



花生烘烤食用品质评价及指标筛选

卞能飞, 孙东雷, 巩佳莉, 王幸, 邢兴华, 金夏红, 王晓军[✉]

江苏徐淮地区徐州农业科学研究所, 江苏徐州 221131

摘要:【目的】探索花生烘烤食用品质评价方法, 筛选评价指标, 建立预测模型, 为花生食用品质育种提供依据。【方法】以 51 个不同品质类型花生品种(系)的籽仁为试验材料, 测定烘烤籽仁的食味指标、外观指标、质构指标和营养指标等食用品质相关指标 27 项, 运用相关分析、主成分分析对花生烘烤食用品质进行综合评价, 通过聚类分析对 51 个花生品种(系)的烘烤食用品质进行分类, 通过回归分析建立花生烘烤食用品质预测模型和鉴定指标的筛选。【结果】51 个花生品种(系) 27 项指标的变异幅度不同, 变异系数为 5.86%—39.65%。各单项指标均存在与之显著或极显著相关的指标, 175 组相关系数达显著水平, 140 组达极显著水平。主成分分析将 27 个单项指标转换为 5 个相互独立的综合指标, 其贡献率分别为 35.70%、20.63%、10.07%、8.19%和 6.38%, 代表了全部数据 80.97%的信息量。综合评价分析表明, 51 个花生品种(系)烘烤食用品质综合值 F 平均为 0.76, 徐花甜 29 的 F 最高 ($F=1.51$), 烘烤食用品质最好, 徐花 15 号的 F 最低 ($F=0.03$), 烘烤食用品质最差。相关性分析结果表明, 21 项指标与 F 显著相关。对花生烘烤食用品质综合值 F 进行聚类分析, 将 51 个品种(系)划分为 3 类, 第一类属于烘烤食用品质较好, 包含徐花甜 29、冀花甜 1 号、临花 16 号和徐花甜 30 共 4 个品种; 第二类属于烘烤食用品质一般, 包含 33 个品种(系); 第三类属于烘烤食用品质较差, 包含 14 个品种(系)。采用逐步回归分析方法, 建立花生烘烤食用品质预测模型为: $F=0.979+0.021X_1+0.081X_2+0.009X_3-0.034X_4-0.074X_5$ ($R^2=0.953$), 筛选出 5 个烘烤食用品质鉴定指标, 分别为百仁重、蔗糖含量、蛋白质含量、脂肪含量和山萘酸含量。对不同类别花生特征分析可知, 4 个烘烤食用品质较好品种的百仁重中至高, 蔗糖含量高, 蛋白质含量中, 脂肪含量低, 山萘酸含量低至中, 根据预测模型, 此类品种仍需进一步改良以提高蛋白质含量和降低山萘酸含量。【结论】百仁重、蔗糖含量、蛋白质含量、脂肪含量和山萘酸含量可作为鉴定花生烘烤品质的指标, 可以确定优质烘烤花生品种应具备籽仁中大粒、高油酸、高蔗糖、高蛋白、低脂肪和低山萘酸等性状。

关键词: 花生; 烘烤; 食用品质; 综合评价; 指标筛选

Evaluation of Edible Quality of Roasted Peanuts and Indexes Screening

BIAN NengFei, SUN DongLei, GONG JiaLi, WANG Xing, XING XingHua, JIN XiaHong, WANG XiaoJun[✉]

Xuzhou Institute of Agricultural Sciences of the Xuhuai District, Xuzhou 221131, Jiangsu

Abstract: 【Objective】 The objective of this study was to explore the evaluation methods of edible quality of roasted peanuts, screen identification indexes, establish prediction model, and provide basis for peanut edible quality breeding. 【Method】 The kernels of 51 peanut varieties (lines) with different quality types were used as experimental materials. A total of 27 edible quality indexes related to tastes, appearances, textures and nutrition of roasted kernels were measured. Correlation analysis and principal component analysis were used to comprehensively evaluate the edible quality of roasted peanut kernels. Cluster analysis was used to classify edible quality of 51 peanut varieties (lines). Regression analysis were used to establish predictive model and index screening. 【Result】 27

收稿日期: 2021-08-20; 接受日期: 2021-10-15

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系(CARS-13)、江苏省农业科技自主创新资金(cx(18)2015)、徐州市科技项目(KC19114)、亚夫科技服务项目(KF(20)1005)、苏北科技专项(XZ-SZ201224)

联系方式: 卞能飞, E-mail: biannf@163.com. 通信作者王晓军, E-mail: wangxj0516@126.com

indexes had different ranges of variation in 51 peanut varieties (lines), with coefficients of variation ranging from 5.86% to 39.65%. There were significant or extremely significant related indexes for each individual index. The correlation coefficients of 175 groups reached significant level, and the 140 groups reached extremely significant level. The 27 individual indexes were converted into 5 independent comprehensive indexes through principal component analysis, and their contribution rates respectively were 35.70%, 20.63%, 10.07%, 8.19% and 6.38%, representing the information of 80.97% of all data. The comprehensive evaluation analysis showed that the average F value of the roasted edible quality of 51 peanut varieties (lines) was 0.76. Xuhuatian 29 had the highest F value ($F=1.51$) and the best roasting edible quality. Xuhua 15 had the lowest F value ($F=0.03$) and the worst roasting edible quality. The correlation analysis showed that 21 indexes were significantly correlated with F value. Cluster analysis was performed on the comprehensive value F of peanut roasting edible quality, and 51 varieties (lines) were divided into 3 categories. The first category was of good edible quality, including 4 varieties of Xuhuatian 29, Jihuatian 1, Linhua 16 and Xuhuatian 30. The second category was of general edible quality and contained 33 varieties (lines). The third category was of poor edible quality and contained 14 varieties (lines). Using stepwise regression analysis method, the prediction model of roasting edible quality was established as: $Y=0.979+0.021X_7+0.081X_{21}+0.009X_{20}-0.034X_{19}-0.074X_{27}$ ($R^2=0.953$). Then, 5 identification indexes were screened, which were the hundred kernel weight, sucrose content, protein content, fat content and behenic acid content. The analysis of characteristics showed that the four varieties with good roasting edible quality had medium to high hundred kernel weight, high sucrose content, medium protein content, low fat content, and low to medium behenic acid content. According to the prediction model, this category varieties still need to be improved to increase protein content and reduce behenic acid content. 【Conclusion】 Hundred kernel weight, sucrose content, protein content, fat content and behenic acid content could be used to identify the edible quality of roasted peanuts. It is determined that high-quality roasted peanut varieties should have the characteristics of medium to large kernels, high oleic acid content, high sucrose content, high protein content, low fat content and low behenic acid content.

