

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241105002

应用模糊数学建立黄年糕感官评价模型

董荣建*, 刘君超, 兰丽春, 钱秀冬

(平阳县质量检验检测研究院, 温州 325400)

摘 要: **目的** 应用模糊数学建立科学的感官评价体系评价黄年糕品质。**方法** 本研究应用层次分析法和两两比较法等模糊数学方法建立黄年糕感官评价模型, 运用评价模型对 5 种黄年糕进行评判, 并结合色泽、元素成分和质构分析测试品质与感官评价之间的相关性进行分析。**结果** 筛选出 16 项评价指标, 归类为外观、气味、滋味和质地 4 大类, 确定权重集为(0.100, 0.199, 0.290, 0.411); 块形、色彩、光泽、细腻、无杂质作为外观的评价指标, 其权重集为(0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113); 以浓度、碱香、无异嗅作为香气的评价指标, 其权重集为(0.159, 0.589, 0.252); 碱味、苦涩味和无异味作为滋味的评价指标, 其权重集为(0.539, 0.297, 0.164); 爽滑、硬度、弹性、咀嚼性和无黏牙作为质地的评价指标, 其权重集为(0.345, 0.093, 0.249, 0.235, 0.078)。外观评分与 L^* 、 b^* 、 c^* 呈极显著正相关($r=0.716$ 、 0.837 、 0.852 , $P<0.01$), 与 a^* 呈极显著负相关($r=-0.803$, $P<0.01$); 气味评分、滋味评分与 K 和 Na 总量呈极显著负相关($r=-0.944$ 、 -0.925 , $P<0.01$); 质地评分与硬度、咀嚼性呈极显著负相关($r=-0.693$ 、 -0.718 , $P<0.01$), 与黏着性、黏着性/硬度呈显著正相关($r=0.619$ 、 0.618 , $P<0.05$)。**结论** 建立的黄年糕感官评价模型可以将模糊的评价变得数据化, 能准确合理地评判黄年糕的感官品质。

关键词: 黄年糕; 模糊数学; 感官; 评价

Establishment of the sensory evaluation model for yellow rice cakes using fuzzy mathematics

DONG Rong-Jian*, LIU Jun-Chao, LAN Li-Chun, QIAN Xiu-Dong

(Pingyang Institute of Quality Inspection & Testing, Wenzhou 325400, China)

ABSTRACT: Objective To objectively and accurately evaluate the quality of yellow rice cakes and establish a more scientific sensory evaluation system. **Methods** This article applied fuzzy mathematical methods such as analytic hierarchy process and pairwise comparison to establish a sensory evaluation model for yellow rice cakes. The evaluation model was used to evaluate 5 types of yellow rice cakes, and the correlation between quality and sensory evaluation was analyzed by combining color, elemental composition, and texture analysis. **Results** The 16 evaluation indicators were selected and classified into 4 categories: Appearance, odor, taste, and texture. The weight set was determined to be (0.100, 0.199, 0.290, 0.411); the evaluation criteria for appearance included block shape, color, luster, delicacy, and no impurities, with a weight set of (0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113); the evaluation

基金项目: 浙江省市场监督管理局科研计划项目(ZC2021B072)

Fund: Supported by the Research Plan Project of Zhejiang Provincial Administration for Market Regulation (ZC2021B072)

***通信作者:** 董荣建, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品及相关产品质量控制与安全检测。E-mail: dongkuijia@163.com

***Corresponding author:** DONG Rong-Jian, Master, Senior Engineer, Pingyang Institute of Quality Inspection & Testing, 1 Guangchang Road, Haixi Town, Wenzhou 325400, China. E-mail: dongkuijia@163.com

indicators for aroma were concentration, alkaline aroma, and no abnormal odor, with a weight set of (0.159, 0.589, 0.252); the weight set of alkaline taste, bitter taste, and no odor as evaluation indicators for taste were (0.539, 0.297, 0.164); smooth texture, hardness, elasticity, chewiness, and non stick teeth were used as evaluation indicators for texture, with a weight set of (0.345, 0.093, 0.249, 0.235, 0.078). The appearance score was significantly positively correlated with L^* , b^* and c^* ($r=0.716, 0.837, 0.852, P<0.01$), and significantly negatively correlated with a^* ($r=-0.803, P<0.01$); the odor score and taste score were significantly negatively correlated with the total amount of K and Na ($r=-0.944, -0.925, P<0.01$); the texture score was significantly negatively correlated with hardness and chewiness ($r=-0.693, -0.718, P<0.01$), the texture score was significantly positively correlated with adhesiveness and adhesiveness/hardness ($r=0.619, 0.618, P<0.05$). **Conclusion** The established sensory evaluation model for yellow rice cakes can turn fuzzy evaluations into data and accurately and reasonably evaluate the sensory quality of yellow rice cakes.

KEY WORDS: yellow rice cakes; fuzzy mathematics; sensory; evaluation

0 引言

黄年糕又名黄粿、黄米粿、黄金粿、黄板等,是我国典型的传统特色食品。因黄年糕具有鲜亮的色彩以及高韧性和特殊香气,深受广大消费者喜爱,在我国浙江省(平阳县、龙泉市、庆元县、遂昌县)、福建省东北部(松溪县、浦城县)以及客家地区等地广泛生产。黄年糕与普通年糕的加工过程大致相同,主要是泡米—打粉—蒸熟—揉压成型等工艺。两者主要的差别在于泡米用水不同,后者用饮用水,前者用柴灰水(先将灌木烧成灰,再沥取制得)。因柴灰中含有一定量的铝(Al)、镁(Mg)、锰(Mn)、铅(Pb)、铬(Cr)、镉(Cd)^[1],不符合现代食品生产许可的原辅料要求,黄年糕不能食品工业化、标准化生产。近年来,黄年糕的研究主要集中在工艺和配方^[2-3],关于产品的评价研究较少,工艺改进亟需一种客观、结果准确的评价方法。

感官评价通过人的味觉、触觉、视觉、嗅觉和听觉进行评价,在食品加工评价体系中发挥着至关重要的作用。感官感知是一个模糊的过程^[4],感官评价对多因素评价时,会受人的主观不稳定性因素的影响^[5-6]。模糊数学(fuzzy mathematics)是一种处理不确定性、难以精确变量和模糊性问题的数学工具,模糊数学感官评价法是指在模糊数学框架下进行感官评价的方法,对感官指标进行定量化和数学化的处理与分析,对多个因素可以做出一个更准确的评价^[6],建立的产品感官评价标准体系更为科学^[7]。近年来模糊数学感官评价法在米饭^[8-9]、咸面^[10]、馒头^[10-12]、面包^[13-16]、玉米饼^[16-17]等谷物制品中广泛应用。所以本研究将应用模糊数学建立黄年糕感官评价模型,对产品感官品质进行描述剖析,并结合色泽、元素成分和质构分析测试品质与感官评价之间的相关性进行分析^[18-19],以期对黄年糕的工艺改进和工业化生产提供理论参考和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

