

河西走廊不同产地‘赤霞珠’ 酿酒葡萄果实品质评价

李彦彪¹, 马维峰¹, 贾进², 牟德生³, 李生保⁴, 毛娟^{1*}

(1 甘肃农业大学 园艺学院, 兰州 730070; 2 甘肃红桥庄园葡萄酒有限公司, 甘肃张掖 734200; 3 武威市林业科学研究院, 甘肃武威 733000; 4 甘肃依诺酒庄有限责任公司, 甘肃武威 733000)

摘要: 为了确定河西走廊地区‘赤霞珠’酿酒葡萄核心品质指标, 建立‘赤霞珠’酿酒葡萄品质综合评价模型。从张掖、武威、嘉峪关 3 个酿酒葡萄主产市的代表性果园采集 6 份‘赤霞珠’葡萄样品进行品质测定, 通过主成分分析和聚类分析法确定‘赤霞珠’葡萄核心品质指标, 运用层次分析法确定指标权重并建立‘赤霞珠’葡萄品质综合评价模型。结果表明: (1) 不同产地‘赤霞珠’酿酒葡萄品质指标存在明显差异性, 张掖市国风葡萄酒庄园的‘赤霞珠’葡萄糖、蔗糖、草酸、柠檬酸含量均高于其他地区, 且可溶性固形物、可溶性糖、总酚、苹果酸含量在各产地中也均保持在最高水平。(2) 相关性分析发现, 葡萄果实葡萄糖含量与可溶性固形物含量、果糖与可溶性糖含量之间呈极显著正相关, 固酸比和糖酸比均与可滴定酸含量呈极显著负相关关系。(3) 综合主成分分析、聚类分析和相关性分析结果, 确定维生素 C(Vc)、单宁、果糖和固酸比是‘赤霞珠’葡萄核心品质指标, 应用层次分析法建立了‘赤霞珠’葡萄品质综合评价模型为 $Y = 0.0960 \times Vc \text{ 含量} + 0.1611 \times \text{单宁含量} + 0.2771 \times \text{果糖含量} + 0.4568 \times \text{固酸比}$ (各指标含量均经过标准化处理)。研究发现, 河西走廊地区‘赤霞珠’葡萄果实品质最佳产地是张掖市, 果实 Vc、单宁、果糖和固酸比是‘赤霞珠’葡萄的核心品质指标, 以其建立的评价模型可用于‘赤霞珠’葡萄品质的综合评价。

关键词: 河西走廊; 赤霞珠; 品质评价; 核心指标; 评价模型

中图分类号: Q945.79; Q945.6⁺5 **文献标志码:** A

Evaluation on Fruit Quality of Cabernet Sauvignon Wine Grapes from Different Producing Areas in Hexi Corridor

LI Yanbiao¹, MA Weifeng¹, JIA Jin², MU Desheng³, LI Shengbao⁴, MAO Juan^{1*}

(1 College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2 Gansu Chateau Hongqiao Wine Co. LTD, Zhangye, Gansu 734200, China; 3 Wuwei Academy of Forestry Sciences, Wuwei, Gansu 733000, China; 4 Gansu Chateau Yinuo Wine Co. LTD, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: In order to determine the core quality index of Cabernet Sauvignon wine grape in Hexi Corridor, we established a comprehensive evaluation model for Cabernet Sauvignon wine grape quality. Six samples of Cabernet Sauvignon wine grapes were collected from three representative orchards of Zhangye, Wuwei and Jiayuguan, and the quality of Cabernet Sauvignon wine grapes was determined. The core quality index of Cabernet Sauvignon wine grape was determined by principal component analysis and cluster analysis. The analytic hierarchy process was used to determine the index weight and establish a comprehensive eval-

收稿日期: 2020-09-02; 修改稿收到日期: 2021-05-08

基金项目: 甘肃省委组织部陇原青年创新团队项目(LQ2018091801); 甘肃农业大学青年导师基金(GAU-QDFC-2019-05)

作者简介: 李彦彪(1997—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事果树生物技术与种质创新的研究。E-mail: 1352104144@qq.com

* 通信作者: 毛娟, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事果树生物技术与种质创新的研究。E-mail: maojuan@gsau.edu.cn

uation model of Cabernet Sauvignon wine grape quality. The results showed that: (1) there were significant differences in quality indexes of Cabernet Sauvignon wine grapes from different producing areas. The contents of fructose, sucrose, oxalic acid and citric acid of the Cabernet Sauvignon grape in Guofeng Wine manor of Zhangye City were higher than those in other areas. The contents of soluble solids, soluble sugar, total phenol and malic acid were kept at a high level in each producing area. (2) Correlation analysis showed that there was a very significant positive correlation between glucose content and soluble solids content, fructose content and soluble sugar content in grape fruit. Solid ratio and sugar-acid ratio were significantly negatively correlated with titratable acid content. (3) Combined with principal component analysis, cluster analysis and correlation analysis, we found Vc, tannin, fructose and solid-acid ratio were determined as the core quality indexes of Cabernet Sauvignon grape. The comprehensive evaluation model for grape quality of Cabernet Sauvignon was established by analytic hierarchy process ($Y=0.0960$ Vc content + 0.1611 tannin content + 0.2771 fructose content + 0.4568 solid-acid ratio (all index contents were standardized)). It is found that Zhangye is the best Cabernet Sauvignon grape producing area for fruit quality in Hexi Corridor. Fruit Vc, tannin, fructose and solid-acid ratio are the core quality indexes of the Cabernet Sauvignon grape. The established evaluation model can be used to comprehensively evaluate the quality of the Cabernet Sauvignon grape.

