

## 钾对刺葡萄光合作用的影响

周敏<sup>1,2</sup>, 曾蓓<sup>1,2</sup>, 赵玉华<sup>1,2</sup>, 白描<sup>1,2</sup>, 杨国顺<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省葡萄工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

**摘要:**以刺葡萄为材料, 设不同施钾量(0、135、270、540 g/株)研究其光合作用。结果表明: 当施钾量为 270 g/株时, 各时期刺葡萄叶片的净光合速率均较高, 着色期时达最大, 为 8.91  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; 当施钾量为 540 g/株时, 各时期刺葡萄叶片的气孔导度均较高; 当施钾量为 270 g/株时, 刺葡萄叶片的蒸腾速率在膨大期较高, 为 5.33  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; 当施钾量为 270 g/株时, 除开花期之外, 各时期刺葡萄叶片的胞间  $\text{CO}_2$  浓度均处于较低水平; 钾与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度呈极显著正相关关系; 在不同时期刺葡萄叶片的光合日变化均呈双峰曲线, 在 10:00 和 16:00 时出现峰值, 10:00 时, 膨大期、着色期和落叶期均以施钾量 540 g/株时的净光合速率最大, 分别为 6.05、7.63 和 4.75  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , 施钾量为 270 g/株时的净光合速率次之, 而开花期和成熟期分别以施钾量 135、270 g/株时的净光合速率最大, 分别为 5.31 和 5.61  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; 16:00 时, 除开花期以施钾量 540 g/株时的净光合速率最大之外, 其他时期均以施钾量 270 g/株时净光合速率达最大值, 分别为 4.26、3.61、2.87、2.30  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。综合本研究结果, 施钾量为 270 g/株时较有利于刺葡萄光合作用。

**关键词:** 刺葡萄; 钾; 光合作用

中图分类号: S663.101

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2017)02-0156-05

## Effects of potassium on the photosynthesis of *Vitis davidii* Foëx.

ZHOU Min<sup>1,2</sup>, ZENG Bei<sup>1,2</sup>, ZHAO Yuhua<sup>1,2</sup>, BAI Miao<sup>1,2</sup>, YANG Guoshun<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Engineering and Technology Research Center for Grapes, Changsha 410128, China)

**Abstract:** *Vitis davidii* Foëx. was used as material, four treatments of potassium(0, 135, 270 and 540 g/plant) were designed to study the influence of potash fertilizer on photosynthesis. Results showed that higher net photosynthetic rates were achieved at the treatment of 270 g/plant, maximum appeared in veraison period, which was 8.91  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; stomatal conductances were higher at the treatment of 540 g/plant in every period; highest transpiration rate was got in expand period at the treatment of 270 g/plant, it was 5.33  $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ; the intercellular  $\text{CO}_2$  concentrations of 270 g/plant were lower than other treatment except in bloom period. There were extremely significant positive correlations between potassium and net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance; the photosynthetic diurnal variation presented a bimodal curve in different periods, showing the peak at 10:00 and 16:00. The treatment of 540 g/plant had the highest net photosynthetic rate at expand (6.05  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ), veraison (7.63  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) and defoliation period (4.75  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) at 10:00, respectively. The treatment of 270 g/plant came second, while the treatment of 135 g/plant and 270 g/plant had the highest at bloom period(5.31  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ) and at mature period (5.61  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ), respectively. At 16:00, except the treatment of 540 g/plant had the highest net photosynthetic rate at bloom period, the treatment of 270 g/plant had the highest net photosynthetic rates at expand, expand, veraison, mature and defoliation period, which were 4.26, 3.61, 2.87 and 2.30  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , respectively. In conclusion, the application of 270 g/plant potassium is benefit for photosynthesis of *Vitis davidii* Foëx.

