

水分胁迫对成年荔枝不同季节 光合速率日变化的影响

宋世文¹, 王泽槐^{2a}, 赵晓勤^{2a}, 谢世恭¹,
曾亚妮³, 李建国^{2a,2b*}, 谢永红³

(1. 广东深圳宝安区农业科学技术推广中心, 广东 深圳 518101; 2. 华南农业大学, a. 中国荔枝研究中心;
b. 园艺学院, 广州 510642; 3. 深圳市南山区西丽果场, 广东 深圳 518055)

摘要:以 16 a 生‘糯米糍’荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi)为试材,研究了其在水分胁迫下不同季节的光合速率日变化。结果表明,保湿处理的净光合速率(Pn)日变化在秋、夏季呈单峰曲线,冬、春季为双峰曲线;干旱处理除在冬季出现双峰曲线外,其他季节均呈单峰曲线。两个处理的 Pn 日变化最大值或第 1 个峰值出现时间基本一致,冬季为 9:00、春季和夏季为 10:00、秋季为 12:00。保湿处理的日最高 Pn 变化范围为 6.25-8.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 干旱处理的在 4.35-6.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$;中度水分胁迫对田间成年荔枝树的光合速率具有较大的抑制作用,干旱对日净光合总量的抑制比例分别为:冬季 18.6%,夏季 21.3%,春季 34.1%,秋季 34.7%。在光合作用旺盛时段(8:00-16:00)中度水分胁迫导致叶片 Pn 的降低主要是由气孔因素所致。

关键词:荔枝;水分胁迫;光合速率

中图分类号:Q945.78

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2007)06-0482-05

Effects of Water Stress on Diurnal Changes in the Net Photosynthetic Rate of Adult Litchi in Different Seasons

SONG Shi-wen¹, WANG Ze-huai^{2a}, ZHAO Xiao-qin^{2a}, XIE Shi-gong¹,
ZENG Ya-ni³, LI Jian-guo^{2a,2b*}, XIE Yong-hong³

(1. Agricultural Science and Technology Center in Baoan District, Shenzhen 518101, China; 2a. China Litchi Research Center, 2b. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. Xili Orchard in Nanshan District, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Effects of water stress on the diurnal changes of the net photosynthetic rate (Pn) in different seasons were investigated in 16-year-old trees of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi. In wet treatment the diurnal curves of Pn exhibited double peaks in autumn and summer, and a single peak in winter and spring, whereas in drought treatment they exhibited two peaks in winter and single peak in the other seasons. The maximum Pn or the first peak during daytime was generally the same in both treatments, which occurred at 9:00 in winter, 10:00 in spring and summer, 12:00 in autumn. The maximum Pn in wet- and drought-treated trees ranged from 6.25 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ to 8.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and from 4.35 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ to 6.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. Moderate water stress could largely inhibit the photosynthesis of litchi tree, and the amount of daily Pn was decreased by 18.6%, 21.3%, 34.1% and 34.7% in winter, summer, spring and autumn, respectively. It was suggested that moderate water stress leads to Pn

收稿日期:2006-10-13 接受日期:2007-04-16

基金项目:深圳市农业综合开发基金项目资助

* 通讯作者 Corresponding author

decrease by affecting stomatal conductance (Gs).

Key words: *Litchi chinensis*; Water Stress; Net photosynthetic rate

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)是我国南方著名的特产果树,虽然性喜温湿,但在干湿季分明、红壤质地黏重的华南地区容易受到干旱胁迫^[1-2]。光合作用是植物重要的生理过程,是果树经济产量形成的基础。有研究表明土壤干旱情况下,荔枝的光合速率随叶片水势的下降而显著降低^[3-7],但这些研究多半是利用盆栽试材所取得的结果,即使是在自然条件下以大田成年荔枝为材料^[5-7],也未涉及植株在不同季节之间的差异。本试验以广东主栽的成年名优‘糯米糍’荔枝为试材,研究大田水分胁迫下植株的光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO₂浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等指标的变化,以探讨在水分胁迫下荔枝的光合生理特性,为研究水分胁迫下荔枝的光合生理机制提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

