

避雨栽培对‘赤霞珠’葡萄绿叶 挥发性组分含量的影响

付亚群^{1,2},高媛^{1,2},孟楠^{1,2},潘秋红^{1,2*}

(¹中国农业大学食品科学与营养工程学院葡萄与葡萄酒研究中心,北京 100083;

²农业部葡萄酒加工重点实验室,北京 100083)

摘要:【目的】针对我国东部葡萄酒产区在酿酒葡萄成熟期降雨过多导致香气品质下降的问题,探究避雨栽培对‘赤霞珠’葡萄果实绿叶挥发性组分及其衍生酯类积累的影响,以期为该项措施的应用提供依据。【方法】以2012和2013年采自北京密云地区张裕爱斐堡酒庄葡萄园的‘赤霞珠’(*Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’)果实为试材,采用固相微萃取-气相色谱与质谱联用技术,分析游离态和糖苷结合态香气物质的种类和含量,比较避雨栽培和露地模式下果实成熟过程中绿叶挥发性组分积累规律的异同。【结果】避雨栽培下葡萄果实周围的太阳总辐射和光合有效辐射下降约20%,紫外辐射下降约40%。在2012年避雨栽培的成熟果实可溶性固形物含量明显升高,而在2013年2种栽培模式生产的果实可溶性固形物和可滴定酸含量无显著差异。综合2 a(年)数据,避雨栽培降低了成熟果实有“青草”气味的游离态脂肪醇、反式-2-己烯醛和反式-2-己烯酸的含量,而提高了结合态反式-2-己烯醇、己醇和反式-3-己烯醇等、以及游离态和结合态己醛和己酸的含量。此外,避雨栽培也显著增加果实中有“果香”气味的游离态和结合态酯类化合物含量,如乙酸己酯、辛酸乙酯和顺式-乙酸-3-己烯酯等。相对于2013年,避雨栽培的这些影响在降雨量相对较多的2012年更为显著。【结论】避雨栽培可以减弱葡萄的绿叶气味,提升果实和葡萄酒潜在果香品质,尤其在降雨相对较多的年份,可有效地缓解果实品质的下降。

关键词:‘赤霞珠’葡萄;绿叶挥发物;避雨栽培

中图分类号:S663.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2017)12-1566-14

Effects of rain-shelter cultivation on green leaf volatiles of ‘Cabernet Sauvignon’ grape

FU Yaqun^{1,2}, GAO Yuan^{1,2}, MENG Nan^{1,2}, PAN QiuHong^{1,2*}

(¹Center for Viticulture and Enology, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; ²Key Laboratory of Viticulture and Enology, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

Abstract:【Objective】Volatile compounds are of importance to the quality of grape berries and wines. They largely determine the aromatic quality and variety characteristics. Green leaf volatiles (GLVs) are short-chain acyclic aldehydes, alcohols and esters produced by plants via enzymatic metabolism of polyunsaturated fatty acids. These compounds, which are normally the most abundant volatiles in grape berries, not only endow grape berry and wine with ‘leaves’, ‘grass’ or ‘fresh vegetative’ odor, but also provide the direct precursors for the synthesis of hexyl acetate. Hexyl acetate in wines is found to be grape dependent and contribute to fruity character. Different from free-form volatiles, glycosidically bound GLVs in grape berry are rarely paid attention on possibly because they don’t have direct contribution to the aroma contributors. But they possess potential importance in grape varieties used for making wine. In the wine-producing regions of east China, the quality of berries and wines are largely interfered with excessive rainfall during grape maturation season. To minimize the declining of berry aroma quality, rain-shelter measurement has been implemented. The present study aimed at evaluating the effects of rain shelter on the

收稿日期:2017-06-13 接受日期:2017-08-04

基金项目:国家自然科学基金(31272118);国家葡萄产业技术体系专项(CARS-29)

作者简介:付亚群,女,硕士,研究方向为葡萄与葡萄酒化学。Tel:010-62737304, E-mail: sunshineyqunfu@163.com

*通信作者 Author for correspondenc. Tel: 010-62736191, E-mail: panqh@cau.edu.cn

accumulation of GLVs and the lipid-derived esters in developing ‘Cabernet Sauvignon’ grape berries. The research outcome will provide theoretical basis for this cultivation mode application.【Methods】The experiment was carried out in a ‘Cabernet Sauvignon’ (*Vitis vinifera* L.) vineyard of the Chateau Changyu Afip Global (44°30' N, 116°80' E), located in Miyun County of Beijing, in 2012 and 2013 vintages. The own-rooted grapevines were planted in south-north row orientation with 1.0 m × 2.5 m spacing, and they were trained into a sloping trunk with a horizontal cordon. The rain-shelter roof was set up on the 14th day after flowering (DAF, 14th June) in 2012 and 36 DAF (13th July) in 2013. A randomized block design was adopted, and a total of six blocks were chosen to create three rain-shelter cultivation replicates and three open-field cultivation replicates. Each block comprised 40 grapevines. To understand the change in microclimate around the grapevines under the rain-shelter and in the open field, dataloggers and probes were installed around the clusters for collecting microclimatic data. Grapes were sampled at 20, 37, 50, 64, 71, 78, 87, 97, 112, 125 and 135 DAF for the 2012 vintage and at 14, 28, 41, 57, 67, 78, 97, 112 and 124 DAF for the 2013 vintage. The harvested samples were placed in plastic bags and quickly transported to the laboratory. About 100 fresh berries per replicate were used for the determination of total soluble solids and titratable acids. The remaining samples were immediately frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C. Free-form volatile compounds were extracted from fruits by using headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) method, and glycosidically bound volatiles were separated through a Cleanert PEP-SPE column, followed by the hydrolysis by glycosidase AR2000 and the adsorption of HS-SPME. The qualitative and quantitative analyses of free and glycosidically bound volatiles were performed via the technology of gas chromatography-mass spectrometry.【Results】Both total solar radiation and photosynthetically active radiation reaching the grape clusters were reduced by about 20%, and ultraviolet radiation was decreased by 40% under the rain shelter. With the growth and development of grapes, total soluble solids increased and titratable acids declined especially after veraison. The rain-shelter application, compared with the open-field cultivation, resulted in a significant increase in total soluble solid content in the 2012 vintage, but no significant difference in both total soluble solids and titratable acids in the 2013 vintage. Combined the two-year data, free-form straight-chain aliphatic alcohols, including (E)-2-hexenal and (E)-hexenoic acid with green leaf odor, under the open-field cultivation was higher than those under the rain-shelter cultivation. However, rain-shelter application raised the levels of glycosidically bound straight-chain aliphatic alcohols, such as (E)-2-hexen-1-ol, hexanol and (E)-3-hexen-1-ol, as well as free and glycosidically bound hexenal and hexenoic acid. Additionally, free and bound straight-chain aliphatic esters (fruity aroma) were increased in the rain-shelter grape, including hexyl acetate, ethyl octanoate, and (Z)-3-hexen-1-ol acetate. The two-way analysis of variance indicated that 22 free-form and 15 glycosidically bound-form volatiles dramatically differed between the vintages, and 6 free-form and 4 bound-form GLV compounds varied with the cultivation treatments. F test showed that vintage influence was stronger than the cultivation mode. There was significant interactive effect of vintage and rain-shelter treatment on the concentrations of 6 free-form GLV compounds including (E)-2-hexenal, nonanal, decanal, 1-hexanol, (E)-2-hexenol and 1-octanol. In addition, four bound-form GLV compounds, decanal, 1-hexanol, 1-heptanol and 1-dodecanol, also exhibited a significant difference. There was difference in the total rainfall (524.2 mm and 465.6 mm) existed in the whole period of berry development between 2012 and 2013 vintages. Excessive rainfall was considered to interfere with the accumulation of green leaf volatiles, but the rain-shelter application could effectively avoid the effect, which was displayed in the 2012 vintage with more rainfall compared to the 2013 vintage.【Conclusion】Compared with the open-field cultivation, rain-shelter cultivation in this study greatly lessened the green leaf odor

of grape berries and consequently improve fruity aroma of grapes and wines. The improvement in total soluble solids and fruity aroma under the rain-shelter was significant in the vintage that received higher rainfall. Based on our results, it is concluded that simple rain-shelter cultivation can effectively relieve the deterioration of berry quality especially in the vintage with much rainfall.

