

基于主成分与聚类分析的菜用大豆品质综合评价

宋江峰^{1,2}, 刘春泉^{1,2,*}, 姜晓青³, 李大婧¹

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.国家蔬菜加工技术研发分中心, 江苏 南京 210014;
3.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要:为提高菜用大豆品种品质性状的选择效率, 优化菜用大豆品质评价体系, 以江苏省主栽的18个菜用大豆品种为试材, 分析其物理特性指标(荚长、荚宽、荚厚、百荚质量、百粒质量、 L^* 、 a^* 、 b^* 、硬度、水分含量)和化学特性指标(VC、叶绿素、粗脂肪、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白、异黄酮含量, 脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活力)。结果表明:品质特性中叶绿素和异黄酮含量、LOX活力、淀粉含量、百粒质量、百荚质量、 a^* 在品种间变异系数较大, 而 L^* 和水分含量变异系数较小, 其余指标变化均不显著。主成分分析表明18项指标反映的菜用大豆品质可用7个主成分来表示(累计贡献率达92.332 9%)。进一步根据聚类分析结果, 筛选出百粒质量以及叶绿素、VC、可溶性糖、粗脂肪、异黄酮含量, 硬度和 a^* 这8个品质指标代替原有的18项指标, 为品质评价指标体系的简化提供了可能。18个菜用大豆品种中, 徐豆17号综合品质最好, 其次是区凡2号和新大粒1号, 苏豆8号综合品质最差。

关键词:菜用大豆; 品质性状; 主成分分析; 聚类分析

Comprehensive Evaluation of Vegetable Soybean Quality by Principal Component Analysis and Cluster Analysis

SONG Jiangfeng^{1,2}, LIU Chunquan^{1,2,*}, JIANG Xiaoqing³, LI Dajing¹

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;
2. National Research and Development Sub-center for Vegetable Processing, Nanjing 210014, China;
3. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In order to improve the selection efficiency of vegetable soybean and optimize the quality evaluation system, eighteen leading cultivars of vegetable soybean in Jiangsu province were tested for their physical indexes (pod length, pod width, pod thick, hundred pods weight, kernel weight, L^* , a^* , b^* , hardness, and moisture content) and chemical indexes (VC, chlorophyll, crude fat, starch, soluble sugar, soluble protein, isoflavone, and LOX activity). The results showed that chlorophyll content, LOX activity, isoflavone content, starch content, kernel weight, hundred-pod weight and a^* had greater coefficients of variation among species, while L^* and moisture content had smaller coefficients of variation, and the remaining parameters were not significant. Principal component analysis showed that eighteen indicators reflecting the quality of vegetable soybean might be represented by seven principal components (cumulative contribution rate of 92.332 9%). According to the clustering results, eight quality parameters including kernel weight, chlorophyll, VC, soluble sugar, crude fat, isoflavone, hardness and a^* selected from seven categories of principal components could substitute the original eighteen indicators so as to simplify the evaluation indicator system. Among eighteen soybean varieties, the comprehensive quality of Xudou No.17 was the best, closely followed by Qufan No. 2 and Xindali No. 1, while Sudou No. 8 was the worst.

Key words: vegetable soybean; quality trait; principal component analysis; cluster analysis

中图分类号: TS255.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 13-0012-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201513003

菜用大豆 (*Glycine max* (L.) Merr), 俗称毛豆, 在日本称为枝豆 (edamame), 在中国已有2 000多年的栽培历史^[1]。菜用大豆通常在鼓粒盛期 (R6) 至初熟期 (R7)

的籽粒饱满而尚未老熟, 荚色、籽粒色翠绿时期采收, 其营养丰富、风味独特, 是人们喜爱的特色豆类蔬菜。菜用大豆还包括休闲用的其他成熟有色豆籽粒^[2]。

收稿日期: 2014-08-13

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31301534); 南通市重大科技创新专项 (XA2013012)

作者简介: 宋江峰 (1981—), 男, 博士, 研究方向为果蔬采后品质与加工过程控制。E-mail: songjiangfeng102@163.com

*通信作者: 刘春泉 (1959—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为农产品精深加工及产业化开发。E-mail: liuchunquan2009@163.com

根据目前国际市场要求,菜用大豆品质性状主要是指外观品质、食用品质、营养品质和保健品质,其中外观品质和营养品质尤为重要。菜用大豆外观与营养品质是基因型与环境因素共同作用的结果,其评价指标包括外在和内在品质指标,这些指标较多,且存在着一定的相关性和相对独立性。而前人研究侧重于选择少数品质指标分析菜用大豆的品质特性^[3-5],使评价结果差别较大。

主成分分析法(principal component analysis, PCA)可在很少损失原有信息的前提下,从众多指标因子间的相互关系入手,利用降维思想,将其转化为少数几个互不相关的综合因素^[6]。利用PCA可从复杂现象中解析出主要影响因素,减少评价指标,简化评价过程,适用于对多指标的综合分析,目前已被广泛应用于果蔬品质评价因子的筛选和品质的综合评价。徐臣善等^[7]分析不同设施桃品种果实主要经济性状的差异,采用主成分分析的方法对不同设施桃品种果实综合品质作了客观、有效的评价。田瑞等^[8]采用主成分分析和聚类分析法对26个梨选育品种(系)的主要品质指标进行分析,并通过系统聚类分析把多个品质指标分成了5类,最终将品质指标简化为5个,使梨的品质评价工作得到了简化。本实验通过对江苏省主栽的18个菜用大豆品种的品质指标进行测定,采用主成分分析法、主成分聚类法对测得的品质指标进行分析,以寻求菜用大豆品质评价的主要因素,为菜用大豆品质的科学评价及品种的筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的18个菜用大豆品种(表1)均由江苏省农业科学院蔬菜研究所提供,于2012年种植于江苏省农业科学院六合动物科学基地试验田,在灌溉、施肥与病虫害防治等方面,保持所选材料基本一致的生长条件;均在R6期、豆荚色泽翠绿、籽粒饱满时采收^[9],以确保菜用大豆品质性状的差异来源于品种间差异性。

