

张峰玮,张军翔. 负载量对赤霞珠葡萄酒挥发性物质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):146-150.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.039

# 负载量对赤霞珠葡萄酒挥发性物质的影响

张峰玮<sup>1</sup>, 张军翔<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏大学农学院,宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学葡萄酒学院,宁夏银川 750021)

**摘要:**以酿酒葡萄赤霞珠为试材,采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS),以不疏果作对照,分析研究了花后疏果降低负载量对赤霞珠葡萄酒理化指标及挥发性物质的影响。结果表明:从赤霞珠葡萄酒中共鉴定出 111 种挥发性物质,包括酯类物质 46 种、醇类物质 13 种、酸类物质 9 种、烃类物质 25 种、醛酮类物质 9 种和其他类物质 9 种,其中酯类物质为赤霞珠葡萄酒的主要香气物质,占总组分的 90% 以上;不同疏果处理下,葡萄酒中挥发性物质的种类和含量均高于对照,相对含量在 106 252.7~134 655.3 μg/L 之间,说明疏果调控负载量有利于葡萄酒挥发性物质的积累。

**关键词:**负载量;葡萄酒;挥发性物质;GC-MS

**中图分类号:** TS262.61      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2018)01-0146-05

挥发性物质的丰富性和多样性对葡萄酒的质量以及区域特点起着决定性的作用,是衡量葡萄酒感官品质的主要指标<sup>[1-2]</sup>。葡萄果实中的挥发性物质受产地、气候、品种、栽培方式等因素的影响<sup>[3]</sup>,不同品种葡萄酒挥发性成分和含量都不同,但品种特有的香气特点均可在葡萄酒中表现出来,因此对于某一特定产区而言,在合适的酿酒葡萄品种基础上,优化葡萄的栽培管理技术才是提高葡萄品质的关键所在。负载量的调控是提高酿酒葡萄果实品质与葡萄酒量的一项重要栽培措施<sup>[4-7]</sup>,为了增加葡萄酒的风味,酒庄庄主们纷纷降低酿酒葡萄果实的负载量。对此,在花后不同程度的疏果调控负载量下,研究其对赤霞珠葡萄酒品质及挥发性物质的影响,以期为贺兰山东麓酿酒葡萄栽培稳产情况下的合理负载量提供一定的理论或技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及设计

本试验在宁夏贺兰山东麓禹皇酒庄有限公司酿酒葡萄种植基地进行,供试材料为 9 年生赤霞珠(Cabernet Sauvignon),南北行向栽植,株行距为 0.8 m×3.5 m,“厂”字形整形,叶幕高度 1.2 m,叶幕宽度 0.4 m。在花后选取生长势相似的葡萄植株,设定负载量分别为不疏果(CK)、1 枝 1 穗(A1)、1 枝 1.5 穗(A2)、1 枝 2 穗(A3),试验采用随机区组,每个处理 50 株,重复 3 次。表 1 为不同负载量参考指标的转换。

### 1.2 葡萄酒理化指标的测定

测定酒精发酵结束后葡萄酒样品的酒精度、残糖、干浸出物、总酸、pH 值;分光光度法测定色度色调<sup>[8]</sup>。

收稿日期:2016-05-07

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD09B02)。

作者简介:张峰玮(1990—),男,宁夏银川人,硕士研究生,主要从事葡萄栽培及酿造研究。E-mail:136224798@qq.com。

通信作者:张军翔,博士,教授,硕士生导师,主要从事葡萄与葡萄酒学研究。E-mail:zhangjunxiang@126.com。

表 1 试验处理

处理	说明	叶果比 (cm <sup>2</sup> /g)	单株产量 (kg)	折合产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
A1	1 枝 1 穗	14.9	1.5	5 250
A2	1 枝 1.5 穗	10.0	2.3	8 100
A3	1 枝 2 穗	7.5	3.0	10 800
CK	不疏果	<7.5	>3.0	>10 800

### 1.3 葡萄酒挥发性物质的测定

采用顶空固相微萃取方法提取葡萄酒挥发性物质:准确称取 1.500 g NaCl 于 20 mL 的顶空瓶中,依次加入待测酒样 3 mL、20 μL 浓度为 3 g/L 的内标使用液(2-辛醇),密封。插入在 270 ℃老化 1 h 后的规格为 DVB/CAR/PDMS(灰色)、50/30 μm 的萃取头,纤维头置于距离酒样表面约 20 mm 的上部空间,顶空瓶于 45 ℃水浴温度下萃取 30 min 后,取出手柄,直接进样分析,并解析 5 min。萃取头每次使用前都要活化 3 min。