Key words: peanut; roast; edible quality; comprehensive evaluation; index screening

0 引言

【研究意义】花生 (*Arachis hypogaea* L.) 是中国重要的油料和经济作物^[1], 同时也是重要的食品工业原料, 富含脂肪、蛋白质、维生素和矿物质等营养成分, 具有一定的保健功能^[2], 籽仁经烘烤后直接食用或制成糖果, 风味独特, 深受消费者欢迎^[3], 中国花生食用及食品加工量将越来越大^[4]。然而, 中国花生品种较多, 不同花生品种籽仁的外观特征、营养成分和口感等差异显著, 烘烤食用品质参差不齐^[5]。因此, 明确花生各性状之间的相关关系, 对不同花生品种的烘烤食用品质进行综合评价, 筛选鉴定指标, 对食品工业原料筛选和花生食用品质育种都具有重要意义。【前人研究进展】近年来, 国内花生综合评价研究主要集中在农艺^[6-7]、耐逆^[8-10]和加工利用^[11-15]等方面。巩阿娜等^[11-12]、YU 等^[13]对花生的感官特性、理化与营养特性、加工特性与其花生酱品质之间的关系进行研究, 构建酱用花生评价模型。王丽等^[14-15]构建了花生分离蛋白质凝胶性品质评价模型和油用花生品质评价模型。PATTEE 等^[16-18]发现烘烤花生食味品质与甜度、硬度相关系数分别为 0.88 和 0.63, 籽仁蔗糖含量起到重要作用。王传堂等^[19]、王志伟等^[20]、王秀贞等^[21]对花生烘烤、油炸和鲜食的食味

品质进行了分析, 发现甜度是影响食味品质的主要因素。房元瑾等^[22]对 285 份花生种质资源进行了籽仁外观和营养品质性状的检测和分析, 提出中国食用花生育种应改良高油酸、高蛋白和低脂肪等品质性状。

【本研究切入点】花生烘烤食用品质是一个复杂的综合性状, 各单项指标对食用品质影响不同, 直接利用单项指标不能直观、准确地评价花生食用品质。利用食味指标、外观指标、质构指标和营养指标对花生烘烤籽仁的食用品质进行综合评价未见报道。【拟解决的关键问题】本研究测定 51 个花生品种 (系) 的食味、外观、质构和营养相关指标, 采用多元统计分析法对烘烤食用品质进行综合评价和分类, 建立预测模型, 筛选鉴定指标, 为花生食用品质育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选自中国花生不同产区的育成品种 (系) 和地方品种, 根据花生籽仁大小、形状、脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量和油酸含量选取 51 个不同品质类型花生品种 (系) (电子附表 1), 由江苏徐淮地区徐州农业科学研究所提供。试验材料种植于徐州现代农业试验示范基地, 2020 年 4 月 20 日播种, 9 月

10 日收获，荚果自然风干后人工剥壳，选取饱满一致籽仁进行指标测定。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 食味指标 参照王传堂等^[19]方法测定食味指标，使用北京东孚久恒仪器技术有限公司的 JKLZ4 型电烤炉 170℃ 烘烤花生籽仁，籽仁蔗糖含量越高，烘烤时间越短，不同品种烘烤 14—18 min 至子叶呈一致象牙白色，随机编号，选取识别能力强的 9 人组成食味品质评定小组，培训后进行盲评，每品种品尝 3 粒熟籽仁，采用 5 分制对脆度、细腻度、甜味、香味、苦味和异味进行评分，分值越高，代表程度越重，5 分分别代表最脆、最细腻、最甜、最香、最苦和异味最重。每品尝一个样品后，用温水漱口 3 次，再品尝下一个样品。

1.2.2 外观指标 籽仁外观指标采用万深 SC-G 型考种仪测量，选取 100 粒左右生籽仁，测量其百仁重、籽仁投影面积、籽仁周长、籽仁长度、籽仁宽度和籽仁长宽比。

1.2.3 质构指标 采用美国 FTC 公司 TMS-Touch 型物性分析仪，参照 BAGHERI 等^[23]和汤鹏宇等^[24]方法进行质地剖面分析 (texture profile analysis, TPA)。取生或熟的去除红衣的单瓣花生 (整个子叶) 平面朝下放置于测定台上，力量感应元为 1 000 N，探头为圆盘探头 432-303，2 次循环，测试速度 1 mm·s⁻¹，触发应力为 5 N，压缩程度为 60%，下压间隔 1 s，每品种测量 10 个样品。第一次压缩过程中的最大峰值定义为硬度，单位为 N；第一次压缩过程中破裂出现的第一个峰值定义为破裂力，单位为 N；咀嚼性定义为胶着性和弹性的乘积，单位为 mJ。

1.2.4 营养指标 采用瑞典波通公司 DA7200 型近红外品质分析仪测定营养指标，包括籽仁的脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量、油酸含量、亚油酸含量、棕榈酸含量、硬脂酸含量、花生酸含量和山萘酸含量。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel2007 软件进行数据输入和整理，采用 SPSS20.0 软件进行方差分析、主成分分析、聚类分析和逐步回归分析。

综合评价方法：将标准化数据代入每个主成分中，计算各个主成分的得分，根据各个主成分贡献率，确定权重系数，最后计算各份材料的综合得分值 F ，对烘烤食用品质进行评价，再结合逐步回归分析筛选综合评价指标。

计算公式：标准化值 $X_{(ij)} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ ，第 n 个主成分权重 $W_n = V_n / \sum_1^n V_n$ ，品种 i 在第 n 个主成分得分 $F_n = \sum_1^m (X_{(ij)} E_{jn})$ ，综合评价值 $F = \sum_1^n (F_n W_n)$ ，其中 X_{jmin} 、 X_{jmax} 分别为指标最小值和最大值， X_{ij} 表示为种质 i 在指标 j 的测定值， V_n 为第 n 个主成分的方差贡献率， E_{jn} 为指标 j 在第 n 个主成分的特征向量值。

2 结果

2.1 花生各单项指标变异

对 51 个花生品种 (系) 的 27 项指标进行统计分析 (表 1) 可知，变异系数 CV 值为 5.86%—39.65%，变异系数较大的为生仁咀嚼性、油酸含量、亚油酸含量、蔗糖含量、山萘酸含量和熟仁咀嚼性，这 6 个指标变异系数大于 30%，表明这些性状变异较为丰富；变异系数较小的有脂肪含量、脆度、籽仁宽度、细腻度、蛋白质含量和籽仁周长，这 6 个指标变异系数小于 10%，表明这些性状变异幅度较小，遗传特性较稳定。

2.2 相关性分析

对 51 个品种的 27 项指标进行相关性分析，获得相关系数矩阵 (表 2)，所有指标均存在显著或极显著相关性，其中，175 组达显著相关，140 组达极显著相关。烤仁脆度、甜味、香味与蔗糖含量、生 (熟) 仁硬度、生 (熟) 仁咀嚼性、亚油酸含量、硬脂酸含量、花生酸含量呈显著正相关，与脂肪含量、油酸含量呈显著负相关；细腻度与脂肪含量、油酸含量呈显著正相关，与甜味、生 (熟) 仁硬度、生 (熟) 仁咀嚼性、蔗糖含量、亚油酸含量呈显著负相关；苦味与油酸含量呈显著正相关，与蔗糖含量、亚油酸含量、棕榈酸含量、硬脂酸含量、花生酸含量呈显著负相关；生 (熟) 仁硬度与籽仁大小相关指标、蔗糖含量、硬脂酸含量、花生酸含量呈显著正相关，与脂肪含量和山萘酸含量呈显著负相关；脂肪含量和蔗糖含量呈显著负相关。27 个单项指标之间存在复杂的相关性，提供的信息相互重叠，需在此基础上采用多元统计方法进行综合评价分析。

2.3 主成分分析

以 51 个花生品种 (系) 的 27 项指标数据为基础进行主成分分析，根据特征值 > 1 的原则，共提取到 5 个主成分。前 5 个主成分的累积贡献达 80.97%，代表 27 个指标的大部分信息。将每个指标的载荷值除以其

表 1 51 个花生品种 (系) 的 27 项指标变异情况

Table 1 Variation of 27 indexes for 51 peanut varieties (lines)