Key words: Hexi Corridor; Cabernet Sauvignon; quality evaluation; core index; evaluation model

河西走廊地处北纬 $36\sim40^{\circ}$, 具有生产酿酒葡萄的最佳水、土、光、热资源组合, 是中国乃至全世界有机葡萄酒的优质产地之一^[1]。该地区光照、水热系数、日温差、土壤质地等条件均优于法国波尔多葡萄产区^[2]。因此, 选择适宜的品种, 采用相应栽培管理措施, 便成为了甘肃发展酿酒葡萄产业的关键。‘赤霞珠’ (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) 酿酒葡萄容易生长, 具有良好的适应性, 被誉为“红葡萄品种之王”, 是世界上公认的优良酿酒品种^[3], 因此, 它便成为河西走廊地区大面积种植的优先选择品种。

优质葡萄酒的生产前提必须有品质优良的葡萄品种。在日常生活中, 人们会从葡萄酒的外观、香气、口感等方面来评价酒品质的好坏, 而酒的这些特质很大程度上是酿酒葡萄本身的各项理化指标的体现^[4]。Li 等^[5]通过研究发现, 葡萄酒和酿酒葡萄的理化指标之间有很强的相关性, 因此酿酒葡萄的理化指标在一定程度上可以反映葡萄酒的质量。根据酿酒葡萄的理化指标对葡萄酒的质量进行评价, 不仅可以消除异质性, 而且更容易进行葡萄酒品质的评价^[6]。因此, 高品质的酿酒葡萄是酿造高质量葡萄酒的关键。葡萄浆果品质与产地密切相关, 在品种、树龄、栽培管理方式一致的条件下, 酿酒葡萄产区的气候、地形、土壤等条件是影响果实风味物质及葡萄酒风格与典型性的重要因素^[7]。杨洋等^[8]研究发现即使同一品种酿酒葡萄也会因产地和气候的不同, 其品质也存在较大差异。河西走廊地区地形复杂, 小气候环境繁多, 果实品质差异较大, 评价河西

走廊地区‘赤霞珠’葡萄品质, 确定其最优产地显得至关重要。

果实品质评价方法可以分为感官评价和品质指标评价。感官评价是个人通过视觉、嗅觉、味觉、触觉和听觉等对某种事物做出判断, 受人为因素影响较大; 而品质指标评价则比较客观, 是通过果实各种品质指标的测定综合评价果实的优劣。然而, 酿酒葡萄品质指标多种多样, 在生产中逐一测定分析并不现实, 因此, 需要对果实品质评价指标进行简化, 从而快速准确确定果实品质的优劣。关于酿酒葡萄品质评价因子的选择, 前人也做了相关研究, 李治奇等^[9]发现, 酿酒葡萄红色品种品质评价时, 单宁与固酸比权重高于其他指标, 即单宁与固酸比是红色品种酿酒葡萄的核心指标; 戴文渊等^[10]报道, 可滴定酸、总酚、单宁、花色苷、总糖、可溶性固形物这 6 个指标可作为河西走廊地区‘梅鹿辄’葡萄品质评价的简化指标; 杨中等^[11]对新疆 19 个酿酒葡萄品种果实测定得出, 单果质量、果形指数、糖酸含量、出汁率、风味等指标能够反映酿酒葡萄果实加工品质的绝大部分信息; 生产中通常选择可溶性固形物含量作为酿酒葡萄评价的指标。由此可以发现, 酿酒葡萄品质评价主要核心指标的确定存在多种研究结果, 国内外在酿酒葡萄与葡萄酒品质评价体系和评价方法方面未有统一的评价标准。而此前中国涉及河西走廊地区酿酒葡萄果实品质的研究较少, 且河西走廊地区‘赤霞珠’葡萄果实品质评价指标模糊不清。

因此, 为了明确河西走廊地区‘赤霞珠’葡萄果实品质评价的核心指标, 建立‘赤霞珠’葡萄果实评

价的数学模型。本试验以河西走廊 6 个不同产地的‘赤霞珠’葡萄为试验材料,对其品质指标进行测定,通过主成分分析和聚类分析筛选适宜的‘赤霞珠’葡萄果实品质评价指标,然后运用层次分析法确定指标的权重,最后综合各种指标构建科学合理、客观实用的‘赤霞珠’果实品质评价模型,从而为‘赤霞珠’葡萄品质评价提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

2018 年在各产地‘赤霞珠’酿酒葡萄适采成熟期,于河西走廊地区的武威市林业科学研究院(X1)、紫轩葡萄酒庄园(X2)、苏武山林场(X3)、莫高葡萄庄园(X4)、国风葡萄酒庄园(X5)和夏博岚葡萄酒庄(X6)进行采样。采样时,随机选取长势优良、无病虫害的‘赤霞珠’葡萄树 10 棵,在每棵葡萄树的阴面、阳面各取 1 串果穗,并分别从所采果穗的上、中、下 3 个部分随机选取 120 粒果实,将取得的果粒装袋置于一80℃的冷冻条件下保存,用于果实品质的测定,每项指标的测定各设 3 个生物学重复,各产地代号与具体信息见表 1。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 果实基本品质指标 可溶性固形物含量采用手持折光仪测定,可溶性糖含量参考张瑜^[12]的方法测定;可滴定酸含量使用 NaOH 中和滴定法^[13]测定;总酚与单宁含量分别使用 Folin-Ciocalteu 法^[14]和 Folin-Denis 等^[15]测定;Vc 含量使用 2,6-二

氯酚靛酚滴定法^[16]测定;固酸比和糖酸比分别为可溶性固形物、可溶性糖含量与对应的可滴定酸含量的比值。

1.2.2 果实糖组分含量 使用高效液相色谱仪(美国 Waters Acquity Arc)进行果实糖类组分及含量的测定,测定方法参照 Bernardez 等^[17]和刘玉莲等^[18]的方法并略作修改。

(1)样品提取方法 葡萄果肉加液氮研磨后准确称取 0.5 g,移至 10 mL 离心管中,加入 5 mL 80%乙醇,35℃下超声提取 20 min、12 000 r/min 下离心 15 min,取上清液。重复提取 2 次,每次加 80%乙醇 2 mL,合并上清液,定容至 10 mL。取上清液 2 mL 于真空离心浓缩仪中旋转蒸发(60℃)3 h 至全干,用 1 mL 超纯水、1 mL 乙腈复溶,过 0.22 μm 有机相微孔滤膜过滤,将滤液加入样品瓶中待测,每个品种进行 3 次平行试验。

(2)色谱条件 XBridge BEH Amide 色谱柱(4.6×150 mm、2.5 μm),流动相为 75%乙腈+0.2%三乙胺+24.8%超纯水,流速为 0.8 mL/min,检测波长为 254 nm,柱温为 40℃,进样量为 10 μL,流动相使用前用 0.22 μm 有机滤膜过滤,超声脱气。

1.2.3 果实酸组分含量 果实酸组分及含量的测定使用美国 Waters Acquity Arc 高效液相色谱仪进行,参照 Liu^[19]和郭燕等^[20]的方法并加以改动。

(1)样品提取方法 准确称取葡萄果肉 2.0 g,在低温条件下研磨至糊状,转移至 10 mL 离心管,加入 5 mL 超纯水,80℃水浴、超声提取 15 min,冷却后在

