

土壤不同含水量对早酥梨光合特性的影响

张坤, 刘小勇

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要: 在田间水分控制条件下, 通过对果实膨大期不同水分处理(W1, 土壤含水量为田间持水量的 40% ± 5%; W2, 为田间持水量的 60% ± 5%; W3, 为田间持水量的 80% ± 5%)下早酥梨叶片光合的测定发现: 上午 10:00, W1、W2、W3 的净光合速率(P_n)出现第一个峰值, 分别为 18.14、19.43、20.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 到 16:00, 出现第二个峰值, 其中 W3 可达到 17.32 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, W2、W1 分别达到 16.47、14.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 全天, W1、W2、W3 分别有 5、7、9 h 的时间叶片 P_n 超过 12.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; W2、W3 的光补偿点(LCP)显著低于 W1, 而光饱和点(LSP)显著高于 W1; W1、W2 的最大净光合速率(P_{max})无明显差异, 但显著低于 W3; W2 CO_2 补偿点显著低于 W1, 与 W3 无明显差异, W2 的 CO_2 饱和点最高, W3 CO_2 饱和点最低; W2 在 CO_2 饱和点时 P_{max} 显著高于 W1, 但与 W3 无明显差异。

关键词: 早酥梨; 果实膨大期; 土壤水分控制; 光合特性

中图分类号: S661.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0107-05

Effects of soil moisture on photosynthetic characteristics of Zaosu pear during fruit expanding period

ZHANG Kun, LIU Xiao-yong

(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Under controlled soil moisture conditions, the photosynthetic characteristics of Zaosu pear during fruit expanding period were measured. It was found that the net photosynthetic rate (P_n) under the treatments of W1, W2 and W3 (denoted soil water at 40 ± 5%, 60 ± 5% and 80 ± 5% of field capacity, respectively) appeared the first peak at 10 o'clock, being 18.14 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 19.43 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and 20.25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively, and appeared the second peak at 16 o'clock, being 14.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 16.47 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and 17.32 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ respectively. The time of P_n value being more than 12.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in the whole day under W1, W2 and W3 was 5, 7 and 9 hours respectively. The light compensation point (LCP) of W2 and W3 was significantly lower than that of W1, but the light saturation point (LSP) of W2 and W3 were significantly higher than that of W1. There were no significant difference of maximum photosynthetic rate (P_{max}) between W1 and W2, both being significantly lower than W3. The CO_2 compensation point of W2 was significantly lower than that of W1, but there was no remarkable difference between W2 and W3. The CO_2 saturation point of W2 was the highest, while that of W3 was the lowest. At CO_2 saturation point, the P_{max} of W2 was significantly higher than that of W1, but there was no remarkable difference between W2 and W3.

Keywords: Zhaosu pear; fruit expanding period; controlled soil moisture; photosynthetic characteristics

甘肃省静宁县多年平均降雨量在 500 mm 左右, 降雨总量可满足梨树需水, 但降雨主要集中于 7—9 月份, 5—7 月经常发生季节性干旱^[1], 此期正值梨果实膨大期, 只有水分适宜, 才能促进果实正常膨大, 如遇干旱, 土壤水分不足, 就会影响果实的发育, 造成果个变小, 产量降低, 品质下降^[2]。目前甘肃主

要梨产区普遍采取“起垄覆膜, 集雨保墒”的栽培措施, 既起到保墒作用, 又将干旱季节少量降水汇集到根系集中分布区, 满足部分根系吸水, 避免干旱胁迫发生。但在实践中发现, 遇到干旱季节, 土壤含水率依然会降到很低水平, 需补充灌水。

土壤含水率对果树生长和代谢的影响是多方面

收稿日期: 2012-03-12

基金项目: 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室和甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室(HNSJJ-201103)

作者简介: 张坤(1980—), 男, 山东潍坊人, 助理研究员, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: zhangkunchinaa@gmail.com。

通信作者: 刘小勇(1966—), 男, 陕西蓝田人, 研究员, 主要从事果树栽培研究。E-mail: liuxy6607@sina.com。

的,其中对光合作用、蒸腾和气孔导度的影响尤为突出,土壤水分含量不足或过多都会影响光合作用、蒸腾和气孔导度^[3]。而光合作用是果树生长发育的基础和生产力高低的决定性因素,果树光合生理特性可作为评价其生产力和适应性的重要指标^[4]。随着水资源日益短缺,节水水果业的发展显得越发重要,充分利用自然降水或适当灌溉提高水分利用效率成为研究的重点。本文选择梨果实膨大期进行土壤水分控制,研究不同水分条件下梨叶片光合特性,为指导灌溉和集雨保墒措施的改进提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况及处理

