

高盐碱环境下野生大豆主要性状与单株产量的相关分析

肖鑫辉,李向华,刘 洋,王克晶

(中国农业科学院作物科学研究所,国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程,北京 100081)

摘 要:研究津唐渤海湾沿海地区野生大豆株系在海滨盐碱土壤条件下主要性状与单株籽粒产量的相关性,旨在为野生大豆耐盐生态育种提供理论依据。使用3%总含盐量海滨盐碱土壤盆栽,对895份野生大豆株系进行全生育期的高选择强度耐盐性筛选,有109份株系成活到收获种子。对这109份高度耐盐性的株系进行了10个形态和农艺性状调查,应用相关分析和通径分析研究性状之间以及各性状同单株籽粒产量之间的相互关系,结果显示:与对照条件相比较,高盐条件下株系部分性状间相关关系发生变化。单株粒数、百粒重和收获指数可作为筛选高耐盐碱性野生大豆的主要参考性状。

关键词:野生大豆;产量;相关分析;通径分析

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)04-0616-07

Correlation and Path Analysis of Major Agronomic Characters and Yield of Wild Soybean (*Glycine soja*) under High Saline Soil

XIAO Xin-hui, LI Xiang-hua, LIU Yang, WANG Ke-jing

(National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement (NFCRI), Institute of Crop Science, the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: A sample of 895 wild soybean lines collected in the Bohai Gulf region was identified for screening salt-alkalinity tolerance under a high saline-alkali soil condition of 3% salinity content throughout the whole growth duration. One hundred and nine lines completed their life cycles. We investigated ten agronomic characters. Correlation analysis and path analysis showed that relationship between some agronomic characters altered under high saline-alkali soil condition against the normal soil condition. Results demonstrated that number of seeds, 100-seed weight, and harvesting index could be regarded as indicator indexes for identification of high salt-tolerant wild soybean accessions.

Key words: Wild soybean; Yield; Correlation analysis; Path analysis

我国主要油料作物栽培大豆 (*Glycine max* L.) 属于中度耐盐植物。盐胁迫可阻碍大豆种子萌发和植株生长,抑制生物学产量的积累,导致产量下降,盐敏感品种较耐盐品种受盐胁迫的影响更大^[1-2]。栽培大豆的耐盐性研究已成为农业发展的重大课题之一。然而,当前栽培大豆耐盐育种存在亲本遗传基础狭窄,杂交后代主要经济性状变异幅度小,难以产生新的突破品种的难点问题。野生大豆 (*Glycine soja*) 作为栽培大豆近缘祖先种,对某一特定生态环境具有很强的抗逆力和广泛的适应性,是许多优良农艺性状的基因源。根据野生大豆与栽培大豆类群间遗传物质交流容易的特点,利用野生大豆来增强

栽培大豆的耐盐性具有良好的应用前景^[3]。

植物耐盐性是受多基因控制的数量性状,种质资源间耐盐性存在较大的差异,并且耐盐机制各不相同^[4]。盐胁迫对作物最直接的影响在于使植株受害产量降低^[5],因此,研究和探讨作物盐碱环境下农艺性状与产量间的遗传联系从而获得最大产量,已成为许多数量遗传学家和育种工作者十分关注的问题。大豆的产量不仅受遗传因子控制,很大程度上也受环境因素的支配,是由单株荚数、每荚粒数和百粒重等多个性状共同作用的结果。近年来,国内外学者一直将研究大豆诸性状与产量的关系及其在产量构成中的作用作为重要课题^[6]。但由于

收稿日期:2009-02-18

基金项目:科技部公益项目(2004DTB3J090)。

作者简介:肖鑫辉(1983-),女,硕士研究生。研究方向为野生大豆资源耐盐性鉴定及遗传多样性分析。E-mail:xiaoxinhui1983@163.com。

通讯作者:王克晶,研究员。E-mail:wangkejing92@hotmail.com。

试验环境、参试材料不同,得出试验结论不完全一致^[7-8]。吴春芳等^[9]研究表明不同土壤盐分下对大豆单株生产力的影响主要通过减少单株荚数实现的。任冬莲等^[10]通过综合评定方法筛选出籽粒产量、株粒数、株荚数等6个与抗旱性密切相关的指标性状。同时随着作物数量性状的多元遗传分析方法被广泛应用于性状的遗传研究,利用相关、通径分析、灰色关联度等统计方法研究小麦^[11-12]、水稻^[13]、大豆^[14-25]等多种作物产量与农艺性状的关系国内外都有相关的研究报道。然而,野生大豆利用多元遗传分析方法进行诸性状与产量关系方面研究较少,特别是在高盐碱特定条件下的研究极少。本研究旨在解释高含盐量土壤环境下野生大豆诸性状在产量构成中的作用。

1 材料与方法

1.1 材料

895份野生大豆株系材料于2006年秋季在河北唐山和天津沿海地带随机搜集。搜集的地区都是海拔30 m以下的平原地区。使用3%总含盐量海滨盐碱土壤盆栽对895份野生大豆株系进行全生育期的高选择强度耐盐性筛选,有109份株系成活到收获种子。原始株系和收获株系搜集点地点和生态条件见表1。

表1 野生大豆搜集点概况和植株数目
Table 1 Sampling size and ecological environments of the collection areas of wild soybean

