

花椰菜自交系主要形态性状的主成分分析和聚类分析

朱世杨 张小玲 刘庆 唐征 罗天宽 荆赞革

(浙江省温州市农业科学研究院/浙南作物育种重点实验室 温州 325006)

摘要: 通过对 54 个花椰菜自交系材料进行主成分分析和聚类分析研究, 以为花椰菜育种中亲本选配提供帮助。结果表明: 在主成分分析中, 选取方差累积贡献率为 70.024% 的前 6 个主成分来评价花椰菜自交系资源; 现球期、采收期、叶长、叶宽、株高、花球纵径、花球横径、球重、球形、球紧实度、叶色、蜡粉、内叶数、始花期和株幅是花椰菜亲本选择的主要形态指标。进一步通过系统聚类, 将 54 个花椰菜自交系分为 3 类: 第 I 类表现为早熟、株幅小、叶片狭窄、蜡粉较少、球重和紧实度中等; 第 II 类表现为中熟、株幅中等、叶片灰绿、蜡粉较厚和花球半圆紧实且重; 第 III 类表现为晚熟、株幅大、株形高、叶片宽阔、蜡粉中等和花球扁圆。3 个类群自交系性状之间的差异较为明显, 有利于杂交育种亲本材料的选择。

关键词: 花椰菜; 自交系; 形态性状; 主成分分析; 聚类分析

Principal Component Analysis and Cluster Analysis for Main Morphological Characteristics of Cauliflower Inbred Lines

ZHU Shi-yang, ZHANG Xiao-ling, LIU Qing, TANG Zheng, LUO Tian-kuan, JING Zan-ge

(Key Laboratory of Crop Breeding in South Zhejiang / Wenzhou Academy of Agricultural Science, Wenzhou 325006)

Abstract: Classification of cauliflower resource was useful for heterosis and hybridization selection. 54 cauliflower inbred lines were analyzed with statistical methods of cluster analysis and the principal component analysis (PCA). The PCA results showed that the six eigenvalues of cumulative variance proportion 70.024% were selected for evaluation of inbred line of cauliflower; Days to curd appearing, days to curd harvesting, leaf length, leaf width, plant height, lengthways diameter of curd, transverse diameter of curd, curd weight, curd shape, tight degree, leaf color, wax powder, leaf number inside, days to flowering and plant extent were morphological characteristics for parents screening. By cluster analysis under the results of PCA, 54 cauliflower inbred lines were classified into 3 clusters. Characters of cluster I were early maturity, little plant extent, narrow leaf with less wax, moderate weight and tight degree of curd; Cluster II had the characters of middle maturity, moderate plant extent, sage green leaves with thick wax and weighty curd with tight semicircular; Cluster III was type of late maturity, high stalk, large plant extent, more length and width leaves with moderate wax and oblate curd. Three clusters had obvious feature, so that it would be helpful for parent materials selection in breeding.

Key words: Cauliflower; Inbred line; Morphological characteristic; Principal component analysis; Cluster analysis

花椰菜 (*Brassica oleracea* L. Var. *botrytis* L.) 别名花菜、菜花, 十字花科芸薹属甘蓝种的一个变种, 其营养丰富、风味鲜美, 具有防癌抗癌作用, 深受广大消费者喜爱^[1]。目前, 福建、浙江、天津、广东、上海等花椰菜育种单位收集了大量的花椰菜资源, 育出了一些花椰菜新品种。但各育种单位对花椰菜资

源分类研究尚少, 这可能会导致杂交亲本配组盲目性较大。

植物遗传资源的系统分类、遗传多样性研究对资源引选、品种改良、亲本选配及杂种优势利用具有重要的指导意义。聚类分析是研究资源分类和亲缘关系的常用方法之一^[2-3], 在大豆^[4-5]、山羊豆^[6]、百

收稿日期: 2010-06-18 修回日期: 2011-03-24

基金项目: 浙江省教育厅科研项目 (Y200906705); 浙江省科技计划项目 (2008C22094); 温州市科技计划 (N20080025, N20100006, N20110001)

作者简介: 朱世杨, 硕士, 讲师, 主要从事花椰菜遗传育种研究。E-mail: zhushiyang2000@163.com

合^[7]等植物中有大量报道。在花椰菜中,除有应用分子标记技术 AFLP^[8]、RAPD^[9-10]少数研究外,尚未见有其他报道。植物的表现型是基因型与环境共同互作的结果。且与分子标记技术相比,应用形态性状进行资源分类具有经济、直观等优点。本文报道了 54 个花椰菜自交系 20 个数量性状和质量性状的主成分分析和聚类分析结果,以期为我国花椰菜资源分类、亲缘关系研究以及杂种优势利用提供帮助。

