

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2026.55041

不同花生品种(系)耐盐碱性田间鉴定及各性状指标相关性研究

迟晓元^{1,**} 刘庆^{1,2,**} 张君² 赵旭红¹ 李美³ 于天一¹ 潘丽娟¹
许静¹ 姜骁¹ 殷祥贞¹ 马俊卿¹ 陈娜^{1,*}

¹ 山东省花生育种重点实验室 / 山东省花生研究所, 山东青岛 266100; ² 吉林农业大学, 吉林长春 130118; ³ 东营市农业综合服务中心, 山东东营 257091

摘要: 为了鉴定优质、耐盐碱的花生品种(系), 本研究连续 2 年在黄河三角洲试验基地种植 29 个花生品种(系), 并对它们的农艺性状和产量、品质性状进行了研究, 利用主成分、隶属函数和系统聚类分析鉴定优质耐盐碱的花生品种(系)。结果表明, 油亚比和亚油酸含量变异最大, 而脂肪和蛋白质含量及出仁率的变异较小; 主茎高和侧枝长分别与荚果产量和籽仁产量呈极显著正相关, 油酸和亚油酸含量分别与百仁重呈显著负相关和正相关关系; 花生的产量性状(出仁率、荚果产量、籽仁产量)与农艺性状(结果枝数、主茎高、侧枝长)和品质性状(蛋白质含量、脂肪含量、油酸含量、亚油酸含量)均相关。综合分析结果表明, P16-22、花育 9147、花育 9141、花育 9118、花育 9121、花育 60、花育 9125 和花育 9124 在盐碱地表现优异, 花育 656、P18-82、P18-43 和 P17-18 在盐碱地表现较差, 且前者的荚果产量和籽仁产量显著大于后者。本研究结果可为花生耐盐碱育种亲本选择及特异种质资源筛选提供材料。

关键词: 花生品种(系); 耐盐碱; 农艺性状; 产量; 品质; 综合分析

Field evaluation of salt-alkaline tolerance and trait correlation analysis in different peanut varieties (lines)

Chi Xiao-Yuan^{1,**}, Liu Qing^{1,2,**}, Zhang Jun², Zhao Xu-Hong¹, Li Mei³, Yu Tian-Yi¹, Pan Li-Juan¹, Xu Jing¹, Jiang Xiao¹, Yin Xiang-Zhen¹, Ma Jun-Qing¹, and Chen Na^{1,*}

¹ Shandong Key Laboratory of Peanut Breeding / Shandong Peanut Research Institute, Qingdao 266100, Shandong, China; ² Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China; ³ Dongying Agricultural Integrated Service Center, Dongying 257091, Shandong, China

Abstract: To identify high-quality peanut varieties (lines) with tolerance to salt-alkaline stress, 29 peanut varieties (lines) were cultivated over two consecutive years at an experimental site in the Yellow River Delta. Their agronomic characteristics, as well as yield and quality traits, were systematically evaluated. A comprehensive screening approach combining principal component analysis

本研究由山东省重点研发计划(竞争性创新平台)项目(2025CXPT167), 泰山学者工程项目(NO.tstp20240523, NO.tsqn202312292), 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13), 山东省自然科学基金项目(ZR2023QC146, ZR2023QC177), 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02008-3), 农业农村部油料作物生物学与遗传育种重点实验室项目(KF2024007), 山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2025F19, CXGC2025C19), 山东省农业科学院齐鲁农科英才工程(创新类)项目, 山东省重点研发计划项目(2024LZGC035)和东营市科技创新重大专项科技发展指导计划项目(2024ZDJH100)资助。

This study was supported by Key R&D Program of Shandong Province (Competitive Innovation Platform) (2025CXPT167) China, the Taishan Scholar Project Funding (NO.tstp20240523, NO.tsqn202312292), the China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-13), the Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2023QC146, ZR2023QC177), the Major Scientific and Technological Project in Xinjiang (2022A02008-3), the Open Project of Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (KF2024007), the Agricultural Science and Technology Innovation Project of Shandong Academy of Agricultural Sciences (CXGC2025F19, CXGC2025C19), the Qilu Agricultural Talent Project (Innovative Category) of Shandong Academy of Agricultural Sciences, Shandong Province Key Research and Development Program Project (2024LZGC035), and the Science and Technology Development Guidance Plan of Dongying Major Science and Technology Innovation Project (2024ZDJH100).

* 通信作者(Corresponding author): 陈娜, E-mail: chenna7948@163.com

** 同等贡献(Contributed equally to this work)

第一作者联系方式: E-mail: chi000@126.com

Received (收稿日期): 2025-06-29; Accepted (接受日期): 2025-09-10; Published online (网络出版日期): 2025-09-23.

URL: <https://link.cnki.net/urlid/11.1809.S.20250923.1201.002>

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

(PCA), membership function analysis, and hierarchical cluster analysis was used to identify superior salt-alkaline-tolerant varieties. The results revealed that the oleic acid to linoleic acid ratio (O/L ratio) and linoleic acid content showed the greatest variation, while fat content, protein content, and shelling percentage exhibited relatively smaller differences. Main stem height and lateral branch length were significantly positively correlated with pod yield and kernel yield, respectively. Oleic acid content was significantly negatively correlated with 100-kernel weight, whereas linoleic acid content showed a significant positive correlation. Peanut yield traits (kernel rate, pod yield, and kernel yield) were closely associated with both agronomic traits (number of fruiting branches, main stem height, lateral branch length) and quality traits (protein content, fat content, oleic acid content, and linoleic acid content). Comprehensive analysis indicated that varieties P16-22, Huayu 9147, Huayu 9141, Huayu 9118, Huayu 9121, Huayu 60, Huayu 9125, and Huayu 9124 performed exceptionally well in saline-alkali soil conditions, whereas Huayu 656, P18-82, P18-43, and P17-18 showed poor adaptability. The former group produced significantly higher pod and kernel yields than the latter. These findings provide valuable genetic resources for breeding salt-alkaline-tolerant peanut varieties and offer useful references for parental selection in future breeding programs.

Keywords: peanut varieties (lines); salt-alkali tolerance; agronomic traits; yield; quality; comprehensive analysis

花生(*Arachis hypogaea* L.)是我国重要的油料和经济作物,在食用植物油和植物蛋白中占据重要地位^[1-3]。随着人民生活水平的提升,优质花生食用油市场需求不断扩大,对花生产量的要求也不断提高^[4-6]。目前,我国食用油自给率仅为 39%,大约 60%以上食用油或其原料依赖进口。花生含油率高达 50%以上,是我国提高食用油自给率最具优势的作物^[7],因此提高花生产量对保障国家粮油安全具有重要意义。

土壤盐碱化会导致土质退化、土壤板结、作物减产等一系列问题,已成为制约我国农业发展的主要因素之一^[8]。花生属于中度耐盐作物,在盐碱度 0.3%以下的土壤条件下仍能维持较高产量^[9]。我国共有各类盐碱地约 9910 万公顷^[10],在盐碱地因地制宜栽培耐盐碱花生既可以缓解粮-油作物的争地矛盾,也可以提高花生的总产量,在保障国家食用油安全方面发挥积极作用。

盐碱胁迫对花生的生长和生产带来很多不利影响。例如当土壤含盐量超过 0.45%时,花生的出苗受到严重影响^[11],花生成株后盐碱土壤会抑制植株生长,导致叶片黄化和干枯,降低果针数目等^[12]。为了减轻盐碱地对花生生长和产量的影响,研究人员基于不同的方法对花生的耐盐碱性进行了研究,例如对耐盐碱花生种质资源耐盐碱性状的鉴定与评价等^[13-15]。也有通过不同盐碱混合溶液模拟盐碱胁迫环境对花生萌发期和苗期表型进行研究,发现花生不同生长时期对盐碱的耐受能力不同,并利用隶属函数法对花生的耐盐碱性进行评价^[16]。张智猛等^[17]通过盆栽试验对花生萌发期和苗期不同性状进行分析,利用隶属函数综合得分的大小将花生品种的耐盐碱性进行排序并把它们划分成不同的耐盐碱类型。许婷婷等^[18]为了筛选优质、耐碱的花生品种,把花生品种种植在盐碱地,通过分析它们的产量和品质,最终筛选出了 5 个耐盐碱花生品种。为了更

