

酿酒葡萄果实发育过程中糖酸积累规律的研究

李治苇¹, 张萍¹, 李庆², 王云霞¹, 靳磊^{1*}

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750001; 2. 中国石油天然气股份有限公司宁夏石化分公司, 银川 750021)

摘要: **目的** 探究酿酒葡萄果实在生长发育过程中糖和酸的积累规律。**方法** 采用傅里叶变换红外光谱法和蒽酮法测定果实不同生长发育期酸和糖的含量。**结果** 在生长发育过程中, ‘雷司令’果实中可滴定酸、酒石酸和苹果酸的含量呈先升后降趋势, 最大值分别为 6.20、4.45 和 6.23 mg/g; ‘美乐’果实中 3 种酸含量均呈下降趋势, 可滴定酸、酒石酸和苹果酸含量最大值分别为 5.39、4.13 和 6.05 mg/g。2 个品种果实中可溶性糖、葡萄糖和果糖含量均呈上升趋势, ‘雷司令’果实中 3 种糖自 2020 年 7 月 29 日至采收呈剧增趋势, 最大值分别为 54.51、20.81 和 22.69 mg/g; ‘美乐’果实中可溶性糖含量变化差异显著($P<0.05$), 可溶性糖和果糖在转色后期分别为 48.37 和 20.47 mg/g, 葡萄糖含量在采收期达到最佳值, 为 16.52 mg/g。**结论** ‘雷司令’果实中的酸和糖含量均高于‘美乐’; 同产地的不同品种果实其酸和糖含量积累规律也各不相同。

关键词: 酿酒葡萄; ‘美乐’; ‘雷司令’; 有机酸; 糖

Study on the accumulation regularity of sugar and acid in the development process of wine grape fruit

LI Zhi-Wei¹, ZHANG Ping¹, LI Qing², WANG Yun-Xia¹, JIN Lei^{1*}

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750001, China;

2. Ningxia Petrochemical Company of China National Petroleum Corporation, Yinchuan 750021, China)

ABSTRACT: Objective To study the accumulation regularity of sugar and acid of wine grape fruit in the development process. **Methods** The acid and sugar content of fruits at different growth and developmental stages were determined by Fourier transform infrared spectroscopy and anthrone method. **Results** During the growth and developmental stages, the content of titratable acid, tartaric acid and malic acid of the fruit of ‘Riesling’ showed a trend of rising firstly and then falling, with the maximum values being 6.20, 4.45 and 6.23 mg/g, respectively; the content of the 3 kinds of acids in the fruit of ‘Merlot’ all showed downward trends, and the maximum content of titratable acid, tartaric acid and malic acid was 5.39, 4.13 and 6.05 mg/g, respectively. The content of soluble sugar, glucose and fructose in the fruits of the 2 kinds of varieties showed upward trends, the 3 kinds of sugars in the fruits of ‘Riesling’ showed sharp increase trends from 29 July 2020 to harvest, with the maximum content reaching 54.51, 20.81 and 22.69 mg/g, respectively; the content of the 3 kinds of sugars in ‘Merlot’ changed significantly ($P<0.05$), and the soluble sugar and fructose reached 48.37 and 20.47 mg/g at the late stage of color transformation, and the glucose content reached the maximum content of 16.52 mg/g in the harvest period. **Conclusion** The content of acid and sugar in ‘Riesling’ fruits are higher than that of ‘Merlot’ fruits; the accumulation characteristics of acid and sugar

基金项目: 宁夏自然科学基金(2020AAC03087)

Fund: Supported by the Ningxia Natural Science Foundation (2020AAC03087)

*通信作者: 靳磊, 博士, 副教授, 主要研究方向为葡萄果实发育及品质的研究。E-mail: jinleinxu@163.com

*Corresponding author: JIN Lei, Ph.D, Associate Professor, Ningxia University, 489 Helan West West Road, Xixia District, Yinchuan 750001, China. E-mail: jinleinxu@163.com

content of between varieties in the same wine-producing region are also different.

