

120份花生种质资源农艺性状及晚斑病抗性鉴定与评价

王朝欢^{1,2}, 游宇¹, 张珍珍¹, 王洋¹, 杜青¹, 杨欢¹, 毛金雄¹, 雷永², 夏友霖¹

(¹南充市农业科学院, 四川南充 637000; ²中国农业科学院油料作物研究所, 武汉 430000)

摘要: 为满足花生在产量和晚斑病抗性上的育种需求, 本研究挑选南充市农业科学院种质资源库中120份国内代表性和国外引进的花生种质资源进行鉴定和评价。对16个性状进行表型调查, 描述性统计结果显示, 性状的变异系数在7.40%~47.65%之间, 其中分枝数、单株饱果数、单株荚果数、单株生产力变异系数较大, 荚果长、荚果宽和籽粒长、籽粒宽变异系数较小; 相关性分析结果显示, 主茎高和侧枝长呈极显著正相关, 单株荚果数、单株饱果数与百果重、荚果长、荚果宽呈极显著负相关, 晚斑病等级与侧枝长和分枝数呈极显著负相关。主成分分析将16个性状归为5个主成分, 累计贡献率为85.013%。聚类分析将种质分为4个类群, 第I和II类群为大果组, 第III和第IV类群为中小果组。基于5个主成分贡献率权重构建综合评分, 筛选综合得分前10的种质资源, 其中ICGV88938兼顾了高产和晚斑病抗性, 于自然病圃筛选获得4份晚斑病抗性种质。本研究对120份种质的16个性状进行鉴定和评价, 将为后续品种改良提供帮助。

关键词: 花生; 种质资源; 鉴定与评价

Identification and Evaluation Agronomic Characters and Late Leaf Spot Resistance of 120 Peanut Germplasm Resources

WANG Chaohuan^{1,2}, YOU Yu¹, ZHANG Zhenzhen¹, WANG Yang¹, DU Qing¹,

YANG Huan¹, MAO Jinxiong¹, LEI Yong², XIA Youlin¹

(¹Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, Sichuan; ²Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430000)

Abstract: To address the breeding needs of peanuts for higher yield and resistance to late leaf spot disease, 120 representative peanut germplasm resources were selected from the germplasm bank of Nanchong Academy of Agricultural Sciences for identification and evaluation. A phenotypic survey was conducted on 16 traits, and descriptive statistical results showed that the coefficients of variation of traits ranged from 7.40% to 47.65%. The variation coefficient of branch number, full pod number per plant, pod number per plant and yield per plant is larger, while the variation coefficient of the related traits of pod length, pod width, seed length and seed width were is smaller. Correlation analysis showed that stem height and branch length were positively correlated, pod number per plant, full pod number per plant were negatively correlated with hundred pod weight, pod length and pod width, and late leaf spot grade was negatively correlated with branch length and branch number. Principal component analysis categorized 16 traits into five principal components, with a cumulative contribution rate of 85.013%. The germplasm was divided into four groups by cluster analysis, the large pod group I and II, and the small and medium pod group III and IV. A comprehensive score is constructed based on the contribution weights

收稿日期: 2024-02-04 网络出版日期: 2024-09-26

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240204001>

第一作者研究方向为花生遗传育种与栽培, E-mail: wangchaohuan12@163.com

通信作者: 夏友霖, 研究方向为花生遗传育种与栽培, E-mail: tianfupeanut@hotmail.com

基金项目: 国家花生产业技术体系(CARS-13); 四川省苗圃工程(2023JDRC0118); 四川省农作物育种攻关计划(2021YFYZ0018); 南充市基础研究平台(22JCYJPT0002); 中央引导地方-区域体系建设(2024ZYD0308)

Foundation projects: National Peanut Industry Technical System (CARS-13); Sichuan Miaozi Project(2023JDRC0118); Sichuan Province Crop Breeding Program (2021YFYZ0018); Nanchong Basic Research Platform (22JCYJPT0002); Central Guidance for Local - Regional System Construction(2024ZYD0308)

of five principal components, the top 10 germplasm resources with the highest comprehensive scores were selected, including ICGV88938, which exhibited high yield and resistance to late leaf spot disease, four germplasm resources resistant to late spot disease were screened in a natural disease nursery. This study identified and evaluated 16 traits across 120 germplasm resources, thus providing valuable breeding materials and a theoretical foundation for future peanut variety improvement.

Key words: peanut; germplasm resources; identification and evaluation

花生(*Arachis hypogaea* L.)是世界上广泛栽培的油料和经济作物之一,是重要的食用油脂和蛋白来源。川渝地区花生以食用为主,注重风味品质和外观品质,培育的“天府”系列主要为商品性好的中粒高产优质品种,多用于加工咸味花生,在国内具有一定的特色和优势,但单产低仍是目前川内花生的主要问题之一^[1]。晚斑病是我国南方花生主要病害,在国内和世界各国都普遍发生且未发现免疫的品种或种质材料,可造成花生植株叶片大量脱落,影响植物光合作用和养分积累,导致产量大幅下降,质量也难以保证^[2-4]。

花生种质资源是遗传育种研究的基础,收集并鉴定丰富的种质材料将有利于花生新品种培育和基因挖掘。目前已有大量围绕地方及选育品种的鉴定和评价工作开展,杜普旋等^[5]对广东120份花生种质的主要农艺性状进行了鉴定与评价,筛选出12份高产或高抗的育种材料;林显凤等^[6]对四川100份地方品种进行了鉴定和评价,并发现当地主推系列品种遗传基础狭窄;饶庆琳等^[7]对贵州292份花生种质进行了鉴定与评价,并筛选出4份综合性状优异的

花生种质资源。以上研究结合描述性统计、聚类和主成分分析方法,筛选出可以用于育种的优质种质。地方品种对于早期花生育种具有巨大贡献,然而我国并非花生的起源地,过分集中地使用某些优良亲本,并按照既定的育种目标进行选择,使得花生品种的遗传基础日益狭窄^[8]。崔顺立等^[9]对104份从美国引进的种质进行鉴定和评价,不仅丰富了我国较为缺乏的秘鲁型材料,还筛选出对褐斑病和网斑病的高抗种质。因此,引进、鉴定并评价国内外种质对丰富我国花生遗传多样性、满足更加多样化的育种需求、促进花生产业发展具有重要意义。

