

主成分分析在大豆抗旱性评价上的应用^{*}

潘相文^{1, 2} 李文滨¹ 李艳华² 王国栋² 王光华² 金 剑²

(1. 东北农业大学大豆所, 生物学教育部重点实验室哈尔滨 150030;

2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江省黑土生态重点实验室, 哈尔滨 150040)

摘要 以收获期 10 项指标的相对抗旱系数为基础, 应用主成分分析方法对黑龙江省 202 份大豆基因型进行抗旱性评价研究。结果表明, 这些参试材料在抗旱性上存在广泛的遗传变异, 根据主成分分析得到的综合评价指标, 可划分为 5 个不同抗旱等级。进一步的分析表明, 干旱处理下株粒重、一粒荚率、三粒荚率以及它们的抗旱系数与大豆种质的抗旱性紧密相关, 可作为大豆基因型抗旱性筛选的有效指标。其中, 相对株粒重和相对三粒荚率随着抗旱性的提高而显著增加, 相对一粒荚率则与之相反。同时, 揭示出抗旱性强大豆基因型往往具有较低的产量潜力, 而对于干旱敏感的大豆基因型则表现出较高的产量潜力, 表明大豆基因型抗旱性与产量之间并不存在对应关系, 在大豆抗旱育种上应区别加以利用。

关键词 大豆; 基因型; 抗旱性评价; 主成分分析

中图分类号 S 565.1; S 432.2⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)04-0379-06

随着全球气候变暖以及降雨量的不均匀分布, 干旱已成为限制作物生产的重要问题, 培育抗旱型品种则是解决这一问题最佳方法。大豆基因型抗旱性评价是大豆抗旱育种上的一个重要环节, 并得到了国内外学者的高度重视, 目前已有多种评价方法, 主要有直接比较法、总抗旱性评价方法、抗旱性分级评价法和抗旱性隶属函数值法等。这些方法虽然都曾用来评价不同作物的抗旱性, 但或多或少都存在一定的局限性, 例如直接比较法不能用于大量材料的评价, 总抗旱性评价方法难以界定干旱胁迫产生 50% 伤害时的条件, 抗旱性分级评价法和隶属函数值法似乎无法衡量各指标的相对权重。近年来, 随着多元统计方法的普及与应用, 主成分分析也成为一种新的评价方法应用到各个研究领域, 它有着独特的原理和特性, 它的本质目的在于对高维变量系统进行最佳综合与简化, 同时也客观地确定各个指标的权重, 避免主观随意性。目前此法应在大豆抗旱性评价上, 还很少有人应用。现以黑龙江省 202 份大豆基因型为对象, 根据成熟期考种获得的相对抗旱指标进行主成分分析, 筛选出抗旱性较好的大豆材料, 确定出可用于大豆抗旱性评价的指标以及

它们与大豆抗旱性的关系, 从而为我省大豆抗旱育种提供借鉴和指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从东北农业大学、黑龙江省农科院、黑龙江省黑河农科所、中科院东北地理与农业生态研究所搜集的 202 份大豆原始材料、品系及品种为对象进行抗旱性筛选研究。

1.2 试验方案

试验设在中科院东北地理与农业生态研究所哈尔滨园区试验田内, 包括干旱(覆蓬遮雨)和非干旱(自然条件)两种处理。每份材料选取大小一致的种子包衣后于 5 月 1 日播种, 种成 3m 长的双行区, 随机排列, 播种密度为 25 万株/hm²。在 6 月 30 日以前, 所有处理都处于自然条件下, 从 7 月 1 日起, 干旱处理进行覆蓬遮雨, 直至完熟收获。

1.3 指标测定

^{*} 收稿日期: 2005-11-16

通讯作者: 潘相文(1972-), 男, 助理研究员, 在读博士, 主要从事大豆和菜用大豆育种及其逆境生理生态研究。Email: panxw52579@yahoo.com.
©1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