加全面地评价花生的耐盐碱性,闫彩霞等^[19]研究了盐碱胁迫下花生全生育期的性状变化,并基于测定性状通过系统聚类分析对不同花生耐盐碱性进行了划分。

研究学者们对花生品种的评价开展了大量工作,但是花生耐盐碱品种的鉴定主要集中于某一时期或某一方面性状,而对盐碱地花生的农艺、产量和品质性状综合评价方面研究较少。难以全面评估品种的优劣。为了研究盐碱环境中不同花生品种(系)的生长、产量和品质差异,鉴定优质、耐盐碱花生品种(系),本文以 29 份花生品种(系)为材料,连续 2 年在盐碱地种植并测定农艺性状、产量性状和品质性状,分析它们在品种(系)间的差异及各个性状之间的关系,综合利用主成分分析法、隶属函数法和聚类分析鉴定耐盐碱和盐碱敏感花生品种(系),最后研究了它们的耐盐碱相关指标。本研究结果将给耐盐碱花生筛选和品种培育提供优异材料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究共选用 29 份花生材料,其中 11 份为花生品系,18 份为花生品种(表 1)。

1.2 试验地概况

试验地位于山东省农业科学院黄河三角洲试验基地(37°31'N, 118°58'E),土壤类型属于典型的盐渍化潮土。花生种植前,通过五点取样法收集田间 0~20 cm 土层的土壤样品,并对土样进行测定。2020 年土壤平均 pH 值为 8.34,平均有机质含量为 17.40 g kg⁻¹,盐分含量为 2.46‰;2021 年土壤平均 pH 值为 8.0,平均有机质含量为 12.35 g kg⁻¹,盐分含量为 4.14‰。2020 年(5 月至 9 月)月平均降水量为 110.14 mm,平均气温为 24.28℃;2021 年(5 月至 9 月)月平均降水量为 120.3 mm,平均气温为 24.44℃。

表 1 供试花生品种(系)信息

Table 1 Information on the tested peanut varieties (lines)

编号 No.	名称 Name	类型 Type	编号 No.	名称 Name	类型 Type	编号 No.	名称 Name	类型 Type
1	P16-22	品系 lines	11	P18-82	品系 Lines	21	花育 9119 Huayu 9119	品种 Variety
2	P17-16	品系 lines	12	花育 32 Huayu 32	品种 Variety	22	花育 9121 Huayu 9121	品种 Variety
3	P17-18	品系 lines	13	花育 60 Huayu 60	品种 Variety	23	花育 9123 Huayu 9123	品种 Variety
4	P17-23	品系 lines	14	花育 656 Huayu 656	品种 Variety	24	花育 9124 Huayu 9124	品种 Variety
5	P17-33	品系 lines	15	花育 917 Huayu 917	品种 Variety	25	花育 9125 Huayu 9125	品种 Variety
6	P17-127	品系 lines	16	花育 9111 Huayu 9111	品种 Variety	26	花育 9141 Huayu 9141	品种 Variety
7	P18-43	品系 lines	17	花育 9112 Huayu 9112	品种 Variety	27	花育 9147 Huayu 9147	品种 Variety
8	P18-60	品系 lines	18	花育 9115 Huayu 9115	品种 Variety	28	中花 215 Zhonghua 215	品种 Variety
9	P18-61	品系 lines	19	花育 9116 Huayu 9116	品种 Variety	29	宇花 51 Yuhua 51	品种 Variety
10	P18-80	品系 lines	20	花育 9118 Huayu 9118	品种 Variety			

1.3 试验设计

本研究采用完全随机区组试验设计, 每个品种(系)种植一个小区, 小区面积 10 m², 每个品种(系)设置 2 个重复。采用起垄覆膜种植, 垄宽 0.85 m, 垄长 3.85 m, 人工播种。每垄种植 2 行, 行距 0.33 m, 穴距 0.15 m, 每穴 2 粒。施肥、浇水、病虫防治、除草等田间管理按常规进行。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性状和产量测定 在 2020 年和 2021 年 9 月, 分别在每个小区内随机选取 3 株花生, 依据《花生种质资源描述规范和数据标准》的方法测定主茎高、侧枝长、分枝数和结果枝数。在 9 月下旬, 分别收获每个小区内的所有花生荚果并自然晾干, 称量小区产量。根据小区面积、产量估算荚果产量。测定每个品种的百果重、百仁重、出仁率等指标。根据荚果产量和出仁率推算籽仁产量。

1.4.2 品质性状测定 使用傅里叶变换红外光谱仪采集近红外光谱(near infrared spectrum instrument, NIRS), 通过近红外光谱分析每个花生品种(系)籽仁蛋白质、脂肪、油酸、亚油酸等成分含量^[20-21], 每次测定选用 30~40 粒籽仁。

1.5 数据分析

为研究花生在盐碱地上的各农艺性状、产量性状和品质性状表现特征, 分别进行变异分析、相关性分析、多元线性回归分析和主成分分析。花生耐盐碱性综合鉴定评价主要采取隶属函数法、主成分分析法和系统聚类。

$$\text{隶属函数值: } \mu(X_{i,j}) = \frac{X_{i,j} - X_{i,j,\min}}{X_{i,j,\max} - X_{i,j,\min}} \quad (1)$$

式中, $\mu(X_{i,j})$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标隶属函数值,

$X_{i,j}$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标得分值, $X_{i,j,\max}$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标最大值, $X_{i,j,\min}$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标最小值。

$$\text{权重值: } W_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{\sum_{j=1}^n P_{i,j}} \quad (2)$$

式中, $W_{i,j}$ 表示第 i 个品种第 j 个综合指标权重, $P_{i,j}$ 表示第 i 个品种第 j 个综合指标贡献率。

$$\text{综合得分值 } D \text{ 值: } D_i = \sum_{j=1}^n (\mu_{i,j} \times W_{i,j}) \quad (3)$$

式中, D_i 为第 i 个品种耐盐碱能力的综合值, $\mu_{i,j}$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标隶属函数值, $W_{i,j}$ 为第 i 个品种第 j 个综合指标的权重。

为了研究在盐碱地中耐盐碱型和盐碱敏感型 2 类花生各性状差异性, 由 3 种方法获得综合表现优异的花生为耐盐碱型, 标记为 T, 综合表现较差的花生为盐碱敏感型, 标记为 S, 分别对 2 类花生的各测定性状进行单因素方差分析, 研究 2 类花生在盐碱地上各测定指标差异。

Excel 2022 用于进行数据汇总和统计, SPSS 27 软件和 Origin 软件用于进行变异分析、相关性分析和聚类分析及图片绘制。

2 结果与分析

2.1 各性状变异分析

为探究盐碱胁迫对花生生长的影响, 连续 2 年对花生性状进行分析(表 2)。结果显示, 2020 年各性状变异系数为 2.35%~98.19%, 由大至小表现为亚油酸含量>油亚比>分枝数>结果枝数>主茎高>籽仁产量>荚果产量>侧枝长>百果重>百仁重>油酸含量>

蛋白质含量>出仁率>脂肪含量, 2021 年各性状变异系数为 2.97%~74.31%, 由大至小表现为亚油酸含量>油亚比>籽仁产量>荚果产量>主茎高>侧枝长>结果枝数>百果重>百仁重>分枝数>蛋白质含量>油酸含量>出仁率>脂肪含量。亚油酸含量和油亚比在品

种(系)之间变异较大, 2 年的变异系数均在 70%以上, 表明这 2 个指标对品种(系)的区分度较强, 是基于品质筛选品种(系)的良好指标。脂肪含量、出仁率和蛋白质含量在品种(系)之间变异较小, 2 年的变异系数均在 10%以下, 表明花生品种间差异较小。

表 2 供试花生品种(系)在盐碱地上的生长和品质表现

Table 2 Growth and quality of peanut varieties (lines) in saline-alkali land

性状 Index	2020					2021				
	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S.D.	变异系数 CV (%)	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S.D.	变异系数 CV (%)
主茎高 MSH	24.00	52.33	38.09	7.37	19.35	15.25	50.00	33.97	10.11	29.75
侧枝长 BL	27.33	56.33	44.43	7.26	16.34	18.75	56.50	40.01	10.18	25.45
分枝数 NB	5.00	21.00	8.85	3.04	34.37	5.25	8.75	7.48	0.88	11.78
结果枝数 NBP	5.00	17.33	7.57	2.44	32.16	4.00	7.75	6.37	0.86	13.46
百果重 PW	106.00	306.00	261.10	38.48	14.74	136.00	310.00	264.97	32.72	12.35
百仁重 SW	46.00	130.00	108.97	16.04	14.72	52.00	104.00	90.41	10.80	11.95
出仁率 SP	59.20	69.40	64.90	2.22	3.42	57.20	71.40	64.37	3.78	5.87
荚果产量 PY	187.92	363.01	285.08	48.39	16.97	143.29	459.75	318.12	101.80	32.00
籽仁产量 KY	126.51	241.01	185.22	31.71	17.12	85.69	315.60	207.01	70.35	33.98
蛋白质含量 PC	24.11	29.76	26.92	1.17	4.36	17.16	25.41	21.63	2.12	9.80
脂肪含量 OC	50.83	57.08	54.11	1.27	2.35	51.41	56.71	53.38	1.58	2.97
油酸含量 OAC	47.45	86.02	77.95	8.15	10.46	61.43	86.21	78.80	6.14	7.79
亚油酸含量 LAC	1.16	27.49	6.52	6.40	98.19	1.56	22.79	7.08	5.26	74.31
油亚比 O/L	1.42	72.76	22.11	15.56	70.38	2.70	55.32	18.29	13.36	73.09

MSH: main stem height; BL: branch length; NB: number of branches; NBP: number of branches with pods; PW: 100-pod weight; SW: 100-seed weight; SP: shelling percentage; PY: pod yield; KY: kernel yield; PC: protein content; OC: oil content; OAC: oleic acid content; LAC: linoleic acid content; O/L: oleic/linoleic.