1 材料与方法

1.1 试验材料

自 1998 年至今,温州市农业科学研究院生物所花椰菜课题组收集了大量的花椰菜品种,并连年套袋自交提纯。本研究所用的 54 个自交系为性状稳定的纯系,自交系编号和来源见表 1,试验材料种植于本所花椰菜育种基地。2009 年 8 月 24 日育苗,9 月 23 日移栽定植,株行距为 50cm × 50cm。常规栽培管理。

表 1 54 个花椰菜自交系编号及来源

Table 1 Code and origins of 54 cauliflower inbred lines

自交系编号 Code of inbred line	来源 Origin	自交系编号 Code of inbred line	来源 Origin	自交系编号 Code of inbred line	来源 Origin
AYXF-80	温州	YK-F ₁ -80	温州	FZTX-60	福州
AYXF-90	温州	AJ-90	厦门	FZTD-80	福州
BMWZ-60	温州	JSTD-50	厦门	ZHIHUA	福州
DHMZ-50	温州	JSTD-80	厦门	YX-60	珠海
L-45	温州	JZ-80	厦门	SH-80	上海
LFTD-60	温州	LM-80	厦门	TDXG-80	上海
RG-F ₁ -80	温州	LY-70	厦门	TDXG-100	上海
RG-F ₁ -100	温州	SN-65	厦门	SLTD-60	香港
RG-F ₁ -120	温州	TB-80	厦门	CJBY-50	香港
RXTD-80	温州	WX-60	厦门	YDSL-60	香港
RXTD-90	温州	WX-80	厦门	XS-45	台湾
RXTD-120	温州	WX-90	厦门	YG-40	日本
RXTZ-50	温州	YDXG-50	厦门	U ₁	不详
TZ-45	温州	YDXL-75	厦门	U ₂	不详
XTS-60	温州	YDZN-50	厦门	U ₃	不详
YDJG-45	温州	YN-70	厦门	U ₄	不详
YDJG-50	温州	YN-80	厦门	U ₅	不详
YDJG-55	温州	ZH-80	厦门	U ₆	不详

1.2 试验方法

花椰菜表型性状复杂多样,本试验中主要以课题组多年从事花椰菜育种中积累的评价经验,并参照国家农作物种质资源平台中甘蓝类种质信息处理部分指标进行表型性状的调查。除球重为随机选取的 6 株花球重量的平均值外,其余性状测定值均为随机调查 16 株性状的平均值。

1.2.1 数量性状测定 生育期记载包括:现球期、采收期和小花始花期。采收期应用米尺、直尺、卡尺和天平等常规工具测定叶长、叶宽、外叶数、内叶数、株幅、花球纵径、花球横径、株高和球重。

1.2.2 质量性状测定 根据目测将以下质量性状按括号中数字进行编码以便统计分析。球形:扁圆(1)、半圆(2)、圆(3)、高圆(4);球颜色:白色(1)、乳白(2)、浅黄(3);球紧实度:紧实(1)、中等(2)、松散(3);茸毛:无(1)、少(2)、中(3)、多(4);叶面皱缩:光滑(1)、微皱(2)、较皱(3)、皱(4);叶色:深绿(1)、灰绿(2)、绿色(3)、鲜绿(4)、浅绿(5);蜡粉:少(1)、中(2)、厚(3);小花颜色:白色(1)、浅黄(2)、黄色(3)。

1.3 数据计算与统计处理

数量性状差异统计分析参考《试验统计方法》书中方法^[11]。基本数据处理采用 Excel 软件,主成分分析和聚类分析采用 DPS 软件。聚类分析过程中,数据标准化转换,种质间距离采用欧氏距离,聚类方法采用离差平方和法。

2 结果与分析

2.1 花椰菜自交系主要数量性状的差异

由表 2 可知,54 个自交系 12 个主要数量性状有明显差异。各性状的变异系数,始花期最小(9.53%),球重和内叶数最大,分别为 35.37% 和 33.36%;其余由小到大依次为花球横径、花球纵径、叶宽、外叶数、株幅、叶长、株高、采收期和现球期,变异系数 12.12% ~ 27.04%。说明 54 个自交系间形态性状差异明显、类型广阔,各性状可以入选进行主成分分析。

