广东农业科学 2018，45（4）：6-13
Guangdong Agricultural Sciences doi：10.16768/j.issn.1004-874X.2018.04.002

符小发，高强，任海龙，等．南繁大豆农艺性状与产量的主成分和聚类分析［J］．广东农业科学，2018，45（4）：6-13.

南繁大豆农艺性状与产量的主成分和聚类分析

符小发[1]，高　强[1]，任海龙[1]，路子锋[2]，王天地[1]，陈积豪[1]，严勇亮[2]
（1. 新疆农业科学院海南三亚农作物育种试验中心，海南 三亚 572014；
2. 新疆农业科学院农作物品种资源研究所，新疆 乌鲁木齐 830091）

摘　要：通过对南繁条件下150份从国内外引进的大豆资源进行主成分分析和聚类分析，以确定南繁条件下大豆产量形成的关键影响因子，并筛选有高产潜质的大豆材料。结果表明，大豆单株产量与单株荚数、单株粒数、生物产量、有效分枝数、百粒重、生育期、株高7个性状均显著相关；选取方差累计贡献率为86.640%的前3个主成分可有效评价这批大豆材料；系统聚类可将参试的150份大豆资源分为9类；7个产量相关性状指标中，对不同品种单株产量影响差异的大小依次为单株荚数＞单株粒数＞生物产量＞有效分枝数＞百粒重＞生育期＞株高，7个性状可被分为3类，分别为产量性状因子、熟期因子和分枝因子等3个综合指标；综合指标间的聚类分析表明，可选择单株粒数、有效分枝数和百粒重3个指标评价大豆材料的高产潜力。研究结果可为大豆资源的利用提供参考，150份大豆材料各类群性状之间的差异较明显，可指导大豆高产育种，高产选育过程中应注重选择单株粒数、有效分枝数和百粒重较高的品系。

关键词：大豆；农艺性状；主成分分析；聚类分析；南繁；单株产量
中图分类号：S565.103.7　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1004-874X（2018）04-0006-08

Principal component analysis and cluster analysis of soybean yield and agronomic traits during winter nursing in Hainan Island

FU Xiao-fa[1], GAO Qiang[1], REN Hai-long[1], LU Zi-feng[1],
WANG Tian-di[1], CHEN Ji-hao[1], YAN Yong-liang[2]
（1.*Hainan Sanya Crop Breeding Trial Centre*, *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Sanya* 572014, *China*;
2.*Institute of Crop Germplasm Resource*, *Xinjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Urumqi* 830091, *China*）

Abstract: To determine the effect of key factors on soybean yield during winter nursing and screen out soybean materials for high-yielding, 150 soybean varieties introduced from Japan, America and other countries were planted and researched by principal component analysis（PCA）and hierarchical cluster analysis（HCA）in Sanya, Hainan, China. The results showed that single plant yield of soybean was significantly related to 7 traits that were pods per plant, seeds per plant, plant mass, valid branch number, 100-seed weight, growth period, plant height. Seven indicators reflecting soybean varieties might be represented by three principal components（cumulative contribution rate of 86.640%）. The research results can offer reference for the use of soybean materials. Seven major agronomic characters related to single plant yield were sequenced: pods per plant ＞ seeds per plant ＞ plant mass ＞ valid

收稿日期：2018-01-08
基金项目：三亚市农业科技创新项目（2013NK28）；新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务费（KYGY2016121）；新疆维吾尔自治区科技支疆计划（指令性）项目（201491141）；三亚市院地科技合作项目（2016YD33）
作者简介：符小发（1981-），男，硕士，助理研究员，E-mail：blueskysmallfish@163.com
通讯作者：任海龙（1985-），男，博士，副研究员，E-mail：448615508@qq.com

branch number > 100-seed weight > growth period > plant height, the seven traits that were related to yield were classified into 3 categories of principal components which were yield characters factor, mature period factor and branches factor. Selecting varieties with high seeds per plant, high valid branch number and high 100-seed weight was necessary in high yield breeding of soybean. 150 soybean varieties were classified into 9 clusters, which had obvious feature, that could guide high yield breeding of soybean.