表 1 不同产地具体信息
Table 1 Specific information of different producing areas

产地 Origin		地址 Address	地理位置 Geographic position		年平均温度 Mean annual temperature /℃	年平均 降水量 Mean annual precipitation /mm	无霜期 Frost-free season /d	土壤类型 Agrotype
编号 No.	果园产地 Origin		经度(E) Longitude	纬度(N) Latitude				
X1	武威市林业科学研究院 Wuwei Forestry Science Research Institute	武威市凉州区 Liangzhou District, Wuwei City	102°42′21.38″	38°2′38.13″	7.8	191.00	150	砾质沙壤土 Aravelly sandy loam
X2	紫轩葡萄酒庄园 Zixuan Wine Manor	嘉峪关市机场路 Airport Road, Jiayuguan City	98°21′1.65″	39°49′55.04″	7.4	85.30	130	灌淤土 Irrigation and silting soil
X3	苏武山林场 Suwushan Forest Farm	武威市民勤县 Minqin Country, Wuwei City	103°6′22.37″	38°32′1.73″	8.1	127.70	162	灰棕漠土 Gray brown desert soil
X4	莫高葡萄庄园 Mogao Vineyard	武威市凉州区 Liangzhou District, Wuwei City	102°52′14.96″	37°50′12.16″	7.9	191.00	160	砾质沙壤土 Gravelly sandy loam
X5	国风葡萄酒庄园 Guofeng Wine Manor	张掖市临泽县 Linze Country, Zhangye City	100°19′49.36″	39°15′22.12″	7.7	130.9	176	红色沙砾土 Red gravel soil
X6	夏博岚葡萄酒庄 Xiabolan winery	武威市民勤县 Minqin Country, Wuwei City	103°26′2.31″	38°39′54.22″	8.3	127.7	162	风沙土 Aeolian sandy soil

4 ℃、10 000 r/min 下离心 10 min,取上清液。残渣使用相同方法重复提取 2 次,每次加水 2 mL,最后将上清液合并后转移至 10mL 容量瓶中并定容,溶液过 0.22 μm 微孔水相滤膜,加入样品瓶中待测。每个品种做 3 个平行试验。

(2)色谱条件 Atlantis T3column 色谱柱(4.6 mm×150 mm,3 μm),流动相为 20 mmol/L NaH₂PO₄ 溶液(用 H₃PO₄ 将 pH 调至 2.7),流速为 0.50 mL/min,柱温为 30 ℃,检测波长为 210 nm,进样量为 20 μL。

1.3 数据处理

使用 Excel 2010 进行数据统计;采用 SPSS 23.0 分析软件进行数据分析。

1.3.1 评价指标的筛选 运用主成分分析确定核心评价指标的权重,然后根据聚类分析法选择适当数量的核心评价指标,最后结合主成分分析与相关性分析确定核心评价指标。

1.3.2 指标权重的确定 基于层次分析法中的 1-9 比例标度法^[21,22],根据‘赤霞珠’葡萄果实品质指标的基本性质和不同指标对果实品质评价影响的重要程度构建判断矩阵,计算得到各个指标的权重。为了保证权重的准确性,需要对判断矩阵进行一致性检验。首先,计算得出所建立矩阵的最大特征根 λ_{max},然后根据公式(1)、(2)计算得出所建立矩阵的随机一致性比率,当 CR<0.10 时,则认为判断矩阵具有较好的一致性,否则就需要对判断矩阵进行调整和修正,直到矩阵的一致性符合试验要求。RI 为与 n 对应的平均随机一致性取值(n=4,RI=0.89)。

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$$

(1)

$$CR=CI/RI$$

(2)

式中:CR 为判断矩阵的随机一致性比率;n 为判断矩阵的阶数;CI 为判断矩阵的一般一致性指

标;RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标;λ_{max} 为矩阵最大的特征根。

1.3.3 核心指标的标准化处理

①初始化处理

$$X_1=|1-X/X_0|$$

(3)

式中:X₁ 为各指标的初始化值;X 为各指标实测值;X₀理想指标值。

②正向化和归一化处理

$$X_2=1-X_1/X_{1\max}$$

(4)

式中:X₂ 为各指标标准化后结果;X₁ 为各指标的初始化值;X_{1max} 为各指标初始化值的最大值。

2 结果与分析

2.1 不同产地‘赤霞珠’葡萄果实基本品质指标比较

河西走廊‘赤霞珠’葡萄果实的可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、总酚、单宁、Vc 等品质指标在 6 个产地间均有显著差异(表 2)。其中,X1 地区的果实可滴定酸和单宁含量均最低,且可滴定酸含量与其他地区均差异显著;其果实糖酸比(可溶性糖含量/可滴定酸含量)与固酸比(可溶性固形物含量/可滴定酸含量)却最高,且与除 X4 以外的其他地区差异显著;其果实其余指标含量居中。X2 地区果实可溶性固形物含量最高(23.67%),并与除 X5 以外的其他地区有显著差异;其果实可溶性糖和可滴定酸含量处于较高水平,Vc 含量、糖酸比和固酸比较低,而其总酚含量低于其余地区。X3 地区的果实可溶性糖、可滴定酸、单宁含量在各产地中均最高,其单宁含量(8.42 mg/g)与其他地区相比差异显著,但其 Vc 含量却在各地区最低,且与 X2 之外的产地均差异显著。X4 地区的果实 Vc 和总酚含量均最高,且 Vc 含量(0.16 mg/g)显著高于其他产地;其糖酸

表 2 不同产地‘赤霞珠’葡萄果实基本品质指标

Table 2 Basic quality indexes of Cabernet Sauvignon grapes from different regions

产地 Origin	可溶性固形物 Soluble solid /%	可溶性糖 Soluble sugar /%	可滴定酸 Titrable acid /%	总酚 Total phenolic /(mg·g ⁻¹)	单宁 Tannin /(mg·g ⁻¹)	Vc /(mg·g ⁻¹)	固酸比 Solid-acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio
X1	22.70±0.29bc	19.73±0.13b	0.42±0.04d	20.39±0.45ab	6.97±0.15c	0.15±0.02b	54.81±6.63a	47.63±5.71a
X2	23.67±0.56a	19.87±0.19ab	0.65±0.02ab	19.72±0.35b	7.29±0.43bc	0.12±0.01c	36.26±1.06c	30.46±1.17c
X3	22.17±0.39bc	20.30±0.37a	0.67±0.05a	20.79±0.41a	8.42±0.15a	0.10±0.01c	33.42±2.88c	30.54±1.63c
X4	22.19±0.36bc	19.36±0.17bc	0.47±0.03d	20.89±0.44a	7.21±0.43bc	0.16±0.01a	47.92±3.64ab	41.77±2.61ab
X5	22.87±0.28ab	20.01±0.37ab	0.56±0.02c	20.20±0.27ab	7.70±0.18b	0.14±0.00b	40.68±1.43bc	35.61±1.71bc
X6	21.77±0.47c	19.05±0.24c	0.58±0.04bc	20.60±0.19a	7.09±0.28bc	0.15±0.01b	38.14±3.72c	33.35±3.02c

