

干红葡萄酒理化指标-感官评价模型构建

姜 卓¹, 孔依诺¹, 史竞男¹, 沙 坤^{1,2,*}

(1.中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2.烟台市葡萄酒风味技术重点实验室, 山东 烟台 264670)

摘 要: 为突破单维度评价体系难以全面表征干红葡萄酒品质的局限并构建科学高效的品质评价方法, 本研究系统测定39款干红葡萄酒的16项理化指标, 并采用模糊数学法对其进行感官评价, 结合主成分分析(PCA)、层次聚类分析(HCA)与支持向量机(SVM)模型解析干红葡萄酒理化特性与感官品质的关联机制。结果表明, PCA提取的5个主成分可有效表征酒体关键品质维度; HCA将酒样划分为5类典型风格, 5类干红葡萄酒的综合感官评分为64.69~80.94; SVM感官评分预测模型的决定系数均大于0.85, 均方误差(MSE)范围为0.003 5~0.073 7, 充分验证了干红葡萄酒理化指标对感官品质的可解释性。融合理化指标客观性与感官评价直观性的多元模型为干红葡萄酒的数字化品控提供了新工具, 对指导葡萄酒生产工艺优化和市场精准定位具有重要实践意义。

关键词: 干红葡萄酒; 质量评价; 理化指标; 模糊数学感官评价; 支持向量机; 预测模型

Construction of Physicochemical Indexes-Sensory Evaluation Model for Dry Red Wine

JIANG Zhuo¹, KONG Yinuo¹, SHI Jingnan¹, SHA Kun^{1,2,*}

(1. Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai 264670, China;

2. Yantai Key Laboratory of Wine Flavour Technology, Yantai 264670, China)

Abstract: To overcome the limitation that single-dimensional evaluation systems cannot fully characterize the quality of dry red wine and establish a scientific and efficient quality evaluation method, 16 physicochemical indicators of 39 dry red wine samples were systematically determined and the sensory evaluation was conducted using the fuzzy mathematics method. The correlation mechanism between physicochemical properties and sensory quality was analyzed by principal component analysis (PCA), hierarchical clustering analysis (HCA), and support vector machine (SVM) model. The results showed that the five principal components extracted by PCA could effectively characterize the key quality dimensions of the wine body; HCA divided the wine samples into five typical styles and the comprehensive sensory scores of the five categories of dry red wine were 64.69–80.94; the determination coefficients of the SVM sensory score prediction models were all greater than 0.85, and the mean square error (MSE) ranged from 0.003 5 to 0.073 7, which fully verified the interpretability of the physicochemical indicators of dry red wine for sensory quality. This multivariate model integrated the objectivity of physicochemical indicators and the intuitiveness of sensory evaluation, providing a new tool for the digital quality control of dry red wine, and had important practical significance for guiding the optimization of wine production processes and precise market positioning.

Keywords: dry red wine; quality evaluation; physicochemical indicator; fuzzy mathematics sensory evaluation; support vector machine; prediction model

DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.027

中图分类号: TS262.6; TP181

文献标志码: A

文章编号: 0254-5071 (2026) 04-0201-07

引文格式:

姜卓, 孔依诺, 史竞男, 等. 干红葡萄酒理化指标-感官评价模型构建[J]. 中国酿造, 2026, 45(4): 201-207. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.027. <http://www.chinabrewing.net.cn>

收稿日期: 2025-10-29

基金项目: 基于现代产业学院目标要求的葡萄与葡萄酒工程专业建设项目

第一作者简介: 姜卓(2004—), 女, 学士, 研究方向为葡萄与葡萄酒工程。E-mail: 13370806093@163.com

*通信作者简介: 沙坤(1978—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品加工与质量安全。E-mail: kun.sha@163.com

JIANG Zhuo, KONG YINUO, SHI JINGNAN, et al. Construction of physicochemical indexes-sensory evaluation model for dry red wine[J]. China Brewing, 2026, 45(4): 201-207. (in Chinese with English abstract) DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.027. <http://www.chinabrewing.net.cn>

干红葡萄酒是以红色鲜葡萄或葡萄汁为原料,经全部或部分发酵酿制而成的,具有一定乙醇体积含量且含糖量不大于40 g/L的发酵酒^[1-2],其品质直接决定了葡萄酒的市场竞争力和产品附加值^[3]。干红葡萄酒品质评价体系包括酒的理化特性与感官评价,故二者间的关联机制解析是葡萄酒风味科学领域的重要研究方向。基于单一维度的评价体系,客观的理化指标无法直接反映消费者对酒体平衡度的感知^[4];而感官评价虽能捕捉风味特征却易受个体差异和环境因素影响^[5-6]。因此,近年来通过多维数据融合进行的葡萄酒品质评价研究取得重要进展,如Baker等^[7]通过脱醇西拉葡萄酒模型研究证实乙醇浓度提升可延长甜椒味、椰子味及花香余味持续时间,并且与感官接受度呈正相关,单宁浓度增加虽能延长甜椒余味,但导致添加风味化合物的整体感官接受度降低;Tang Ke等^[8]通过偏最小二乘回归分析建立了黄土高原赤霞珠葡萄酒感官-香气化合物定量关系模型,指出芳樟醇、乙酸异戊酯浓度与红色水果香气呈正相关,而3-巯基己醇等硫化物可能存在香气掩蔽效应;Rubén等^[9]研究表明3-甲基-1-丁醇会产生负面青草香,高浓度芳樟醇贡献特征花香,乙酸异戊酯与 β -苯乙醇乙酸酯主导香蕉-玫瑰复合香型,威士忌内酯及香草醛赋予香草-椰子香,4-乙烯基愈创木酚可能导致烟熏异味等。此类研究为理化特性与感官评价的关联机制解析奠定了基础。