指标 Index	极小值 Min	极大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV(%)
X ₁	3.00	4.22	3.60	0.26	7.34
X ₂	2.67	3.89	3.44	0.27	7.71
X ₃	1.78	4.44	2.44	0.68	27.78
X ₄	2.00	3.89	2.93	0.40	13.80
X ₅	1.11	3.00	1.79	0.43	24.32
X ₆	1.00	3.22	1.69	0.43	25.27
X ₇	30.86	80.73	58.61	11.03	18.82
X ₈	69.97	145.83	109.89	17.45	15.88
X ₉	33.97	50.13	42.50	3.99	9.39
X ₁₀	12.08	19.27	15.91	1.82	11.46
X ₁₁	7.12	10.04	8.89	0.67	7.52
X ₁₂	1.49	2.24	1.81	0.20	10.94
X ₁₃	31.35	69.50	48.91	8.05	16.46
X ₁₄	105.64	258.63	158.94	30.77	19.36
X ₁₅	7.66	39.44	17.09	6.78	39.65
X ₁₆	17.38	38.50	23.29	4.28	18.37
X ₁₇	88.53	201.62	128.13	26.69	20.83
X ₁₈	7.41	29.04	14.35	4.82	33.59
X ₁₉	42.02	56.50	52.15	3.05	5.86
X ₂₀	18.05	27.04	22.50	1.99	8.84
X ₂₁	1.88	7.41	3.56	1.23	34.64
X ₂₂	28.07	80.83	42.97	15.31	35.63
X ₂₃	5.13	52.76	37.24	12.97	34.84
X ₂₄	5.16	13.38	10.82	1.96	18.15
X ₂₅	1.89	4.73	3.06	0.72	23.53
X ₂₆	1.12	1.94	1.52	0.22	14.22
X ₂₇	0.89	3.96	2.08	0.71	33.97

X₁: 脆度; X₂: 细腻度; X₃: 甜味; X₄: 香味; X₅: 苦味; X₆: 异味; X₇: 百仁重; X₈: 籽仁投影面积; X₉: 籽仁周长; X₁₀: 籽仁长度; X₁₁: 籽仁宽度; X₁₂: 籽仁长宽比; X₁₃: 生仁破裂力; X₁₄: 生仁硬度; X₁₅: 生仁咀嚼性; X₁₆: 熟仁破裂力; X₁₇: 熟仁硬度; X₁₈: 熟仁咀嚼性; X₁₉: 脂肪含量; X₂₀: 蛋白质含量; X₂₁: 蔗糖含量; X₂₂: 油酸含量; X₂₃: 亚油酸含量; X₂₄: 棕榈酸含量; X₂₅: 硬脂酸含量; X₂₆: 花生酸含量; X₂₇: 山嵛酸含量。下同

X₁: Crunchiness; X₂: Fineness; X₃: Sweetness; X₄: Flavor; X₅: Bitterness; X₆: Off-flavor; X₇: Hundred kernel weight; X₈: Kernel shade area; X₉: Kernel perimeter; X₁₀: Kernel length; X₁₁: Kernel width; X₁₂: Kernel length/width; X₁₃: Fracture force of raw kernel; X₁₄: Hardness of raw kernel; X₁₅: Chewness of raw kernel; X₁₆: Fracture force of roasted kernel; X₁₇: Hardness of roasted kernel; X₁₈: Chewness of roasted kernel; X₁₉: Fat content; X₂₀: Protein content; X₂₁: Sucrose content; X₂₂: Oleic acid content; X₂₃: Linoleic acid content; X₂₄: Palmitic acid content; X₂₅: Stearic acid content; X₂₆: Arachidic acid content; X₂₇: Behenic acid content. The same as below

对应成分的特征值的平方根, 得到各个成分每个指标的特征向量值, 不同成分各个指标特征向量值、特征值和累计贡献率如表 3 所示。

第 1 主成分贡献率最大, 为 35.70%, 特征向量值

较大的有甜味、蔗糖含量、生(熟)仁硬度和生(熟)仁咀嚼性、脂肪含量, 主要反映籽仁的甜度和硬度因素; 第 2 主成分贡献率为 20.63%, 特征向量值较大的有百仁重、籽仁投影面积、籽仁周长、籽仁长度,

表 2 27 项指标的相关系数
Table 2 Correlative coefficients of 27 indexes

Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉	X ₂₀	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇				
X ₂	-0.14																														
X ₃	0.62**	-0.45**																													
X ₄	0.59**	-0.26	0.66**																												
X ₅	-0.33*	0.17	-0.46**	-0.51**																											
X ₆	-0.23	-0.07	-0.31*	-0.47**	0.67**																										
X ₇	0.32*	0.03	0.15	0.09	-0.03	0.24																									
X ₈	0.27	0.03	0.16	0.07	-0.01	0.22	0.96**																								
X ₉	0.28*	-0.04	0.21	0.07	-0.04	0.19	0.90**	0.98**																							
X ₁₀	0.25	-0.08	0.22	0.06	-0.03	0.18	0.80**	0.91**	0.98**																						
X ₁₁	0.22	0.15	0.01	0.06	0.01	0.19	0.85**	0.76**	0.61**	0.44**																					
X ₁₂	0.15	-0.19	0.27	0.05	-0.07	0.05	0.28*	0.46**	0.62**	0.77**	-0.22																				
X ₁₃	0.34*	-0.14	0.43**	0.37**	-0.31*	-0.17	0.25	0.12	0.06	-0.03	0.36**	-0.25																			
X ₁₄	0.41**	-0.42**	0.60**	0.38**	-0.20	0.06	0.59**	0.52**	0.55**	0.53**	0.33*	0.37**	0.55**																		
X ₁₅	0.40**	-0.55**	0.65**	0.38**	-0.17	0.10	0.51**	0.48**	0.52**	0.52**	0.23	0.42**	0.43**	0.95**																	
X ₁₆	0.30*	-0.10	0.35*	0.22	-0.03	-0.06	0.08	0.00	-0.04	-0.09	0.18	-0.24	0.56**	0.36**	0.31*																
X ₁₇	0.42**	-0.55**	0.70**	0.35*	-0.28*	0.01	0.44**	0.45**	0.52**	0.54**	0.17	0.46**	0.37**	0.82**	0.85**	0.40**															
X ₁₈	0.35*	-0.66**	0.72**	0.34*	-0.30*	-0.01	0.34*	0.36**	0.44**	0.47**	0.07	0.47**	0.31*	0.79**	0.85**	0.24	0.93**														
X ₁₉	-0.46**	0.63**	-0.73**	-0.43**	0.35*	0.08	-0.01	0.03	-0.03	-0.06	0.13	-0.18	-0.41**	-0.64**	-0.73**	-0.25	-0.710**	-0.75**													
X ₂₀	0.06	-0.14	-0.10	0.02	-0.09	0.11	0.20	0.18	0.19	0.18	0.16	0.10	0.15	0.25	0.20	-0.09	0.14	0.16	-0.26												
X ₂₁	0.50**	-0.53**	0.87**	0.54**	-0.37**	-0.18	0.02	0.05	0.13	0.19	-0.18	0.36**	0.35*	0.59**	0.68**	0.25	0.68**	0.73**	-0.81**	-0.11											
X ₂₂	-0.41**	0.39**	-0.32*	-0.34*	0.50**	0.21	0.07	0.13	0.07	0.05	0.18	-0.11	0.02	-0.18	-0.23	0.09	-0.26	-0.35*	0.49**	-0.26	-0.34*										
X ₂₃	0.42**	-0.41**	0.35*	0.37**	-0.49**	-0.21	-0.07	-0.11	-0.05	-0.01	-0.20	0.17	-0.01	0.20	0.26	-0.09	0.29*	0.38**	-0.50**	0.30*	0.37**	-0.99**									
X ₂₄	0.37**	-0.30*	0.24	0.30*	-0.46**	-0.20	-0.07	-0.15	-0.10	-0.08	-0.17	0.07	-0.06	0.12	0.16	-0.12	0.15	0.24	-0.39**	0.19	0.25	-0.97**	0.95**								
X ₂₅	0.51**	-0.36**	0.59**	0.36**	-0.45**	-0.13	0.18	0.11	0.12	0.10	0.11	0.06	0.29*	0.47**	0.49**	0.05	0.52**	0.55**	-0.75**	0.27	0.59**	-0.60**	0.57**	0.52**							
X ₂₆	0.51**	-0.32*	0.53**	0.41**	-0.45**	-0.13	0.29*	0.27	0.29*	0.29*	0.18	0.21	0.24	0.46**	0.46**	-0.03	0.52**	0.53**	-0.63**	0.46**	0.51**	-0.55**	0.57**	0.44**	0.91**						
X ₂₇	-0.17	0.044	-0.06	-0.13	0.06	-0.15	-0.77**	-0.83**	-0.82**	-0.79**	-0.60**	-0.44**	-0.16	-0.38**	-0.32*	0.00	-0.32*	-0.25	-0.14	-0.23	-0.02	-0.10	0.07	0.12	0.07	-0.18					

