

制汁葡萄品种光合特性研究

高奇超, 张朝红, 王跃进, 冢华

(西北农林科技大学 园艺学院, 农业部西北园艺植物种质资源利用重点开放实验室, 陕西省农业分子生物学重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在田间条件下, 采用 LI-6400 便携式光合测定系统, 对制汁葡萄品种卡托巴、康可和黄金玫瑰的主要光合指标进行测定, 并调查其生物学特性。结果表明: 制汁葡萄光补偿点在 $23.9 \sim 42.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 光饱和点在 $1\ 575.0 \sim 1\ 642.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; CO_2 补偿点在 $65.1 \sim 74.3 \mu\text{mol}/\text{mol}$; CO_2 饱和点在 $897.5 \sim 1\ 061.7 \mu\text{mol}/\text{mol}$; 表观量子效率在 $0.036 \sim 0.044 \mu\text{mol}/\text{mol}$; 羧化效率在 $0.067 \sim 0.095 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 个制汁葡萄品种中, 黄金玫瑰对强光和弱光的利用能力均较强, RuBP 最大再生速率显著高于康可和卡托巴, 并且具有较强的耐旱力和较高的产量, 表现出了较强的光合能力和适应性。

关键词: 制汁葡萄; 生物学性状; 光合特性

中图分类号: S 663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)06-0001-04

葡萄汁酸甜宜人, 营养丰富, 常饮不但可以美容养颜, 还有利于心脑血管健康。优质制汁葡萄品种是生产高档葡萄汁的基础, 随着人们对高品质葡萄汁需求量的增多, 国内外学者加大了对制汁葡萄品种的研究。

葡萄的光合能力既受环境条件的影响, 也受遗传因素(品种特性)的制约, 在环境条件相同的情况下, 品种特性是决定光合能力差异的主要原因。因此, 葡萄的光合生理特性是评价其生产力和引种适应性的重要指标。

目前, 国内外的研究多集中于鲜食和酿酒葡萄的光合特性方面^[1-3], 而对制汁葡萄光合特性的研究报道较少。该研究以 3 个制汁葡萄品种为材料, 通过测定净光合速率、光饱和点、 CO_2 补偿点等光合指标, 旨在探索制汁葡萄的光合作用特点和不同品种的光合效能差异, 加深对其农艺性状及生理特性的系统认识, 以期为品种评价、选育和栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为从美国引进的制汁葡萄品种卡托巴(Catawba)、康可(Concord)和黄金玫瑰(Golden Muscat), 3 个品种均在自然条件下生长, 栽培管理水平一致^[4]。

1.2 试验方法

第一作者简介: 高奇超(1987-), 女, 在读硕士, 研究方向为果树育种与生物技术。E-mail: gaoqichao@y.ahoo.com.cn.

通讯作者: 王跃进(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事葡萄种质资源与生物技术育种研究工作。E-mail: yuejinwang@263.net.

基金项目: 农业部“948”资助项目(2005-Z40; 2006-G26); 现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(CNycyt-x-30-zp-06)。

收稿日期: 2011-01-11

试验于 2010 年 6 月中旬在西北农林科技大学葡萄种质资源圃进行。每品种选生长势基本一致的 3 株植株, 每株选 5 个长势相近的双穗果枝, 在此基础上, 选取第 5 节位、无病虫害的向阳功能叶共 10~15 片。

1.3 生物学性状调查

参照《葡萄种质资源描述规范和数据标准》^[5], 在植株进入正常结果期后, 仔细观察, 记载其物候期并调查其结实力。

1.4 光合指标测定

采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统(由西北农林科技大学园艺学院提供), 选择晴天上午 9:00~11:30, 在露地条件下, 参照惠竹梅等^[3]的方法, 测定所选活体葡萄叶片的光合作用基本参数(10 次重复, 取平均值)、光响应曲线(3 次重复, 取平均值)和 CO_2 响应曲线(3 次重复, 取平均值)。其中光合基本参数的测定项目包括净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度及水分利用效率; 测定光响应曲线时设定的光合有效辐射梯度为 2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、500、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 测定 CO_2 响应曲线时设定的 CO_2 浓度梯度为 1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、120、100、80、50 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.5 统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 处理数据, 并利用 SAS 分析软件对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 生物学性状调查

卡托巴、康可和黄金玫瑰在陕西杨凌生长良好, 均于 3 月下旬开始萌芽, 至 9 月中旬果实成熟, 生长期为 169~178 d, 均属于晚熟品种^[6]。结实力的调查结果显

表 1 制汁葡萄品种生物学性状调查(2010 年)

