

杨宜红, 刘聪聪, 张莹莹, 等. 基于主成分分析对国家北方地区新育成花生品种的综合评价[J]. 山西农业科学, 2025, 53(1): 12-21.

YANG Y H, LIU C C, ZHANG Y Y, et al. Comprehensive evaluation of newly bred peanut varieties in the northern part of the country based on principal component analysis[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(1): 12-21.

doi:10.3969/j.issn.1002-2481.2025.01.02

基于主成分分析对国家北方地区新育成花生品种的综合评价

杨宜红, 刘聪聪, 张莹莹, 陈翠霞

(濮阳市农林科学院, 河南 濮阳 457000)

摘要:为探究国家北方地区花生新品种的特征, 推动优异花生新品种的高效利用与推广, 以2020、2021年参加国家北方地区大粒组花生新品种多点试验的16个品种为材料, 采用多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析等方法, 对这16个品种在18个试点种植后的农艺性状、产量以及品质性状进行综合分析。结果显示, 参试品种遗传多样性指数均大于1, 2 a变异系数为2.34%~54.74%。聚类分析发现, 在欧氏距离为9.6处, 参试品种可聚类为四大类群, 各类群均有所侧重, I、II、III、IV类群分别包含9、1、5、1个品种, 其主要特征分别为荚果籽仁较大且饱满度高、株型较高、高产高油酸、株型较低且高产, 表明在当前高产、优质、株型适中的育种目标下, 类群III中的品种开发利用价值较高, 类群IV中的品种改良潜力较大。主成分分析结果显示, 从主要性状中提取出5个主成分, 累计贡献率为90.01%, 反映了参试品种主要性状的大部分信息; 根据主成分提取结果, 对16个品种进行综合评价, 结果显示, 开农113、冀花311、濮花75号、濮花73号的综合性状优良, 且符合当前育种目标。综上, 开农113、冀花311、濮花75号、濮花73号适合在我国北方地区推广种植, 且可作为亲本在新品种培育中优先选用。

关键词:花生; 遗传多样性; 聚类分析; 主成分分析; 北方地区

中图分类号: S565.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2481(2025)01-0012-10

Comprehensive Evaluation of Newly Bred Peanut Varieties in the Northern Part of the Country Based on Principal Component Analysis

YANG Yihong, LIU Congcong, ZHANG Yingying, CHEN Cuixia

(Puyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Puyang 457000, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of the new peanut varieties in the northern part of the country, and promote the efficient utilization and promotion of superior new peanut varieties, in this study, taking 16 test varieties in the 2020 and 2021 multi-point trial of new peanut varieties in the northern part of the country as the materials, diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis were used to comprehensively analyze the agronomic traits, yields and quality traits of the 16 varieties in 18 trial planting sites. The results showed that the Shannon diversity index of the test varieties were all greater than 1, and the two years of coefficients of variation ranged from 2.34% to 54.74%. Cluster analysis found that at the Euclidean distance of 9.6, the test varieties could be clustered into four major groups, with each group having its own emphasis, the groups I, II, III, and IV included 9, 1, 5 and 1 varieties, respectively, the main characteristics were larger pod kernels with high fullness, taller plants, high yielding and high oleic acid, and shorter plants with high yield respectively, indicating that under the current breeding objectives of high yield, high quality and moderate plant size, the varieties in group III had high development and utilization value, and the varieties in group IV had higher potential for improvement. Through principal component analysis, 17 traits were simplified into five principal components with a cumulative

收稿日期: 2024-03-18

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-13); 河南省重大科技专项(221100110300); 河南省农业良种联合攻关项目(2022010302)

作者简介: 杨宜红, 助理研究员, 硕士, 主要从事花生遗传育种及配套栽培技术研究, E-mail: 741088566@qq.com

通信作者: 陈翠霞, 研究员, 主要从事花生遗传育种及配套栽培技术研究, E-mail: pyccx@139.com

contribution rate of 90.01%, reflecting most of the information of the main traits of the test varieties. According to the results of principal component extraction, the comprehensive evaluation of the test varieties showed that Kainong 113, Jihua 311, Puhua 75, and Puhua 73 had excellent comprehensive traits and fit the current breeding objectives. In conclusion, Kainong 113, Jihua 311, Puhua 75 and Puhua 73 were suitable for popularization of planting in the northern region of China, and could be used as parents in the selection of new varieties in preference to other varieties.

Keywords: peanut; genetic diversity; cluster analysis; principal component analysis; northern part

花生又称落花生、长生果,为1年生豆科落花生属草本植物,原产于南美洲,现在世界范围内被广泛种植,在世界油料的贸易和生产中占有重要地位,是重要的油粮兼用的经济作物^[1]。花生的产量和品质受多方面因素的影响,同一品种在不同生态条件下的农艺性状、产量和品质存在一定的差异^[2]。选育高产稳产、品质良好且稳定的花生品种,对于提高花生生产力和农民收入具有重要意义。随着育种技术不断发展以及南繁加代技术的日渐成熟,我国每年有大量花生新品种选育成功。因此,对新品种进行科学试验并进行综合评价可为综合性状优良品种的推广利用提供数据支撑,同时也可作为亲本组配提供参考。区域试验是鉴定和评价作物新品种特征、确定其适植区域的重要方式。选择科学的分析方法对区域试验中的花生新品种进行综合评价,可为花生新品种的审(鉴)定、登记以及推广提供数据支持^[3]。

近年来,随着分子生物学的快速发展,育种工作者在分子层面投入的研究不断增多,但表型性状因具有直观、简便等特点,仍是育种过程中评价种质材料的重要指标^[4]。目前,基于主成分分析、聚类分析等方法对作物表型性状进行综合性评价在作物育种、种质资源评价等方面被广泛应用^[5-7]。杜晓宇等^[8]利用主成分分析等方法对黄淮海地区新育成小麦品种(系)主要性状进行综合评价分

析,将39个小麦品种(系)分为5大类群,筛选出综合评价值较高的品种新麦45、轮选2000等,并推荐这些品种可作为小麦育种的首选亲本资源。张小利等^[9]利用相关性分析、主成分分析、聚类分析等方法在115个花生种质资源中筛选出68份高粗脂肪含量、27份高蛋白质含量、6份高蔗糖含量的特异种质,为花生品质育种中亲本的选用提供了理论支撑。郭敏杰等^[10]采用主成分分析和聚类分析对11个冀花高油酸花生品种进行综合评价,发现利用基因型数据更能准确反映品种内在遗传基础。可见,主成分分析、聚类分析等是综合评价种质资源和育成品种特征的有效方法。