以传统线性回归为基础构建的单一评价体系^[10-12]难以解析理化-感官间高阶交互作用。因此,建立基于多元数据融合的理化-感官关联模型,对酿酒工艺的精准调控具有重要价值^[13]。Bai Xueting等^[14]采用K均值聚类算法,对经降维处理的理化指标进行分析,实现了供试红葡萄酒的风格分类;陈鑫龙等^[15]通过系统检测葡萄酒中多酚类物质并探究其与感官评价的相关性,初步建立了干红葡萄酒味觉质量的多酚表征体系。

本研究将模糊数学感官评价与理化指标主成分分析(principal component analysis, PCA)及层次聚类分析(hierarchical clustering analysis, HCA)相结合,采用支持向量机(support vector machines, SVM)预测模型解析39款干红葡萄酒样品的理化指标与感官评分的关联机制,综合理化指标的科学性和消费者感知的直观性,旨在构建更加科学高效的干红葡萄酒质量评价体系,为葡萄酒市场定位和消费者决策提供可靠依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本研究选取39款市售干红葡萄酒,覆盖多个品种,产地涉及山东、河北、山西、宁夏贺兰山等主要产区,年份跨度2015—2025年,售价为25.9~998元/750 mL,确保样本具有空间代表性。供试酒样信息见表1。

表1 39款供试葡萄酒样信息

Table 1 Information on 39 tested wines samples

编号	品种	产地	年份
1	解百纳系列	张家口	2017
2	赤霞珠	烟台	2020
3	解百纳系列	烟台	2018
4	赤霞珠	烟台	2023
5	赤霞珠	烟台	2018
6	赤霞珠	秦皇岛	2016
7	解百纳系列	张家口	2015
8	赤霞珠	烟台	2024
9	西拉	烟台	2023
10	西拉、品丽珠、美乐	烟台	2018
11	品丽珠	西安	2024
12	赤霞珠	贺兰山东麓	2017
13	赤霞珠、品丽珠	乡宁	2015
14	西拉	烟台	2022
15	赤霞珠、美乐、品丽珠	乡宁	2018
16	西拉、品丽珠、美乐	烟台	2019
17	赤霞珠	烟台	2022
18	品丽珠、西拉、赤霞珠	烟台	2019
19	赤霞珠、美乐	乡宁	2022
20	赤霞珠、马瑟兰	焉耆	2025
21	美乐	怀来	2025
22	蛇龙珠、赤霞珠	伊犁	2023
23	解百纳系列	烟台	2022
24	解百纳系列	烟台	2021
25	品丽珠、西拉、赤霞珠	烟台	2019
26	西拉	烟台	2019
27	赤霞珠、美乐、丹菲特	银川	2023
28	赤霞珠	碣石山	2023
29	赤霞珠	张家口	2023
30	解百纳系列	烟台	2021
31	赤霞珠	贺兰山东麓	2022
32	马瑟兰	贺兰山东麓	2022
33	马瑟兰	贺兰山东麓	2023
34	赤霞珠	巴州	2017
35	西拉	贺兰山东麓	2022
36	赤霞珠	贺兰山东麓	2021
37	赤霞珠、蛇龙珠	贺兰山东麓	2021
38	西拉	贺兰山东麓	2021
39	赤霞珠、品丽珠、美乐、马瑟兰	乡宁	2019

硫酸铵(分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;
甲基纤维素(分析纯) 天津大茂化学试剂有限公司;

(-)-表儿茶素标准品 (纯度 $\geq 97\%$) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

Lyza 5000 Wine全自动葡萄酒分析仪 奥地利Anton Paar有限公司; KQ3 200DE数控超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; EVO 300紫外分光光度计 美国Thermo Fisher Scientific公司; TDL-50B台式离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 理化指标测定

使用全自动葡萄酒分析仪测定成品葡萄酒的乙醇、可滴定酸、挥发酸、酒石酸、苹果酸、乳酸、葡萄糖酸、pH值、密度、固形物、总糖、葡萄糖、果糖、丙三醇、总多酚共15项基本理化指标。单宁含量的测定采用甲基纤维素沉淀法^[16]并稍作改动,结果以(-)-表儿茶素当量计。

