



植物遗传资源学报

Journal of Plant Genetic Resources

ISSN 1672-1810, CN 11-4996/S

## 《植物遗传资源学报》网络首发论文

题目： 高纬度下花生种质资源表型性状遗传多样性研究  
作者： 李玉发，李淑芳，王伟，牛海龙，刘红欣，李伟堂，肖夏，陈敏  
DOI： 10.13430/j.cnki.jpgr.20240407003  
收稿日期： 2024-04-07  
网络首发日期： 2024-08-23  
引用格式： 李玉发，李淑芳，王伟，牛海龙，刘红欣，李伟堂，肖夏，陈敏. 高纬度下花生种质资源表型性状遗传多样性研究[J/OL]. 植物遗传资源学报. <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240407003>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

## 高纬度下花生种质资源表型性状遗传多样性研究

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

(<sup>1</sup>吉林省农业科学院花生研究所, 吉林公主岭 136100; <sup>2</sup>吉林省农业科学院作物资源研究所, 吉林公主岭 136100; <sup>3</sup>吉林省农业科学院农业经济与信息研究所, 吉林长春 130033; <sup>4</sup>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遗传多样性水平, 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 ( $CV$ )、遗传多样性指数 ( $H'$ ) 及聚类分析方法对 19 个表型性状 (11 个农艺性状、8 个品质性状) 进行了分析。结果表明: 19 个表型性状  $CV$  的变化范围为 2.90% (含油量) ~34.07% (蔗糖含量), 其中 13 个性状的  $CV > 10.00%$ , 说明这 13 个性状存在着丰富的遗传变异;  $H'$  变化范围为 1.237 (亚油酸含量) ~2.077 (荚果长), 说明 19 个表型性状中荚果长的遗传多样性最丰富。不同类型种质的多样性表现不同, 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。不同地理来源种质的多样性研究表明, 山东种质的 5 个农艺性状及 3 个品质性状遗传多样性较丰富, 辽宁种质的 4 个农艺性状及 3 个品质性状遗传多样性较丰富。通过相关分析发现, 70 个相关系数达到显著或极显著水平, 其中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相关程度较高, 极显著正相关系数最大值为 0.980, 极显著负相关系数最大值为 -0.174。通过聚类分析将 226 份花生种质资源划分为 3 大族群, 族群 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, 可为高油酸品种选育、鲜食花生品种选育提供基础材料; 族群 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在 3 个族群中最大, 可为高油品种选育提供基础材料; 族群 III 包含 182 份种质, 主要特征是结果枝数及侧枝长等 13 个性状的变异系数在 3 个族群中最高, 材料类型丰富, 可为高产品种选育提供广泛的基础材料。利用模糊隶属函数计算 7 个主成分权重系数, 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及品种改良的优异亲本。

**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 Yufa<sup>1</sup>, LI Shufang<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, NIU Hailong<sup>1</sup>, LIU Hongxin<sup>1</sup>, LI Weitang<sup>1</sup>, XIAO Xia<sup>3</sup>, CHEN Min<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Peanut Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Jilin Gongzhuling 136100; <sup>2</sup>Institute of Crop Resources Sciences, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Jilin Gongzhuling 136100; <sup>3</sup>Institute of Agricultural Economy and Information, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Jilin Changchun 130033; <sup>4</sup>College 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 peanut germplasm resources were selected as test materials. 19 phenotypic traits (11 agronomic traits, 8 quality traits) were evaluated by coefficient of variation ( $CV$ ), Shannon-weaver index ( $H'$ ), cluster analysis and so on. The results showed as follows: The  $CV$  ranged from 2.90% (oil content) to 34.07% (saccharose content), and the  $CV$  of 13 traits was more than 10.00%, indicating that there was abundant genetic variation in these traits; and the  $H'$  ranged from 1.237 (linoleic acid content) to 2.077 (pod length), indicating that pod length had the highest genetic diversity among 19 phenotypic traits. The diversity was different from different germplasm types, the genetic diversity was rich in 5 quality traits of the lines and 8 agronomic traits of breeding varieties. The Study showed that the diversity of germplasm from different geographical sources, the genetic diversity of germplasm was abundant of 5 agronomic traits and 3 quality traits from Shandong, while that of 4 agronomic traits and 3 quality traits was rich from Liaoning. The correlation analysis showed that a total of 70 correlation coefficients reached significant or extremely significant levels, among which coefficient being -0.174. Three groups were divided traits, with the maximum significant positive correlation coefficient being 0.980 and the maximum significant negative correlation by cluster analysis from 226 peanut germplasm resources, group I contained 14 germplasms, which were mainly characterized by high Seed length had a higher correlation with other agronomic traits, and oil content had a higher negative correlation with other quality oleic acid, reducing sugar, soluble sugar,

