

桃不同树形光合特性的研究

王秋晓, 韩明玉, 赵彩平, 张芳芳, 王安柱

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】研究不同树形对桃树光合特性的影响。【方法】以 6 年生桃品种‘甜桃王’为试材, 于 2007 年 6~10 月份, 对开心形和纺锤形 2 种树形桃树的相关光合特性指标进行了测定, 分析了不同树形光合特性的差异。【结果】(1) 开心形和纺锤形桃树叶片光合速率的年变化均呈单峰型曲线, 且峰值均出现在 9 月; 同一月内, 开心形桃树与纺锤形桃树的光合速率无显著差异。(2) 开心形和纺锤形桃树的光合速率和光合有效辐射日变化均呈双峰曲线, 峰值均出现在 11:00 和 15:00; 13:00 时开心形桃树的光合速率显著高于纺锤形, 其他时间二者间无显著差异; 同一时间内纺锤形桃树的光合有效辐射始终显著高于开心形。(3) 开心形和纺锤形桃树不同叶幕层的光合速率和光合有效辐射日变化均呈双峰曲线, 且在同一时间内, 两种树形上层、中层叶幕的光合速率均显著高于下层叶幕。(4) 开心形和纺锤形桃树的冠层温度差异不显著, 纺锤形树形冠层内的相对湿度均显著高于开心形。【结论】建议在桃树栽培中采用纺锤形树形, 其可以在不影响对光能合理利用的条件下提高栽植密度、增加产量和经济效益。

【关键词】 桃树; 树形; 开心形; 纺锤型; 光合速率; 光合有效辐射

【中图分类号】 S662.105⁺.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)04-0145-06

Photosynthetic characteristics of different peach tree shapes

WANG Qiu-xiao, HAN Ming-yu, ZHAO Cai-ping, ZHANG Fang-fang, WANG An-zhu

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The aim of the experiment was to study the effects of different peach tree shapes on photosynthetic characteristic. 【Method】 The materials of the experiment were 6-year-old ‘Tiantaowang’ peach, related indicators of photosynthetic characteristics of two tree shapes between open center and spindle were studied from June to October in 2007. 【Result】 (1) The results indicated that annual variation of photosynthesis rate of both open center and spindle shapes was unimodal curve pattern, the peak value appeared in September. Significant differences of photosynthetic rate between open center and spindle shapes peach did not exist within the same month. (2) Diurnal variation of photosynthesis rate and active photosynthetic radiation with both open center and spindle shapes was bimodal curve pattern, and the high point appeared at 11:00 and 15:00. At 13:00, the photosynthetic rate of open center shape peach was significantly higher than that of spindle peach, and at the other time there was no significant difference between them. (3) The diurnal variation of photosynthesis rate and active photosynthetic radiation of both different leaf locations of open center shapes and spindle shapes was bimodal curve pattern, and both open center and spindle shapes showed within the same time the upper, middle leaf screen photosynthetic rate was significantly higher than the bottom of the screen. (4) The canopy temperature between open center

* 【收稿日期】 2008-05-22

【基金项目】 科技部科技支撑计划项目(2008BAD92B08); 农业部桃行业科技专项(NYHYZX07-025); 陕西省 13115 重点项目(2008ZDKG-08)

【作者简介】 王秋晓(1981—), 女, 河南平顶山人, 在读硕士, 主要从事果树种质资源与生理生态研究。

E-mail: xiao_596300@yahoo.com.cn

【通信作者】 韩明玉(1962—), 男, 陕西扶风人, 教授, 硕士生导师, 主要从事果树种质资源与遗传育种研究。

E-mail: hanmy@nwsuaf.edu.cn

and spindle shapes peach did not show significant differences, and the canopy relative humidity of spindle shape were significantly higher than that of the open center shape. 【Conclusion】 Cultivation can be used in the spindle, which does not affect the rational use of energy under the condition of improved planting density, to increase production and enhance economic profits.