2.2 相关性分析

为了研究盐碱地上花生各性状之间的关系, 对测定性状进行了皮尔逊相关性分析。结果表明, 主茎高与侧枝长、荚果产量和籽仁产量呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.950, 0.720 和 0.674; 主茎高与结果枝数呈显著正相关($P < 0.05$), 相关系数为 0.449。侧枝长与荚果产量和籽仁产量呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.713 和 0.654; 侧枝长与结果枝数呈显著正相关($P < 0.05$), 相关系数为 0.429。分枝数与结果枝数呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数为 0.941。百果重与百仁重、荚果产量和籽仁产量呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.866, 0.553 和 0.481。百仁重与荚果产量呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数为 0.508; 与籽仁产量和亚油酸含量呈显著正相关($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.442 和 0.381; 与油酸含量呈显著负相关($P < 0.05$),

相关系数为-0.376。荚果产量与籽仁产量呈极显著正相关($P < 0.01$), 相关系数为 0.983。在品质性状中, 蛋白质含量与脂肪含量呈极显著负相关($P < 0.01$), 相关系数为-0.829; 油酸含量与亚油酸含量呈极显著负相关($P < 0.01$), 相关系数为-0.998 (表 3)。

2.3 多元线性回归分析

为研究农艺性状、品质性状与产量性状的回归关系, 分别以花生品种(系)的百果重(Y_1)、百仁重(Y_2)、出仁率(Y_3)、荚果产量(Y_4)、籽仁产量(Y_5)为因变量, 主茎高(X_1)、侧枝长(X_2)、分枝数(X_3)、结果枝数(X_4)、蛋白质含量(X_5)、脂肪含量(X_6)、油酸含量(X_7)、亚油酸含量(X_8)和油亚比(X_9)为自变量进行多元线性回归分析。

结果显示, 出仁率与结果枝数、蛋白质含量和脂肪含量具有显著的线性回归关系, 它们之间建立的回归方程为 $Y_3 = 0.96X_4 + 2.42X_5 + 0.73X_6 - 147.67$ ($R^2 =$

0.55, $P < 0.01$)。荚果产量与主茎高、侧枝长、蛋白质含量、脂肪含量、油酸含量和亚油酸含量具有显著的线性回归关系, 它们之间建立的回归方程为 $Y_4 = 4.35X_1 + 4.11X_2 + 38.69X_3 + 25.06X_6 + 68.54X_7 + 77.37X_8 + 0.27X_9 - 8222.36$ ($R^2 = 0.77$, $P < 0.01$)。籽仁产量与主茎高、蛋白质含量、脂肪含量、油酸含量和亚油酸含量具有显著的线性回归关系, 它们之间建立的回归方程为 $Y_5 = -5.65X_1 + 30.53X_3 + 21.67X_6 + 46.25X_7 + 52.15X_8 + 0.20X_9 + 5899.98$ ($R^2 = 0.74$, $P < 0.01$)。这些结果表明, 花生的产量性状(出仁率、荚果产量、籽仁产量)与农艺性状(结果枝数、主茎高、侧枝长)和品质性状(蛋白质含量、脂肪含量、油酸含量、亚油酸含量)均相关。

2.4 主成分分析

对 29 个花生品种(系)的 13 个性状进行主成分分析, 结果表明前 5 个主成分(分别用 F1、F2、F3、F4 和 F5 表示)的累计贡献率达到了 88.08%, 说明这 5 个主成分可以解释所有性状产生的变异。第 1 主成

分在主茎高、侧枝长、分枝数、结果枝数、百果重、百仁重、荚果产量、籽仁产量上具有较高的载荷量, 可概括为农艺和产量综合指标; 第 2 主成分在油酸和亚油酸含量上具有较高的载荷量, 可概括为油酸选择指标; 第 3 主成分在出仁率上具有较高的载荷量, 可概括为油脂的抗氧化稳定性指标; 第 4 主成分在蛋白质和脂肪上具有较高的载荷量, 可概括为营养品质指标; 第 5 主成分在出仁率上具有较高的载荷量, 可定义为籽仁产量指标。

第 1 主成分和第 2 主成分累积贡献率达到 49.71%, 占前 5 个主成分累积贡献率的 56.44% (表 4)。第 1 主成分与主茎高、侧枝长、分枝数、结果枝数、百果重、百仁重、荚果产量、籽仁产量都呈正相关关系(图 1), 表明这些指标的值越大, 农艺和产量综合指标值越高, 花生表现越优异。油酸和蛋白质含量与第 2 主成分呈正相关, 脂肪和亚油酸含量与第 2 主成分呈负相关(图 1)。

表 3 供试花生品种(系)性状间的相关性

Table 3 Correlations among traits of tested peanut varieties (lines)

指标 Index	主茎高 MSH	侧枝长 BL	分枝数 NB	结果 枝数 NBP	百果重 PW	百仁重 SW	出仁率 SP	荚果 产量 PY	籽仁 产量 KY	蛋白质 含量 PC	脂肪 含量 OC	油酸 含量 OAC	亚油酸 含量 LAC
侧枝长 BL	0.950**												
分枝数 NB	0.347	0.356											
结果枝数 NBP	0.449*	0.429*	0.941**										
百果重 PW	0.242	0.251	0.073	0.072									
百仁重 SW	0.290	0.281	0.042	0.095	0.866**								
出仁率 SP	-0.046	-0.111	0.273	0.289	-0.322	-0.311							
荚果产量 PY	0.720**	0.713**	0.280	0.319	0.553**	0.508**	0.184						
籽仁产量 KY	0.674**	0.654**	0.315	0.360	0.481**	0.442*	0.356	0.983**					
蛋白质含量 PC	0.021	0.087	-0.173	-0.175	-0.291	-0.169	0.155	0.094	0.093				
脂肪含量 OC	-0.193	-0.255	0.108	0.083	0.240	0.142	0.154	-0.068	-0.020	-0.829**			
油酸含量 OAC	-0.070	-0.032	-0.086	-0.181	-0.117	-0.376*	-0.028	0.056	0.041	0.033	-0.154		
亚油酸含量 LAC	0.057	0.014	0.089	0.186	0.135	0.381*	0.030	-0.059	-0.043	-0.079	0.195	-0.998**	
油亚比 O/L	0.012	0.017	0.044	-0.103	0.180	0.086	0.168	0.277	0.298	-0.139	0.221	0.309	-0.305

*表示显著相关($P < 0.05$), **表示极显著相关($P < 0.01$)。缩写同表 2。

* indicates a significant correlation at $P < 0.05$; ** indicates a highly significant correlation at $P < 0.01$. Abbreviations are the same as those given in Table 2.

