

葡萄酒感官评价结果的统计分析方法研究

孙亮亮, 葛斌

(哈尔滨工程大学理学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 根据酿酒葡萄、葡萄酒的理化指标和芳香物质对葡萄酒的质量作出评价。首先, 运用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)构建红葡萄酒的评分可信度模型; 其次, 通过红葡萄酒的评价结果结合聚类分析法实现对红葡萄的分级; 再次, 分析红葡萄和红葡萄酒理化指标之间关联性; 最后, 使用累计贡献率函数, 说明了芳香物质对红葡萄酒质量的影响起着重要作用, 不能仅通过酿酒葡萄和葡萄酒的理化指标评价葡萄酒的质量。

关键词: 应用数学; 层次分析法; 聚类分析法; 评分可信度; 感官评价

中图分类号: O29 文献标识码: A 文章编号: 1674-2850(2015)13-1374-09

Study on wine sensory evaluation by the statistical analysis method

SUN Liangliang, GE Bin

(College of Science, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: In this paper, the quality of wine is evaluated by studying on its aromatic substances and the physical and chemical indicators of wine grapes and wine. Firstly, a rating credibility model of red wine is constructed by the analytic hierarchy process (AHP). Secondly, the classification of red grapes is achieved through the evaluation results of red wine and cluster analysis method. Thirdly, the correlation of the physical and chemical indicators between red grapes and red wine is analyzed. Finally, it is demonstrated that aromatic substances play an important role in the quality of red wine. Thus, the quality of the wine can not be evaluated only by the physical and chemical indicators of wine grapes and wine.

Key words: applied mathematics; analytic hierarchy process; cluster analysis; rating credibility; sensory evaluation

0 引言

葡萄酒味香色醇, 营养价值很高, 由新鲜葡萄酿制而成, 酒精度偏低, 有益于身体健康。如今人们的生活水平、生活品位均已提高, 葡萄酒已成为人们休闲时光里的必需品, 因此葡萄酒产业前景广阔。葡萄酒的质量认证不仅保护消费者利益, 而且有利于提高葡萄酒的酿造工艺水平, 为市场定位提供决策性信息。

国内外在水果酒质量评价研究方面已取得了比较丰富的成果, 如苹果酒^[1]、蒲公英酒^[2]、野生猕猴桃酒^[3]和葡萄酒^[4-9]等。PENG等^[1]基于模糊综合评判方法, 结合化学分析和感官评价, 创建了评估苹果

基金项目: 国家自然科学基金(11201095); 哈尔滨工程大学青年学术骨干支持计划(307201411008); 中央高校基本科研业务费专项资金(2015); 黑龙江省教育厅基金(LBH-Q14044)

作者简介: 孙亮亮(1990—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 随机分析及其应用

通信联系人: 葛斌, 副教授, 主要研究方向: 非线性泛函分析及其应用. E-mail: gebin791025@hrbeu.edu.cn

酒质量的新方法, 其结果比以往所使用的单一感官评价方法更加客观和准确。COZZOLINO 等^[10]发现了近红外光谱信息与酒的感官评价之间存在着某种关联性, 能够进行不同类型葡萄酒的感官评价。CORTEZ 等^[11]运用支持向量机法, 很好地将不同质量的葡萄酒进行分级。李华等^[12]用置信区间法通过降低酒样品的变异系数, 有效地降低了品酒员间的差异。于红斌等^[13]运用灰关联分析和神经网络方法, 避免了对数据的盲目引用而造成的网络不稳定。刘延玲^[14]在葡萄酒质量评价中建立了一种新的 Hopfield 神经网络分类器模型, 实现了葡萄酒质量的分类。惠小静^[15]运用模糊聚类和模糊综合评判法评价了红葡萄酒与红葡萄酒质量之间的关系, 得出可以用葡萄和葡萄酒的理化指标来评价葡萄酒质量的结论, 但没有明确两者理化指标间的具体联系。

这里以红葡萄酒为例, 通过对红葡萄、红葡萄酒的理化指标和芳香物质进行研究, 从而对红葡萄酒的质量作出评价, 得出不能仅用红葡萄和红葡萄酒的理化指标来评价红葡萄酒质量的结论。此外, 白葡萄酒也有相同的结论。这里的结论比文献^[15]更加深入细致, 所用到的方法在很多领域都有广泛应用^[16-19]。

1 数据来源

研究数据来源于 2012 年全国大学生数学建模竞赛试题的附件 1~附件 3, 由于篇幅有限, 文中只给出各附件的简表, 其完整内容可参看网址 <http://special.univs.cn/service/jianmo/sxjmtmhb/2013/0426/935359.shtml>。

附件 1 含 2 个表格, 给出了 2 组各 10 个品酒员对红葡萄酒样品 (含 27 个样品) 从外观、香气、口感及整体 4 个方面的打分表。以第一组品酒员对 25 号红葡萄酒样品的打分为例, 其简表如表 1 所示。

