

基于光合特性的8个葡萄品种耐弱光、抗高温特点比较

娄玉穗¹, 尚泓泉¹, 吕中伟^{1*}, 李 政², 张晓锋¹, 王 鹏¹, 吴文莹¹

(¹河南省农业科学院园艺研究所, 郑州 450002; ²河南中远葡萄研究所有限公司, 郑州 450045)

摘 要:【目的】探明不同葡萄品种的耐弱光、抗高温特点, 为选择其合适的栽培模式提供理论支持。【方法】以1年生阳光玫瑰、瑞都红玉、浪漫红颜等8个品种的葡萄植株为试验材料, 利用便携式光合速率测定仪测定不同品种成熟叶片的光响应曲线及在大棚自然条件、大棚遮阴条件和大棚高温条件下的净光合速率(P_n)日变化。【结果】8个葡萄品种的 P_n 随光量子通量密度的增强表现出先升高后趋于稳定的变化趋势, 由光响应曲线计算得到的光补偿点(LCP)、暗呼吸速率(R_d)、表观量子效率(AQY)、光饱和点(LSP)和最大净光合速率(P_m)能够较好地反映不同葡萄品种在弱光和强光条件下的 P_n 。金手指、瑞都红玉、甜蜜蓝宝石的耐弱光能力和在遮阴条件下的 P_n 均较高, 最大 P_n 分别达到15.2、14.4、12.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。不同品种的 P_m 与日 P_n 最大值高低顺序基本一致, 甜蜜蓝宝石、金手指的日 P_n 最大值较高, 分别达到15.9、15.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。巨玫瑰、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜的LSP较高, 均大于1300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在大棚高温条件下, 金手指、蜜光、瑞都红玉的 P_n 较高, 巨玫瑰、阳光玫瑰、夏黑、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜的 P_n 显著降低。【结论】金手指、瑞都红玉具有较强的耐弱光能力和抗高温能力, 适合各种模式设施栽培; 甜蜜蓝宝石具有较强的耐弱光能力, 但抗高温能力较差, 适合促早和延迟栽培; 蜜光具有中等的耐弱光能力和较强的抗高温能力, 适合避雨栽培; 夏黑、阳光玫瑰具有中等的耐弱光能力和较差的抗高温能力, 适合促早栽培; 浪漫红颜、巨玫瑰的耐弱光和抗高温能力均较差, 不适合设施栽培。

关键词: 葡萄; 光合特性; 光补偿点; 光饱和点; 耐弱光; 抗高温

中图分类号: S663.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)09-1491-12

Comparison of low light tolerance and high temperature resistance among eight grape cultivars based on analysis of photosynthetic characteristics

LOU Yusui¹, SHANG Hongquan¹, LÜ Zhongwei^{1*}, LI Zheng², ZHANG Xiaofeng¹, WANG Peng¹, WU Wenying¹

(¹Horticulture Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China; ²Henan Zhongyuan Grape Research Institute Company Limited, Zhengzhou 450045, Henan, China)

Abstract: 【Objective】Protected cultivation is an important cultivation mode in grape production. Poor light and high temperature stresses are two urgent problems to be solved in protected cultivation. Photosynthesis is a very important metabolic process in plants, which can be used as an index to judge plant growth and stress resistance. In order to provide theoretical support for selection of suitable cultivation modes for different grape varieties, photosynthetic characteristics of eight cultivars were studied to evaluate their low light tolerance and high temperature resistance. 【Methods】One-year-old grapevines of Shine Muscat, Summer Black, Ruiduhongyu, Miguang, Wagamichi, Sweet Sapphire, Gold Finger, and Jumeigui planted in pots were used as the experimental materials. After the plants was above one meter in height, the mature leaves in the middle of shoots were selected to determine the light response curve,

收稿日期: 2021-02-01

接受日期: 2021-05-04

基金项目: 河南省农业科学院科技发展专项资金项目(2020CY017); 河南省科技攻关项目(212102110125); 河南省农业科学院自主创新项目(2021ZC21); 国家葡萄产业技术体系豫东综合试验站项目(CARS-29-18)

作者简介: 娄玉穗, 女, 助理研究员, 博士, 主要从事葡萄栽培生理研究。Tel: 0371-65751366, E-mail: yusui86@126.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65751366, E-mail: nkylzw@126.com

and diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) under natural, shade or high temperature conditions in single-span greenhouse using a portable photosynthesis system on sunny days. The light compensation point (LCP), dark respiration rate (R_d), apparent quantum efficiency (AQY), light saturation point (LSP) and maximum net photosynthetic rate (P_m) were calculated through a hyperbolic modified model from the light response curves. Meanwhile, the light intensity and air temperature were recorded with a portable HOBO recorder. **【Results】**The net photosynthetic rate of the eight grape varieties increased first and then tended to be stable with the increasing of the photon flux density (PFD). Different grape varieties showed different P_n under the same PFD . The LCP , R_d , AQY , LSP and P_m could be good indicators to reflect photosynthetic performance of different grape varieties under low light and high light intensities. The LCP of Jumeigui was the highest of all, which was $58.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The LCP s of Wagamichi, Summer Black, Shine Muscat and Ruiduhongyu were medium. Miguang, Sweet Sapphire and Gold Finger had lower LCP s than the other varieties, which ranged from $29.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $35.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. The R_d ranged from $1.60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $2.02 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in the eight grape varieties. Those of Wagamichi, Jumeigui, Shine Muscat, Summer Black and Miguang were higher than the other grape varieties, and Gold Finger had the lowest R_d . The AQY of Sweet Sapphire, Gold Finger, Miguang and Shine Muscat was higher than the other varieties, which was above 0.050; that of Wagamichi, Summer Black and Ruiduhongyu was medium; and Jumeigui had the lowest AQY , which was 0.038. There was a significant positive correlation between LCP and R_d , and an extremely significant negative correlation between LCP and AQY . Under shade condition, the P_n of Wagamichi and Jumeigui were lower than that of the other varieties, and Gold Finger and Ruiduhongyu had the highest P_n among the tested varieties, which was consistent with the results of the LCP for most of the varieties. The LSP of Jumeigui was the highest, which was $1\,409.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. LSP of Summer Black and Ruiduhongyu was lower than that of the other varieties, which had a LSP below $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Different grape varieties had different P_m . The P_m of Sweet Sapphire and Wagamichi, which was $15.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $14.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively, was higher than that of the other varieties. P_m of Ruiduhongyu, Shine Muscat, Jumeigui and Summer Black was lower than the other varieties. The daily maximum P_n of Sweet Sapphire and Gold Finger was the highest, which was $15.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and $15.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The daily maximum P_n of Miguang, Ruiduhongyu and Wagamichi was medium, and that of Summer Black, Shine Muscat and Jumeigui were the lowest, below $12.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. P_n was generally consistent with P_m for most of the varieties. Under high temperature conditions in the greenhouse, the P_n of Gold Finger, Miguang and Ruiduhongyu were higher than that in the open field at most of the time points, while the P_n of Jumeigui, Shine Muscat, Summer Black, Sweet sapphire and Wagamichi in the greenhouse were lower than that in the open field at most of the time points. **【Conclusion】**Gold Finger and Ruiduhongyu have good low light tolerance and high temperature resistance and are suitable for protected cultivation. Sweet Sapphire has good low light tolerance, but poor high temperature resistance, and is suitable for early and delayed protected cultivation. Miguang has medium low light tolerance and good high temperature resistance, and is suitable for rain-shelter cultivation. Summer Black and Shine Muscat have medium low light tolerance and poor high temperature resistance, which are suitable for early protected cultivation. Wagamichi and Jumeigui have poor low light tolerance and high temperature resistance, and are not suitable for protected cultivation.

