

一年两收栽培‘野酿2号’腺枝毛葡萄酒的香气特征解析

余英芬¹, 韦荣福², 蓝钊妃¹, 成果², 芦靖珂¹, 张劲², 周思泓^{1*}

(1. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 2. 广西壮族自治区农业科学院葡萄与葡萄酒研究所, 广西南宁 530007)

摘要: 该研究以一年两收栽培‘两代同堂’模式下的‘野酿2号’葡萄为原料酿造葡萄酒, 采用常规检测方法对原料及葡萄酒的理化指标进行检测, 通过顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱技术(GC-MS)检测葡萄酒的挥发性风味物质, 并通过正交偏最小二乘判别分析(OPLS-DA)结合气味活性值(OAV)评价香气特征。结果表明, 相较于‘野酿2号’一季果, 二季果果粒质量更小, 可溶性固形物含量更高, 红黄色调更深。二季果葡萄酒的干浸出物、可滴定酸、单宁、还原糖、总酚、花色苷含量均显著高于一季果葡萄酒($P < 0.05$), 且酒体色泽更深、红色色调更鲜明。从葡萄酒样中共鉴定出52种挥发性风味物质, 两季果葡萄酒样的香气特征存在差异, 基于 $P < 0.05$ 、变量重要性投影(VIP)值 > 1 及OAV > 1 的标准, 从中筛选得到可用于区分两季果葡萄酒样的6种关键差异挥发性风味物质, 包括异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯、辛酸异戊酯、4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚, 一季果葡萄酒样果香和花香特征更为突出, 而二季果葡萄酒样化学味香气特征更为明显。

关键词: 一年两收栽培; ‘野酿2号’; 腺枝毛葡萄; 葡萄酒; 理化指标; 香气特征

中图分类号: TS262.6

文章编号: 0254-5071(2025)09-0065-07

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2025.09.011

引文格式: 余英芬, 韦荣福, 蓝钊妃, 等. 一年两收栽培‘野酿2号’腺枝毛葡萄酒的香气特征解析[J]. 中国酿造, 2025, 44(9): 65-71.

Aroma characteristics of 'Yeniang No.2' (*Vitis heyneana* var. *adenoclada*) wine produced by two-crop-a-year cultivation systemYU Yingfen¹, WEI Rongfu², LAN Zhaoifei¹, CHENG Guo², LU Jingke¹, ZHANG Jin², ZHOU Sihong^{1*}

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Grape and Wine Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: In this study, the wine was prepared using 'Yeniang No.2' grapes cultivated under a Two-crop-a-year overlapping generations cultivation system as raw material. The physicochemical indicators of raw materials and wine were detected by conventional detection methods. The volatile flavor substances of wine were detected by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and the aroma characteristics were evaluated by orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA) combined with odor activity value (OAV). The results demonstrated that compared to the first-crop grapes, the second-crop 'Yeniang No.2' grapes exhibited lower berry mass, higher total soluble solids content and darker red-yellow hue. The second-crop wines showed significantly higher levels than the first-crop wines of dry extract, titratable acidity, tannins, reducing sugars, total phenols, and anthocyanins ($P < 0.05$), alongside deeper color intensity and stronger red hue in the wine body. A total of 52 volatile flavor substances were identified from the wine samples. The aroma characteristics of the two-crop grapes wine samples were different. Based on the standards of $P < 0.05$, variable importance projection (VIP) value > 1 and OAV > 1 , 6 key differential volatile flavor substances that could be used to distinguish the two crops grapes wine samples were screened out, including ethyl isopentate, isopentyl acetate, ethyl decanoate, isopentyl octoate, 4-ethylphenol, and 4-ethylguaiacol. The fruity and floral characteristics of the first-crop grape wine sample were more prominent, while the chemical aroma characteristics of the second-crop grape wine sample were more obvious.

Key words: two-crop-a-year cultivation; Yeniang No.2; *Vitis heyneana* var. *adenoclada*; wine; physicochemical indexes; aroma characteristic

香气物质是衡量葡萄果实和葡萄酒品质的重要指标, 对葡萄酒风格形成起着决定性作用^[1]。葡萄酒的香气物质主要包括醇类、酯类、醛类、酮类、脂肪酸类以及萜类等^[2-3], 其组分及含量受到原料品种特性、产地自然环境、栽培管理方式以及酿造工艺技术的综合影响。其中, 通过栽培方

式调控葡萄果实香气进而提升葡萄酒品质是葡萄酒全产业链技术提升的关键突破口之一。近年来, 围绕栽培技术对葡萄与葡萄酒香气品质改良的研究有大量报道。雷舒敏等^[4]研究发现, 夏黑葡萄二次果比一次果的香气更浓郁、果实品质更好; 葛谦等^[5]对酿酒葡萄的负载量和采收期进

收稿日期: 2024-11-05

修回日期: 2025-07-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(32360720); 国家现代农业产业技术体系(CARS-29-21); 广西大学高层次人才启动经费(ZX01080033124006); 广西大学农学院人才资助项目(EE101758); 广西壮族自治区大学生创新创业训练计划项目(S202410593400)