表1 18种菜用大豆的基本信息
Table 1 Basic information about eighteen cultivars of vegetable soybean (*Glycine max*)

品种	品种来源	品种	品种来源
苏豆8号	苏85-53-1×宁镇3号	富丰888	韩国引进
苏豆3号	苏豆1号×浦东大黄豆	苏豆6号	苏系5号×丹豆1号
通豆6号	启东绿皮大豆亲本选育	通豆5号	海门粗白豆×海系13
苏豆4号	中豆2号×苏系5号	苏菜201	不详
宁豆4号	79165-14品系中经系统选育	苏菜254	不详
苏奎1号	台湾292×日本晴3号	区凡2号	本地原有农家品种
苏豆5号	春大豆品种AGS292×日本2808	徐豆17号	徐豆9号×徐豆10号
日本晴3号	从混杂的“鹤之友3号”中,提纯复壮所得	淮豆8号	淮89-15×荷84-5
韩国45号	韩国引进	新大粒1号	日本丹波豆变异群体中选育

1.2 仪器与设备

HJJH游标卡尺 西南精密量具有限公司; QTS型质构仪 英国CNS Farmell公司; WSC-S色差计 上海精密科学仪器有限公司; TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; BS-224-S万分之一天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; DHG-907385-III电热恒温鼓风干燥箱 上海新苗医疗器械制造有限公司; JA-3003千分之一天平 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; YLA-2000粗脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; HH-8恒温水浴锅 金坛市环保仪器厂; TG16-WS台式高速离心机 长沙湘仪离心机仪器有限公司; 电子计重秤 江苏凯丰集团有限公司。

1.3 品质指标测定方法

尺寸、质量:采用游标卡尺测定菜用大豆的荚长、荚宽、荚厚,采用电子计重秤测定菜用大豆的百荚质量、百粒质量。

色泽:采用WSC-S色差计中的 L^* 、 a^* 、 b^* 模式测定菜用大豆籽粒色泽。

硬度:采用P/5N(直径5 mm)做穿刺实验。将菜用大豆籽粒从中间分成两瓣,将其中一瓣平整的一面接触测试台,测试方式:Compression,触发力5 g,测试速率1 mm/s,下压距离2 mm^[10]。菜用大豆籽粒的硬度即最大峰值力。

水分含量:根据GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》^[11],采用恒质量法测定。

粗脂肪含量:采用索氏提取法测定。

淀粉含量:采用双波长分光光度法测定^[12]。

可溶性糖含量:采用蒽酮比色法测定。

可溶性蛋白含量:采用考马斯亮蓝G-250染色法测定。

VC含量:按照2,6-二氯酚靛酚法测定。

叶绿素含量:采用分光光度法测定。

异黄酮含量:采用三波长比色检测法测定^[13]。

脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活力:采用分光光度计法测定^[14]。

1.4 数据统计分析

不同品种菜用大豆的主要品质性状间采用Duncan's新复极差法进行差异显著性检验。应用DPS 7.05数据处理软件对菜用大豆品质指标进行主成分分析,依据方差累计贡献率≥90%的标准提取主成分,以各主成分对应的方差相对贡献率作为权重,对主成分得分和相应的权重进行线性加权求和构建菜用大豆品质的评价函数^[7,15]。主成分聚类分析采用系统聚类法。

2 结果与分析

2.1 不同品种菜用大豆品质性状分析

18个菜用大豆品种的品质特性见表2。外观品质

指标中,各品种荚长范围为4.08~7.65 cm,荚宽为0.98~1.62 cm,荚厚0.63~1.17 cm。其中,淮豆8号的荚长、荚宽和荚厚均显著低于其他品种($P<0.05$),属小荚小粒品种;苏奎1号、日本晴3号、韩国45号、苏豆6号、区凡2号、徐豆17号、新大粒1号的荚厚均大于1 cm,同时具有较高的百荚质量和百粒质量。宁豆4号、淮豆8号的百荚质量、百粒质量均显著低于其他品种($P<0.05$),其中淮豆8号百粒质量仅为22.20 g;各品种间籽粒 L^* 值的差异不大。反映红绿色泽的参数 a^* 值的变化范围为-14.32~-4.10,品种间差异显著($P<0.05$),其中苏豆8号、苏豆5号的 a^* 值分别为

-14.32、-14.26,显著低于其他品种($P<0.05$),表明二者籽粒色泽翠绿。反映黄蓝色泽参数 b^* 值的范围为35.11~49.39,品种间差异性不大;各品种籽粒的硬度范围为1 384.67~3 343.33 g,徐豆17号的硬度值最大,其次是苏豆3号,且均显著高于其他品种($P<0.05$),表明其质地坚硬。

各品种籽粒水分含量范围为61.10%~71.93%,其中通豆6号、韩国45号、富丰888和新大粒1号水分含量相近,均高于69%,而苏豆3号、苏豆4号的水分含量较低,各品种间水分含量差异显著($P<0.05$);籽粒中粗脂肪含量为4.47%~9.25%,其中苏豆3号、宁豆4号

表2 不同菜用大豆品种外观、理化与营养品质性状 ($\bar{x} \pm s, n=10$)
Table 2 Appearance, physicochemical and nutritional quality traits of different varieties of vegetable soybean ($\bar{x} \pm s, n=10$)

