

不同花生品种水煮加工适宜性评价方法与指标

赵赓九¹, 向飞¹, 徐绍文³, 谭家壮⁴, 汪娅梅⁴, 王强^{1,2*}

¹ 中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部粮油加工综合利用技术集成实验室 北京 100193

² 中国农业科学院西部农业研究中心 新疆昌吉 831100

³ 浚县农业农村局 河南鹤壁 458000

⁴ 湛江市农业科学研究院 广东湛江 524094

摘要 目前,市场上水煮花生品种杂乱、评价标准模糊,且不同品种的水煮花生品质差异大,亟需进行不同花生品种水煮加工适宜性评价,建立相应评价方法和指标,为水煮花生加工适宜性评价提供参考依据,助力水煮花生产业高质量发展。本研究充分评价 23 个鲜食花生基本营养物质组成和水煮花生品质指标,利用层次聚类分析、相关性分析和逻辑回归模型建立了水煮花生加工适宜性评价方法与指标,筛选出适宜水煮的加工专用品种。确定水煮花生品质一级标准:水煮花生荚果长 29.13~36.37 mm、荚果宽 15.38~15.87 mm、硬度 3 137.35~3 363.29 g、蛋白质含量 23.01~24.14 g/100 g、蔗糖含量 3.55~5.19 g/100 g。筛选确定了 5 个显著相关变量:脂肪、蛋白质、蔗糖、粗纤维、精氨酸含量, $P<0.05$ 。利用逻辑回归建立水煮花生适宜性评价模型,内部验证准确率为 91.30%;建立水煮花生加工适宜性评价方法与指标,筛选出适宜加工水煮花生的专用品种 6 个(1,7,8,9,10,19)。

关键词 鲜食花生原料; 水煮花生; 相关性分析; 加工适宜性

文章编号 1009-7848(2024)08-0422-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.08.038

2022 年,全球花生产量为 5 032.1 万 t,我国花生产量达 1 820 万 t(占全球花生产量 36.4%),食用花生达 735 万 t,是世界上最大的花生生产国和消费国^[1-2]。我国花生种质资源丰富,有 300 多个主栽品种^[2]。据统计,食用是花生的主要用途之一,占花生消费总量 40%,我国 2010—2022 年花生的食用量呈稳步递增的趋势。鲜食花生作为食用花生的一大类,是指收获后不晒干、直接生食或煮熟后食用的花生,煮熟食用称为水煮花生^[3]。鲜食花生因味道鲜美、营养丰富^[4]、致敏性低^[5-8]等优点而备受消费者喜爱,市场占有率逐年递增^[9-10],市场优势显著。消费者对水煮花生品质要求主要体现在外观、口感和风味,包括荚果和籽仁的色泽、外形、风味和口感。高品质水煮花生品种具备外形均

匀、色泽鲜艳、适口细腻等特点^[11]。现有水煮花生的研究主要集中在感官评价层面,未建立水煮花生理化特性和品质指标的品质等级标准。

调研发现,市场上鲜食花生原料品种杂乱,水煮花生品质和口感差异较大。市售水煮花生产品有 30 余种,品种多为四粒红及部分未知品种;荚果包括 2 粒、3 粒和 4 粒,荚果外观呈深褐色,籽仁为红色和粉色,籽仁中蛋白质含量较低^[3,9]。目前,我国正在逐步开展花生品种的油用、酱用、蛋白用等加工特性和专用品种研究^[10,12-15],尚缺乏适宜加工水煮花生的专用品种,且水煮花生品质评价及适宜性研究还未见报道。水煮花生加工利用中,不同鲜食花生原料加工制成的水煮花生食用和营养品质差异大,亟待筛选出专用品种来提高水煮花生品质,满足消费者对于健康、美味水煮花生的需求。

水煮花生品质指标主要包括感官指标、质构特性和营养品质^[2,16-17]。本研究测定 23 个鲜食花生原料的主要营养物质(脂肪、蛋白质、蔗糖、粗纤维、油酸、亚油酸、棕榈酸、谷氨酸、天门冬氨酸、精氨酸含量)和水煮花生感官和质构指标,对水煮花生品质指标进行层次聚类分析,确定水煮花生品

收稿日期: 2023-08-08

基金项目: 国家花生产业技术体系(CARS-13-03A);新疆油料产业技术体系(XJARS-05);河北省油料产业技术体系(HBCT2019090203);河北省现代种业科技创新专项(21326316D);河南省花生加工专用品种筛选及品质评价项目(GJHSCYJQ2022)

第一作者: 赵赓九,女,硕士生

通信作者: 王强 E-mail: wangqiang06@caas.cn

质等级标准;对鲜食花生原料理化特性指标和水煮花生品质指标进行相关性分析,筛选出有显著相关性的变量;利用逻辑回归建立水煮花生适宜性评价模型,建立水煮花生加工适宜性评价方法与指标,筛选适宜加工水煮花生的专用品种。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜食花生原料共23种,详见表1。

表1 23种鲜食花生原料品种信息

Table 1 Information on 23 kinds of fresh peanut raw materials

花生品种编号	品种	来源	花生品种编号	品种	来源
1	冀花1*号	河北	13	桂花彩1***	广西
2	冀花1*号	河北	14	2014 QZ *-*	广西
3	冀花1*号	河北	15	2014 JQ-***-	广西
4	唐6***	河北	16	淮花2*号	山东
5	唐9***	河北	17	鲁花*号	山东
6	冀花甜*号	河北	18	青花*号	山东
7	冀花甜*号	河北	19	开农1***	河南
8	泉花2*	福建	20	开农6*	河南
9	泉花5**	福建	21	豫花3*号	河南
10	泉花5**	福建	22	徐花甜2*	江苏
11	泉红花*号	福建	23	阜花2*	辽宁
12	2014 JQ-5-***	广西			

硫酸铜、硫酸钾、乙酸锌、甲基红、溴甲酚绿、亚甲基蓝,来自北京卡斯特默科技发展有限公司;乙醇、氢氧化钠、硼酸、乙腈、冰乙酸、亚铁氰化钾和正辛醇来自上海麦克林生化科技股份有限公司;丙酮,来自北京曼哈格生物科技有限公司;石油醚、无水乙醚、硫酸、氢氧化钾来自国药集团化学试剂北京有限公司;盐酸来自武汉中利源生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

YP5001 电子天平,上海越平科学仪器有限公司;CPA225D 万分之一分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;T8305 游标卡尺,北京山承伟业科技有限公司;CS-600A 分光测色仪,上海民仪电子有限公司;L YNX6000 型高速离心机,赛默飞世尔科技公司;TA-TX2i 质构分析仪,Stable Micro Systems Ltd. 公司;LM/DHG-9230Y 电热恒温鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;Soxtec Avanti 2050 全自动脂肪测定仪,上海展仪仪器设备有限公司;Kieletec Analysiser 2300 全自动凯氏定氮仪,上海瑞玢国际贸易有限公司;Shimadzu 高效液相色谱仪,北京岛津医疗器械;BG-