序号 Number	搜集地点 Collection area	取样株数 No. of samples	收获株数 No. of ingathering	生境 Ecological environment
1	天津静海县 Jinghai, Tianjin	259	31	干旱、盐碱地 Drought, saline soil
2	天津塘沽区 Tanggu, Tianjin	151	13	盐碱地 Saline soil
3	天津大港区 Dagang, Tianjin	56	7	盐碱地 Saline soil
4	天津汉沽区 Hangu, Tianjin	56	9	干旱、盐碱地 Drought, saline soil
5	天津宁河县 Ninghe, Tiajin	56	7	水塘堤岸 Pond
6	河北唐海县 Tanghai, Hebei	317	42	盐碱地或正常土壤 Saline or normal soil

1.2 方法

盆栽试验在中国农业科学院院内大棚网室内进

行,大棚上用塑料薄膜覆盖。盐碱土壤取自渤海湾海滨盐碱土,盐碱总含量3%(称重法),pH为7.80。895份单株材料被视为895个株系(系统)。设三个处理。处理1:全盐碱土盆栽直接播种(塑料盆直径35 cm×高30 cm,每盆装12 kg含盐量3%海滨盐碱土),处理2:非盐碱土覆盖盆栽播种。对全盐碱土直接播种14 d后没有出苗的株系,考虑到未出苗可能由于对盐碱土十分敏感,采用大田土覆盖(非盐碱)补种处理。处理3:设置大田土盆栽对照,所有盆栽5粒种子精量播种。处理1和3为5月14日播种。浇水采用滴灌方式,根据盆的湿度情况每3~7 d滴灌一次。处理1和处理2最大量滴灌时水不渗透到托盘程度。

1.3 统计分析方法

株系发芽出苗后开始表现盐害,甚至死亡。最终109份株系成活到种子成熟时期。将处理1和处理2均视为高含盐量盐碱土壤处理与处理3(大田土壤)比较。对高耐盐碱株系及其对照株系的10个性状进行了调查,田间记载和考种标准,参考《大豆种质资源描述规范和数据标准》^[26]。10个性状为单株粒数、百粒重、单株干重,收获指数(Harvest index, HI=经济产量/生物学产量),出苗天数、初花天数、生育期、株高、未受害叶率和单株粒重。统计以株系为单位求平均,每盆株系1~5株,对照5株。计算耐盐株系的各性状的相对值:高盐碱胁迫下实际测定值/对照测定值×100%。相对值高于100%,说明高于对照。利用SPSS 16.0 For Windows软件对所得数据进行双变量简单相关分析(Bivariate correlation, Pearson法)、多元线性回归分析(Backward法)、偏相关分析(Partial correlation analysis);应用DPS软件进行通径分析(Path analysis)。

2 结果与分析

2.1 高盐碱条件下株系农艺性状变异分析

盐胁迫条件下能够存活的野生大豆植株的形态和农艺性状会发生一系列变化和生长发育抑制。两个处理共有109份野生大豆株系成活到完成生命史,获得种子。这109份株系的10个形态性状的相对值变异列于表2。可以看出收获株系在盐胁迫下所有测定性状均受到不同程度的影响,受害程度表现较大差异。两个处理的出苗期延迟,盐碱土覆盖处理(处理1)的初花期略微延迟,平均生育期与对照接近。耐盐碱株系的收获指数高于对照。其他重

要农艺性状如单株粒重、单株粒数、单株干重、株高都受到不同程度的抑制,其中单株干重被严重抑制,植株体矮小化。农艺性状受害程度大小依次为单株干重>单株粒重>单株粒数>百粒重>株高(表 2)。

株系间初花期和生育期变化最稳定,变异系数仅 4.74% 和 6.56%。株系间变异程度大小依次为单株粒重>单株粒数>单株干重>百粒重>出苗天数>株高>生育期>初花天数。

表 2 收获株系各性状相对值的平均值和变异系数

性状 Characters	处理 1 Treatment 1				处理 2 Treatment 2			
	最大值	最小值	平均值	变异系数	最大值	最小值	平均值	变异系数
	Max. /%	Min. /%	Mean/%	CV/%	Max. /%	Min. /%	Mean/%	CV/%
单株粒数 Seeds per plant	131.91	0.11	28.04 ± 27.27	97.15	114.02	1.00	28.48 ± 31.67	111.20
百粒重 100- seed weight	122.84	9.51	60.73 ± 24.89	40.98	96.08	18.82	60.18 ± 23.68	39.34
单株干重 Aboveground dry matter weight per plant	51.46	2.21	14.22 ± 9.37	65.94	31.72	3.23	13.24 ± 7.12	53.81
收获指数 Harvesting index	539.03	1.07	113.49 ± 95.37	84.03	256.67	3.43	110.81 ± 78.82	71.01
出苗天数 Days from sowing to emergence	220.00	62.50	134.33 ± 32.04	23.85	180.00	71.43	120.06 ± 28.40	23.65
初花天数 Days from sowing to first flowering	114.44	87.64	104.00 ± 4.92	4.74				
生育期 Growth period	111.85	87.76	100.37 ± 6.59	6.56				
株高 Plant height	122.85	44.16	81.99 ± 16.45	20.06	110.75	40.75	84.76 ± 19.40	22.89
未害叶片率 Percent of undamaged leaves/%	100.00	12.50	67.71 ± 14.58	21.54	92.31	28.57	68.92 ± 12.68	18.40
单株粒重 Yield per plant	96.54	0.01	18.85 ± 21.42	113.64	80.30	0.34	18.24 ± 22.34	122.49