Key words: Grape; Photosynthetic characteristics; Light compensation point; Light saturation point; Low light tolerance; High temperature resistance

设施栽培作为现代农业生产的主要模式之一,具有早春促早、秋后延迟果实成熟、避雨减少病虫害发生、提高商品果率等优点,已经成为葡萄优质高效生产的重要模式^[1-3],尤其是在我国南方地区,避雨栽培可以有效解决葡萄生长期由于降水较多造成的病害严重问题,成为我国南方葡萄大面积发展的关键^[4]。近年来,随着人民生活水平的提高,消费者对葡萄品质的要求越来越高,北方葡萄产区的设施栽培模式也由原来的温室促早和延迟栽培扩展了避雨栽培^[5],尤其是在新建果园和老果园改造中,设施栽培成为主要模式。

设施栽培通过塑料薄膜覆盖达到保温、避雨目的,然而设施内环境受多膜覆盖、薄膜老化、灰尘黏附等因素影响,常常出现弱光环境^[6-7],尤其是在早春和秋冬季节,影响葡萄植株生长和花芽分化^[8-9]。另外,夏季薄膜覆盖提高了设施内的温度,导致叶片光合作用的停止和叶片老化的加速^[10]。因此,弱光、高温逆境胁迫是葡萄设施栽培亟待解决的问题。

光合作用是葡萄的重要生理过程,直接影响果实产量和品质,受光照、温度、湿度等环境因素和自身特性的影响。通过光响应曲线得到的光合参数经常用来反映不同品种对环境的适应性^[11-13],如光补偿点通常用来反映不同品种对弱光的适应能力,光饱和点用来反映不同品种对强光的适应能力,这些指标对于不同品种选择合适的栽培模式具有一定的指导意义。然而关于通过光响应曲线获得耐阴、高光效葡萄品种在设施栽培条件下的光合表现目前还未见报道。

目前,我国主栽的葡萄品种主要从日本、美国引进,从巨峰、红地球到夏黑、阳光玫瑰,加上近年来的浪漫红颜、甜蜜蓝宝石等,在个别葡萄产区有一定面积的推广种植。近年来,我国自育葡萄品种也不断出现,从巨玫瑰、醉金香到近年来的瑞都红玉、无核翠宝和蜜光等。针对这些品种的光合特性研究报道较少,因此,研究这些品种的光合特性对其推广和栽培模式的选择具有重要指导意义。

笔者在本研究中选用近年来从国外引进和国内自育的8个葡萄品种为材料,通过测定其光响应曲线获得其光补偿点、光饱和点、最大净光合速率等参数,与在大棚自然条件、大棚遮阴条件和大棚高温条件下的净光合速率相比较,全面探索其耐弱光、抗高温特点,为选择其合适的栽培模式提供理论支持。

1 材料和方法

1.1 材料

本试验于2020年在河南现代农业研究开发基地(35.0°N、113.7°E)进行,该场地属于大陆性季风气候,年平均气温14.3℃,年平均降雨量638 mm,无霜期223 d,全年日照时间约2400 h。

2020年3月19日,将1 a生阳光玫瑰、夏黑、浪漫红颜、甜蜜蓝宝石、蜜光、瑞都红玉、金手指、巨玫瑰葡萄品种的自根苗木定植于体积为22 L的花盆中(上口口径38 cm、下口径24 cm、高30 cm),每个品种定植10株,花盆底部留有3个直径为1 cm的排水孔,栽培基质为 $V_{\text{园土}}:V_{\text{有机肥}}:V_{\text{珍珠岩}}=3:1:1$,苗木定植后放置在8 m宽×32 m长的单栋大棚中(规格:肩高3 m,顶高5 m,0.12 mm厚的PEP利得膜)。肥水管理按照常规方法进行^[14]。发芽后,每株选留1个长势良好的新梢用尼龙绳牵引垂直向上生长,叶腋处的副梢均留一片叶摘心,其他新梢留2~3枚叶片摘心备用。

1.2 方法

1.2.1 光响应曲线的测定 在所有葡萄品种新梢长度达到1 m后,选择无雨的晴天(6月24日,6月29日,7月7—8日)于上午8:00—12:00在单栋大棚内使用便携式光合作用测定仪(CIRAS-3, PP Systems, USA)测定不同葡萄品种新梢中部成熟叶片的净光合速率等参数,测定过程中使用光合仪的LED光源,光强Q值设置为2000、1800、1600、1400、1200、1000、800、600、500、400、300、200、100、50、0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 供应使用钢瓶,设置浓度为400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,数值稳定后自动记录光合参数,每个品种3次重复(3株),测定位置为叶片中部并避开叶片的主脉。

1.2.2 单栋大棚自然条件下净光合速率日变化的测定 在新梢快速生长期(6月25日),选择无雨的晴天于6:00—18:00使用便携式光合作用测定仪测定单栋大棚内不同葡萄品种成熟叶片的净光合速率等参数,每个品种重复测定3次(3株),每2 h重复测定1次循环。同时用光照温度湿度记录仪(HOBO U12-012, USA)测定并记录单栋大棚内的光照强度等参数,每30 min测定1次。

1.2.3 单栋大棚遮阴条件下净光合速率日变化的测定 选择无雨的晴天(7月8日),分别进行单层、双

层遮阳网覆盖遮阴,测定遮阴条件下不同葡萄品种新梢中部成熟叶片的净光合速率等参数,每个品种重复测定3次(3株),每2 h重复测定1次循环。同时用光照温度湿度记录仪测定并记录单栋大棚内的光照强度等参数,每30 min测定1次。

1.2.4 单栋大棚高温条件下净光合速率日变化的测定 选择无雨的晴天(9月8日),测定大棚内(高温条件)、外(自然条件)不同环境条件下不同葡萄品种新梢中部成熟叶片的净光合速率等参数,每个品种重复测定3次(3株),每2 h重复测定1次循环。同时用光照温度湿度记录仪测定并记录单栋大棚内、外的光照强度、温度等参数,每30 min测定1次。

1.3 数据处理

运用 Excel 2003 进行数据处理和绘图,使用光合计算 4.1.1 双曲线修正模型^[15]对净光合速率随光量子通量密度响应曲线进行拟合分析,得到表观量子效率、最大净光合速率、光饱和点、光补偿点和暗

呼吸速率等数据,使用 SPSS 20.0 进行参数的差异显著性比较、Pearson 相关性分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同葡萄品种的净光合速率对光量子通量密度的响应曲线

如图1所示,随着光量子通量密度的增强,8个葡萄品种的净光合速率表现出先升高后趋于稳定的变化趋势。在相同光量子通量密度下,不同葡萄品种的净光合速率之间略有差异,且不同葡萄品种达到最大净光合速率时的光量子通量密度不同。当光量子通量密度为 $800\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,甜蜜蓝宝石 P_n 最高,为 $14.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;其次是浪漫红颜,其 P_n 为 $13.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;金手指、瑞都红玉、蜜光、阳光玫瑰的 P_n 居中,依次为 12.7 、 11.9 、 11.8 、 $11.2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,巨玫瑰、夏黑的 P_n 较低,分别为 $9.9\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $9.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

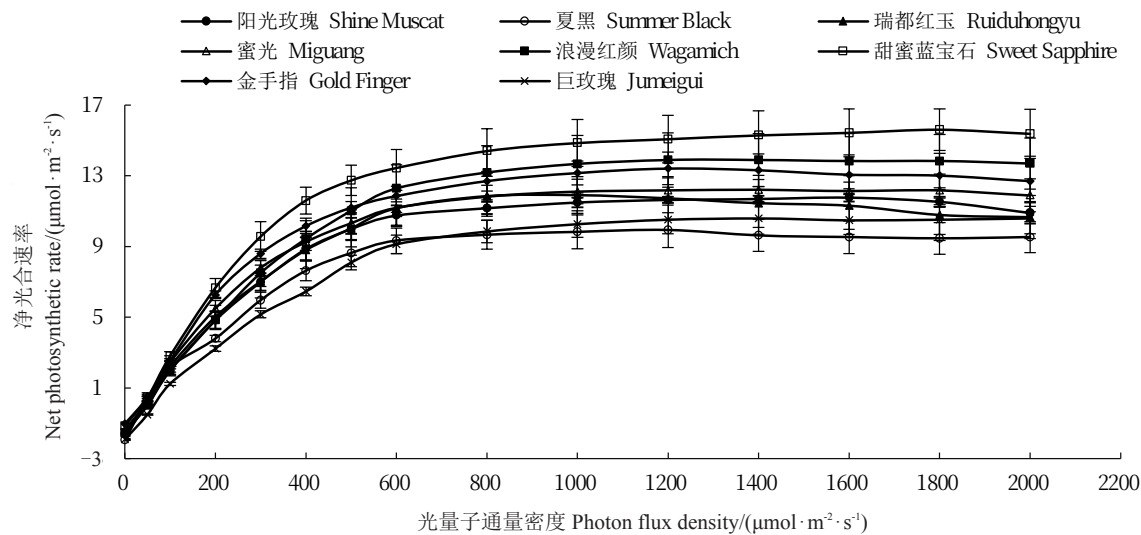


图1 不同葡萄品种的净光合速率对光量子通量密度的响应

Fig. 1 Response curves of net photosynthetic rate (P_n) to photon flux density (PFD) for different grape cultivars