注:同列不同小写字母表示地区间在 0.05 水平差异显著(P<0.05),表 3 同
Note: Different lowercase letters within same column indicate significant differences among regions at 0.05 level (P<0.05), The same as Table 3

比和固酸比也均处于较高水平,而其可滴定酸和单宁含量均处于较低水平。X5 地区的果实各品质指标均没有极限值,可溶性固形物、可溶性糖和可滴定酸含量均维持在一个较高的水平,固酸比与糖酸比在各产地之间均保持在中等水平。X6 地区的果实可溶性固形物与可溶性糖含量均处于最低水平且均显著低于 X2 产地,单宁、糖酸比、固酸比也均处于较低水平,但总酚和 Vc 含量却处于较高水平且显著高于 X2 产地。

2.2 不同产地‘赤霞珠’葡萄果实糖、酸组分含量的比较

‘赤霞珠’葡萄果实中最终共检测出糖类物质 3 种,酸类物质 4 种,分别为葡萄糖、果糖、蔗糖、草酸、酒石酸、苹果酸和柠檬酸(表 3)。在糖组分中,各产地葡萄果实葡萄糖与果糖含量没有明显规律,但两者均明显高于蔗糖含量;在酸组分中,各产地葡萄果实均表现为酒石酸含量最高,苹果酸次之,柠檬酸与草酸含量较低且差异不明显。各类糖、酸物质含量在产地间相比较,葡萄糖含量以 X2 产地最高(99.13 mg/g),并与其他产地之间具有显著差异;其次是 X5 产地;最低的是 X6 产地,且与其余产地差异显著。果糖含量以 X3 产地最高,但与 X5 产地相比差异不显著,但两者均显著高于其他产地;最低的是 X6 产地,且与其余产地差异显著。蔗糖含量以 X6 产地最高,但与 X1、X4、X5 产地均无显著差异,它们显著高于 X2 和 X3 产地,并以 X3 含量最低(4.05 mg/g),而 X3 与 X2 之间没有显著差异。草酸含量各产地之间均保持在 0.09~0.16 mg/g 之间,X1 含量最高,X2 含量最低;酒石酸与苹果酸含量在产地间表现较为一致,均以 X3 产地最高,X6 产地最低;柠檬酸含量各产地差异较大,含量最高的 X5 产地比含量最低的 X1 高 112.5%,但 X3、X4、X6 产地均与 X5 产地无显著差异。

2.3 不同产地‘赤霞珠’葡萄各品质指标的相关性分析

‘赤霞珠’葡萄 15 种品质指标相关性分析结果(表 4)显示,葡萄果实可溶性固形物含量与葡萄糖含量呈极显著正相关(0.980**),与总酚含量呈显著负相关(-0.904*);可溶性糖含量与果糖、酒石酸含量呈极显著正相关(0.951**、0.946**),与蔗糖含量呈显著负相关(-0.847*);可滴定酸含量与糖酸比、固酸比呈极显著负相关(-0.976**、-0.977**),与 Vc 含量呈显著负相关(-0.893*);总酚含量与葡萄糖含量呈显著负相关(-0.857*);Vc 含量与蔗糖含量呈极显著正相关(0.926**);固酸比与糖酸比之间呈极显著正相关(0.993**);果糖与酒石酸、苹果酸含量之间呈显著正相关(0.901*、0.844*)。

2.4 不同产地‘赤霞珠’葡萄各品质指标主成分分析

6 个‘赤霞珠’葡萄样品 15 项品质指标的主成分分析结果(表 5)显示,从 15 项品质指标中共提取出 4 个主成分,它们特征值分别为 6.92、3.45、3.17 和 0.88。4 个主成分的累计方差贡献率达到了 96.10%,可以有效地反映出原始数据的大部分信息。第 1 主成分的方差贡献率为 46.10%,主要代表性指标有可溶性糖、可滴定酸、单宁、Vc、果糖、蔗糖、酒石酸和苹果酸;第 2 主成分的方差贡献率达到了 22.97%,主要代表性指标有可滴定酸、固酸比、糖酸比和草酸;第 3 主成分的方差贡献率达到了 21.16%,主要代表性指标有可溶性固形物、总酚、单宁和葡萄糖;第 4 主成分的方差贡献率达到了 5.86%,主要代表性指标有柠檬酸、蔗糖。

2.5 不同产地‘赤霞珠’葡萄各品质指标的聚类分析

通过 SPSS 22.0 的离差平方和法(Ward 法)对 15 个品质指标进行聚类分析,根据主成分分析的结

表 3 不同产地‘赤霞珠’葡萄果实糖、酸的组分与含量							
Table 3 Components and contents of sugars and acids in grapes of Cabernet Sauvignon from different regions							
产地 Origin	葡萄糖 Glucose	果糖 Fructose	蔗糖 Sucrose	草酸 Oxalic acid	酒石酸 Tartaric acid	苹果酸 Malic acid	柠檬酸 Citric acid
X1	92.78±0.18bc	94.85±0.52b	5.80±0.39a	0.16±0.03a	7.12±0.15b	2.10±0.05c	0.08±0.01c
X2	99.13±0.61a	95.00±0.67b	4.83±0.05b	0.09±0.02b	6.61±0.29c	2.21±0.04bc	0.10±0.02bc
X3	91.23±0.75c	97.03±0.56a	4.05±0.61b	0.15±0.02a	7.81±0.06a	2.35±0.07a	0.13±0.03abc
X4	92.18±0.82c	92.61±0.57c	5.97±0.32a	0.13±0.01ab	5.86±0.06d	2.27±0.07ab	0.14±0.02ab
X5	94.21±1.16b	96.31±0.62a	5.70±0.28a	0.15±0.02a	6.94±0.11b	2.24±0.05ab	0.17±0.03a
X6	89.10±0.41d	87.85±0.37d	6.36±0.29a	0.11±0.02ab	5.46±0.12e	1.86±0.05d	0.15±0.02ab

表 4 ‘赤霞珠’葡萄果实 15 种品质指标相关性分析表

Table 4 Correlation analysis between 15 quality indexes in grape fruits of Cabernet Sauvignon

