

# 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选

孙东雷<sup>1</sup>, 卞能飞<sup>1</sup>, 陈志德<sup>2</sup>, 邢兴华<sup>1</sup>, 徐泽俊<sup>1</sup>, 齐玉军<sup>1</sup>, 王 幸<sup>1</sup>, 王晓军<sup>1</sup>, 王 伟<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 徐州 221131; <sup>2</sup>江苏省农业科学院经济作物研究所, 南京 210014;

<sup>3</sup>徐州沐阳生物科技发展有限公司, 徐州 221131)

**摘要:**分析花生种质资源表型性状的变异规律, 构建花生种质资源的综合评价体系, 筛选最优的评价指标。本研究以 40 份花生种质资源的 17 个表型性状为研究对象, 利用变异系数与 Shannon-Weaver 指数对表型性状的多样性进行分析, 采用聚类分析、主成分分析以及逐步回归分析对花生种质资源进行了综合评价和鉴定指标的筛选。结果表明: 17 个表型性状的变异系数变化范围为 4.15% ~ 31.82%, 油酸、亚油酸以及蔗糖含量等性状变异丰富, 出仁率、粗脂肪及蛋白质含量等性状较稳定; 多样性指数变化范围为 1.39 ~ 2.06, 主茎高、百仁重及蛋白质含量等性状分布比较均匀, 油酸、亚油酸及棕榈酸等性状分级及分布较不均匀。聚类分析把 40 份花生种质资源分为 4 个类群。主成分分析把 17 个表型性状归为 5 个主成分 (累计贡献率 80.41%, 反映出 17 个表型性状的大部分信息), 依次为花生籽粒含油量因子、籽粒含糖量因子及丰产性因子, 以上因子可以较准确的评价花生种质。花生种质表型性状的综合评价由  $F$  值大小判定,  $F$  值均值为 0.73, 开农 176 的  $F$  值最高, 阜花 12 号的  $F$  值最低。由逐步回归分析筛选出 8 个表型性状: 单株鲜果重、百果重、出仁率、粗脂肪、蛋白质含量、棕榈酸、油酸和蔗糖含量。花生种质资源遗传多样性较丰富, 综合评价  $F$  值可以为花生种质资源评价提供参考, 筛选的 8 个表型性状可以作为花生种质资源性状评价指标。

**关键词:**花生; 表型性状; 遗传多样性; 主成分分析; 综合评价

## Comprehensive Evaluation and Index Screening of Phenotypic Traits in Peanut Germplasm Resources

SUN Dong-lei<sup>1</sup>, BIAN Neng-fei<sup>1</sup>, CHEN Zhi-de<sup>2</sup>, XING Xing-hua<sup>1</sup>, XU Ze-jun<sup>1</sup>,

QI Yu-jun<sup>1</sup>, WANG Xing<sup>1</sup>, WANG Xiao-jun<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District, Xuzhou 221131; <sup>2</sup>Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014; <sup>3</sup>Xuzhou Mu Yang Biotechnology Development Co., Ltd., Xuzhou 221131)

**Abstract:** By analyzing the law of variation of phenotypic traits in peanut germplasm resources, this work attempted to select the optimal evaluation indexes important for constructing a comprehensive evaluation system of peanut germplasm resources. Seventeen phenotypic traits in 40 peanut germplasm accessions were studied by using variation coefficient and index of Shannon-Weaver to analyze diversity of phenotypic traits. Cluster analysis, principal component analysis and stepwise regression analysis were deployed in evaluation of peanut germplasm accessions and identification of indexes. The result showed that variation coefficients ranged from 4.15% to 31.82%, and traits vary significantly in oleic acid, linoleic acid and sucrose content, while the traits of shelling percentage, oil content and protein content are stable; diversity indexes range from 1.39 to 2.06. In terms of traits, height of main stem, 100-seed weight, and protein content distribute equally, while the characters of oleic acid, linoleic acid and palmitic acid distribute unevenly. 40 peanut germplasm resources were divided into 4 groups by cluster analysis. Seventeen

收稿日期: 2018-01-05 修回日期: 2018-02-07 网络出版日期: 2018-03-12

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.s.20180312.1032.002.html>

基金项目: 徐州市农业高技术攻关项目 (KC16NG068); 国家花生产业技术体系徐州综合试验站 (CARS-13); 徐州市重点研发计划 (KC17069)

第一作者研究方向为花生种质资源创新工作。E-mail: readingbent@163.com

通信作者: 王晓军, 研究方向为花生遗传育种工作。E-mail: wangxj0516@126.com

phenotypic traits were classified into five principal components with principal component analysis (cumulative contribution rate 80.41%, reflecting most information of 17 phenotypic traits). The five principal components are grain oil content factor, grain sugar content factor and high yield factor which could accurately evaluate peanut germplasm. The comprehensive evaluation of phenotypic traits of peanut germplasm is determined by the value of  $F$  value. The average value is 0.73, KN 176 is the highest, and FH 12 is the lowest. Eight phenotypic traits are screened by stepwise regression analysis: fresh yield/plant, 100-pod weight, shelling percentage, oil content, protein content, palmitic acid, oleic acid and sucrose content. Peanut germplasm resources are abundant in genetic diversity. Thus, this work provided references in evaluation of peanut germplasm accessions via applying 8 phenotypic traits as evaluation indexes.

**Key words:** peanut; phenotypic traits; genetic diversity; principal component analysis; comprehensive evaluation

花生 (*Arachis hypogaea* L.) 是全球第三大油脂植物,全球生产的花生大约三分之二用于榨油<sup>[1]</sup>。花生也是中国种植的主要豆科作物之一,是植物蛋白和油的重要来源<sup>[2]</sup>。高产、抗逆、高油及高蛋白一直是花生种质资源的评价标准,随着社会消费水平的不断提高,花生的消费模式呈现多样化,近年来,高油酸<sup>[3]</sup>、高含糖量(主要是蔗糖含量高)<sup>[4]</sup>等优质食用花生市场需求不断扩大。花生种质资源对优质花生品种的选育具有重要作用,但目前缺乏花生种质资源综合评价的有效方法。因此,构建花生种质资源表型性状综合评价体系,对于优质花生品种选育具有重要意义。

