

# 直立/水平两种叶幕对‘摩尔多瓦’葡萄 次生代谢产物含量的影响

刘笑宏<sup>1,2</sup>, 宋一超<sup>2</sup>, 刘兆宇<sup>2</sup>, 杜远鹏<sup>2</sup>, 翟衡<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>山东省烟台市农业科学研究院, 山东烟台 265500; <sup>2</sup>山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271000)

**摘要:**【目的】研究水平和直立两种叶幕所构成的微域环境对葡萄果实次生代谢产物含量的影响。【方法】设棚架水平叶幕、篱架直立叶幕两个处理, 2015—2016年连续两年于果实膨大期开始, 实时监控果穗周边微环境的温度和湿度, 从转色至成熟测定不同发育阶段葡萄果实次生代谢产物含量, 并于2016年加测葡萄新梢生长量。【结果】水平叶幕下高温比例及温湿度波动幅度明显低于直立叶幕, 高温月份效果尤为显著。2015年测定期内, 水平叶幕果实的次生代谢产物含量整体高于直立叶幕, 果实成熟时, 水平叶幕果实的总酚、类黄酮、花色苷含量分别比直立叶幕果实高5.56%、44.91%、27.03%, 果实芳香物质总量比直立叶幕果实高16.01%, 但种类缺少4种; 生长量测定表明, 水平叶幕枝条平均节间长度比直立叶幕枝条减少4.30%, 单位面积上枝条重量仅为直立叶幕枝条的38.59%。2016年夏季较冷凉, 两种叶幕类型的果实次生代谢产物含量水平差异变小, 果实成熟时, 水平叶幕仅黄烷醇含量比直立叶幕果实显著增高13.67%, 但2016年两种叶幕下果实的次生代谢物质含量整体均高于2015年。【结论】高温年份, 水平叶幕能够缓解果实周边微环境的高温高湿, 提高果实次生代谢物质含量, 改善葡萄果实品质。

**关键词:** ‘摩尔多瓦’葡萄; 棚架; 篱架; 水平叶幕; 直立叶幕; 次生代谢产物

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)03-0308-10

## Effect of vertical and horizontal canopy on the secondary metabolites in ‘Moldova’ grape

LIU Xiaohong<sup>1,2</sup>, SONG Yichao<sup>2</sup>, LIU Zhaoyu<sup>2</sup>, DU Yuanpeng<sup>2</sup>, ZHAI Heng<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>Yantai Academy of Agricultural Sciences, Yantai 265500, Shandong, China; <sup>2</sup>College of Horticulture and engineering, Shandong Agricultural University, Tai’an 271000, Shandong, China)

**Abstract:**【Objective】Since the 21st century, the climate warming has become more and more obvious. Extreme weather such as high temperature and strong light frequently causes damage to grape. Much attention has been paid upon the effects of high temperature and strong light on the growth of grape leaves and fruit, but little is paid on the effect on the secondary metabolites in grape berries. However, the secondary metabolites in grapes determine the sensory quality and resistance of the fruit, and the phenolic substances including flavonoids and flavanols also play a decisive role in the antioxidant capacity and quality of grape and wine. Flavanols have strong antioxidant capacity, which can effectively remove free radicals in the body, reduce the rough taste of wine, and smooth wine body. They also play a decisive role in the flavor, astringency and stability of grape wine. Anthocyanins directly determine the color and color stability of wine. Previous studies have shown that application of suitable canopy type achieves optimal levels of important secondary metabolites such as anthocyanins. Study of Spayd showed that the surface temperature of the fruit exposed to sunray could be 13 °C higher than that of the

收稿日期: 2018-08-02 接受日期: 2018-11-28

基金项目: 国家葡萄产业技术体系(CARS-29); 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队(IRT15R42)

作者简介: 刘笑宏, 女, 硕士, 研究方向为葡萄抗逆生理。Tel: 18353595162, E-mail: sweetyxiao\_xiao@163.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13181771012, E-mail: hengz@sdau.edu.cn

shaded berries. Chen Jianhong proved that the pergola had a high light energy utilization efficiency, photosynthetic rate of plants, and thus berry productivity. Compared with other cultivation techniques, changing the structure of foliage to regulate the microclimate of grape berries and improve the secondary metabolic quality of the fruit, and is the most simple and feasible technical measure. The purpose of this study is to investigate the differences in the micro-environment and the secondary metabolites in the berries of ‘Moldova’ between vertical canopy and horizontal canopies.【Methods】Horizontal canopy and vertical canopy were used as the treatments in this study. The temperature and humidity around the grape were collected for two consecutive years from 2015 to 2016. The contents of secondary metabolites in grape berries at different developmental stages were determined from veraison to full maturation, and the growth of new shoots was measured in 2016.【Results】The results showed that compared with the vertical canopy, horizontal canopy significantly decreased the ratio of high temperature and reduced the range of variations in humidity and temperature around the cluster, especially during the hottest months of July and August, when the high temperature generally appeared from 9:00 to 18:00. In 2015, the content of secondary metabolites in berries from horizontal canopy was higher than from the vertical canopy. When the berries became fully mature, the contents of total phenol, flavonoids and anthocyanins in grape berries from horizontal canopy were 5.56%, 44.91% and 27.03% higher than from vertical canopy, respectively. The aroma compound content was also 16.01% higher, but the aroma varieties 16.22% fewer. Measurement of vegetative growth showed that the average length of internode was 4.30% smaller than and branch weight per square meter in the horizontal canopy was only 33.33% that of the vertical canopy. The summer temperature in 2016 was cooler than in 2015, and the difference in the contents of secondary metabolites between the two canopy types was less significant. At full maturity, the contents of total phenols, flavonoids and anthocyanins were not significantly different between canopy types; the content of flavanols was significantly (13.67%) higher in the horizontal canopy, but the varieties of fruit flavanols were fewer compared to the vertical canopy. However, the contents of secondary metabolites in both canopy types were higher in 2016 than in 2015.【Conclusion】In years with higher temperatures, horizontal canopy improves the micro-environment for berry development and increases the contents of secondary metabolites in grape fruit compared with the vertical canopy.