2.2 野生大豆性状间的简单相关分析

为分析 10 个性状间的相互关系,对结果进行简单相关分析。高含盐量盐碱土处理与大田土处理下 10 个性状间的相关系数比较列于表 3,分析结果表明,高含盐量盐碱土壤与正常大田土壤处理条件下性状间的相关关系发生了改变,盐胁迫下野生大豆性状间的相关性明显高于对照。高含盐量盐碱土处理下,多数性状与单株产量(X_{10} :单株粒重)高度正相关,其中极显著正相关的性状按相关系数大小依次为单株粒数、收获指数、百粒重、单株干重、生育期、株高。除单株产量以外的其他性状之间也存在

一定程度的相关,其中单株粒数、生育期、百粒重、收获指数、株高、单株干重与多数性状相关程度高,而初花天数与多数性状相关不显著,出苗天数与未受害叶率甚至与其他性状间表现极低相关。正常土壤条件下,单株产量只与单株粒数、单株干重、收获指数表现极显著正相关,其他性状间的相关关系多数为相关不显著,且有些性状间表现极显著负相关。因此,土壤环境可以大幅改变性状间的相关关系。不同土壤条件下性状间的相互影响方式发生改变,尚不能根据简单相关结果判断产量与各性状的真实关系。

表 3 各性状的相关系数矩阵

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
X_1	1.000	-0.286 **	0.398 *	0.522 **	-0.030	-0.179	-0.156	-0.017	-	0.898 **
X_2	0.634 **	1.000	0.241 *	-0.123	0.133	0.170	0.453 **	-0.072	-	0.146
X_3	0.584 **	0.339 **	1.000	-0.454 **	0.039	0.270 **	0.179	0.057	-	0.516 **
X_4	0.756 **	0.800 **	0.092	1.000	0.028	-0.374 **	-0.145	-0.118	-	0.490 **
X_5	0.106	0.015	-0.019	0.104	1.000	0.216 *	0.283 **	-0.168	-	0.042
X_6	0.085	0.102	0.128	0.043	0.104	1.000	0.778 **	-0.252 **	-	-0.083
X_7	0.470 **	0.579 **	0.293 **	0.498 **	0.093	0.529 **	1.000	-0.360 **	-	0.070
X_8	0.481 **	0.312 **	0.396 **	0.321 **	0.013	0.179	0.229 *	1.000	-	-0.067
X_9	-0.047	-0.010	0.160	-0.094	0.032	0.028	-0.025	-0.179	1.000	-
X_{10}	0.984 **	0.690 **	0.604 **	0.758 **	0.089	0.071	0.488 **	0.461 **	-0.028	1.000

下三角矩阵为盐碱条件下收获株系性状间的简单相关系数,上三角矩阵为正常土壤条件下收获株系性状间的简单相关系数。 X_1 ,单株粒数; X_2 ,百粒重; X_3 ,单株干重; X_4 ,收获指数; X_5 ,出苗天数; X_6 ,初花天数; X_7 ,生育期; X_8 ,株高; X_9 ,未受害叶率; X_{10} ,单株粒重。*、** 分别表示达到 5% ,1% 的显著水平

Lower triangular matrix;Coefficients of relationship between characteristics of ingathering individual of wild soybean under salt stress,Upper triangular matrix;Coefficients of relationship between characteristics of ingathering individual of wild soybean in normal soil condition. X_1 ,Seeds per plant; X_2 ,100- seed Weight; X_3 ,Over ground dry weight; X_4 ,Harvesting index; X_5 ,Days from sowing to emergence; X_6 ,Days for first flowering from sowing; X_7 ,Growth period; X_8 ,Height per plant; X_9 ,Percent of undamaged leaves per plant; X_{10} ,Yield per plant. * and ** significant at 5% and 1% level, respectively(2- tailed)

2.3 主要农艺性状与单株籽粒产量间的通径分析

通径分析可将简单相关系数分解为直接通径系数(即标准化回归系数)和间接通径系数,从而进一步理清各个性状对产量的直、间接影响。由表 4 可以看出,在两种土壤处理下,只有单株粒数(X_1)与出苗天数(X_5)两性状对产量的效应关系未发生变化,单株粒数对单株籽粒产量的总效应(简单相关系数)以直接效应为主,高于间接效应;出苗天数对产量有微弱的负向直接效应,通过其他性状产生了较大的正向效应。此外,正常大田土壤环境下,百粒重(X_2)对单株产量表现出 10 倍于高盐碱土壤环境

下产生的直接效应,且生育期(X_7)、收获指数(X_4)和单株干重(X_3)的直接效应也远高于高盐碱土壤环境下该性状对单株籽粒产量的直接效应。高含盐量盐碱土壤处理下除单株粒数外,其他各性状对产量的直接效应均低于间接效应,各性状通过单株粒数而产生的间接效应远远高于直接效应,甚至高于其他性状的直接效应,其中百粒重(X_2)与单株干重(X_3)、生育期(X_7)比较对单株籽粒产量表现出稍大的正向效应,其他 4 个性状为负向效应。这说明在高盐碱环境下植株各性状表现受到严重抑制后,他们之间的原有相互关系也发生了变化。

