

玉泉冬枣脆熟期光合速率日变化及影响因子研究

陶爱群¹, 王仁才^{2*}, 莫红专³, 仇振华⁴, 石浩², 姜小文¹

(1.湖南环境生物职业技术学院, 湖南 衡阳 421005; 2.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 3.衡南县气象局, 湖南 衡阳 421100; 4. 湖南玖一玉泉科技实业有限公司, 湖南 衡阳 421001)

摘要:以‘玉泉冬枣’为试材,在脆熟期用 Li-6400XT 便携式光合仪测定不同天气露地栽培区平地上玉泉冬枣营养枝、结果枝的净光合速率;露地栽培区平地上玉泉冬枣营养枝不同叶位的净光合速率;不同地形条件、不同栽培模式下玉泉冬枣结果枝上位叶的净光合速率,并对影响净光合速率的其他气体交换参数进行了简单相关分析、通径分析和主成分分析。结果表明:不论晴天或阴天,玉泉冬枣脆熟期的营养枝叶片净光合速率均高于结果枝的净光合速率,两者日进程均为单峰曲线;结果枝单叶净光合速率从大到小依次为上位叶、中位叶、下位叶;平地上结果枝上位叶的净光合速率大于坡地的净光合速率,日进程呈单峰曲线。简单相关分析结果显示,单叶净光合速率与叶片水气压亏缺、有效光合辐射、空气相对湿度、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度呈正相关;通径分析结果表明,叶面蒸腾速率和有效光合辐射与净光合速率的通径系数较高,分别为 0.731 1 和 0.641 1;主成分分析结果表明,温度因子对叶片净光合作用的影响最大,贡献率达 54.27%。

关键词:玉泉冬枣;脆熟期;营养枝;结果枝;净光合速率;日变化

中图分类号: S665.101 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2016)01-0054-05

Study on the diurnal change and influencing factors of net photosynthetic rate of ‘Yuquandongzao’ during crisp ripe period

Tao Aiqun¹, Wang Rencai^{2*}, Mo Hongzhan³, Qiu Zhenghua⁴, Shi Hao², Jiang Xiaowen¹

(1.Hunan Environmental Biological Polytechnical, Hengyang, Hunan 421005, China; 2.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3.Meteorological Bureau of Hengnan County, Hengyang, Hunan 421100, China; 4.Hunan Jiuyi Yuquan Science and Technology Industry Company, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: To study the photosynthetic characteristics of Yuquandongzao during crisp ripe period, Li-6400XT portable photosynthesis system was used to measure the diurnal change of net photosynthetic rate (P_n) and gas exchange parameters of single leaf on vegetative and fruit branches in different weather in open areas, different position leaves in vegetative branches in open areas and upper leaves in fruit branches on different terrain and by different cultivation style. Gas exchange parameters were analyzed with the methods of simple correlation analysis, path analysis, principal component analysis as well. The results showed that leaf P_n of vegetative branches was higher than that of fruit branches in both sunny days and cloudy days. Both of them showed single peak curve. The upper leaves' P_n of fruit branches was largest, the middle leaves' in the middle and the underneath leaves' was the smallest. Upper leaf P_n of fruit branches on flat land was higher than that on sloping land and showed single peak curve. The simple correlation analysis showed that leaf P_n was positively correlated with leaf air vapor pressure deficit, effective photosynthetic radiation, air relative humidity, stoma conductance and intercellular carbon dioxide concentration. The path analysis showed that path coefficients of leaf P_n with leaf transpiration rate and effective photosynthetic radiation were 0.731 and 0.6411 respectively. The principal component analysis showed that contribution of temperature to leaf P_n accounted for 54.27%.