**Key words:** ‘Moldova’ grape; Pergola; Vertical trellis system; Horizontal canopy; Vertical canopy; Secondary metabolite

21世纪以来,气候变暖的趋势越来越明显,亚洲中高纬地带变暖最为显著<sup>[1-2]</sup>,导致葡萄产区在葡萄生长季节中高温强光等极端天气频繁出现,对葡萄生产造成了逆境伤害<sup>[3]</sup>。生产上人们比较重视高温强光对葡萄叶片和果实生长的影响,如日灼和汽灼现象<sup>[4-5]</sup>,对葡萄果实次生代谢品质的关注却较少。但葡萄果实中的次生代谢物质不仅决定着果实的成熟期、感官品质和抗逆性,其酚类物质如类黄酮、黄烷醇等物质含量还对葡萄与葡萄酒的抗氧化能力及葡萄酒的品质起着决定性作用。研究表明,黄烷醇类物质具有极强的抗氧化能力,能够有效地清除植物体内自由基,降低葡萄酒粗糙的口感,柔顺

酒体<sup>[6]</sup>,对葡萄酒的风味、收敛性及其稳定性具有决定性作用<sup>[7-9]</sup>,是酿造优质葡萄酒的关键因素之一<sup>[10]</sup>。而花色苷作为葡萄和葡萄酒的主要呈色物质,其含量及组成比例直接决定了葡萄酒的色度、色调及颜色的稳定性<sup>[11]</sup>。

前人研究表明,合理的叶幕类型可使花色苷等重要次生代谢物质含量达到最优水平<sup>[12]</sup>。Spayd等<sup>[13]</sup>的研究表明,直接曝光的果实表面温度可比周边及遮阴的果实高13℃,陈建红等<sup>[14]</sup>则通过架式试验证明,棚架对光能的利用率高,可以增强植株的光合速率,促进碳水化合物的累积,进而提高果实产量。相对于其他栽培技术,改变葡萄叶幕类型来调

控果实微域环境气候,从而提高葡萄果实品质,是一种最为简便易行的技术措施,本试验以棚架水平叶幕与篱架直立叶幕作为研究对象,探究两种叶幕下的温湿度微气候及叶幕类型对‘摩尔多瓦’葡萄果实次生代谢产物含量的影响。通过比较直立叶幕和水平叶幕对葡萄果实周边微环境及果实次生代谢产物含量的影响,寻求更利于提高果实次生代谢产物含量的叶幕类型,为应对气候变化而改变栽培架式提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验时间、地点

试验于山东农业大学核心葡萄示范园进行。2015—2016年,以2010年定植的鲜食与酿酒兼用品种‘摩尔多瓦’(Moldova: Guzali Kala ×SV.12-375)为试材,设棚架龙干树形水平叶幕(Horizontal canopy)、篱架单干单臂树形直立叶幕(Vertical canopy)两个处理,均南北行向,行距2.2 m,高2 m,水平叶幕处理的株距1.7 m,直立叶幕处理的株距1.2 m,两个处理均从新梢发育开始控制留梢量,每平方米5个结果枝、50~55枚叶片,每个结果枝留2个果穗,在豆角期疏去副穗和穗尖。每个处理各36株,均种植两行。生长期修剪及水肥管理等技术统一。分别从2015年6月1日和2016年6月4日(果实膨大期)开始,在两种叶幕下,距离果穗处5 cm左右均安装温湿度监测器(LUGE, L92-1)两套,实时监测果实周围温湿度。

2015年,将每种叶幕类型分为4个小区(每小区9株)自转色期(7月27日、花后63~77d)至成熟期(9月17日、花后105 d)每14 d采样一次,共4次。采样时,每小区随机采集4个果穗,重复4次,其中直立叶幕为东西两侧交叉采样,取靠近中间部位新梢上的果穗,立即带回实验室取下果粒,同一小区分别混匀,置于-40℃冰箱保存,供果实品质相关指标测定(测定时去除种子)。2016年果实全部采摘结束后,4个小区各小区随机剪取5根枝条,测定每根枝条的节间长度和总质量,其余试验设计与2015年相同。

### 1.2 指标测定

1.2.1 基本生理指标的测定 Folin-Ciocalteu法<sup>[15]</sup>测定果实总酚含量;亚硝酸盐-氯化铝法<sup>[16]</sup>测定果实类黄酮含量;香草醛-盐酸法<sup>[17]</sup>测定果实黄烷醇含量;pH示差法测定果皮总花色苷含量<sup>[18]</sup>。所有指标

均取冻存样品,按田间重复进行测定,每个样品平行测定3次。

1.2.2 香气物质的测定 葡萄及葡萄酒香气物质的测定均采用GC-MS法(Gas Chromatography-Mass Spectrometer)。将葡萄果实样品在4℃解冻去梗去籽并切碎,称取20 g样品至锥形瓶中,葡萄酒则直接吸取5 mL样品至锥形瓶中,之后均加入3 μL的2-辛醇(0.812 g·L<sup>-1</sup>)、1 g NaCl和磁转子,迅速用铝箔纸将瓶口封严,于45℃搅拌平衡40 min,将活化的SPME萃取头插入样品瓶顶空部分,萃取30 min,使样品瓶中的香气成分在样品、顶空和SPME萃取头三相中达到平衡,取下萃取头,立即插入GC进样口。

气质联用型号为GCMS-QP2010 Plus (SHIMADZU),毛细管柱为Stabilwax-DA 30 m×0.25 μm×0.32 mm。载气为高纯氮气,流速2.52 mL·min<sup>-1</sup>,进样口温度为230℃,解析时间5 min,柱温箱升温过程为40℃保持3 min,以3℃·min<sup>-1</sup>升至120℃,10℃·min<sup>-1</sup>升至180℃,15℃·min<sup>-1</sup>升至230℃,保持2 min。

参照NIST 08标准库谱及实验室已有标样的色谱保留时间和质谱信息比对样品进行定性分析,并以2-辛醇为内标参照物,进行定量分析。每时期的样品平行测定3次。

1.2.3 温湿度的测定 通过温湿度记录仪统计2015—2016年两种叶幕类型每天超过35℃的高温时长,以及在易出现高温的时间段内(9:00—18:00)≥90%的湿度时长。

### 1.3 数据统计与处理方法

数据方差分析采用DPS 7.05,  $p < 0.05$ ;作图采用Excel 2013。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同叶幕类型对果实微环境温湿度的影响

