

基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价

刘美迎¹, 李小龙¹, 梁 茁¹, 张振文^{1,2,*}

(1.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100; 2.陕西省葡萄与葡萄酒工程中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 对2013年陕西渭北地区的14个鲜食葡萄品种的17项生物经济学指标进行观察测定, 并运用模糊数学和聚类分析评价了不同葡萄品种果实的综合品质。结果表明: 品种间果实的果粒形状、产量、花色苷含量、果粉厚度、果皮厚度和果皮颜色性状变异系数较大, 而果实感官品质和内在品质相关指标的变异系数较小。模糊数学评价筛选出综合品质较好的品种为红地球、夏黑、红宝石、8611、金田0601和魏可, 而秦龙大穗、弗雷无核的综合品质较差。聚类分析结果表明, 品质优等的8611、红地球、红宝石和魏可聚为一类, 为优良的鲜食葡萄栽培种, 品质中等的玫瑰香、巨玫瑰和红乳聚为一类, 而品质最差的弗雷无核单独聚为一类。模糊数学评价方法结合聚类分析可给予葡萄综合品质较全面、客观的评价。

关键词: 葡萄品种; 综合品质; 模糊数学; 聚类分析

Comprehensive Quality Assessment of Table Grapes Varieties Using Fuzzy Mathematics and Cluster Analysis

LIU Meiyong¹, LI Xiaolong¹, LIANG Zhuo¹, ZHANG Zhenwen^{1,2,*}

(1. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Shaanxi Engineering Research Center for Viti-Viniculture, Yangling 712100, China)

Abstract: Fuzzy mathematics and cluster analysis were used for comprehensive quality assessment of fourteen table grape varieties sampled from a commercial vineyard in Weinan, Shanxi province in 2013. The results showed that there were larger coefficients of variation in berry shape, yield, total anthocyanin content, berry skin thickness, berry bloom thickness, and berry color characteristics, whereas sensory properties and related indicators of intrinsic quality were relatively lower. The comprehensive assessment by fuzzy mathematics analysis showed that “Red Globe”, “Summer Black”, “Ruby Seedless”, “Wuhengzaohong”, “Jintian 0601” and “Wink” had superior quality. “Qinlongdasui” and “Flame Seedless” showed the lowest quality. By using Q-type cluster analysis, “Wuhengzaohong”, “Red Globe”, “Ruby Seedless” and “Wink” with superior quality were clustered into one group, “Muscat Hamburg”, “Jumeigui” and “Hong Ru” with average quality were assigned into another group, and “Flame Seedless” with the worst quality was clustered into a separate category. The combination of fuzzy mathematics and cluster analysis could provide a comprehensive and objective evaluation system for determining the quality of grape varieties.

Key words: grape varieties; comprehensive quality; fuzzy mathematics; cluster analysis

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)13-0057-08

doi:10.7506/spkx1002-6630-201513012

葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 为葡萄科 (Vitaceae) 葡萄属 (*Vitis* L.) 藤本植物, 是世界上广泛栽培的具有重要经济价值的果树^[1]。我国陕西渭北地区属暖温带, 干旱季风气候, 土壤肥沃, 适合葡萄的生长。近几年来, 该地区鲜食葡萄栽培有了很大的发展, 且葡萄品种不断增多。但不同葡萄品种由于其物理性状和生物性状的不同, 果

收稿日期: 2014-09-30

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-30-zp-9)

作者简介: 刘美迎 (1987—), 女, 博士研究生, 研究方向为葡萄与葡萄酒学。E-mail: 493235763@qq.com

*通信作者: 张振文 (1960—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为葡萄与葡萄酒学。E-mail: zhangzhw60@nwsuaf.edu.cn

实品质之间有很大差异。因此, 作为育种工作和果品选优的重要环节, 如何评价不同葡萄品种的品质优劣是亟待解决的问题。

果实品质的优劣是由多种农艺性状因子体现的, 因此, 建立量化的葡萄农艺性状评价指标并探讨行之有效的综合评价方法, 对我国葡萄栽培产业的发展具有重要

意义。前人对果实品质的评价多采用主成分分析法^[2-5]。主成分分析是采用降维技术将多项指标转化为少数几项综合指标,使其尽可能多地保留原始变量的信息,用综合指标来解释多变量的方差-协方差结构,主成分分析的前提需要保证变量降维后的信息量保持在一个较高的水平,且彼此不相关,因此在使用范围上并不是十分的广泛,且当主成分因子负荷的符号有正有负时,综合评价函数意义就不明确^[6]。对于葡萄果实品质评价而言,评价体系的组成因素很多,如可溶性固形物、糖酸比、产量因素等,其是一个集合各种模糊、相互关联因素在内的复杂概念^[7]。而模糊数学综合评价方法正是对许多综合问题进行评价的一种有效方法,其将矩阵评判和模糊理论进行综合应用,首先利用层次分析法给评价指标分配权重,再利用模糊数学理论计算综合评价值。该方法使评判趋于数学化、定量化、系统化,有利于对多目标系统的综合状况做出全面、客观、可靠的评价^[8]。由于模糊综合评价应用在工程科学、生命科学与经济管理领域,而在农业上的果实品质评价方面应用研究较少。此外,聚类分析在种质资源分类方面的应用广泛,在对分类的数目和结构不做任何假定的情况下,可以将分类对象按照一定规则分为若干类群,划分在同一类群中的对象具有较高的相似性,可以真实反映品种的综合性状从而为育种取材提供客观依据^[9-10]。因此,本研究尝试运用模糊数学评定方法和聚类分析对多种葡萄品种进行综合评判优选,筛选出综合品质较好的鲜食葡萄品种,该研究可为鲜食葡萄品质评价方法的选择提供参考依据,也可鲜食葡萄育种、生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验地概况

该实验于2013年6—9月进行,地点位于陕西省渭南市临渭区北部下吉镇,该地区属暖温带,干旱季风气候,土壤肥沃,适合多种类型葡萄的生长。年有效积温2 320 ℃,年日照时数2 200 h,年平均降水量529~638 mm,无霜期为199~255 d。

