

# 基于感官剖面分析法、熵权法和灰色关联度法的扬州兰花干品质评价

Quality evaluation of different varieties of Yangzhou orchid dry based on sensory profile analysis, entropy weight method and grey interconnect degree analysis

谢成城<sup>1</sup> 陈佳敏<sup>1</sup> 曹仲文<sup>1,2</sup>

XIE Cheng-cheng<sup>1</sup> CHEN Jia-min<sup>1</sup> CAO Zhong-wen<sup>1,2</sup>

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127;

2. 扬州大学中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏 扬州 225127)

(1. School of Tourism and Culinary Science Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China;

2. Yangzhou University, The Key Laboratory of Chinese Intangible Cultural Heritage Inheritance Culture and Tourism Ministry, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

**摘要:**目的:研究兰花干感官评价描述词的建立方法和不同品种扬州兰花干的品质特性。方法:对 5 个不同品种采用感官剖面分析法;对质构特性和色泽品质特征等参数进行测定,采用相关性分析和主成分分析筛选出核心评价指标,在此基础上运用熵权法赋予各指标权重,最后采用灰色关联度法建立兰花干的品质评价体系。结果:咬紧足、柔韧、鲜香味、油亮 4 个描述词作为兰花干感官评价的关键描述词,能较准确评价兰花干感官品质;不同品种兰花干存在差异性;利用主成分分析筛选出 3 个核心指标,分别是咀嚼性、 $L^*$ 、 $b^*$ ;通过熵权法得到核心指标的权重,其中咀嚼性所占的权重最大;灰色关联度分析得出,样品 4 的综合品质较好。结论:综合利用主观评价和客观评价相结合的方法,所建立的食品品质评价体系能更全面地反映食品品质。

**关键词:**兰花干;感官评价;品质评价;相关性;主成分分析;熵权法;灰色关联度

**Abstract: Objective:** The quality characteristics of Yangzhou orchid dry were evaluated scientifically. **Methods:** Using sensory profile analysis, 14 sensory quality descriptors such as golden, oily, fried fragrance and fragrance were obtained from the initial

**基金项目:**教育部人文社会科学研究一般项目(编号:17YJZH006);四川省高等学校重点实验室开放基金(编号:PRKX201911)

**作者简介:**谢成城,女,扬州大学在读本科生。

**通信作者:**曹仲文(1973—),男,扬州大学副教授,博士。

E-mail: zwcao@yzu.edu.cn

**收稿日期:**2021-12-05 **改回日期:**2022-05-03

screening by the M value method. Using correlation analysis and principal component analysis to screen out the core evaluation indexes. The entropy weight method was to assign weight to each index. And the grey correlation degree method was to comprehensively evaluate the quality. **Results:** The results showed that the strong bite, supple, fragrant and oily were identified as the key sensory descriptors for the product and could accurately describe its sensory quality. There were differences in quality of different orchid dries. Three core evaluation indicators of orchid dry were determined by principal component; chewiness,  $L^*$  and  $b^*$ . The weight value of chewiness was the highest by the entropy method. The varieties with better comprehensive quality were Sample1. **Conclusion:** The food quality evaluation system can reflect food quality more comprehensively by using the method of combining subjective evaluation and objective evaluation.

**Keywords:** orchid dry; sensory evaluation; quality evaluation; correlation; principal component; entropy weight method; grey interconnect degree analysis

兰花干作为淮扬名菜之一,酥软多汁,豆香满满,也是历来备受推崇的“席上美馐”。在扬州,兰花干作为街坊小吃历史悠久且深受老百姓喜爱。而目前有关兰花干的研究主要集中于制作工艺等方面,为规模化、标准化需要,亟需建立关于兰花干的品质评价体系。

目前在品质综合评价过程中,相关性分析和主成分分析是数据处理过程中强有力的工具,已经被广泛应用于苹果<sup>[1]</sup>、荔枝<sup>[2]</sup>、茶叶<sup>[3]</sup>、蜜枣<sup>[4]</sup>等食品的研究中。熵

权法是一种客观赋权法,与主观赋权法相比,其精确度高,客观性强<sup>[5]</sup>。灰色关联分析近些年也开始应用于各种产品的品质评价中<sup>[6-8]</sup>,能够较为全面地反映品种的优劣程度。为了能够科学评价出扬州兰花干的品质特征,研究拟利用 M 值法、主成分分析法和相关性分析法对扬州兰花干的描述词进行一步步地整理分析,最终得出最精确的感官指标描述词,以期对兰花干及同类产品品质控制提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