**Keywords:** *Vitis davidii* Foëx.; potassium; photosynthesis

刺葡萄(*Vitis davidii* Foëx.)属东亚种群,主要分布于中国湖南、江西、福建等省份。刺葡萄的适应性强,对灰霉病、炭疽病等病害有很强的抗性,是重要的野生葡萄种质资源<sup>[1]</sup>。钾作为植物营养的关键性元素,对植物的生长、光合作用的进行、同化产物的运输、植物的产量与品质均有重要的作用<sup>[2]</sup>。钾能促进气孔的开放<sup>[3]</sup>,调节气孔导度<sup>[4-5]</sup>,增加叶绿素含量,提高光合关键酶的活性<sup>[6-9]</sup>,进而增强光合作用。葡萄作为喜钾作物,对钾的需求较多,特别是在果实着色期和成熟期,适量的钾能显著促进果实上色和提高果实内在品质。研究<sup>[10]</sup>表明,在氮、磷用量一致的基础上,增施钾肥有利于‘梅鹿辄’葡萄叶片叶绿素含量的积累,从而提高叶片的光合作用;施用较高浓度的微生物钾肥能显著提高巨峰葡萄的净光合速率和气孔导度,降低胞间 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[11]</sup>。本研究中,以刺葡萄为试材,探讨不同施钾量对刺葡萄不同生理时期光合特性的影响,以期对刺葡萄钾肥的合理施用提供参考依据。

## 1 试验区概况

试验地位于湖南省长沙县干杉镇新建村,该地区年日照时数为 1 360~1 840 h,年太阳总辐射量 100~110 kcal/cm<sup>2</sup>,年均温 16~18 °C,气温稳定通过 10 °C 的持续时间 240~260 d,积温 5 100~5 600 °C,无霜期 265~310 d,常年雨日 140~180 d,降水量 1 300~1 700 mm<sup>[12]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

供试材料为湖南农业大学葡萄基地的 5 年生刺葡萄。

### 2.2 试验设计

试验于 2015 年进行。采用木箱栽培。基质河沙、蛭石和珍珠岩配比(体积比)为 1:1:1。设 4 个施钾(硫酸钾)量,分别为 0(对照)、135、270、540 g/株。其他元素施用量相同,每株分别为氮(尿素)263 g,磷(过磷酸钙)130 g,钙 221 g,镁 134 g,铁 1.20 g,锰 6.18 g,铜 0.40 g,锌 1.00 g,硼 0.33 g,钼 0.03 g。其中,氮、磷、钾 3 种肥料分 2 次施入,第 1 次用作基肥,占总量的 2/3;第 2 次用作萌芽肥,占施入总量的 1/3。其他元素作基肥 1 次

性施入。同一施钾量的刺葡萄种植在同一个木箱内,每个处理 20 株,单株重复。采用电子土壤温湿度计监测基质温湿度。整个试验期温、湿度保持在适宜水平。

### 2.3 测定指标与方法

光合参数的测定:分别在开花期、果实膨大期、着色期、成熟期及落叶期选择晴朗无风的天气,于 10:00—11:00 选取果穗对面的成熟叶片,采用 Li-6400 光合测定仪测定叶片净光合效率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )等。测定时设置光照度为 800 lx,温度为 30 °C,使用红蓝光源。

光合日变化测定:分别在开花期、果实膨大期、着色期、成熟期及落叶期 5 个时期,于晴朗无风的天气,选取果穗对面的成熟叶片,采用 Li-6400 光合测定仪,分别于 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 共 6 个时间点测定光合速率,重复 3 次。测定时设置空气流速为 500  $\mu\text{mol/s}$ ,温度为 30 °C,使用自然光源。

### 2.4 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据整理,运用 SPSS 19.0 进行数据分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 刺葡萄不同时期光合参数的变化