1.1.2 供试品种

供试品种为陕西渭南市渭北葡萄产业园中14个鲜食红色葡萄品种(表1),包括:户太8号、夏黑、红地球、红乳、玫瑰香、魏可、红宝石、摩尔多瓦、秦龙大穗、弗雷无核、黑旋风、巨玫瑰、金田0601和8611。2009年定植,南北行向,株行距1.0 m×3.0 m(每亩222株)、单干双臂、中长梢修剪、常规管理、避雨栽培。

表1 供试品种介绍

Table 1 Information about the tested varieties

品种名称	外文名称	种类	原产地	亲本
户太8号	Hutai 8 hao	欧美杂交种	中国	巨峰系第二代品种
夏黑	Summer Black	欧美杂交种	日本	巨峰×无核白
红地球	Red Globe	欧亚种	美国加州	(Damas rose×无核紫)和瑞必尔
红乳	—	欧亚种	日本	—
玫瑰香	Muscat Hamburg	欧亚种	英国	—
魏可	Wink	欧亚种	日本	Kuble Mucat×甲斐路
红宝石	Ruby Seedless	欧亚种	美国	Emperor×Pivorano75
摩尔多瓦	Moldova	欧美杂交种	摩尔多瓦	Guzalikala×SV12375
秦龙大穗	Qinlongdasui	欧亚种	中国	里查马特的芽变
弗雷无核	Flame Seedless	欧亚种	美国	多亲本杂交选育
黑旋风	Heixuanfeng	欧美杂交种	中国	奥林匹亚×北醇
金田0601	—	—	—	—
8611	Wuhengzaozhong	欧美杂交种	中国	郑州早红×巨峰
巨玫瑰	Jumeigui	欧美杂交种	中国	沈阳玫瑰(4X)×巨峰

注:—,未查到相关信息。

1.2 方法

1.2.1 果实植物学性状描述和测定

1.2.1.1 果穗质量和单果质量测定

葡萄成熟期时采样,在每个品种的每颗植株上随机取1穗,共9穗,电子天平称质量,按照《果树品种资源性状描述符》^[11]规定的方法对果穗基本形状进行鉴定评价。分别从9穗葡萄中随机选100粒,测定粒质量,按照《Descriptors for grape》^[12]规定的方法描述记载果粒形状、果皮颜色等。剩余部分果实立即用于品尝样本,其余置于-40℃超低温冰箱中用于相关果实品质的测定。

1.2.1.2 果穗(果粒)大小测定

选取各个品种葡萄形态常规且无虫害的果穗(果粒),用数显游标卡尺分别测量果穗(果粒)的最大纵、横径,每个品种测量20个样本,以纵径和横径平均值的乘积表示果穗(果粒)的大小。

1.2.2 果实理化指标测定方法

可溶性固形物含量测定:用日本爱拓PAL-1数显糖度计测定。

还原糖含量测定:采用Folin试剂热滴定法^[13]测定,结果以葡萄糖计。

总酸含量测定:采用酸碱中和滴定法测定^[14],结果以酒石酸计。

糖酸比(S/A)测定:还原糖含量与对应的可滴定酸含量的比值计为糖酸比。

总花色苷含量测定:采用pH值示差法比色测定,结果以二甲花翠素-3-O-葡萄糖苷计^[15]。

1.2.3 平均产量测定

果实成熟后采用百分之一亩测产法测产并折算成亩产^[16]。

1.2.4 果实感官品质评定方法

通过视觉、嗅觉和味觉器官来评定葡萄的感官品

质。组织15人的品评小组,品评小组由葡萄酒品评教师和葡萄酒园艺师等组成的8人专业评价组和由学生、校外消费者等组成的7人消费者品评组组成,进行客观公正地描述分析。设计品评记录表,采用10分制,包括对葡萄果穗和果粒的外观、香气、果皮和果肉质地和浆果风味4个指标,分别赋值2、2、3、3分。品鉴小组成员一边观察一边记录对某一品种的真实感受。收集整理品鉴小组成员的数据,去除最高分和最低分。算出的平均值即为该品种的最终感官评价得分。

1.2.5 葡萄品质模糊综合评价模型的建立

1.2.5.1 果实综合品质评价指标的筛选

根据研究目的,筛选与果实品质相关的评价指标,制定果实综合品质评价因子指标集。

1.2.5.2 层次分析法确定指标权重系数

1) 构造层次结构模型。

2) 根据统计数据和专家意见,采用Saaty引入的九标度法建立两两比较矩阵^[17]。

3) 层次单排序及判断矩阵的一致性检验。

运用MATLAB R2014a软件计算上述矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和特征向量 w_j ,根据公式(1)求得下层第 n 个因素对上层因素影响程度的权重 w_j 。

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (1)$$

引入一致性指标(consistency index, CI),计算公式如下。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

式中: n 为矩阵的对角线元素之和即矩阵阶数。

查找相应的平均随机一致性指标(random index, RI)^[18],按公式(3)计算一致性比例(consistency ratio, CR)。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

当 $CR \leq 0.1$ 时,比较矩阵的一致性是可以接受的,当 $CR > 0.1$ 时,比较矩阵应做适当修正。

4) 层次总排序及组合权重的一致性检验。

层次总排序是计算同一层次所有因素对高层目标层相对重要性的权重^[19]。设 $P = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ 表示 B 层上第 k 个准则相对于目标层 A 的权重向量,用 $W = (w_1, w_2, \dots, w_j)$ 表示 X 层第 j 个元素对所属准则层 B_k 的权重向量,则 X 层上第 j 个元素对目标层 A 的组合权重向量 S_j 为: $S_j = (p_1, p_2, \dots, p_k) \times w_j$ 。最后同样对组合权重向量进行一致性检验以确定组合权重向量是否满足要求,能否作为最终决策依据,计算见公式(4)。当 $CR_{\text{组合}} \leq 0.1$ 时,认为层次总排序具有满意一致性。否则需要对本层次的各判断矩阵进行调整,直至使层次总排序具有令人满意的一致性。

$$CR_{\text{组合}} = \frac{CI_{\text{组合}}}{RI_{\text{组合}}} = \frac{\sum_{k=1}^5 CI_k \times p_k}{\sum_{k=1}^5 RI_k \times p_k} \quad (4)$$