收稿日期: 2024-04-07

第一作者研究方向为花生育种及配套栽培技术研究, 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)

saccharose and total sugar content, which could provide basic materials for the breeding of high oleic acid varieties and fresh peanut varieties. The average values of 12 phenotypic traits were the highest among the three groups, such as number of branches with pods, height of main stem and oil content, which could provide basic materials for breeding high-oil varieties. Group III contained 182 germplasms, which had the highest coefficient of variation of 13 traits among the three groups, such as number of branches with pods and length of first branches, and rich germplasm types, which could provide a wide range of basic germplasms for breeding high-yield varieties. The weight coefficients of 7 principal components were calculated by fuzzy membership function, and 10 excellent germplasms were selected by comprehensive score *F*-value, which could be used as excellent parents for peanut breeding and variety improvement at 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,目前世界上 100 多个国家均有种植<sup>[1]</sup>。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<sup>[2-3]</sup>。目前,全国花生播种面积常年稳定在 467 万  $\text{hm}^2$  (7000 万亩)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,此区花生发展较快<sup>[4]</sup>,2000 年种植面积不足 80 万亩,目前年均种植面积已逾 450 万亩,是我国春播花生种植面积增长最快的产区<sup>[5]</sup>。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<sup>[6]</sup>。同其他农作物一样,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<sup>[7]</sup>以来源于 5 个国家的 126 份花生品种为试材,针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,改良农艺性状潜力巨大。禹山林<sup>[8]</sup>针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<sup>[9]</sup>以河南省 128 份花生农家品种为试材料,对农艺性状和品质性状单独分析,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,由于脂肪含量较高,可为花生品质改良提供优异亲本。任明刚等<sup>[10]</sup>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<sup>[11-13]</sup>。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

随机选取 226 份种质,所有种质均来自吉林省、辽宁省、山东省等 11 个省(市),种质类型包含地方品种、选育品种及品系。全部种质均由吉林省农业科学院花生研究所提供,详细信息见表 1。

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.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source	编号 NO.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source	编号 NO.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source
P1	商花 40	选育品种	河南	P77	07-9	品系	辽宁	P153	C-22	品系	山东
P2	科富花 9	选育品种	吉林	P78	豫花 9717	选育品种	河南	P154	TH13-4-2	品系	山东
P3	冀农花 21	选育品种	河北	P79	双辽 96-3	品系	吉林	P155	濮花 65 号	选育品种	河南
P4	冀花 2	选育品种	河北	P80	LXH 引	地方品种	吉林	P156	濮花 24	选育品种	河南
P5	铁花 22	选育品种	辽宁	P81	辽花 5	选育品种	辽宁	P157	濮科花 2 号	选育品种	河南
P6	807	选育品种	山东	P82	P06-1	品系	山东	P158	豫花 9503	选育品种	河南
P7	远杂 9307	选育品种	河南	P83	俊达 11	选育品种	河南	P159	郑农花 14	选育品种	河南
P8	铁花 19	选育品种	辽宁	P84	开农 41	选育品种	河南	P160	冀农花 15 号	选育品种	河北
P9	冀花 7 号	选育品种	河北	P85	科黑	选育品种	山东	P161	2102	品系	辽宁
P10	兰娜	选育品种	山东	P86	C-50	品系	辽宁	P162	阜花 13	选育品种	辽宁
P11	鲁花 14	选育品种	山东	P87	2014-8	品系	河南	P163	V0410	品系	山东
P12	吉扶 3	选育品种	吉林	P88	泰丰花 1 号	选育品种	山东	P164	DFL-1	品系	山东
P13	C-56	选育品种	辽宁	P89	9612	品系	辽宁	P165	科濮	选育品种	河南
P14	锦 2010	选育品种	辽宁	P90	C-53	品系	河南	P166	誉宇 2 号	选育品种	山东
P15	科富花 6 号	选育品种	吉林	P91	花育 954	选育品种	山东	P167	徐 26	选育品种	江苏
P16	潍花 16 号	选育品种	山东	P92	C-8525	品系	山东	P168	白 10-206	选育品种	辽宁
P17	周花 9 号	选育品种	河南	P93	冀花 5	选育品种	河北	P169	C-25	品系	辽宁
P18	锦花 22	选育品种	辽宁	P94	锦 9804	选育品种	辽宁	P170	远杂 2-3-3	品系	河南
P19	誉宇 1 号	选育品种	山东	P95	双胜 288	选育品种	山东	P171	2016-20	品系	河南
P20	锦 9818	品系	辽宁	P96	吉 1316	品系	吉林	P172	莱农 06	选育品种	山东
P21	开农 315	选育品种	河南	P97	农花 21	选育品种	北京	P173	双辽引-2	选育品种	吉林
P22	吉 1314	品系	吉林	P98	2016-11	品系	河南	P174	中花 4 号	选育品种	湖北
P23	YY2013	品系	河南	P99	锦 9826	选育品种	辽宁	P175	花育 6313	选育品种	山东
P24	濮花 71V	选育品种	河南	P100	07-4	品系	山东	P176	连花 609	选育品种	辽宁
P25	濮花 71	选育品种	河南	P101	吉花 1107	选育品种	吉林	P177	吉 1318	选育品种	吉林
P26	花育 661	选育品种	山东	P102	双辽趴拉稞	选育品种	吉林	P178	宇花 4 号	选育品种	山东
P27	吉农花 2 号	选育品种	吉林	P103	濮花 69 号	选育品种	河南	P179	C-61	品系	山东
P28	花育 9304	选育品种	山东	P104	吉 1317	品系	吉林	P180	远育 16-8	选育品种	河南
P29	双英 2 号	选育品种	吉林	P105	C-20	品系	山东	P181	辽宁红粒	地方品种	辽宁
P30	科富花 1 号	选育品种	吉林	P106	J-9	品系	辽宁	P182	吉花 2007-2	品系	吉林
P31	GYS2	选育品种	山东	P107	J10	品系	辽宁	P183	2017-96	品系	辽宁
P32	白院花 2 号	选育品种	吉林	P108	SD-3	品系	山东	P184	801	品系	山东
P33	豫花 123 号	选育品种	河南	P109	京白 2	选育品种	北京	P185	宇花 16	选育品种	山东
P34	濮花 28	选育品种	河南	P110	J-5	品系	辽宁	P186	宇花 9 号	选育品种	山东
P35	冀花 311	选育品种	河北	P111	C-花选 39	选育品种	山东	P187	抚松花生	地方品种	吉林
P36	潍花 15 号	选育品种	山东	P112	阜花 14	选育品种	辽宁	P188	V9	品系	吉林
P37	阜花 20	选育品种	辽宁	P113	2016-24	品系	辽宁	P189	吉花 55	选育品种	吉林
P38	C-10	品系	山东	P114	冀花 13 号	选育品种	河北	P190	吉花 56	选育品种	吉林
P39	201206-1	品系	辽宁	P115	J-11	品系	辽宁	P191	宏花 309	选育品种	吉林
P40	吉农花 3 号	选育品种	吉林	P116	2014-22	品系	山东	P192	宏花 807	选育品种	吉林
P41	商花 36 号	选育品种	河南	P117	吉花 54	选育品种	吉林	P193	兴花 7 号	选育品种	吉林
P42	2016-19	品系	山东	P118	3023	品系	河北	P194	吉农花 5 号	选育品种	吉林
P43	商花 35	选育品种	河南	P119	科富 3 号	选育品种	吉林	P195	科富花 12 号	选育品种	吉林
P44	双花 1 号	选育品种	山东	P120	2014-17	品系	辽宁	P196	翠花 8 号	选育品种	吉林