附件 2 列出了 27 种样品红葡萄酒及其对应酿酒葡萄的主要成分指标含量。以 27 种样品红葡萄酒的主要成分指标含量为例, 其简表如表 2 所示。

附件 3 列出了红葡萄酒所含 73 种芳香物质的含量及其对应酿酒葡萄中 55 种芳香物质的含量, 以红葡萄酒所含 73 种芳香物质的含量为例, 其简表如表 3 所示。

2 模型的建立与求解

2.1 葡萄酒评分可信度模型

根据附件 1 中的数据, 利用 AHP 得到 2 组 10 个评酒员对应每种酒的评分, 并将 2 组评分的变异系数的平均值进行比较, 得出葡萄酒评分可信度模型。

AHP 的构建过程如下。

步骤 1 绘制层次分析图, 如图 1 所示。

步骤 2 建立各准则的判断矩阵。

对准则层的各因素进行两两对比, 作出两两之间

表 1 第一组品酒员对 25 号红葡萄酒样品的打分

Tab. 1 Score of red wine sample 25 given by the first set of wine tasters

酒样品 25	分数/分				
	品酒员 1 号	品酒员 2 号	...	品酒员 10 号	
外观分析 (15)	澄清晰度(5)	4	4	...	4
	色调(10)	6	8	...	6
香气分析 (30)	纯正度(6)	4	4	...	4
	浓度(8)	4	6	...	4
	质量(16)	10	14	...	12
口感分析 (44)	纯正度(6)	3	5	...	4
	浓度(8)	4	6	...	6
	持久性(8)	4	6	...	6
	质量(22)	13	16	...	13
平衡/整体评价(11)	8	9	...	8	

表 2 27 种样品红葡萄酒的主要成分指标含量

Tab. 2 Main components of 27 kinds of red wine samples

品种编号	花色苷/(mg/L)			单宁/(mmol/L)			...
	1	2	3	1	2	3	...
酒样品 1	973.128	974.38	974.128	11.049	11.03	11.01	...
酒样品 2	516.83	518.083	517.83	11.03	11.146	11.059	...
...
酒样品 27	137.766	139.018	138.58	5.956	5.986	5.942	...

表 3 红葡萄酒所含 73 种芳香物质含量

Tab. 3 73 kinds of contents of red wine aroma compounds

中文名称 (73 种)	葡萄酒样品 1	葡萄酒样品 2	...	葡萄酒样品 27
乙醛	1.836	1.804	...	0.829
乙酸乙酯	12.113	12.132	...	14.511
...
2,5-二(1,1-二甲基乙基)-1,4-苯二醇	1.383	1.117	...	0.841

对比的判断矩阵:

$$A = (a_{ij})_{10 \times 10},$$

其中, $a_{ij} = u_i : u_j$, 表示 u_i, u_j 的重要性程度。

由附件 1 的第一组红葡萄酒品尝评分表中读取准则层每个标准的项目满分, 即

$$u_1 = 5, u_2 = 10, u_3 = 6, u_4 = 8, u_5 = 16, u_6 = 6, \\ u_7 = 8, u_8 = 8, u_9 = 22, u_{10} = 11,$$

得到判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.500 & 0.833 & 0.625 & 0.313 & 0.833 & 0.625 & 0.625 & 0.227 & 0.455 \\ 2.000 & 1.000 & 1.667 & 1.250 & 0.625 & 1.667 & 1.250 & 1.250 & 0.455 & 0.909 \\ 1.200 & 0.600 & 1.000 & 0.750 & 0.375 & 1.000 & 0.750 & 0.750 & 0.273 & 0.545 \\ 1.600 & 0.800 & 1.333 & 1.000 & 0.500 & 1.333 & 1.000 & 1.000 & 0.364 & 0.727 \\ 3.200 & 1.600 & 2.667 & 2.000 & 1.000 & 2.667 & 2.000 & 2.000 & 0.727 & 1.455 \\ 1.200 & 0.600 & 1.000 & 0.750 & 0.375 & 1.000 & 0.750 & 0.750 & 0.273 & 0.545 \\ 1.600 & 0.800 & 1.333 & 1.000 & 0.500 & 1.333 & 1.000 & 1.000 & 0.364 & 0.727 \\ 1.600 & 0.800 & 1.333 & 1.000 & 0.500 & 1.333 & 1.000 & 1.000 & 0.364 & 0.727 \\ 4.400 & 2.200 & 3.667 & 2.750 & 1.375 & 3.667 & 2.750 & 2.750 & 1.000 & 2.000 \\ 2.200 & 1.100 & 1.833 & 1.375 & 0.688 & 1.833 & 1.375 & 1.375 & 0.500 & 1.000 \end{bmatrix}.$$

