

网络出版日期:2016-01-21

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20160121.1538.030.html>

南疆春季不同天气条件对设施桃树光合日变化的影响

马 凯¹, 韩立群¹, 克里木¹, 梅 闯¹, 闫 鹏¹, 马秀珍², 赵国庆², 王继勋¹

(1. 新疆农业科学院 园艺作物研究所/农业部新疆地区果树科学观测试验站, 乌鲁木齐 830091;

2. 新疆叶城县园艺工作站, 新疆叶城 844900)

摘要 在设施桃树果实发育期, 利用 TPS-2 型便携式光合仪测定南疆春季晴天、沙尘暴天气条件下桃树净光合速率(P_n)及主要环境因子并分析日变化特征, 通过相关分析、逐步多元回归等方法探讨 P_n 与环境因子的关系。结果表明: ①2 种天气条件下, 设施桃树光合日变化差异较大, 晴天‘中油 5 号’油桃光合日变化为不对称双峰曲线且第 1 个峰值较小, 沙尘暴天气的光合日变化曲线为单峰型且全天 P_n 平均值仅为晴天的 50% 左右。②晴天, 影响设施桃 P_n 的主要环境因子及大小顺序为光合有效辐射(PAR)>相对湿度(RH)>温度(T_a)> CO_2 体积分数(C_a), 沙尘暴天气, 影响设施桃 P_n 的主要环境因子及大小顺序为 PAR> T_a 。沙尘暴天气使光照极度减弱, 导致设施内环境因子大幅改变, 影响桃树的光合日变化。2 种天气条件下, 光照通过直接或间接作用成为影响设施桃树光合作用最重要的环境因子。

关键词 设施桃; 光合日变化; 逐步多元回归

中图分类号 S662.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2016)02-0258-06

近年来, 设施桃树成为新疆地区设施果树发展的重要树种, 特别是在南疆阿克苏、喀什等区域形成规模化生产, 但相关的基础研究还比较薄弱^[1]。光合作用是植物生长发育的基础, 也是果树产量和品质构成的决定因素, 同时, 又是对环境条件变化十分敏感的一个生理过程^[2], 所以, 研究南疆设施桃树光合日变化及环境因子对于探讨设施桃树光合生理、制定高效栽培措施具有一定意义。前人关于设施桃树光合特性方面的研究主要集中在光合日变化特征以及光照、温度、湿度、 CO_2 对光合速率的影响等方面^[2-6]。南疆春季风沙天气频繁^[7-8], 针对这种典型天气条件对设施桃树光合日变化影响的研究尚未见报道。因此, 研究南疆春季晴天、沙尘暴天气条件下设施桃树光合日变化并探讨设施内环境因子与光合速率的关系, 能够为设施环境调控及优质高效栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地及材料

试验地点在新疆喀什地区叶城县, 当地年均

温 11.3 ℃, 年平均积温为 4 042 ℃, 年平均无霜期 228 d, 年平均降水量 54 mm, 年蒸发量 2 480 mm, 全年日照时数 2 742 h。桃树日光温室在叶城县零公里设施农业示范区内, 温室结构为钢架结构, 墙体厚度 60 cm, 温室长度 85 m, 跨度 7.5 m, 脊高 3.2 m, 覆盖无滴膜, 配备有棉被, 土壤质地为沙壤土。温室内桃树的株行距为 1.5 m × 2 m, 树龄 6 a, 品种为‘中油 5 号’。试验温室于 1 月 3 日开始扣棚升温。

1.2 测定方法

设施桃树光合作用日变化在 2012 年 3 月桃树果实发育期测定, 选择 3 个典型晴天和 3 个沙尘暴天气, 测定数据重复 3 次, 晴天和沙尘暴天气间隔 12 d 左右。沙尘暴天气依据国家标准所规定的强风将地面尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度小于 1 000 m 的天气现象来选定^[9]。采用英国 PP-SYSTEMS 公司 TPS-2 型光合作用测定系统, 从树冠外围东、南、西侧各选择 1 个新梢, 选取新梢自上而下第 2~3 片完全展开的功能叶进行测定^[2], 重复 3 次。净光合速率(P_n)日变化从早

