research in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009: 1-60. )

[4] 赵宏伟,李秋祝,魏永霞. 不同生育时期干旱对大豆主要生理参数及产量的影响[J]. 大豆科学,2006,25(3):329-332. (Zhao H W, Li Q Z, Wei Y X. Effect of drought at different growth stages on main physiological parameters and yield in soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 329-332. )

[5] Osakabe Y, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, et al. Sensing the environment; Key roles of membrane-localized kinases in plant perception and response to abiotic stress[J]. Journal of the American Chemical Society, 2013, 64(2): 445-458.

[6] 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,2011,39(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, 39(2): 106-108,112. )

[7] 肖佳雷,李炜,来永才,等. 黑龙江省春大豆种质资源芽期抗旱鉴定与筛选[J]. 作物杂志,2012,37(1):142-145. (Xiao J L, Li W, Lai Y C, et al. Identification and screening of drought-resistant spring soybean germplasm in Heilongjiang [J]. Crops, 2012, 37(1): 142-145. )

[8] 臧紫薇,赵雪,李海燕,等. 大豆种质资源苗期抗旱性评价[J]. 大豆科学,2016,35(6):964-968. (Zang Z W, Zhao X, Li H Y, et al. Evaluation of drought resistance of soybean germplasm in seedling stage [J]. Soybean Science, 2016, 35(6): 964-968. )

[9] Bhatia V S, Jumrani K. A maximin-minimax approach for classifying soybean genotypes for drought tolerance based on yield potential and loss [J]. Plant Breeding, 2016, 135(6): 691-700.

[10] 刘学义. 大豆抗旱性评定方法探讨[J]. 中国油料作物学报,1986,38(4):25-28. (Liu X Y. Discussion of drought resistance methods on soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1986, 38(4): 25-28. )

[11] 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. )

[12] 李贵全,杜维俊,孔照胜,等. 不同大豆品种抗旱生理生态的研究[J]. 山西农业大学学报,2000(3):197-200. (Li G Q, Du W J, Kong Z S, et al. Studies on physiological drought resistance of different soybean varieties [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2000 (3): 197-200. )

[13] 胡标林,扬平,万勇,等. 东乡野生稻 BILs 群体苗期抗旱性综合评价及其遗传分析[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(2):249-256. (Hu B L, Yang P, Wan Y, et al. Comprehensive assessment of drought resistance of BILs population derived from Dongxiang wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) at seedling stage and its genetic analysis [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(2): 249-256. )

[14] 杜彩艳,段宗颜,张乃明,等. 云南主栽玉米品种抗旱性鉴定与评价[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(4):181-189. (Du C Y, Duan Z Y, Zhang N M, et al. Identification and evaluation of drought resistance in different maize varieties widely grown in Yunnan [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(4): 181-189. )

[15] 张龙龙,杨明明,董剑,等. 三个小麦新品种不同生育阶段抗旱性的综合评价[J]. 麦类作物学报,2016,36(4):426-434. (Zhang L L, Yang M M, Dong J, et al. Comprehensive analysis of drought resistance of three new wheat cultivars at different growth stages [J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(4): 426-434. )

[16] 张智猛,戴良香,丁红,等. 中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价[J]. 作物学报,2012,38(3):495-504. (Zhang Z M, Dai L X, Ding H, et al. Identification and evaluation of drought resistance in different peanut varieties widely grown in northern China [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(3): 495-504. )

[17] 谢小玉,张霞,张兵. 油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J]. 中国农业科学, 2013,46(3):476-485. (Xie X Y, Zhang X, Zhang B. Evaluation of drought resistance and analysis of variation of relevant parameters at seedling stage of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(3): 476-485. )

[18] 王兰芬,武晶,景蕊莲,等. 绿豆种质资源苗期抗旱性鉴定[J]. 作物学报,2015,41(1):145-153. (Wang L F, Wu J, Jing R L, et al. Drought resistance identification of mungbean germplasm resources at seedlings stage [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(1): 145-153. )

[19] 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,2015,16(1):37-44. (Wang Y P, Ren H Y, Sun X H, et al. Comprehensive evaluation on drought resistance of different soybean cultivars at flowering-podding stage [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16(1): 37-44. )

[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 wheat varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(11): 1378-1382. )