步骤 3 权重的计算和一致性检验。

- 1) 由矩阵 $A = (a_{ij})_{10 \times 10}$, 计算每个指标的权重。
- 2) 求最大特征值 λ_{\max} 。
- 3) 求 λ_{\max} 对应的特征向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。
- 4) 计算一致性指标 CI:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \tag{1}$$

根据一致性指标, 求出一致性比率:

$$CR = CI / RI, \tag{2}$$

其中, RI 可由随机一致性指标表 (如表 4 所示) 中查用。当一致性比率 $CR < 0.1$ 时, 认为判断矩阵具有满意的一致性。

表 4 随机一致性指标表

Tab. 4 Random consistency index table

矩阵阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

利用 Matlab 计算的最大特征值为

$$\lambda_{\max} = 10,$$

代入式 (1), 得

$$CI = 0,$$

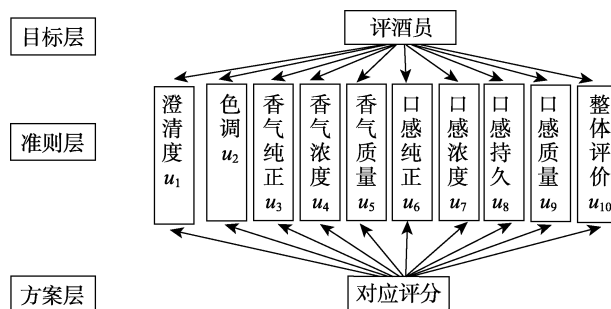


图 1 方案评价层次分析模型图

Fig. 1 Program evaluation AHP model diagram

代入式 (2), 得

$$CR = 0 < 0.1.$$

综上所述, 判断矩阵具有满意的一致性, 说明各评价指标的重要性判断具有较高的可信度。

步骤 4 计算组合权向量。

建立第 2 层对第 1 层的权向量:

$$\mathbf{w}^{(2)} = (w_1^{(2)}, \dots, w_{10}^{(2)})^T; \quad (3)$$

第 3 层对第 2 层各元素的权向量:

$$\mathbf{w}_k^{(3)} = (w_{k1}^{(3)}, \dots, w_{k10}^{(3)})^T, \quad k=1, 2, \dots, 10. \quad (4)$$

构造矩阵

$$\mathbf{W}^{(3)} = [\mathbf{w}_1^{(3)}, \dots, \mathbf{w}_{10}^{(3)}], \quad (5)$$

则第 3 层对第 1 层的组合权向量

$$\mathbf{w}^{(3)} = \mathbf{W}^{(3)} \mathbf{w}^{(2)}, \quad (6)$$

求出权向量为

$$\mathbf{a} = [0.1414, 0.2828, 0.1697, 0.2263, 0.4525, 0.1697, 0.2263, 0.2263, 0.6223, 0.3111],$$

即每种酒对应的 10 个标准的权重。再将附件 1 中的数据导入 Matlab 中形成矩阵 \mathbf{b} , 即每种酒对应 10 个标准的评分, 然后 $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ 得到 10 个评酒员对应每种酒的评分。评分可信度模型的判定方法如下。

利用每行求标准差、方差和平均值求出变异系数 CV。

$$CV = \frac{\text{标准偏差SD}}{\text{平均值MN}}, \quad (7)$$

其中, 变异系数估计一组数据的离散程度, 一般来说, 一组数据的离散程度越小, 其变异系数越小, 也就越可信。将 $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$ 得到的 2 组 10 个评酒师对每种酒的评分求标准差 SD 及平均值 MN, 并代入式(7), 得到 2 组每种酒的变异系数, 然后, 再求出每组的平均变异系数, 得到

$$\text{第一组红葡萄酒变异系数 } CV_1 = 0.101450098,$$

$$\text{第二组红葡萄酒变异系数 } CV_2 = 0.078698310.$$

由于求得的 2 组变异系数相差很多, 故存在显著性差异; 由于 $CV_1 > CV_2$, 即第二组更可信。

2.2 酿酒葡萄分级讨论

2.2.1 酿酒葡萄分级分析

酿酒葡萄的等级既与其酿成酒的等级紧密相连, 又与其理化指标密切相关。如果红葡萄酒所得分级与红葡萄聚类分析所得分类结果一致, 那么红葡萄酒所得分级正是对红葡萄分级的最后结果; 否则, 红葡萄的分级应该以红葡萄酒所得分级为主要结果, 同时参考红葡萄聚类分析所得结果。