近年来,以花生种质资源表型性状的多样性评价及主成分分析为主的研究渐增,研究的花生种质资源性状主要集中在农艺及产量性状上,开展花生种质资源表型性状多样性的研究除了形态学手段外,还包括分子标记方法等。其中,白冬梅等<sup>[5]</sup>对山西省地方花生品种农艺性状的多样性进行分析,多样性指数变化范围为 0.96 ~ 2.03,不同性状之间的表型变异程度差异显著。张晓杰等<sup>[6]</sup>对中国花生核心种质的 26 个农艺性状和产量性状进行主成分分析,结果表明百仁重、百果重对第一主成分贡献最大。洪彦彬等<sup>[7]</sup>利用 110 对 SSR 标记分析了 28 份花生种质资源的遗传差异,SSR 聚类分析和表型形态特征结果基本一致,表明花生种质资源按表型特性进行分类是合理的。康红梅等<sup>[8]</sup>利用表型性状鉴定与 SSR 分子标记的方法,对来源不同的 75 份花生材料进行遗传多样性研究,两种不同的鉴别方法结果均表现出试验材料丰富的遗传多样性。

植物遗传多样性通过形态学方法展现出来,可以更加全面地了解资源的多样性程度,为研究者提供丰富的信息<sup>[9]</sup>。目前国内外对花生种质资源的

农艺性状、产量性状以及品质性状的多样性评价及综合评价较少,用于综合评价花生种质资源的表型性状筛选工作尚未见报道,从而制约了综合性状优良的花生种质资源利用。

本研究以 40 份花生育成品种为试验材料,采用遗传多样性分析、隶属函数法、聚类分析、主成分分析和逐步回归分析,构建花生表型性状综合评价体系,筛选花生种质资源表型性状的最优评价指标,以期对花生种质资源挖掘、筛选及评价提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于江苏徐淮地区徐州农业科学研究所徐州现代试验示范基地进行,试验点位于华北平原的东南部,34°29'N,117°41'E,海拔高度为 29 m,属于温带大陆性季风气候。试验地一年种植一茬,冬季休闲,土壤类型为沙壤土,肥力中等。试验采用完全随机区组设计,3 次重复,田间管理同正常大田栽培管理。本试验的 40 份供试材料均来自于江苏徐淮地区徐州农业科学研究所引进和培育,供试材料信息如表 1 所示。

### 1.2 表型性状测定方法

试验调查了 40 份花生种质资源成熟期的农艺性状和产量性状,性状调查标准按照《花生种质资源描述规范和数据标准》<sup>[10]</sup>,性状包括主茎高、第一侧枝长、总分枝数、结果枝数、单株鲜果重、单株生产力、百果重、百仁重和出仁率。花生籽粒中的粗脂肪、蛋白质、油酸、亚油酸以及棕榈酸通过波通 DA7200 近红外分析仪测得<sup>[11-12]</sup>。花生籽粒中的可溶性糖含量用蒽酮比色法测定<sup>[13]</sup>,花生籽粒中蔗糖、果糖含量用高效液相色谱法测定<sup>[14]</sup>。

表 1 供试花生材料的编号和名称

Table 1 The number and name of 40 peanut genotypes used in the study

编号 No.	种质名称 Variety name	来源地 Origin	编号 No.	种质名称 Variety name	来源地 Origin
1	花育 28 号	山东	21	徐花 20 号	江苏
2	冀花 5 号	河北	22	徐系 1 号	江苏
3	徐花 16 号	江苏	23	徐花 8 号	江苏
4	豫花 9719	河南	24	徐花 14 号	江苏
5	丰花 1 号	山东	25	花育 30 号	山东
6	豫花 22 号	河南	26	中花 3 号	湖北
7	徐花 17 号	江苏	27	潍花 8 号	山东
8	远杂 9847	河南	28	航花 2 号	广东
9	白沙 1016	广东	29	粤油 45	广东
10	徐花 13 号	江苏	30	濮花 28 号	河南
11	阜花 12 号	辽宁	31	豫花 9805	河南
12	花育 33 号	山东	32	开农 176	河南
13	花育 17 号	山东	33	花育 961	山东
14	冀花甜 1 号	河北	34	冀花 13 号	河北
15	冀花甜 2 号	河北	35	鲁花 14 号	山东
16	徐花 15 号	江苏	36	花育 21 号	山东
17	徐花 18 号	江苏	37	冀花 10 号	河北
18	中花 8 号	湖北	38	中花 6 号	湖北
19	徐花 19 号	江苏	39	闽花 6 号	福建
20	徐州 68-4	江苏	40	豫花 9331	河南

### 1.3 数据分析

**1.3.1 多样性指数** 通过性状的平均值( $\bar{x}_i$ )和标准差( $\delta$ )来划分性状的等级,由公式(1)将试验表型性状的数值进行划分级别,级别从 1 级到 10 级;公式(2)用于计算每一组的分布频率, $P_{ij}$ 解释为第  $i$  个性状处于第  $j$  个变异的分布频率, $n_{ij}$ 表示性状变异材料的个数, $n$ 表示试验的样本总数;群体多样性的利用公式(3)计算<sup>[9]</sup>,其中  $\ln$  为自然对数<sup>[15]</sup>。

$$r = \bar{x}_i \pm k\delta (k=0, 0.5, 1, 1.5, 2) \quad (1)$$

$$P_{ij} = n_{ij}/n \quad (2)$$

$$H = - \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

**1.3.2 花生种质的综合评价方法** 通过模糊隶属函数法将 40 份花生种质的 17 个表型性状函数值定义在  $[0, 1]$  区间内,计算公式<sup>[16]</sup>:  $X_{(ij)} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ 。 $X_{(ij)}$ 表示隶属函数值, $X_{ij}$ 解释为品种  $i$  在指标  $j$  的测定值, $X_{jmin}$ 与  $X_{jmax}$ 解释为供试样品材料  $j$  的最小值和最大值。

用 SPSS 20.0 对本试验 40 份材料的 17 个性状

进行方差分析、聚类分析、主成分分析和回归分析。利用主成分分析因子得分系数矩阵与权重来计算综合评价  $F$  值,计算公式为  $F = V_1F_1 + V_2F_2 + V_3F_3 + \dots + V_nF_n$ 。其中  $V_n$  表示因子为  $n$  时的权重, $F_n$  表示因子为  $n$  时的得分,由隶属函数法标准化数据和因子得分系数矩阵所得。