GC-MS 条件:DB-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.5 μm; Agilent Technologies),载气为氦气,流速为 3.0 mL/min,分流比为 20:1;将进样口温度和 FID 检测器温度都设为 250 ℃,起始柱温为 40 ℃,保持 2 min,以 15 ℃/min 升温到 100 ℃,然后再以 5 ℃/min 升温到 220 ℃,保持 10 min,最后以 5 ℃/min 升温到 250 ℃。接口温度为 250 ℃,质量范围为 30~450 u。

### 1.4 葡萄酒酿造基本工艺

待试验地葡萄完全成熟时采收,不同处理葡萄随机采收,带回实验室进行葡萄酒酿造。酿造结束后,对各项指标进行测定分析,具体工艺流程见图 1:葡萄原料除梗破碎入罐,添加果胶酶 FEC(40 mg/L)、偏重亚硫酸钾(100 mg/L),于 13~15 ℃条件下浸渍 1 d;添加酵母卓越 XR(200 mg/L)、安醇粉(300 mg/L),于 25~28 ℃条件下进行酒精发酵,其间定时测定葡萄酒温度、比重,并压帽;当比重均小于 0.996,还原糖含量在 4 g/L 以下时进行皮渣分离,倒罐澄清,终止发酵,装瓶贮藏备用。

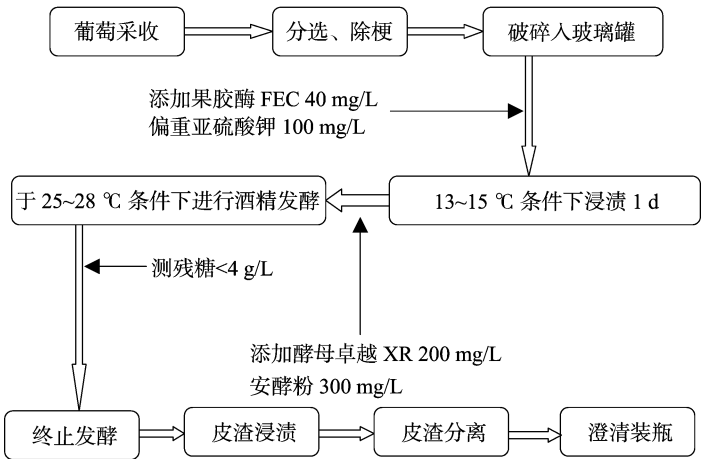


图1 试验干红葡萄酒酿造工艺流程

2 结果与分析

2.1 不同负载量赤霞珠葡萄酒理化指标的比较

赤霞珠葡萄酒不同酒精发酵都比较彻底,残糖均在 4 g/L 以下,干浸出物均在 20 g/L 以上(表 2),在谢花后疏果明显影响采收时所酿葡萄酒的理化指标,A1 处理葡萄酒酒精度、干浸出物、色度最高,总酸含量最低,其次是 A2,CK 最高。

表 2 葡萄酒常规理化指标

处理	酒精度 (V/V,%)	残糖 (g/L)	干浸出物 (g/L)	总酸 (g/L)	pH 值	色度
A1	14.30	2.63	25.28	5.44	3.80	20.53
A2	13.44	3.00	22.93	5.81	3.99	19.36
A3	13.21	2.37	22.45	5.91	3.45	19.34
CK	12.96	2.52	22.15	6.02	3.42	17.76

2.2 不同负载量赤霞珠葡萄酒挥发性物质的比较

赤霞珠葡萄酒中的挥发性物质 GC-MS 分析结果见表 3。通过内标法共定量分析出了 111 种物质,其中 A1 和 A2 处理挥发性物质 59 种,A3 是 56 种,CK 是 47 种,总相对含量在 4 个处理中依次是 A1 为 134 655. 3 μg/L, A2 为 127 913. 8 μg/L, A3 为 119 612. 0 μg/L, CK 为 106 252. 7 μg/L。主要成分是酯类物质(92. 42% ~