1000 中药粉碎机,北京兰易科技有限公司;WG-JD-33 不锈钢锅,北京沃格东方科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 花生表观特性的测定 花生表观特性的指标主要包括:花生荚果和花生仁的尺寸指标(长度、宽度)和色度指标(L^* 、 a^* 、 b^*)。利用游标卡尺测定鲜食花生原料和水煮花生荚果和籽仁的长和宽(随机选10颗花生,重复试验10次,取平均值)。利用分光测色仪测定鲜食花生原料和水煮花生的荚果和籽仁表面色泽,将花生荚果的相近位置对准色差计的测试光圈,压紧光源测试头(随机选10颗花生,取花生荚果和籽仁表面4个不同的点各检测1次)。由5名专业人员判定鲜果花生荚果果形,平行判定5次。

1.3.2 花生主要营养物质的测定 参考《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6-2016)、《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5-2016)、《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)、《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》(GB 5009.8-2016)、《粮油检验 粮食中粗

纤维素含量测定》(GB/T 5515-2008)、《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168-2016)、《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)中的方法分别测定脂肪、蛋白质、水分、蔗糖、粗纤维、脂肪酸、氨基酸含量。

1.3.3 花生质构特性的测定 参考相关文献[18-19]测定花生质构特性。探头类型 P/36R mm,测试模式为压缩测试,等待时间 0 s,测试速度 2.00 mm/s,测试前速度 2.00 mm/s,测试后速度 2.00 mm/s,压缩程度(Strain)40%,触发应力 15 g。

1.3.4 水煮工艺 将鲜食花生原料加入 WG-JD-33 不锈钢锅中进行水煮加热(1 200 W),料液比为 1:10,自水沸腾时开始计时,沸水煮 30 min。

1.3.5 水煮花生感官评价 经征集专家意见,结合现行标准《花生》(GB/T 1532-2008)、《食用花生》(NY/T 1067-2006)、《绿色食品 花生及制品》(NY/T 420-2017),制定了水煮花生感官评价表,详见表 1。对 23 种水煮花生进行感官评价打分,感官评价小组由 10 位(5 男 5 女,年龄 20~35 周岁)经过专业培训的实验室人员组成,按照表 1 标准就水煮花生的荚果和籽仁的色泽、外观、风味,籽仁口感和总体可接受度进行评分并记录。

1.4 数据处理

通过 Excel 2016 进行原始数据记录及分析;利用 SPSS Statistics 26 进行数据显著性分析和聚类分析($P<0.05$,差异显著);使用 Origin 2022 软件进行相关性分析;利用 Python 3.9 构建模型。

2 结果与分析

2.1 鲜食花生原料的理化特性

23 个鲜食花生原料的理化特性指标如图 1 所示。结果表明,脂肪和蛋白质含量变化范围分别为 42.20~54.00 g/100 g 和 20.40~27.90 g/100 g,指标的变异系数均小于 10%,这 2 个指标在品种间的差异较小。蔗糖和粗纤维含量变化范围分别是 2.67~8.62 g/100 g 和 2.30~7.90 g/100 g;油酸、亚油酸和棕榈酸含量变化范围分别是 29.50%~81.20%、4.40%~52.50%和 6.26%~10.10%;精氨酸、谷氨酸和天冬氨酸含量变化范围分别是 2.11~3.46 g/100 g、2.47~4.27 g/100 g 和 2.09~3.86 g/100 g;其中蔗糖、粗纤维、油酸和亚油酸的变异系数大

于 30%,表明 23 个品种的理化特性指标存在较大差异,样本选取具有广泛代表性。比较各指标平均值和中间值,除了油酸和亚油酸含量(高油酸花生品种 8 个),其它指标的平均值和中间值都在稳定范围,这表明花生原料理化特性指标基本不存在异常数据。故本试验选取的花生原料样本具有普遍性和代表性,为后续试验分析和品种筛选提供样本保障。

2.2 水煮花生品质指标

由图 2 可知,荚果感官得分最高的是 19;籽仁口感得分最高的是 7;总体可接受度得分最高的品种是 7。得分高的品种直接反映感官人员的接受度高,表现为水煮花生感官品质优良,消费者的可接受度高。如图 3 所示,荚果长 14.40~51.30 mm、荚果宽 14.40~17.50 mm、荚果 $-L^*$ 44.50~54.20、籽仁 $-a^*$ 0.52~19.40。加工品质指标如图 4 所示,脆性 2.02~2.63 mm、硬度 2 363.00~6 460.00 g。营养品质指标如图 5 所示,煮后-脂肪 32.60~48.10 g/100 g、煮后-蛋白质 19.60~25.10 g/100 g、煮后-蔗糖 1.02~5.24 g/100 g(干重)。

营养物质组成和感官评价是评价水煮花生品质的重要指标,蛋白质、脂肪等含量对水煮花生的加工特性影响较大,荚果和籽仁的色泽、甜度、脆度和细腻度等是水煮花生重要的感官指标^[20-21]。籽仁 $-L^*$ 、籽仁 $-a^*$ 、籽仁 $-b^*$ 、荚果-果形、荚果-网纹、籽仁-色泽、口感-甜度、总体可接受度、硬度、煮后-蔗糖指标的变异系数大于 20%,品质指标差异大。结果表明,不同品种花生加工得到的水煮花生品质存在差异,需要进一步分析不同水煮花生间的相关性和差异性。

2.3 水煮花生品质指标相关性分析

利用 Person 相关性对水煮花生的 28 个品质指标进行相关性分析,水煮花生食用品质相关性分析如图 6 所示,水煮花生品质指标相关性分析如图 7 所示。由图 6a 可知,籽仁-外形与荚果-尺寸($r=0.54$)、与荚果风味($r=0.75$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。籽仁-风味与荚果-网纹呈极显著($P<0.01$)正相关关系($r=0.52$)。口感-甜度与荚果-网纹($r=0.55$)、与籽仁-风味($r=0.82$)呈极显著正相关关系。口感-脆度与荚果-网纹($r=0.61$)、与籽仁-风味($r=0.69$)、与口感-甜度($r=0.65$)呈极显