2.2 不同葡萄品种的光合参数比较及相关性分析

表1为不同葡萄品种的光补偿点、光饱和点、最大净光合速率、暗呼吸速率和表观量子效率。从表中可以看出,巨玫瑰的光补偿点最高,为 $58.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,显著高于其他7个品种;浪漫红颜、夏黑、阳光玫瑰和瑞都红玉的 LCP 居中,分别为 43.5 、 43.4 、 41.9 、 $38.7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,四者之间差异不显著,且与蜜光的 LCP 差异也不显著,但显著高于甜蜜蓝宝石和金手指的 LCP ;蜜光与甜蜜蓝宝石、金手指的

LCP 差异也不显著;金手指和甜蜜蓝宝石的 LCP 分别为 29.6 、 $30.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,两者之间差异不显著。根据聚类分析,将所有品种的 LCP 分为3类,第1类品种有巨玫瑰,第2类品种有浪漫红颜、夏黑、阳光玫瑰、瑞都红玉,第3类品种有蜜光、甜蜜蓝宝石、金手指。

从光饱和点来看,巨玫瑰的 LSP 最高,为 $1409.1\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其次是甜蜜蓝宝石,两者之间差异不显著,但显著高于夏黑和瑞都红玉的 LSP ;浪

表 1 不同葡萄品种的光合特征参数

Table 1 Photosynthetic characteristic parameters of different grape cultivars

品种 Cultivars	光补偿点 Light compensation point/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点 Light saturation point/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大净光合速率 Maximum net photosynthet- ic rate/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 Dark respiration rate/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	表观量子效率 Apparent quantum efficiency
金手指 Gold Finger	29.6±3.1 c	1 268.7±146.2 abc	13.7±0.9 abc	1.60±0.11 c	0.059±0.003 ab
甜蜜蓝宝石 Sweet Sapphire	30.4±1.1 c	1 407.8±19.6 a	15.6±1.3 a	1.88±0.06 ab	0.067±0.004 a
蜜光 Miguang	35.9±3.0 bc	1 293.7±70.8 abc	12.5±0.7 abcd	1.91±0.05 ab	0.059±0.005 ab
瑞都红玉 Ruiduhongyu	38.7±3.1 b	1 120.9±87.0 c	12.1±1.2 bcd	1.76±0.13 bc	0.050±0.007 bc
阳光玫瑰 Shine Muscat	41.9±3.8 b	1 228.5±33.0 abc	12.0±0.3 bcd	1.96±0.11 ab	0.052±0.008 abc
夏黑 Summer Black	43.4±2.1 b	1 186.0±22.1 bc	10.1±0.9 d	1.94±0.04 ab	0.050±0.002 bc
浪漫红颜 Wagamichi	43.5±2.7 b	1 349.7±25.2 ab	14.3±1.6 ab	2.02±0.07 a	0.051±0.005 bc
巨玫瑰 Jumeigui	58.7±0.9 a	1 409.1±36.3 a	10.8±0.8 cd	2.01±0.02 a	0.038±0.000 c

注:不同小写字母表示相同指标内差异显著($p\leq 0.05$)。下同。

Note: Different small letters represent the existence of significant differences among the same indicators ($p\leq 0.05$). The same below.

漫红颜的 LSP 为 $1\,349.7\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,显著高于瑞都红玉;蜜光、金手指、阳光玫瑰的 LSP 差异不显著,且与其他5个品种的 LSP 差异也不显著;瑞都红玉的 LSP 最低,为 $1\,120.9\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,与夏黑的 LSP 差异不显著。根据聚类分析,将所有品种的 LSP 分为3类,第1类品种有巨玫瑰、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜,第2类品种有蜜光、金手指、阳光玫瑰,第3类品种有夏黑、瑞都红玉。

不同葡萄品种的最大净光合速率不同,甜蜜蓝宝石 P_m 最高,为 $15.6\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其与浪漫红颜、金手指和蜜光的 P_m 之间差异均不显著,但显著高于瑞都红玉、阳光玫瑰、巨玫瑰和夏黑的 P_m ;其次是浪漫红颜,其 P_m 为 $14.3\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,显著高于巨玫瑰和夏黑的 P_m ;金手指的 P_m 显著高于夏黑;蜜光的 P_m 与其他7个品种之间差异均不显著;瑞都红玉和阳光玫瑰的 P_m 分别为 12.1 和 $12.0\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,两者之间差异不显著;夏黑和巨玫瑰的 P_m 分别为 10.1 和 $10.8\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,两者之间差异也不显著。根据聚类分析,将所有品种的 P_m 分为3类,第1类品种有甜蜜蓝宝石、浪漫红颜,第2类品种有金手指、蜜光,第3类品种有瑞都红玉、阳光玫瑰、巨玫瑰、夏黑。

8个品种的暗呼吸速率变化范围为 $1.60\sim 2.02\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其中,浪漫红颜的 R_d 最高,为 $2.02\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,其次是巨玫瑰,两者之间差异不显著,且均显著高于瑞都红玉和金手指的 R_d ;阳光玫瑰、夏黑、蜜光、甜蜜蓝宝石的 R_d 差异均不显著,且与瑞都红玉的 R_d 差异也不显著,但显著高于金手指的 R_d ;金手指的 R_d 最低,为 $1.60\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,与瑞都红玉的 R_d 差异不显著。根据聚类分析,将所有品种的 R_d

分为3类,第1类品种有浪漫红颜、巨玫瑰、阳光玫瑰、夏黑、蜜光,第2类品种有甜蜜蓝宝石、瑞都红玉,第3类品种有金手指。

甜蜜蓝宝石的表现量子效率最高,为 0.067 ,显著高于浪漫红颜、瑞都红玉、夏黑和巨玫瑰的 AQY ;金手指和蜜光的 AQY 显著高于巨玫瑰;阳光玫瑰与其他7个品种的 AQY 之间差异均不显著;巨玫瑰的 AQY 最低,为 0.038 ,与阳光玫瑰、浪漫红颜、夏黑和瑞都红玉的 AQY 差异均不显著。根据聚类分析,将所有品种的 AQY 分为3类,第1类品种有甜蜜蓝宝石、金手指、蜜光、阳光玫瑰,第2类品种有浪漫红颜、夏黑、瑞都红玉,第3类品种有巨玫瑰。

在8个葡萄品种的光合参数相关性分析中,光补偿点与最大净光合速率、表观量子效率之间呈极显著负相关,与暗呼吸速率之间呈显著正相关。光饱和点与 P_m 之间呈显著正相关。 P_m 与 AQY 之间呈极显著正相关(表2)。

2.3 不同葡萄品种的净光合速率日变化

日出后,大棚内光照强度逐渐增加,6:00的光照度为 $21.5\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,10:00左右达到一天中最大值,为 $581.0\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,持续到14:00开始逐渐下降,18:00下降到 $82.3\,\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