KEY WORDS: wine grape; ‘Merlot’; ‘Riesling’; organic acid; sugar

0 引 言

宁夏贺兰山东麓产区是中国最大的酿酒葡萄原料基地,截至 2020 年,宁夏酿酒葡萄种植面积已经从 2 万 hm^2 增加到 4 万 hm^2 ^[1]。其中‘美乐’(Merlot)和‘雷司令’(Riesling) 2 种酿酒葡萄是该产区主要品种^[2]。‘美乐’是生产调和酒的主力,酿造出来的酒有浓郁的果香、单宁柔顺而不强劲、口感圆润;‘雷司令’是酿制白葡萄酒的优良品种,酿造的葡萄酒澄清发亮、果香浓郁、醇和爽口、回味绵延^[3-4]。作为酿造葡萄酒的原材料,酿酒葡萄中有机酸和糖分含量不仅决定葡萄的成熟度,对葡萄酒的组成成分、稳定性和品质都起着重要的作用^[5-7]。因此,为了酿造出高质量的葡萄酒,对酿酒葡萄果实中有机酸和糖分含量积累规律的研究显得尤为重要。

尽管宁夏贺兰山东麓地区是酿酒葡萄种植的优质产区,但是该地区冬春季的严寒干旱,夏秋季的高温多雨都给葡萄的生长、有机酸和糖分的积累带来很多不利影响^[8],使酿酒葡萄中出现的有机酸含量严重不足和糖分含量上升的现象。酸度过低使葡萄酒颜色黯淡无光,糖度过高使酒精度偏高^[8],这都会造成葡萄酒风味和口感欠佳。因此“糖高酸低”不利于该产区酒体品质的全面表现^[9]。国内外对葡萄浆果有机酸含量的研究多数集中在整形方式和砧木对其果实中有机酸含量的影响上^[10-14],其中对贺兰山东麓产区酿酒葡萄的研究多集中在产区生态特征、栽培技术和管理模式以及果实香气和酚类化合物组成等方面^[15-18],并且对果实糖和酸含量的研究多集中在鲜食葡萄上^[19],而关于酿酒葡萄果实在整个生长发育过程中糖、酸含量的变化及品种间糖、酸含量差异性的研究较少。杨春霞等^[20]对贺兰山东麓产区 4 个主栽品种葡萄果实中的有机酸种类及含量进行分析,结果显示,酿酒红葡萄和白葡萄有机酸含量存在差异,可为不同加工目的选取适宜的葡萄品种,但该研究并未对酿酒葡萄果实发育过程中糖和酸含量的积累规律进行系统研究,将其作为该地区不同种酿酒葡萄酸和糖含量比例的调控依据还有所欠缺。

因此,本研究以宁夏贺兰山东麓地区 2 种酿酒葡萄果实为材料,测定其在不同生长发育时期的糖和酸含量,分析果实在整个生长发育过程中糖酸含量的变化规律,为了解该地区酿酒葡萄糖酸含量和比例,以及为推进高品质葡萄酒的生产提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以贺兰山东麓产区的‘雷司令’(白葡萄)和‘美乐’(红葡

萄)果实为研究对象,产区内苗木长势良好,品种纯正,施肥灌溉和埋土防寒按常规管理。整形方式为“厂”字形,单壁篱架,株行距为 0.5 m×3.0 m。于 2020 年 6~10 月(硬果期:6 月 19 日至 7 月 19 日;绿果期:7 月 19 日至 8 月 13 日;转色期:8 月 13 日至 8 月 18 日;成熟期:8 月 18 日至 9 月 17 日),每隔 5~10 d 进行采样,采集的果穗及时带回实验室,液氮速冻,贮藏于-80 °C 超低温冰箱中,作为测定的样品。

1.2 仪器与试剂

FTIR Lyza 5000 Wine 红外光谱葡萄酒分析仪(上海安东帕商贸有限公司); SEM-06 索氏提取器(上海本昂科学仪器有限公司); RV3 旋转蒸发器(广州艾卡仪器设备有限公司)。

氢氧化钠(分析纯,西陇科学股份有限公司); 乙酸乙酯(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司); 乙醇(分析纯,天津市河东区红岩试剂厂); 硫酸铜(分析纯,天津市登峰化学试剂厂)。