Keywords: Yuquandongzao; crisp ripe period; vegetative branch; fruit branch; net photosynthetic rate; the diurnal change

冬枣营养丰富, 因药食两用而广受消费者喜欢。南方冬枣是从鲁北冬枣中选育的适合中国南方栽培的冬枣新品种^[1]。果实生长后期, 树木光合作用是影响冬枣经济产量和枣果品质的重要因素。枣的光合特性研究以北方品种群为主, 包括品种间差异^[2-5], 净光合速率日变化^[2-8]等研究。近年来, 南方冬枣光合特性研究逐渐增多, 如冬枣幼苗期的净光合速率日变化呈双峰曲线^[9]; 程晓建等^[10]研究了浙江兰溪 3 年生鲁北冬枣在开花坐果期光合作用日变化也为双峰曲线; 刘婧等^[3]、高梅秀等^[11]和王林云等^[12]的研究结果也表明冬枣在开花坐果期光合作用日变化也为双峰曲线, 但灰枣^[2]、骏枣^[2]、壶瓶枣^[7]和中秋酥脆枣的非木质化枣吊^[13]的日变化呈单峰曲线。南方冬枣光合速率日变化研究主要集中在枣果迅速生长期以前, 而进入白熟期后(脆熟期和完熟期)的光合特性研究鲜见报道。笔者以玉泉冬枣为试材, 对其脆熟期光合速率日变化进行研究, 旨在为玉泉冬枣优质栽培提供参考依据。

1 试验地概况

试验地位于湖南省祁东县白地市镇彭家湾村, 属于亚热带季风性湿润气候区。园区面积约 4 hm², 平地区约占 1/3, 东南向 15°左右坡地约占 2/3。平地区又分为简易避雨栽培区和露地栽培区。简易避雨棚共 10 个。每个棚宽 2.0 m, 高 3.0 m, 长 20.0 m。土壤均为第四纪红壤, pH 值 6.5, 肥力基本一致。

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试品种为‘玉泉冬枣’, 高接换冠 3 年(黎枣/酸枣), 栽培密度 2.0 m × 2.5 m, 平均冠幅 0.9 m × 1.2 m, 平均株高 1.7 m。

2.2 方法

试验于 2014 年进行。在 5 月下旬盛花期开甲时, 每株留一个中等偏弱的结果基枝, 不环剥, 不坐果, 作为营养枝; 环剥挂果的为结果枝。9 月下旬, 玉泉冬枣进入脆熟期, 采用 Li-6400XT 便携式光合测定仪, 测定不同天气(晴天和阴天)下露地栽培区平地上玉泉冬枣营养枝和结果枝的净光合速率; 晴天, 测定露地栽培区平地上玉泉冬枣营养枝不同叶位(上位叶 > 1.2 m, 中位叶 0.7~1.2 m, 下位叶 < 0.7 m)的净光合速率; 晴天, 测定露地栽培区玉泉冬枣不同地形条件(平地 and 坡地)结果枝上位叶

的净光合速率; 晴天, 测定不同栽培模式(露地栽培区平地上和避雨栽培)玉泉冬枣结果枝上位叶的净光合速率。08:00—18:00, 每隔 2 h 测定 1 次。每次选择长势均匀的树, 从东、南、西、北 4 个方向测定功能叶的光合速率。每个方向测定 3 片叶。单叶记录数据 3 次, 单株重复 3 次, 结果取平均值。

1.3 数据统计与分析

采用 Excel 2003 整理数据, 运用 SPSS 19 进行简单相关分析、通径分析以及多元逐步回归和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 玉泉冬枣叶片净光合速率的日变化

2.1.1 营养枝与结果枝的净光合速率日变化

从图 1 可知, 无论是晴天还是阴天, 平地枣园玉泉冬枣脆熟期营养枝的单叶净光合速率高于结果枝的净光合速率, 且均为单峰曲线。晴天, 营养枝和结果枝的单叶净光合速率最大值均出现在 12:00, 此时, 营养枝的净光合速率为 16.46 μmol/(m²·s), 结果枝的净光合速率为 12.84 μmol/(m²·s), 12:00 以前两者上升速率差别不大, 但峰值后营养枝的净光合速率下降速率大于结果枝的, 到 18:00 两者净光合速率比较接近。阴天营养枝净光合速率的最大峰值比晴天低 23.6%, 结果枝的比晴天低 15.9%; 阴天, 出现峰值的时间在 14:00, 比晴天晚 2 h。