2011年5—7月,试验在甘肃省静宁县孙家沟山台地果园进行。当地海拔1282m,年平均气温9.9℃,多年平均降雨量500mm左右;土壤为覆盖黑垆土,100cm内土壤平均容重为 $1.35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,土壤有机质含量 $10.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,0~100cm深土层田间持水量平均为23.7%。

参试品种为5a生早酥梨,砧木为杜梨。试验区地面平整,南北行向,株行距为 $3\text{ m}\times 4\text{ m}$ 。从5月初开始覆盖棚膜(晴天揭膜),进行土壤水分控制,每处理覆盖区面积 108 m^2 ,四周设置隔离行,只选取中间大小相似、高矮一致的4棵树作为4次重复。每周测一次20~80cm深土壤含水率,采用人为给水和自然耗水结合的方法获得各级土壤水分:W1(土壤含水量为田间持水量的 $40\% \pm 5\%$,即 $8.30\% \sim 10.67\%$)、W2(土壤含水量为田间持水量的 $60\% \pm 5\%$,即 $13.0\% \sim 15.4\%$)、W3(土壤含水量为田间持水量的 $80\% \pm 5\%$,即 $17.8\% \sim 20.1\%$),当土壤含水量低于试验设计时采用如下公式计算灌溉量:灌溉量=灌溉面积(108 m^2) \times 土壤浸湿深度(0.8m) \times 土壤容重($1.35\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) \times (23.7%—灌溉前土壤湿度)。除土壤水分控制不同外,处理间管理一致。

1.2 光合测定及分析方法

6月24日在果实膨大期晴天进行各指标的测定。选用树冠外围中部1.5~2m高度范围内的中长梢枝条,从顶端数第7~8片健康功能叶用于光合日变化测定。仪器选用光合作用分析仪(Li-6400, Li-cor Inc., Lincoln, USA),测定项目包括叶片净光合速率(Net photosynthetic rate, P_n)、气孔导度(Stomatal conductance, G_s)、蒸腾速率(Transpiration rate, T_r)以及光合有效辐射(Photosynthetically active radiation, PAR)等参数,测定时间从8:00~18:00,每整点测量1次,重复3次;光响应曲线(Light response

curve, $P_n - PAR$)的测定,均在上午9:00~11:00测定,由人工钢瓶提供的 CO_2 ,浓度设置为 $400\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,用Li-6400的人工光源(Li-6400-02B红蓝光源),并手动设置光强梯度为0、50、80、100、200、400、600、800、1000、1200、1500、2000 $\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,每个点测定时间为60~120s,重复3次。 CO_2 响应曲线的(A-Ci curve)测定采用6400-01 CO_2 注入器和液化 CO_2 钢瓶,设置 CO_2 浓度梯度为0、50、100、120、150、200、300、400、600、800、1000、1200、1400、1600、1800、2000 $\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,在A-Ci曲线测定过程中,PAR设置为 $1500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,每点测定时间为120~180s。

对 $P_n - PAR$ 曲线进行拟合,当 $PAR \leq 200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,用线性方程来表达,以便获得光补偿点(Light compensation point, LCP)、暗呼吸速率(Dark respiration rate, R_d)、表观量子效率(Apparent quantum yield, AQY)等参数;当 $PAR > 200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,用二次方程来表达,以便获得光饱和点(Light saturation point, LSP)和最大净光合速率(Maximum photosynthetic rate, P_{max});对A-Ci曲线进行拟合,当胞间 CO_2 浓度 $\leq 200\text{ }\mu\text{mol}/\text{mol}$ 时,用线性方程来表达,以便获得 CO_2 补偿点(CO_2 compensation point)、羧化效率(Carboxylation efficiency, CE)等参数;当胞间 CO_2 浓度 $> 200\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时,用二次方程来表达,以便获得 CO_2 饱和点(CO_2 saturation point)及 P_{max} 。