1.3 实验方法

1.3.1 酿酒葡萄果实中有机酸的萃取

称取 2 种果实样品各 5.0 g,加 75%乙醇溶液浸泡于索氏提取器内 12 h。用水浴加热回流提取 2 次得到提取液,将其过滤并回收乙醇至无醇味,加盐酸将 pH 调为 2.0,用乙酸乙酯反复萃取至无色。加氢氧化钠溶液将 pH 调为 11.5,用乙酸乙酯反复萃取至萃取液无色,收集碱液;最后合并萃取液做减压回收处理,获得有机酸干粉。

1.3.2 酿酒葡萄果实中有机酸测定液的制备

取 1.3.1 中有机酸干粉加乙醇溶解定容于 100 mL 容量瓶中,再准确吸取 2 mL 测定液,加入 0.1 mol/L 硫酸铜溶液和 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液各 6 mL,用蒸馏水定容于 50 mL 容量瓶中,作为有机酸组分含量的测定液。

1.3.3 酿酒葡萄果实中可滴定酸、苹果酸、酒石酸含量的测定

将 1.3.2 中有机酸测定液放入红外光谱葡萄酒分析仪,将 pH 调至 2~12,以测定可滴定酸,苹果酸 pH 在 0~7 范围测定,酒石酸 pH 在 1~9 范围测定,结果以 mg/g 表示,每组重复 3 次。

1.3.4 酿酒葡萄果实中糖含量的测定

可溶性糖采用蒽酮法测定^[21],结果以 mg/g 表示;葡萄糖和果糖含量的测定参照于丽等^[22]的方法,结果以 mg/g 表示。

1.4 数据处理

所有实验数据均重复 3 次,数据分析采用 SPSS 19.0

软件,结果以“平均值±标准偏差”表示。绘图采用 Origin 2018 软件。

2 结果与分析

2.1 ‘雷司令’果实中糖酸含量的变化

2.1.1 有机酸含量的变化

随着葡萄成熟度的增加,可滴定酸的含量呈先上升后下降的趋势(图 1),其含量从绿果前期至绿果后期,下降 71.16%;葡萄果实的苹果酸的含量随葡萄成熟也呈现先上升后下降的趋势,在绿果期,苹果酸由 4.45 mg/g (2020.07.19)下降至 2.16 mg/g (2020.08.18),下降 51.46%,呈现骤降趋势,之后其含量变化趋势较小;酒石酸含量呈现逐渐下降的趋势,从 6 月 29 日的最大值(6.23 mg/g),下降至 8 月 28 日的最低值,下降了 40.61%,在 7 月 19 日后其变化趋势较小,含量维持在 3.70~4.51 mg/g 范围内。通过对 3 种酸含量变化分析可得出,在‘雷司令’整个生长发育过程中,可滴定酸和苹果酸的含量变化趋势相同,均呈现先上升后下降趋势,酒石酸含量总体呈下降趋势,这是果实中有机酸合成受到抑制,并不断降解和转化,以及果实体积增加对有机酸稀释等综合作用的结果^[23]。其中,可滴定酸含量下降趋势最快,苹果酸次之,酒石酸下降趋势缓慢平稳,波动幅度较小。

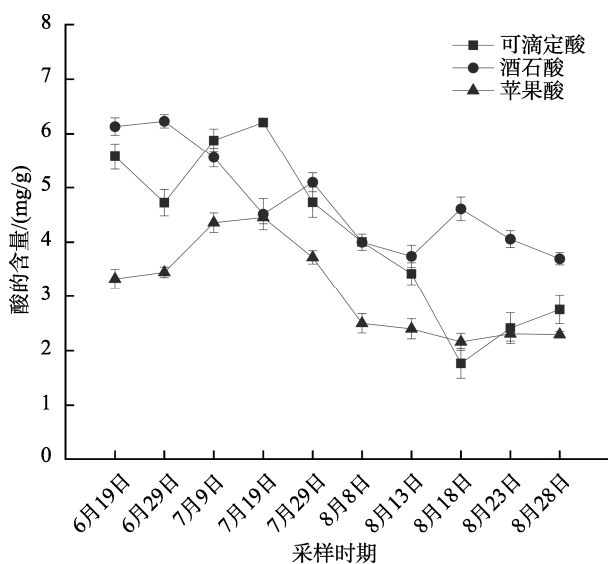


图 1 ‘雷司令’果实中酸含量的变化(n=3)