#### 3.1.1 净光合速率( $P_n$ )的周年变化

不同施钾量对刺葡萄叶片净光合速率的影响存在差异(表 1)。开花期,随着施钾量的增加,净光合速率升高,当施钾量为 540 g/株时,净光合速率最大,但与施钾量 270 g/株时的净光合速率差异不显著;果实膨大期,随着施钾量的增加,净光合速率先升高后降低,施钾量为 270 g/株时,净光合速率最大,为 7.04  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;着色期,各处理的净光合速率达到整个生长周期的最大值,其中,施钾量为 270 g/株时,净光合速率达到 8.9  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,分别比施钾量为 0、135、540 g/株时的净光合速率高 55.77%、7.74%和 38.57%;果实成熟期,净光合速率水平随之降低,对照仅为 2.69  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,显著低于其他处理的净光合速率;落叶期,各处理间的净光合速率无明显差异。

表1 供试刺葡萄叶片的净光合速率

Table 1 Net photosynthetic rates of tested *Vitis davidii* Foëx.

每株施钾量/g	净光合速率/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )				
	开花期	膨大期	着色期	成熟期	落叶期
0(CK)	(2.95±0.965)Bc	(3.13±0.916)Bb	(5.72±1.172)Bb	(2.69±0.337)b	4.45±0.985
135	(3.41±0.370)Bb	(3.87±0.656)Bb	(8.27±1.337)ABa	(4.22±0.688)a	4.11±0.920
270	(4.46±0.604)ABa	(7.04±0.061)Aa	(8.91±0.055)Aa	(4.46±0.934)a	4.40±1.466
540	(5.26±0.318)Aa	(6.85±0.032)Aa	(6.43±0.344)ABb	(4.60±0.540)a	4.41±0.417

同列不同小写字母表示差异显著;不同大写字母表示差异极显著。

### 3.1.2 气孔导度( $G_s$ )的周年变化

如表2所示,开花期,各处理之间气孔导度的差异无统计学意义;膨大期,各处理之间的气孔导度均存在极显著差异,以施钾量为540 g/株时的气孔导度最大,为 $0.29 \text{ mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ;着色期、成熟期,

气孔导度随施钾量的增加先升高后降低再升高,均以施钾量为135 g/株时的气孔导度最大,且与对照之间呈显著差异;落叶期,施钾量为540 g/株时的气孔导度最大,与其他处理呈极显著差异,但其他处理之间差异无统计学意义。

表2 供试刺葡萄叶片的气孔导度

Table 2 Stomatal conductances of tested *Vitis davidii* Foëx.

每株施钾量/g	气孔导度/( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )				
	开花期	膨大期	着色期	成熟期	落叶期
0(CK)	0.17±0.091	(0.26±0.002)Bb	(0.19±0.082)Bc	(0.11±0.013)Cb	(0.10±0.033)Bb
135	0.10±0.017	(0.09±0.019)Dd	(0.33±0.042)Aa	(0.20±0.029)Aa	(0.08±0.005)Bb
270	0.19±0.074	(0.14±0.001)Cc	(0.23±0.003)ABbc	(0.14±0.004)BCb	(0.13±0.042)Bb
540	0.17±0.057	(0.29±0.002)Aa	(0.29±0.007)ABab	(0.18±0.022)ABa	(0.26±0.055)Aa

同列不同小写字母表示差异显著;不同大写字母表示差异极显著。

### 3.1.3 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_i$ )的周年变化

施钾量对胞间 $\text{CO}_2$ 浓度的影响不同(表3)。开花期,对照的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最高,达 $271.67 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,施钾量为135 g/株时的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最低,为 $199.33 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,两者之间差异显著;膨大期,以对照的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最高,达 $281.67 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,施钾量为270 g/株时的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度

( $214.67 \mu\text{mol}/\text{mol}$ )最低;着色期,施钾量为135 g/株时胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最高,施钾量为540 g/株时胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最低,且两者之间存在显著差异;成熟期,仍以施钾量为135 g/株时胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最高,达 $244.67 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,施钾量为270 g/株时胞间 $\text{CO}_2$ 浓度最低,两者呈极显著差异;落叶期,各处理间胞间 $\text{CO}_2$ 浓度差异无统计学意义。

表3 供试刺葡萄叶片的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度Table 3 Intercellular  $\text{CO}_2$  concentrations of tested *Vitis davidii* Foëx.