97. 21%)、醇类物质(0. 49% ~ 1. 66%)、酸类物质(0. 29% ~ 0. 52%)、烃类物质(0. 82% ~ 2. 01%)、醛酮类物质(0. 08% ~ 0. 30%) 和其他呋喃、吡嗪及含硫化合物等(0. 28% ~ 1. 35%)。

葡萄酒中大多数酯类物质是在发酵期间产生的,表现出花果的香气,本研究中所检出的酯类物质是赤霞珠葡萄酒中种类最多和相对含量最高的挥发性成分,4 个处理中含量最高的是辛酸乙酯,在葡萄酒中表现出果香味、茴香味以及伴有甜味,其次是癸酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、乙基癸-9-烯酸乙酯以及酞酸二乙酯,其他含量较小,且 3 个疏果处理葡萄酒中酯类物质的相对含量都高于 CK,A1 处理和 A2 处理最为显著。

葡萄酒中的醇类物质来源于酵母通过氨基酸代谢或糖降解途径产生的副产物,也是葡萄酒中重要的呈香物质,4 个处理中共检测到 13 种醇类物质,A1、A2、A3 处理葡萄酒中醇类物质都高于 CK,A2 处理最高,共有的物质为苯乙醇和四氢薰衣草醇。

其他微量挥发性物质虽然在葡萄酒中的含量较低,但对葡萄酒香气的形成有着重要的贡献,本研究中,长链烷烃以及呋喃等在赤霞珠葡萄酒中被检出。

表 3 赤霞珠不同处理葡萄酒香气成分含量

物质名称	英文名称	A1 (μg/L)	A2 (μg/L)	A3 (μg/L)	CK (μg/L)
酯类物质					
异戊酸乙酯	ethyl isovalerate	86.6	—	—	75.6
乙酸异戊酯	isoamyl acetate	12 584.4	14 771.9	4 607.5	4 425.9
戊酸异戊酯	pentanoic acid,3-methylbutyl ester	98.0	—	—	—
己酸乙酯	ethyl caproate	12 085.4	10 247.2	12 226.2	11 744.4
乙酸己酯	hexyl acetate	590.2	709.2	194.2	186.5
乙基-2-己烯酸乙酯	ethyl 2-hexenoate	72.9	—	—	—
2-丙烯酸-2-甲氧基乙酯	2-methoxyethyl acrylate	—	41.9	—	—
亚硝酸异丁酯	isobutyl nitrite	—	44.4	—	—
丙烯酸叔丁酯	tert-butyl acrylate	—	9.2	—	—
丁酸戊酯	amyl butyrate	135.1	—	37.8	36.3
庚酸乙酯	ethyl heptanoate	202.6	230.5	228.3	219.3
乙酸庚酯	acetic acid,heptyl ester	89.0	88.7	—	—
辛酸甲酯	methyl octanoate	222.1	123.7	222.4	213.6