## 2 结果与分析

### 2.1 花生种质资源性状多样性

**2.1.1 花生种质资源性状的描述性统计** 本研究对 40 份花生种质资源的 17 个性状进行描述性统计分析,如表 2 所示,17 个性状指标的变异系数范围为 4.15% ~ 31.82%,平均变异系数为 16.70%,各性状的变异系数有不同程度的差异,表明 17 个表型性状之间既紧密相关又相互独立。其中变异系数较高的 5 个性状为油酸、亚油酸、果糖含量、蔗糖含量以及百仁重,变异范围为 17.70% ~ 31.82%,表明这 5 个性状有较大的变异幅度,变异较为丰富;变异系数较低的 5 个性状为出仁率、粗脂肪、蛋白质含量、第一侧枝长以及主茎高,变异范围为 4.15% ~ 13.47%,表明这 5 个性状的变异幅度较小,遗传特性较稳定。

**2.1.2 花生种质资源性状的遗传多样性指数** 17 个表型性状多样性指数变化范围为 1.39 ~ 2.06,多样性指数平均值为 1.87,表明 40 份花生种质资源拥有丰富的遗传多样性,主茎高多样性指数最大,油酸多样性指数最小。主茎高(2.06)、百仁重(2.02)、蛋白质含量(2.01)、粗脂肪(2.00)及出仁率(1.99)的多样性指数较大,从而表明花生种质资源在上述 5 个性状中,在不同性状分级之间分布较其他指标均匀。油酸(1.39)、亚油酸(1.45)、棕榈酸(1.67)的多样性指数较小,解释为供试花生种质材料在这 3 个指标有较少的表现型,并且分布呈现不均匀性。

**2.1.3 基于花生种质资源 17 个表型性状的聚类分析** 由试验所得的 17 个表型数据对 40 份花生种质资源进行聚类分析,聚类结果如图 1 所示,在欧式距离为 10 时 40 份试材可以分为 4 个类群,第 I 类群包括 19 份材料,百仁重均值及百果重均值与其他类群差异显著,属于中等果形花生种质资源;第 II 类群包括 14 份材料,百果重均值及百仁重均值和其他类群差异显著,属于大果形花生种质资源;第 III 类群包括徐花 18 号、开农 176、花育 961 以及冀花 13 号,这 4 份种质是高油酸材料,油酸含量、亚油酸含量及棕榈酸与

表 2 40 份花生种质资源 17 个表型性状变化情况

Table 2 Phenotypic variations of 17 traits in 40 peanut germplasm accessions

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV	多样性指数 H
主茎高(cm) Height of main stem	87.50	49.00	67.75	9.13	13.47	2.06
第一侧枝长(cm) Length of first branches	96.25	62.75	79.92	9.47	11.85	1.97
总分枝数 Total branching number	12.00	4.75	8.19	1.42	17.29	1.92
结果枝数 Number of branches with pods	9.50	4.25	6.97	1.12	16.02	1.87
单株鲜果重(g) Fresh yield/plant	57.76	26.30	43.67	7.29	16.70	1.96
单株生产力(g) Pod yield/plant	29.65	14.79	21.74	3.56	16.38	1.97
百果重(g) 100-pod weight	261.02	134.00	205.89	32.04	15.63	1.91
百仁重(g) 100-seed weight	107.20	51.40	83.59	13.85	17.70	2.02
出仁率(%) Shelling percentage	77.50	65.12	71.04	2.95	4.15	1.99
粗脂肪(%) Oil content	57.79	43.85	52.43	2.89	5.51	2.00
蛋白质含量(%) Protein content	28.38	20.93	24.72	2.05	8.28	2.01
棕榈酸(%) Palmitic acid	12.78	5.08	10.27	1.77	17.19	1.67
油酸(%) Oleic acid	80.45	27.18	42.55	13.54	31.82	1.39
亚油酸(%) Linoleic acid	52.94	4.92	38.41	11.83	30.79	1.45
可溶性糖含量(%) Soluble sugar content	10.14	5.00	6.45	1.13	17.49	1.83
蔗糖含量(%) Sucrose content	8.10	3.63	5.03	1.06	20.98	1.85
果糖含量(%) Fructose content	0.51	0.17	0.29	0.07	23.83	1.89

其他类群差异显著;第Ⅳ类群包括冀花甜 2 号、中花 6 号以及徐花 15 号,百果重均值、百仁重均值及单株生产力均值与其他类群差异显著,属于小果形花生种质资源。

## 2.2 花生种质资源表型性状的主成分分析

主成分分析可以在不损失或很少损失原有信息的前提下,将原来个数较多而且彼此相关的指标转换为新的个数较少且彼此独立的综合指标。本研究对 40 份花生种质资源的 17 个表型性状进行主成分分析,分析结果如表 3 所示,第 I 主成分贡献率为 29.31%,第 II 主成分贡献率为 18.24%,第 III 主成分贡献率为 12.70%,第 IV 主成分贡献率为 11.59%,第 V 主成分贡献率为 8.58%,5 个因子的特征值均大于 1,前 5 个主成分的累计贡献率达到了 80.41%,这样就把原来的 17 个表型性状转换为 5 个新的独立的综合指标,并且前 5 个主成分解释了花生种质资源表型性状的绝大部分信息,可以用于花生种质表型性状评价。

第 I 主成分解释了 17 个表型性状 29.31% 的

变化,特征向量绝对值最大的为亚油酸(0.81),其次为粗脂肪(0.80)以及油酸(0.79),主要反映的是花生籽粒油品质性状情况,可以归为花生籽粒含油量因子;第 II 主成分特征向量绝对值最大的为蔗糖含量(0.83),其次为可溶性糖含量(0.79)以及果糖含量(0.68),主要解释为花生籽粒食用品质性状情况,可以归为花生籽粒含糖量因子;第 III 主成分特征向量绝对值较大的为单株生产力(0.67)和单株鲜果重(0.66),主要解释为花生单株产量性状情况,可以归结为花生丰产性因子;第 IV 主成分特征向量绝对值较大的为百果重(0.73)和百仁重(0.68),也归结为花生丰产性因子;第 V 主成分特征向量绝对值较大的为单株生产力和单株鲜果重,也归为花生丰产性因子。