用Microsoft Excel 2003软件、SPSS17.0数理统计软件进行数据分析和曲线拟合。

2 结果与分析

2.1 不同土壤水分下早酥梨光合日变化特征

从图1A可以看出不同处理早酥梨叶片 P_n 日变化曲线均呈双峰型。上午随着光照强度增加叶片 P_n 迅速上升,W1在10:00左右出现第一个峰值,为 $18.14\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,之后叶片 P_n 迅速下降,且下降程度明显高于W2、W3,其原因是上午随着光照强度增强,叶片蒸腾增强,当根系吸水不能支持叶片蒸腾时,根系将信号提前传导到叶片,使气孔关闭,发生“光合午休”,避免叶片过度失水^[5],此时W2、W3的峰值分别为 19.43 、 $20.25\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,说明在土壤水分较好条件下能使叶片维持较高的光合水平,但从10:00后W2、W3叶片 P_n 也发生大幅下降;12:00左右3个处理叶片 P_n 均下降至 $12\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右;12:00到14:00,W2、W3叶片 P_n 无明显下降,而W1叶片 P_n 下降到最低值 $9.51\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;14:00到16:00,叶片 P_n 小幅上升出

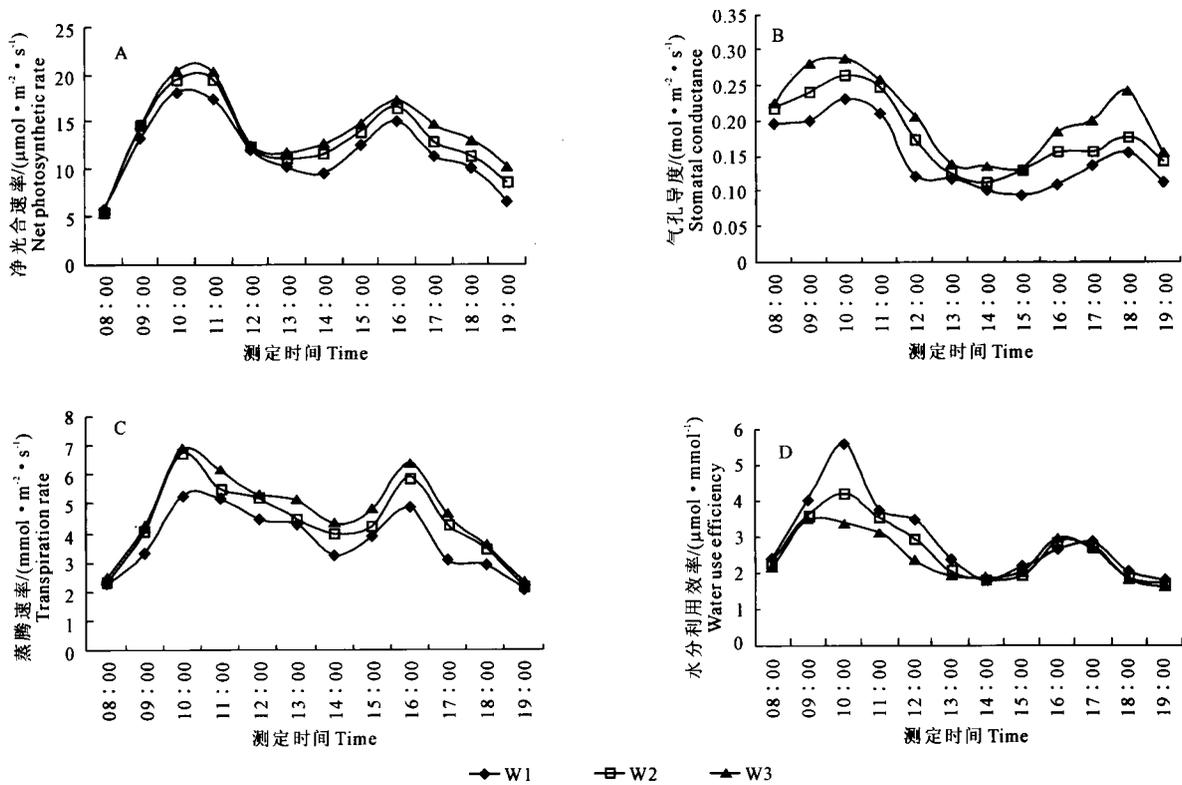
现第二个峰值,其中 W3 可达到 17.32 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, W2、W1 分别达到 16.47、14.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,此后叶片 P_n 受 PAR 减弱的影响逐渐降低。白天, W1、W2、W3 分别有 5 h、7 h、9 h 的时间叶片 P_n 超过 12.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,看出土壤水分含量高,叶片 P_n 在较高水平维持时间长。

