

高纬度下花生种质资源表型性状 遗传多样性研究

李玉发¹, 李淑芳², 王伟¹, 牛海龙¹, 刘红欣¹, 李伟堂¹, 肖夏³, 陈敏⁴

(¹吉林省农业科学院花生研究所, 公主岭 136100; ²吉林省农业科学院作物资源研究所, 公主岭 136100;

³吉林省农业科学院农业经济与信息研究所, 长春 130033; ⁴西南大学植物保护学院, 重庆 400715)

摘要: 为了解高纬度下花生种质资源表型性状的遗传多样性, 提高花生种质资源综合利用效率, 本研究以 226 份花生种质资源为试验材料, 利用变异系数、遗传多样性指数及聚类分析等方法对 11 个农艺性状以及 8 个品质性状进行分析。结果表明: 19 个表型性状变异系数范围为 2.90% (含油量)~34.07% (蔗糖含量), 其中 13 个性状的变异系数>10.00%; 遗传多样性指数范围为 1.237 (亚油酸含量)~2.077 (荚果长)。不同类型的种质多样性表现不同, 品系的 5 个品质性状遗传多样性较丰富, 选育品种的 8 个农艺性状遗传多样性较丰富。相关性分析表明, 种子长与其他农艺性状的相关程度较高, 含油量与其他品质性状负相关程度较高。通过聚类分析将 226 份花生种质资源划分为 3 大类群, 类群 I 包含 14 份种质, 主要特征是油酸、还原糖、可溶性糖、蔗糖及总糖含量较高, 可用于高油酸、鲜食花生品种选育; 类群 II 包含 30 份种质, 主要特征是结果枝数、主茎高、含油量等 12 个表型性状平均值大, 可用于高油品种选育; 类群 III 包含 182 份种质, 主要特征是结果枝数及第一侧枝长等 13 个性状的变异系数高, 材料类型丰富, 可为高产品种选育提供广泛的基础材料。通过综合得分 *F* 值筛选出 10 份优异种质, 可用于高纬度下花生育种的优异亲本。

关键词: 花生; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

Genetic Diversity Study of Peanut Germplasm Resources on Phenotypic Traits in High Latitude

LI Yufa¹, LI Shufang², WANG Wei¹, NIU Hailong¹, LIU Hongxin¹,

LI Weitang¹, XIAO Xia³, CHEN Min⁴

(¹Peanut Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; ²Institute of Crop Resources Sciences,

Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; ³Institute of Agricultural Economy

and Information, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;

⁴College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: In order to understand genetic diversity of phenotypic traits of peanut germplasm resources in high latitude and improve their comprehensive utilization efficiency, 226 accessions were examined for 19 phenotypic traits (eleven agronomic traits and eight quality traits), followed by coefficient of variation (*CV*), Shannon-weaver index (*H'*), cluster analysis and so on. The *CV* ranged from 2.90% (oil content) to 34.07% (saccharose content), including 13 traits showing *CV* over 10.00%, indicating abundant genetic variation in these traits. The *H'* ranged from 1.237 (linoleic acid content) to 2.077 (pod length). The variations on diversity were observed from germplasm types, and abundant diversity was detected at five quality traits in the lines and eight agronomic traits in breeding varieties. The correlation analysis showed that seed length positively correlated

收稿日期: 2024-04-07 网络出版日期: 2024-08-23

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240407003>

第一作者研究方向为花生育种及配套栽培技术, E-mail: liyufa2000@163.com; 李淑芳为共同第一作者

基金项目: 吉林省科技发展计划项目 (20230202012NC)

Foundation project: Science and Technology Development Project of Jilin Province (20230202012NC)

with other agronomical traits, while oil content negatively correlated with other quality traits. Three groups were divided by cluster analysis, including group I containing 14 germplasms, which were mainly characterized by high oleic acid, and reducing sugar, soluble sugar, saccharose and total sugar content, with potential in breeding for high oleic acid varieties and fresh peanut varieties. Group II contained 30 germplasms, with the average values of 12 phenotypic traits that were the highest among the three groups. That included number of branches with pods, height of main stem and oil content, which could be used for breeding high-oil varieties. Group III contained 182 germplasms, showing the highest coefficient of variation at 13 traits among the three groups, such as number of branches with pods and length of first branch, and rich germplasm types, which could provide a wide range of basic germplasms for breeding high-yield varieties. Ten elite germplasms were selected by comprehensive score *F*-value, with potential serving as parental lines in peanut breeding in high latitude.

Key words: peanut; germplasm resources; phenotypic traits; genetic diversity

花生是全球第三大油脂植物,分布广泛,目前在世界上 100 多个国家均有种植^[1]。花生作为我国重要的油、食、饲兼用作物,在国民经济和社会发展、保障我国食用油安全和供给等方面具有重要地位^[2-3]。目前,全国花生播种面积常年稳定在 467 万公顷左右,总产量 1750 万吨,年产值超过 1100 亿元,主要种植区域可划分为四大产区,其中北方产区、华南产区和长江流域被称为三大主产区,第四大产区主要以辽宁、吉林为主,位于东北农牧交错带区域,此区花生种植面积增加迅速^[4]。以吉林为例,2000 年种植面积不足 6 万公顷,目前年均种植面积已接近 30 万公顷,是我国春播花生种植面积增长最快的产区^[5]。吉林省地处东北农牧交错带的核心区域,是我国新兴的早熟花生主产区之一,其独特的高纬度环境非常适宜中早熟花生品种的生长,现已成为我国小白沙及四粒红的生产基地,其中四粒红已成为吉林省扶余市的“地理标志”产品,深受国内外市场青睐。

农作物种质资源是培育优质、高产、抗逆新品种的重要物质基础,也是人类社会赖以生存和发展的战略性资源^[6]。与其他农作物一样,花生种质资源可为花生育种和遗传改良提供广泛的基础材料,众多专家针对花生种质资源开展了较为系统地分析、评价。江建华等^[7]以来源于 5 个国家的 126 份花生品种为材料,对主要农艺性状开展了遗传多样性分析,发现这些品种具有丰富的遗传多样性,改良潜力巨大。禹山林^[8]对中国花生品种及其系谱进行了详细分析,全面深入地介绍了花生重要目标性状

的遗传、品种改良及中国花生种质资源的分类、鉴定与利用。苗利娟等^[9]以河南省 128 份花生农家品种为材料,测定了农艺性状和品质性状,发现河南省花生农家品种在农艺性状方面具有丰富的遗传多样性,脂肪含量较高,可为花生品质改良提供优异亲本。任明刚等^[10]对 44 份黑花生资源的质量性状及表型性状遗传多样性进行了分析,发现黑花生种质资源遗传多样性丰富。作物表型性状作为作物基因型的外在表现,是基因型与环境互作的结果,可直观地反映作物的遗传结构,已被广泛应用于各类作物种质资源评价中^[11-13]。目前,国内外对花生种质资源研究报道较多,但关于综合评价高纬度生态条件下花生种质资源表型性状研究尚未见报道。本研究以 226 份花生种质资源为试验材料,在高纬度生态条件下连续两年对其 19 个表型性状进行鉴定,通过多种分析方法揭示高纬度条件下花生种质资源的遗传多样性水平,为高纬度产区花生种质创新及新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

226 份种质(表 1)均由吉林省农业科学院花生研究所提供,其中吉林省 72 份、辽宁省 42 份、山东省 57 份、河南省 34 份、河北省 11 份,其余 6 个省(市)共计 10 份。种质类型包含地方品种、选育品种及品系,分别有 7 份、148 份、71 份。