收稿日期: 2015-06-02 修回日期: 2015-06-27

基金项目: 新疆自治区“十二五”重大专项子课题(201130104-2-4)。

第一作者: 马 凯, 男, 副研究员, 主要从事果树资源及设施栽培研究。E-mail: sunshine002mk@163.com

通信作者: 王继勋, 男, 研究员, 主要从事果树资源及设施栽培研究。E-mail: ee_wjx@163.com

晨揭开棉被后 10:00—19:00 每小时测定 1 次, 同时测定主要环境因子光合有效辐射(PAR)、温度(T_a)、相对湿度(RH)、 CO_2 体积分数(C_a)等参数。

1.3 数据分析

用 DPS v 9.50 数据处理系统进行试验数据简单相关、逐步多元回归和通径分析。

2 结果与分析

2.1 不同天气条件下叶片 P_n 日变化

P_n 日变化结果表明(图 1), 晴天, ‘中油 5 号’ P_n 日变化曲线呈双峰型, 且第 1 个峰值较小。早晨 10:00 揭棉被后, P_n 开始小幅上升, 达到 $6.5 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 后, 又小幅下降到 $4.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时温室内温湿度明显上升, 打开通风口, P_n 一直呈上升趋势, 15:00 左右达到全天最高值 $11.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此后随着光照强度的减弱, P_n 又逐渐下降。沙尘暴天气, ‘中油 5 号’ P_n 日变化曲线呈单峰型。早晨 10:00 揭棉被后, 由于光照强度较弱, P_n 仅为 $2.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此后开始缓慢上升, 15:00 时左右, P_n 达到全天最高值 $6.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 之后随着光照强度减弱, P_n 逐渐下降。

晴天, ‘中油 5 号’的 P_n 最大值为 $11.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 沙尘天为 $6.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 为晴天的 58.6%; 晴天的 P_n 平均值为 $8.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 沙尘天为 $4.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 只达到晴天的 51.8%。这说明, 在沙尘暴天气条件下, 温室内桃树全天 P_n 平均值仅为晴天的一半左右。

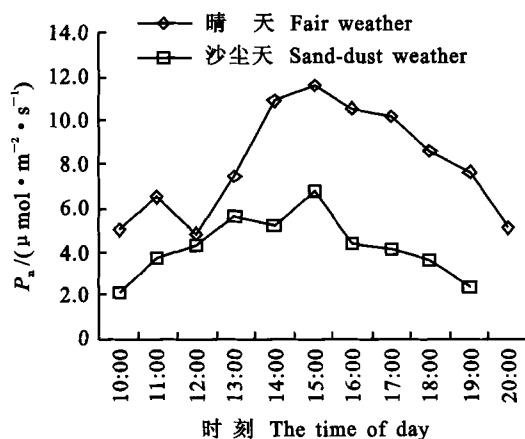


图 1 不同天气条件下设施桃树 P_n 日变化

Fig. 1 Diurnal variation of photosynthesis under different weather conditions of peach trees under protected cultivation

2.2 不同天气条件下设施内环境因子日变化

2 种天气条件下设施内环境因子日变化表明(图 2), 晴天, 早晨温室揭开棉被后, 随着光照强度的增强, 温室内温度迅速上升, 相对湿度逐步下降, 光合作用的进行使 CO_2 被迅速消耗。12:00 时以后采取通风措施, 温室内温度、湿度逐步降低, 空气流通后温室 CO_2 体积分数略有回升, 全天光照强度在 14:00—17:00 达到最高。

沙尘暴天气, 早晨温室揭开棉被后, 随着光照进入, 温度缓慢上升、相对湿度保持在 90% 左右, CO_2 体积分数逐步下降, 但光照增强幅度有限, 温室全天没有采取通风措施。与晴天相比, 温湿度全天变化平缓, 光照强度大幅下降, 光照强度平均值为晴天的 25.9%。

