

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

万素梅¹, 胡守林¹, 果先民², 文卿琳¹

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团农业技术推广总站, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:以塔里木盆地滴灌枣园3龄枣树为材料,在红枣的盛果期,利用LI-6400型光合仪对不同水分处理下红枣的光合指标测定与分析。结果表明:不同水分处理下红枣净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)的日变化均表现为“单峰”曲线, P_n 之间存在极显著差异,而 T_r 之间差异不显著;不同水分处理下光合有效辐射(PAR)、相对湿度(RH)、大气温度(T_a)、田间 CO_2 浓度(C_a)存在极显著差异;水分利用效率(WUE)存在显著差异。从水分胁迫对红枣叶片光合特性、水分利用效率的影响综合分析,红枣对低水环境有较强的忍耐力,适应在干旱环境中生存,适宜生长的滴灌水量为 $320\text{ m}^3/667\text{ m}^2$ 左右。

关键词: 红枣; 水分胁迫; 光合特性; 水分利用效率; 塔里木盆地

中图分类号: S665.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0171-05

塔里木盆地光热资源丰富,气候类型独特,是久负盛名的“瓜果之乡”,已被确定为我国最有发展前景的优质红枣产业带。但盆地降水稀少,蒸发强烈,水资源严重短缺,影响到区域农业的持续发展。因此,研究干旱胁迫下塔里木盆地红枣光合特性及水分利用效率对该区的农业持续发展及生态环境恢复有重要的理论意义。

研究表明,在充分灌溉中,有相当一部分水分被作物无效蒸腾,适当降低供水量可以提高水分利用效率^[1];在作物对水分不敏感的时期,减少灌溉次数,可以大大减少作物的无效耗水总量,从而在实现高产的基础上,达到节约水的目的^[2];一定时期水分的有限亏缺可能增产和提高水分利用效率^[3];轻度水分亏缺可提高棉花产量和水分利用效率^[4]。陈玉民研究土壤水分与光合速率、蒸腾速率的关系时发现,水分利用效率的最大值出现在两条曲线的结合点上,而高于或低于该点都将会导致水分利用率的下降^[5];适度的水分胁迫对作物叶水势、蒸腾及光合、产量的影响不大^[6],但程度掌握不好将导致严重减产^[7];毛叶枣净光合速率随土壤含水量的下降而下降^[8];水分胁迫下玉米毛状根再生植株光合速率、蒸腾速率、细胞间隙 CO_2 浓度、气孔导度均较高^[9];中轻度水分胁迫下冬小麦的光合速率显著提高^[10];干旱缺水条件下,适度减少蒸腾器官的数量,可以在不影响产量条件下减少蒸腾耗水,增加土壤储水量,

有利于作物度过水分胁迫期^[11];随着土壤水分胁迫程度的加重,叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度逐渐下降,净光合速率、蒸腾速率、气孔导度与土壤水分之间均存在极显著线性关系^[12]。

以上研究对水分胁迫下果树、大田作物的光合特性及水分利用效率做了有益的探索,但多是对番茄^[13]、苹果^[14-15]、葡萄^[16]及芒果^[17]等树种的光合特性进行对比研究,有关水分胁迫对枣树光合特性影响的研究较少,而针对塔里木盆地滴灌枣园水分胁迫对枣树光合特性影响的研究尚未见报道。本研究通过对塔里木盆地生长3年枣树的光合特性进行研究,分析水分胁迫对红枣净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及水分利用效率的影响,探索干旱区枣树光合特性的变化规律,以期从光合生理生态角度为干旱区枣树高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2010—2011年在新疆生产建设兵团农一师幸福城农场进行。研究区位于塔里木盆地南缘,属典型的大陆性极端干旱荒漠气候类型,多年平均降雨量不足50 mm,年均蒸发量2 110.5 mm,是典型的灌溉农业区;年平均气温 11.2°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温 $4\ 040^\circ\text{C} \sim 4\ 300^\circ\text{C}$,无霜期200 d左右,年日照时数为2 650~3 100 h,年均总辐射 $9\ 733\text{ MJ/m}^2$ 。试验