表1 供试226份花生种质资源信息

Table 1 Information of 226 peanut germplasm resources

编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source
P1	商花40	选育品种	河南	P39	201206-1	品系	辽宁	P77	07-9	品系	辽宁
P2	科富花9	选育品种	吉林	P40	吉农花3号	选育品种	吉林	P78	豫花9717	选育品种	河南
P3	冀农花21	选育品种	河北	P41	商花36号	选育品种	河南	P79	双辽96-3	品系	吉林
P4	冀花2	选育品种	河北	P42	2016-19	品系	山东	P80	LXH引	地方品种	吉林
P5	铁花22	选育品种	辽宁	P43	商花35	选育品种	河南	P81	辽花5	选育品种	辽宁
P6	807	选育品种	山东	P44	双花1号	选育品种	山东	P82	P06-1	品系	山东
P7	远杂9307	选育品种	河南	P45	鲁花9	选育品种	山东	P83	俊达11	选育品种	河南
P8	铁花19	选育品种	辽宁	P46	2014-10	品系	辽宁	P84	开农41	选育品种	河南
P9	冀花7号	选育品种	河北	P47	铁花16	选育品种	辽宁	P85	科黑	选育品种	山东
P10	兰娜	选育品种	山东	P48	皖花4	选育品种	安徽	P86	C-50	品系	辽宁
P11	鲁花14	选育品种	山东	P49	吉花9号	选育品种	吉林	P87	2014-8	品系	河南
P12	吉扶3	选育品种	吉林	P50	花育9514	选育品种	山东	P88	泰丰花1号	选育品种	山东
P13	C-56	选育品种	辽宁	P51	青花6	选育品种	山东	P89	9612	品系	辽宁
P14	锦2010	选育品种	辽宁	P52	C82	品系	山东	P90	C-53	品系	河南
P15	科富花6号	选育品种	吉林	P53	花育20	选育品种	山东	P91	花育954	选育品种	山东
P16	潍花16号	选育品种	山东	P54	吉1315	选育品种	吉林	P92	C-8525	品系	山东
P17	周花9号	选育品种	河南	P55	黑沙1号	地方品种	辽宁	P93	冀花5	选育品种	河北
P18	锦花22	选育品种	辽宁	P56	吉花6036	选育品种	吉林	P94	锦9804	选育品种	辽宁
P19	誉宇1号	选育品种	山东	P57	双辽引-4	选育品种	吉林	P95	双胜288	选育品种	山东
P20	锦9818	品系	辽宁	P58	冀花19	选育品种	河北	P96	吉1316	品系	吉林
P21	开农315	选育品种	河南	P59	白沙308	选育品种	山东	P97	农花21	选育品种	北京
P22	吉1314	品系	吉林	P60	锦K9704-4	选育品种	辽宁	P98	2016-11	品系	河南
P23	YY2013	品系	河南	P61	402-7	品系	山东	P99	锦9826	选育品种	辽宁
P24	濮花71V	选育品种	河南	P62	豫花15	选育品种	河南	P100	07-4	品系	山东
P25	濮花71	选育品种	河南	P63	吉扶201	选育品种	吉林	P101	吉花1107	选育品种	吉林
P26	花育661	选育品种	山东	P64	誉宇3号	选育品种	山东	P102	双辽趴拉裸	选育品种	吉林
P27	吉农花2号	选育品种	吉林	P65	双英6号	选育品种	吉林	P103	濮花69号	选育品种	河南
P28	花育9304	选育品种	山东	P66	锦9938	选育品种	辽宁	P104	吉1317	品系	吉林
P29	双英2号	选育品种	吉林	P67	粤油20	选育品种	广东	P105	C-20	品系	山东
P30	科富花1号	选育品种	吉林	P68	远杂9805	选育品种	河南	P106	J-9	品系	辽宁
P31	GYS2	选育品种	山东	P69	阜花16	选育品种	辽宁	P107	J10	品系	辽宁
P32	白院花2号	选育品种	吉林	P70	R-999-5	品系	山东	P108	SD-3	品系	山东
P33	豫花123号	选育品种	河南	P71	双辽红粒	地方品种	吉林	P109	京白2	选育品种	北京
P34	濮花28	选育品种	河南	P72	皖花2	选育品种	安徽	P110	J-5	品系	辽宁
P35	冀花311	选育品种	河北	P73	吉扶4	选育品种	吉林	P111	C-花选39	选育品种	山东
P36	潍花15号	选育品种	山东	P74	c36	品系	辽宁	P112	阜花14	选育品种	辽宁
P37	阜花20	选育品种	辽宁	P75	c-49	品系	山东	P113	2016-24	品系	辽宁
P38	C-10	品系	山东	P76	花育963	选育品种	山东	P114	冀花13号	选育品种	河北

表 1 (续)

编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source
P115	J-11	品系	辽宁	P153	C-22	品系	山东	P191	宏花309	选育品种	吉林
P116	2014-22	品系	山东	P154	TH13-4-2	品系	山东	P192	宏花807	选育品种	吉林
P117	吉花54	选育品种	吉林	P155	濮花65号	选育品种	河南	P193	兴花7号	选育品种	吉林
P118	3023	品系	河北	P156	濮花24	选育品种	河南	P194	吉农花5号	选育品种	吉林
P119	科富3号	选育品种	吉林	P157	濮科花2号	选育品种	河南	P195	科富花12号	选育品种	吉林
P120	2014-17	品系	辽宁	P158	豫花9503	选育品种	河南	P196	翠花8号	选育品种	吉林
P121	C63	品系	山东	P159	郑农花14	选育品种	河南	P197	白院花12号	选育品种	吉林
P122	铁花23	选育品种	辽宁	P160	冀农花15号	选育品种	河北	P198	白城中粒	地方品种	吉林
P123	蔻花王	选育品种	山东	P161	2102	品系	辽宁	P199	九花3号	选育品种	吉林
P124	科富花7	选育品种	吉林	P162	阜花13	选育品种	辽宁	P200	白院花13	选育品种	吉林
P125	莲玉6	选育品种	辽宁	P163	V0410	品系	山东	P201	农海花1号	选育品种	吉林
P126	C-59	品系	河南	P164	DFL-1	品系	山东	P202	白院花14	选育品种	吉林
P127	双花2028	选育品种	山东	P165	科濮	选育品种	河南	P203	九花2号	选育品种	吉林
P128	农花20	选育品种	北京	P166	誉字2号	选育品种	山东	P204	吉花58	选育品种	吉林
P129	J-3	品系	辽宁	P167	徐26	选育品种	江苏	P205	吉花57	选育品种	吉林
P130	花育657	选育品种	山东	P168	白10-206	选育品种	辽宁	P206	吉农花9号	选育品种	吉林
P131	环10-5	选育品种	河南	P169	C-25	品系	辽宁	P207	科富花13	选育品种	吉林
P132	如皋西洋花生	地方品种	江苏	P170	远杂2-3-3	品系	河南	P208	宏花8号	选育品种	吉林
P133	2017-76	品系	河南	P171	2016-20	品系	河南	P209	科富花14	选育品种	吉林
P134	湘花2008	选育品种	湖南	P172	莱农06	选育品种	山东	P210	吉润花16	选育品种	吉林
P135	华实9618	选育品种	山东	P173	双辽引-2	选育品种	吉林	P211	吉花59	选育品种	吉林
P136	华实9616	选育品种	山东	P174	中花4号	选育品种	湖北	P212	吉23C1	品系	吉林
P137	C-28	品系	辽宁	P175	花育6313	选育品种	山东	P213	吉23C2	品系	吉林
P138	C-品16	选育品种	辽宁	P176	连花609	选育品种	辽宁	P214	吉23C3	品系	吉林
P139	花育63	选育品种	山东	P177	吉1318	选育品种	吉林	P215	吉23C4	品系	吉林
P140	铁花24	选育品种	辽宁	P178	宇花4号	选育品种	山东	P216	吉23C5	品系	吉林
P141	花育9309	选育品种	山东	P179	C-61	品系	山东	P217	吉23C6	品系	吉林
P142	C-9	品系	河南	P180	远育16-8	选育品种	河南	P218	吉23C7	品系	吉林
P143	冀50112	选育品种	河北	P181	辽宁红粒	地方品种	辽宁	P219	吉23C8	品系	吉林
P144	邢花200704-9	品系	河北	P182	吉花2007-2	品系	吉林	P220	吉23C10	品系	吉林
P145	吉农花1号	选育品种	吉林	P183	2017-96	品系	辽宁	P221	吉23C11	品系	吉林
P146	41821	品系	山东	P184	801	品系	山东	P222	吉23C12	品系	吉林
P147	花冠1号	选育品种	山东	P185	宇花16	选育品种	山东	P223	吉23C13	品系	吉林
P148	C19	品系	辽宁	P186	宇花9号	选育品种	山东	P224	吉23C14	品系	吉林
P149	吉花1026	选育品种	吉林	P187	抚松花生	地方品种	吉林	P225	吉23C16	品系	吉林
P150	吉润花3号	选育品种	吉林	P188	V9	品系	吉林	P226	吉23C17	品系	吉林
P151	漂花4087	选育品种	河南	P189	吉花55	选育品种	吉林				
P152	402-3	品系	山东	P190	吉花56	选育品种	吉林				