Fig.1 Changes in the acid content of the ‘Riesling’ fruit (n=3)

2.1.2 糖含量的变化

在果实生长发育过程中,‘雷司令’果实中 3 种糖含量整体呈上升趋势(图 2),其中果糖和葡萄糖的变化趋势相似,在绿果后期(2020.08.08)至采收期(2020.08.23),可溶性糖含量上升趋势高于葡萄糖和果糖。在果实发育过程中,可溶性

糖含量变化幅度较大,在 7 月 19 日至 8 月 8 日,其含量呈激增趋势,增幅达 69.56%,至采收期时其含量增幅减缓,在 8 月 28 日采收期达最大值(54.51 mg/g);葡萄糖含量在采收期亦达最大值 20.81 mg/g,相较于最低值上升了 65.31%;果糖含量在整个生长期上升趋势平缓,至采收期含量达到最大值 22.69 mg/g,相较于最低值上升了 43.13%。‘雷司令’果实生长发育过程中,3 种糖含量积累主要在绿果期之后,均在采收期达到最佳值,其中可溶性糖含量远高于果糖和葡萄糖,葡萄糖和可溶性糖含量较果糖上升趋势更显著。

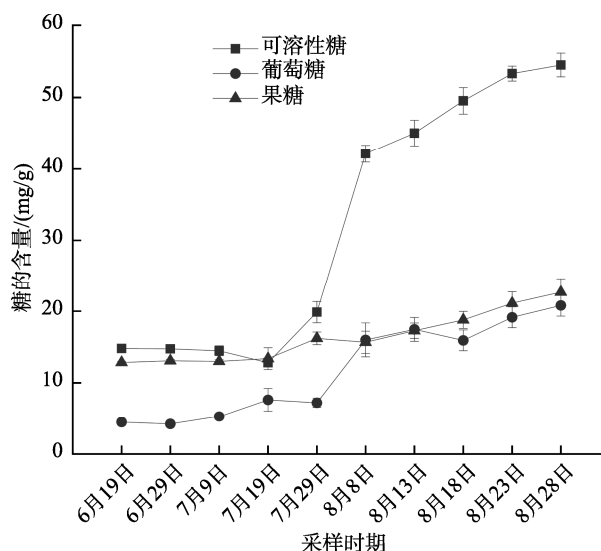


图 2 ‘雷司令’果实中糖含量的变化(n=3)

Fig.2 Changes in sugar content of the ‘Riesling’ fruit (n=3)

2.2 ‘美乐’果实中糖酸含量的变化

2.2.1 有机酸含量的变化

在果实发育过程中,3 种酸的含量变化均呈先上升后下降趋势,可滴定酸的含量下降趋势最显著($P<0.05$),酒石酸和苹果酸含量变化趋势相近。其中,可滴定酸和苹果酸均在 7 月 9 日达到最大值,分别为 5.39 mg/g 和 4.13 mg/g,在 7 月 9 日至 8 月 8 日,其含量均急剧下降,下降幅度分别为 58.07%、56.66%,之后 2 者含量变化趋势趋于稳定;酒石酸含量也在 7 月 9 日达到最大值 6.05 mg/g,至 7 月 19 日其含量为 4.45 mg/g,与最大值相比下降了 26.45%,呈现骤降趋势,之后酒石酸含量表现为升降交替的动态变化,波动幅度较小。在果实生长发育过程中,绿果期有机酸含量逐渐增高,其含量从绿果期至转色期骤降,进入成熟阶段其含量趋于稳定。

2.2.2 糖含量的变化

在整个生长发育期,‘美乐’果实中可溶性糖和葡萄糖的含量呈上升趋势,果糖含量呈先上升后下降再缓慢上升趋势,与其他 2 种糖相比,可溶性糖含量上升趋势显著($P<0.05$)(图 4)。可溶性糖含量在 6 月 19 日至 8 月 8 日上