由图1可见,直立叶幕条件下,果实微域环境中35℃以上高温时长显著高于水平叶幕。经统计,2015年直立叶幕下30℃以上高温时长为538 h,是水平叶幕的1.23倍,其中,35℃以上高温时长为133.5 h,为水平叶幕的5.80倍。2016年夏季冷凉,直立叶幕下高温比例显著降低,整个测定期内35℃以上时长总和为61 h,30℃以上高温时长却高达626 h,但水平叶幕的30℃及35℃以上高温时长与

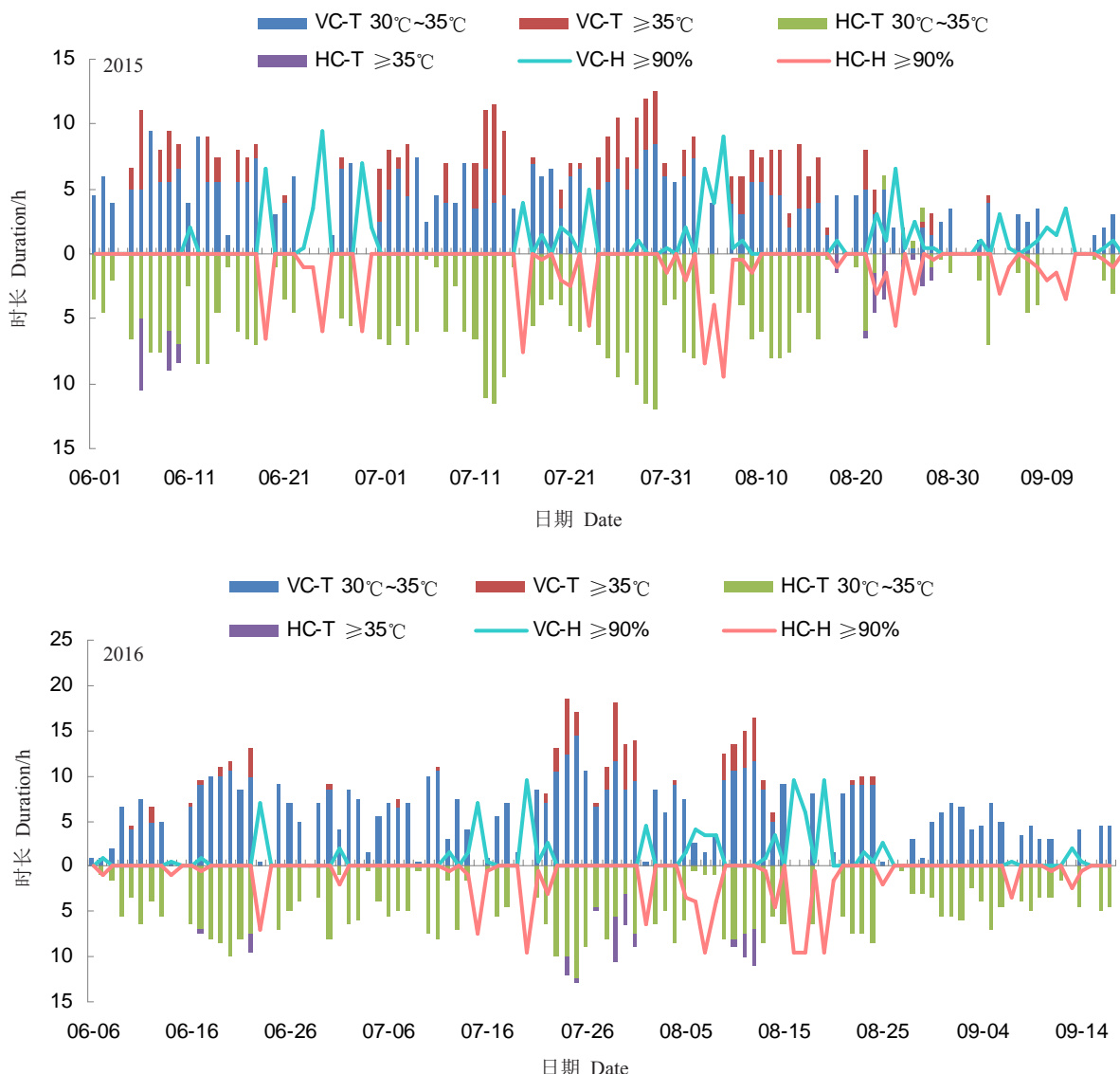


图1 叶幕类型对微域环境 30℃以上高温及 90%以上高湿比例的影响

Fig. 1 Effect of canopy type on frequencies of temperature above 30℃ and humidity above 90%

2015年差异不大。在易出现高温的时间段内(9:00—18:00),两种叶幕下90%以上高湿比例相对较低,但从两年的高湿图像来看,依旧是直立叶幕果实微域的高湿比例相对较高。

对最热月7—8月进行数据分析发现(表1),直立叶幕下的最高温度普遍高于水平叶幕0.2~7.1℃;直立叶幕35℃以上高温比例可达水平叶幕的2.04~3.83倍;2015年进入8月份直立叶幕高温比例仍有

表1 7—8月份葡萄果际温度解析

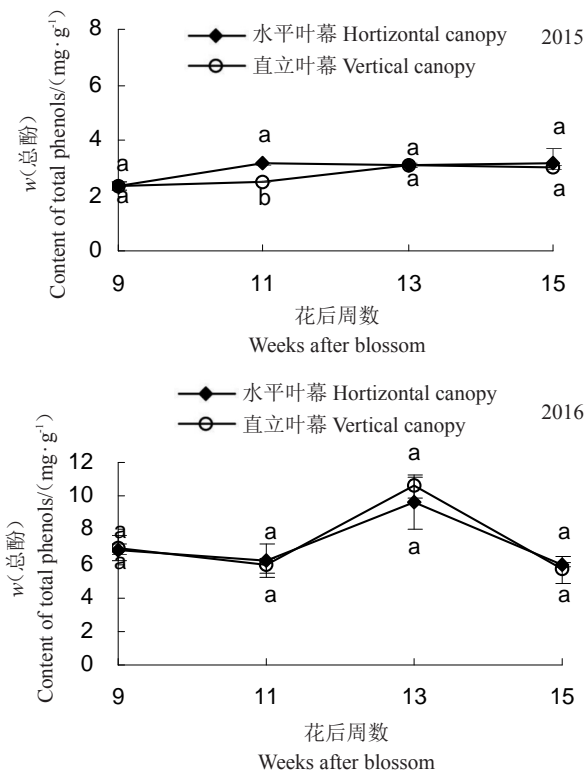
Table 1 Analysis of temperature in July and August