本研究对国内外120份种质资源的农艺性状和晚斑病等级进行了鉴定与评价,并筛选花生种质资源,为花生育种提供材料和理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料来自南充市农业科学院花生种质资源库。120份花生种质资源中包括地方品种38份,选育品种27份,引进资源55份(表1)。

表1 120份种质资源名称及来源

Table 1 Names and sources of 120 germplasm resources

编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source	编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source
1	南充扯兜子	中国四川	地方品种	13	天府18	中国四川	选育品种
2	天府3号	中国四川	选育品种	14	天府22	中国四川	选育品种
3	伏花生	中国山东	地方品种	15	姜格庄半蔓	中国山东	地方品种
4	天府10号	中国四川	选育品种	16	芙蓉花生	中国湖南	地方品种
5	混巨5号	中国山东	选育品种	17	睢宁小二窝	中国江苏	地方品种
6	南充混选1号	中国四川	选育品种	18	台山三粒肉	中国广东	地方品种
7	NC-L1	中国四川	地方品种	19	天津豆	中国广东	地方品种
8	罗江鸡窝	中国四川	地方品种	20	协抗青	中国湖北	选育品种
9	金堂深窝子	中国四川	地方品种	21	油果	中国江苏	地方品种
10	资阳鸡窝	中国四川	地方品种	22	NC-H1	中国四川	选育品种
11	万源陈河小花生	中国四川	地方品种	23	海花1号	中国山东	选育品种
12	青川洋花生	中国四川	地方品种	24	花17	中国山东	选育品种

表 1 (续)

编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source	编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source
25	花 28	中国山东	选育品种	65	ICG397	印度	引进资源
26	冀花 2 号	中国河北	选育品种	66	ICG12921	印度	引进资源
27	鲁花 9 号	中国山东	选育品种	67	ICG3673	印度	引进资源
28	白沙 1016	中国广东	选育品种	68	ICG6813	印度	引进资源
29	NC-B1	中国四川	选育品种	69	ICG6892	印度	引进资源
30	中花 117-1	中国湖北	选育品种	70	ICG297	印度	引进资源
31	中花 4 号	中国湖北	选育品种	71	ICG7181	印度	引进资源
32	濮科花 1 号	中国河南	选育品种	72	ICG4955	印度	引进资源
33	小京生	中国浙江	地方品种	73	ICG5221	印度	引进资源
34	抚宁多粒	中国河北	地方品种	74	ICG12672	印度	引进资源
35	新宾四粒红	中国辽宁	地方品种	75	ICGV01266	印度	引进资源
36	小琉球	中国福建	地方品种	76	ICGV89214	印度	引进资源
37	6401-4	/	选育品种	77	ICGV86590	印度	引进资源
38	开农 8 号	中国河南	选育品种	78	VR12	印度	引进资源
39	徐州 68-4	中国江苏	选育品种	79	GG 2	印度	引进资源
40	当阳小花生	中国湖北	地方品种	80	M13	印度	引进资源
41	群毅三月宁	/	地方品种	81	ICGV88938	印度	引进资源
42	百日仔	中国广东	地方品种	82	ICGV91098	印度	引进资源
43	Florunner	美国	引进资源	83	干引选 1112	/	引进资源
44	中生丰	日本	引进资源	84	316-18	/	引进资源
45	91077-2	中国湖北	选育品种	85	ICG111	印度	引进资源
46	Robut33-1	/	引进资源	86	ICG81	印度	引进资源
47	以色列花生	以色列	引进资源	87	ICG36	印度	引进资源
48	美洲花生	/	引进资源	88	ICG875	印度	引进资源
49	泰国 2 号	泰国	引进资源	89	ICG928	印度	引进资源
50	缅甸花生	缅甸	引进资源	90	Chalimbana	/	引进资源
51	Florigiant	美国	引进资源	91	印度种	印度	引进资源
52	Chico	/	引进资源	92	美引选 1 号	美国	引进资源
53	Geogia	美国	引进资源	93	美引 3 号	美国	引进资源
54	美引选 41081	美国	引进资源	94	越南豆	越南	引进资源
55	ICG88145	印度	引进资源	95	缅甸小粒红	缅甸	引进资源
56	ICG4911	印度	引进资源	96	韩国 4	韩国	引进资源
57	ICG8106	印度	引进资源	97	韩国 17	韩国	引进资源
58	ICG4749	印度	引进资源	98	鲁花 11 号	中国山东	选育品种
59	ICG118	印度	引进资源	99	豫花 15 号	中国河南	选育品种
60	ICG3343	印度	引进资源	100	长垣一把抓	中国河南	地方品种
61	ICG3775	印度	引进资源	101	徐州 402	中国江苏	选育品种
62	ICG11109	印度	引进资源	102	狮头企	中国广东	地方品种
63	ICG11322	印度	引进资源	103	开封一撮秧	中国河南	地方品种
64	ICG11687	印度	引进资源	104	濮阳二糙	中国河南	地方品种

表 1 (续)

编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source	编号 No.	种质名称 Name	地理来源 Terrestrial source	种质来源 Source
105	三荚公	中国福建	地方品种	113	五莲撑破囤	中国山东	地方品种
106	大接仁	中国福建	地方品种	114	招远半蔓	中国山东	地方品种
107	大屁股	中国福建	地方品种	115	中琉球	中国福建	地方品种
108	徐系 1 号	中国江苏	选育品种	116	福清勾鼻	中国福建	地方品种
109	汕油 188	中国广东	选育品种	117	嵯县小花生	中国浙江	地方品种
110	豫花 7 号	中国河南	选育品种	118	云南七彩花生	中国云南	地方品种
111	沭阳大站秧	中国江苏	地方品种	119	塞内加尔花生	塞内加尔	引进资源
112	文登大粒墩	中国山东	地方品种	120	石河小花生	中国四川	地方品种