表 4 不同处理下野生大豆主要农艺性状对单株粒重(y)的通径系数

Table 4 Path coefficients between yield per plant(y) and main characters in wild soybean in different treatments														
性状 Characters	处理 Treat- ment	简单 相关 系数 r_{iy}	直接通 径系数 P_{iy}	直接效 应分量 Direct effects Percent/%	通过其他性状的间接通径系数 $P_{i \rightarrow j \rightarrow y}$									剩余 通径 系数 P_{ey}
					X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
X_1	盐 S	0.984 **	0.9280 **	94.3		0.0882	0.0157	-0.0406	-0.0003	-0.0020	0.0037	-0.0095	-0.0002	
	对照 CK	0.898 **	0.8590 **	95.7		-0.1020	0.0621	0.0839	0.00004	0.0004	-0.0059	0.0001	-	
X_2	盐 S	0.690 **	0.1392 **	20.2	0.5887		0.0091	-0.0430	-0.00005	-0.0024	0.0045	-0.0062	-0.0001	
	对照 CK	0.146	0.3565 **	244.2	-0.2458		0.0376	-0.0198	-0.0002	-0.0002	0.0173	0.0003	-	
X_3	盐 S	0.604 **	0.0269	4.5	0.5428	0.0472		-0.0050	0.0001	-0.0030	0.0023	-0.0079	0.0008	
	对照 CK	0.516 **	0.1563 **	30.3	0.3415	0.0858		-0.0731	-0.0001	-0.0006	0.0068	-0.0002	-	
X_4	盐 S	0.758 **	-0.0538	-7.1	0.7020	0.1114	0.0025		-0.0003	-0.0010	0.0039	-0.0064	-0.0005	
	对照 CK	0.490 **	0.1609 **	32.8	0.4481	-0.0438	-0.0710		-0.00004	0.0009	-0.0055	0.0004	-	
X_5	盐 S	0.089	-0.0030	-3.4	0.0981	0.0021	-0.0005	-0.0056		-0.0025	0.0007	-0.0003	0.0002	0.1494
	对照 CK	0.042	-0.0014	-3.3	-0.0255	0.0476	0.0061	0.0045		-0.0005	0.0108	0.0006	-	0.1198
X_6	盐 S	0.071	-0.0239	-33.7	0.0793	0.0142	0.0034	-0.0023	-0.0003		0.0041	-0.0035	0.0001	
	对照 CK	-0.083	-0.0024	2.9	-0.1537	0.0605	0.0423	-0.0602	-0.0003		0.0297	0.0009	-	
X_7	盐 S	0.488 **	0.0078	1.6	0.4363	0.0805	0.0079	-0.0268	-0.0003	-0.0126		-0.0046	-0.0001	
	对照 CK	0.070	0.0381	54.4	-0.1338	0.1615	0.0279	-0.0233	-0.0004	-0.0019		0.0013	-	
X_8	盐 S	0.461 **	-0.0198	-4.3	0.4470	0.0435	0.0106	-0.0173	-0.00004	-0.0043	0.0018		-0.0009	
	对照 CK	-0.067	-0.0037	5.5	-0.0150	-0.0256	0.0090	-0.0190	0.0002	0.0006	-0.0137		-	
X_9	盐 S	-0.028	0.0052	-18.6	-0.0435	-0.0013	0.0043	0.0050	-0.0001	-0.0007	-0.0002	0.0035		
	对照 CK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*、** 分别表示达到 5%、1% 的显著水平
S;High saline soil;CK;Field soil. * and ** significant at 5% and 1% level, respectively.

2.4 主要农艺性状与单株籽粒产量间的回归及偏相关分析

为了消除简单相关分析中性状间的相互干扰影响,以产量为目标函数,对其他(盐: $X_1 \sim X_9$;对照: $X_1 \sim X_8$)性状进行多元回归分析和偏相关分析,结果如表 5。以标准回归系数、偏相关系数为标准,推断高含盐量盐碱土壤处理下与产量关系密切的性状有单株粒数(X_1)和百粒重(X_2),大田土壤处理下除以上两性状外还存在单株干重(X_3)和收获指数(X_4)与产量高度相关。

2.5 显著影响单株籽粒产量的性状筛选

分别对表 5 中各性状进行逐步回归分析,剔除对单株籽粒产量无显著影响的性状,高盐胁迫下筛选到 3 个与产量显著($p < 0.05$)线性相关的性状,即单株粒数(X_1)、百粒重(X_2)和收获指数(X_4),它们与单株籽粒产量拟合得到最优化的回归方程(1)式。对方程进行显著性检验可知, $F = 1462.44^{**}$, $R = 0.988^{**}$,说明由上述 3 个性状建立的方程可极好地预测单株籽粒产量结果。对回归方程(1)的回归系数进行标准化处理,即得到标准化回归方程(2)式,由标准回归系数可知,对单株籽粒产量贡

表5 盐条件下各收获株性状对单株籽粒产量的回归系数和偏相关系数

Table 5 Coefficients of regression and partial relationship between all characters and yield of ingathering individual of wild soybean under salt stress

性状 Characters	高含盐量盐碱土壤 High saline soil						大田土壤 Field soil					
	标准化回归	排序	偏相关系数	排序	简单相关系数	排序	标准化回归	排序	偏相关系数	排序	简单相关系数	排序
	系数 Standardized coefficients		Partial correlation		Bivariate correlation		系数 Standardized coefficients		Partial correlation		Bivariate correlation	
X_1	0.929 **	1	0.904 **	1	0.984 **	1	0.859 **	1	0.889 **	1	0.898 **	1
X_2	0.139 **	2	0.384 **	2	0.690 **	3	0.357 **	2	0.837 **	2	0.146	4
X_3	0.027	3	0.081	3	0.604 **	4	0.156 **	4	0.348 **	4	0.516 **	2
X_4	-0.054	9	-0.105	7	0.758 **	2	0.161 **	3	0.364 **	3	0.490 **	3
X_5	-0.003	6	-0.020	6	0.089	7	-0.001	6	-0.011	7	0.042	6
X_6	-0.024	8	-0.125	9	0.071	8	-0.002	7	-0.010	6	-0.083	8
X_7	0.008	4	0.034	4	0.488 **	5	0.038	5	0.153	5	0.070	5
X_8	-0.020	7	-0.109	8	0.461 **	6	-0.004	8	-0.028	8	-0.067	7
X_9	0.005	5	0.032	5	-0.028	9	-	-	-	-	-	-