收稿日期:2012-01-30

基金项目:国家自然科学基金(31060181,31160268);新疆生产建设兵团博士资金(2010JC06)

作者简介:万素梅(1968—),女,新疆阿拉尔人,教授,博上,研究方向为旱区农业资源管理及高效农作制度。E-mail: wansumei510@163.com。

地土质为沙壤土。

1.2 试验材料

供试材料为 3 年生矮化密植枣树 (*Zizyphus Jujube*)。2007 年酸枣直播建园, 2008 年春季嫁接, 接穗为骏枣。株行距配置为 $1\text{ m} \times 3\text{ m}$ 。试验区地势平坦, 试验小区的立地条件相同, 土壤水分、肥力等条件相近, 枣树生长良好。

1.3 试验设计

结合枣树整个生育期对水分需求的特性, 分别在枣树不同生育期进行水分控制, 共设置 4 个水分处理: (1) W1: 中度水分胁迫, 水量为 $260\text{ m}^3/667\text{ m}^2$; (2) W2: 轻度水分胁迫, 水量为 $320\text{ m}^3/667\text{ m}^2$; (3) W3(CK): 适宜水分, 水量为 $380\text{ m}^3/667\text{ m}^2$; (4) W4: 充分供水, 水量为 $440\text{ m}^3/667\text{ m}^2$, 灌溉方式为滴灌, 其中 W3 为对照。小区面积为 $3\text{ m} \times 6\text{ m} = 18\text{ m}^2$ 。每个处理重复 3 次, 完全随机区组排列。不同小区之间埋入 80 cm 深的双层防侧渗塑料膜。试验各处理均在越冬前进行灌溉, 灌水量一致, 各处理施肥及其它田间管理措施保持一致。

1.4 研究方法

试验于红枣盛果期进行。采用 LI-6400 光合仪田间活体测定红枣叶片的光合生理指标。选择健康、长势一致、无病斑、照光均一的同一叶位的叶片 (从顶部向下第一延长枝中部的叶片) 测定其光合日变化进程, 每次选取 5 片叶重复测定。主要测定指标包括: 光合速率 [$P_n, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、蒸腾速率 [$Tr, \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、气孔导度 [$G_s, \text{cm}/\text{s}$]、胞间 CO_2 浓度 [$C_i, \mu\text{mol}/\text{mol}$]、大气温度 [$T_a, ^\circ\text{C}$]、田间 CO_2 浓度 [$C_a, \mu\text{mol}/\text{mol}$]、相对湿度 [$RH, \%$]、光合有效辐射 [$PAR, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 等。叶片瞬时水分利用效率 (WUE): $WUE = P_n/Tr$

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 进行统计处理, SAS8.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对红枣光合速率日变化的影响

不同水分处理红枣叶片净光合速率的日变化表现为“单峰”曲线, 峰值出现在 12:00~14:00 (图 1)。W3 的峰值出现在 14:00, 为 $12.70\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, W1、W2、W4 净光合速率的峰值均出现在 12:00, 分别为 11.20 、 11.45 、 $11.05\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

从图 1 可以看出, W3 的净光合速率高于其它水分处理, 较低的是 W4。对 10:00~21:00 时段内的光合速率进行平均, 把日平均值由大到小进行排序,

依次为: $W3[9.85\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W2[9.44\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W1[9.23\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W4[7.92\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 。

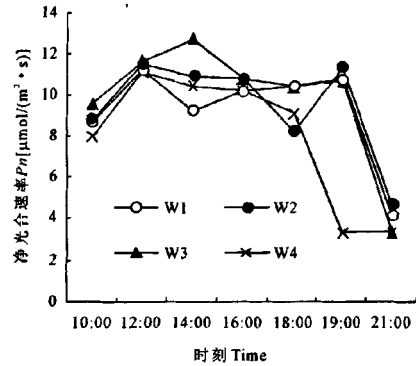


图 1 不同水分处理红枣叶片光合速率日变化

Fig.1 The diurnal variation of photosynthesis rate (P_n) in leaves of jujube under water stress