1.2.5.3 品质综合评定

用极差标准化法,对各测定指标的原始数据进行无量纲化处理,将其化为0~1间的标准化数据^[20]。各指标评定计算公式为:

$$Y_{ij} = \frac{Y - Y_{\min}}{R} \quad (5)$$

式中: Y_{ij} 为第 i 组样品的第 j 个内部品质指标的评定指数; Y 为第 i 组样品的第 j 个内部品质指标的实测值; $R = Y_{\max} - Y_{\min}$ 称为极差, $Y_{\max}$ 和 $Y_{\min}$ 分别为14组葡萄样品的第 j 个内部品质指标实测值中的最大值和最小值。

然后将各参试品种各指标得分的归一化结果与组合权重作内积,得到各品种的综合评价得分,即:

$$R_i = Y_{ij} \times S_j \quad (6)$$

式中: R_i 为第 i 组的供试品种内部品质指标的综合评定指数; Y_{ij} 为第 i 组供试样品的第 j 个评价因子的无量纲化结果; S_j 为第 j 个因素的组合权重。

1.3 数据处理

使用Excel 2010进行数据处理,运用MATLAB R2014a软件计算权重,并用SPSS 20.0进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种果实生物性状和品质指标比较分析

2.1.1 果实外观品质

2.1.1.1 果穗形状和紧密度

14个供试品种的果穗形状全部为圆锥形,其中红地球、红乳、魏可、摩尔多瓦为单歧肩,红宝石、黑旋风、夏黑为双歧肩,除巨玫瑰有副穗外,其他供试品种均无副穗。在果穗的紧密度方面,红乳、红宝石和0601的果穗松(形状显著变化,1级),玫瑰香、魏可的果穗中等紧密(形状稍有变化,2级),其余品种的果穗均较紧密。

2.1.1.2 果粒形状和着色程度

14个供试品种果粒形状分为6类(表2),不同品种的果粒形状不尽相同。而品种之间果皮颜色也有着明显的差异,按果皮颜色表现大致可分为4级,果皮粉红(1级):红乳、玫瑰香、魏可、秦龙大穗。果皮红(2级):红地球、红宝石。果皮紫红(3级):弗雷无核、8611、魏可、巨玫瑰。果皮黑(4级):户太8号、夏黑、0601、黑旋风、摩尔多瓦。

2.1.1.3 果穗和果粒大小(纵径×横径)

14个供试品种的果穗平均大小为339.7 cm²,平均果粒大小为558 mm²,其中户太8号由于果穗纵径和横

表2 供试品种主要经济学性状调查结果
Table 2 Major economic traits for the tested varieties

品种编号	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇
Y ₁	圆锥形 ¹	紧 ²	近圆形 ¹	紫黑 ⁴	28.3×21.3	34.0×26.0	2 122.9	756.3	9.1	薄 ³	厚 ¹	7.83	16.6	153.9	3.32	46.4	0.861
Y ₂	圆锥形 ¹	紧 ²	近圆形 ¹	黑色 ⁴	26.1×16.3	28.0×16.0	1 774.9	447.1	4.6	厚 ¹	厚 ¹	8.40	15.3	143.6	3.17	45.3	0.791
Y ₃	圆锥形(单歧肩) ²	紧 ²	近圆形 ¹	红色 ²	23.2×17.2	26.8×25.3	*3 507.2	728.5	*10.5	中 ²	薄 ³	8.15	15.8	146.4	4.57	32.3	0.512
Y ₄	圆锥形(单歧肩) ²	松 ²	手指形 ²	粉红 ¹	18.2×12.0	28.5×13.8	1 025.7	386.8	3.1	薄 ³	薄 ³	8.35	*20.1	*190.6	2.90	*65.7	0.442
Y ₅	圆锥形 ¹	中 ¹	卵圆形 ³	淡红 ¹	24.3×16.0	28.7×24.7	1 235.2	520.3	8.8	薄 ³	中 ²	8.24	19.7	171.2	2.98	57.4	0.211
Y ₆	圆锥形(单歧肩) ²	中 ¹	长卵形 ⁴	淡红 ¹	22.5×16.2	30.0×21.0	2 989.3	601.1	6.8	薄 ³	薄 ³	*8.42	17.4	138.2	*4.85	*28.5	*0.185
Y ₇	圆锥形(双歧肩)	松 ²	卵圆形 ³	红色 ²	16.3×14.7	19.5×16.5	2 990.9	697.4	2.6	薄 ³	中 ²	8.33	16.0	148.8	3.87	38.4	0.383
Y ₈	圆锥形(单歧肩) ²	紧 ²	鸡心型 ⁵	紫黑 ⁴	26.5×13.5	22.0×27.0	1 520.8	1 106.0	4.3	中 ²	中 ²	*7.71	17.1	146.3	4.38	33.4	*0.889
Y ₉	圆锥形 ¹	紧 ²	手指形 ²	粉红 ¹	23.5×10.5	33.0×14.0	1 114.5	399.5	8.4	薄 ³	薄 ³	8.02	15.3	138.3	4.30	32.2	0.218
Y ₁₀	圆锥形 ¹	紧 ²	近圆形 ¹	紫红 ³	21.3×11.3	14.5×13.0	*177.0	*295.1	*2.3	薄 ³	薄 ³	7.86	16.6	134.1	4.13	32.5	0.663
Y ₁₁	圆锥形(双歧肩) ²	紧 ²	近圆形 ¹	紫黑 ⁴	27.1×12.3	28.5×24.5	1 998.9	785.5	6.2	厚 ¹	厚 ¹	7.90	16.2	150.3	3.77	39.9	0.701
Y ₁₂	圆锥形 ¹	紧 ²	近圆形 ¹	紫红 ³	25.5×10.5	27.0×24.5	2 906.3	*1 181.1	8.4	薄 ³	薄 ³	8.21	*13.6	*125.5	*2.70	46.5	0.678
Y ₁₃	圆锥形 ¹	松 ²	椭圆形 ⁶	紫黑 ⁴	23.3×16.7	28.7×18.0	2 298.5	463.0	5.3	中 ²	厚 ¹	8.17	15.4	144.6	3.40	42.5	0.797
Y ₁₄	圆锥形(有副穗) ³	中 ¹	椭圆形 ⁶	紫红 ³	18.8×15.0	27.0×23.0	1 314.7	565.9	7.5	中 ²	中 ²	8.31	17.8	162.2	3.54	45.8	0.202
A					22.7×15.0	26.9×20.5	1 927	638	6.28			8.14	16.6	151	3.71	41.9	0.54