Key words: Grape berries (*Vitis vinifera* L. ‘Cabernet Sauvignon’); Green leaf volatiles; Rain-shelter cultivation

避雨栽培是减少果实病害发生的最有效手段之一,其将薄膜覆盖在树冠顶部,减少果实与雨水的接触,从而阻断发病诱因^[1]。目前,该项措施已广泛应用于我国南方鲜食葡萄生产中,但在酿酒葡萄生产中的应用并不多见。究其原因,除了成本考虑之外,可能与避雨栽培对葡萄果实酿酒品质影响的研究相对较少有关。香气是决定葡萄与葡萄酒品质的一项重要指标,探究避雨栽培对酿酒葡萄香气物质积累的影响,在理论上有助于揭示酿酒葡萄香气品质的影响机制,在生产实际上可为该项措施在酿酒葡萄生产中应用提供直接依据。

目前,国内外关于避雨栽培对葡萄果实品质影响的研究主要集中在果实发病率^[2-4]、抗寒性^[5]、有机酸^[6-7]、氨基酸^[8]、花色苷^[9-11]或各种酚类物质^[3, 12]等方面,对葡萄果实香气品质影响的研究报道较为鲜见。曹锰等^[13]分析了避雨栽培下鲜食葡萄‘金手指’的游离态香气物质变化,发现避雨栽培增加了葡萄果实的游离态醛含量,尤其是具有清香味的2-己烯醛。迟明等^[14]研究避雨栽培对我国西北部红色酿酒葡萄‘赤霞珠’香气物质含量的影响,发现游离态香气高级醇、酯类、醛类和酚类在避雨栽培下都有所提高。但该研究仅关注采收期果实的游离态香气组分,而未涉及其在整个果实发育过程的变化,也未关注结合态香气化合物。笔者实验室报道了北京密云地区避雨栽培对白色酿酒葡萄‘霞多丽’游离态和结合态香气物质积累的影响,结果表明避雨栽培改变了葡萄果实3大类香气物质合成代谢中的碳分配流向,总体上提高了脂肪酸来源的香气物质总量^[12]。葡萄果实绿叶挥发性组分(green leaf volatiles, GLVs)主要是指植物中的不饱和脂肪酸通过脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)、脂氢过氧化物裂解酶(hydroperoxides lyase, HPL)以及醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)等代谢产生的短链脂肪族醛、醇和它们的酯类化合物,主要包括C6/9醛、醇和相应的酯,但在厌氧条件下还可以形成少量的C5化合物^[15-16]。

这类物质主要表现为“青草”“绿叶”或“新鲜植物”气味,它们是葡萄果实中含量最丰富的一类香气物质。在葡萄酒酿造过程中,这些脂肪酸代谢化合物可以进一步转化为相应酸和酯,是葡萄酒中果香成分之一乙酸己酯的直接前体物,对于酿酒葡萄和葡萄酒的香气品质具有重要贡献^[17]。然而,迄今未见有关于避雨栽培对酿酒葡萄果实脂肪酸来源的绿叶挥发性组分影响的专门报道。

笔者以北京密云地区2012年和2013种植的‘赤霞珠’果实为试材,比较避雨和露地栽培模式下果实发育过程中绿叶挥发性组分的变化,探究年份和栽培模式对于酿酒葡萄特定香气物质的影响,以期为这一栽培模式在酿酒葡萄的推广与应用提供科学依据,也为葡萄果实绿叶挥发物积累与调控机制的深入研究奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试材为北京市密云县张裕爱斐堡国际酒庄(44°30'N, 116°80'E)树龄5~6 a(年)的‘赤霞珠’(*Vitis vinifera* ‘Cabernet Sauvignon’).本研究的试验设计方法和气候数据的采集方法均参考笔者实验室已发表的文章^[12]。同时根据已发表文章的气候数据表明:避雨栽培可滤减果实周围20%以上的太阳总辐射和光合有效辐射及40%的紫外辐射,而果穗周围的相对湿度、温度在棚内、外没有明显差别^[12]。

采用随机区组设计,2种栽培方式分别设3个试验小区,作为3个生物学重复,每个小区选取40株葡萄。所有试验小区采用相同的水肥管理和病虫害防治措施。

1.2 样品采集

样品采集从避雨棚搭建后7 d开始,在果实转色之前以及转色完成至成熟采收阶段,间隔14 d采样,转色期间隔7 d采样,如遇下雨则延后2~3 d。2012年和2013年转色开始时间分别为花后50 d(50

DAF, 7月20日)和花后57 d(57 DAF, 8月3日)。本研究中,2012年采样时间为花后20、37、50、64、71、78、87、97、112、125、135 d;2013年为花后14、28、41、57、67、78、84、97、112、124 d。采样时兼顾阴阳面、叶幕层内外和上中下果穗以及每穗葡萄肩、中、顶部,每次各试验小区分散随机剪取葡萄果实约300粒,放入泡沫盒,在2 h内运回实验室。取100粒鲜果直接用来测定可溶性固形物和可滴定酸含量;剩余样品用液氮速冻,-80 °C保存。

1.3 总可溶性固形物和可滴定酸含量的测定

可溶性固形物含量(Brix)使用手持糖度计测定(PAL-2, ATAGO, 日本东京)。可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定,吸取2 mL上清液,加蒸馏水50 mL,并滴加酚酞指示剂2滴,然后用0.1 mol·L⁻¹ NaOH滴定至pH为8.2,滴定结果以酒石酸(g·L⁻¹)计。

1.4 葡萄果实绿叶挥发物的测定

葡萄果实游离态和结合态香气物质的提取以及香气物质的定性定量均参照Xu等^[18]的方法进行。

在香气物质定性分析中,对于有标准品的香气物质,依据本实验已建立的相同色谱条件下该化合物的保留指数和质谱信息NIST 08进行定性分析。没有标样的香气物质,利用文献报道中相似色谱条件下该化合物的保留指数以及NIST 08标准谱库(NIST Chemistry WebBook. <http://webbook.nist.gov/>

chemistry/)比对结果进行半定性分析;对于文献中未报道相似色谱条件下化合物保留指数的香气物质,则根据NIST 08标准谱库比对结果进行半定性分析。最后以4-甲基-2-戊醇为内标,通过内标标准曲线法进行定量,得到各香气物质的相对含量。

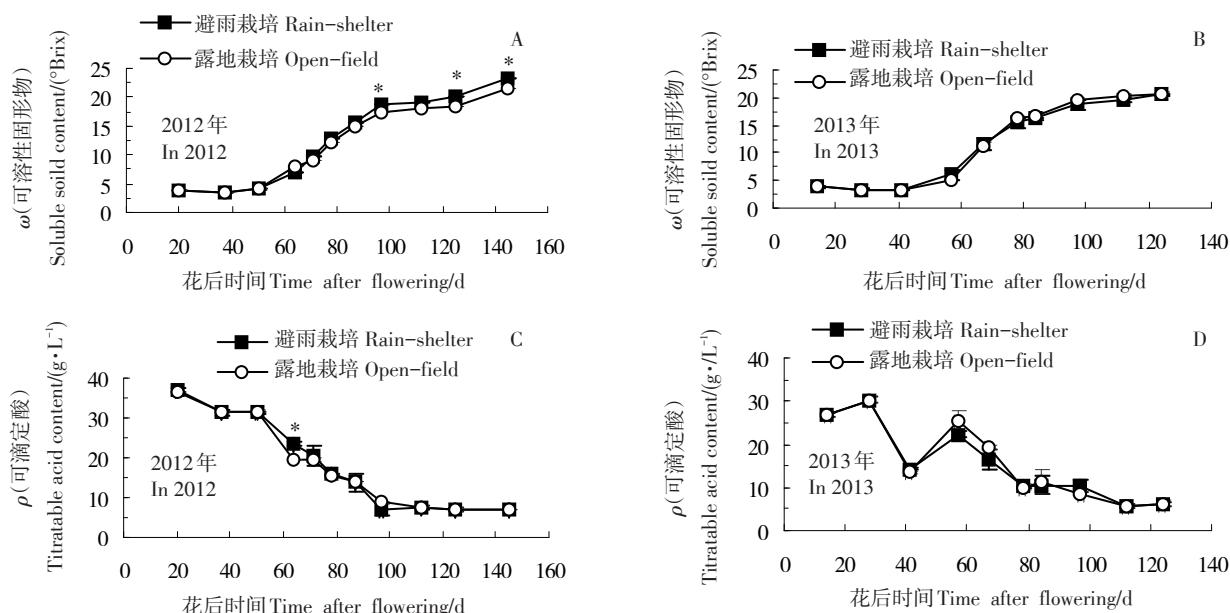
1.5 数据处理与统计分析

运用SPSS 20.0进行数据统计分析,采用独立样本T检验和Duncan多重比较分析避雨栽培和露地栽培样本之间的差异显著性,显著性水平P<0.05;采用绘图软件Origin 9.30进行绘图。采用RStudio进行双因素方差分析,比较年份和栽培模式对香气物质积累的影响程度。