表 2 水煮花生感官评价表
Table 2 Sensory evaluation table of boiled peanuts

项目		评价标准	分数范围	
荚果	色泽	黄白色,有光泽,无斑点	8~10	
		黄褐色,光泽较暗,少许斑点	4~7	
		深褐色,无光泽,有斑点	0~3	
	外形	果形	蚕茧形	8~10
			普通形、串珠形	4~7
			其它果形	0~3
	网纹	荚果光滑,网纹不明显	8~10	
		荚果较粗糙,中等网纹	4~7	
		荚果厚且粗糙,网纹清晰明显	0~3	
	尺寸	长(3.0±0.5)cm、宽(1.5±0.3)cm	8~10	
		长(3.0±1.0)cm、宽(1.5±0.5)cm	4~7	
		其余长宽	0~3	
风味	口感浓香	8~10		
	香味较淡	4~7		
	有异味	0~3		
籽仁	色泽	深红、浅红,或其它鲜艳色泽	8~10	
		色泽较暗	4~7	
		色泽暗淡	0~3	
	外形	粒大饱满,整齐度好,大小适中,无裂纹、油斑、霉变	8~10	
		粒仁较饱满,大小较均匀,少许裂纹、油斑	4~7	
		粒仁干瘪,大小不整齐,有裂纹、油斑、霉变	0~3	
	风味	口感浓香	8~10	
		香味较淡	4~7	
		无香味,稍许苦味,有异味	0~3	
	口感	甜度	口感甜	8~10
			甜度一般	4~7
			无甜味	0~3
脆度		口感清脆	8~10	
		脆度一般	4~7	
		不会发生脆性断裂	0~3	
硬度		硬度适中,咀嚼绵软	8~10	
		硬度一般,咀嚼易碎度一般	4~7	
		口感硬,咀嚼费力	0~3	
细腻度	口感细腻,咀嚼后残渣颗粒小而少	8~10		
	口感一般,咀嚼后残渣颗粒不均	4~7		
	口感粗糙,咀嚼后残渣颗粒较多	0~3		
总体可接受度	总体感觉较好	8~10		
	总体感觉一般	4~7		
	总体感觉较差	0~3		

著($P<0.01$)正相关关系。口感-硬度与荚果-色泽($r=0.59$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。总体可接受度与荚果-网纹($r=0.60$)、与籽仁-风味($r=0.88$)、

与口感-甜度($r=0.90$)、与口感-脆度($r=0.82$)、与口感-细腻度($r=0.69$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。综上,口感-甜度、口感-脆度、籽仁-风味和口

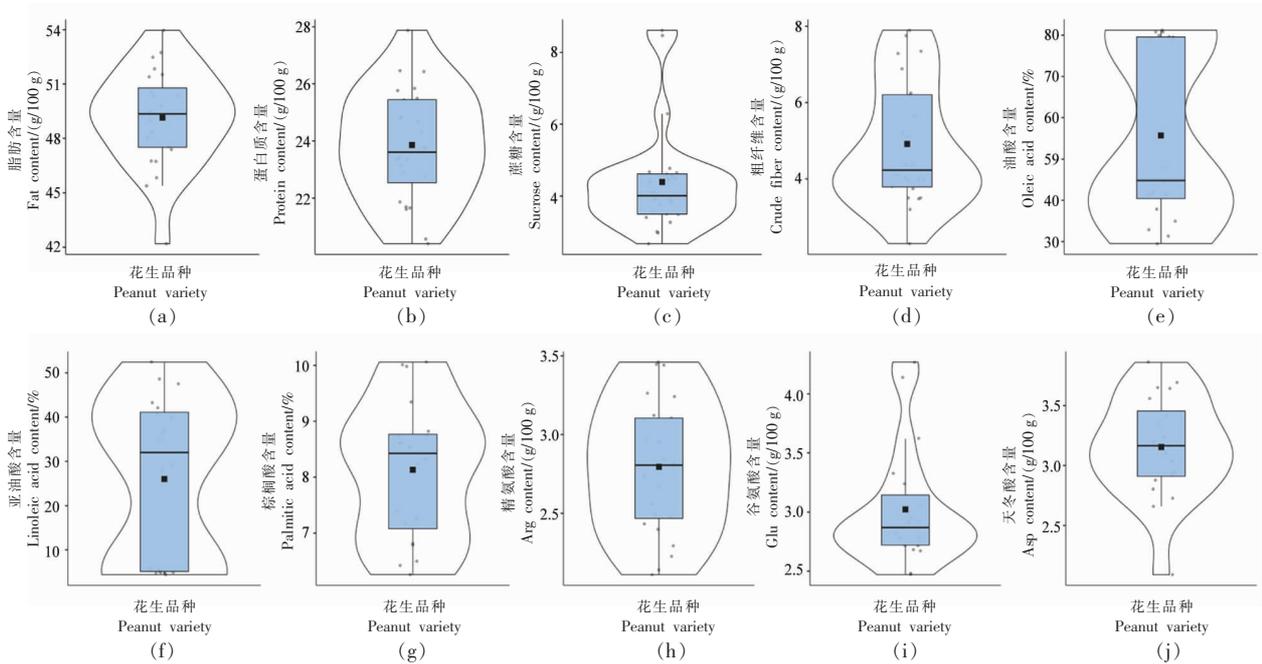


图 1 23 种花生原料主要营养物质含量

Fig.1 Physical and chemical characteristic indexes of 23 peanut varieties

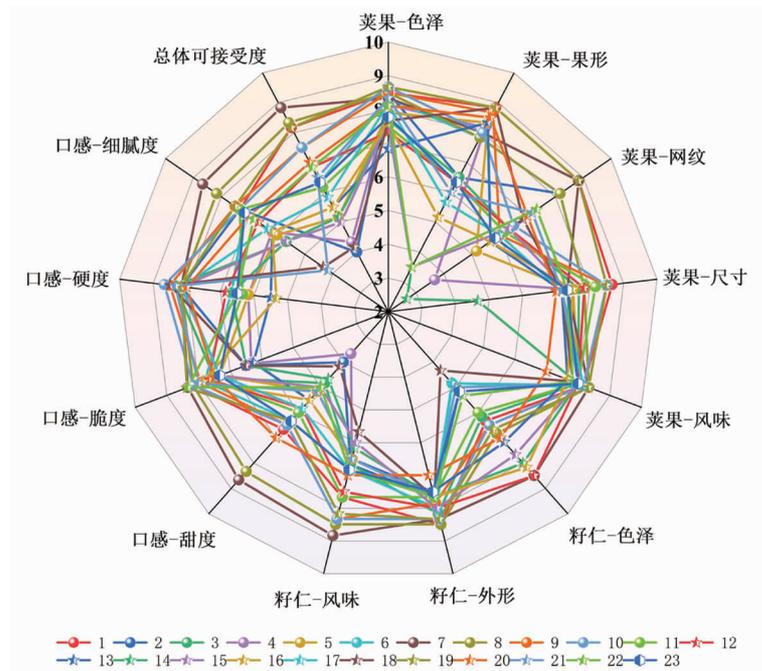


图 2 23 种水煮花生感官评价雷达图

Fig.2 Radar chart of sensory evaluation of 23 kinds of boiled peanuts

感-细腻度对总体可接受度影响较大。由图 6b 可知,荚果长与籽仁长($r=0.68$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。荚果宽与籽仁宽($r=0.80$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。荚果- L^* 与籽仁- L^* ($r=0.57$)、与