注：Y₁~Y₁₄，品种编号，分别表示户太8号、夏黑、红地球、红乳、玫瑰香、魏可、红宝石、摩尔多瓦、秦龙大穗、弗雷无核、黑旋风、8611、金田0601、巨玫瑰。C₁~C₁₇，测定指标编号，分别表示穗形、松散度、果粒形状、果粒颜色、果穗大小/(cm×cm)、果粒大小/(mm×mm)、产量/(kg/667 m²)、果穗质量/g、单果质量/g、果皮厚度、果粉厚度、感官评价得分、可溶性固形物含量/%、还原糖含量/(g/L)、可滴定酸含量/(g/L)、糖酸比、花色苷含量/(mg/g)，表4同。A，平均值，★，该评价因子的最高值，●，该评价因子的最低值，表3同。上标数字代表人为赋予的该指标的量化值。

径均最大，其果穗和果粒也均最大，分别为602.8 cm²和884 mm²，而红乳果穗最小（218.4 cm²），弗雷无核果粒最小（188.5 mm²）。

2.1.2 果实产量及产量构成因素

14个鲜食品种平均产量为1 926.9 kg/亩，其中红地球的单果粒质量最大，产量也最大。而弗雷无核的产量、果穗平均质量和单果质量均最小。

2.1.3 果实耐贮性

一般认为耐贮性品种的果皮表面蜡质含量较多^[21]，且果皮厚度、着色程度、果粉含量都会影响果实的耐贮性^[22]。因此，本研究将果皮和果粉厚度2个指标作为果实耐贮性的评价因子。在供试的14个品种中，按果粉和果皮厚度性状表现可分为3级，薄（1级）、中（2级）和厚（3级）。其中，户太8号的果粉较薄但果皮较厚，而夏黑、黑旋风的果皮和果粉均较厚。

2.1.4 感官品质评定

由表3可知，对于果穗和果粒外观，红乳得分最高，弗雷无核得分最低。浆果香气得分最高的是玫瑰香（2.0分），其次为巨玫瑰，其余得分均较低。果皮及果肉质地得分最高的是魏可，最低的是户太8号。浆果风味夏黑得分最高，玫瑰香最低。总之，供试14个鲜食品种中，感官品评平均得分8.14分，魏可总分最高（8.42分），摩尔多瓦得分最低（7.71分）。

表3 供试品种果实感官品质评价结果
Table 3 Sensory quality evaluation of the tested varieties

品种	各感官品质的评分值				总分 (10分)
	果穗和果粒外观 (0.1~2分)	浆果香气 (1~2分)	果皮和果肉质地 (0.1~3分)	浆果风味 (1~3分)	
魏可	1.9	●1.0	*2.9	2.62	*8.42
夏黑	1.8	●1.0	2.8	*2.80	8.40
红乳	*2.0	1.1	2.5	2.75	8.35
红宝石	1.8	1.3	2.7	2.53	8.33
巨玫瑰	1.6	1.8	2.4	2.51	8.31
玫瑰香	1.6	*2.0	2.5	*2.14	8.24
8611	1.6	1.4	2.8	2.41	8.21
0601	1.6	1.5	2.6	2.47	8.17
红地球	1.7	1.2	2.6	2.65	8.15
秦龙大穗	1.6	●1.0	2.8	2.62	8.02
黑旋风	1.8	1.3	2.4	2.40	7.90
弗雷无核	●1.4	●1.0	2.7	2.76	7.86
户太8号	1.5	●1.0	●2.0	2.33	7.83
摩尔多瓦	1.7	1.1	2.4	2.51	*7.71
A	1.7	1.3	2.6	2.54	8.14

2.1.5 果实内在品质

葡萄果实内糖、酸含量及其比值（糖酸比）对葡萄果实的品质、风味有决定性的影响，由表2可知，品种之间糖、酸含量及糖酸比有着明显的差异，其中红乳的平均可溶性固形物和还原糖含量最高，相应的其糖酸比含量也最高（65.7），最低的是8611（可溶性固形物含量13.6%，还原糖含量125.5 g/L）。果实平均含酸量为3.59 g/L，除了8611、红乳、玫瑰香、8611含酸量在3 g/L以下外，其他品种均在3 g/L以上，含量最高的是魏可（4.85 g/L），该品种的糖酸比也相对最低（28.5）。14个鲜食品种花色苷平均含量为0.54 mg/g，最大的是摩尔多瓦（0.889 mg/g），最少的是魏可（0.185 mg/g）。

2.2 主要经济学性状指标变异系数

变异系数表示不同个体间的各性状受不同条件影响发生的变异程度,它能反映作物性状变化的基本动态^[23],由表4可知,不同品种间果粒形状的变异系数最大(72%),说明不同品种间果粒形状的差异较大。其次为果实的产量、花色苷含量、果粉厚度、果皮厚度和果皮颜色性状,其变异系数依次为49%、48%、48%、47%和43%,表明不同品种间果实产量、色泽和酚类物质含量跨度较大,果实的抗性和耐贮性方面可能存在显著差异。此外,各品种间内在品质中除总花色苷含量外,其余指标的变异系数均较小,其中不同品种间感官评价分值的变异系数最小,说明不同品种间感官品质变化比较稳定。总体来看,17个评定因子在不同品种间的表现不同,部分指标在不同品种的表现差异较小,部分变异系数大的指标来源于品种间的差异性,很难根据单一指标对不同品种的果实品质做出正确的判断。