*, **分别表示在 5%和 1%水平差异显著。下同 * and ** mean significances at 5% and 1% levels, respectively. The same as below

表 3 主成分的特征向量及贡献率

Table 3 Eigenvectors and percentage of accumulated contribution of principal components

主成分 Principle factor	指标 Index	主成分 1 Principle factor 1	主成分 2 Principle factor 2	主成分 3 Principle factor 3	主成分 4 Principle factor 4	主成分 5 Principle factor 5
特征向量 Eigenvector	X_1	0.21	-0.05	0.02	0.24	-0.11
	X_2	-0.17	0.12	-0.04	0.29	-0.14
	X_3	0.25	-0.11	0.20	-0.01	-0.20
	X_4	0.18	-0.12	0.10	0.24	-0.26
	X_5	-0.15	0.16	0.08	-0.29	0.28
	X_6	-0.04	0.18	-0.03	-0.29	0.45
	X_7	0.17	0.32	-0.07	0.18	0.08
	X_8	0.16	0.35	-0.10	0.09	-0.04
	X_9	0.18	0.33	-0.14	0.00	-0.11
	X_{10}	0.18	0.31	-0.16	-0.10	-0.18
	X_{11}	0.08	0.28	0.03	0.38	0.22
	X_{12}	0.14	0.13	-0.20	-0.36	-0.34
	X_{13}	0.14	-0.01	0.35	0.29	0.17
	X_{14}	0.27	0.09	0.15	-0.06	0.11
	X_{15}	0.28	0.06	0.14	-0.16	0.10
	X_{16}	0.08	-0.01	0.42	0.14	0.11
	X_{17}	0.28	0.04	0.13	-0.16	0.01
	X_{18}	0.28	-0.01	0.08	-0.23	0.02
	X_{19}	-0.25	0.18	-0.11	0.14	-0.16
	X_{20}	0.09	0.02	-0.22	0.07	0.40
	X_{21}	0.24	-0.14	0.17	-0.17	-0.17
	X_{22}	-0.16	0.25	0.33	-0.06	-0.09
	X_{23}	0.17	-0.24	-0.33	0.04	0.06
	X_{24}	0.13	-0.24	-0.35	0.09	0.07
	X_{25}	0.23	-0.15	-0.08	0.09	0.19
	X_{26}	0.24	-0.08	-0.17	0.12	0.14
	X_{27}	-0.13	-0.31	0.12	-0.11	0.10
特征值 Eigenvalue		9.64	5.57	2.72	2.212	1.72
贡献率 Contribution rate		35.70	20.63	10.07	8.19	6.38
累计贡献率 Cumulative contribution rate		35.70	56.32	66.40	74.59	80.97

主要反映籽仁的大小因素；第 3 主成分的贡献率为 10.07%，特征向量值较大的有生（熟）仁破裂力、油酸含量、亚油酸含量、棕榈酸含量，主要反映籽仁的破裂力和脂肪酸组成因素；第 4 主成分的贡献率为 8.19%，特征向量值较大的有籽仁宽度和籽仁长宽比，主要反映籽仁的形状因素；第 5 主成分的贡献率为 6.38%，特征向量值较大的有异味和蛋白质含量，主要反映异

味和蛋白质含量因素。

2.4 综合评价及分类

2.4.1 数据标准化 为消除数据量纲的影响，计算各指标测定值的隶属函数值，将其定义在[0,1]区间内。

2.4.2 权重确定 根据各个主成分贡献率大小（表 3），对其权重进行计算。经计算获得 5 个主成分的权重分别为 0.441、0.255、0.124、0.101 和 0.079。

2.4.3 综合评价 为对花生烘烤食用品质进行综合评价，根据特征向量矩阵及标准化的指标测量数据得到主成分得分计算公式，第 1 主成分得分线性方程如下所示：

$$F_1=0.21X_1-0.17X_2+0.25X_3+0.18X_4-0.15X_5-0.04X_6+0.17X_7+0.16X_8+0.18X_9+0.18X_{10}+0.08X_{11}+0.14X_{12}+0.14X_{13}+0.27X_{14}+0.28X_{15}+0.08X_{16}+0.28X_{17}+0.28X_{18}-0.25X_{19}+0.09X_{20}+0.24X_{21}-0.16X_{22}+0.17X_{23}+0.13X_{24}+0.23X_{25}+0.24X_{26}-0.13X_{27}$$

根据 5 个主成分得分和权重，得出每份种质材料的综合得分 F 值（表 4）， F 值越高，品种（系）烘烤食用品质越好。结果表明，51 个品种综合值 F 平均为 0.76，得分最高的为徐花甜 29，综合值 F 为 1.51，籽仁的烘烤食用品质最好，得分最低的为徐花 15 号，综合值 F 为 0.03，籽仁的烘烤食用品质最差。

将 27 个指标与综合值 F 做相关性分析（表 5），结果表明，综合值 F 与脆度、甜味、香味、籽仁大小、生（熟）仁硬度和咀嚼性、蔗糖含量、硬脂酸含量、

花生酸含量呈显著正相关，与细腻度、脂肪含量、山萘酸含量呈显著负相关。

2.4.4 分类 采用欧式距离法对综合值 F 进行聚类分析（图 1），在欧式距离为 15 时，可将 51 个品种（系）划分为 3 类，第一类包括徐花甜 29、冀花甜 1 号、临花 16 号和徐花甜 30 共 4 个品种，综合值 F 为 1.25—1.51，烘烤食用品质较好；第二类包括徐花 19 等 33 个品种，综合值 F 为 0.61—1.18，烘烤食用品质一般；第三类包括徐花 15 等 14 个品种，综合值 F 为 0.03—0.56，烘烤食用品质较差。

表 4 51 个花生品种（系）综合值 F
Table 4 Comprehensive value (F) of 51 peanut varieties (lines)

编号 No.	综合值 F Comprehensive value (F)	编号 No.	综合值 F Comprehensive value (F)	编号 No.	综合值 F Comprehensive value (F)
1	0.72	18	1.17	35	0.80
2	0.86	19	0.83	36	1.06
3	1.08	20	0.46	37	0.56
4	0.89	21	0.61	38	0.48
5	0.89	22	0.79	39	0.34
6	1.07	23	0.92	40	1.18
7	0.90	24	1.09	41	0.89
8	1.11	25	0.37	42	1.49
9	0.67	26	0.53	43	0.84
10	0.70	27	0.73	44	0.16
11	0.63	28	0.86	45	0.35
12	0.44	29	0.66	46	0.10
13	1.11	30	0.36	47	0.27
14	1.01	31	0.66	48	0.20
15	0.03	32	1.37	49	1.04
16	0.81	33	0.68	50	1.51
17	0.79	34	0.69	51	1.25