表 4 各性状指标主成分载荷系数及贡献率
Table 4 Principal component loadings and contribution rates of trait indicators

指标 Index	主成分 Principal component				
	F1	F2	F3	F4	F5
主茎高 MSH	0.827	0.214	-0.123	-0.180	-0.231
侧枝长 BL	0.814	0.261	-0.107	-0.225	-0.270
分枝数 NB	0.536	-0.020	-0.512	0.476	-0.252
结果枝数 NBP	0.595	-0.071	-0.584	0.382	-0.259
百果重 PW	0.590	-0.374	0.590	-0.104	-0.022
百仁重 SW	0.601	-0.492	0.419	-0.295	0.071
出仁率 SP	0.095	0.207	-0.434	0.478	0.678
荚果产量 PY	0.901	0.240	0.196	-0.042	0.221
籽仁产量 KY	0.878	0.247	0.117	0.056	0.331
蛋白质含量 PC	-0.077	0.549	-0.292	-0.604	0.365
脂肪含量 OC	0.019	-0.598	0.243	0.675	0.050
油酸含量 OAC	-0.167	0.764	0.422	0.329	-0.258
亚油酸含量 LAC	0.166	-0.790	-0.405	-0.296	0.252
油亚比 O/L	0.173	0.220	0.485	0.443	0.337
特征值 Eigenvalue	4.38	2.58	2.11	2.00	1.26
贡献率 Contribution rate (%)	31.30	18.41	15.10	14.27	9.00
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	31.30	49.71	64.81	79.08	88.08

F1~F5: 主成分 1~5。缩写同表 2。
F1~F5: principal component 1~5. Abbreviations are the same as those given in Table 2.

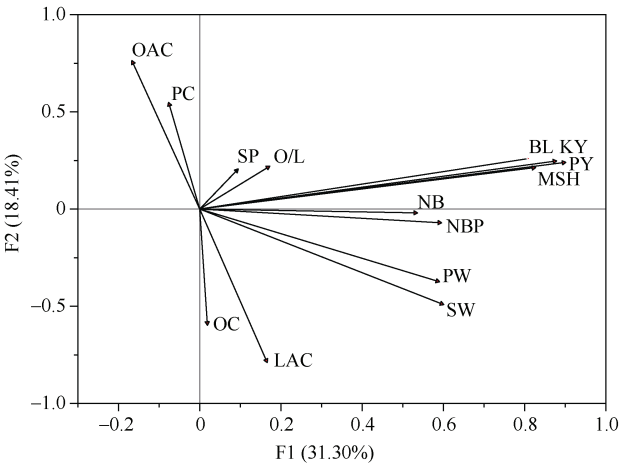


图 1 各性状在第 1 和第 2 主成分的载荷图
Fig. 1 Loading plot of all traits on the first and second principal components
缩写同表 2 和表 4。
Abbreviations are the same as those given in Table 2 and 4.

对 29 个花生品种(系)在第 1 和第 2 主成分进行得分绘图(图 2), 横坐标越大表示农艺和产量指标越高, 纵坐标越大表示油酸含量越高、亚油酸含量越低。结果表明, 花育 9141 在第 1 主成分上的得分最大, 花育 656 的得分最小, 前者第 2 主成分的得分接近于 0, 而后者接近于 3, 表明花育 9141 在盐碱地上

的农艺和产量性状表现较优, 油酸含量一般, 而后者 的田间表现较差, 油酸含量较高。此外, 花育 9125、花育 9147、花育 9124 和花育 9118 在盐碱地上的农艺和产量综合指标表现均较优, 其中花育 9118 油酸含量也较高。花育 9112 在第 2 主成分的得分最低, 表明油酸含量最低、亚油酸含量最高。花育 32 在第 1 主成分的得分接近于-2, 在第 2 主成分的得分接近于 2, 表明花育 32 在盐碱地的农艺和产量性状表现较差, 但是油酸含量较高。

为了研究花生的农艺性状、产量性状和品质性状的综合表现, 根据每个主成分的权重值对每个花生品种(系)进行了综合分析。花生品种(系)的主成分综合评价得分(*D* 值)用来判断综合表现的优劣, 得分越高, 综合表现就越好, 反之则越差。结果表明, 花育 9147 的 *D* 值最大(表 5), 说明在盐碱地性状综合表现最好, P18-43 的 *D* 值最小, 说明在盐碱地性状综合表现最差。综合得分排名在前 10 名的花生品种分别是花育 9147、花育 9141、花育 9125、花育 9118、花育 9124、花育 60、花育 917、花育 9121、P16-22、花育 9119, 综合排名后 10 名品种(系)分别为 P18-60、花育 9123、P18-82、P17-18、P17-33、P17-127、花育 9116、花育 9112、花育 656、P18-43。

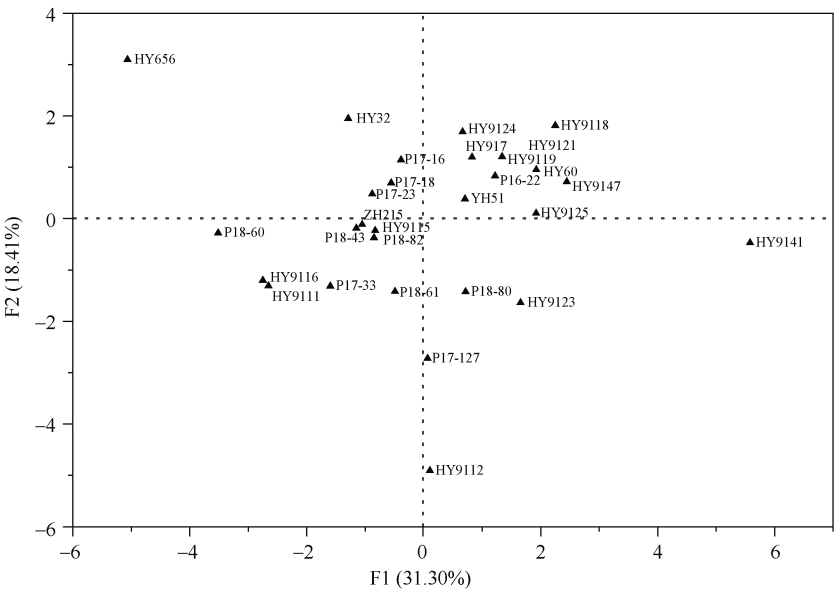


图 2 花生品种(系)在第一、二主成分的得分图

Fig. 2 Score plot of peanut varieties (lines) on the first two principal components

缩写同表 4。HY: 花育; YH: 宇花; ZH: 中花。Abbreviations are the same as those given in Table 4. HY: Huayu; YH: Yuhua; ZH: Zhonghua.

表 5 供试花生品种(系)的主成分综合得分及排名

Table 5 Comprehensive principal component scores and rankings of tested peanut varieties (lines)

品种(系) Varieties (lines)	隶属函数值 Membership function value					D 值 D-value	排名 Rank
	$\mu(X_{i,1})$	$\mu(X_{i,2})$	$\mu(X_{i,3})$	$\mu(X_{i,4})$	$\mu(X_{i,5})$		
P16-22	0.590	0.717	0.527	0.412	0.398	0.557	9
P17-16	0.439	0.756	0.689	0.301	0.627	0.545	12
P17-18	0.424	0.700	0.512	0.155	0.420	0.453	23
P17-23	0.393	0.673	0.654	0.258	0.318	0.467	19
P17-33	0.326	0.449	0.774	0.590	0.026	0.441	24
P17-127	0.482	0.273	0.587	0	0.555	0.386	25
P18-43	0.368	0.590	0.465	0.082	0.098	0.357	29
P18-60	0.146	0.578	0.771	0.546	0.714	0.466	20
P18-61	0.430	0.436	0.579	0.625	0.466	0.492	17
P18-80	0.543	0.435	0.471	0.331	0.727	0.493	16
P18-82	0.396	0.566	0.587	0.232	0.582	0.457	22
花育 32 Huayu 32	0.355	0.857	0.317	0.697	0.672	0.541	13
花育 60 Huayu 60	0.657	0.732	0.606	0.344	0.442	0.591	6
花育 656 Huayu 656	0	1.000	0	0.566	0.633	0.365	28
花育 917 Huayu 917	0.553	0.762	0.621	0.248	0.583	0.562	7
花育 9111 Huayu 9111	0.227	0.450	0.640	0.978	0.313	0.475	18
花育 9112 Huayu 9112	0.486	0	0.211	0.492	0.790	0.369	27
花育 9115 Huayu 9115	0.398	0.584	0.625	0.772	0.261	0.522	14
花育 9116 Huayu 9116	0.218	0.463	0.812	0.410	0	0.380	26
花育 9118 Huayu 9118	0.687	0.840	0.580	0.437	0.195	0.610	4
花育 9119 Huayu 9119	0.602	0.764	0.673	0.177	0.342	0.552	10
花育 9121 Huayu 9121	0.633	0.780	0.533	0.297	0.300	0.558	8
花育 9123 Huayu 9123	0.631	0.408	0.417	0.065	0.708	0.464	21
花育 9124 Huayu 9124	0.538	0.824	0.683	0.213	0.753	0.592	5

(续表 5)

品种(系) Varieties (lines)	隶属函数值 Membership function value					D 值 D-value	排名 Rank
	$\mu(X_{i,1})$	$\mu(X_{i,2})$	$\mu(X_{i,3})$	$\mu(X_{i,4})$	$\mu(X_{i,5})$		
花育 9125 Huayu 9125	0.656	0.626	0.573	0.541	0.804	0.632	3
花育 9141 Huayu 9141	1.000	0.554	0.202	0.958	0.026	0.664	2
花育 9147 Huayu 9147	0.706	0.703	1.000	1.000	1.000	0.833	1
中花 215 Zhonghua 215	0.377	0.599	0.577	0.771	0.619	0.546	11
宇花 51 Yuhua 51	0.542	0.661	0.333	0.548	0.378	0.515	15

$\mu(X_{i,1})\sim\mu(X_{i,5})$: 第 i 个品种第 1~5 主成分隶属函数值。
 $\mu(X_{i,1})\sim\mu(X_{i,5})$: membership function values of principal component 1~5 for the i -th variety.