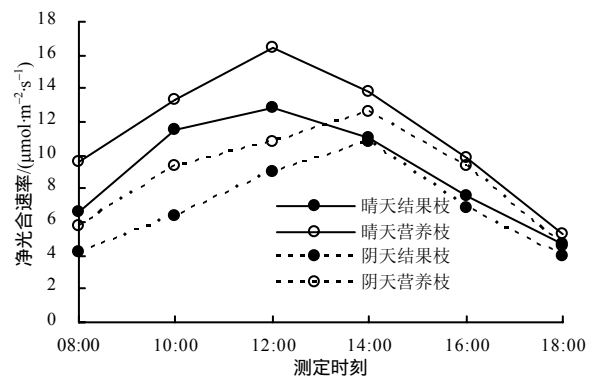


图 1 结果枝与营养枝的净光合速率(晴天, 阴天)

Fig.1 Pn comparison between fruit branch and vegetative branch in sunny and cloudy days

2.1.2 不同叶位营养枝净光合速率的日变化

晴天, 营养枝上位叶单叶净光合速率呈单峰曲线变化(图 2), 从 08:00 开始净光合速率迅速上升, 到 10:00 上升速率减小, 12:00 达到峰值(14.74 μmol/(m²·s)), 12:00—16:00 缓慢下降, 16:00—18:00

下降速度加快;下位叶结果枝净光合速率峰值出现在 10:00,为 7.95 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,出现峰值后净光合速率一直平稳下降,整个进程类似于旗形曲线。中位叶结果枝净光合速率介于上、下位叶之间,整个进程比较接近上位叶,净光合速率峰值也是在 12:00 出现,为 11.94 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,比上位叶低 19.02%。

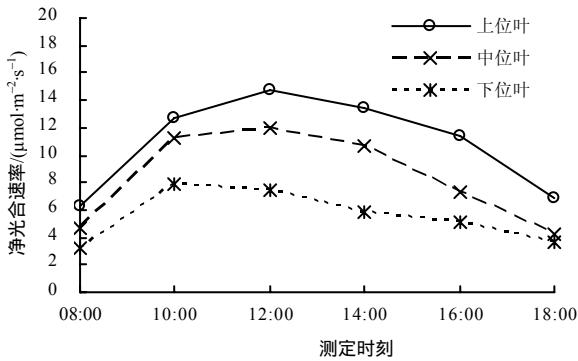


图 2 不同叶位营养枝的净光合速率

Fig. 2 Pn of different position leaves of vegetative shoots

2.1.3 不同地形条件下玉泉冬枣结果枝净光合速率的日变化

不同地形条件下玉泉冬枣结果枝上位叶光合速率日变化都呈单峰曲线(图 3),但进程不一样,平地的净光合速率 12:00 达到峰值,为 14.30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,而坡地 14:00 才达到峰值,为 13.21 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。2 种地形条件下的光合速率出现峰值后下降均较快,且坡地净光合速率下降速率比平地大。到 18:00,平地、坡地的净光合速率分别为 4.71 和 4.17 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,约为各自峰值的 32%。

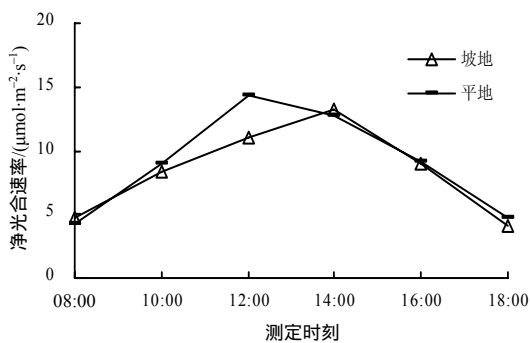


图 3 平地和坡地结果枝的净光合速率

Fig. 3 Pn comparison of fruit branch on slopping and plain field

2.1.4 不同栽培模式下结果枝净光合速率的日变化

晴天,避雨和露地 2 种栽培模式下,结果枝上位叶净光合速率出现较大差别(图 4)。08:00,避雨栽培模式下净光合速率(4.76 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)大于露地栽培的净光合速率(4.22 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$),但 10:00 以后均小于露地栽培。12:00 前露地栽培净光合速率上

升明显快于避雨栽培;在 12:00 出现峰值,露地栽培峰值为 13.37 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,避雨栽培的峰值为 12.14 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;12:00—14:00,露地栽培的净光合速率下降比避雨栽培的慢。