1.3.2 感官评价

葡萄酒感官品评小组由8名酒龄2年以上,专业知识丰富且经过系统品酒培训的葡萄酒专业学生组成,在标准葡萄酒品尝室完成感官品评。品评前进行3轮校准训练,采用标准酒样评估评审员辨别力。品评时采用红酒杯随机编号、间隔清水漱口、控制环境温度等措施降低系统误差。品评小组参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》^[17]并结合文献^[18-19]对葡萄酒进行评价,感官评价标准见表2。

表2 干红葡萄酒感官评价标准
Table 2 Sensory evaluation criteria for dry red wine

评价指标	评价标准	等级
外观	澄清透亮,呈现深紫红色	U_1
	澄清透亮,呈现紫红色	U_2
	澄清、略失光,呈现淡宝石红色	U_3
	浑浊、失光,有明显色素沉淀	U_4
香气	浓郁复杂,成熟果香突出,无明显的挥发酸气味	U_1
	较协调,具有成熟果香,无明显的挥发酸气味	U_2
	薄弱,无明显的挥发酸气味	U_3
	很弱,有明显挥发酸气味	U_4
滋味	单宁充沛,口感圆润丰满,酒体结构紧实,余味悠长	U_1
	单宁强健,口感柔顺,酒体口感平衡,余味较长	U_2
	略带沙粒感、生青感,口感较为单一,余味略短	U_3
	单宁僵硬,酸味不平衡,酒体失去平衡,余味极短	U_4
典型性	香气浓郁复杂,具有典型香气和醇香	U_1
	香气较浓郁,具有典型香气和醇香	U_2
	香气舒适,典型香气和醇香略淡	U_3
	果香不明显,口感粗犷,没有典型性	U_4

注: U_1 :优; U_2 :良; U_3 :合格; U_4 :不合格。

1.3.3 模糊数学感官评价模型构建

模糊数学感官评价是一种定量感官评分数据的有效方法,能够综合主观意见,得到更客观准确的评价^[20]。

本研究参考文献^[19,21-23]建立的模糊数学评价体系对样品的感官数据进行量化分析。首先对感官评价票数进行归一化处理,构建单因素评价矩阵。设第 k 个酒样($k=1, 2, \dots, 39$)在评价因素集 $X=\{\text{外观}(X_1), \text{香气}(X_2), \text{滋味}(X_3), \text{典型性}(X_4)\}$ 上的评语等级票数分布为:

$$A_k = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $r_{ij}=n_{ij}/8$, 表示第 i 个评价因素获得第 j 等级票数的归一化比例, n_{ij} 为对应票数。

其次根据GB/T 15038—2006标准确定权重集 $L=(0.1, 0.3, 0.4, 0.2)$, 通过矩阵运算获得综合评判向量:

$$Y_k = L \times A_k = (y_{k1}, y_{k2}, y_{k3}, y_{k4}) \quad (2)$$

式中: y_{kj} 表示酒样 k 在 j 等级的综合隶属度。

设定评语等级赋值向量 $U=(U_1, U_2, U_3, U_4)=(90, 75, 60, 45)$, 计算酒样感官综合评分(T_k):

$$T_k = \sum_{j=1}^4 (U_j \times y_{kj}) = 90y_{k1} + 75y_{k2} + 60y_{k3} + 45y_{k4} \quad (3)$$

1.3.4 数据建模与分析

本研究基于MATLAB R2021a系统开展数据分析工作。首先,对16项理化指标参数进行Z-score标准化消除量纲影响,对各项感官评价得分进行归一化处理,采用皮尔逊相关系数(双尾检验, $P<0.05$)分析16项理化指标与4项感官评分的线性关联性;随后对理化指标进行PCA,提取累计方差贡献率不小于80%的PC;最后根据提取的PC和4项感官评分计算遗传距离并采用离差平方和法对39款葡萄酒的理化-感官数据矩阵进行HCA。

SVM是建立在统计学习理论基础上的模式分类方法^[24-25],其原理是寻找满足分类要求的超平面,使该超平面与训练样本间隔最大^[26],在解决小样本和非线性识别问题中表现出许多优势^[27-28]。为进一步探究理化指标与感官品质的关联机制,本研究构建SVM模型,最终通过均方误差(mean square error, MSE)和决定系数(R^2)评估模型预测精度。MSE用于衡量模型预测偏差,数值越小,预测精度越高; R^2 用于衡量模型对因变量变异的解释能力,数值越接近1,模型拟合效果越好。