年份		2015		2016	
		水平叶幕 Horizontal canopy	直立叶幕 Vertical canopy	水平叶幕 Horizontal canopy	直立叶幕 Vertical canopy
7月 July	最高温 Highest temperature/℃	37.90	41.80	37.60	37.80
	≥35℃比例 Ratio ≥ 35℃/%	2.69	8.67	1.75	6.71
	最低温 Minimum Temperature/℃	16.10	15.30	17.00	16.50
8月 August	最高温 Highest temperature/℃	34.50	41.60	36.30	37.90
	≥35℃比例 Ratio ≥ 35℃/%	0.00	5.38	1.01	2.06
	最低温 Minimum Temperature/℃	15.70	15.60	11.50	10.80

5.38%，而水平叶幕高温比例为0%；相反直立叶幕的最低温却低于水平叶幕0.1~0.8℃。

### 2.2 直立叶幕、水平叶幕对葡萄果实次生代谢产物含量变化的影响

2.2.1 叶幕类型对果实总酚含量的影响 由图2可见，两年的葡萄果实总酚含量变化趋势差别较大。2015年，两种叶幕类型的果实总酚含量自花后63 d之后均呈现上升趋势，且在花后77 d，水平叶幕果实的总酚含量比直立叶幕果实显著提高25.49%，之后水平叶幕果实总酚含量略有下降，直立叶幕果实总酚含量却有提升，但至果实成熟时，水平叶幕果实总酚含量依旧比直立叶幕的高5.56%。2016年，两种叶幕类型的果实总酚含量波动均较大，花后91 d含量达到峰值，之后出现了急剧下降，2016年果实总酚含量均明显高于2015年。



不同小写字母表示  $p < 0.05$  差异显著。下同。

Different small letters mean significant difference at  $p < 0.05$ . The same below.

图 2 叶幕类型对 2015—2016 年葡萄果实总酚含量变化的影响  
Fig. 2 Effect of canopy type on the content of phenols in 2015 and 2016

2.2.2 叶幕类型对果实类黄酮含量的影响 连续两年测定均显示，两种叶幕类型的葡萄果实类黄酮类物质含量均为转色期最高，其后呈下降趋势(图3)。

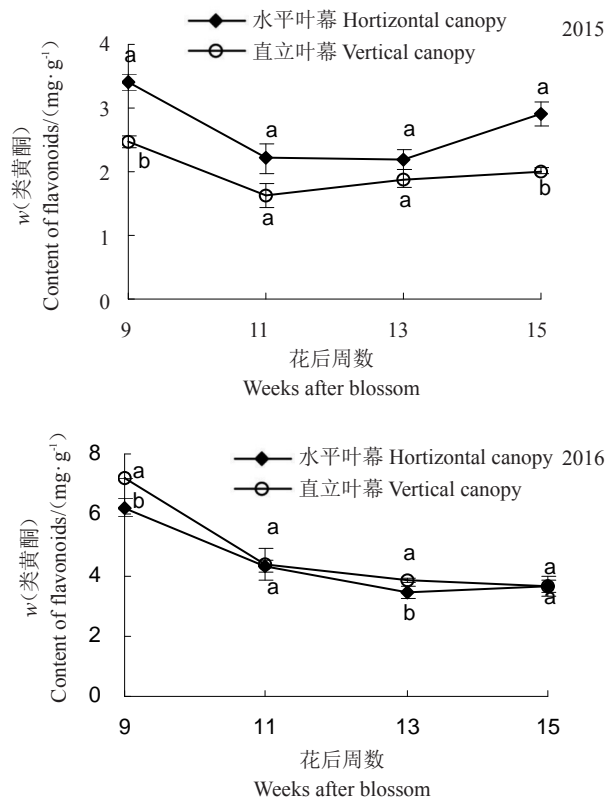


图 3 叶幕类型对 2015—2016 年葡萄果实类黄酮含量变化的影响

Fig. 3 Effect of canopy type on the content of flavonoids in 2015 and 2016

2016年类黄酮含量显著高于2015年，花后105 d时，2016年直立叶幕及水平叶幕果实类黄酮含量分别是2015年的3.12倍、4.54倍；但2015年水平叶幕下果实类黄酮类物质含量总体一直高于直立叶幕，花后105 d时，比直立叶幕显著提高44.91%；2016年总体则以直立叶幕的果实类黄酮含量较高，但到花后105 d时二者无显著差异。

2.2.3 叶幕类型对果实黄烷醇含量的影响 由图4可见，连续两年葡萄果实的黄烷醇含量及变化趋势有显著差异，2015年，两种叶幕转色期的葡萄果实黄烷醇含量极低，随着果实成熟，水平叶幕下葡萄果实黄烷醇含量显著增加，但直立叶幕的果实增加缓慢，至果实成熟时，二者含量差异不显著，分别比2016年成熟时的果实黄烷醇含量低80.82%、78.36%；2016年两种叶幕类型的葡萄果实黄烷醇含量在花后63 d即为峰值，其中又以直立叶幕的较高，比水平叶幕的高29.43%；同时二者分别比2015年同期高4.72倍、6.75倍；随着果实成熟，水平叶幕的葡萄果实黄烷醇含量持续增加，至花后105 d时，其黄