2.2 主成分分析

通过对 54 个花椰菜自交系 20 个形态性状的计算,得到了 20 阶遗传相关矩阵及其特征根和特征向量。表 3 列出了特征值大于 1 的前 6 个主成分的贡献率和各性状特征向量值,这 6 个主成分反映了总信息量的 70.024%,并使性状由原来的 20 个简化为 15 个(表 4)。第 1 主成分特征值为 4.787,贡献率为

表 2 54 个花椰菜自交系主要数量性状的差异

Table 2 Differences in numerical characteristics of 54 cauliflower inbred lines

性状 Characteristic	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准差 <i>s</i>	变异系数(%) CV
现球期 (d) Days to curd appearing	95.00	35.00	52.93	14.31	27.04
采收期 (d) Days to curd harvesting	155.00	48.00	76.28	18.48	24.23
始花期 (d) Days to flowering	182.00	69.00	146.48	13.96	9.53
叶长 (cm) Leaf length	69.50	29.00	45.19	8.68	19.21
叶宽 (cm) Leaf width	32.00	15.50	22.64	3.48	15.37
外叶数 Leaf number outside	24.50	13.00	18.58	2.86	15.42
内叶数 Leaf number inside	12.00	2.00	4.63	1.54	33.36
株幅 (cm) Plant extent	103.30	53.80	71.10	11.76	16.55
花球纵径 (cm) Lengthways diameter of curd	13.00	3.50	9.73	1.31	13.44
花球横径 (cm) Transverse diameter of curd	18.00	10.00	14.52	1.76	12.12
株高 (cm) Plant height	68.50	24.50	41.82	9.71	23.21
球重 (kg) Cur weight	1.00	0.21	0.45	0.16	35.37

表 3 花椰菜 20 个形态性状的主成分分析

Table 3 Principal components of 20 morphological characteristics of cauliflower

性状 Characteristic	主成分 Principal components					
	1	2	3	4	5	6
现球期(d) Days to curd appearing	0.395	-0.119	0.049	-0.011	0.094	0.192
采收期(d) Days to curd harvesting	0.386	-0.181	0.129	-0.017	0.192	0.136
始花期(d) Days to flowering	0.154	0.218	0.156	-0.135	0.181	0.520
叶长(cm) Leaf length	0.425	0.063	-0.031	0.011	-0.047	-0.204
叶宽(cm) Leaf width	0.313	-0.015	0.209	-0.035	-0.311	-0.1
外叶数 Leaf number outside	-0.062	0.333	-0.301	0.009	0.25	-0.183
内叶数 Leaf number inside	0.192	-0.032	0.184	-0.178	0.655	-0.038
株幅 (cm) Plant extent	0.288	0.236	-0.157	0.085	0.054	-0.427
花球纵径(cm) Lengthways diameter of curd	0.067	0.389	0.14	0.271	-0.182	0.281
花球横径(cm) Transverse diameter of curd	0.082	0.373	-0.169	0.207	-0.132	0.214
株高(cm) Plant height	0.411	0.03	-0.106	0.001	-0.106	-0.159
球重(kg) Cur weight	-0.009	-0.015	0.376	0.322	0.081	-0.349
球形 Curd shape	-0.024	0.25	0.424	0.123	-0.062	-0.008
球颜色 Curd color	0.112	-0.324	-0.196	-0.097	-0.248	-0.078
球紧实度 Tight degree of curd	-0.003	0.217	-0.417	-0.16	0.155	-0.052
茸毛 Hair	0.211	-0.15	-0.297	-0.074	-0.159	0.32
叶色 Leaf color	0.016	0.048	0.263	-0.508	-0.29	-0.112
叶面皱缩 Leaf crimpling	-0.143	-0.363	0.015	0.083	0.154	0.068
蜡粉 Wax powder	0.066	-0.228	-0.094	0.489	-0.105	0.053
小花颜色 Flower color	0.082	-0.139	-0.064	0.402	0.165	0.042
特征值 Eigenvalue	4.787	2.665	2.256	2.012	1.197	1.088
贡献率(%) Contributive percentage	23.935	13.322	11.280	10.058	5.987	5.442
累积贡献率(%) Cumulative contributive percentage	23.935	37.258	48.538	58.596	64.582	70.024

表 4 花椰菜形态性状主成分不同层次的指标及其特征向量
Table 4 Indies and eigenvectors of principal components of morphological characteristics of cauliflower