2 结果与分析

2.1 葡萄果实总可溶性固形物和可滴定酸含量的比较

随着葡萄果实成熟,可溶性固形物含量呈现上升趋势,2012年避雨栽培的果实中可溶性固形物的含量在转色后显著高于露地栽培,而2013年2种栽培模式下葡萄果实可溶性固形物含量无显著差异。在整个果实发育过程中,葡萄果实的可滴定酸含量呈现下降的趋势,但在2012年和2013年避雨和露地栽培的葡萄果实可滴定酸含量均无显著差异(图1)。



“*”表示同类物质在避雨栽培和露地栽培2种栽培模式下有显著差异(P<0.05)。下同。

“*” indicates a significant difference of same compounds between the rain-shelter and open-field grape berries (P<0.05). The same below.

图1 葡萄果实发育过程中可溶性固形物和可滴定酸含量的变化

Fig. 1 Changes in total soluble solid and titratable acid contents during the development of grape berries

2.2 避雨栽培对成熟采收期果实中绿叶挥发物及其衍生物组成和含量的影响

根据功能团不同,脂肪酸来源的绿叶挥发性组分及其衍生物可以分为直链脂肪醛类(straight-chain aliphatic aldehydes)、直链脂肪醇类(straight-chain aliphatic alcohols)、直链脂肪酸类(straight-chain aliphatic acids)和直链脂肪酯类(straight-chain aliphatic esters)^[16],在果实中它们以游离态和糖苷结合态2种形式存在。本研究中从成熟的‘赤霞珠’果实中共检测到游离态脂肪酸来源的香气物质27种,其中醛类8种、醇类12种、酸类2种、酯类5种;结合态物质15种,包括醛类1种、醇类10种、酸1种、酯类3种(表1)。

从表1可见,直链脂肪醛类主要以游离态的形式存在,含量最高的是反式-2-己烯醛[(*E*)-2-hexenal]和己醛(hexanal);其中反式-2-己烯醛在露地栽培的果实中含量显著高于避雨栽培的果实,而已醛则在避雨栽培的果实中含量更高。直链脂肪醇类中游离态形式主要有反式-2-己烯醇[(*E*)-2-hexen-1-ol]、己醇(hexanol)和顺式-3-己烯醇[(*E*)-3-hexen-1-ol],结合态主要有反式-2-己烯醇、己醇和反式-3-己烯醇[(*E*)-3-hexen-1-ol],大部分结合态直链脂肪醇类物质在避雨栽培果实中的含量高于露地栽培,而游离态直链脂肪醇类含量正好相反。直链脂肪酸类主要以游离态形式存在,其中含量较高的有己酸(hexanoic acid)和反式-2-己烯酸[(*E*)-hexenoic acid],避雨栽培下果实己酸的含量高于露地栽培,而反式-2-己烯酸在露地栽培下的果实中含量更多。直链脂肪酯类主要有己酸乙酯(ethyl hexanoate)、顺式-乙酸-3-己烯酯[(*Z*)-3-hexen-1-ol, acetate]、丁酸丁酯(butyl butyrate)、乙酸己酯(hexyl acetate)、辛酸乙酯(ethyl octanoate)和癸酸乙酯(ethyl decanoate),这些酯类均是避雨栽培的果实中含量更高(表1)。

2.3 避雨栽培对果实发育过程中游离态脂肪醛、醇、酸和酯类积累的影响

‘赤霞珠’果实中绿叶气味香气物质主要以游离态形式存在,其含量占总量的99%以上。其中游离态直链脂肪醛类含量最高,超过98%(表2和表3)。在果实发育过程中,游离态直链醛类在开始转色时迅速上升,成熟期略有下降,2种栽培模式之间含量的变化趋势一致。2012年露地栽培的果实游离态

名称 Name	结合态 Glycosidically bound compounds (μg·L ⁻¹)									
	2012年 In 2012		2013年 In 2013		2012年 In 2012		2013年 In 2013		定性方法 Qualitative methods	
	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	半定量性 Semi-quantitative	标准品 Standards
醛类 Aldehyde compounds										
己醛 Hexanal	4.482.18±23.93 b	6.593.17±27.37 a	7.604.62±69.37 b	7.808.34±210.22 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr
反式-2-己烯醛 (<i>E</i>)-2-hexenal	14.809.41±244.26 a	13.731.39±25.18 b	9.117.99±164.06 a	8.678.67±176.84 b	14.27±1.14 a	10.79±0.60 b	tr	tr	tr	tr
辛醛 Octanal	0.89±0.16 a	0.89±0.03 a	1.03±0.18 a	0.76±0.09 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr
反式-2-庚烯醛 (<i>E</i>)-2-heptenal	7.46±0.60 a	6.57±0.26 b	21.63±1.77 a	9.87±0.67 b	tr	tr	tr	tr	tr	tr
反式-2-辛烯醛 (<i>E</i>)-2-octenal	3.57±0.26 a	3.28±0.06 a	13.70±1.05 a	7.56±0.9 b	tr	tr	tr	tr	tr	tr
壬醛 Nonanal	0.50±0.09 a	0.66±0.14 a	tr b	0.28±0.02 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr
癸醛 Decanal	1.41±0.10 a	0.49±0.62 b	1.14±0.21 a	0.35±0.04 b	tr	tr	tr	tr	tr	tr
反式-2-壬烯醛 (<i>E</i>)-2-nonenal	tr	tr	7.09±0.61 a	6.95±0.62 a						

注: tr 为少量; nd 为低于检测限。不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 上差异显著。

Note: tr indicates trace; nd indicates not detected. Different small letters indicate significant difference at $P < 0.05$.

表1 (续)
Table 1 (Continued)