作者简介: 余英芬(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为酿酒葡萄栽培与品质调控。

***通讯作者:** 周思泓(1983-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为葡萄种质资源利用与品质调控。

行分析,发现精确调控葡萄负载量和采收时间能显著提升葡萄酒的品质;黄竟等^[6]研究了不同采收期‘野酿2号’葡萄酒的香气特征,发现延迟采收会提高葡萄酒芳香化合物的浓度。一年两收栽培模式下葡萄果实表现出不同的香气特征^[7-9],然而以一年两收为代表的产期调节技术对葡萄酒香气的影响鲜有报道。

广西是中国“野生毛葡萄之乡”,拥有世界上最大的毛葡萄种植基地。截止2023年,野生和人工栽培的毛葡萄面积超过6 900 hm²,主要分布在都安、罗城、大化等石漠化山区,其中以‘野酿2号’栽培面积最大。近年来研究表明,‘野酿2号’小枝具有腺毛,属毛葡萄变种——腺枝毛葡萄(*Vitis heyneana* var. *adenoclada*)^[10-12],‘野酿2号’果实富含氨基酸、维生素、白藜芦醇、花色苷等成分,用其酿成的葡萄酒具有独特风味,深受消费者喜爱^[13-14]。但是大量生产实践表明,‘野酿2号’花期雨水多导致霜霉病严重,成熟期极端高温天气多,葡萄与葡萄酒香气不愉悦、风味物质不足,这些缺陷成为制约当地葡萄种植与加工产业可持续健康发展的瓶颈问题。葡萄一年两收栽培技术充分利用了南亚热带地区丰富的温光资源,保证浆果品质的同时增加了葡萄产量和效益,主要分为‘两代同堂’和‘两代不同堂’两种模式^[15],多用于鲜食葡萄生产。‘野酿2号’成花性状好,通过修剪技术一年可多次开花结果,生产上具备产期调节的潜力,其二季果的花期能够避开雨季,既降低了病害发生的风险,提升了浆果成熟度,又增加了单位面积产量。

本研究以广西壮族自治区河池市都安瑶族自治县种植的一年两收栽培‘两代同堂’模式的‘野酿2号’果实及其酿造的葡萄酒为试材,采用常规方法对其理化指标进行检测,利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)技术对两季果酿造的葡萄酒的挥发性风味成分进行检测,并利用正交偏最小二乘判别分析(orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA)结合气味活性值(odor activity value, OAV)对其香气特征进行解析,以期从栽培角度为解决广西毛葡萄酒香气不愉悦、风味物质不足的难题提供新的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 样品

葡萄原料采自广西壮族自治区河池市都安瑶族自治县下梯屯的广西都安康盛生态种养专业合作社毛葡萄种植基地(23°49′36″N, 108°6′34″E)。选取长势一致、管理良好、树势健壮的‘野酿2号’果树作为试验树,共设3个生物学重复,每个重复采样树3株以上。分别于一季果和二期果相应的采收期(2023年9月11日和11月22日)对试验树上无病虫害、成熟度良好的葡萄进行人工采收。采样时,从不

同采样树上随机挑选果穗,从果穗上、中、下部剪取果粒,每个生物学重复采集果粒30个,用于果实理化指标检测,其余采收果实用于酿造试验。

1.1.2 菌株与试剂

活性干酵母Lalvin 71B:法国Lallemand公司;C₆~C₄₀正构烷烃标准品、2-壬醇标准品(均为色谱纯):美国Sigma-Aldrich公司。其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

CR-10色差仪:日本Konika Minolta公司;PAL-1手持数显糖度计:日本东京ATAGO公司;AZ8601型pH计:中国台湾衡欣科技股份有限公司;湘仪TGL-16M高速冷冻离心机:长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司;UV-1900i紫外可见分光光度计:日本岛津公司;7890A-5975CMSD气质联用仪、DB-5ms毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm):美国Agilent公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头:美国SUPELCO公司。

1.3 方法

1.3.1 果实理化指标

参考谢林君等^[16-17]的方法,测定每个生物重复采集的30个‘野酿2号’果粒的鲜质量、果实颜色参数[亮度值(*L**值)、红绿色调(*a**值)和黄蓝色调(*b**值)]及可溶性固形物、可滴定酸含量。

1.3.2 葡萄酒的酿造

用采收的3个生物学重复‘野酿2号’作为原料,进行除梗破碎,压榨取汁,入不锈钢控温发酵罐,按200 mg/L接种量接种预先活化的活性干酵母Lalvin 71B进行主发酵,温度控制在25℃,至残糖含量不再变化时判定为酒精发酵结束。发酵结束后进行除渣,倒入发酵罐进入后发酵,不进行人工诱发的苹果酸-乳酸发酵,后发酵温度控制在25℃,罐储1个月后进行葡萄酒装瓶,瓶储陈酿3个月,取样测定理化指标和挥发性风味成分。

1.3.3 葡萄酒理化指标的测定

可滴定酸含量、挥发酸含量、pH、酒精度、干浸出物含量和还原糖含量按照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》进行测定;单宁、花色苷和总酚含量参照王华等^[18]的方法进行测定;颜色参数参照王宏^[19]的方法采用CIELab法进行测定。

1.3.4 葡萄酒挥发性风味成分分析

参照谢林君等^[20]的方法,采用HS-SPME结合GC-MS对葡萄酒样中的挥发性风味成分进行定性定量分析。

1.3.5 数据分析

采用Excel 2019及SPSS 20.0软件处理数据,结果用“平均值±标准差”表示。采用迈维云平台(<https://cloud.metware.cn>)在线工具进行OPLS-DA;参考孙宝国等^[21]的方法进行OAV分析,并参考CAI J等^[22]依据相似的气味描述,划分葡