表 1 (续)

编号 NO.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source	编号 NO.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source	编号 NO.	种质名称 Germplasm name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source
P45	鲁花 9	选育品种	山东	P12	C63	品系	山东	P197	白院花 12 号	选育品种	吉林
P46	2014-10	品系	辽宁	P12	铁花 23	选育品种	辽宁	P198	白城中粒	地方品种	吉林
P47	铁花 16	选育品种	辽宁	P12	蔻花王	选育品种	山东	P199	九花 3 号	选育品种	吉林
P48	皖花 4	选育品种	安徽	P12	科富花 7	选育品种	吉林	P200	白院花 13	选育品种	吉林
P49	吉花 9 号	选育品种	吉林	P12	莲玉 6	选育品种	辽宁	P201	农海花 1 号	选育品种	吉林
P50	花育 9514	选育品种	山东	P12	C-59	品系	河南	P202	白院花 14	选育品种	吉林
P51	青花 6	选育品种	山东	P12	双花 2028	选育品种	山东	P203	九花 2 号	选育品种	吉林
P52	C82	品系	山东	P12	农花 20	选育品种	北京	P204	吉花 58	选育品种	吉林
P53	花育 20	选育品种	山东	P12	J-3	品系	辽宁	P205	吉花 57	选育品种	吉林
P54	吉 1315	选育品种	吉林	P13	花育 657	选育品种	山东	P206	吉农花 9 号	选育品种	吉林
P55	黑沙 1 号	地方品种	辽宁	P13	环 10-5	选育品种	河南	P207	科富花 13	选育品种	吉林
P56	吉花 6036	选育品种	吉林	P13	如皋西洋花生	地方品种	江苏	P208	宏花 8 号	选育品种	吉林
P57	双辽引-4	选育品种	吉林	P13	2017-76	品系	河南	P209	科富花 14	选育品种	吉林
P58	冀花 19	选育品种	河北	P13	湘花 2008	选育品种	湖南	P210	吉润花 16	选育品种	吉林
P59	白沙 308	选育品种	山东	P13	华实 9618	选育品种	山东	P211	吉花 59	选育品种	吉林
P60	锦 K9704-4	选育品种	辽宁	P13	华实 9616	选育品种	山东	P212	吉 23C1	品系	吉林
P61	402-7	品系	山东	P13	C-28	品系	辽宁	P213	吉 23C2	品系	吉林
P62	豫花 15	选育品种	河南	P13	C-品 16	选育品种	辽宁	P214	吉 23C3	品系	吉林
P63	吉扶 201	选育品种	吉林	P13	花育 63	选育品种	山东	P215	吉 23C4	品系	吉林
P64	誉宇 3 号	选育品种	山东	P14	铁花 24	选育品种	辽宁	P216	吉 23C5	品系	吉林
P65	双英 6 号	选育品种	吉林	P14	花育 9309	选育品种	山东	P217	吉 23C6	品系	吉林
P66	锦 9938	选育品种	辽宁	P14	C-9	品系	河南	P218	吉 23C7	品系	吉林
P67	粤油 20	选育品种	广东	P14	冀 50112	选育品种	河北	P219	吉 23C8	品系	吉林
P68	远杂 9805	选育品种	河南	P14	邢花 200704-9	品系	河北	P220	吉 23C10	品系	吉林
P69	阜花 16	选育品种	辽宁	P14	吉农花 1 号	选育品种	吉林	P221	吉 23C11	品系	吉林
P70	R-999-5	品系	山东	P14	41821	品系	山东	P222	吉 23C12	品系	吉林
P71	双辽红粒	地方品种	吉林	P14	花冠 1 号	选育品种	山东	P223	吉 23C13	品系	吉林
P72	皖花 2	选育品种	安徽	P14	C19	品系	辽宁	P224	吉 23C14	品系	吉林
P73	吉扶 4	选育品种	吉林	P14	吉花 1026	选育品种	吉林	P225	吉 23C16	品系	吉林
P74	c36	品系	辽宁	P15	吉润花 3 号	选育品种	吉林	P226	吉 23C17	品系	吉林
P75	c-49	品系	山东	P15	漯花 4087	选育品种	河南				
P76	花育 963	选育品种	山东	P15	402-3	品系	山东				