X_1 - X_9 同表3,*、**分别表示达到5%,1%的显著水平
 X_1 - X_9 is the same as Table 3.* and ** significant at 5% and 1% level,respectively.

献大小的顺序是单株粒数(X_1)>百粒重(X_2)>收获指数(X_4)。
$$Y_1 = -0.539 + 0.014X_1 + 0.515X_2 - 0.805X_4 \quad (1)$$
$$Y_{1'} = 0.948X_1 + 0.155X_2 - 0.083X_4 \quad (2)$$
正常大田土壤条件下筛选到5个与产量显著($p < 0.05$)线性相关的性状,即单株粒数(X_1)、百粒重(X_2)、单株干重(X_3)、收获指数(X_4)、生育期(X_7),它们与单株籽粒产量拟合得到最优化的回归方程(3)式。对方程进行显著性检验可知, $F = 1413.35^{**}$, $R = 0.993^{**}$,说明由上述5个性状建立的方程可极好地预测正常条件下单株籽粒产量结果。对回归方程(3)的回归系数进行标准化处理,即得到标准化回归方程(4)式,由标准回归系数可知,对单株籽粒产量贡献大小的顺序是单株粒数(X_1)>百粒重(X_2)>收获指数(X_4)>单株干重(X_3)>生育期(X_7)。

$$Y_2 = -10.812 + 0.017X_1 + 3.304X_2 + 0.045X_3 + 9.382X_4 + 0.014X_7 \quad (3)$$
$$Y_{2'} = 0.860X_1 + 0.357X_2 + 0.155X_3 + 0.161X_4 + 0.037X_7 \quad (4)$$

偏相关分析可以排除性状间的相互干扰,深入了解各性状与产量的实质关系,依照偏相关系数(表6),可以看出在高含盐量盐碱土处理下对单株籽粒产量有显著影响的性状为单株粒数(X_1),百粒重(X_2)和收获指数(X_4),且前者作用大于后者,正常土壤条件下对单株籽粒产量贡献大小顺序为单株粒数(X_1)>百粒重(X_2)>收获指数(X_4)>单株干重(X_3)>生育期(X_7),该结果与标准化回归系数相似,进一步说明不同土壤生态类型下性状对野生大豆高产的重要性不同。

表6 不同土壤环境下野生大豆单株籽粒产量与对其有显著影响性状的回归和相关分析

Table 6 Coefficients of regression and partial relationship between yield per plant and main characters in wild soybean under different edaphic ecotype

性状 Characters	土壤类型 Edaphic ecotype	直接通 径系数 Direct path coefficients	直接效应 份量 Direct effect percent/%	间接通径系数 Indirect path coefficients						间接效 应份量 Indirect effect percent/%	简单相 关系数 Bivariate correlation	偏相关 系数 Partial correlation
				X_1	X_2	X_3	X_4	X_7	合计			
X_1	高盐土 HS	0.948 **	96.3		0.098	-	-0.063	-	0.036	3.7	0.984 **	0.971 **
	大田土 FS	0.860 **	95.8		-0.102	0.062	0.084	-0.006	0.038	4.2	0.898 **	0.891 **
X_2	高盐土 HS	0.155 **	22.5	0.601		-	-0.066	-	0.534	77.5	0.690 **	0.519 **
	大田土 FS	0.357 **	244.5	-0.246		0.037	-0.020	0.017	-0.212	-144.5	0.146	0.854 **
X_3	大田土 FS	0.155 **	30.0	0.342	0.086		-0.073	0.007	0.361	70.0	0.516 **	0.351 **
X_4	高盐土 HS	-0.083 **	-10.9	0.716	0.124	-		-	0.841	110.9	0.758 **	-0.265 **
	大田土 FS	0.161 **	32.9	0.449	-0.044	-0.070		-0.005	0.329	67.1	0.490 **	0.368 **
X_7	大田土 FS	0.037 **	52.9	-0.134	0.162	0.028	-0.023		0.032	47.1	0.070	0.266 **

HS;High saline soil;FS;Field soil

由表7可知,两种土壤生态类型下主要农艺性状或对产量有显著影响的性状与单株籽粒产量的标准化回归系数、偏相关系数两者之间的相关程度均

较高,说明两种分析方法均能反映不同土壤生态类型下各性状与产量的关系,而简单相关系数与二者相关度均低。

表7 不同土壤生态类型下三种分析方法的关系

Table 7 Relationships between three analysis methods under different edaphic ecotype								
各种相关系数 Correlation coefficients	高盐含量盐碱土壤 High saline soil				大田土壤 Field soil			
	9个性状 Nine characters		3个性状 Three characters		8个性状 Eight characters		5个性状 Five characters	
	简单相关系数	偏相关系数	简单相关系数	偏相关系数	简单相关系数	偏相关系数	简单相关系数	偏相关系数
	Bivariate correlation	Partial correlation	Bivariate correlation	Partial correlation	Bivariate correlation	Partial correlation	Bivariate correlation	Partial correlation
标准化回归系数 Standardized coefficients	0.599	0.951 **	0.903	0.898	0.824 *	0.893 **	0.740	0.860
简单相关系数 Bivariate correlation		0.635		0.621		0.723 *		0.369