于2004年8月-2005年8月,在广东深圳西丽果场选择有代表性的树龄为16 a生长势一致的‘糯米糍’荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi) 10株。

1.2 试验处理

设干旱和保湿两个处理,每处理5株树,单株为1个重复。干旱处理的做法是:在树冠滴水线以外10-20 cm处挖一环形深沟(主沟),沟深60 cm,防止水分在根部主要吸收区渗入;并于树冠内离地面搭建30 cm高竹棚覆盖至主沟外,主沟外再挖一浅副沟,以防降水直接进入主沟内,处理期间不灌水,让其自然干燥。保湿处理的做法是:先在每株树的树冠内安装自行设计的滴灌装置,然后用地膜覆盖树冠滴水线范围内区域,定期滴水,以保持土壤湿度。处理从2004年8月11日开始至2005年8月结束。

1.3 土壤水分测定

每个处理选3株树,每单株为1个重复,分别于各株树的根域内离主干1-2 m的范围,用土钻钻取20 cm左右深度的土样3份,立即称其湿重,105℃下烘干至恒重后再称干土重,然后计算土壤

质量含水量,公式为:土壤质量含水量(%)=(土壤湿质量-土壤干质重)×100/土壤干质重。

田间持水量采用威尔科克斯法(室内测定)测定。

1.4 叶片光合速率的测定

春、夏、秋、冬每个季度各选晴朗无风或微风天气,具体日期是2004年11月17日(秋季),2005年1月27日(冬季),2005年4月18日(春季)及2005年6月18日(夏季),用美国产的LI-6400型便携式光合测定系统进行光合作用数据采集。每处理选其中4株树,每株树选当年树冠外围中部不同方位老熟秋梢功能叶4片,从6:00-18:00(其中冬季为7:00-17:00)每2 h完全模拟自然条件进行净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、细胞间隙CO₂浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)等指标测定。

2 结果和分析

2.1 土壤含水量比较

对两个处理根域20 cm深土壤含水量取样测定表明:保湿处理的土壤湿度一直保持在较高水平,质量含水量(图1)维持在18.6%左右,最低为17.2%,分别相当于田间持水量的73.8%和68.2%;干旱处理的土壤质量含水量在8月11日至9月10日间下降较快,8月11日取样测得质量含水量为16.44%,相当于田间持水量的76.48%,经过1个月控水处理后,土壤质量含水量基本维持在10%以下,即不高于田间持水量的45%。两处理相比,除处理刚开始的30 d内,差异不显著外,其他时期均表现为保湿处理的土壤含水量显著大于干旱处理。

以土壤含水量占田间持水量的百分率为标准,轻度胁迫为55%左右,中度胁迫为40%左右,重度胁迫约为30%^[8]。以此标准衡量,本试验的干旱处理达到了中度水分胁迫程度。