方差分析表明, 不同水分处理之间净光合速率存在极显著差异: W3 与 W2 之间差异不显著, 但极显著地高于 W1、W4; W1 与 W2 之间差异不显著, 但极显著地高于 W4。

2.2 干旱胁迫对红枣蒸腾速率日变化的影响

蒸腾作用影响着植物的水分状况, 在一定程度上反映其调节水分损失的能力及适应干旱环境的方式。从图 2 可以看出, 不同水分处理红枣叶片蒸腾速率的日变化呈现规律性的变化, 为典型的“单峰”曲线, 峰值出现在 14:00~16:00, 峰值分别为 8.03 、 6.25 、 7.44 、 $7.87\text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

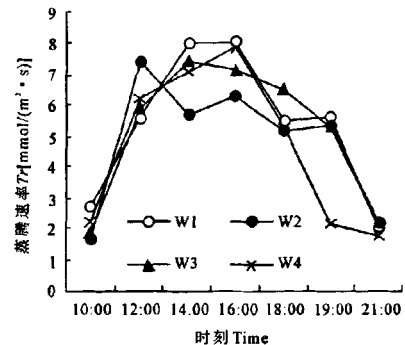


图 2 不同水分处理红枣蒸腾速率日变化

Fig.2 The diurnal variation of transpiration rate (Tr) in leaves of jujube under water stress

不同水分处理蒸腾速率日变化的平均值由大到小的顺序依次为: $W1[5.38\text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W3[5.19\text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W2[4.83\text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] > W4$

[4.67 mmol/(m²·s)],与W3相比,W1的蒸腾速率增加了3.66%,而W2、W4分别降低了6.94%、10.02%。方差分析表明,不同水分处理之间蒸腾速率差异不显著。

2.3 干旱胁迫对红枣气孔导度(G_s)日变化的影响

由图3可以看出,气孔导度的日变化趋势与蒸腾速率的变化相反。除W3外,所有处理的 G_s 在早晨10:00左右达到全天的最大值,其后随着温度的增加和湿度的下降, G_s 迅速降低,至21:00左右又达到一个较高值。

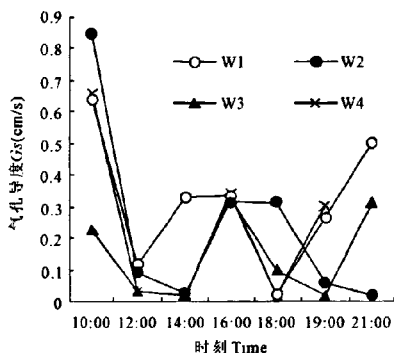


图3 不同水分处理红枣叶片气孔导度的日变化
Fig.3 The diurnal variation of stomata conductance (G_s) in leaves of jujube under water stress

方差分析表明,不同水分处理之间 G_s 存在显著差异:W1与W2、W4之间差异不显著,但W1显著地高于W3。不同水分处理下红枣 G_s 的日平均值大小依次为:W1(0.32 cm/s) > W2(0.24 cm/s) > W4(0.23 cm/s) > W3(0.15 cm/s)。

2.4 干旱胁迫对红枣叶片水分利用效率(WUE)日变化的影响

不同水分处理红枣叶片水分利用效率均在10:00达到全天的最大值,分别为3.20、5.36、5.17、3.58 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ 。除W2外,所有水分处理红枣叶片水分利用效率的低谷值均出现在14:00~16:00左右(见图4)。

不同水分处理水分利用效率日变化的平均值由大到小的顺序依次为:W2(2.34 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$) > W3(2.28 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$) > W1(1.94 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$) > W4(1.86 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$)。与适宜水分W3相比,轻度缺水(W2)水分利用效率提高了2.65%,中度缺水(W1)、充分供水(W4)的水分利用效率分别下降了14.90%、18.20%。