/:未知来源地

/:Unknown place of origin

1.2 试验方法

试验材料分别于 2022 年和 2023 年种植在南充市农业科学院土门试验基地,每份资源种两列,每列 25 株。成熟期各种质田间收取长势一致的 5 株(不含边株)进行表型调查,使用刻度尺测量主茎高(x_1)、侧枝长(x_2),人工记录分枝数(x_3)、结果枝数(x_4)、单株生产力(x_5)、单株荚果数(x_6)、单株饱果数(x_7)、晚斑病等级(x_{16})。室内挑选 20 个饱满一致的荚果及籽粒,利用万深考种仪进行百果重(x_8)、荚果长(x_9)、荚果宽(x_{10})、荚果长宽比(x_{11})、百仁重(x_{12})、籽粒长(x_{13})、籽粒宽(x_{14})、籽粒长宽比(x_{15})测定。晚斑病于 2022 年和 2023 年种植于土门试验基地自然病圃进行鉴定。农艺性状及晚斑病病害等级调查方法参照《花生种质资源描述规范和数据标准》^[10],晚斑病病害等级中,1 级为免疫,2~3 级为高抗,4~5 级为中抗,6~7 级为感病,8~9 级为高感。

1.3 数据统计与分析

利用 excel 对表型数据进行最大值、最小值、平均值、变异系数等统计和分析;利用 SPSS 和 R 语言进行数据分析并绘制相关性和聚类图。

对标准化后的 16 个性状的数据进行主成分分

析,将标准化表型性状数据乘以相应主成分因子得分系数,计算各个主成分的得分 y_n ,结合主成分因子权重 v_n 计算参试材料综合得分 y 值, $y = v_1y_1 + v_2y_2 + v_3y_3 \cdots v_ny_n$ 。

2 结果与分析

2.1 农艺性状及晚斑病等级的遗传变异

由表 2 可知,120 份花生种质农艺性状变幅较大,变异系数在 7.50%~47.65% 之间。其中分枝数变幅在 5.80~53.60 之间,变异系数最大,为 47.65%;单株生产力、单株荚果数以及单株饱果数表现出较高的变异水平,变幅分别在 10.49~71.36 g、5.90~61.90、3.50~58.20,变异系数分别为 38.23%、38.90%、45.94%。荚果长、荚果宽、荚果长宽比以及籽粒长、籽粒宽、籽粒长宽比的变异系数较小,其中荚果长宽比最低。可见不同花生种质间,分枝数、单株生产力、单株荚果数和单株饱果数差异较大,而荚果大小和籽粒大小相关性差异相对较小。晚斑病等级在 4.00~9.00 之间,变异系数为 14.67%,鉴定出 4 份晚斑病抗性种质分别是 ICGV91098、ICG11109、ICGV89214、ICGV86590。

表 2 农艺性状及晚斑病等级描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of agronomic traits and late leaf spot disease grade

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数(%) CV
主茎高(cm)SH	26.60	92.80	56.02	13.84	24.70
侧枝长(cm)BL	37.10	102.20	73.46	14.68	19.98
分枝数BN	5.80	53.60	19.50	9.29	47.65
结果枝数PBN	5.40	28.70	12.52	4.21	33.66
单株生产力(g)YP	10.49	71.36	32.84	12.56	38.23

表 2 (续)

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准偏差 SD	变异系数(%) CV
单株荚果数 PPN	5.90	61.90	25.17	9.79	38.90
单株饱果数 FPPN	3.50	58.20	21.03	9.66	45.94
百果重(g)HPW	92.56	277.78	186.30	39.98	21.46
荚果长(mm)PL	23.02	43.19	33.72	4.21	12.47
荚果宽(mm)PW	10.71	17.83	14.16	1.42	10.06
荚果长宽比 PLW	1.94	2.95	2.39	0.18	7.50
百仁重(g)HSW	41.44	146.09	72.88	23.57	32.34
籽粒长(mm)SL	12.07	23.56	16.63	2.73	16.41
籽粒宽(mm)SW	7.73	13.17	9.74	1.18	12.12
籽粒长宽比 SLW	1.39	2.21	1.72	0.16	9.29
晚斑病等级 LLS	4.00	9.00	6.65	0.98	14.67

SH: Stem height; BL: Branch length; BN: Branch number; PBN: The number of branches with pods; YP: Yield per plant; PPN: Pod number per plant; FPPN: Full pod number per plant; HPW: Hundred pod weight; PL: Pod length; PW: Pod width; PLW: Pod length-width ratio; HSW: Hundred seed weight; SL: Seed length; SW: Seed width; SLW: Seed length-width ratio; LLS: Late leaf spot; The same as below

根据 120 份花生种质的来源进行分组比较分析(表 3), 整体而言选育品种在单株生产力、单株荚果数、单株饱果数、百果重和百仁重的均值分别为 44.28 g、29.31、24.61、227.49 g、98.47 g, 均优于地方品种和引进资源。引进资源的主茎高、侧枝长于选育品种

和地方品种, 分别为 78.87 cm、98.70 cm, 结果枝数相对较少, 为 10.76。引进资源的晚斑病等级相较国内种质的变异系数更大, 为 17.86%, 变异范围在 4~9, 选育品种和地方品种的晚斑病等级的变异系数相近, 分别为 9.16% 和 8.71%。