本研究通过多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析等对2020、2021年均在国家北方地区大粒组花生新品种多点试验中参试的16个品种的农艺性状、产量性状以及品质性状进行分析,探讨各性状的遗传变异情况及彼此之间的关系,并对16个品种进行综合评价,旨在为国家北方地区新选育的花生优异品种的推广应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验材料均来自2020、2021年国家北方地区大粒组花生新品种的多点试验。选择分析的16个品种为2 a均参试的品种(表1)。

表1 参试花生品种

Tab.1 Test peanut varieties

编号 Number	品种 Variety	育种单位 Breeding institutes	编号 Number	品种 Variety	育种单位 Breeding institutes
1	花育33号(CK)	山东省花生研究所	9	冀农花21号	河北农业大学
2	花育9315	山东省花生研究所	10	开农113	开封市农林科学研究院
3	花育9513	山东省花生研究所	11	濮花73号	濮阳市农业科学院
4	花育9514	山东省花生研究所	12	濮花75号	濮阳市农业科学院
5	花育954	山东省花生研究所	13	山花大1号	山东农业大学
6	花育959	山东省花生研究所	14	山花大2号	山东农业大学
7	花育9810	山东省花生研究所	15	烟农花8号	山东省烟台市农业科学研究院
8	冀花311	河北省农林科学院粮油作物研究所	16	烟农花9号	山东省烟台市农业科学研究院

1.2 试验地概况

试验地点分布在 7 个省份 18 个地级市,分别为安徽固镇、安徽合肥、北京密云、河北保定、河北石家庄、河南开封、河南漯河、河南濮阳、河南商丘、河南郑州、江苏徐州、辽宁大连、山东菏泽、山东济宁、山东青岛、山东泰安、山东潍坊、山东烟台。各试验点均选择肥力中等、排灌方便、地力均匀、地形平坦的沙壤土进行试验种植。

1.3 试验设计

国家北方地区大粒组花生新品种多点试验采用随机区组排列,每小区 13.3 m²,3 次重复。播种密度为 15 万穴/hm²,每穴 2 粒,种植模式和田间管理等均按当地习惯操作。

1.4 测定项目及方法

各试点严格按照试验要求进行农艺性状、经济性状以及产量性状的调查。于花生收获时,随机取 5 穴 10 株花生,测定主茎高、侧枝长、总分枝数、结果枝数、单株饱果数、单株总结果数等性状。收获晒干后,测定百果质量、百仁质量、千克果数、千克仁数、出米率等性状以及小区实收荚果和籽仁产量。花生品种含油量、蛋白质含量、油酸含量、亚油酸含量等品质性状由各试点样品等量混合后,送至农业农村部油料及制品质量监督检验测试中心(武汉)检测。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 进行整理,利用 Origin 2022 进行聚类分析并绘制聚类结果分析图;采用 SPSS

26.0 进行主成分分析,并计算各品种(系)的综合得分;使用 R 语言的 Diversity 软件包计算遗传多样性指数(H'),采用 Corrplot 软件包绘制相关性分析图。

2 结果与分析

2.1 参试花生品种主要性状的多样性分析

16 个参试花生品种农艺性状、品质性状、产量性状的变异范围和遗传多样性分析结果如表 2 所示,各性状在不同年份之间存在一定差异,但差异较小,说明 16 个品种的 17 个性状在年际间具有一定稳定性。各性状在不同品种之间具有一定差异,2020 年这些品种的 17 个性状的变异系数的范围为 1.93%~52.40%,2021 年这些品种的 17 个性状的变异系数范围应为 2.29%~57.08%,2 a 中这 16 个品种的亚油酸含量、油酸含量的变异系数均较大,且其遗传多样性指数 H' 高于平均值(1.78)。其中,2020、2021 年这 16 个品种的亚油酸含量的变异范围分别为 2.80%~38.00%、2.61%~39.50%,2020、2021 年这 16 个品种的油酸含量的变异范围分别为 40.70%~79.80%、39.3%~80.6%,表明这 2 个性状在参试品种中遗传多样性丰富。这 16 个品种出米率的变异系数较小,且其 H' 低于平均值,2 a 出米率的变异范围分别为 66.44%~73.18%、64.88%~70.95%,表明该性状在参试品种间多样性差异较小,多样性较低。

表 2 国家北方地区花生新品种主要性状的变异分析

Tab.2 Variation analysis of main traits of the new peanut varieties in northern part of the country

参数 Parameter	年份 Year	荚果产量/ (kg/hm ²) Pod yield	籽仁产量/ (kg/hm ²) Seed yield	含油量/% Crude fat content	蛋白质含量/ (g/100 g) Protein con- tent	油酸含 量/% Oleic acid content	亚油酸含 量/% Linoleic acid content	主茎高/ cm Height of main stem	侧枝长/ cm Branch length	总分枝数/个 Total branch- number
最小值 Minimum value	2020	4 323.90	3 015.60	49.82	22.40	40.70	2.80	32.78	36.50	6.00
	2021	4 243.50	2 866.35	44.18	17.00	39.30	2.61	40.96	44.66	7.00
最大值 Maximum value	2020	5 263.80	3 658.65	53.54	25.00	79.80	38.00	56.88	60.11	10.00
	2021	5 291.85	3 637.80	50.10	26.20	80.60	39.50	57.37	61.74	10.00
平均值 Mean value	2020	4 771.31	3 377.39	51.39	23.66	57.11	22.76	42.53	46.39	7.94
	2021	4 733.81	3 256.95	47.79	22.07	56.69	23.50	49.21	53.50	8.44
标准差 Standard deviation	2020	303.01	202.70	0.99	0.72	13.63	11.93	5.89	6.07	1.00
	2021	300.32	199.82	1.68	3.07	15.28	13.41	5.12	5.55	0.70
变异系数/% CV	2020	6.35	6.00	1.93	3.06	23.86	52.40	13.84	13.08	12.57
	2021	6.34	6.14	3.51	13.89	26.96	57.08	10.40	10.37	8.35
H'		1.75	1.91	1.84	1.93	1.84	1.84	1.98	1.96	1.72