Key words: peach; tree shape; open center shape; spindle shape; photosynthesis rate; photosynthetic active radiation

树冠结构特征、冠层光照、有效光合分布对果树生长结果具有重要影响,分析不同树形的枝条分布特性、光合有效利用特点、叶幕层的受光情况以及其对果实品质、产量的影响等,对果树栽培及设施研究中合理运用栽培措施及树形、提高果实品质和产量、增加果农的经济效益具有重要的实际指导意义。

桃树是喜光树种,在不影响光合作用的条件下,选用适宜密植的树形,对于提高光能利用率和桃树产量及改善果实品质有重要意义。Weber^[1]认为,合理的树形结构是果园管理中仅次于种植密度的关键因子。程述汉等^[2]、魏钦平等^[3]、王成良等^[4]、徐胜利等^[5]、刘业好等^[6]、高清华等^[7]分别对苹果、油桃的冠层光截获进行了模拟,并对苹果不同树形及冠层内光照分布与果实品质的关系进行了研究,认为苹果冠层的光分布对其产量和品质均有显著影响。高梅秀等^[8]对不同树形(篱壁形和 Y 字形)桃树的研究发现,不同树形的光照分布与果实产量和品质有密切关系。何水涛等^[9]研究发现,夏季桃树主干形的光合有效辐射较开心形高,而开心形光合速率较主干形高。安国宁等^[10]研究发现,不同树形(V 字形、改良纺锤形、自然开心形)对中华寿桃的果枝、生长势、花芽量及果实的硬度、着色率和可溶性固形物含量等质量指标影响较大。上述研究均显示,树形与果树的光能利用率、产量和品质密切相关,但现有的研究多集中在大棚桃的树体结构上,且涉及的树形多为 Y 字形和开心形,而对于露地栽培桃树和生产推广较多的纺锤形树形的研究较少。本研究以桃品种‘甜桃王’为试材,对桃树传统树形开心形和推广树形纺锤形的光合特性进行了研究,并比较了其在光合速率、光合有效辐射、温度、相对湿度等方面的差异,以期对桃树栽培中光照和空间潜能利用率高的适宜树形选择,及本地区桃树的高产优质栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试 材

试验在西北农林科技大学园艺场进行,以 6 年

生的桃树品种‘甜桃王’为试材,其土、肥、水按常规管理,开心形桃树株行距为 3 m×4 m,纺锤形桃树株行距为 1.5 m×4 m。

1.2 方 法

分别选取长势一致的开心形和纺锤形‘甜桃王’桃树。在 2007-06~10,每个月选 1 个晴天,于 9:00~17:00 每隔 2 h 用英国 PP-system 公司生产的 CIRAS-1 型便携式光合测定仪测定其光合特性相关指标。测定指标有气温(T_a)、大气相对湿度(RH)、光合速率(P_n)、光合有效辐射(PFD)等。光合有效辐射指单位时间单位面积上入射 400~700 nm 波长的光量子数,单位为 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

采用何凤梨等^[11]的网格法,用竹竿将树冠分为不同层次、方位的 50 cm×50 cm×50 cm 的立方体。同时将树冠水平方向分成内膛(距树干不足 1.0 m)、中部(距树干 1.0~2.0 m)和外围(距树干超过 2.0 m),树冠垂直方向分成下层(距树干基部不足 1.0 m)、中层(距树干基部 1.0~2.0 m)和上层(距树干基部超过 2.0 m)^[12],即上层、中层、下层叶幕。

试验采用单株小区,重复测定 5 棵。其中日光合速率为测定时期内 5 株树的平均值,不同叶幕层光合速率数值为测定月份 5 株树的平均值。

1.3 数据处理

试验数据利用 SAS 软件进行方差分析,用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同树形对‘甜桃王’光合速率的影响

2.1.1 光合速率的年变化 由图 1 可以看出,开心形和纺锤形桃树光合速率的年变化均表现为单峰曲线,6~9 月光合速率表现为缓慢上升趋势,9 月份以后光合速率下降。9 月份光合速率最高,开心形和纺锤形的光合速率分别为 16.35 和 15.58 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;10 月份光合速率最低,开心形和纺锤形桃树的光合速率分别为 12.78 和 12.53 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。方差分析结果显示,开心形和纺锤形桃树同一月份的光合速率差异不显著。

2.1.2 光合速率的日变化 由图 2 可知,不同树形对‘甜桃王’光合速率日变化的影响不大。开心形和纺锤形桃树光合速率的日变化均表现为双峰曲线,其峰值分别出现在 11:00 和 15:00,且 11:00 的光