表 3 不同来源种质的农艺性状及晚斑病等级比较

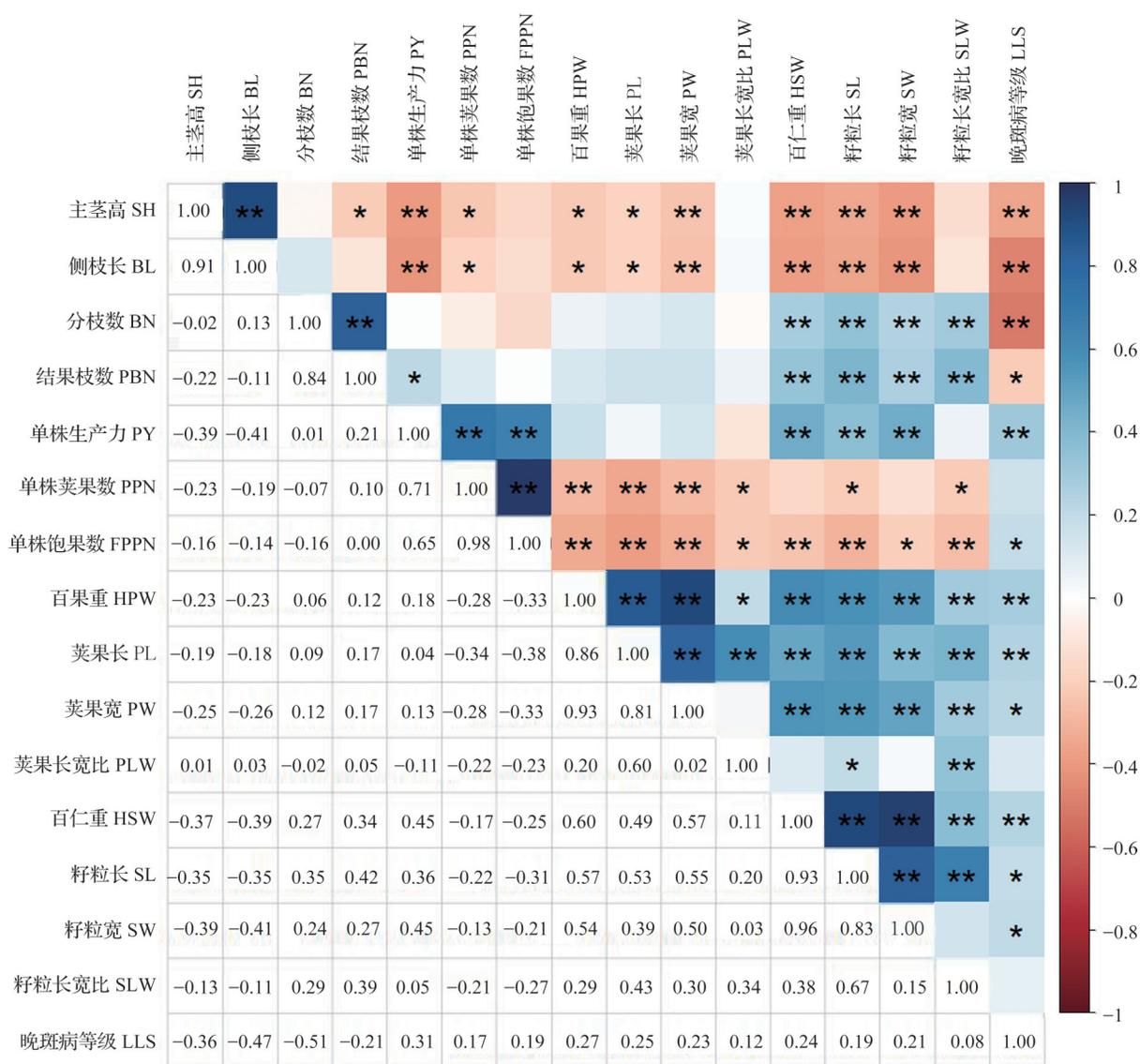
Table 3 Comparison of agronomic traits and late leaf spot disease grade among germplasm from different sources

性状 Traits	选育品种 Cultivated		地方品种 Landrace		引进资源 Introduced	
	均值 Mean	变异系数(%) CV	均值 Mean	变异系数(%) CV	均值 Mean	变异系数(%) CV
主茎高(cm)SH	51.54	30.07	65.80	23.77	78.87	26.47
侧枝长(cm)BL	68.92	26.26	86.33	17.26	98.70	19.07
分枝数 BN	17.11	43.2	22.19	49.77	19.99	53.64
结果枝数 PBN	12.10	37.21	13.84	47.27	10.76	36.75
单株生产力(g)YP	44.28	39.54	34.24	48.48	33.58	41.67
单株荚果数 PPN	29.31	51.49	28.97	51.26	29.69	38.43
单株饱果数 FPPN	24.61	58.99	24.11	59.95	25.20	42.49
百果重(g)HPW	227.49	24.07	179.97	28.52	168.31	33.95
荚果长(mm)PL	35.73	12.82	32.64	17.51	30.34	17.80
荚果宽(mm)PW	15.49	10.37	14.11	14.12	13.48	14.20
荚果长宽比 PLW	2.31	7.06	2.32	9.71	2.25	10.51
百仁重(g)HSW	98.47	22.61	72.74	28.85	68.54	32.07
籽粒长(mm)SL	18.95	12.00	16.78	16.32	15.78	15.02
籽粒宽(mm)SW	10.99	9.40	9.71	11.65	9.52	11.60
籽粒长宽比 SLW	1.73	7.63	1.73	8.66	1.66	7.74
晚斑病等级 LLS	7.38	9.16	6.54	8.71	6.36	17.86

2.2 农艺性状及晚斑病等级相关性分析

由图1中16个性状相关性分析结果可知,主茎高与侧枝长极显著正相关(0.91);主茎高和侧枝长两个性状与单株生产力、单株荚果数、百果重、荚果长、荚果宽、百仁重、籽粒长、籽粒宽呈显著或极显著负相关,其中与单株生产力相关系数最小,分别为-0.39和-0.41;单株荚果数、单株饱果数与百果重、荚果长、荚果宽呈极显著负相关;籽粒长、籽粒宽、百仁重和分枝数、结果枝数、单株生产力、百果重、荚果长、荚果宽呈极显著正相关;百果重与荚果长、荚果宽呈极显著正相关;百仁重与籽粒长、籽粒