Key words: soybean; agronomic traits; principal component analysis; cluster analysis; winter nursing; single plant yield

大豆〔*Glycine max*（L.）Merr.〕原产于我国，在我国已有 2 000 多年的栽培历史[1]，是重要的蛋白质和油脂来源，而大豆的产量却低于其他粮食作物[2]。大豆产量性状是基因型与环境因素共同作用的结果，是大豆植株形态特征的具体表现，也是叶片、分枝、豆荚等器官在一定生存环境下，相互依托、相互制约的存在状态[3]。在特定生态条件下，研究特定性状与产量的关系，就可以直观地筛选出高产育种的指标性状[4]。大豆产量受多基因控制，育种上很难进行直接选择，通过与产量相关的农艺性状进行选择已成为作物高产育种的一个重要途径[5]。大豆的产量与单株荚数、主茎节数、株高、结荚高度、单株粒数、百粒质量等性状都有密切关系，与产量在一定阈值内呈正相关或负相关[6-8]。通过主成分分析、聚类分析和其他分析方法联用，对于品种评价、分类、指导育种、建立理想的高产株型方面均有独到的优势[9-12]。大豆是短日照作物，在特定的生态区域表现出特有的植株性状，比如北种南引，植株变得矮小，并且早熟；南种北引，生育期变长，开花延后，植株变得高大，很多南方品种不能正常成熟。在北方及其他特定区域，由于部分南方大豆品种不能正常成熟，而大豆产量相关相关性状的主成分分析不能集中所有生态类型的大豆品种，分析结果受到数据采集的限制。南繁是利用海南三亚及周边地区特有的光热条件进行农作物加代试验，加快农作物育种的步伐。所有生态类型的大豆集中在一个地方种植和南繁条件下（海南三亚）种植用作产量相关性状分析的报道还很少。本研究通过对南繁条件下（海南三亚）对来自世界各地的 150 份不同生态类型大豆材料进行主成分分析，并进而进行聚类，以评价不同国家引进大豆品种各综合指标的主成分，为合理选配亲本提供理论依据，确定大豆南繁高产性状重点选择目标。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为从国内外引进的 150 份大豆资源，由新疆农业学院海南三亚农作物育种试验南繁种质资源库和新疆农业科学院农作物品种资源研究所提供种子，其资源编号、名称及来源见表 1。

1.2 试验方法

试验在海南三亚新疆农科院科技示范园进行。试验地位于三亚市海棠区洪李村，属热带海洋性季风气候，土壤为新改良的沙性土壤，地力均匀。栽培模式为覆膜滴灌，采用垄上双行的播种方式，行距 0.4 m，株距 0.2 m，垄宽 0.6 m，小区面积 1.2 m^2。于 2016 年 10 月 28 日播种，管理方式同大田。

1.3 调查项目及方法

大豆完全成熟时，每份材料连续取长势均匀的 10 株进行统计，参照《大豆种质资源描述规范和数据标准》[13]，分别调查生育期（x_1）、株高（x_2）、有效分枝数（x_3）、单株荚数（x_4）、单株粒数（x_5）、百粒重（x_6）、生物产量（x_7）和单株产量（x_8）。

试验数据采用 Excel 2003 统计软件进行整理，采用 SPSS19.0 软件进行方差分析和原始数据的标准化，利用其因子分析功能对大豆的单株产量相关性状进行主成分分析和系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 大豆农艺性状相关性分析