2.2.2 葡萄酒分级模型

根据 2.1 节所述方法求出第二组评酒员对每种红葡萄酒的评分, 如表 5 所示。

依据表 5 中 10 名品酒员对每种酒评分的平均值对红葡萄酒进行分级, 可以清晰得出红葡萄酒分为 4 类, 如表 6 所示。

表5 单个品酒员对单种酒评价表

Tab. 5 Evaluation of each red wine corresponding to the wine critics

红酒样品编号	品酒员1	品酒员2	品酒员3	品酒员4	品酒员5	品酒员6	品酒员7	品酒员8	品酒员9	品酒员10	方差	平均值 MN	标准差 SD	变异系数 CV
10	23.419 1	25.965 0	29.698 5	21.835 2	21.891 9	23.023 2	22.881 7	24.437 4	22.881 7	25.682 1	5.198 373	24.171 58	2.279 994	0.094 325 40
23	27.746 7	27.407 4	29.161 1	28.680 1	23.447 4	26.502 1	26.898 0	24.211 1	29.387 3	25.851 5	3.584 209	26.929 27	1.893 201	0.070 302 71
3	29.246 0	25.173 0	29.132 9	28.312 6	22.570 7	25.767 1	24.522 3	26.785 1	26.049 8	27.039 7	3.996 614	26.459 92	1.999 153	0.075 554 02
7	24.720 5	23.532 8	24.946 7	22.570 9	16.602 9	24.098 0	20.251 6	26.106 2	25.484 2	24.437 8	7.402 983	23.275 16	2.720 842	0.116 898 97
1	23.758 5	25.116 6	29.161 1	18.016 8	18.724 0	25.427 4	24.069 8	25.936 5	23.758 7	23.023 4	9.747 695	23.699 28	3.122 130	0.131 739 44
16	25.512 4	23.051 5	27.661 9	24.126 2	23.617 4	24.720 3	23.900 3	26.389 1	24.748 6	25.116 4	1.698 034	24.884 41	1.303 086	0.052 365 57
17	25.682 1	25.908 4	26.983 0	26.049 8	26.304 4	26.021 3	26.870 1	26.615 4	26.587 3	23.455 0	0.815 119	26.066 73	0.902 839	0.034 635 69
18	24.494 2	23.532 8	29.387 3	20.025 3	22.966 9	21.807 2	21.467 9	26.162 8	21.156 6	23.532 8	6.756 392	23.453 38	2.599 306	0.110 828 63
20	29.048 1	26.728 6	29.302 5	22.740 6	25.173 1	30.066 2	27.464 0	29.415 7	25.314 5	25.455 9	5.167 727	27.070 92	2.273 264	0.083 974 37
12	24.154 8	24.268 1	26.841 6	20.760 6	23.249 8	25.597 3	22.797 1	25.597 2	24.861 9	25.738 8	2.804 720	24.386 72	1.674 730	0.068 673 85
11	22.599 1	21.750 6	23.390 9	21.807 2	17.734 0	22.429 4	22.257 9	17.536 3	22.910 3	22.627 5	3.953 530	21.504 50	1.988 349	0.092 461 97
15	21.807 1	20.902 1	26.078 2	19.487 8	21.156 5	24.975 1	25.059 9	23.984 8	23.475 8	24.664 0	4.288 965	23.159 13	2.070 982	0.089 423 98
27	25.512 4	23.730 5	25.738 7	25.427 5	24.890 1	24.267 7	28.991 5	25.936 5	25.880 1	25.059 8	1.778 451	25.543 48	1.333 586	0.052 208 46
26	23.645 5	23.277 8	28.680 1	22.372 6	25.993 1	26.219 4	26.077 7	27.011 4	21.948 5	25.908 4	4.293 549	25.113 45	2.072 088	0.082 509 10
19	25.738 7	23.758 9	29.783 3	21.495 9	22.712 1	28.199 3	25.823 1	28.708 6	26.049 8	25.455 8	6.248 740	25.772 55	2.499 748	0.096 992 65
14	25.512 4	25.597 3	27.746 7	22.372 6	24.268 0	26.841 7	25.087 8	28.736 8	25.993 1	25.738 7	2.826 464	25.789 51	1.681 209	0.065 189 65
6	23.645 8	23.985 2	26.530 6	21.637 3	20.788 9	22.627 4	24.409 0	23.192 9	23.136 5	24.494 2	2.303 302	23.444 78	1.517 663	0.064 733 53
25	23.645 5	24.833 5	30.009 6	21.665 6	21.354 5	22.627 4	23.730 2	24.691 9	23.108 0	23.192 9	5.313 624	23.885 91	2.305 130	0.096 505 84
4	26.898 2	27.746 8	25.880 2	25.823 4	21.241 5	26.898 3	25.116 1	25.880 1	21.326 2	25.229 5	4.425 193	25.204 03	2.103 614	0.083 463 41
5	23.249 5	24.381 1	28.510 6	26.445 7	26.615 4	25.540 7	24.154 6	25.257 8	26.049 8	24.833 5	2.013 564	25.503 87	1.419 001	0.055 638 65
2	27.690 4	26.530 7	28.284 3	25.540 5	23.758 6	26.304 3	29.500 6	25.880 1	26.021 4	25.003 4	2.490 909	26.451 43	1.578 261	0.059 666 39
9	29.444 0	29.047 8	29.076 1	26.756 8	23.956 6	27.916 4	29.245 5	26.898 3	26.276 1	26.360 8	2.814 481	27.497 84	1.677 641	0.061 009 93
21	28.765 3	25.286 3	26.813 4	25.823 4	21.863 7	27.068 0	22.203 0	25.201 2	26.134 6	27.605 3	4.370 202	25.676 42	2.090 503	0.081 417 22
24	23.192 9	23.871 8	25.710 5	25.993 1	25.965 0	23.560 6	26.474 2	26.615 4	26.502 4	24.493 9	1.576 238	25.237 98	1.255 483	0.049 745 79
22	28.143 0	27.577 2	27.747 0	21.750 4	24.352 9	24.607 4	25.455 9	25.314 5	23.730 3	26.360 8	2.643 031	25.503 94	1.908 672	0.074 838 34
8	25.512 4	24.890 3	28.227 9	17.677 3	21.750 5	23.504 1	24.324 8	20.986 7	23.588 9	21.184 8	7.654 040	23.164 72	2.766 594	0.119 431 34
13	26.587 1	22.570 6	22.966 8	22.881 7	23.900 0	24.126 6	23.900 0	26.898 2	23.702 1	22.797 0	2.101 502	24.033 01	1.449 456	0.060 319 36
平均值														0.078 698 31