2.5 隶属函数分析

为了进一步鉴定 29 个花生品种(系)在盐碱地中的性状综合表现, 基于农艺性状、产量性状及品质性状, 采用平均隶属函数法进行综合评价, 隶属函数值越大, 在盐碱地综合表现能力越强, 反之越弱。结果表明, 隶属函数值最大的是花育 9141, 表明它在盐碱地的综合表现较优, 隶属函数值最小的是花

育 656, 表明它在盐碱地的综合表现较差。基于隶属函数值对它们进行排序, 排名前 10 名的品种(系)分别为花育 9141、花育 9147、花育 9125、花育 60、花育 9118、花育 9121、花育 9123、P18-80、P16-22、花育 9124, 隶属函数值排名后 10 名的品种(系)分别为 P17-18、P17-127、P18-82、P17-23、P18-43、花育 9111、P17-33、P18-60、花育 9116、花育 656 (表 6)。

表 6 不同花生品种(系)性状指标的隶属函数值及排名
Table 6 Membership function values and rankings of trait indicators in different peanut varieties (lines)

品种(系) Varieties (lines)	主茎高 MSH	侧枝长 BL	分枝数 NB	结果枝数 NBP	百果重 PW	百仁重 SW	出仁率 SP	荚果产量 PY
P16-22	0.749	0.712	0.273	0.318	0.756	0.776	0.534	0.766
P17-16	0.441	0.442	0.164	0.091	0.783	0.806	0.458	0.745
P17-18	0.402	0.620	0.309	0.182	0.772	0.806	0.356	0.494
P17-23	0.346	0.529	0.236	0.159	0.844	0.746	0.203	0.535
P17-33	0.570	0.543	0.055	0.114	0.722	0.761	0.186	0.292
P17-127	0.631	0.659	0	0.068	0.822	1.000	0.297	0.496
P18-43	0.374	0.447	0.364	0.386	0.861	0.836	0.059	0.255
P18-60	0	0	0.055	0	0.844	0.731	0.602	0.274
P18-61	0.341	0.466	0.327	0.250	0.928	0.791	0.602	0.437
P18-80	0.520	0.486	0.236	0.364	0.883	1.000	0.678	0.592
P18-82	0.397	0.385	0.182	0.159	0.839	0.881	0.475	0.498
花育 32 Huayu 32	0.486	0.529	0.327	0.295	0.511	0.478	1.000	0.394
花育 60 Huayu 60	0.670	0.793	0.309	0.318	0.850	0.896	0.432	0.905
花育 656 Huayu 656	0.274	0.332	0.236	0.227	0	0	0.907	0
花育 917 Huayu 917	0.603	0.731	0.145	0.136	0.828	0.746	0.542	0.841
花育 9111 Huayu 9111	0.017	0.178	0.345	0.295	0.739	0.687	0.500	0.231
花育 9112 Huayu 9112	0.419	0.375	0.436	0.364	0.794	0.836	0.678	0.394
花育 9115 Huayu 9115	0.480	0.452	0.291	0.250	0.750	0.552	0.390	0.550
花育 9116 Huayu 9116	0.385	0.442	0.055	0.023	0.817	0.716	0	0.132
花育 9118 Huayu 9118	1.000	1.000	0.345	0.318	0.839	0.672	0.415	0.800
花育 9119 Huayu 9119	0.788	0.784	0.182	0.182	0.956	0.746	0.314	0.830
花育 9121 Huayu 9121	0.849	0.832	0.309	0.295	0.761	0.776	0.407	0.814
花育 9123 Huayu 9123	0.648	0.736	0.182	0.295	0.856	0.910	0.492	0.789
花育 9124 Huayu 9124	0.642	0.567	0.073	0.091	0.822	0.836	0.636	0.875

(续表 6)								
品种(系) Varieties (lines)	主茎高 MSH	侧枝长 BL	分枝数 NB	结果枝数 NBP	百果重 PW	百仁重 SW	出仁率 SP	荚果产量 PY
花育 9125 Huayu 9125	0.592	0.615	0.255	0.295	0.939	0.836	0.864	0.944
花育 9141 Huayu 9141	1.000	0.947	1.000	1.000	0.939	0.910	0.678	0.998
花育 9147 Huayu 9147	0.547	0.591	0.327	0.205	1.000	0.940	0.720	1.000
中花 215 Zhonghua 215	0.274	0.356	0.200	0.273	0.800	0.597	0.780	0.552
宇花 51 Yuhua 51	0.648	0.668	0.418	0.432	0.628	0.672	0.627	0.616
品种(系) Varieties (lines)	籽仁产量 KY	蛋白质含量 PC	脂肪含量 OC	油酸含量 OAC	亚油酸含量 LAC	油亚比 O/L	平均隶属函数值 Mean membership function value	排名 Rank
P16-22	0.713	0.544	0.427	0.896	0.126	0.058	0.546	9
P17-16	0.665	0.796	0.406	0.971	0.033	0.109	0.494	15
P17-18	0.406	0.889	0.211	0.820	0.158	0.052	0.463	20
P17-23	0.423	0.709	0.346	0.915	0.085	0.079	0.440	23
P17-33	0.188	0	0.882	0.928	0.099	0.063	0.386	26
P17-127	0.425	0.460	0.564	0.347	0.655	0.005	0.459	21
P18-43	0.122	0.812	0	0.776	0.235	0.029	0.397	24
P18-60	0.247	0.535	0.540	0.990	0.032	0.136	0.356	27
P18-61	0.403	0.384	0.788	0.777	0.250	0.037	0.484	17
P18-80	0.580	0.737	0.633	0.577	0.409	0.015	0.551	8
P18-82	0.431	0.719	0.368	0.766	0.239	0.031	0.455	22
花育 32 Huayu 32	0.452	0.760	0.483	0.987	0.021	0.129	0.489	16
花育 60 Huayu 60	0.816	0.758	0.522	0.926	0.081	0.083	0.597	4
花育 656 Huayu 656	0.019	1.000	0.175	0.908	0.079	0.071	0.302	29
花育 917 Huayu 917	0.791	0.683	0.337	0.891	0.119	0.056	0.532	12
花育 9111 Huayu 9111	0.184	0.192	1.000	1.000	0.037	0.113	0.394	25
花育 9112 Huayu 9112	0.383	0.374	0.963	0	1.000	0	0.501	14
花育 9115 Huayu 9115	0.467	0.293	0.915	0.967	0.066	0.093	0.465	19
花育 9116 Huayu 9116	0	0.232	0.708	0.921	0.089	0.082	0.329	28
花育 9118 Huayu 9118	0.722	0.587	0.457	0.999	0	0.190	0.596	5
花育 9119 Huayu 9119	0.707	0.702	0.316	0.930	0.085	0.068	0.542	11
花育 9121 Huayu 9121	0.725	0.622	0.301	0.905	0.098	0.081	0.555	6
花育 9123 Huayu 9123	0.721	0.699	0.440	0.348	0.643	0.006	0.555	7
花育 9124 Huayu 9124	0.854	0.809	0.279	0.965	0.044	0.097	0.542	10
花育 9125 Huayu 9125	0.999	0.571	0.676	0.814	0.199	0.034	0.617	3
花育 9141 Huayu 9141	0.988	0.205	0.645	0.776	0.239	0.044	0.741	1
花育 9147 Huayu 9147	1.000	0.374	0.837	0.985	0.035	1.000	0.683	2
中花 215 Zhonghua 215	0.575	0.346	0.733	0.935	0.105	0.067	0.471	18
宇花 51 Yuhua 51	0.610	0.481	0.430	0.780	0.229	0.041	0.520	13

缩写同表 2。Abbreviations are the same as those given in Table 2.