合速率高于 15:00。在 9:00~17:00,开心形桃树的光合速率数值均略高于纺锤形。方差分析结果表明,在 13:00,开心形桃树的光合速率显著高于纺锤形,而在其他时间则不存在显著性差异。

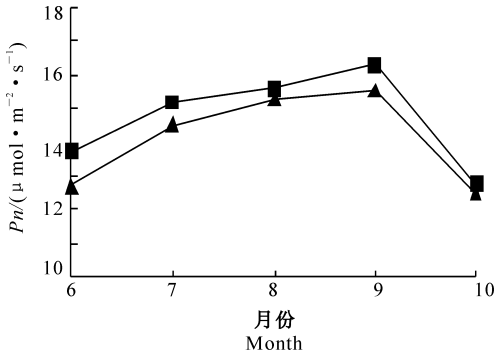


图 1 桃树不同树形光合速率的年变化

—■—, 开心形; —▲—, 纺锤形

Fig. 1 Annual variation of photosynthetic rate of different peach tree shapes

—■—, Open center shape; —▲—, Spindle shape

2.1.3 主要叶幕层光合速率的日变化 从图 3 可以看出,开心形桃树不同叶幕层内光合速率的日变化均呈双峰曲线,峰值均出现在 11:00 和 15:00,且上层叶幕的光合速率始终高于中层和下层叶幕,下层叶幕的光合速率值最低。方差分析结果显示,在同一时间内,上层、中层叶幕的光合速率均显著高于下层,上层、中层叶幕的光合速率在 11:00 和 13:00 时差异显著,而在其他时间段不存在显著差异。

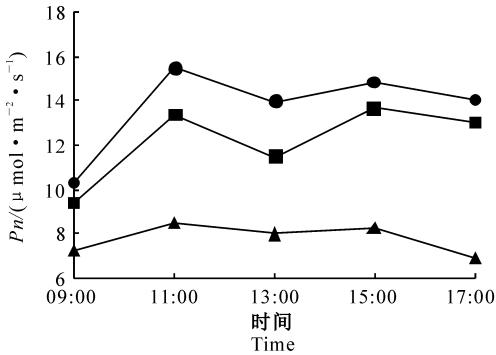


图 3 开心形桃树不同叶幕层光合速率的日变化

—●—, 上层; —■—, 中层; —▲—, 下层

Fig. 3 Daily photosynthetic changes of different leaf levels of open center shape

—●—, Upper level; —■—, Middle level; —▲—, Lower level

因此,不论是开心形还是纺锤形桃树,不同叶幕层的光合速率变化均表现为上层>中层>下层。

2.2 不同树形对‘甜桃王’冠层微气候的影响

2.2.1 光合有效辐射的日变化 从图 5 可以看出,开心形和纺锤形桃树光合有效辐射的日变化均表现

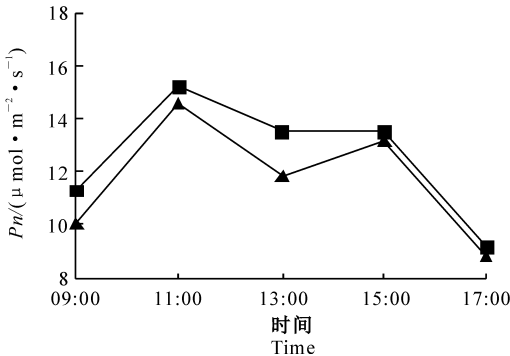


图 2 桃树不同树形光合速率的日变化

—■—, 开心形; —▲—, 纺锤形

Fig. 2 Photosynthesis variation changes of different peach tree shapes

—■—, Open center shape; —▲—, Spindle shape

从图 4 可以看出,纺锤形桃树不同叶幕层光合速率的日变化也表现为双峰曲线。从 11:00~17:00,上层叶幕的光合速率一直高于中层和下层叶幕,以下层叶幕的光合速率最低。方差分析结果表明,除 9:00 外,同一时间内上层、中层叶幕的光合速率均显著高于下层叶幕,中层、上层叶幕的光合速率间差异不显著。