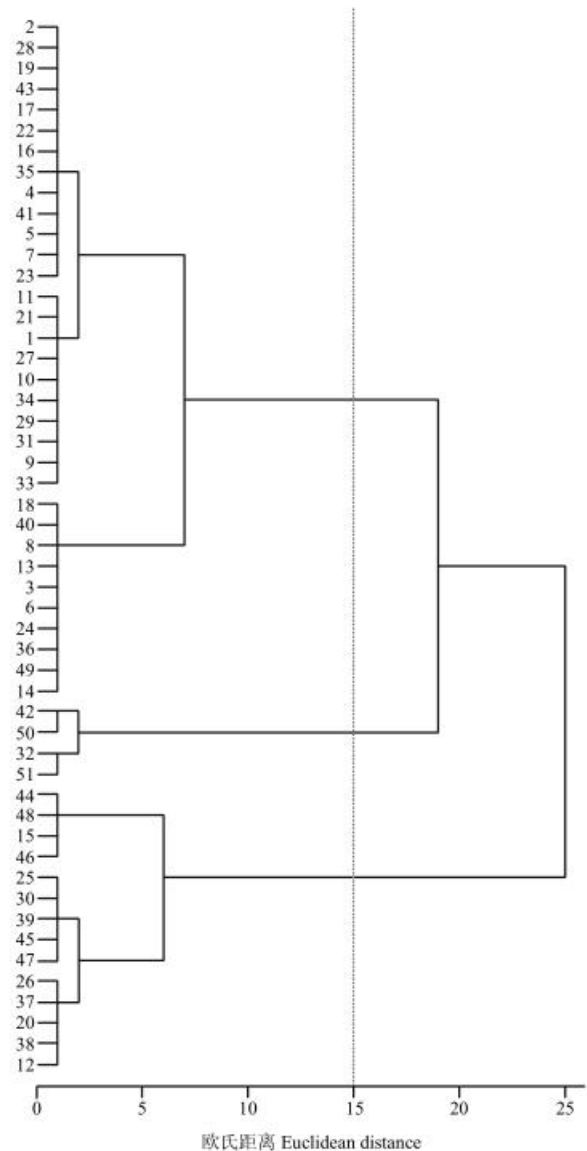


图 1 51 个花生品种（系）聚类树状图
Fig. 1 The dendrogram of clusters for 51 peanut varieties (lines)

表 5 27 项指标与综合值 F 相关性

Table 5 Correlation coefficients between 27 indexes and comprehensive value (F)

指标 Index	相关系数 Correlation coefficients	指标 Index	相关系数 Correlation coefficients	指标 Index	相关系数 Correlation coefficients
X_1	0.55**	X_{10}	0.73**	X_{19}	-0.54**
X_2	-0.35*	X_{11}	0.58**	X_{20}	0.27
X_3	0.63**	X_{12}	0.41**	X_{21}	0.54**
X_4	0.41**	X_{13}	0.51**	X_{22}	-0.15
X_5	-0.26	X_{14}	0.88**	X_{23}	0.17
X_6	0.06	X_{15}	0.84**	X_{24}	0.07
X_7	0.80**	X_{16}	0.32*	X_{25}	0.51**
X_8	0.78**	X_{17}	0.83**	X_{26}	0.58**
X_9	0.78**	X_{18}	0.76**	X_{27}	-0.63**

2.5 回归分析及指标筛选

为更好地对花生烘烤食用品质进行预测，筛选出鉴定指标，获得烘烤食用品质评价数学模型，以综合评价值 F 作因变量，以 27 项指标中简单易测、无需破坏籽仁的外观和营养共 15 项指标为自变量进行逐步回归分析，建立最优回归方程：预测值 $Y=0.979+0.021X_7+0.081X_{21}+0.009X_{20}-0.034X_{19}-0.074X_{27}$ ($R^2=0.953$, $F=183.860$, $P=0.000$)，筛选到的指标为百仁重、蔗糖含量、蛋白质含量、脂肪含量、山嵛酸含量。51 个品种 (系) 的综合值 F 和预测值 Y 的散点图见图 2，预测方程具有较高的准确性。

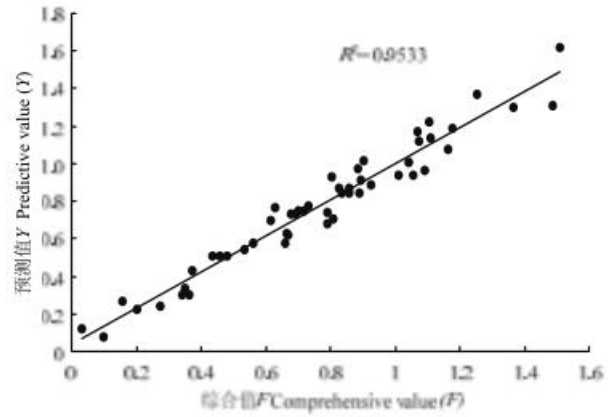


图 2 51 个品种 (系) 的综合值 F 和预测值 Y

Fig. 2 Comprehensive value (F) and predictive value (Y) of 51 peanut varieties (lines)

2.6 不同烘烤食用品质类别的特征分析

结合聚类 and 逐步回归分析结果，将不同烘烤食用品质类别品种 (系) 的指标平均值和变异范围列于表 6 中，分析不同类别花生的特征：

- 第一类 (较好)：百仁重中至高，蔗糖含量高，蛋白质含量中，脂肪含量低，山嵛酸含量低至中；
- 第二类 (一般)：百仁重中至高，蔗糖含量低至中，蛋白质含量低至高，脂肪含量中至高，山嵛酸含量低至中；
- 第三类 (较差)：百仁重低至中，蔗糖含量低，蛋白质含量低至中，脂肪含量中至高，山嵛酸含量中至高。

表 6 不同烘烤食用品质类型各指标的表现特征

Table 6 Description of different types to edible quality of roasted peanuts

类别 Cluster	X_7		X_{21}		X_{20}		X_{19}		X_{27}	
	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range	均值 Mean	范围 Range
	第一类 First cluster	64.21	55.44-74.56	6.86	6.24-7.41	22.19	20.84-23.38	44.84	42.02-46.62	2.13
第二类 Second cluster	63.90	52.92-80.73	3.32	1.88-5.45	22.95	19.56-27.04	52.69	47.49-56.5	1.73	0.89-2.53
第三类 Third cluster	44.54	30.86-55.02	3.20	2.25-3.93	21.53	18.05-24.7	52.95	49.96-54.61	2.90	1.59-3.96

3 讨论

3.1 花生烘烤食用品质的复杂性

花生烘烤食用品质是一个复杂的综合性状，包含食味品质、外观品质和营养品质，食味又分为味

道和质地两方面，味道是由花生籽仁中的化学成分决定的，质地是由籽仁大小、形状等外观特性和营养成分决定的。前人对花生烘烤品质已进行大量研究，烘烤花生食味品质中的甜味主要来源于蔗糖^[18, 25]，香味主要来源于蛋白质和还原糖之间的美拉德反

应、糖的焦糖化和脂质氧化^[26], 细腻度主要来源于脂肪^[19]。本研究中相关分析结果表明, 烤花生甜味与蔗糖含量相关系数为 0.87, 香味与蔗糖含量相关系数为 0.54, 细腻度与脂肪含量相关系数为 0.63, 与前人研究结果一致。PATTEE 等^[16-18]研究结果表明籽仁硬度是影响烤花生食味品质的第二重要因素(相关系数 0.63), 仅次于甜度, 本研究进一步表明, 生仁硬度同蔗糖含量(相关系数 0.59)正相关, 经烘烤后, 熟仁硬度同蔗糖含量(相关系数 0.68)相关性进一步加强, 表明甜度和硬度这两个鉴定指标包含的信息是部分重叠的。花生籽仁的食味指标、外观指标、质构指标和营养指标相互影响, 食味品质和外观品质等感官品质在鉴定时又易受个体主观偏好的影响, 导致花生烘烤食用品质评价难以统一和标准化。