宽、籽粒长宽比呈极显著正相关;百果重和荚果长、荚果宽,百仁重和籽粒长、籽粒宽的相关系数都在0.8以上;晚斑病等级与主茎高、侧枝长、分枝数、结果枝数呈显著或极显著负相关,其中与分枝数的相关性系数最小,为-0.51,与单株生产力、单株饱果数呈显著或极显著正相关,而与百果重、荚果长、荚果宽、百仁重、籽粒长、籽粒宽呈显著或极显著负相关。可见花生不同性状间存在着显著的相关性,这对不同育种目标的实现,在亲本进行选择时具有指导意义。



*: 在 $P < 0.05$ 水平上相关性显著; **: 在 $P < 0.01$ 水平上相关性显著

*: Significant at $P < 0.05$; **: Significant at $P < 0.01$

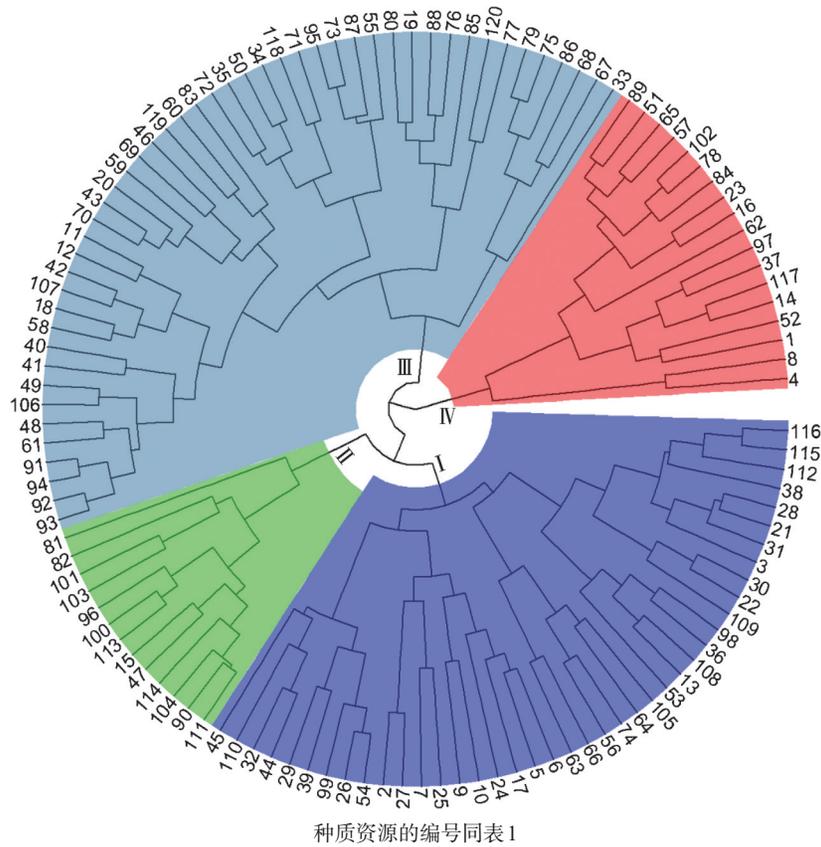
图1 农艺性状及晚斑病等级相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of agronomic traits and late leaf spot grade

2.3 农艺性状及晚斑病等级聚类分析

根据 16 个性状的表型数据对 120 份花生种质进行聚类分析, 结果分为 4 个类群(图 2), 并对各类群平均表现进行统计(表 4)。第 I 和第 II 类群分别包括 41 和 13 份种质资源, 主要为大果型品种, 第 I 类群主要为选育品种, 植株高度相对较矮, 单株结果枝数和荚果数表现也相对较好, 是单株生产力较高的

大果组, 但在晚斑病抗性上表现相对较差; 第 II 类群主要为地方品种和引进资源, 主茎高、侧枝长、分枝数表型值较高, 在单株产量上低于第 I 组, 但晚斑病抗性优于第 I 组; 第 III 和第 IV 类群主要为地方品种和引进资源, 分别包括 48 和 18 份种质资源, 主要为中小果型品种, 第 IV 类群产量相对较高, 在单株生产力和单株荚果数上高于第 III 类群。



The number of germplasm resources is the same as table 1

图 2 120 份花生种质资源聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 120 peanut germplasm resources

表 4 4 个类群农艺性状及晚斑病等级的表型数据

Table 4 Phenotypes data of agronomic traits and late leaf spot grade of four groups

性状 Traits	类群 Group			
	I	II	III	IV
主茎高(cm)SH	46.59	61.29	61.56	59.16
侧枝长(cm) BL	62.10	81.83	79.78	76.54
分枝数 BN	17.70	31.77	19.12	16.04
结果枝数 PBN	12.79	16.53	11.57	11.91
单株生产力(g)YP	40.47	31.21	24.79	40.01
单株荚果数 PPN	26.72	18.08	22.15	37.00
单株饱果数 FPPN	22.26	12.39	18.65	32.90
百果重(g)HPW	214.84	218.91	170.02	136.76
荚果长(mm)PL	36.35	36.80	32.57	28.15

表 4 (续)

性状 Traits	类群 Group			
	I	II	III	IV
荚果宽(mm)PW	15.11	15.44	13.63	12.37
荚果长宽比PLW	2.41	2.41	2.40	2.28
百仁重(g)HSW	87.65	104.55	56.86	58.14
籽粒长(mm)SL	18.13	20.71	14.88	14.80
籽粒宽(mm)SW	10.47	11.16	8.92	9.15
籽粒长宽比SLW	1.75	1.87	1.68	1.63
晚斑病等级LLS	7.33	6.27	6.30	6.39

2.4 农艺性状及晚斑病等级主成分分析

对 16 个性状表型进行主成分分析(表 5),提取了特征值大于 1 的 5 个成分,累计贡献率达到了 85.013%。主成分 1 的贡献率为 34.945%,其中主茎高、侧枝长、分枝数、结果枝数、单株生产力、单株荚果数、单株饱果数的载荷系数较大。主成分 2 的贡献率为 20.594%,其中百果重、荚果长和荚果宽载荷较大。主成分 3 的贡献率为 13.993%,其中籽粒长