由图 1B 可知,叶片 G_s 日变化也呈双峰曲线,在 10:00 左右出现第一个峰值, W3 > W2 > W1; 10:00 ~ 12:00, W1、W2、W3 G_s 的下降速度快,降幅分别达到 47.8%、34.5%、28.7%; 13:00 ~ 15:00 不同处理 G_s 均处于最低水平,此时 W1、W2、W3 G_s 的均值分别为 0.1042、0.1225、0.1351 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 15:00 到

18:00 叶片 G_s 处于上升状态,也出现第二个高峰,表现为 W3 > W2 > W1,之后 G_s 迅速下降。

由图 1C 知,不同处理叶片 T_r 在 10:00 和 16:00 出现两次高峰,全天 W1、W2、W3 平均 T_r 分别为 3.746、4.36、4.69 $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

由图 1D 知,叶片 WUE 表现为上午高,下午低,到 10:00 WUE 达到最高值,其中 W1 (5.59 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$) > W2 (4.22 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$) > W3 (3.37 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$),在干旱条件下的叶片 WUE 明显升高; 10:00 ~ 14:00 WUE 迅速降低,不同处理间 WUE 处于一致, 14:00 ~ 19:00 WUE 在 1.60 ~ 2.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ 之间波动,不同处理间无明显差异。



注: W1, 土壤含水量为田间持水量的 40% ± 5%; W2, 土壤含水量为田间持水量的 60% ± 5%; W3, 土壤含水量为田间持水量的 80% ± 5%, 下同。

Note: W1, W2 and W3 mean soil water at 40% ± 5%, 60% ± 5% and 80% ± 5% of field capacity, respectively, the same below.

图 1 不同水分处理下早酥梨光合参数日变化特征

Fig.1 Diurnal variation of photosynthesis in Zaosu pear under different soil water treatments

2.2 不同水分控制下早酥梨 P_n 与生态因子的关系

2.2.1 P_n 与 PAR 的关系 如图 2 对 $P_n - PAR$ 进行曲线拟合, 决定系数大于 0.95, 说明这两段曲线能很好模拟 P_n 与 PAR 的关系, 其拟合关系如图 2A; 从表 1 可知, W2、W3 LCP 显著低于 W1, 而光饱和点显著高于 W1, 表明干旱明显降低叶片的光适应能力, 而 W2、W3 之间无明显差异; W1、W2 的 P_{max} 无明显差异, 分别达到 18.50、20.23 $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}$, 但

显著低于 W3; W3 的 AQY 显著高于 W1、W2, 其光能利用效率最高, 但 W1、W2 之间无明显差异; W1 的 R_d 速率显著高于 W2、W3。

2.2.2 P_n 与 CO_2 浓度的关系 如图 3、表 2, 分别对 0 ~ 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、200 ~ 2 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 范围内拟合 CO_2 浓度与净光合速率的曲线方程, 并对其参数进行比较, 各拟合方程的决定系数大于 0.95。W2 CO_2 补偿点显著低于 W1, 与 W3 无明显差异, W2 的 CO_2 饱和点最高, W3 CO_2 饱和点最低, 所以 W2