2.3 不同天气条件下环境因子与 P_n 的关系

对 2 种天气条件下设施桃叶片 P_n 与主要环境影响因子的简单相关分析可知(表 1): 晴天和沙尘暴天气条件下, P_n 都与 PAR 极显著正相关, P_n 与 T_a 呈正相关关系, 与 RH 和 C_a 呈负相关关系。晴天, P_n 与 RH 极显著负相关。进一步应用逐步多元回归分析的方法, 以 $PAR(x_1)$ 、 $T_a(x_2)$ 、 $RH(x_3)$ 、 $C_a(x_4)$ 对 $P_n(y)$ 进行逐步多元回归分析, 建立 P_n 与环境影响因子的最优回归方程, 晴天, 方程为: $y = -1.3597 + 0.0073x_1 - 0.4514x_2 + 21.2393x_3 - 0.0091x_4$, 负相关系数 $R = 0.9799$, $F = 36.2891$, 显著水平 $P = 0.0002$, 剩余标准差 $S = 0.6484$ 。沙尘暴天气, 方程为: $y = 5.4198 + 0.0087x_1 - 0.2043x_2$, 负相关系数 $R = 0.9553$, $F = 36.5226$, 显著水平 $P = 0.0002$, 剩余标准差 $S = 0.4747$ 。经 F 检验, 方程变量与自变量的相关性达到显著水平, 拟合值与观察值接近, 方程具有较好的预测能力。

对逐步回归中挑选出的环境因子与 P_n 进行偏相关系数分析结果(表 2)表明, 晴天, P_n 与环境因子 $x_1(PAR)$ 相关性达到极显著水平, 与环境因子 $x_2(T_a)$ 、 $x_3(RH)$ 相关性达显著水平。沙尘暴天气, P_n 与环境因子 $x_1(PAR)$ 相关性达到极显著水平, 与环境因子 $x_2(T_a)$ 相关性达显著水平。

为进一步分析环境因子如何直接和间接影响 P_n , 进行通径分析。结果(表 3)表明, 从直接作用绝对值大小来看, 晴天, 环境因子对 P_n 的影响顺序为 $x_1(PAR) > x_3(RH) > x_2(T_a) > x_4(C_a)$, 环境因子中对 P_n 起直接正效应的是 PAR 和 RH,

PAR 除自身直接作用外,还通过 T_a 、RH 对 P_n 起间接负效应。RH 通过 PAR 的间接负效应大于自身的正效应,所以 RH 对 P_n 的总效应为负相关。 T_a 通过 PAR 和 C_a 的间接正效应大于自身的直接负效应,所以 T_a 对 P_n 的总效应为正相

关。沙尘暴天气,环境因子对 P_n 的影响顺序为 $x_1(PAR) > x_2(T_a)$, 这说明,在 2 种天气条件下,光照通过直接或间接作用成为影响桃树光合作用最重要的环境因子。

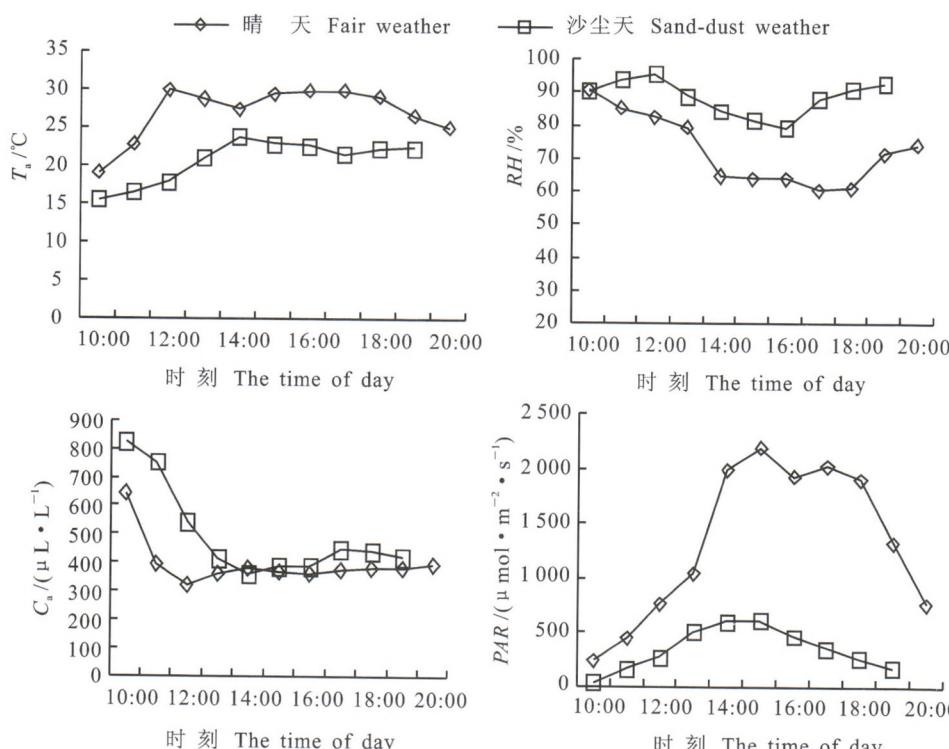


图 2 不同天气条件下设施桃树环境因子日变化

Fig. 2 Diurnal variation of environmental factors under different weather conditions of peach trees under protected cultivation