不同葡萄品种的净光合速率日变化如图2所示,8个葡萄品种的净光合速率日变化规律相似,上午8:00—10:00达到一天中的最大值,中午叶片 P_n 下降,下午再次升高,在14:00—16:00达到下午 P_n 最大值,整体上,上午 P_n 最大值高于下午 P_n 最大值。其中,甜蜜蓝宝石的日 P_n 最大值最高,为 15.9

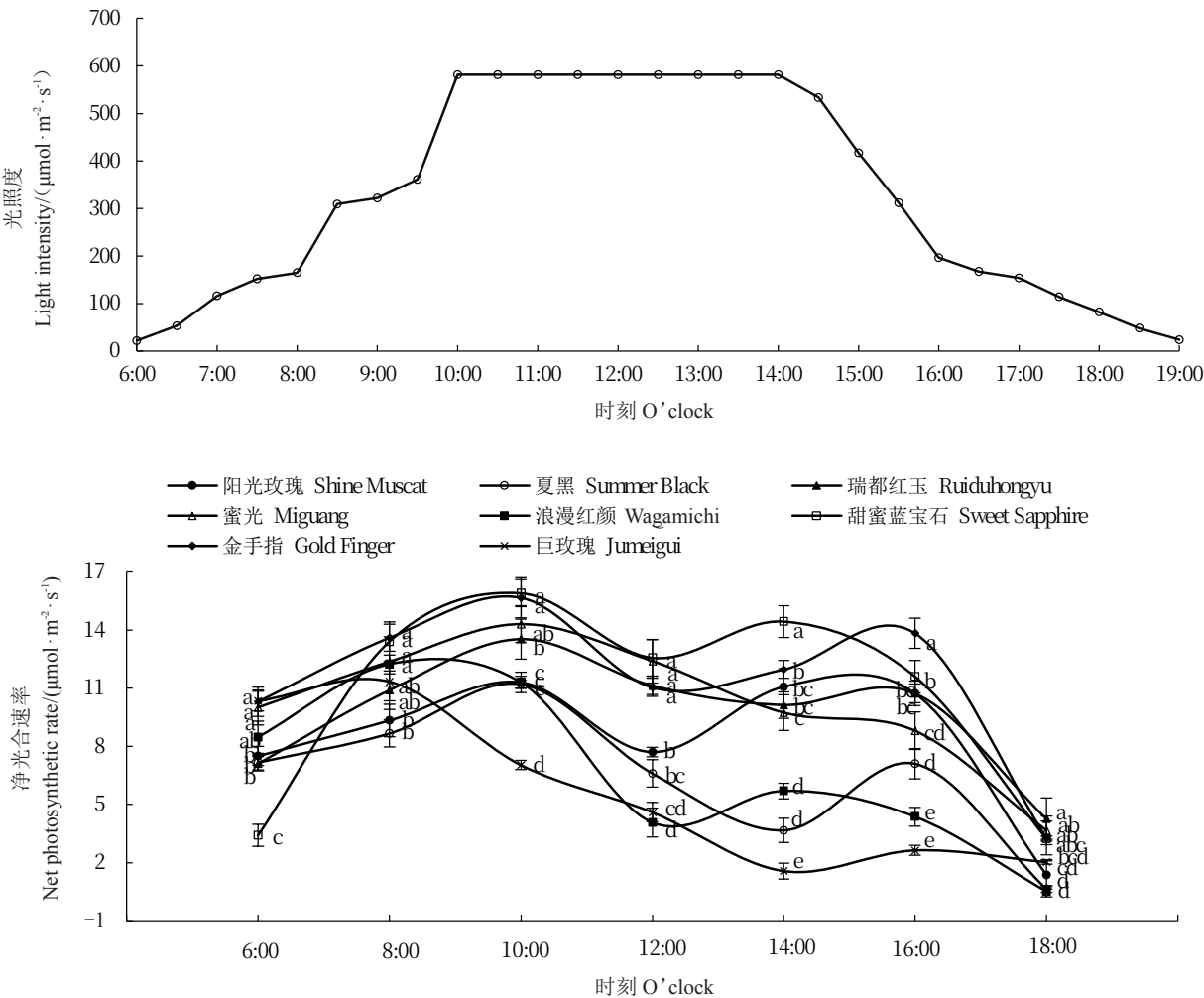
表 2 不同葡萄品种光合参数之间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of photosynthetic parameters in different grape cultivars

光合参数 Photosynthetic parameters	光补偿点 Light compensation point	光饱和点 Light saturation point	最大净光合速率 Maximum net photosynthetic rate	暗呼吸速率 Dark respiration rate	表观量子效率 Apparent quantum efficiency
光补偿点 Light compensation point	1				
光饱和点 Light saturation point	0.182	1			
最大净光合速率 Maximum net photosynthetic rate	-0.519**	0.411*	1		
暗呼吸速率 Dark respiration rate	0.413*	0.141	-0.010	1	
表观量子效率 Apparent quantum efficiency	-0.880**	-0.092	0.531**	0.023	1

注:**表示在 0.01 水平上显著极相关;*表示在 0.05 水平上显著相关。

Note: **Correlation is extremely significant at 0.01 level. *Correlation is significant at 0.05 level.



不同小写字母表示同一时间不同品种之间差异显著($p \leq 0.05$)。下同。

The different small letters indicate significant difference at the same time among different cultivars at $p \leq 0.05$. The same below.

图 2 自然条件下大棚内光照度及不同葡萄品种净光合速率的日变化

Fig. 2 The diurnal variations in light intensity and photosynthetic rate of different grape cultivars in greenhouse under natural conditions

$\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 其次是金手指, 为 $15.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 两者之间差异不显著, 且与蜜光、瑞都红玉的日 P_n 最大值之间差异不显著, 但显著高于浪漫红颜、巨玫瑰、阳光玫瑰和夏黑的日 P_n 最大值; 蜜光的日 P_n 最大值为 $14.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 显著高于巨玫瑰、阳光玫瑰和夏黑的日 P_n 最大值; 瑞都红玉的日 P_n 最大值为 $13.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 与其他 7 个品种之间差异均不显

著; 夏黑的日 P_n 最大值最小, 为 $11.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 与阳光玫瑰、巨玫瑰、浪漫红颜和瑞都红玉的日 P_n 最大值之间差异均不显著。