葡萄酒中香气化合物的气味系列,根据 $OAV \geq 0.1$ 的各挥发性风味成分的气味描述,计算出各样品的总OAV,采用Origin 2022软件绘制雷达图。

2 结果与分析

2.1 ‘野酿2号’两季果果实的理化指标

‘野酿2号’一季果和第二季果果实的理化指标见表1。由表1可知,一季果果实的单粒质量显著高于第二季果($P < 0.05$);而一季果果实的可溶性固形物含量显著低于第二季果($P < 0.05$);两季果果实的可滴定酸含量无显著差异($P > 0.05$)。研究表明,成熟葡萄的果汁一般含有5~10 g/L有机酸,而可滴定酸含量在6.5~8.5 g/L被认为是生产优质葡萄酒的最佳浓度^[23],‘野酿2号’两季果的可滴定酸含量均 > 10 g/L,说明该品种两季果的有机酸含量较高。两季果果实的 L^* 值无显著差异($P > 0.05$),而第二季果果实的 a^* 值和 b^* 值均显著高于一季果($P < 0.05$)。

表1 ‘野酿2号’两季果果实理化指标的测定结果
Table 1 Detection results of physicochemical indexes of two-crop grapes of ‘Yeniang No.2’

指标	一季果	第二季果
单粒质量/g	1.71±0.11a	1.37±0.04b
可溶性固形物/°Brix	14.63±0.21b	16.20±0.36a
可滴定酸含量/(g·L ⁻¹)	12.78±0.99a	11.81±0.75a
L^* 值	25.83±0.25a	26.10±0.36a
a^* 值	0.30±0.00b	0.50±0.10a
b^* 值	3.43±0.06b	3.77±0.06a

注:同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.2 ‘野酿2号’两季果葡萄酒的理化指标

‘野酿2号’两季果葡萄酒的理化指标见表2。

表2 ‘野酿2号’两季果葡萄酒理化指标的测定结果
Table 2 Detection results of physicochemical indexes of two-crop grape wine of ‘Yeniang No.2’

指标	一季果	第二季果
酒精度/%vol(20℃)	8.83±0.60a	7.77±0.46a
干浸出物含量/(g·L ⁻¹)	23.62±1.09b	33.45±0.70a
可滴定酸含量/(g·L ⁻¹)	8.00±0.17b	11.31±0.17a
pH值	3.40±0.01a	3.27±0.04b
还原糖含量/(g·L ⁻¹)	3.21±0.40b	4.59±0.19a
挥发酸含量/(g·L ⁻¹)	0.95±0.07a	0.87±0.41a
单宁含量/(g·L ⁻¹)	1.64±0.02b	1.68±0.01a
总酚含量/(g·L ⁻¹)	1.76±0.09b	3.21±0.61a
花色苷含量/(g·L ⁻¹)	0.13±0.00b	2.41±0.12a
L^* 值	67.86±0.42a	48.45±1.48b
a^* 值	38.27±0.71b	56.67±1.43a
b^* 值	12.79±3.62a	7.29±0.54a

由表2可知,‘野酿2号’一季果葡萄酒样的干浸出物、

可滴定酸、单宁、还原糖、总酚、花色苷含量均显著低于第二季果葡萄酒样($P < 0.05$),而pH显著高于第二季果葡萄酒样($P < 0.05$);两者的酒精度和挥发酸含量无显著差异($P > 0.05$)。一季果葡萄酒样的 L^* 值显著高于第二季果葡萄酒样($P < 0.05$), a^* 值显著低于第二季果葡萄酒样($P < 0.05$),而 b^* 值无显著差异($P > 0.05$)。研究表明,葡萄果实中的酚类物质组成和含量与葡萄酒风味品质密切相关^[24-25],因此,第二季果葡萄酒中较高的酚类物质含量、更深的酒体色泽、以及更鲜明的红色色调使其具有了与一季果葡萄酒不同的酒体结构和品质。