收获时, 每个处理随机选取 10 株进行考种, 测定一粒荚数、二粒荚数、三粒荚数、四粒荚数、瘪荚数、株高、底荚高、茎粗、株粒重和百粒重, 并将前五项目指标以百分率的形式表示。相对抗旱指标则以下列公式进行计算:

相对指标值=干旱条件下指标值÷非干旱条件下指标值×100%

1.4 统计分析

1.4.1 数据转换

所有数据以相对指标为单位进行标准化转换, 计算公式如下:

$$X_s=(X-X)/SD$$

1.4.2 主成分分析

以转换后的数据用 SAS(6.12) 软件进行主成分分析。首先根据各主成分的特征值和累积贡献率确定主分量的个数, 然后以每个基因型的各个主分量分别与对应的相对权重相乘, 所得乘积之和(F 值)即为各基因型的综合抗旱指标值, 并以 5%和 20%选择强度确定抗旱、相对抗旱或干旱敏感、干旱相对敏感分级标准, 最后根据 F 值的大小将所有基因型划分为不同的抗旱等级。

2 结果与分析

2.1 大豆基因型抗旱性分级标准

经过主成分分析, 可以得到各相对指标对应的主分量及每个主成分的相对贡献率。根据各主成分的特征值和累积贡献率, 8 个主成分可以保留, 它们的累积贡献率达 95%, 这意味着保留的 8 个主成分可以涵盖所有数据 95%的原始信息。于是, 每个基因型的综合抗旱指标值(F 值)将由 8 个主分量和对应的相对贡献率求得($F=\sum PC_i \times RW_i$)。由于应用主成分分析方法还没有已知的抗旱性评价标准, 这里分别以 5%和 20%的选择强度进行抗旱、相对抗旱或干旱敏感、干旱相对敏感评价标准的界定, 大豆抗旱性分级标准如下:

- 1 级: F 值< -0.80——不抗旱
- 2 级: -0.80< F 值< -0.40——较不抗旱
- 3 级: -0.40< F 值< 0.40——中间型
- 4 级: 0.40< F 值< 1.00——较抗旱
- 5 级: 1.00< F 值——抗旱

2.2 大豆基因型抗旱性评价

根据主成分分析得到的综合评价指标(F 值)可以看出, 参试大豆基因型在抗旱性方面存在广泛的遗传变异。参照大豆基因型抗旱性分级标准, 可将所有大豆基因型划分为 5 个等级, 结果见表 1。

表 1 大豆基因型抗旱性评价结果

Table 1 The evaluation results of drought resistance in different soybean genotypes

等级 1(Grade one)		等级 2(Grade two)		等级 3(Grade three)		等级 4(Grade four)		等级 5(Grade five)	
基因型 F 值		基因型 F 值		基因型 F 值		基因型 F 值		基因型 F 值	
Genotype F value		Genotype F value		Genotype F value		Genotype F value		Genotype F value	
343	-1.216	357	-0.788	155	-0.391	85	-0.021	350	0.403
88	-1.168	267	-0.775	282	-0.385	47	-0.013	254	0.410
307	-1.099	249	-0.745	344	-0.382	126	-0.011	10	0.410
306	-1.071	309	-0.738	326	-0.374	9	-0.006	347	0.431
338	-1.061	78	-0.721	235	-0.373	122	-0.006	2	0.434
87	-1.032	365	-0.689	92	-0.361	240	0.000	232	0.434
258	-0.968	329	-0.682	330	-0.348	289	0.020	179	0.452
246	-0.942	117	-0.674	97	-0.326	263	0.027	360	0.464
335	-0.888	356	-0.672	61	-0.319	45	0.029	171	0.467
352	-0.840	288	-0.658	147	-0.318	107	0.033	34	0.473
		227	-0.650	292	-0.316	94	0.035	106	0.475
		156	-0.647	116	-0.315	170	0.037	380	0.478
		276	-0.632	369	-0.311	341	0.038	382	0.521
		303	-0.617	89	-0.311	75	0.049	12	0.546
		305	-0.590	158	-0.305	224	0.053	384	0.556
		65	-0.559	247	-0.291	394	0.059	325	0.568
		115	-0.554	43	-0.266	109	0.060	101	0.575
		86	-0.538	114	-0.265	103	0.065	4	0.596
		185	-0.532	366	-0.264	58	0.070	252	0.610