表4 供试品种主要经济学性状的平均值及变异系数

指标	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇
平均值	2.43	1.79	2.64	2.64	340	558	1927	638	6.28	1.57	1.86	8.14	16.6	151	3.71	41.9	0.54
标准差	0.65	0.43	1.28	1.91	103	181	940	261	2.63	0.76	0.86	0.23	1.74	16.4	0.67	10.4	0.26
变异系数/%	27	24	48	72	30	33	49	41	42	48	47	3	10	11	18	25	48

2.3 基于层次分析法的模糊综合评价数学模型的建立

2.3.1 评价指标的筛选

果实品质评价因素随品种的不同而异,且组成成员很多。根据本实验的研究目的,要进行品质的综合评价,在简化果实评价指标的同时,必然要把其他所有相关因素考虑进去。在此本实验根据葡萄品质特性,筛选出14个指标作为评价因子的指标集: $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_{14}\}$ 。式中: X_1 为穗形; X_2 为果穗松散度; X_3 为果穗大小; X_4 为果粒大小; X_5 为果粒颜色; X_6 为产量; X_7 为果皮厚度; X_8 为果粉厚度; X_9 为感官评价得分; X_{10} 为可溶性固形物; X_{11} 为还原糖含量; X_{12} 为可滴定酸含量; X_{13} 为糖酸比; X_{14} 为花色苷。其中, $X_1 \sim X_5$ 为果实外观品质, X_6 为果实产量性状, $X_7 \sim X_8$ 为果实耐贮性, X_9 为果实风味品质, $X_{10} \sim X_{14}$ 为果实内在品质,这14个评价因子基本可以反映鲜食葡萄的综合品质。

2.3.2 层次结构图的建立

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是根据问题的性质和最终目标,将问题划分为相关联的有序层,是把评价因子本身的相对重要性定量化,该方法能反映评价因子在果实品质评价中所占地位的客观性,强调了不同指标因子权重值的差异^[24]。应用AHP分析决策问题时,首先要构造层析结构模型。由于果实品质是受许多因素影响的,而这些因素依其所具有的性质可分为不同的层次,这种由影响果实品质的各因素按层次划

分组成的树状称为综合评判树。本实验根据划分评价因子的层次类别关系,将所有评判树分为4层(图1):第1层为目标层(A),为品质综合评价;第2层为准则层(B),记为 $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$, B_1 为果实外观品质, B_2 为果实产量性状, B_3 为果实耐贮性, B_4 为果实感官风味品质, B_5 为果实内在品质。第3层为指标层(X),为影响葡萄果实品质的因素,记为 $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_{14}\}$;第4层为方案层(Y),为不同的供试葡萄品种,记为 $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, \dots, Y_{14}\}$,式中 $Y_1 \sim Y_{14}$ 分别为户太8号、夏黑、红地球、红乳、玫瑰香、魏可、红宝石、摩尔多瓦、秦龙大穗、弗雷无核、黑旋风、8611、金田0601、巨玫瑰。

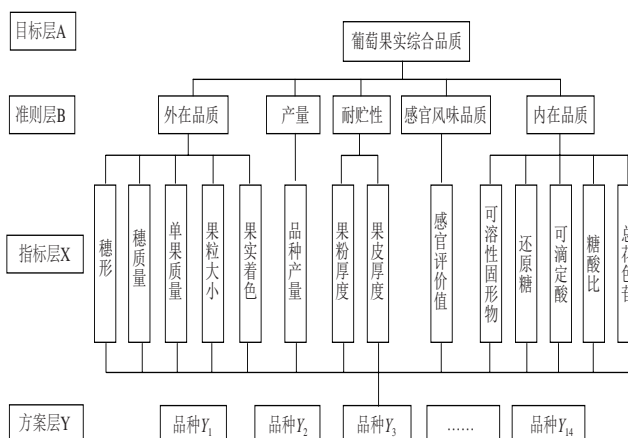


图1 果实品质指标的综合评判树

Fig.1 Comprehensive evaluation tree of all factors for evaluating fruit quality

2.3.3 比较矩阵的建立

依据人们的思维逻辑层次从将综合评判树的最低层次开始对上一层的指标逐层进行比较,结合专家经验,采用九标度法构造出两两比较矩阵 R 。如相对于准则层B中 B_1 的而言,判断指标层C中 $X_1 \sim X_5$ 各元素对 B_1 的相对重要性建立比较矩阵(表5 B_1-X),同理,判断 $X_7 \sim X_8$ 相对于 B_3 的重要性,构造出比较矩阵(表5 B_3-X)。判断 $X_{10} \sim X_{14}$ 相对于 B_5 的重要性,构造出比较矩阵(表5 B_5-X)。由于 B_2 和 B_4 分别只包含一个指标 X_6 和 X_{11} ,因此不用构造矩阵。根据判断准则层 $B_1 \sim B_5$ 各元素对目标层A的相对重要性建立比较矩阵(表5 A-B)。

2.3.4 计算单一准则下元素的相对权重及其一致性检验

MATLAB R2014a求解矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 、特征向量及权重向量 w_j 见表5。由于,两两比较矩阵的元素是通过两个因素比较得到的,往往可能得到一些不一致的结论。因此,难以达到判断的一致性,在一致性上会出现一定的偏离,为此要进行一致性检验,就是检验矩阵判断思维的一致,以保证矩阵的偏离在允许的范围。因此,通过引入判断矩阵的平均随机一致性指标RI,通过计算得到每个判断矩阵的随机一致性比率CR。计算结果