1.4 数据处理

采用MATLAB R2021a系统和Hiplot Pro生物医学可视化平台处理数据并绘图。

2 结果与分析

2.1 市售干红葡萄酒的模糊数学感官评价

由图1可知,酒样23感官评分最高,为84,显著高于其他类别;酒样6感官评分最低,为62.06。

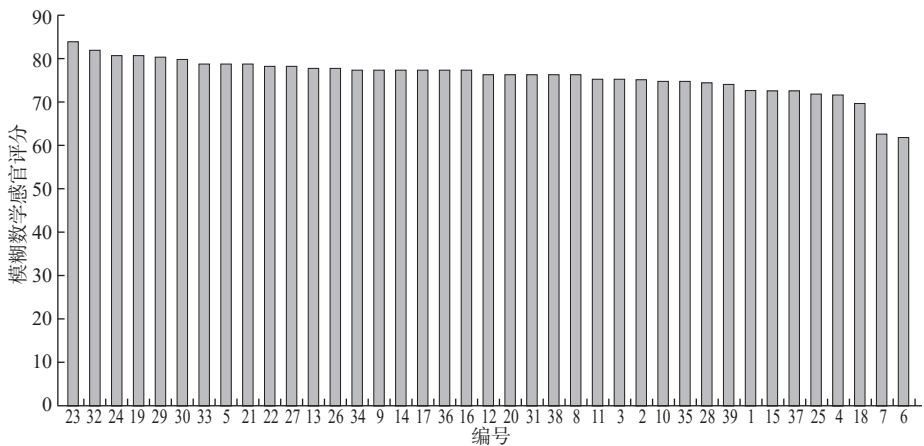
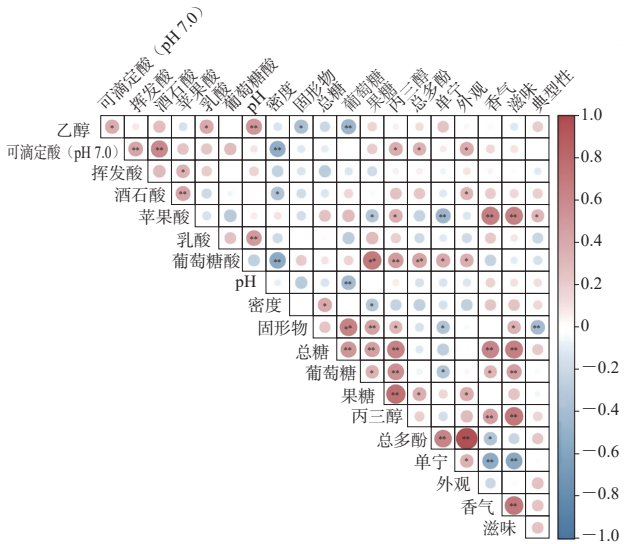


图1 39款干红葡萄酒模糊数学感官评分

Fig. 1 Fuzzy mathematics sensory evaluation scores of 39 dry red wines

2.2 市售干红葡萄酒理化指标与模糊数学感官评分皮尔逊相关性分析

由图2可知,葡萄酒的感官评分与苹果酸、总糖、丙三醇、总多酚、单宁等多个理化指标存在显著关联。其中,总多酚含量与外观呈极显著正相关($P<0.01$);可滴定酸、酒石酸、葡萄糖酸、果糖和单宁含量与外观呈显著正相关($P<0.05$)。苹果酸、总糖和丙三醇含量与香气呈极显著正相关,单宁含量与香气呈极显著负相关($P<0.01$);葡萄糖含量与香气呈显著正相关($P<0.05$),总多酚含量与香气呈显著负相关($P<0.05$)。苹果酸、总糖、葡萄糖和丙三醇含量与滋味呈极显著正相关($P<0.01$);单宁含量与滋味呈极显著负相关($P<0.01$);固形物含量与滋味呈显著正相关($P<0.05$)。固形物含量与典型性呈极显著负相关($P<0.01$);苹果酸与典型性呈显著正相关($P<0.05$)。



*.显著相关 ($P<0.05$), **.极显著相关 ($P<0.01$)。图3同。

图2 39款干红葡萄酒理化指标与感官评价相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis between physicochemical indicators and sensory evaluation of 39 dry red wines

根据皮尔逊相关分析结果,可分别判断出与感官指标的4个维度相关的理化指标。然而,理化指标间的高度共线性可能导致部分指标的效应被掩盖或放大;此外,部分理化指标分布集中(如总糖含量在干型酒中低于4 g/L),可能引发虚假相关趋势。因此,需通过PCA消除变量冗余性,提炼核心影响因子。

2.3 市售干红葡萄酒理化指标PCA

对葡萄酒样16项理化指标进行PCA,提取累计方差贡献率达83.48%的5个PC,实现数据降维。各PC的载荷矩阵见图3。对各PC进行命名,分析其核心指标及实际意义,结果见表3。

表3 5个PC命名及核心指标分析结果

Table 3 Analysis results of naming and core indicators of 5 PCs		
PC	命名	核心指标
PC1	陈年潜力与酒体饱满因子	乙醇、葡萄糖酸、pH值、固形物、葡萄糖、丙三醇、总多酚
PC2	酒体轻盈与氧化敏感因子	挥发酸、苹果酸、密度、固形物、总糖、果糖
PC3	口感甜润与风味协同因子	乙醇、乳酸、总糖、果糖、单宁
PC4	酸度支撑与生物稳定因子	可滴定酸、酒石酸、pH值
PC5	清爽酸感与特色风味因子	乙醇、苹果酸、葡萄糖酸