从表 2 可以看出，株高与生育期、株高与单株荚数、生育期与单株荚数、有效分枝数与单株

表 1　大豆材料来源信息

编号	名称	来源	编号	名称	来源	编号	名称	来源
s11-01	RHL18-77（A）	日本	322	Changteh	美国	485	FxT Line64	日本
s11-02	RHL18-76（B）	日本	323	Paoting	美国	486	FxT Line93	日本
s11-03	RHL25-113（A）	日本	324	No. 24	美国	487	FxT Line97	日本
s11-04	RHL25-104（B）	日本	326	No. 52	美国	488	FxT Line98	日本
s11-05	RHL72-13（A）	日本	331	Aki Daizu No.1	美国	489	FxT Line113	日本
s11-06	RHL72-3（B）	日本	340	Shimo Baba	美国	490	FxT Line23	日本
s11-07	Tachiyutaka	日本	344	Shiro Daizu	美国	492	FxT Line36	日本
s11-08	FT-ABYARA	日本	347 Ⅰ	Suzanari	美国	493	FxT Line52	日本
s11-09	FH-6	日本	347 Ⅱ		美国	495	FxT Line55	日本
s11-10	FH-92-1	日本	349	Tamanishiki	美国	496	FxT Line58	日本
s11-11	FH-92-3	日本	358	Ringgit strain 8/50	美国	498	FxT Line112	日本
s11-12	TAT09-4	日本	361	Tookichi	美国	499	FxT Line5	日本
s11-13	TAT09-5	日本	367	Seedcoat black	美国	500	FxT Line34	日本
s11-14	TAT09-6	日本	374	951-DCE-Sj-074	美国	511	FxT Line71	日本
s11-15	TAT09-7	日本	375	951-DCE-Sj-096	美国	512	FxT Line86	日本
s11-16	TAT09-8	日本	377	Yamaguchi-white No. 1	美国	514	FtC004	日本
s11-17	TAT09-9	日本	378	No. 3	美国	516	FtC006	日本
s11-18	TAT10-N	日本	379	No. 4	美国	517	FtC007	日本
s11-20	Fendou No.16	日本	385	TGM 693	美国	518	FtC008	日本
s11-22	Jindou No.6	日本	391	Lu dou 7	美国	519	FtC009	日本
s11-26	Jackson	日本	392	Yue jin 5	美国	520	FtC010	日本
J-2		日本	394	Hartwig	美国	521	FtC011	日本
J-3		日本	396	Avoyelles	美国	524	FtC014	日本
J-6		日本	397	Barchet	美国	525	FtC015	日本
J-10		日本	400	Cherokee	美国	526	FtC016	日本
J-14		日本	403	Mammoth Yellow	美国	527	FtC017	日本
J-15		日本	406	Rose Non Pop	美国	531	FtC021	日本
J-17		日本	407	Hill	美国	533	FtC023	日本
J-18		日本	409	Lee	美国	534	FtC024	日本
9	PI497969	巴基斯坦	410	Essex	美国	535	FtC025	日本
25	Xu wang huang da dou	中国	411	Cook	美国	539	FtC029	日本
44	Xiao Jin Huang	中国	423	（Oyachi Senshitsadairyu）	美国	548	FtC038	日本
45	PI475825	中国	429	C025	日本	551	FtC041	日本
61	Geden-shirazu	日本	430	C027	日本	553	FtC043	日本
75	Tokyo	美国	438	C038	日本	554	FtC044	日本
102	K210	韩国	440	C132	日本	558	FtC048	日本
118	RuNanPingDingShi	中国	445	T14	日本	560	FtC050	日本
141	AnYueLuLanZi	中国	446	T15	日本	561	FtC051	日本
146	WeiYuanQiYueHuang	中国	458	K123	日本	562	FtC052	日本
151	LanXiBaiKangDou	中国	465	K168	日本	563	FtC053	日本
189	DongNong No.34	中国	469	K198	日本	566	FtC056	日本
217	No. 7010	土耳其	470	K199	日本	568	FtC058	日本
228	PI475825	中国	472	K214	日本	571	FtC061	日本
302	Kedelee No.367	美国	473	K219	日本	572	FtC062	日本
304	Chu-chou	美国	477	FxT Line25	日本	573	FtC063	日本
306	41S31	美国	478	FxT Line27	日本	574	FtC064	日本
307	Casa Grande	美国	479	FxT Line41	日本	575	FtC065	日本
311	No.15 Seed black	美国	480	FxT Line49	日本	576	FtC066	日本
313	Perfume	美国	481	FxT Line51	日本	581	FtC071	日本
315	No.3032 Green	美国	483	FxT Line22	日本	582	FtC072	日本