品种	荚长/cm	荚宽/cm	荚厚/cm	百荚质量/g	百粒质量/g	L^*	a^*	b^*	水分含量/%
苏豆8号	5.06±0.20 ^f	1.11±0.36 ^g	0.82±0.20 ^{hg}	173.16±2.43 ⁱ	38.92±0.30 ^g	64.20±0.76 ^f	-14.32±0.22 ⁱ	39.06±0.11 ^{fg}	63.19±1.15 ^{fg}
苏豆3号	6.30±0.33 ^d	1.24±0.02 ^{efg}	0.88±0.03 ^{efg}	284.16±8.31 ^{gh}	60.12±1.10 ^f	69.31±0.79 ^a	-6.23±0.16 ^{bc}	40.00±0.49 ^f	61.35±0.84 ^g
通豆6号	7.33±0.08 ^{abc}	1.45±0.01 ^{bcd}	0.94±0.01 ^{cd}	289.60±4.25 ^{gh}	64.40±0.77 ^e	65.30±1.03 ^{cd}	-9.08±0.20 ^{de}	41.93±0.34 ^e	71.93±0.62 ^a
苏豆4号	6.54±0.34 ^{cd}	1.22±0.04 ^{efg}	0.86±0.02 ^{fg}	279.96±1.33 ^h	66.12±0.28 ^e	67.13±0.27 ^{abcd}	-6.82±0.20 ^{cd}	42.73±0.20 ^{de}	61.10±1.01 ^g
宁豆4号	5.31±0.20 ^{ef}	1.15±0.05 ^{fg}	0.75±0.01 ^h	176.44±1.44 ⁱ	37.64±0.17 ^g	62.04±0.64 ^g	-8.52±0.26 ^{fg}	42.84±0.32 ^{de}	67.55±0.77 ^{bcd}
苏奎1号	7.65±0.36 ^a	1.42±0.05 ^{bcd}	1.06±0.04 ^{bc}	456.60±17.71 ^a	102.78±0.70 ^a	67.67±1.14 ^{abc}	-9.45±0.53 ^h	36.61±0.24 ^h	68.66±0.72 ^{bc}
苏豆5号	6.43±0.04 ^{cd}	1.27±0.13 ^{ef}	0.94±0.03 ^{cd}	326.93±12.24 ^{cd}	77.74±1.47 ^d	64.44±0.17 ^{ef}	-14.26±0.12 ^j	38.27±0.17 ^g	67.13±0.27 ^{de}
日本晴3号	6.75±0.14 ^{bcd}	1.34±0.06 ^{cde}	1.01±0.03 ^{cd}	306.67±9.43 ^{efg}	75.60±0.35 ^d	64.63±0.80 ^{ef}	-5.88±0.37 ^h	35.11±0.50 ⁱ	67.51±0.44 ^{cd}
韩国45号	7.47±0.55 ^{ab}	1.62±0.08 ^a	1.17±0.03 ^a	296.60±7.10 ^{gh}	77.07±2.33 ^d	68.00±0.15 ^{ab}	-4.10±0.10 ^a	35.35±0.73 ⁱ	69.83±0.19 ^{ab}
富丰888	6.32±0.57 ^d	1.35±0.06 ^{cde}	0.99±0.04 ^{cd}	307.07±9.00 ^{efg}	75.73±1.28 ^d	65.89±0.45 ^{bcd}	-4.38±0.05 ^a	35.43±0.32 ^{hi}	69.57±0.18 ^{bc}
苏豆6号	5.84±0.30 ^{def}	1.33±0.04 ^{de}	1.00±0.02 ^{cd}	315.70±8.35 ^{def}	81.77±0.87 ^c	64.84±0.63 ^{def}	-7.68±0.30 ^c	46.57±0.42 ^c	63.23±0.61 ^{fg}
通豆5号	5.31±0.11 ^{ef}	1.12±0.03 ^g	0.77±0.03 ^h	209.50±2.55 ⁱ	59.33±0.89 ^f	65.53±0.59 ^{cd}	-8.03±0.33 ^{ef}	47.73±0.52 ^{bc}	65.55±0.49 ^{def}
苏菜201	6.46±0.11 ^{cd}	1.33±0.01 ^{de}	0.96±0.02 ^{cd}	319.80±8.68 ^{def}	83.67±1.41 ^c	64.78±0.66 ^{def}	-9.55±0.14 ^h	49.39±0.32 ^a	67.23±1.71 ^{bcd}
苏菜254	6.47±0.24 ^{cd}	1.55±0.05 ^{ab}	0.96±0.02 ^{de}	378.07±7.30 ^e	101.20±1.37 ^a	66.57±1.03 ^{bcd}	-7.92±0.16 ^{ef}	46.93±0.38 ^c	62.19±0.96 ^g
区凡2号	6.04±0.27 ^{de}	1.48±0.07 ^{abc}	1.02±0.04 ^{bcd}	387.76±5.17 ^{bc}	88.04±0.40 ^b	67.12±0.56 ^{abcd}	-8.11±0.10 ^{ef}	46.78±0.57 ^c	65.20±0.31 ^{def}
徐豆17号	6.70±0.26 ^{bcd}	1.54±0.03 ^{ab}	1.02±0.02 ^{bcd}	401.47±9.26 ^b	103.60±1.47 ^a	66.70±0.77 ^{bcd}	-8.07±0.17 ^{ef}	46.95±0.14 ^c	64.82±0.88 ^{ef}
淮豆8号	4.08±0.18 ^g	0.98±0.01 ^h	0.63±0.02 ⁱ	92.37±2.90 ^k	22.20±0.16 ^h	60.08±0.53 ^g	-10.56±0.13 ⁱ	48.60±0.20 ^{ab}	68.93±1.31 ^{bc}
新大粒1号	5.85±0.39 ^{def}	1.47±0.04 ^{bcd}	1.09±0.04 ^b	334.10±10.17 ^d	102.93±3.06 ^a	66.73±0.34 ^{bcd}	-6.93±0.21 ^d	43.34±0.64 ^d	71.67±0.53 ^a
变异系数/%	14.35	13.04	14.17	30.00	32.18	3.32	-32.99	11.63	5.05