主成分 Principal components	指标 Index	特征向量 Eigenvector
1	现球期	0.395
	采收期	0.386
	叶长	0.425
	叶宽	0.313
	株高	0.411
2	花球纵径	0.389
	花球横径	0.373
3	球重	0.376
	球形	0.424
	球紧实度	-0.417
4	叶色	-0.508
	蜡粉	0.489
5	内叶数	0.655
6	始花期	0.520
	株幅	-0.427

23.935%。现球期、采收期、叶长、叶宽和株高是主要指标,特征向量分别为 0.395、0.386、0.425、0.313 和 0.411。表明此类性状与生育期、叶形和株高有关,在育种中要综合叶形和株高选育不同熟期的品种。第 2 主成分特征值为 2.665,贡献率为 13.322%。花球纵径和横径是主要指标,特征向量分别为 0.389 和 0.373。第 3 主成分特征值为 2.256,贡献率为 11.280%。球重、球形和球紧实度是主要指标,其中球重、球形为正向指标,球紧实度为负向指标,呈现互斥。说明在高产育种中要适度把握好球紧实度的选择。第 4~6 主成分特征向量有正有负,贡献率在 5.442%~10.058% 之间。包括叶色、蜡粉、内叶数、始花期和株幅 5 个指标,其中叶色和株幅特征向量为负,在育种时要适度把握。前 6 个主成分包括的 15 个形态性状现球期、采收期、叶长、叶宽、株高、花球纵径、花球横径、球重、球形、球紧实度、叶色、蜡粉、内叶数、始花期和株幅是花椰菜育种中亲本选择中主要的形态指标。

2.3 聚类分析

运用 DPS 数据统计软件,对 54 个花椰菜自交系前 6 个主成分的 15 个形态性状数据进行聚类,在遗传距离 13.00 处聚为 3 大类(图 1),各类群的特征列于表 5。

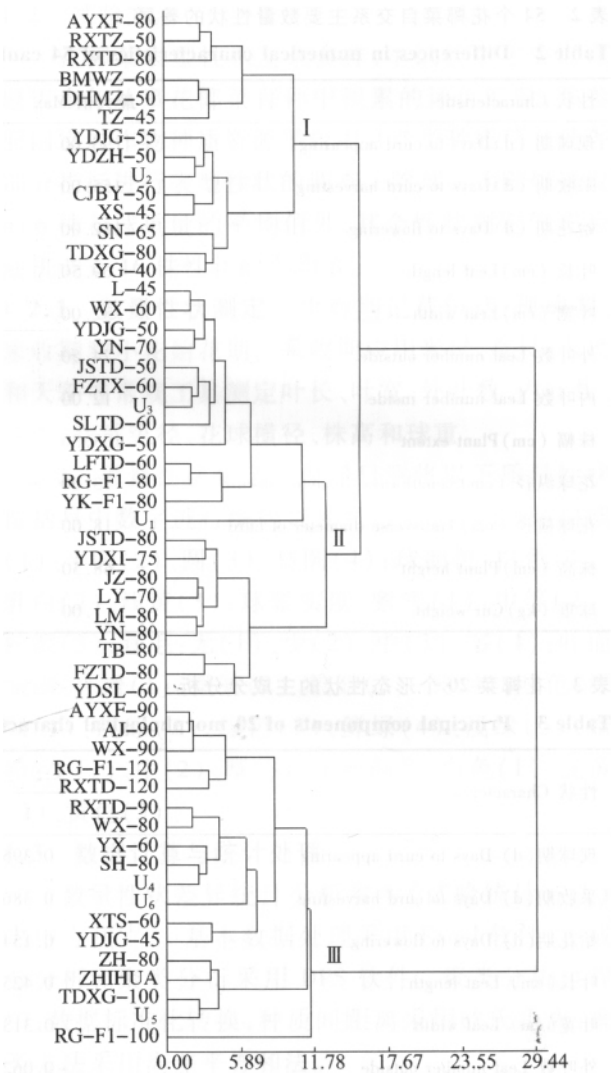


图 1 54 个花椰菜自交系的聚类关系图
Fig. 1 Dendrogram reflecting genetic relationships of 54 cauliflower inbred lines

表 5 各类群花椰菜形态性状的特征
Table 5 Average of morphological characteristics in different clusters