2.2 不同季节净光合速率(Pn)的日变化及其日净光合总量

从各季节净光合速率(Pn)的测定结果来看,干旱处理和保湿处理的Pn在一天中的走势基本一致,但干旱处理的Pn受到抑制(图2)。

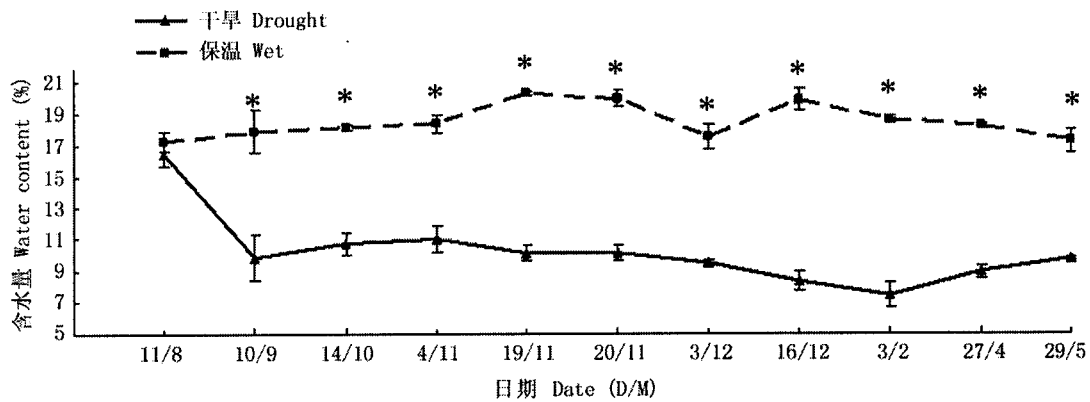


图 1 干旱和保温处理间土壤质量含水量的比较

Fig. 1 Changes in soil water content in wet and drought-treated plots

*表示差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, $n=5$. * indicates significant differences at $P < 0.05$ level. 下同。The same for following figures.

秋季两个处理的 Pn 变化均为单峰曲线。两个处理在黎明前 Pn 均为负值, 并随光照增加而上升; 保温处理 Pn 上升速度高于干旱处理, 至 10:00 两个处理的 Pn 差异显著; 保温处理和干旱处理的 Pn 最大峰值均出现在 12:00 左右, 分别为 $6.25 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 $4.35 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 前者显著大于后者(图 2)。随后两个处理的 Pn 均开始下降, 14:00 以后, 保温处理

的 Pn 仅略高于干旱处理, 差异不显著。

冬季两个处理的 Pn 变化均为双峰曲线。黎明时分(7:00)两个处理的 Pn 均低于 0, 日出后 Pn 迅速上升, 9:00 出现第 1 个高峰, 保温处理的峰值为 $7.39 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 显著高于干旱处理($6.13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 11:00 左右出现一低谷, 处理间差异不显著, 13:00 出现第 2 次高峰, 峰值略低于第 1 个峰值, 保温处