升幅度最大, 之后其增幅缓慢, 至 9 月 7 日达到最大值 48.37 mg/g, 相较于最低值上升 73.59%, 呈现激增趋势; 果糖在 7 月 29 日达到最大值 20.47 mg/g, 相较于最低值上升 40.35%, 在 8 月 13 日下降至 12.95 mg/g, 含量降低了 36.74%, 之后缓慢上升并逐渐趋于稳定; 葡萄糖在采收期前一直处于上升趋势, 至采收期达最大值 16.52 mg/g, 之后变化趋于稳定。总体来看, ‘美乐’果实中 3 种糖含量在硬果期(2020.06.29)已开始缓慢积累, 绿果期之后(2020.07.19)其含量快速上升, 且均在采收期达到最佳值。此外, 在整个果实发育阶段可溶性糖含量最高, 果糖含量次之, 葡萄糖含量最低。

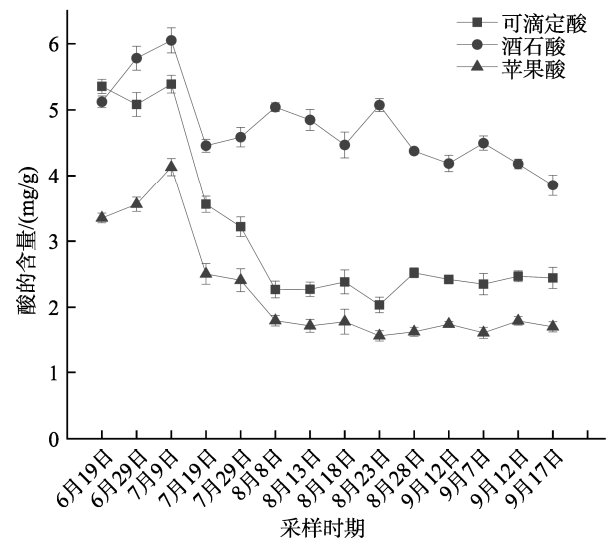


图 3 ‘美乐’果实中酸含量的变化(n=3)
Fig.3 Changes in the acid content of the ‘Merlot’ fruit (n=3)

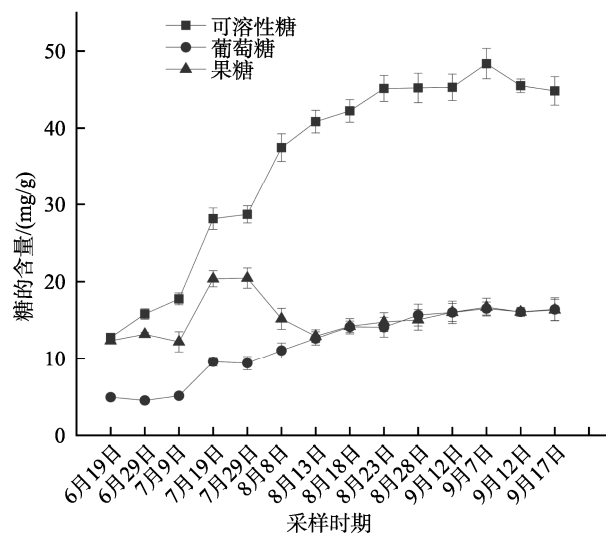


图 4 ‘美乐’果实中糖含量的变化(n=3)
Fig.4 Changes in sugar content of the ‘Merlot’ fruit (n=3)