2.2.3 酿酒葡萄分级模型

依据附件2中酿酒葡萄的各项理化指标,运用 SPSS 17.0 软件绘制出红葡萄的聚类谱系图,如图2所示。

根据红葡萄酒的分级结果,结合红葡萄的聚类谱系图进行分析,将红葡萄分为4类,如表7所示。

2.3 酿酒葡萄与葡萄酒理化指标关联性模型

运用主分量分析法和相关分析法,得到酿酒葡萄和葡萄酒理化指标之间的联系。

2.3.1 主分量分析法简化理化指标

利用附件2的数据,应用 SPSS 17.0 软件进行主分量分析,红葡萄酒的运行结果如表8、表9所示。红葡萄酒的运行方法同上述红葡萄酒。

2.3.2 相关分析法

依据 2.3.1 节筛选出来的主要分量,从每个主要分量中选出一个影响因素最大的理化指标代表同一水平类的其他指标来参与相关系数计算。根据文献[20]可知,相关系数定义为

表6 红葡萄酒样品分类表

Tab. 6 Classification of red wine samples

类别	红葡萄酒样品编号						
优	3	9	17	20	23		
良	4	5	14	19	21	22	24 26 27
中	1	10	12	13	16	25	
差	6	7	8	11	15	18	

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

利用 SPSS 17.0 软件直接计算出红葡萄 16 个主要指标分别与红葡萄酒 4 个主要指标的相关系数。显然，红葡萄和红葡萄酒的理化指标之间存在相关性，具体结果：与红葡萄、红葡萄酒都呈现正相关关系的指标不一定相互促进，与红葡萄和红葡萄酒都呈现负相关关系的指标不一定相互抑制。也就是说，促进葡萄生长的指标有可能提升其所酿酒的质量，也有可能降低其所酿酒的质量，抑制葡萄生长的指标有可能提升其所酿酒的质量，也有可能降低其所酿酒的质量。

2.4 葡萄酒综合评价模型

利用累计贡献率函数求解，累计贡献率函数的理论过程如下。

步骤 1 对全部指标值进行无量纲化处理。

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p),$$

其中， $\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}$, $s_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}$.

步骤 2 因子分析处理。

- 1) 求出无量纲化处理后的相关矩阵 R ;
- 2) 根据 $|\lambda I - R| = 0$ ，计算特征根 $\lambda_j (j = 1, \dots, p)$;
- 3) 对 $\lambda_j (j = 1, \dots, m)$ 进行排列： $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq$

$\lambda_p \geq 0$ 。每个特征根对应一个特征向量：

$$\mu_j = (\mu_{j1}, \dots, \mu_{jp}) \quad (j = 1, \dots, p).$$

于是有

$$F_j = \mu_{j1}x_1^* + \mu_{j2}x_2^* + \dots + \mu_{jp}x_p^* \quad (j = 1, \dots, p),$$