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植 试验于2022-2023年在高纬度地区吉林省公主岭市吉林省农业科学院公主岭试验地(124°18'E,43°11'N)进行,该地区最高海拔374.9 m。根据当地的气温状况,每年于5月中旬播种;根据花

生种质资源的熟期适期收获。据公主岭市气象局观测,花生生育期期间平均气温20.6℃,平均降雨量105.2 mm,平均日照时数1070.3 h。2022-2023年花生生育期期间气温未发生异常现象(图1)。

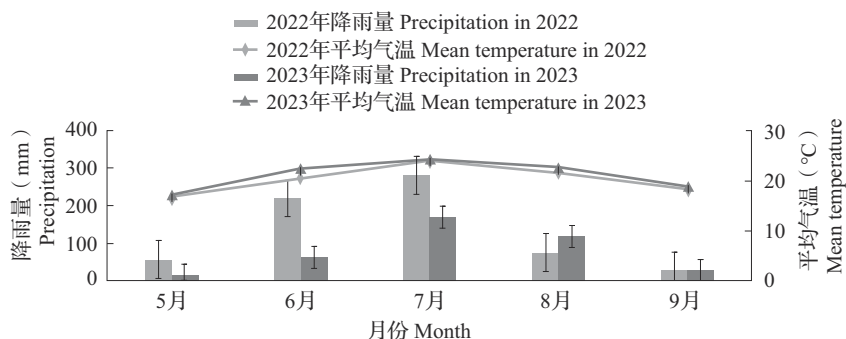


图1 花生生育期期间气温及降雨状况

Fig.1 Temperature and precipitation during the growth and development of peanut

试验采用完全随机区组设计,3次重复。每份材料种植3行,行长4 m,行距60 cm,株距14 cm,田间管理与大田生产一致。

1.2.2 农艺性状测定 参考《花生种质资源描述规范和数据标准》^[14]测定11个农艺性状,包括结果枝数、主茎高、第一侧枝长、荚果长、荚果宽、百果重、种子长、种子宽、百仁重、单株生产力、单株结果数。每份资源选取有代表性的10株植株进行测量,重复3次,适期收获并考察荚果及种子相关性状。所有农艺性状均采用2年数据平均值。

1.2.3 品质性状测定 利用多功能近红外品质分析仪(福斯FOSS DS3F)测定8个品质性状,包括蛋白质含量、含油量、油酸含量、亚油酸含量、还原糖含量、可溶性糖含量、蔗糖含量及总糖含量。3次重复,取平均值。

1.3 数据分析

采用Excel 2010计算变异系数(CV)及遗传多样性指数(H'),利用平均数(\bar{X})和标准差(S)将材料

划分为10级,从第1级 $X_i \leq (\bar{X} - 2S)$ 到第10级 $X_i \geq (\bar{X} + 2S)$,设置0.5S为1级,换算成相对频率来计算 H' ^[15]。遗传多样性指数(H')公式: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$,其中 P_i 为某一性状第*i*级别时的频率。利用Oringin 2021进行聚类分析,IBM SPSS 25进行主成分分析,计算各主成分得分及综合得分*F*值,根据*F*值进行综合评价,筛选优异种质。

2 结果与分析

2.1 花生种质资源遗传多样性分析

2.1.1 农艺性状的主要参数和遗传多样性指数 11个农艺性状的统计分析(表2)显示,各性状之间的变异系数及遗传多样性指数均存在差异。遗传多样性指数范围为1.855~2.077,平均值2.006,其中单株结果数最小,荚果长最大,其余9个性状的遗传多样性指数排序依次为第一侧枝长>结果枝数>种子宽>主茎高>种子长>百仁重>单株生产力>百果重>荚果宽。

表2 供试材料11个农艺性状的变异分析及遗传多样性分析

Table 2 Genetic diversity and variation analysis of 11 agronomic traits in tested materials

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	遗传多样性 指数 H'
结果枝数 PBN	3.90	9.10	5.20	6.54	0.806	12.33	2.044
主茎高(cm)MSH	24.90	51.90	27.00	36.74	4.448	12.11	2.030
第一侧枝长(cm)FBL	29.30	55.20	25.90	39.15	4.541	11.60	2.051
荚果长(mm)PL	22.63	44.89	22.26	33.18	4.947	14.91	2.077
荚果宽(mm)PW	10.08	16.41	6.33	12.96	1.124	8.67	1.947

表 2 (续)

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
百果重(g)HPW	107.70	254.30	146.60	181.79	22.060	12.13	1.973
种子长(mm)SL	11.02	21.83	10.81	15.34	2.222	14.48	2.029
种子宽(mm)SW	5.57	10.10	4.54	8.21	0.851	10.37	2.043
百仁重(g)HSW	41.90	108.00	66.10	72.83	12.454	17.10	2.027
单株生产力(g)PPY	12.40	31.32	18.92	18.30	3.486	19.06	1.990
单株结果数 PPN	11.10	34.20	23.10	17.12	3.275	19.13	1.855

PBN: Number of branches with pods; MSH: Height of main stem; FBL: Length of first branch; PL: Pod length; PW: Pod width; HPW: 100-pod weight; SL: Seed length; SW: Seed width; HSW: 100-seed weight; PPY: Pod yield per plant; PPN: Pod number per plant; The same as below

11个农艺性状变异系数范围为8.67%~19.13%，平均值为13.81%，其中单株结果数最大，荚果宽最小，其余9个性状的变异系数排序依次为种子宽<第一侧枝长<百果重<主茎高<结果枝数<种子长<荚果长<百仁重<单株生产力。226份资源的百果重极差最大，为146.60 g；百仁重的极差次之，为66.10 g；种子宽的极差最小，为4.54 mm。综上，11个农艺性状有着丰富的遗传变异。

2.1.2 品质性状的主要参数和遗传多样性指数 8个品质性状的统计分析(表3)显示，遗传多样性指数

在1.237~2.053之间，其中还原糖含量最大，亚油酸含量最小，其余品质性状的遗传多样性指数排序依次为油酸含量<蔗糖含量<蛋白质含量<可溶性糖含量<含油量<总糖含量。变异系数在2.90%~34.07%之间，其中蔗糖含量最大，含油量最小，其余品质性状的变异系数排序依次为还原糖含量<蛋白质含量<总糖含量<亚油酸含量<油酸含量<可溶性糖含量。由此可见，226份花生种质资源中遗传多样性指数与变异系数表现并不一致。

表 3 参试材料8个品质性状的变异分析及遗传多样性分析

Table 3 Genetic diversity and variation analysis of 8 quality traits in tested materials

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
蛋白质含量(%)PC	17.22	33.27	16.05	22.33	2.199	9.85	1.981
含油量(%)OC	45.83	57.77	11.94	54.05	1.566	2.90	2.024
油酸含量(%)OAC	24.24	81.28	57.04	37.55	10.484	27.92	1.298
亚油酸含量(%)LAC	4.32	51.96	47.64	41.70	8.923	21.40	1.237
还原糖含量(%)RSC	0.62	0.88	0.26	0.75	0.049	6.58	2.053
可溶性糖含量(%)SSC	0.53	6.30	5.77	2.95	0.850	28.85	2.022
蔗糖含量(%)SC	0.23	5.51	5.28	1.63	0.554	34.07	1.962
总糖含量(%)TSC	10.03	25.09	15.06	15.95	2.523	15.81	2.030

PC: Protein content; OC: Oil content; OAC: Oleic acid content; LAC: Linoleic acid content; RSC: Reducing sugar content; SSC: Soluble sugar content; SC: Saccharose content; TSC: Total sugar content; The same as below