2.6 聚类分析

为了更直观地展示 29 个花生品种(系)在盐碱地的综合表现, 基于农艺性状、产量性状和品质性状进行聚类分析(图 3), 结果表明, 29 个花生品种(系)被聚为 4 类, 其中第 I 类群包括 11 个品种(系), 分别为花育 9147、花育 9141、P16-22、P17-16、花育 917、

花育 9118、花育 9119、花育 9121、花育 9125、花育 60 和花育 9124, 这类品种(系)的各农艺性状和产量性状表现较好, 除百仁重较低外, 其他性状指标表现优异, 其品质性状中油酸含量较高, 在盐碱地上综合表现较好。第 II 类群包括 5 份品种(系), 分别为 P17-18、P17-23、P18-43、P18-82 和花育 656, 这

类品种(系)的百果重、百仁重、荚果产量和籽仁产量较差,在盐碱地上综合表现较差,而蛋白质含量较高,脂肪含量较低,可以作为高蛋白低脂肪备选材料。第 III 类群包括 9 份品种(系),分别为 P17-33、P18-60、P18-61、花育 32、花育 9111、花育 9115、花育 9116、宇花 51 和中花 215,这类品种(系)的百

仁重较高,其他性状表现良好,亚油酸含量较高,油酸、油亚比含量较低,在盐碱地生产中可以作为大粒花生备选材料。第 IV 类群包括 4 份品种(系),分别为 P17-127、P18-80、花育 9112 和花育 9123,这类花生品种(系)的侧枝长、结果枝数较少、脂肪含量较高,可以作为高脂肪备选材料。

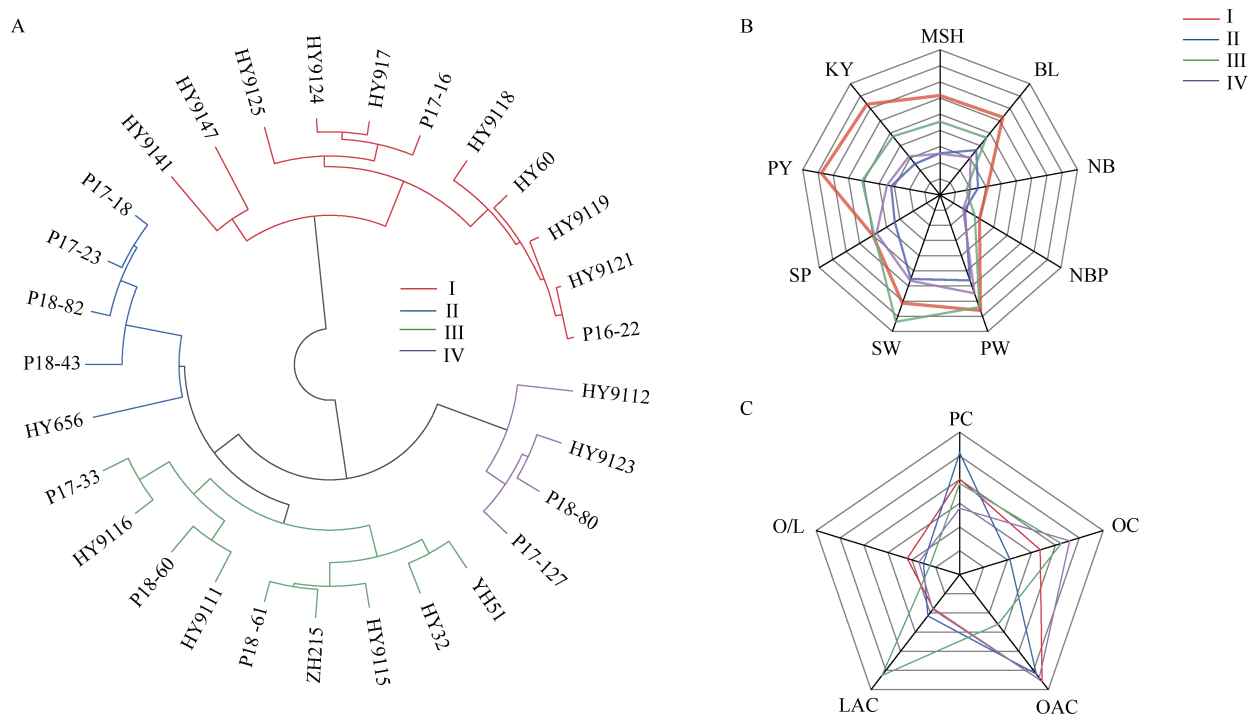


图 3 供试花生品种(系)性状间的聚类分析以及不同类群性状特征

Fig. 3 Cluster analysis of traits in tested peanut varieties (lines) and characteristics of different trait groups

A: 品种聚类图; B: 农艺性状与产量性状评价图; C: 品质性状评价图。缩写同表 2。HY: 花育; YH: 宇花; ZH: 中花。

A: variety cluster diagram; B: evaluation of agronomic traits vs yield traits; C: quality traits evaluation. Abbreviations are the same as those given in Table 2. HY: Huayu; YH: Yuhua; ZH: Zhonghua.

2.7 耐盐碱型和盐敏感型花生品种(系)综合性状比较分析

为了研究盐碱地花生各性状的差异,基于隶属函数法、主成分综合分析与聚类分析获得的农艺性状和产量性状综合表现优异的花生品种(系) P16-22、花育 9147、花育 9141、花育 9118、花育 9121、花育 60、花育 9125 和花育 9124,标记这类花生为耐盐碱型品种(T),综合表现较差的花生品种(系)花育 656、P18-82、P18-43 和 P17-18,标记这类花生为盐碱敏感型品种(S)。对 2 类花生的每个测定指标进行单因素方差分析,结果表明 2020 年耐盐碱型花生和盐碱敏感型花生在荚果产量($P = 0.016$)和籽仁产量($P = 0.018$)上呈显著差异,即耐盐碱型花生荚果产量和籽仁产量显著大于盐碱敏感型(TM-

SM > 0)。同样,2021 年耐盐碱花生的荚果产量和籽仁产量极显著大于盐碱敏感型花生(TM-SM > 0),且前者的主茎高和侧枝长极显著大于后者(表 7)。以上结果表明,荚果产量和籽仁产量是盐碱地花生筛选的可靠指标。

3 讨论

作物的变异系数是衡量特定性状在不同环境条件下表现稳定性的指标,变异系数变化说明参试材料具有多样性,这种变化是作物改良的基础^[22-23]。本研究表明,29 个花生品种(系)的亚油酸含量、油亚比在 2 年中变异系数均较大,而 2020 年分枝数和结果枝数变异系数较大,2021 年主茎高、侧枝长、荚果产量和籽仁产量变异系数较大。这与前人的研究

表 7 花生品种(系)性状差异性比较
Table 7 Comparative analysis of trait variation in peanut varieties (lines)

指标 Index	2020			2021		
	TM-SM	<i>F</i>	<i>P</i>	TM-SM	<i>F</i>	<i>P</i>
主茎高 MSH	> 0	0.225	0.648	> 0	38.471	0.00**
侧枝长 BL	< 0	0.018	0.896	> 0	22.687	0.00**
分枝数 NB	> 0	2.832	0.131	> 0	0.009	0.93
结果枝数 NBP	> 0	1.152	0.311	> 0	0.138	0.72
百果重 PW	> 0	0.030	0.865	> 0	0.153	0.70
百仁重 SW	> 0	1.193	0.303	> 0	0.352	0.57
出仁率 SP	< 0	1.048	0.333	> 0	1.256	0.29
荚果产量 PY	> 0	8.789	0.016*	> 0	18.852	0.00**
籽仁产量 KY	> 0	8.369	0.018*	> 0	19.949	0.00**
蛋白质含量 PC	< 0	1.085	0.322	< 0	1.753	0.21
脂肪含量 OC	> 0	1.766	0.213	> 0	1.444	0.26
油酸含量 OAC	> 0	2.162	0.176	> 0	0.920	0.36
亚油酸含量 LAC	< 0	0.521	0.494	< 0	0.510	0.49
油亚比含量 O/L	> 0	3.856	0.085	> 0	0.368	0.56

TM: 耐盐碱型品种平均值; SM: 盐碱敏感型品种平均值。缩写同表 2。*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$ 。
TM: mean of salt-alkali tolerant variety; SM: mean of salt-alkali sensitive variety. Abbreviations are the same as those given in Table 2. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

结果基本一致^[24-26], 说明这些性状在花生品种(系)间蕴含着丰富的遗传多样性, 具有较大的育种潜力。合理利用这些种质资源可以促进新品种的选育并提供了重要的遗传资源。