A(粳米+柴灰水)、B(粳米+少量柴灰水+少量 Na_2CO_3)、C(粳米+柴灰水+ Na_2CO_3)、D(大禾米+添加柴灰水)、E(粳米+柴灰水+少量 Na_2CO_3) 5 种黄年糕(市售);硝酸(UP 级,苏州晶锐有限公司);超纯水(实验室自制,Milli-Q 纯水机);高纯氩气(纯度 $\geq 99.999\%$,温州博纳特种气体有限公司);国家标准样品钾(K)(GSB 04-1733-2004)、国家标准样品钠(Na)(GSB 04-1738-2004)、国家标准样品 Al(GSB 04-1713-2004)、国家标准样品 Mg(GSB 04-1735-2004)、国家标准样品 Mn(GSB 04-1736-2004)(质量浓度 1000 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

1.2 主要仪器设备

NS800 分光色差仪(深圳市三恩驰科技有限公司);CT3-1000 质构仪(美国 Brookfield 公司);Optima8000 电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma-optical emission spectrometer, ICP-OES)[美国珀金埃尔默(PE)公司];Multiwave PRO 微波消解系统(奥地利安东帕有限公司);AR224CN 型电子天平[精度 0.1 mg,奥豪斯仪器(上海)有限公司]。

1.3 方法

1.3.1 黄年糕煮制处理

先测试样品水分,再将 10 g 左右的黄年糕样品分别采用水煮和隔水蒸 2、4、6、8、10、12、14 min,按公式(1)计算蒸煮损失率,以损失率为衡量指标,选取合适的煮制处理方式和时间。

蒸煮损失率/%=

$$\frac{\text{样品质量} \times (1 - \text{黄年糕水分含量}\%) - \text{蒸煮后黄年糕干质量}}{\text{样品质量} \times (1 - \text{黄年糕水分含量}\%)} \times 100\%$$

(1)

1.3.2 品评方法

将黄年糕切成 5 cm×2 cm×1 cm 大小的试样, 按 1.3.1 选取的方式熟制, 置于白色餐盘, 待品评。评价员在每次品评前用温开水漱口; 趁热将黄年糕置于鼻腔下方, 适当吸气, 辨别年糕的气味; 观察年糕表面的颜色、光泽; 用筷子取一片年糕放入口中, 边嚼边仔细品尝黄年糕的滋味和质地。

1.3.3 感官评价因素集建立

采用头脑风暴法, 发动招募拟参与评价的人员, 并收集尽可能多的适用于评价黄年糕的描述词, 参考 SB/T 10507—2008《年糕》和 GB/T 10221—2012《感官分析 术语》, 按外观、气味、滋味、质地进行归类制作描述词调查表。

评价小组的组建。为更有效建立感官描述词和感官剖面, 参照 GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分: 优选评价员》组建评价小组。招募 20 名具有食品检测经验和年糕加工经验的拟参与评价人员, 对拟参与评价人员进行培训, 差异评价参考 GB/T 17321—2012《感官分析方法 二-三点检验》、GB/T 12311—2012《感官分析方法 三点检验》, 描述评价参考 GB/T 16861—1997《感官分析 通过多元分析方法鉴定和选择用于建立感官剖面的描述词》和 GB/T 39625—2020《感官分析 方法学 建立感官剖面的导则》, 量值评估法参考 GB/T 19547—2004《感官分析 方法学 量值估计法》。再优选 8 名评价人员组成评价小组。参照 GB/T 16291.2—2010《感官分析 选拔、培训和管理评价员一般导则 第 2 部分: 专家评价员》选出评价组组长。

筛选感官描述词作为评价因素。参照 GB/T 16861—1997, 运用几何平均值 M 筛选描述词^[20-21]。筛选前, 组长负责向每位评价人员讲解评价内容和含义。评价人员将能感知的描述词勾选, 评价过程评价人员不能相互交流, 统计问答表做初步筛选。设计调查表, 评价人员按照 0~5 的感知程度标度对描述词做相应的强度评分, 评分按公式(2)计算几何平均值 M , 根据 M 值^[22]大小筛选感官剖面描述词。

$$M = \sqrt[n]{F \times I} \quad (2)$$

式中, F 为描述词实际的次数占该描述词总次数的百分率; I 为评价小组实际给出的一个描述词的强度占该描述词最大强度的百分率。

1.3.4 模糊数学感官评价模型建立

建立层次结构。建立系统的递阶层次结构, 分别为目标层、准则层和因素层三层结构, 目标层为黄年糕感官品质, 准则层为外观、气味、滋味和质地, 将确定的感官剖面描述词作为因素层, 并按目标层进行归类。

构建判断矩阵。评价小组成员采用两两比较法, 参考项谢季坚等^[23]伍亚华等^[24]的方法, 按照表 1 对同一层次

建比较矩阵 $G=(\alpha_{ij})_{n \times n}$, 见式(3)。

$$G = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, G 为判断矩阵; i, j 为为同一层次各因素, $i, j=1, 2, \dots, n$; α_{ij} 为第 i 个指标与第 j 个指标重要性之比。

表 1 评价指标两两比较的重要性评分标度

Table 1 Importance rating scale for pairwise comparison of evaluation indicators

B_i 比 B_j	绝对强	很强	强	稍强	相同	稍弱	弱	很弱	绝对弱
α_{ij}	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9

注: 在两个等级之间可依次用 8、6、4、2、1/2、1/4、1/6、1/8 将其量化; 各指标采用“等级平均”处理, 即 9 和 7 的差距与 1/9 和 1/7 的差距视为相等。

1.3.5 权重计算及一致性检验

按公式(4)先将判断矩阵 G 的每一列归一化, 得到矩阵 $B=(b_{ij})_{n \times n}$, 再将矩阵 B 的行求和, 得到特征向量 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。特征向量归一化即得同一层次各因素对上一层中某一因素的重要性权重。

$$b_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj}, i, j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$w_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}, i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

按公式(6)求出判断矩阵 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \quad (6)$$

式中, $(AW)_i$ 为 AW 的第 i 个分量。

在构造判断矩阵 A 时, 由评价小组成员两两比较判断, 为降低主观性和片面性的风险, 须进行一致性检验。一致性检验分层次单排序一致性检验和层次总排序一致性检验。按公式(7)求出一致性指标 CI , 根据元素个数 n 得 RI (表 2^[23]), 再用一致性比率 $CR=CI/RI$ 做因素层对准则层和准则层对目标层的层次单排序一致性检验指标。根据公式(8)求出因素层对目标层的组合一致性检验指标 C_R 。若 $CR<0.1$ 且 $C_{R \text{ 总}}<0.1$, 则认为判断矩阵满足一致性要求。

$$C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$C_R = \sum_{i=1}^m a_i C_i / \sum_{i=1}^m a_i R_i \quad (8)$$