(续表 1)

345	- 0. 525	226	- 0. 264	295	0. 071	372	0. 652
35	- 0. 521	93	- 0. 248	157	0. 083	229	0. 674
312	- 0. 513	248	- 0. 240	80	0. 085	124	0. 697
342	- 0. 505	280	- 0. 237	76	0. 092	175	0. 713
287	- 0. 497	134	- 0. 236	26	0. 104	370	0. 784
333	- 0. 474	164	- 0. 233	313	0. 123	398	0. 785
79	- 0. 453	268	- 0. 225	331	0. 130	30	0. 837
186	- 0. 453	363	- 0. 204	351	0. 142	160	0. 841
121	- 0. 429	300	- 0. 196	113	0. 143	56	0. 887
223	- 0. 429	311	- 0. 192	165	0. 156		
340	- 0. 412	111	- 0. 177	71	0. 163		
		108	- 0. 175	38	0. 177		
		239	- 0. 164	96	0. 178		
		318	- 0. 161	39	0. 193		
		74	- 0. 161	60	0. 204		
		354	- 0. 157	228	0. 214		
		244	- 0. 155	82	0. 216		
		159	- 0. 148	69	0. 222		
		125	- 0. 147	298	0. 223		
		297	- 0. 147	136	0. 230		
		283	- 0. 145	361	0. 236		
		364	- 0. 136	32	0. 238		
		118	- 0. 130	77	0. 238		
		169	- 0. 128	95	0. 240		
		245	- 0. 127	358	0. 247		
		119	- 0. 106	167	0. 256		
		72	- 0. 102	105	0. 263		
		33	- 0. 096	385	0. 272		
		174	- 0. 086	166	0. 293		
		238	- 0. 077	100	0. 295		
		146	- 0. 074	8	0. 308		
		36	- 0. 070	153	0. 317		
		152	- 0. 057	48	0. 320		
		102	- 0. 054	148	0. 328		
		278	- 0. 047	144	0. 334		
		316	- 0. 047	52	0. 339		
		284	- 0. 045	90	0. 348		
		320	- 0. 040	250	0. 350		
		104	- 0. 039	178	0. 353		
		368	- 0. 037	1	0. 353		
		168	- 0. 035	177	0. 363		
		290	- 0. 027	31	0. 386		
		304	- 0. 021	98	0. 390		

注: 等级 1—5 分别代表大豆基因型的抗旱性从弱到强。
Note: Grade one – five present drought resistance of soybean genotypes from infirmness to mightiness respectively.

2.3 大豆基因抗型旱性与不同条件下抗旱指标的相关关系

为了在一定处理条件下直接选择抗旱性大豆基因型, 不同处理条件下的各指标与抗旱性综合评价指标之间的相关关系进行了分析(表 2)。结果表明, 在干旱条件下结荚高度、百粒重和三粒英率、四粒英率、株高、茎粗、株粒重分别与抗旱性显著或极显著正相关, 二粒英率和一粒英率、瘪英率与抗旱性

显著或极显著负相关, 其中一粒英率、三粒英率、株高和株粒重与抗旱性高度相关; 在正常降雨条件下, 一粒英率和瘪英率与抗旱性极显著正相关, 株粒重和三粒英率与抗旱性极显著负相关; 就相对指标(干旱/正常)而言, 三粒英率、四粒英率、株高、茎粗、株粒重与抗旱性极显著正相关, 一粒英率和瘪英率与抗旱性极显著负相关, 其中一粒英率、三粒英率、四粒英率和株粒重与抗旱性高度相关。同时表明, 相