每株施钾量/g	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )				
	开花期	膨大期	着色期	成熟期	落叶期
0(CK)	(271.67±59.408)a	(281.67±8.083)Aa	(239.67±28.042)a	(203.00±8.185)ABb	295.67±33.382
135	(199.33±14.503)b	(230.33±2.309)Cc	(250.00±8.185)a	(244.67±32.716)Aa	288.67±14.572
270	(217.67±29.670)ab	(214.67±0.577)Dd	(232.67±1.155)ab	(191.67±10.214)Bb	315.67±5.774
540	(211.33±16.921)ab	(262.33±0.577)Aa	(207.33±1.528)b	(204.33±0.577)ABb	322.00±19.079

同列不同小写字母表示差异显著;不同大写字母表示差异极显著。

### 3.1.4 蒸腾速率( $T_r$ )的周年变化

由表4可知,开花期,以施钾量为540 g/株的蒸腾速率最高,为 $4.10 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,与其他处理相比,差异达极显著水平;果实膨大期,施钾量为270 g/株时,蒸腾速率达到最大,为 $5.33 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,

对照的蒸腾速率最小,仅为 $2.52 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,且2个处理差异显著;着色期,各处理间的蒸腾速率差异无统计学意义;成熟期的蒸腾速率仍以施钾量为135 g/株时最大,显著高于对照;落叶期,施钾量为540 g/株的蒸腾速率与其他处理的差异达极显著水平,其他各处理间差异无统计学意义。

表 4 供试刺葡萄叶片的蒸腾速率

Table 4 Transpiration rates of tested *Vitis davidii* Foëx

每株施钾量/g	蒸腾速率/(mmol·(m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ))				
	开花期	膨大期	着色期	成熟期	落叶期
0(CK)	(3.44±0.017)Bb	(2.52±1.024)b	3.71±1.217	(2.52±0.176)b	(1.75±0.488)Bb
135	(1.54±0.248)Dd	(3.79±0.510)ab	4.83±0.272	(3.53±0.889)a	(1.40±0.052)Bb
270	(2.21±0.010)Cc	(5.33±1.405)a	4.02±0.040	(2.71±0.049)ab	(1.98±0.480)Bb
540	(4.10±0.010)Aa	(5.06±1.117)a	4.18±0.075	(3.03±0.301)ab	(3.35±0.485)Aa

同列不同小写字母表示差异显著；不同大写字母表示差异极显著。

3.1.5 钾与光合参数的相关性

如表 5 所示，钾与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度呈极显著正相关关系；净光合速率与蒸腾速率呈显著正相关关系，与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈极显著负相关关系；气孔导度与蒸腾速率呈极显著正相关关系。