表 2 随机一致性指标 RI 表

Table 2 Random consistency index RI table

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

1.3.6 感官评价评语等级的确定

评价小组开展讨论, 确定评语等级个数 n 。确定评语

等级集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 建立品质鉴别参考^[25]。

1.3.7 单项评分和综合评分计算

评价人员根据确定的评语等级分别对黄年糕的各感官评价因素进行评价, 将评语归一化处理得到公式(11), 根据公式(9)和(10)求出准则层的单项模糊评分和目标层的综合模糊评分。

$$Y_n = W_{An} \times R_{An} \times V \quad (9)$$

$$Y = W_G \times \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} \text{ 或 } Y = W_G \times \begin{pmatrix} W_{A1} \times R_{A1} \\ \vdots \\ W_{An} \times R_{An} \end{pmatrix} \times V \quad (10)$$

$$\text{其中 } R_{An} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{n5} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, Y_n 为第 n 个准则层的单项模糊评分; Y 为目标层的综合模糊评分; W_{An} 为因素层对应上一层准则层的权重集; W_G 为准则层对应目标层的权重集; V 为评语等级集; R_n 为第 n 个准则层的下一层因素评分矩阵; α 为因素层对应评分的归一化值。

1.3.8 色泽分析

使用色差计测定不同黄年糕样品切面的亮度 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 。

1.3.9 元素成分分析

试样前处理: 称取 0.2~0.5 g 试样于微波消解管中, 加入 8 mL 硝酸; 500 W 升温 10 min, 保持 5 min, 1200 W 升温 10 min, 保持 25 min, 进行超高压微波消解, 赶酸至 1 mL 后定容至 25 mL 待测。

ICP-OES 工作参数: 等离子体流量 15 L/min; 辅助气流量 0.2 L/min; 雾化气流量 0.55 L/min; 射频功率 1300 W; 读数延迟时间 30 s; 观测距离 15 mm。

1.3.10 质地剖面分析

将黄年糕切成 2 cm×2 cm×2 cm 大小的试样, 按 1.3.1 选取的方式熟制, 置于白色餐盘, 1 min 后用质构仪进行质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)测试。采用 TA10 探头, 测试速度 1 mm/s, 样品高度 20 mm, 压缩 10 mm, 停留间隔 2 s; 触发值 5 g。

1.4 数据处理

模糊数学采用 Microsoft Excel 2013 进行处理, 其余各指标测定最终数据取测定平均值, 应用 SPSS 22.0 统计软件对实验数据进行统计分析, 结果的差异性分析采用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)检验, 多重比较采用“Duncan”法。

2 结果与分析

2.1 黄年糕熟制处理

取 10 g 左右的黄年糕样品, 熟制方式分别采用水煮和隔水蒸 2、4、6、8、10、12、14 min, 测试得损失率如

图 1 所示。由图 1 可见, 黄年糕隔水蒸的损失率比水煮的稳定, 熟制方式选取隔水蒸。隔水蒸在 2 min、4 min 中间有较大硬块, 隔水蒸 6 min、8 min 切开, 内芯有微小硬块, 14 min 之后部分黄年糕表面会出现糊化现象。因此, 选取 10~12 min 隔水蒸方式作为熟制方式。

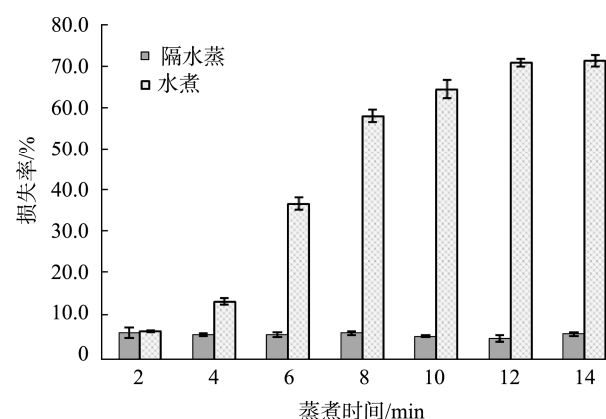


图 1 黄年糕不同时间的水煮和隔水蒸的损失率对比图

Fig.1 Comparison chart of loss rate of yellow rice cakes boiled and steamed separately at different times

2.2 感官评价指标的确定

招募 20 名拟参与评价人员并收集了 21 个感官描述词。在 20 名评价人员中优选 8 名组成评价小组, 这 8 名成员分别用 21 个描述词品评 7 个样品, 根据“0~5”尺度记录每个样品的描述词感知程度。每一个描述词最大可能的强度为 280(强度标度最大值 5 乘以样品数 7 乘以评价员数 8), 并计算 M 值, 结果见表 3。

M 值是感觉强度和频次的综合表现, 其值越大对感官评价的贡献越大^[22]。由表 3 可知, 粉粒、酸味、霉味、咸味、甜味、牙碜等 6 个描述词的 M 值较小, 均小于 0.1, 这些感官词出现的频次和感知的程度都低, 表明这 6 个描述词不适用于黄年糕感官品质。块形、色彩、光泽、细腻、浓度、碱香、碱味、爽滑、硬度、弹性、咀嚼性等 11 个描述词的 M 值较大, 均大于 0.6, 表明这些感官描述词适用于评价黄年糕感官品质。杂质、异嗅、涩味、异味、黏牙等 5 个词汇 M 值在 0.2~0.3 之间, 频率和强度虽然不是特别强, 但这些描述词的现象很容易被评价人员发现和区分, 并且它们的出现可能会造成黄年糕品质的严重缺陷。经评价小组讨论, 最后确认 16 个作为黄年糕品质的评价指标。

2.3 模糊数学感官评价的模型建立

将 16 个评价指标构造层次分析模型^[24], 黄年糕感官品质为目标层 G , 外观、气味、滋味、质地为准则层 A , 块形等 16 个描述词为因素层 B , 如图 2 所示。