性状 Characteristic	Cluster I	Cluster II	Cluster III
现球期(d)	42.6	46.6	68.7
采收期(d)	62.7	69.5	95.1
始花期(d)	145.1	142.8	152.1
叶长(cm)	39.2	42.0	53.7
叶宽(cm)	20.6	22.1	24.9
外叶数	19.4	18.3	18.3
内叶数	4.5	4.2	5.2
株幅(cm)	64.9	69.2	78.3
花球纵径(cm)	8.1	9.0	8.7

续表

性状 Characteristic	Cluster I	Cluster II	Cluster III
花球横径(cm)	14.4	14.2	15.0
株高 (cm)	35.2	38.5	51.0
球重(kg)	0.392	0.545	0.385
球形	近半圆(1.7)	半圆(2.4)	扁圆(1.5)
球颜色	乳白(2.0)	乳白(2.0)	浅黄(2.6)
球紧实度	中等(1.6)	紧实(1.0)	较紧实(1.3)
茸毛	少(1.5)	少(1.4)	中等(2.9)
叶色	绿色(3.1)	灰绿(2.2)	近绿色(2.6)
叶面皱缩	微皱(2.3)	微皱(2.2)	微皱(1.8)
蜡粉	较少(1.5)	较厚(2.3)	中等(2.0)
小花颜色	黄色(2.6)	黄色(3.0)	黄色(2.9)

质量性状球形、球颜色、球紧实度、茸毛、叶色、叶面皱缩、蜡粉和小花颜色描述中括号内的数字为赋值的平均数

The number in parentheses was the average evaluating of curd shape ,curd color ,tight degree of curd ,hair ,leaf color ,leaf crimpling ,wax powder and flower color

第 I 类包括 14 个自交系 ,分别为 AYXF-80、RXTZ-50、RXTD-80、BMWZ-60、DHMZ-50、TZ-45、YDJG-55、YDZN-50、U₂、CJBY-50、XS-45、SN-65、TDXG-80 和 YG-40。这一类的明显特征为早熟(平均采收期 62.7d) ,叶片狭窄 ,叶面微皱 ,株高和株幅较小 ,球重和紧实度中等 ,且茸毛较少(表 5) 。说明这一类自交系可选为早熟、密植花椰菜育种的杂交亲本 ,但要注意亲本花球产量的选择。

第 II 类包括 22 个自交系 ,分别为 L-45、WX-60、YDJG-50、YN-70、JSTD-50、FZTX-60、U₃、SLTD-60、YDXG-50、LFTD-60、RG-F₁-80、YK-F₁-80、U₁、JSTD-80、YDXL-75、JZ-80、LY-70、LM-80、YN-80、TB-80、FZTD-80 和 YDSL-60。这一类的明显特征为中熟(平均采收期 69.5d) ,花球较重(0.545kg) ,叶片灰绿 ,蜡粉较厚 ,株幅和株高中等 ,球形半圆紧实乳白色 ,但略有茸毛。说明这一类自交系可选为中熟、高产花椰菜育种的杂交亲本。

第 III 类包括 18 个自交系 ,分别为 AYXF-90、AJ-90、WX-90、RG-F₁-120、RXTD-120、RXTD-90、WX-80、YX-60、SH-80、U₄、U₆、XTS-60、YDJG-45、ZH-80、ZHIHUA、TDXG-100、U₅ 和 RG-F₁-100。这一类的明显特征为晚熟(平均采收期 95.1d) ,叶片宽阔 ,株幅和株高大 ,球形扁圆较为紧实 ,球浅黄但茸毛较多 ,且球重偏轻。说明这一类自交系可选为晚熟花椰菜育种的杂交亲本 ,但配组过程中要注意亲本花球产量和茸毛性状的适度选择。

3 讨论

我国花椰菜种植历史 150 余年 ,经过各育种单位的收集和选育 ,积累了较为丰富的种质资源。长期以来我国花椰菜育种亲本选择主要依据表型形态性状 ,但由于花椰菜形态性状复杂多样 ,加大了表型选择的难度和盲目性。运用主成分分析能将多个表型性状转化为少数几个主成分 ,且这几个主成分能够提供 70% 以上的信息量 ,从而显著简化筛选评价中表型性状的数量 ,提高杂交亲本选择的效率^[12]。本研究通过主成分分析 ,将花椰菜自交系的 20 个形态性状简化为 15 个 ,且所反映的信息量占总信息量的 70.024% ,表明这 15 个性状能很好地代替所考查各个性状的综合特征。因此 ,今后在花椰菜自交系选育中 ,可将现球期、采收期、叶长、叶宽、株高、花球纵径、花球横径、球重、球形、球紧实度、叶色、蜡粉、内叶数、始花期和株幅 15 个性状做为形态选择的最优指标。