5 种兰花干(见表 1):市售;

物质分析仪:TMS-Pro 型,美国 FTCg 公司;

全自动色差计:SC-80C 型,北京康光光学仪器有限公司;

数显示嫩度仪:C-LM 型,东北农业大学工程学院。

表 1 兰花干品种信息

Table 1 Information of different kinds of orchid dry

样品 编号	购买地点	颜色	厚度(以样品 1 为比较基准)
1	扬州土味老鸭汤店	淡黄色	厚
2	扬州吉乐多超市	淡黄色	较厚
3	扬州共和春	深黄色	薄
4	扬州大牌冒菜店	金黄色	较厚
5	扬州老成都火锅串串店	淡黄色	厚

### 1.2 试验方法

1.2.1 感官描述词的建立 利用 M 值法对感官描述词进行初次筛选,通过主成分分析法(PCA)对初筛获得的描述词进行二次筛选,再利用相关性分析对上述筛选出的各个描述词分别进行定义,选择程度参照物并进行程度打分。

1.2.2 质构特性 参考王承克等<sup>[9]</sup>和马春芳等<sup>[10]</sup>的方法。将兰花干切成 2 cm×2 cm×1 cm 的方块,采用 P/50 探头,测试速度为 1.0 mm/s,压缩形变量为 20%,循环两次,每种样品重复试验 3 次。

1.2.3 色差测定 参考陈冷等<sup>[11]</sup>的方法。色差计先用白板矫正,然后在同一样品的 5 个不同位置进行测量,获得  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  的 5 次测量值,取平均值进行数据分析。

1.2.4 剪切力测定 参考夏建新等<sup>[12]</sup>的方法。采样器随机在兰花干不同部位取样,测试 5 次后取平均值进行数据分析。

### 1.3 数据处理

#### 1.3.1 M 值法<sup>[13]</sup>

$$M = \sqrt{F \times I}, \quad (1)$$

式中:

$M$ ——感官描述词的贡献率,%;

$F$ ——描述词实际被提及的次数占该描述词所有可能被提及总次数的百分率,%;

$I$ ——评价小组实际给出的一个描述词的强度和占该描述词最大可能所得强度的百分率,%。

1.3.2 筛选核心指标 先通过主成分分析,确定核心评价指标的个数;再结合主成分载荷矩阵和相关性分析结果筛选出影响兰花干品质的核心评价指标。使用 IBM SPSS Statistics 20 进行相关性分析和主成分分析。

1.3.3 熵权法赋予权重 假设有  $m$  个评价样本和每个样本有  $n$  个评价指标, $x_{ij}$  表示第  $i$  个对象的第  $j$  个指标数据,其中  $i=1,2,3,\dots,m$ ;  $j=1,2,3,\dots,n$ ;其中  $m=5$ ,  $n=3$ ,即 5 个兰花干品种,筛选得到 3 个评价指标<sup>[14]</sup>。

首先对数据进行标准化处理,再求取指标  $j$  信息熵,最后求指标  $j$  权重系数。

1.3.4 灰色关联度分析 先对数据进行无量纲化处理,求关联度系数,最后求灰色关联度<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官描述词的建立

2.1.1 M 值法初步筛选兰花干感官评价 根据外观、风味、质地 3 个指标,10 位感官评价员共讨论出 72 个感官描述词,经再次探讨研究后,剩余 52 个描述词。 $M$  值越大,对感官评价的贡献越大。以 10 名感官评价员对 5 种兰花干的感官评价数据为基础,计算各描述词的  $M$  值,结果如表 2 所示。

根据表 2 可知,油亮、多汁的、不光滑的,这 3 个感官描述词的  $M$  值  $\geq 50\%$ ,说明这些感官评价描述词被提及的次数很多或对应的感官强度极强,是评价兰花干的最主要的描述词。因此,去掉那些  $M$  值  $< 40\%$  的描述词,初步筛选出兰花干的描述词为金黄色、油亮、油炸香味、香味、鲜香味、香气扑鼻、多汁的、不光滑的、疏松的、粗糙感、韧性、弹性、咬劲足、柔韧共 14 个词语。