由图3和表3可知,乙醇、葡萄糖酸、pH值、固形物、葡萄糖、丙三醇、总多酚构成陈年潜力与酒体饱满因子,反映酒体的低发酵风险与高饱满度的陈年潜力特征,以及与稳定风味相关的物质储备。乙醇正载荷带来醇厚口感;葡萄糖酸、总多酚正载荷提供抗氧化能力,利于风味长期稳定;pH值正载荷使酸度适中,利于风味物质稳定发展;固形物、丙三醇正载荷提升酒体饱满度;葡萄糖负载荷对应低残糖,降低陈年二次发酵风险,为葡萄酒长期贮存和风味发展提供良好基础。

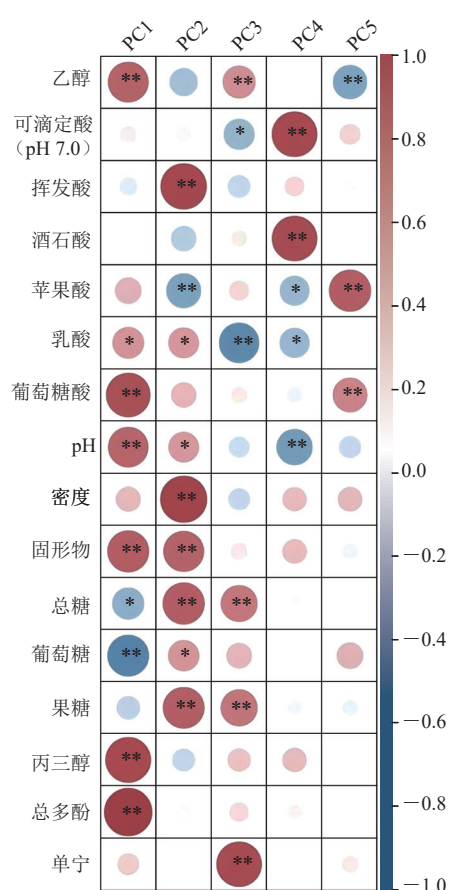


图3 16项理化指标与PC相关系数矩阵

Fig. 3 Correlation coefficient matrix of 16 physicochemical indicators with PC

挥发酸、苹果酸、密度、固形物、总糖、果糖构成酒体轻盈与氧化敏感因子，呈现酒体的轻盈质地。密度

正载荷反映酒体轻盈；固形物、总糖、果糖正载荷带来甜润口感与一定风味浓度；挥发酸正载荷与苹果酸负载荷并存，可能源于苹果酸-乳酸发酵过程中氧化胁迫导致的乙酸积累及发酵抑制，提示需警惕氧化劣变风险。

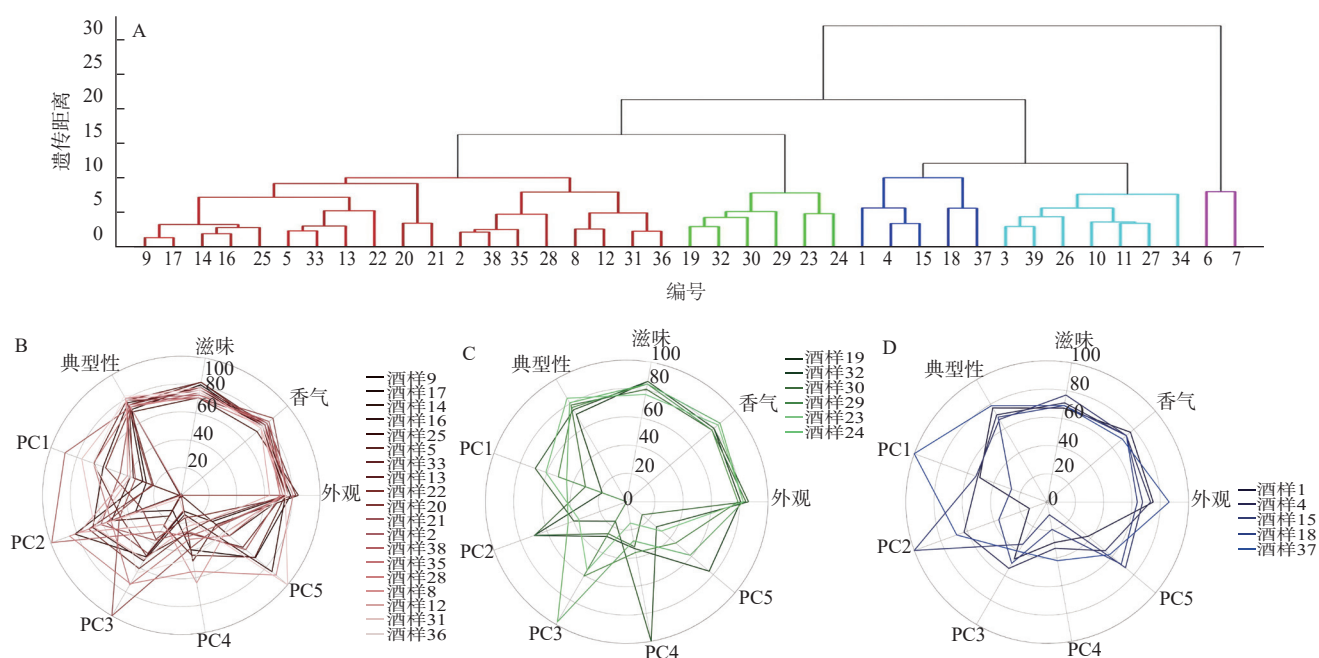
乙醇、乳酸、总糖、果糖、单宁构成口感甜润与风味协同因子，展现酒体的甜润感和收敛性以及风味的协同作用。乙醇、总糖、果糖正载荷带来甜润口感；单宁正载荷赋予酒体收敛性，构建酒体骨架；乳酸负载荷使酸感不突出，让甜润与收敛风味更好协同，提升感官体验的丰富度与协调性。