对指标和干旱条件下的绝对指标与大豆基因型抗旱性的相关关系是一致的, 并且它们和抗旱性的相关关系与正常降雨条件下的绝对指标和抗旱性的相关关系在方向上是相反的, 揭示出大豆基因型抗旱性评价应当在以干旱条件下的绝对指标或干旱和正常

条件下的相对指标为宜。在本研究中, 干旱条件下的一粒荚率、三粒荚率、株粒重以及它们在干旱和正常条件下的相对指标是评价大豆基因型抗旱性的理想指标, 低一粒荚率、高三粒荚率和株粒重的大豆基因型具有相对强的抗旱性。

表 2 大豆抗旱性与不同条件下抗旱指标的相关关系

指标(Index)	干旱处理(Drought treatment)	正常处理(Natural treatment)	干旱/正常(Drought/natural)
一粒荚率 One grain pod rate	- 0. 437 * * *	0. 288 * * *	- 0. 595 * * *
二粒荚率 Two grain pod rate	- 0. 153 *	0. 009	- 0. 124
三粒荚率 Three grain pod rate	0. 420 * * *	- 0. 339 * * *	0. 708 * * *
四粒荚率 Four grain pod rate	0. 253 * * *	- 0. 129	0. 516 * * *
瘪荚率 Shriveled pod rate	- 0. 267 * * *	0. 376 * * *	- 0. 483 * * *
结荚高度 Podding height	0. 139 *	0. 047	0. 128
株高 Plant height	0. 402 * * *	- 0. 024	0. 463 * * *
茎粗 Stem width	0. 213 * *	- 0. 013	0. 263 * * *
株粒重 Plant grain weight	0. 562 * * *	- 0. 197 * *	0. 652 * * *
百粒重 100 grain weight	0. 156 *	0. 006	0. 123