2.4 遮阴条件下不同葡萄品种的净光合速率日变化

不同葡萄品种在遮阴条件下的净光合速率日变化如图 3 所示。上午 8:30 (覆盖一层遮阳网), 大棚

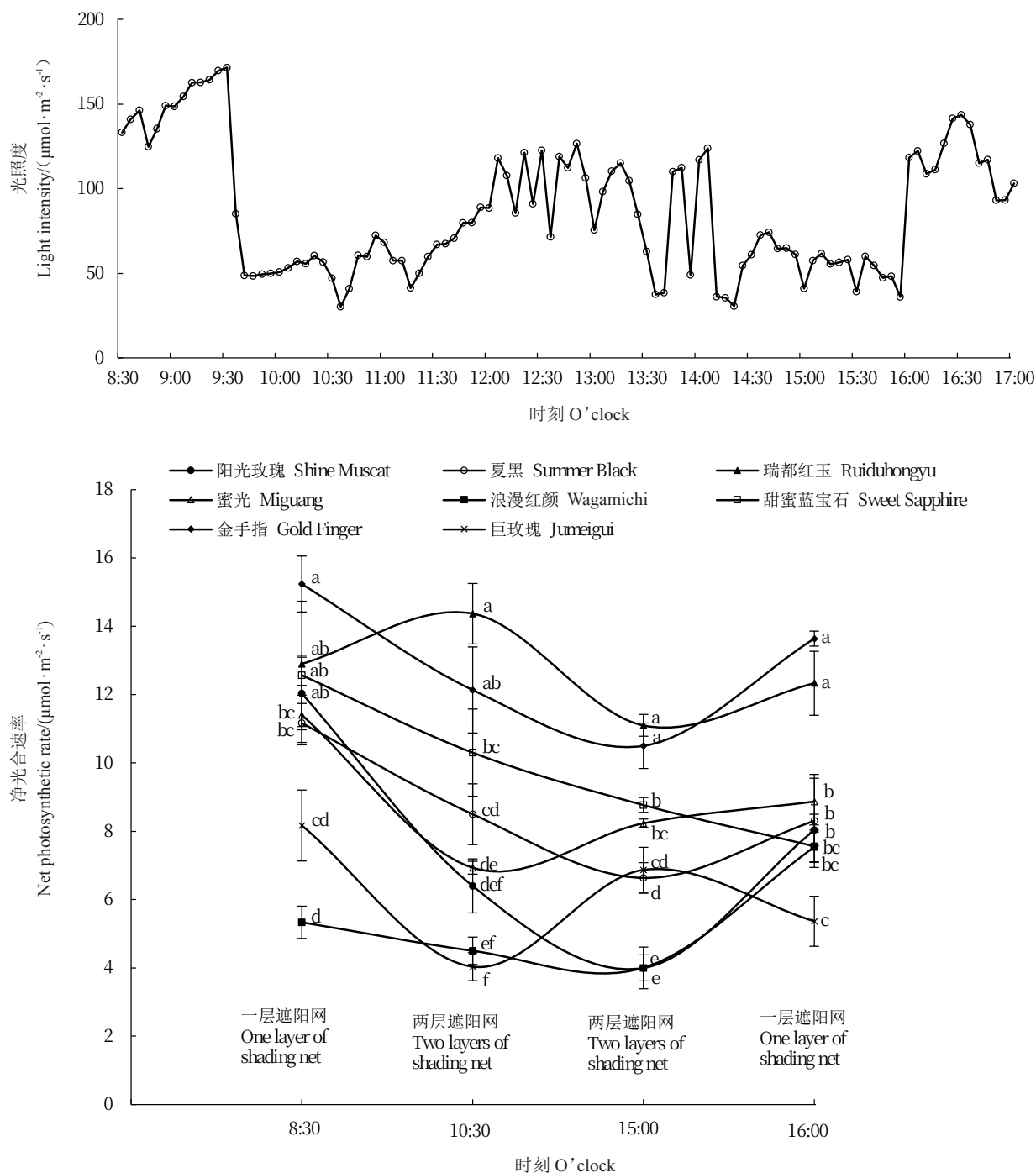


图 3 不同遮阴条件下的光照度及不同葡萄品种的净光合速率日变化

Fig. 3 The diurnal variations in light intensity and photosynthetic rate of different grape cultivars under different sun shelter conditions

内光照度接近 $150 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 金手指葡萄 P_n 最大, 为 $15.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 其显著高于蜜光、夏黑、巨玫瑰和浪漫红颜的 P_n ; 瑞都红玉、甜蜜蓝宝石、阳光玫瑰的 P_n 分别为 12.9 、 12.6 、 $12.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 3 个品种之间差异均不显著, 且与蜜光、夏黑的 P_n 之间的差异也不显著, 但均显著高于巨玫瑰和浪漫红颜; 蜜光、夏黑的 P_n 分别为 11.4 、 $11.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 二者与巨玫瑰的 P_n 之间差异不显著, 但显著高于浪漫红颜; 浪漫红颜的 P_n 最低, 为 $5.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 与巨玫瑰的 P_n 之间差异不显著。在 10:30 和 15:00 (覆盖两层遮阳网), 大棚内光照度为 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 瑞都红玉的 P_n 最高, 其次是金手指, 两者在 10:30 和 15:00 两个时间点的 P_n 之间差异均不显著; 之后是甜蜜蓝宝石, 其在 10:30 与瑞都红玉的 P_n 之间差异显著, 与金手指的 P_n 之间差异不显著, 但在 15:00 显著低于瑞都红玉和金手指 P_n ; 夏黑、蜜光、阳光玫瑰、浪漫红颜和巨玫瑰 5 个品种在 10:30 和 15:00 时的 P_n 高低不同, 整体上, 浪漫红颜、巨玫瑰在覆盖两层遮阳网条件下的 P_n 较低。在 16:00 (覆盖一层遮阳网), 大棚内光照度为 $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 金手指和瑞都红玉的 P_n 仍然较高, 2 个品种 P_n 显著高于其他 5 个品种的 P_n ; 巨玫瑰的 P_n 最低, 为 $5.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 显著低于蜜光、夏黑和阳光玫瑰的 P_n 。

整体上, 在遮阴条件下, 浪漫红颜和巨玫瑰的 P_n 较低, 甜蜜蓝宝石、夏黑、蜜光和阳光玫瑰的 P_n 居中, 金手指和瑞都红玉的 P_n 较高。

2.5 大棚内、外不同葡萄品种的净光合速率日变化

日出后, 大棚内、外的温度和光照度均逐渐增加, 在中午达到一天中的最大值, 下午又逐渐下降, 整体上, 大棚内的温度较大棚外高, 大棚内的光照度较大棚外低。大棚内、外的最高温分别为 43.2 、 $33.9 \text{ } ^\circ\text{C}$, 大棚内、外的最大光照度分别为 581 和 $1\,281.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

大棚内、外不同葡萄品种的净光合速率日变化如表 3 所示。在一天中的不同时间, 大棚内、外不同葡萄品种的净光合速率高低不同, 8 个品种 P_n 日最大值均出现在 7:00 或 9:00 左右。在 7:00, 大棚内、外温度分别为 19.6 和 $20.0 \text{ } ^\circ\text{C}$, 光照度分别为 40.8 和 $148.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时大棚内 8 个葡萄品种的 P_n 均高于大棚外, 且除瑞都红玉和阳光玫瑰外, 大棚内、外其他 6 个品种的 P_n 之间差异均显著。在 9:00, 大棚内、外温度分别为 31.0 和 $26.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, 光照度分别为 255.6 和 $626.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。大棚外阳光玫瑰、夏黑、浪漫红颜、甜蜜蓝宝石、巨玫瑰的 P_n 均比大棚内高, 且大棚内、外夏黑和浪漫红颜的 P_n 差异显著; 而大棚内瑞都红玉、蜜光、金手指的 P_n 比大棚外高, 且

表 3 大棚内、外不同葡萄品种的净光合速率日变化

Table 3 The diurnal variations in net photosynthetic rate of different grape cultivars inside and outside the plastic greenhouse

($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

品种 Cultivars	大棚内外 Inside or outside	时刻 O'clock					
		7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00
阳光玫瑰 Shine Muscat	大棚外 Outside	6.4±1.0	8.3±0.2	8.1±0.1*	4.1±0.2*	6.0±0.1*	2.7±0.1
	大棚内 Inside	6.8±0.2	7.8±0.3	3.6±0.3	1.8±0.2	1.2±0.1	4.6±0.3*
夏黑 Summer Black	大棚外 Outside	8.8±0.3	8.0±0.2*	3.1±0.1*	5.4±0.2*	3.2±0.3	0.6±0.1
	大棚内 Inside	10.9±0.5*	6.9±0.2	2.0±0.3	0.9±0.1	4.3±0.4	2.8±0.4*
瑞都 红玉 Ruiduhongyu	大棚外 Outside	4.9±0.2	6.9±0.3	6.3±0.3	6.3±0.2*	5.1±0.3	4.7±0.1*
	大棚内 Inside	5.7±0.3	7.3±0.2	5.2±0.3	2.9±0.2	4.2±0.3	3.2±0.3
蜜光 Miguang	大棚外 Outside	5.5±0.2	7.2±0.2	5.1±0.3	5.6±0.3*	3.3±0.2	2.4±0.1
	大棚内 Inside	9.6±0.7*	7.4±0.2	5.3±0.2	1.9±0.1	3.7±0.3	2.0±0.2
浪漫红颜 Wagamichi	大棚外 Outside	5.9±0.2	6.8±0.8*	4.7±0.3	5.2±0.2*	2.0±0.1	2.7±0.3*
	大棚内 Inside	9.6±0.5*	2.7±0.2	3.7±0.2	3.2±0.2	1.8±0.2	1.0±0.1
甜蜜蓝宝石 Sweet Sapphire	大棚外 Outside	5.9±1.0	8.8±0.3	7.5±0.2*	4.6±0.3*	4.3±0.2	6.8±0.3*
	大棚内 Inside	10.2±0.3*	7.3±0.5	2.6±0.3	2.1±0.1	5.8±0.4*	1.7±0.2
金手指 Gold Finger	大棚外 Outside	4.4±0.7	9.5±0.3	6.2±0.5	7.1±0.3	2.6±0.3	3.2±0.1
	大棚内 Inside	10.1±0.6*	13.0±0.5*	7.6±0.3*	7.3±0.3	2.2±0.6	3.3±0.2
巨玫瑰 Jumeigui	大棚外 Outside	5.4±0.6	6.1±0.9	2.9±0.3*	3.6±0.3*	0.9±0.1	1.4±0.1
	大棚内 Inside	8.2±0.3*	5.0±0.2	0.7±0.2	1.2±0.1	1.4±0.1	4.4±0.2*