3.2 花生烘烤食用品质综合评价和指标筛选

国内外对花生食用品质综合评价的相关研究已有报道, MISRA^[27]根据经验及指标重要性对花生的籽仁完整度、籽仁形状、整齐度、百仁重、水分、含油量、游离脂肪酸、稳定指数、生育酚、蛋白质、游离氨基酸、蔗糖、还原性糖和低聚糖含量等 14 个性状确定权重, 建立花生品质评价体系。王强等^[28]公开一种适宜休闲花生加工的花生品质评价方法, 测量百仁重、水分含量和油亚比, 代入预测模型, 即可评价该花生是否适宜休闲花生的加工。以上评价方法主要针对的是食品加工原料的选择, 不适用于育种者对不同花生品种的食用品质进行鉴定和遗传改良。

基于多元分析方法的综合评价是研究复杂性状的常用方法, 在作物研究中应用广泛^[29-32]。本研究运用相关分析、主成分分析对花生烘烤食用品质的进行综合评价, 以 27 项指标中简单易测、无需破坏籽仁的外观和营养共 15 项指标为自变量进行逐步回归分析, 建立花生烘烤食用品质预测模型: 预测值 $Y=0.979+0.021X_7+0.081X_{21}+0.009X_{20}-0.034X_{19}-0.074X_{27}$ ($R^2=0.953$), 筛选到百仁重、蔗糖含量、蛋白质含量、脂肪含量和山萘酸含量 5 个鉴定指标, 上述各指标可以通过近红外品质分析仪、天平等仪器进行快速测定, 无须烘烤、品尝和化学测定, 能够排除个体主观因素影响, 适用于育种中间材料等样品量较少时的烘烤食用品质筛选。

3.3 花生烘烤食用品质分类及遗传改良

本研究通过聚类分析将 51 个花生品种(系)分为

3 类, 烘烤食用品质较好的品种(系)有 4 个, 占 7.84%, 可见中国花生烘烤食用品质较好的品种较少, 其百仁重中至高, 蔗糖含量高, 蛋白质含量中, 脂肪含量低, 山萘酸含量低至中, 根据本研究所建预测模型, 此类品种仍需进一步改良以提高蛋白质含量和降低山萘酸含量。烘烤食用品质一般的品种(系)有 33 个, 占 64.71%, 中国花生大部分属于此类型, 其百仁重中至高, 蔗糖含量低至中, 蛋白质含量低至高, 脂肪含量中至高, 山萘酸含量低至中, 根据预测模型, 此类品种食用品质改良应着重提高蔗糖含量和降低脂肪含量。

另外, 本研究中油酸含量与烘烤食用品质不显著相关, 推测原因为试验材料收获后及时进行指标测定, 籽仁较新鲜, 油酸含量对烘烤食用品质的贡献不大, 但高油酸可显著提升烘烤花生制品的货架期, 维持其较好的食用品质^[33]。因此, 本研究确定优质烘烤花生品种应具备中大粒、高油酸、高蔗糖、高蛋白、低脂肪和低山萘酸含量等性状。

4 结论

采用多元统计分析法对 51 个花生品种(系)的 27 项烘烤食用品质性状进行评价, 筛选出百仁重、蔗糖含量、蛋白质含量、脂肪含量和山萘酸含量可作为鉴定花生烘烤品质的指标, 并确定优质烘烤花生品种应具备中大粒、高油酸、高蔗糖、高蛋白、低脂肪和低山萘酸含量等性状。

参考文献 References

- [1] 张照华, 王志慧, 淮东欣, 谭家社, 陈剑洪, 晏立英, 王晓军, 万丽云, 陈傲, 康彦平, 姜慧芳, 雷永, 廖伯寿. 利用回交和标记辅助选择快速培育高油酸花生品种及其评价. 中国农业科学, 2018, 51(9): 1641-1652.
ZHANG Z H, WANG Z H, HUAI D X, TAN J Z, CHEN J H, YAN L Y, WANG X J, WAN L Y, CHEN A, KANG Y P, JIANG H F, LEI Y, LIAO B S. Fast development of high oleate peanut cultivars by using marker-assisted backcrossing and their evaluation. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(9): 1641-1652. (in Chinese)
- [2] WANG Q. Peanut Processing Characteristics and Quality Evaluation. Singapore: Springer Nature, 2018: 42-63.
- [3] 林茂, 赵景芳, 郑秀艳, 孟繁博, 黄道梅, 李国林, 陈曦, 宋光艳, 蒋力. 不同种皮颜色花生生品的营养、感官和品质的分析. 分子植物育种, 2019, 17(5): 1647-1657.
LIN M, ZHAO J F, ZHENG X Y, MENG F B, HUANG D M, LI G L,

- CHEN X, SONG G Y, JIANG L. Analysis of nutrition, sense and quality of peanut seed with different testa color. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(5): 1647-1657. (in Chinese)
- [4] 雷永, 王志慧, 淮东欣, 高华援, 晏立英, 李建国, 李威涛, 陈玉宁, 康彦平, 刘海龙, 王欣, 薛晓梦, 姜慧芳, 廖伯寿. 花生籽仁蔗糖含量近红外模型构建及在高糖品种培育中的应用. *作物学报*, 2021, 47(2): 332-341.
- LEI Y, WANG Z H, HUAI D X, GAO H Y, YAN L Y, LI J G, LI W T, CHEN Y N, KANG Y P, LIU H L, WANG X, XUE X M, JIANG H F, LIAO B S. Development and application of a near infrared spectroscopy model for predicting high sucrose content of peanut seed. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(2): 332-341. (in Chinese)
- [5] WANG C T. Evaluation of groundnut genotypes from China for quality traits. *Journal of SAT Agricultural Research*, 2011, 12(9): 1-5.
- [6] 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. (in Chinese)
- [7] 鲁清, 梁炫强, 陈小平, 李少雄, 刘浩, 周桂元, 刘海燕, 李海芬, 洪彦彬. 花生落荚、裂荚和裂仁特性评鉴及优异种质筛选. *植物遗传资源学报*, 2020, 21(5): 1102-1111.
- LU Q, LIANG X Q, CHEN X P, LI S X, LIU H, ZHOU G Y, LIU H Y, LI H F, HONG Y B. Evaluation on traits of pod abscission, dehiscence and kernel cracking of peanut and identification of elite germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(5): 1102-1111. (in Chinese)
- [8] 胡廷会, 成良强, 王军, 吕建伟, 饶庆琳. 不同基因型花生耐荫性评价及其鉴定指标的筛选. *中国农业科学*, 2020, 53(6): 1140-1153.
- HU T H, CHENG L Q, WANG J, LÜ J W, RAO Q L. Evaluation of shade tolerance of peanut with different genotypes and screening of identification indexes. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(6): 1140-1153. (in Chinese)
- [9] 张鹤, 蒋春姬, 殷冬梅, 董佳乐, 任婧瑶, 赵新华, 钟超, 王晓光, 于海秋. 花生耐冷综合评价体系构建及耐冷种质筛选. *作物学报*, 2021, 47(9): 1753-1767.
- ZHANG H, JIANG C J, YIN D M, DONG J L, REN J Y, ZHAO X H, ZHONG C, WANG X G, YU H Q. Establishment of comprehensive evaluation system for cold tolerance and screening of cold-tolerance germplasm in peanut. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(9): 1753-1767. (in Chinese)
- [10] 孙东雷, 卞能飞, 王幸, 邢兴华, 沈一, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军. 高油酸花生萌发期耐冷性综合评价及种质筛选. *核农学报*, 2021, 35(6): 1263-1272.
- SUN D L, BIAN N F, WANG X, XING X H, SHEN Y, XU Z J, QI Y J, WANG X J. Comprehensive evaluation of cold tolerance and germplasm screening of high oleic acid peanut at germination stage. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(6): 1263-1272. (in Chinese)
- [11] 巩阿娜, 刘红芝, 刘丽, 石爱民, 王强. 原料特性与花生酱品质间关系模型的建立. *食品科学技术学报*, 2016, 34(2): 24-30.
- GONG A N, LIU H Z, LIU L, SHI A M, WANG Q. Establishment of relationship model between peanut material characteristics and peanut butter quality. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(2): 24-30. (in Chinese)
- [12] 巩阿娜, 刘红芝, 刘丽, 石爱民, 林伟静, 王强. 原料特性对花生酱品质的影响. *中国食品学报*, 2016, 16(11): 253-262.
- GONG A N, LIU H Z, LIU L, SHI A M, LIN W J, WANG Q. Influence of peanut material characteristics on peanut butter quality. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(11): 253-262. (in Chinese)
- [13] YU H, LIU H, ERASMUS S W, ZHAO S, WANG Q, RUTH S M. An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 151: 112068.
- [14] 王丽, 王强, 刘红芝, 刘丽, 杜寅, 张建新. 不同品种花生分离蛋白凝胶性评价方法的研究. *中国油脂*, 2012, 37(7): 20-23.
- WANG L, WANG Q, LIU H Z, LIU L, DU Y, ZHANG J S. Evaluation methods of gel property of peanut protein isolate with different varieties. *China Oils and Fats*, 2012, 37(7): 20-23. (in Chinese)
- [15] 王丽, 刘红芝, 刘丽, 石爱民, 胡晖, 杨颖, 王强. 油用花生品质评价模型的建立及其加工适宜性研究. *食品科学技术学报*, 2016, 34(1): 21-27.
- WANG L, LIU H Z, LIU L, SHI A M, HU H, YANG Y, WANG Q. Research on evaluation model and processing suitability of oil-used