表明，所有比较矩阵的CR<0.1，满足一致性要求，其相应求得的权重有效。

表5 MATLAB分析比较矩阵及一致性检验结果

Table 5 MATLAB analysis and consistency check for comparison matrices											
B_1-X	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	w_j	λ_{max}	CI	RI	CR	
X_1	1	1	1/3	1/5	1/5	0.118 4	0.063 8	5.055 6	0.013 9	1.12	0.012 4
X_2	1	1	1/3	1/5	1/5	0.118 4	0.063 8				
X_3	3	3	1	1/3	1/3	0.284 9	0.153 5				
X_4	5	5	3	1	1	0.667 4	0.359 5				
X_5	5	5	3	1	1	0.667 4	0.359 5				
B_2-X	X_7	X_8	w_j	λ_{max}	CI	RI	CR				
X_7	1	1/3	0.316 2	0.25	2	0	0				
X_8	3	1	0.094 9	0.75							
B_2-X	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	w_j	λ_{max}	CI	RI	CR	
X_{10}	1	1	1	1/5	1/3	0.152 6	0.087 6	5.042 0	0.010 5	1.12	0.009 4
X_{11}	1	1	1	1/5	1/3	0.152 6	0.087 6				
X_{12}	1	1	1	1/5	1/3	0.152 6	0.087 6				
X_{13}	5	5	5	1	3	0.872 1	0.500 7				
X_{14}	3	3	3	1/3	1	0.411 8	0.236 4				
A-B	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	w_j	λ_{max}	CI	RI	CR	
B_1	1	1/3	3	1/3	3	0.284 9	0.153 5	5.055 6	0.013 9	1.12	0.012 4
B_2	3	1	5	1	5	0.667 4	0.359 5				
B_3	1/3	1/5	1	1/5	1	0.118 4	0.063 8				
B_4	3	1	5	1	5	0.667 4	0.359 5				
B_5	1/3	1/5	1	1/5	1	0.118 4	0.063 8				

2.3.5 层次总排序及组合一致性检验

层次总排序是计算同一层次所有因素相对于目标层的重要性排序，通过进行指标层对于目标层的权重排序，计算最下层评价因子对目标的组合权向量，得到由j个指标的组权向量组成的权重集 $S_j=(0.009\ 8, 0.009\ 8, 0.023\ 6, 0.005\ 5, 0.005\ 2, 0.359\ 3, 0.015\ 9, 0.047\ 9, 0.039\ 5, 0.005\ 6, 0.005\ 6, 0.005\ 6, 0.319\ 0, 0.015\ 1)$ 。最后对层次分析组合权重同样进行组合权向量的一致性检验，以确定组合权向量是否满足要求，能否作为最终决策依据，通过公式（1）计算 $CR_{组合}=0.011\ 5<0.1$ ，结果表明，组合权向量符合一致性检验要求，因此，层次总权重排序具有满意的一致性。

2.3.6 模糊综合评价葡萄果实品质

为消除量纲化对计算结果的影响，采用极差标准化法对评价因子的实测值进行无量纲化处理，再在层次分析法的基础上，确定各个评价因子的权重，运用多因子模糊数学综合评定法，将实测值和参评因素进行数量统计综合，评价结果的综合得分越高，说明品种的综合品质越好。由表6可知，红地球、夏黑、红宝石、8611、金田0601和魏可的综合得分最高（I级），这6个品种在果穗外观、果实产量、花色苷含量表现突出，表明该6个品种是优良的鲜食葡萄栽培种。户太8号和黑旋风得分也较高（II级），而巨玫瑰、玫瑰香、红乳和摩尔多瓦综合

排名居中（III级），秦龙大穗、弗雷无核由于在产量、果实内在品质和耐贮性方面的较差表现而的得分较低（IV级），其中，弗雷无核的得分最低。

表6 供试品种葡萄果实品质综合评定结果

Table 6 Comprehensive evaluation of quality characteristics for the tested varieties																		
品种	各指标得分														综合 分值	排序	类别	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}				
Y_1	0.010	0.010	0.024	0.055	0.055	0.210	0.000	0.048	0.218	0.003	0.002	0.002	0.015	0.014	0.666	7	II	
Y_2	0.010	0.010	0.013	0.021	0.055	0.172	0.016	0.048	0.355	0.001	0.002	0.001	0.014	0.013	0.731	2	II	
Y_3	0.005	0.010	0.011	0.039	0.018	0.359	0.008	0.000	0.295	0.002	0.002	0.005	0.003	0.007	0.764	1	I	
Y_4	0.005	0.010	0.000	0.016	0.000	0.092	0.000	0.000	0.343	0.006	0.006	0.001	0.032	0.006	0.514	11	III	
Y_5	0.010	0.000	0.010	0.041	0.000	0.114	0.000	0.024	0.316	0.005	0.004	0.001	0.025	0.001	0.551	10	III	
Y_6	0.005	0.000	0.009	0.035	0.000	0.303	0.000	0.000	0.360	0.003	0.003	0.006	0.000	0.000	0.724	6	I	
Y_7	0.005	0.010	0.001	0.011	0.018	0.304	0.000	0.024	0.338	0.002	0.002	0.003	0.008	0.004	0.730	3	I	
Y_8	0.005	0.010	0.009	0.032	0.055	0.145	0.008	0.024	0.189	0.003	0.002	0.004	0.004	0.015	0.505	12	II	
Y_9	0.010	0.010	0.002	0.022	0.000	0.101	0.000	0.000	0.264	0.001	0.001	0.004	0.003	0.001	0.418	13	III	
Y_{10}	0.010	0.010	0.001	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.225	0.003	0.001	0.004	0.003	0.010	0.304	14	IV	
Y_{11}	0.005	0.010	0.007	0.040	0.055	0.197	0.016	0.048	0.235	0.002	0.002	0.003	0.010	0.011	0.641	8	II	
Y_{12}	0.010	0.010	0.003	0.038	0.037	0.294	0.000	0.000	0.309	0.000	0.000	0.000	0.015	0.011	0.727	4	I	
Y_{13}	0.010	0.010	0.010	0.026	0.055	0.229	0.008	0.048	0.300	0.002	0.002	0.002	0.012	0.013	0.726	5	II	
Y_{14}	0.000	0.000	0.004	0.034	0.037	0.123	0.008	0.024	0.333	0.004	0.003	0.002	0.015	0.000	0.587	9	III	