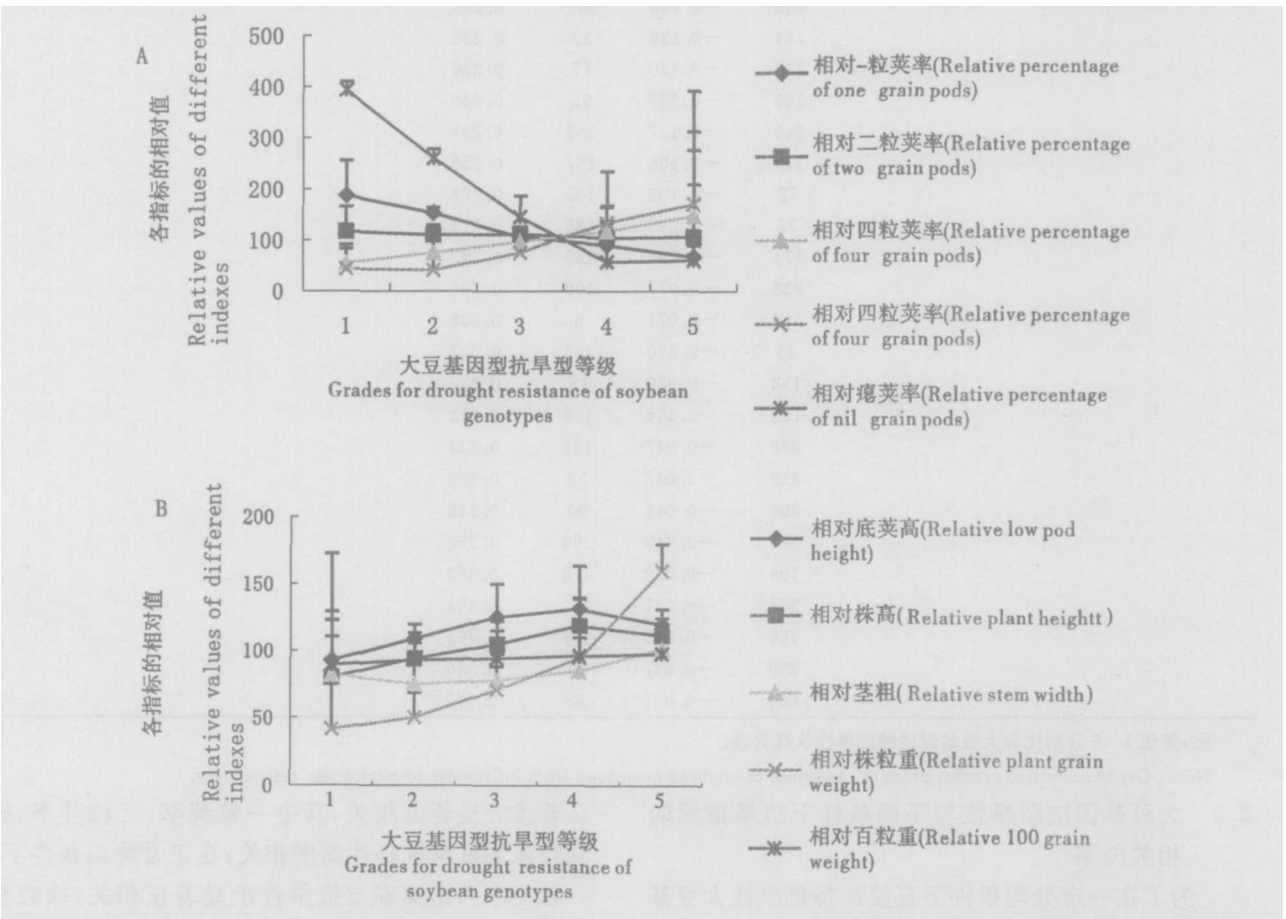


图 1 大豆抗旱性与各相对指标的关系

Fig. 1 Relations between drought resistance and all the relative indexes in soybean

2.4 各相对抗旱指标伴随大豆基因型抗旱性的动态变化

了各相对指标伴随大豆抗旱性的变化规律, 结果见图 1。从 A 中可以看出, 相对瘪荚率和相对一粒荚率随大豆抗旱性的增强而降低, 相对三粒荚率和相

对四粒英率随大豆抗旱性的增强而升高,而相对二粒英率随大豆抗旱性的增强波动不大。说明抗旱性强的大豆基因型在干旱胁迫下有利于三、四粒英的形成,不利于一粒英的形成,对二粒英的影响不大。从B中可以看出,相对株粒重、相对底荚高和相对株高随大豆抗旱性的增强而升高,而相对百粒重和相对茎粗与大豆抗旱性的关系不大,揭示了抗旱性强的大豆基因型在干旱胁迫下仍能维持较高的产量和株高,然而在一定程度上则以增加结荚高度为代价。