## 1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况 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, 花生生育期间平均气温 20.6℃, 平均降雨量 525.9mm, 平均日照时数 1070.3h。2022-2023 年花生生育期间气温未发生异常现象 (图 1)。

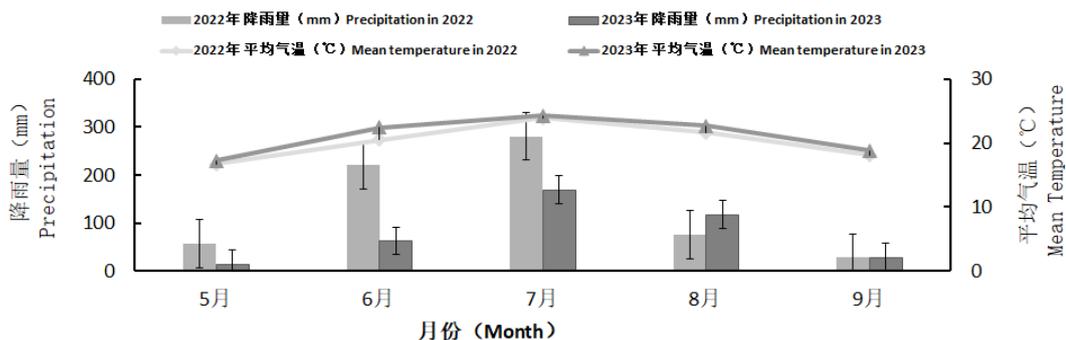


图 1 花生生育期间气温及降雨状况

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

1.2.2 试验设计 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4m，行株距60×14cm，田间管理与大田生产一致。

### 1.3 指标测定及方法

1.3.1 农艺性状 19个表型性状包含11个农艺性状和8个品质性状，其中农艺性状的观察及测量参照《花生种质资源描述规范和数据标准》<sup>[14]</sup>，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、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植株10株进行测量，重复3次，由于材料间生育期差异较大，适期收获，考察荚果及种子相关性状。所有农艺性状均采用2年所得数据的平均值进行计算。

1.3.2 品质性状 品质性状利用多功能近红外品质分析仪（福斯FOSS DS3F）测得。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，所有数据均来源于3次重复测量所得平均值。

1.4 数据分析 采用多种软件对数据进行分析及测量：EXCEL 2010用于计算变异系数（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  $H'$ <sup>[15]</sup>。Shannon-weaver index ( $H'$ ) 遗传多样性指数<sup>[16]</sup>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；Oringin 2021用于聚类分析；IBM SPSS 25用于主成分分析，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多样性指数 11个农艺性状的统计分析（表2）发现，各性状之间的变异系数（CV）及遗传多样性指数（ $H'$ ）差异较大。 $H'$ 变化范围在1.855（单株结果数）~2.077（荚果长）之间，平均值2.006。其余9个性状的  $H'$  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。

变异系数（CV）变化范围在8.67%（荚果宽）~19.13%（单株结果数）之间，平均值13.81%。其余9个性状的 CV 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份资源的百果重变幅最大，146.60g；百仁重的变幅次之，66.10g；种子宽的变幅最小，4.54mm。分析发现，这些农艺性状有着丰富的遗传变异。

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	最小值	最大值	极差	平均值	标准差	变异系数	多样性指数( $H'$ )
Traits	Min.	Max.	Range	Mean	SD	CV (%)	Shannon's index ( $H'$ )
结果枝数(个) 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
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(个) PPN	11.10	34.20	23.10	17.12	3.275	19.13	1.855

PBN:结果枝数;MSH:主茎高;FBL:第一侧枝长;PL: 荚果长;PW:荚果宽;HPW:百果重;SL: 种子长;SW:种子宽;HSW:百仁重;PPY:单株生产力;PPN:单株结果数;下同

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

2.1.2 品质性状的主要参数和多样性指数 8 个品质性状的统计分析(表 3)发现,遗传多样性指数( $H'$ )为 1.237(亚油酸含量)~2.053(还原糖含量)之间,其余品质性状的  $H'$  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(CV)变化范围为 2.90%(含油量)~34.07%(蔗糖含量)之间,其余品质性状的 CV 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( $H'$ )与变异系数(CV)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	最小值	最大值	极差	平均值	标准差	变异系数	多样性指数( $H'$ )
Traits	Min.	Max.	Range	Mean	SD	CV (%)	Shannon's index ( $H'$ )
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:蛋白质含量;OC:含油量;OAC:油酸含量;LAC:亚油酸含量;RSC:还原糖含量;SSC:可溶性糖含量;SC:蔗糖含量;TSC:总糖含量;下同