表 3 感官剖面描述词的 M 值
Table 3 M-values of sensory profile descriptors

项目		标度						M 值
		0	1	2	3	4	5	
		没感觉	弱	稍弱	平均	稍强	强	
外观	块形	0	0	0	14	10	32	0.930
	粉粒	52	4	0	0	0	0	0.032
	色彩	0	0	0	22	25	9	0.868
	光泽	0	0	1	21	30	4	0.856
	细腻	0	12	15	11	18	0	0.725
	杂质	33	18	5	0	0	0	0.203
气味	浓度	0	0	13	12	21	10	0.837
	碱香	0	0	12	15	16	13	0.841
	酸味	49	5	1	1	0	0	0.067
	霉味	55	1	0	0	0	0	0.008
	异嗅	31	22	2	1	0	0	0.215
滋味	碱味	0	0	0	32	16	8	0.845
	涩味	35	5	8	8	0	0	0.245
	咸味	45	10	1	0	0	0	0.092
	甜味	52	2	1	0	1	0	0.045
	异味	30	22	3	1	0	0	0.227
质地	爽滑	0	6	14	8	20	8	0.797
	硬度	0	0	12	29	15	0	0.781
	弹性	0	0	0	8	42	6	0.890
	咀嚼性	0	0	0	12	37	7	0.884
	黏牙	34	10	8	2	2	0	0.237
	牙碜	52	2	2	0	0	0	0.039

通过评价小组成员采用两两比较法确定评价指标的权重, 将同一层次的各个因素与上一层次中对应因素的重要性进行比较, 构建判断矩阵, 计算权重、最大特征值 $\lambda_{\max}$ 、一致性指标 CI 和一致性比率 CR 。因素层 B 层关于准则层 A 层的计算结果见表 4~7, 准则层 A 关于目标层 G 计算结果见表 8, 因素层对准则层和准则层对目标层的层次单排序一致性检验指标 CR 均小于 0.1, 计算因素层对目标层的组合一致性指标 $C_{R\oplus} = \sum_{i=1}^m a_i C_i / \sum_{i=1}^m a_i R_i = 0.045 < 0.1$, 说明所得权重具有一致性^[26]。因素层 $B_1 \sim B_{16}$ 相对于准则层 $A_1 \sim A_4$ 的权重集分别为 $W_{A_1}(0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113)$ 、 $W_{A_2}(0.159, 0.589, 0.252)$ 、 $W_{A_3}(0.539, 0.297, 0.164)$ 、 $W_{A_4}(0.345, 0.093, 0.249, 0.235, 0.078)$, 准则层 $A_1 \sim A_4$ 相对于目标层 G 的权重集为 $W_G(0.100, 0.199, 0.290, 0.411)$ 。

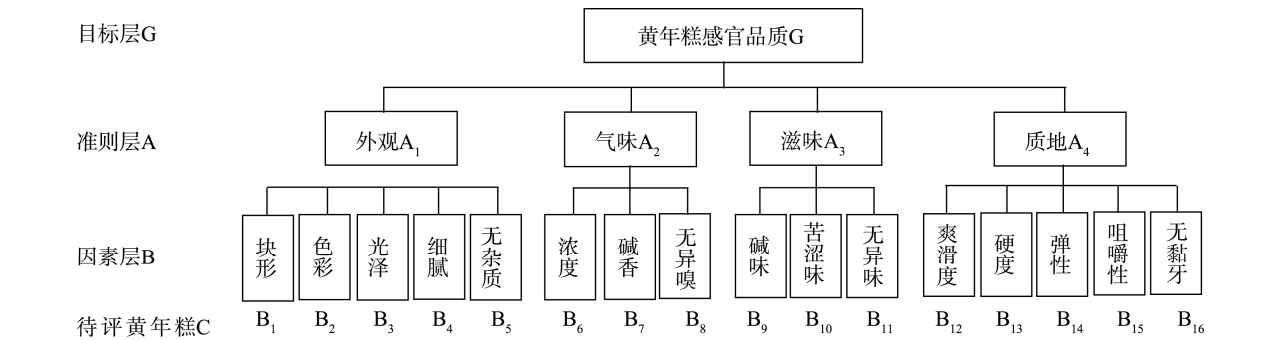


图 2 层次分析模型图
Fig.2 Analytic hierarchy process model

表 4 准则层 B₁~B₅ 关于上层 A₁ 构成 A₁-B 判断矩阵
Table 4 Criteria layers B₁-B₅ regarding the A₁-B judgment matrix composed by upper layer A₁

A ₁ -B 判断矩阵	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	权重
B ₁	1	1/4	1/3	2	1	0.105
B ₂	4	1	4	7	3	0.475
B ₃	3	1/4	1	5	3	0.252
B ₄	1/2	1/7	1/5	1	1/2	0.055
B ₅	1	1/3	1/3	2	1	0.113
$\lambda_{\max}=5.184, CI=0.046, RI=1.12, CR=0.041<0.1$						

表 5 准则层 B₆~B₈ 关于上层 A₂ 构成 A₂-B 判断矩阵
Table 5 Criteria layers B₆-B₈ regarding the A₂-B judgment matrix composed by upper layer A₂

A ₂ -B 判断矩阵	B ₆	B ₇	B ₈	权重
B ₆	1	1/3	1/2	0.159
B ₇	3	1	3	0.589
B ₈	2	1/3	1	0.252
$\lambda_{\max}=3.054, CI=0.027, RI=0.58, CR=0.046<0.1$				

表 6 准则层 B₉~B₁₁ 关于上层 A₃ 构成 A₃-B 判断矩阵
Table 6 Criteria layers B₉-B₁₁ regarding the A₃-B judgment matrix composed by upper layer A₃

A ₃ -B 判断矩阵	B ₉	B ₁₀	B ₁₁	权重
B ₉	1	2	3	0.539
B ₁₀	1/2	1	1	0.297
B ₁₁	1/3	1	1	0.164
$\lambda_{\max}=3.009, CI=0.005, RI=0.58, CR=0.008<0.1$				

表 7 准则层 B₁₂~B₁₆ 关于上层 A₄ 构成 A₄-B 判断矩阵
Table 7 Criteria layers B₁₂-B₁₆ regarding the A₄-B judgment matrix by upper layer A₄

A ₄ -B 判断矩阵	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	B ₁₅	B ₁₆	权重
B ₁₂	1	3	2	2	3	0.345
B ₁₃	1/3	1	1/5	1/4	2	0.093
B ₁₄	1/2	5	1	1	3	0.249
B ₁₅	1/2	4	1	1	3	0.235
B ₁₆	1/3	1/2	1/3	1/3	1	0.078
$\lambda_{\max}=5.266, CI=0.066, RI=1.12, CR=0.059<0.1$						

表 8 准则层 A 关于上层 G 构成 G-A 判断矩阵
Table 8 Criteria layers A regarding the G-A judgment matrix composed by upper layer G

G-A 判断矩阵	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	权重
A ₁	1	1/2	1/3	1/4	0.100
A ₂	2	1	2/3	1/2	0.199
A ₃	3	3/2	1	2/3	0.290
A ₄	4	2	3/2	1	0.411
$\lambda_{\max}=4.002, CI=0.001, RI=0.9, CR=0.001<0.1$					