其中， F_j 为第 j 个主成分，

$$x_j^* = [x_{1j}^*, x_{2j}^*, \dots, x_{nj}^*]^T \quad (j = 1, \dots, p).$$

贡献率

$$a_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j}$$

当累计贡献率 $\sum a_j$ 达到一定数值时，选取前 k 个主

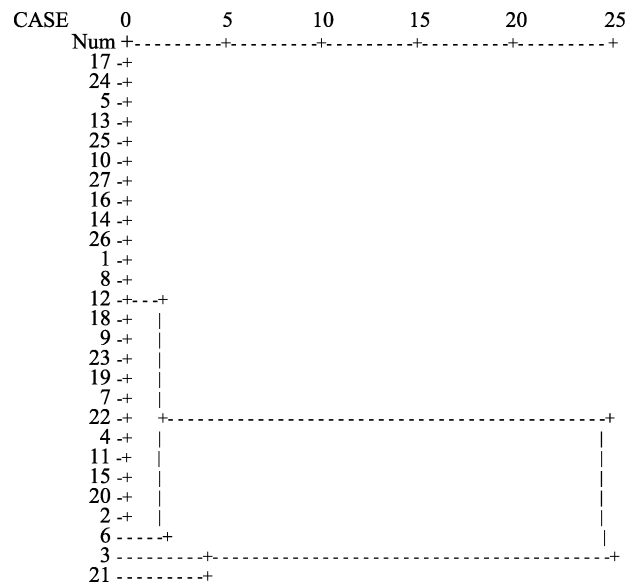


图 2 红葡萄聚类谱系图

Fig. 2 Hierarchical diagram of red grapes

表 7 红葡萄样品分类表

Tab. 7 Classification of red grape samples

类别	红葡萄样品编号									
优	2	3	9	17	23					
良	4	5	14	19	20	21	22	24	26	27
中	1	10	12	13	16	25				
差	6	7	8	11	15	18				

表 8 红葡萄酒的成分矩阵

Tab. 8 Matrix of red wine components

各分量	成分			
	1	2	3	4
X1	0.804	-0.316	0.177	0.277
X2	0.932	-0.053	-0.082	0.071
X3	0.967	-0.023	-0.075	0.055
X4	0.917	-0.030	-0.064	0.069
X5	0.501	0.725	0.183	-0.323
X6	0.584	0.633	0.102	-0.250
X7	0.088	0.657	0.294	-0.498
X8	-0.193	0.178	-0.219	0.558
X9	0.042	-0.196	0.216	-0.101
X10	0.967	0.092	-0.070	-0.008
X11	-0.815	-0.146	-0.016	-0.483
X12	-0.321	0.767	0.243	0.412
X13	-0.022	0.585	-0.749	0.037
X14	-0.131	-0.056	0.930	0.257
X15	-0.323	0.828	0.055	0.365

成分,将这前 k 个主要的分量作为它们的公共因子。

步骤 3 用这几个变量把所有公共的因子线性表示出,并构造全部因子的得分函数,求前 k 个主分量的线性加权值:

$$F = \sum_{j=1}^k a_j F_j .$$

根据文献[21],首先将附件 3 中影响红葡萄酒芳香物质的主要指标简化为乙酸乙酯、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丙醇、乳酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙醇、辛酸、2-癸酸、丁二酸二乙酯 9 项,其次运用主分量分析法将其简化为 2-甲基-1-丙醇、乙酸乙酯、丁二酸二乙酯 3 项。再次,取 2.3 节的 16 组对红葡萄正相关的理化指标(含 Z 的项)、4 组与红葡萄酒呈现正相关关系的指标(含 X 的项)与以上 3 组对芳香物质影响较大的指标(含 V 的项)共同构成一组数据,并对其进行主分量分析,结果如表 10、表 11 所示。

由表 10 可知,前 8 个主分量能够较全面地反应葡萄酒品质的主要信息。

根据成分矩阵分析:第一主成分与 V1, X15, X14, Z51, Z50 有较大正相关;第二主成分与 V3, X14, Z39, Z20 有较大正相关;第三主成分与 V1, V3, Z4 有较大正相关;第四主成分与 V1, X3, Z17, Z46 有较大正相关;第五主成分与 V1, V3, X8, Z57, Z39, Z58, Z22, Z50, Z59, Z60 有较大正相关;第六主成分与 V9 有较大正相关;第七主成分与 V9, Z57, Z58 有较大正相关;第八主成分与 V9, X8, Z46, Z59, Z60 有较大正相关。

显然,芳香物质对葡萄酒等级的分类起着非常大的作用,因此不能仅通过各项指标来决定酒的最终质量。

3 结论

这里有 2 个亮点:第一,运用 AHP 成功地解决了哪组评酒员评分更可信的问题,而且计算过程非常简洁,对 Matlab 只需要一些基础的操作;