3 讨论与结论

3.1 主要农艺性状与单株籽粒产量关系的复杂性

简单相关表明,高盐胁迫下野生大豆高耐盐株系具有以下特征特性,即在形态和外观上表现植株矮,后期生理落叶少;在产量构成上表现粒多、粒重、在营养器官和生殖器官之间关系上表现为收获指数高,各性状与单株籽粒产量的简单相关程度依次为:单株粒数>收获指数>百粒重>单株干重>生育期>株高>出苗天数>初花天数>未受害叶率(负值)。然而性状之间的复杂关系使得各个性状与产量的关系还受到其他性状的干扰,因此不能单纯根据简单相关的结果判断产量与各性状的真实关系。9个性状对产量的重要性程度按多元回归、偏相关分析的结果分别为单株粒数>百粒重>单株干重>生育期>未受害叶率>出苗天数(负值)>株高(负值)>初花天数(负值)>收获指数(负值)、单株粒数>百粒重>单株干重>生育期>未受害叶率>出苗天数(负值)>收获指数(负值)>株高(负值)>初花天数(负值),与简单相关结果大相径庭。逐步回归分析表明,对产量真正有显著影响的性状主要只有3个,以标准化回归系数和偏相关系数判断重要性依次均为单株粒数>百粒重>收获指数。因此,不论9个还是3个性状,两种分析方法均表明单株粒数、百粒重、收获指数对高盐胁迫时野生大豆株系的单株籽粒产量高低具有决定性作用,可作为高盐胁迫时高产种质筛选的最主要指标。至于单株干重、生育期,由通径分析可知两者在正常大田土壤条件下对产量的直接效应较高于高含盐量盐碱土壤处理下的直接效应,且通过单株粒重对产量的间接效

应相当可观,可作为正常大田土壤条件下辅选指标。

在研究涉及的性状中,除出苗天数、未受害叶率、初花天数是幼苗期、生长中期和开花期观测的结果以外,其他性状都是成熟期的测定值,因此上述结果是基于成熟期的性状表现所做出的判断,未涉及到其他生育时期的过程和功能关系。实际上,从时间尺度而言,野生大豆各个性状的建成过程都存在着起始期、旺盛期和衰老期。研究结果只是反应了成熟期的营养器官性状生物量与产量的关系。在研究不同种质的性状与产量关系时,应该在了解最终发育结果的基础上,进一步了解其间过程、功能及其机理,才能解析出不同发育时期性状与产量之间的本质关系。

3.2 正常土壤和逆境土壤条件下决选大豆或野生大豆种质的性状差异

关于正常土壤条件下大豆或野生大豆产量与性状的相关性已有许多研究^[21-24]。多数研究认为,大豆单株粒重与大豆(群体)产量相关极显著^[16-17]。在影响单株产量(单株粒重)的因素及其影响效应方面已有大量研究,但结果却不尽一致。赵剑峰认为,在大豆产量构成因素中单株荚数与单株产量的相关性最高^[18]。许东河等^[19]研究表明干旱条件下,对产量直接作用最大的因素是单株粒数及单株荚数,百粒重的直接贡献最小。谢皓等^[20]认为大豆单株产量与株高、分枝数、单株粒数的遗传相关较大。但是,章建新等^[21]研究表明,大豆单株产量与株高、百粒重呈不显著正相关,与主茎节数为显著正相关,与单株荚数、单株粒数呈极显著正相关,单株产量与收获指数(粒重/茎重)呈不显著负相关。李卫东^[22]分析认为,大豆产量与单株荚数和百粒重之

间的偏相关达极显著正相关,多荚型品种与高产关系更密切。由于试验设置的条件多样,考察性状不尽相同,研究结果得到与多数研究类似但不相同的结论。在本试验范围内,多次相关分析表明,单株粒数、百粒重与产量关系最密切,其次是单株干重、收获指数、生育期,而与株高、出苗天数、初花天数等相关度低;偏相关分析显示,两种土壤生态类型下单株粒数、百粒重均与单株籽粒产量极显著正相关,除此之外单株干重和收获指数在正常土壤条件下也与单株籽粒产量达到极显著正相关。因此,正常土壤条件时高产野生大豆的主要指示性状为单株粒数、百粒重、单株干重、收获指数。高含盐量盐碱土壤处理时,野生大豆各性状在株系材料之间存在丰富的变异,通过综合简单相关分析、偏相关分析、回归分析和通径分析的结果,得出耐高盐野生大豆选择的首要目标性状应是单株粒数,百粒重和收获指数。单株粒数,百粒重和收获指数在正常和高盐土壤条件下与单株籽粒产量均密切相关,这是不同土壤类型下的相同之处,两者可同时作为正常土壤条件和高盐土壤条件下高产野生大豆种质的筛选指标。

参考文献

[1] 常汝镇,陈一舞,邵桂花,等. 盐对大豆农艺性状及籽粒品质的影响[J]. 大豆科学,1994,13(2):101-105. (Chang R Z, Chen Y W, Shao G H, et al. Effect of salt on agricultural characters and chemical quality of seed in soybeans[J]. Soybean Science, 1994,13(2):101-105.)