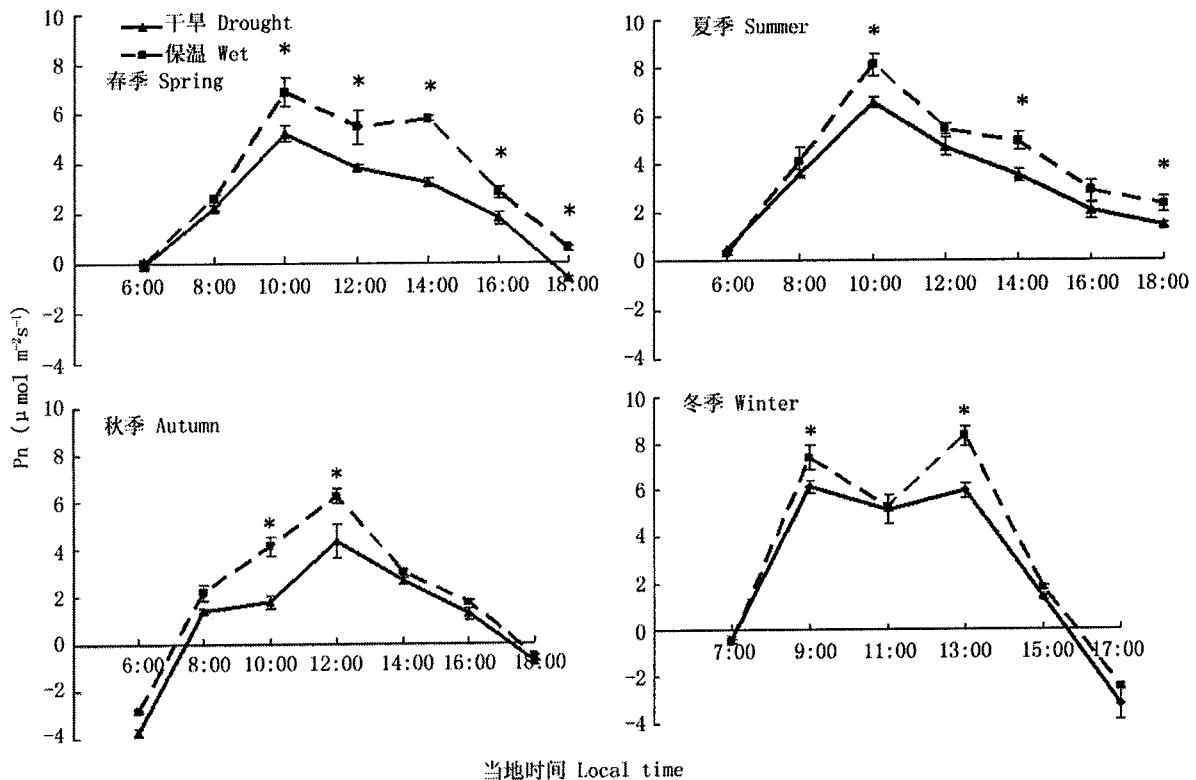


图 2 水分胁迫对‘糯米糍’荔枝各季节净光合速率(Pn)日变化的影响

Fig. 2 Effect of water stress on the diurnal changes in the net photosynthetic rate (Pn) of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi in different seasons

理显著高于干旱处理,之后 Pn 迅速下降,未到 17:00 已均为负值(图 2)。

春季保湿处理为双峰曲线,干旱处理为单峰曲线,两个处理自 8:00 以后差异逐渐增大,至 10:00 出现第 1 个最高峰时两者差异显著(保湿和干旱处理的 Pn 分别为 $6.875 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 $5.22 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$),而且这种显著差异一直维持到下午 18:00(图 2)。

夏季两个处理均呈现单峰曲线,Pn 的峰值出现在 10:00,保湿处理为 $8.137 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,干旱处理为 $6.56 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,差异显著,随后两个处理的 Pn 均呈下降趋势,但保湿处理的 Pn 仍高于干旱处理,个别时间差异显著(图 2)。

总的来说,保湿处理的 Pn 高于干旱处理,说明中度水分胁迫对田间成年荔枝树的光合速率具有较大的抑制作用。从日净光合总量来看(图 3),除冬季外,其他 3 个季节均表现为干旱处理显著低于保湿处理。干旱对日净光合总量的抑制比例分别为:冬季 18.6%,夏季 21.3%,春季 34.1%,秋季 34.7%。

2.3 光合速率(Pn)与气孔导度(Gs)相关性分析

在昼间光线充足光合作用旺盛时段(8:00-

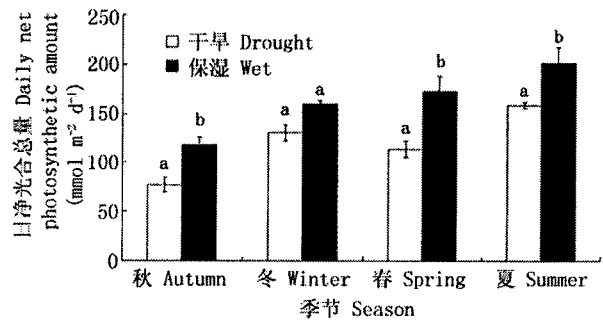


图 3 水分胁迫对‘糯米糍’荔枝各季节日净光合总量的影响
Fig. 3 Effect of water stress on the daily net photosynthetic amount of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi in different seasons

同一季节不同处理间不同字母表示差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, $n=4$ 。The different letters in the same season indicates significant differences at $P < 0.05$ level.