第二,利用相关分析模型得到了酿酒葡萄与葡萄酒理化指标之间的具体联系,其结果更有说服力。

表 9 红葡萄酒主分量与各分量相关表

Tab. 9 Correlation between the main components and each component of red wine

主分量	相关性	
	正相关	负相关
第一主分量	X10 (DPPH 半抑制体积) X3 (总酚) X2 (单宁) X4 (酒总黄酮) X1 (花色苷)	X11 (色泽 L*(D65))
第二主分量	X12 (色泽 a*(D65)) X15 (色泽 C(D65)) X6 (反式白藜芦醇苷) X5 (白藜芦醇) X7 (顺式白藜芦醇苷)	X9 (顺式白藜芦醇) X1 (花色苷)
第三主分量	X14 (色泽 H(D65)) X9 (顺式白藜芦醇) X12 (色泽 a*(D65)) X7 (顺式白藜芦醇苷)	X13 (色泽 b*(D65)) X8 (反式白藜芦醇)
第四主分量	X8 (反式白藜芦醇) X12 (色泽 a*(D65)) X15 (色泽 a*(D65))	X7 (顺式白藜芦醇苷) X11 (色泽 L*(D65))

表 10 三方面汇总的解释总方差

Tab. 10 Total variance explained from the three aspects

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差 百分比/%	累积 百分比/%	合计	方差 百分比/%	累积 百分比/%
1	3.470	15.087	15.087	3.470	15.087	15.087
2	2.815	12.238	27.325	2.815	12.238	27.325
3	2.467	10.724	38.049	2.467	10.724	38.049
4	2.426	10.546	48.596	2.426	10.546	48.596
5	1.718	7.470	56.066	1.718	7.470	56.066
6	1.595	6.936	63.002	1.595	6.936	63.002
7	1.474	6.400	69.401	1.472	6.400	69.401
8	1.345	5.849	75.251	1.345	5.849	75.251
9	0.993	4.318	79.569			
10	0.855	3.716	83.285			
11	0.787	3.421	86.706			
12	0.726	3.156	89.862			
13	0.550	2.390	92.252			
14	0.475	2.064	94.315			
15	0.410	1.781	96.096			
16	0.301	1.310	97.406			
17	0.238	1.033	98.439			
18	0.131	0.569	99.008			
19	0.091	0.397	99.405			
20	0.076	0.330	99.735			
21	0.031	0.137	99.871			
22	0.026	0.111	99.982			
23	0.004	0.018	100.000			

表 11 三方面汇总的成分矩阵
Tab. 11 Component matrix of the three aspects

各分量	成分							
	1	2	3	4	5	6	7	8
V1	0.459	0.178	0.481	0.357	0.212	0.056	-0.007	-0.359
V3	0.223	0.404	0.687	0.022	0.294	0.106	0.154	0.087
V9	-0.188	0.280	0.091	-0.012	-0.457	0.582	0.346	0.218
X3	-0.716	0.042	-0.294	0.424	0.038	-0.180	-0.147	0.032
X15	0.484	0.019	0.235	0.073	-0.041	0.301	-0.683	0.175
X14	0.520	0.612	-0.241	0.180	-0.224	-0.333	0.051	0.099
X8	0.366	-0.363	-0.330	0.180	0.251	0.367	-0.034	0.264
Z21	-0.617	0.138	-0.477	0.299	0.039	-0.297	-0.116	0.111
Z17	0.267	-0.567	0.372	0.389	-0.098	-0.191	0.068	0.083
Z57	-0.312	-0.263	0.232	-0.475	0.237	-0.113	0.502	-0.137
Z4	0.021	-0.376	0.634	0.027	-0.329	-0.287	-0.093	0.120
Z46	-0.069	-0.177	-0.023	0.532	-0.144	0.145	0.335	0.502
Z39	-0.175	0.532	0.121	0.327	0.333	0.256	-0.030	-0.334
Z36	-0.508	0.391	0.108	0.349	0.174	0.357	-0.220	0.049
Z14	-0.002	-0.488	-0.156	0.331	0.081	0.045	0.063	-0.493
Z22	-0.335	-0.430	0.341	0.346	0.244	-0.015	-0.103	0.263
Z51	0.623	-0.202	-0.391	-0.140	0.046	0.064	0.086	-0.049
Z58	-0.025	0.052	0.075	0.266	0.595	-0.088	0.449	0.191
Z44	-0.466	-0.277	0.167	-0.473	-0.070	0.365	-0.079	0.146
Z20	0.380	0.499	-0.014	0.213	-0.272	-0.138	0.298	0.184
Z50	0.560	-0.348	-0.467	0.131	0.358	0.187	0.020	0.126
Z59	0.064	0.186	0.169	-0.259	0.400	-0.479	-0.279	0.399
Z60	0.011	0.255	-0.154	-0.628	0.368	0.097	-0.003	0.224

创新之处在于指出了芳香物质对葡萄酒的质量起着非常大的作用,因此不能仅通过酿酒葡萄和葡萄酒的理化指标来决定葡萄酒的最终质量,给相关研究提供了思路和借鉴。

[参考文献] (References)