2.4 感官质量单项和的综合判断

评价小组开展讨论, 确定黄年糕的评语等级个数 5, 确定评语集 $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}=\{\text{很好, 较好, 一般, 较差, 差}\}=\{100, 80, 60, 40, 20\}$, 品质鉴别参考见表 9。评价小组参考表 9 对 5 种黄年糕进行感官品评, 将 8 人评价结果归一化处理, 样品 A 准则层 R_{A1} 矩阵为:

$$R_{A1}=\begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, R_{A2}=\begin{pmatrix} 0 & 0.625 & 0.375 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$R_{A3}=\begin{pmatrix} 0.875 & 0.125 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.625 & 0.375 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, R_{A4}=\begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.375 & 0.625 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.875 & 0.125 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

权重 $W_{A1}(0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113)$ 、 $W_{A2}(0.159, 0.589, 0.252)$ 、 $W_{A3}(0.539, 0.297, 0.164)$ 、 $W_{A4}(0.345, 0.093, 0.249, 0.235, 0.078)$ 、 $W_G(0.100, 0.199, 0.290, 0.411)$ 、 R_{A1} 、 R_{A2} 、 R_{A3} 、 R_{A4} 代入公式(9)求得单项模糊得分为:

$$Y_1=W_{A1} \times R_{A1} \times V=(0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113) \times \begin{pmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{pmatrix}=83.0$$

依次求得 $Y_2=89.7, Y_3=90.5, Y_4=86.4$ 。

根据公式(10)求得综合模糊得分为:

$$Y=(W \times R) \times V=\begin{pmatrix} W_{A1} \times R_{A1} \\ W_{A2} \times R_{A2} \\ W_{A3} \times R_{A3} \\ W_{A4} \times R_{A4} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.202 & 0.631 & 0.167 & 0 & 0 \\ 0.351 & 0.408 & 0.241 & 0 & 0 \\ 0.313 & 0.485 & 0.202 & 0 & 0 \\ 0.070 & 0.609 & 0.321 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 100 \\ 80 \\ 60 \\ 40 \\ 20 \end{pmatrix}=89.5$$

依次求得 5 种黄年糕的单项和综合评分, 结果见表 10。综合评分 $B>A>E>D>C$, 单项评分为: 外观 $D>A>B>E>C$ 、气味 $B>D>A>E>C$ 、滋味 $B>A>D>E>C$ 、质地 $B>A>E>C>D$ 。5 种黄年糕的单项和综合评分做雷达图(图 3), 可见感官剖面轮廓不相同。因此, 采用模糊数学法建立的黄年糕感官评价模型能够区分黄年糕的感官品质差异。从单项评分分析, 外观最高为 D, 说明大禾米在外观上有一定的优势, 其余的单项评分气味、滋味、质地和综合评分最高都为 B, 说明粳米+少量柴灰水+少量 Na_2CO_3 具有一定的优势。

表 9 黄年糕各项评价指标品质鉴别参考

Table 9 Quality identification reference for various evaluation indicators of yellow rice cakes

评价内容	评价指标	感官评价品质鉴别参考				
		很好	较好	一般	较差	差
外观	块形	块形规则美观	块形规则	块形较规则	块形较不规则或有开裂	块形不规则或较多开裂
	色彩	杏黄亮丽均匀	杏黄较亮、均匀	杏黄较均匀	深黄色	深黄发暗
	光泽	有光泽	光泽较好	略有光泽	基本无光泽	发暗无光泽
	细腻	细腻光滑	较细腻	略有颗粒	略粗糙略不平	粗糙, 凹凸不平
	无杂质	无可见杂质	基本无杂质	无明显杂质	略有细小颗粒	有明显颗粒
气味	浓度	纯正浓郁	纯正较浓郁	香气纯正	香气略淡	香气淡
	碱香	碱香协调	碱香较协调	碱气尚协调	碱气略浓或略淡	碱气浓或淡
	无异嗅	无异嗅	基本无异嗅	无明显异嗅	略有异嗅	有异嗅
	碱味	碱味协调	碱味较协调	碱味基本协调	碱味略浓或略淡	碱味浓或淡
	苦涩味	可口甜醇, 无苦涩味	甜味较好, 无苦涩味	甜味尚可, 无苦涩味	略有苦涩味	有苦涩味
滋味	无异味	无异味	基本无异味	无明显异味	略有异味	有异味
	爽滑	爽口细腻顺滑	细腻较顺滑	较细腻较顺滑	略有粗糙感	有粗糙感
	硬度	硬度适宜	软硬较好	软硬尚可	略硬或略软	硬或软
	弹性	手指按压后立即恢复	手指按压后较快恢复	手指按压后可慢慢恢复	手指按压后需长时间恢复	手指按压后不恢复
	咀嚼性	有嚼劲, 咀嚼时间长	稍有嚼劲, 短时间咀嚼可以咽下	嚼劲尚可	略有疏松	疏松
质地	无黏牙	无黏牙	基本无黏牙	偶尔有黏牙, 可很快分离	有黏牙, 较易分离	有黏牙, 需费力分离

表 10 5 种黄年糕的模糊数学单项和综合评定结果

Table 10 Fuzzy mathematics single item and comprehensive evaluation results of 5 kinds of yellow rice cakes

样品	外观	气味	滋味	质地	综合评分
A	83.0	89.7	90.5	86.4	87.9
B	82.6	92.3	92.1	90.2	90.4
C	69.0	53.1	57.0	83.9	68.5
D	89.6	90.8	85.0	66.1	78.8
E	77.0	85.1	83.0	85.1	83.7