指标 Index	可溶性固形物 Soluble solid	可溶性糖 Soluble sugar	可滴定酸 Titrable acid	总酚 Total Phenolic	单宁 Tannin	Vc	固酸比 Solid-acid ratio	糖酸比 Sugar-acid ratio	葡萄糖 Glucose	果糖 Fructose	蔗糖 Saccharose	草酸 Oxalic acid	酒石酸 Tartaric acid	苹果酸 Malic acid
可溶性糖 Soluble sugar	0.451													
可滴定酸 Titrable acid	0.198	0.449												
总酚 Total Phenolic	-0.904*	-0.251	-0.302											
单宁 Tannin	-0.099	0.771	0.653	0.217										
Vc	-0.306	-0.759	-0.893*	0.28	-0.789									
固酸比 Solid-acid ratio	-0.03	-0.316	-0.976**	0.169	-0.642	0.797								
糖酸比 Sugar-acid ratio	-0.112	-0.283	-0.977**	0.262	-0.568	0.78	0.993**							
葡萄糖 Glucose	0.980**	0.406	0.258	-0.857*	-0.078	-0.325	-0.103	-0.189						
果糖 Fructose	0.544	0.951**	0.207	-0.26	0.61	-0.555	-0.063	-0.041	0.501					
蔗糖 Saccharose	-0.32	-0.847*	-0.691	0.141	-0.794	0.926**	0.564	0.536	-0.347	-0.723				
草酸 Oxalic acid	-0.271	0.441	-0.396	0.411	0.356	0.079	0.406	0.492	-0.395	0.489	-0.084			
酒石酸 Tartaric acid	0.303	0.946**	0.263	-0.11	0.694	-0.65	-0.122	-0.073	0.22	0.901*	-0.782	0.624		
苹果酸 Malic acid	0.322	0.764	0.207	0.056	0.655	-0.461	-0.128	-0.097	0.381	0.844*	-0.688	0.307	0.649	
柠檬酸 Citric acid	-0.431	-0.146	0.214	0.311	0.317	0.071	-0.398	-0.362	-0.378	-0.22	0.255	0.028	-0.304	-0.01

注：*** 和 * 分别表示极显著相关($P<0.01$)和显著相关($P<0.05$)

Note: ** and * represent correlation is highly significant ($P<0.01$) and significant ($P<0.05$), respectively

表 5 不同产地‘赤霞珠’葡萄各品质指标主成分分析表

Table 5	Principal component analysis of 15 quality indexes in grape fruits of Cabernet Sauvignon from different regions			
指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4
可溶性固形物 Soluble solid	0.48	0.24	−0.82	0.17
可溶性糖 Soluble sugar	0.92	0.36	0.11	0.05
可滴定酸 Titrable acid	0.75	−0.66	−0.01	−0.08
总酚 Total Phenolic	−0.35	0.04	0.87	−0.10
单宁 Tannin	0.80	−0.09	0.58	0.07
Vc	−0.93	0.26	−0.05	0.23
固酸比 Solid-acid ratio	−0.63	0.77	−0.11	0.00
糖酸比 Sugar-acid ratio	−0.61	0.79	0.00	−0.02
葡萄糖 Glucose	0.49	0.14	−0.82	0.22
果糖 Fructose	0.80	0.57	0.01	0.17
蔗糖 Saccharose	−0.94	−0.03	−0.11	0.27
草酸 Oxalic acid	0.08	0.70	0.61	0.05
酒石酸 Tartaric acid	0.78	0.52	0.22	−0.17
苹果酸 Malic acid	0.70	0.40	0.18	0.33
柠檬酸 Citric acid	−0.08	−0.50	0.49	0.70
特征值 Characteristic value	6.92	3.45	3.17	0.88
方差贡献率 Rate of contribution/%	46.10	22.97	21.16	5.86
累积方差贡献率 Cumulative contribution rate/%	46.10	69.07	90.23	96.10

果,前 4 个主成分的累积方差贡献率达到 96.10%,所以在聚类分析时可将指标聚为 4 类。结果(图 1)显示,第 1 类聚集了 Vc、草酸、柠檬酸、可滴定酸和苹果酸;第 2 类聚集了单宁、酒石酸和蔗糖;第 3 类代表了果糖和葡萄糖;第 4 类代表可溶性糖、总酚、可溶性固形物、固酸比和糖酸比。先聚为一类的品质指标具有较强的相关性,为达到简化的目的,可选用其中 1 个指标代表其他指标。在第 1 类中,Vc 在第一主成分中占有最高的向量值,且 Vc 与可滴定酸之间具有显著的相关性,所以选择 Vc 作为第 1 类指标的核心;在第 2 类中,单宁在第一、第三主成分中均有较高的向量值,所以选择单宁为第 2 类指标的核心;第 3 类中果糖与可溶性糖具有极显著的相关性,且与酒石酸、苹果酸具有显著的相关性,所以选择果糖作为第 3 类的代表性指标;在第 4 类中,固酸比在第一主成分中占比高于糖酸比,且第 3 类中筛选出的果糖已经能够反映‘赤霞珠’葡萄的糖含量,所以选择固酸比作为第 4 类的代表性指标。因此,结合葡萄果实各品种指标间的相关性和主成分分析的结果,最终选择 Vc、单宁、果糖和固酸比 4 个因子来综合评价‘赤霞珠’葡萄的果实品质。

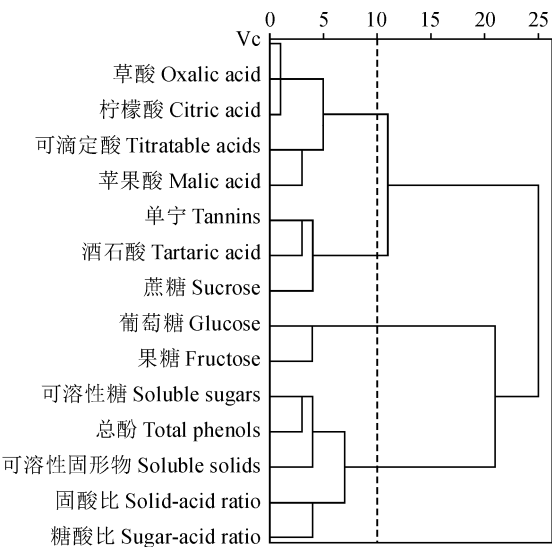


图 1 不同产地‘赤霞珠’葡萄各品质指标的聚类分析
Fig.1 Cluster analysis of quality indexes of Cabernet Sauvignon grapes from different regions