2.1.2 利用主成分分析法筛选感官描述词 采用 PCA 对 14 个感官描述词进行降维分析,结果见表 3。

由表 3 可知,前 2 个主成分的方差累计贡献率为 88.730%,因此可以使用前 2 个主成分来代替  $M$  值法筛选出的 14 个描述词,对扬州兰花干进行研究。表 4 是成分 1 和成分 2 中各描述词初始因子载荷矩阵表。图 1 为根据描述词初始因子载荷矩阵表成分数量得出的描述词矩阵分布图。

由表 4 和图 1 可知,描述词弹性、疏松的、油亮、粗糙感、不光滑的载荷因子数分别为 0.984,0.981,0.981,0.965,0.961,作为第 1 主成分,由于描述词涉及到了扬州兰花干的外观和质地这两个指标,而且主要是指向质地这个指标,因此定义为质地因子。第 2 主成分的方差贡

献率是 24.76%，其中描述词咬劲足、香味、鲜香味、柔韧、香气扑鼻的载荷因子数依次是 0.628,0.594,0.481,0.344,0.260,代表了兰花干的风味和质地。通过主成分分析,筛选得到 6 个兰花干的感官指标描述词,分别是咬劲足、鲜香味、柔韧、弹性、疏松的、油亮,包括质地、风味 2 个方面

表 2 兰花干描述词的 M 值

Table 2 Orchid dry descriptors of M value method %

描述词	F 值	I 值	M 值	描述词	F 值	I 值	M 值
金黄色	33.33	52.00	41.23	甜味	16.67	36.00	24.49
偏黄色	16.67	36.00	24.49	鲜味	20.00	36.67	26.46
淡黄色	30.00	42.22	36.05	清淡的	33.33	38.00	36.05
米黄色	20.00	43.33	30.00	微辣的	30.00	46.67	27.42
土黄色	6.67	40.00	17.32	微腥的	6.67	30.00	14.14
黄褐色	13.33	35.00	22.36	微甜的	13.33	35.00	22.36
棕褐色	23.33	45.71	33.17	微麻的	26.67	35.00	30.00
酱油色	26.67	47.50	36.06	闷味	36.67	40.00	38.73
浅褐色	20.00	33.33	26.46	焦香味	36.67	36.36	36.05
浅红色	6.67	30.00	14.14	多汁的	43.33	56.92	50.00
橘红色	3.33	40.00	10.00	甜酱味	20.00	46.67	30.00
红棕色	6.67	50.00	17.32	不光滑的	46.67	58.57	51.96
油亮	46.67	54.29	50.00	疏松的	43.33	55.38	48.99
均匀网状	36.67	40.00	38.73	粗糙感	46.67	48.57	47.96
气味清香	40.00	36.67	38.73	韧性	40.00	53.33	45.83
油炸香味	46.67	50.00	47.96	弹性	40.00	50.00	44.72
卤香味	20.00	46.67	30.00	黏稠感	36.67	40.00	38.73
腥味	6.67	30.00	14.14	咬劲足	43.33	53.85	47.96
鲜香味	40.00	45.00	42.43	柔韧	50.00	44.00	46.90
酱味	23.33	42.86	31.62	筋道	36.67	40.00	38.73
酱香味	26.67	27.50	26.46	塑料感	10.00	46.67	22.36
麻辣味	16.67	64.00	33.17	松软	26.67	45.00	34.64
香辣味	26.67	45.00	34.64	酥烂	16.67	36.00	24.49
香气扑鼻	40.00	40.00	40.00	橡皮感	6.67	20.00	10.00
咸味	23.33	48.57	33.17	纤维感	3.33	40.00	10.00

表 3 各主成分的累计方差贡献†

Table 3 Characteristic values, contributions and weight coefficient of principal components

主成分数	特征值	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.838	63.970	63.970
2	1.486	24.760	88.730
3	0.630	10.493	99.223
4	0.046	0.762	99.985
5	0.001	0.015	100.000

