

黄淮海地区大豆品种苗期根系性状的遗传变异 及与耐逆境胁迫的关系

刘莹^{1,2}, 盖钧镒², 吕慧能²

(1. 河北工程学院, 河北 邯郸 056038; 2. 南京农业大学 大豆研究所, 国家大豆改良中心, 作物遗传与种质创新国家重点实验室, 南京 210095)

摘要: 从 83 份黄淮海地区代表性大豆地方品种和育成品种(系)中按根系类型选取 32 份, 用以研究苗期根系性状的遗传特点、与地上部性状的相关以及与逆境胁迫的关系。大豆苗期一级侧根数、主根长、根干质量、总根长和根体积等性状, 在品种间、各苗龄间均存在显著遗传变异; 根系性状与整株干质量呈高度相关; 根干质量、根总长和根体积的相对值与耐旱平均隶属函数值, 一级侧根数、主根长、总根长、根体积、根干质量的相对值与耐铝毒平均隶属函数值呈极显著相关, 且根系性状的相对值在品种间存在显著变异, 可用做耐逆性选择的根系指标。

关键词: 大豆; 耐逆相关根系性状; 遗传变异

中图分类号: S565.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)01-0114-05

Genetic Variation of Root Traits at Seedling Stage and Their Relationship with Stress Tolerances in Soybean

LIU Ying^{1,2}, GAI Jun-yi², LU Hui-neng²

(1. Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Soybean Research Institute of Nanjing Agricultural University, National Center for Soybean Improvement, National Key Laboratory for Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing 210095, China)

Abstract: Thirty two accessions of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) selected from 83 representative entries from Huang-huai-hai Region according to their root performance were used to study their genetic variation of root traits at seedling stage and their relationship with above-ground traits and tolerance to abiotic stresses. Dry root weight, total root length and root volume of accessions from Middle-Lower Chang-jiang Valleys with later maturity developed more quickly than those from Huang-huai-hai Valleys with earlier maturity. The correlations between these root traits and whole plant dry weight were pretty high, those between the mean membership index of drought tolerance and the relative values of total root length, root volume and dry root weight per plant were all significant at 0.01 level and so did for the correlations between mean membership index of aluminum toxin tolerance and the stressed to unstressed relative values of number of lateral roots, tap root length, total root length, root volume and dry root weight. These relative root traits had wide variation among accessions and could be used for identification of drought and aluminum tolerance.

Key words: Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.); Root trait related to stress tolerances; Genetic variation

作物根系是植株的支柱、生长所需矿物质和水分吸收器官以及光合产物的储存器官。作物根系还是干旱、盐碱、土壤酸化、离子毒害、营养亏缺等逆境胁迫首先作用的器官, 逆境通过影响根系活动从而间接地影响到植株地上部的生长发育。因此, 了解根系本身的特点及其与逆境条件的关系, 对大豆改良具有重要意义。

由于根系生长在地下, 根区环境的复杂性及根

系研究方法和手段的局限性使大豆根系性状的研究与改良相对滞后, 前人对根系性状, 包括形态、构型、生理、解剖、生态以及分子生物学方面曾有一些初步研究^[1-11], 但对不同生态地区大豆品种根系性状发育特点及其与耐逆境关系的研究还未见有报道。本研究拟从黄淮海地区大豆品种根系形态比较入手, 对大豆根系遗传特性、与非生物逆境的关系进行初步探讨, 旨在为黄淮海地区大豆根系及其相关生理

收稿日期: 2007-12-26

基金项目: 国际原子能机构资助项目(303-D2-CPR-10815); 农业部“948”项目(201013(A)); 国家自然科学基金项目(30490250)

作者简介: 刘莹(1966-), 女, 天津人, 博士, 副教授, 主要从事大豆耐逆性的遗传育种研究。

性状的改良、大豆高产和耐逆境育种提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料的选用

从关内各生态区选取 83 份材料, 于根系形态稳定的结荚鼓粒期大田挖根观察根系形态。根据根系形态的不同从中选取黄淮海地区的代表性材料 32 份供试验用, 品种名称参见文献 [12]。

1.2 试验一(干旱胁迫试验)

分别在 2001 年 6 月、2002 年 7 月于国家大豆改良中心江浦试验基地网室内进行。盆播, 盆钵规格为 25 cm×28 cm。采用砂:土(85:15)混合基质(7 kg 基质/盆)。裂区设计, 主区为水分处理(适宜水分与干旱胁迫), 副区为材料。种子催芽后, 同一材料挑选胚根长度一致的种子播种, 每盆留 2 株, 3 次重复。待植株对称叶展开时进行水分处理, 水分胁迫加水 30 mL/(盆·d), 水分适宜加水 100 mL/(盆·d), 共处理 18 d。