可滴定酸、酒石酸、pH值构成酸度支撑与生物稳定因子，体现酒体的酸度支撑以及生物稳定保障。可滴定酸、酒石酸正载荷为酒体提供核心酸度，支撑酒体结构；pH值负载荷表明酸度相对合适，为葡萄酒长期窖藏提供生物稳定性基础，利于酒的保存与品质稳定。

乙醇、苹果酸、葡萄糖酸构成清爽酸感与特色风味因子，体现酒体以清爽酸感为核心的低醇特色。苹果酸和葡萄糖酸的正载荷共同强化了明快的酸感，带来清新爽口的味觉体验；乙醇的负载荷则表明乙醇含量较低，进一步凸显了酸感的清爽特质，使整体风格偏向轻盈低醇。

2.4 市售干红葡萄酒理化指标HCA

由图4A可知，遗传距离为10时，39款干红葡萄酒被分为5个类别。分别对5个类别干红葡萄酒的感官评分和PC得分归一化处理，转换为百分制得分。由图4B~F可知，5类葡萄酒的综合感官得分平均值分别为77.10、80.94、73.76、76.04、64.69。



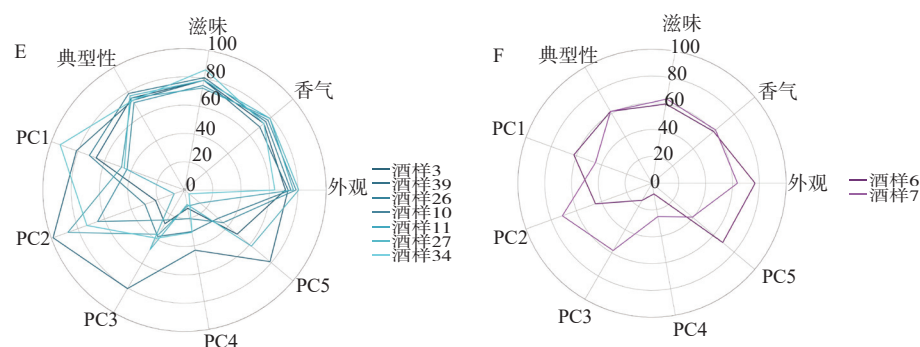


图4 39款干红葡萄酒HCA结果(A)及感官评分(B~F)
Fig. 4 HCA results (A) and sensory scores (B~F) of 39 dry red wines

表4 5类干红葡萄酒样品HCA结果与对应酒体风格描述

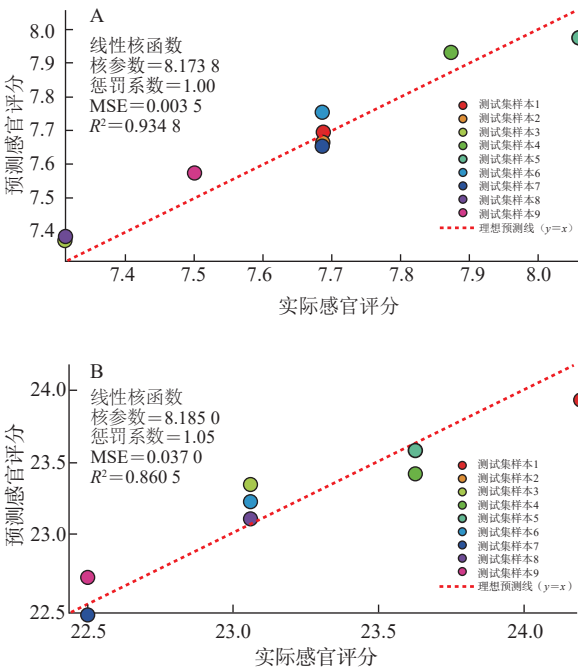
Fig. 4 HCA results of five types of dry red wine samples and the corresponding descriptions of their body styles					
类别	酒样编号	理化指标特征	感官评价	酒体风格	
1	9、17、14、16、25、5、33、13、22、20、21、2、38、35、28、8、12、31、36	多酚和单宁含量中等，乙醇含量中等，酸度适中，挥发酸普遍较低，糖类含量低	总分中上(77.10)，外观、香气和滋味表现平稳，典型性得分中等偏上	风格均衡，果香与单宁融合较好，口感顺滑不突兀，具备一定中短期陈酿潜力，适合日常饮用及中档宴请场合	
2	19、32、30、29、23、24	乙醇含量适中，多酚和单宁丰富，酸度平衡协调，挥发酸和糖含量低	总分最高(80.94)，外观、香气和滋味均表现优异，典型性突出	风味浓郁复杂，口感饱满醇厚，单宁细腻有层次感，陈年潜力极佳，适合长期窖藏	
3	1、4、15、18、37	酸度偏高，酒石酸较突出，乙醇含量中等偏低，多酚和单宁含量较低，糖类含量极低	总分偏低(73.76)，香气表现薄弱，滋味层次感不足，典型性不足	简约朴素，风味复杂度较低，无明显短板但亮点不足，适合日常简易饮用	
4	3、39、26、10、11、27、34	乙醇含量最高，多酚和单宁含量偏高。酸度较突出，其中酒石酸、苹果酸含量较高，糖分含量极低	感官评分中等偏低(76.04)，外观得分较好，香气表现一般	乙醇感略明显但不突兀，酸度支撑口感清爽度，风味复杂度中等，适合即时饮用或短期存放后饮用	
5	6、7	乙醇含量偏低，单宁和总多酚含量极低，挥发酸和乳酸含量高，总糖和果糖含量均为0	总分最低(64.69)，香气薄弱，滋味单调，口感干涩，典型性差	风格简单粗糙，适合低端日常市场，但品质亟待提升	