籽仁- b^* ($r=0.70$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。荚果- a^* 与荚果- b^* ($r=0.72$)呈极显著($P<0.01$)正相关关系,与籽仁- a^* ($r=-0.69$)呈极显著($P<0.01$)负相关关系。荚果- b^* 与荚果- a^* 呈极显著($P<0.01$)

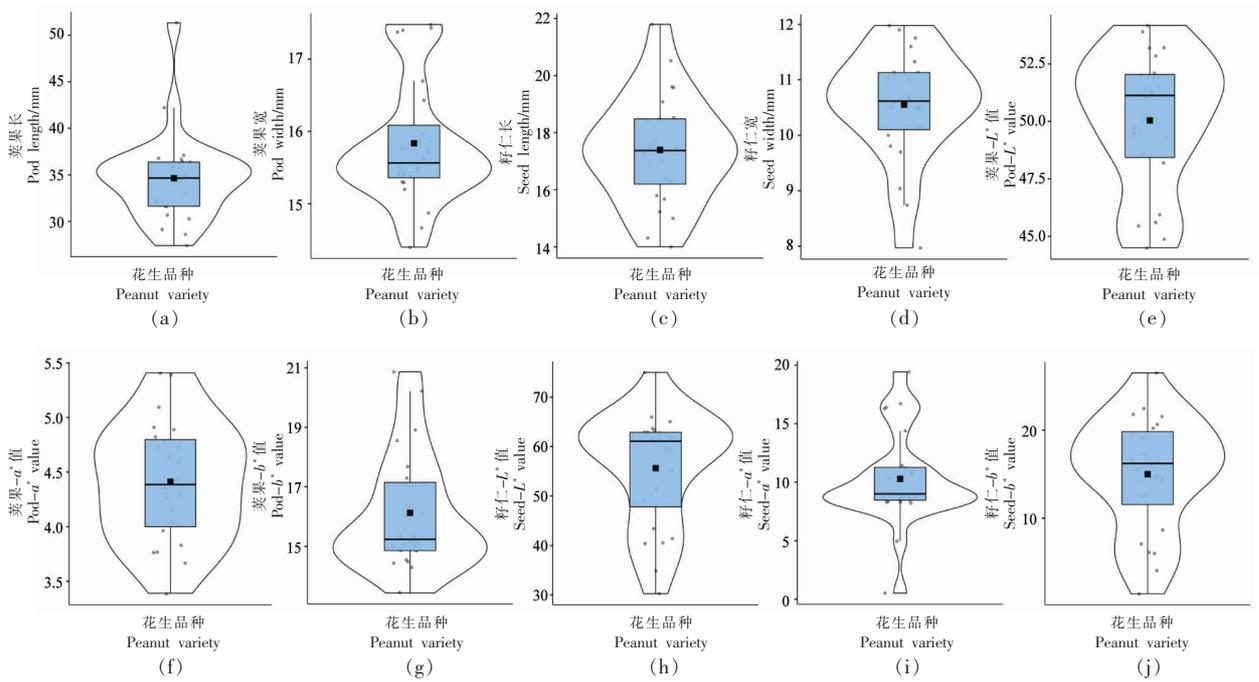


图 3 23 种水煮花生荚果和花生仁感官品质指标

Fig.3 Sensory quality indices measured by 23 kinds of boiled peanuts and peanut seed

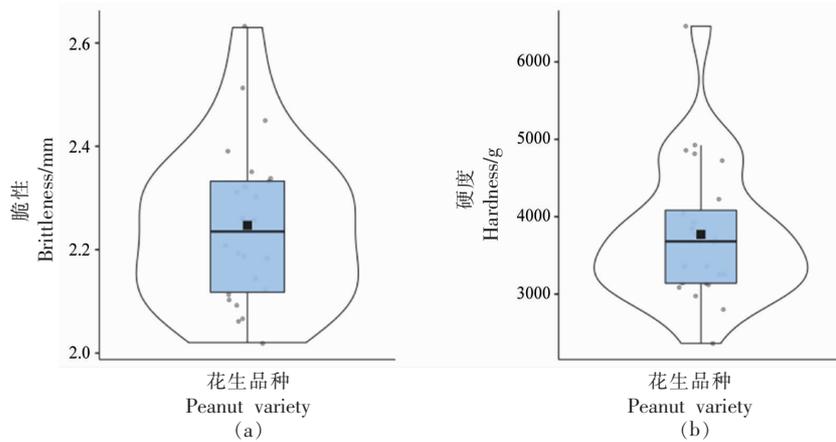


图 4 23 种水煮花生质构特性指标

Fig.4 Texture characteristics indices of 23 kinds of boiled peanuts

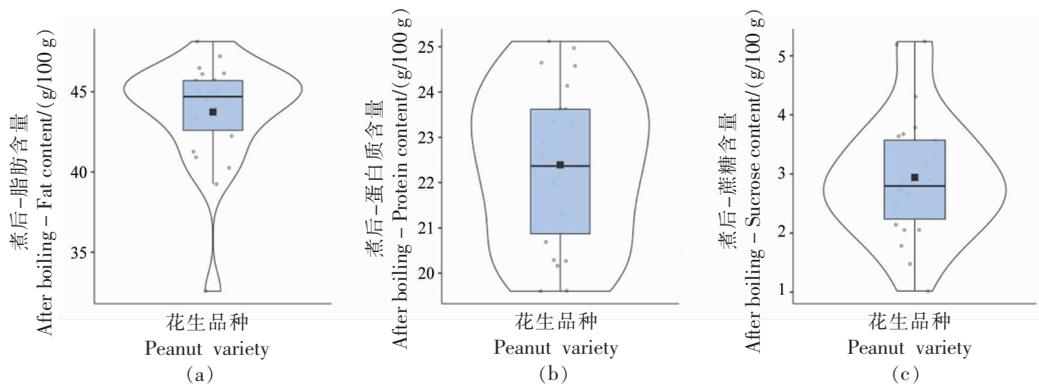
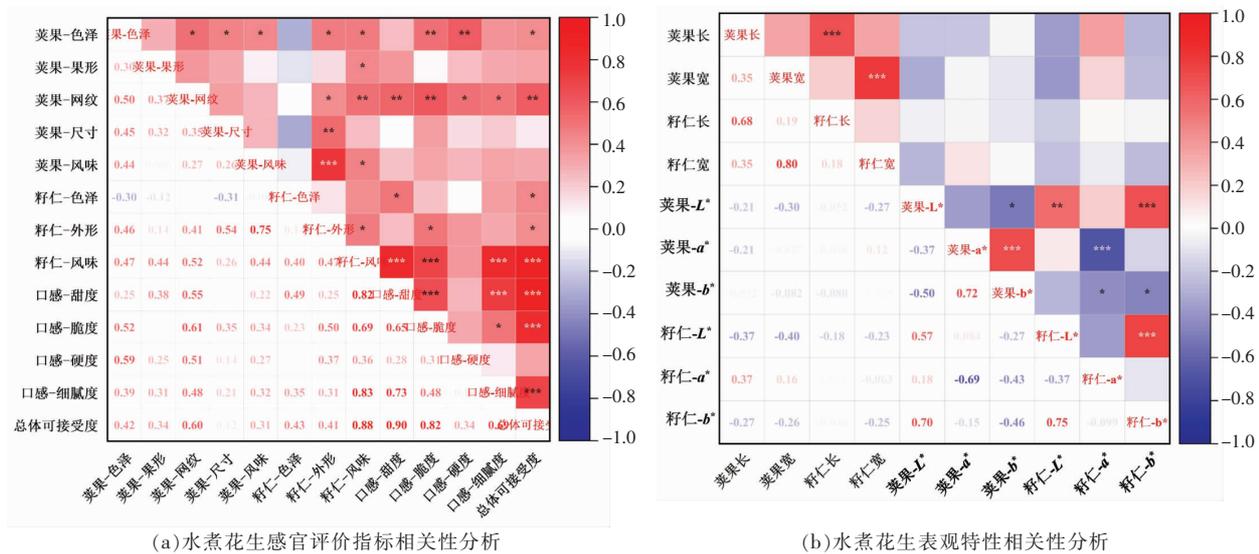