水分处理前后测定株高、叶龄各一次, 处理 18 d 后收获。以子叶节为界把植株分为地上部分(简称茎)和地下部分(简称根), 立即将根浸入 FAA 固定液, 茎放入 105℃烘箱杀青 30 min, 然后 80℃下烘至恒重, 冷却后称重。根浸泡 30 min 后取出, 观察根系形态, 测定根系性状, 之后处理同茎。计算株高、叶龄、茎干质量、根干质量的平均隶属函数值, 并据以将耐旱性分为 5 级, 1 级最耐, 5 级最敏感, 详细方法参见文献 [12]。

根系性状的测定

一级侧根数: 人工计数长度大于 1 cm 的一级侧根。

主根长: 直尺测量。

总根长、根体积: 将侧根及主根剪下, 置于 Epson 扫描仪上扫描, 应用 WinRhizo 图像分析软件分析扫描图像得出。

比根干质量、比根体积、比总根长: 分别为干旱条件下的根干质量、根体积、总根长与整株干物重之比值。

1.3 试验二(铝毒胁迫试验)

2002 年 7 月于江浦试验基地网室内进行。盆播, 砂培。盆钵规格和试验设计同上。将种子催芽萌发后, 选取主根长度一致的播入盆中, 立即加配制好的营养液, 800 mL/盆, 以后每 4 d 浇灌相应营养液 400 mL/盆。采用 1/5 Steineburg^[8] 营养液, 营养液铝浓度为 0 和 28×10^{-6} , pH 调至 4.1。14 d 后收获。收获后植株的处理和性状考查同 1.2, 耐铝毒平均隶属函数

值的计算和分级方法同 1.2。

根重比、根体积比、总根长比、主根长比、一级侧根数比: 为铝毒胁迫下的根干质量、根体积、总根长、主根长和一级侧根数与非胁迫相应根系性状之比值。

1.4 试验三(低磷胁迫试验)

2002 年 7 月于江浦试验基地温室内进行。盆播, 砂培。盆钵规格同上, 试验设计和种植情况同上。设高磷(1 000 $\mu\text{mol/L}$)、低磷(0.2 $\mu\text{mol/L}$)2 个处理。营养液配方为: K_2SO_4 0.75 mmol/L; KCl 0.1 mmol/L; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2 mmol/L; H_3BO_3 1 $\mu\text{mol/L}$; MnSO_4 1 $\mu\text{mol/L}$; CuSO_4 0.1 $\mu\text{mol/L}$; $(\text{NH}_4)_5\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 0.005 $\mu\text{mol/L}$; ZnSO_4 10 $\mu\text{mol/L}$; FeEDTA 10 mmol/L。培养 10 d 后收获植株, 采用 H_2SO_4 — H_2O_2 消煮—钒钼黄比色法测定植株 P 含量。

植株的处理和性状考查同 1.2, 根据植株低磷处理磷含量与高磷处理磷含量的比值对耐低磷性进行分级。

2 结果与分析

2.1 正常条件下不同地区大豆品种根系的特点与遗传变异

表 1 结果, 在根系的生长发育各时期(V2、V3 和 V4), 大豆品种间根系性状在不同苗龄期均存在极显著的遗传变异, V2 期的遗传变异系数为 13.90%~44.33%, V3 期为 13.88%~40.24%, V4 期为 10.38%~37.50% (2002 年未测定一级侧根数和主根长), 均具有较大的遗传变异和丰富的选择潜力。

2.2 逆境胁迫下不同地区根系性状的表现

表 2 结果, 逆境条件下根系性状均存在极显著的遗传变异, 水分胁迫根系性状的遗传变异系数为 8.38%~22.28%, 铝毒胁迫的为 22.15%~36.90%, 低磷胁迫的为 19.04%~37.56%, 均具有较大的遗传变异和丰富的选择潜力。

除低磷胁迫外, 逆境胁迫下根系性状较适宜条件有所减少。水分胁迫下, 根干质量、总根长、根体积的减少量为 16.72%~22.22%, 2 年重复结果相同; 侧根数和主根长的变化不大。铝毒胁迫下, 根系各性状的减少量亦呈现相同趋势; 低磷胁迫下的根系各性状变化不明显, 可能是由于处理时间较短而未及表现。