2.4 供试品种的聚类分析

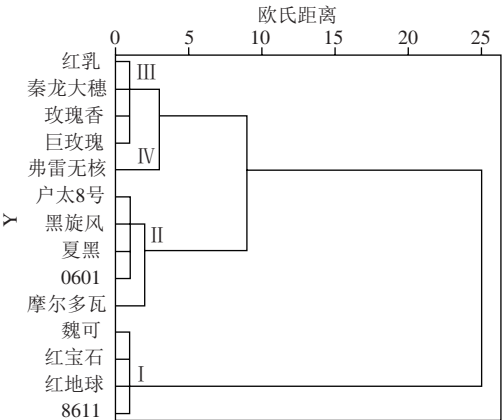


图2 14种葡萄品种的Q型聚类树形图
Fig.2 Q-type clustering tree of 14 grape varieties

本实验以调查的17个经济学性状指标为依据，对14个品种采用离差平方和法（Ward法）进行Q型系统聚类分析^[25-26]。由聚类分析谱系图（图2）可知，在欧氏距离=5时，14个品种样品分为4类：其中，第I类群包括魏可、红宝石、红地球、8611，4个品种在果实产量、果穗质量、果粒大小、花色苷含量和感官品质评价方面近似，在模糊评价中得分较高，综合品质方面较为突出。第II类群包括5个品种：户太8号、夏黑、黑旋风、金田0601和摩尔多瓦，这5个品种在可溶性固形物等内在品质指标上表现出相近的趋势，因此聚类在一起，其中摩尔多瓦与其他4类品种距离较远。第III类群所包含的品种为：玫瑰香、巨玫瑰、秦龙大穗、红乳，此类群在耐贮

性和果实内在品质较为类似,故归为一类。第Ⅳ类群只有1个品种,弗雷无核,此品种在综合评价中得分最低,综合品质最差。

3 讨论

本研究对14种鲜食葡萄品种的17个主要生物学性状、理化指标和感官风味进行了观测与分析,主要目的是为进一步筛选经济学性状优良的品种奠定基础。在筛选出的14个评价因子中,果粒形状的变异系数最大,说明果粒形状的多样性来源于品种间的差异。其次产量的变异系数也较大,其中具有高产丰产特性的红地球、8611、魏可、红宝石是非常有潜力的栽培品种。花色苷含量、果粉厚度、果皮厚度和果皮颜色性状的变异系数次之,说明不同品种间果实外观、产量和酚类物质含量跨度较大,其中,户太8号、夏黑、摩尔多瓦属于着色较深的品种。

鲜食葡萄的综合品质一般包括穗大粒大、外形美观、含糖量高、丰产、耐贮性好等^[27]。优质葡萄的衡量是多项指标的综合评价,以往对葡萄品质的具体评价中,各项指标虽均有不同程度的涉及,但主要还是集中于糖、酸、pH值等量化指标上,难以拟合入果皮色泽、厚度、果穗形状等非数字化指标因素的影响。而单纯仅靠感官评分判定品种品质的优劣非常不科学,其不仅受到评判员主观因素的干扰,还无法拟合栽培者对果实产量和果实外观的需求^[6]。因此,本研究试图通过确定并比较影响果实综合品质的评价因子,建立层次结构模型,进而利用模糊数学原理对果实的综合品质进行评价。评价因子的确定是正确进行品质评价的基础,在现有果品的评价过程中,评价因子的选择决定了评价效果^[28],因此,在果实评价中评价因子的选择与权重则显得尤为重要。优质鲜食葡萄品种的品质要求主要包括外观品质(果穗、果粒、着色程度、果粒着生松紧度等),内在品质(含糖量、含水量、酸度、蛋白质等成分),贮运性(硬度、贮藏性、货运寿命)等方面^[29]。在葡萄果实的品质评价中,果粒大小是市场消费的第一判断标准^[30],是葡萄商品货架的主要外部指标,在一定程度上,果粒大小的权重值要超过果穗大小的权重值^[31]。而果穗形状也是鲜食葡萄外观品质的一项重要指标,市场上要求优质果的穗形标准为:果穗成圆锥形或长圆锥形,如果有歧肩,不宜过大。果穗长度不超过穗长,穗形要端正,果穗疏密得当^[32]。本实验根据上述要求对不同品种葡萄果实非量化的外观品质人为地赋予了该指标的量化值。此外,产量因素也是影响葡萄栽培者选种的重要因素,产量与品种好坏直接相关,可以将产量作为评价因素之一^[33]。而果实内在品质如可溶性固形物、酸含量及糖酸比是影响

响感官品尝和消费者选购的重要指标^[34]。葡萄果粉薄厚是葡萄品种的固有特性,果粉是葡萄果实上的蜡质保护层,避免病菌侵害果粒,其次,果实的耐贮性与果皮的组织结构有着密切的关系^[35],果皮厚度大的品种较耐贮^[36],贮藏的葡萄要选择果粉和果皮较厚的果穗^[37],因此本实验将果皮和果粉厚度作为评价果实耐贮性的指标。此外,本实验根据中国农学会葡萄分会在第八届全国葡萄学术研讨会上对鲜食葡萄评优时采用的评优标准为依据^[38],建立了10分制的果实感官风味评,将果实感官评价拟合入综合品质评价中。

最终,本工作综合考虑影响葡萄果实综合品质的外观品质、产量、耐贮性、感官品质和内在品质等14个指标,通过层次分析法得到各个因素的权重向量,从而建立模糊综合评判模型,利用模糊数学原理将14个葡萄品种进行综合得分排序可以对葡萄品种的多种指标进行全面综合的科学评价,从而筛选出不同等级的品种。此外,本研究根据上述选定的评价因子对14个葡萄品种进行了聚类分析,聚类可以客观地反映参试品种的品质特征,也能一定程度上反映品种间的亲缘关系,从而筛选出不同类别的品种。利用模糊综合评价方法结合聚类分析,能够给予不同品种品质较为全面、客观的评价和分析,为葡萄果实品质的综合评价提供了新的思路和方法。