续表2 国家北方地区花生新品种主要性状的变异分析

Tab.2(Continued) Variation analysis of main traits of the new peanut varieties in northern part of the country

参数 Parameter	年份 Year	结果枝数/个 Number of branches with pods	单株饱满果数/ 个 Number of full pods per plant	单株总结果数/个 Pod number per plant	百果质量/g One hundred pod weight	百仁质量/g One hundred kernel weight	千克果数/个 Number of kilo- pods per kilo- gram	千克仁数/个 Number of seeds per ki- logram	出米率/% Shelling percentage
最小值 Minimum value	2020	6.00	11.00	15.00	204.88	83.32	484.00	1 115.00	66.44
	2021	6.00	9.00	14.00	193.45	71.92	515.00	1 138.00	64.88
最大值 Maximum value	2020	8.00	15.00	20.00	266.36	108.40	633.00	1 495.00	73.18
	2021	8.00	15.00	19.00	259.00	99.25	659.00	1 534.00	70.95
平均值 Mean value	2020	7.11	12.78	16.78	231.79	93.47	557.00	1 306.72	70.82
	2021	7.11	11.94	16.06	224.05	84.27	592.22	1 370.28	68.83
标准差 Standard deviation	2020	0.68	1.35	1.44	18.08	7.48	45.83	119.07	1.69
	2021	0.47	1.63	1.55	20.85	7.70	45.66	117.45	1.58
变异系数/% CV	2020	9.51	10.59	8.57	7.80	8.00	8.23	9.11	2.38
	2021	6.63	13.61	9.67	9.31	9.14	7.71	8.57	2.29
H'		1.35	1.84	1.79	1.84	1.72	1.65	1.51	1.72

2.2 参试品种主要性状的聚类分析

根据 17 个主要性状数据对参试品种进行聚类

分析,结果如图 1 所示,在欧式距离 9.6 处,分为四大类群,各类群的性状的详细特征见表 3。

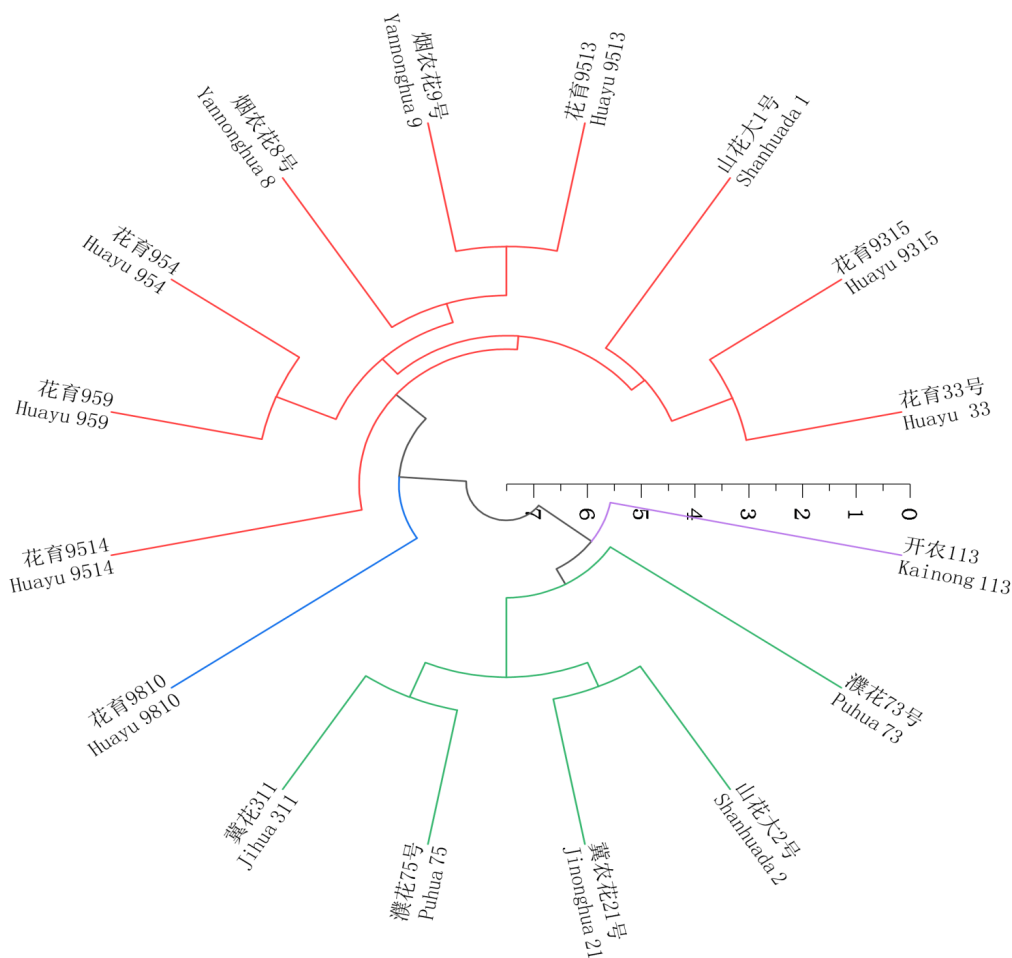


图 1 基于 17 个主要性状数据对参试品种的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of test varieties based on 17 main trait data

表 3 参试品种各类群主要性状的平均值

Tab.3 Average value of main traits of the test peanut varieties groups

类群 Group	品种数/个 Number of varieties	荚果产量/ (kg/hm ²) Pod yield	籽仁产量/ (kg/hm ²) Seed yield	含油量/% Crude fat content	蛋白质含量/ (g/100 g) Protein content	油酸含量/% Oleic acid content	亚油酸 含量/% Linoleic acid content	主茎高/cm Height of main stem	侧枝长/cm Branch length
I	9	4 648.31	3 261.24	49.25	22.54	48.63	30.48	46.79	50.69
II	1	4 283.70	2 940.98	47.00	25.60	60.00	20.50	57.13	60.93
III	5	5 000.67	3 480.20	49.97	23.18	77.52	5.04	41.12	45.19
IV	1	5 145.60	3 606.00	51.67	21.55	46.95	31.55	39.11	42.85