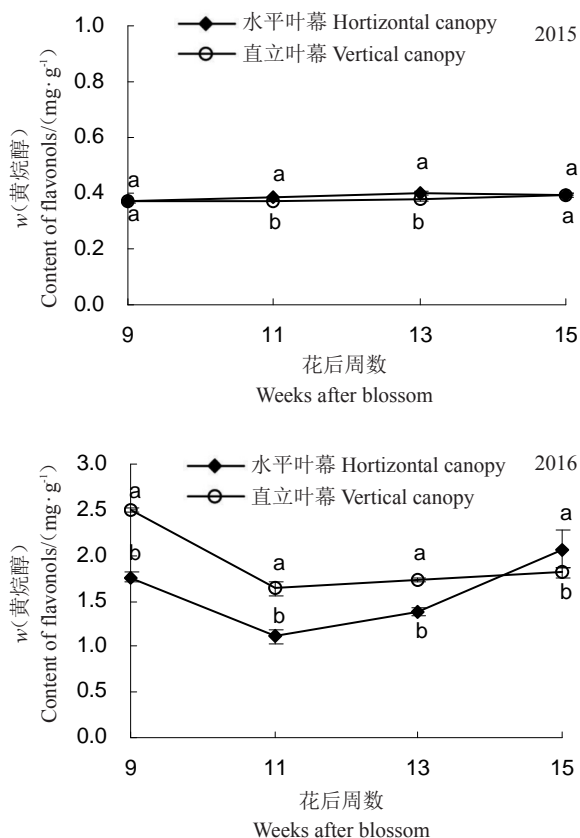


图4 叶幕类型对2015—2016年葡萄果实黄烷醇含量变化的影响

Fig. 4 Effect of canopy type on the content of flavonols in 2015 and 2016

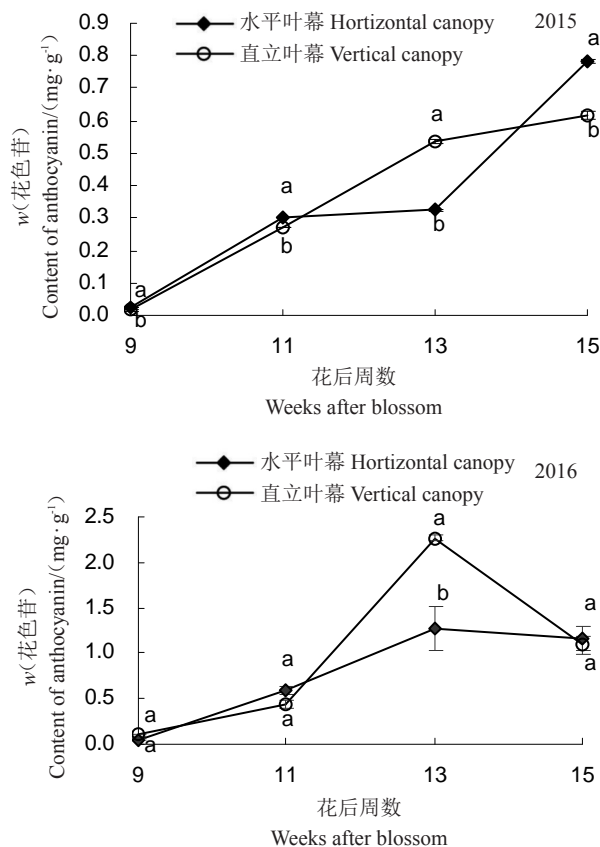


图5 叶幕类型对2015—2016年葡萄果实花色苷含量变化的影响

Fig. 5 Effect of canopy type on the content of anthocyanin in 2015 and 2016

烷醇含量反比直立叶幕显著增高13.67%。

2.2.4 叶幕类型对果实花色苷含量的影响 葡萄果实花色苷含量随着果实转色成熟持续增加,两种叶幕类型对果实花色苷含量影响的差异主要表现在花后91~105 d,不同年份峰值出现的时期有差别,且峰值水平也相差很大(图5)。2015年,两种叶幕类型的葡萄果实花色苷含量存在显著差异,尤其在花后91 d,直立叶幕的果实花色苷含量比水平叶幕的显著提高65.04%,但91 d之后,水平叶幕下果实花色苷含量激增,至花后105 d,水平叶幕果实花色苷含量反比直立叶幕高27.03%。2016年,花后63~77 d,两种叶幕类型下果实的花色苷含量均无显著性差异,花后77~91 d,直立叶幕果实花色苷含量出现大幅度增加,花后91 d果实花色苷含量为其77 d含量的5.19倍,并比水平叶幕的果实显著提高77.68%,但91 d后,两种叶幕类型果实花色苷含量均出现下降趋势,直立叶幕果实表现尤为显著,至花后105 d,水平叶幕果实花色苷含量反比直立叶幕的高

6.45%。

2.2.5 叶幕类型对果实香气物质的影响 果实成熟时,两种叶幕类型的果实香气物质种类及含量均有差异(表2)。2015年,与直立叶幕相比,水平叶幕果实的香气物质种类少但含量高。水平叶幕果实中共检测到32种芳香物质,而直立叶幕下果实芳香物质种类达36种,水平叶幕果实中未检测到(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯、乙酸反-2-己烯酯、桉叶油醇等8种物质,而直立叶幕果实中仅比水平叶幕果实缺失乙酸叶醇酯、正己酸乙烯酯、联苯、正二十一烷4种物质。水平叶幕果实芳香物质总量比直立叶幕果实高16.01%,其中正辛醛、反式3己烯丁酸、 $\beta$ -月桂烯等25种物质含量均高于直立叶幕果实, $\beta$ -月桂烯含量比直立叶幕果实高39.81%,邻二甲苯含量甚至是直立叶幕果实的25.78倍。2016年,水平叶幕葡萄果实无论在香气物质的种类还是含量方面均低于直立叶幕,仅有2,3-二甲基萜、乙醇、正辛醛等6种物质的含量高于直立叶幕,芳香物质总含量比直立叶幕

表2 叶幕类型对2015—2016年成熟期葡萄果实香气物质含量的影响  
Table 2 Effect of canopy type on the aroma components and contents in grape fruit in 2015 and 2016