本研究对陕西渭北地区的14个鲜食葡萄品种的17项生物经济学指标进行的分析发现,不同品种间果实外观、产量和酚类物质含量跨度较大,而果实的内在品质和感官品质未表现出品种间的显著差异性。模糊数学评价明确区分出供试品种中品质优良的品种为红地球、夏黑、红宝石、8611、金田0601、魏可、户太8号和黑旋风,巨玫瑰、玫瑰香、红乳和摩尔多瓦的品质居中,而秦龙大穗、弗雷无核的综合品质较差。聚类分析结果表明,8611、红地球、红宝石、户太8号、黑旋风和魏可品质优等聚为一类,为优良的鲜食葡萄栽培种。品质中等的玫瑰香、巨玫瑰和红乳聚为一类,品质最差的弗雷无核单独聚为一类。聚类分析与模糊综合评价判定结果较为一致。葡萄品质和品种间关联关系较为显著,模糊数学评价方法结合聚类分析可用来分析葡萄果实品质的优劣。

参考文献:

- [1] 周步海, 顾克余, 李洪山, 等. 6个欧亚种葡萄果粒品质比较研究[J]. 江西农业学报, 2011, 23(12): 45-47.
- [2] 张玉革, 胡绪彬. 基于主成分和聚类分析的大豆品种生物学性状的比较研究[J]. 大豆科学, 2004, 23(3): 178-183.
- [3] 张敏, 刘辉. 基于主成分分析法的小米食用品质评价模型的建立[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(8): 7-12.
- [4] 武晓娟, 薛文通, 张惠. 不同品种红小豆的品质评价研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(9): 20-24.

- [5] DROGOUDI P D, MICHAELIDIS Z, PANTELIDIS G. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 115(2): 149-153.
- [6] 李新蕊. 主成分分析, 因子分析, 聚类分析的比较与应用[J]. 山东教育学院学报, 2008, 22(6): 23-26.
- [7] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(2): 357-365.
- [8] 陈永义, 刘云丰, 汪培庄. 综合评判的数学模型[J]. 模糊数学, 1983, 1(1): 61-69.
- [9] CHENG Yongqian, SONG Qianwu, MA Hongmei. Research on optimization of water quality monitoring sites using principal component analysis and cluster analysis[C]//Computer distributed control and intelligent environmental monitoring (CDCIEM), Changsha: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011: 570-573.
- [10] NIU Cencen, WANG Qing, CHEN Huie, et al. Application of principal component analysis and cluster analysis to evaluation of black soil degradation in Jilin[C]//Multimedia technology (ICMT). Changsha: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011: 1467-1470.
- [11] 蒲富慎. 果树种质资源描述符[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 106-144.
- [12] IPGRI, UPOV, OIV. Descriptors for Grapevine (*Vitis* spp.)[M]. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute (IP-GRI), 1997: 34-38.
- [13] 王华. 葡萄酒分析检测[M]. 北京: 中国农业出版, 2004: 125-127.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 160-162.
- [15] MENG Jangfei, FANGF Yulin, QIN Minyang, et al. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi County (China)[J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 2049-2056.
- [16] 贺业富. 介绍一种简易农作物测产法[J]. 新农业, 1993(9): 8.
- [17] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 9(9): 23-33.
- [18] 洪志国, 李焱. 层次分析法中高阶平均随机一致性指标(RI)的计算[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(12): 45-47.
- [19] 黄敏, 黄明清, 李守爱. 基于AHP的点柱稳定性影响因素综合评价[J]. 有色金属: 矿山部分, 2013, 65(5): 92-95.
- [20] 李文学, 尹明安, 聂路. 樱桃番茄保鲜条件优化及各指标在贮藏期的动态变化[J]. 西北农业学报, 2012, 21(4): 121-126.
- [21] 姚永花, 李富军, 张新华, 等. 植物蜡质研究进展及其在果蔬贮藏中的应用[J]. 北方园艺, 2011, 2(2): 202-205.
- [22] 周会玲. 葡萄果实耐贮性的比较生物学研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 39-43.
- [23] 王文森. 变异系数: 一个衡量离散程度简单而有用的统计指标[J]. 中国统计, 2007(6): 41-42.
- [24] 潘峰, 付强, 梁川. 基于层次分析法的模糊综合评价在水环境质量评价中的应用[J]. 东北水利水电, 2003, 21(8): 22-24.
- [25] LUO Jiaguo, GONG Kuihua, ZONG Xueping. The Cluster Analysis on the Type of Experimental Courses by SPSS[C]//International conference on electronics, information and communication engineering (EICE 2012). Paris: ASME Press, 2012.
- [26] 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.
- [27] 罗国光. 世界葡萄产业的概况及发展趋势[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2001(5): 54-58.
- [28] 张海英, 韩涛, 王有年, 等. 桃果实品质评价因子的选择[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 235-239.
- [29] RANKINE B C, FOMACHON J C M, BOEHM E W, et al. Influence of grape variety, climate and soil on grape composition and on the composition and quality of table wines[J]. *Vitis*, 1971, 10: 33-50.
- [30] KADER A A. Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries[M]//Post-harvest physiology and crop preservation. US: Springer, 1983: 455-470.
- [31] 于泽源. 果实品质的综合评定[J]. 中国果品研究, 1994(3): 17-19.
- [32] 楚燕杰. 葡萄果穗整形技术[J]. 果农之友, 2006(6): 23.
- [33] 袁亚宏, 王周利, 李彩霞, 等. 鲜榨苹果汁的理化特性和感官品质相关性[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 1-5.
- [34] 张磊, 张晓煜, 亢艳莉, 等. 土壤肥力对酿酒葡萄品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(2): 226-229.
- [35] 周会玲, 李嘉瑞. 葡萄果实组织结构与耐贮性的关系[J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 28-32.
- [36] 史洪琴, 蒋丽光. 十个葡萄品种耐贮性及相关浆果性状观察比较[J]. 北方园艺, 2013(10): 30-31.
- [37] 张尚嘉, 张勇. 冬季简易贮藏葡萄的方法[J]. 西北园艺, 2003(5): 41.
- [38] 晁无疾, 史光瑚. 我国鲜食葡萄品质分析[J]. 葡萄栽培与酿酒, 1995(3): 4-7.