相关性分析表明, 29 个花生品种(系)的主茎高、侧枝长与荚果产量和籽仁产量呈极显著正相关, 这与饶庆琳^[27]的研究结果基本一致。花生的农艺性状对产量形成具有重要影响。百仁重与油酸含量呈显著正相关, 与亚油酸呈显著负相关, 油酸与亚油酸呈极显著负相关, 这表明品质性状和产量性状可能相关, 而油酸与亚油酸含量在花生籽仁中存在此消彼长的关系。逐步回归分析方法可以筛选出最优化的评价指标, 可通过所得最优回归模型来预测其他花生品种综合表现^[28-29]。本研究逐步回归分析结果显示, 主茎高、侧枝长以及品质性状与出仁率、荚果产量、籽仁产量之间存在线性关系, 这与相关性分析结果一致, 表明在盐碱地花生生长过程中, 主茎高和侧枝长的生长势可能影响了花生的出仁率和产量形成, 而品质性状与荚果产量和籽仁产量的相关性可能是由于油脂合成过程影响了植物体内营养

和生长调控机制, 进而影响花生产量。

主成分综合评价法、隶属函数法和系统聚类分析均可以基于不同性状对不同的花生品种(系)进行评价。主成分分析综合评价的方法在前人的研究中已被大量使用^[26,30-32]。隶属函数分析是把每个花生性状的测定值进行标准化处理, 并根据算法获得综合隶属函数值, 根据隶属函数值的大小评价综合性状的优劣, 在干旱、盐碱等相关研究中采用较多^[28,33-34]。系统聚类法是基于测定性状, 把不同的花生品种(系)划分成不同的类群, 每个类群均有各自特征。然而, 由于算法差异, 每个评价方法产生的结果存在细微差别, 例如在本研究中基于主成分综合得分评价体系得到排名前 5 的品种为花育 9147、花育 9141、花育 9125、花育 9118 和花育 9124; 而隶属函数综合评价排名前 5 的品种为花育 9141、花育 9147、花育 9125、花育 60 和花育 9118。不同评价方法的结合可能更适合于花生品种(系)的田间综合评价。本研究结合 3 种方法, 从 29 个花生品种中鉴定了各性状表现优异的花生品种(系), 为耐盐碱花生新品种的培育提供了可靠材料。

本研究中, 基于综合表现优异和表现较差的花生品种(系), 通过单因素方差分析研究了 2 类花生的差异性状。结果表明, 2 类花生在盐碱地环境下的主茎高、侧枝长、荚果产量、籽仁产量等性状存在显著差异, 表明在盐碱地生产中花生的差异性主要表现在产量和植株长势方面。表现优异的花生品种 2 年的荚果产量和籽仁产量均呈显著差异, 这表明在盐碱地花生田间鉴定中应该重点关注花生的荚果产量和籽仁产量。

优良的品种需要具备高产和优质的特性, 但其表现受不同环境条件影响。作物在不同生长发育阶段对逆境胁迫的响应也存在差异。本研究通过盐碱地大田试验对花生品种(系)农艺、产量和品质性状进行多方面综合评价, 避免单一性状表现优异对整体表现能力评估的单一性, 实现对品种耐盐碱能力的整体性判断。研究发现农艺、产量与品质性状之间相互影响, 进一步验证了多性状在不同环境条件下作物通过改变自身的生长和形态来适应不同环境条件的普遍机制。并通过聚类分析与综合评价, 对参试花生品种(系)进行了分类与排序, 筛选出在盐碱条件下表现优良的花生品种。为盐碱地花生种植推广提供高产优质、耐逆性强的花生品种, 具有重要的实践价值。

4 结论

对 29 个花生品种(系)在盐碱地中的农艺性状、产量性状和品质性状进行研究, 发现盐碱地花生的亚油酸含量、油亚比、荚果产量、籽仁产量、主茎高和分枝数在品种(系)间存在较大变异, 且农艺性状和品质性状与产量性状存在重要关联。结合 3 种方法对 29 个花生品种(系)在盐碱地中的生长表现进行综合评价, 从中鉴定到农艺性状、产量性状和品质性状综合表现较好的品种 P16-22、花育 9147、花育 9141、花育 9118、花育 9121、花育 60、花育 9125 和花育 9124。基于综合表现差异较大的花生品种, 对测定性状进行分析, 发现荚果产量和籽仁产量更适合作为盐碱地花生的鉴定指标。

References

- [1] 韩艳红, 杨海棠, 胡延岭, 等. 基于隶属函数法对大粒高油花生品种品质的综合评价. 花生学报, 2024, 53(3): 68–72.
Han Y H, Yang H T, Hu Y L, et al. Comprehensive evaluation of the quality of large-kernel and high-oil peanut varieties by membership function method. J Peanut Sci, 2024, 52(3): 68–72 (in Chinese with English abstract).
- [2] 黄冰艳, 张新友, 董文召, 等. 河南省花生地方资源蛋白质和脂肪含量分析及育种利用策略. 植物遗传资源学报, 2012, 13: 414–417.
Huang B Y, Zhang X Y, Dong W Z, et al. Profiling of quality characteristics for peanut germplasm from Henan province and its breeding strategy. J Plant Genet Resour, 2012, 13: 414–417 (in Chinese with English abstract).
- [3] Janila P, Nigam S N, Pandey M K, et al. Groundnut improvement: use of genetic and genomic tools. Front Plant Sci, 2013, 4: 23.
- [4] Li W L, Yoo E, Lee S, et al. Seed weight and genotype influence the total oil content and fatty acid composition of peanut seeds. Foods, 2022, 11: 3463.
- [5] 房元瑾, 孙子淇, 苗利娟, 等. 花生籽仁外观和营养品质特征及食用型花生育种利用分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19: 875–886.
Fang Y J, Sun Z Q, Miao L J, et al. Characterization of kernel appearance and nutritional quality in peanut accessions and its application for food-use peanut breeding. J Plant Genet Resour, 2018, 19: 875–886 (in Chinese with English abstract).
- [6] 周小静, 任小平, 黄莉, 等. 花生种质资源研究进展与展望. 植物遗传资源学报, 2020, 21: 33–39.
Zhou X J, Ren X P, Huang L, et al. Research progress and prospect for peanut germplasm resources. J Plant Genet Resour, 2020, 21: 33–39 (in Chinese with English abstract).
- [7] 高华鑫, 张佳蕾, 王建国, 等. 盐碱地花生高产栽培研究进展及面临的挑战. 山东农业科学, 2024, 56(9): 142–148.
Gao H X, Zhang J L, Wang J G, et al. Research progress and challenge of high-yield cultivation of peanut in saline-alkali lands. Shandong Agric Sci, 2024, 56(9): 142–148 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王生态, 赵宝鐔, 杜世坤, 等. 中度盐碱地胡麻耐盐性鉴定及品种筛选. 作物杂志, 2025(4): 111–117.
Wang S T, Zhao B X, Du S K, et al. Identification of salt tolerance and variety screening of flax in moderately saline-alkali soil. Crop Res, 2025(4): 111–117 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨吉顺, 唐朝辉, 徐扬, 等. 丛枝菌根真菌和过磷酸钙对盐碱、非盐碱土壤花生产量和品质的影响. 中国油料作物学报, 2020, 42: 1019–1025.
Yang J S, Tang Z H, Xu Y, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and superphosphate on yield and quality of peanut in saline and non-saline soil. Chin J Oil Crop Sci, 2020, 42: 1019–1025 (in Chinese with English abstract).
- [10] 胡炎, 杨帆, 杨宁, 等. 盐碱地资源分析及利用研究展望. 土壤通报, 2023, 54: 489–494.
Hu Y, Yang F, Yang N, et al. Analysis and prospects of saline-alkali land in China from the perspective of utilization. Chin J Soil Sci, 2023, 54: 489–494 (in Chinese with English abstract).
- [11] 慈敦伟, 张智猛, 丁红, 等. 花生苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选. 生态学报, 2015, 35: 805–814.
Ci D W, Zhang Z M, Ding H, et al. Evaluation and selection indices of salinity tolerance in peanut seedling. Acta Ecol Sin, 2015, 35: 805–814 (in Chinese with English abstract).
- [12] Salwa A R, Shaban K A, Tantawy M F. Studies on salinity tolerance of two peanut cultivars in relation to growth, leaf water