图 5 23 种水煮花生主要营养物质指标

Fig.5 Nutritional quality indices of 23 kinds of boiled peanuts



注:*. $P \leq 0.05$; **. $P \leq 0.01$; ***. $P \leq 0.001$; 下同。

图6 水煮花生食用品质相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of edible quality of boiled peanuts

正相关关系,和籽仁- a^* ($r=-0.27$)、与籽仁- L^* ($r=-0.43$),与籽仁- b^* ($r=-0.46$)呈显著 ($P < 0.01$) 负相关关系。

花生的感官和质构各指标之间存在显著相关性,一个指标可以制约或促进几个指标的变化^[21-23],因此一个指标的变化趋势在一定程度上可以表示几个指标的变化趋势,后续分析中可以减少具有相同趋势的指标。13个水煮花生感官评价指标可由荚果-果形、籽仁-色泽、荚果-尺寸、口感-甜度、口感-硬度表示。10个感官品质指标可由荚果长、荚果宽、荚果- L^* 和籽仁- a^* 表示。

将筛选后的9个食用品质指标、2个加工品质指标、3个水煮花生营养品质指标进行相关性分析,结果如图7所示。蔗糖含量与脂肪含量 ($r=-0.68$)、与脆性 ($r=-0.68$)呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系,与籽仁- a^* ($r=0.58$)、与荚果- L^* ($r=0.60$)、与口感-甜度 ($r=0.79$)、与荚果-果形 ($r=0.55$)呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关关系。脂肪含量与脆性 ($r=0.53$)呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关关系,与籽仁- a^* ($r=-0.65$)、与口感-甜度 ($r=-0.71$)、与籽仁-色泽 ($r=-0.47$)呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系。硬度与口感-硬度 ($r=-0.56$)呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系。脆性与籽仁- a^* ($r=-0.54$)、与口感-甜度 ($r=-0.68$)、与荚果- L^* ($r=-0.43$)、与籽仁-色泽

($r=-0.44$)呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系。籽仁- a^* 与口感-甜度 ($r=0.60$)、与籽仁-色泽 ($r=0.59$)呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关关系。荚果长与籽仁-色泽 ($r=0.53$)、与口感-甜度 ($r=0.43$)呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关关系,与荚果-尺寸 ($r=-0.74$)呈极显著 ($P < 0.01$) 负相关关系。

综合以上分析结果将14个品质指标降维为5个品质指标,5个品质指标为蔗糖含量、蛋白质含量、硬度、荚果长和荚果宽。

2.4 水煮花生品质聚类分析

将23个水煮花生品质指标进行层次聚类分析 (Hierarchical clustering, HCA)^[24],在欧式距离为20时,可将水煮花生的不同品种分为3个聚类,每个聚类表现出不同的品质特征,23种水煮花生的层次聚类分析如图8所示。

根据表3可知,第1类水煮花生的蛋白质含量整体高于第3类,第1类水煮花生的蔗糖含量整体高于第2类和第3类 ($P < 0.05$),第1类水煮花生的荚果长、荚果宽和硬度适中。试验过程中发现,第1类水煮花生的荚果果形多为蚕茧形,大小适宜,荚果果壳明亮有光泽,籽仁色泽鲜艳,风味浓香,口感甜且清脆,硬度适中、咀嚼绵软,口感细腻,咀嚼后残渣颗粒小而少。第1类中筛选出6个品种,分别为1、7、8、9、10、19。