化合物 Component		w/( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )			
		2015		2016	
		水平叶幕 Horizontal canopy	直立叶幕 Vertical canopy	水平叶幕 Horizontal canopy	直立叶幕 Vertical canopy
酯类 Esters	乙酸叶醇酯 3-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	12.61	—	6.54 b	11.72 a
	己醇醋酸酯 Acetic acid, hexyl ester	2.44 a	2.44 a	1.27 a	2.34 a
	酞酸二乙酯 Diethyl Phthalate	9.78 a	5.83 b	5.07 a	5.58 a
	乙酸反-2-己烯酯 2-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	—	1.84	—	1.76
	正己酸乙酯 n-Caproic acid vinyl ester	1.82	—	0.94	—
	2-甲基-3-羟基-2,2,4-三甲基戊基丙酸酯 Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	—	0.72	—	0.69
	(E)-3-己烯-1-醇乙酸酯 3-Hexen-1-ol, acetate, (E)-	—	12.24	—	11.00
醇类 Alcohols	桉叶油醇 Eucalyptol	—	1.41	—	1.35
	2-己烯-1-醇 2-Hexen-1-ol, (E)-	35.27 a	29.70 b	18.29 b	28.42 a
	正己醇 1-Hexanol	84.29 a	50.73 b	43.70 a	48.56 a
	3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol, formate, (Z)-	77.37 a	48.90 b	40.11 a	46.81 a
	2-甲基-3-丁烯-2-醇 2-Methyl-3-buten-2-ol	—	6.46	—	6.19
	乙醇 Ethanol	39.93 a	21.32 b	20.71 a	20.41 a
酮醛类 Ketones and Aldehydes	正己醛 Hexanal	278.40 a	166.59 b	144.35 a	159.45 a
	正辛醛 Octanal	8.85 a	3.74 b	4.59 a	3.58 a
	反式-2-己烯醛 2-Hexenal, (E)-	9.66 a	6.92 a	5.01 a	6.62 a
	2-己烯醛 2-Hexenal	426.90 a	272.85 b	221.34 a	261.16 a
	(E)-壬烯醛 2-Nonenal, (E)-	—	2.55	—	2.44
	癸醛 Decanal	14.50 a	8.23 a	7.52 a	7.88 a
	壬醛 Nonanal	36.83 a	20.41 b	19.10 a	19.54 a
	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮 5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	1.43 a	0.85 a	0.74 a	0.82 a
	甲基庚烯酮 5-Hepten-2-one, 6-methyl-	4.00 a	2.32 a	2.07 a	2.22 a
	仲辛酮 2-Octanone	9.11 a	4.86 b	—	—
其他类 Miscellaneous	正二十一烷 Heneicosane	1.32	—	0.68	—
	七氟丁酰氧基癸烷 1-Heptafluorobutyryloxydecane	—	0.6	—	0.57
	2,6,10,10-四甲基-1-氧杂螺[4.5]癸-6-烯 1-Oxaspiro[4.5]dec-6-ene, 2,6,10,10-tetramethyl-	1.74 a	0.97 b	0.90 a	0.92 a
	联苯烯 Biphenylene	4.21 a	3.72 a	2.18 a	3.56 a
	$\beta$ -月桂烯 .beta.-Myrcene	1.44 a	1.03 a	—	—
	右旋柠檬烯 D-Limonene	3.69 a	4.93 a	—	—
	2,3-二甲基萘 Naphthalene, 2,3-dimethyl-	3.24 a	1.75 b	1.68 a	1.67 a
	二苯并咪唑 Dibenzofuran	10.24 a	6.09 a	5.31 a	5.82 a
	甲氧基苯基脒 Oxime-, methoxy-phenyl-	3.62 a	3.90 a	1.87 b	3.73 a
	茚满 Indane	—	1.27	—	1.22
	茈 Acenaphthene	3.11 a	2.02 a	1.61 a	1.93 a
	芴 Fluorene	3.79 a	2.46 a	1.96 b	2.35 a
	(E)-3-己烯丁酸 Butanoic acid, 3-hexenyl ester, (E)-	4.58 a	2.02 b	2.37 a	1.93 b
	丁羟甲苯 Butylated Hydroxytoluene	2.04 a	0.97 b	1.06 a	0.93 b
	邻二甲苯 o-Xylene	4.64 a	0.18 b	2.40 a	0.17 b
	甲苯 Toluene	20.70 a	12.15 b	10.73 a	11.63 a
	联苯 Biphenyl	2.8	—	1.45	—

注:—表示未检出。

Note: —means not detected.

低 15.97%, 其中, 水平叶幕果实中仅检测到 29 种芳香物质, 与 2015 年相比, 未检测到仲辛酮、 $\beta$ -月桂烯、右旋柠檬烯 3 种芳香物质, 而 2016 年的直立叶幕果实中检测到 34 种芳香物质, 与 2015 年相比, 同样

未检测到仲辛酮、 $\beta$ -月桂烯、右旋柠檬烯 3 种芳香物质, 但多检测到乙酸叶醇酯。

### 2.3 叶幕类型对葡萄新梢生长量的影响

对果实采摘后的枝条进行测量显示, 水平叶幕

控制了枝条的营养生长,枝条平均节间长度为11.79 cm,比直立叶幕的低4.30%,但未形成显著性差异;但将枝条称重后发现,水平叶幕枝条重量显著低于直立叶幕,单位面积上的枝条重量仅为直立叶幕枝条的38.59%(表3)。

表3 叶幕类型对2016年葡萄新梢生长量的影响

Table 3 Effect of canopy type on the growth of the new shoot in 2016

指标 Index	水平叶幕 Horizontal canopy	直立叶幕 Vertical canopy
节间长度 Internode length of branches/cm	11.79 a	12.32 a
单位架面质量 Mass per unit area/g	33.40 b	86.56 a

### 3 讨论

#### 3.1 叶幕类型调控葡萄生长发育的环境基础

叶幕可以通过调节果实微域环境来影响葡萄的生长发育<sup>[19]</sup>。首先,叶幕类型影响果实微域环境的光照强度与温湿度。本试验表明,与直立叶幕相比,水平叶幕显著降低了葡萄果实周边的高温时长及高温高湿比例,并减少了温度波动,尤其在高温月份,水平叶幕的优势更为显著,这可能是由于水平叶幕的果实与地面相距较远,叶幕又具有较强的遮荫作用,架下受光率较低,这样既解决了幕下果实直接曝光的问题,又可使叶幕下的地面免受强光直射<sup>[20]</sup>,且由于受叶幕的遮蔽,水平叶幕下光照弱、地面温度较低,土壤蒸发量小于直立叶幕<sup>[21]</sup>,从而90%以上的高湿比例相对较低。而前人研究表明,强光及高温强光天气会导致直立叶幕叶片的Pn(净光合速率)显著降低<sup>[22]</sup>。高温强光天气下,水平叶幕叶片的Pn仍高于直立叶幕,强光和高温强光条件下水平叶幕叶片的ΦPo(最大光化学效率)、ΨEo(捕获的激子将电子传递到电子传递链中超过QA的其他电子受体的概率)和ΦEo(用于电子传递的量子产额)均比直立叶幕叶片显著提高,当高温天气(38℃)出现时,直立叶幕同位素标记叶片截留的碳、氮元素含量高于水平叶幕,但分配到果实中的碳、氮元素含量显著降低<sup>[22]</sup>,这可能也是水平叶幕枝条节间长度和单位面积重量低于直立叶幕,但果实次生代谢产物含量普遍高于直立叶幕的原因之一;且对水平叶幕新梢的节间长度及单位面积枝条重量测定也表明,水平叶幕的营养生长量均低于直立叶幕,也有可能是由于水平叶幕新梢水平生长,结果枝和结果母枝的