2.1.3 不同类型种质变异分析及遗传多样性分析

由表4、图2可知，不同类型种质农艺性状及品质性状的变异系数范围为2.09%(含油量)~36.44%(蔗糖含量)。其中地方品种的种子长、种子宽、百仁重等7个农艺性状，以及可溶性糖、蔗糖及总糖含量3个品质性状的变异系数均大于10.00%，说明地方品种这10个性状具有丰富的遗传变异；品系的百仁重及

单株生产力等9个农艺性状，以及可溶性糖、蔗糖及总糖含量3个品质性状的变异系数均大于10.00%，说明品系的这12个性状具有丰富的遗传变异；选育品种主茎高、侧枝长及单株结果数等11个农艺性状，以及蛋白质、油酸、亚油酸含量等6个品质性状的变异系数均大于10.00%，说明选育品种的这17个性状具有丰富的遗传变异。

表4 不同类型种质变异分析及遗传多样性分析

Table 4 Genetic diversity and variation analysis of different germplasm types

性状 Traits	地方品种 Landraces		品系 Lines		选育品种 Breeding varieties	
	变异系数(%) <i>CV</i>	遗传多样性 指数 <i>H'</i>	变异系数(%) <i>CV</i>	遗传多样性 指数 <i>H'</i>	变异系数(%) <i>CV</i>	遗传多样性 指数 <i>H'</i>
结果枝数 PBN	7.40	1.550	11.37	1.997	12.68	1.955
主茎高(cm)MSH	14.96	1.277	11.53	1.951	12.32	2.018
第一侧枝长(cm)FBL	15.93	1.550	11.38	2.029	11.55	2.064
荚果长(mm)PL	12.09	1.550	14.91	2.019	15.00	2.075
荚果宽(mm)PW	8.27	1.550	8.65	2.075	8.64	2.035
百果重(g)HPW	9.82	1.748	10.36	1.897	12.96	1.946
种子长(mm)SL	20.51	1.550	15.28	1.877	13.87	2.077
种子宽(mm)SW	20.09	1.550	9.75	2.006	10.06	2.055
百仁重(g)HSW	20.29	1.550	16.20	1.983	17.39	2.015
单株生产力(g)PPY	10.56	1.154	22.17	1.847	17.15	2.029
单株结果数 PPN	7.26	1.154	15.87	1.958	20.47	1.787
蛋白质含量(%)PC	7.19	1.550	8.86	2.059	10.16	1.964
含油量(%)OC	2.09	1.004	2.44	2.075	3.04	1.974
油酸含量(%)OAC	9.25	1.550	9.56	1.905	32.69	1.256
亚油酸含量(%)LAC	4.99	1.748	6.64	1.871	26.32	1.250
还原糖含量(%)RSC	5.67	1.748	6.30	1.970	6.72	2.074
可溶性糖含量(%)SSC	21.53	1.550	23.44	1.966	30.52	2.028
蔗糖含量(%)SC	23.69	1.352	26.00	1.986	36.44	1.965
总糖含量(%)TSC	14.04	1.352	11.65	2.028	17.34	2.045

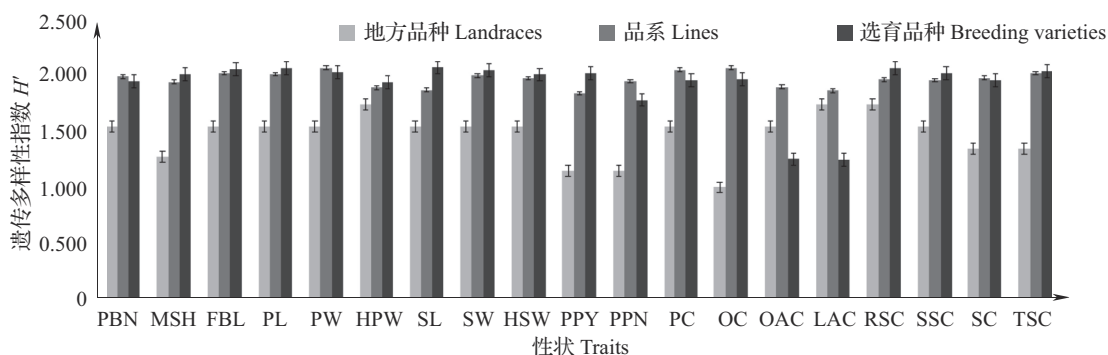


图2 不同类型种质遗传多样性指数

Fig.2 Shannon's index (H') of different germplasm types

不同类型种质遗传多样性指数范围在1.004(含油量)~2.077(种子长)之间,其中品系的结果枝数、荚果宽、单株结果数、蛋白质含量、含油量、油酸含量、亚油酸含量及蔗糖含量的遗传多样性指数在3个类型间均最大,说明71份品系在这些性状上遗传多样性均较丰富;选育品种的主茎高、第一侧枝长、荚果长、百果重、种子长、种子宽、百仁重、单株生产

力、还原糖含量、可溶性糖含量及总糖含量的遗传多样性指数在3个类型间均最大,说明选育品种在这些性状上遗传多样性较丰富。

2.1.4 不同地理来源种质遗传多样性分析 除吉林省、河北省、河南省、辽宁省、山东省外,其他6个省份的种质资源数量较少,因此合并分析。由表5可知,不同省(市)花生种质资源各性状的多样性有

差异,其中来自吉林省的72份种质的结果枝数遗传多样性指数(1.957)最大,来自河南省的34份种质的3个性状(百果重、含油量、总糖含量)的遗传多样性指数均最大,来自山东省的57份种质的8个性状(主茎高、荚果长、荚果宽、种子长、百仁重、蛋白质含量、还原糖含量、蔗糖含量)的遗传多样性指数均最大,来自辽宁省的42份种质的7个性状(第一侧枝长、种子宽、单株生产力、单株结果数、油酸含量、亚油酸含量、可溶性糖含量)的遗传多样性指数均最大。由此可见,在高纬度下,226份种质的11个农

艺性状及8个品质性状的多样性分布并不均匀,吉林省种质在结果枝数上具有较丰富的多样性;河南种质在百果重、含油量及总糖含量上具有较丰富的多样性;山东省种质在主茎高、荚果长、荚果宽、种子长及百仁重5个农艺性状,以及蛋白质含量、还原糖含量及蔗糖含量3个品质性状上具有较丰富的多样性;辽宁省在第一侧枝长、种子宽、单株生产力及单株结果数4个农艺性状,以及油酸含量、亚油酸含量及可溶性糖含量3个品质性状上具有较丰富的多样性。

表5 不同地理来源种质遗传多样性指数

Table 5 Shannon's index (H') of germplasm from different sample source

性状 Traits	吉林 Jilin	河北 Hebei	河南 Henan	辽宁 Liaoning	山东 Shandong	其他省(市) Others
结果枝数 PBN	1.957	1.642	1.870	1.906	1.877	1.834
主茎高 MSH	1.726	1.162	1.879	1.945	1.968	1.696
第一侧枝长 FBL	1.532	1.264	1.812	1.975	1.853	1.696
荚果长 PL	1.713	1.376	1.910	1.966	1.970	1.609
荚果宽 PW	1.639	1.720	2.020	1.993	2.063	1.609
百果重 HPW	1.693	1.720	1.925	1.911	1.619	1.696
种子长 SL	1.614	1.846	1.973	2.046	2.069	1.748
种子宽 SW	1.681	1.846	1.956	2.006	1.533	1.696
百仁重 HSW	1.977	1.846	1.970	1.901	1.981	1.643
单株生产力 PPY	1.459	1.540	1.936	1.953	1.945	1.887
单株结果数 PPN	1.739	1.241	1.856	1.917	1.598	1.471
蛋白质含量 PC	1.751	1.414	1.896	1.926	2.036	1.887
含油量 OC	1.715	1.673	2.010	1.970	1.967	1.418
油酸含量 OAC	1.123	0.655	1.343	2.038	1.278	1.359
亚油酸含量 LAC	1.108	0.655	1.309	1.956	1.230	1.471
还原糖含量 RSC	1.944	1.673	1.856	1.843	2.021	1.696
可溶性糖含量 SSC	1.668	1.673	1.959	1.966	1.959	1.609
蔗糖含量 SC	1.480	1.768	1.852	1.925	2.008	1.696
总糖含量 TSC	1.654	1.894	1.959	1.932	1.943	1.834