表 5 钾与光合参数及光合参数之间的相关系数

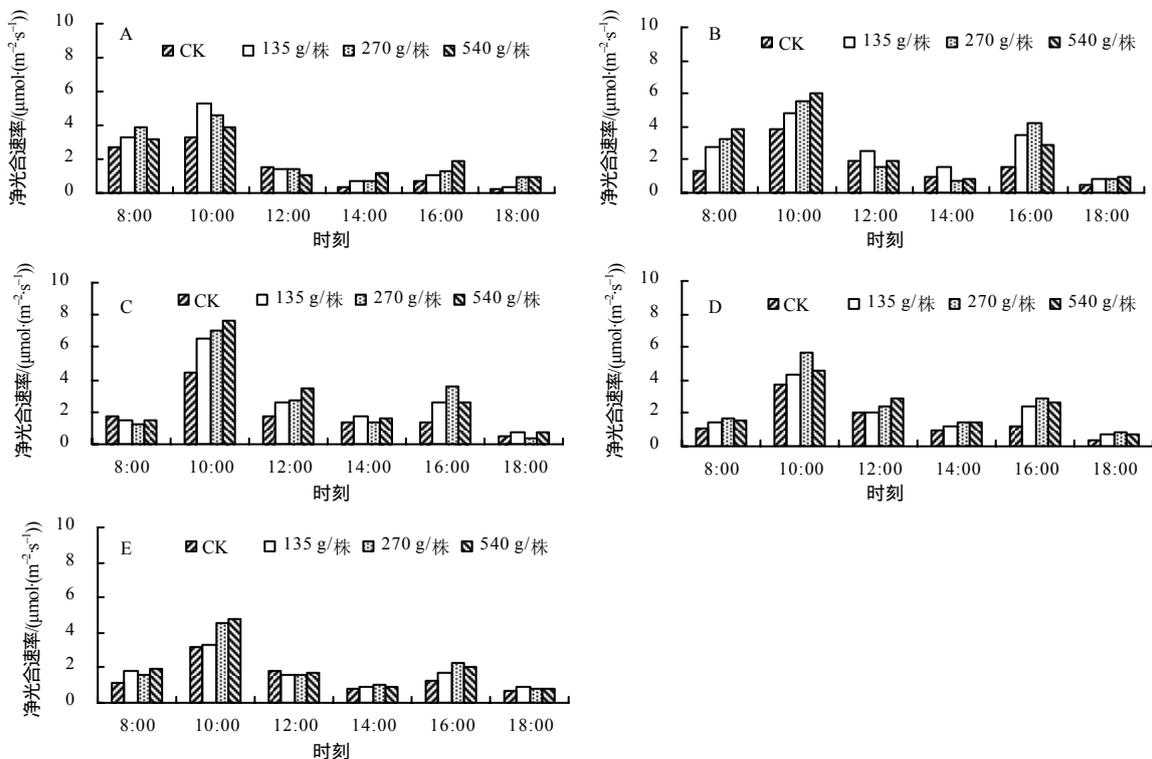
Table 5 Correlation coefficient between potassium and photosynthetic parameters

项目	钾(K)	<i>P<sub>n</sub></i>	<i>G<sub>s</sub></i>	<i>C<sub>i</sub></i>	<i>T<sub>r</sub></i>
<i>P<sub>n</sub></i>	0.741**				
<i>G<sub>s</sub></i>	0.797**	0.406			
<i>C<sub>i</sub></i>	-0.481	-0.783**	-0.094		
<i>T<sub>r</sub></i>	0.894**	0.691*	0.923**	-0.373	

“\*”和“\*\*”分别表示在 0.05 水平和 0.01 水平上差异显著。

3.2 施钾量对不同时期刺葡萄叶片光合速率日变化的影响

不同时期刺葡萄叶片的光合日变化均呈双峰曲线(图 1-A、图 1-B、图 1-C、图 1-D、图 1-E)，在 10:00 和 16:00 时出现峰值，且前者显著高于后者。10:00 时，膨大期、着色期和落叶期均以施钾量 540 g/株时净光合速率最大，分别为 6.05、7.63 和 4.75 μmol/(m<sup>2</sup>·s)，施钾量为 270 g/株时的净光合速率次之，而开花期和成熟期分别以施钾量 135、270 g/株时的净光合速率最大，分别为 5.31 和 5.61 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。16:00 时，除开花期以施钾量 540 g/株时的净光合速率最大之外，其他时期均以施钾量



A 开花期；B 膨大期；C 着色期；D 成熟期；E 落叶期。

图 1 不同时期各处理的光合速率日变化

Fig.1 Diurnal variation of photosynthesis in different period

270 g/株时的净光合速率最大,分别为 4.26、3.61、2.87、2.30  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