- [1] PENG B Z, YUE T L, YUAN Y H. A fuzzy comprehensive evaluation for selecting yeast for cider making[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(1): 140-144.
- [2] SUGINTIENE A. Quality evaluation of dandelion wine[J]. Annals Food Science and Technology, 2010, 11(1): 16-20.
- [3] HE J, ZHANG H N. Study on optimization of fermentation conditions of wild kiwifruit wine[J]. Proceedings of 2011 International Conference on Agricultural and Biosystems Engineering, 2011, 1(2): 320-323.
- [4] JUEGA M, GONZALEZ-RAMOS D, BARTOLOME B, et al. Chemical evaluation of white wines elaborated with a recombinant *Saccharomyces cerevisiae* strain overproducing mannoproteins[J]. Food Chemistry, 2014, 147(5): 84-91.
- [5] GOODSTEIN E S, BOHLSCHIED J C, EVANS M, et al. Perception of flavor finish in model white wine: a time-intensity study[J]. Food Quality and Preference, 2014, 36: 50-60.
- [6] CHIRA K, PACELLA N, JOURDES M, et al. Chemical and sensory evaluation of bordeaux wines (Cabernet-Sauvignon and Merlot) and correlation with wine age[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1971-1977.
- [7] BAKER A K, ROSS C F. Wine finish in red wine: the effect of ethanol and tannin concentration[J]. Food Quality and Preference, 2014, 38: 65-74.
- [8] CALDAS J, REBELO J. Portuguese wine ratings: an old product a new assessment[J]. Wine Economics and Policy, 2013, 2(2): 102-110.
- [9] D'ALESSANDRO S, PECOTICH A. Evaluation of wine by expert and novice consumers in the presence of variations in

- quality, brand and country of origin cues[J]. *Food Quality and Preference*, 2013, 28(1): 287-303.
- [10] COZZOLINO D, HOLDSTOCK M, DAMBERGS R G, et al. Mid infrared spectroscopy and multivariate analysis: a tool to discriminate between organic and non-organic wines grown in Australia[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(3): 761-765.
- [11] CORTEZ P, CERDEIRA A, ALMEIDA F, et al. Modeling wine preferences by data mining from physicochemical properties[J]. *Decision Support Systems*, 2009, 47(4): 547-553.
- [12] 李华, 刘曙东, 王华, 等. 葡萄酒感官评价结果的统计分析方法研究[J]. *中国食品学报*, 2006, 6 (2): 126-131.
LI H, LIU S D, WANG H, et al. Studies on the statistical analyses methods for sensory evaluation results of wine[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2006, 6(2): 126-131. (in Chinese)
- [13] 于红斌, 齐娜, 赵永进. 灰关联神经网络在葡萄酒评价中的应用[J]. *微处理机*, 2013, 34 (4): 49-51.
YU H B, QI N, ZHAO Y J. Application of gray correlation neural network to evaluation of wine quality[J]. *Microprocessors*, 2013, 34(4): 49-51. (in Chinese)
- [14] 刘延玲. 新的 Hopfield 神经网络分类器在葡萄酒质量评价中的应用[J]. *价值工程*, 2012, 31 (2): 181-182.
LIU Y L. Application of new Hopfield neural network classifier in the quality evaluation of grape wine[J]. *Value Engineering*, 2012, 31(2): 181-182. (in Chinese)
- [15] 惠小静. 模糊数学方法对葡萄酒的分类及评价[J]. *数学的实践与认识*, 2013, 43 (16): 40-45.
HUI X J. The classification and evaluation of wine by fuzzy mathematics[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2013, 43(16): 40-45. (in Chinese)
- [16] CHEN T, JIN Y Y, QIU X P, et al. A hybrid fuzzy evaluation method for safety assessment of food-waste feed based on entropy and the analytic hierarchy process methods[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(16): 7328-7337.
- [17] ZHU B, XU Z S. Analytic hierarchy process-hesitant group decision making[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 239(3): 794-801.
- [18] LI N, WU D D. Using text mining and sentiment analysis for online forums hotspot detection and forecast[J]. *Decision Support Systems*, 2010, 48(2): 354-368.
- [19] 蔡智澄, 何立民. 相关性分析原理在图书情报分析中的应用[J]. *现代情报*, 2006 (5): 151-152, 156.
CAI Z C, HE L M. The application of correlation analysis principle on library and information science[J]. *Modern Information*, 2006(5): 151-152, 156. (in Chinese)
- [20] 宋廷山. 相关系数统计量的功能及其应用探讨——以 SPSS 为分析工具[J]. *统计教育*, 2008 (11): 27-31.
SONG T S. Discussions on the functions of the statistics of correlation co-efficient and its applications: taking SPSS as analysis tool[J]. *Statistical Education*, 2008(11): 27-31. (in Chinese)
- [21] 李运, 李记明, 姜忠军. 统计分析在葡萄酒质量评价中的应用[J]. *酿酒科技*, 2009 (4): 79-82.
LI Y, LI J M, JIANG Z J. Application of statistical analysis in the evaluation of grape wine quality[J]. *Liquor-Making Science and Technology*, 2009(4): 79-82. (in Chinese)