注: *表示相同时间大棚内、外相同品种之间净光合速率差异显著($p \leq 0.05$)。

Note: * indicates significant difference in the net photosynthetic rate of the same variety between inside and outside the plastic greenhouse at the same time at $p \leq 0.05$.

大棚内、外金手指的 P_n 差异显著。在11:00,大棚内、外温度分别为41.4和31.7℃,光照度分别为581.0和1 086.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。大棚内蜜光和金手指的 P_n 均高于大棚外,其他6个品种均是大棚外的 P_n 高于大棚内,且大棚内、外金手指、阳光玫瑰、夏黑、甜蜜蓝宝石和巨玫瑰的 P_n 差异显著。

如图4所示,在13:00,大棚内、外温度分别为43.2和32.8℃,光照度分别为581.0和1 231.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。除金手指外,大棚外其他7个品种的 P_n 均高于大棚内,且大棚内、外这7个品种的 P_n 差异均显著。在15:00,大棚内、外温度分别为38.7和

33.9℃,光照度分别为295.8和906.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。此时大棚外阳光玫瑰的 P_n 显著高于大棚内,而大棚内甜蜜蓝宝石的 P_n 显著高于大棚外,大棚内、外其他品种的 P_n 之间差异均不显著。在17:00,大棚内、外温度分别为35.1和32.4℃,光照度分别为97.4和353.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。大棚外瑞都红玉、浪漫红颜和甜蜜蓝宝石的 P_n 均显著高于大棚内,而大棚内阳光玫瑰、夏黑和巨玫瑰的 P_n 显著高于大棚外。

整体上,大棚内金手指的 P_n 比大棚外高,其他7个品种在9:00—15:00的高温时段多是大棚外的 P_n 高于大棚内。

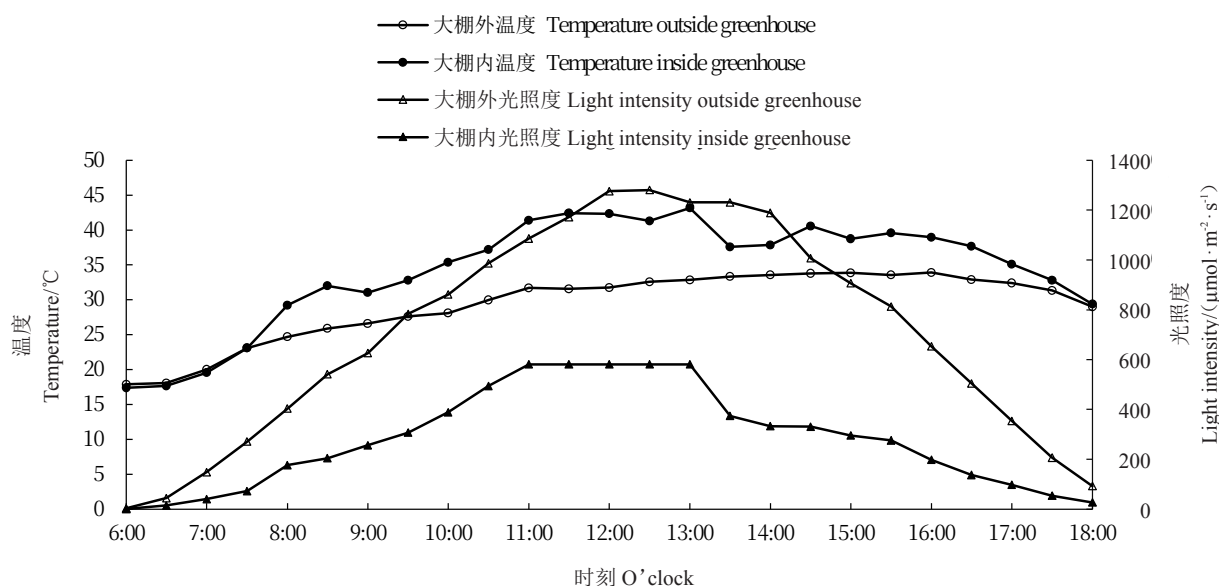


图4 大棚内、外环境温度、光照度的变化

Fig. 4 Changes in the temperature and light intensity inside and outside the plastic greenhouse

3 讨论

光合作用是植物体内重要的代谢过程,对植物生长、产量及抗逆性都具有十分重要的影响,因而可以用来作为判断植物生长与抗逆性强弱的指标^[16]。

本研究中,葡萄叶片净光合速率随光量子通量密度的增强表现出先增加后趋于稳定的变化趋势,这与之前的研究结果相似^[12,17]。不同葡萄品种在相同光量子通量密度下的净光合速率不同,表明不同葡萄品种的光合能力不同。由净光合速率对光量子通量密度曲线回归获得的光补偿点、暗呼吸速率、表观量子效率、光饱和点、最大净光合速率等参数能够很好地反映不同葡萄品种对弱光和强光的耐受力^[13,18-19]。

光补偿点通常用来反映植物对弱光的适应能力, LCP 越低,植物对弱光的适应能力就越强^[13]。暗呼吸速率是植物叶片在光照强度为零时的呼吸速率, R_d 低的植物只需要较小的 P_n 就能使净 CO_2 交换速率达到零,在弱光环境中具有优势^[20]。表观量子效率是净光合速率对光量子通量密度在弱光区间响应曲线的斜率,能够反映不同品种对弱光的利用效率^[13,21]。因此, LCP 、 R_d 越低、 AQY 越高的品种,其耐弱光能力越强。本研究中, LCP 与 R_d 之间呈显著正相关、与 AQY 之间呈极显著负相关,这与李瑛等^[12]的研究结果相似,说明用这3个指标来评价葡萄品种的耐弱光能力具有可行性。金手指的 LCP 和 R_d 较低、 AQY 较高,其耐弱光能力最强;其次是甜蜜蓝宝石,其 LCP 较低、 R_d 居中、 AQY 较高;然后是蜜光,其

LCP 较低、 R_d 和 AQY 较高; 巨玫瑰的 LCP 和 R_d 较高、 AQY 较低, 其耐弱光能力最差。在覆盖遮阳网的条件下, 金手指、瑞都红玉的净光合速率较高, 甜蜜蓝宝石、蜜光、夏黑和阳光玫瑰的 P_n 居中, 巨玫瑰和浪漫红颜 P_n 较低, 这与光响应曲线回归获得的光合参数的分析结果基本一致, 只有个别品种 (如瑞都红玉) 的结果略有不同, 这可能是由所测定植株间的差异造成的, 叶片净光合速率受自身遗传因素、叶片厚度、叶绿素含量和外界环境等因素的影响^[13,17]。总体上, LCP 、 R_d 和 AQY 可以较好地反映不同葡萄品种的耐弱光能力, 通过 LCP 、 R_d 、 AQY 基本上可以判断不同葡萄品种在弱光条件下的 P_n 。