2.5 不同抗旱性大豆基因型的产量表现

作物抗旱性的研究,除了探究作物抗旱性的内在机制,最重要的是选育抗旱性强的高产作物品种,因此确定抗旱性与产量之间的关系对作物抗旱性育种具有重要意义。本文以不同大豆基因型抗旱性综合评价为基础,研究了大豆抗旱性与产量之间的关系,结果见图2。从中可以看出,参试的这些大豆基因型在抗旱型和产量潜力上存在着广泛的遗传变异,多数大豆基因型属于中等抗旱和中等产量类型。相比之下,基因型393、260、214、161、59、11、6、3抗旱特性相对较强,然而除了基因型393具有较高的产量潜力外,其它基因型的产量潜力都相对较差。基因型343、338、307、306、258、246、88、87抗旱特性相对较弱,但是除了基因型307、306、246、87具有相对较低的产量潜力外,其它基因型的产量潜力却相对较高。说明抗旱性强的大豆基因型其产量潜力并非很高,而抗旱性弱大豆基因型其产量潜力并非很低,揭示了大豆抗旱性与产量之间的关系是非常复杂的,在育种实践中要把大豆的抗旱性和产量潜力区别对待,才能选育出真正抗旱高产的大豆品种。同时,这些大豆基因型根据抗旱性和产量潜力可以分为四种类型,即抗旱高产、抗旱低产、非抗旱高产和非抗旱低产,它们分别占参试材料的19.31%、27.72%、27.72%和25.25%。其中,抗旱高产类型具有较高的抗旱性和产量潜力,可以直接用作干旱及半干旱地区的救灾品种;抗旱低产类型由于产量潜力较低,适合于作为抗旱高产育种的亲本材料;非抗旱高产类型鉴于产量潜力受水分的供应的严格限制,宜在有灌溉条件的地区种植或用作抗旱高产育种的亲本材料;而非抗旱低产类型具有对干旱敏感的遗传资源,适合于大豆抗旱性方面的遗传研究。

3 讨论

3.1 大豆抗旱性的评价方法

大豆基因型抗旱性评价与鉴定是大豆抗旱性研究中重要内容,也是选育抗旱大豆品种的关键技术与环节。由于研究的目的和方法的不同,应用的评价和鉴定方法亦千差万别。一般地讲,大豆基因型抗旱性鉴定在鉴定和评价方法上以应用单项指标者多,而用多项指标综合评价者相对较少。然而研究表明,大豆基因型的抗旱性属于多基因控制的数量性状,每一个与抗旱性有关的性状对大豆的抗旱性都起一定作用。可见,应用单项指标鉴定和评价大豆基因型的抗旱性,虽然有一定的可行性,但不能反映全貌,有时会出现偏差,而应用多项指标综合鉴定和评价大豆的抗旱性则成为行之有效的方法。任东莲等(1997)在田间鉴定的基础上对2种单项指标评定法和2种多项指标综合评定法进行了可靠度研究,证明多指标的综合评定法的可靠度最高,并建议根据与抗旱性密切相关的多个指标进行评定,才能获得较为接近实际的评定结果。李贵全等(2000)认为,大豆的抗旱性是数量性状遗传,用单一指标难以准确评定其抗旱性。山仑也指出,不同作物品种适应干旱的方式是多种多样的,一些作物和品种具有综合的几种机制共同起作用的抗旱特性,因此不存在统一的评价作物抗旱性的指标,必须多种指标综合分析。本文以田间条件下不同产量构成指标的抗旱系数为基础,采用主成分分析方法对202份大豆基因型的抗旱性进行了综合评价,结果表明大豆基因型在抗旱性上存在广泛的遗传变异,同时根据产量构成因子的综合表现,将参试大豆基因型划分为5个等级,并界定了各等级的综合评价标准。

3.2 植株生长及产量相关指标与大豆抗旱性的关系

一般来讲,在大豆生长生育任何阶段遇到干旱胁迫,都会导致形态、生理、生化上的一系列适应性变化,进而影响植株生长及产量相关指标的正常表现。因此,利用收获期大豆植株生长及产量相关指标在不同水分条件下的相对表现,来研究大豆资源的抗旱性差异和筛选指标是十分可行的。本文的研究表明,在干旱胁迫条件下大多数指标以及干旱胁迫和正常降雨条件下的相对指标(抗旱系数)与大豆的抗旱性都存在显著的相关关系。其中,一粒英率、三粒英率和株粒重及它们的相对指标与抗旱性的关系最为密切,可作为大豆抗旱资源筛选的有效指标。而且,抗旱性强的大豆资源表现为低的一粒英率及高的三粒英率和株粒重。李贵全等(2000)的研究也