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 below

2.1.3 不同类型种质变异分析及遗传多样性分析 随机选取的 226 份花生种质资源包含 7 份地方品种、71 份品系、148 份选育品种。对 3 类种质的农艺性状及品质性状进行变异分析及遗传多样性分析(表 4 及图 2)发现, CV 的变化范围为 2.09%(含油量)~36.44%(蔗糖含量)之间,含油量的 CV 最小,蔗糖含量的 CV 最大。地方品种中 7 个农艺性状、3 个品质性状的 CV 均大于 10.00%,说明地方品种在这 10 个性状方面具有丰富的遗传变异;品系中 9 个农艺性状、3 个品质性状的 CV 均大于 10.00%,说明品系在这 12 个性状方

面具有丰富的遗传变异；选育品种 11 个农艺性状，6 个品质性状的 CV 均大于 10.00%，说明选育品种在这 17 个性状方面具有丰富的遗传变异。

不同类型种质遗传多样性指数 ( $H'$ ) 变化范围为 1.004 (含油量) ~2.077 (种子长) 之间，其中结果枝数、荚果宽、单株结果数这 3 个农艺性状的  $H'$  最大值出现在品系中，蛋白质含量、含油量、油酸含量、亚油酸含量及蔗糖含量共 5 个品质性状的  $H'$  最大值出现在品系中，说明 71 份品系的 3 个农艺性状、5 个品质性状均的遗传多样性较丰富；主茎高、第一侧枝长、荚果长、百果重、种子长、种子宽、百仁重、单株生产力共 8 个农艺性状的  $H'$  最大值出现在选育品种中，还原糖含量、可溶性糖含量及总糖含量共 3 个品质性状的  $H'$  最大值出现在选育品种中，说明选育品种的 8 个农艺性状、3 个品质性状的遗传多样性较丰富。

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(%)CV	多样性指数( $H'$ ) Shannon's index( $H'$ )	变异系数 (%)CV	多样性指数( $H'$ ) Shannon's index( $H'$ )	变异系数(%)CV	多样性指数( $H'$ ) Shannon's index( $H'$ )
PBN	7.40	1.550	11.37	1.997	12.68	1.955
MSH	14.96	1.277	11.53	1.951	12.32	2.018
FBL	15.93	1.550	11.38	2.029	11.55	2.064
PL	12.09	1.550	14.91	2.019	15.00	2.075
PW	8.27	1.550	8.65	2.075	8.64	2.035
HPW	9.82	1.748	10.36	1.897	12.96	1.946
SL	20.51	1.550	15.28	1.877	13.87	2.077
SW	20.09	1.550	9.75	2.006	10.06	2.055
HSW	20.29	1.550	16.20	1.983	17.39	2.015
PPY	10.56	1.154	22.17	1.847	17.15	2.029
PPN	7.26	1.154	15.87	1.958	20.47	1.787
PC	7.19	1.550	8.86	2.059	10.16	1.964
OC	2.09	1.004	2.44	2.075	3.04	1.974
OAC	9.25	1.550	9.56	1.905	32.69	1.256
LAC	4.99	1.748	6.64	1.871	26.32	1.250
RSC	5.67	1.748	6.30	1.970	6.72	2.074
SSC	21.53	1.550	23.44	1.966	30.52	2.028
SC	23.69	1.352	26.00	1.986	36.44	1.965
TSC	14.04	1.352	11.65	2.028	17.34	2.045

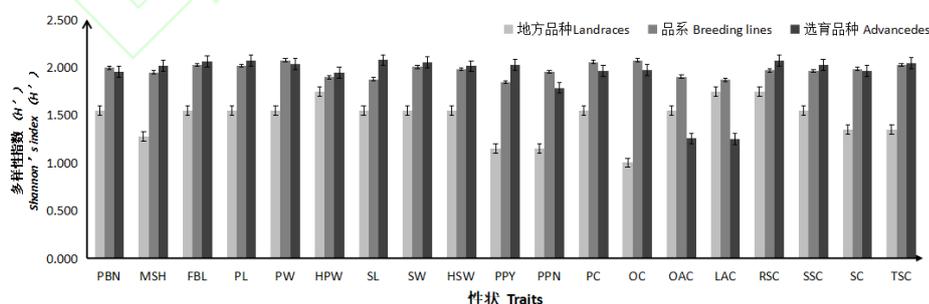


图 2 不同类型种质遗传多样性指数

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

2.1.4 不同地理来源种质遗传多样性分析 对来自 11 个省(市)花生种质资源的多样性分析(表 5)发现,不同省(市)花生种质资源各个性状的多样性表现各不相同,来自吉林的 72 份种质中结果枝数的  $H'$ (1.957)在 11 个省(市)中最大,来自河南的 34 份种质中 3 个性状(百果重、含油量、总糖含量)的  $H'$  在 11 个