[21] 王敏,杨万明,杜维俊. 苗期大豆根系及地上部指标与耐旱性的关系[J]. 大豆科学,2012,31(3):399-405. (Wang M, Yang W M, Du W J. Root and aboveground characteristics at seedling and their relationship with drought tolerance in soybean[J]. Soybean Science, 2012, 31(3): 399-405. )

[22] 闫春娟,宋书宏,王文斌,等. 大豆耐旱种质的鉴定[J]. 大豆科学,2015,34(1):163-167. (Yan C J, Song S H, Wang W B, et al. Identification of drought stress tolerance in soybean [*Glycine-max* (L.) Merr.] [J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 163-167. )

[23] 袁野,邴鑫,徐克章,等. 大豆品种抗旱性早期鉴定方法[J]. 中国油料作物学报,2010,32(4):518-524. (Yuan Y, Bing X, Xu K Z, et al. Early identification method of drought-tolerance of soybean cultivar [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2010, 32(4): 518-524. )

[24] 朱哲. 2013 年夏季江淮地区高温干旱事件成因分析[J]. 北华航天工业学院学报,2016,26(1):37-40. (Zhu Z. An analysis of drought event and its causation in Jianghuai region during summer 2013 [J]. 2016, 26(1): 37-40. )

[25] 邱丽娟,常汝镇,刘章雄,等. 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. (Qiu L J, Chang R Z, Liu Z X, et al. Soybean germplasm resource description specification and standard data [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. )

[26] SAS Institute Inc. SAS/STAT® User's guide version 9.2[M]. NC: SAS Institute Inc., 2004.

[27] 王伟,姜伟,张金龙,等. 大豆种质的耐旱性鉴定及耐旱指标筛选[J]. 大豆科学,2015,34(5):808-818. (Wang W, Jiang W, Zhang J L, et al. Selection of drought-tolerant soybean and evaluation of the drought-tolerance indices[J]. Soybean Science, 2015, 34(5): 808-818. )

[28] 余家林. 农业多元试验统计[M]. 北京:北京农业出版社, 1993:188-200. (Yu J L. Agricultural multiple test statistics [M]. Beijing:Beijing Agricultural Press, 1993:188-200. )

[29] Abdel-Haleem H, Lee G J, Boerma R H. Identification of QTL for increased fibrous roots in soybean[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2011, 122(5): 935-946.

[30] Song W W, Duan F M, Li W B, et al. *GmPOI* gene encoding a Pollen\_Ole\_e\_I conserved domain is involved in response of soybean to various stresses [J]. Biologia Plantarum, 2012, 57(1): 85-90.

[31] 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. )

黑农 48 祖先亲本追溯及蛋白遗传解析

刘秀林<sup>1,2</sup>, 张必弦<sup>2</sup>, 刘鑫磊<sup>2</sup>, 栾晓燕<sup>2</sup>, 王广金<sup>2</sup>, 吴俊江<sup>2,3</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 大豆研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 农业部大豆栽培重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**黑农 48 是黑龙江省农业科学院大豆研究所选育的高蛋白大豆品种, 具有高产、抗旱、抗病等特点, 深受农民的欢迎, 目前在市场占有较大份额。通过对其亲本进行追溯, 建立系谱树, 分析其亲本的遗传来源及核遗传贡献率, 以期为高蛋白大豆育种亲本选择以及选配高蛋白组合提供参考。结果表明: 黑农 48 的细胞质传递过程是: 四粒黄→黄宝珠→满仓金→绥农 3 号→绥农 4 号→黑农 40→黑农 48。细胞核传递是由金元、四粒黄、白眉、平地黄、克山四粒荚、十胜长叶、永丰豆、佳木斯突荚子、熊岳小黄豆、通州小黄豆、小粒黄、Amsoy、Anoka、柳叶齐和东农 20 这 15 个祖先亲本提供, 细胞核遗传贡献率分别是: 7.04%、7.04%、5.08%、7.03%、5.47%、12.50%、7.04%、1.95%、2.34%、3.13%、1.56%、6.25%、6.25%、1.56% 和 0.78%。研究结果表明在选择育种亲本时, 应以适当地气候条件的具有广适性的主栽高蛋白品种为母本, 以融入地理远缘基因和生态远缘基因的材料为父本。