构成花生籽粒含油量因子的第 I 主成分等同于 4.98 个初始指标的作用,构成花生籽粒含糖量因子的第 II 主成分等同于 3.10 个初始指标的作用,构成花生丰产性因子的第 III、第 IV 与第 V 主成分等同于 5.59 个初始指标的作用。

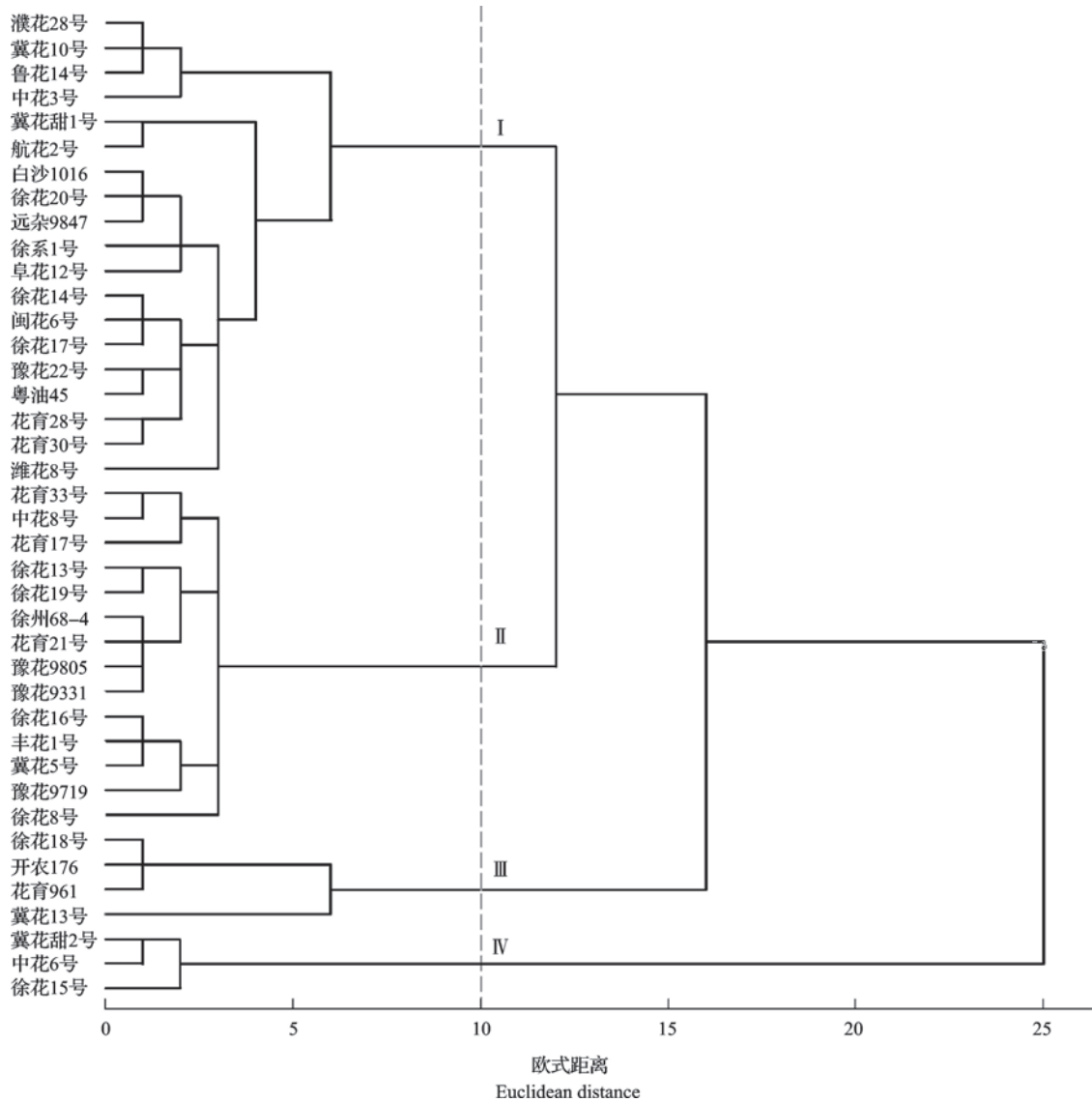


图 1 40 份花生种质资源基于 17 个性状的聚类图

Fig.1 Clusters graph of 40 peanut accessions based on the phenotypic datasets of 17 traits

表 3 花生种质资源性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of the characters of peanut germplasm resources

性状 Traits	主成分 Principal component				
	I	II	III	IV	V
主茎高 Height of main stem	0.63	-0.13	-0.18	0.06	0.47
第一侧枝长 Length of first branches	-0.75	-0.09	0.01	0.13	0.35
总分枝数 Total branching number	0.36	0.50	0.23	-0.52	-0.23
结果枝数 Number of branches with pods	0.20	0.60	0.17	-0.50	-0.16
单株鲜果重 Fresh yield/plant	0.09	0.52	0.66	-0.13	0.44
单株生产力 Pod yield/plant	0.19	0.34	0.67	-0.10	0.53
百果重 100-pod weight	0.23	-0.08	0.51	0.73	-0.17
百仁重 100-seed weight	0.28	-0.13	0.58	0.68	-0.22
出仁率 Shelling percentage	0.49	0.08	-0.18	-0.10	-0.05
粗脂肪 Oil content	0.80	-0.31	0.22	-0.17	-0.18

表 3(续)

性状 Traits	主成分 Principal component				
	I	II	III	IV	V
蛋白质含量 Protein content	-0.64	-0.31	0.17	-0.16	0.23
棕榈酸 Palmitic acid	-0.76	-0.24	0.37	-0.19	-0.29
油酸 Oleic acid	0.79	0.15	-0.34	0.24	0.36
亚油酸 Linoleic acid	-0.81	-0.15	0.35	-0.20	-0.36
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.28	0.79	-0.23	0.32	-0.16
蔗糖含量 Sucrose content	0.35	0.83	-0.17	0.25	-0.18
果糖含量 Fructose content	0.60	0.68	-0.07	0.22	-0.06
特征值 Eigenvalue	4.98	3.10	2.16	1.97	1.46
贡献率(%) Contribution rate	29.31	18.24	12.70	11.59	8.58
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	29.31	47.55	60.25	71.83	80.41