表 2　150 份大豆材料各农艺性状指标间的相关系数

农艺性状	生育期	株高	有效分枝数	单株荚数	单株粒数	百粒重	生物产量	单株产量
生育期	1.000	0.194**	–0.110	0.199**	0.232**	0.371**	0.353**	0.353**
株高		1.000	–0.138*	0.571**	0.605**	–0.310**	0.560**	0.560**
有效分枝数			1.000	0.286**	0.193**	0.072	0.223**	0.223**
单株荚数				1.000	0.961**	–0.258**	0.876**	0.876**
单株粒数					1.000	–0.312**	0.866**	0.950**
百粒重						1.000	0.044	0.044**
生物产量							1.000	0.866**
单株产量								1.000

注：* 表示显著相关，** 表示极显著相关。

荚数、生育期与单株粒数、株高与单株粒数、单株荚数与单株粒数、有效分枝数与单株粒数、生育期与百粒重、生物产量与生育期、生物产量与株高、生物产量与生育期、生物产量与有效分枝数、生物产量与单株荚数、生物产量与单株粒数均呈极显著正相关；生育期与有效分枝数、株高与有效分枝数、株高与百粒重、单株荚数与百粒重、单株粒数与百粒重均呈显著或极显著负相关；单株产量与生育期、株高、有效分枝数、单株荚数、单株粒数、百粒重均呈极显著正相关。

2.2　大豆农艺性状主成分分析

在进行主成分分析之前，往往需要用巴特利特球度检验和 KMO 检验，根据 Kaiser 给出的度量标准：KMO ＞ 0.9 非常适合；0.8 适合；0.7 一般；0.6 不太适合；0.5 以下不适合。对所选取数据进行检验，KMO=0.786；Bartlett 球形度检验观测值为 880.153，*df* =21，*P*=0.0008，检验极显著，比较适合做主成分分析。利用 SPSS 软件的 Analyze 菜单中的 Factor 过程进行主成分分析得到特征值和贡献率（表 2），所统计记录的 7 个指标间相互存在紧密的关系，通过主成分分析综合得出 3 个主成分，第一主成分贡献率 48.878%，第二主成分 20.642%，第三主成分 17.120%，累计贡献率达 86.640%，因此可以用这 3 个主成分来分析 150 个大豆样本群体。第一主成分中向量值较大的指标依次为单株粒数（0.521）＞单株荚数（0.515）＞生物产量（0.489）＞株高（0.404），涵盖 3.429（特征根 λ_i）个指标的数据，称为产量性状因子；第二主成分中向量值较大的指标依次为百粒重（0.709）＞生育期（0.663），涵盖 1.446 个指标的数据，称为熟期因子；第三主成分中向量值较大的指标为有效分枝数 0.853，涵盖 1.190 个指标的数据，称为分枝因子。第一主成分涵盖了 7 个指标近 1/2 的数据，在选择高产大豆品种时，应作为重要的考察因子，其中以单株粒数、单株荚数、生物产量的特征向量较大，株高次之，百粒重为负值，说明百粒重较大的品种往往结荚性差、长势也很一般，但系数并不大；生育期和有效分枝数均为正值，但系数较小，说明在供试品种中，高产品种表现为单株粒数、单株荚数多，生物产量较大，长得较高；熟期、分枝力和籽粒大小没有明显规律，差异不明显。

表 3　主成分特征值及贡献率

性状	y_1	y_2	y_3
生育期	0.168	0.663	–0.229
株高	0.404	–0.097	–0.369
有效分枝数	0.087	–0.020	0.853
单株荚数	0.515	–0.039	0.175
单株粒数	0.521	–0.052	0.078
百粒重	–0.150	0.709	0.190
生物产量	0.489	0.208	0.141
特征根 λ_i	3.429	1.446	1.190
贡献率（%）	48.878	20.642	17.120
累计率（%）	48.878	69.520	86.640

由因子载荷量与共同度结果（表 4）可以看出，单株荚数 x_4 和单株粒数 x_5 在 3 个主分量中所占信息量最大，即对单株产量影响较大，而有效分枝数 x_3、百粒重 x_6 和生物产量 x_7 这 3 个

表 4　因子载荷量与共同度

因子	载荷量			$\sum h^2$
	y_1	y_2	y_3	
单株粒数	0.965	–0.063	0.085	0.942
单株荚数	0.953	–0.047	0.191	0.947
生物产量	0.906	0.250	0.154	0.908
株高	0.749	–0.117	–0.402	0.735
百粒重	–0.277	0.853	0.207	0.847
生育期	0.312	0.797	–0.250	0.794
有效分枝数	0.162	–0.024	0.930	0.891