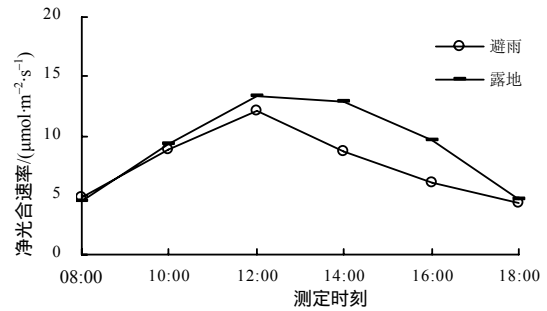


图 4 避雨和露地栽培模式下的净光合速率

Fig. 4 Pn of the open and shelter cultivation

2.2 净光合速率与其他气体交换参数的简单相关分析和途径分析

净光合速率与其他气体交换参数的简单相关性分析和途径分析结果见表 1。由表 1 可知,净光合速率与叶片温度呈显著负相关,与叶面蒸腾速率成负相关,与叶片水气压亏缺、有效光合辐射、空气 CO₂ 浓度、空气相对湿度、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度成显著正相关;进一步对有显著效应的 6 个因子进行线性回归分析,得到方程 $y=24.965\ 53-0.128\ 71x_1+0.311\ 48x_2+0.001\ 00x_4+0.005\ 80x_6+34.499\ 69x_7-0.074\ 31x_8$ ($R^2=0.945\ 7$),式中 y 、 x_1 、 x_2 、 x_4 、 x_6 、 x_7 、 x_8 分别代表净光合速率、叶片温度、叶片水气压亏缺、有效光合辐射、空气相对湿度、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度。途径分析可将参数的影响分解为直接作用和间接作用,途径分析结果验证了胞间 CO₂ 浓度对净光合速率的直接作用与间接作用的不一致,表明净光合速率与气孔导度、叶面蒸腾速率和有效光合辐射在直接作用和间接作用上有一致性,而其他参数的直接作用和间接作用与胞间 CO₂ 浓度相似。

表 1 净光合速率与其他气体交换参数的简单分析和途径分析结果

Table 1 The simple and path correlation coefficient of Pn and air exchange parameters

类型	简单相关系数	途径系数		
		总途径	直接途径	间接途径
叶片温度	-0.286 2*	0.594 7	-0.220 5	0.815 2
叶片水气压亏缺	0.314 5*	0.456 0	-0.144 8	0.600 7
叶面蒸腾速率	-0.100 0	0.731 1	0.723 2	0.007 9
有效光合辐射	0.551 4*	0.641 1	0.046 7	0.594 4
空气 CO ₂ 浓度	0.095 7	-0.563 2	0.017 7	-0.580 9
空气相对湿度	0.475 3*	-0.361 1	0.167 9	-0.529 0
气孔导度	0.278 1*	0.551 4	0.252 4	0.299 0
胞间 CO ₂ 浓度	0.764 1*	-0.586 0	-0.833 8	0.247 8

2.3 主成分分析

为了进一步分析玉泉冬枣脆熟期对单叶净光合速率起主导作用的影响因子,对 8 个气体交换参数进行主成分分析,通过相关的特征值和特征向量,选取前 3 个(λ_1 、 λ_2 、 λ_3)作为影响净光合速率的主要因子,累计贡献率为 86.82%(表 2)。第 1 主成分中以叶片温度、叶面水气压亏缺、叶面蒸腾速率为主,可以看作是温度因子,这些因子与净光合速率的相关性和日进程表现基本一致。第 2 主成分中以气孔导度和胞间 CO_2 浓度为主,可以看作气孔因子。第 3 主成分是以空气相对湿度和有效光合辐射为主,可以看作是湿度因子。

表 2 玉泉冬枣单叶净光合速率影响因子主成分分析的特征向量

影响因子	λ_1	λ_2	λ_3
叶片温度	0.934 2	0.051 6	0.105 8
叶面水气压亏缺	0.860 0	-0.439 7	-0.039 7
叶面蒸腾速率	0.844 4	0.443 9	-0.268 0
有效光合辐射	0.759 0	0.371 7	0.435 6
空气 CO_2 浓度	-0.755 2	-0.049 7	-0.194 6
空气相对湿度	-0.636 5	0.543 7	0.524 7
气孔导度	0.381 8	0.839 3	-0.274 6
胞间 CO_2 浓度	-0.565 0	0.599 9	-0.217 4
特征值	4.341 7	1.893 6	0.710 1
贡献值/%	54.27	23.67	8.88
累积贡献值/%	54.27	77.94	86.82