† Kaiser-Meyer-Olkin 度量为 0.647; Bartlett 的球形度检验 Sig.为 0.000。

的特征,可以表征产品感官品质的关键属性,具有典型的代表性。

2.1.3 相关性分析法再次筛选兰花干感官评价描述词

根据上述进一步研究得到的描述词,继续做相关性分析。邀请 10 名经感官培训的人员再次对上述筛选出的 6 个描述词分别做定义,选择程度参照物并给程度打分。主要描述词的定义见表 5,评分原则见表 6,得分表见表 7,各描述词间的相关性见表 8。

由表 8 可知,咬劲足和疏松的呈正相关,并且强度最大,相关系数  $r = 0.995$ ;弹性和柔韧两个描述词呈负相关,而且强度最大,相关系数  $r = -0.999$ 。为了能够最简单地概括扬州兰花干的感官指标,筛选出了最具有代表

表 4 描述词初始因子载荷矩阵表

Table 4 Initial factor loading matrix

描述词	成分		描述词	成分	
	1	2		1	2
金黄色	0.957	-0.245	不光滑的	0.961	-0.277
油亮	0.981	-0.190	疏松的	0.981	-0.160
油炸香味	0.953	-0.293	粗糙感	0.965	-0.248
香味	0.797	0.594	韧性	0.913	-0.399
鲜香味	0.870	0.481	弹性	0.984	0.065
香气扑鼻	0.939	0.260	咬劲足	0.774	0.628
多汁的	0.958	-0.280	柔韧	0.905	0.344

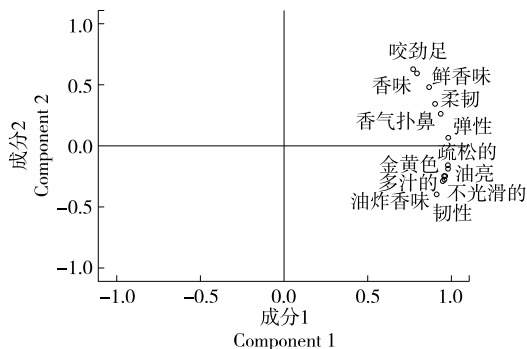


图 1 描述词的旋转空间成分图

Figure 1 Component spatial pattern analysis

表 5 主要描述词的定义表

Table 5 Definiation of mainly despritors

描述词	定义
咬劲足	样品咬入口中时能明显感觉到需要一定口腔力量
鲜香味	嗅觉器官能感受到的样品具有的香气特征
柔韧	样品入口咀嚼引起的破坏有较弱的抵抗性质
弹性	样品入口咀嚼过程中能感受到的机械质地
疏松的	样品表面能见的膨胀度 > 75%
油亮	样品表面可见的光泽

性的描述词:咬劲足、柔韧、鲜香味、油亮。

2.2 兰花干品质分析

硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性等物性参数是兰花干品

表 6 各主要描述词尺度的参考物

Table 6 Mainly reference

对应分值	咬劲足	鲜香味	柔韧	弹性	疏松的	油亮
0	—	—	—	—	—	—
1	—	—	鱼肉	—	馒头	薯条
2	米线	香菇	—	糯米糕	—	炸鸡
3	粽子	—	鸡肉	—	—	—
4	—	龙虾	—	果冻	—	—
5	牛肉	螃蟹	麻薯	QQ糖	红糖发糕	油条

表 7 各描述词相对应的样品的得分

Table 7 Corresponding point

样品编号	咬劲足	鲜香味	柔韧	弹性	疏松的	油亮
1	3.6	1.9	3.6	3.1	4.7	2.1
2	2.8	3.6	3.2	3.6	4.3	4.5
3	2.1	4.1	3.0	3.9	3.8	3.9
4	2.0	3.8	2.9	4.0	3.5	3.6
5	1.8	2.6	2.7	3.5	3.1	3.7

表 8 各描述词间的相关性

Table 8 Pearson correlation coefficient of descriptors

描述词	咬劲足	鲜香味	柔韧	弹性	疏松的	油亮
咬劲足	1.000					
鲜香味	-0.965	1.000				
柔韧	0.989	-0.993	1.000			
弹性	-0.995	0.987	-0.999	1.000		
疏松的	0.995	-0.933	0.968	-0.979	1.000	
油亮	-0.747	0.896	-0.839	0.812	-0.675	1.000