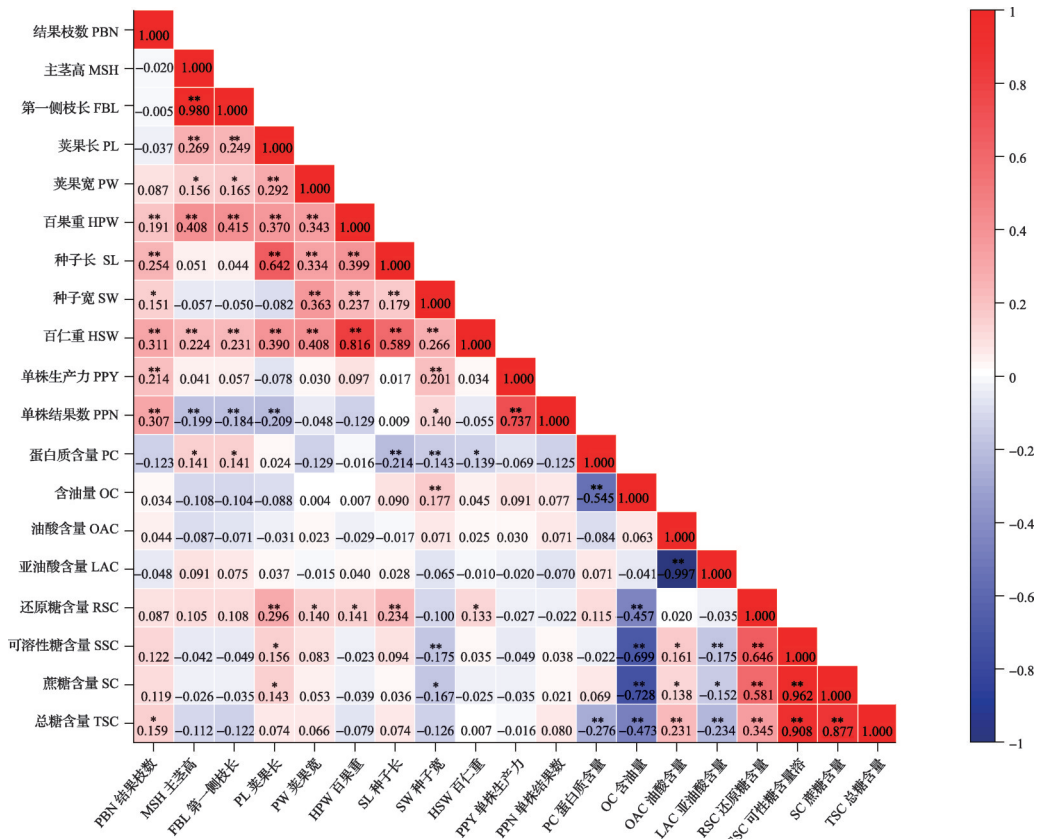
2.2 花生种质资源性状相关性分析

相关性分析(图3)表明,有70组性状间相关性达到显著或极显著。在农艺性状方面,单株结果数与结果枝数、单株生产力三者之间互为极显著正相关,而单株结果数与第一侧枝长、主茎高均呈极显著负相关;第一侧枝长与主茎高呈极显著正相关,且相关系数最大,为0.980;荚果长与荚果宽呈极显著正相关,二者均与主茎高、第一侧枝长呈极显著或显著正相关,荚果长与单株结果数呈

极显著负相关;种子长与种子宽呈极显著正相关,二者均与荚果宽、百果重呈极显著正相关,种子长与荚果长、结果枝数,种子宽与单株生产力均呈极显著正相关;百仁重则与结果枝数、荚果长、种子长等8个性状呈极显著正相关。在品质性状方面,蛋白质含量与含油量,油酸含量与亚油酸含量均呈极显著负相关;还原糖等4种糖含量之间互为极显著正相关,且四者均与含油量呈极显著负相关;可溶性糖含量与亚油酸含量,总糖含量与蛋

白质含量、亚油酸含量均呈极显著负相关;总糖含量与油酸含量呈极显著正相关。在品质性状与农艺性状相关性方面,蛋白质含量与种子长,可溶性

糖含量与种子宽均呈极显著负相关;含油量与种子宽,还原糖含量与荚果长、种子长均呈极显著正相关。



*、**：分别在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 水平差异显著
 *, **: Show significant relationship at $P < 0.01$, $P < 0.05$ level, respectively

图3 表型性状相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of phenotypic traits

2.3 主成分分析

主成分分析(表6)发现,前7个主成分累积贡献率达82.222%。第1主成分贡献率最大,为20.789%,其中可溶性糖含量具最高正向载荷,其次为蔗糖和总糖含量,说明第1主成分代表与糖含量相关的性状;第2主成分贡献率是17.967%,百果重和百仁重具有较高正向载荷,说明第2主成分代表与产量相关的性状;第3主成分贡献率是13.462%,单株结果数具有最高正向载荷,蛋白质含量具有最高负向载荷,说明第3主成分是产量与品质性状的综合反映;第4

主成分贡献率是9.631%,其中亚油酸含量具有最高正向载荷,油酸含量具有最高负向载荷,说明第4主成分也与品质性状相关;第5主成分贡献率是8.953%,其中单株生产力具有最高正向载荷,其次为第一侧枝长及主茎高,说明第5主成分是植株与产量的综合反应;第6主成分贡献率是5.976%,其中蛋白质含量具有最高正向载荷,说明第6主成分也与品质性状相关;第7主成分贡献率是5.444%,其中种子宽具有最高负向载荷,荚果长具有最高正向载荷,说明第7主成分代表与荚果及种子相关的性状。

表6 参试材料19个表型性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of 19 phenotypic traits in tested materials

性状 Traits	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4	主成分5 PC5	主成分6 PC6	主成分7 PC7
结果枝数 PBN	0.047	0.056	0.171	0.164	0.087	-0.015	0.026
主茎高 MSH	0.033	0.170	-0.178	-0.094	0.310	-0.262	-0.099
第一侧枝长 FBL	0.032	0.170	-0.171	-0.096	0.322	-0.253	-0.104

表6(续)

性状 Traits	主成分1 PC1	主成分2 PC2	主成分3 PC3	主成分4 PC4	主成分5 PC5	主成分6 PC6	主成分7 PC7
荚果长 PL	0.094	0.162	-0.045	-0.046	-0.165	-0.043	0.453
荚果宽 PW	0.057	0.150	0.080	-0.008	-0.077	0.158	-0.384
百果重 HPW	0.051	0.235	0.022	-0.016	0.039	0.109	-0.056
种子长 SL	0.072	0.178	0.113	0.053	-0.227	-0.007	0.350
种子宽 SW	-0.033	0.093	0.177	0.041	0.013	0.350	-0.490
百仁重 HSW	0.062	0.228	0.099	0.001	-0.076	0.114	-0.003
单株生产力 PPY	-0.014	0.021	0.174	0.245	0.359	-0.013	0.172
单株结果数 PPN	-0.009	-0.047	0.222	0.271	0.277	-0.009	0.209
蛋白质含量 PC	0.015	-0.026	-0.212	-0.005	0.177	0.615	0.225
含油量 OC	-0.180	0.066	0.159	-0.077	-0.096	-0.315	0.048
油酸含量 OAC	0.052	-0.050	0.201	-0.417	0.141	0.080	0.114
亚油酸含量 LAC	-0.055	0.054	-0.197	0.415	-0.143	-0.088	-0.113
还原糖含量 RSC	0.180	0.015	-0.044	0.062	-0.012	0.084	0.146
可溶性糖含量 SSC	0.239	-0.080	0.008	0.047	-0.017	-0.074	-0.087
蔗糖含量 SC	0.233	-0.088	-0.013	0.052	0.010	-0.032	-0.099
总糖含量 TSC	0.205	-0.092	0.082	0.019	-0.045	-0.261	-0.189
特征值 Eigenvalue	3.950	3.414	2.558	1.830	1.701	1.136	1.034
贡献率(%)Contribution rate	20.789	17.967	13.462	9.631	8.953	5.976	5.444
累积贡献率(%) Cumulative contribution rate	20.789	38.756	52.218	61.849	70.802	76.778	82.222

