

引用格式: 郭雅文, 薛婧, 宋光永, 等. 和田设施温室 6 个葡萄品种光合和叶绿素荧光日变化特征[J]. 西北植物学报, 2024, 44(7): 0000-0000.
[GUO Y W, XUE J, SONG G Y, et al. Diurnal variation characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of six grape varieties in greenhouse in Hotan area[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2024, 44(7): 0000-0000.] DOI:10.7606/j.issn.1000-4025.20230735

和田设施温室 6 个葡萄品种光合和 叶绿素荧光日变化特征

郭雅文, 薛婧¹, 宋光永¹, 苏学德², 杨克箐³, 周龙^{1*}

(1 新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052; 2 新疆农垦科学院林园所, 新疆石河子 832000; 3 新疆金泽酒业有限公司, 新疆和田 848007)

摘要 【目的】探讨和田地区设施温室葡萄品种光合和叶绿素荧光日变化特征, 综合评价其光合能力强弱, 为该地区温室葡萄引种及栽培管理措施制定提供参考依据。【方法】以新疆和田地区设施温室引入的 6 个葡萄品种为材料, 测定各品种光合有效辐射(PAR)、叶绿素相对含量(SPAD)、光合与叶绿素荧光参数, 并利用主成分分析对各鲜食葡萄品种光合能力进行综合性评价。【结果】(1)设施温室 PAR 在不同位置总体表现出棚前>棚后>棚中, 在不同架面位置总体表现为架上>架中>架下。(2)葡萄叶片 SPAD 值在不同架面位置表现为架上>架中>架下, 在品种间由高到低依次为‘克瑞森无核’‘夏黑’‘新郁’‘户太八号’‘阳光玫瑰’‘妮娜女皇’。(3)各品种叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 均呈现出双峰型日变化曲线, C_i 总体呈现 U 型或 W 型日变化规律; F_v/F_m 与 F_v/F_m 总体上呈现先下降后上升的日变化规律。(4)6 个葡萄品种的光合能力表现为‘克瑞森无核’>‘夏黑’>‘阳光玫瑰’>‘新郁’>‘户太八号’>‘妮娜女皇’。【结论】‘克瑞森无核’和‘夏黑’相比其他品种有较高的 P_n 、 G_s 、 T_r 、 F_o 、 F_m 和较低的 F_v/F_m 。与 F_v/F_m , 能够适应和田地区的高温与高光强设施环境。

关键词 和田; 设施温室; 葡萄品种; 光合特性; 叶绿素荧光

中图分类号 Q945.11; S663.1 **文献标志码** A

Diurnal variation characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of six grape varieties in greenhouse in Hotan area

GUO Yawen¹, XUE Jing¹, SONG Guangyong¹, SU Xuede², YANG Keqing³, ZHOU Long^{1*}

(1 College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2 Forestry Institute of Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3 Jinze Wine Co., Ltd., Hotan, Xinjiang 848007, China)

Abstract [Objective] The diurnal variation characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of greenhouse grape varieties in Hotan area were investigated, and their photosynthetic capacity was comprehensively evaluated, in order to provide reference for the introduction and cultivation management of greenhouse grapes in this area. [Methods] Six grape varieties were introduced into Hotan greenhouse as

收稿日期: 2023-11-16; 修改稿收到日期: 2024-04-18

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目“户太系列葡萄品种引进及配套栽培关键技术研发”(2020B01003)

作者简介: 郭雅文(1998—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: 2683656467@qq.com

* 通信作者: 周龙, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事果树种质资源与栽培生理研究。E-mail: zhoulong2004@126.com

materials. The photosynthetic active radiation (PAR), relative chlorophyll content (SPAD), photosynthesis, and chlorophyll fluorescence parameters of each variety were analyzed, and the principal component analysis was used to comprehensively evaluate the ability of each grape variety. [Results] (1) The PAR levels of greenhouse in different positions were in the order: before the shed > behind the shed > middle of the shed, while the overall performance in different trellis was in the order: on the trellis > middle of the trellis > under the trellis. (2) The SPAD values of grape leaves on different trellis were in the order: on the trellis > middle of the trellis > under the trellis, while the order from high to low among varieties: 'Crimson Seedless', 'Summer Black', 'Xinyu', 'Hutai 8', 'Sunshine Muscat', and 'Queen Nina'. (3) The diurnal variation of P_n , G_s , and T_r of each variety showed a bimodal curve, and the diurnal variation of C_i showed a U-shaped and W-shaped variation. F_v/F_o and F_v/F_m generally showed a downward trend and then an upward trend. (4) The photosynthetic capacity of the six grape varieties was in the order: 'Crimson Seedless' > 'Summer Black' > 'Sunshine Muscat' > 'Xinyu' > 'Hutai 8' > 'Queen Nina'. [Conclusion] 'Crimson Seedless' and 'Summer Black' have higher P_n , G_s , T_r , F_o , F_m and lower F_v/F_o and F_v/F_m , which are able to adapt to the Hotan environment of high temperature and high light intensity. **Key words** Hotan; facility greenhouse; grape varieties; photosynthesis characteristics; chlorophyll fluorescence

葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 具有适应性强, 用途多, 经济效益高等特点^[1]。和田地区光热资源丰富, 是新疆葡萄主栽产地之一, 具有丰富的种质资源和悠久的栽培历史, 但多年来一直以露地栽培为主, 近年来也开始大力发展设施葡萄产业。但由于和田地区大部分温室建在城市周缘的沙漠和戈壁上, 常年受浮尘天气^[2]和干旱影响, 使得设施栽培中水分亏缺、光照不足, 导致葡萄光合作用效率下降, 严重影响葡萄的生长发育。植物的 90%~95% 的有机物来自光合作用的产物^[3]。光合作用是植物生长发育的基础^[4], 研究设施葡萄光合生理特性, 不仅能直接了解其生存的实际生态环境, 而且可为设施葡萄栽培管理中架式、树形、植株管理措施等的制定提供参考依据。