表 9 兰花干品质指标

Table 9 Analysis of nutritional components of different kinds of orchid dry

样品编号	硬度/N	黏附性/MJ	内聚性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/MJ	剪切力/N	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1	2.05	0.06	0.76	2.88	1.63	4.51	7.82	50.01	12.99	25.53
2	2.54	0.06	0.74	2.60	1.92	4.92	7.81	57.30	9.97	24.98
3	5.27	0.06	0.78	3.50	4.20	14.66	6.65	59.80	12.69	31.62
4	5.47	0.04	0.76	3.59	4.27	15.44	10.79	53.18	11.72	26.14
5	5.39	0.04	0.75	3.78	5.03	12.84	6.91	51.77	11.70	25.07

表 10 质构特性、剪切力和色差各因素间相关性分析<sup>†</sup>

Table 10 Pearson correlation coefficient among nutritional quality, shearing force and color shading

指标	硬度	黏附性	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性	剪切力	$L^*$	$a^*$	$b^*$
硬度	1.000									
黏附性	-0.691	1.000								
内聚性	0.418	0.185	1.000							
弹性	0.937*	-0.752	0.431	1.000						
胶黏性	0.977**	-0.739	0.324	0.964**	1.000					
咀嚼性	0.982**	-0.626	0.540	0.910*	0.926*	1.000				
剪切力	0.134	-0.473	-0.126	0.067	0.017	0.220	1.000			
$L^*$	0.209	0.438	0.319	-0.088	0.099	0.236	-0.285	1.000		
$a^*$	0.152	0.080	0.793	0.374	0.150	0.244	-0.152	-0.281	1.000	
$b^*$	0.418	0.346	0.894*	0.306	0.315	0.508	-0.318	0.699	0.479	1.000

† \*\* . 在 0.01 水平上显著相关; \* . 在 0.05 水平上显著相关。

质评价极为重要的指标。由表 9 可知,在 5 种样品中,4 号样品的硬度最大,为 5.47 N,显著大于其他样品;硬度最低的是样品 1,为 2.05 N。5 种样品的黏附性无显著差异,范围在 0.04~0.06 MJ。内聚性反映兰花干内部黏结的强度,3 号样品内聚性最大;咀嚼性数值由小到大反映食品咀嚼程度由易到难,4 号样品咀嚼性最大。3 号样品的  $L^*$  值和  $b^*$  值均为 5 种样品中最大,由此可知 3 号样品色泽光亮金黄,可作为兰花干色泽评价标准。

2.2.1 相关性分析 如表 10 所示,硬度和弹性呈显著正相关,相关系数为 0.937( $P < 0.05$ );硬度和胶黏性、咀嚼性呈极显著正相关,相关系数分别为 0.977( $P < 0.05$ ), 0.982( $P < 0.05$ );内聚性和  $b^*$  呈显著正相关,相关系数为 0.894( $P < 0.05$ );弹性和胶黏性、咀嚼性分别呈极显著正

相关和显著正相关, 相关系数分别为 0.964 ( $P < 0.05$ ), 0.910 ( $P < 0.05$ ); 胶黏性和咀嚼性呈正显著相关, 相关系数为 0.926 ( $P < 0.05$ )。因此, 硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性、色差等指标可以从客观上评价兰花干的品质。

2.2.2 主成分分析 对 5 种样品的 10 项指标采用主成分分析, 以特征值  $\lambda > 1$  为原则<sup>[16]</sup>。由表 11 可知, 第一主成分代表全部信息的 48.966%; 第二主成分和第三主成分包含了全部信息量的 28.081%, 14.424%。

表 11 主成分的特征值、贡献率和权重

Table 11 Characteristic values, contributions and weight coefficient of principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
PC1	4.897	48.966	48.966
PC2	2.808	28.081	77.047
PC3	1.442	14.424	91.471

由表 12 可知, 第一主成分主要包括咀嚼性、硬度、弹性和胶黏性的信息且在第一主成分上呈正向分布。在第一主成分中, 由于咀嚼性的载荷系数最大, 为 0.98, 且咀嚼性与硬度、弹性、胶黏性呈显著相关(表 10), 故选择咀嚼性为第一主成分代表指标。主成分 1 可命名为质构因子。第二主成分主要综合了  $b^*$ , 且在第二主成分上呈正态分布, 故选择  $b^*$  为第二主成分代表指标。主成分 3 主要综合了  $L^*$  和  $a^*$  的信息,  $L^*$  在第三主成分上呈正向分布, 载荷因子为 0.744;  $a^*$  在第三主成分上呈负向分布, 载荷因子为 -0.817。故选择  $L^*$  为第三主成分代表指标。主成分 3 可命名为色泽品质因子。综合以上分析, 从兰花干的质构特征因子和外在于品质因子最终筛选出咀嚼性、 $L^*$ 、 $b^*$  为兰花干综合品质的核心评价指标。