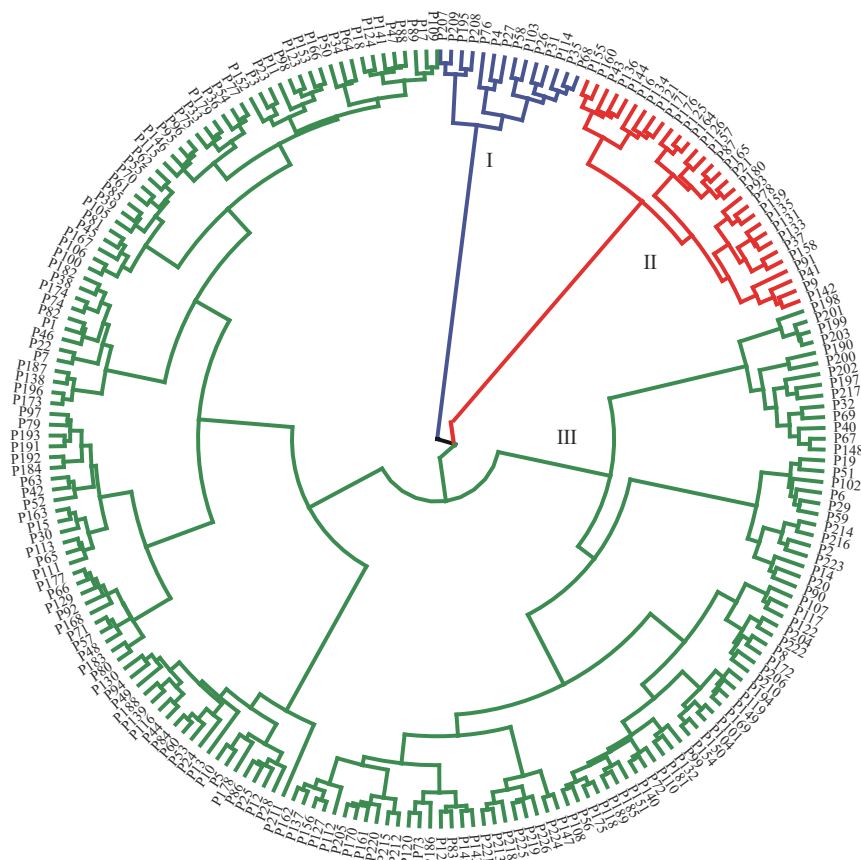
2.4 聚类分析

根据 19 个表型性状进行聚类分析(图 4), 结果表明 226 份花生种质可被划分为 3 个类群, 同时对 3 个类群的种质进行统计(表 7)。类群 I 包含 14 份种质, 占有种质的 6.19%; 其主要特征是单株结果数最多, 油酸含量最高且远远超过其他 2 个类群, 还原糖、可溶性糖、蔗糖及总糖含量也均最高, 说明此类群可为花生品质育种提供基础材料。类群 II 包含 30 份种质, 占有种质的 13.27%; 其主要特征是结果枝数、主茎高、第一侧枝长、荚果长、荚果宽、百果重、种子长、种子宽、百仁重、单株生产力、含油量及亚油酸含量均最高, 可为高油品种选育提供基础材料。类群 III 包含 182 份种质, 占有种质的 80.53%; 其主要特征是结果枝数、第一侧枝长等 13 个性状的变异系数在 3 个类群中最大, 说明此群种质类型丰富, 可为高产品种选育提供更广泛的基础材料。

2.5 花生种质资源表型性状综合评价

参考胡标林等^[17]方法, 根据主成分分析结果, 将 19 个表型性状的标准化值代入 7 个主成分中, 求

得 7 个主成分得分, 对 7 个主成分得分归一化处理, 计算权重系数, 分别为 0.253、0.219、0.164、0.117、0.109、0.073、0.066, 将权重系数代入公式 $F=0.253y_1+0.219y_2+0.164y_3+0.117y_4+0.109y_5+0.073y_6+0.066y_7$, 计算 F 值, 结果表明 226 份种质的 F 值范围为 -1.115~1.141, F 值越大, 说明表型综合性状越好。其中 F 值位于前 10 的种质资源依次为商花 36 号(1.141)、花育 954(1.049)、冀花 7 号(0.933)、C-9(0.919)、吉花 59(0.864)、C-53(0.820)、宇花 4 号(0.819)、邢花 200704-9(0.767)、冀花 2(0.722)、连花 609(0.706)(表 8)。这 10 份种质在高纬度区表现优异, 其中商花 36 号、冀花 7、花育 954、连花 609、C-9 及邢花 200704-9 均属于普通型大花生, 可用于改良高纬度早熟区育种材料, 提高百仁重及出米率, 进而提高该区域不同类型花生产量; 冀花 2 油酸含量较高, 可用于耐储存花生新品种选育; 吉花 59 的蛋白质含量及蔗糖含量均高于国家相关标准, 可用于鲜食花生生产及新品种选育; C-53 及宇花 4 号的含油量均较高, 可用于高纬度早熟区高油种质创制及新品种选育。



材料编号同表1

Material numbers are the same as in Table 1

图4 226份花生种质资源聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of 226 peanut germplasm resources

表7 3个类群花生种质资源表型性状的平均值及变异系数

Table 7 Average values and variation coefficient of phenotypic traits in 3 groups

性状 Traits	类群I Group I		类群II Group II		类群III Group III	
	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
结果枝数 PBN	6.69	11.11	6.85	7.69	6.48	12.94
主茎高(cm) MSH	35.71	12.67	41.02	7.53	36.12	11.78
第一侧枝长(cm) FBL	38.35	10.99	43.61	7.08	38.47	11.34
荚果长(mm) PL	31.89	15.18	37.25	9.23	32.61	14.91
荚果宽(mm) PW	13.09	6.22	14.15	7.40	12.75	8.10
百果重(g) HPW	180.91	11.03	217.18	8.06	176.03	9.61
种子长(mm) SL	14.80	14.24	17.39	9.83	15.04	14.16
种子宽(mm) SW	8.51	7.01	8.79	9.77	8.09	10.18
百仁重(g) HSW	74.23	14.29	92.23	7.61	69.53	14.62
单株生产力(g) PPY	18.15	18.14	18.61	12.05	18.25	20.13
单株结果数 PPN	17.75	17.50	16.28	11.56	17.21	20.05
蛋白质含量(%) PC	21.89	8.97	22.13	8.31	22.40	10.15
含油量(%) OC	53.94	2.32	54.19	2.72	54.04	2.97
油酸含量(%) OAC	75.23	6.74	34.45	7.81	35.16	11.55

表 7 (续)

性状 Traits	类群I Group I		类群II Group II		类群III Group III	
	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV
亚油酸含量(%) LAC	9.44	47.65	44.44	5.09	43.73	7.52
还原糖含量(%) RSC	0.76	5.71	0.76	7.76	0.75	6.44
可溶性糖含量(%) SSC	3.56	18.08	2.82	23.04	2.92	30.02
蔗糖含量(%) SC	2.00	21.19	1.53	28.15	1.62	35.41
总糖含量(%) TSC	18.06	12.00	15.35	10.97	15.89	16.30

表 8 花生种质资源表型性状综合评价

Table 8 Comprehensive evaluation on phenotype traits in tested materials

编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	F值 F-value	排名 Range	编号 No.	名称 Name	类型 Type	来源 Source	F值 F-value	排名 Range
P4	冀花2	选育品种	河北	0.722	9	P142	C-9	品系	河南	0.919	4
P9	冀花7号	选育品种	河北	0.933	3	P144	邢花200704-9	品系	河北	0.767	8
P41	商花36号	选育品种	河南	1.141	1	P176	连花609	选育品种	辽宁	0.706	10
P90	C-53	品系	河南	0.820	6	P178	宇花4号	选育品种	山东	0.819	7
P91	花育954	选育品种	山东	1.049	2	P211	吉花59	选育品种	吉林	0.864	5