近年来, 诸多学者对葡萄光合特性与叶绿素荧光进行很多研究。王敏等^[5]研究发现, '腺枝葡萄' 较其他 4 个葡萄品种净光合速率 (P_n) 高, 且表现出显著的高光合效率的特点。王沛等^[6]报道, 41 个葡萄材料中 P_n 高的 '早黑宝' 和 '紫地球' 的光合效率远远高于其他品种。此外, 多数学者认为葡萄的 P_n 日变化呈双峰曲线变化。这一论断在 '赤霞珠' '新郁' '红地球' '美人指' '黑色甜菜' '温克' 等葡萄品种^[7-9] 上均得到证实, 而秦文华等^[10] 却发现甘肃省 '无核白' 葡萄的 P_n 日变化曲线为单峰曲线。

叶绿素荧光是测定叶片光合能力的天然探针, 能够反映植物的光合特性^[11]。 F_v/F_m 是 PS II 反应中心完全开放时的最大光能转换效率^[12], 能够反映植物叶片的光合能力, 其值越高说明越不易发生光

抑制, 反之值越低发生光抑制的程度越高^[13]。杨湘等^[14] 研究发现, 与篱架相比, 弓棚架改善了 '阳光玫瑰' 的叶绿素荧光特性, 提高了 F_v/F_m , 从而提高叶片 PS II 反应中心的开放程度, 使得葡萄叶片的光合能力得到改善和提高。潘越等^[15] 报道, '北冰红' 葡萄叶片 F_v/F_m 较高, 其叶片具备较强的 PS II 原初光能转化效率, PS II 反应中心潜在活性较高, 能有效将植物所需的光能转化为化学能, 供应树体生长。迄今, 前人对于葡萄光合作用与叶绿素荧光特性的研究多集中在露地栽培葡萄上, 而对于干旱、弱光环境下设施栽培葡萄的光合特性鲜有报道。

新疆和田河流域大力发展设施葡萄栽培并引入许多新品种, 正确评价设施栽培新引葡萄品种的光合特性对和田地区设施葡萄产业健康发展具有重要意义。本研究以 6 个和田地区新引设施葡萄品种为材料, 通过观测果实着色期各品种光合气体交换参数与叶绿素荧光参数日变化, 分析设施中叶片净光合速率与各生理生态因子之间的关系, 为干旱区设施葡萄的科学栽培、有效管理和品质提升提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于新疆和田地区和田市吉亚乡 (N37°17'3", E80°5'34") 的设施农业高新示范园区, 属于温带大陆性干旱沙漠气候。夏季炎热、冬季寒冷、昼夜温差大, 夏季最高气温达 41.9 °C, 冬季最低气温达 -23.9 °C; 春夏季节风沙频繁^[16], 扬尘天气每年平均可达 220 d 以上, 多年平均沙尘时间 25.2 d, 最多 59 d;

降雨稀少,年平均降水量仅为 35 mm^[17]。

园区设施温室坐北朝南,长 60 m,宽 7 m,高 3.8 m,以温室中新引进的 6 个鲜食葡萄品种‘户太八号’‘妮娜女皇’‘夏黑’‘阳光玫瑰’‘新郁’‘克瑞森无核’为试验材料。各品种葡萄树均为 5 年生,倾斜式小棚架,株行距为 0.6~3.8 m,独龙干扇形栽培,铺设滴灌带,水肥一体化管理。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 叶片叶绿素相对含量

采用 SPAD-502Plus 叶绿素仪(日本柯尼卡美能达公司生产)测定葡萄叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)。在新梢快速生长期依据葡萄的架面位置分为上部、中部、下部,每个品种、每个位置选择 3 株,每株选取长势一致的葡萄新梢第 5 节间叶作为观测叶,每个位置选择 10 片叶,每片叶测定 3 个点,最后取平均值。

1.2.2 光合有效辐射

葡萄浆果着色期采用植物冠层仪 FS-PAR(石家庄泛胜科技有限公司生产)测量葡萄冠层的光合有效辐射。将设施温室分为前面(靠近耳房)、中间、后面 3 个部分,每个品种、每个部分选择 10 株。分别测量架上、架中、架下观测叶幕冠层的光合有效辐射。

1.2.3 光合气体交换参数

葡萄浆果着色期选择晴朗无风的天气,每个品种选取 3 株长势接近、生长状况良好且无病虫害的植株,每株各选取 3 片新梢第 5 节间的成熟叶,每个叶片各重复测定 3 次。采用 Li-6400 便携式光合仪(美国 LI-COR 公司生产)测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 浓度(C_i)。从 8:00—22:00 每隔 2 h 测定 1 次,共测定 7 次。并依据测定结果计算水分利用效率(WUE, P_n/T_r)。

1.2.4 叶绿素荧光参数

采用 FMS-2 便携式荧光仪测定荧光参数日变化,每个品种选取 3 株长势接近、生长状况良好且无病虫害的植株,每株各选取 3 片新梢第 5 节间的成熟叶,每个叶片各重复测定 3 次。将选好的叶片擦拭去尘土,经过充足自然光适应,并用暗适应夹夹好,测定自然光下的叶片稳态荧光产量(F_s)、光适应下的最大荧光产量(F_m');将选好的叶片经过充足暗适应,叶片暗适应 30 min 后,测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)等叶绿素荧光参数。在 8:00—22:00 每 2 h 测 1 次,共测定 7 次。并根据此计算 PSII 实际光化学效率(Φ_{PSII})、PSII 最大光能转换效

率(F_v/F_m)与非光化学淬灭系数(q_N),公式为:

$$\Phi_{PSII} = (F'_m - F_s) / F'_m$$

$$F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$$

$$q_N = F_m / F'_m - 1$$

1.3 数据处理

试验数据处理、绘图采用 Origin 2021,使用 SPSS 26.0 进行单因素方差分析、相关性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 设施棚内和架面不同位置葡萄冠层光合有效辐射比较