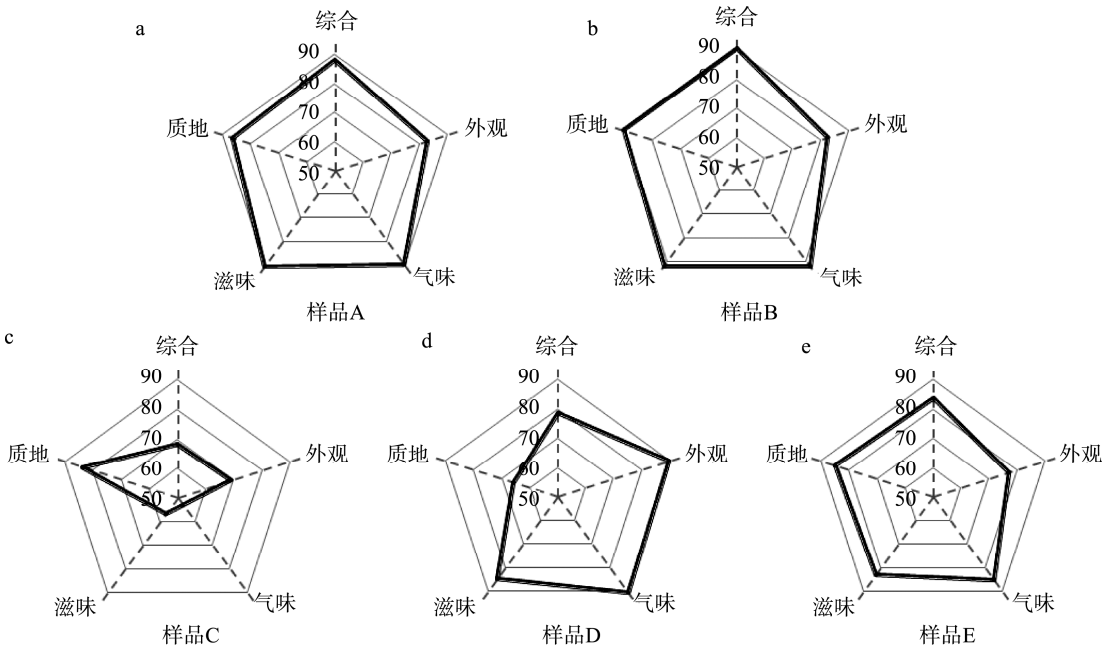


图 3 5 种黄年糕感官剖面雷达图

Fig.3 Sensory profile radar images of 5 kinds of yellow rice cakes

2.5 色泽测定结果

使用色差计测试黄年糕样品表面 L^* 、 a^* 、 b^* 、 c^* ，由表 11 可知， L^* 、 a^* 、 b^* 、 c^* 均具有显著性差异($P<0.05$)。 L^* 为明暗度^[27]，范围为 0(黑色)~100(白色)，明暗程度 $B>A>D>E>C$ ； a^* 和 b^* 反映色调， a^* 为红绿色度，范围为 -60(绿色)~60(红色)，表示样品 E 为红色，绿颜色由深到浅为 $D>B>A>C$ ； b^* 为黄蓝色度，取值范围为 -60(蓝)~60(黄)，5 种黄年糕黄色由深到浅为 $D>E>A>B>C$ ； c^* 为色饱和度，范围为 0(灰色)~100(颜色最饱和)，越高表示色彩越鲜艳， $D>E>A>B>C$ 。外观评分与 L^* 、 b^* 、 c^* 呈极显著正相关($r=0.716$ 、 0.837 、 0.852 ， $P<0.01$)，与 a^* 呈极显著负相关($r=-0.803$ ， $P<0.01$)。模糊数学建立的外观评价模型与色泽测定结果较一致。

表 11 5 种黄年糕色泽的测定结果
Table 11 Determination results of color of 5 kinds of yellow rice cakes

样品	L^*	a^*	b^*	c^*
A	68.85±1.41 ^b	-4.65±0.17 ^c	30.52±0.48 ^c	31.87±2.01 ^c
B	72.09±0.69 ^a	-6.04±0.27 ^d	26.43±2.13 ^d	27.12±2.02 ^d
C	57.10±2.59 ^c	-1.65±0.33 ^b	14.81±1.67 ^e	14.90±1.67 ^e
D	65.96±1.45 ^b	-7.58±0.64 ^e	52.58±1.86 ^a	53.13±1.93 ^a
E	59.82±2.05 ^c	0.36±0.52 ^a	35.27±0.47 ^b	35.28±0.47 ^b

注：同列中不同字母表示具有显著性差异($P<0.05$)，下同。

2.6 黄年糕中元素的测定结果

测定 5 种黄年糕中的元素含量，结果见表 12，各元素含量经方差分析， P 均小于 0.05，有显著性差异。5 种黄年

糕加工都添加了柴灰水，柴灰主要成分是 K_2CO_3 ^[1]，B、C、E 3 种样品还添加了 Na_2CO_3 。K 和 Na 总量，样品 C 的含量最高，样品 D 含量最低，样品 C 的含量比样品 D 的含量高了 2.27 倍。K 具有咸味和苦涩味，K 的含量和柴灰水的添加量有关，5 种黄年糕中样品 B 和 C 的 K 含量相对较低；Al 通常具有苦涩味，其含量大小顺序为 $D>E>A>C>B$ ；Mg 通常有苦味，其含量大小顺序为 $A>D>B>C>E$ 。滋味是一种综合味感，各滋味组分之间存在着叠消、变调、协同或是抑制等作用，不同滋味物质相互的比例结构亦会对滋味产生影响^[28-30]。气味评分、滋味评分与 K 和 Na 总量呈极显著负相关($r=-0.944$ 、 -0.925 ， $P<0.01$)，黄年糕的香气和滋味品质特征为碱香和碱味，加工过程需要添加一定量的碱，但过量的碱反而会使得黄年糕的碱香和碱味过重而评分降低，这与实际加工中添加过多柴灰水会使品质变差相一致^[31]。

2.7 TPA 质构分析结果

TPA 质构分析是通过质构仪探头模拟人口腔的咀嚼运动，对样品进行两次压缩，分析出硬度(hardness)、黏聚性(cohesiveness)、弹性(springiness)、黏着性(adhesion)、咀嚼性(chewiness)。通过 TPA 测定，得到各参数结果见表 13。经方差分析得出弹性和黏聚性差异不显著；硬度、咀嚼性、黏着性有显著性差异。质地评分与硬度、咀嚼性呈极显著负相关($r=-0.693$ 、 -0.718 ， $P<0.01$)，与黏着性、黏着性/硬度呈显著正相关($r=0.619$ 、 0.618 ， $P<0.05$)。这与刘敏等^[8]的研究相一致，硬度越小，黏聚性越好，食品内部结构更紧密，食品表面更易于与其他物质结合，口感更佳。

表 12 5 种黄年糕中元素的测定结果(mg/kg)
Table 12 Determination results of elements in 5 kinds of yellow rice cakes (mg/kg)

样品	K	Na	Al	Mg	Mn	K+Na
A	923.4±40.1 ^a	16.9±1.3 ^c	256.8±5.5 ^b	111.9±3.1 ^a	4.35±0.12 ^b	940.3±41.4 ^{cd}
B	506.3±24.1 ^c	526.6±34.3 ^b	71.4±6.2 ^d	66.4±2.5 ^c	3.56±0.08 ^c	1032.9±56.1 ^c
C	710.2±10.9 ^b	1317.8±25.9 ^a	212.0±24.0 ^c	49.7±2.2 ^d	3.27±0.17 ^c	2027.9±36.4 ^a
D	882.9±27.5 ^a	8.6±0.1 ^d	302.3±15.4 ^a	82.8±4.4 ^b	5.27±0.04 ^a	891.6±27.6 ^d
E	902.5±94.7 ^a	502.0±38.4 ^b	290.6±4.8 ^a	39.0±2.2 ^e	4.61±0.39 ^b	1404.5±132.9 ^b

表 13 5 种黄年糕质构的测定结果
Table 13 Determination results of texture of 5 kinds of yellow rice cakes