品种	VC含量/(mg/100 g)	叶绿素含量/(mg/100 g)	粗脂肪含量/%	淀粉含量/%	可溶性糖含量/%	可溶性蛋白含量/%	异黄酮含量/(μg/g)	硬度/g	LOX活力/(OD _{24nm} /min·g)
苏豆8号	17.12±0.23 ^f	6.66±0.33 ^{efg}	8.21±0.08 ^c	2.58±0.15 ⁱ	1.98±0.08 ^{ef}	5.43±0.25 ⁱ	140.62±0.48 ^c	2 143.33±17.70 ^f	742.52±8.62 ^j
苏豆3号	18.83±0.02 ^{ef}	6.42±0.06 ^{efg}	9.25±0.06 ^a	4.18±0.01 ^h	1.93±0.01 ^{ef}	6.33±0.01 ^h	151.83±1.48 ^b	3 252.00±46.65 ^b	712.18±2.99 ^j
通豆6号	17.46±1.11 ^{ef}	8.40±0.46 ^{def}	5.74±0.08 ⁱ	4.61±0.10 ^g	2.79±0.03 ^b	9.80±0.06 ^a	39.73±0.69 ^j	1 571.33±13.37 ^j	389.42±5.28 ^k
苏豆4号	16.56±0.64 ^{fg}	6.97±0.01 ^{efg}	8.42±0.15 ^c	4.27±0.19 ^{gh}	2.27±0.13 ^{cde}	7.11±0.14 ^{ef}	136.21±1.71 ^d	2 771.00±1.00 ^f	772.69±11.07 ^j
宁豆4号	20.27±0.44 ^{de}	12.35±0.93 ^d	8.79±0.07 ^b	5.44±0.20 ^{ef}	1.06±0.01 ⁱ	6.43±0.05 ^{hg}	70.35±0.98 ⁱ	1 384.67±9.56 ^k	735.53±10.96 ^j
苏奎1号	25.05±0.25 ^{bc}	3.63±0.06 ^g	6.86±0.04 ^{de}	3.26±0.10 ^k	1.88±0.04 ^{fg}	3.53±0.03 ^j	102.87±1.55 ^g	1 797.33±6.01 ^h	1 448.37±7.79 ^g
苏豆5号	29.53±0.16 ^a	4.08±0.14 ^g	6.45±0.04 ^{fg}	3.29±0.15 ^k	1.44±0.05 ^h	3.32±0.07 ^j	66.64±1.05 ^j	2 194.00±3.61 ^f	1 164.57±30.51 ^{hi}
日本晴3号	26.87±0.60 ^{ab}	4.71±0.06 ^{fg}	6.82±0.08 ^{de}	3.99±0.06 ^{hi}	1.64±0.08 ^{gh}	5.28±0.16 ⁱ	45.38±0.57 ^k	2 388.67±6.69 ^e	1 126.28±24.23 ⁱ
韩国45号	26.82±0.12 ^{ab}	4.04±0.01 ^g	5.48±0.11 ⁱ	3.63±0.02 ^{ji}	1.91±0.08 ^{fg}	7.33±0.20 ^{de}	103.86±0.75 ^g	2 352.67±4.63 ^e	1 393.41±12.94 ^g
富丰888	25.24±0.20 ^{bc}	3.68±0.15 ^g	5.52±0.04 ⁱ	3.00±0.04 ^k	2.33±0.05 ^{cd}	7.81±0.32 ^{cd}	100.93±0.48 ^{gh}	2 398.33±1.45 ^e	1 253.16±46.75 ^h
苏豆6号	14.10±0.45 ^e	22.65±1.10 ^{ab}	6.93±0.03 ^d	5.73±0.15 ^c	2.58±0.10 ^{bc}	7.65±0.15 ^{cd}	182.97±1.73 ^a	2 134.67±18.89 ^f	2 336.54±45.20 ^c
通豆5号	14.34±3.05 ^{de}	9.26±0.41 ^{de}	6.22±0.12 ^{gh}	6.16±0.07 ^d	2.18±0.01 ^{def}	6.70±0.12 ^{gh}	118.79±0.84 ^f	2 499.33±7.26 ^d	1 899.22±18.85 ^d
苏菜201	24.11±0.23 ^{bc}	16.74±0.98 ^c	6.45±0.06 ^{fg}	4.30±0.07 ^{gh}	2.36±0.20 ^{cd}	6.86±0.20 ^{efg}	126.88±1.48 ^c	2 372.00±25.00 ^e	1 773.86±35.66 ^c
苏菜254	10.78±0.31 ^h	17.25±0.03 ^c	6.60±0.18 ^{ef}	5.07±0.04 ^f	2.58±0.17 ^{bc}	6.88±0.11 ^{efg}	135.62±0.87 ^d	2 562.50±53.50 ^d	2 756.82±57.37 ^b
区凡2号	22.99±0.15 ^{cd}	11.13±0.04 ^d	6.16±0.08 ^{gh}	8.63±0.19 ^a	2.80±0.02 ^b	8.66±0.07 ^b	142.15±0.45 ^c	2 374.50±22.50 ^e	2 895.96±16.36 ^a
徐豆17号	25.58±0.70 ^{bc}	19.20±3.73 ^{bc}	6.09±0.05 ^h	5.29±0.06 ^f	3.21±0.03 ^a	8.11±0.07 ^c	99.01±0.84 ^h	3 343.33±26.03 ^a	2 290.27±51.62 ^c
淮豆8号	22.53±0.53 ^{cd}	23.59±0.41 ^a	5.63±0.05 ⁱ	7.18±0.06 ^c	2.12±0.03 ^{def}	5.35±0.13 ⁱ	121.55±0.39 ^f	1 671.33±5.21 ⁱ	1 623.18±27.61 ^f
新大粒1号	28.98±0.44 ^a	20.69±0.83 ^{abc}	4.47±0.10 ^j	7.88±0.16 ^b	2.42±0.15 ^{cd}	3.76±0.08 ^j	41.32±0.56 ⁱ	2 043.67±71.07 ^g	1 829.69±20.47 ^{de}
变异系数/%	25.72	62.74	18.94	34.47	23.76	27.31	38.12	22.45	48.46