为了更直观地展现花生种质资源表型性状分布情况,以第 I 主成分(籽粒含油量)为横坐标,第 II 主成分(籽粒含糖量)为纵坐标得出主成分分析散点图,如图 2 所示,将 40 份花生种质资源分为 3 个类群,类群 I 包括了 34 份试材,涵盖了不同栽培亚种的花生种质资源,来自不同的种植区域,遗传特性

较丰富;类群 II 包括开农 176、徐花 18 号、花育 961 及冀花 13 号,都为高油酸花生种质资源,油酸、亚油酸及棕榈酸与其他普通油酸含量材料有差异性;类群 III 包括冀花甜 1 号与冀花甜 2 号,2 份材料为籽粒高含糖量品种,蔗糖、可溶性糖含量及果糖含量高于其他种质资源。

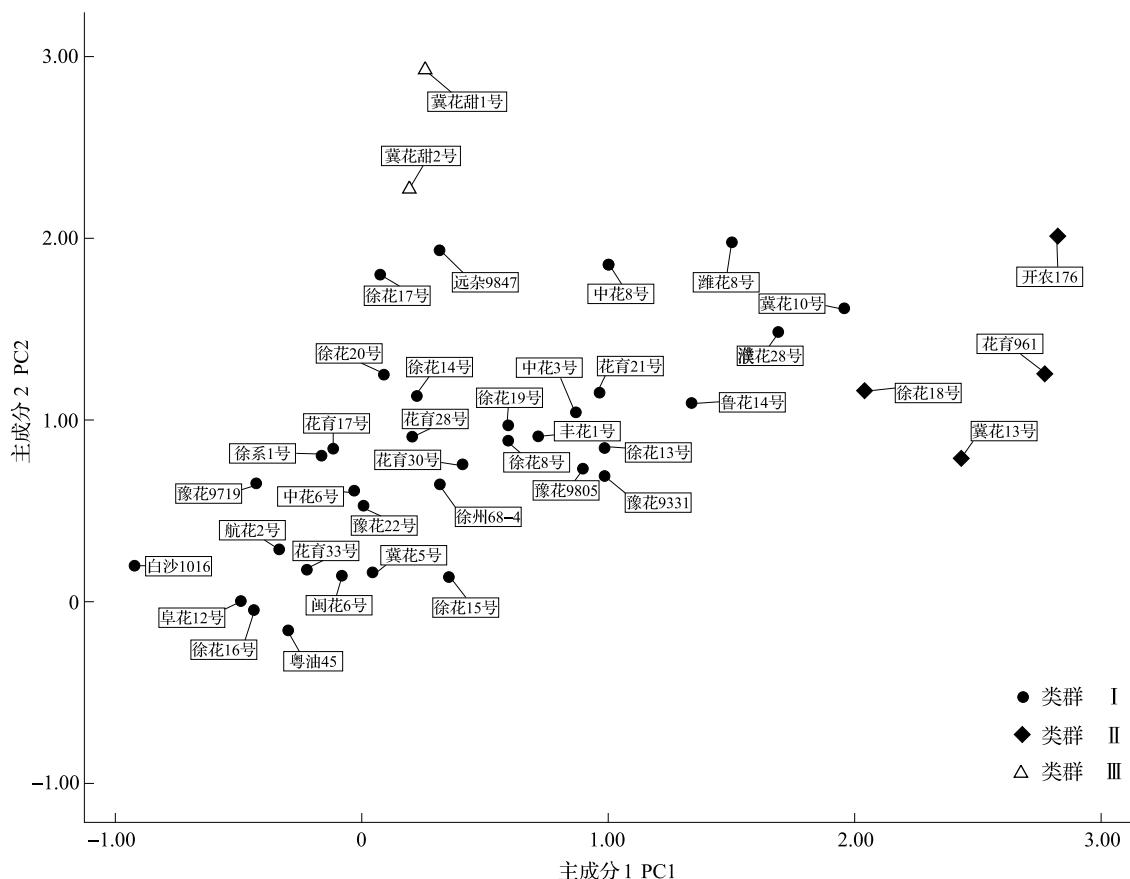


图 2 40 份花生种质资源的主成分分析图

Fig. 2 The principal component analysis of 40 peanut accessions

### 2.3 花生种质资源表型性状的综合评价

将标准化的 17 个表型性状值,代入上述 5 个主成分中,由此可以获得 5 个因子的得分公式,如下:

$$F_1 = 0.63X_1 - 0.75X_2 + 0.36X_3 + 0.20X_4 + 0.09X_5 + 0.19X_6 + 0.23X_7 + 0.28X_8 + 0.49X_9 + 0.80X_{10} - 0.64X_{11} - 0.76X_{12} + 0.79X_{13} - 0.81X_{14} + 0.28X_{15} + 0.35X_{16} + 0.60X_{17} \quad (1)$$

$$F_2 = -0.13X_1 - 0.09X_2 + 0.50X_3 + 0.60X_4 + 0.52X_5 + 0.34X_6 - 0.08X_7 - 0.13X_8 + 0.08X_9 - 0.31X_{10} - 0.31X_{11} - 0.24X_{12} + 0.15X_{13} - 0.15X_{14} + 0.79X_{15} + 0.83X_{16} + 0.68X_{17} \quad (2)$$

$$F_3 = -0.18X_1 + 0.01X_2 + 0.23X_3 + 0.17X_4 + 0.66X_5 + 0.67X_6 + 0.51X_7 + 0.58X_8 - 0.18X_9 + 0.22X_{10} + 0.17X_{11} + 0.37X_{12} - 0.34X_{13} + 0.35X_{14} - 0.23X_{15} - 0.17X_{16} - 0.07X_{17} \quad (3)$$

$$F_4 = 0.06X_1 + 0.13X_2 - 0.52X_3 - 0.50X_4 - 0.13X_5 - 0.10X_6 + 0.73X_7 + 0.68X_8 - 0.10X_9 - 0.17X_{10} - 0.16X_{11} - 0.19X_{12} + 0.24X_{13} - 0.20X_{14} + 0.32X_{15} + 0.25X_{16} + 0.22X_{17} \quad (4)$$

$$F_5 = 0.47X_1 + 0.35X_2 - 0.23X_3 - 0.16X_4 + 0.44X_5 + 0.53X_6 - 0.17X_7 - 0.22X_8 - 0.05X_9 - 0.18X_{10} + 0.23X_{11} - 0.29X_{12} + 0.36X_{13} - 0.36X_{14} - 0.16X_{15} - 0.18X_{16} - 0.06X_{17} \quad (5)$$