因子的信息量相当，生育期 x_1 和株高 x_2 的信息量差些。

2.3　聚类分析

利用 spss 软件将原始数据标准化，并用标准化的数据 x_{ti}（t =1 ~ 150，i =1 ~ 7）计算，得出 3 个主成分对应的方程分别为：

$$\hat{y}_{1t} = 0.312x_{t1} + 0.749x_{t2} + 0.162x_{t3} + 0.953x_{t4} + 0.965x_{t5} - 0.277x_{t6} + 0.906x_{t7}$$

$$\hat{y}_{2t} = 0.797x_{t1} - 0.117x_{t2} - 0.024x_{t3} - 0.047x_{t4} - 0.063x_{t5} + 0.853x_{t6} + 0.250x_{t7}$$

$$\hat{y}_{3t} = -0.250x_{t1} - 0.117x_{t2} - 0.024x_{t3} - 0.047x_{t4} - 0.063x_{t5} + 0.853x_{t6} + 0.250x_{t7}$$

3 个主成分的贡献率达到 80% 以上，因此根据 3 个主成分方程计算 3 个主成分得分。然后，利用 3 个主成分得分进行 Q 型聚类（平方 Euclidean 距离），在平方欧氏距离 4.5 时可以将 150 个品种聚为 9 个类群，每个类群的基本信息见表 5 和图 1。由表 5 可知，第Ⅰ类群和第Ⅱ类群的单株产量较低，单株产量小于 20 g，两个类群长得都很矮，平均株高不到 20 cm，有效分枝数、单株荚数和单株粒数都非常接近，但第Ⅱ类群百粒重较第Ⅰ类群大；第Ⅲ类群主要表现为株高很低，有效分枝数多，造成单株结荚数并不低，单株产量高的主要影响因子是百粒重较大，一般为 30 ~ 40 g；第Ⅴ类群主要表现为有效分枝数极少，但株高较高，百粒重一般（20 ~ 30 g），单株结荚数（最大达 96 个豆荚）和单株粒数（最大达 214 粒）是这类品种取得高产的重要因子；第Ⅸ类群只有 1 个品种，株高、有效分枝数、单株结荚数和单株粒数均较大，百粒重只有 20.6 g，却并不影响这个品种（编号 446）成为单株产量最高的品种，在海南的生育期达到 91 d；第Ⅵ类群和第Ⅶ类群的品种单株产量极低，均在 20 g 以下，第Ⅵ类群甚至在 10 g 以下，长得也比较矮；第Ⅳ类群和第Ⅷ类群的单株产量均表现一般，第Ⅷ类群只有 1 个品种，具有分枝能力极强的特点，平均单株有效分枝数达到 10 个。

根据主成分分析的结果，对 3 个主成分（表 3）中 7 项指标的特征向量采用类平均法进行系统聚类分析，把具有密切的相关或偏相关性的因素聚为一类，可选用 1 个因素代表同一类中的其余因素；单为一类的因素则具有相对独立性。结果（图 2）在最大距离为 10 时上述指标可划分为 3 类：（1）单株粒数、单株荚数、生物产量、株高；（2）有效分枝数；（3）百粒重和生育期，说明上述 7 项指标可由这 3 类指标所代表，为指标简化创造了可能，再根据相关性分析结果最终确定单株粒数、有效分枝数和百粒重 3 个因素来衡量大豆品种的产量潜力。

表 5　参试品种资源各类群特征

性状	第Ⅰ类群	第Ⅱ类群	第Ⅲ类群	第Ⅳ类群	第Ⅴ类群	第Ⅵ类群	第Ⅶ类群	第Ⅷ类群	第Ⅸ类群
生育期	85.00	95.00	86.70	88.69	91.00	74.08	76.57	81.00	91.00
株高	19.54	18.39	25.82	52.58	46.31	24.85	40.23	35.80	51.20
分枝数	3.72	3.09	5.20	1.71	3.33	2.40	4.77	10.60	6.80
单株荚数	29.79	27.11	51.44	48.19	72.19	25.85	59.94	79.40	123.00
单株粒数	56.76	48.06	93.94	103.50	154.10	44.52	113.34	139.20	216.60
百粒重	23.17	32.27	33.40	21.57	22.55	15.51	15.36	20.00	20.60
生物产量	22.44	27.08	47.11	37.62	54.45	16.39	32.90	41.80	90.94
单株粒重	13.06	15.31	30.55	22.37	32.19	7.54	16.85	26.14	44.16