光合有效辐射(PAR)是指光合作用过程中能够被作物光合色素吸收并转化的太阳辐射能量^[18]。由表 1 可以看出,设施内不同方位和架面不同位置葡萄冠层的 PAR 不同。其中,在不同方位相比,葡萄冠层 PAR 差异不显著,但设施内 PAR 总体表现出棚前>棚后>棚中的变化趋势;在不同架面位置间相比较,设施内 PAR 总体表现出架上>架中>架下的变化趋势,架上 PAR 最高达到 648 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比架下 PAR 显著高出 30.9%,但两者均与架中无显著差异。同时,在各个葡萄品种之间相比较,设施内 PAR 也表现出明显的不同,整体大小顺序依次为‘妮娜女皇’>‘阳光玫瑰’>‘户太八号’>‘夏黑’>‘新郁’>‘克瑞森无核’,‘妮娜女皇’与其余品种均存在显著性差异;棚前架上叶片的 PAR 利用率最佳,并以‘妮娜女皇’的 PAR 最高[1 009 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$],而棚中架下叶片的 PAR 的利用率较低,并以‘克瑞森无核’的 PAR 最低[234 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。

2.2 不同架面位置间葡萄叶片 SPAD 值比较

叶绿素含量能反映出植物的光合能力及生理状况^[19]。由图 1, A 可知,同一架面位置 6 个葡萄品种叶片 SPAD 值均存在差异,从高到低依次为‘克瑞森无核’‘夏黑’‘新郁’‘户太八号’‘阳光玫瑰’‘妮娜女皇’,其中架中‘克瑞森无核’与‘夏黑’之间无显著性差异,但两者均与其余品种差异显著,而‘妮娜女皇’显著低于其余品种。其次,同一品种叶片 SPAD 值在不同架面位置之间存在差异,均表现出架上部>架中部>架下部,6 个葡萄品种叶片 SPAD 值均在架上部和架下部之间存在显著差异,其中差异最大的是‘阳光玫瑰’,最小的是‘克瑞森无核’,它们的架上部比架下部分别显著高出 10.39%和 6.20% (图 1, B)。

表 1 各品种在设施内不同位置、不同架面的光合有效辐射

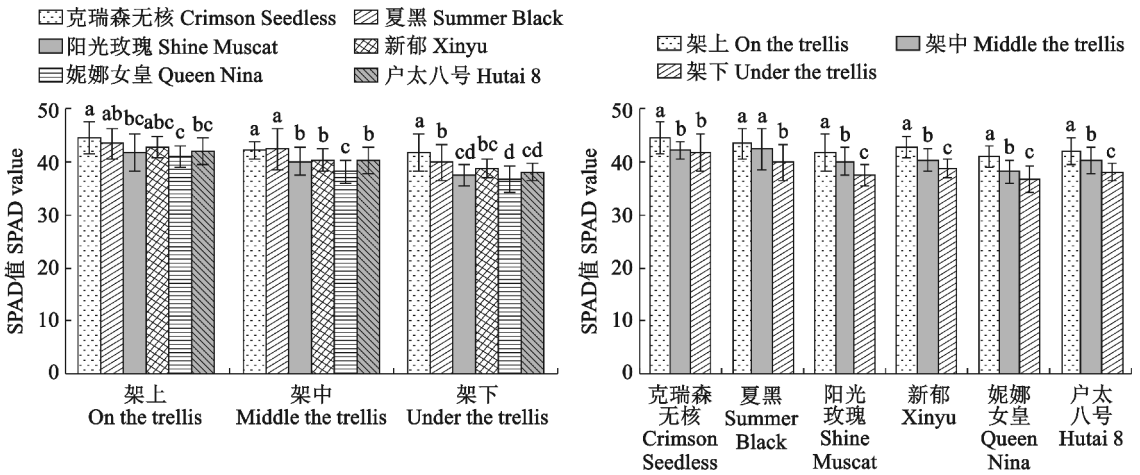
Table 1 Photosynthetically active radiation at different positions and different trellis in the facility

[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

位置 Position	克瑞森无核 Crimson Seedless	夏黑 Summer Black	阳光玫瑰 Sunshine Muscat	新郁 Xinyu	妮娜女皇 Queen Nina	户太八号 Hutai 8	位置平均值 Position mean
架上 On the trellis	448±143.02c	561±91.50bc	713±85.32b	548±19.61bc	960±42.39a	660±109.17bc	648a
架中 Middle trellis	350±104.83c	473±131.66bc	684±66.98ab	456±11.02bc	855±9.44a	572±153.66bc	565a
架下 Under the trellis	279±131.88c	460±139.81abc	632±45.29ab	424±17.97bc	696±104.88a	481±113.63abc	495b
棚前 Before the shed	504±97.17b	598±20.23b	620±21.87b	487±57.43b	855±160.42a	457±85.05b	587a
棚中 Middle of the shed	295±68.19c	531±65.41bc	663±53.51ab	482±74.52bc	793±177.33a	552±106.81ab	553ab
棚后 Behind the shed	278±95.03b	365±79.61b	746±57.21a	459±61.32b	864±66.01a	704±85.38a	569a
品种平均值 Variety mean	359d	498c	676b	476cd	837a	571bc	570

注:同行不同小写字母表示品种间在 0.05 水平存在显著差异($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters within same row indicate significant differences between varieties at 0.05 level ($P < 0.05$).



相同位置内(A)或者相同品种内(B)不同小写字母表示品种间或者位置间在 0.05 水平差异显著($P < 0.05$)。

图 1 各葡萄品种不同架面位置叶片 SPAD 分析

Different lowercase letters within same trellis (A) or same variety (B) indicate significant differences among varieties or trellis at 0.05 level ($P < 0.05$).