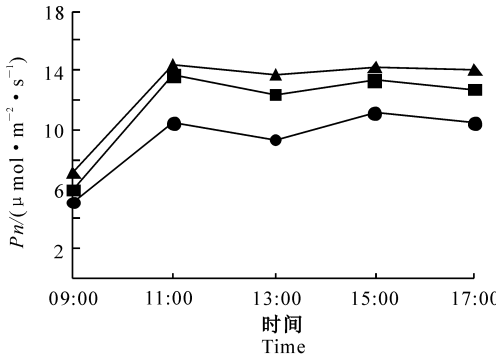


图 4 纺锤形桃树不同叶幕层光合速率的日变化

—●—, 上层; —■—, 中层; —▲—, 下层

Fig. 4 Daily photosynthetic changes of different leaf levels of spindle shape

—●—, Upper level; —■—, Middle level; —▲—, Lower level

为双峰曲线,峰值分别出现在 11:00 和 15:00。方差分析结果显示,纺锤形桃树的光合有效辐射始终显著高于开心形。

2.2.2 主要叶幕层光合有效辐射的日变化 由图 6 可知,开心形桃树各层叶幕光合有效辐射的日变

化均表现为双峰曲线,上、中层叶幕的峰值出现在 11:00 和 15:00,下层叶幕峰值表现不明显。叶幕光合有效辐射表现为上层最高,下层最低。方差分析结果显示,上、中、下层叶幕在同一时间的的光合有效辐射差异显著。

图 7 显示,纺锤形桃树上层叶幕的光合有效辐射在 15:00 后略有上升,但峰值表现不明显。中层和下层叶幕光合有效辐射的变化均表现为双峰曲线,其峰值均出现在 11:00 和 15:00。纺锤形桃树叶幕光合有效辐射也表现为上层>中层>下层。方差分析表明,在同一时间,上层叶幕的光合有效辐射均显著高于中层和下层,在 11:00,13:00,15:00 和 17:00,中层叶幕的光合有效辐射均显著高于下层。

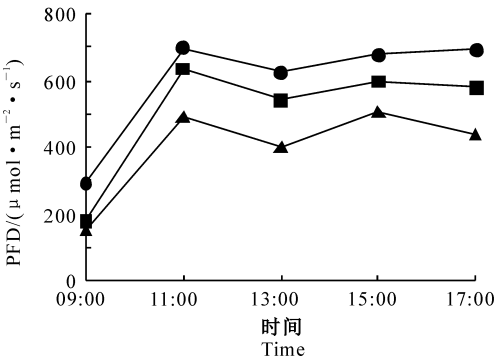


图 6 开心形桃树不同叶幕层光合有效辐射的日变化
—●—,上层;—■—,中层;—▲—,下层

Fig. 6 Annual variation of photosynthetic active radiation in different levels of open center peach tree shapes

—●—, Upper level; —■—, Middle level; —▲—, Lower level

2.2.3 冠层气温与相对湿度的日变化 从图 8 可以看出,纺锤形和开心形桃树冠层内温度从 9:00 开始均一直呈上升趋势,其中纺锤形桃树冠层内温度

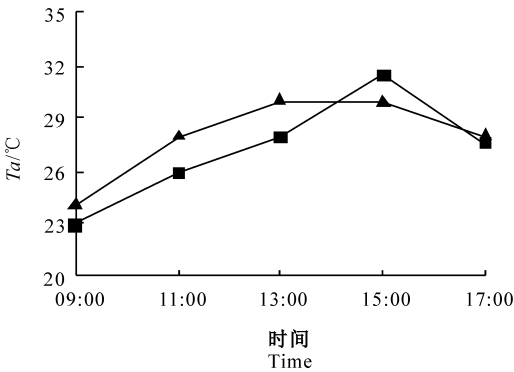


图 8 桃树不同树形冠层温度的日变化
—■—,开心形;—▲—,纺锤形

Fig. 8 Daily temperature changes of different peach tree canopy

—■—, Open center shape; —▲—, Spindle shape

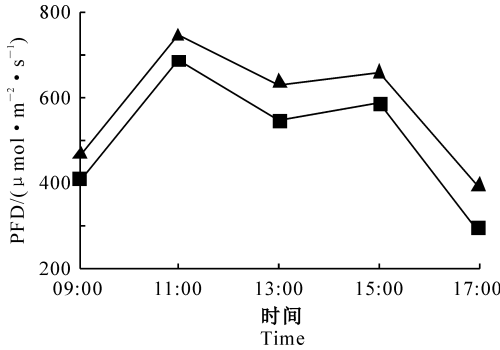


图 5 桃树不同树形光合有效辐射的日变化
—■—,开心形;—▲—,纺锤形

Fig. 5 Diurnal variation of photosynthetic active radiation in different peach tree shapes