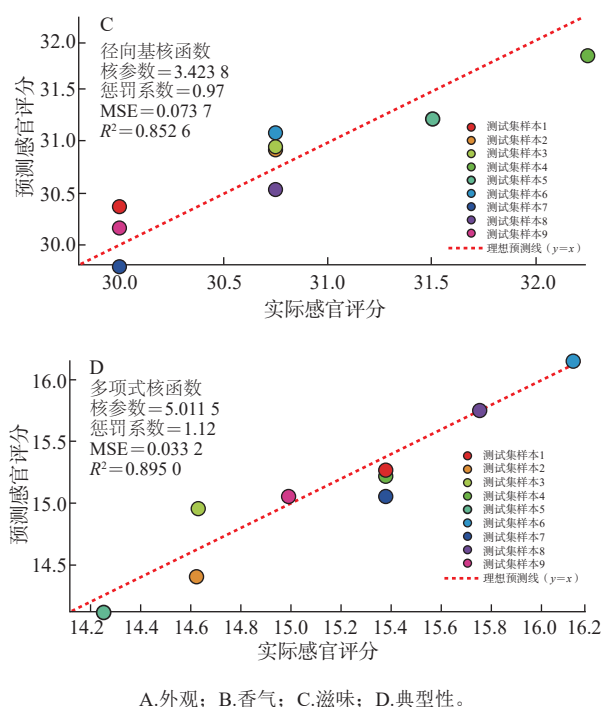
综合上述结果，分别分析5类干红葡萄酒样品的理化指标、感官评价和具体风格，结果见表4。

2.5 SVM模型

采用五折交叉验证方法对39个葡萄酒样本构建SVM预测模型。首先随机选取9个样本作为独立测试集，剩余30个样本作为训练集用于模型训练与超参数优化。输入层接收经标准化处理的理化指标变量，先通过贝叶斯优化算法筛选最优核函数与核参数，其中核函数涵盖线性核、径向基核与多项式核3种类型，再通过网格搜索确定最优惩罚系数，搜索范围设定为0.01~1.50，步长控制为0.01。训练阶段以MSE作为目标函数，借助五折交叉验证的循环迭代方式优化参数，确保所有训练集样本都能参与验证过程，充分提升模型泛化能力。模型训练完成后，利用预留的独立测试集开展性能验证，通过MSE与 R^2 2项指标，全面评估模型的预测精度与稳定性。由图5可知，9个独立测试集预测性能显示：外观、香气、滋味、典型性的MSE分别为0.003 5、0.037 0、0.073 7、0.033 2，表明模型对各项评分的预测偏差较小，预测精度较高； R^2 为0.852 6~0.934 8，表明模型解释了大于85%

的感官评分变异，验证了理化指标对感官品质的可预测性，为干红葡萄酒工艺优化提供定量化工具。





A.外观; B.香气; C.滋味; D.典型性。

图5 基于SVM模型干红葡萄酒理化指标对感官品质的预测效果

Fig.5 Prediction effect of physicochemical indicators of dry red wine on sensory quality based on SVM model

3 结论

通过对39款干红葡萄酒进行模糊数学感官评价及其16项理化指标PCA、HCA,构建了干红葡萄酒理化指标与感官品质间的SVM预测模型,通过理化-感官关联特征实现了对干红葡萄酒不同风格的分类。研究表明,PCA提取的5个累计方差贡献率达83.48%的PC可有效表征酒体的保存潜力、结构平衡性及风味特征等关键品质维度;HCA将酒样划分为5类典型风格,其中类别2的感官综合评分最优(80.94);构建的SVM模型MSE为0.0035~0.0737, R^2 为0.8526~0.9348,在感官评分预测中表现优异,验证了理化指标对感官品质的可解释性,为数字化品控提供了新工具。未来研究可进一步拓展样本集覆盖范围,纳入多产区、多品种的长期陈酿干红葡萄酒样,完善评价模型的普适性;同时可探索其他数据融合技术,结合色谱-质谱检测数据与消费者偏好信息,构建动态品质监测模型,推动葡萄酒品质评价向智能化、个性化方向发展。