注:变异系数/%=标准差/平均值×100;同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

粗脂肪含量显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 分别达9.25%、8.79%, 新大粒1号籽粒中脂肪含量仅为4.47%; 区凡2号籽粒淀粉含量最高, 新大粒1号、苏奎1号、苏豆5号、日本晴3号和韩国45号品种间淀粉含量相近; 各品种籽粒可溶性糖含量为1.06%~3.21%, 其中徐豆17号可溶性糖含量最高, 其次为区凡2号、通豆6号, 而宁豆4号最低, 各品种间可溶性糖含量差异显著 ($P < 0.05$), 可溶性糖含量在一定程度上反映了籽粒的甜度; 通豆6号可溶性蛋白含量显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 为9.80%, 约是苏豆5号的3倍。通豆5号、苏菜201、苏菜254、苏豆4号和苏豆3号品种间可溶性蛋白含量相近; 各品种中, 苏奎1号、苏豆5号、日本晴3号、韩国45号、富丰888、徐豆17号和新大粒1号籽粒VC含量均高于25 mg/100 g, 苏豆5号和新大粒1号中VC含量最高。品种间VC含量差异显著 ($P < 0.05$), 这与前人研究结果类似^[16-17]; 叶绿素含量为3.63~23.59 mg/100 g, 其中苏豆6号、淮豆8号、新大粒1号中叶绿素含量显著高于其他品种 ($P < 0.05$), 苏菜201、苏菜254和徐豆17号品种间叶绿素含量无显著差异; 18个品种籽粒中均检测到LOX活力, 表明所有品种均有不同程度的豆腥味^[18], 其中区凡2号LOX活力最高, 其次是苏菜254。通豆6号的LOX活力最低, 仅为389.42 OD_{234 nm}/(min·g); 各菜用大豆品种中异黄酮含量变化范围为39.73~182.97 μg/g, 各品种间差异显著 ($P < 0.05$)。

各品种间, 叶绿素含量的变异系数最大, LOX活力, 异黄酮、淀粉含量以及 a^* 、百粒质量和百荚质量变异系数也较大, 而 L^* 和水分含量变异系数较小, 表明菜用大豆的风味、籽粒大小及内含物存在较大的品种间差异, 而籽粒 L^* 和水分含量的品种差异性相对较小。

2.2 不同品种菜用大豆品质性状相关性分析

由表3可知, 各品质性状之间存在正相关也存在负相关, 并且多数指标间相关系数的绝对值 >0.5 , 表明各品质性状之间有较强的相关性。百荚质量、百粒质量、荚长、荚宽、荚厚、 L^* 等外观性状间相关性达到较高水平。这与韩立德等^[19]的研究结果一致。百粒质量与LOX活力存在一定程度的弱相关。 b^* 与叶绿素、淀粉、可溶性糖含量及LOX活力间成正相关, 水分含量与粗脂肪、异黄酮含量及硬度间有较强的负相关性。

2.3 不同品种菜用大豆品质性状的主成分分析

对不同品种菜用大豆的主要品质性状进行主成分分析, 结果显示前7个主成分的累计贡献率为92.332 9% (表4), 表明前7个主成分已基本包含了菜用大豆品质性状的全部信息, 可用前7个主成分对其综合品质进行评价。前7个主成分中, 第1主成分的贡献率为32.614 6%, 决定第1主成分大小的主要是荚长、荚宽、荚厚、百粒质量、百荚质量和 L^* , 可将第1主成分看作是菜用大豆形态大小的综合指标, 说明尺寸与质量在菜用大豆品质评价中具有最为重要的作用; 第2主成分贡献率为23.113 2%, 决定第2主成分的主要是 b^* , 叶绿素、可溶性糖和淀粉含量, 其影响也较大, 第2主成分主要反映籽粒色泽, 也在一定程度上反映了籽粒内在品质。第3主成分贡献率为17.169 6%, 决定第3主成分的主要是水分含量, 异黄酮含量和硬度也有一定影响, 第3主成分主要综合反映籽粒的食味与口感品质; 第4主成分贡献率为8.011 5%, 决定第4主成分的主要是可溶性蛋白含量; 第5主成分贡献率为5.038 1%, 决定第5主成分的主要是 a^* , 硬度、VC和淀粉含量的影响也较大; 第6主成分贡献率为3.564 5%, 决定第6主成分的主要是硬度, 其次是