2.2.3 熵权法赋予指标权重 表 13 为通过熵权法得到各指标的权重, 可知咀嚼性、 $L^*$  和  $b^*$  的指标权重, 分别

表 12 主成分分析因子载荷矩阵

Table 12 Component load matrix after principal component analysis

指标	1	2	3
咀嚼性	0.980	-0.059	0.134
硬度	0.969	-0.143	0.202
弹性	0.955	-0.209	-0.107
胶黏性	0.939	-0.213	0.160
$b^*$	0.537	0.827	0.096
黏附性	-0.601	0.798	0.029
内聚性	0.607	0.689	-0.329
剪切力	0.092	-0.565	-0.088
$a^*$	0.389	0.425	-0.817
$L^*$	0.157	0.632	0.744

为 0.364 661, 0.304 287, 0.331 052; 其中咀嚼性的权重系数最大, 表明兰花干品质评价中咀嚼性对评价结果影响最大。

2.2.4 灰色关联度分析 由于指标单位的差异, 数据经无量纲化处理后组成单元序列  $\{x_{ij}\}$ , 计算出与参考序列相比较的关联度系数, 如表 14 所示。

由熵权法确定的各指标权重  $W_j$ , 计算出各品种加权关联度。样品的加权关联度越大, 表明与理想品种的品质越接近<sup>[17]</sup>, 结果见表 15。综合评价对兰花干的品质进行排名, 在 5 个品种中, 加权关联度最大的是 4 号样品, 说明 4 号样品是综合评价品质最好的品种。其次是 5 号和 3 号样品。

### 3 结论

(1) 根据感官剖面分析, 采用 M 值法、PCA 和相关性分析法并选择程度参照物进行程度打分, 最终选出咬劲足、柔韧、鲜香味和油亮 4 个描述词作为兰花干感官评价的关键性描述词, 能较准确描述兰花干的感官品质。

(2) 通过对 5 个品种兰花干的质构指标和色泽品质参数进行测定, 并对指标进行相关性分析、主成分分析和

表 13 指标的信息熵、指标权重

Table 13 Information entropy and index weight of indicators

指标	信息熵	指标权重
咀嚼性	0.989 344	0.364 661
$L^*$	0.991 108	0.304 287
$b^*$	0.990 326	0.331 052

表 14 指标灰色关联度系数

Table 14 Grey correlation coefficient of indexes

品种	咀嚼性	$L^*$	$b^*$
1	1.000 0	0.390 5	0.584 2
2	1.000 0	0.387 8	0.625 9
3	1.000 0	0.488 8	0.718 3
4	1.000 0	0.517 4	0.788 7
5	1.000 0	0.490 6	0.753 3

表 15 不同兰花干的加权关联度及综合排名

Table 15 Weighted correlation degree and comprehensive ranking of different kinds of orchid dry

品种	加权关联度	综合排名
1	0.676 9	4
2	0.689 9	5
3	0.751 2	3
4	0.783 2	1
5	0.763 3	2

灰色关联度分析,最终得出品种4和品种5排名靠前。

(3) 研究将主观评价和客观评价相结合,通过熵权法和灰色关联度法相结合的方法,对兰花干进行综合评价,在后续的研究中可以结合兰花干所含营养素和风味物质等方面,为兰花干品质评价指标的建立和完善提供指导。