的 CO₂ 利用范围最宽; W2 在 CO₂ 饱和点时 P_{max} 显著高于 W1, 但与 W3 无明显差异; W1 的 CE 最低,

而 W2 的 CE 最高, 不同处理间均有显著差异, 可见在 W2 处理下叶片利用 CO₂ 的能力强。

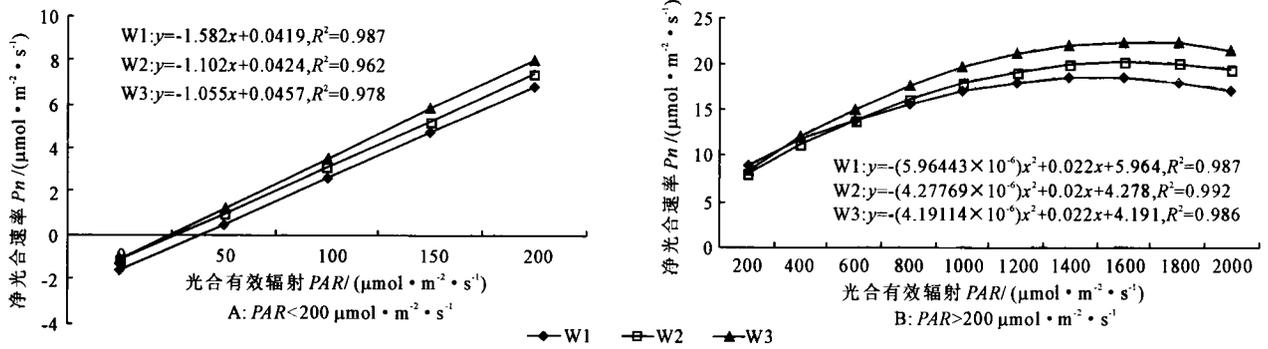


图 2 P_n 与 PAR 的关系

Fig.2 The relationship between P_n and PAR

表 1 光响应曲线参数

Table 1 The parameters of light response curve

土壤水分梯度 Treatment	光补偿点 LCP Light compensation point /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点 LSP Light saturation point /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	最大净光合速率 P _{max} Maximum photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY Apparent quantum yield /($\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	暗呼吸速率 R _d Dark respiration rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
W1	37.69 a	1503.93 b	18.50 b	0.042 b	1.58 a
W2	25.98 b	1622.47 a	20.23 ab	0.042 b	1.10 b
W3	23.07 b	1672.36 a	22.66 a	0.046 a	1.05 b

注: 不同的小写字母为差异显著 (P < 0.05), 下同。

Note: Different small letters mean significant difference at P < 0.05 level, the same below.

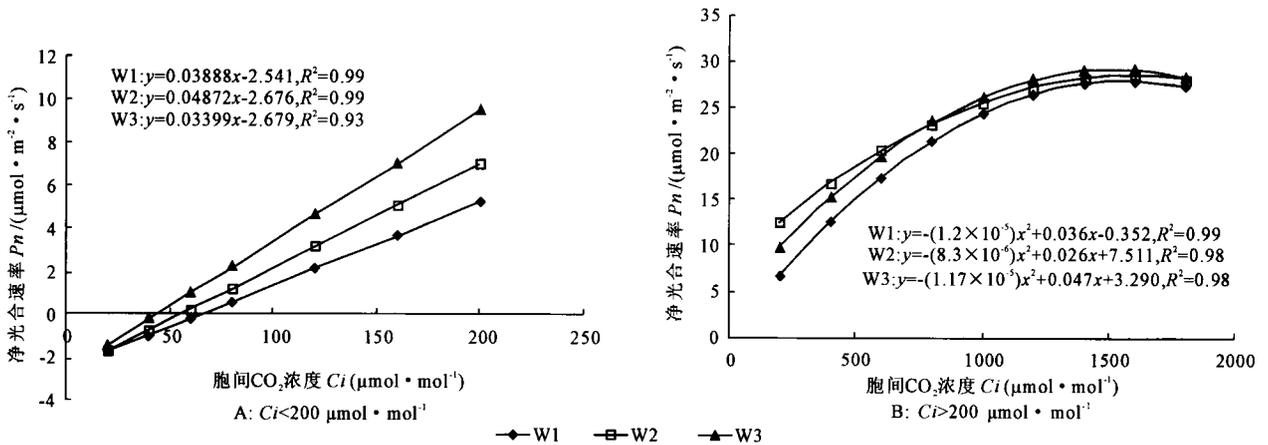


图 3 P_n 与胞间 CO₂ 浓度的关系

Fig.3 The relationship between P_n and intercellular CO₂ concentration (Ci)

表 2 CO₂ 响应曲线参数

Table 2 The parameters of CO₂ response curve

土壤水分梯度 Treatments	CO ₂ 补偿点 CO ₂ compensation point /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	CO ₂ 饱和点 CO ₂ saturation point /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	最大净光合速率 P _{max} Maximum photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	羧化效率 CE Carboxylation efficiency /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
W1	65.37 a	1555.47 a	27.89 b	0.0388 c
W2	43.99 b	1589.07 a	28.44 ab	0.0608 a
W3	54.93 ab	1517.91 a	29.00 a	0.0487 b

3 讨 论

土壤水分状况对叶片光合特性影响明显。这是因为,在单株水平下,白天当气孔张开后,受蒸腾拉力的影响,促使根系不断从土壤吸收水分,但当蒸腾量大于根系吸水能力时,树干贮存水分迅速消耗,从而导致叶片水势降低,致使一天中气孔开度发生变化,影响 P_n ^[6-7];在单叶水平下, P_n 主要受气孔因素和非气孔因素的影响,气孔因素是指干旱诱导的 G_s 下降, CO_2 进入叶片受阻而使光合下降,而非气孔因素是指光合器官内在光合活性的下降,如强光照射、活性氧代谢失调等^[8-9]。