**关键词:**大豆; 黑农 48; 祖先亲本; 遗传贡献率  
**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.05.0679

Ancestors Tracking and Genetic Dissection for Released Soybean Cultivar Heinong 48

LIU Xiu-lin<sup>1,2</sup>, ZHANG Bi-xian<sup>2</sup>, LIU Xin-lei<sup>2</sup>, LUAN Xiao-yan<sup>2</sup>, WANG Guang-jin<sup>2</sup>, WU Jun-jiang<sup>2,3</sup>

(1. Post-doctoral Research Center, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Key Laboratory of Soybean Cultivation, Ministry of Agriculture, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Heinong 48 bred by Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences in 2004, it is a high protein and high yield soybean cultivar. Based on ancestors tracking and pedigree tree building, we analyzed parent geographical origin and nuclear genetic contribution of Heinong 48, and reveal its genetic basis to provide a reference for soybean breeding parent selection and use. The result showed that Heinong 48 belongs to Silihuang cytoplasm family, transfer process was: Silihuang→Huangbaozhu→Mancangjin→Suinong 3→Suinong 4→Heinong 40→Heinong 48. Nuclear genes were provided by the 15 ancestors, including Jinyuan, Silihuang, Baimei, Pingdihuang, Keshansilijia, Shishengchangye, Yongfengdou, Jiamusitujiazi, Xiongyuexiaohuangdou, Tongzhouxiaohuangdou, Xiaoli Huang, Amsoy, Anoka, Liuyeqi and Dongnong20. Nuclear genetic contribution rate was 7.04%, 7.04%, 5.08%, 7.03%, 5.47%, 12.50%, 7.04%, 1.95%, 2.34%, 3.13%, 1.56%, 6.25%, 6.25%, 1.56% and 0.78%, respectively. In the parent selection process, the local cultivars with a wide adaptation were often selected as the female, and the bridge parents with the geographical and ecological distant gene were used as the male.

**Keywords:** Soybean; Heinong 48; Ancestor; Genetic contribution rate

我国是大豆的起源中心, 目前已保存有 38 万份大豆资源, 种质资源种类多、遗传基础丰富、数量大, 在国际上占有重要地位<sup>[1]</sup>。大豆中含有丰富的蛋白质, 其中氨基酸组成与牛奶中蛋白质相近, 必需氨基酸含量丰富。在营养价值上, 可与动物蛋白等同, 在结构上也最接近人体氨基酸, 是最具营养的植物蛋白质<sup>[2]</sup>。近年来, 生产上对高蛋白大豆的需求逐年增大, 改良和培育新的高蛋白的大豆品种是摆在育种家前面的一道难题。对高蛋白大豆品种祖先亲本进行追踪, 建立系谱树, 解析其祖先亲本和地理来源、蛋白含量、选育历程和祖先亲本的

遗传贡献, 可为今后高蛋白育种目标的确立和亲本的选择与利用提供参考。理清高蛋白资源的来源, 对进一步解析高蛋白大豆育种理论, 对高蛋白育种亲本的选择和高蛋白种质创新具有重要指导意义。本研究以高蛋白大豆黑农 48 为供试材料, 通过对其系谱进行分析, 明确其高蛋白的细胞质和细胞核来源, 旨在为今后培育高蛋白大豆品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

黑农 48(黑审豆 2004002) 是黑龙江省农业科学

收稿日期: 2017-03-20  
**基金项目:** 博士科研启动金 (201507-02); 博士后科研启动金; 黑龙江省农业科学院院创新工程 (2017JS09); 七大作物育种专项项目 (2016YFD0102105); 哈尔滨市科技创新人才项目 (2014RFXJ011); 黑龙江省大豆产业技术协同创新体系岗位专家项目以及黑龙江省农业科学院育繁推一体化项目资助。  
**第一作者简介:** 刘秀林 (1980 - ), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事大豆种质资源保护与利用研究。E-mail: liuxiulin1002@126.com。  
**通讯作者:** 张必弦 (1981 - ), 男, 博士, 副研究员, 主要从事大豆种质资源保护与利用研究。E-mail: hljsnkzyzbx@126.com;  
王广金 (1962 - ), 男, 博士, 研究员, 主要从事大豆辐射诱变育种研究。E-mail: gjw1962@126.com。