类群 Group	总分枝数/个 Total branch number	结果枝数/个 Number of branches with pods	单株饱满数/个 Number of full pods per plant	单株总结 果数/个 Pod number per plant	百果质量/g One hundred pod weight	百仁质量/g One hundred kernel weight	千克果数/个 Number of pods per kilo- gram	千克仁数/个 Number of seeds per ki- logram	出米率/% Shelling percentage
I	8.26	7.17	11.54	15.61	239.08	93.66	549.11	1 261.94	70.21
II	8.00	7.00	10.50	14.50	235.02	89.61	560.00	1 319.50	68.65
III	7.90	6.90	13.90	17.70	210.28	81.18	618.10	1 465.70	69.64
IV	10.00	8.00	14.00	18.00	214.05	83.85	603.50	1 422.50	70.08

类群 I 的品种数为 9 个(占比 56.25%),其平均百果质量、百仁质量、出米率最高,千克果数、千克仁数最低,表明该类群荚果、籽仁较其他类群大,且饱满度高;类群 II 的品种数为 1 个(占比 6.25%),其平均主茎高和侧枝长高于其他类群,表明该类群品种株高较高,株型较大;类群 III 的品种数为 5 个(占比 31.25%),其平均油酸含量为 77.52%(大于 75%),且产量较高,为高产高油酸类群;类群 IV 的品种数为 1 个(占比 6.25%),其荚果、籽仁产量高于其他类群,百果质量、百仁质量较小,出米率较高,主茎高、侧枝长最小,表明在参试品种中,该类群品种产量最高,荚果大小适中,饱满度较高,株高较矮,株型较小。综合分析发现,在当前高产、优质、株型适中的育种目标下,类群 III 中的品种开发利用价值较高,类群 IV 改良潜力较大。

2.3 参试花生品种主要性状间的相关性分析

对 17 个主要性状进行相关性分析,结果如图 2 所示,在 136 对性状中,有 29 对性状呈极显著($P < 0.01$)相关,19 对性状呈显著($P < 0.05$)相关,其中,23 对性状呈正相关,25 对性状呈负相关。荚果产量与籽仁产量、单株饱满数、单株总结果数均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),荚果产量与主茎高、侧枝长均呈显著负相关关系($P < 0.05$)。籽仁产量与主茎高、侧枝长均呈显著负相关关系($P <$

0.05),籽仁产量与含油量、单株饱满数、单株总结果数均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),籽仁产量与百果质量、百仁质量均呈显著负相关关系($P < 0.05$),表明主茎高、侧枝长负向作用于产量,在品种培育过程中应进行适当筛选控制。与含油量呈显著负相关关系的性状有百果质量、百仁质量($P < 0.05$),与含油量呈显著正相关的性状为单株饱满数、单株总结果数($P < 0.05$)。油酸含量与亚油酸含量、百仁质量呈极显著负相关关系($P < 0.01$),油酸含量与单株饱满数、千克仁数呈极显著正相关关系($P < 0.01$),油酸含量与单株总结果数呈显著正相关关系($P < 0.05$),油酸含量与百果质量呈显著负相关关系($P < 0.05$),表明品质性状与产量性状具有一定关联。单株饱满数与百果质量、百仁质量均呈极显著负相关关系($P < 0.01$),单株饱满数与千克果数、千克仁数均呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。单株总结果数也与百果质量、百仁质量均呈极显著负相关关系($P < 0.01$),单株总结果数与千克果数、千克仁数均呈极显著正相关关系($P < 0.01$);单株饱满数、百果质量、百仁质量、千克果数、千克仁数、单株总结果数均为产量构成因素,在育种过程中应协同考虑。蛋白质含量、出米率与其他性状均不存在显著相关关系,说明这 2 个性状相对独立,在育种过程中需单独考虑。