3 讨论

种质资源作为基因的载体,发掘优异种质资源并加以利用,在加快优良品种培育速度的同时,也大大促进了种业的快速发展^[18-19]。目前,我国保存各类型花生种质资源近1万份^[4],但大多数种质资源缺乏系统地鉴定评价与利用,导致大量优异基因丧失,育成的品种遗传基础较为狭窄,难以实现育成突破性品种。因此,基于花生育种及产业的需求,结合花生表型性状进行研究与分析,充分了解各性状的遗传信息及变异大小,可为优异资源的挖掘和利用提供理论和实践依据^[20]。

本研究对在高纬度种植条件下的226份花生种质资源表型性状进行研究,发现各性状间变异系数与遗传多样性指数差异较大。性状的变异系数越大,说明遗传变异越丰富,在品种改良时利用的潜力就越大^[21]。本研究19个表型性状(11个农艺性状、8个品质性状)的变异系数范围为2.90%(含油量)~34.07%(蔗糖含量)。田朋佳等^[22]及孙铭等^[23]研究认为变异系数大于10.00%,样本间差异较大。本研究单株结果数等10个农艺性状、蔗糖含量等5个品质性状的变异系数均大于10.00%,说明在高纬度种植条件下这些性状存在丰富的遗传变异,为后期在高纬度条件下育种提供理论基础。不同类型种质的多样性研究发现,单株结果数等4个农艺性

状、蛋白质含量等8个品质性状的变异系数最大值均出现在选育品种中,说明选育品种在这些性状方面具有丰富的遗传变异。不同地理来源种质的多样性分析发现,山东省的57份种质在主茎高、荚果长、荚果宽,种子长、百仁重、蛋白质含量、还原糖含量及蔗糖含量共8个性状方面具有丰富的多样性;辽宁省的19份种质在第一侧枝长、种子宽、单株生产力及单株结果数共4个农艺性状,油酸含量、亚油酸含量及可溶性糖含量3个品质性状方面具有丰富的多样性。农艺性状与品质性状的多样性分析发现,农艺性状的遗传多样性指数平均值(2.006)大于品质性状(1.826),这一结论与苗利娟等^[9]、姜慧芳等^[24]的结论基本一致,说明在高纬度种植条件下,226份种质的农艺性状较品质性状具有更丰富的遗传多样性。采用变异系数与遗传多样性指数相结合的分析方法,深度挖掘潜力种质,可为高纬度的花生品种改良及选育提供可靠的优异亲本。

多元统计分析方法现已被广泛应用于农作物品种的综合评价^[25-26]。本研究通过相关性分析发现,19个表型性状间相关程度较高,70对性状间达到显著或极显著水平。种子长与其他农艺性状相关程度较高,含油量与其他品质性状负相关程度较高,蛋白质含量与多个农艺性状呈显著或极显著相关。第一侧枝长与主茎高呈极显著正相关,这一结果与李洁等^[27]、饶庆琳等^[28]研究结果基本一致。大

部分花生荚果集中在第一侧枝上,因此,选择第一侧枝长的材料,能够有效提高花生产量^[28]。聚类分析结果表明,根据油酸含量可将花生划分为普通油酸(类群II、类群III)、高油酸(类群I),这一结论与任小平等^[29]中国花生核心种质中高油酸材料的分布和遗传多样性研究结论一致。类群I包含14份种质,主要特征是油酸含量以及还原糖、可溶性糖、蔗糖及总糖含量较高,这类种质可为高油酸品种选育、鲜食花生品种选育提供基础材料;类群II及类群III为普通油酸种质,其中类群II包含30份种质,主要特征是结果枝数、主茎高、含油量等12个表型性状的平均值最大,这类种质可为高油品种选育提供基础材料;类群III包含182份种质,主要特征是结果枝数及侧枝长等13个性状的变异系数较大,可为高产品种选育提供广泛的基础材料。主成分分析表明,前7个主成分累积贡献率达82.222%。采用隶属函数法与主成分分析相结合对种质资源进行综合评价,计算综合得分(F 值), F 值排名前10的花生种质综合性状表现优异,可为后续高产、高出米率、高油、高油酸及鲜食花生品种选育提供优异亲本。通过隶属函数与主成分分析相结合的方法对种质资源进行评价,可有效降低主观误差,提高评价的准确率^[30],已被广泛应用于多种作物^[17,31-33],因此利用综合得分对高纬度生态条件下的花生种质资源评价较为可靠。

吉林省作为我国新兴早熟花生主产区之一,地处高纬度,无霜期较短,非常适宜中早熟小粒花生品种裸地栽培。但本地花生种质资源遗传基础较狭窄,相关花生科研工作起步较晚,突破性自育品种市场占有率较低,因此应加强花生种质资源的收集引进、鉴定评价,进而筛选不同地理来源的优异种质并加以利用。本研究发现,在高纬度种植条件下,综合表现优异的10份种质多集中于山东、河南及河北等省份,由于此类花生种质属于“南种北引”,其生育期在吉林省表现偏长,因此应加大此类花生种质与吉林省当地优势种质的综合改良力度,最终将外引优异种质的高产、优质、宜机收等特性与吉林省自育品种的早熟、稳产等特性有机结合,选育出生育期适中、产量与品质兼顾的突破性品种,有效缓解外引品种“独大”的局面。

参考文献

[1] 周小静,任小平,黄莉,罗怀勇,陈玉宁,刘念,陈伟刚,廖伯寿,雷永,姜慧芳.花生种质资源研究进展与展望.植物遗传资源学报,2020,21(1):33-39

- Zhou X J, Ren X P, Huang L, Luo H Y, Chen Y N, Liu N, Chen W G, Liao B S, Lei Y, Jiang H F. Research progress and prospect for peanut germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(1): 33-39
- [2] 李玉发,王伟,牛海龙,何中国,刘红欣,李伟堂,李淑芳.高油花生新品种吉花54的选育.中国种业,2023(10):124-125,129
- Li Y F, Wang W, Niu H L, He Z G, Liu H X, Li W T, Li S F. Breeding of a new peanut variety Jihua 54. *China Seed Industry*, 2023(10): 124-125, 129
- [3] 徐志军,吴小丽,胡小文,刘洋.33份引进花生资源表型遗传多样性分析及在粤西地区的适应性初步评价.热带作物学报,2021,42(7):1885-1895
- Xu Z J, Wu X L, Hu X W, Liu Y. Phenotypic diversity of 33 introduced peanut germplasm accessions and preliminary adaptability evaluation in west Guangdong. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(7): 1885-1895
- [4] 廖伯寿.我国花生生产发展现状与潜力分析.中国油料作物学报,2020,42(2):161-166
- Liao B S. A review on progress and prospects of peanut industry in China. *China Journal of Oil Crop Sciences*, 2020, 42(2): 161-166
- [5] 王传堂,于树涛,朱立贵.中国高油酸花生.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. Shanghai: Shanghai Scientific Technical Publishers, 2021
- [6] 万书波.中国花生栽培学.上海:上海科学技术出版社,2003
- Wan S B. *Zhongguo huasheng zaipeixue*. Shanghai: Shanghai Scientific Technical Publishers, 2003
- [7] 江建华,倪皖莉,管叔琪,于欢欢,肖美华.126份花生品种主要农艺性状遗传多样性分析.中国农学通报,2014,30(3):117-123
- Jiang J H, Ni W L, Guan S Q, Yu H H, Xiao M H. Analysis of genetic diversity of main agronomic traits in 126 peanut varieties. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(3): 117-123
- [8] 禹山林.中国花生品种及其系谱.上海:上海科学技术出版社,2008
- Yu S L. *Zhongguo huasheng pinzhong jiqi xipu*. Shanghai: Shanghai Scientific Technical Publishers, 2008
- [9] 苗利娟,张新友,黄冰艳,董文召,汤丰收,刘娟,张俊,刘华,齐飞艳.河南省花生农家品种资源农艺和品质性状分析.植物遗传资源学报,2016,17(5):854-860
- Miao L J, Zhang X Y, Huang B Y, Dong W Z, Tang F S, Liu J, Zhang J, Liu H, Qi F Y. Evaluation of agronomic and quality traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.) landraces of Henan province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(5): 854-860
- [10] 任明刚,李春红,杨平,何大智,赵艳花,范金华,卢平,唐兴发,冯明友.44份黑花生资源的表型遗传多样性及综合鉴定.中国油料作物学报,2024,46(1):51-61
- Ren M G, Li C H, Yang P, He D Z, Zhao Y H, Fan J H, Lu P,