2.3 ‘野酿2号’两季果葡萄酒挥发性风味成分分析

采用HS-SPME结合GC-MS对‘野酿2号’两季果葡萄酒的挥发性风味成分进行检测,结果见表3。由表3可知,从两季果葡萄酒样中共鉴定出52种挥发性风味物质,包括5种醇类、30种酯类、2种萜烯类、3种酸类、4种醛酮类和8种其他类。其中一季果和第二季果葡萄酒样挥发性风味物质的总含量分别为4 939.36 μg/L、3 354.96 μg/L。‘野酿2号’两季果葡萄酒样中香气组分种类相似,但各类物质总含量有差异,含量最高的香气组分均为醇类,其次为酯类和其他类,其中一季果葡萄酒样中的醇类和酯类化合物含量显著高于第二季果葡萄酒样($P < 0.05$)。一季果葡萄酒样和第二季果葡萄酒样中醇类化合物的总含量分别为2 482.64 μg/L、1 496.08 μg/L,分别占香气总量的50%和45%。醇类化合物是构成葡萄酒香气的关键成分之一,其中高级醇主要源自酵母在葡萄酒发酵过程中对氨基酸或糖类物质的代谢产物^[26]。在两季果葡萄酒样中的醇类物质主要以具有花香味的苯乙醇和具有溶剂味、指甲油味、酒精味的异戊醇为主,二者在两季果葡萄酒样中存在显著差异($P < 0.05$)。酯类化合物是极为重要的一类香气化合物,在很大程度上决定了葡萄酒及其他发酵饮料所特有的果香^[27]。两种葡萄酒样中共鉴定出30种酯类物质,多数具有花果香气特征。一季果葡萄酒样和第二季果葡萄酒样中酯类物质含量分别为1 906.34 μg/L、1 007.88 μg/L,分别占总量的39%和30%,其中,乙酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯含量较高(> 50 μg/L)。检测到的酯类物质中12个化合物在两季果葡萄酒样中存在显著差异($P < 0.05$),其中9个酯类物质在一季果葡萄酒样中含量更高。其他类化合物中以2,4-二叔丁基苯酚、4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚为主,其中以4-乙基愈创木酚、4-乙基苯酚具有化学味特征,在两季果葡萄酒样中存在显著差异($P < 0.05$)。两季果酒样中共鉴定到3种酸类物质,分别是辛酸、癸酸和己酸,这3种酸都属于脂肪酸,其中辛酸在两季果葡萄酒样中存在显著差异($P < 0.05$)。辛酸具有乳酪香、酸败味,大多数脂肪酸在高含量时(> 20 mg/L)会有不良风味的体现,而在低含量时能够带来愉快的气味^[28]。两季果葡萄酒中酸类

香气成分虽然含量均较低,但对平衡葡萄酒风味有重要的影响。萜烯类和醛酮类物质在两种酒样中检出量低,但它们可能在花香味和果香味方面起着重要作用,且一季果酒样中上述两类物质含量更高。

表3 ‘野酿2号’两季果葡萄酒中挥发性风味成分含量气相色谱-质谱分析结果
Table 3 GC-MS analysis results of volatile flavor components contents in two-crop grape wine of ‘Yeniang No.2’

序号	化合物	含量/(μg·L ⁻¹)		香气描述 ^[6,29-40]
		一季果葡萄酒样	二季果葡萄酒样	
1	异戊醇	1 833.23±251.41a	1 133.25±226.27b	溶剂味、指甲油味、酒精味、甜味
2	正己醇	2.28±0.44a	4.46±2.48a	青草味、甜香、土司味
3	苯甲醇	2.31±0.19a	2.01±0.91a	玫瑰花香、蔷薇香气、花粉味
4	正辛醇	10.15±3.78a	9.32±1.32a	茉莉味、柠檬味
5	苯乙醇	634.66±105.50a	347.05±74.74b	蔷薇香、玫瑰香、花粉味
	醇类总量	2 482.64±360.32a	1 496.08±298.39b	
6	乙酸乙酯	361.86±145.00a	145.18±7.36a	醚香、甜香、菠萝香
7	异戊酸乙酯	10.89±3.73a	4.14±1.13b	果香、甜香
8	乙酸异戊酯	491.73±190.85a	108.51±36.82b	辣的味道、醇香、醚香、香蕉香
9	己酸乙酯	71.57±42.27a	56.56±4.03a	白兰地、过熟水果香
10	DL-白氨酸乙酯	1.75±0.56a	2.76±0.25a	
11	烷醇乳酸酯	1.08±0.53b	3.06±0.20a	
12	丁二酸二乙酯	55.92±17.84b	103.41±14.15a	水果清香
13	辛酸乙酯	379.01±159.76a	226.20±23.46a	蜡香、霉香、果香、似杏、奶油气味
14	苯乙酸乙酯	6.46±1.17a	2.13±0.33b	玫瑰、花香
15	己酸异戊酯	1.91±0.57a	1.11±0.07a	香蕉等水果香气
16	乙酸苯乙酯	98.80±16.35a	18.38±2.40b	果香、玫瑰香
17	癸酸甲酯	4.50±0.83a	1.78±0.06b	油脂味、酒味、果味、花香
18	癸酸乙酯	290.34±34.90a	146.38±19.28b	花香、果香
19	2-羟基-3-苯基丙酸乙酯	1.84±0.44a	2.92±0.83a	花香、果香
20	辛酸异戊酯	3.98±0.41a	2.19±0.44b	菠萝味、椰子味
21	肉桂酸乙酯	6.01±2.74a	3.89±0.86a	果香、蜂蜜味
22	月桂酸甲酯	1.33±0.26a	1.44±0.24a	玫瑰花香
23	癸酸异丁酯	0.88±0.10a	0.83±0.11a	
24	月桂酸乙酯	43.62±4.78a	35.40±8.64a	花香、果香、脂肪味、油腻味
25	癸酸异戊酯	3.70±0.48a	1.54±0.59b	
26	邻苯二甲酸二异丁酯	0.60±0.11a	3.85±2.05a	
27	9-十六碳烯酸乙酯	7.15±6.69a	8.97±7.49a	
28	棕榈酸乙酯	24.48±21.93a	36.87±11.23a	苹果、菠萝
29	反-9-十八碳烯酸甲酯	19.81±15.16a	26.75±14.39a	
30	硬脂酸乙酯	2.47±1.58a	5.15±1.27a	
31	乳酸乙酯	5.37±3.57b	53.13±9.09a	水果、甜香、醚样香气
32	十四酸乙酯	2.14±2.61a	2.50±0.83a	甜香、蜡香及奶油味
33	己酸异丁酯	0.40±0.39a	0.28±0.12a	
34	水杨酸乙酯	1.16±1.11a	1.36±0.29a	凉香、膏香、辛香
35	壬酸乙酯	5.56±1.47a	1.20±1.05b	果香、蜡香、酯香、青香
	酯类总量	1 906.34±549.23a	1 007.88±45.79b	
36	香茅醇	6.14±0.54a	0.73±0.67b	柠檬味、柑橘味
37	反式橙花叔醇	7.16±2.71a	2.95±0.50a	甜花香
	萜烯类总量	13.30±2.72a	3.68±0.33b	
38	辛酸	31.75±6.25a	13.26±3.23b	乳酪香、酸败味
39	癸酸	21.06±18.61a	24.81±11.84a	脂肪味、奶香味