表3 各品质指标间相关性分析
Table 3 Correlation analysis among various quality indexes

相关系数	荚长	荚宽	荚厚	百荚质量	百粒质量	L^*	a^*	b^*	水分含量	VC含量	叶绿素含量	粗脂肪含量	淀粉含量	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量	异黄酮含量	硬度
荚宽	0.764 2																
荚厚	0.772 8	0.899 0															
百荚质量	0.767 5	0.809 0	0.811 0														
百粒质量	0.664 5	0.834 9	0.835 9	0.946 5													
L^*	0.683 8	0.642 8	0.672 2	0.696 9	0.647 7												
a^*	0.352 9	0.441 7	0.423 6	0.233 5	0.290 0	0.474 3											
b^*	-0.474 4	-0.157 9	-0.379 9	-0.136 6	-0.022 0	-0.276 9	-0.178 9										
水分含量	0.167 2	0.203 7	0.246 0	-0.020 8	0.041 1	-0.241 8	0.096 6	-0.263 9									
VC含量	0.244 9	0.239 0	0.431 3	0.243 9	0.253 8	0.019 7	0.039 9	-0.423 5	0.603 3								
叶绿素含量	-0.488 4	-0.038 3	-0.187 3	-0.125 5	0.056 2	-0.376 0	-0.067 8	0.808 0	-0.044 0	-0.191 7							
粗脂肪含量	-0.114 1	-0.444 0	-0.416 8	-0.225 3	-0.399 0	0.041 2	-0.165 0	-0.102 2	-0.697 1	-0.431 1	-0.275 3						
淀粉含量	-0.441 8	0.015 8	-0.125 6	-0.064 1	0.054 0	-0.153 8	0.120 7	0.678 4	0.089 0	-0.053 7	0.669 4	-0.351 8					
可溶性糖含量	0.146 5	0.467 6	0.288 2	0.396 7	0.464 2	0.314 1	0.184 6	0.505 4	-0.095 3	-0.218 1	0.455 0	-0.438 3	0.374 3				
可溶性蛋白含量	0.156 0	0.286 7	0.053 4	0.030 3	-0.015 5	0.147 6	0.394 7	0.297 4	-0.116 2	-0.418 0	0.097 6	-0.039 2	0.152 4	0.599 3			
异黄酮含量	-0.264 4	-0.187 5	-0.180 2	-0.044 4	-0.088 7	0.163 0	-0.014 9	0.381 0	-0.744 6	-0.563 2	0.218 3	0.384 7	0.043 1	0.252 7	0.240 2		
硬度	0.218 6	0.252 8	0.231 7	0.347 8	0.364 0	0.621 8	0.320 1	0.069 1	-0.608 2	-0.054 8	-0.067 6	0.176 4	-0.110 4	0.383 7	0.199 7	0.377 1	
LOX活力	-0.091 4	0.402 6	0.286 1	0.432 3	0.550 8	0.126 0	0.117 6	0.575 1	-0.182 7	-0.085 0	0.563 3	-0.431 7	0.583 6	0.549 1	0.137 7	0.378 5	0.249 1

注: 表中加粗的数据表示相关系数的绝对值 >0.5 。

可溶性糖含量；第7主成分贡献率为2.821 5%，决定第7主成分的主要是异黄酮含量，粗脂肪、淀粉含量和LOX活力的影响也较大。

表4 7个主成分的特征向量、特征值、方差贡献率及累计贡献率
Table 4 Eigenvectors, eigenvalues, variance contribution rates and cumulative contribution rates of seven principal components

品质指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	主成分6	主成分7
荚长	0.339 1	-0.180 7	-0.108 2	0.103 3	-0.263 4	0.067 2	0.159 7
荚宽	0.386 1	0.029 1	0.061 9	0.078 0	-0.130 9	0.126 2	0.014 8
荚厚	0.385 2	-0.073 2	0.047 9	-0.052 1	-0.002 3	0.119 7	-0.199 3
百荚质量	0.371 8	0.023 8	-0.041 3	-0.234 8	-0.193 3	0.111 1	0.146 3
百粒质量	0.375 4	0.076 4	0.043 3	-0.252 7	-0.090 9	0.083 3	0.11 5
L^*	0.321 0	-0.003 3	-0.269 7	-0.002 3	0.163 5	0.032 0	0.135 5
a^*	0.205 1	0.030 7	-0.050 2	0.440 7	0.607 5	0.328 0	-0.044 7
b^*	-0.099 1	0.431 3	0.107 5	-0.045 9	-0.117 1	-0.046 6	0.292 6
水分含量	0.059 7	-0.215 4	0.465 6	0.223 2	-0.034 4	-0.012 8	-0.087 1
VC含量	0.132 2	-0.249 7	0.285 0	-0.218 9	0.344 9	-0.365 0	-0.024 1
叶绿素含量	-0.068 6	0.373 5	0.246 1	-0.099 9	0.014 2	0.054 7	0.127 8
粗脂肪含量	-0.170 6	-0.0590	-0.44 6	-0.082 6	-0.019 3	0.260 2	0.389 6
淀粉含量	-0.025 4	0.325 1	0.288 4	0.012 6	0.304 8	0.256 5	0.344 5
可溶性糖含量	0.191 3	0.345 2	0.046 4	0.194 4	-0.215 4	-0.432 9	-0.008 6
可溶性蛋白含量	0.077 6	0.218 7	-0.102 9	0.649 9	-0.191 8	-0.118 7	-0.022 5
异黄酮含量	-0.057 8	0.291 4	-0.333 9	-0.113 6	0.018 6	0.116 3	-0.613 8
硬度	0.169 2	0.150 5	-0.332 2	-0.097 8	0.395 8	-0.566 8	0.136 9
LOX活力	0.152 7	0.368 5	0.128 6	-0.260 3	0.066 5	0.170 3	-0.320 8
特征值	5.870 6	4.160 4	3.090 5	1.442 1	0.906 9	0.641 6	0.507 9
方差贡献率/%	32.614 6	23.113 2	17.169 6	8.011 5	5.038 1	3.564 5	2.821 5
累计贡献率/%	32.614 6	55.727 7	72.897 3	80.908 8	85.946 9	89.511 4	92.332 9