表 1 不同天气条件下 P_n 与环境因子的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of P_n and environment factors under different weather conditions

天气条件 Weather condition	光照 Photosynthetic available radiation	温度 Temperature	相对湿度 Relative humidity	CO_2 体积分数 CO_2 volume fraction
晴 天 Fair weather	0.929 4**	0.571 8	-0.831 5**	-0.354 2
沙尘暴天气 Sand-dust weather	0.913 9**	0.492 7	-0.562 5	-0.576 3

注: * 和 ** 分别代表在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下表同。

Note: * and ** mean significant differences at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same as below.

表 2 不同天气条件下 P_n 与环境因子的偏相关系数

Table 2 Partial correlation of P_n and environment factors in different weather conditions

天气条件 Weather conditions	$r(y, x_1)$	$r(y, x_2)$	$r(y, x_3)$	$r(y, x_4)$
晴 天 Fair weather	0.930 9**	-0.738 1*	0.770 4*	-0.569 7
沙尘暴天气 Sand-dust weather	0.940 5**	-0.685 1*		

3 讨论

设施桃树栽培依赖于良好的天气条件,不同天气条件对桃树光合日变化能产生直接影响。王志强等^[2]研究了简易拱圆式塑料膜大棚中油桃光

合特性,晴天‘曙光’油桃的光合日变化曲线有 3 个峰值,阴天是较为平缓的 2 个峰值。本试验在日光温室中测定晴天‘中油 5 号’油桃光合日变化曲线有 2 个峰值,且第 1 个峰值较小,12:00 时前后达到低谷,此时光强并不高,光合速率降低的原

表 3 不同天气条件下 P_n 与环境因子的通径分析Table 3 Path analysis of P_n and environment factors under different weather conditions

天气条件 Weather condition	环境因子 Environmental factor	直接通径系数 Direct effect	间接通径系数 Indirect effect			
			x_1	x_2	x_3	x_4
晴 天 Fair weather	x_1	2.088 5		-0.462 1	-0.846 1	0.149 2
	x_2	-0.619 7	1.561 9		-0.629 2	0.257 1
	x_3	0.886 3	-1.999 9	0.440 0		-0.155 1
	x_4	-0.302 7	-1.029 1	0.524 8	0.452 9	
沙尘暴天气 Sand-dust weather	x_1	1.222 5		-0.308 7		
	x_2	-0.415 5	0.908 2			

因可能与温室条件下温度短时间内升高过快导致叶片气孔关闭有关^[10],12:00时以后温室采取通风措施,温室内温度、湿度逐步降低,此时光合速率又迅速提高。沙尘暴天气的光合日变化曲线为单峰型且全天 P_n 平均值仅为晴天的一半左右。与阴天不同,南疆春季沙尘暴天气除光照减弱外,还常伴有刮风、降温等天气过程,对设施内光照、温度、湿度等环境因子影响更大,设施内全天光照强度仅为晴天的 25.9%,全天最高温度达到 23.8 °C,未采取通风措施,环境因子的大幅改变影响桃树的光合日变化。

植物光合作用是一个对生态因子敏感的复杂生理过程,生态因子不仅直接影响光合作用,而且还通过影响植物的生理因子进而影响光合作用,各种因子间有着错综复杂的关系^[11-12]。由于简单相关分析在某些情况下无法准确反映 P_n 与环境因子的关系^[13-14],本研究进一步通过逐步多元回归分析方法,得到晴天、沙尘暴天气条件下 P_n 与环境影响因子的最优回归方程。偏相关分析和通径分析结果表明,温室内主要环境因子通过直接或间接效应影响桃树 P_n 。温室内的温度、湿度、光照、CO₂ 等环境因子的变化依赖于外界且与外界环境气象条件存在相关性^[15],天气条件不同,影响设施桃树 P_n 的环境因子也不同。本试验结果表明,2 种天气条件下,光照都成为影响设施桃树光合作用最重要的环境因子。光照是日光温室获取能量的唯一来源,光决定温室内的光照度、温度、湿度等许多因子状况和温室的整体环境状况^[16],对于光合作用来说,光照的变化能改变空气温度和叶温而使蒸腾速率、光合速率发生变化^[11]。早春季节的日光温室栽培对光照依赖性更强。针对南疆典型天气条件及不同环境因子对光合速率的影响程度,实际生产中,可采取通风、排湿,补光增温、清除覆盖物上的尘土等方法改善