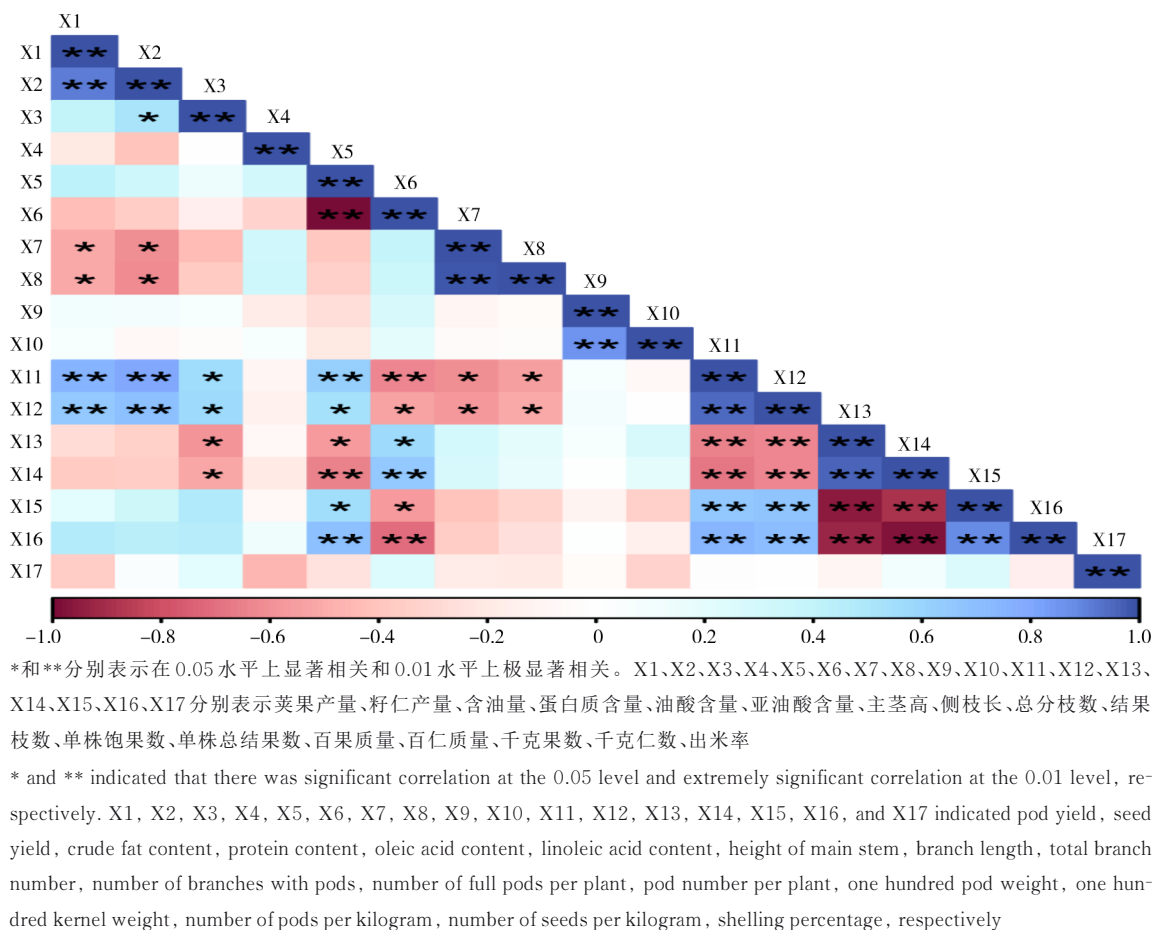


图2 参试品种各性状间的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis of traits of the test peanut varieties

2.4 参试品种主要性状的主成分分析及综合评价

2.4.1 主成分分析 为排除指标间的重叠信息,且尽可能多地反映参试品种的主要信息,根据相关性分析结果,对产量及产量构成因素、品质性状等进行主成分分析,结果如表4所示,共获得5个主成分,累计贡献率为90.01%,能够反映参试品种分析性状的主要信息。

第1主成分的特征值为7.745,贡献率为45.56%,特征向量绝对值较大的性状有千克仁数、千克果数、单株饱果数、单株总结果数、百果质量、百仁质量,其中为正值的性状有千克仁数、千克果数、单株饱果数、单株结果数,为负值的性状有百果质量和百仁质量,主要反映参试品种的结果情况以及荚果、籽仁特征。第2主成分的特征值为2.845,贡献率为16.74%,特征向量绝对值较大的性状为蛋白质含量,该主成分主要反映参试品种的品质信息。第3主成分的特征向量值为2.075,贡献率为12.20%,特征向量绝对值较大的性状为

出米率,可作为评价产量构成因素的综合指标。第4主成分、第5主成分的特征向量绝对值较大的性状分别为总分枝数、主茎高,主要反映参试品种的株型信息。

2.4.2 综合评价分析 参照魏源等^[1]的方法分别计算参试品种的综合评价得分。根据主成分特征向量和各指标标准化后的数据,得到5个主成分的得分方程。

第1主成分:

$$F_1 = 0.244 \times Z_1 + 0.258 \times Z_2 + 0.22 \times Z_3 - 0.015 \times Z_4 + 0.267 \times Z_5 - 0.269 \times Z_6 - 0.234 \times Z_7 - 0.21 \times Z_8 - 0.013 \times Z_9 - 0.063 \times Z_{10} + 0.333 \times Z_{11} + 0.314 \times Z_{12} - 0.297 \times Z_{13} - 0.303 \times Z_{14} + 0.296 \times Z_{15} + 0.319 \times Z_{16} - 0.004 \times Z_{17} \quad (1)$$

第2主成分:

$$F_2 = 0.233 \times Z_1 + 0.303 \times Z_2 + 0.117 \times Z_3 - 0.4 \times Z_4 - 0.231 \times Z_5 + 0.234 \times Z_6 - 0.313 \times Z_7 - 0.334 \times Z_8 + 0.315 \times Z_9 + 0.267 \times Z_{10} + 0.105 \times Z_{11} + 0.111 \times$$

$$Z_{12}+0.202 \times Z_{13}+0.228 \times Z_{14}-0.159 \times Z_{15}-0.18 \times Z_{16}+0.139 \times Z_{17} \quad (2)$$

第 3 主成分:

$$F_3=0.229 \times Z_1+0.003 \times Z_2-0.101 \times Z_3+0.323 \times Z_4+0.144 \times Z_5-0.145 \times Z_6+0.082 \times Z_7+0.097 \times Z_8+0.343 \times Z_9+0.501 \times Z_{10}+0.058 \times Z_{11}+0.046 \times Z_{12}+0.116 \times Z_{13}-0.028 \times Z_{14}-0.218 \times Z_{15}+0.072 \times Z_{16}-0.578 \times Z_{17} \quad (3)$$

第 4 主成分:

$$F_4=-0.233 \times Z_1-0.166 \times Z_2+0.268 \times Z_3-0.02 \times Z_4-0.28 \times Z_5+0.279 \times Z_6+0.175 \times Z_7+0.245 \times Z_8+0.474 \times Z_9+0.295 \times Z_{10}-0.017 \times Z_{11}+0.063 \times Z_{12}-0.299 \times Z_{13}-0.244 \times Z_{14}+0.246 \times Z_{15}+0.186 \times$$

$$Z_{16}+0.197 \times Z_{17} \quad (4)$$

第 5 主成分:

$$F_5=0.41 \times Z_1+0.359 \times Z_2+0.169 \times Z_3-0.152 \times Z_4-0.246 \times Z_5+0.244 \times Z_6+0.428 \times Z_7+0.409 \times Z_8-0.174 \times Z_9-0.26 \times Z_{10}+0.131 \times Z_{11}+0.099 \times Z_{12}-0.01 \times Z_{13}-0.038 \times Z_{14}-0.104 \times Z_{15}+0.025 \times Z_{16}-0.21 \times Z_{17} \quad (5)$$

其中, $Z_1、Z_2、Z_3、Z_4、Z_5、Z_6、Z_7、Z_8、Z_9、Z_{10}、Z_{11}、Z_{12}、Z_{13}、Z_{14}、Z_{15}、Z_{16}、Z_{17}$ 分别为荚果产量、籽仁产量、含油量、蛋白质含量、油酸含量、亚油酸含量、主茎高、侧枝长、总分枝数、结果枝数、单株饱果数、单株总结果数、百果质量、百仁质量、千克果数、千克仁数、出米率标准化后的值。