16:00),对两个处理的 Pn 与 Gs 的相关性进行分析,结果表明,保湿处理和干旱处理的 Pn 与 Gs 均存在显著的相关性(图 4),但从决定因子 R^2 的大小上可以看出,干旱处理的这种相关性低于保湿处理。说明当荔枝在没有干旱胁迫的情况下,Pn 的变化主要是由 Gs 的变化来调节,但是即使当田间成年荔枝受到中等程度干旱胁迫,Gs 的调节依然对 Pn 变化产生显著影响。

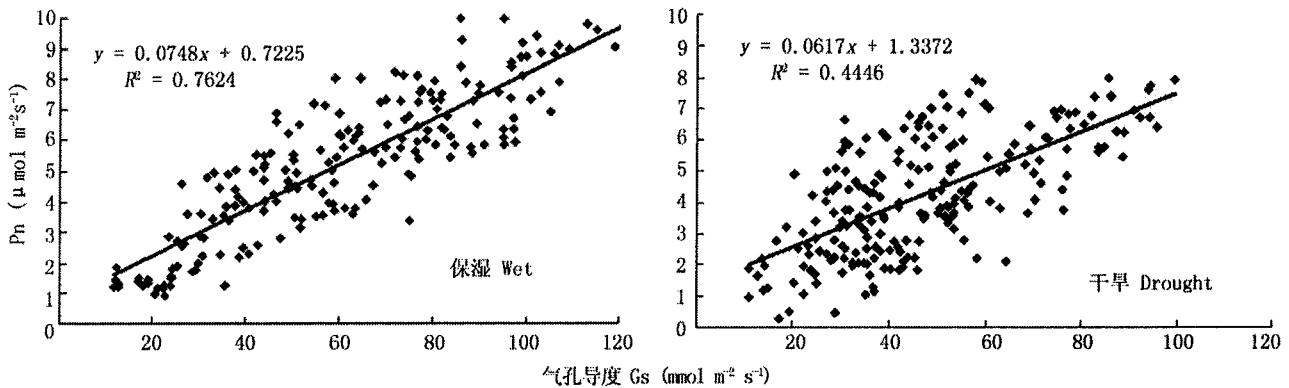


图 4 干旱和保湿处理荔枝叶片光合速率与气孔导度相关性分析
Fig. 4 The relationship between net photosynthetic rate (Pn) and stomatal conductance (Gs) of *Litchi chinensis* Sonn. cv. Nuomizi leaves in wet and drought-treated plots

3 讨论

张祝平等^[9]用红外分析仪对成年‘糯米糍’荔枝的光合特性进行了研究,通过测定荔枝叶片吸收的 CO_2 量来计算 Pn,结果表明一天中 Pn 最高峰出现在 10:00-12:00 之间,其季节变化动态是夏>秋>春>

冬,与其 Gs 变化动态一致,其中夏季的 Pn 最高达 $19 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,冬季则约为 $6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,变化幅度较大。本研究利用 LI-6400 型便携式光合作用测定仪测定的结果表明,保湿处理的净光合速率(Pn)日变化在秋、夏季呈单峰曲线,冬、春季为双峰曲线;Pn 日变化最大值或第 1 个峰值出现时间在冬季为

9:00、春季和夏季为 10:00、秋季为 12:00。从 Pn 最大值来看 4 个季节的差异并没有张祝平等^[9]报道的那么大,一般夏季最大,秋季最低,其中保湿处理的日最高 Pn 变化范围为 6.25–8.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 干旱处理的日最高 Pn 变化范围为 4.35–6.56 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。Menzel 等^[7]在南非从 7 月至次年 1 月,对 10 a 生‘大造’荔枝进行了将近 30 周的控水处理,每周测定 1 次早上 9:00 的光合速率,结果表明保湿处理的 Pn 在 3–13 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间,而干旱胁迫处理的 Pn 在 2–6 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 范围内。因此可以看出,本实验和 Menzel 等^[7]的研究结果均说明田间长期干旱处理会显著降低叶片的光合速率。