Table 1 Observation of the biological characteristics of juicing grapes in 2010

品种 Cultivar	物候期/月.日 Phenophase/ M. D				结实力 Fecundity			
	萌芽始期 Beginning date of bud burst	开花始期 Beginning date of flowering	浆果始熟期 Beginning date of ripening	浆果生理完熟期 Date of berry ripe	萌芽率 Percentage of bud burst/ %	结果枝百分率 Percentage of bearing shoots/ %	结果系数 Cluster number per bearing shoot	平均单株产量 Mean production per tree/ kg
卡托巴 Catawba	3.29	5.14	8.9	9.14	79.6	81.0	1.9	5.9
康可 Concord	3.25	5.12	8.5	9.13	75.2	97.4	2.9	4.6
黄金玫瑰 Golden Muscat	3.23	5.21	8.12	9.17	63.6	93.7	1.8	6.2

示, 卡托巴的萌芽率最高, 达到 79.6%; 康可的结果枝百分率和结果系数最高, 分别达 97.4% 和 2.9 个; 黄金玫瑰的平均单株产量最高, 达到 6.2 kg(表 1), 由此可知这 3 个制汁葡萄品种均具有较高的结实力。

2.2 光合基本参数比较

净光合速率是以光合作用实际利用的 CO₂ 量减去呼吸作用释放的 CO₂ 量之差值。由表 2 可知, 黄金玫瑰的净光合速率最大(20.83 μmol · m⁻² · s⁻¹), 分别比康可和卡托巴高 37.4% 和 29.1%。气孔是 CO₂ 进入植物体、水蒸气逸出植物体的通道, 康可、卡托巴、黄金玫瑰的

气孔导度依次增大, 与之相对应, 蒸腾速率也依次增大。3 个品种中, 卡托巴的细胞间隙 CO₂ 浓度最大, 为 288.51 μmol/mol; 康可的细胞间隙 CO₂ 浓度最小, 为 268.98 μmol/mol, 二者之间相差 19.53 μmol/mol, 差异显著。康可的水分利用效率略低于卡托巴, 但二者之间没有显著性差异, 而黄金玫瑰的水分利用效率显著高于前二者。在相同的环境条件下, 水分利用效率的值越大, 说明固定单位质量 CO₂ 所需的水分越少, 即植物耐旱能力越强^[7], 由此可知黄金玫瑰的耐旱力相对较强。

表 2 制汁葡萄品种光合基本参数比较

Table 2 Comparisons of the basic photosynthetic parameters of juicing grapes

品种 Cultivar	净光合速率 Net photosynthetic rate / μmol · m ⁻² · s ⁻¹	胞间 CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂ concentration / μmol · mol ⁻¹	气孔导度 Stomatal conductance / mol · m ⁻² · s ⁻¹	蒸腾速率 Transpiration rate / mmol · m ⁻² · s ⁻¹	水分利用效率 Water use efficiency / μmol · mmol ⁻¹
卡托巴 Catawba	16.14 ± 1.58b	288.51 ± 10.37a	0.40 ± 0.04b	9.09 ± 0.44b	1.78 ± 0.15b
康可 Concord	15.16 ± 2.48b	268.98 ± 22.51b	0.32 ± 0.11c	8.90 ± 1.71b	1.72 ± 0.21b
黄金玫瑰 Golden Muscat	20.83 ± 1.38a	282.52 ± 7.48ab	0.55 ± 0.06a	10.22 ± 0.70a	2.05 ± 0.17a

注: 数值 = 平均值 ± 标准差, 同一列不同字母表示差异显著 (P < 0.05), 下同。

Note: Value = mean ± SD, values within the same column with different letters are significantly different at P < 0.05. They are the same in the following tables.

2.3 光响应曲线测定

不同制汁葡萄品种的光响应曲线反映了各自净光合速率随着光合有效辐射的改变的变化规律。由图 1(A) 可知, 这种变化规律在 3 个品种间具有共同性, 在低光合有效辐射内, 叶片净光合速率随着光合有效辐射的增加而快速增加; 在高光合有效辐射下, 不同制汁葡萄品种的净光合速率的增幅均减弱并趋于平缓。该研究利用二元回归模拟了卡托巴、康可和黄金玫瑰的光响应曲线, 各拟合方程的决定系数分别为 0.972、0.982、0.965, 拟合程度均达到显著水平, 说明拟合结果能够反映实际情况。