Fig. 1 SPAD analysis in leaves of grape varieties at different trellis

2.3 各葡萄品种叶片光合气体交换参数日变化特征

光合气体交换参数日变化能反映植物光合参数响应和适应环境的平衡能力^[20]。从图 2 可看出,6 个葡萄品种叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 日变化均随着时间呈现上升—下降—再上升—下降的双峰曲线变化趋势。其中,在 8:00—10:00, P_n 、 G_s 、 T_r 均有明显的上升趋势且达到一天中最高值;此时,各品种叶片的 P_n 值以‘新郁’最高,而‘户太八号’最低; G_s 值以‘新郁’最高,而‘克瑞森无核’最低; T_r 值以‘妮娜女皇’

最高,而‘户太八号’最低。

同时,叶片 C_i 日变化在品种‘户太八号’、‘夏黑’和‘妮娜女皇’中均呈现降低—上升—降低—上升的 W 形变化规律,而其余品种均总体呈现先下降后上升的 U 形变化规律,并以‘新郁’ C_i 下降速度快,‘夏黑’ C_i 下降速度较慢。另外,水分利用效率(WUE)是评价植物生长适宜程度的综合生态生理指标。6 个葡萄品种中仅‘克瑞森无核’和‘阳光玫瑰’WUE 呈现出与 P_n 相似的双峰曲线型日变化趋势,而其他品种无明显变化规律。

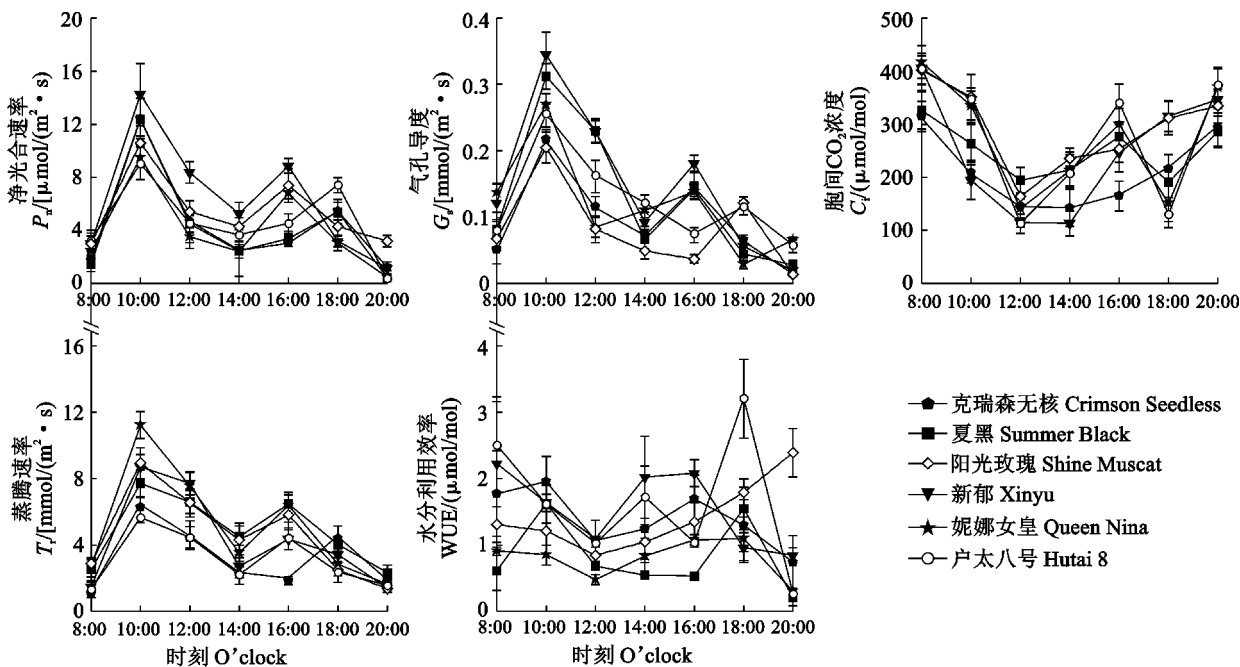


图2 6个葡萄品种叶片光合气体交换参数日变化

Fig. 2 Diurnal variation of photosynthetic gas exchange parameters in leaves of 6 grape varieties

2.4 各葡萄品种叶片叶绿素荧光参数日变化特征

叶绿素荧光参数日变化可以反映植物对外界环境的适应性,是衡量植物抗逆性的重要标准^[21]。图3显示,各品种葡萄叶片 F_m 。总体呈现出先升高后降低的日变化趋势,且一天之中以‘新郁’的波动范围

大,‘阳光玫瑰’波动的范围小。叶片 F_m 除‘妮娜女皇’呈现下降—上升—下降—上升的日变化趋势外,其他品种均呈先下降后上升的日变化趋势,且这些品种 F_m 低峰值出现的时间均在16:00左右,但低峰有所不同(图3)。