方差分析表明,不同水分处理之间WUE存在

显著差异:W2与W3之间差异不显著,但它们显著地高于W1、W4;W1与W4之间差异不显著。

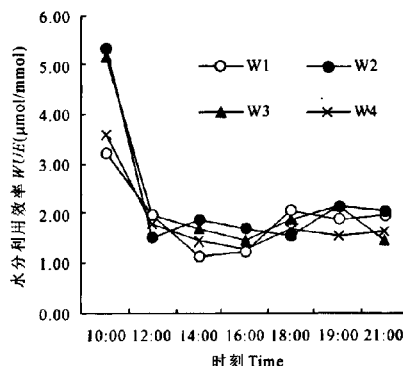


图4 不同水分处理红枣水分利用效率日变化

Fig.4 The diurnal variation of WUE in leaves of jujube under water stress

2.5 干旱胁迫下红枣叶片水分利用效率(WUE)与气象因子的关系

为探究不同水分处理红枣叶片水分利用效率(WUE)与田间气象因子的关系,对WUE与主要气象因子的关系进行线性相关分析(图5),结果表明,各气象因子与W1、W2、W3的水分利用效率均有较高的相关性。红枣叶片水分利用效率与光合有效辐射、大气温度呈负相关,与田间CO₂浓度、田间相对湿度呈正相关。其中大气温度对红枣叶片水分利用效率的影响最大,大气温度与所有处理的水分利用效率均呈显著或极显著负相关。光合有效辐射、田间CO₂浓度与W1、W2、W3水分利用效率的相关性较高;田间相对湿度与W1、W3水分利用效率的相关性较高。

3 讨论

3.1 水分胁迫对红枣叶片光合特性的影响

水分胁迫不仅影响植物的光合生理代谢,同时也影响植物蒸腾速率、气孔导度、水分利用效率的日变化。不同水分处理红枣叶片的净光合速率存在极显著差异,轻度胁迫与适宜水分之间差异不显著,但极显著地高于中度胁迫、充分供水。不同水分处理红枣叶片蒸腾速率差异不显著,但不同处理之间气孔导度存在显著差异。

从水分胁迫对红枣叶片光合特性的影响分析,红枣在轻度胁迫、适宜水分下表现出较高的净光合速率,表明在轻度胁迫、适宜水分下,红枣的光合性能强,具有丰产的潜力。

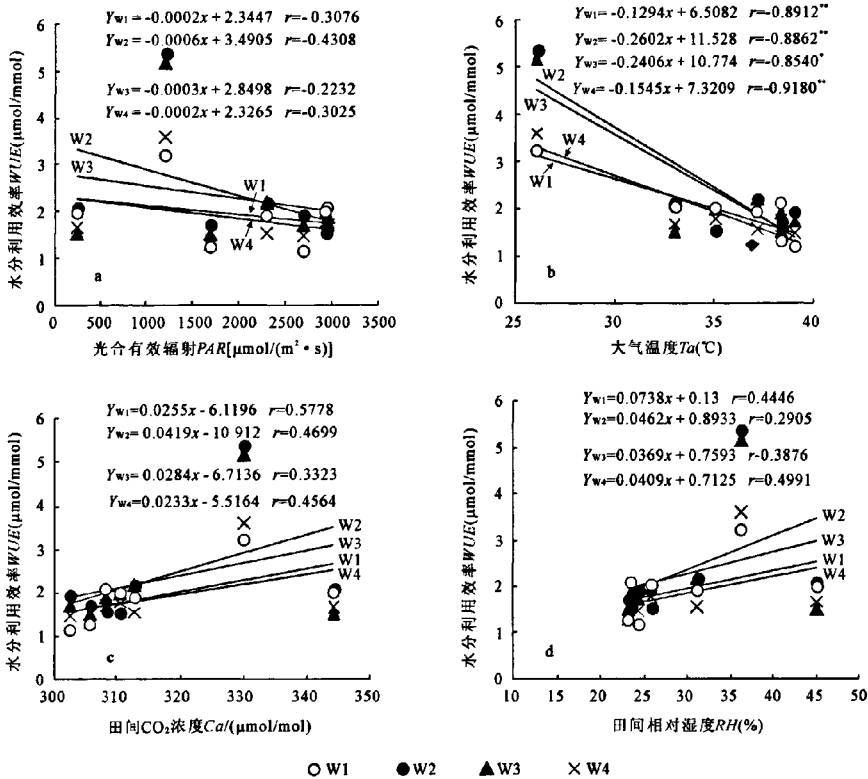


图 5 不同水分处理下红枣叶片水分利用效率与主要气象因子的关系

Fig. 5 Relationship between leaf water use efficiency (WUE) and main meteorological factors of jujube under water stress

注: * 表示 0.05 水平显著, $r_{0.05} = 0.754$; ** 表示 0.01 水平显著, $r_{0.01} = 0.874$.