名称 Name	游离态 Free-form compounds						结合态 Glycosidically bound compounds						定性方法 Qualitative methods	
	2012年 In 2012			2013年 In 2013			2012年 In 2012			2013年 In 2013				
	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter		
醇类 Alcohol compounds														
2-庚醇 2-heptanol	0.16±0.02 b	0.83±0.04 a	tr		3.63±0.21 a	3.12±0.26 b	2.22±0.20 a	2.13±0.05 a	tr		tr		标准品 Standards	
1-己醇 1-hexanol	92.88±5.16 a	55.86±4.42 b	103.13±5.64 a	53.85±0.8 b	25.43±1.15 b	31.91±4.49 a	31.65±1.29 b	42.42±2.01 a	tr		tr		标准品 Standards	
反式-3-己烯醇 <i>E</i> -3-hexen-1-ol	5.23±0.50 a	4.07±0.68 a	3.22±0.47 a	2.73±0.12 a	21.92±1.67 a	7.13±0.87 b	8.74±0.57 a	9.79±0.49 a	tr		tr		标准品 Standards	
顺式-3-己烯醇 <i>Z</i> -3-hexen-1-ol	44.16±1.76 b	55.47±0.24 a	60.08±1.83 b	94.72±1.22 a	0.01±0.00 a	0.01±0.00 a	20.64±0.51 b	26.40±0.93 a	tr		tr		标准品 Standards	
反式-2-己烯醇 <i>E</i> -2-hexen-1-ol	129.80±5.41 a	81.97±2.90 b	99.88±3.14 a	53.74±1.09 b	25.81±1.82 b	71.42±5.93 a	31.14±3.81 b	53.41±2.02 a	tr		tr		标准品 Standards	
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1.05±0.03 b	1.41±0.04 a	1.83±0.12 a	1.09±0.07 b	1.31±0.09 a	1.13±0.17 a	0.81±0.15 a	1.00±0.12 a	tr		tr		半定量 Semi-qualitative	
1-庚醇 1-heptanol	0.77±0.02 b	1.55±0.07 a	0.74±0.04 b	1.09±0.11 a	4.50±0.36 b	5.13±0.38 a	1.73±0.27 b	5.15±0.31 a	tr		tr		标准品 Standards	
1-辛醇 1-octanol	0.69±0.08 b	2.15±0.01 a	0.15±0.02 a	0.12±0.01 a	0.93±0.25 a	0.49±0.06 b	0.11±0.01 a	0.28±0.03 a	tr		tr		标准品 Standards	
1-癸醇 1-decanol	0.24±0.06 b	1.20±0.02 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
十二烷醇 1-dodecanol	0.01±0.00 a	0.01±0.00 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr		tr		半定量 Semi-qualitative	
反式-2-辛烯-1-醇 <i>E</i> -2-octen-1-ol	2.92±0.01 b	4.01±0.16 a	tr	tr	2.94±0.19 a	3.24±0.28 a	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
2-辛醇 2-octanol	0.06±0.01 b	0.12±0.01 a	tr	tr	0.43±0.03 a	0.44±0.07 a	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
酸类 Acid compounds														
己酸 Hexanoic acid	81.69±0.04 b	87.29±0.41 a	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
反式-2-己烯酸 <i>E</i> -hexenoic acid	3.99±0.09 a	1.85±0.19 b	60.68±3.7 a	54.08±1.42 b	tr	tr	tr	tr	tr		tr		半定量 Semi-qualitative	
异戊酸 Isovaleric acid	tr	tr	tr	tr	2.21±0.64 a	3.29±0.44 a	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
酯类 Ester compounds														
己酸乙酯 Ethyl hexanoate	0.33±0.01 b	0.86±0.04 a	tr	tr	0.11±0.01 a	0.70±0.96 a	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
顺式-乙酸-3-己烯酯 <i>Z</i> -3-hexen-1-ol, acetate	0.63±0.01 b	0.77±0.01 a	1.47±0.08 a	1.61±0.10 a	tr	tr	tr	tr	tr		tr		半定量 Semi-qualitative	
丁酸丁酯 Butyl butyrate	0.32±0.02 b	0.38±0.03 a	1.06±0.03 b	1.24±0.04 a	tr	tr	tr	0.43±0.03 a	0.40±0.01 a		tr		标准品 Standards	
乙酸己酯 Hexyl acetate	0.37±0.02 b	0.79±0.09 a	0.14±0.03 a	0.11±0.02 a	tr	tr	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
辛酸乙酯 Ethyl octanoate	0.53±0.19 b	2.16±0.06 a	tr	tr	0.93±0.07 a	3.14±0.23 b	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	
癸酸乙酯 Ethyl decanoate	tr	tr	tr	tr	tr	1.85±0.60 a	tr	tr	tr		tr		标准品 Standards	

表 2 2012 年露地栽培和避雨栽培下葡萄果实发育过程中绿叶挥发物含量

Table 2 Concentrations of green leaf volatiles under open-field and rain-shelter cultivation during the grape berry development in 2012 (μg·L⁻¹)

花后 时间 Time after flowering /d	直链脂肪醛类 Straight-chain aldehydes			直链脂肪醇类 Straight-chain alcohols			直链脂肪酸类 Straight-chain acids			直链脂肪酯类 Straight-chain esters							
	结合态 Glycosidically bound compounds			游离态 Free-form compounds			结合态 Glycosidically bound compounds			游离态 Free-form compounds							
	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter	露地 Open-field	避雨 Rain-shelter					
20	8968.21± 534.95	5 533.14± 66.17	6.07± 0.41	5.86± 0.33	104.94± 5.23	71.13± 2.72	66.88± 4.27	59.16± 5.35	83.47± 3.73	59.76± 0.19	3.31± 0.32	9.10± 1.34	10.24± 0.63	5.16± 1.30	2.53± 1.01		
37	8353.40± 118.22	6 824.79± 294.04	7.12± 0.12	6.01± 0.31	39.87± 4.15	53.15± 12.44	53.19± 3.36	57.39± 3.12	82.82± 2.46	72.16± 0.11	1.12± 0.07	5.44± 0.05	5.42± 0.53	10.03± 0.83	10.55± 1.88		
50	6 798.42± 87.62	6 993.71± 75.59	6.44± 1.25	5.30± 0.21	62.47± 5.77	46.05± 0.74	49.27± 1.51	45.94± 3.98	81.52± 0.23	76.91± 2.01	2.16± 0.23	1.75± 0.15	6.04± 0.78	3.74± 0.26	12.75± 2.32	4.10± 0.61	
64	23 131.31± 339.04	21 589.67± 899.98	4.80± 1.18	7.46± 0.48	203.07± 7.46	217.21± 3.01	56.45± 2.72	56.46± 3.43	78.71± 0.71	65.48± 1.37	3.39± 0.25	2.90± 0.09	12.70± 0.49	6.67± 1.52	10.5± 1.19	3.05± 0.36	
71	27 354.75± 1 350.16	29 081.97± 1 128.30	8.07± 0.59	9.29± 0.61	96.56± 5.07	110.47± 8.11	64.04± 2.69	50.86± 2.33	82.48± 1.89	70.44± 4.27	1.02± 0.11	2.07± 0.11	6.36± 0.21	8.96± 0.24	1.89± 0.24	11.00± 0.37	0.63
78	31 171.84± 789.36	3 093.86± 534.60	7.91± 0.38	15.55± 0.82	146.22± 4.43	275.95± 7.56	92.24± 4.14	62.97± 3.66	82.96± 3.66	72.63± 0.85	1.28± 0.09	1.70± 0.21	6.37± 0.21	7.59± 0.21	1.02± 0.13	2.15± 0.22	0.55
87	33 048.99± 685.66	30 959.32± 1 444.89	12.62± 0.97	11.69± 1.17	295.16± 0.00	265.50± 11.85	76.54± 8.55	141.87± 7.57	84.06± 2.39	75.08± 5.49	2.95± 0.17	2.07± 0.29	8.62± 0.29	9.31± 0.54	2.23± 0.69	3.05± 0.24	0.30
97	25 787.47± 1 278.54	26 752.03± 411.41	10.96± 1.42	6.47± 0.86	222.87± 7.69	207.07± 2.79	76.38± 3.03	141.30± 7.31	82.93± 0.97	74.29± 6.03	3.09± 0.12	2.45± 0.20	3.55± 0.43	6.88± 0.52	1.93± 0.22	1.00± 0.23	
112	29 041.0± 853.33	2 640.18± 212.22	11.43± 0.68	8.54± 0.17	281.93± 7.63	267.17± 4.32	83.41± 5.16	158.10± 7.42	83.60± 1.37	78.59± 5.55	2.99± 0.08	1.87± 0.20	2.91± 0.21	5.64± 0.76	1.97± 0.32	3.01± 0.40	
125	24 785.23± 1 745.07	24 103.14± 667.19	14.30± 1.95	10.68± 1.14	140.70± 0.00	227.77± 7.08	93.17± 5.33	178.11± 9.85	86.72± 0.25	102.66± 1.95	1.97± 0.14	1.48± 0.29	3.27± 1.00	3.95± 0.30	1.65± 0.16	5.17± 0.72	
145	19 305.42± 269.49	20 336.46± 53.66	14.28± 1.14	10.80± 0.61	278.26± 13.07	209.20± 8.48	111.83± 9.91	164.70± 10.46	85.68± 0.60	89.14± 0.13	2.21± 0.24	3.29± 0.24	2.18± 0.24	4.95± 0.24	1.04± 0.24	5.72± 0.08	

表3 2013年露地栽培和避雨栽培下葡萄果实发育过程中绿叶挥发物含量

Table 3 Concentrations of green leaf volatiles under open-field and rain-shelter cultivation during the grape berry development in 2013

(μg·L⁻¹)