角度在一定程度上起到了扭枝的作用,抑制了顶端优势<sup>[17]</sup>,进而削弱了新梢生长势;而直立叶幕由于新梢直立生长,顶端优势显著,新梢生长势强。

#### 3.2 叶幕类型影响葡萄次生代谢的作用机制

糖酸等初生代谢物为次生代谢提供前体物质,其含量的下降不利于次生代谢产物的积累。葡萄中的糖主要为葡萄糖和果糖,酸以酒石酸为主,其次是苹果酸,而苹果酸、葡萄糖是呼吸作用的主要底物,其含量受到呼吸作用的影响。一方面,高温、强光等逆境条件会使植物的呼吸作用出现短时间内的骤然加剧现象<sup>[23]</sup>,消耗呼吸底物,造成果实糖酸含量下降,从而降低果实次生代谢产物含量,影响果实品质;另一方面,长时间的高温强光会钝化酶的活性,孙永江<sup>[22]</sup>的研究结果也表明,水平叶幕通过改善高温强光逆境条件下叶片光系统的能量分配,缓解高温强光胁迫,这可能是由于水平叶幕降低了果实周围的温度且湿度适宜,提高了各种合成酶的活性,从而提高了果实次生代谢产物的含量,改善果实品质;孙建霞等<sup>[24]</sup>通过研究发现,较高的曝光率及高温条件还会加速次生代谢产物的降解。这与本试验2015年,水平叶幕葡萄果实的总酚、类黄酮、黄烷醇及花色苷含量均高于直立叶幕的结果一致;2016年可能由于气候相对冷凉,水平叶幕架下受光率较低,果实糖酸合成相对缓慢,尽管呼吸消耗也相对较少,但由于底物不足,次生代谢产物在后期才持平或赶超直立叶幕果实。

对于香气物质来说,环境因素对其组分和含量均有较大影响<sup>[25-26]</sup>。水平叶幕新梢中庸的生长势减弱了营养生长的竞争,影响光合产物的分配,为糖苷键结合态萜类化合物的形成提供了更多的物质基础,同时,水平叶幕下果穗周围环境的温度较低,不利于挥发性物质的扩散<sup>[27]</sup>,这些都为其果实积累芳香物质创造了良好条件。本研究表明,2015年,水平叶幕葡萄果实的醛酮类化合物含量显著高于直立叶幕果实,而醛酮类化合物中是葡萄酒特殊品种香的组分<sup>[28]</sup>,也就是说,相较于直立叶幕下的葡萄,水平叶幕下,葡萄的品种香可能更突出,因此其酿出的葡萄酒香气可能更为浓郁<sup>[27]</sup>,但在气候较为冷凉、降水较多的年份,水平叶幕果实的香气物质含量和种类均低于直立叶幕,一方面可能是由于水分的供给增强了植株的生长势,降低了芳香物质的含量<sup>[29-30]</sup>;另一方面可能是由于水分的供给降低了葡萄果实中



与香气物质合成有关酶类基因的转录<sup>[31]</sup>。

## 4 结 论

在夏季炎热的2015年水平叶幕显著降低果实微环境高温高湿比例,缓解强光胁迫,改善‘摩尔多瓦’葡萄果实周边微域环境,控制葡萄的营养生长,提高果实各种次生代谢物质含量,改善果实品质,但在较为冷凉的年份其作用不明显。