从本文的测定结果看,叶片 P_n 变化与 G_s 变化高度一致,但不同时间导致 G_s 变化的机理不同。 P_n 在上午 10:00 左右即出现高峰,然后迅速下降,此时气温与光照强度均不高, P_n 变化主要是气孔因素影响,为降低蒸腾,减少树体内水分消耗,叶片主动关闭气孔,而到 11:00 左右 P_n 没有明显降低,所以其 WUE 最大,这与邹养军等研究结果相似^[10];午后气温高、光照强,为避免光合器官受损气孔关闭,此时 P_n 降低受气孔因素和非气孔因素共同作用,但此时不同处理 WUE 值相近,表明非气孔因素占主导地位,但土壤含水率越低,非气孔限制越明显^[11-12]。

LCP 作为反映植物需光特性的指标之一,可以表征光合作用对弱光利用程度的高低,即 LCP 越低,意味着植物光合作用对弱光的利用程度越高。本研究发现土壤含水率较高的 W2、W3 的 LCP 显著降低,而 LSP 显著增加,能在较宽的光照范围内进行光合作用,这种现象是叶片中光合电子传递体和光合作用关键酶等的含量和活性高造成的^[13],即在干旱季节土壤含水率高可以使叶片处于更佳的生长环境;植物受到环境胁迫时 AQY 降低,但本文中 W1、W2 之间无明显差异,均显著低于 W3,这可能与上午气温适合,空气湿度较高有关。

综上所述,果实膨大期土壤含水率对叶片光合

特性影响很大,土壤含水率低叶片 P_n 峰值低,“光合午休”现象发生程度重,一天时间内叶片 P_n 在较高水平维持的时间短,但其 WUE 明显提高;土壤含水率较高的 W2、W3 光合能力均显著高于 W1,但 W2 叶片 LSP 、 LCP 和最大 P_n 和 R_d 与 W3 无明显差异;W2 的 CE 最高,其 CO_2 补偿点、 CO_2 饱和点等与 W3 无明显差异,可见在果实膨大期土壤含水率保持在田间持水量的 60% 可满足果树生长需要。

参 考 文 献:

- [1] 张 坤,尹小宁,刘小勇,等.陇东旱地果园覆沙对苹果树蒸腾耗水及果实品质的影响[J].应用生态学报,2010,21(11):2755-2762.
- [2] 曲桂敏,沈 向,王鸿霞,等.土壤干旱时苹果果实对叶片水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):86-90.
- [3] 王克勤,王斌瑞.土壤水分对金矮生苹果光合速率的影响[J].生态学报,2002,12(2):206-214.
- [4] 姚全胜,雷新涛,王一承,等.不同土壤水分含量对杠果盆栽培幼苗光合作用、蒸腾和气孔导度的影响[J].果树学报,2006,23(2):223-226.
- [5] 李 洁,郭小平,朱清科.果树蒸腾光合及水分利用率与土壤含水量关系研究[J].水土保持研究,2007,14(4):302-308.
- [6] 金红喜,徐先英,唐进年,等.花棒液流变化规律及其对环境因子的响应[J].西北植物学报,2006,26(2):354-361.
- [7] 岳广阳,张铜会,赵哈林,等.科尔沁沙地黄柳和小叶锦鸡儿茎流及蒸腾特征[J].生态学报,2006,26(10):3206-3213.
- [8] 孙景宽,张文辉,刘新成.干旱胁迫对枣寒和孩儿拳头的生理特性的影响[J].西北植物学报,2008,28(9):1868-1874.
- [9] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomata conductance and photosynthesis [J]. Ann Rev Physiol, 1982, 33:317-345.
- [10] 邹养军,魏钦平,李嘉瑞,等.根系分区灌水对苹果生理功能的影响及控梢促花效应研究[J].灌溉排水学报,2007,26(4):28-32.
- [11] 柯世省,杨敏文.水分胁迫对云锦杜鹃光合生理和光温响应的响应[J].园艺学报,2007,34(4):959-964.
- [12] 关义新,戴俊英,林 燕.水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制[J].植物生理学通讯,1995,31(4):293-297.
- [13] Bertamini M, Nedunchezian N. Photosynthetic responses for Vitisvinifera plants grown at different photon flux densities under field conditions[J]. Biologia Plantarum, 2004,48(1):149-152.