省（市）中最大，来自山东的 57 份种质中 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  $H'$  在 11 个省（市）中最大，来自辽宁的 19 份种质中 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  $H'$  在 11 个省（市）中最大。由此可见，在高纬度种植条件下，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，吉林的 72 份种质在结果枝数这一性状上具有较丰富的多样性；河南的 34 份种质在百果重、含油量及总糖含量方面具有较丰富的多样性；山东的 57 份种质在主茎高、荚果长、荚果宽，种子长及百仁重共 5 个农艺性状，蛋白质含量、还原糖含量及蔗糖含量 3 个品质性状方面具有较丰富的多样性；辽宁的 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较丰富的多样性。

表 5 不同地理来源种质遗传多样性指数 ( $H'$ )

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

性状 Traits	多样性指数( $H'$ )Shannon's index( $H'$ )					
	吉林 Jilin	河北 Hebei	河南 Henan	辽宁 Liaoning	山东 Shandong	其他省(市) Others
PBN	1.957	1.642	1.870	1.906	1.877	1.834
MSH	1.726	1.162	1.879	1.945	1.968	1.696
FBL	1.532	1.264	1.812	1.975	1.853	1.696
PL	1.713	1.376	1.910	1.966	1.970	1.609
PW	1.639	1.720	2.020	1.993	2.063	1.609
HPW	1.693	1.720	1.925	1.911	1.619	1.696
SL	1.614	1.846	1.973	2.046	2.069	1.748
SW	1.681	1.846	1.956	2.006	1.533	1.696
HSW	1.977	1.846	1.970	1.901	1.981	1.643
PPY	1.459	1.540	1.936	1.953	1.945	1.887
PPN	1.739	1.241	1.856	1.917	1.598	1.471
PC	1.751	1.414	1.896	1.926	2.036	1.887
OC	1.715	1.673	2.010	1.970	1.967	1.418
OAC	1.123	0.655	1.343	2.038	1.278	1.359
LAC	1.108	0.655	1.309	1.956	1.230	1.471
RSC	1.944	1.673	1.856	1.843	2.021	1.696
SSC	1.668	1.673	1.959	1.966	1.959	1.609
SC	1.480	1.768	1.852	1.925	2.008	1.696
TSC	1.654	1.894	1.959	1.932	1.943	1.834

## 2. 2 相关性分析

参试材料的相关性分析（图 3）表明，在高纬度种植条株下，19 个表型性状的 70 个相关系数达到显著 ( $P<0.05$ ) 或极显著 ( $P<0.01$ ) 水平。其中农艺性状相关性，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，且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，正相关系数最大值为 0.980；荚果长与荚果宽互为极显著正相关，二者均与主茎高、第一侧枝长呈极显著正相关，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。品质性状与农艺性状相关性，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，负相关系数最大值为-0.174；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。品质性状之间相关性，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，总糖含量也与油酸含量呈极显著正相关。

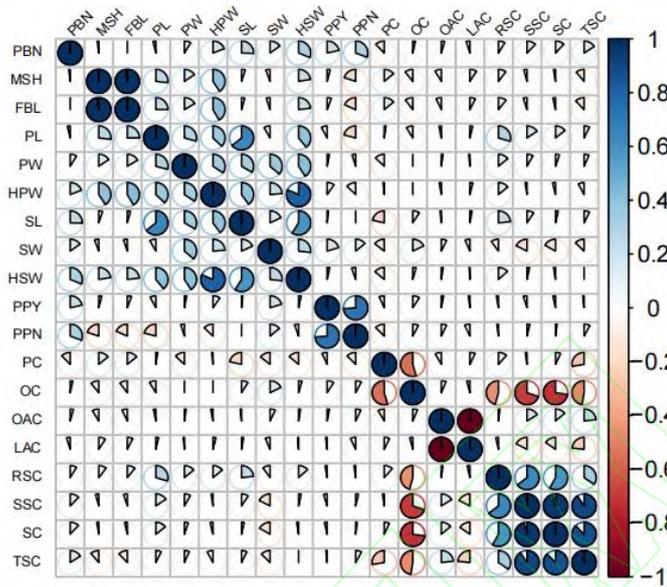


图 3 相关分析可视化图

Fig.3 Visualization about the correlation analysis

### 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，20.789%，其中可溶性糖含量具最高正向载荷，其次为蔗糖及总糖含量，说明第 1 主成分是与糖含量相关性状；第 2 主成分贡献率是 17.967%，百果重和百仁重具有最高正向载荷，说明第 2 主成分是与产量相关性状；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%，其中亚油酸含量正向特征值最大，油酸含量负向特征值最大，说明第 4 主成分也是与品质相关性状；第 5 主成分贡献率是 8.953%，其中单株生产力特征值最大，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%，其中蛋白质含量正向特征值最大，说明第 6 主成分也是与品质相关性状；第 7 主成分贡献率是 5.444%，其中种子宽负向特征值最大，荚果长正向特征值最大，说明第 7 主成分主要是荚果及种子相关性状。

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 Principal component 1	主成分 2 Principal Component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4	主成分 5 Principal component 5	主成分 6 Principal component 6	主成分 7 Principal component 7
PBN	0.047	0.056	0.171	0.164	0.087	-0.015	0.026
MSH	0.033	0.17	-0.178	-0.094	0.31	-0.262	-0.099
FBL	0.032	0.17	-0.171	-0.096	0.322	-0.253	-0.104
PL	0.094	0.162	-0.045	-0.046	-0.165	-0.043	0.453
PW	0.057	0.15	0.08	-0.008	-0.077	0.158	-0.384
HPW	0.051	0.235	0.022	-0.016	0.039	0.109	-0.056
SL	0.072	0.178	0.113	0.053	-0.227	-0.007	0.35
SW	-0.033	0.093	0.177	0.041	0.013	0.35	-0.49
HSW	0.062	0.228	0.099	0.001	-0.076	0.114	-0.003
PPY	-0.014	0.021	0.174	0.245	0.359	-0.013	0.172
PPN	-0.009	-0.047	0.222	0.271	0.277	-0.009	0.209