3 结论与讨论

糖、酸是酿酒葡萄最重要的质量指标, 与葡萄酒的品质关系密切^[23-25]。本研究通过测定不同生育期‘雷司令’和‘美乐’果实中糖和酸的含量, 研究其动态变化规律, 发现随着发育期的推移, 2 种酿酒葡萄中糖分含量不断增加, 有机酸含量不断降低。其中‘雷司令’和‘美乐’果实中均以酒石酸含量最高, 其次是可滴定酸, 苹果酸含量最低; 与酒石酸相比, 可滴定酸和苹果酸下降幅度较快, 3 者总体呈先上升后下降的趋势, 这与杨春霞等^[20]的研究结果一致; 在果实成熟过程中, 2 种酿酒葡萄果实中的糖分积累自果实始熟, 贯穿在整个成熟过程。果实在硬果期生长速度较快, 有机酸含量最高, 随着果实生长发育速度减缓, 果实逐渐变软, 有机酸含量迅速下降, 形成糖分的各类物质充分产生, 使得糖分含量逐渐增加, 直到果实从形态到生理完全成熟^[26]。其中, 葡萄糖和果糖含量呈上升趋势, 在果实膨大期迅速积累^[27]。在成熟期之前果实中葡萄糖含量高于果糖, 成熟期时葡萄糖的含量与果糖趋于接近, 在采收前含糖量增加缓慢逐渐趋于稳定^[28]。由于 2 种酿酒葡萄果实生长周期不同, ‘雷司令’果实中的有机酸含量高于‘美乐’果实, 这与酿酒白葡萄中有机酸总量平均值高于酿酒红葡萄的研究结果一致^[23]; 在整个生长发育过程中, ‘雷司令’果实中可溶性糖、果糖和葡萄糖含量也高于‘美乐’果实, 可溶性糖的差异最大, 差异范围为 0.06~6.13 g/mg, 葡萄糖次之, 差异范围为 0.50~4.39 g/mg, 最后是果糖, 差异范围为 0.49~2.22 g/mg。

本研究通过对 2 个酿酒葡萄品种果实中酸和糖含量变化规律的分析, ‘雷司令’和‘美乐’分别在 8 月 23 日和 9 月 7 日果实的糖和酸含量趋于稳定, 均达到酿酒葡萄所需糖和酸含量最佳值。因为在一定阈值范围内, 酿酒葡萄果实糖酸比越高, 所酿出葡萄酒质量越好, 口感也越醇厚^[29], 由此可见, 成熟期中期是 ‘雷司令’ 和 ‘美乐’ 果实各自的最佳采收期。这为贺兰山东麓产区不同酿酒葡萄品种中果实糖酸含量的研究提供了理论依据, 进而为酿酒原料质量的提高奠定基础。

参考文献

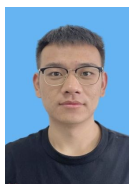
[1] 刘松涛, 李茜, 吕雯, 等. 中国葡萄酒产业现状及发展趋势——以宁夏贺兰山东麓产区为例[J]. 现代农业科技, 2019, (9): 241-243.
LIU ST, LI Q, LV W, et al. Present situation and development trend of Chinese wine industry: A case study of producing area at eastern foot of Helan mountain in Ningxia [J]. Mod Agric Sci Technol, 2019, (9): 241-243.
[2] 张春同. 中国酿酒葡萄气候区划及品种区域化研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
ZHANG CT. The climate regionalization of viticulture and grapevine variety zoning over China [D]. Nanjing: Nanjing University Information Science Technology, 2012.