—■—, Open center shape; —▲—, Spindle shape

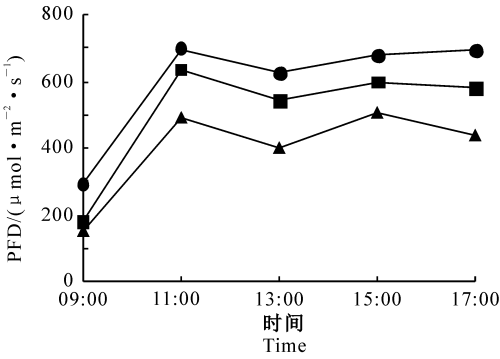


图 7 纺锤形桃树不同叶幕层光合有效辐射的日变化
—●—,上层;—■—,中层;—▲—,下层

Fig. 7 Diurnal change of photosynthetic active radiation in different levels of spindle peach tree shapes

—●—, Upper level; —■—, Middle level; —▲—, Lower level

从 15:00 开始下降,而开心形从 13:00 以后就表现出平缓下降趋势。方差分析结果显示,不同树形同一时间的冠层温度差异不显著。

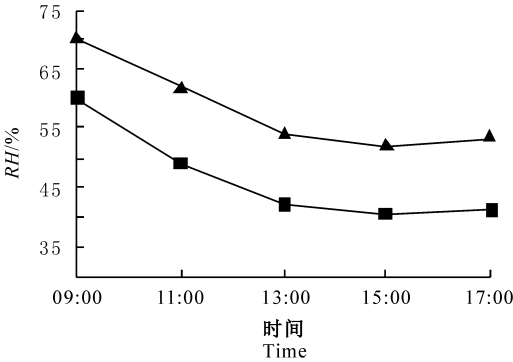


图 9 桃树不同树形冠层湿度的日变化
—■—,开心形;—▲—,纺锤形

Fig. 9 Daily humidity changes of different peach tree canopy

—■—, Open center shape; —▲—, Spindle shape

从图9可以看出,开心形和纺锤形桃树冠层内的相对湿度从9:00~13:00一直下降,于15:00~17:00又略有上升。方差分析结果显示,同一时间内纺锤形桃树冠层内的相对湿度均显著高于开心形。

3 讨论

桃树光合作用的适宜温度为25~30℃^[13],光饱和点约为20 000 lx^[14],试验所在地陕西杨凌夏季温度偏高^[15],过高的温度与过强的光照对叶片光合作用不利。本试验结果表明,7月份桃树光合速率低于8月和9月,这与潘晓云等^[16]的结论一致。而当地10月温度出现了一定程度的下降,加之露水和大量老化叶片的出现,光合速率在测定期内最低。此外,由于光照、温度、湿度等因素的相互影响,两种树形的光合速率在中午13:00时均出现了“午休”现象,这与高照全等^[17]的结论一致。

纺锤形桃树树冠上层叶幕受光充足,但是较强的光照影响叶片正常的蒸腾过程;中层叶幕厚,接受的光照受到限制;下层叶幕受中、上层叶幕的遮掩,受光量最少,加之湿度大、周围温度低等,均不利于光合作用的进行。本试验结果表明,纺锤形桃树不同叶幕层的光合有效辐射表现为上层叶幕高于中层叶幕和下层叶幕,不同叶幕层的光合速率变化均表现为上层叶幕的光合速率最快,其次为中层,下层最慢。这与Warrington等^[18]、Robinson等^[19]的研究结论,即“树冠内部光照强度随叶幕厚度的增加而减弱,光照强度从顶部到底部逐渐减弱”相一致。

冠层内光合有效辐射的分布是植物冠层光合生产力的核心,特别是在大气温度、湿度和土壤养分等适宜的条件下,冠层内光合有效辐射的合理分布将成为影响植物生长发育的限制因素^[20-21]。