花后 时间 after flowe- ring/d	直链脂肪醛类 Straight-chain aldehydes				直链脂肪醇类 Straight-chain alcohols				直链脂肪酸类 Straight-chain acids				直链脂肪酯类 Straight-chain esters			
	游离态 Free-form compounds		结合态 Glycosidically bound compounds		游离态 Free-form compounds		结合态 Glycosidically bound compounds		游离态 Free-form compounds		结合态 Glycosidically bound compounds		游离态 Free-form compounds		结合态 Glycosidically bound compounds	
	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter	露地 Open- field	避雨 Rain- shelter
14	6 747.63± 444.29	6 747.63± 444.29	0.11± 0.00	0.11± 0.00	37.80± 2.78	37.80± 2.78	126.01± ±5.57	126.01± 5.57	40.63± 0.91	40.63± 0.91	0.71± 0.10	0.71± 0.10	10.76± 0.69	10.76± 0.69	0.71± 0.10	0.71± 0.10
28	4 674.16± 268.27	4 674.16± 268.27	0.08± 0.01	0.08± 0.01	21.73± 1.48	21.73± 1.48	67.56± 6.70	67.56± 6.70	37.38± 0.81	37.38± 0.81	0.40± 0.03	0.40± 0.03	3.96± 0.55	3.96± 0.55	0.40± 0.03	0.40± 0.03
41	4 382.73± 306.94	3 838.92± 351.91	0.04± 0.00	0.13± 0.01	16.70± 1.83	19.18± 2.34	42.22± 3.86	68.15± 2.13	41.19± 2.23	36.22± 1.27	0.65± 0.09	0.79± 0.06	3.17± 0.22	4.36± 0.64	0.79± 0.06	0.65± 0.09
57	5 869.09± 527.19	9 043.69± 826.29	0.03± 0.00	0.09± 0.02	12.71± 2.44	23.44± 6.77	41.50± 3.45	78.71± 14.66	40.26± 1.06	46.19± 1.07	0.67± 0.15	0.67± 0.06	1.65± 0.20	2.02± 0.21	0.67± 0.06	1.67± 0.15
67	18 299.49± 1 318.49	18 936.26± 738.44	0.03± 0.01	0.10± 0.01	35.76± 2.69	30.70± 3.77	75.11± 6.34	98.66± 12.46	48.06± 1.86	42.48± 0.74	0.74± 0.04	0.37± 0.02	2.43± 0.22	2.83± 0.19	0.37± 0.07	4.24± 0.38
84	22 045.17± 2 097.38	23 004.98± 987.40	0.04± 0.00	0.07± 0.01	69.10± 5.06	66.06± 5.49	75.94± 5.23	116.12± 7.32	61.20± 5.27	48.78± 1.20	0.52± 0.09	0.43± 0.02	3.65± 0.42	5.70± 0.50	0.43± 0.02	2.52± 0.09
97	21 087.42± 414.26	20 460.67± 1 212.63	0.04± 0.00	0.06± 0.01	99.93± 5.00	79.82± 4.00	72.36± 4.89	77.58± 5.34	82.22± 4.65	51.30± 2.55	0.54± 0.06	0.29± 0.02	3.11± 0.25	4.09± 0.37	0.29± 0.02	0.54± 0.06
112	20 920.97± 494.54	18 172.38± 436.92	0.05± 0.01	0.05± 0.01	110.67± 9.86	156.28± 8.47	80.52± 3.57	120.29± 6.71	65.74± 0.59	51.18± 1.01	0.47± 0.06	0.69± 0.01	2.97± 0.20	2.84± 0.44	0.69± 0.14	0.47± 0.06
124	16 767.2± 237.15	16 512.76± 389.39	0.05± 0.01	0.06± 0.01	269.66± 11.38	207.28± 3.35	97.08± 6.84	141.63± 5.91	60.68± 3.70	54.08± 1.42	0.36± 0.01	0.51± 0.03	2.66± 0.14	2.96± 0.16	0.43± 0.03	0.40± 0.01

直链醛类含量略高于避雨栽培果实,但在成熟采收的果实中其含量在统计学上显著高于露地栽培果实;2013年采收期2种栽培模式下果实的游离态直链醛无显著差异(图2-A、B)。

在果实发育过程中游离态直链脂肪醇类物质总体上呈现上升的趋势,但在2012年表现为曲折上升,在2013年表现为持续上升。在2个年份,采收期露地栽培的果实中游离态直链醇类均显著高于避雨栽培(图2-C、D)。

对于游离态直链脂肪酸类物质,在整个果实发育期含量较为稳定,变化不大。在2012年,果实发育前期露地栽培的果实游离态直链脂肪酸类物质高于避雨栽培,但在果实采收期避雨栽培的果实游离态直链脂肪酸类更高;2013年果实采收期露地栽培的果实游离态直链脂肪酸高于露地栽培(图2-E、F)。

直链脂肪酯类物质是脂肪酸来源香气物质中含量最少的一类,仅占0.1%~0.2%。但它感官阈值较低,而且多表现为怡人的果香^[19],对葡萄酒香气品质

有着积极贡献。在果实发育过程中,游离态直链酯类物质总体呈现下降的趋势。2012年果实采收期避雨栽培的果实游离态酯类物质在统计学上显著高于露地栽培,但在2013年2种栽培模式的酯类物质在采收期无显著差异(图2-G、H)。

2.4 避雨栽培对果实发育过程中结合态脂肪醛、醇、酸和酯类物质积累的影响

结合态香气化合物在葡萄果实中无挥发性,但它们在葡萄酒造过程中可水解释放而转化为游离的、有气味贡献的物质,对葡萄酒香气品质有潜在的影响^[20~21]。从图3可知,2个年份间结合态的绿叶挥发物在果实发育过程中差异较大,尤其是结合态直链脂肪醛类物质。

结合态直链脂肪醛类在2012年果实发育期呈上升的趋势,果实转色后露地栽培下的结合态直链脂肪醛类物质的含量高于避雨栽培;而2013年结合态直链脂肪醛类在果实发育期呈下降的趋势,在果实发育期避雨栽培下结合态直链脂肪醛类物质高于露地栽培,但在采收期2种栽培模式的结合态直链

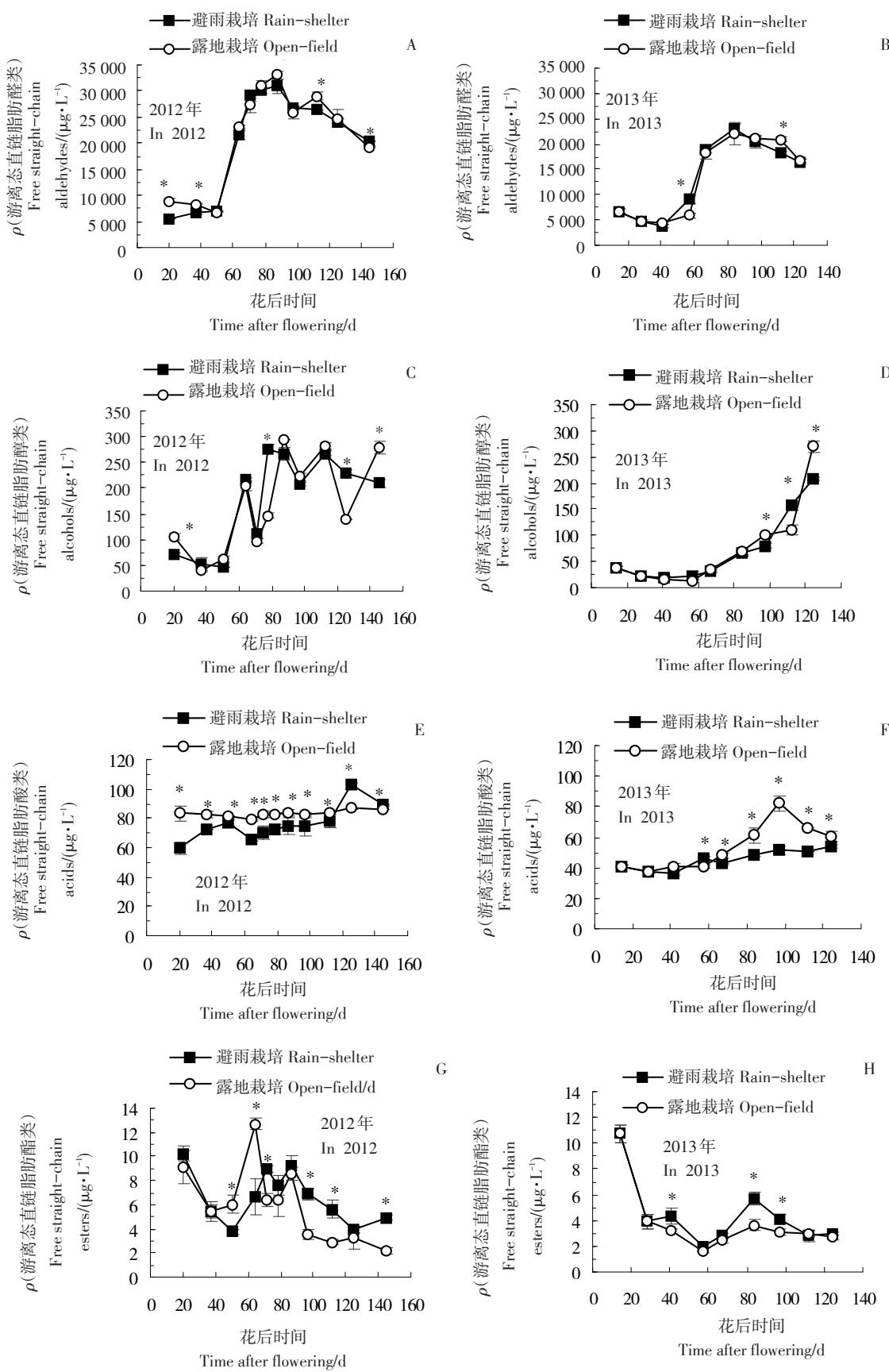


图 2 葡萄果实发育过程中游离态绿叶挥发物的变化

Fig. 2 Comparison of concentrations of free-form green leaf volatiles during berry development