PC	0.015	-0.026	-0.212	-0.005	0.177	0.615	0.225
----	-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------

表 6 (续)

性状 Traits	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal Component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4	主成分 5 Principal component 5	主成分 6 Principal component 6	主成分 7 Principal component 7
OC	-0.18	0.066	0.159	-0.077	-0.096	-0.315	0.048
OAC	0.052	-0.05	0.201	-0.417	0.141	0.08	0.114
LAC	-0.055	0.054	-0.197	0.415	-0.143	-0.088	-0.113
RSC	0.18	0.015	-0.044	0.062	-0.012	0.084	0.146
SSC	0.239	-0.08	0.008	0.047	-0.017	-0.074	-0.087
SC	0.233	-0.088	-0.013	0.052	0.01	-0.032	-0.099
TSC	0.205	-0.092	0.082	0.019	-0.045	-0.261	-0.189
特征值 E	3.950	3.414	2.558	1.830	1.701	1.136	1.034
贡献率 CR(%)	20.789	17.967	13.462	9.631	8.953	5.976	5.444
累积贡献率 CCR(%)	20.789	38.756	52.218	61.849	70.802	76.778	82.222

## 2.4 聚类分析

通过对 19 个表型性状进行聚类 (图 4), 发现 226 份花生种质被划分为 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%。主要特征是: 单株结果数在 3 个类群中最多, 油酸含量在 3 个类群中最高, 且远远超过其他 2 个类群, 还原糖、可溶性糖、蔗糖及总糖含量在 3 个类群中均最高, 说明此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%。主要特征是 12 个表型性状平均值在 3 个类群中最高, 其中结果枝数、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平均值在 3 个类群中最高, 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, 占有种质的 80.53%, 主要特征是结果枝数、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。

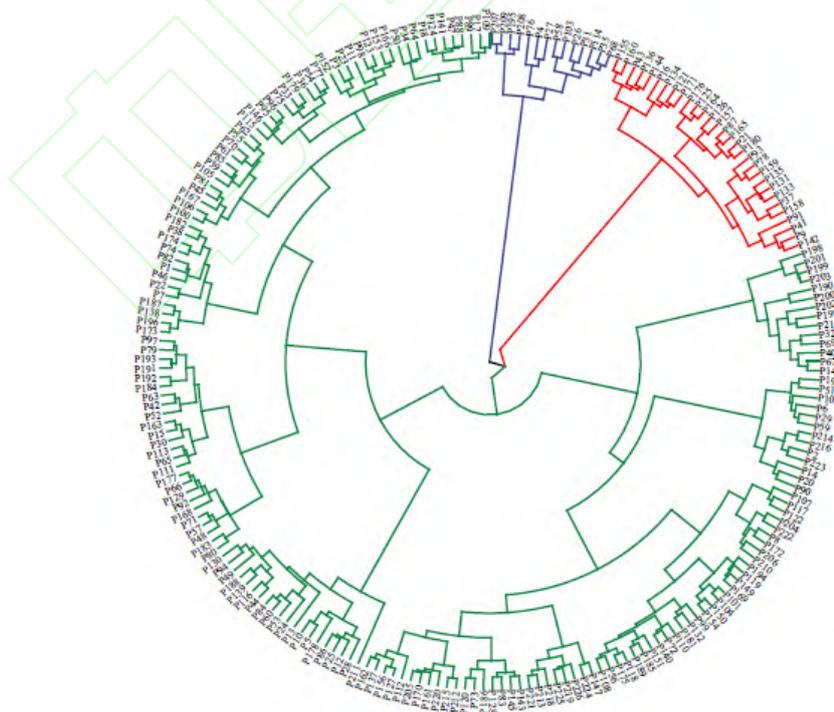


图 4 花生种质资源类群划分

Fig.4 Classification of 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 Cluster I		类群II Cluster II		类群III Cluster III	
	平均值 Mean	变异系数(%)CV	平均值 Mean	变异系数(%)CV	平均值 Mean	变异系数(%)CV
PBN	6.69	11.11	6.85	7.69	6.48	12.94
MSH	35.71	12.67	41.02	7.53	36.12	11.78
FBL	38.35	10.99	43.61	7.08	38.47	11.34
PL	31.89	15.18	37.25	9.23	32.61	14.91
PW	13.09	6.22	14.15	7.40	12.75	8.10
HPW	180.91	11.03	217.18	8.06	176.03	9.61
SL	14.80	14.24	17.39	9.83	15.04	14.16
SW	8.51	7.01	8.79	9.77	8.09	10.18
HSW	74.23	14.29	92.23	7.61	69.53	14.62
PPY	18.15	18.14	18.61	12.05	18.25	20.13
PPN	17.75	17.50	16.28	11.56	17.21	20.05
PC	21.89	8.97	22.13	8.31	22.40	10.15
OC	53.94	2.32	54.19	2.72	54.04	2.97
OAC	75.23	6.74	34.45	7.81	35.16	11.55
LAC	9.44	47.65	44.44	5.09	43.73	7.52
RSC	0.76	5.71	0.76	7.76	0.75	6.44
SSC	3.56	18.08	2.82	23.04	2.92	30.02
SC	2.00	21.19	1.53	28.15	1.62	35.41
TSC	18.06	12.00	15.35	10.97	15.89	16.30