#### 4 结论与讨论

本研究结果表明,钾能提高刺葡萄的净光合速率,且钾与刺葡萄的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈极显著正相关关系,这与前人的研究结果一致<sup>[13-14]</sup>。刺葡萄的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率周年变化呈单峰曲线,这与前人<sup>[15-17]</sup>的研究结果一致。葡萄光合特性季节变化主要是由于葡萄在生长初期叶片组织结构发育不全,叶绿素含量水平低,导致光合功能较弱,光合速率处于较低水平。随着光合器官、叶片结构等发育完整,叶片叶绿素水平升高,光合能力增强,光合速率逐渐增大。随着叶片进入衰老期,叶片的光合速率开始逐渐降低<sup>[18-19]</sup>。葡萄的光合作用季节性变化的差异还与品种特性、气候条件、管理水平等有密切的关系。本研究结果表明,刺葡萄光合速率日变化为双峰曲线,净光合速率在 10:00 和 16:00 出现 2 个峰值,且前者高于后者,中间有光合午休现象,最低值出现在 14:00。综合本试验结果,施钾量为 270 g/株时较有利于刺葡萄光合作用。

#### 参考文献:

- [1] 石雪晖,杨国顺,熊兴耀,等.湖南省刺葡萄种质资源的研究与利用[J].湖南农业科学,2010(19):1-4.
- [2] 孙骞,杨军,张绍阳,等.钾营养与果树光合生理及果实品质关系研究进展[J].广东农业科学,2007(12):126-129.
- [3] 曹冬梅,王云山,康黎芳,等.根外施钾对苹果树光合速率的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(1):80-82.
- [4] 许大全.光合作用测定及研究中一些值得注意的问题[J].植物生理学通讯,2006,42(6):1163-1167.
- [5] WANG Z, CHEN L, AI J, et al. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape (*Vitis amurensis* Rupr.) [J]. Photosynthetica, 2012, 50(2): 189-196.
- [6] 郑炳松,程晓建.钾元素对植物光合速率, Rubisco 和

RCA 的影响[J].浙江林学院学报,2002,19(1):104-108.

- [7] 董华芳,张旭东,刘永碧,等.不同葡萄品种光合特性研究[J].西昌学院学报(自然科学版),2015,29(1):11-13.
- [8] MEDRANO H, ESCALONA J M, CIFRE J, et al. A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(6): 607-619.
- [9] KILMER V J, YOUNTS S, BRADY N C, et al. The role of potassium in agriculture [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1968.
- [10] 张晓娟,吴旭东,郭洁,等.贺兰山东麓风沙土酿酒葡萄钾肥效应[J].西北农业学报,2013,22(8):144-150.
- [11] 张朝轩,杨天仪,骆军,等.微生物钾肥对土壤理化性状和葡萄光合作用及果实品质的影响[J].上海农业学报,2010,26(2):70-73.
- [12] 周敏.葡萄施肥与负载量对其产量与品质的影响研究[D].长沙:湖南农业大学,2012.
- [13] 孟显华,符云鹏,刘明,等.氮和钾施用量对烟草光合特性的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2009,35(3):260-263.
- [14] 郑传刚,吴昊,余祥文,等.钾肥调控对烤烟光合作用和产量及品质的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(6):621-626.
- [15] 温商霖,刘英军.葡萄田间光合作用的研究[J].园艺学报,1989,16(3):168-172.
- [16] 王春清,祖容,张贤泽.葡萄幼树若干光合特性的研究[J].园艺学报,1989,16(4):279-285.
- [17] 房林,张振文,贾媛媛,等.赤霞珠葡萄光合生理生态特性的研究[J].北方园艺,2010(19):8-12.
- [18] DRING H, DAVTYAN A. Developmental changes of primary processes of photosynthesis in sun- and shade-adapted berries of two grapevine cultivars[J]. Vitis Journal of Grapevine Research, 2015, 41(2): 63-68.
- [19] KRIEDEMANN P, KLIEWER W, HARRIS J. Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L. [J]. Vitis, 1970, 9(2): 97-104.

责任编辑:尹小红

英文编辑:梁和