根据  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$  及  $F_5$  数值,以及各主成分的贡献率权重(0.36、0.23、0.16、0.14、0.11)得出每个品种的综合得分公式:  $F = 0.36F_1 + 0.23F_2 + 0.16F_3 + 0.14F_4 + 0.11F_5$ ,由上述公式计算得出  $F$  值,对 40 份花生种质资源表型性状进行综合评价,综合评价根据  $F$  值大小进行排序(表 4)。花生种质资源的表型性状综合  $F$  均值为 0.73,排在前 5 位的分别是开农 176、花育 961、徐花 18 号、冀花 10 号、冀花 13 号。来自河南的开农 176 的  $F$  值最高(1.87),来自辽宁的阜花 12 号  $F$  值最低(0.02),说明开农 176 的综合性状最好,其总分枝数、百果重、油酸和蔗糖含量分别为 8.60、231.20 g、80.24% 和 5.88%。表型性状  $F$  值与 17 个表型性状的相关分析如表 5 所示, $F$  值与 9 个表型性状呈极显著相关性,呈极显著正相关的包括总分枝数(0.409)、单株鲜果重(0.459)、单株生产力(0.462)、油酸(0.697)以及可溶性糖含量(0.414),呈极显著负相关的包括第一侧枝长(-0.457)、蛋白质含量(-0.650)、棕榈酸(-0.712)以及亚油酸(-0.694), $F$  值与主茎高(-0.353)、结果枝数(0.374)、百果重(0.330)、百仁重(0.316)、出仁率(0.354)、粗脂肪(0.347)及蔗糖含量(0.379)呈显著相关关系。

表 4 花生表型性状的综合评价

Table 4 Scores of peanut accessions by calculating phenotypic traits

编号 No.	种质名称 Genotypes	综合得分 Score	排名 Range	编号 No.	种质名称 Genotypes	综合得分 Score	排名 Range
1	花育 28 号	0.54	25	21	徐花 20 号	0.58	24
2	冀花 18 号	0.40	31	22	徐系 1 号	0.53	26
3	徐花 16 号	0.18	36	23	徐花 8 号	0.74	19
4	豫花 9719	0.50	28	24	徐花 14 号	0.52	27
5	丰花 1 号	0.77	17	25	花育 30 号	0.61	23
6	豫花 22 号	0.34	32	26	中花 3 号	0.91	13
7	徐花 17 号	0.72	20	27	潍花 8 号	1.18	7
8	远杂 9847	0.86	15	28	航花 2 号	0.33	33
9	白沙 1016	0.04	39	29	粤油 45	0.09	38
10	徐花 13 号	1.11	10	30	濮花 28 号	1.16	8
11	阜花 12 号	0.02	40	31	豫花 9805	0.82	16
12	花育 33 号	0.41	30	32	开农 176	1.87	1
13	花育 17 号	0.47	29	33	花育 961	1.59	2
14	冀花甜 1 号	1.13	9	34	冀花 13 号	1.25	5
15	冀花甜 2 号	0.64	21	35	鲁花 14 号	1.06	11
16	徐花 15 号	0.16	37	36	花育 21 号	0.92	12
17	徐花 18 号	1.38	3	37	冀花 10 号	1.37	4
18	中花 8 号	1.23	6	38	中花 6 号	0.19	35
19	徐花 19 号	0.87	14	39	闽花 6 号	0.27	34
20	徐州 68-4	0.62	22	40	豫花 9331	0.75	18

表 5 表型综合值 ( $F$  值) 与 17 个表型性状的相关系数Table 5 Correlation coefficients between comprehensive value ( $F$ -value) and 17 phenotypic traits

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient
主茎高 Height of main stem	-0.353 *	粗脂肪 Oil content	0.347 *
第一侧枝长 Length of first branches	-0.457 **	蛋白质含量 Protein content	-0.650 **
总分枝数 Total branching number	0.409 **	棕榈酸 Palmitic acid	-0.712 **
结果枝数 Number of branches with pods	0.374 *	油酸 Oleic acid	0.697 **
单株鲜果重 Fresh yield/plant	0.459 **	亚油酸 Linoleic acid	-0.694 **
单株生产力 Pod yield/plant	0.462 **	可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.414 **
百果重 100-pod weight	0.330 *	蔗糖含量 Sucrose content	0.379 *
百仁重 100-seed weight	0.316 *	果糖含量 Fructose content	0.122
出仁率 Shelling percentage	0.354 *		

\* 和 \*\* 分别表示 5% 和 1% 的显著水平

\* and \*\* indicate significance at 5% and 1% probability levels, respectively

## 2.4 花生种质资源表型性状综合评价指标的筛选

以 17 个表型性状数值与综合得分  $F$  值构建最优回归方程,筛选花生种质资源最优评价指标。以 17 个表型性状数值为自变量,以  $F$  值为因变量,通过逐步线性回归方法构建的最优回归方程式为:  $y = -1.504 + 0.021 x_5 - 0.058x_{11} - 0.056x_{12} + 0.138x_{16} + 0.003x_7 + 1.833x_9 + 0.010x_{13} + 0.032x_{10}$ , 方程式中  $x_5$ 、 $x_7$ 、 $x_9$ 、 $x_{10}$ 、 $x_{11}$ 、 $x_{12}$ 、 $x_{13}$  及  $x_{16}$  分别代表了单株鲜果重、百果重、出仁率、粗脂肪、蛋白质含量、棕榈酸、油酸和蔗糖含量 8 个表型性状,回归方程式中的性状通径系数分别为 0.021、0.003、1.833、0.032、-0.058、-0.056、0.010 及 0.138,方程式的相关系数  $r$  和判定系数  $R^2$  分别为 0.990 和 0.980,说明这 8 个自变量可以解释  $F$  值 98.0% 的总变异, $F$  值为 188.01,方程表示为极显著结果。依据上述回归方程,可以得出,在 17 个花生种质资源表型性状中,单株鲜果重、百果重、出仁率、粗脂肪、蛋白质含量、棕榈酸、油酸和蔗糖含量 8 个表型性状与花生种质资源表型性状多样性综合值有极显著相关性,可以作为花生种质资源的综合评价指标。