2.3 大豆根系性状及地上部性状相互间的关系

由表 3 可见, 根系性状各指标间除侧根数和主根长外均存在很高的相关性。根系各性状与地上部干质量相关极显著, 特别在各指标与整株干质量之间表现尤为突出。

表 1 不同苗龄大豆根系性状表现

Tab 1 Root trait performance of soybeans at three seedling stages

年份, 苗龄 Year, seedling stage	指标 Indicator	根干质量/g Dry root weight	总根长/cm Total root length	根体积/cm ³ Root volume	一级侧根数 Number of lateral roots	主根长/cm Tap root length
2001, V4	\bar{y}	0.285	639.5	0.677	110	28.7
	sg	0.067	156.59	0.228	11.42	7.66
	Min.	0.178	412.3	0.486	94	16.5
	Max.	0.348	915.6	0.914	127	45.0
	GCV/ %	23.51	24.49	33.68	10.38	26.69
	F	70.5 **	62.7 **	68.9 **	2.2 **	67.1 **
2002, V4	\bar{y}	0.260	615.2	0.608		
	sg	0.081	160.73	0.228		
	Min.	0.136	385.6	0.407		
	Max.	0.322	886.7	0.85		
	GCV/ %	31.15	26.13	37.50		
	F	66.8 **	37.4 **	52.7 **		
2002, V3	\bar{y}	0.161	519.5	0.415	96	26.8
	sg	0.059	110.61	0.167	19.31	3.72
	Min.	0.091	339.4	0.204	77	22.0
	Max.	0.338	901.4	0.986	167	36.0
	GCV/ %	36.65	21.29	40.24	20.11	13.88
	F	19.6 **	26.4 **	9.1 **	6.6 **	3.4 **
2002, V2	\bar{y}	0.077	247.9	0.203	60	15.4
	sg	0.031	61.54	0.09	15.96	2.14
	Min.	0.047	174.3	0.107	40	11.8
	Max.	0.133	358.3	0.446	88	18.8
	GCV/ %	40.26	24.82	44.33	26.60	13.90
	F	42.7 **	54.4 **	32.7 **	26.8 **	11.7 **

注: ** 为在 0.01 水平上显著。
Note: ** means significant at 0.01 level; \bar{y} =mean; sg=genotypic standard deviation; GCV=genotypic coefficient of variation.The same is true for the later tables.

表 2 逆境胁迫下根系性状及与适宜条件相比的减少量

Tab. 2 Root trait performance under stress conditions and reduction amount from normal conditions

%

处理 Treatment	指标 Indicator	根干质量 Dry root weight	总根长 Total root length	根体积 Root volume	一级侧根数 Number of lateral roots	主根长 Tap root length
水分胁迫 Drought stress (2001)	\bar{y}	0.235(17.54)	514.4(19.56)	0.564(16.72)	108(1.89)	28.8(−0.35)
	sg	0.041	98.65	0.119	13.17	8.38
	Min.	0.153	356.4	0.365	83	13.0
	Max.	0.327	710.3	0.806	119	41.0
	GCV/ %	17.45	19.18	21.10	13.17	8.38
	F	46.3 **	23.4 **	29.2 **	3.4 **	41.2 **
水分胁迫 Drought stress (2002)	\bar{y}	0.202(22.22)	488.3(20.63)	0.519(14.69)		
	sg	0.045	93.73	0.114		
	Min.	0.118	309.6	0.324		
	Max.	0.328	769.8	0.917		
	GCV/ %	22.28	19.20	21.97		
	F	47.3 **	33.0 **	30.3 **		
铝毒胁迫 Aluminum toxin stress	\bar{y}	0.114(29.18)	323.8(37.67)	0.290(30.13)	74(22.94)	19.5(27.08)
	sg	0.038	104.63	0.107	17.95	4.32
	Min.	0.067	186.87	0.108	63.7	15.2
	Max.	0.224	622.45	0.621	121.0	27.0
	GCV/ %	33.33	32.31	36.90	24.26	22.15
	F	22.53 **	18.35 **	16.84 **	7.54 **	3.01 **
低磷胁迫 Low phosphoruss tress	\bar{y}	0.079(−2.60)	260.6(−5.12)	0.205(−0.99)	58(3.28)	14.6(5.08)
	sg	0.027	75.86	0.077	13.17	2.78
	Min.	0.057	178.34	0.103	43	11.1
	Max.	0.177	412.35	0.422	79	19.3
	GCV/ %	34.18	29.11	37.56	22.71	19.04
	F	57.8 **	17.3 **	48.5 **	8.8 **	2.3 **

注: 括号内为逆境条件下比适宜条件下的减少量。
Note: In parentheses are the reductions under stress conditions from normal conditions.