研究中发现 ,前 6 个主成分中的前 3 层次包括的 9 个形态指标 ,基本代表了近 50% 的信息。其中第 1 主成分值大的自交系具有叶片宽阔、株形高和晚熟的特点;第 2 主成分值大的自交系具有花球纵径、横径大的特点;第 3 主成分值大的自交系具有花球重、圆整紧实的特点。在杂交配组中可选择主成分互补的材料进行组合选育。例如 ,欲选配花球圆整紧实、高产晚熟品种 ,可选择第 1 主成分值大的自交系与第 3 主成分值大的优良自交系进行杂交配组筛选。

育种实践证明 ,应用聚类分析结果进行杂种优势预测 ,选配优势亲本组合 ,在一定程度上可减少杂交亲本配组上的盲目性 ,对作物杂种优势利用具有一定的指导意义^[13]。本研究在主成分分析的基础上 ,利用 15 个主要形态性状将 54 个自交系聚成了 3 类(图 1) ,各类型自交系在熟期、株高、株幅、叶色、叶形、球重、球形、球色和球紧实度等方面表现出不同程度的差异。因此 ,花椰菜育种中要结合育种目标选择适宜类群亲本进行遗传改良。例如 ,要选配高产早熟紧花型品种 ,可选择第 I 类自交系与第 II 类自交系进行杂交配组筛选;要选配高产晚熟品种 ,可选择第 II 类自交系与第 III 类自交系进行杂交改良 ,但组合筛选中要注意茸毛和株幅性状的选择。研究结果还表明 ,54 个自交系的聚类结果与品种来源地没有必然的联系 ,这可能是由于温州、厦门、福州、台湾等地花椰菜育种中亲本材料引种频繁所致;

也可能是由于人工定向选择使得遗传差异比地理距离差异更大所致。这进一步证明,仅根据地理起源进行遗传差异分析可能会存在较大偏差的观点。这与前人在花椰菜^[9-10]、燕麦^[12]等植物中的研究结论有所类似。因此,花椰菜育种中要综合考虑品种资源的地理距离和遗传距离,选择合适类群的资源作为亲本材料。

本文报道的结果对花椰菜资源分类、杂种优势利用等具有一定的帮助。在花椰菜遗传改良中,应尽可能选择不同类群间亲缘关系相对较远、性状差异较大,且综合性状优良的品种作为亲本。

参考文献

- [1] 王燕,朱隆静,柳李旺,等.花椰菜生物技术育种研究进展[J].分子植物育种 2008 6(3): 549-554
- [2] Martynov S P, Dobrotvorskaya T V. Genealogical analysis of diversity of Russian winter wheat cultivars (*Triticumaestivum* L.) [J]. Gene Res & Crop Evo 2006 53: 379-386
- [3] Masumbuko L I, Bryngelsson T. Inter simple sequence repeat (IS-SR) analysis of diploid coffee species and cultivated *Coffea arabica* L. from Tanzania [J]. Gene Res & Crop Evo, 2006, 53: 357-366
- [4] 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,2007,33: 120-122
- [5] 罗珊,康玉凡,濮绍京,等.黑河地区 55 份大豆品种资源农艺性状和营养成分的聚类分析[J].大豆科学,2009,28(3): 421-425
- [6] 王俊娥,王赞,王运琦,等.山羊豆种质资源形态多样性分析[J].植物遗传资源学报 2008 9(2): 201-205
- [7] 荣立苹,雷家军.东北地区野生百合数量分类研究[J].植物遗传资源学报 2010,11(1): 99-102
- [8] 孙德岭,赵前程,宋文芹,等.花椰菜类蔬菜自交系基因组间亲缘关系的 AFLP 分析[J].园艺学报 2002 29(1): 72-74
- [9] 许卫东,黄聪丽,李传勇,等.利用 RAPD 分析花椰菜遗传多样性及预测杂交优势组合[J].浙江农业科学,2006,5: 495-498
- [10] 林琿,黄科,李永平,等.花椰菜种质资源遗传多样性分析[J].福建农业学报 2008 23(2): 172-177
- [11] 盖钧镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2004: 41-47
- [12] 张向前,刘景辉,齐冰洁,等.燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2010,11(2): 201-205
- [13] 杜晓华,李小梅,李新峥.中国南瓜自交系的聚类分析[J].安徽农业科学 2008 36(32): 14052-14054