## 3 讨论

### 3.1 花生种质资源表型多样性分析

对表型性状研究是植物遗传多样性研究中最基础、最直观的方法,可以从整体上了解研究对象的多样性程度<sup>[17-18]</sup>,挖掘更加广泛的基因资源,为复杂性状机理研究提供重要依据<sup>[19]</sup>。关于花生种质资源表型性状遗传多样性的报道,国内众多学者研究

表明,农艺性状和产量性状遗传多样性指数均值较品质性状遗传多样性指数均值大,农艺性状与产量性状较品质性状遗传多样性丰富,同一种植区花生品种遗传背景较狭窄<sup>[20-23]</sup>。本研究主要以徐花系列品种和豫、鲁、冀花生种植区品种为试验材料,采用 Shannon-Wiener 指数对花生种质资源的 17 个表型性状进行遗传多样性分析,表型性状多样性指数变化范围为 1.39 ~ 2.06,其中农艺性状多样性指数均值为 1.95,产量性状多样性指数均值为 1.97,品质性状多样性指数均值为 1.76,农艺性状和产量性状较品质性状遗传多样性丰富,试验结论进一步证实了前人的研究,同时也为今后的花生种质资源遗传多样性研究提供理论支持。由 17 个表型性状的变异系数可以看出,40 份花生种质资源之间既有一定的遗传相似性又存在一定的遗传差异性,为育种者提供了足够的亲本选择范围<sup>[24]</sup>。

聚类分析和主成分分析图可以得出普通油酸花生和高油酸花生是两个独立的类群,此结论与任小平等<sup>[25]</sup>对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。同时可以看出地域来源不同、栽培亚种及类型不同的花生种质资源在遗传多样性上会有明显的差异,说明不同地域来源的花生种质资源可以提高种质资源的整体遗传多样性水平,因此在育种工作中选择亲本既要考虑品种类型也要兼顾品种资源的地域来源<sup>[26]</sup>。主成分分析图筛选出的冀花甜 1 号与冀花甜 2 号被单独归为一类,可以为今后的食用型高含糖量花生育种提供亲本材料。



### 3.2 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选

本研究基于花生种质资源的表型性状,利用隶属函数法与主成分分析相结合的方法对花生种质资源进行评价,上述方法已在水稻<sup>[27]</sup>、陆地棉<sup>[28]</sup>、谷子<sup>[29]</sup>等作物表型性状的综合评价中得到应用。本研究对花生种质资源的 17 个表型性状进行主成分分析,结果表明 17 个表型性状归结为 3 类因子,按贡献率大小依次为花生籽粒含油量因子、籽粒含糖量因子与丰产性因子。因子得分高低表明油酸、粗脂肪、蔗糖含量、可溶性糖含量、单株鲜果重、单株生产力、百果重及百仁重对花生种质资源表型性状差异有较大的贡献。上述试验结论不仅与李清华等<sup>[24]</sup>、汤丰收等<sup>[30]</sup>及殷冬梅等<sup>[31]</sup>研究结果基本一致,而且还初次探究并得出花生籽粒含糖量因子(可溶性糖含量与蔗糖含量)在花生种质资源综合评价中的重要地位,其他文献中未见报道,此结论不仅为普通用途花生种质资源表型评价提供理论支持,而且推动了高油酸花生和鲜食花生(蔗糖含量大于 6%)<sup>[32-33]</sup>种质资源的研究和利用。

本研究通过表型性状综合得分  $F$  值对 40 份花生种质资源进行排序,以此考量花生种质资源的综合优劣程度。综合评价结果显示,来自河南省的开农 176 综合得分最高,来自辽宁省的阜花 12 号综合得分最低,都是构建遗传丰富变异群体的宝贵材料。逐步回归分析方法可以筛选出最优化的评价指标,解决种质资源表型性状复杂繁多并彼此相关的问题,为花生种质资源的利用和研究提供解决方法。本研究通过逐步回归分析得到的 8 个表型性状包括单株鲜果重、百果重、出仁率、粗脂肪、蛋白质含量、棕榈酸、油酸和蔗糖含量,与综合性状  $F$  值影响显著。单株鲜果重、百果重及出仁率是构成产量性状的主要组成部分,高产也是花生育种工作中最核心的方向,因此针对这 3 个性状研究可以提高花生高产育种的效率<sup>[6]</sup>。粗脂肪、蛋白质含量、棕榈酸、油酸和蔗糖含量是花生种质重要的品质性状,针对以上性状开展研究可以为花生高油酸种质创新及食用型花生种质评价开辟新思路。由上述 8 个性状作为花生种质资源的关键表型性状,可以作为花生种质表型鉴定的主要指标,为花生遗传育种研究提供了参考依据。

## 4 结论

本研究对花生种质资源的 17 个表型性状进行了多样性分析,Shannon-Wiener 指数变化幅度为

1.39 ~ 2.06,遗传多样性较丰富;由聚类分析把 40 份花生种质资源划分为 4 个类群;通过主成分分析把 17 个表型性状归为 3 类因子,其中籽粒含油量因子贡献率最高;由综合评价  $F$  值对 40 份试材进行综合得分排序,其中开农 176 的  $F$  值最高,阜花 12 号的  $F$  值最低;通过表型性状与  $F$  值构建了回归方程,蔗糖含量、油酸及百果重等 8 个表型性状作为花生表型鉴定的主要指标,可以有效的反映花生种质资源的综合表现。