表明单株荚数和株粒重与抗旱性显著正相关。这揭示了抗旱大豆资源必定存在某种内在的机制,使其能够忍受或逃避一定程度的干旱胁迫,并表现出尽

可能高的生产性能。
3.3 抗旱大豆基因型的利用

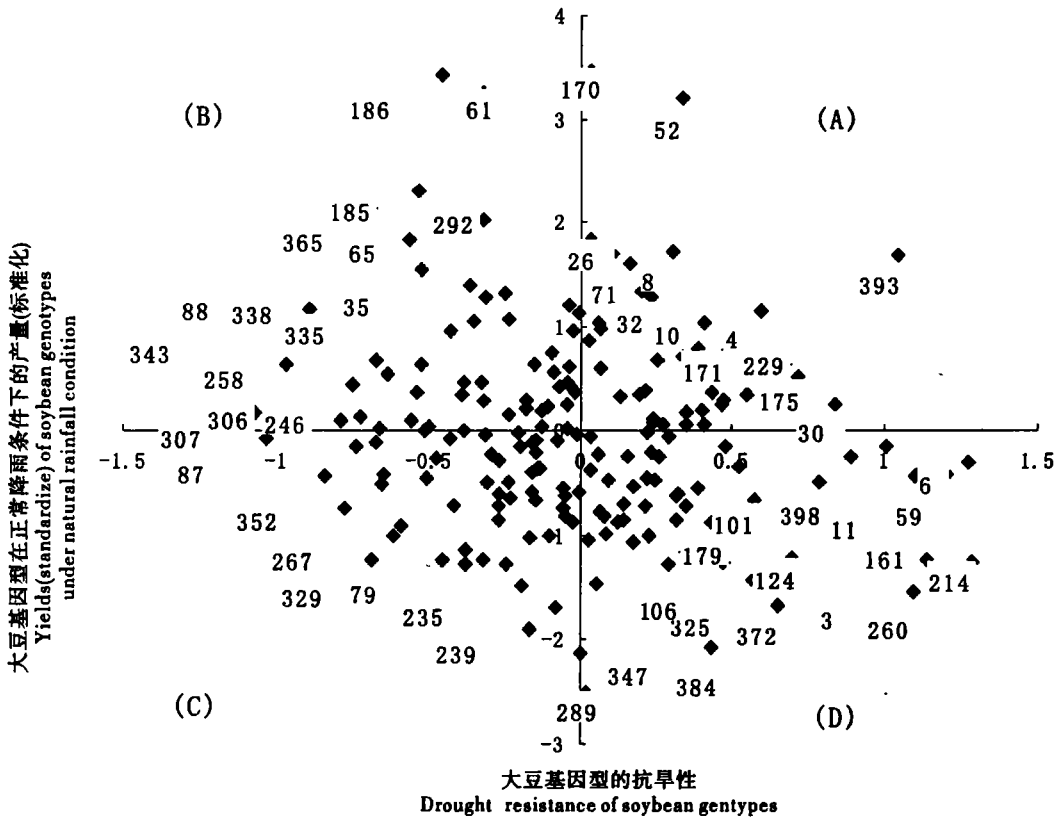


图2 大豆基因型抗旱性与产量的关系

Fig. 2 Relationship between drought resistances and yield in soybean

鉴定和筛选抗旱大豆资源的目的是选育抗旱性较强的丰产大豆新品种。然而,大豆基因型的抗旱性和丰产性并不存在着明显的对应关系,有时可能恰恰相反。根据我们的研究可以看出,参试的多数大豆基因型属于中等抗旱和中等产量类型,抗旱性强的品种往往具有较低的产量潜力,对干旱敏感的基因型其产量潜力则相对较高,因此在育种上要根据抗旱大豆基因型的产量表现加以区别利用。

参 考 文 献

1 邹琦. 作物抗旱生理生态研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社. 1993, 31-332.
2 李舒凡, 邵桂花. 大豆抗旱性鉴定方法的探讨与评价[J]. 作物杂志. 1992, (1): 30-31.
3 赵微平. 小麦的抗旱性. 见: 小麦生理与分子生物学[M]. 北京: 北