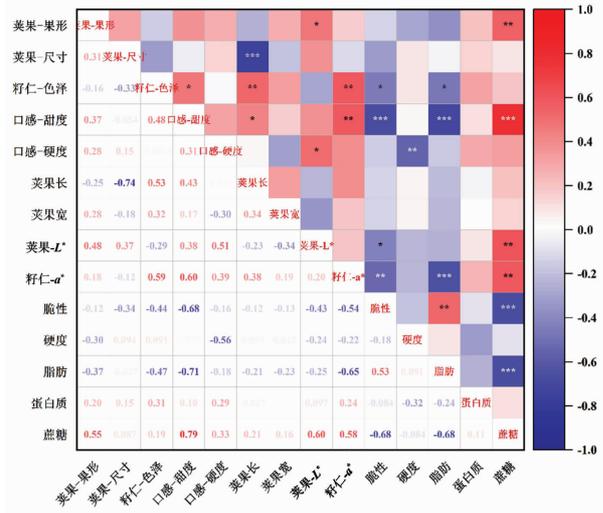


图 7 水煮花生品质指标相关性分析

Fig.7 Correlation analysis of quality indices of boiled peanuts

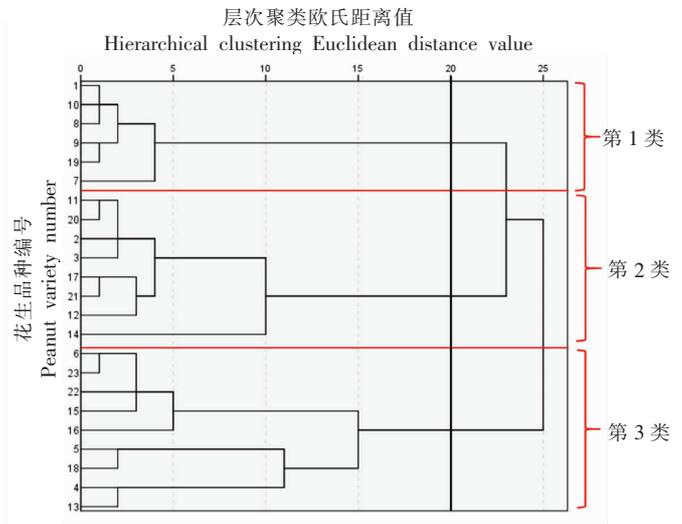


图 8 23 种水煮花生的层次聚类分析图

Fig.8 Hierarchical cluster analysis of 23 boiled peanuts

表 3 3 类水煮花生的品质

Table 3 Quality of three kinds of boiled peanuts

样本量	聚类	荚果长/mm	荚果宽/mm	硬度/g	煮后-蛋白质含量/ (g/100 g)	煮后-蔗糖含量/ (g/100 g)
6	第 1 类	29.13~36.37	15.38~15.87	3 137.35~3 363.29	23.01~24.14	3.55~5.19
8	第 2 类	34.80~42.20	15.20~17.37	2 363.46~4 226.62	21.32~24.97	1.02~3.03
9	第 3 类	27.40~36.20	14.40~17.43	2 800.93~6 459.56	19.60~21.97	1.48~3.17

2.5 原料主要营养物质与水煮花生 5 个显著变量相关性分析

将原料主要营养物质与水煮花生 5 个显著变量进行相关性分析,根据图 9 相关性分析的结果,选出 5 个显著相关变量($P < 0.05$):脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量、粗纤维含量、精氨酸含量。

脂肪含量与煮后-蔗糖含量($r = -0.55$)呈显著($P < 0.05$)负相关关系,与煮后-蛋白质含量($r = -0.61$)呈极显著($P < 0.01$)负相关关系,这与尹欣幸等^[25]的研究结论一致。目前,低脂肪食品受到越来越多人的青睐,研究发鲜食花生中粗脂肪含量低于 50%时口感较好^[26],房元瑾等^[20]的研究显示脂肪含量低的花生品种更加适合鲜食,口感不油腻,鲜食不经加工能减少营养物质损失。蛋白质含量与煮后-蛋白质含量($r = 0.90$)呈极显著($P < 0.01$)正相关关系。《食用花生》(NY/T 1067-2006)中规定,一级花生仁的蛋白质含量高于 26.0%,二级介于 3.0%与 26.0%之间,三级小于 23.0%。研究显

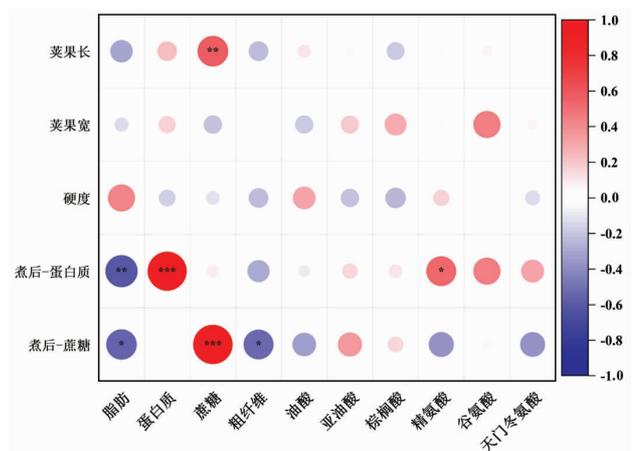


图 9 原料主要营养物质与水煮花生 5 个显著变量相关性分析

Fig.9 Correlation analysis between physical and chemical characteristics of raw materials and quality indices of boiled peanuts

示,食用花生的蛋白质含量 $\geq 30\%$ 时口感较好^[24-26]。蔗糖含量与荚果长($r = 0.56$)、煮后-蔗糖含量($r =$

0.92)呈极显著($P<0.01$)正相关关系。蔗糖是花生中的最重要的糖类,是花生甜味的主要来源,其含量占总糖的90%以上,也是花生中主要的可溶性糖,有研究表明鲜食花生总糖含量 $\geq 5\%$ 时^[27-29],口味甘甜。粗纤维含量与煮后-蔗糖含量($r=-0.53$)呈显著($P<0.05$)负相关关系,粗纤维含量低的花生品种口感更佳细腻,咀嚼后残渣少^[30]。精氨酸含量与煮后-蛋白质含量($r=0.53$)呈显著($P<0.05$)正相关关系,精氨酸与血管健康关系密切,且花生中精氨酸资源丰富^[16,30]。

2.6 适宜加工水煮花生的原料评价指标体系的建立

利用逻辑(Logistic)回归方法,根据鲜食花生的理化特性,预测不同品种的水煮花生品质。

重新排列响应变量和解释变量:

响应变量(Z):基于组间距离-皮尔斯系数的分类,在聚类分析中,将其中品质差的第2类和第3类水煮花生表示为0,品质优的第1类水煮花生表示为1。

首先进行挑选变量,变量是为: x_1 :脂肪含量(g/100 g); x_2 :蛋白质含量(g/100 g); x_3 :蔗糖含量(g/100 g); x_4 :粗纤维含量(g/100 g); x_5 :精氨酸含量(g/100 g)。

针对上面筛选的5个变量,建立逻辑回归模型为:

$$p=1/[1+\exp(-\omega^T x)] \quad (1)$$

式中: $x=[1, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]^T$; $\omega=[2.570, -4.427, 3.45, 39.071, -22.936, 12.42]^T$ 。

当拟合概率 $p>0.5$ 时将被分为第1类,否则分入第0类。在23个样本中有1个被错误分类。

表4 适宜加工水煮花生的鲜食花生原料指标等级标准

Table 4 Indices grade standard of fresh peanut raw materials suitable for processing boiled peanuts

指标		评价标准	分数范围
理化特性指标	脂肪含量/(g/100 g)	<50.0	11~15
		50.0~52.0	6~10
		>52.0	0~5
	蛋白质含量/(g/100 g)	>23.0	11~15
		21.0~23.0	6~10
		<21.0	0~5
	蔗糖含量/(g/100 g)	>4.0	11~15
		2.0~4.0	6~10
		<2.0	0~5
	粗纤维含量/(g/100 g)	<4.0	11~15
		4.0~6.0	6~10
		>6.0	0~5
	精氨酸含量/(g/100 g)	>2.8	11~15
		2.4~2.8	6~10
		<2.4	0~5
感官特性指标	荚果长/mm	25~35	4~5
		20~25, 35~40	2~3
		<20, >40	0~1
	荚果宽/mm	14~16	4~5
		12~14, 16~18	2~3
		<12, >18	0~1
	果形	蚕茧形	8~10
		普通形、串珠形	4~7
		其它果形	0~3
	网纹	浅	4~5
		中等	2~3
		粗	0~1