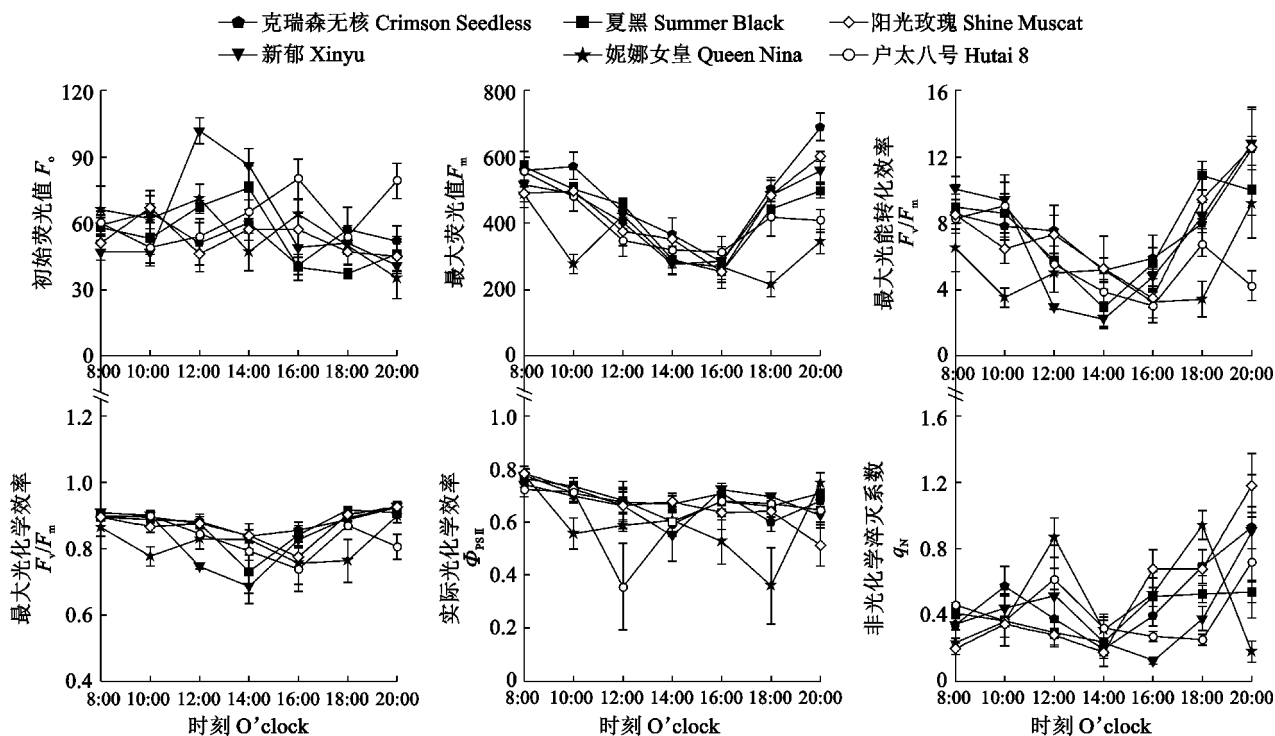


图3 6个葡萄品种叶片叶绿素荧光参数日变化

Fig. 3 Diurnal variation of chlorophyll fluorescence parameters in leaves of 6 grape varieties

F_v/F_o 值高低能反映植物 PS II 潜在活性的强弱,其值越高活性越强。各葡萄品种叶片 F_v/F_o 总体呈现先下降后上升的日变化规律,‘新郁’、‘阳光玫瑰’和‘克瑞森无核’ F_v/F_o 均于 20:00 在所有品种中较高,分别为 12.82、12.57 和 12.45,说明这 3 个品种此时具有较高的 PS II 潜在活性;而‘新郁’ F_v/F_o 于 14:00 时在所有品种最低,仅为 2.27(图 3)。各品种叶片 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)总体上呈现先下降后上升的日变化趋势,其值基本在 0.69~0.93 间变化。6 个葡萄品种 PS II 实际光化学效率(Φ_{PSII})范围在 0.36~0.78 之间,于 10:00—12:00 均呈现出下降的趋势,但各个葡萄品种下降趋势和幅度不同。6 个葡萄品种叶片非光化学淬灭系数(q_N)呈现不同的日变化规律,其值较高的是‘阳光玫瑰’、‘新郁’和‘妮娜女皇’,其余 3 个品种处于较低状态。

2.5 设施栽培环境下 6 个葡萄品种光合能力综合评价

将 6 个葡萄品种叶片的光合气体交换参数与叶绿素荧光参数相关的 13 个指标标准化后进行主成分分析,提取特征值大于 1 的 5 个主成分(表 2),其初始特征值分别为 3.88、2.84、1.74、1.26、1.05,累计方差贡献率达到 82.86%(表 3),说明这 5 个主成分已能反映光合气体交换参数与叶绿素荧光参数的大部分信息。

另外,6 个葡萄品种光合气体交换参数与叶绿素荧光主成分得分及综合评价得分结果(表 4)显示,它们的光合能力强弱顺序为‘克瑞森无核’>‘夏黑’>‘阳光玫瑰’>‘新郁’>‘户太八号’>‘妮娜女皇’,其中‘克瑞森无核’的综合得分最高(0.26),其光合能力强,而‘妮娜女皇’的综合得分最低(-0.46),其光合能力弱。

表 2 各个主成分的载荷矩阵

Table 2 Load matrix of each component

光合指标 Photosynthetic index	各个主成分的得分 Scores of each principal component				
	主成分 1 F_1	主成分 2 F_2	主成分 3 F_3	主成分 4 F_4	主成分 5 F_5
P_n	-0.369	0.810	-0.130	0.246	-0.221
G_s	-0.358	0.813	0.098	0.228	-0.082
C_i	0.502	-0.073	0.648	0.262	0.005
T_r	-0.563	0.582	0.020	0.476	0.170
WUE	0.120	0.371	-0.275	-0.323	-0.626
F_o	-0.611	0.004	0.125	-0.176	0.478
F_m	0.793	0.306	-0.033	0.096	0.291
F_v/F_o	0.939	0.174	-0.115	0.180	-0.028
F_v/F_m	0.901	0.293	-0.032	0.139	-0.057
Φ_{PSII}	0.441	0.420	0.630	-0.307	0.097
q_N	0.276	-0.294	-0.618	0.524	0.208
SPAD	0.096	0.692	-0.082	-0.297	0.371
PAR	-0.242	-0.298	0.633	0.451	-0.248

表 3 各个光合和叶绿素荧光参数的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 3 Characteristic value, contribution rate, and cumulative contribution rate of each related photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters

光合指标 Photosynthetic index	初始平方载荷值 Initial square load value			提取平方载荷值 Extracting squared load value		
	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
P_n	3.88	29.86	29.86	3.88	29.86	29.86
G_s	2.84	22.85	51.70	2.84	21.85	51.70
C_i	1.74	13.38	65.09	1.74	13.38	65.09
T_r	1.26	9.73	74.81	1.26	9.73	75.81
WUE	1.05	8.05	82.86	1.05	8.05	82.86
F_o	0.95	7.28	90.14			
F_m	0.47	3.58	93.73			
F_v/F_o	0.34	2.61	96.33			
F_v/F_m	0.23	1.76	98.09			
Φ_{PSII}	0.14	1.04	99.14			
q_N	0.06	0.47	99.60			
SPAD	0.04	0.31	99.91			
PAR	0.01	0.09	100.00			

表 4 各品种主成分综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation of principal components of different varieties

品种名称 Variety name	各主成分得分 Scores of each principal component					综合评价 Comprehensive evaluation	
	主成分 1 F_1	主成分 2 F_2	主成分 3 F_3	主成分 4 F_4	主成分 5 F_5	得分 Score	排序 Order
克瑞森无核 Crimson Seedless	1.01	0.56	-0.86	-0.91	0.54	0.26	1
夏黑 Summer Black	0.29	0.41	0.21	-0.02	0.63	0.25	2
阳光玫瑰 Shine Muscat	0.46	-0.18	0.25	0.55	-0.40	0.15	3
新郁 Xinyu	-0.11	0.67	-0.23	-0.33	-0.13	0.04	4
户太八号 Hutai 8	-0.37	-0.23	-0.13	-0.47	-0.29	-0.25	5
妮娜女皇 Queen Nina	-1.28	-1.24	0.75	1.19	-0.35	-0.46	6