续表

序号	化合物	含量/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)		香气描述 ^[6,29-40]
		一季果葡萄酒样	二季果葡萄酒样	
40	己酸	5.60±1.69a	2.70±3.54a	强烈的、腐臭奶酪的香气和味道
	酸类总量	58.42±19.77a	40.76±15.63a	
41	苯乙醛	1.64±0.16a	1.22±0.23a	玫瑰、蜂蜜
42	癸醛	3.04±1.17a	2.42±0.66a	
43	苯甲醛	0.45±0.58a	0.46±0.09a	苦杏仁、樱桃及坚果香气
44	2-壬酮	1.10±0.27a	0.28±0.24b	
	醛酮类总量	6.23±1.41a	4.37±1.04a	果香、甜香、蜡香、皂香
45	4-乙基苯酚	49.45±16.33b	254.08±38.61a	
46	2,3-二氢苯并呋喃	2.76±0.56a	2.81±0.69a	动物味、皮革味
47	4-乙基愈创木酚	52.49±10.07b	174.93±16.77a	
48	茴香烯	11.30±7.44a	8.13±5.60a	辛香、木香
49	丁香酚	2.10±0.52a	1.38±0.14a	
50	2,6-二叔丁基苯醌	1.01±0.17a	0.83±0.04a	香料味
51	2,4-二叔丁基苯酚	349.27±60.18a	359.52±54.00a	
52	3-乙基-5-甲基苯酚	4.05±0.87a	0.51±0.46b	石碳酸味
	其他类总量	472.44±73.39b	802.19±103.85a	

2.4 ‘野酿2号’两季果葡萄酒挥发性风味成分差异分析

为了研究‘野酿2号’两季果葡萄酒挥发性风味物质的差异,以鉴定出的52种挥发性风味物质作为因变量,一季果

葡萄酒样和二季果葡萄酒样作为自变量,进行OPLS-DA,结果见图1。

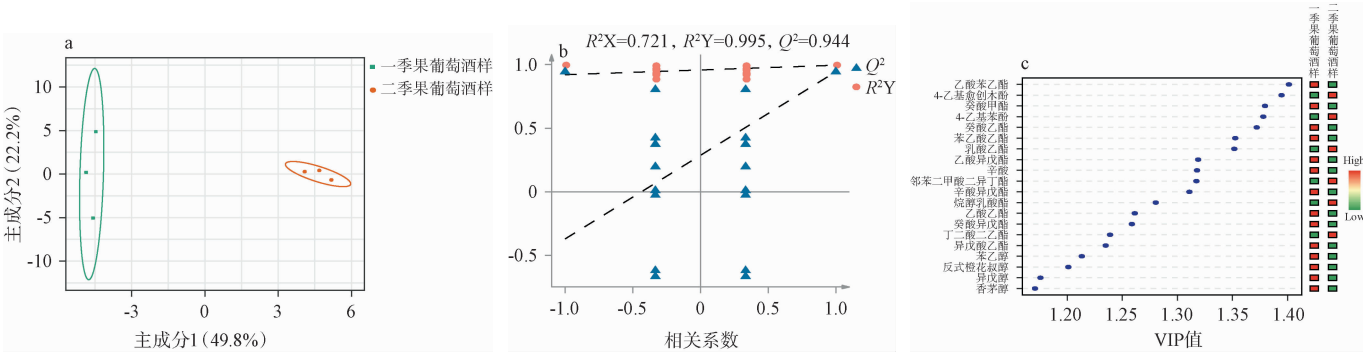


图1 ‘野酿2号’两季果葡萄酒样挥发性风味物质正交偏最小二乘判别分析(a),置换检验结果(b),变量重要性投影值(c)

Fig. 1 Orthogonal partial least squares discriminant analysis (a) of volatile flavor compounds, results of the permutation test (b), variable importance in the projection values (c) of two-crop grape wine of ‘Yeniang No.2’