注：表中加粗的数据表示贡献率较大的品质性状。

2.4 不同品种菜用大豆品质性状的综合评价

表5 不同菜用大豆品种的主成分得分

品种	各主成分得分							总得分
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	
苏豆8号	-3.698 6	-1.082 9	-1.883 3	-0.796 1	-1.132 7	-0.798 5	-0.803 6	-2.114 0
苏豆3号	-0.319 6	-0.306 1	-3.936 1	0.007 4	1.477 7	-0.159 4	0.721 4	-0.824 3
通豆6号	0.597 4	-1.097 2	1.379 4	3.059 2	-2.261 1	-0.359 8	0.874 6	0.347 8
苏豆4号	-0.598 5	0.225 5	-2.990 0	0.525 3	0.310 6	-0.123 0	0.704 1	-0.631 7
宁豆4号	-4.168 0	-1.515 4	0.555 7	0.656 8	0.153 4	1.581 0	0.992 7	-1.591 5
苏奎1号	2.425 1	-2.605 7	-0.125 5	-1.741 4	-0.994 5	1.031 0	-0.205 2	0.009 2
苏豆5号	-0.530 4	-3.007 1	0.632 9	-2.469 7	-0.702 9	-0.810 7	0.085 2	-1.103 8
日本晴3号	0.705 2	-2.780 2	0.265 3	0.026 5	0.983 6	0.133 6	0.324 3	-0.326 5
韩国45号	3.122 7	-2.125 0	0.097 3	1.356 0	0.826 1	0.359 6	-1.216 7	0.728 6
富丰888	1.332 1	-1.612 8	0.063 2	1.546 7	0.714 4	-0.627 3	-1.292 7	0.188 0
苏豆6号	-0.085 8	3.147 5	-0.559 9	-0.141 2	-0.554 6	1.087 2	-0.926 3	0.624 6
通豆5号	-2.027 0	1.586 7	-0.269 7	0.413 3	0.593 3	-0.101 3	0.002 1	-0.304 6
苏菜201	0.264 9	1.085 7	0.507 8	-0.508 2	-0.636 5	-0.540 6	-0.046 5	0.358 7
苏菜254	1.646 6	2.899 2	-1.051 5	-0.610 5	-0.950 7	0.95 1	-0.020 3	1.043 1
区凡2号	1.938 8	2.948 7	0.547 0	-0.049 0	0.245 9	0.397 9	-0.105 8	1.546 0
徐豆17号	3.011 5	2.453 6	0.061 4	-0.311 4	0.026 0	-1.761 9	0.741 1	1.618 4
淮豆8号	-5.639 1	1.625 3	2.905 8	0.022 3	0.683 9	-0.513 9	-0.616 9	-1.044 1
新大粒1号	2.022 7	0.160 3	3.800 1	-0.985 9	1.218 0	0.255 3	0.788 6	1.476 1
方差相对贡献率/%	35.322 5	25.032 5	18.595 1	8.676 9	5.456 7	3.860 4	3.055 9	

注：Z1~Z7表示各品种品质性状对应的各个主成分的得分值。

各主成分得分见表5，以各主成分对应的方差相对贡献率作为权重，由菜用大豆品质的评价函数计算出各

品种的综合评价分值，总得分越高表示该品种综合品质越好。由表5可知，18个菜用大豆品种中，徐豆17号综合品质最好，其次是区凡2号和新大粒1号，苏豆8号综合品质最差。各品种菜用大豆综合品质从高至低的排序是：徐豆17号、区凡2号、新大粒1号、苏菜254、韩国45号、苏豆6号、苏菜201、通豆6号、富丰888、苏奎1号、通豆5号、日本晴3号、苏豆4号、苏豆3号、淮豆8号、苏豆5号、宁豆4号、苏豆8号。

2.5 品质指标的主成分聚类

根据主成分分析的结果，对7个主成分（表4）中18项品质指标的特征向量采用类平均法进行系统聚类分析，其中同聚为一类的菜用大豆品质因素之间具有密切的相关或偏相关性，可选用1个因素代表同一类中的其余因素；单为一类的品质因素则具有相对独立性。结果表明：在最大距离为0.8时上述指标可划分为7类（图1）：1）荚长、荚宽、荚厚、百荚质量、百粒质量、 L^* 、淀粉含量、 b^* 和叶绿素含量；2）水分含量和VC含量；3）可溶性蛋白含量和可溶性糖含量；4）异黄酮含量和LOX活力；5）粗脂肪含量；6）硬度；7） a^* 。因此，上述18项品质指标可由这7个类别中的指标所代表，为指标简化创造了可能，再根据相关性分析研究结果最终确定百粒质量、叶绿素、VC、可溶性糖、粗脂肪、异黄酮含量以及硬度、 a^* 8个因子来衡量菜用大豆品质的优劣。

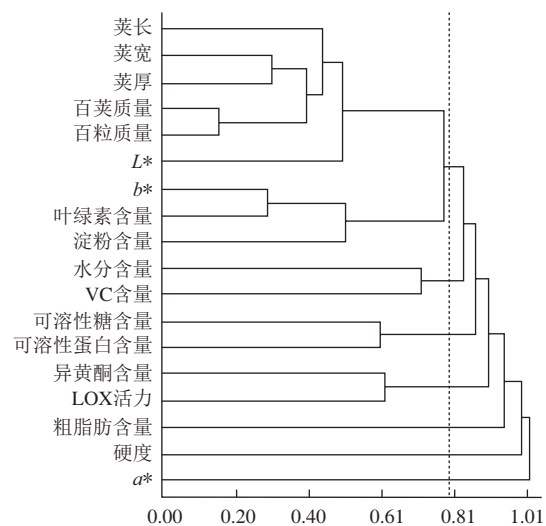


图1 18个品质评价因子的聚类谱系图

Fig.1 Cluster dendrogram of eighteen indicators of quality evaluation

3 结论与讨论

综合品质评价的基础是评价因子的选择，它决定了品质评价的效果，目前国内外并没有对菜用大豆品质综合指标进行确定。因此，在前期工作基础上，本实验进一步对常见的18个菜用大豆品质指标进行筛选，采用主

成分和聚类方法,最终确定百粒质量、叶绿素、VC、可溶性糖、粗脂肪、异黄酮含量以及硬度、 a^* 8 个因子来衡量菜用大豆品质的优劣,这些指标从外观、质地和营养 3 个层面综合反映了菜用大豆品质,其中百粒质量是衡量菜用大豆籽粒大小的决定因子,而鲜籽粒的大小对菜用大豆商品品质起主导作用。色泽是反映菜用大豆籽粒颜色的一项商品品质因子,籽粒中叶绿素含量的高低直接影响菜用大豆色泽品质,色泽翠绿,则其商品品质好^[20]。硬度表示使菜用大豆籽粒破裂所需的力,是衡量质地的重要指标^[21]。本研究表明,籽粒硬度与蛋白质含量成弱相关性,与前人研究结果略有差异^[22]。蔗糖、葡萄糖等可溶性糖类物质及粗脂肪含量是菜用大豆品质的重要指标,直接影响其风味和营养价值。对大豆籽粒中异黄酮的研究较多,异黄酮是公认的大豆功效成分之一,异黄酮与VC含量作为抗氧化剂在菜用大豆品质研究中也多有报道^[23]。