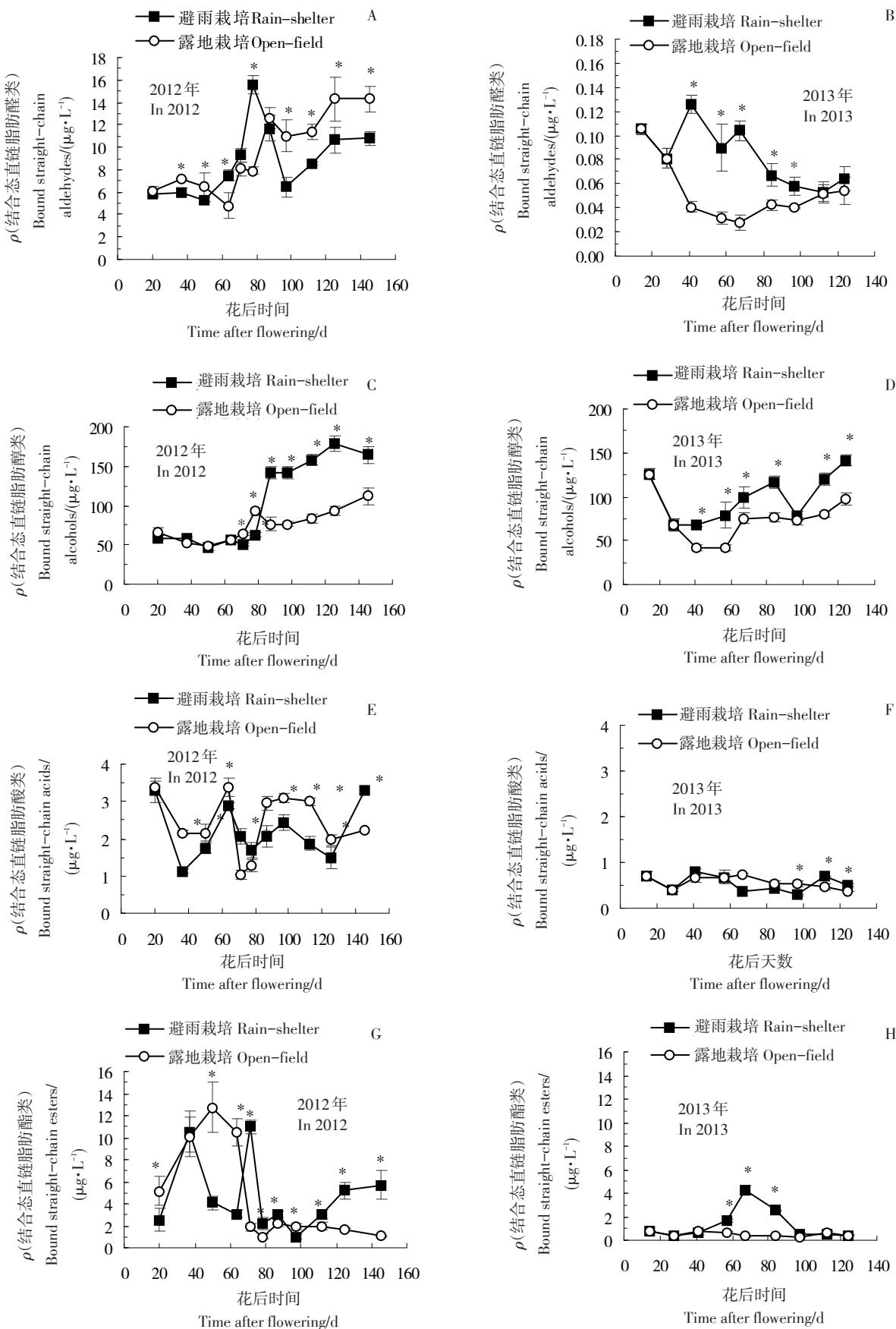


图3 葡萄果实发育过程中结合态绿叶挥发物的变化

Fig. 3 Comparison of concentrations of glycosidically bound green leaf volatiles during berry development

脂肪醛类物质无显著差异(图3-A、B)。结合态直链脂肪醇是结合态绿叶挥发物中含量最高的一类物质,在果实发育期总体呈现上升的趋势。在2个年份中,采收期避雨栽培的果实结合态直链脂肪醇的含量均显著高于露地栽培(图3-C、D)。结合态直链脂肪酸在2012年呈现曲折上升的变化趋势,2013年整个发育期含量较为稳定。但2个年份在采收期避雨栽培的果实结合态直链脂肪酸的含量均显著高于露地栽培(图3-E、F)。结合态直链脂肪酯类物质在果实转色期前后达到峰值,之后随着果实成熟而下降。但2012年采收期避雨栽培的果实结合态酯含

量高于露地栽培,而2013年在采收期2种栽培模式的果实结合态酯含量无显著差异(图3-G、H)。

2.5 年份和避雨栽培对葡萄果实绿叶挥发物及其衍生物影响的双因素方差分析

为更好地分析年份和避雨栽培对各种绿叶挥发物及其衍生物影响的程度,笔者以果实发育各阶段采集的样品所检测到的组分含量为变量,进行了双因素方差分析。从表4可知,年份对22种游离态和15种结合态组分积累有显著影响。2012年果实中这些组分的含量均明显高于2013年果实;而避雨栽培的影响主要体现在6种游离态和4种结合态组分

表4 年份和避雨栽培对葡萄果实中绿叶挥发物及其衍生物影响的双因素方差分析

Table 4 Two-way analysis of variance for vintage and rain-shelter effects on green leaf volatiles and derivatives in grape berries