[2] 王春娜,宫伟光. 盐碱地改良的研究进展[J]. 防护林科技, 2004,5:38-41. (Wang C N, Gong W G. Study advances in improvement of saline-alkali land[J]. Protection Forest Science and Technology,2004,5:38-41.)

[3] Pantalone V R, Kenworthy J. Salt tolerance in *Glycine max* and perennial *Glycine*[J]. Soybean Genetics Newsletter,1989,16:145-146.

[4] 吴雪霞,陈建林,查丁石,等. 植物耐盐性研究进展[J]. 江西农业学报,2008,20(2):11-13. (Wu X X, Chen J L, Zha D S, et al. Study advances in salt tolerance of plants [J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2008,20(2):11-13.)

[5] Zhu J K. Plant salt tolerance [J]. Trends Plant Science, 2001, (6):66-71.

[6] 张海燕,焦碧婵,李贵全. 大豆产量及其相关数量性状关系的分析[J]. 山西农业科学,2006,34(2):27-29. (Zhang H Y, Jiao B C, Li G Q. Analysis on the relationship between yield and correlated quantitative character of soybean[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2006,34(2):27-29.)

[7] 傅艳华,项淑华,王雪飞. 大豆八种农艺性状与单株粒重的通

径和逐步回归分析[J]. 大豆通报,1997(1):12-13. (Fu Y H, Xiang S H, Wang X F. The path and backward correlation analysis of eight agronomic characters and yield per plant of soybean[J]. Soybean Bulletin,1997(1):12-13.)

[8] Essa T A. Effect of salinity stress on growth and nutrient composition of three soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars [J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2002,188:86-93.

[9] 吴春芳,姜永平,蒋振欣,等. 土壤不同盐分含量对大豆产量及主要产量因子影响的研究[J]. 大豆通报,2000(4):8-9. (Wu C F, Jiang Y P, Jiang Z X, et al. Study on the effect of yield and major yield factor of soybean under different salt content of soil [J]. Soybean Bulletin,2000(4):8-9.)

[10] 任冬莲,任天佑,刘学义,等. 适于大豆育种应用的抗旱性鉴定技术研究[J]. 华北农学报,1997,12(1):61-64. (Ren D L, Ren T Y, Liu X Y, et al. Studies on the identification methods of soybean drought-resistant suitable for soybean breeding[J]. Acta Agricultural Boreali-Sinica, 1997,12(1):61-64.)

[11] 韩龙珠. 多元分析在小麦数量性状研究中的应用[M]//刘垂. 作物数量性状的多元遗传分析. 北京:农业出版社,1991:232-257. (Han L Z. Application of multivariate analysis in researching quantitative character of wheat[M]// Liu Q. Multivariate Genetic Analysis of Quantitative Character of Crops. Beijing: Agricultural Press,1991:232-257.)

[12] 佟汉文,黄荣华,刘易科,等. 小麦新品种农艺性状与产量的相关及通径分析[J]. 湖北农业科学,2008,47(7):758-760. (Tong H W, Huang R H, Liu Y K, et al. Correlation and path analysis on the yield and major agronomic characters of the new wheat cultivars [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2008,47(7):758-760.)

[13] 徐静斐. 多元分析在水稻遗传育种上的应用[M]//刘垂. 作物数量性状的多元遗传分析. 北京:农业出版社,1991:266-298. (Xu J F. Application of multivariate analysis in rice genetic breeding[M]// Liu Q. Multivariate Genetic Analysis of Quantitative Character of Crops. Beijing: Agricultural Press,1991:266-298.)

[14] 张君,王丕武,杨伟光,等. 大豆主要性状间的灰色关联度分析. 沈阳农业大学学报,2004,35(1):1-3. (Zhang J, Wang P W, Yang W G, et al. Analysis of grey Correlative grade among main characters of soybean[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2004,35(1):1-3.)

[15] 石惠,许海涛. 大豆主要农艺性状的遗传变异及相关性和主成分分析[J]. 黑龙江农业科学,2008,2:29-31. (Shi H, Xu H T. Genetic variation, correlation and principal component analysis on major agronomic trait of soybean[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2008,2:29-31.)

[16] 常鸿杰,杨宛玉,李金梁,等. 夏大豆主要经济性状与产量的相关分析[J]. 大豆通报,2005(1):6-7. (Chang H J, Yang W Y, Li J L, et al. Correlation analysis on the yield and major economic character of summer soybean [J]. Soybean Bulletin,2005(1):6-7.)

差异,因此有关播期与气候因子对菜用大豆产量及性状的影响,尚待进一步研究。

参考文献

[1] Konovsky John. Edamame; the vegetable soybean [M] // O'Rourke A D. Understanding the Japanese Food and Agrimarket: a multifaceted opportunity. Haworth Press, Binghamton, 1994: 173-181.

[2] Katou T, Fukushima T, Akazawa T. Differences in contents of amino acid, sugar and composition of fatty acids between edamame and normal soybean [J]. Journal of Japanese Society for Horticultural Science, 1982, 51 (suppl. 2): 537.

[3] 潘正纪. 毛豆播种期与产量及产值之间的关系 [J]. 耕作与栽培, 1990 (2): 23-24. (Pan Z J. Relationship of sowing date with yield and output value in vegetable soybean [J]. Tillage and Cultivation, 1990 (2): 23-24.