续表 3

物质名称	英文名称	A1 (μg/L)	A2 (μg/L)	A3 (μg/L)	CK (μg/L)
己酸异丁酯	isobutyl hexanoate	—	21.3	—	—
丁二酸二乙酯	diethyl succinate	1 092.5	694.9	893.0	857.8
顺式-4-辛烯酸乙酯	fthyl valerate	97.9	276.5	323.2	310.5
辛酸乙酯	ethyl caprylate	65 922.7	66 615.7	56 859.2	54 618.7
戊酸环己酯	pentanoic acid,cyclohexyl ester	140.9	—	—	—
己酸异戊酯	isopentyl hexanoate	292.3	314.8	569.3	546.9
乙酸苯乙酯	phenethyl acetate	364.3	506.8	268.2	257.6
丁酸-1-苯乙酯	butanoic acid,1-phenylethyl ester	—	38.4	—	—
戊酸戊酯	pentanoic acid,pentyl ester	—	25.8	—	—
癸酸甲酯	methyl n-caprate	—	52.0	100.6	—
丙酸香茅酯	6-octen-1-ol,3,7-dimethyl,1-propanoate	—	95.9	—	—
辛酸异丁酯	octanoic acid,2-methylpropyl ester	62.3	—	34.5	—
乙基癸-9-烯酸乙酯	ethyl dec-9-enoate	5 357.7	3 992.7	4 015.8	3 857.5
癸酸乙酯	ethyl caprate	25 575.0	18 041.2	18 225.2	17 507.0
反式-2-癸烯酸乙酯	2-decenoic acid,ethylester,(2E)	73.4	—	127.7	—
辛酸-3-甲基丁酯	octanoic acid,3-methylbutyl ester	699.6	548.0	190.7	183.2
异硫氰酸异丁酯	propane,1-isothiocyanato-2-methyl	36.9	—	—	—
酞酸二甲酯	dimethyl phthalate;	—	—	7 534.8	—
酞酸二乙酯	diethyl phthalate	4 189.5	3 332.4	6 109.1	5 868.4
癸酸-3-甲基丁酯	decanoic acid,3-methylbutyl ester	328.3	182.7	—	120.6
异戊酸丁酯	butyl isovalerate	—	39.1	—	—
对甲苯磺酸正辛酯	benzenesulfonic acid,4-methyl-,octyl ester	—	186.4	—	—
二甘醇二苯甲酸酯	diethylene glycol dibenzoate	24.8	—	—	—
戊酸乙酯	ethyl valerate	63.2	—	—	—
丁基邻苯二甲酸二辛酯	butyl octyl phthalate	296.5	—	—	—
9-十六碳烯酸乙酯	9-hexadecenoic acid,ethyl ester	300.4	386.8	164.6	158.1
棕榈酸乙酯	ethyl palmitate	258.8	266.7	380.4	365.4
棕榈酸异丙酯	isopropyl palmitate	117.7	121.2	97.2	93.4
巴豆酸丁酯	2-butenic acid,butylester	—	—	33.3	—
邻苯二甲酸二庚酯	1,2-benzenedicarboxylicacid,1,2-diheptyl ester	—	—	39.5	37.9
硬脂酸乙酯	octadecanoic acid,ethyl ester	55.8	—	—	—
3-乙氧基丙酸乙酯	ethyl 3-ethoxypropionate	35.6	—	—	—
邻苯二甲酸二正辛酯	n-diethyl phthalate	162.7	188.2	398.7	382.9
小计		131 715.3	122 194.0	113 881.4	102 037.5
醇类物质					
3-乙基-3-戊醇	3-ethyl-3-Pentanol	—	35.9	—	—
3-甲基-2-戊醇	2-pentanol,3-methyl	—	89.1	—	—
(1A,3A,5A)-1,3,5-环己三醇	cis,cis-1,3,5-cyclohexanetriol dihydrate	—	36.6	—	—
1-异丙-2-丙醇	2-propanol,1-isopropoxy	—	8.61	—	—
(±)-1-苯基-2-丙醇	benzeneethanol,a-methyl	—	558.9	307.2	—
3,3-二甲基环己醇	cyclohexanol,3,3-dimethyl	39.5	—	—	—
苯乙醇	phenethyl alcohol	429.6	1315.4	287.7	276.4
四氢薰衣草醇	1-hexanol,5-methyl-2-(1-methylethyl)	54.4	32.4	39.0	37.5
2-甲基-2,4-戊二醇	2-methyl-2,4-pentanediol	—	54.4	—	60.5
2-甲基-2-丙基-1,3-丙二醇	2-methyl-2-propyl-1,3-propanediol	72.6	—	—	—
1,2,6-己三醇	1,2,6-hexanetriol	42.8	—	—	—
肉桂醇	cinnamyl alcohol	—	—	275.9	203.6
2-(十二烷)乙醇	2-(dodecyloxy)ethanol	—	—	32.3	—
小计		638.9	2131.3	942.1	578.0
酸类物质					
正丁酯硫代乙醇酸	acetic acid,2-mercapto-,butyl ester	—	15.8	—	—
L-丙氨酸	L-alanine	25.9	—	—	—