名称 Name	游离态 Free-form compounds			结合态 Glycosidically bound compounds		
	年份 Years	避雨栽培 Rain-shelter	年份*避雨栽培 Years* Rain-shelter	年份 Years	避雨栽培 Rain-shelter	年份*避雨栽培 Years* Rain-shelter
醛类 Aldehyde compounds						
己醛 Hexanal	0.35	0.05	0.03	0.42	1.39	1.43
反式-2-己烯醛 (<i>E</i>)-2-hexenal	12.08**	0.02	0.06	140.82**	0.17	0.14
辛醛 Octanal	19.96**	0.16	2.93	-	-	-
反式-2-庚烯醛 (<i>E</i>)-2-heptenal	10.14**	2.25	0.01	-	-	-
反式-2-辛烯醛 (<i>E</i>)-2-octenal	16.56**	1.06	0.56	-	-	-
壬醛 Nonanal	43.97**	0.03	11.54**	9.24**	2.02	1.41
癸醛 Decanal	12.38**	6.77*	2.25	143.02**	5.31*	6.20*
反式-2-壬烯醛 (<i>E</i>)-2-nonenal	28.40**	0.18	0.22	-	-	-
醇类 Alcohol compounds						
2-庚醇 2-heptanol	26.19**	0.72	0.59	0.03	0.03	0.08
1-己醇 1-hexanol	0.82	0.01	0.80	26.77**	6.02*	7.31*
反式-3-己烯醇 (<i>E</i>)-3-hexen-1-ol	7.13*	0.01	0.01	0.72	2.43	0.58
顺式-3-己烯醇 (<i>Z</i>)-3-hexen-1-ol	18.78**	0.26	1.77	144.88**	1.92	2.34
反式-2-己烯醇 (<i>E</i>)-2-hexen-1-ol	10.96**	0.04	0.48	2.18	7.42**	0.58
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	7.59**	5.79*	1.56	4.52*	1.06	0.36
1-庚醇 1-heptanol	0.02	2.62	3.32	0.09	1.83	5.01*
1-辛醇 1-octanol	220.66**	5.11*	5.02*	7.75**	6.88*	0.07
1-癸醇 1-decanol	121.65**	3.11	2.55	6.52*	3.97	4.43*
十二烷醇 1-dodecanol	28.91**	6.04*	8.56**	21.64**	0.08	0.06
反式-2-辛烯-1-醇 (<i>E</i>)-2-octen-1-ol	338.89**	13.49**	11.04**	12.33**	3.15	3.85
2-辛醇 2-octanol	-	-	-	-	-	-
酸类 Acid compounds						
己酸 Hexanoic acid	62.88**	0.06	5.02*	20.82**	2.95	3.61
反式-2-己烯酸 (<i>E</i>)-hexenoic acid	74.03**	5.74*	4.70*	-	-	-
异戊酸 Isovaleric acid	-	-	-	-	-	-
酯类 Ester compounds						
己酸乙酯 Ethyl hexanoate	56.47**	0.00	0.03	14.77**	0.10	0.08
顺式-乙酸-3-己烯酯 (<i>Z</i>)-3-hexen-1-ol, acetate	1.19	0.04	0.39	-	-	-
丁酸丁酯 Butyl butyrate	99.86**	0.32	0.00	5.88*	0.05	0.04
乙酸己酯 Hexyl acetate	88.99**	0.09	0.07	-	-	-
辛酸乙酯 Ethyl octanoate	55.44**	0.47	0.38	20.78**	0.02	0.02
癸酸乙酯 Ethyl decanoate	-	-	-	39.40**	0.65	0.56

注:“**”表示极显著差异($P < 0.01$);“*”表示显著差异($P < 0.05$)。

Note: “**” indicates significant level of $P < 0.01$; “*” indicates significant level of $P < 0.05$.

上,主要是对醇类化合物有显著影响,其中游离态的1-辛烯-3-醇(1-octen-3-ol)、1-辛醇(1-octanol)、十二烷醇(1-dodecanol)和反式-2-辛烯-1-醇[(E)-2-octen-1-ol]等在2012年时避雨栽培果实中的含量高于露地栽培;但这些游离醇在果实中极其微量,仅占游离态醇总量的2%~3%;结合态的1-己醇和反式-2-己烯醇在避雨栽培果实中含量也更高,且这些组分的差异主要集中于转色后到完全成熟这一阶段。从F值判断,年份的影响要显著地大于避雨栽培的影响。年份和避雨栽培的交互作用对6种游离态绿叶挥发物有显著影响,它们分别为反式-2-己烯醛、壬醛(nonanal)、癸醛(decanal)、1-己醇、反式-2-己烯醇和1-辛醇(1-octanol);另有4种结合态绿叶挥发物有显著差异,它们是癸醛、1-己醇、1-庚醇(1-heptanol)和十二烷醇(1-dodecanol)(表4)。

3 讨 论

本研究中所使用的避雨棚只在树冠顶部覆盖薄膜,它主要是滤减中午时段的太阳总辐射和光合有效辐射(约20%),以及紫外辐射(40%),而对果穗周围的相对湿度、温度没有明显影响^[12]。关于避雨栽培对葡萄果实糖、酸积累的影响,目前报道有不同的结果。Kamiloglu等^[22]在土耳其对地中海气候下5种鲜食葡萄的避雨试验指出,果实的可溶性固形物含量和pH值在避雨和露地栽培条件下无明显差异。笔者前期在山东蓬莱对‘赤霞珠’进行类似的避雨处理,发现避雨栽培可以提高果实转色后可溶性固形物含量,但对pH无显著影响^[9]。本研究发现,2012年避雨栽培可以提高果实转色后可溶性物含量,但在2013年2种栽培模式果实的可溶性固形物含量在整个发育过程均无显著差异;2个年份果实的可滴定酸含量在2种栽培模式下均无显著差异。2年避雨栽培的影响不同可能与年份降雨量有关,大量的研究证实降雨是影响葡萄糖分积累的主要因素之一^[23]。对比北京密云县2012年和2013年葡萄发育时期的气象数据^[12]发现,在2012年降雨量(524.2 mm)总体大于2013年(465.6 mm),尤其在花后60~80 d(果实转色期),这阶段恰好是果实糖分快速积累阶段。王敏等^[24]在山西怡园酒庄对‘赤霞珠’的避雨栽培试验也指出,在降雨较多的年份避雨栽培可以提高果实可溶性固形物含量,而在降雨量少的年

份无显著性影响。

年份间气候变化也是影响酿酒葡萄果实香气物质重要因素之一,本研究中,2012年大部分香气物质的含量都高于2013年,这与Gao等^[12]对这2个年份同一地区‘霞多丽’葡萄的研究结果相似。前人大量研究也证实,限制水分供给可增加葡萄香气物质的含量^[25],而绿叶挥发物积累峰值主要在转色和成熟前。因此,笔者认为2012年果实成熟期较少的降水量是该年份果实香气物质积累较多的主要原因。从整个果实发育期来看,与2013年相比,2012年避雨栽培与露地栽培之间,果实香气物质含量差异较为明显。相对应地,2012年在果实生长季的降雨量大于2013年,避雨栽培在降雨量较多的年份香气影响更显著。这些结果均表明,避雨栽培对果实品质的影响程度与年份紧密相关,在降雨较多的年份可有效地缓解可溶性固形物和香气物质含量下降,保持果实品质的稳定性。

在植物脂氧合酶途径中,亚麻酸和亚油酸在脂氧合酶(LOX)的作用下转化为相应的氢过氧化物,然后分别在脂氢过氧化物裂解酶、醇脱氢酶和醇乙酰基转移酶(Alcohol Acetyl Transferase, AAT)的作用下生成对应的醛、醇、酸和酯类物质^[26]。对于绿叶挥发性组分,其中含量最高的是反式-2-己烯醛和己醛,本研究发现露地栽培成熟果实中反式-2-己烯醛含量显著高于避雨栽培的果实,而已醛则在避雨栽培果实中含量更高。由于己烯醛合成来自于亚麻酸,而已醛合成来自于亚油酸^[27],因此,可以推断避雨栽培导致了脂肪酸来源的香气合成途径中碳源更多地流向亚油酸代谢。本研究没有分析相关基因的表达情况,从代谢产物角度,避雨栽培提高了成熟‘赤霞珠’果实中游离态和结合态直链脂肪酸类和酯类以及结合态脂肪醇的含量,降低了游离态和结合醛类物质以及游离态脂肪醇类。这可能是避雨栽培促使脂肪族代谢途径的产物更多地流向下游。前人研究表明,果实香气物质主要受光的影响^[28];曝光较多Ballerina架式(芭蕾舞女形)与VSP架式(vertical shoot positioning, 篱架新梢直立分布形)栽培的‘赤霞珠’葡萄相比,后者所酿酒中乙酸丁酯、丁酸乙酯和乙酸己酯含量明显高于前者,可以带给葡萄酒花香和果香^[29],认为强光不利于果实中脂肪酯类物质的积累,这也解释了本研究发现的避雨栽培果实中有较高的酯类物质含量。

4 结 论

连续2 a的避雨栽培试验均表明,在雨水较多的年份,与露地栽培相比,避雨栽培果实中可溶性物含量明显较高;而在雨水较少的年份,果实的可溶性固形物和可滴定酸含量无明显差异。避雨栽培降低果实游离态醇、反式-2-己烯醛和反式-2-己烯酸的含量,而提高了结合态反式-2-己烯醇、己醇和反式-3-己烯醇以及游离和结合态的己烯醛和己烯酸等的含量,同时显著提高果实游离态和结合态酯类化合物含量,如乙酸己酯、辛酸乙酯和顺式-乙酸-3-己烯酯等,对果实香气品质有潜在的积极贡献。

参考文献 References:

- [1] 郭亮,杨国顺,白描,刘昆玉,徐丰. 避雨栽培条件下不同葡萄品种光合特性的研究[J]. 湖南农业科学,2015(2): 10-13.
GUO Liang, YANG Guoshun, BAI Miao, LIU Kunyu, XU Feng. Photosynthetic characteristics of grape varieties in rain-shelter cultivation[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015(2): 10-13.
- [2] DU F, DENG W P, YANG M, WANG H N, MAO R Z. Protecting grapevines from rainfall in rainy conditions reduces disease severity and enhances profitability[J]. Crop Protection, 2015, 67: 261-268.
- [3] MENG J F, NING P F, XU T F, ZHANG Z W. Effect of rain-shelter cultivation of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Gernischet on the phenolic profile of berry skins and the incidence of grape diseases [J]. Molecules, 2012, 18(1): 381-397.
- [4] 杜飞,朱书生,王海宁,何霞红,杨敏. 不同避雨栽培模式对葡萄主要病害的防治效果和植株冠层温湿度的影响[J]. 云南农业大学学报,2011,26(2): 177-184.
DU Fei, ZHU Shusheng, WANG Haining, HE Xiaohong, YANG Min. Effect of different rain-shelter cultivation modes on main grapevine diseases control and temperature and relative humidity of canopy[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(2): 177-184.
- [5] AHN S Y, KIM S H, CHOI S J, YUN H K. Characteristics of cold hardiness and growth of grapevines grown under rain shelter type cultivation system in the vineyard[J]. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 2012, 30(6): 626-634.
- [6] 刘蕊,高茜,段长青,潘秋红. 避雨栽培对酿酒葡萄有机酸的影响[J]. 热带生物学报,2013,4(3): 251-256.
LIU Rui, GAO Qian, DUAN Changqing, PAN QiuHong. Effects of rain-shelter cultivation on organic acid content of wine grape berries[J]. Journal of Tropical Biology, 2013, 4(3): 251-256.
- [7] 陶翔宇,张振文. 避雨栽培对红地球果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2012,37(1): 18-20.
TAO Xiangyu, ZHANG Zhenwen. The influence of rain-shelter cultivation on the quality of red globe[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2012, 37(1): 18-20.
- [8] 刘蕊,田园,闻亚琴,高茜,潘秋红. 避雨栽培对酿酒葡萄果实氨基酸含量的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2012,37(4): 15-19.
LIU Rui, TIAN Yuan, WEN Yaqin, GAO Qian, PAN QiuHong. Effects of rain-shelter cultivation on the contents of amino acids in wine grape berry[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2012, 37(4): 15-19.
- [9] LI X X, HE F, PAN Q H. Simple rain-shelter cultivation prolongs accumulation period of anthocyanins in wine grape berries[J]. Molecules, 2014, 19(9): 14843-14861.
- [10] RISTIC R, DOWNEY M O, ILAND P G, BINDON K, FRANCIS I L, HERDERICH M, ROBINSON S P. Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2007, 13(2): 53-65.
- [11] 宁鹏飞,贺艳楠,张振文. 避雨栽培对蛇龙珠果实及葡萄酒质量影响研究初报[J]. 中国酿造,2011, 30(4): 55-58.
NING Pengfei, HE Yanlan, ZHANG Zhenwen. Effects of rain protection cultivation on berry and wine quality of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Gernischet[J]. China Brewing, 2011, 30(4): 55-58.
- [12] GAO Y, LI X X, HAN M M, YANG, X F, LI Z, WANG J, PAN QH. Rain-Shelter cultivation modifies carbon allocation in the polyphenolic and volatile metabolism of *Vitis vinifera* L. Chardonnay grapes[J]. PLoS One, 2016, 11(5): 1-27.
- [13] 曹锰,郭景南,魏志峰,高登涛,程大伟,孙晓文. 避雨栽培对‘金手指’葡萄果实生长及香气物质组分的影响[J]. 果树学报,2015,32(5): 894-902.
CAO Meng, GUO Jingnan, WEI Zhifeng, GAO Dengtao, CHENG Dawei, SUN Xiaowen. Effects of rain-shelter cultivation on development and aromatic component of ‘Gold Finger’ grape[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5): 894-902.
- [14] 迟明,刘美迎,宁鹏飞,张振文. 避雨栽培对酿酒葡萄果实品质和香气物质的影响[J]. 食品科学,2016, 37(7): 27-32.
CHI Ming, LIU Meiyi, NING Pengfei, ZHANG Zhenwen. Effect of rain-shelter cultivation on fruit quality and aroma components in wine grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. Food Science, 2016, 37(7): 27-32.
- [15] PODOLYAN A. A study of the green leaf volatile biochemical pathway as a source of precursors of important aroma compounds in sauvignon blanc grape berries[D]. New Zealand: Lincoln University, 2010.
- [16] HASSAN M N, ZAINAL Z, ISMAIL I. Green leaf volatiles: biosynthesis, biological functions and their applications in biotechnology [J]. Plant Biotechnology Journal, 2015, 13(6): 727-739.
- [17] PALOMO E S, DIAZ-MAROT M C, VIÑAS M A G, SORIANO-PÉREZA A, PÉREZ-COELLOA M S. Aroma profile of wines from Albillo and Muscat grape varieties at different stages of rip-

- ening[J]. Food Control, 2007, 18(5): 398–403.
- [18] XU X Q, LIU B, ZHU B Q, LAN Y B, GAO Y, WANG D, REEVES M J, DUAN C Q. Differences in volatile profiles of Cabernet Sauvignon grapes grown in two distinct regions of China and their responses to weather conditions[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2015, 89: 123–133.
- [19] HIC T, WERCK-REICHHART D, NAVROT N. Meta-analysis of the core aroma components of grape and wine aroma[J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7: 1472.
- [20] UGLIANO M, BARTOWSKY E J, MCCARTHY J, MOIO L, HENSCHKE P A. Hydrolysis and transformation of grape glycosidically bound volatile compounds during fermentation with three *Saccharomyces* yeast strains[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(17): 6322–6331.
- [21] INCECCO N D, BARTOWSKY E, KASSARA S, LANTE A, SPETTOLI P, HENSCHKE P. Release of glycosidically bound flavour compounds of Chardonnay by *Oenococcus oeni* during malolactic fermentation[J]. Food Microbiology, 2004, 21(3): 257–265.
- [22] KAMILOGLU O, POLAT A A, DURGAC C. Comparison of open field and protected cultivation of five early table grape cultivars under Mediterranean conditions[J]. TÜBİTAK, 2011, 35(5): 491–499.
- [23] 黄英, 安进强, 张芮, 徐斌, 王忠鹏, 张晓霞. 水肥调控对设施延后栽培葡萄产量和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 191–202.
HUANG Ying, AN Jinqiang, ZHANG Rui, XU Bin, WANG Zhongpeng, ZHANG Xiaoxia. Effects of fertilizer-water regulation on quality and yield of greenhouse grape under delayed cultivation[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(2): 191–202.
- [24] 王敏, 任瑞, 赵旗峰, 马小河. 酿酒葡萄赤霞珠避雨栽培研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(35): 41–42.
WANG Min, REN Rui, ZHAO Qifeng, MA Xiaohe. Study on rain-shelter cultivation of *Vitis vinifera* Cabernet Sauvignon[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(35): 41–42.
- [25] KOUNDOURAS S, HATZIDIMITRIOU E, KARAMOLEKGOU M, DIMOPOULOU E, KALLITHRAKA S, TSIALTAS J T, ZIOZI-OU E, NIKOLAOU N, KOTSERIDIS Y. Irrigation and rootstock effects on the phenolic concentration and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon grapes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(17): 7805–7813.
- [26] KALUA C M, BOSS P K. Evolution of volatile compounds during the development of Cabernet Sauvignon grapes (*Vitis vinifera* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57 (9): 3818–3830.
- [27] HADI M A M E, ZHANG F J, WU F F, ZHOU C H, TAO J. Advances in fruit aroma volatile research[J]. Molecules, 2013, 18 (7): 8200–8229.
- [28] MORRISON J C, NOBLE A C. The effects of leaf and cluster shading on the composition of Cabernet Sauvignon grapes and on fruit and wine sensory properties[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1990, 41(3): 193–200.
- [29] BARBAGALLO R N, SPAGNA G, PALMERI R, TORRIANI S. Assessment of β -glucosidase activity in selected wild strains of *Oenococcus oeni* for malolactic fermentation[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2004, 34(3): 292–296.