- [3] 李玮, 陈国品, 谢蜀豫, 等. 酿酒葡萄美乐在广西南部引种栽培及酿酒特性初报[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017, (1): 57–58.
LI W, CHEN GP, XIE SY, *et al.* Preliminary report on the introduction and cultivation of wine grape Merlot in southern Guangxi and its winemaking characteristics [J]. Sino-overseas Grapevine Wine, 2017, (1): 57–58.
- [4] 南立军, 杨荣, 张瑛莉, 等. 石河子产区‘赤霞珠’‘美乐’葡萄酒品质差异研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2018, (4): 65–69.
NAN LJ, YANG R, ZHANG YL, *et al.* Research on the quality difference of 'Cabernet Sauvignon' and 'Merlot' wine in Shihezi production area [J]. Sino-overseas Grapevine Wine, 2018, (4): 65–69.
- [5] MATO I, SUÁREZ-LUQUE S, HUIDOBRO JF. A review of the analytical methods to determine organic acids in grape juices and wines [J]. Food Res Int, 2005, 38(10): 1175–1188.
- [6] SHUI G, LEONG LP. Separation and determination of organic acids and phenolic compounds in fruit juices and drinks by high-performance liquid chromatography [J]. J Chromatogr A, 2002, 977(1): 89–96.
- [7] MATO I, SUÁREZ-LUQUE S, HUIDOBRO JF. Simple determination of main organic acids in grape juice and wine by using capillary zone electrophoresis with direct UV detection [J]. Food Chem, 2006, 102(1): 104–112.
- [8] 王晶, 万智博, 许超丽, 等. 新疆产区酿酒葡萄果实中有机酸的比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 249–254.
WANG J, WAN ZB, XU CL, *et al.* Comparative analysis of organic acids in wine grape fruits in Xinjiang producing regions [J]. Mod Food Technol, 2020, 36(2): 249–254.
- [9] 吴莉. 贺兰山东麓不同品种酿酒葡萄与葡萄酒中有机酸和酚类物质积累的比较研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
WU L. A comparative study on the accumulation of organic acids and phenolic substances in different varieties of wine grapes and wines in Helan mountain [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020.
- [10] 郭延清, 马静芳, 黄海山, 等. 520A 砧木对 4 个葡萄品种越冬及结果的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, (4): 64–67.
GUO YQ, MA JF, HUANG HS, *et al.* The effect of 520A rootstock on overwintering and fruiting of 4 grape varieties [J]. J Gansu Agric Univ, 2008, (4): 64–67.
- [11] 李新文, 陈佰鸿, 毛娟, 等. 不同砧木对‘赤霞珠’葡萄生长及果实品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(1): 71–77.
LI XW, CHEN BH, MAO J, *et al.* Effects of different rootstocks on the growth and fruit quality of 'Cabernet Sauvignon' grapes [J]. J Gansu Agric Univ, 2018, 53(1): 71–77.
- [12] 黄家珍. 不同砧木对马瑟兰和赤霞珠葡萄生长发育的影响[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2015.
HUANG JZ. The influence of different rootstocks on the growth and development of Marselan and Cabernet Sauvignon grapes [D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University Science Technology, 2015.
- [13] 牛冬青. 整形方式和砧木对酿酒葡萄果实糖酸代谢及有机酸相关基因表达的影响[D]. 太原: 山西农业大学, 2019.
NIU DQ. Effects of plastic surgery and birch on glycoic acid metabolism and organic acid-related gene expression in winemaking [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [14] 李敏敏, 袁军伟, 刘长江, 等. 砧木对河北昌黎产区赤霞珠葡萄生长和果实品质的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(1): 59–63.
LI MM, YUAN JW, LIU CJ, *et al.* Effects of rootstocks on the growth and fruit quality of Cabernet Sauvignon grapes in Changli, Hebei province [J]. Chin J Appl Ecol, 2016, 27(1): 59–63.
- [15] 崔婧, 段长青, 潘秋红. 反相高效液相色谱法测定葡萄中的有机酸[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2010, (5): 25–30.
CUI J, DUAN CQ, PAN QH. Determination of organic acids in grapes by reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. Sino-overseas Grapevine Wine, 2010, (5): 25–30.
- [16] 朱潇婷. 设施栽培条件下不同肥料对葡萄生长发育及土壤养分的影响[J]. 浙江柑橘, 2021, 38(1): 44–47.
ZHU XT. Effects of different fertilizers on grape growth and soil nutrients under protected cultivation conditions [J]. Zhejiang Citrus, 2021, 38(1): 44–47.
- [17] 田欣, 贺婧, 罗玲玲, 等. 贺兰山东麓葡萄产地土壤重金属空间分布特征及来源解析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(3): 641–646.
TIAN X, HE J, LUO LL, *et al.* Spatial distribution characteristics and source analysis of soil heavy metals in grape producing areas at the eastern foot of Helan mountain [J]. Southwest China J Agric Sci, 2021, 34(3): 641–646.
- [18] 王振龙. 有机水溶肥对土壤及酿酒葡萄效应研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
WANG ZL. Study on the effect of organic water-soluble fertilizer on soil and wine grape [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [19] 吕旭聪, 黄志清, 黄若兰, 等. 反相高效液相色谱法同时快速测定黄酒和葡萄酒中有机酸的含量[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(6): 132–136.
LV XC, HUANG ZQ, HUANG RL, *et al.* Simultaneous rapid determination of organic acids in rice wine and wine by reversed-phase high performance liquid chromatography [J]. Food Ferment Ind, 2010, 36(6): 132–136.
- [20] 杨春霞, 刘元柏, 葛谦. 贺兰山东麓酿酒葡萄中有机酸含量分析[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 244–247.
YANG CX, LIU YB, GE Q. Analysis of organic acid content in wine grapes from the eastern foot of Helan mountain [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(11): 244–247.
- [21] 蒋虹, 张健, 王景明, 等. 植物生理学实验指导(第 5 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.
JIANG H, ZHANG J, WANG JM, *et al.* Plant Physiology Experimental Guidance" (5th Edition) [M]. Beijing: Chinese Journal of Plant Physiology, 2020.
- [22] 于丽, 王婷, 周健南, 等. 超声提取-离子色谱法检测市售常见 15 种蔬菜中 7 种单糖和双糖[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 372–377.
YU L, WANG T, ZHOU JN, *et al.* Detection of 7 monosaccharides and disaccharides in 15 common vegetables on the market by ultrasonic extraction-ion chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(1): 372–377.
- [23] SOMKUWAR RG, BAHETWAR A, KHAN I, *et al.* Changes in growth, photosynthetic activities, biochemical parameters and amino acid profile