[4] 王丹英, 汪自强. 播期、密度、氮肥用量对菜用大豆产量和品质的效应 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2001, 27 (1): 69-72. (Wang D Y, Wang Z Q. Effect of sowing date, planting density and nitrogen rate on yield and quality in vegetable soybean [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science Edition), 2001, 27 (1): 69-72.)

[5] 李小红, 赵政文, 马继凤, 等. 菜用大豆品种筛选与最佳播种期的研究 [J]. 大豆科学, 2004, 23 (2): 118-122. (Li X H, Zhao Z W, Ma J F, et al. Variety selection and optimum sowing date in vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2004, 23 (2): 118-122.)

(上接第 622 页)

[17] 李维秀, 陈山. 大豆高产育种灰色关联度分析 [J]. 现代农业, 2003, 12: 4-5. (Li W X, Chen S. Grey relate degree analysis in high yield breeding of soybean [J]. Modernizing Agriculture, 2003, 12: 4-5.)

[18] 赵剑峰. 遗传相关分析在大豆育种中的应用 [J]. 大豆通报, 2001 (3): 26-27. (Zhao J F. Application of genetic correlation analysis in soybean breeding [J]. Soybean Bulletin, 2001 (3): 26-27.)

[19] 许东河, 李东艳, 程舜华. 大豆百粒重与抗旱性及产量的关系 [J]. 中国油料作物学报, 1991 (3): 64-66. (Xu D H, Li D Y, Cheng S H. Relationship of 100-seed weight between yield and drought-resistance of soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1991 (3): 64-66.)

[20] 谢皓, 陈学珍, 冯雅男, 等. 北京地区夏大豆品种产量构成和主要性状分析 [J]. 北京农学院学报, 2002, 17 (2): 1-4. (Xie H, Chen X Z, Feng Y N, et al. Analysis of yield constitutive factors and main agronomic characters of summer soybean cultivars in Beijing area [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2002, 17 (2): 1-4.)

[21] 章建新, 胡根海. 春大豆主要农艺性状的相关分析 [J]. 新疆农业科学, 2003, 40 (1): 16-19. (Zhang J X, Hu G H. Correlation analysis of the main agronomic characters in spring soybean [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2003, 40 (1): 16-19.)

[6] 杨加银, 徐海风. 播期、密度对菜用大豆鲜荚产量及性状的影响 [J]. 大豆科学, 2006, 25 (2): 185-188. (Yang J Y, Xu H F, Density effect on fresh pod yield and traits in vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2006, 25 (2): 185-188.)

[7] 陈霞, 刘丽君, 赵贵兴, 等. 不同播期鲜食大豆品种生育特性及品质评价 [J]. 大豆科学, 2008, 27 (6): 988-992. (Chen X, Liu J, Zhao G X, et al. Development traits and quality of vegetable soybean under different planting date [J]. Soybean Science, 2008, 27 (6): 988-992.)

[8] 徐启雨, 宋凤娟, 许桂方, 等. 大豆播期与农艺性状的相关性分析 [J]. 现代化农业, 1999, 242 (9): 14-15. (Xu Q Y, Song F J, Xu G F, et al. Correlation between sowing date and agronomic traits in soybean [J]. Modern Agriculture, 1999, 242 (9): 14-15.)

[9] Huck M G, Peterson C M. Distribution of dry matter between shoots and roots of irrigated and non-irrigated determinate soybeans [J]. Agronomy Journal, 1986 (78): 807-813.

[10] 顾敏健. 大豆播期、密度与其性状的相关性 [J]. 上海农业科技, 1990 (3): 35-36. (Gu M J, Correlation of sowing dates and density with agronomic traits [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 1990 (3): 35-36.)

[11] 闰吉治. 灰色关联分析在大豆播期研究中的应用 [J]. 河西学院学报, 2002, (5): 71-74. (Run, J Z, Application of gray correlation analysis in sowing date of soybean [J]. Journal of He-Xi College, 2002 (5): 71-74.)

[22] 李卫东, 梁慧珍, 卢为国, 等. 河南省夏大豆主要农艺性状演变趋势分析 [J]. 中国油料作物学报, 1999, 21 (2): 17-20. (Li W D, Liang H Z, Lu W G, et al. Studies on developing tendency of the major agronomic characters of summer soybean in Henan Province [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 1999, 21 (2): 17-20.)

[23] 张海泉. 大豆不同品种 (系) 性状与产量关系的研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31 (3): 162-165. (Zhang H Q. Relationship between characters of different soybean varieties and yields [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2000, 31 (3): 162-165.)

[24] 刘金刚, 曹永强, 孙恩玉, 等. 大豆品种产量与有关性状的相关和通径分析 [J]. 杂粮作物, 2004, 25 (1): 27-29. (Liu J G, Cao Y Q, Sun E Y, et al. Genetic correlation and path analysis of yield and breeding traits of soybean [J]. Rain Fed Crops, 2004, 25 (1): 27-29.)

[25] 王秋玲, 谷传彦, 郭凌云, 等. 黄淮夏大豆主要农艺性状与单株产量关系分析 [J]. 山东农业科学, 1999 (3): 62-64. (Wang Q L, Gu C Y, Guo L Y, et al. Analysis of relationship between major agronomic characters and yield per plant of summer soybean in Huanghuai Area [J]. Shandong Agricultural Sciences, 1999 (3): 62-64.)

[26] 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: 13-24. (Qiu L J, Chang R Z. Descriptors and data standard for soybean (Glycine spp.) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006: 13-24.)