表观量子效率反映了植物对弱光的利用效率, 由于在一个作物群体中并不是所有叶片都处于强光下, 所以

弱光下的高量子效率对于作物群体的高产是很重要的。从表 3 可知, 3 个制汁葡萄品种的表现量子效率从大到小依次为黄金玫瑰、卡托巴、康可; 光饱和点和光补偿点分别代表了植物对光合有效辐射需求的上限和下限, 一般来说, 光饱和点高的植物利用强光的能力更大, 当受到强光刺激时不易发生光抑制; 光补偿点低的植物利用弱光的能力相对强, 能在有限的光照条件下进行最大限度的光合作用^[8], 该研究中, 康可的光补偿点显著高于其它 2 个品种, 说明其耐阴性相对较差, 黄金玫瑰具有较低的光补偿点和较高的光饱和点, 且其最大净光合速率最大, 说明它对环境的适应性更强。

表 3 制汁葡萄品种光响应曲线参数比较

Table 3 Comparisons of the parameters of light response curve of juicing grapes

品种 Cultivar	表观量子效率 Apparent quantum yield / mol · mol ⁻¹	光补偿点 Light compensation point / μmol · m ⁻² · s ⁻¹	光饱和点 Light saturation point / μmol · m ⁻² · s ⁻¹	最大净光合速率 Maximum net photosynthetic rate / μmol · m ⁻² · s ⁻¹	决定系数 Determination coefficient
卡托巴 Catawba	0.042 ± 0.004a	27.0 ± 3.2b	1 642.9 ± 30.6a	19.5 ± 2.9a	R ² = 0.972
康可 Concord	0.036 ± 0.002a	42.2 ± 0.2a	1 575.0 ± 20.8a	19.0 ± 1.5a	R ² = 0.982
黄金玫瑰 Golden Muscat	0.044 ± 0.004a	23.9 ± 1.3b	1 637.5 ± 61.6a	21.7 ± 3.4a	R ² = 0.965

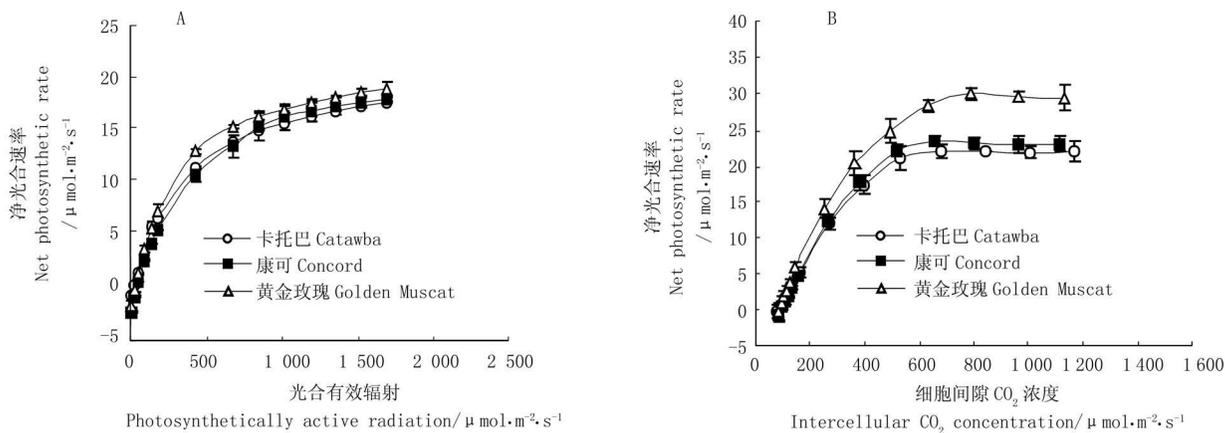


图1 制汁葡萄品种光响应曲线(A)和 CO₂ 响应曲线(B)

Fig. 1 PAR(A) and Ci(B) response curves of juicing grapes

2.4 CO₂ 响应曲线测定

CO₂ 是光合作用的原料,但在光合作用过程中,植物并非直接利用大气中的 CO₂,而是同化通过叶片表面气孔进入到细胞间隙中的 CO₂,由图 1(B)可知,在各自的饱和和光强下,不同制汁葡萄品种的 CO₂ 响应曲线可以分为明显不同的三个阶段,第一阶段(胞间 CO₂ 浓度在 50~200 μmol/mol),随胞间 CO₂ 浓度的增加净光合速率骤然上升,几乎呈直线上升趋势;第二阶段(胞间 CO₂ 浓度在 200~800 μmol/mol),3 个品种的净光合速率随着胞间 CO₂ 浓度的增加而曲线式的增高;第三阶段(胞间 CO₂ 浓度在 800~1 400 μmol/mol),净光合速率不再随胞间 CO₂ 浓度的增加而升高,即达到了饱和阶段。该研究利用二元回归模拟了卡托巴、康可和黄金玫瑰的 CO₂ 响应曲线,各拟合方程的决定系数分别为 0.985、0.988、0.994,拟合