表 3 大豆根系性状及地上部性状相互间的相关分析

Tab. 3 Correlations among root and shoot traits in soybean

性状 Trait	2001					2002			
	Wp	Ws	Wr	Thr	Vr	Wp	Ws	Wr	Thr
Wr	0.88**	0.83**				0.90**	0.82**		
Thr	0.82**	0.75**	0.88**			0.83**	0.77**	0.87**	
Vr	0.88**	0.81**	0.89**	0.89**		0.83**	0.78**	0.86**	0.86**
Lrn	0.50**	0.54**	0.48**	0.51**	0.57**				
Lrt	0.26*	0.23*	0.15	0.17	0.12				

注: *, ** 分别表示在 0.05 0.01 水平下显著。Wp= 整株干质量, Ws= 地上部干质量, Wr= 地下部干质量, Thr= 总根长, Vr= 根体积, Lrn= 一级侧根数, Lrt= 主根长。

Note: * and ** mean significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. Wp= Dry plant weight; Ws= Dry shoot weight; Wr= Dry root weight; Thr= Total root Length; Vr= Root volume; Lm= Number of lateral roots; Lrt= Tap root length.

2.4 耐逆性与根系性状的相关

表 4 显示, 根干质量、总根长、根体积与耐旱性无相关, 而比根干质量、比总根长、比根体积与平均耐旱隶属函数值均呈极显著正相关, 该 3 个根系相对性状可能作为鉴定大豆苗期耐旱的间接指标。

对铝毒胁迫下的侧根数、主根长、总根长、根体积、根干质量及其与对照之比值同耐铝毒平均隶属函数值进行分析, 结果表明各根系性状比值与耐铝毒性呈极显著正相关(表 5), 表明该 5 个根系相对性状亦可能作为鉴定大豆苗期耐铝毒的间接指标。

表 4 大豆根系性状与平均耐旱隶属函数值的相关

Tab. 4 Corrlations between root traits and drought tolerance

年份 Year	根干质量 Dry root weight	根总长 Total root length	根体积 Root volume	比根干质量 Dry root weight/ plant dry weight	比根总长 Total root length/ plant dry weight	比根体积 Root volume/ plant dry weight
2001	-0.21	0.10	-0.05	0.64**	0.79**	0.74**
2002	-0.23	0.17	0.07	0.65**	0.78**	0.77**

注: 比根干质量、比根体积、比总根长分别为干旱条件下的根干质量、根体积、总根长与整株干物重之比值。

Note: Dry root weight/ plant dry weight, total root length/ plant dry weight, root volume/ plant dry weight are dry root weight per plant dry weight, total root length per plant dry weight, root volume per plant dry weight, respectively.

表 5 根系性状与耐铝毒平均隶属函数的相关分析

Tab. 5 Correlations between root traits and aluminum tolerance

侧根数 Number of lateral roots	主根长 Tap root length	总根长 Total root length	根体积 Root volume	根干质量 Dry root weight	侧根数比 Relative number of lateral roots	主根长比 Relative tap root length	总根长比 Relative total root length	根体积比 Relative root volume	根干质量比 Relative dry root weight
-0.11*	0.52**	0.31**	0.18	0.03	0.66**	0.75**	0.83**	0.82**	0.92**

注: 侧根数比、主根长比、总根长比、根体积比、根干质量比分别为铝毒胁迫与非胁迫相应根系性状之比值。

Note: Relative number of lateral roots, relative tap root length, relative total root length, relative root volume and dry root weight are ratio values of the stressed to unstressed ones, respectively.