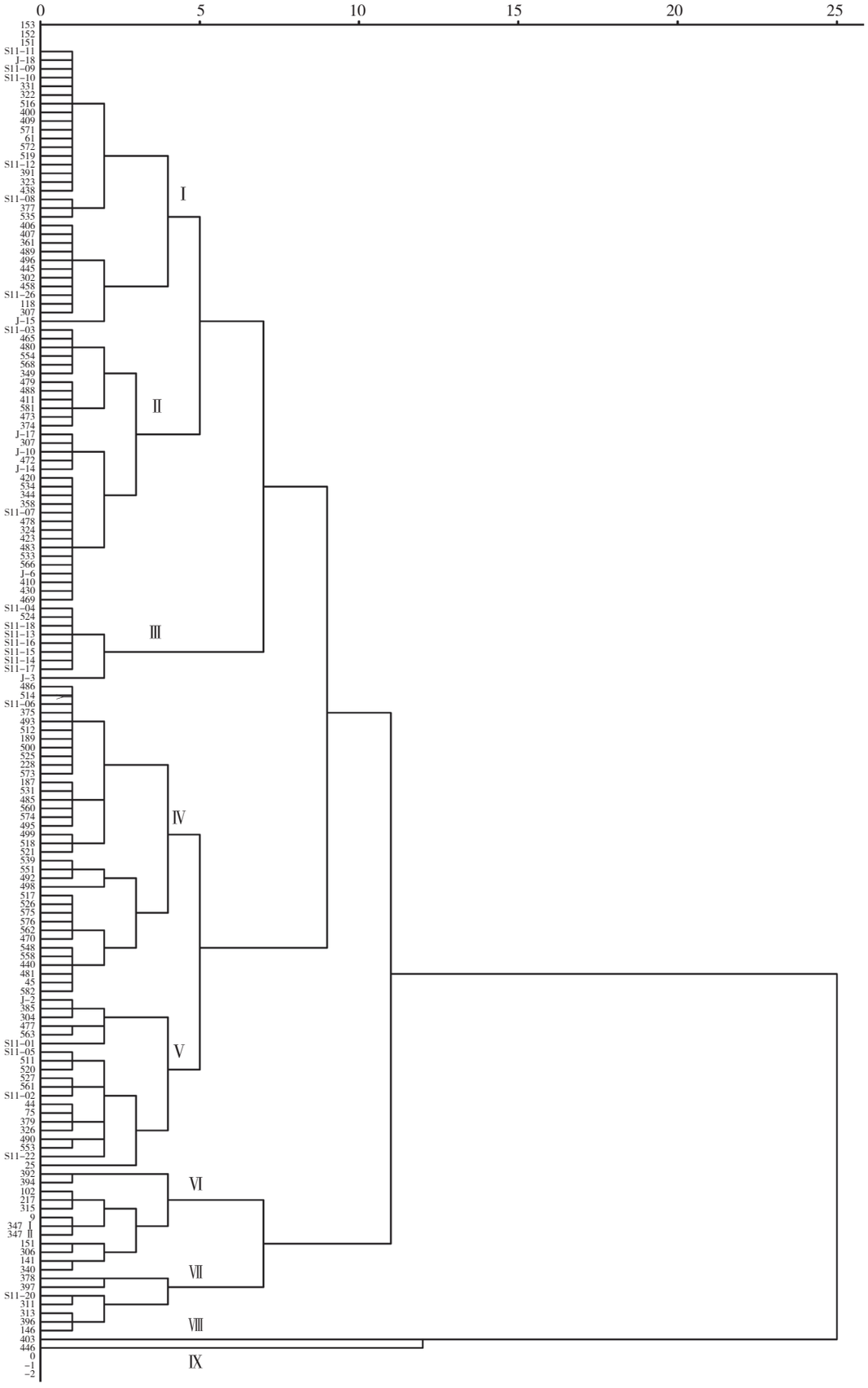


图 1　150 个大豆品种的聚类谱系图

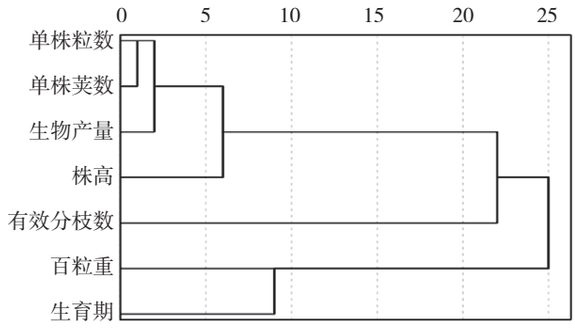


图 2　7 个大豆产量评价因子的聚类谱系图

3　结论与讨论

本试验 150 份大豆材料被分为 9 个类群，类群间差异显著，可用于大豆高产育种，高产品种可在第Ⅲ类群、第Ⅴ类群和第Ⅸ类群中进行选择。表明大豆高产选育过程中，应注重选择单株粒数、有效分枝数和百粒重较高的品系。

海南属于热带季风气候，全年高温，降水分旱、雨两季，日照时间短，有利于大豆全生育期的完成[14-15]。本研究供试的 150 份材料均能正常成熟，可以把融合更多类型的大豆品种进行大豆产量性状分析，测试的 7 个产量相关性状均与大豆单株产量呈极显著正相关，相关系数＞ 0.5 的产量性状有单株粒数（0.950）、单株荚数（0.876）、生物产量（0.866）、株高（0.560），表明在大豆干物质积累和产量形成过程中，需要为大豆植株构建相应的源和库，只有源库相匹配，才能有足够的光合产物积累到足够大的库中，植株矮小、细弱或豆荚、豆粒少都会影响大豆的单株产量。因此，在选择大豆高产品种时，应侧重选择这些性状为重要指标[16]；有效分枝数（0.223）、生育期（0.353）和百粒重（0.044）也与单株产量正相关，说明影响产量的性状较多，不能只注重个别性状的选择，其他性状也会促进或者抑制产量的形成。因此，在选择高产品种时，需要综合各性状间相互影响的因子，找到互不影响的综合指标用于材料的选择。