续表 3

物质名称	英文名称	A1 (μg/L)	A2 (μg/L)	A3 (μg/L)	CK (μg/L)
己酸	hexanoic acid	29.1	—	—	—
辛酸	octanoic acid	335.6	176.7	320.5	365.5
壬酸	nonanoic acid	—	—	102.8	98.7
4-甲基壬酸	nonanoic acid,4-methyl	327.0	—	—	—
5-己炔酸	5-hexynoic acid	—	226.5	—	198.6
3-羟基丁酸	butanoic acid,3-hydroxy	—	—	—	—
十一酸	undecanoic acid	—	14.5	—	—
小计		717.6	433.5	423.3	662.8
烃类物质					
2,4-二甲基己烷	2,4-dimethylhexane	46.8	—	35.4	34.0
2,3-二甲基戊烷	2,3-dimethyl-Pentane	—	—	36.2	—
2,3,5-三甲基癸烷	decane,2,3,5-trimethyl	—	—	51.7	—
3,4-二乙基己烷	hexane,3,4-diethyl	41.1	—	—	45.6
十七烷	heptadecane	272.0	267.96	959.3	921.5
十六烷	hexadecane	—	—	154.8	148.7
萘嵌戊烷	1,2-dihydroacenaphthene	101.0	81.0	—	—
4,5-二甲基辛烷	octane,4,5-dimethy	—	—	247.6	—
3-乙基-5-甲基庚烷	heptane,3-ethyl-5-methyl	—	—	—	29.2
氯代十六烷	1-chlorohexadecane	—	—	39.1	37.6
十四烷	tetradecane	—	—	169.6	—
十九烷	nonadecane	75.1	39.6	45.9	44.1
3,8-二甲基十一烷	undecane,3,8-dimethyl	119.56	—	—	—
3,4-二甲基庚烷	heptane,3,4-dimethyl	—	78.9	—	—
3,7-二甲基壬烷	nonane,3,7-dimethyl	—	123.2	—	—
1,3-二甲基萘	naphthalene,1,3-dimethyl	59.7	276.6	382.9	—
1,7-二甲基萘	naphthalene,1,7-dimethyl	45.4	191.2	107.7	—
5-甲基-1-庚烯	5-methyl-1-heptene	—	—	35.8	—
5,5-二甲基-1-己烯	1-hexene,5,5-dimethyl	25.9	—	—	—
苯乙烯	phenylethylene	78.2	—	—	69.5
二环庚二烯	2,5-norbornadiene	—	—	55.9	53.7
6-甲基-1,3-辛二烯	6-methylene-1,3-cyclooctadiene	—	—	94.5	90.8
3,3-二甲氧基-1-丙烯	acrolein dimethyl acetal	—	48.2	—	—
反式角鲨烯	(E,E,E,E)-squalene	256.6	—	—	246.5
异长叶烯	isolongifolene	—	792.8	—	—
小计		1 121.4	1 899.4	2 416.4	1 721.2
醛酮类物质					
四氢-2,2-二甲基-5-苯基呋喃-3-酮	furan-3-one,tetrahydro-2,2-dimethyl-5-phenyl	—	—	114.0	—
2-甲基-4-辛酮	4-octanone,2-methyl	—	—	98.5	—
4-羟基环己酮	cyclohexanone,4-hydroxy-	—	—	88.4	89.6
3-羟基丁醛	3-hydroxy-Butanal	—	—	41.1	—
4-甲基二氢-2(3H)-呋喃酮	4-methyldihydro-2(3H)-furanone	—	24.8	—	—
壬醛	1-nonanal	38.9	32.4	31.6	30.5
十一醛	undecanal	—	143.8	—	120.5
异戊醛	isovaleraldehyde	21.8	—	—	—
3-羟基-2-甲基戊醛	pentanal,3-hydroxy-2-methyl	30.1	—	—	—
小计		90.8	201.0	259.6	240.6
其他物质					
苯甲醚	benzyl methyl ether	—	—	545.6	—
2-甲基萘	2-methylnaphthalene	—	—	32.5	—
正丁基缩水甘油醚	butyl glycidyl ether	—	20.3	—	15.6
烯丙基醚	allyl ether	—	24.5	70.7	—
正己基正辛醚	n-hexyl n-octyl ether	—	167.5	—	—

续表 3

物质名称	英文名称	A1 ( $\mu\text{g/L}$ )	A2 ( $\mu\text{g/L}$ )	A3 ( $\mu\text{g/L}$ )	CK ( $\mu\text{g/L}$ )
二苯并呋喃	dibenzofuran	291.5	236.8	557.5	535.6
3,4-环氧四氢呋喃	1,2-benzenedicarboxylic acid, 1-butyl 2-(2-ethylhexyl) ester	—	605.5	422.9	410.8
2-甲基四氢呋喃	2-methoxytetrahydrofuran	32.1	—	—	—
4,6-二叔丁基间苯二酚	1,3-benzenediol, 4,6-bis(1,1-dimethylethyl)	47.7	—	—	50.6
小计		371.3	1 054.6	1 629.2	1 012.6
总计		134 655.3	127 913.8	119 612.0	106 252.7