由图1a可知,自变量拟合指数(R^2X)为0.721,因变量拟合指数(R^2Y)达到0.995,模型预测指数(Q^2)为0.944, R^2 和 Q^2 值均超过0.5的可接受阈值,表明模型拟合效果良好^[41]。经过200次置换检验, Q^2 回归线与纵坐标轴的相交点 <0 ,说明模型不存在过拟合,模型验证有效,结果表明,该模型适用于‘野酿2号’两季果葡萄酒挥发性风味成分的鉴别分析。由图1b可知,通过OPLS-DA可以实现两季葡萄酒香气挥发性风味物质的有效区分。由图1c可知,根据变量重要性投影(variable importance in the projection, VIP)值 >1 和 P 值 <0.05 ,共筛选出21种主要差异挥发性风味物质,包括醇类2种、酯类13种、萜烯类1种、酸类1种、醛酮类1种、其他类3种。其中,在一季果葡萄酒样中含量较高的挥发性风

味物质包括异戊醇、苯乙醇、异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、苯乙酸乙酯、乙酸苯酯、癸酸甲酯、癸酸乙酯、辛酸异戊酯、癸酸异戊酯、壬酸乙酯、香茅醇、辛酸、2-壬酮、3-乙基-5-甲基苯酚;在二季果葡萄酒样中含量较高的挥发性风味物质包括DL-白氨酸乙酯、烷醇乳酸酯、丁二酸二乙酯、乳酸乙酯、4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚。

2.5 主要差异挥发性风味物质的OAV分析

气味活性值(OAV)是衡量特定单一香气化合物对食品整体香气贡献度的一项指标,当 $OAV>1$ 时,可能直接影响整体风味并被称为关键活性香气物质;当 $0.1\leq OAV\leq 1$ 时,它们对酒样的整体香气也有一定的贡献,被称为潜在活性香气物质^[42]。对筛选获得的21种主要差异挥发性化合

物的阈值和属性描述进行检索^[6,34,43-45],经计算获得其中12种差异挥发性风味化合物的OAV,结果见表4。由表4可知,一季果葡萄酒样中 $0.1 \leq \text{OAV} \leq 1$ 的挥发性风味物质有2种,分别为乙酸苯乙酯、4-乙基苯酚; $\text{OAV} > 1$ 的挥发性风味物质有5种,分别为异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯、

辛酸异戊酯、4-乙基愈创木酚。二季果葡萄酒样中 $0.1 \leq \text{OAV} \leq 1$ 的挥发性风味物质有3种,分别为异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯; $\text{OAV} > 1$ 的挥发性风味物质有3种,分别为辛酸异戊酯、4-乙基苯酚和4-乙基愈创木酚。两季果葡萄酒样中含有6种关键差异挥发性风味物质。

表4 ‘野酿2号’两季果葡萄酒样中主要差异挥发性风味成分的气味活性值分析结果
Table 4 Analysis results of odor activity value of the main differential volatile flavor components in the two-crop grape wine of ‘Yeniang No.2’

种类	化合物	阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	OAV		香气描述	气味系列
			一季果葡萄酒样	二季果葡萄酒样		
醇类	苯乙醇	10 000	0.03	0.02	蔷薇香、玫瑰香、花粉味	2
	异戊醇	60 000	0.05	0.02	溶剂味、指甲油味、酒精味、甜味	5、7、8
	异戊酸乙酯	10	1.09	0.41	果香、甜香	1
酯类	乙酸异戊酯	160	3.07	0.68	醇香、醚香、香蕉香	1
	乙酸苯乙酯	250	0.40	0.07	果香、玫瑰香	1、2
	苯乙酸乙酯	73	0.09	0.03	玫瑰、花香	2
	癸酸乙酯	200	1.45	0.73	花香、果香	1、2
	辛酸异戊酯	2	1.99	1.10	菠萝味、椰子味	2
	香茅醇	100	0.06	0.01	柠檬味、柑橘味	2
萜烯类	香茅醇	100	0.06	0.01	柠檬味、柑橘味	2
酸类	辛酸	500	0.06	0.03	乳酯香、酸败味	8
其他类	4-乙基苯酚	140	0.35	1.81	动物味、皮革味	7
	4-乙基愈创木酚	40	1.12	3.72	辛香、木香	7

注:气味系列中1为果香味;2为花香味;3为植物味;4为坚果味;5为焦糖味;6为泥土味;7为化学味;8为脂肪味;9为烧烤味。

为了进一步分析葡萄酒的香气特征,将葡萄酒中的香气化合物分为9个气味系列,根据表4中 $\text{OAV} \geq 0.1$ 的各挥发性风味成分的气味描述,计算出各样品的总OAV,绘制整体香气轮廓图,结果见图2。

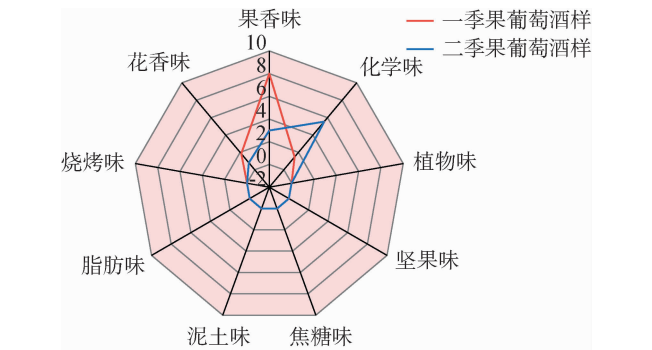


图2 ‘野酿2号’两季果葡萄酒样的整体香气轮廓图
Fig. 2 Overall aroma profiles of the two-crop fruits wine of ‘Yeniang No.2’