2.5 花生种质资源表型性状综合评价

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，计算方法参考胡标林等<sup>[17]</sup>方法，第 1 主成分的线性方程为：

$$y_{1j}=0.047X_{1j}+0.033X_{2j}+0.032X_{3j}+0.094X_{4j}+0.057X_{5j}+0.051X_{6j}+0.072X_{7j}-0.033X_{8j}+0.062X_{9j}-0.014X_{10j}-0.009X_{11j}+0.015X_{12j}-0.18X_{13j}+0.052X_{14j}-0.055X_{15j}+0.18X_{16j}+0.239X_{17j}+0.233X_{18j}+0.205X_{19j};$$

采用模糊隶属函数法，对 7 个主成分得分归一化处理，计算权重系数（0.253、0.219、0.164、0.117、0.109、0.073、0.066），最后计算综合得分  $F$  值  $F=0.253y_1+0.219y_2+0.164y_3+0.117y_4+0.109y_5+0.073y_6+0.066y_7$ 。通过  $F$  值对每份种质的表型性状综合评价（表 8）， $F$  值越大，表型综合性状越好。 $F$  值  $\geq 0.706$  的种质资源有 10 份，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 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	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample source	$F$ 值 $F$ -Value	排名 Range	编号 No.	名称 Name	种质类型 Biological status of accession	来源 Sample 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, 加快优良品种培育速度的同时, 大大促进了种业的快速发展<sup>[18-19]</sup>。目前, 我国保存各类型花生种质资源 1 万余份, 但大多数种质资源缺乏系统性鉴评与利用, 导致大量优异基因丧失, 育成的品种遗传基础较为狭窄, 突破性品种难以实现。因此, 基于花生育种及产业的需求, 结合花生表型性状研究与分析, 充分了解各性状的遗传信息及变异概率, 近而为优异资源的挖掘和利用提供理论和实践依据<sup>[20]</sup>。

本研究通过在高纬度种植条件下 226 份花生种质资源表型性状的研究发现, 各性状间变异系数 ( $CV$ ) 与遗传多样性指数 ( $H'$ ) 差异较大。某一性状的变异系数越大, 说明它的遗传变异越丰富, 在品种改良时利用的潜力就越大<sup>[21]</sup>。本研究 19 个表型性状(11 个农艺性状、8 个品质性状)的  $CV$  变化范围为 2.90% (含水量) ~34.07% (蔗糖含量), 田朋佳及孙铭等<sup>[22-23]</sup> 研究认为变异系数 ( $CV$ ) 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  $CV$  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针对不同育种目标提供理论基础和方向。针对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  $CV$  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  $H'$  平均值 (2.006) 大于品质性状  $H'$  平均值 (1.826), 这一结论与苗利娟<sup>[9]</sup>、姜慧芳<sup>[24]</sup> 的结论基本一致, 近而说明在高纬度种植条件下, 这些种质的农艺性状较品质性状具有丰富的遗传多样性。采用变异系数 ( $CV$ ) 与遗传多样性指数 ( $H'$ ) 相结合的分析方法, 深度挖掘潜力种质, 为高纬度下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<sup>[25-26]</sup>, 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 个相关系数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, 极显著正相关系数最大值为 0.980, 极显著负相关系数最大值为-0.174。其中第一侧枝长与主茎高呈极显著正相关, 这一结果与李洁、饶庆琳等<sup>[27-28]</sup> 研究基本一致。花生荚果中的大部分集中在第一侧枝上, 因此, 选择第 1 侧枝长的材料, 能够有效提高花生产量<sup>[28]</sup>。聚类分析结果表明, 根据油酸含量可将花生划分为不同的类群 (普通油酸、高油酸), 这一结论与任小平等<sup>[29]</sup> 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, 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在 3 个类群中最大, 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%, 分别体现在可溶性糖含量、蔗糖含量、百果重及单株结果数等性状。采用隶属函数法与主成分分析相结合对种质资源综合评价, 通过权重系数计算综合得分 ( $F$  值),  $F$  值越大, 综合性状越好,  $F$  值排名前 10 的花生种质综合性状表现优异。通过此方法可有效降低主观误差, 提高评价的准确率<sup>[30]</sup>, 已被广泛应用于多种作物<sup>[17, 31-33]</sup>, 因此, 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, 花生品种区域性较强, 非常适宜中早熟小粒花生品种裸地栽培, 加之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, 应加大力度对花生种质资源的收集引进、鉴定评价, 进而选择出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 份种质多集中在山东、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 PEANUT 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评.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.部分引进牡丹品种的形态多样性.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,敬显霖,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 SIGMOBILE 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. Gui zhou Agricultural Sciences, 2022(5):7-12

- [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*, 2022(5): 7-12
- [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. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 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 Ben 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] 纪洪亨, 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, 温琪芬, 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