样品	硬度/N	黏聚性/mJ	弹性/%	咀嚼性/mJ	黏着性/N	黏着性/硬度
A	222.3±12.2 ^{ab}	0.82±0.02 ^b	0.90±0.03 ^a	163.3±6.3 ^{ab}	0.65±0.04 ^c	0.00300±0.00035 ^c
B	195.2±12.5 ^c	0.85±0.03 ^{ab}	0.90±0.04 ^a	149.8±19.9 ^b	3.33±0.17 ^a	0.01700±0.00100 ^a
C	191.0±13.7 ^c	0.87±0.02 ^{ab}	0.91±0.03 ^a	151.7±9.7 ^b	1.07±0.12 ^b	0.00560±0.00100 ^b
D	240.9±6.1 ^a	0.85±0.04 ^{ab}	0.90±0.02 ^a	185.8±12.3 ^a	0.24±0.02 ^d	0.00097±0.00003 ^d
E	204.3±15.4 ^{bc}	0.89±0.04 ^a	0.88±0.03 ^a	159.9±11.7 ^b	0.70±0.06 ^c	0.00350±0.00042 ^c

3 讨论与结论

本研究运用 M 值法筛选出 16 个用于评价黄年糕的评价指标, 采用层次分析法和两两比较法等模糊数学方法建立外观、气味、滋味和质地单项评价和综合评价模型, 确定外观、气味、滋味、质地的权重集为(0.100, 0.199, 0.290, 0.411)。外观项目包含块形、色彩、光泽、细腻和无杂质 5 项评价指标, 其权重集为(0.105, 0.475, 0.252, 0.055, 0.113); 气味项目包含浓度、碱香、无异嗅 3 项评价指标, 其权重集为(0.159, 0.589, 0.252); 滋味项目包含碱味、苦涩味和无异味 3 项评价指标, 其权重集为(0.539, 0.297, 0.164); 质地项目包含爽滑、硬度、弹性、咀嚼性和无黏牙 5 项评价指标, 其权重集为(0.345, 0.093, 0.249, 0.235, 0.078)。运用评价模型对 5 种黄年糕进行评判, 综合评分 $B > A > E > D > C$, 单项评分为: 外观 $D > A > B > E > C$ 、气味 $B > D > A > E > C$ 、滋味 $B > A > D > E > C$ 、质地 $B > A > E > C > D$ 。说明大禾米制作的黄年糕在外观评分上有一定的优势, 其余的单项评分气味、滋味、质地和综合评分最高都为 B, 说明用粳米+少量柴灰水+少量 Na_2CO_3 制作黄年糕具有一定的优势。

结合色泽、元素成分和质构分析测试品质与感官评价之间的相关性分析。外观评分与 L^* 、 b^* 、 c^* 呈极显著正相关($r=0.716$ 、 0.837 、 0.852 , $P<0.01$), 与 a^* 呈极显著负相关($r=-0.803$, $P<0.01$)。气味评分、滋味评分与 K 和 Na 总量呈极显著负相关($r=-0.944$ 、 -0.925 , $P<0.01$), 说明过量的碱会使香气评分和滋味评分降低。质地评分与硬度、咀嚼性呈极显著负相关($r=-0.693$ 、 -0.718 , $P<0.01$), 与黏着性、黏着性/硬度呈显著正相关($r=0.619$ 、 0.618 , $P<0.05$), 硬度越小, 黏聚性越好, 食品内部结构更紧密, 食品表面更易于与其他物质结合, 口感更佳。

综上所述, 本研究较客观地将黄年糕的块形、色彩、光泽、细腻和无杂质等 16 项评价指标以外观、气味、滋味和质地归类综合起来, 利用模糊数学建立感官评价模型, 将模糊化评价变得数据化, 评价结果更客观、准确。另外由于黄年糕属地方特色食品, 又受季节影响, 实验样品数量有限。下一步将扩大样品数量, 对感官评价模型进一步验证和修正。

参考文献

- [1] 应康, 曹耀. 黄元柴灰成分分析及应用安全性[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(24): 196–198.
YING K, CAO Y. Composition analysis and application safety of *Adinandra millettii* ash [J]. Anhui Agric Sci, 2019, 47(24): 196–198.
- [2] 平阳县质量检验检测研究院. 一种无铝黄糕制作方法和设备: 中国, CN202110151505.8[P]. 2021-06-01.
Pingyang Institute of Quality Inspection & Testing. A method and equipment for making yellow rice cake without aluminum component: China, CN202110151505.8 [P]. 2021-06-01.
- [3] 曹耀, 张冬, 黄赣辉, 等. 复合改良剂对黄元米果食用品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(13): 171–175, 206.
CAO Y, ZHANG D, HUANG GH, et al. Effect of compound modifier on edible quality of Huangyuan rice cake [J]. Anhui Agric Sci, 2020, 48(13): 171–175, 206.
- [4] 凌思兰. 食品感官评价中的模糊数学应用分析——评《食品感官评价方法及应用》[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 305.
LING SL. Analysis of fuzzy mathematics application in food sensory evaluation—Review of *Methods and applications of food sensory evaluation* [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(16): 305.
- [5] 朱由珍, 吉薇, 吉宏武, 等. 基于模糊数学评价法优化木瓜脆片真空油炸工艺[J]. 食品工业科技, 2017(18): 183–188.
ZHU YZ, JI W, JI HW, et al. Optimization on vacuum frying technology of papaya chips based on fuzzy mathematics sensory evaluation [J]. Sci Technol Food Ind, 2017(18): 183–188.
- [6] 崔立柱, 付依依, 刘士伟, 等. 基于模糊数学感官评价法沙棘饼干烘焙工艺优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(15): 163–169.
CUI LZ, FU YY, LIU SW, et al. Optimization for baking process of sea-buckthorn biscuits based on sensory evaluation of fuzzy mathematics [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(15): 163–169.
- [7] 秦献泉, 李鸿莉, 李冬波, 等. 基于模糊综合评价法的荔枝酒感官评价研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(6): 1443–1447.
QIN XQ, LI HL, LI DB, et al. Study on litchi wine sensory evaluation based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. Southwest China J Agric Sci, 2016, 29(6): 1443–1447.
- [8] 刘敏, 谭书明, 张洪礼, 等. 基于模糊感官评价对大米感官品质分析[J]. 食品工业科技, 2017, 38(21): 247–251.
LIU M, TAN SM, ZHANG HL, et al. Sensory quality analysis of rice based on fuzzy sensory evaluation [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(21): 247–251.
- [9] 袁芳, 李丽, 李想, 等. 基于模糊数学感官评价法优化紫色糯米饭的工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(6): 112–117, 123.
YUAN F, LI L, LI X, et al. Optimization of purple glutinous rice processing technology based on fuzzy mathematics sensory evaluation method [J]. Cere Oils, 2021, 302(6): 112–117, 123.
- [10] LIU R, SOLAH VA, WEI YM, et al. Sensory evaluation of Chinese white salted noodles and steamed bread made with Australian and Chinese wheat flour [J]. Cere Chem, 2019, 96(1): 66–75.
- [11] ZHAO BB, DENG JW, LI M Y, et al. Preparation and quality evaluation of potato steamed bread with wheat gluten [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(8): 3989–3998.
- [12] 刘士伟, 王成祥, 段盛林, 等. 基于模糊数学感官评价的杂粮馒头配方优化及低 GI 验证[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 375–380.
LIU SW, WANG CX, DUAN SL, et al. Research on formula optimization and low-GI verification of coarse grain steamed bread based on fuzzy mathematics sensory evaluation [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(21): 375–380.
- [13] 吕俊丽, 任志龙, 云月英, 等. 基于模糊数学法的辣木籽杂粮面包配方优化及其品质分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 167–174.
LV JL, REN ZL, YUN YY, et al. Formulation optimization and quality analysis of *Moringa* seed multigrain bread based on fuzzy mathematics [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(23): 167–174.
- [14] BOLANIRAN T, AROTUPIN D, AFOLAMI OI, et al. Sensory evaluation assessment of bread produced with composite flour fermented by baker's