李瑛等^[12]在上海单栋大棚条件下测定的巨玫瑰的 AQY 、 R_d 、 LCP 分别为 0.014、1.80 和 73.9, 郭亮等^[13]在湖南避雨栽培条件下测定的巨玫瑰的 AQY 、 R_d 、 LCP 分别为 0.036、0.314 和 22.39, 本研究在单栋大棚栽培条件下巨玫瑰的 AQY 、 R_d 、 LCP 分别为 0.038、2.01 和 58.7, 这种差异说明不同气候、栽培条件、树龄、架势等因素均对葡萄的光合参数有影响, 葡萄会根据生长环境进行光合作用调节^[13]。这种差异也发生在金手指、夏黑和阳光玫瑰等品种上^[12-13,22]。

最大净光合速率是反映不同品种对强光适应能力的指标^[23], 夏季午间高光照度会使植物光合系统 II 活性下降, 出现光抑制现象^[24], P_m 越高, 对强光的利用率越高^[13]。本研究中, 甜蜜蓝宝石、浪漫红颜的 P_m 较高, 均大于 $14.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 金手指、蜜光的 P_m 居中; 瑞都红玉、阳光玫瑰、巨玫瑰、夏黑的 P_m 较低, 均小于 $12.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而在测定不同葡萄品种净光合速率日变化过程中, 甜蜜蓝宝石、金手指的日 P_n 最大值较高, 分别为 15.9 和 $15.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 蜜光、瑞都红玉、浪漫红颜的日 P_n 最大值居中, 为 $12.2 \sim 14.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 夏黑、阳光玫瑰、巨玫瑰的日 P_n 最大值较低, 均小于 $12.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。不同葡萄品种 P_m 与日 P_n 最大值之间略有差异, 这主要是由所测定叶片、外界光照强度、温度、湿度等因素不同造成的^[25]。整体上, 除浪漫红颜、阳光玫瑰外, 其他品种的 P_m 高低与日 P_n 最大值的高低顺序一致。

光饱和点能够反映不同品种对强光的适应能力, LSP 越高的品种对强光的耐受力越强^[19,26]。本研究中, 巨玫瑰、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜的 LSP 较高, 均大于 $1300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 蜜光、金手指、阳光玫瑰的

LSP 居中; 夏黑、瑞都红玉的 LSP 较低, 均小于 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。说明巨玫瑰、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜能够更好地利用较强的光, 夏黑、瑞都红玉能够更好地利用较弱的光。在测定不同葡萄品种 P_n 日变化的当天, 大棚内的最强光照度为 $581.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 远没有达到 8 个葡萄品种的光饱和点, 但甜蜜蓝宝石、金手指、蜜光、瑞都红玉、巨玫瑰和夏黑的日 P_n 最大值均大于 P_m , 这与测定 P_n 日变化时使用光合仪的 LED 光源 (设定光量子通量密度为 $1200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 有关, 另外, 土壤湿度、温度等因素也会影响植物的光饱和点^[27-28]。

李瑛等^[12]在上海测定的阳光玫瑰的 P_m 和 LSP 分别为 $14.04 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1\ 180.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 刘帅等^[22]在南京避雨栽培条件下测定的不同砧木嫁接的阳光玫瑰葡萄幼苗的光饱和点为 $934.06 \sim 1\ 167.26 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 本研究中阳光玫瑰葡萄品种的 P_m 和 LSP 分别为 $12.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1\ 228.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 这些研究结果的差异说明相同葡萄品种的光合参数易受自身和环境等多种因素的影响。相似的, 戴美松等^[29]也发现相同葡萄品种在促成栽培条件下的 LSP 比避雨栽培条件下低, 而 LCP 表现相反。另外, 本研究中, LSP 与 P_m 之间相关性显著, 这与张振文等^[11]的研究结果相反, 与李瑛等^[12]的研究结果相似, 说明 LSP 与 P_m 之间相关性还有待进一步研究, LSP 高的品种, P_m 不一定高。

研究表明, 植物生长季的平均气温升高 1°C , 作物产量可减少 17% ^[30]。当植物遭受中度高温胁迫 ($30 \sim 42^\circ\text{C}$) 时, 光合作用受抑是可逆的^[31]。本研究中, 夏季高温时段单栋大棚中的温度达到 43.2°C , 而金手指在大棚内的净光合速率比大棚外高, 说明其抗高温能力最强; 其次是蜜光, 大棚内 P_n 仅在 13:00 显著低于大棚外, 在其他高温时段 (9:00、11:00、15:00), 设施内、外的 P_n 之间差异均不显著; 接着是瑞都红玉, 其大棚内 P_n 仅在 13:00 和 17:00 时显著低于大棚外; 巨玫瑰、阳光玫瑰、夏黑、甜蜜蓝宝石、浪漫红颜的抗高温能力较差, 在中午前后高温时段, 在大棚内的 P_n 均低于大棚外。

总之, 金手指和瑞都红玉在弱光和高温条件下均表现出较高的 P_n , 耐弱光和抗高温能力均较强, 适合各种模式设施栽培。甜蜜蓝宝石在弱光条件下的 P_n 较高, 但在高温条件下的 P_n 显著降低, 说明耐弱光能力较强, 抗高温能力较差, 适合促早和延迟栽培。

蜜光在弱光条件下表现出中等的 P_n ,在高温条件下的 P_n 变化较小,具有中等的耐弱光能力和较强的抗高温能力,适合避雨栽培。夏黑和阳光玫瑰在弱光条件下表现出中等的 P_n ,在高温条件下的 P_n 显著降低,具有中等耐弱光能力和较差的抗高温能力,适合促早栽培;浪漫红颜和巨玫瑰在弱光和高温条件下的 P_n 均显著降低,耐弱光和抗高温能力均较差,不适合设施栽培。

4 结 论

由光响应曲线计算得到的光补偿点、暗呼吸速率、表观量子效率、光饱和点和最大净光合速率能够较好地反映不同葡萄品种在弱光和强光条件下的净光合速率。金手指、瑞都红玉具有较强的耐弱光能力和抗高温能力,适合各种模式设施栽培;甜蜜蓝宝石具有较强的耐弱光能力,但抗高温能力较差,适合促早和延迟栽培;蜜光具有中等的耐弱光能力和较强的抗高温能力,适合避雨栽培;夏黑、阳光玫瑰具有中等的耐弱光能力和较差的抗高温能力,适合促早栽培;浪漫红颜、巨玫瑰的耐弱光和抗高温能力均较差,不适合设施栽培。

参考文献 References:

- [1] 王世平,李勃. 中国设施葡萄发展概况[J]. 落叶果树,2019,51(1):1-5.
WANG Shiping, LI Bo. The development of protected grape in China[J]. Deciduous Fruits, 2019, 51(1): 1-5.
- [2] 罗国光. 中国葡萄产业面临的历史任务:加快由数量型向质量型转变[J]. 果树学报,2010,27(3):431-435.
LUO Guoguang. Historic task for China's viticulture: Transformation from quantity-focused pattern to quality-oriented one[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 431-435.
- [3] WITTEW S H, CASTILLA N. Protected cultivation of horticultural crops worldwide[J]. Horttechnology, 1995, 5(1): 6-23.
- [4] 段长青,刘崇怀,刘凤之,王忠跃,刘延琳,徐丽明. 新中国果树科学研究 70 年:葡萄[J]. 果树学报,2019,36(10):1292-1301.
DUAN Changqing, LIU Chonghuai, LIU Fengzhi, WANG Zhongyue, LIU Yanlin, XU Liming. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Grape[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1292-1301.
- [5] 程大伟,陈锦永,顾红,张威远,郭西智,张洋,黄楠楠. 葡萄设施栽培类型简介[J]. 果农之友,2017(1):18-20.
CHENG Dawei, CHEN Jinyong, GU Hong, ZHANG Weiyuan, GUO Xizhi, ZHANG Yang, HUANG Nannan. Brief introduction of grape protected cultivation types[J]. Fruit Growers' Friend, 2017(1): 18-20.
- [6] VANLOMMEL W, HUYSMANS M, BOSMANS L, VANDERBRUGGEN R, VAN DELM T. Optimal artificial light intensity for protected tomato cultivation under LEDs[J]. Acta Horticulturae, 2020, 1296: 575-582.
- [7] 翁忙玲,程慧林,姜卫兵. 弱光对园艺植物光合特性及生长发育影响研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2007, 28(3): 279-282.
WENG Mangling, CHENG Huilin, JIANG Weibing. Effects of low light on photosynthetic characters, growth and development of horticultural plants[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2007, 28(3): 279-282.
- [8] 王海波,王孝娣,赵君全,史祥宾,王宝亮,郑晓翠,刘凤之. 设施促早栽培下耐弱光能力不同的葡萄品种冬芽的花芽分化[J]. 园艺学报,2016,43(4):633-642.
WANG Haibo, WANG Xiaodi, ZHAO Junquan, SHI Xiangbin, WANG Baoliang, ZHENG Xiaocui, LIU Fengzhi. Studies on the flower bud differentiation of grape cultivars with different tolerant ability of low light in greenhouse[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43(4): 633-642.
- [9] 赵光强. 弱光对葡萄生长发育影响机理的研究[J]. 潍坊学院学报,2006,6(6):99-101.
ZHAO Guangqiang. Study on the mechanism of the effect of weak light on the growth and development of grape[J]. Journal of Weifang University, 2006, 6(6): 99-101.
- [10] 朱雨晴,杨再强. 高温高湿对设施葡萄叶片气孔和光合特性的影响[J]. 北方园艺,2017(23):94-101.
ZHU Yuqing, YANG Zaiqiang. Effects of high temperature and high humidity on stomatal and photosynthesis characteristics of grape leaves in greenhouse[J]. Northern Horticulture, 2017(23): 94-101.
- [11] 张振文,张保玉,童海峰,房林. 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.
ZHANG Zhenwen, ZHANG Baoyu, TONG Haifeng, FANG Lin. Photosynthetic LCP and LSP of different grapevine cultivars [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(1): 24-29.
- [12] 李瑛,张睿佳,张伟达,李政,陆姗姗,顾巧英,单传伦,张才喜,王世平,许文平. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[J]. 果树学报,2015,32(5):885-893.
LI Ying, ZHANG Ruijia, ZHANG Weida, LI Zheng, LU Shan-shan, GU Qiaoying, SHAN Chuanlun, ZHANG Caixi, WANG Shiping, XU Wenping. Screening of low light tolerance grape cultivars based on analysis of photosynthetic characteristics in protected cultivation[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(5): 885-893.
- [13] 郭亮,杨国顺,白描,刘昆玉,徐丰,金燕,周敏,陈文婷. 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 Kunyun, XU Feng, JIN Yan, ZHOU Min, CHEN Wenting. Photosynthetic characteristics of grape varieties in rain-shelter cultivation[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015(2):10-13.
- [14] WANG S P, OKAMOTO G, HIRANO K, LU J, ZHANG C X. Effect of restricted rooting volume on vine growth and berry development of Kyoho grapevines[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2001, 52(3):250-255.
- [15] 叶子飘, 李进省. 光合作用对光响应的直角双曲线修正模型和非直角双曲线模型的对比研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2010, 31(3):45-51.
- YE Zipiao, LI Jinsheng. Comparative investigation light response of photosynthesis on non-rectangular hyperbola model and modified model of rectangular hyperbola[J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 2010, 31(3):45-51.
- [16] 张健. 氮肥运筹对不同穗型小麦产量和品质性状影响的研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2012.
- ZHANG Jian. Effects of different nitrogen fertilizer applied ratio on yield and quality of wheat[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012.
- [17] 兰波, 罗思源, 刘捷. 8个油橄榄品种光合特性研究[J]. 现代农业科技, 2019(19):28-30.
- LAN Bo, LUO Siyuan, LIU Jie. Study of photosynthetic characteristics of 8 olive varieties[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(19):28-30.
- [18] JIAN Z, ZHOU X, TIAN J. Photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of *Isodon rubescens* (Hemsley) H. Hara [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):10043.
- [19] 韩晓, 王海波, 王孝娣, 史祥宾, 王宝亮, 郑晓翠, 王志强, 刘凤之. 基于4种光响应模型模拟不同砧木对夏黑葡萄耐弱光能力的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(10):3323-3330.
- HAN Xiao, WANG Haibo, WANG Xiaodi, SHI Xiangbin, WANG Baoliang, ZHENG Xiaocui, WANG Zhiqiang, LIU Fengzhi. Effects of different rootstocks on the weak light tolerance ability of summer black grape based on 4 photo-response models[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(10):3323-3330.
- [20] 韩晓, 王海波, 王孝娣, 冀晓昊, 史祥宾, 王宝亮, 郑晓翠, 王志强, 刘凤之. 不同砧木对87-1葡萄光合特性及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10):1972-1981.
- HAN Xiao, WANG Haibo, WANG Xiaodi, JI Xiaohao, SHI Xiangbin, WANG Baoliang, ZHENG Xiaocui, WANG Zhiqiang, LIU Fengzhi. Effects of different rootstocks on '87-1' grape photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10):1972-1981.
- [21] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1):317-346.
- [22] 刘帅, 王志润, 陶建敏. 不同砧木对阳光玫瑰葡萄幼苗光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9):184-186.
- LIU Shuai, WANG Zhirun, TAO Jianmin. Effects of different rootstocks on photosynthetic characteristics of Shine Muscat grape seedlings[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(9):184-186.
- [23] 唐茜, 叶善蓉, 单虹丽, 罗学平. 引进茶树品种光合特性的比较研究[J]. 四川农业大学学报, 2006, 24(3):303-308.
- TANG Qian, YE Shanrong, SHAN Hongli, LUO Xueping. Comparative study on photosynthetic characteristics of the introducing tea cultivars[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2006, 24(3):303-308.
- [24] ÖQUIST G, CHOW W S, ANDERSON J M. Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II[J]. Planta, 1992, 186(3):450-460.
- [25] WALKER A P, QUARFIE T, VAN BODEGOM P M, DE KAUWE M G, KEENAN T F, JOINER J, LOMAS M R, MAC-BEAN N, XU C, YANG X, WOODWARD F I. The impact of alternative trait-scaling hypotheses for the maximum photosynthetic carboxylation rate (V_{max}) on global gross primary production [J]. New Phytologist, 2017, 215(4):1370-1386.
- [26] 尹婷婷, 戴耀良, 何国强, 蔺万煌. 16种地被植物的光响应特性及园林应用[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(4):355-361.
- YIN Tinghui, DAI Yaoliang, HE Guoqiang, LIN Wanhuan. Photosynthetic light response characteristics of sixteen ground cover plants and their landscape application[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2019, 45(4):355-361.
- [27] XU C, ZHAO H, LI Q, LIU X, ZHANG Z, BIAN S. Study on dry matter accumulation and leaf response to light and CO₂ of maize under irrigation quota[J]. Cereal Research Communications, 2020, 48(2):173-178.
- [28] AIGNER S, HOLZINGER A, KARSTEN U, KRANNER I. The freshwater red alga *Batrachospermum turfosum* (Florideophyceae) can acclimate to a wide range of light and temperature conditions[J]. Phycologia, 2017, 52(2):238-249.
- [29] 戴美松, 姜卫兵, 庄猛, 费宪进, 李传德. 江南地区大棚促成一避雨栽培下葡萄品种光合特性的比较[J]. 园艺学报, 2006, 33(1):17-22.
- DAI Meisong, JIANG Weibing, ZHUANG Meng, FEI Xianjin, LI Chuande. Comparison of photosynthetic characteristics of seven grapevine varieties cultivated in forcing-cultivation and rain-shelter cultivation greenhouse[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(1):17-22.
- [30] LOBELL D B, ASNER G P. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields [J]. Science, 2003, 299(5609):1032.
- [31] BERRY A, BJORKMAN O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31:491-543.