3 讨论

3.1 设施葡萄品种和架面位置间冠层 PAR 差异

测量果树冠层 PAR, 进行冠层光能资源调查, 可以反映果树冠层对光线的拦截情况, 了解果树生长发育、产量品质与光能利用间的关系, 对指导果蔬生产实践具有重要意义。葡萄属喜光性植物^[22], 不同架面位置叶片所处光环境不同, 树冠上层叶片受到太阳直接辐射多, 受到的 PAR 强, 而树冠中层和下层由于叶片的相互遮阴的影响, 叶片受到的散射光多, 较上层 PAR 较弱。本研究调查发现, 6 个葡萄品种的冠层 PAR 分布表现为架上 > 架中 > 架下。张彦群等^[23]也有相似研究结果, 梅鹿辄葡萄园不同时刻(9:00、12:00、14:00、17:00)垂直行向的冠层 PAR 均随着冠层高度的降低而减小。此外, 本研究还发现不同葡萄品种之间同冠层 PAR 也存在差异, 同样区域同样位置‘妮娜女皇’PAR 远远高于‘克瑞森无核’。其可能是因为不同葡萄品种对地方环境适应能力不同, 导致葡萄生长势出现差异, 造成叶面积不同, 从而对冠层 PAR 产生了不同的影响; 杨宗渠^[24]等对不同叶面积指数、冠层开度等芝麻品种研究也发现, 叶面积指数最高, 冠层开度最小的‘豫芝’和其他品种相比具有最强光截获和光能利用能力。

3.2 设施葡萄品种光合午休期间叶片 P_n 下降因素分析

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要通道, 会影响植物的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用^[25]。光合午休现象影响植物光合速率降低, 主要是气孔因素和非气孔因素所导致的^[26]。根据 Farquhar 等^[27]观点, 植物光合作用过程中, 由于气孔孔径变小, 抑制外界的 CO_2 进入叶片内部, 从而不能满足光合作用的需求, 导致 P_n 与 G_s 降低, 同时伴

随 C_i 下降, 则认为 P_n 下降是由气孔因素造成的; 相反, 如果 P_n 与 G_s 同时下降, 而 C_i 值反而升高, 则 P_n 下降是由非气孔因素造成的。本研究发现, 6 个葡萄品种在光合午休期间(12:00—14:00) P_n 下降的主要影响因素不同。其中, 在光合午休期间, 葡萄品种‘克瑞森无核’和‘新郁’ P_n 与 G_s 下降同时伴随 C_i 值下降, 两者 P_n 下降是由气孔因素造成的; 而在此期间葡萄品种‘户太八号’、‘夏黑’、‘阳光玫瑰’和‘妮娜女皇’ P_n 与 G_s 下降同时伴随着 C_i 值上升, 说明这些品种 P_n 下降是由非气孔因素造成的, 也说明这 4 个品种耐高温能力较差, 中午的高温和强辐射导致光合酶活性降低, 从而光合作用受到抑制而导致 C_i 升高。这与前人对‘夏黑’^[28]的研究结果一致, 但与在‘克瑞森无核’^[29]和‘阳光玫瑰’^[30]上研究结果不一致。推测可能是地域、气候、时期、栽培管理方式的不同而产生的差异。

3.3 设施葡萄品种光合能力日变化特征

叶绿素荧光是反映作物光合特性的重要指标, 对监测作物生长具有重要意义^[31]。其中的参数 F_v/F_m 是衡量植物受到光抑制的重要指标^[32]。本研究发现 6 个葡萄品种 F_v/F_m 均呈现先下降后上升的日变化趋势, 且均在 14:00—16:00 降至最低值。和田地区温室建造于沙漠中, 正午时分遭遇高温和高光强, 影响葡萄植株叶片碳同化过程, 诱导 Rubisco 活化酶构象发生变化, 造成 Rubisco 活化酶活性降低, 而午后随着温度的降低, F_v/F_m 曲线缓慢回升到初始水平, Rubisco 活化酶活性恢复, 这说明葡萄叶片 PSI、细胞色素复合体和类囊体膜功能在正午时分受到高温和强光影响^[33], 且这种损伤是可逆的, 在午后光合器官功能可得到恢复。Salvucci 等^[34]研究也发现, 在适当高温胁迫条件下, Rubisco 活性降低是由于 Rubisco 失活的速率超过 Rubisco

活化酶的活化能力所致。

另外,本试验中6个葡萄品种的光合和叶绿素荧光参数测定结果显示,‘克瑞森无核’与‘夏黑’相比其他葡萄品种具有较高的 P_n 、 G_s 、 T_r 、 F_o 、 F_m 和较低的 F_v/F_o 。与 F_v/F_m ,在和田地区光合能力较强。果树的光合能力强弱是影响果实品质的重要因素之一,近年研究发现‘克瑞森无核’与‘夏黑’在和田设施温室栽培中表现出可溶性固形物含量高^[35]、果实硬度大^[36]等特点,推测认为可能与其在弱光环境中具有较强的光合能力密切相关。

4 结 论

(1)各葡萄品种的光合有效辐射在设施内不同位置总体表现出棚前>棚后>棚中,在不同架面位置总体表现出架上>架中>架下。

(2)各葡萄品种叶片SPAD值在不同架面位置间表现出架上部>架中部>架下部,在品种间表现

为‘克瑞森无核’>‘夏黑’>‘新郁’>‘户太八号’>‘阳光玫瑰’>‘妮娜女皇’。

(3)各葡萄品种 P_n 、 G_s 、 T_r 均呈现出双峰曲线变化趋势,且它们第1次高峰时间均出现在10:00;6个葡萄品种的WUE日变化变化趋势不同,只有‘克瑞森无核’和‘阳光玫瑰’呈现双峰曲线的变化规律,其他品种无明显规律。