菜用大豆品质主要分为感官品质和营养品质,由外观和众多内在因素的复合评价因子构成,目前各因素之间的关系及对品质的影响效果尚没有研究报道,本研究中,多数指标间相关系数的绝对值大于0.5,提示各品质指标间有较强的相关性,因此,需要将这些指标转化为少数几个相互独立的新指标,在解释原始指标间关系的同时,简化籽粒品质评价的因子^[24]。评价指标的筛选在枸杞^[25]、花生^[26]、桃^[7]和梨^[8]等植物上均有研究,由于不同原料品质组成的差异,评价因子也不同。在菜用大豆品质研究中,目前主要还是基于运用变异分析、品质性状与农艺性状、产量相关性分析等层面,片面性和主观性强,难以科学地对菜用大豆品质做出评价,而本研究克服了传统方法的不足,将不同类型、不同标准的量纲因子统一于同一评价模式中,增加了模式的可操作性。

菜用大豆品质特性中叶绿素含量、LOX活力、异黄酮含量、淀粉含量、百粒质量、百荚质量、 a^* 在品种间变异系数较大;而 L^* 和水分含量变异系数较小,其余指标变化均不显著。主成分分析表明由18项物理、化学特性指标反映的菜用大豆品质可用7个主成分来表示,其累计贡献率达92.332 9%,并且各性状的贡献率集中。进一步根据聚类结果,筛选出百粒质量、叶绿素、VC、可溶性糖、粗脂肪、异黄酮含量以及硬度、 a^* 8 个品质指标代替原有的18项指标,这为菜用大豆品质评价指标体系的简化提供了可能。由菜用大豆品质的评价函数计算可知,18个菜用大豆品种中,徐豆17号综合品质最好,其次是区凡2号和新大粒1号,苏豆8号综合品质最差。

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] 张德纯. 菜用大豆[J]. 中国蔬菜, 2009(17): 49.
- [3] 王晓光, 何萍, 卜志英, 等. 不同菜用大豆品种生育特性及品质的比较[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(1): 13-16.
- [4] 周以飞, 周德银. 春播菜用大豆生育期, 农艺性状与品质性状的典范相关分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2005, 34(1): 11-17.
- [5] SONG Jiangfeng, LIU Chunquan, LI Dajing, et al. Evaluation of sugar, free amino acid, and organic acid compositions of different varieties of vegetable soybean (*Glycine max* [L.] Merr)[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 50: 743-749.
- [6] 姜晓青, 宋江峰, 李大婧, 等. 主成分分析法综合评价速冻菜用大豆籽粒的品质[J]. 现代食品科技, 2013, 29(8): 2020-2024.
- [7] 徐臣善, 高东升. 基于主成分分析的设施桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 84-88.
- [8] 田瑞, 胡红菊, 杨晓平, 等. 梨果实品质评价因子的选择[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2009(3): 8-11.
- [9] RAO M S S, BHAGSARI A S, MOHAMED A I. Fresh green seed yield and seed nutritional traits of vegetable soybean genotypes[J]. Crop Science, 2002, 42(6): 1950-1958.
- [10] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210-1217.
- [11] 卫生部食品卫生监督检验所. GB 5009.3—2010 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] 林美娟, 宋江峰, 李大婧, 等. 用双波长分光光度法测定鲜食玉米中直链淀粉和支链淀粉含量[J]. 江西农业学报, 2010, 22(12): 117-119.
- [13] 张海军, 王英, 苏连泰, 等. 东北地区栽培大豆品种籽粒异黄酮含量分析及不同测定方法优化比较[J]. 大豆科学, 2011, 30(6): 979-986.
- [14] 郑文寅, 王慧, 崔文礼, 等. 104个小麦品种(系)脂肪氧化酶活性[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9): 1798-1805.
- [15] 鲍江峰, 夏仁学, 邓秀新, 等. 用主成分分析法选择纽荷尔脐橙品质的评价因素[J]. 华中农业大学学报, 2005, 23(6): 663-666.
- [16] 徐兆生, 王素. 菜用大豆种质资源营养品质分析[J]. 作物品种资源, 1995(3): 40-41.
- [17] 李之国, 张彩英, 常文锁. 不同来源菜用大豆的品质研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 183-187.
- [18] 丁安林, 张艳, 常汝镇, 等. 大豆脂肪氧化酶研究进展[J]. 大豆科学, 1995, 14(1): 67-73.
- [19] 韩立德, 邱家驹, 徐海明, 等. 夏播菜用大豆感官品质性状核心选择的构建[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 21-25.
- [20] SU Xinguo, ZHENG Yonghua, FENG Lei, et al. Effects of exogenous Me JA on postharvest senescence and decay of vegetable soybean pods[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2002, 29(1): 52-58.
- [21] SIRISOMBOON P, PORNCHALOEMPONG P, ROMPHOPHAK T. Physical properties of green soybean: criteria for sorting[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(1): 18-22.
- [22] 王丹英, 汪自强, 方勇, 等. 菜用大豆食味品质及其与内含物关系研究[J]. 金华职业技术学院学报, 2002, 2(3): 15-17.
- [23] MEBRAHTU T, MOHAMED A, WANG C Y, et al. Analysis of isoflavone contents in vegetable soybeans[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2004, 59(2): 55-61.
- [24] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [25] 张晓煜, 刘静, 王连喜. 枸杞品质综合评价体系构建[J]. 中国农业科学, 2004, 37(3): 416-421.
- [26] 殷冬梅, 张幸果, 王允, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 507-512.