- of Thompson seedless grapes (*Vitis vinifera* L.) [J]. *J Environ Biol*, 2014, 35(6): 1157–1163.
- [24] 高邦牢, 曾桂花, 李俊楠, 等. 不同产量对山西乡宁产区赤霞珠葡萄与葡萄酒品质的影响[J]. *中国酿造*, 2020, 39(7): 36–40.
- GAO BL, ZENG GH, LI JN, *et al*. Different yields have an effect on the quality of Cabernet Sauvignon grapes and wines in Shanxi's rural ning region [J]. *China Brew*, 2020, 39(7): 36–40.
- [25] 冯学梅, 梁玉文, 李阿波, 等. 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产量控制对果实品质及葡萄酒质量的影响[J]. *宁夏农林科技*, 2020, 61(10): 6–9.
- FENG XM, LIANG YW, LI AB, *et al*. The effect of the control of the yield control of Helan Shandong wine grapes on fruit quality and wine quality [J]. *Ningxia Agric Forest Technol*, 2020, 61(10): 6–9.
- [26] 陈代, 问亚琴, 潘秋红. 葡萄酒中多糖的研究进展[J]. *酿酒科技*, 2009, (8): 107–111.
- CHEN D, WEN YQ, PAN QH. Research progress of polysaccharides in wine [J]. *Liquor-Making Sci Technol*, 2009, (8): 107–111.
- [27] 裴英豪, 王云霞, 李浩浩, 等. ‘赤霞珠’葡萄果实中有机酸的积累规律[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(21): 19–20.
- PEI YH, WANG YX, LI HH, *et al*. The accumulation law of organic acid in the fruit of 'Cabernet Sauvignon' grapes [J]. *Anhui Agric Bull*, 2020, 26(21): 19–20.
- [28] LENG F, CAO JP, ZW GE, *et al*. Transcriptomic analysis of root restriction effects on phenolic metabolites during grape berry development and ripening [J]. *J Agric Food Chem*, 2020. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c02488
- [29] 陈仁伟, 张晓煜, 杨豫, 等. 贺兰山东麓砾石葡萄园赤霞珠最佳采收期的确定[J]. *中国农业气象*, 2020, 41(9): 564–574.
- CHEN RW, ZHANG XY, YANG Y, *et al*. Determination of the optimal harvest period of Cabernet Schaeuze in Helan Shandong gravel vineyard [J]. *Chin J Agrometeorol*, 2020, 41 (9): 564–574.

(责任编辑: 郑 丽 张晓寒)

作者简介



李治苇, 硕士研究生, 主要研究方向为酿酒葡萄果实发育过程中糖酸积累规律的研究。

E-mail: lizhiwei2021314@163.com



靳磊, 博士, 副教授, 主要研究方向为葡萄果实发育及品质的研究。

E-mail: jinleixu@163.com