内部检验正确的分类率为 91.30%。

将建立的鲜食花生原料加工水煮花生适宜性评价模型进行简化,包括 5 个理化特性指标:脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量、粗纤维含量、精氨酸含量。满足仪器分析要求的同时,也要具备良好的感官特性,加入 4 个感官特性指标:荚果长、荚果宽、荚果-果形、荚果-网纹。总得分 ≥ 75 的品种最适宜加工水煮花生,被分为 1 类,否则分为 0 类。

随机选择另外 4 个不同的鲜食花生品种以测试水煮花生加工适宜性的外部准确性和适用性。将这 4 个鲜食花生品种按统一水煮工艺加工成水煮花生,并测定荚果长、荚果宽、硬度、煮后-蛋白质含量、煮后-蔗糖含量等品质指标。将测定得到的鲜食花生原料的理化特性指标代入水煮花生加工适宜性评价模型来获得预测值,预测结果和实际结果一致。

表 5 4 个品种鲜食花生原料的理化特性指标及预测结果

Table 5 Physical and chemical characteristic indices and prediction results of raw materials of 4 varieties of fresh peanut

花生品种	荚果长/mm	荚果宽/mm	果形	网纹	脂肪含量/(g/100 g)	蛋白质含量/(g/100 g)	蔗糖含量/(g/100 g)	粗纤维含量/(g/100 g)	精氨酸含量/(g/100 g)	预测结果
1	34.67	15.35	普通型	中	52.38	20.48	4.88	4.21	2.25	0
2	35.75	15.75	蚕茧型	浅	42.20	24.62	6.57	3.20	2.97	1
3	30.13	15.20	普通型	粗	49.08	21.66	3.49	5.20	2.48	0
4	36.65	15.98	普通型	浅	52.74	20.57	4.61	4.03	2.67	0

表 6 4 个品种水煮花生的品质指标及实际结果

Table 6 Quality indices and actual results of 4 varieties of boiled peanuts

花生品种	荚果长/mm	荚果宽/mm	硬度/g	煮后-蛋白质含量/(g/100 g)	煮后-蔗糖含量/(g/100 g)	实际结果
1	34.67	15.35	3043.67	19.09	2.87	0
2	35.75	15.75	3255.97	23.22	5.01	1
3	30.13	15.20	5421.30	20.21	2.79	0
4	36.65	15.98	4387.34	18.79	3.01	0

3 结论

本试验测定了 23 个花生品种的主要营养物质含量和水煮后感官、质构和营养品质指标,发现不同品种的花生理化特性和水煮后品质存在显著差异。在水煮花生品质指标相关性分析基础上,将感官评价和理化分析结合,基于聚类分析的结果确定了水煮花生一级标准:水煮花生荚果长 29.13~36.37 mm、荚果宽 15.38~15.87 mm、硬度 3 137.35~3 363.29 g、蛋白质 23.01~24.14 g/100 g、蔗糖 3.55~5.19 g/100 g;荚果果形多为蚕茧形,大小适宜,荚果果壳明亮有光泽,籽仁色泽鲜艳,口感甜且清脆,硬度适中、口感细腻,咀嚼后残渣颗粒小而少。

将鲜食花生原料理化特性指标和水煮花生品

质指标进行相关性分析,筛选出脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量、粗纤维含量、精氨酸含量 5 个显著相关变量;利用逻辑(Logistic)回归方法,建立水煮花生加工适宜性评价模型, $p=1/[1+\exp(-\omega^T x)]$,内部检验正确的分类率为 91.30%。将模型进行简化后建立水煮花生加工适宜性评价方法与指标,包括 5 个理化特性指标和 4 个感官特性指标,分别为脂肪含量、蛋白质含量、蔗糖含量、粗纤维含量、精氨酸含量、荚果长、荚果宽、果形和网纹,总得分 ≥ 75 的品种适宜水煮花生加工。选择 4 个不同的鲜食花生品种进行验证,其预测结果和实际结果表现出一致性。筛选出适宜加工水煮花生的专用品种 6 个:1、7、8、9、10、19。

参 考 文 献

- [1] LIU Y, HU H, LIU H Z, et al. Recent advances for the developing of instant flavor peanut powder: Generation and challenges[J]. *Foods*, 2022, 11(11): 1544.
- [2] 王强. 花生加工品质学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 1-54.
WANG Q. Quality of peanut processing[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2013: 1-54.
- [3] 孙泓希, 于树涛, 王传堂, 等. 不同加工方式的食用型花生感官和营养品质综合评价[J]. *花生学报*, 2022, 51(2): 1-10.
SUN H X, YU S T, WANG C T, et al. Comprehensive evaluation on sensory quality and nutritional quality of edible peanut with different processing methods[J]. *Journal of Peanut Science*, 2022, 51(2): 1-10.
- [4] FLETCHERSM S M, SHI Z L. Chapter10 – anoverview of world peanut markets[M]// STALKER H T, WIL SONR F. *Peanuts genetics, processing, and utilization*. Amsterdam: AOCS Press, 2016: 267-287.
- [5] 周红菲. 热加工后花生主要过敏原结构及其线性过敏原表位变化[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
ZHOU H F. Changes of main allergen structure and linear allergen epitopes in peanut after thermal processing[D]. Nan chang: Nanchang University, 2020.
- [6] CABANILLAS B, JAPPE U, NOVAK N. Allergy to peanut, soybean, and other legumes: Recent advances in allergen characterization, stability to processing and IgE cross-reactivity[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2018, 62(1): 1700446.
- [7] TAO B, MORRIS S, GRZESKOWIAK L, et al. Sequential hypoallergenic boiled peanut and roasted peanut oral immunotherapy[J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 2017, 47(11): 1501-1504.
- [8] KIRSTEN B, ELLEN M A, LI X M, et al. Effects of cooking methods on peanut allergenicity[J]. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2001, 107(6): 115480.
- [9] 郑云峰. 龙岩市花生产业发展现状,存在问题及对策[J]. *福建农业科技*, 2019(6): 60-62.
ZHENG Y F. Development status, problems and countermeasures of peanut industry in Longyan City [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2019(6): 60-62.
- [10] 王强. 粮油加工适宜性评价及风险监控[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 71-94.
WANG Q. Suitability evaluation and risk monitoring of grain and oil processing [M]. Beijing: Science Press, 2018: 71-94.
- [11] 韩宏伟, 王志伟, 王秀贞, 等. 花育 668 水煮花生加工适宜性评价[J]. *农业与技术*, 2021, 41(17): 17-19.
HAN H W, WANG Z W, WANG X Z, et al. Evaluation of suitability for processing Huayu 668 boiled peanuts[J]. *Journal of Agriculture and Technology*, 2021, 41(17): 17-19.
- [12] 王丽, 刘红芝, 刘丽, 等. 油用花生品质评价模型的建立及其加工适宜性研究[J]. *食品科学技术学报*, 2016, 34(1): 21-27.
WANG L, LIU H Z, LIU L, et al. Establishment of quality evaluation model for oil peanut and its suitability for processing[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(1): 21-27.
- [13] 巩阿娜, 刘红芝, 刘丽, 等. 原料特性对花生酱品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2016, 16(11): 253-262.
GONG A N, LIU H Z, LIU L, et al. Effect of raw material characteristics on quality of peanut butter[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(11): 253-262.
- [14] CHEN B Y, LI Q Z, HU H, et al. An optimized industry processing technology of peanut tofu and the novel prediction model for suitable peanut varieties[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19(9): 2340-2351.
- [15] HYA B, HL A, SWE B, et al. An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters[J]. *LWT*, 2021, 151: 112068.
- [16] WANG Q. Peanuts: Processing technology and product development[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-22.
- [17] WANG Q. Peanut processing characteristics and quality evaluation [M]. Singapore: Springer Nature, 2018: 43-55.
- [18] 鲁耀彬, 王海滨, 何旭东, 等. 低钠盐多味花生的质构特性与感官评价相关性分析[J]. *武汉轻工大学*