和籽粒宽载荷较大。主成分 4 的贡献率为 8.187%,其中晚斑病等级载荷系数较大。主成分 5 的贡献率为 7.294%,其百仁重和荚果长宽比载荷系数较大。可见,主成分 1 主要包含植株高度、分枝长度及数量和荚果数量,主成分 2 主要体现百果重、荚果长、荚果宽,主成分 3 主要体现籽粒长和籽粒宽,主成分 4 则主要体现了晚斑病等级。

表 5 农艺性状及晚斑病等级主成分分析

Table 5 Principal component analysis of agronomic traits and late leaf spot grade

性状 Traits	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
主茎高 SH	0.908	0.002	0.191	-0.033	-0.047
侧枝长 BL	0.890	0.112	0.114	-0.230	0.075
分枝数 BN	0.807	0.176	0.093	-0.376	0.084
结果枝数 PBN	0.807	-0.151	-0.284	-0.003	0.363
单株生产力 YP	0.782	-0.142	-0.218	-0.103	0.339
单株荚果数 PPN	0.771	-0.289	-0.285	0.353	0.184
单株饱果数 FPPN	0.543	-0.211	0.214	0.462	-0.233
百果重 HPW	-0.252	0.860	0.198	0.268	0.245
荚果长 PL	-0.341	0.836	0.122	0.273	0.261
荚果宽 PW	0.336	0.808	0.150	0.100	0.305
荚果长宽比 PLW	-0.481	-0.585	0.218	0.123	0.524
百仁重 HSW	-0.482	-0.569	0.081	0.077	0.530
籽粒长 SL	0.290	-0.205	0.875	0.001	-0.017
籽粒宽 SW	0.406	0.036	0.786	0.183	-0.094
籽粒长宽比 SLW	0.299	0.433	-0.614	0.159	-0.077
晚斑病等级 LLS	0.274	-0.305	-0.186	0.728	-0.162
贡献率(%)Contribution rate	34.945	20.594	13.993	8.187	7.294
累计贡献率(%)Cumulative contribution rate	34.945	55.539	69.532	77.719	85.013

利用标准化后的表型数据、每个主成分的特征值和成分矩阵以及每个主成分的方差贡献率权重获得综合得分方程,并计算每份种质资源的综合得分 y 。

$$y_1 = -0.204x_1 - 0.203x_2 + 0.123x_3 + 0.172x_4 + 0.142x_5 - 0.107x_6 - 0.144x_7 + 0.341x_8 + 0.326x_9 + 0.331x_{10} + 0.116x_{11} + 0.376x_{12} + 0.384x_{13} + 0.341x_{14} + 0.230x_{15} + 0.126x_{16}$$

$$y_2 = -0.313x_1 - 0.322x_2 - 0.113x_3 + 0.020x_4 + 0.445x_5 + 0.474x_6 + 0.461x_7 - 0.083x_8 - 0.159x_9 - 0.078x_{10} - 0.168x_{11} + 0.062x_{12} + 0.001x_{13} + 0.097x_{14} - 0.116x_{15} + 0.239x_{16}$$

$$y_3 = 0.054x_1 + 0.146x_2 + 0.585x_3 + 0.525x_4 + 0.100x_5 + 0.132x_6 + 0.082x_7 - 0.190x_8 - 0.190x_9 - 0.146x_{10} - 0.124x_{11} + 0.076x_{12} + 0.128x_{13} + 0.062x_{14} + 0.143x_{15} - 0.410x_{16}$$

$$y_4 = 0.067x_1 + 0.107x_2 + 0.001x_3 + 0.160x_4 + 0.087x_5 + 0.234x_6 + 0.239x_7 - 0.003x_8 + 0.308x_9 - 0.090x_{10} + 0.636x_{11} - 0.201x_{12} - 0.029x_{13} - 0.329x_{14} + 0.404x_{15} + 0.139x_{16}$$

$$y_5 = 0.491x_1 + 0.485x_2 - 0.016x_3 - 0.087x_4 + 0.282x_5 + 0.227x_6 + 0.242x_7 + 0.336x_8 + 0.170x_9 + 0.314x_{10} - 0.150x_{11} + 0.069x_{12} - 0.044x_{13} + 0.078x_{14} - 0.216x_{15} - 0.071x_{16}$$

$$y = 0.411y_1 + 0.242y_2 + 0.165y_3 + 0.096y_4 + 0.086y_5$$

排名前 10 的种质编号分别为 81、17、53、24、45、5、32、99、4、8,得分分别为 2.69、2.14、2.1、2.09、2.04、2.02、1.95、1.84、1.74(表 6)。排名前十的种质,在侧枝长、分枝数、单株生产力上表现较好,其中单株生产力可以通过单株荚果数或百果重提高,表明这些性状是影响花生产量的主要性状,而晚斑病等级较高,这与相关性分析中晚斑病等级与单株生产力呈极显著正相关结果一致。通过综合得分挑选的种质种包含了优良的地方品种罗江鸡窝和培育品种天府 10 号,表明这种综合性评价对于花生种质的筛选和鉴定具有重要意义。

表 6 筛选获得综合得分前 10 的花生种质

Table 6 The top 10 peanut germplasm with comprehensive score were screened

编号 No.	种质名称 Name	主茎高 (cm) SH	侧枝长 (cm) BL	分枝数 BN	结果枝数 PBN	单株生 产力(g) YP	单株 荚果数 PPN	单株饱 果数 FPPN	百果重(g) HPW	百仁重(g) HSW	晚斑病 等级 LLS
81	ICGV88938	57.9	87.7	53.6	28.7	62.6	27.1	21.5	229.7	129.2	5
17	睢宁小二窝	48.4	61.5	37.0	22.9	41.0	21.9	13.3	218.7	113.1	6
53	Geogia	32.3	43.9	15.2	13.2	71.4	41.3	33.4	228.0	97.7	8
24	花 17	36.0	49.5	25.4	19.8	35.7	21.2	12.6	275.2	104.1	7.5
45	91077-2	61.9	75.8	20.3	12.7	45.6	15.7	11.2	277.8	146.1	7
5	混巨 5 号	39.8	51.7	21.9	17.5	63.6	31.0	21.7	225.8	102.5	6.5
32	濮科花 1 号	42.0	60.8	21.9	17.6	48.2	25.7	22.0	205.3	113.6	8
99	豫花 15 号	44.5	52.5	8.6	8.1	55.7	27.3	24.2	247.2	129.8	7.5
4	天府 10 号	46.6	55.8	27.5	23.3	68.8	61.9	58.2	116.6	67.0	7.5
8	罗江鸡窝	44.9	59.1	33.8	24.6	58.4	47.3	36.0	158.9	73.8	6