3 结论与讨论

本试验结果表明,不论晴天或阴天玉泉冬枣脆熟期的营养枝净光合速率均高于结果枝的净光合速率,这可能与叶片的叶龄、叶位和营养条件有关,一方面没有环剥的营养枝生长势强于结果枝,且常处于树冠上位;另一方面,营养枝不坐果,在其他枝条坐果后又长出新叶(坐果枝几乎不长新叶),可能与被测的营养枝叶龄小于结果枝的叶龄有关。营养枝净光合速率从大到小的叶位依次为上位叶、中位叶、下叶位,这可能与不同叶位叶片受光照强度不同有关。平地结果枝的净光合速率大于坡地的,可能由于地形不同,除了叶片受到阳光照射的强度不一致外,还与不同地形条件下土壤含水量的多少有关。玉泉冬枣不同叶位、不同天气、不同地形条件、不同栽培模式下的净光合速率出现单峰或旗形曲线,均没有“午休”现象,这与灰枣^[2]、骏枣^[2]、灵武长枣成年株^[7]、中秋酥脆枣非木质化结果枝^[13]光合日变化情况接近,说明观测日的南方冬枣的光

合作用没有出现气孔限制或(和)非气孔限制^[10]。

净光合速率与其他气体交换参数间的关系比较复杂^[14],前人的研究结果也不尽相同。本试验用不同分析方法得到净光合速率与其他气体交换参数的正负相关性存在一定差异,简单相关分析的结果表明,有效辐射对净光合速率的影响最大;途径分析结果表明,叶片蒸腾速率对净光合作用的影响最大;主成分分析结果表明,对光合速率影响较大的前 3 个主成分为温度因子、气孔因子及湿度因子。这既从数学上证明了光合作用是一个气体交换参数相互影响、交织在一起的复杂过程,同时也反映出不同分析方法本身可能存在一定的局限性,分析光合作用气体交换参数间的相关关系的最适方法还有待进一步探索。

参考文献:

- [1] 王仁才. 南方冬枣丰产优质栽培技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2011.
- [2] 张琦, 吴翠云, 王合理, 等. 灰枣、骏枣不同枝条叶片净光合速率的对比研究[J]. 塔里木大学学报, 2012, 24(4): 18-21.
- [3] 刘婧, 孙培琪, 李宪利. 三个枣树品种光合荧光特性的研究[J]. 山东农业科学, 2011(5): 18-20, 39.
- [4] 陈亚萍, 章英才, 景红霞, 等. 灵武长枣光合特性及果实生长发育特征[J]. 北方园艺, 2013(9): 1-4.
- [5] 曹兵, 江莉, 李银娣, 等. 灵武长枣光合作用研究初报[J]. 北方园艺, 2012(11): 11-14.
- [6] 万素梅, 胡守林, 果先民, 等. 干旱胁迫对塔里木盆地红枣光合特性及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(3): 171-175.
- [7] 周凤. 酸枣砧木对壶瓶枣幼树光合作用的影响[J]. 山西农业科学, 2004, 32(1): 39-42.
- [8] 王颖, 李晓彬, 范阳阳, 等. 不同水分处理对梨枣树花期光合特性影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(2): 111-114.
- [9] 姚立新, 庞晓明, 康向阳, 等. 不同产地冬枣嫁接苗光合特性对比研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(5): 107-110.
- [10] 程晓建, 王林云, 周顺元, 等. 3 种鲜食枣品种光合作用日变化及光响应特征[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 998-1002.
- [11] 高梅秀, 鲍明辉, 商云长, 等. 冬枣叶片光合速率及生理生态因子日变化研究[J]. 中国果树, 2013(3): 24-26.
- [12] 王林云, 郑庆林, 周顺元, 等. 鲁北冬枣光合特性研究[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(1): 34-37.
- [13] 晏巢, 王森, 邵凤侠. 南方鲜食枣木质化与非木质化枣吊叶片光合效率的比较[J]. 经济林研究, 2013, 31(2): 113-117.
- [14] 邓沛怡, 周杰良, 陶抵辉, 等. 干旱胁迫对 6 种藤本植物光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2015, 41(3): 263-270.

责任编辑: 尹小红

英文编辑: 梁和