- peanut. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(1): 21-27. (in Chinese)
- [16] PATTEE H E, ISLEIB T G, GIESBRECHT F G. Variation in intensity of sweet and bitter sensory attributes across peanut genotypes. *Peanut Science*, 1998, 25: 63-69.
- [17] PATTEE H E, ISLEIB T G, GIESBRECHT F G, MCFEETERS R F. Investigations into genotypic variations of peanut carbohydrates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48: 750-756.
- [18] PATTEE H E, ISLEIB T G, GIESBRECHT F G, MCFEETERS R F. Relationships of sweet, bitter, and roasted peanut sensory attributes with carbohydrate components in peanuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48: 757-763.
- [19] 王传堂, 张建成, 唐月异, 吴琪, 王志伟, 王秀贞, 穆树旗, 李平涛, 李滨. 花生生仁生化成分、生仁和烤仁感官品质的典型相关分析. *山东农业科学*, 2020, 52(8): 12-16.
- WANG C T, ZHANG J C, TANG Y Y, WU Q, WANG Z W, WANG X Z, MU S Q, LI P T, LI B. Inter-relationships between peanut biochemical components of raw kernels, sensory quality of raw and roasted kernels revealed by canonical correlation analysis. *Shandong Agricultural Sciences*, 2020, 52(8): 12-16. (in Chinese)
- [20] 王志伟, 王秀贞, 唐月异, 吴琪, 孙全喜, 杜龙, 刘婷, 张欣, 王传堂. 31个花生品种(系)的生、熟花生感官品质评价研究. *山东农业科学*, 2018(6): 52-56.
- WANG Z W, WANG X Z, TANG Y Y, WU Q, SUN Q X, DU L, LIU T, ZHANG X, WANG C T. Sensory evaluation for raw and roasted peanuts of 31 genotypes. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018(6): 52-56. (in Chinese)
- [21] 王秀贞, 吴琪, 成波, 王志伟, 唐月异, 韩守萍, 王传堂. 基因型和成熟度对鲜食花生感官品质的影响. *花生学报*, 2019, 48(3): 51-54.
- WANG X Z, WU Q, CHENG B, WANG Z W, TANG Y Y, HAN S P, WANG C T. Effect of genotype and maturity on sensory quality of fresh green peanuts. *Journal of Peanut Science*, 2019, 48(3): 51-54. (in Chinese)
- [22] 房元瑾, 孙子淇, 苗利娟, 齐飞艳, 黄冰艳, 郑峥, 董文召, 汤丰收, 张新友. 花生籽仁外观和营养品质特征及食用花生育种利用分析. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(5): 875-886.
- FANG Y J, SUN Z Q, MIAO L J, QI F Y, HUANG B Y, ZHENG Z, DONG W Z, TANG F S, ZHANG X Y. Characterization of kernel appearance and nutritional quality in peanut accessions and its application for food-use peanut breeding. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(5): 875-886. (in Chinese)
- [23] BAGHERI H, KASHANINEJAD M, ZIAIFAR A M, AALAMI M. Textural, color and sensory attributes of peanut kernels as affected by infrared roasting method. *Information Processing in Agriculture*, 2019, 6(2): 255-264.
- [24] 汤鹏宇, 孟繁博, 黄道梅, 郑秀艳, 林茂. 质构参数与花生生物性测定的相关性. *现代食品科技*, 2021, 37(7): 294-301.
- TANG P Y, MENG F B, HUANG D M, ZHENG X Y, LIN M. Correlation between texture-analyzer parameters and physical properties measurement of peanut. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(7): 294-301. (in Chinese)
- [25] 李威涛, 郭建斌, 喻博伦, 徐思亮, 陈海文, 吴贝, 龚廷锋, 黄莉, 罗怀勇, 陈玉宁, 周小静, 刘念, 陈伟刚, 姜慧芳. 基于 HPLC-RID 的花生籽仁可溶性糖含量检测方法的建立. *作物学报*, 2021, 47(2): 368-375.
- LI W T, GUO J B, YU B L, XU S L, CHEN H W, WU B, GONG T F, HUANG L, LUO H Y, CHEN Y N, ZHOU X J, LIU N, CHEN W G, JIANG H F. Establishment of HPLC-RID method for the determination of soluble sugars in peanut seed. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(2): 368-375. (in Chinese)
- [26] COLEMAN W M, WHITE J L, PERFETTI T A. Characteristics of heat-treated aqueous extracts of peanuts and cashews. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1994, 42(1): 190-194.
- [27] MISRA J B. A mathematical approach to comprehensive evaluation of quality in groundnut. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2004, 17(1): 69-79.
- [28] 王强, 石爱民, 盛晓静, 刘红芝, 刘丽, 胡晖. 一种适宜休闲花生加工的花生品质评价方法及装置: 中国, 107228809. 2017-10-03.
- WANG Q, SHI A M, SHENG X J, LIU H Z, LIU L, HU H. Peanut quality evaluation method and device suitable for leisure peanut processing: China, 107228809. 2017-10-03. (in Chinese)
- [29] 宋丽君, 聂晓玉, 何磊磊, 蒯婕, 杨华, 郭安国, 黄俊生, 傅廷栋, 汪波, 周广生. 饲用大豆品种耐荫性鉴定指标筛选及综合评价. *作物学报*, 2021, 47(9): 1741-1752.
- SONG L J, NIE X Y, HE L L, KUAI J, YANG H, GUO A G, HUANG J S, FU T D, WANG B, ZHOU G S. Screening and comprehensive evaluation of shade tolerance of forage soybean varieties. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(9): 1741-1752. (in Chinese)
- [30] 刘秋员, 周磊, 田晋钰, 程爽, 陶钰, 邢志鹏, 刘国栋, 魏海燕, 张洪程. 长江中下游地区常规中熟粳稻氮效率综合评价及高产氮高效品种筛选. *中国农业科学*, 2021, 54(7): 1397-1409.