在本试验中,开心形桃树的行间距是纺锤形桃树的2倍,其树冠大、内部枝条少、叶幕层薄,有利于日光的穿过;而纺锤形桃树的树冠相对较小,枝条分布紧凑,冠层间湿度大于开心形桃树。本试验结果表明,纺锤形桃树的光合有效辐射显著高于开心形,这与Loreti等^[22]、Wagenmakers等^[23]得出的在周围环境相同的条件下,树体的种植密度、树冠结构等影响树冠光照分布的研究结论相一致。

在一定范围内,光合速率随光合有效辐射的增强而加快,太阳辐射有利于叶片气孔的正常收缩,减小气孔阻力,从而便于作物蒸腾的进行,叶片气孔正常的蒸腾是进行光合作用所必需的,因此说光合有

效辐射的增强在一定范围内可促进光合速率的加快。

陕西杨凌地区7月份温度较高,但是由于冠层温度、湿度等因素的共同作用,导致两种树形桃树的光合速率没有明显差别,这与王健林等^[24]的研究结果相似。

4 结论

纺锤形和开心形‘甜桃王’桃树叶片的的光合速率年变化不存在显著差异,光合速率的日变化表现为中午13:00时开心形桃树的光合速率显著高于纺锤形,其他时间二者无显著差异。纺锤形桃树的光合有效辐射和冠层内的相对湿度均显著高于开心形。纺锤形桃树的栽植密度为1.5 m×4 m,是开心形栽植密度3 m×4 m的2倍,因此在生产中采用纺锤形,可以在不影响对光能合理利用的条件下,提高栽植密度,从而增加产量,提高经济效益。

参考文献

- [1] Weber M S. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks [J]. Acta Horticulture, 2001, 557: 229-234.
- [2] 程述汉,束怀瑞,哈益明. 苹果园光能截获率的数学模型 [J]. 生物数学学报, 2002, 17(1): 69-73.
Cheng S H, Shu H R, Ha Y M. Mathematical model of light interception of apple orchard [J]. Journal of Biomathematics, 2002, 17(1): 69-73. (in Chinese)
- [3] 魏钦平,程述汉,唐芳,等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 289-292.
Wei Q P, Cheng S H, Tang F, et al. Relationship between fruit quality of Fuji apple and meteorological factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 289-292. (in Chinese)
- [4] 王成良,盛炳成. 影响富士苹果品质若干因子的相关分析 [J]. 果树科学, 1995, 12(1): 29-31.
Wang C L, Sheng B C. Impact on the quality of Fuji apples a number of factors related to the analysis [J]. Journal of Fruit Science, 1995, 12(1): 29-31. (in Chinese)
- [5] 徐胜利,李新民,陈小青,等. 红富士苹果光照分布特性与产量品质效益空间分布的关系 [J]. 新疆农业科学, 2002(1): 12-17.
Xu S L, Li X M, Cheng X Q, et al. Canopy light distribution characters relationship between space distribution of yield, quality and economic effect in high light efficiency Red Fuji apple [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2002(1): 12-17. (in Chinese)
- [6] 刘业好,魏钦平,高照全,等. “富士”苹果树3种树形光照分布与产量品质关系的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(3): 353-357.
Liu Y H, Wei Q P, Gao Z Q, et al. Relationship between distribution of relative light radiation and yield and quality in different tree shapes for “Fuji” apple [J]. Journal of Anhui Agricul-

tural University, 2004, 31(3): 353-357. (in Chinese)

[7] 高清华, 叶正文, 章 镇, 等. 树形对油桃幼树光截获能力和结果的影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(6): 1294-1298.
Gao Q H, Ye Z W, Zhang Z, et al. Effects of different training systems on the light interception ability and fruiting of young nectarine trees in greenhouse [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(6): 1294-1298. (in Chinese)

[8] 高梅秀, 刘沛镇, 任建新. 桃树不同树形的光照分布与果实产量及品质的关系 [J]. 中国果树, 1992(4): 10-13.
Gao M X, Liu P Z, Ren J X. Relationship between distribution of relative light intensity and yield and quality in different tree shapes for peach [J]. China Fruits, 1992(4): 10-13. (in Chinese)