3 结论与讨论

本试验结果表明,在花后进行疏果调控负载量有利于葡萄果实品质的提高,增加葡萄酒的糖度,从而提高酒精度,降低总酸含量。对葡萄酒的挥发性物质进行检测发现,疏果有利于葡萄果实芳香物质的积累,提高葡萄酒中的挥发性物质总量,试验中定性出的物质主要有酯类物质、醇类物质、酸类物质、烃类物质、醛酮类物质以及其他物质,其中酯类物质是赤霞珠葡萄酒中主要的香气成分,相对含量最高,占总组分 90% 以上,其他物质含量较少,但这些物质共同构成了赤霞珠葡萄酒独有的香气特点。

葡萄酒中的挥发性物质主要是由原料的质量决定的,果实的成熟度和品质都对葡萄酒的香气有影响,负载量对葡萄酒品质的影响主要通过影响果实的品质,但负载量对葡萄酒品质影响方面的观点有分歧,有前人研究证明,果实负载量的高低对于葡萄酒的感官评分影响不大,也有一些研究证明,通过疏果调控负载量所酿造的葡萄酒更加得到品评人员青睐。疏果处理可以降低树体的负载量,调整库源关系,从而影响葡萄果实香气物质的形成转化<sup>[9]</sup>,国外更多的学者研究发现,果实负载量对葡萄酒的感官香气有较大影响,如 Naor 等对不同负载量长相思果实所酿葡萄酒的感官进行评价,结果表明低负载量葡萄酒感官评价更高<sup>[10]</sup>;Diago 等的研究表明,经机械疏穗处理的“添普尼洛”葡萄所酿葡萄酒的香气更加柔和、更趋成熟水果气息<sup>[11]</sup>;Reynolds 等认为低产量雷司令葡萄所酿葡萄酒在陈酿后更富有成熟水果风味<sup>[12-13]</sup>。

疏果处理可以改变库源关系进而影响香气物质的形成,但不同疏果方式及疏果时期与葡萄果实香气形成的相互关系还需进一步研究。

参考文献:

[1] 李 华. 葡萄酒品尝学[M]. 北京:科学出版社,2006:30-43.  
[2] 陶永胜,彭传涛. 中国霞多丽干白葡萄酒香气特征与成分关联分析[J]. 农业机械学报,2012,43(3):130-139.  
[3] 彭德华,彭学峰. 论葡萄品质与葡萄酒质量的关系[J]. 葡萄栽培与酿酒,1994(3):1-5.

[4] Weaver R J, Amerine M A, Winkler A J. Preliminary report on effect of level of crop on development of color in certain red wine grapes [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1957, 8 (4): 157-166.  
[5] Antcliff A J, Webster W J, May P. Studies on the Sultana grape. VII. Comparison of crop regulation by pruning with regulation by debunching[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1961, 12(1):69-76.  
[6] Sinton T H, Ough C S, Kissler J J, et al. Grape juice indicators for prediction of potential wine quality. I. Relationships between crop level, juice and wine composition, and wine sensory ratings and scores [J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1978, 29 (4): 267-271.  
[7] Ough C S, Nagaoka R. Effect of cluster thinning and vineyard yields on grape and wine composition and wine quality of Cabernet Sauvignon[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1984, 35 (1):30-34.  
[8] 白宝璋. 植物生理生化(下)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003.  
[9] 刘品何,刘 胜,秦伟帅,等. 疏果方式对“赤霞珠”葡萄挥发性物质的影响[J]. 北方园艺,2014(9):27-32.  
[10] Naor A, Galy Y, Bravdo B. Shoot and cluster thinning influence vegetative growth, fruit yield, and wine quality of Sauvignon Blanc grapevines[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2002, 127(4):628-634.  
[11] Diago M P, Vilanova M, Blanco J A, et al. Effects of mechanical thinning on fruit and wine composition and sensory attributes of Grenache and Tempranillo varieties (Vitis vinifera L.) [J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2010, 16 (2): 314-326.  
[12] Reynolds A G, Edwards C G, Wardle D A, et al. Shoot density affects ‘Riesling’ grapevines. I. Vine performance[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1994, 119 (5): 874-880.  
[13] Reynolds A G, Edwards C G, Wardle D A, et al. Shoot density affects ‘Riesling’ grapevines. II. Wine composition and sensory response [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1994, 119(5):881-892.