对 150 份引进的大豆材料进行主成分分析，调查的 7 个产量相关性状可综合得出 3 个主成分：第一主成分称为产量性状因子，此结果与众多学者在大豆产量主成分分析的结果相类似[17-19]；第二主成分以百粒重和生育期为最大，生育期长，百粒重也较大，故称为熟期因子；第三主成分的特征向量以有效分枝数为最大，故为分枝因子。3 个主成分中，第一主成分特征根 λ_i 为 3.429，贡献率达到 48.878%，说明本试验中 7 个调查的大豆单株产量形成因子中，单株粒数、单株荚数、生物产量和株高 4 个农艺性状是造成大豆品种产量差异的重要因子。根据因子载荷量与共同度表，调查的 7 个农艺性状中对不同品种单株产量的影响依次为单株荚数＞单株粒数＞生物产量＞有效分枝数＞百粒重＞生育期＞株高，这与王采洁等[11]的研究结果相似，同时与任海龙等[20]的灰色关联度分析结果类似。反映 3 个主成分信息量较大的指标为单株荚数（0.947）、单株粒数（0.942）和生物产量（0.908），因此在选择育种中应该优先选择这类材料，高产栽培模式创建过程中对这些性状进行重点调控，促进生物量增长，增加单株荚数和单株粒数。

单株产量较高的主要集中在第Ⅲ类群、第Ⅴ类群和第Ⅸ类群，这 3 个类群的特点主要表现为单株结荚数、单株粒数、株高和有效分枝数这 4 个指标的其中几个值较高。其中，第Ⅲ类群的有效分枝数较高，造成单株荚数和单株粒数的增多；第Ⅴ类群的株高较高，造成单株荚数和单株粒数的增多；第Ⅸ类群的有效分枝数和株高均较大，造成单株荚数和单株粒数的增多。以上 3 个类群总体来说生物产量均较大，说明在育种和栽培过程中重点要提高大豆的有效荚数和豆粒数，这两个指标的提高需要通过增大有效分枝数和株高来获得，这些指标的增大往往表现在单株生物产量的提高。另外，聚为一类的 9 个类群材料往往会来自于不同的国家，说明每个国家的大豆材料都具有一定的多样性。