表 4 参试品种主要性状的主成分分析

Tab.4 Principal component analysis of main traits in the test peanut varieties

项目 Item	性状 Trait	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3	第 4 主成分 PC4	第 5 主成分 PC5
特征向量 Eigenvector	荚果产量 Pod yield	0.678	0.393	0.330	-0.298	0.411
	籽仁产量 Seed yield	0.718	0.511	0.004	-0.212	0.360
	含油量 Crude fat content	0.612	0.197	-0.145	0.342	0.170
	蛋白质含量 Protein content	-0.042	-0.674	0.465	-0.025	-0.153
	油酸含量 Oleic acid content	0.742	-0.389	0.208	-0.358	-0.247
	亚油酸含量 Linoleic acid content	-0.749	0.394	-0.209	0.356	0.245
	主茎高 Height of main stem	-0.650	-0.528	0.118	0.224	0.429
	侧枝长 Branch length	-0.585	-0.563	0.140	0.313	0.410
	总分枝数 Total branch number	-0.037	0.532	0.494	0.605	-0.175
	结果枝数 Number of branches with pods	-0.174	0.451	0.722	0.376	-0.261
	单株饱果数 Number of full pods per plant	0.926	0.177	0.084	-0.022	0.131
	单株总结果数 Pod number per plant	0.874	0.187	0.066	0.080	0.099
	百果质量 One hundred pod weight	-0.826	0.341	0.167	-0.382	-0.01
	百仁质量 One hundred kernel weight	-0.844	0.384	-0.041	-0.311	-0.038
千克果数 Number of pods per kilogram	0.824	-0.268	-0.314	0.314	-0.104	
千克仁数 Number of seeds per kilogram	0.888	-0.304	0.104	0.237	0.025	
出米率 Shelling percentage	-0.010	0.234	-0.832	0.252	-0.211	
特征值 Eigenvalue		7.745	2.845	2.075	1.630	1.007
方差百分率/ Variance percentage		45.560	16.735	12.203	9.589	5.922
累计贡献率/ Accumulative contribution rate		45.560	62.294	74.498	84.087	90.009
权重系数/ Weight coefficient		50.617	18.593	13.558	10.653	6.579

以 5 个主成分对应的方差贡献率为权重计算综合得分 D 值。

$$D=0.506 \times F_1+0.186 \times F_2+0.136 \times F_3+0.107 \times F_4+0.066 \times F_5 \quad (6)$$

从表 5 可以看出,在 35 个参试品种中,7 个品种的综合得分高于对照品种花育 33 号,分别为开农 113、冀花 311、濮花 75 号、濮花 73 号、山花大 2 号、冀农花 21 号、花育 9315,其中,开农 113、冀

花 311、濮花 75 号、濮花 73 号的荚果产量均大于 5 000 kg/hm²,表现出高产特性;同时,冀花 311、濮花 75 号、濮花 73 号的油酸含量大于 75%,为高产高油酸品种,与聚类分析结果一致。综合分析发现,在生产上开农 113、冀花 311、濮花 75 号、濮花 73 号等 4 个品种均适合在我国北方花生产区推广种植;在花生新品种培育中,均可作为综合性状优良的亲本优先考虑。

表 5 参试品种的主成分和综合得分

Tab.5 The principal components and comprehensive values of the test peanut varieties

品种 Variety	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	D	排序 Ranking
花育 33 号(CK) Huayu 33	-0.90	-0.88	-0.20	1.08	1.49	-0.43	8
花育 9315 Huayu 9315	-0.21	-1.19	-1.37	2.45	0.09	-0.24	7
花育 9513 Huayu 9513	-1.27	-0.59	0.87	-0.31	0.66	-0.62	9
花育 9514 Huayu 9514	-2.83	2.86	-0.38	-0.08	0.82	-0.91	13
花育 954 Huayu 954	-3.19	0.70	-0.06	-0.18	-1.76	-1.63	15
花育 959 Huayu 959	-1.77	0.00	0.61	1.56	-1.45	-0.74	10
花育 9810 Huayu 9810	-3.44	-3.74	0.96	0.33	-0.22	-2.28	16
冀花 311 Jihua 311	4.15	0.94	-0.21	-0.54	-0.32	2.17	2
冀农花 21 号 Jinonghua 21	3.10	-1.70	-2.01	-0.32	0.76	0.99	6
开农 113 Kainong 113	2.64	3.22	0.89	2.14	0.33	2.31	1
濮花 73 号 Puhua 73	2.29	-0.20	3.58	-0.69	-0.86	1.48	4
濮花 75 号 Puhua 75	3.98	-1.03	0.74	-0.15	0.70	1.95	3
山花大 1 号 Shanhuada 1	-1.14	0.78	-2.31	-0.14	-0.72	-0.81	11
山花大 2 号 Shanhuada 2	3.45	-0.59	-1.51	-1.55	-1.28	1.18	5
烟农花 8 号 Yannonghua 8	-3.01	1.09	-0.54	-2.13	0.25	-1.61	14
烟农花 9 号 Yannonghua 9	-1.86	0.33	0.93	-1.47	1.51	-0.81	11

3 结论与讨论

遗传多样性与遗传变异密不可分,遗传变异

越大,遗传多样性越丰富,丰富的遗传多样性是作物遗传改良的前提和基础,是提高育成品种适应性的关键^[12-13]。变异系数和遗传多样性指数是评价试验材料遗传变异的重要指标,二者的值越大,品种间遗传差异越大,品种选择潜力越大^[14-15]。本研究对 2020、2021 年均参加国家北方地区大粒组花生新品种多点试验的 16 个品种的主要农艺性状、品质性状及产量的遗传多样性进行分析,结果显示,其 2 a 变异系数范围分别为 1.93%~52.40%、2.29%~57.00%,遗传多样性指数(H')为 1.35~1.98,表明参试品种调查性状总体遗传多样性丰富。2 a 中亚油酸含量、油酸含量的变异系数较大,分别为 52.4%、23.86% 和 57.08%、26.96%,且其遗传多样性指数 H' 均为 1.84,高于平均值(1.78),表明这 2 个性状在参试品种中遗传多样性丰富,根据当前我国高油酸花生(油酸含量>75%)划分标准^[16],参试品种中既有高油酸品种,也包括非高油酸普通品种。出米率的变异系数较小,且其 H' 低于平均值,表明出米率在参试品种间相对稳定,多样性较低,这与张小利等^[9]、薛云云等^[17]、范小玉等^[18-19]的研究结果一致。另外,有些指标的变异系数和遗传多样性指数不具有协同关系,如含油量、籽仁产量等,其遗传多样性指数较高,但其变异系数较小,这与刘勇等^[20]的研究结论一致,表明一些性状具有独特的遗传特性。