2.6 核心指标的权重确定

在充分分析 4 个品质指标对‘赤霞珠’酿酒葡萄果实品质影响的重要程度之后,运用比率标度法(表 6)对每组指标的重要性进行评分,得到最终的得分

表 6 元素重要程度比例标度
Table 6 Calibration of judgment matrix

标度 Scale	说明 Explain
1	表示两个指标具有同样的重要性 It means that the two indicators are of the same importance
3	表示一个指标比另一个指标稍微重要 Indicates that one indicator is slightly more important than another
5	表示一个指标比另一个指标明显重要 Indicates that one indicator is obviously more important than another
7	表示一个指标比另一个指标强烈重要 Indicates that one indicator is more important than another
9	表示一个指标比另一个指标极端重要 Indicates that one indicator is more important than another
2、4、6、8	各为上述两相邻判断的中间值 Each is the intermediate value of the above two adjacent judgments

表 7 判断矩阵及权重值
Table 7 Judgment matrix and index weights

指标 Index	Vc	单宁 Tannin	果糖 Fructose	固酸比 Solid-acid ratio	特征向量 Eigenvector	权重 Weight
Vc	1	0.5	0.33	0.25	0.38	0.096 0
单宁 Tannin	2	1	0.5	0.33	0.64	0.161 1
果糖 Fructose	3	2	1	0.5	1.11	0.277 1
固酸比 Solid-acid ratio	4	3	2	1	1.86	0.465 8

表 8 核心指标数据标准化处理结果与品质得分
Table 8 Standardized processing results and quality scores of core index data

产地 Origin	标准化处理结果 Standardized processing result				综合得分 Synthesis score	排名 Ranking
	Vc	单宁 Tannin	果糖 Fructose	固酸比 Solid-acid ratio		
X1	0.70	0.51	0.76	0.00	0.36	6
X2	0.38	0.83	0.78	0.80	0.76	2
X3	0.00	0.00	1.00	0.61	0.56	4
X4	0.55	0.76	0.52	0.44	0.52	5
X5	0.89	0.77	0.92	0.92	0.90	1
X6	0.85	0.63	0.00	0.92	0.61	3

判断矩阵(表 7)。从表 7 可知,针对 Vc、单宁、果糖、固酸比 4 项核心品质指标构建 4 阶判断矩阵进行 AHP 层次法研究(计算方法为和积法),分析得到 4 项核心指标的特征向量分别为 0.38、0.64、1.11 和 1.86,4 项核心指标所对应的权重值分别为 9.60%、16.11%、27.71%和 46.58%。除此之外,通过特征向量计算得出最大特征根为 4.03,然后利用最大特征根值计算得到 CI 值为 0.01,4 阶判断矩阵通过查表可得随机一致性 RI 值为 0.89,通过 CI 值与 RI 值计算得到 CR 值为 0.012(<0.10),意味着本次研究判断矩阵满足一致性检验,计算所得权重具有一致性。由此可以得出,固酸比和果糖对‘赤霞珠’葡萄果实品质的影响较大,Vc 和单宁的影响相对较小。

2.7 核心指标的标准化处理与果实品质得分

各品质指标特性之间有所差异,因此,进行果实

品质评价时需要确定各核心指标的理想值,对原始数据进行标准化处理。Vc 与单宁均为中性指标,取各产地测定指标的平均值作为“理想酿酒葡萄”的参考值;果糖为正向指标,在适宜范围内果糖含量越高,葡萄品质越好,因此,果糖取各产地测量值中的最大值作为“理想酿酒葡萄”的参考值;固酸比的选择参考汤兆星等^[23]对‘赤霞珠’酿酒葡萄品质评价的研究结果,选定的值为 39.40。将“理想酿酒葡萄”的各指标值作为参考序列,对各地区‘赤霞珠’葡萄 4 种核心指标进行标准化处理,结果如表 8 所示。根据标准化处理结果与层次分析所得权重建立‘赤霞珠’葡萄品质综合评价公式为:Y(综合得分)=0.0960×Vc 含量的标准化值+0.1611×单宁含量的标准化值+0.2771×果糖含量的标准化值+0.4568×固酸比的标准化值。按照综合评价方程得出的各产地果实品质得分见表 8,果实品质得分由

高到低依次为 X5>X2>X6>X3>X4>X1,即‘赤霞珠’葡萄品质以张掖市临泽县国风葡萄酒庄园最佳,其次是嘉峪关市机场路紫轩葡萄酒庄园。

3 讨 论

果实品质是由可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、单宁等多个方面共同组成的^[24],研究酿酒葡萄品质,酿酒葡萄品质评价因子的选择是最关键的一步^[25],确定合理的评价方法和代表因子是进行果实品质评价的基础。本研究分析了‘赤霞珠’葡萄成熟期果实可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量等 15 项品质指标,各个指标既相互独立且不同品质指标之间差异明显,因此不能简单采用单一指标对果实品质做出正确评判,需要将所有品质指标综合起来进行果实品质的评价。但是,直接利用所有指标进行评价会因指标信息的重复而使评价结果不准确,因此需要将多个单一品质指标转化为少数几个相互独立的新指标,在解释原始指标间关系的同时,简化果实品质评价的因子。本试验通过主成分分析,从成分矩阵中得出各个综合指标里单一品质指标的贡献率,从而大致确定了品质评价的核心指标;然后进行聚类分析^[26],从聚为一类的指标中选择一个重要指标来代表其他指标,接着通过品质指标的相关性分析^[27]确定指标间的相互关系,筛选出高度相关的指标,最后综合分析结果,确定‘赤霞珠’葡萄果实品质评价的核心指标为 Vc、单宁、果糖与固酸比。基于层次分析法^[28]对确定的核心指标赋予权重,最后得出‘赤霞珠’葡萄品质评价的综合模型: $Y(\text{综合值})=0.0960\times Vc \text{ 含量的标准化值}+0.1611\times \text{单宁含量的标准化值}+0.2771\times \text{果糖含量的标准化值}+0.4568\times \text{固酸比的标准化值}$ 。

酿酒葡萄果实风味物质的含量、组成及相互作用决定了葡萄酒的香气^[29],但是,酿酒葡萄的风味不是甜味和酸味的简单叠加,不仅仅取决于糖和酸的含量,同样也取决于糖和酸的种类及比例。‘赤霞珠’葡萄中的糖类物质主要是葡萄糖、果糖和蔗糖,三者的甜度值分别为 0.7、1.75、和 1.0^[30],果糖甜度值最高,说明果糖是‘赤霞珠’葡萄甜味程度的核心指标。王振龙等^[4]通过主成分和聚类分析研究发现,糖、酸、单宁、色素、芳香物质是决定酿酒葡萄品