### 参考文献

- [1] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.  
GONG L Y, MENG X J, LIU N Q, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 276-285.
- [2] ZOU J, LI P. Modelling of litchi shelf life based on the entropy weight method[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2020, 25: 100624.
- [3] 刘义富, 王加真, 单敏, 等. 不同绿茶干茶化学成分含量比较分析[J]. 现代农业科技, 2021, 1(8): 206-222.  
LIU Y F, WANG J Z, SHAN M, et al. Comparison and analysis of contents of chemical composition in different dry green teas[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021, 1(8): 206-222.
- [4] 朱莉莉, 魏骊霏, 杨芳, 等. 蜜枣在烘制过程中褐变相关因素分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 55-61.  
ZHU L L, WEI L F, YANG F, et al. Correlation analysis of browning of jujube during roasting[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 55-61.
- [5] LIU S L, ZHOU Y L, LIN P, et al. Box-Behnken response surface method for optimizing the alcohol extraction process of purple-red raw muscle ointment[J]. Journal of Hunan University of Traditional Chinese Medicine, 2021, 41(4): 528-535.
- [6] 李迪秦, 刘伊芸, 胡亚杰, 等. 不同基因型烤烟农艺性状与质量指标评价及灰色关联分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2020, 35(4): 643-650.  
LI D Q, LIU Y Y, HU Y J, et al. Evaluation and grey relational analysis between the agronomic characters and quality indicators of different genotypes flue-cured tobacco[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2020, 35(4): 643-650.
- [7] 杨丽娟, 付亮, 蒋志凯, 等. 2016—2018年度国家区试小麦品种品质性状灰色关联度分析与评价[J]. 中国农学通报, 2020, 36(19): 135-140.  
YANG L J, FU L, JIANG Z K, et al. The quality traits of new wheat varieties in south huanghuai winter-wheat region test during 2016—2018 based on grey relational analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(19): 135-140.
- [8] 魏常敏, 周文伟, 许卫猛, 等. 基于主成分和灰色关联度分析的鲜食糯玉米组合综合评价[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(7): 9-13.  
WEI C M, ZHOU W W, XU W M, et al. Comprehensive evaluation of fresh of edible waxy maize combinations based on principal component and gray correlation analysis[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2020, 48(7): 9-13.
- [9] 王承克, 张泽翔, 黄晓玮, 等. 高光谱成像的豆腐形成过程中组分含量变化检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(11): 3 549-3 555.  
WANG C K, ZHANG Z X, HUANG X W, et al. Detection of component content changes during tofu formation based on hyperspectral imaging technology[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2020, 40(11): 3 549-3 555.
- [10] 马春芳, 李顺秀, 徐冉, 等. 不同大豆原料对豆腐加工及品质的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 177-180.  
MA C F, LI S X, XU R, et al. Effect of different soybean materials on tofu processing and quality[J]. Food Industry, 2020, 41(12): 177-180.
- [11] 陈冷, 朱展望, 刘易科, 等. 小麦种子颜色测定的色差计法和目测法及对穗发芽抗性的鉴定效果[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(4): 424-429.  
CHEN L, ZHU Z W, LIU Y K, et al. Colorimeter method and visual method for determining the color of wheat grain and identification effect of resistance to pre-harvest sprouting[J]. Journal of Triticeae Crops, 2021, 41(4): 424-429.
- [12] 夏建新, 王海滨, 徐群英. 肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 145-149.  
XIA J X, WANG H B, XU Q Y. Correlation analysis between tenderness and texture of compound oat flour sausages[J]. Food Technology, 2010, 31(3): 145-149.
- [13] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 325.  
ZHANG Y T, FANG K T. Analyse statistique multivariate[M]. Beijing: Science Press, 1983: 325.
- [14] 包高良, 郭兆斌, 魏晋梅, 等. 响应面法优化泡椒牦牛黄喉制作工艺研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 250-254.  
BAO G L, GUO Z B, WEI J M, et al. Optimization of yak aortic with pickled peppers by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(1): 250-254.
- [15] 轩瑞瑞, 陈艳萍, 刘春菊, 等. 基于熵权法和灰色关联度法的鲜食糯玉米品质评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(14): 241-248.  
XUAN R R, CHEN Y P, LIU C J, et al. Quality evaluation of different varieties of fresh-edible waxy corns based on entropy weight method and grey interconnect degree analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(14): 241-248.
- [16] SHIN E C, CRAFT B D, PEGG R B, et al. Chemometric approach to fatty acid profiles in runner-type peanut cultivars by principal component analysis (PCA) [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1 262-1 270.
- [17] XIA X F, SUN Y, WU K, et al. Optimization of a straw ring-die briquetting process combined analytic hierarchy process and grey correlation analysis method[J]. Fuel Processing Technology, 2016, 152: 303-309.