3 讨论

花生种质资源是遗传育种研究的基础材料,引进国内外优异种质并进行鉴定和评价,对地方育种进一步改良品种具有重要意义,将为实现新的育种目标提供可能性。本研究对 120 份花生种质进行鉴定和评价,16 个性状的描述统计结果显示,分枝数和单株荚果数变异系数较大,百果重、荚果长、百仁重、籽粒长、籽粒宽、籽粒长宽比的变异系数相对较小,这与前人研究结果一致^[5, 11]。16 个性状的相关性分析结果表明,主茎高和侧枝长与产量相关性呈显著负相关,适当降低主茎高度和侧枝长度,以

提高收获指数增加单产亦适用于花生育种。单株生产力与单株结果数呈显著正相关,荚果数量和荚果大小呈显著负相关,这与前人结果研究一致^[12-13]。光照强度和时长是限制四川花生产量提升的原因之一,大果常难以充实,寻找荚果数量和大小的平衡点,将有利于提高单产。晚斑病抗性侧枝长度呈显著正相关,与产量相关性呈负相关,已有研究报告晚斑病抗性常与低产性状连锁^[13-14],如何打破连锁,平衡产量和晚斑病抗性之间关系,仍需探究。

本研究收集的 120 份种质中有 65 份来自国内各省的选育品种和地方品种,55 份从国外引进,通

通过对选育品种、地方品种和引进资源进行分组比较,引进资源在晚斑病抗性上变异更加丰富,这在前人研究中有报道。广东省农科院通过对国际半干旱所和美国引进的种质资源进行锈病和青枯病鉴定,筛选到的抗锈病种质 NcAc17090、PI393518、Ec76446 (292) 以及抗青枯病种质 Ah1722,都为后续的抗病品种培育提供了宝贵的材料基础^[8]。崔顺立等^[9]也在引进资源中鉴定到 PI478850 和 PI497395 对褐斑病和网斑病免疫。尽管此次鉴定材料较少,但是也能反映出国内育成品种在主茎高和侧枝长上有所缩短,单株生产力和结果枝数提高,这与早期的花生育种关注直立、矮秆和高产有关^[15-16]。本次鉴定出4份晚斑病抗性种质分别是 ICGV91098、ICG11109、ICGV89214、ICGV86590 均为引进种质。花生的生育期、主茎高、主要经济性状以及病害受到环境影响很大^[17],因此在花生各主要产区,增加多样性种质,尤其是引进种质的鉴定和评价,并筛选出适宜当地生产的优质种质,对于育种突破以及重要功能基因挖掘都具有重要意义。

通过种质来源分组和聚类分析结果来看,聚类分析中的第I和第II类群表现为大果,这两组中的54份材料中包含了42份材料为选育品种或地方品种,大果更易高产,因此在育种早期也更受育种家青睐。第III和第IV类群分别包括48和18份种质资源,表现为中小果型,第IV类群在单株产量和单株荚果数量上高于第III类群,可为后续中小粒高产育种提供育种材料。利用主成分分析能尽可能消除强相关性性状的影响,简化资源评价指标,进而对资源进行综合评价,能更加快速筛选出为育种所需要的优异种质资源^[18]。通过主成分分析将16个性状归为5个主成分,累计贡献率为85.013%,是决定这120份种质资源多样性的主要因素。ICGV88938 在此次的综合评分中排名第一,单株生产力和晚斑病抗性表现都较好,植株分枝数多,这类种质拥有更高生物量的同时提高了荚果产量的潜力。近年已有研究者提出直立型对于花生产量的限制,随着国内机械化水平的提升,提出培育半蔓品种,增加生物量和收获指数以突破花生产量^[19]。

在品种培育时,荚果大小和数量作为提升产量最直接的因子被选择,同时适当降低株高的直立型疏枝品种也进一步提高了收获指数并利于人工种植、收获。然而过度的人工选择也将导致花生抗性、品质等方面多样性降低,植株生物量的限制也

会成为产量突破的屏障。从花生多样性更为丰富的地区引进并进行多环境的鉴定和评价,挖掘其优异特性及基因,结合现代分子生物学和遗传学技术,进行遗传改良和品种选育,对国内花生稳产、优质提升和产量潜力突破具有重要意义。