### 参考文献

- [1] Awuah R T, Kpodo K A. High incidence of *Aspergillus flavus* and aflatoxins in stored groundnut in Ghana and the use of a microbial assay to assess the inhibitory effects of plant extracts on aflatoxin synthesis. *Mycopathologia*, 1996, 134(2):109-114
- [2] 禹山林. 中国花生品种及其系谱. 上海:上海科学技术出版社, 2008:1-2
- [3] 陈静. 高油酸花生遗传育种研究进展. 植物遗传资源学报, 2011, 12(2):190-196
- [4] 秦利, 刘华, 杜培, 董文召, 黄冰艳, 韩锁义, 张忠信, 齐飞艳, 张新友. 基于近红外光谱法的花生籽仁中蔗糖含量的测定. 中国油料作物学报, 2016, 38(5):666-671
- [5] 白冬梅, 王国桐, 薛云云, 田跃霞, 权宝全. 山西省地方花生品种农艺性状的遗传多样性分析. 山西农业科学, 2014, 42(6):542-547
- [6] 张晓杰, 姜慧芳, 任小平, 廖伯寿. 中国花生核心种质的主成分分析及相关分析. 中国油料作物学报, 2009, 31(3):298-304
- [7] 洪彦彬, 梁炫强, 陈小平, 林坤耀, 周桂元, 李少雄, 刘海燕. 花生栽培种(*Arachis hypogaea*)类型间遗传差异的 SSR 分析. 分子植物育种, 2008, 6(1):71-78
- [8] 康红梅, 李保云, 孙毅. 花生表型及 SSR 遗传多样性的研究. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1):66-76
- [9] 田稼, 郑殿升. 中国作物遗传资源. 北京:中国农业出版社, 1994:312-315
- [10] 姜慧芳, 段乃雄, 任小平. 花生种质资源描述规范和数据标准. 北京:中国农业出版社, 2006:128-133
- [11] 王丽. 蛋白用花生加工特性与品质评价技术研究. 北京:中国农业科学院, 2012:19-32
- [12] 王传堂, 朱立贵. 高油酸花生. 上海:上海科学技术出版社, 2017:134-140
- [13] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京:高等教育出版社, 2006:144-145
- [14] 赵福成, 景立权, 陆大雷, 王桂跃, 陆卫平. 超甜玉米籽粒糖积累和蔗糖代谢酶活性动态变化. 核农学报, 2014, 28(12):2230-2237
- [15] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, 1998:3-14
- [16] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军, 王幸. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选. 植物遗传资源学报, 2017, 18(6):1079-1087
- [17] 陈巍, 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 陈昌文, 曹柯, 张绍铃. 基于 SSR 标记和生物学性状进行桃遗传多样性的比较分析. 植物遗传资源学报, 2009, 10(1):86-90
- [18] 孙珍珠, 李秋月, 王小柯, 赵婉彤, 薛杨, 冯锦英, 刘小丰, 刘梦雨, 江东. 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价. 中国农业科学, 2017, 50(22):4362-4372
- [19] Campbell D R. Using phenotypic manipulations to study multivariate selection of floral trait associations. *Annals of Botany*, 2009, 103(9):1557-1566

- [20] 肖宇,陈剑洪,郭陞垚,陈永水,王金线. 福建省近年来审(认)定花生品种的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2015, 16 (4):728-733
- [21] 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
- [22] 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 IC-RISAT 花生微核心种质的比较. 作物学报, 2008, 34 (1): 25-30
- [23] 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
- [24] 李清华,黄金堂,陈海玲,陈芝,李淑萍,谢志琼. 27份花生种质资源的主成分分析及遗传距离测定. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4):519-524
- [25] 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
- [26] 万述伟,宋风景,郝俊杰,张晓艳,李红卫,邵阳,赵爱鸿. 271份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18 (1):10-18
- [27] 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
- [28] 代攀虹,孙君灵,何守朴,王立如,贾银华,潘兆娥,庞保印,杜雄明,王溢. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. 中国农业科学, 2016, 49 (19):3694-3708
- [29] 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
- [30] 汤丰收,李蝴蝶. 花生35个品种的主成分分析及遗传距离测定. 河南农业科学, 1992 (4):5-8
- [31] 殷冬梅,张幸果,王允,崔党群. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价. 植物遗传资源学报, 2011, 12 (4):507-512
- [32] Luo H, Zhou G Y, Fang H B, Dong G J. Studies on biochemical characters relative to direct edible peanut. Journal of Peanut Science, 2004, 4:1-4
- [33] Wang C T, Tang Y Y, Wang X Z, Chen D X, Cui F G, Chi Y C, Zhang J C, Yu S L. Evaluation of groundnut genotypes from China for quality traits. Journal of SAT Agricultural Research, 2011, 12 (9):1-5

## 欢迎订阅 2019 年《中国水稻科学》《Rice Science》

《中国水稻科学》为中国水稻研究所主办的全国性学术期刊。本刊为中文核心期刊、中国科学引文索引数据库核心期刊、中国科技核心期刊。本刊多次获优秀期刊奖,曾两度被评为全国优秀科技期刊,荣获第三届国家期刊奖(百种重点期刊),并入选中国期刊方阵双百期刊、中国精品科技期刊、百种中国杰出学术期刊和中国百强报刊。主要报道以水稻为研究对象的未经发表的原始论文。所设栏目包括研究报告、研究简报、研究快报、研究简讯、实验技术、学术专论、文献综述等。

双月刊,每期定价 20.00 元,全年 120.00 元,邮发代号 32-94,国外代号 Q6533。读者可在各地邮政局订阅,也可向编辑部订阅。

《Rice Science》为中国科技核心期刊,中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊,中国最具国际影响力学术(TOP5%)期刊。主要发表水稻科研领域的原创性论文。

双月刊,每期定价 15.00 元,全年 90.00 元,境外 15 美元,全年 90 美元,自办发行,请读者直接向编辑部订阅。

地址:杭州市富阳区水稻所路 28 号中国水稻研究所内

邮编:311401

电话:0571-63370278,63371017

E-mail: cjrs@263.net; li@ricescience.org; rs@ricescience.org

## 欢迎订阅 2019 年《中国草地学报》

《中国草地学报》是由中国农业科学院草原研究所和中国草学会共同主办的国家级草学学术期刊。本刊为中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、中国科学引文数据库来源期刊。主要报道中国草学研究领域的新理论与重要成果,介绍新进展与发展动态,内容以草学基础理论研究和应用理论研究为主,兼纳高新技术研究和直接产生生态效益、经济效益的开发性研究。

双月刊,每期定价 15.00 元,全年共 90.00 元。国内统一刊号 CN15-1344/S,国内邮发代号 16-32,全国各地邮局(所)均可订阅,错过订期可直接向本刊编辑部补订。

地址:呼和浩特市乌兰察布东街 120 号

邮编:010010

电话:0471-4928361

E-mail: zgcdxb@126.com