表 6 大豆耐逆相关根系性状

Tab. 6 Performance of root traits related to stress tolerance

指标 Indicator	耐旱 Drought tolerance						耐铝毒 Aluminum tolerance				
	2001 年			2002 年			2002 年				
	比根干质量 Dry root weight/ plant dry weight	比根总长 Total root length/ plant dry weight	比根体积 Root volume/ plant dry weight	比根干质量 Dry root weight/ plant dry weight	比总根长 Total root length/ plant dry weight	比根体积 Root volume/ plant dry weight	根干质量比 Relative dry root weight	侧根数比 Relative number of lateral roots	主根长比 Relative tap root length	总根长比 Relative total root length	根体积比 Relative root volume
\bar{y}	0.268	572.507	0.616	0.253	592.558	0.623	0.683	0.761	0.706	0.674	0.612
sg	0.041	135.112	0.125	0.042	165.324	0.128	0.088	0.172	0.084	0.136	0.165
Min.	0.203	423.569	0.438	0.207	411.938	0.445	0.577	0.403	0.486	0.347	0.365
Max.	0.330	766.387	0.766	0.368	827.673	0.774	0.884	0.903	0.858	0.940	0.917
GCV/ %	15.4	23.6	20.3	16.5	27.9	20.5	12.88	22.60	11.90	20.18	26.96
F	21.54**	25.14**	29.27**	16.48**	22.85**	22.34**	39.75**	25.96**	34.77**	38.48**	35.35**

大豆根系性状在不同磷处理下经方差分析均无显著性差异,因而未发现与耐低磷相关的根系性状。

2.5 耐逆相关根系性状的变异

对与耐逆境相关的根系性状统计分析的结果表明,耐旱相关根系性状在品种之间的遗传变异系数为10.32%~22.91%,耐铝毒相关根系性状在品种之间的遗传变异系数为12.13%~28.55%,均具有较大的遗传变异和选择潜力,适合用于耐逆根系性状的选择(表6)。

3 讨论

3.1 大豆根系性状的遗传特点及其与地上部的相关性

大豆根系性状各指标均存在广泛的遗传变异,这是对根系优良性状进行选择的基础。

而根系性状各指标间及与地上部性状间除侧根数和主根长外均存在很高的相关,特别在各指标与整株干质量之间表现尤为突出。

3.2 耐逆性与根系性状的关系

本研究表明,根干质量、根体积、总根长等根系性状的绝对值与耐旱性(以平均耐旱隶属函数值为指标)间未发现有关,而比根干质量、比根体积、比总根长等相对值则均呈极显著相关;同样,与耐铝性极显著的根重比、根体积比、总根长比、主根长比、一级侧根数比也均为相对值。这可能是由于材料熟期组不同导致了根系性状发育程度的差异,而在比较其根系数量性状时采用了消除发育程度差异的相对值为标准,因而显现出内在的相关性,由此作者认为,采用根系性状的相对值作为各品种之间相互比较的标准应该更为合理。

参考文献:

[1] 杨秀红, 吴宗璞, 张国栋. 不同年代大豆品种根系性状演化的研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 292—295.

[2] 廖 红, 严小龙. 菜豆根构型对低磷胁迫的适应性变化及基因型差异[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 158—163.

[3] LIU F L, Andersen M N, Jensen C R. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical abortion-sensitive phase of pod development[J]. Field Crops Research, 2004, 85: 159—166.

[4] 王法宏, 郑丕尧, 王树安. 大豆不同耐旱性品种根系性状的比较研究. I. 形态特征及解剖组织结构[J]. 中国油料, 1981(1): 32—37.

[5] Garcia A, Gonzalez M C. Morphological marker for the early selection of drought-tolerant rice varieties[J]. Cultivate Tropical, 1997, 18(2): 47—50.

[6] Sloane R J, Patterson R P, Carter T E. Field drought tolerance of soybean plant introduction[J]. Crop Sci, 1990(30): 118—123.

[7] Lazof D B, Goldsmith J G, Rufty T W, *et al.* Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. A micro analytical study using secondary ion mass spectrometry[J]. Plant Physiol, 1994, 106(3): 1107—1114.

[8] Nielsen K L, Lynch J. Carbon cost of root systems: an architectural approach[J]. Plant Soil, 1994, 165: 161—169.

[9] Sartain J B, Kamprath E J. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil[J]. Agronomy Journal, 1998, 70: 17—20.

[9] Foy C D, Carter Jr T E, Duke J A. Correlation on shoot and root growth and its role in selecting for aluminum tolerance in soybean[J]. J Plant Nutr, 1993, 16(2): 305—325.

[10] Spehar C R. Aluminum tolerance of soybean genotypes in short term experiments[J]. Euphytica, 1994, 76: 73—80.

[11] Hudak C M, Patterson R P. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought resistant soybean plant introduction[J]. Agron J, 1996(88): 478—486.

[12] 刘 莹, 盖钧镒, 吕慧能, 等. 大豆耐旱种质鉴定和相关根系性状的遗传与 QTL 定位[J]. 遗传学报, 2005, 32(8): 855—863.