- content, some chemical aspects and yield. *J Appl Sci Res*, 2010, 6: 1517–1526.
- [13] 陈杨, 吕玉英, 杨会, 等. 水培法鉴定花生苗期耐盐性研究. *山东农业科学*, 2019, 51(9): 125–131.
- Chen Y, Lyu Y Y, Yang H, et al. Study on salt tolerance identification of peanut at seedling stage by hydroponics. *Shandong Agric Sci*, 2019, 51(9): 125–131 (in Chinese with English abstract).
- [14] 苏江顺, 王传堂, 程学良, 等. 耐盐碱高油酸花生田间鉴定筛选研究. *山东农业科学*, 2017, 49(6): 17–20.
- Su J S, Wang C T, Cheng X L, et al. Field screening of high oleic acid peanuts with salt and alkaline tolerance. *Shandong Agric Sci*, 2017, 49(6): 17–20 (in Chinese with English abstract).
- [15] 王传堂, 王秀贞, 唐月异, 等. 耐盐碱花生品种(系)田间筛选鉴定. *山东农业科学*, 2015, 47(11): 18–22.
- Wang C T, Wang X Z, Tang Y Y, et al. Field screening of salt- and alkali- tolerant peanut varieties. *Shandong Agric Sci*, 2015, 47(11): 18–22 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李晶晶, 王金秀, 曹议丹, 等. 高油酸花生萌发期和苗期耐盐碱性鉴定及评价. *中国农学通报*, 2024, 40(15): 44–52.
- Li J J, Wang J X, Cao Y D, et al. Peanut with high oleic acid content: identification and evaluation of salt-alkaline tolerance during germination and seedling stage. *Chin Agric Sci Bull*, 2024, 40(15): 44–52 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张智猛, 慈敦伟, 丁红, 等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价. *应用生态学报*, 2013, 24: 3487–3494.
- Zhang Z M, Ci D W, Ding H, et al. Indices selection and comprehensive evaluation of salinity tolerance for peanut varieties. *Chin J Appl Ecol*, 2013, 24: 3487–3494 (in Chinese with English abstract).
- [18] 许婷婷, 王子强, 任增凯, 等. 盐碱地种植高油酸花生品种(系)产量品质性状分析. *花生学报*, 2019, 48(1): 48–51.
- Xu T T, Wang Z Q, Ren Z K, et al. Study on yield and quality characters of peanut varieties with high oleic acid in saline and alkaline land. *J Peanut Sci*, 2019, 48(1): 48–51 (in Chinese with English abstract).
- [19] 闫彩霞, 王娟, 赵小波, 等. 全生育期鉴定筛选耐盐碱花生品种. *作物学报*, 2021, 47: 556–565.
- Yan C X, Wang J, Zhao X B, et al. Identification and screening of saline-alkali tolerant peanut cultivars during whole growth stage. *Acta Agron Sin*, 2021, 47: 556–565 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王秀贞, 唐月异, 张建成, 等. 近红外技术分析化学诱变对花生脂肪、蛋白质和蔗糖含量的影响. *花生学报*, 2009, 38(4): 5–8.
- Wang X Z, Tang Y Y, Zhang J C, et al. Analysing the effect of chemical treatment on oil, protein and sucrose content of peanut with NIRS. *J Peanut Sci*, 2009, 38(4): 5–8 (in Chinese with English abstract).
- [21] 杨军军, 庞洪利, 韩宏伟, 等. 花生油酸亚油酸含量近红外模型构建. *农业与技术*, 2021, 41(15): 4–7.
- Yang J J, Pang H L, Han H W, et al. Construction of near infrared model for oleic acid and linoleic acid content in peanut oil. *Agric Technol*, 2021, 41(15): 4–7 (in Chinese).
- [22] 陈雷, 范小玉, 李可, 等. 花生品系主要农艺性状的相关性及聚类分析. *花生学报*, 2015, 44(1): 34–38.
- Chen L, Fan X Y, Li K, et al. Agronomic characteristics and cluster analysis of peanut cultivars. *J Peanut Sci*, 2015, 44(1): 34–38 (in Chinese with English abstract).
- [23] 阮建, 孙金月, 焦其庆, 等. 利用变异系数分析‘凤丹’牡丹籽脂肪酸组分的遗传稳定性. *山东农业科学*, 2018, 50(8): 24–28.
- Ruan J, Sun J Y, Jiao Q Q, et al. Genetic stability analysis of fatty acid composition of Fengdan peony seed oil using variation coefficient. *Shandong Agric Sci*, 2018, 50(8): 24–28 (in Chinese with English abstract).
- [24] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, et al. Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agric Water Manag*, 2000, 43: 99–109.
- [25] 陈湘瑜, 徐日荣, 陈昊, 等. 花生品系主要农艺性状的分析与综合评价. *种子*, 2020, 39(9): 84–88.
- Chen X Y, Xu R R, Chen H, et al. Analysis and comprehensive evaluation of main agronomic traits of peanut lines. *Seed*, 2020, 39(9): 84–88 (in Chinese with English abstract).
- [26] 刘卫星, 张枫叶, 贺群岭, 等. 我国北方花生品种产量品质性状的综合评价及聚类分析. *江苏农业科学*, 2019, 47(12): 103–106.
- Liu W X, Zhang F Y, He Q L, et al. Synthetic evaluation and cluster analysis of yield and quality characters of peanut cultivars in northern China. *Jiangsu Agric Sci*, 2019, 47(12): 103–106 (in Chinese with English abstract).
- [27] 饶庆琳, 姜敏, 刘选轶, 等. 贵州 296 份花生种质资源遗传多样性及综合评价. *植物遗传资源学报*, 2024, 25: 373–385.
- Rao Q L, Jiang M, Liu X Y, et al. Genetic diversity and comprehensive evaluation of 296 peanuts germplasm resources in Guizhou. *J Plant Genet Resour*, 2024, 25: 373–385 (in Chinese with English abstract).
- [28] 孙现军, 胡正, 姜雪敏, 等. 大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价与筛选. *作物学报*, 2024, 50: 2179–2186.
- Sun X J, Hu Z, Jiang X M, et al. Identification evaluation and screening of salt-tolerant of soybean germplasm resources at seedling stage. *Acta Agron Sin*, 2024, 50: 2179–2186 (in Chinese with English abstract).
- [29] 鲁清, 刘浩, 李海芬, 等. 花生不同株型主要农艺性状的相关分析及其对单株产量的影响. *热带作物学报*, 2019, 40: 1115–1121.
- Lu Q, Liu H, Li H F, et al. Correlation analysis of main agronomic traits of different plant types and path analysis of yield per plant in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Chin J Trop Crops*, 2019, 40: 1115–1121 (in Chinese with English abstract).
- [30] 付江鹏, 柳发财, 闫宝琴, 等. 不同高粱品种适应性综合评价与筛选. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2025, 53(5): 35–46.
- Fu J P, Liu F C, Yan B Q, et al. Comprehensive evaluation and screening of adaptability of different sorghum varieties. *J Northwest A & F Univ (Nat Sci Edn)*, 2025, 53(5): 35–46 (in Chinese with English abstract).
- [31] 郭敏杰, 邓丽, 苗建利, 等. 基于主成分分析的高油酸花生品种品质评价. *分子植物育种*, 2023, 21: 8202–8209.
- Guo M J, Deng L, Miao J L, et al. Quality evaluation of peanut varieties with high-oleic acid based on principal component analysis. *Mol Plant Breed*, 2023, 21: 8202–8209 (in Chinese with English abstract).

- [32] 薛云云, 白冬梅, 田跃霞, 等. 24 份山西花生资源农艺性状的相关性和主成分分析. 山西农业科学, 2017, 45: 1587–1590.
Xue Y Y, Bai D M, Tian Y X, et al. Analysis on correlation and principal component of agronomic traits of 24 peanut resources in Shanxi province. J Shanxi Agric Sci, 2017, 45: 1587–1590 (in Chinese with English abstract).
- [33] 李国瑞, 马宏亮, 胡雯媚, 等. 西南麦区小麦品种萌发期抗旱性的综合鉴定及评价. 麦类作物学报, 2015, 35: 479–487.
Li G R, Ma H L, Hu W M, et al. Identification and evaluation of wheat cultivars for drought resistance during germination in southwest area. J Triticeae Crops, 2015, 35: 479–487 (in Chinese with English abstract).
- [34] 赵斌, 赵永星, 李双丹, 等. 玉米苗期耐盐胁迫的筛选及综合评价. 河南科技学院学报(自然科学版), 2024, 52(5): 1–7.
Zhao B, Zhao Y X, Li S D, et al. Screening and comprehensive evaluation of salt tolerance in maize seedling stage. J Henan Inst Sci Technol (Nat Sci Edn), 2024, 52(5): 1–7 (in Chinese with English abstract).