参考文献:

[1] 沃特豪斯, 萨克斯, 杰弗里, 等. 葡萄酒化学[M]. 潘秋红, 段长青, 王军, 等译. 北京: 科学出版社, 2019.
 [2] 国家标准化委员会. 葡萄酒: GB/T 15037—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

[3] 李俊生, 吕美琪, 王学峰, 等. 3种寒地葡萄酒的理化性质与香气物质分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2025(6): 51-59.
 [4] VIVEK K, SUBBARAO K V, ROUTRAY W, et al. Application of fuzzy logic in sensory evaluation of food products: a comprehensive study[J]. Food Bioprocess Technol, 2020, 13(1): 1-29.
 [5] 代文婷, 邓梅, 王远, 等. 模糊数学感官评价法优化黑枸杞冻干果粉配方及品质分析[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(4): 54-61.
 [6] 陈璇, 王林江, 钱亮亮, 等. 模糊数学感官评价模型的建立及紫菜酱调配工艺优化[J]. 中国调味品, 2023, 48(3): 95-103.
 [7] BAKER K A, ROSS F C. Sensory evaluation of impact of wine matrix on red wine finish: a preliminary study[J]. J Sens Stud, 2014, 29(2): 139-148.
 [8] TANG K, XI Y, MA Y, et al. Chemical and sensory characterization of Cabernet Sauvignon wines from the Chinese Loess Plateau region[J]. Molecules, 2019, 24(6): 1122.
 [9] RUBÉN B D, DEL H V, MARTA B, et al. Volatile and non-volatile characterization of white and rose wines from different Spanish protected designations of origin[J]. Beverages, 2021, 7(3): 49.
 [10] 张贝贝, 李珊珊, 杨珊. 基于多元统计的葡萄酒品质因素分析[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2013, 22(S1): 133-139.
 [11] 马凯文. 基于相关分析和多元线性回归的葡萄酒质量预测[J]. 科学技术创新, 2019(30): 6-7.
 [12] 郭耀东, 王飞, 董少杰, 等. 红葡萄酒CIELAB参数与花色素的主成分多元线性回归分析[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 210-215.
 [13] 谢倩, 李易易, 张诗艳, 等. 基于模糊数学感官评价、理化特性与电子舌的橄榄鲜食品质分析[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 69-78.
 [14] BAI X T, WANG L B, LI H N. Identification of red wine categories based on physicochemical properties[C]. 2019 5th International Conference on Education Technology, Management and Humanities Science (ETMHS 2019), 2019: 1479-1484.
 [15] 陈鑫龙, 张媛媛, 徐令斌, 等. 用多酚类指标表征干红葡萄酒味感质量的模型构建[J]. 农业工程学报, 2024, 40(8): 281-289.
 [16] 李佳慧, 李悦琦, 周晓芳, 等. 干红葡萄酒单宁质量的多维表征方法分析[J]. 中国农业科学, 2025, 58(10): 2022-2034.
 [17] 国家标准化委员会. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
 [18] XU N, WU Y. Chemo-sensory markers for red wine grades: a correlation study of phenolic profiles and sensory attributes[J]. Foods, 2025, 14(17): 3047.
 [19] 高琛瑜, 石淼, 王晶, 等. 混菌发酵对赤霞珠干红葡萄酒有机酸含量及感官品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(22): 47-53.
 [20] 李翠德, 刘畅, 林婉玲, 等. 基于模糊数学和正交法优化重组鹅肝工艺[J]. 现代食品科技, 2025, 41(12): 200-208.
 [21] 孟德真, 蒋超萍, 王娟, 等. 基于模糊数学评价法对冷藏鸡肉饭团风味保持工艺的研究[J]. 中国调味品, 2025, 50(2): 148-154.
 [22] 彭昕, 李桂林, 艾赛提·阿合旦, 等. 模糊数学感官评定结合响应面法优化红葡萄酒发酵工艺[J]. 中国酿造, 2022, 41(4): 185-191.
 [23] 王鹏, 陈彦雄, 赵圆圆, 等. 基于模糊数学感官评价和混料设计对利口葡萄酒配方优化[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(2): 52-61.
 [24] 丁世飞, 齐丙娟, 谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(1): 2-10.
 [25] 王海军, 乔焱. PSO-SVM模型在葡萄酒品质分类中的应用研究[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(8): 146-148.
 [26] 张一明, 魏霖静. 基于支持向量机算法的葡萄酒质量检测模型[J]. 软件导刊, 2024, 23(9): 137-142.
 [27] 郭敏, 尚朋辉. 基于支持向量机数学模型的葡萄酒品质分类方法研究[J]. 现代食品, 2024, 30(20): 152-154.
 [28] 李志新, 王梦飞, 贾伟洁, 等. 一种结合阴影信息的建筑物层数识别方法[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(3): 97-106.