由图2可知,两种酒样的香气轮廓图差异较大,一季果葡萄酒样果香味和花香味更突出,而二季果葡萄酒样具有更为强烈的化学味,果香味和花香味弱于一季果酒样。结果表明,‘野酿2号’葡萄酒的主体香气特征为果香、花香和化学香味,与黄竞等^[6]研究得出不同采收期的‘野酿2号’葡萄酒主要香气类型均为果香味、花香和化学味的结果一致。

3 结论

本研究揭示了一年两收栽培模式对‘野酿2号’果实理化特性和葡萄酒品质的影响。‘野酿2号’二季果果粒更小,可溶性固形物含量更高,红黄色调更深。二季果葡萄酒的干浸出物、可滴定酸、单宁、还原糖、总酚、花色苷含量均显著高于一季果葡萄酒($P < 0.05$),且酒体色泽更深、红色色调更鲜明。从葡萄酒样中共鉴定出52种挥发性风味物质,两季果葡萄酒的挥发性风味成分在种类上具有相似性,但含量存在一定差异。利用OPLS-DA结合OAV分析,进一步筛选出造成酒样间差异的6种关键香气成分($P < 0.05$ 、VIP值 > 1 及 $\text{OAV} > 1$):异戊酸乙酯、乙酸异戊酯、癸酸乙酯、辛酸异戊酯等酯类物质在一季果酒样中浓度更高,这些物质通常与清新的果香和花香特征相关;相比之下,二季果葡萄酒中较高浓度的4-乙基苯酚、4-乙基愈创木酚可能带来了更厚重的酒体感,但也可能导致香气复杂度降低。综上,在涉及影响葡萄酒色泽、酒体结构等方面的指标,二季果葡萄酒表现更好;而在葡萄酒的香气特征方面,一季果葡萄酒的花果香则更为突出。这些结果反映了栽培措施对葡萄酒风味品质可能带来的影响,为后续广西毛葡萄酒品质提升提供了理论参考。

参考文献:

[1] ZHANG X, WANG K Q, GU X B, et al. Flavor chemical profiles of Cabernet Sauvignon wines: six vintages from 2013 to 2018 from the Eastern Foothills