- Tang X F, Feng M Y. Phenotypic genetic diversity and comprehensive evaluation of 44 black seed coat peanut resources. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2024, 46(1): 51-61
- [11] 周波, 江海东, 张秀新, 薛祺, 石颜通. 部分引进牡丹品种形态多样性. *生物多样性*, 2011, 19(5): 543-550
Zhou B, Jiang H D, Zhang X X, Xue Q, Shi Y T. Morphological diversity of some introduced tree peony cultivars. *Biodiversity Science*, 2011, 19(5): 543-550
- [12] 万映伶, 刘爱青, 张孔英, 刘燕. 菏泽和洛阳芍药品种资源表型多样性研究. *北京林业大学学报*, 2018, 40(3): 110-121
Wan Y L, Liu A Q, Zhang K Y, Liu Y. Phenotype diversity of herbaceous peony variety resources in Heze, Shandong of eastern China and Luoyang, Henan of central China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018, 40(3): 110-121
- [13] 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
- [14] 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. Descriptors and data standard for peanut (*Arachis* spp.). Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [15] 赵香娜, 李桂英, 刘洋, 陆平, 顿宝庆, 岳美琪, 张璞. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(3): 302-307
Zhao X N, Li G Y, Liu Y, Lu P, Dun B Q, Yue M Q, Zhang P. Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(3): 302-307
- [16] Shannon C E. A mathematical theory of communication. *Acm Sigmoble Mobile Computing and Communications Review*, 2001, 5(1): 3-55
- [17] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. *作物学报* 2012, 38(5): 829-839
Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(5): 829-839
- [18] 刘冰, 周长军, 顾鑫, 吴耀坤, 于吉东, 田中艳, 李建英, 马兰. 黑龙江省西部地区大豆种质资源聚类分析及综合评价. *黑龙江农业科学*, 2022(5): 7-12
Liu B, Zhou C J, Gu X, Wu Y K, Yu J D, Tian Z Y, Li J Y, Ma L. The soybean germplasm resources in western regions of Heilongjiang province clustering analysis and comprehensive evaluation. *Journal of Heilongjiang Agricultural Science*, 2022(5): 7-12
- [19] 饶庆琳, 姜敏, 胡廷会, 成良强, 吕建伟, 王军. 花生种质资源品质性状的分析与评价. *贵州农业科学*, 2021, 49(11): 16-22
Rao Q L, Jiang M, Hu T H, Cheng L Q, Lv J W, Wang J. Analysis and evaluation on quality traits of peanut germplasm resources. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2021, 49(11): 16-22
- [20] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5): 865-874
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5): 865-874
- [21] 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. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2023, 35(9): 2033-2044
- [22] 田朋佳, 廖文华, 高小丽, 黄海皎, 尼玛央宗, 拉巴扎西, 次珍, 曲吉. 140份西藏大麦种质资源遗传多样性分析. *西南农业学报*, 2022, 35(1): 16-26
Tian P J, Liao W H, Gao X L, Huang H J, Ni M Y Z, La B Z X, Ci Z, Qu J. Genetic diversity analysis of 140 barley germplasm resources in Tibet. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 35(1): 16-26
- [23] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(4): 655-662
Sun M, Fu K X, Fan Y, Zhang X Q, Zang C L, Guo Z H, Wang X, Ma X. Analysis of phenotypic variations in 15 introduced elite germplasm of *Lolium multiflorum* Lam.. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(4): 655-662
- [24] 姜慧芳, 任小平, 廖伯寿, 黄家权, 雷永, 陈本银, Guo B Z, Holbrook C C, Upadhyaya H D. 中国花生核心种质的建立及与ICRISAT花生微核心种质的比较. *作物学报*, 2008, 34(1): 25-30
Jiang H F, Ren X P, Liao B S, Huang J Q, Lei Y, Chen B Y, Guo B Z, Holbrook C C, Upadhyaya H D. Peanut core collection established in China and compared with ICRISAT mini core collection. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(1): 25-30
- [25] 纪洪亭, 王勇, 赵韩伟, 曾燕楠, 狄佳春, 程润东, 朱银, 王庆南, 赵荷娟. 基于多元统计方法的江苏食用向日葵主要农艺性状综合评价. *江苏农业科学*, 2021, 49(22): 105-109
Ji H T, Wang Y, Zhao H W, Zeng Y N, Di J C, Cheng R D, Zhu Y, Wang Q N, Zhao H J. Comprehensive evaluation of main agronomic traits from edible sunflower in Jiangsu province based on multivariate statistical method. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(22): 105-109
- [26] 王斌, 赵利, 王利民, 张建平, 谢亚萍, 赵玮. 胡麻种质资源主要品质性状的分析与评价. *中国油料作物学报*, 2018, 40(6): 785-792

- Wang B, Zhao L, Wang L M, Zhang J P, Xie Y P, Zhao W. Main quality traits analysis and evaluation of oil flax germplasms. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2018, 40(6): 785-792
- [27] 李洁, 聂红民, 陈翠霞, 李振华, 马金娜, 郭红甫. 94个花生新品种主要农艺性状遗传多样性分析. *花生学报*, 2023, 52(2): 61-67
- Li J, Nie H M, Chen C X, Li Z H, Ma J N, Guo H F. Genetic diversity analysis of main agronomic traits in 94 new peanut varieties. *Journal of Peanut Science*, 2023, 52(2): 61-67
- [28] 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
- [29] 任小平, 廖伯寿, 张晓杰, 雷永, 黄家权, 晏立英, 陈玉宁, 姜慧芳. 中国花生核心种质中高油酸材料的分布和遗传多样性. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 513-518
- Ren X P, Liao B S, Zhang X J, Lei Y, Huang J Q, Yan L Y, Chen Y N, Jiang H F. Distributing and genetic diversity of high oleic acid germplasm in peanut (*Arachia Hypogaea* L.) core collection of China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(4): 513-518
- [30] 杨慧卿, 王根全, 郝晓芬, 程乔林, 王晓宇, 秦玉忠. 山西省谷子地方种质资源表型多样性分析. *江苏农业科学*, 2022, 50(13): 20-25
- Yang H Q, Wang G Q, Hao X F, Cheng Q L, Wang X Y, Qin Y Z. Phenotypic diversity of millet germplasm resources in Shanxi province. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(13): 20-25
- [31] 王自力, 张北举, 李魁印, 陈松树, 徐如宏, 李鲁华, 吴传喜, 任明见. 高粱种质资源表型性状多样性分析及综合评价. *江苏农业科学*, 2022, 50(18): 115-121
- Wang Z L, Zhang B J, Li K Y, Chen S S, Xu R H, Li L H, Wu C X, Ren M J. Phenotypic diversity analysis and comprehensive assessment of sorghum germplasm resources. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(18): 115-121
- [32] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 温琪汾, 董俊丽, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 乔治军, 刁现民. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2016, 42(1): 19-30
- Wang H G, Jia G Q, Zhi H, Wen Q F, Dong J L, Chen L, Wang J J, Cao X N, Liu S C, Wang L, Qiao Z J, Diao X M. Phenotypic diversity evaluations of foxtail millet core collections. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 19-30
- [33] 李淑芳, 李鹤南, 刘晓冬, 张春宵, 刘学岩, 贾立辉, 李晓辉. 205份玉米种质资源表型性状遗传多样性分析及优异种质筛选. *玉米科学*, 2023, 31(5): 1-10
- Li S F, Li H N, Liu X D, Zhang C X, Liu X Y, Jia L H, Li X H. Genetic diversity analysis of phenotypic traits and selection of superior germplasm in 205 maize germplasm resources. *Journal of Maize Sciences*, 2023, 31(5): 1-10