质高低的重要因素。综合前人研究结果可以发现,可溶性固形物、可滴定酸、单宁和果糖可作为河西走廊地区酿酒葡萄品质评价的核心指标,而本试验进行品质评价时筛选出单宁、Vc、果糖、固酸比 4 项核心指标,与上述研究相比,研究分析方法不同,却均发现可溶性固形物、可滴定酸、单宁在河西走廊地区酿酒葡萄中均占有较高的比重,与前人所得结果表现一致。法洁琼等^[31]对甘肃河西走廊产区‘梅鹿辄’、‘赤霞珠’和‘贵人香’三种酿酒葡萄品质比较发现,‘赤霞珠’在张掖地区的果实品质明显优于嘉峪关和武威地区,与本试验通过核心指标评价方程得出的结果相同,更加验证了此评价模型的准确性。说明本研究构建的‘赤霞珠’品质评价模型客观、合理,能够全面地反映‘赤霞珠’葡萄品质的优劣。

温度对酿酒葡萄果实含糖量的升高有促进作用^[32],嘉峪关产地葡萄成熟期昼夜温差大,果实糖含量高,但白天高温会使果实的香气和着色都受到不利影响,而武威市凉州区、民勤县产地昼夜温差小,果实糖含量低,同样不利于葡萄的生产;张掖市临泽县的昼夜温差介于嘉峪关和武威之间,因此,张掖地区‘赤霞珠’葡萄果实品质优于其他地区可能与产地温度有关。此外,气候因子对酿酒葡萄品质的影响多种多样^[33],本试验所选 6 个产地气候特征均不相同,土壤类型变化大,无法从果实品质来确定单一的最适宜的气候因子,因此,以后的研究可以通过评价结果来设计试验,从而确定适宜葡萄生长的环境,为酿酒葡萄的大面积种植提供理论基础,促进酿酒葡萄产业的发展。

4 结 论

本研究对来自河西走廊地区不同产地的‘赤霞珠’葡萄样品进行品质测定,发现不同产地间‘赤霞珠’葡萄的各项品质指标间均存在明显差异,综合分析得出,Vc、单宁、果糖、固酸比是该地区‘赤霞珠’葡萄品质评价的核心指标。通过层次分析法建立了‘赤霞珠’葡萄品质评价模型 $Y(\text{综合值})=0.0960\times Vc \text{ 含量的标准化值}+0.1611\times \text{单宁含量的标准化值}+0.2771\times \text{果糖含量的标准化值}+0.4568\times \text{固酸比的标准化值}$ 。评价结果显示,张掖市临泽县国风葡萄酒庄园的‘赤霞珠’葡萄综合品质最好。

参考文献：

[1] 李 利,郝 燕. 甘肃河西走廊葡萄酒产业发展的思考与建议[J]. 农业科技与信息, 2019, (11): 57-61.
LI L, HAO Y. Thoughts and suggestions on the development of Gansu Hexi Corridor wine industry[J]. *Agricultural Science-Technology and Information*, 2019, (11): 57-61.

[2] 刘 霞,李彩霞,焦 扬. 河西走廊张掖地区土壤、葡萄及葡萄酒矿质元素特征分析[J]. 中国酿造, 2019, **38**(1): 179-182.
LIU X, LI C X, JIAO Y. Characteristics analysis of mineral elements in soil, grapes and wine from Zhangye region of Hexi Corridor[J]. *China Brewing*, 2019, **38**(1): 179-182.

[3] 范宗民,孙军利,赵宝龙,等. 不同砧木‘赤霞珠’葡萄枝条抗寒性比较[J]. 果树学报, 2020, **37**(2): 215-225.
FAN Z M, SUN J L, ZHAO B L, *et al.* Evaluation of cold resistance of one-year shoots from ‘Cabernet Sauvignon’ grape vine grafted on different rootstocks[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, **37**(2): 215-225.

[4] 王振龙,张筠筠,孙 权,等. 基于主成分和聚类分析法评价不同有机滴灌肥处理对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (5): 104-111.
WANG Z L, ZHANG J J, SUN Q, *et al.* Evaluation of the effects of different organic fertilizer drip irrigation treatments on the quality of wine grapes and wines based on principal component and clustering analysis[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019, (5): 104-111.

[5] ZHOU L H, SONG R Q. The evaluation model of grape wine quality based on multivariate statistical methods[J]. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2015, **9**(4): 296-301.

[6] WANG X J, GUAN Z L. Evaluation Model of Grape Wine Quality Based on BP Neural Network[C]//2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS). Sydney, NSW. IEEE, 2016: 1-6.

[7] 徐淑伟,刘树庆,杨志新,等. 葡萄品质的评价及其与土壤质地的关系研究[J]. 土壤, 2009, **41**(5): 790-795.
XU S W, LIU S Q, YANG Z X, *et al.* Evaluation of grape quality and relationship between grape quality and soil texture [J]. *Soils*, 2009, **41**(5): 790-795.

[8] 杨 洋,张亚红,李 鹏,等. 三个产地赤霞珠葡萄果实风味物质差异性研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2020, (5): 6-11.
YANG Y, ZHANG Y H, LI P, *et al.* Difference of flavor compounds in berries of ‘Cabernet Sauvignon’ among production regions [J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2020, (5): 6-11.

[9] 李治奇,毛小燕. 葡萄酒评价的数学建模[J]. 黑龙江科学, 2013, **4**(5): 32-35.
LI Z Q, MAO X Y. Mathematical modeling of wine evaluation [J]. *Heilongjiang Science*, 2013, **4**(5): 32-35.

[10] 戴文渊,张 芮,成自勇,等. 基于模糊系统分析的河西地区酿酒葡萄梅鹿辄的品质评价[J]. 浙江农业学报, 2015, **27**(9): 1 659-1 663.
DAI W Y, ZHANG R, CHENG Z Y, *et al.* Quality assessment of wine grape merlot based on fuzzy system analysis in Hexi region[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, **27**(9): 1 659-1 663.

[11] 杨 中,张 静,汤兆星. 新疆酿酒葡萄加工品质评价指标体系的建立[J]. 广东农业科学, 2011, **38**(6): 119-123.
YANG Z, ZHANG J, TANG Z X. Selection of indexes for evaluating fruit table quality on wine grape in Xinjiang[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, **38**(6): 119-123.

[12] 张 瑜,王鹏飞,穆霄鹏,等. 喷施不同叶面肥对‘农大4号’欧李果实糖酸含量的影响[J]. 山东农业科学, 2019, **51**(3): 77-80.
ZHANG Y, WANG P F, MU X P, *et al.* Effects of spraying different foliar fertilizers on sugar and acid contents of nongda 4 *Cerasus humilis* fruit [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2019, **51**(3): 77-80.