干旱胁迫对植物光合生理的影响是一个系统并逐步深入的过程。在胁迫初期,果树的光合作用主要受到气孔活动的影响,即气孔限制,随胁迫程度的加重,非气孔限制逐渐显著,最终在严重干旱胁迫下,非气孔限制起主导作用^[10–12]。利用 Pn 和胞间 CO_2 浓度(Ci)判断气孔因素是否为光合作用主要限制因子时,一般认为当低的光合作用并伴随有低的 Ci 发生时,光合作用主要受到了气孔因素的限制;反之,当低的光合作用并伴随有高的 Ci 发生时,光合作用主要受到了非气孔因素的限制^[13–15]。从本研究对叶片气孔导度(Gs)与 Pn 的相关性分析可以看出,无论在充分灌溉下还是中度水分胁迫条件下,Gs 与 Pn 均呈现显著的相关性;此外,我们试验还表明干旱处理的 Ci 和 Gs 较保湿处理均有明显的下降(数据未发表)。据此推测,气孔限制为影响本研究 Pn 变化的主要因素。但干旱处理的 Gs 与 Pn 之间相关系数小于保湿处理,表明气孔限制因素对光合作用的影响可能会随着干旱胁迫程度的增加而下降。

参考文献

- [1] Huang H B(黄辉白). On the water relations problem of fruit trees in Guangdong [J]. J South China Agri Univ(华南农业大学学报), 1989, 10(1):33–39.(in Chinese)
- [2] Guo Q R(郭庆荣), Zhong J H(钟继红), Zhang B G(张秉刚), et al. Management of soil water for agriculture sustainable development in latored soils of south subtropical hilly area [J]. Bull Soil Water Conserv(水土保持通报), 2004, 24(1):53–56.(in Chinese)
- [3] Sun G C(孙谷畴). Effects of decreasing leaf water potential on photosynthesis of *Litchi chinensis* [J]. Acta Bot Sin(植物学报), 1988, 30(1):99–102.(in Chinese)
- [4] Chaikiattiyos S, Menzel C M, Rasmussen T S. Floral induction in tropical fruit tree: Effects of temperature and water supply [J]. J Hort Sci, 1994, 69:397–415.
- [5] Batten D J, McConchie C A, Lloyed J. Effects of soil water deficit on gas exchange characteristic and water relations of orchard lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) trees [J]. Tree Physiol, 1994, 14: 1177–1189.
- [6] Roe D J, Oosthuizen J H, Menzel C M. Rate of soil drying and previous water deficits influence the relationship between CO_2 assimilation and tree water status in potted lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. J Hort Sci, 1995, 70:15–24.
- [7] Menzel C M, Oosthuizen J H, Roe D J, et al. Water deficits at anthesis reduce CO_2 assimilation and yield of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) trees [J]. Tree Physiol, 1995, 15:611–617.
- [8] Hsiao T C. Plant response to stress [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1973, 24:519–570.
- [9] Zhang Z P(张祝平), Zhao X D(招晓东), Ye Y X(叶耀雄), et al. Photosynthetic characteristics of *Litchi chinensis* [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 1995, 1(3):226–231.(in Chinese)
- [10] Luo H J(罗华建), Liu X H(刘星辉). Effects of water stress on photosynthesis in loquat trees [J]. J Fruit Sci(果树科学), 1999, 16(2):126–130.(in Chinese)
- [11] Liu S(刘殊), Liao J S(廖镜思). Effects of water stress on photosynthesis of longan [J]. J Fruit Sci(果树科学), 1997, 14(4):244–247.(in Chinese)
- [12] Zhou Y P(周燕萍), Shan G F(单广福). The stomatal and non-stomatal limitation of apple photosynthesis under water stress [J]. J Suzhou Inst Silk Textile Techn(苏州丝绸工学院学报), 1998, 18(3):65–67.(in Chinese)
- [13] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982(33):491–543.
- [14] Xu D Q(许大全). Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis [J]. Plant Physiol Commun(植物生理学通讯), 1995, 33(4):317–345.(in Chinese)
- [15] Zeng G H(曾光辉), Guo Y P(郭延平), Liu H(刘辉), et al. The study of environment regulation and control on photosynthesis of fruit trees [J]. Northern Hort(北方园艺), 2004(3):32–33.(in Chinese)