对 7 个产量性状指标的聚类分析结果表明，单株荚数、单株粒数、生物产量和株高聚为一类，相关性极强；百粒重和生育期聚为一类；有效分枝数较为独立。综合主成分分析共同度，选择每一类中共同度最大的指标作为衡量不同大豆品种（系）产量的田间简化测量标准，本

研究在单株粒数和有效分枝数两项指标的基础上[21]，增加百粒重这个指标作为高产大豆的选育指标，与陈桂娟等[22]的研究结果相似。

参考文献：

[1] Jian Y. Situation of soybean production and research in China[J]. Tropical Agriculture Research Series, 1984, 17: 67–72.

[2] 宋书宏，赵亚玲，王萍，等. 大豆产量相关性状与产量关系的研究进展[J]. 杂粮作物，2006, 26(2)：112–113.

[3] Donald C M. The breeding of crop ideotypes[J]. Euphtica, 1968, 17: 385– 403.

[4] Donald C M. Competitive plants, communal plants, and yield inwheat crops//Evans L T, Peacock. Wheat science today and tomorrow[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1981: 223– 247.

[5] 王海杰，任海龙，林力，等. 灰色关联分析在春大豆产量分析中的应用[J]. 广东农业科学，2013, 40(24)：11–14.

[6] Board J, Kang M. Path analyses of the yield formation process for late–planted soybean[J]. Agronomy Journal, 1999, 91: 128– 135.

[7] Ouarrara S, Weaver D B. Effect of growth habit on yield components of late–planted soybean[J]. Crop Science, 1995, 35: 411– 415.

[8] 李莹. 大豆品种产量构成因素的研究[J]. 大豆科学，1984, 3(3)：209–214.

[9] 郭数进，杨凯敏，霍瑾，等. 大豆不同性状与产量的相关性及主成分分析[J]. 山西农业科学，2015, 43(5)：505–508.

[10] 赵银月，耿智德，保丽萍，等. 云南省大豆地方品种资源的主成分分析及聚类分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2007(Z1)：120–122.

[11] 王彩洁，李连华，李伟，等. 大豆品种产量与主要性状的主成分分析[J]. 山东农业科学，2008(1)：5–6.

[12] 张玉革，胡绪彬. 基于主成分和聚类分析的大豆品种生物学性状的比较研究[J]. 大豆科学，2004, 23(3)：178–183.

[13] 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，2005.

[14] 张勇. 黑龙江早熟大豆南繁加代管理技术[J]. 中国种业，2013(4)：83–84.

[15] 吴俊江. 大豆南繁加代应注意的几个问题[J]. 大豆科技，1999(5)：17–17.

[16] 潘相文，李文滨，李艳华，等. 主成分分析在大豆抗旱性评价上的应用[J]. 大豆科学，2006, 25(4)：379–384, 389.

[17] 韩秉进，潘相文，金剑，等. 大豆农艺及产量性状的主成分分析[J]. 大豆科学，2008, 27(1)：67–73.

[18] 战勇，罗赓彤，刘胜利，等. 春大豆性状的多元遗传分析及应用分析[J]. 新疆农业科学，2000(2)：55–59.

[19] 张玉先，张瑞朋. 主成分分析在大豆产量与相关性状中的应用[J]. 河北农业科学，2004, 8(3)：107–109.

[20] 任海龙，徐麟，刘国志，等. 新疆大豆在低纬地区单株产量相关性状的灰色分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版)，2014(2)：23–27.

[21] 申忠宝，王建丽，潘多锋，等. 大豆单株产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 中国农学通报，2012, 28(33)：75–77.

[22] 陈桂娟，吴国华. 夏大豆产量与主要农艺性状相关性分析研究[J]. 农业科技通讯，2014(9)：123–124.

（责任编辑　邹移光）