- 学报, 2014, 33(2): 8-12, 25.
- LU Y B, WANG H B, HE X D, et al. Correlation analysis between texture characteristics and sensory evaluation of low-sodium multi-flavor peanuts[J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2014, 33(2): 8-12, 25.
- [19] 张婷, 赵丹, 邹淑萍, 等. 新型酥皮切糕的研制及其质构分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(21): 151-155, 163.
- ZHANG T, ZHAO D, ZOU S P, et al. Development and texture analysis of new pastry cut cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 151-155, 163.
- [20] 房元瑾, 孙子淇, 苗利娟, 等. 花生籽仁外观和营养品质特征及食用型花生育种利用分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 875-886.
- FANG Y J, SUN Z Q, MIAO L J, et al. Characterization of kernel appearance and nutritional quality in peanut accessions and its application for food-use peanut breeding[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 875-886.
- [21] 谢畅, 党现什, 刘娜, 等. 不同粒型花生品种品质形成规律[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(5): 795-802.
- XIE C, DANG X S, LIU N, et al. Quality formation characteristic of peanut varieties with different grain types[J]. Chinese Journal of Oil Crops Sciences, 2021, 43(5): 795-802.
- [22] XIE Y K, LIN Y W, LI X Y, et al. Peanut drying: Effects of various drying methods on drying kinetic models, physicochemical properties, germination characteristics, and microstructure[J]. Information Processing in Agriculture, 2022, 10(4): 447-458.
- [23] ZHANG L, SONG C H, CHANG J, et al. Optimization of protein hydrolysates production from defatted peanut meal based on physicochemical characteristics and sensory analysis [J]. LWT, 2022, 163: 113572.
- [24] ULLMANN T, HENNIG C, BOULESTEIX A L. Validation of cluster analysis results on validation data: A systematic framework[J]. 2021, 12(3): 1-19.
- [25] 尹欣幸, 杨伟波, 金龙飞, 等. 基于主成分分析的鲜食花生品质评价[J]. 热带作物学报, 2021, 42(10): 3001-3007.
- YIN X X, YANG W B, JIN L F, et al. Quality evaluation of fresh eating peanut based on principal component analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(10): 3001-3007.
- [26] 厉广辉, 王兴军, 石素华, 等. 我国鲜食花生研究现状及展望[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(4): 604-607.
- LI G H, WANG X J, SHI S H, et al. An overview of research progress and prospect for fresh peanut in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(4): 604-607.
- [27] 李威涛, 郭建斌, 喻博伦, 等. 基于 HPLC-RID 的花生籽仁可溶性糖含量检测方法的建立[J]. 作物学报, 2021, 47(2): 368-375.
- LI W T, GUO J B, YU B L, et al. Establishment of HPLC-RID method for the determination of soluble sugars in peanut seed[J]. Journal of Crop Science, 2021, 47(2): 368-375.
- [28] 秦利, 刘华, 杜培, 等. 基于近红外光谱法的花生籽仁中蔗糖含量的测定[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 666-671.
- QIN L, LIU H, DU P, et al. Determination of sucrose content in peanut seed kernel based on near infrared spectroscopy[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2016, 38(5): 666-671.
- [29] 王秀贞, 吴琪, 成波, 等. 基因型和成熟度对鲜食花生感官品质的影响[J]. 花生学报, 2019(3): 51-54.
- WANG X Z, WU Q, CHENG B, et al. Effect of genotype and maturity on sensory quality of fresh green peanuts[J]. Journal of Peanut Science, 2019(3): 51-54.
- [30] 赵赓九, 胡晖, 刘红芝, 等. 鲜食花生品质评价和贮藏加工研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(5): 314-320.
- ZHAO G J, HUI H, LIU H Z, et al. Current status and prospects of research on quality evaluation and storage processing of fresh peanuts[J]. Food Science, 2023, 44(5): 314-320.

Evaluation Methods and Indices of the Suitability of Different Peanut Varieties for Boiling

Zhao Gengjiu¹, Xiang Fei¹, Xu Shaowen³, Tan Jiazhuang⁴, Wang Yamei⁴, Wang Qiang^{1,2*}

(¹*Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Comprehensive Utilization Laboratory of Cereal and Oil Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193*

²*Western Agricultural Research Center of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, Xinjiang*

³*Xunxian Agricultural and Rural Bureau, Hebi 458000, Henan*

⁴*Zhanjiang Academy of Agricultural Sciences, Zhanjiang 524094, Guangdong*)

Abstract Currently, boiled peanut varieties are disordered in the field, the evaluation standard is vague, and the quality of boiled peanuts of different varieties varies dramatically. Evaluation of the suitability of different peanut varieties for boiled peanut processing is urgently necessary, and the corresponding evaluation methods and indicators should be established to provide a reference basis for the evaluation of the suitability of boiled peanut processing and to assist the high-quality development of the boiled peanut industry. In this study, 23 fresh-edible peanuts were fully evaluated for their basic nutrient composition, and quality indicators of boiled peanuts. Hierarchical cluster analysis, correlation analysis and logistic regression model were used to establish the evaluation methods and indices for the suitability of boiled peanut processing, and to screen out the special varieties suitable for boiled processing. The first-grade standard of boiled peanut quality was determined: Boiled peanut pod length 29.13–36.37 mm, pod width 15.38–15.87 mm, hardness 3 137.35–3 363.29 g, protein content 23.01–24.14 g/100 g, sucrose content 3.55–5.19 g/100 g. Five significantly related variables were screened and determined: The contents of fat, protein, sucrose, crude fibre, and arginine at $P < 0.05$. The suitability evaluation model of boiled peanut was established using logistic regression, and the accuracy of internal validation was 91.30%. The suitability evaluation methods and indices of boiled peanut processing were established, and six special varieties (1, 7, 8, 9, 10, 19) were screened to be suitable for processing boiled peanut.

Keywords fresh peanut raw materials; boiled peanuts; correlation analysis; processing suitability