### 参考文献 References:

- [1] SOLOMON S, QIN D, MANNING M, CHEN Z, MARQUIS M, AVERYT K B, MILLER H L. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. New York: Cambridge University Press, 2007: 1056.
- [2] STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, TIGNOR M, ALLEN S K, BOSCHUNG J, MIDGLEY P M. Climate change 2013: The physical science basis[J]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [3] JONES G V, WHITE M A, COOPER O R, STORCHMANN K. Climate change and global wine quality[J]. Climatic Change, 2005, 73(3):319-343.
- [4] CONDE C, SILVA P, FONTES N, DIAS A C P, TAVARES R M, SOUSA M J, AGASSE A, DELROT S, GEROS H. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality[J]. Globe Science Books, 2007, 1(1):1-22.
- [5] CHEVET J M, LECOCQ S, VISSER M. Climate, grapevine phenology, wine production, and prices: Pauillac (1800-2009) [J]. The American Economic Review, 2011, 101(3):142-146.
- [6] LABARBE B, CHEYNIER V, BROSSAUD F, SOUQUET J M, MOUTOUNET M. Quantitative fractionation of grape proanthocyanidins according to their degree of polymerization[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(7):2719.
- [7] MONAGAS M, GÓMEZ-CORDOVÉS C, BARTOLOMÉ B, LAUREANO O, RICARDO DA SILVA J M. Monomeric, oligomeric, and polymeric flavan-3-ol composition of wines and grapes from *Vitis vinifera* L. cv. Graciano, Tempranillo, and Cabernet Sauvignon[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(22): 6475-6481.
- [8] ZIMMAN A, JOSLIN W S, LYON M L, MEIER J, WATERHOUSE A L. Maceration variables affecting phenolic composition in commercial-scale Cabernet Sauvignon winemaking trials [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2002, 53(2): 93-98.
- [9] VIDAL S, CARTALADE D, SOUQUET J M, FULCRAND H, CHEYNIER V. Changes in proanthocyanidin chain length in wine like model solutions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(8): 2261-2266.
- [10] GIRONA J, MARSAL J, MATA M, DEL CAMPO J, BASILE B. Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2009, 15(3): 268-277.
- [11] GOMEZPLAZA E, GILMUNOZ R, LOPEZROCA J M, MARTINEZCUTILLAS A, FERNANDEZ J I. Phenolic compounds and color stability of red wines: effect of skin maceration time [J]. American Journal of Enology & Viticulture, 2001, 52(3):266-270.
- [12] BERGQVIST J, DOKOOZLIAN N, EBISUDA N. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the central san joaquin valley of California[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2001, 52(1):1-7.
- [13] SPAYD S E, TARARA J M, MEE D L, FERGUSON J C. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2002, 53(3): 171-182.
- [14] 陈建红, 赵明, 方仁, 王静静, 薛进军. 不同架式对‘北字号’葡萄酒生长及果实品质的影响[J]. 南方园艺, 2009, 20(1):14-15.  
CHEN Jianhong, ZHAO Ming, FANG Ren, WANG Jingjing, XUE Jinjun. Effect of trellis systems on the growth and fruit quality of winegrape[J]. Southern Horticulture, 2009, 20(1):14-15.
- [15] 刘芸, 仇农学, 杨玺玉. 葡萄皮渣提取物总酚含量及体外抗氧化活性、抑菌活性[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 5-9.  
LIU Yun, QIU Nongxue, YANG Xiyu. Assessment of total phenolic content and *in vitro* antioxidant and antimicrobial activities of ethanol extract from grape residue left after making wine[J]. Food Science, 2011, 32(1): 5-9.
- [16] KIM H K, CHEON B S, KIM Y H, KIM S Y, KIM H P. Effects of naturally occurring flavonoids on nitric oxide production in the macrophage cell line RAW 264.7 and their structure-activity relationships[J]. Biochemical Pharmacology, 1999, 58 (5):759-765.
- [17] WATERHOUSE A L, IGNELZI S, SHIRLEY J R. A comparison of methods for quantifying oligomeric proanthocyanidins from grape seed extracts[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2000, 51(4): 383-389.
- [18] ORAK H H. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, polyphenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations[J]. Scientia Horticulture, 2007, 111(3): 235-241.
- [19] 华玉波. 整形方式对赤霞珠病害和果实品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.  
HUA Yubo. Effects of training systems on disease and berry quality of cabernet sauvignon[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2010.

- [20] 刘笑宏,孙永江,孙红,翟衡.不同叶幕类型对‘摩尔多瓦’葡萄果穗微域环境及果实品质的影响[J].中国农业科学,2016,49(21):6246-6254.  
LIU Xiaohong, SUN Yongjiang, SUN Hong, ZHAI Heng. Effect of canopy types on the cluster micro-environment and fruit quality of the ‘Moldova’ grapes[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(21):6246-6254.
- [21] 贾杨,廖康,刘曼曼,赵世荣,廖小龙,王玉蓉,彭晓莉.吐鲁番不同栽培架式葡萄叶幕微气候差异分析[J].北方园艺,2014(9):23-26.  
JIA Yang, LIAO Kang, LIU Manman, ZHAO Shirong, LIAO Xiaolong, WANG Yurong, PENG Xiaoli. Analysis on the canopy microclimate of the different grape cultivation trellis in Turpan[J]. *Northern Horticulture*, 2014(9): 23-26.
- [22] 孙永江.葡萄光系统II及光合碳同化对高温强光的响应机理[D].泰安:山东农业大学,2016.  
SUN Yongjiang. The response mechanisms of photosystems II and photosynthetic carbon assimilation in grapevine leaves to high temperature and strong light[D]. Tai’an: Shandong Agricultural University, 2016.
- [23] 庞勇.高温胁迫对苹果生理效应及耐热性诱导的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2004.  
PANG Yong. Study on physiological effects and thermotolerance induction of apple under high temperature stress[D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University, 2004.
- [24] 孙建霞,张燕,胡小松,吴继红,廖小军.花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J].中国农业科学,2009,42(3):996-1008.  
SUN Jianxia, ZHANG Yan, HU Xiaosong, WU Jihong, LIAO Xiaojun. Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(3): 996-1008.
- [25] FALCÃO L D, REVEL G D, PERELLO M C, MOUTSIU A, ZANUS M C, BORDIGNON-LUIZ M T. A survey of seasonal temperatures and vine yard altitude influences on 2-methoxy-3-isobutylpyrazine, C13-norisoprenoids, and the sensory profile of Brazilian Cabernet Sauvignon wines[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(9):3605-3612.
- [26] 温可睿,黄敬寒,潘秋红,段长青,王军.葡萄香气物质及其影响因素的研究进展[J].果树学报,2012,29(3):454-460.  
WEN Kerui, HUANG Jinghan, PAN QiuHong, DUAN Changqing, WANG Jun. Research progress of aromatic compounds and influencing factors in grapes[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(3):454-460.
- [27] 赵新节.栽培架式及负荷对酿酒葡萄和葡萄酒风味物质的影响[D].泰安:山东农业大学,2005.  
ZHAO Xinjie. Effects of trellis system and crop load on flavour compounds in grapevine and wines[D]. Tai’an: Shandong Agricultural University, 2005.
- [28] 翟衡,杜金华,管雪强,乔旭光,潘志勇.酿酒葡萄栽培及加工技术[M].北京:中国农业出版社,2001.  
ZHAI Heng, DU Jinhua, GUAN Xueqiang, QIAO Xuguang, PAN Zhiyong. Wine grape cultivation and processing technology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001.
- [29] OU C, DU X, SHELLIE K, ROSS C, QIAN M C. Volatile compounds and sensory attributes of wine from cv. Merlot (*Vitis vinifera* L.) grown under differential levels of water deficit with or without a kaolin-based, foliar reflectant particle film[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(24): 12890-12898.
- [30] KOUNDOURAS S, MARINOS V, GKOUOLIOTI A, KOTSERIDIS Y, VAN L C. Influence of vineyard location and vine water status on fruit maturation of nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on wine phenolic and aroma components [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(14), 5077-5086.
- [31] DELUC L G, QUILICI D R, DECENDIT A, DECENDIT A, GRIMPLET J, WHEATLEY M D, SCHLAUCH K A, MÉRILLON J M, CUSHMAN J C, CRAMER G R. Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay[J]. *BMC Genomics*, 2009, 10(1): 212.