(4)叶绿素荧光参数(F_o)总体呈现出先升高后降低的日变化趋势,而 F_v/F_o 与 F_v/F_m 总体上呈现先下降后上升的变化趋势;各葡萄品种PSII实际光化学量子效率范围在0.36~0.78,且品种间变化趋势不同。

(5)各光合参数间主成分分析结果表明。6个葡萄品种的光合能力强弱的顺序为‘克瑞森无核’>‘夏黑’>‘阳光玫瑰’>‘新郁’>‘户太八号’>‘妮娜女皇’。

参考文献:

- [1] 贺普超. 葡萄学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 22-24.
- [2] 杨显玉, 朱俊橙, 文军, 等. 新疆大风气候特征分析及其对沙尘天气的影响[J]. 高原气象, 2023, 42(1): 186-196.
YANG X Y, ZHU J C, WEN J, *et al.* Analysis on characteristics of gale climate in South Xinjiang and its influence on sandstorm[J]. *Plateau Meteorology*, 2023, 42(1): 186-196.
- [3] 林荣呈, 杨文强, 王柏臣, 等. 光合作用研究若干前沿进展与展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(10): 1376-1384.
LIN R C, YANG W Q, WANG B C, *et al.* Advances and perspectives in several areas of photosynthesis research[J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2021, 51(10): 1376-1384.
- [4] 顾雪丹, 吕东, 赵祜, 等. 遮阴对红砂幼苗生长及光合特性的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(8): 145-152.
GU X D, LV D, ZHAO H, *et al.* Influence of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Reaumuria soongorica* seedlings[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, 37(8): 145-152.
- [5] 王敏, 苏聪聪, 石雪晖, 等. 不同葡萄类型光合特性的对比研究初报[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017(4): 28-31.
WANG M, SU C C, SHI X H, *et al.* Preliminary study on photosynthetic characteristics of different types of grapes[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2017(4): 28-31.
- [6] 王沛, 王进, 刘芳, 等. 成都地区避雨栽培葡萄苗期光合特性及耐弱光性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(14): 122-131.

- [7] 杨凡, 田军仓, 朱和, 等. 不同滴灌方式及水肥组合对酿酒葡萄光合与产量的影响[J]. 节水灌溉, 2020(11): 53-58.
YANG F, TIAN J C, ZHU H, *et al.* Effects of different drip irrigation methods and water and fertilizer combination on photosynthesis and yield of wine grape[J]. *Water Saving Irrigation*, 2020(11): 53-58.
- [8] 谢辉, 朱学慧, 白世践, 等. 不同栽培地区葡萄光合及荧光特性差异研究[J]. 北方园艺, 2022(24): 24-32.
XIE H, ZHU X H, BAI S J, *et al.* Study on differences of photosynthetic and fluorescence characteristics of grape in different cultivation areas [J]. *Northern Horticulture*, 2022 (24): 24-32.
- [9] 郭凯斌, 文壮, 李升, 等. 设施栽培条件下三个葡萄品种光合特性的比较[J]. 北方园艺, 2017(23): 87-93.
GUO K B, WEN Z, LI S, *et al.* Photosynthetic characteristics of three grape cultivars grown in greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 2017(23): 87-93.
- [10] 秦文华, 张扬, 朱永泰, 等. 西北干旱区葡萄净光合速率变化及其影响因素[J]. 广西植物, 2022, 42(12): 2157-2166.
QIN W H, ZHANG Y, ZHU Y T, *et al.* Variation of net photosynthetic rate of grape and its influencing factors in arid

- area of Northwest China[J]. *Guihaia*, 2022, 42(12): 2157-2166.
- [11] LINN A I, ZELLER A K, PFÜNDEL E E, *et al.* Features and applications of a field imaging chlorophyll fluorometer to measure stress in agricultural plants[J]. *Precision Agriculture*, 2021, 22(3): 947-963.
- [12] 辛建攀, 李燕, 赵楚, 等. 急性胁迫时雨久花叶片抗氧化酶活性与光合荧光参数的变化[J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51(11): 102-108.
- XIN J P, LI Y, ZHAO C, *et al.* Variations in antioxidant enzyme activities, photosynthesis, and fluorescence parameters in acute Cd-treated *Monochoria korsakowii* leaves[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2023, 51(11): 102-108.
- [13] 王方琳, 柴成武, 赵鹏, 等. 3 种荒漠植物光合及叶绿素荧光对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. *西北植物学报*, 2021, 41(10): 1755-1765.
- WANG F L, CHAI C W, ZHAO P, *et al.* Photosynthetic and chlorophyll fluorescence responses of three desert plants to drought stress and evaluation of drought resistance[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(10): 1755-1765.
- [14] 杨湘, 苏学德, 李鹏程, 等. 不同架式对‘阳光玫瑰’葡萄叶绿素荧光特性的影响[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(1): 96-104.
- YANG X, SU X D, LI P C, *et al.* Effects of different cultivation posture on chlorophyll fluorescence characteristics of ‘Shine Muscat’ grape[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(1): 96-104.
- [15] 潘越, 郭靖, 张浩, 等. 干旱环境下山葡萄光合和叶绿素荧光参数比较[J]. *西北农业学报*, 2022, 31(11): 1435-1442.
- PAN Y, GUO J, ZHANG H, *et al.* Comparison of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters of *Vitis amurensis* Rupr. under arid environment[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2022, 31(11): 1435-1442.
- [16] 魏豪, 李嘉光, 谭虎成. 塔里木盆地和田河流域的平面形态演变[J]. *地球科学*, 2023, 48(1): 359-374.
- WEI H, LI J G, TAN H C. Channel morphological evolution in confluence area of Hotan River in Tarim Basin[J]. *Earth Science*, 2023, 48(1): 359-374.
- [17] 肖艳. 和田地区 2020 年 4 月 17—23 日强降水天气过程分析[J]. *农业灾害研究*, 2022, 12(7): 146-148.
- XIAO Y. Analysis of heavy precipitation weather process in Hetian Area from April 17 to 23, 2020[J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2022, 12(7): 146-148.
- [18] 孙刚, 刘慧, 李丽, 等. 光合有效辐射及其传感器研究进展[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(8): 20-31.
- SUN G, LIU H, LI L, *et al.* Definition of photosynthetically active radiation (PAR) and its development progress[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(8): 20-31.
- [19] 何宇航, 周贤锋, 张竞成, 等. 植被指数方法估算冬小麦冠层叶绿素含量的角度效应研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2021, 37(4): 28-36.
- HE Y H, ZHOU X F, ZHANG J C, *et al.* Angle effect analysis on estimating canopy chlorophyll content of winter wheat by vegetation index methods[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2021, 37(4): 28-36.
- [20] 王直亮, 陈静芳, 林静怡, 等. 不同菜心品种叶绿素荧光参数日变化的研究[J]. *分子植物育种*, 2017, 15(9): 3654-3659.
- WANG Z L, CHEN J F, LIN J Y, *et al.* Study on diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of different cultivars of flowering Chinese cabbage varieties[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(9): 3654-3659.
- [21] 陈敬华, 王绍强, 李悦, 等. 亚热带人工针叶林叶绿素荧光参数日变化及其与植被生产力的关系[J]. *生态学报*, 2019, 39(15): 5603-5615.
- CHEN J H, WANG S Q, LI Y, *et al.* Diurnal changes in chlorophyll fluorescence parameters and their relationships with vegetation productivity in subtropical coniferous plantations[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(15): 5603-5615.
- [22] 李华. 葡萄栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 77-78.
- [23] 张彦群, 康绍忠, 丁日升, 等. 西北旱区葡萄园水碳通量耦合模拟[J]. *水利学报*, 2013, 44(增刊 1): 40-50.
- ZHANG Y Q, KANG S Z, DING R S, *et al.* Coupling simulation of water and carbon flux in vineyards in arid areas of Northwest China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2013, 44(Suppl. 1): 40-50.
- [24] 杨宗渠, 李长看, 徐芳芳, 等. 不同品种芝麻冠层结构及其光合特性[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(7): 1020-1025.
- YANG Z Q, LI C K, XU F F, *et al.* Canopy structure and photosynthetic characteristics of different sesame cultivars[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(7): 1020-1025.
- [25] 邢红爽, 乌佳美, 陈健, 等. 植物光合作用限制因素与植被生产力研究进展[J]. *生态学报*, 2023, 43(12): 5186-5199.
- XING H S, WU J M, CHEN J, *et al.* Research progress on limiting factors of plant photosynthesis and vegetation productivity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(12): 5186-5199.
- [26] 高冠龙, 冯起, 张小由, 等. 植物叶片光合作用的气孔与非