[13] 张自强,王 森,胡 琼,等. 南方鲜食枣正常果与裂果不同时期内含物含量的比较[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, **38**(1): 37-42.
ZHANG Z Q, WANG S, HU Q, *et al.* Cracked jujube and normal internal substance content comparative study in different periods of southern fresh-eat jujube[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2018, **38**(1): 37-42.

[14] 袁晓春,李辅碧. Folin-Ciocalteu 法测定昭通葡萄及其葡萄酒总酚含量[J]. 安徽农业科学, 2014, **42**(33): 11 859-11 860,11 862.
YUAN X C, LI F B. Measure of total polyphenols content in Zhaotong grape and grape wine by Folin-Ciocalteu method [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, **42**(33): 11 859-11 860,11 862.

[15] 耿娜娜,李学英,顾 丁,等. Folin-Denis 分光光度法测定五倍子中单宁酸的含量[J]. 安徽农业科学, 2013, **41**(29): 11 848-11 850,11 915.
GENG N N, LI X Y, GU D, *et al.* Determination of tannic acid content in gallnut by Folin-Denis spectrophotometry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, **41**(29): 11 848-11 850,11 915.

[16] 李姝晋,易 芳. 水果蔬菜中维生素 C 含量测定及其稳定性研究[J]. 科教导刊, 2017, (35): 60-61.
LI S J, YI F. Determination of vitamin C content in fruits and vegetables and study on its stability[J]. *The Guide of Science & Education*, 2017, (35): 60-61.

[17] BERNÁRDEZ M M, DE LA MONTAÑA MIGUÉLEZ J, QUEIJEIRO J G. HPLC determination of sugars in varieties of chestnut fruits from Galicia (Spain)[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2004, **17**(1): 63-67.

[18] 刘玉莲,车 飞,郭延平,等. 苹果着色期花青苷和糖组分

含量变化及关联性[J]. 食品科学, 2013, **34**(17): 47-52.

LIU Y L, CHE F, GUO Y P, *et al.* Correlation between changes in soluble sugars and anthocyanins contents during fruit coloration[J]. *Food Science*, 2013, **34**(17): 47-52.

[19] LIU Q, TANG G Y, ZHAO C N, *et al.* Antioxidant activities, phenolic profiles, and organic acid contents of fruit vinegars[J]. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 2019, **8**(4): E78.

[20] 郭 燕, 梁 俊, 李敏敏, 等. 高效液相色谱法测定苹果果实中的有机酸[J]. 食品科学, 2012, **33**(2): 227-230.

GUO Y, LIANG J, LI M M, *et al.* Determination of organic acids in apple fruits by HPLC[J]. *Food Science*, 2012, **33**(2): 227-230.

[21] 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, **24**(9): 51-60.

LUO Z Q, YANG S L. Comparative study on several scales in AHP [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2004, **24**(9): 51-60.

[22] 刘遵春, 包东娥, 廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, **34**(8): 125-128.

LIU Z C, BAO D E, LIAO M A. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry* (Natural Science Edition), 2006, **34**(8): 125-128.

[23] 汤兆星. 新疆葡萄加工品质评价和基础数据库建立[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.

[24] 刘玉兰. 酿酒葡萄的品质指标分析及其与气象条件关系的试验研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2006.

[25] 马力文, 李剑萍, 韩颖娟, 等. 贺兰山东麓‘赤霞珠’品质形成气象条件与评级方法研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, **26**(3): 453-466.

MA L W, LI J P, HAN Y J, *et al.* Meteorological conditions and rating method of quality formation of ‘Cabernet Sauvignon’ grape in eastern foothills of Helan Mountain[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, **26**(3): 453-466.

[26] 谭 伟, 邹琴艳, 张 岩, 等. 酿酒葡萄杂交 F₁ 代果实品质性状的聚类分析与优系筛选[J]. 果树学报, 2020, **37**(7): 971-984.

TAN W, ZOU Q Y, ZHANG Y, *et al.* Cluster analysis and selection of optimal lines based on the fruit quality traits of F₁ progenies of wine grape[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, **37**(7): 971-984.

[27] 季宏波, 郭剑桥, 张 慧, 等. 梗稻谷品质指标之间相关性分析[J]. 粮食科技与经济, 2020, **45**(4): 77-79.

J I H B, GUO J Q, ZHANG H, *et al.* Correlation analysis of *Japonica rice* quality indexes[J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2020, **45**(4): 77-79.

[28] FOGLIATTO F S, ALBIN S L. An AHP-based procedure for sensory data collection and analysis in quality and reliability applications[J]. *Food Quality and Preference*, 2003, **14**(5/6): 375-385.

[29] 谭 伟, 许明秀, 谢思琦, 等. ‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’不同营养系果实与葡萄酒挥发性香气成分分析[J]. 果树学报, 2021, **38**(1): 107-120.

TAN W, XU M X, XIE S Q, *et al.* Analysis of volatile aroma components in berries and wines of different ‘Cabernet Sauvignon’, ‘Merlot’ and ‘Cabernet Franc’ clones[J]. *Journal of Fruit Science*, 2021, **38**(1): 107-120.

[30] 匡立学, 聂继云, 李银萍, 等. 中国不同地区‘富士’苹果品质评价[J]. 中国农业科学, 2020, **53**(11): 2 253-2 263.

KUANG L X, NIE J Y, LI Y P, *et al.* Quality evaluation of ‘Fuji’ apples cultivated in different regions of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, **53**(11): 2 253-2 263.

[31] 法洁琼, 张振文. 甘肃河西走廊产区主栽酿酒葡萄品质比较研究[J]. 北方园艺, 2013, (3): 26-30.

FA J Q, ZHANG Z W. Study on the quality comparison of the wine grape in Gansu Corridor Area[J]. *Northern Horticulture*, 2013, (3): 26-30.

[32] HOWELL G S. Sustainable grape productivity and the growth-yield relationship: a review [J]. *American Journal of Enology & Viticulture*, 2001, **52**(3): 165-174.

[33] 张晓煜, 亢艳莉, 袁海燕, 等. 酿酒葡萄品质评价及其对气象条件的响应[J]. 生态学报, 2007, **27**(2): 740-745.

ZHANG X Y, KANG Y L, YUAN H Y, *et al.* The quality evaluation of wine grape and its respond to weather condition [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(2): 740-745.

(编辑:裴阿卫)