- yeast in Akure, Nigeria [J]. Asia J Adv Agric Res, 2017, 4(1): 1–9.
- [15] MITIKU DH, ABERA S, BUSSA N, *et al.* Physico-chemical characteristics and sensory evaluation of wheat bread partially substituted with sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) flour [J]. British Food J, 2018, 120(8): 1764–1775.
- [16] SEETHARAMAN K, CHINNAPHA N, WANISKA D, *et al.* Changes in textural, pasting and thermal properties of wheat buns and tortillas during storage [J]. J Cere Sci, 2002, 35(2): 215–223.
- [17] 肖志刚, 周廉舜, 王丽爽, 等. 基于模糊数学综合评价法的改性紫薯饼干的制备工艺优化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 170–177.
- XIAO ZG, ZHOU LS, WANG LS, *et al.* Optimization on the processing technology of modified purple sweet potato biscuits based on fuzzy mathematics comprehensive evaluation method [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(7): 170–177.
- [18] 范正利, 黄艳青, 陈坚, 等. 岱麓族大黄鱼质构特性与感官评价的相关性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(8): 83–89.
- FAN ZL, HUANG YQ, CHEN J, *et al.* Correlation analysis between texture and sensory evaluation of Daiqu group *Pseudosciaena crocea* [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(8): 83–89.
- [19] 苗丁月, 郭子聪, 于基成, 等. 菊花茶果冻质构特性与感官评价相关性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(15): 3984–3991.
- MIAO DY, GUO ZC, YU JC, *et al.* Research on correlation between texture and sensory evaluation of inulin scented tea jelly [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(15): 3984–3991.
- [20] 李懿霖, 王思思, 靳安文, 等. 鲜食玉米的感官描述词建立及感官品质特性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(14): 273–281.
- LI YL, WANG SS, JIN ANW, *et al.* Establishment of sensory descriptors and analysis of sensory quality characteristics of fresh corn [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(14): 273–281.
- [21] 岳营峰, 史波林, 赵镭, 等. 辣条感官描述词的建立及感官特征比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2728–2735.
- YUE YF, SHI BL, ZHAO L, *et al.* Establishment of sensory descriptive vocabulary of spicy strip and the comparison of sensory characteristics [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(9): 2728–2735.
- [22] 包高良, 刘亚娜, 韩冬洁, 等. 应用模糊数学建立油淋牦牛干巴的感官品质评价体系[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 287–293.
- BAO GL, LIU YN, HAN DJ, *et al.* Establishment of sensory evaluation system for frying of dry-cured yak meat based on fuzzy mathematics [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(15): 287–293.
- [23] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用(第四版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
- XIE JJ, LIU CP. Fuzzy mathematics methods and their applications (fourth edition) [M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2000.
- [24] 伍亚华, 姜绍通, 许晖, 等. 基于层次分析法的宣木瓜果脯感官质量模糊综合评判研究[J]. 食品工业科技, 2012(12): 159–162.
- WU YH, JIANG ST, XU H, *et al.* Research on fuzzy comprehensive evaluation of sensory quality of dried papaya based on analytic hierarchy process [J]. Sci Technol Food Ind, 2012(12): 159–162.
- [25] 郑玲燕, 杨婷婷, 王旭, 等. 基于感官评价的常见菜心品质分级方法建立[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 50–56.
- ZHENG LY, YANG TT, WANG X, *et al.* Establishment of quality grading method of common flowering Chinese cabbage based on sensory evaluation [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(4): 50–56.
- [26] 李鑫, 丁云爽, 张超华, 等. 机械脱皮白胡椒的品质评价及风味分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 268–279.
- LI X, DING YS, ZHANG CH, *et al.* Quality assessment and flavor analysis of mechanically decorticated white pepper [J]. Mod Food Sci Technol, 2023, 39(7): 268–279.
- [27] 钱婉婷, 苏云娇, 张豪杰, 等. 不同水质特性及对茶类感官品质和 $L^*a^*b^*$ 色泽的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(2): 324–330.
- QIAN WT, SU YJ, ZHANG HJ, *et al.* Properties of water and its effects on tea sensory quality and $L^*a^*b^*$ [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(2): 324–330.
- [28] 丁涌波, 罗东升, 陈光静, 等. 花椒精油的苦味成分鉴定[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 74–80.
- DING YB, LUO DS, CHEN GJ, *et al.* Identification of bitter-tasting components in zanthoxylum essential oils [J]. Food Sci, 2017, 38(24): 74–80.
- [29] DONG RJ, SHENG XH, XIE QT, *et al.* Aroma formation and transformation during sealed yellowing process of Pingyang yellow tea [J]. Food Res Int, 2023, 165: 112535.
- [30] 董荣建, 黄晓琳, 苏中翔, 等. 平阳黄汤黄茶特征滋味的形成[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(2): 338–341.
- DONG RJ, HUANG XL, SU ZX, *et al.* Formation of characteristic flavor of Pingyang yellow tea [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2022, 63(2): 338–341.
- [31] 陈佩佩, 方道增, 季圣阳, 等. 吴垟特色黄年糕的加工工艺[J]. 农产品加工, 2010(10): 71–72.
- CHEN PP, FANG DZ, JI SY, *et al.* The processing technology of Wuyang's characteristic yellow rice cake [J]. Farm Prod Process, 2010(10): 71–72.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)

作者简介

董荣建, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品及相关产品质量控制与安全检测。
E-mail: dongkuijia@163.com