- 气孔限制研究综述[J]. 干旱区研究, 2018, 35(4): 929-937.
- GAO G L, FENG Q, ZHANG X Y, *et al.* An overview of stomatal and non-stomatal limitations to photosynthesis of plants[J]. *Arid Zone Research*, 2018, 35(4): 929-937.
- [27] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [28] 聂松青, 石雪晖, 田淑芬, 等. ‘红地球’与‘夏黑无核’成熟期光合日变化规律研究[J]. 河北林业科技, 2014(增刊1): 43-46.
- NIE S Q, SHI X H, TIAN S F, *et al.* Study on diurnal variation of photosynthesis of ‘Red Earth’ and ‘Summer Black Seedless’ maturity[J]. *Journal of Hebei Forestry Science and Technology*, 2014(Suppl. 1): 43-46.
- [29] 李辉, 李宏业, 姚会东, 等. 不同摘心方式对‘克瑞森无核’葡萄叶片光合特性及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 149-155.
- LI H, LI H Y, YAO H D, *et al.* Effects of different heart-picking methods on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of ‘Crimson Seedless’ grape[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(19): 149-155.
- [30] 卢倩倩, 阿布都外力·阿不力米提, 侯毅兴, 等. 复合盐碱胁迫下7个鲜食葡萄品种光合特性研究[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(7): 63-76.
- LU Q Q, Abuduwaili Abulimiti, HOU Y X, *et al.* Research of the photosynthetic characteristics of 7 table grape varieties under compound salt-alkali stress[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, 25(7): 63-76.
- [31] 李紫琴, 王家强. 浅谈叶绿素荧光技术在作物长势监测中的应用[J]. 农业与技术, 2023, 43(5): 7-9.
- LI Z Q, WANG J Q. Application of chlorophyll fluorescence technology in crop growth monitoring[J]. *Agriculture and Technology*, 2023, 43(5): 7-9.
- [32] KOCHEVA K, KARTSEVA T, NENOVA V, *et al.* Nitrogen assimilation and photosynthetic capacity of wheat genotypes under optimal and deficient nitrogen supply[J]. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 2020, 26(11): 2139-2149.
- [33] 闫兴凯, 卢明艳, 武春昊, 等. 抗寒梨品种资源秋季叶片叶绿素荧光参数日变化比较[J]. 北方园艺, 2022(19): 41-46.
- YAN X K, LU M Y, WU C H, *et al.* Comparison on chlorophyll fluorescence characteristics on the cold-resistant pear varieties in autumn[J]. *Northern Horticulture*, 2022(19): 41-46.
- [34] SALVUCCI M E, CRAFTS-BRANDNER S J. Inhibition of photosynthesis by heat stress: The activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. *Physiologia Plantarum*, 2004, 120(2): 179-186.
- [35] 张锦强, 苏学德, 李鹏程, 等. 一年两熟‘夏黑’葡萄日光温室温度变化与果实品质差异性分析[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(8): 1889-1895.
- ZHANG J Q, SU X D, LI P C, *et al.* Study on the variation of greenhouse temperature and fruit quality difference of ‘Summer Black’ grape with two-harvests-a-year in southern Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(8): 1889-1895.
- [36] 艾尼瓦尔·吐尔逊, 白世践, 蔡军社. 9个葡萄品种在吐鲁番地区设施条件下的栽培特性与品质比较[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016(6): 35-37.
- Ainiwar Turfan, BAI S J, CAI J S. Comparison of cultivation characteristics and quality of nine grape varieties under protected conditions in Turpan Area[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2016(6): 35-37.