温室小环境,提高桃树光合速率。本试验从生产角度出发,分析影响设施桃树 P_n 的环境因子,未对生理因子进行分析,有待进一步研究。

4 结 论

晴天‘中油 5 号’油桃光合日变化为不对称双峰曲线且第 1 个峰值较小,沙尘暴天气的光合日变化曲线为单峰型且全天 P_n 平均值仅为晴天的一半左右。沙尘暴天气使设施内环境因子大幅改变,影响桃树的光合日变化。

晴天,影响设施桃 P_n 的主要环境因子及大小顺序为 $PAR > RH > T_a > C_a$; 沙尘暴天气,影响设施桃 P_n 的主要环境因子及顺序为 $PAR > T_a$ 。

针对南疆春季晴天和沙尘暴天气,晴天采取通风降温、排湿,增加 CO₂ 体积分数等方法改善温室小环境,提高桃树光合速率;沙尘暴天气主要以改善光照为目的,采取温室补光增温,清除棚膜、树体上的尘土等措施改善光温条件,提高光合速率。

参考文献 Reference:

- [1] 王继勋,卢春生,马 凯,等.新疆设施果树生产现状及发展对策[C]//新疆园艺学会学术研讨会论文集,新疆乌鲁木齐:新疆农业大学,2011:18-22.
WANG J X, LU CH SH, MA K, et al. The production present situation and development countermeasures of fruit trees under protected cultivation in Xinjiang[C]//Xinjiang Society for Horticultural Science of 2011 Conference Proceedings, Urumqi Xinjiang: Xinjiang Agricultural University, 2011: 18-22(in Chinese with English abstract).
- [2] 王志强,何 芳,牛 良,等.设施栽培油桃光合特性研究[J].园艺学报,2000,27(4):245-250.
WANG ZH Q, HE F, NIU L, et al. A comparative research on photosynthesis of nectarine inside and outside of greenhouses[J]. Acta Horticulare Sinica, 2000, 27(4): 245-