程度均达到显著水平,说明拟合结果能够反映实际情况。

羧化效率是叶片中活化的碳同化关键酶 Rubisco 量多少的指标,其值受 Rubisco 活性和量的限制,值越大则 Rubisco 的羧化效率越高,即在较低的 CO₂ 浓度时就有较高的净光合速率,从表 4 可知,3 个品种的羧化效率差异不显著,其值在 0.067~0.095 mol·m⁻²·s⁻¹ 之间;卡托巴具有较高的 CO₂ 饱和点(1 061.7 μmol/mol)和较低的 CO₂ 补偿点(68.2 μmol/mol),说明其对高 CO₂ 浓度和低 CO₂ 浓度的适应能力均较强;RuBP 最大再生速率是光照和 CO₂ 均饱和时的净光合速率,反映了光合电子传递和光合磷酸化的活性,从试验结果可知,黄金玫瑰的 RuBP 最大再生速率显著高于卡托巴和康可,后二者之间没有显著性差异。

表 4 制汁葡萄品种 CO₂ 响应曲线参数比较

Table 4 Comparisons of the parameters of CO₂ response curve of juicing grapes

品种 Cultivar	羧化效率 Carboxylation efficiency / mol·m ⁻² ·s ⁻¹	CO ₂ 补偿点 CO ₂ compensation point / μmol·mol ⁻¹	CO ₂ 饱和点 CO ₂ saturation point / μmol·mol ⁻¹	RuBP 最大再生速率 Maximum regeneration rate of RuBP / μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	决定系数 Determination coefficient
卡托巴 Catawba	0.067 ± 0.019a	68.2 ± 9.9a	1 061.7 ± 138.3a	30.3 ± 3.2b	0.985
康可 Concord	0.072 ± 0.015a	74.3 ± 7.3a	897.5 ± 80.7a	27.6 ± 2.8b	0.988
黄金玫瑰 Golden Muscat	0.095 ± 0.026a	65.1 ± 15.1a	1 015.0 ± 42.6a	37.0 ± 4.4a	0.994

3 讨论与结论

葡萄是典型的喜光树种,在光照充足的条件下,植株生长健壮,叶片厚而色浓;光照不足时,枝条不能充分成熟,果实品质也会受到影响^[9]。

葡萄净光合速率对光合有效辐射的响应与其生理活性密切相关,该研究结果表明,制汁葡萄表观量子效率在 0.036~0.044 mol/mol 之间;最大净光合速率在 19.0~21.7 μmol·m⁻²·s⁻¹ 之间;光补偿点在 23.9~42.2 μmol·m⁻²·s⁻¹ 之间;光饱和点在 1 575.0~1 642.9 μmol·m⁻²·s⁻¹ 之间,与张振文等^[10]的研究结果基本一致。张东华^[11]对康可在沈阳地区的光合特性进行了研究,结果显

示,康可的光补偿点为 108.0 μmol·m⁻²·s⁻¹,高于该研究测定结果(42.2 μmol·m⁻²·s⁻¹);康可的光饱和点为 1 365.0 μmol·m⁻²·s⁻¹,低于该研究测定结果(1 575.0 μmol·m⁻²·s⁻¹),究其原因,可能是由于测定时间和地点的不同,外界条件如 CO₂ 浓度不同(当 CO₂ 浓度增高时,光补偿点会降低,光饱和点会升高)导致的^[12-14]。

Bowes^[13]和 Robert^[14]的研究表明,CO₂ 浓度的增加提高了空气中 CO₂ 与 O₂ 的比值,进而竞争性的抑制双功能酶 Rubisco 的加氧活性,从而抑制了使净光合速率明显降低的光呼吸,最终提高了净光合速率。但净光合速率并不随 CO₂ 浓度的增加而无限的升高,葡萄也有

CO₂ 补偿点和饱和点的问题, 该研究的 3 个制汁葡萄品种的 CO₂ 补偿点在 65.1~74.3 μmol/mol; CO₂ 饱和点在 897.5~1 061.7 μmol/mol。朱林等^[7] 的研究表明, 中国野生种毛葡萄的 CO₂ 补偿点为 97.0 μmol/mol, CO₂ 饱和点为 814.0 μmol/mol, 由此可知, 与毛葡萄相比, 制汁葡萄对 CO₂ 的适应范围更宽。