聚类分析是将样本按照一定的规则划分成若干个类簇,同一类簇具有相似特征,从而揭示样本之间内在的性质以及相互之间的联系,在作物育种及品种特征研究中被广泛应用^[21-23]。本研究中,根据 17 个性状的数据在欧氏距离 9.6 处将 16 个花生品种分为 4 大类,Ⅰ~Ⅳ类群的典型特征分别为荚果与籽仁较大、株型较高、高产、高油酸、株型较矮且高产,各类群品种数占比分别为 56.25%、6.25%、31.25%、6.25%。当前生产上,高产仍是品种选择的重要因素,同时随着生活水平的提高,优良的品质也成为品种选择的另一重要考虑因素。因此,本研究中类群Ⅲ、Ⅳ的品种在实际生产中以及优异亲本选配时开发利用价值较高。

在花生品种的选择过程中,农艺性状、品质性状、产量性状等均是重要的参考因素,由相关性分析结果可知,各性状之间相互关联、相互影响,单方面的评价往往存在一定的片面性,因此采用合适的分析方法对花生品种进行全面客观的综合评

价具有重要意义。主成分分析法是一种降维算法,在保留原始数据的基础上,将相互关联的多个指标通过降维简化为少数几个由线性组合所构成的主成分,这些主成分彼此独立,能反映原始数据大部分信息^[24],该方法已在玉米^[25]、棉花^[26]、水培生菜^[27]、谷子^[28]等作物研究中被广泛应用。本研究在相关性分析的基础上,对 16 个花生品种的 17 个性状进行主成分分析,结果显示,共获得 5 个主成分,它们的累计贡献率为 90.01%,能够反映参试品种分析性状的主要信息。其中第 1、3 主成分主要反映荚果、籽仁特征及产量构成因素的信息,第 2 主成分主要反映品质性状信息,第 4、5 主成分主要反映株型性状。根据主成分得分及标准化后的数据计算各品种的综合得分,结合当前生产中高产、优质的育种目标得出,适宜在我国北方地区推广种植的花生品种依次为开农 113、冀花 311、濮花 75 号、濮花 73 号。

2020、2021 年参加国家北方地区大粒组花生新品种多点试验的花生新品种遗传多样性丰富,遗传多样性指数均大于 1,2 a 平均变异系数范围为 2.34%~54.74%。参试的 16 个品种可聚类为四大类群,各类群侧重的性状各有不同。主成分分析从 17 个性状中提取出 5 个主成分,累计贡献率为 90.01%,反映参试品种主要性状的大部分信息。开农 113、冀花 311、濮花 75 号、濮花 73 号的综合得分较高,且符合当前生产中的育种需求,适合在我国北方地区花生产区推广种植,且可作为亲本在新品种选育时优先选用。本研究仅针对国家北方地区大粒花生新品种 2 a 试验数据进行分析,具有一定的局限性,今后将进一步扩大花生新品种研究范围,助推优异花生新品种的推广种植。

参考文献:

- [1] 王瑞元. 2018/2019 年度全球油料油脂产销情况及预测[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 1-4.
WANG R Y. Global oilcrops and oil production and sales situation in 2018/2019 and forecast[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(8): 1-4.
- [2] 梁煜莹, 张加羽, 姜晓, 等. 花生品质与气候环境的关系研究[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(2): 227-244.
LIANG Y Y, ZHANG J Y, JIANG X, et al. Study on the relationship between peanut quality and climatic environments[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(2): 227-244.
- [3] 朱艳彬, 樊晓琴, 吉闻天, 等. 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的西北春玉米品种区域试验综合评价[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(12): 15-24.
ZHU Y B, FAN X Q, JI W T, et al. Comprehensive evaluation of regional trials for the spring maize hybrids in northwest China based on AMMI model and GGE biplot[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(12): 15-24.
- [4] 加依娜·吾永巴衣, 胡文明, 阿迪里·托乎尼亚孜, 等. 基于质量和数量性状混合的高粱遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(2): 73-76.
JIAYINA W, HU W M, ADILI T, et al. Analysis of genetic diversity of *Sorghum* based on quality and quantitative traits[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(2): 73-76.
- [5] 成良强, 郭建斌, 吕建伟, 等. 30 份红皮花生资源的品质性状分析[J]. 花生学报, 2022, 51(1): 42-48.
CHENG L Q, GUO J B, LÜ J W, et al. Analysis on quality traits of 30 red-skinned peanut resources[J]. Journal of Peanut Science, 2022, 51(1): 42-48.
- [6] 刘艳华, 赵文涛, 窦玉青, 等. 基于主成分分析的不同类型烟叶加热卷烟感官质量评价[J]. 烟草科技, 2023, 56(10): 82-88.
LIU Y H, ZHAO W T, DOU Y Q, et al. Principal component analysis on sensory quality of heated tobacco products made from different types of tobacco leaves[J]. Tobacco Science & Technology, 2023, 56(10): 82-88.
- [7] 李资文, 周伟, 李岩, 等. 199 份高粱种质资源农艺性状综合分析[J]. 种子, 2023, 42(1): 70-78.
LI Z W, ZHOU W, LI Y, et al. Comprehensive analysis on agronomic traits of 199 *Sorghum* germplasm resources[J]. Seed, 2023, 42(1): 70-78.
- [8] 杜晓宇, 李楠楠, 邹少奎, 等. 黄淮南片新育成小麦品种(系)主要性状的综合性分析[J]. 作物杂志, 2021(4): 38-45.
DU X Y, LI N N, ZOU S K, et al. Comprehensive analysis of main traits of newly bred wheat varieties (lines) in southern Huang-Huai region[J]. Crops, 2021(4): 38-45.
- [9] 张小利, 朱灵龙, 李付振, 等. 115 份花生种质资源农艺与品质性状鉴别及分析[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(9): 2033-2044.
ZHANG X L, ZHU L L, LI F Z, et al. Evaluation and analysis of agronomic and quality traits of 115 peanut germplasm resources[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2023, 35(9): 2033-2044.
- [10] 郭敏杰, 邓丽, 李玉荣, 等. 基于主成分和聚类分析的冀花高油酸花生品种综合评价[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(6): 1210-1217.
GUO M J, DENG L, LI Y R, et al. Comprehensive evaluation of Jihua peanut varieties with high oleic acid based on principal component and cluster analysis[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2022, 44(6): 1210-1217.
- [11] 魏源, 吕梦炀, 马亚特, 等. 基于 3 种分析方法的板栗果实营养品质综合评价[J]. 河南农业科学, 2023, 52(6): 111-119.
WEI Y, LÜ M Y, MA Y T, et al. Comprehensive evaluation of the nutritional quality of chestnut based on three methods[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(6): 111-119.
- [12] 于沐, 胡延岭, 杨海棠. 86 份花生种质资源主要表型性状的鉴别及分析[J]. 河南农业科学, 2024, 53(10): 63-72.
YU M, HU Y L, YANG H T, et al. Evaluation and analysis of the main phenotypic traits of 86 peanut germplasm resources[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2024, 53(10):