参考文献

- [1] 夏友霖,李加纳,廖伯寿,曾孝平,崔富华,任小平,曾彦,漆燕,赖明芳. 川渝地区花生品种遗传多样性分析. 中国油料作物学报,2008(3):300-305
Xia Y L, Li J N, Liao B S, Zeng X P, Cui F H, Ren X P, Zeng Y, Qi Y, Lai M F. Analysis of genetic diversity in cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) germplasms from Sichuan & Chongqing. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2008(3):300-305
- [2] Bourgeois G, Boote K J, Berger R D. Growth, development, yield and seed quality of Florunner peanut affected by late leaf spot. Peanut Science, 1991, 18(2): 137-143
- [3] Anco D J, Thomas J S, Jordan D L, Shew B B, Monfort W S, Mehl H L, Small I M, Wright D L, Tillman B L, Dufault N S, Hagan A K, Campbell H L. Peanut yield loss in the presence of defoliation caused by late or early leaf spot. Plant Disease, 2020, 104(5): 1390-1399
- [4] 夏友霖,敬昱霖,毛金雄,任小平,漆燕,廖俊华,曾彦,任正隆,廖伯寿. 花生晚斑病抗性遗传分离分析. 中国油料作物学报,2015,37(2):134-140
Xia Y L, Jing Y L, Mao J X, Ren X P, Qi Y, Liao J H, Zeng Y, Ren Z L, Liao B S. Segregation analysis of resistance to late leaf spot in peanut. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2015, 37(2):134-140
- [5] 杜普旋,刘军,陈荣华,吴柔贤,范呈根,郭丹丹,鲁清. 广东省花生种质资源收集与鉴定评价. 植物遗传资源学报,2023, 24(3):671-679
Du P X, Liu J, Chen R H, Wu R X, Fan C G, Guo D D, Lu Q. Systematic collection, identification and evaluation of peanut germplasm resources in Guangdong province. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(3): 671-679
- [6] 林显凤,夏友霖,敬昱霖,毛金雄,何晋宇,廖俊华,毛若涵,游宇. 四川花生地方品种主要农艺性状的遗传多样性分析. 中国农学通报,2021,37(34):9-14
Lin X F, Xia Y L, Jing Y L, Mao J X, He J Y, Liao J H, Mao R H, You Y. Main agronomic traits of peanut landraces of Sichuan province: Genetic diversity analysis. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(34):9-14
- [7] 饶庆琳,姜敏,刘选轶,吕建伟,胡廷会,成良强,王金花,王军. 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(3):373-385
Rao Q L, Jiang M, Liu X Y, Lv J W, Hu T H, Cheng L Q, Wang J H, Wang J. Genetic diversity and comprehensive evaluation of 296 peanuts germplasm resources in Guizhou. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(3):373-385

- [8] 梁炫强, 黎穗临, 叶维霖, 廖小妹, 李一聪. 国外花生种质资源的引进、鉴定和利用. 花生科技, 1999 (S1): 130-135
Liang X Q, Li S L, Ye W L, Liao X M, Li Y C. Introduction, identification and utilization of peanut germplasm resources abroad. *Journal of Peanut Science*, 1999 (S1): 130-135
- [9] 崔顺立, 孟硕, 何美敬, 杨鑫雷, 侯名语, 穆国俊, Charles Y. Chen, 刘立峰. 美国花生微核心种质资源纯化系的引进与表型评价. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 381-389
Cui S L, Meng S, He M J, Yang X L, Hou M Y, Mu G J, Charles Y. Chen, Liu L F. Introduction and phenotypic evaluation of the purified lines of the U.S. peanut mini core collection. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(3): 381-389
- [10] 姜慧芳, 段乃雄. 花生种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
Jiang H F, Duan N X. Description specification and data standard of peanut germplasm resources. Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [11] 黄杨, 熊信果, 邹小云, 丁戈, 谷德平. 江西地方花生种质资源主要农艺性状分析与评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22(6): 1550-1558
Huang Y, Xiong X G, Zou X Y, Ding G, Gu D P. Analysis and evaluation of main agronomic traits of local peanut germplasms in Jiangxi province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(6): 1550-1558
- [12] 陈婷婷, 王苗苗, 黄杨, 曾瑞儿, 王鑫悦, 张雷. 花生种质农艺、产量和品质性状的综合评价. 花生学报, 2020, 49(4): 38-46
Chen T T, Wang M M, Huang Y, Zeng R E, Wang X Y, Zhang L. Evaluation on agronomic, yield and quality traits of peanut germplasm. *Journal of Peanut Science*, 2020, 49(4): 38-46
- [13] 郭朋霞, 游宇, 喻伯伦, 郭建斌, 罗怀勇, 黄莉, 刘念, 陈伟刚, 雷永, 廖伯寿, 晏立英, 姜慧芳, 周小静. 产量和株型性状良好的抗晚斑病花生新种质创制. 中国油料作物学报, 2023, 45(1): 95-101
Guo P X, You Y, Yu B L, Guo J B, Luo H Y, Huang L, Liu N, Chen W G, Lei Y, Liao B S, Yan L Y, Jiang H F, Zhou X J. Development of novel peanut germplasm with resistance to late leaf spot and elite yield and plant-type characteristics. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023, 45(1): 95-101
- [14] 夏友霖, 赖明芳, 曾彦, 漆燕. 花生晚斑病抗性与产量性状的相关研究. 花生学报, 2004 (1): 28-31
Xia Y L, Lai M F, Zeng Y, Qi Y. Correlation of resistance to late leaf spot and yield characters in groundnut. *Journal of Peanut Science*, 2004 (1): 28-31
- [15] 李新国, 郭峰, 万书波. 高产花生理想株型的研究. 花生学报, 2013, 42(3): 23-26
Li X G, Guo F, Wan S B. Peanut ideotypes with high yield. *Journal of Peanut Science*, 2013, 42(3): 23-26
- [16] 李国卫, 秦圣豪, 刘译阳, 张佳蕾, 韩燕, 万书波. 花生株型相关性状研究进展. 中国油料作物学报, 2020, 42(6): 934-939
Li G W, Qin S H, Liu Y Y, Zhang J L, Han Y, Wan S B. Advances in plant architecture studies of peanut. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2020, 42(6): 934-939
- [17] 姜慧芳, 段乃雄, 任小平. 花生种质资源的综合评价. 中国油料作物学报, 1998 (3): 32-36
Jiang H F, Duan N X, Ren X P. Comprehensive evaluation of peanut germplasm resources. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1998 (3): 32-36
- [18] 张小利, 朱灵龙, 李付振, 唐秀梅, 夏友霖, 游宇, 钟瑞春. 115 份花生种质资源农艺与品质性状鉴评及分析. 浙江农业学报, 2023, 35(9): 2033-2044
Zhang X L, Zhu L L, Li F Z, Tang X M, Xia Y L, You Y, Zhong R C. Evaluation and analysis of agronomic and quality traits of 115 peanut germplasm resources. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2023, 35(9): 2033-2044
- [19] 彭振英, 单雷, 张智猛, 李新国, 万书波. 花生株型与高产. 花生学报, 2019, 48(2): 69-72
Peng Z Y, Shan L, Zhang Z M, Li X G, Wan S B. High yield and plant type of peanut. *Journal of Peanut Science*, 2019, 48(2): 69-72