京农业大学出版社. 1993, 67-68.
5 赵述文. 大豆品种资源抗旱性鉴定与生理生化特性[C]. 全国大豆第三届学术讨论会论文摘要汇编. 1985, 101-102.
6 Rosell I. A. Effects of moisture stress on the oil and protein component of soybean seeds[J]. Australian Journal of Agricultural Research. 1988, 39: 163-170.
7 Kaul R., W. L. Crowk. An index derived from photosynthesis parameters for predicting grain yield of drought stressed wheat cultivars[J]. Z. Pflanzenzuecht, 1974, 74: 42-51.
8 Blum A., Sinmena B. and O. Ziv. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening test in wheat[J]. Euphytica, 1980, 29: 727-736.
9 杨建昌, 王志琴, 朱庆森. 水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究[J]. 中国农业科学, 1995, 28(5): 65-72.
10 山仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 1-17, 98-105.
11 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, 2003(3): 197-200.

(下转 389 页)

tween linoleic acid and stearic acid, palmitic acid, and linolenic acid were -0.325^{**} , -0.181^{**} and 0.417^{**} . The correlation coefficient between fatty acid and Growth Period (d) ranged from -0.195^{**} to 0.185^{**} , between stearic acid and Growth Period was 0.058 , and palmitic acid was -0.133^{**} , and oleic acid was -0.195^{**} , and linoleic acid was 0.185^{**} , and linolenic acid was 0.157^{**} ; the correlation coefficient between Plant height (cm) and fat, stearic acid, palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, and linolenic acid were -0.249^{**} , -0.093^{*} , 0.106^{**} , -0.239^{**} , 0.106^{**} , and 0.309^{**} ; the correlation coefficient between 100-seed weight (g) and fat, stearic acid, palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, and linolenic acid were 0.402^{**} , 0.077^{*} , -0.194^{**} , 0.296^{**} , -0.152^{**} , and -0.295^{**} . The results suggested that soybean cultivars with quality fat could be gotten by cultivar breeding; the quality of soybean fat could be improved by means of the correlations between different fatty acids, and the correlations between fatty acids and agronomic characteristics.

Key words Shandong; Summer soybean; Fat quality; Fatty acid; Improvement

(上接 384 页)

APPLICATION OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS ON EVALUATION THE DROUGHT RESISTANCE OF SOYBEAN GENOTYPES

Pan Xiangwen^{1, 2} Li Wenbin¹ Li Yanhua² Wang Guodong² Wang Guanghua² Jin Jian²

(1. Key Lab. of Education Department For Soybean Biology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030; 2. Key Lab. of Heilongjiang Province for Black Soil Ecology, Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Harbin 150040)

Abstract Drought resistance of 202 soybean materials was evaluated by using the method of principal component analysis according to relative drought resistance coefficient of 10 indexes at harvest stage. The results showed that there were broad genetic variations in drought resistance for soybean materials included and these materials were divided into 5 different grades of drought resistance based on the comprehensive evaluation index from principal component analysis. Further research indicated that plant grain weight, percentages of one grain pod and three grain pod under drought treatment and their relative coefficients of drought resistance correlated tightly with drought resistance of soybean germplasm and might be used as effective assessment indexes for drought resistance of soybean. Among them, relative plant grain weight and relative percentage of three grain pod increased with enhancement of drought resistance, for relative percentage of one grain pod in reverse. It was also indicated that soybean germplasm with good drought resistance performed comparatively badly in yield and soybean germplasm sensitive to drought treatment exerted well in yield, implying that there did not exist corresponding relationship between drought resistance and yield in soybean, and soybean germplasm with different drought resistance should be utilized discriminatively in breeding.

Key words Soybean; Evaluation of drought resistance; Principal component analysis