[9] 何水涛, 朱更瑞, 周厚成, 等. 主干形和开心形桃树的生产潜力研究(初报) [J]. 落叶果树, 2000, 32(5): 6-7.
He S T, Zhu G R, Zhou H C, et al. Production potential of peach trees in cordon shape or in open-centralized shape [J]. Deciduous Fruits, 2000, 32(5): 6-7. (in Chinese)

[10] 安国宁, 尹燕雷. 三种树形对中华寿桃生长及果实品质的影响 [J]. 西北园艺, 2003(10): 9-10.
An G N, Yin Y L. Relationship between growth and quality in three shapes for Zhonghuashoutao [J]. Northwest Horticulture, 2003(10): 9-10. (in Chinese)

[11] 何凤梨, 王 飞, 魏钦平, 等. 桃冠层光照分布与果实品质关系研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 502-507.
He F L, Wang F, Wei Q P, et al. Relationship between distribution of relative light intensity in canopy and yield and quality of peach fruit [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(2): 502-507. (in Chinese)

[12] 罗 毅, 于 强, 欧阳竹, 等. SPAC 系统中的水热 CO₂ 通量与光合作用的综合模型. I. 模型建立 [J]. 水利学报, 2001, 1(2): 90-97.
Luo Y, Yu Q, Ou-yang Z, et al. An integrated model for water heat CO₂ flux and photosynthesis in SPAC system. I. Establishment of model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2001, 1(2): 90-97. (in Chinese)

[13] 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.
Zhu L, Wen X Y, Li W W. Studies on photosynthetic characteristic of a chinese wild species grapevine [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1994, 21(1): 31-34. (in Chinese)

[14] 牛 良, 王志强, 刘淑娥, 等. 桃树不同生长型及其研究进展 [J]. 果树学报, 2004, 21(4): 354-359.
Niu L, Wang Z Q, Liu S E, et al. Advances in research on growth habits of peach tree (*Prunus persica*) [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(4): 354-359. (in Chinese)

[15] 朱瑞兆. 应用气候手册 [M]. 北京: 气象出版社, 1991: 25-27.
Zhu R Z. Mnuual climate application [M]. Beijing: Weather Press, 1995: 25-27. (in Chinese)

[16] 潘晓云, 曹琴东, 王根轩, 等. 扁桃与桃光合作用特征的比较研究 [J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 403-407.
Pan X Y, Cao Q D, Wang G X, et al. Comparative study on photosynthetic characteristics between almond and peach [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(5): 403-407. (in Chinese)

[17] 高照全, 魏钦平, 王小伟, 等. 果树光合作用数学模拟的研究进展 [J]. 果树学报, 2003, 20(5): 338-344.
Gao Z Q, Wei Q P, Wang X W, et al. Advances in mathematical simulation of photosynthesis in fruit tree [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(5): 338-344. (in Chinese)

[18] Warrington L J, Stanley C J, Tustin D S. Light transmission, yield distribution, and fruit quality in six tree canopy forms of “granny Smith” apple [J]. Journal of Tree Fruit Production, 1996, 1(1): 27-53.

[19] Robinson T L, Lakso A N, Ren Z. Modifying apple tree canopies for improved production efficiency [J]. Hort Science, 1991, 26: 1005-1012.

[20] Sonohat G, Sinoquet H, Varelet-Grancher C, et al. Leaf dispersion and light partitioning in three-dimensionally digitized tall fescue-White clover mixtures [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25: 529-538.

[21] Nerozzi F, Rossi F, Facini O, et al. Light transmittance and sunlit leaf area estimation in a peach canopy [J]. Hortic Sci, 1997, 72: 271-283.

[22] Loreti F, Tellini A, Muleo R, et al. Light environment at harvest in two nectarine planting systems [J]. Adv Hortic Sci, 1994, 8: 135-139.

[23] Wagenmakers P S, Callesen O. Light distribution in apple orchard systems in relation to production and fruit quality [J]. Hortic Sci, 1995, 70: 935-948.

[24] 王健林, 于贵瑞, 齐 华. 东北地区大豆鼓粒期光合特性的研究 [J]. 农业气象, 2007, 28(3): 322-325.
Wang J L, Yu G R, Qi H. Studies on photosynthetic characteristics of soybean during filling period in northeastern China [J]. Chinese Journal of Agrometeorolog, 2007, 28(3): 322-325. (in Chinese)