- LIU Q Y, ZHOU L, TIAN J Y, CHENG S, TAO Y, XING Z P, LIU G D, WEI H Y, ZHANG H C. Comprehensive evaluation of nitrogen efficiency and screening of varieties with high grain yield and high nitrogen efficiency of inbred middle-ripe *japonica* rice in the middle and lower reaches of Yangtze river. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(7): 1397-1409. (in Chinese)
- [31] 杨涛, 黄雅婕, 李生梅, 任丹, 崔进鑫, 庞博, 于爽, 高文伟. 海岛棉种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价. *中国农业科学*, 2021, 54(12): 2499-2509.
- YANG T, HUANG Y J, LI S M, REN D, CUI J X, PANG B, YU S, GAO W W. Genetic diversity and comprehensive evaluation of phenotypic traits in sea-island cotton germplasm resources. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(12): 2499-2509. (in Chinese)
- [32] 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.
- SUN Z Z, LI Q Y, WANG X K, ZHAO W T, XUE Y, FENG J Y, LIU X F, LIU M Y, JIANG D. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in mandarin. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(22): 4362-4372. (in Chinese)
- [33] 李建国, 薛晓梦, 张照华, 王志慧, 晏立英, 陈玉宁, 万丽云, 康彦平, 淮东欣, 姜慧芳, 雷永, 廖伯寿. 单粒花生主要脂肪酸含量近红外预测模型的建立及其应用. *作物学报*, 2019, 45(12): 1891-1898.
- LI J G, XUE X M, ZHANG Z H, WANG Z H, YAN L Y, CHEN Y N, WAN L Y, KANG Y P, HUAI D X, JIANG H F, LEI Y, LIAO B S. Establishment and applicant of near-infrared reflectance spectroscopy models for predicting main fatty acid contents of single seed in peanut. *Acta Agronomica Sinica*, 2019, 45(12): 1891-1898. (in Chinese)

(责任编辑 李莉)

附表 1 参试花生品种 (系) 信息

Supplementary Table 1 Peanut cultivars (lines) in this study

编号 No.	品种名称 Cultivar name	品种类型 Cultivar type	百仁重 Hundred kernel weight (g)	脂肪含量 Fat content (%)	蛋白质含量 Protein content (%)	蔗糖含量 Sucrose content (%)	油酸含量 Oleic acid content (%)
1	徐花 23 Xuhua 23	中间型 Irregular type	66.52	55.12	21.33	2.56	71.78
2	徐花 24 Xuhua 24	中间型 Irregular type	58.58	51.74	23.04	3.45	64.97
3	徐花 25 Xuhua 25	中间型 Irregular type	80.73	55.38	20.00	3.00	70.16
4	徐花 26 Xuhua 26	中间型 Irregular type	74.03	56.42	22.03	1.98	76.46
5	徐花 21 Xuhua 21	中间型 Irregular type	68.14	53.71	21.36	3.51	37.23
6	徐花 22 Xuhua 22	中间型 Irregular type	75.19	51.15	22.80	3.42	30.37
7	徐 0918 Xu 0918	中间型 Irregular type	67.07	53.23	24.19	3.55	36.01
8	唐 8802 Tang 8802	中间型 Irregular type	66.61	47.54	26.48	4.03	31.73
9	小香果 Xiaoxiangguo	中间型 Irregular type	60.51	54.82	23.40	2.08	37.26
10	小叶果 Xiaoyeguo	中间型 Irregular type	60.31	51.25	26.08	2.43	37.26
11	豫花 14 号 Yuhua 14	珍珠豆型 Spanish type	58.05	51.25	24.08	2.99	28.07
12	花育 20 Huayu 20	珍珠豆型 Spanish type	50.67	52.96	22.04	3.44	34.64
13	濮花 20 号 Puhua 20	珍珠豆型 Spanish type	73.05	51.24	22.14	3.14	30.72
14	花育 25 Huayu 25	中间型 Irregular type	55.64	50.29	24.76	4.80	31.82
15	徐花 15 号 Xuhua 15	中间型 Irregular type	36.21	54.61	18.05	3.69	45.57
16	远杂 9847 Yuanza 9847	中间型 Irregular type	55.62	52.91	21.76	3.79	36.03
17	徐花 18 号 Xuhua 18	中间型 Irregular type	65.95	55.76	20.46	2.23	73.96

18	徐花 19 号 Xuhua 19	中间型 Irregular type	67.26	51.28	26.20	3.74	42.36
19	漯花 4011 Luohua 4011	中间型 Irregular type	64.47	52.81	24.69	3.18	35.71
20	花育 34 Huayu 34	中间型 Irregular type	48.14	53.68	20.20	3.42	43.63
21	白沙 1016 Baisha 1016	珍珠豆型 Spanish type	60.41	52.13	23.55	2.28	28.98
22	开农 176 Kainong 176	中间型 Irregular type	61.42	54.85	22.06	3.10	70.89
23	冀花 16 号 Jihua 16	中间型 Irregular type	67.76	53.55	24.91	2.33	64.19
24	徐花紫 1 号 Xuhuazi 1	中间型 Irregular type	57.47	48.68	27.04	3.87	32.99
25	徐花 14 号 Xuhua 14	中间型 Irregular type	49.36	52.41	22.55	2.85	31.40
26	四粒红 Silihong	多粒型 Valencia type	45.33	49.96	23.10	3.80	33.71
27	鲁花 14 Luhua 14	中间型 Irregular type	61.64	55.11	24.69	3.14	38.63
28	花育 33 Huayu 33	中间型 Irregular type	64.29	53.45	22.57	3.55	36.49
29	冀花 10 号 Jihua 10	中间型 Irregular type	54.60	55.41	20.90	3.70	53.76
30	中花 6 号 Zhonghua 6	珍珠豆型 Spanish type	46.35	53.52	22.22	2.60	37.08
31	闽花 6 号 Minhua 6	珍珠豆型 Spanish type	59.60	53.48	24.46	1.88	29.55
32	冀花甜 1 号 Jihuatian 1	中间型 Irregular type	55.44	42.02	21.60	7.41	31.39
33	冀花甜 2 号 Jihuatian 2	中间型 Irregular type	53.16	52.41	19.56	4.85	34.89
34	花育 917 Huayu 917	中间型 Irregular type	63.66	56.50	20.81	2.96	70.10
35	远杂 9102 Yuanza 9102	珍珠豆型 Spanish type	66.54	51.09	24.12	2.98	29.43
36	鲁资 101 Luzi 101	中间型 Irregular type	70.87	53.11	20.59	3.16	37.65
37	天府 8 号 Tianfu 8	中间型 Irregular type	55.02	54.61	18.70	3.52	42.19
38	天府 11 号 Tianfu 11	珍珠豆型 Spanish type	54.79	53.69	22.77	2.25	34.00
39	小京生 Xiaojingsheng	普通型 Virginia type	41.26	53.26	24.70	2.85	54.20
40	徐甜 06 Xutian 06	多粒型 Valencia type	65.65	48.05	20.46	5.45	32.23
41	徐甜 10 Xutian 10	多粒型 Valencia type	52.92	47.49	22.76	5.05	30.80
42	临花 16 号 Linhua 16	中间型 Irregular type	63.18	45.11	20.84	6.24	31.99
43	花育 22 Huayu 22	中间型 Irregular type	63.38	54.90	21.60	3.55	41.85
44	花育 23 Huayu 23	中间型 Irregular type	42.95	54.25	19.53	3.15	45.58
45	粤油 7 号 Yueyou 7	珍珠豆型 Spanish type	49.10	54.12	22.14	2.38	35.60
46	濮红花 606 Puhonghua 606	多粒型 Valencia type	30.86	52.02	20.46	3.93	41.61
47	赣花 7 号 Ganhua 7	多粒型 Valencia type	37.10	52.16	23.02	3.45	36.29
48	濮甜花 602 Putianhua 602	珍珠豆型 Spanish type	36.39	50.08	21.89	3.47	80.83
49	花育 951 Huayu 951	中间型 Irregular type	67.69	52.70	22.48	3.75	69.12
50	徐花甜 29 Xuhuatian 29	多粒型 Valencia type	74.56	45.62	22.95	6.85	30.04
51	徐花甜 30 Xuhuatian 30	多粒型 Valencia type	63.67	46.62	23.38	6.95	28.40