- 63-72.
- [13] 张凡,杨春玲,刘国涛.近年来黄淮南片育成小麦品种(系)农艺、产量及品质性状综合分析与评价[J].江苏农业科学,2022,50(21):90-97.
ZHANG F, YANG C L, LIU G T. Comprehensive analysis and assessment on agronomy, yield and quality traits of bred wheat varieties (lines) in southern Huang-Huai region in recent years[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50 (21) : 90-97.
- [14] 梁森苗,张淑文,郑锡良,等.杨梅生长指标与果实品质间的相关性分析[J].核农学报,2019,33(4):751-758.
LIANG S M, ZHANG S W, ZHENG X L, et al. Correlation between growth indexes and fruit quality traits of Chinese bayberry (*Myrica rubra* sieb.et zucc.)[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(4) : 751-758.
- [15] 谢向誉,尚小红,严华兵,等.广西地方食用木薯种质资源遗传多样性分析[J].核农学报,2020,34(11):2397-2406.
XIE X Y, SHANG X H, YAN H B, et al. Genetic diversity analysis of edible cassava landraces in Guangxi[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(11) : 2397-2406.
- [16] 王传堂,于树涛,朱立贵.中国高油酸花生[M].上海:上海科学技术出版社,2021.
WANG C T, YU S T, ZHU L G. High oleic acid peanuts in China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2021.
- [17] 薛云云,田跃霞,张鑫,等.72份山西花生资源主要农艺和品质性状分析[J].花生学报,2020,49(4):31-37.
XUE Y Y, TIAN Y X, ZHANG X, et al. Analysis on main agronomic and quality traits of 72 peanut resources in Shanxi of China[J]. Journal of Peanut Science, 2020, 49(4) : 31-37.
- [18] 范小玉,陈雷,贺群领,等.黄淮海中南片小粒花生主要农艺性状、品质性状相关性分析及主成分分析[J].山东农业科学,2021,53(1):20-25.
FAN X Y, CHEN L, HE Q L, et al. Correlation and principle component analyses among main agronomic and quality traits of small-seed peanut in the Huanghe-Huaihe-Haihe central and southern regions[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(1) : 20-25.
- [19] 范小玉,贺群领,陈雷,等.河南省夏播花生主要品质性状及农艺性状的综合评价[J].山东农业科学,2019,51(5):24-28.
FAN X Y, HE Q L, CHEN L, et al. Comprehensive evaluation of main quality and agronomic traits of summer peanut in Henan province[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51 (5) : 24-28.
- [20] 刘勇,叶鹏盛,韦树谷,等.41份绿豆种质资源遗传多样性分析及抗病性鉴定[J].科技导报,2023,41(16):89-99.
LIU Y, YE P S, WEI S G, et al. Genetic diversity analysis and disease resistance identification of 41 mung bean germplasm resources[J]. Science & Technology Review, 2023, 41 (16) : 89-99.
- [21] 王自力,张北举,李魁印,等.高粱种质资源表型性状多样性分析及综合评价[J].江苏农业科学,2022,50(18):115-121.
WANG Z L, ZHANG B J, LI K Y, et al. Diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits of *Sorghum* germplasm resources[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(18) : 115-121.
- [22] 李洁,刘伟,杨宜红,等.35个花生品种荚果自然脱水速率比较分析与综合评价[J].分子植物育种,2023,21(18):6232-6243.
LI J, LIU W, YANG Y H, et al. Comparative analysis and comprehensive evaluation of the natural dehydration rate of pods of 35 peanut cultivars[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(18) : 6232-6243.
- [23] 徐晓,杨梦颖,满全财,等.195份马铃薯种质资源表型性状综合评价[J].核农学报,2023,37(9):1710-1722.
XU X, YANG M Y, MAN Q C, et al. Comprehensive evaluation on phenotypic traits of 195 potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(9) : 1710-1722.
- [24] 何晓群.多元统计分析[M].北京:中国人民大学出版社,2004.
HE X Q. Multivariate statistical analysis[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2004.
- [25] 余忠浩,周亚星,周伟,等.2002—2021年内蒙古自治区普通玉米审定品种性状演变及综合分析[J].种子,2022,41(10):139-148.
YU Z H, ZHOU Y X, ZHOU W, et al. Variety trait evolution approval and comprehensive analysis of common maize in Inner Mongolia autonomous region from 2002 to 2021[J]. Seed, 2022, 41(10) : 139-148.
- [26] 逯涛,曾庆涛,张文,等.主成分分析及灰色关联度分析综合评价棉花产量与品质[J].新疆农业科学,2023,60(5):1099-1109.
LU T, ZENG Q T, ZHANG W, et al. Comprehensive evaluation of cotton yield and quality by principal component analysis and grey correlation analysis[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2023, 60(5) : 1099-1109.
- [27] 曹彩红,曹玲玲,田雅楠,等.基于主成分分析和聚类分析的水培生菜品种综合评价[J].中国瓜菜,2023,36(9):87-93.
CAO C H, CAO L L, TIAN Y N, et al. Comprehensive evaluation of hydroponically grown lettuce varieties based on principal component analysis and cluster analysis[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(9) : 87-93.
- [28] 王淑君,解慧芳,邢璐,等.基于主成分分析和灰色关联度分析的谷子品种(系)综合评价[J].江苏农业科学,2023,51(15):42-49.
WANG S J, XIE H F, XING L, et al. Comprehensive evaluation of foxtail millet varieties (lines) based on principal component analysis and grey relational degree analysis[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(15) : 42-49.