- 250(in Chinese with English abstract).
- [3] 张淑云. 设施栽培桃光合特性的研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2001.
- ZHANG SH Y. A comparative research on photosynthesis of peach grow inside and outside greenhouses[D]. Baoding Hebei: Agricultural University of Hebei, 2001 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张宏辉, 张清彬. 日光温室油桃光合特性的观察研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(6): 87-89, 95.
- ZHANG H H, ZHANG Q B. Observation on the photosynthesis characteristics of *Prunus persick* var. *nectarina* maxim in greenhouse [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(6): 87-89, 95 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王志强, 何方, 牛良, 等. CO₂施肥对大棚油桃光合作用及产量品质的影响[J]. 果树学报, 2001, 18(2): 75-79.
- WANG ZH Q, HE F, NIU L, et al. The effects of CO₂ enrichment on photosynthesis, yield and quality of nectarine in greenhouse[J]. *Journal of Fruit Science*, 2001, 18(2): 75-79 (in Chinese with English abstract).
- [6] 刘文海, 高东升, 束怀瑞. 不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2069-2075.
- LIU W H, GAO D SH, SHU H R. Effects of different photon flux density on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of peach trees in protected culture [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(10): 2069-2075 (in Chinese with English abstract).
- [7] 徐茜, 赵景波. 新疆沙尘暴活动与气候条件的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(12): 116-120.
- XU Q, ZHAO J B. The relations between sandstorm activities and climatic conditions in Xinjiang[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(12): 116-120 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王旭, 马禹, 陈洪武. 新疆沙尘暴天气的气候特征[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 539-544.
- WANG X, MA Y, CHEN H W. Climatic characteristics of sandstorm in Xinjiang [J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(5): 539-544 (in Chinese with English abstract).
- [9] 中国国家标准化管理委员会. 沙尘暴天气等级: GB/T 20480-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- Standardization Administration of China. Grade of Sand and Dust Storm Weather: GB/T 20480-2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张安宁, 秦栋, 薛晓敏, 等. 设施环境因子对凯特杏光合特性的影响[J]. 农业现代化研究, 2008, 29(2): 246-249.
- ZHANG A N, QIN D, XUE X M, et al. Effect of environmental factors in protected cultivation on photosynthesis characters of katty apricot [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29 (2): 246-249 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张新慧, 张恩和. 当归叶片光合参数日变化及其与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2314-2319.
- ZHANG X H, ZHANG E H. Diurnal dynamics of photosynthetic parameters in leaves of *Angelica sinensis* and its relation to environmental factors[J]. *Acta Bot Boreali-Occidentalis Sinica*, 2008, 28 (11): 2314-2319 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王建华, 任士福. 连翘光合作用特性及其影响因子分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(6): 41-45.
- WANG J H, REN SH F. Photosynthetic characteristics of forsythia suspense and influencing factors[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25 (6): 41-45 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李林峰. 4种湿地植物光合作用特性的比较研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2094-2102.
- LI L F. Comparative study on photosynthetic characteristics of hydrophytes in constructed wetland [J]. *Acta Bot. Boreali-Occidentalis Sinica*, 2008, 28 (10): 2094-2102 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王小玮, 金则新, 柯世省, 等. 乌药光合特性日进程与其环境因子的相关分析[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(2): 5-10.
- WANG X W, JIN Z X, KE SH X, et al. Diurnal photosynthetic characteristics of lindera aggregate and its correlation with environmental factors[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25 (2): 5-10 (in Chinese with English abstract).
- [15] 马凯, 王继勋, 卢春生, 等. 不同天气条件下日光温室桃树栽培环境因子的变化特征[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(12): 2245-2249.
- MA K, WANG J X, LU CH SH, et al. The variation characteristics of environmental factors in peach trees greenhouse under different weather conditions [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(12): 2245-2249 (in Chinese with English abstract).
- [16] 王静, 崔庆法, 林茂兹. 不同结构日光温室光环境及补光研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 86-89.
- WANG J, CUI Q F, LIN M Z. Illumination environment of different structural solar greenhouses and their supplement illumination [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002, 18(4): 86-89 (in Chinese with English abstract).

Effect of Different Weather on Diurnal Variation of Photosynthesis of Peach Trees under Protected Cultivation in Spring in Southern Xinjiang

MA Kai¹, HAN Liqun¹, Klim¹, MEI Chuang¹, YAN Peng¹,
MA Xiuzhen², ZHAO Guoqing² and WANG Jixun¹

(1. Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Xinjiang Fruit Science Experiment Station, Ministry of Agriculture, Urumqi 830091, China; 2. Horticulture Station of Yecheng, Yecheng Xinjiang 844900, China)

Abstract During fruit development of peach trees under protected cultivation, TPS-2 portable photosynthesis analysis system was used to determine diurnal variation of photosynthesis and environment factors in fair weather and sand-dust weather, relative analysis and stepwise multi-regression were also used to discuss the relationship of environment factors and diurnal changes of photosynthetic rate. The results showed that: ① There was great difference among the diurnal variation of P_n in two kinds of weather conditions, the diurnal variation of P_n was the bimodal curve in fair weather and the first peak was small, the diurnal variation of P_n was the unimodal curve in sand-dust weather and the average value of photosynthetic rate was only about half of which in fair weather during a whole day. ② In fair weather, the main environment factors which affected P_n and the order of effecting ability was $PAR > RH > T_a > C_a$; in sand-dust weather, $PAR > T_a$. Light extremely weakened in sand-dust weather and it rised to a dramatic change of environment factors affected the diurnal variation of P_n . Under this two kinds of weather conditions, light was the most important environment factor which directly or indirectly affected photosynthesis of peach tree under protected cultivation.

Key words Peach tree under protected cultivation; Diurnal variation of photosynthesis; Stepwise multi-regression

Received 2015-06-02 **Returned** 2015-06-27

Foundation item Major Special Projects of the 12th Five-year Plan of Xinjiang(No. 201130104-2-4).

First author MA Kai, male, associate professor. Research area: fruit tree resources, protected cultivation. E-mail: sunshine002mk@163.com

Corresponding author WANG Jixun, male, professor. Research area: fruit tree resources, protected cultivation. E-mail: ee_wjx@163.com

(责任编辑:潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)