光合作用是葡萄的重要生理过程, 通过测定光响应曲线、CO₂ 响应曲线等得到的各项光合指标是葡萄生理生态学研究的基础, 它们可以反映出各品种对环境的适应性状况。从测定结果可以看出, 黄金玫瑰的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、水分利用效率及 RuBP 最大再生速率均显著高于卡托巴和康可, 且黄金玫瑰的表观量子效率和羧化效率也较高, 表现出了较强的光合能力, 这与其连续 2 a 都获得较高的产量相一致^[8], 说明在杨凌地区, 相同的栽培管理方式下, 与卡托巴和康可相比, 黄金玫瑰的光合特性更好, 适应性更强。

参考文献

- [1] Hendrickson L, Ball M C, Wood J T, et al. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2004, 27: 795-809.
- [2] Moutinho-Pereira J M, Correia C M, Goncalves B M, et al. Leaf gas exchange and water relations of grapevines grown in three different conditions[J]. *Photosynthetica*, 2004, 42(1): 81-86.
- [3] 惠竹梅, 焦旭亮, 张振文, 渭北旱塬 赤霞珠 葡萄浆果膨大期光合特性研究[J]. *西北农林科技大学学报*, 2008, 36(4): 111-122.
- [4] 陆平波, 高奇超, 王跃进, 等. 美国优质抗病制汁葡萄品种引种及加工性能研究试验初报[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 245-249.

- [5] 刘崇怀, 沈育杰, 陈俊, 等. 葡萄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006, 11-49.
- [6] 孔庆山. 中国葡萄志[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004, 123.
- [7] Ueda Y, Nishihara S, Tomita H, et al. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bracteata* and *Rosa rugosa* to temperature and light[J]. *Scientia Horticulturae*, 2000, 84: 365-371.
- [8] 曹晓娟, 刘建军, 杨梅, 太白山 5 种杜鹃属植物叶片光合特性及解剖结构的生态适应性研究[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(12): 2483-2491.
- [9] 赵胜建. 葡萄精细管理十二个月[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009, 47-52.
- [10] 张振文, 张保玉, 董海峰, 等. 葡萄开花期光合作用光补偿点和光饱和点的研究[J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(1): 24-29.
- [11] 张东华. 四个葡萄品种光合特性的比较研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006, 22-24.
- [12] Kriedemann P E, Smart R E. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves[J]. *Photosynthetica*, 1971(5): 6-15.
- [13] Liao J X, Ge Y, Guan B H, et al. Photosynthetic characteristics and growth of *Mosla hangchowensis* and *M. dianthera* under different irradiances[J]. *Biology Plant*, 2006, 50: 737-740.
- [14] 种培芳, 陈年来. 光照强度对园艺植物光合作用影响的研究进展[J]. *甘肃农业大学学报*, 2008, 43(3): 104-109.
- [15] Bowes G. Growth at elevated CO₂: photosynthetic responses mediated through Rubisco[J]. *Plant, Cell and Environment*, 1991, 14(8): 795-806.
- [16] Robert J S, Michael E S. RUBISCO: Structure, Regulatory Interactions and Possibilities for a Better Enzyme[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2002, 53: 449-475.
- [17] 朱林, 温秀云, 李文武. 中国野生种毛葡萄光合特性的研究[J]. *园艺学报*, 1994, 21(1): 31-34.

Study on Photosynthetic Characteristics of Juicing Grapes

GAO Qi-chao, ZHANG Chao-hong, WANG Yue-jin, DING Jia-hua

(College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Key Laboratory of Horticultural Plant Germplasm Resources Utilization in Northwest China Ministry of Agriculture of China, Key Laboratory of Molecular Biology of Agriculture of Shaanxi, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The main photosynthetic parameters of Catawba, Concord and Golden Muscat were studied with LI-6400 portable photosynthesis system under field condition, including observation of their biological characteristics. The results showed that light compensation point of juicing grapes was between 23.9 and 42.2 μmol · m⁻² · s⁻¹; light saturation point was between 1 575.0 and 1 642.9 μmol · m⁻² · s⁻¹; CO₂ compensation point was between 65.1 and 74.3 μmol/mol; CO₂ saturation point was between 897.5 and 1 061.7 μmol/mol; apparent quantum yield was between 0.036 and 0.044 mol/mol; carboxylation efficiency was between 0.067 and 0.095 mol · m⁻² · s⁻¹. In the aspect of maximum regeneration rate of RuBP, Golden Muscat was remarkably higher than Catawba and Concord, besides, Golden Muscat had higher light utilization efficiency, drought tolerance and yield. Among the three juicing grapes, Golden Muscat shows higher photosynthetic capacity and stronger adaptation to the environment.

Key words: juicing grapes; biological characteristics; photosynthetic characteristics