- of the Ningxia Helan Mountains in China[J]. **Foods**, 2021, 11(1): 22.
- [2] 丁燕,郭亚芸,王哲,等.酿酒葡萄中芳香物质形成的影响因素及其研究进展[J].酿酒科技,2015(8):83-89.
- [3] 侯晓杰.低度起泡慕萨莱思酿造工艺的研究[D].阿拉尔:塔里木大学,2021.
- [4] 雷舒敏,王荣,杨国顺,等.夏黑葡萄一次果和延后果实香气及关键基因表达分析[J].南方农业学报,2024,55(8):2295-2309.
- [5] 葛谦,张媛珂,闫玥,等.不同采收期下负载量对赤霞珠葡萄及葡萄酒品质的影响[J].食品科学,2025,46(3):128-137.
- [6] 黄竞,黄羽,曹慕明,等.不同采收期对‘野酿2号’毛葡萄酒理化特性及香气成分的影响[J].食品工业科技,2023,44(18):34-42.
- [7] 陈为凯.一年两收栽培模式下葡萄果实靶向代谢组与转录组研究[D].北京:中国农业大学,2018.
- [8] 陆媚.根域限制对一年两收栽培‘夏黑’葡萄果实发育过程中酚类和香气物质的影响研究[D].南宁:广西大学,2019.
- [9] 陈彦蓓,罗惠格,陆媚,等.一年两收栽培夏黑葡萄香气成分分析[J].南方农业学报,2021,52(5):1343-1352.
- [10] 谢文远,陈锋,陈征海.浙江葡萄属(*Vitis* L.)植物新资料[J].广西植物,2021,41(8):1391-1400.
- [11] 谢林君,张劲,周咏梅,等.基于广泛靶向代谢组学解析不同树龄及栽培条件的野酿2号腺枝毛葡萄类黄酮差异[J].南方农业学报,2024,55(8):2262-2276.
- [12] CHENG G, WU D, GUO R, et al. Chromosome-scale genomics, metabolomics, and transcriptomics provide insight into the synthesis and regulation of phenols in *Vitis adenoclada* grapes[J]. **Front Plant Sci**, 2023, 14: 1124046.
- [13] 杨莹,叶冬青,黄羽,等.本土酵母对‘野酿2号’毛葡萄酒挥发性香气物质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2021(6):21-28.
- [14] CHENG G, ZHOU S H, WEN R D, et al. Anthocyanin characteristics of wines in *Vitis* germplasms cultivated in southern China[J]. **Food Sci Technol**, 2017, 38(3): 513-521.
- [15] CHENG G, ZHOU S, ZHANG J, et al. Comparison of transcriptional expression patterns of phenols and carotenoids in 'kyoho' grapes under a two-crop-a-year cultivation system[J]. **Plos One**, 2019, 14(1): e0210322.
- [16] 谢林君,张劲,周咏梅,等.基于广泛靶向代谢组学解析不同树龄及栽培条件的野酿2号腺枝毛葡萄类黄酮差异[J].南方农业学报,2024,55(8):2262-2276.
- [17] CHENG G, ZHOU S, LIU J, et al. Widely targeted metabolomics provides new insights into the flavonoid metabolism in 'Kyoho' grapes under a two-crop-a-year cultivation system[J]. **Horticulturae**, 2023, 9(2): 154.
- [18] 王华,张予林.葡萄酒分析检验[M].北京:中国农业出版社,2023.
- [19] 王宏.宁夏干红葡萄酒陈酿过程中酚类物质及颜色的变化规律研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [20] 谢林君,王海军,张劲,等.基于GC-MS和香韵法分析阳光玫瑰葡萄贮藏过程香气特征变化[J].现代食品科技,2023,39(9):296-306.
- [21] 孙宝国,陈海涛.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2017.
- [22] CAI J, ZHU B Q, WANG Y H, et al. Influence of pre-fermentation cold maceration treatment on aroma compounds of Cabernet Sauvignon wines fermented in different industrial scale fermenters[J]. **Food Chem**, 2014, 154: 217-229.
- [23] CONDE C, SILVA P, FONTES N, et al. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality[J]. **Global Sci Books**, 2017, 1: 1-22.
- [24] 王舒伟,乔丹,徐通通,等.葡萄成熟度对‘赤霞珠’葡萄酒酚类物质及抗氧化能力的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(12):202-209.
- [25] 苏鹏飞,袁春龙,杨丽,等.不同采收期对黑比诺葡萄及葡萄酒品质的影响[J].现代食品科技,2016,32(5):234-240.
- [26] 杨薇熹,兰义宾,向小凤,等.湖南刺葡萄酒主要呈香物质的分析[J].中国酿造,2020,39(3):78-83.
- [27] 左俊伟,亓相媛,赵彩云,等.宁夏贺兰山东麓产区霞多丽、贵人香干白葡萄酒香气成分分析[J].食品与发酵工业,2016,42(10):149-155.
- [28] SUMBY K M, GRBIN P R, JIRANEK V. Microbial modulation of aromatic esters in wine: Current knowledge and future prospects[J]. **Food Chem**, 2010, 121(1): 1-16.
- [29] 谢春梅,焦红茹,曹芳玲.宁夏青铜峡小产区不同品种干红葡萄酒的香气成分分析[J].中国酿造,2018,37(1):170-176.
- [30] 陈佳威,秦燕飞,孙建平.不同产区‘马瑟兰’干红与桃红葡萄酒香气成分分析[J].中国酿造,2025,44(4):104-111.
- [31] 刘思宇,吴杨鹏,时同华,等.河北碣石山产区‘小味儿多’葡萄果实和葡萄酒发酵过程中的香气物质的变化[J].中国酿造,2024,43(9):50-59.
- [32] 管敬喜,黄羽,韦荣福,等.三种酿造工艺对野酿2号毛葡萄酒香气成分的影响[J].食品工业科技,2020,41(2):220-226.
- [33] 杨威,谢林君,成果,等.三种酵母对‘威代尔’干白葡萄酒香气品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2024(4):32-39.
- [34] 胡瑞祺,杨薇熹,凌梦琪,等.贺兰山东麓产区地块间‘赤霞珠’和‘马瑟兰’葡萄酒香气差异分析[J].中国酿造,2024,43(6):49-58.
- [35] 杨威,成果,张劲,等.广西原生葡萄酒凌丰和野酿2号典型香气特征分析[J].南方农业学报,2024,55(8):2320-2331.
- [36] 陶永胜,刘吉彬,兰圆圆,等.人工贵腐葡萄酒香气的仪器分析与感官评价[J].农业机械学报,2016,47(2):270-279,315.
- [37] PENG C T, WEN Y, TAO Y S, et al. Modulating the formation of Meili wine aroma by prefermentative freezing process[J]. **J Agr Food Chem**, 2013, 61(7): 1542-1553.
- [38] 孙琪,李舒婷,何磊,等.刺葡萄利口酒的香气轮廓及其在瓶储过程的变化[J].中国酿造,2022,41(1):37-47.
- [39] 陶永胜,李娜.葡萄酒中香气物质研究进展[J].食品科学技术学报,2023,41(3):28-40.
- [40] CHEN K, LIU C, WANG Y, et al. Predominance of indigenous non-saccharomyces yeasts in the traditional fermentation of greengage wine and their significant contribution to the evolution of terpenes and ethyl esters[J]. **Food Res Int**, 2021, 143: 110253.
- [41] YUN J, CUI C, ZHANG S, et al. Use of headspace GC/MS combined with chemometric analysis to identify the geographic origins of black tea[J]. **Food Chem**, 2021, 360: 130033.
- [42] SELLI S, CABAROGLU T, CANBAS A, et al. Volatile composition of red wine from cv. Kalecik Karası grown in central Anatolia[J]. **Food Chem**, 2004, 85(2): 207-213.
- [43] 何少华,都振江,商华,等.贺兰山东麓产区‘美乐’和‘赤霞珠’葡萄酒香气特征研究[J].中外葡萄与葡萄酒,2024(1):55-64.
- [44] BENKWITZ F, TOMINAGA T, KILMARTIN P A, et al. Identifying the chemical composition related to the distinct aroma characteristics of New Zealand sauvignon blanc wines[J]. **Am J Enol Viticult**, 2012, 63(1): 62-72.
- [45] MORENO J A, ZEA L, MOYANO L, et al. Aroma compounds as markers of the changes in sherry wines subjected to biological ageing[J]. **Food Control**, 2005, 16(4): 333-338.