Notes: * indicates significance at the level of 0.05, while ** indicates significance at the level of 0.01.

本研究中,不同水分处理的蒸腾速率较高,原因可能是研究区土壤为沙壤土,在塔里木盆地的高温强光条件下,大气温度达到 $25.6^{\circ}\text{C} \sim 39.1^{\circ}\text{C}$,导致土壤温度较高,红枣所受胁迫程度较强,因此,为了避免高温强光对自身的灼伤,沙土地枣树采取了较高的蒸腾速率来降低其叶片的温度,进而适应这种高温强光的气候条件,这是红枣对干旱环境的适应方式。此结论与解婷婷的研究结果一致^[18]。

3.2 水分胁迫对红枣叶片水分利用效率日变化的影响

单叶水平上的水分利用效率 (WUE) 是由植物的光合速率和蒸腾速率两方面决定的,是衡量植物水分消耗与物质生产之间关系的重要指标,反映了植物对逆境的适应能力。本研究中,不同水分处理之间 WUE 存在显著差异,轻度胁迫与适宜水分之间差异不显著,但它们显著地高于中度胁迫、充分供水;中度胁迫与充分供水之间差异不显著。

轻度胁迫下红枣叶片的净光合速率极显著地高于中度胁迫、充分供水,而蒸腾速率在不同水分处理

下没有显著差异,因此轻度胁迫水分利用效率高于其它水分处理,这是植物适应极端干旱地区水资源缺乏的一种保护策略,也是提高水分利用效率的途径之一。

3.3 干旱区适宜红枣生长的滴灌水量为 $320 \text{ m}^3/667 \text{ m}^2$ 左右

从水分胁迫对红枣叶片光合特性、水分利用效率的影响综合分析,红枣对低水环境有较强的忍耐力与保水能力,适应在干旱环境中生存,适宜红枣生长的滴灌水量为 $320 \text{ m}^3/667 \text{ m}^2$ 左右。

参考文献:

- [1] 刘吉利,赵长星,吴 娜,等.苗期干旱及复水对花生光合特性及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(3):469-476.
- [2] 裴 冬,孙振山,陈四龙,等.水分调亏对冬小麦生理生态的影响[J].农业工程学报,2006,22(8):68-72.
- [3] 於 珊,于 强,罗 毅,等.水分胁迫对冬小麦物质分配及产量构成的影响[J].地理科学进展,2004,23(1):105-112.
- [4] 高延军,裴 冬,张喜英,等.棉花调亏灌溉效应研究[J].中国

- 生态农业学报, 2004, 12(1): 138-139.
- [5] 陈玉民, 孙景生, 肖俊夫. 节水灌溉的土壤水分控制标准问题研究[J]. 灌溉排水, 1997, 16(1): 24-28.
- [6] Chalmers D J, Burge P H, Mitchell P D. The mechanism of regulation of 'Bartlett' pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1986, 11(6): 944-947.
- [7] 胡笑涛, 梁宗锁, 康绍忠. 模拟调亏灌溉对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水, 1998, 17(2): 11-15.
- [8] 孙浩元, 王玉柱, 杨丽, 等. 毛叶枣不同种源砧木的抗旱性评价[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 146-149.
- [9] 徐洪伟, 周晓霞. 玉米毛状根再生植株对水分胁迫的响应[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 80-84.
- [10] 霍治国, 李世奎, 白月明, 等. 冬小麦中轻度水分胁迫的增产节水效应研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 58-66.
- [11] 邵立威, 张喜英, 陈素英, 等. 花后脱叶对冬小麦产量形成和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 21-26.
- [12] 刘遵春, 苗卫东, 包东娥, 等. 水分胁迫对金光照梅叶片光合特性的影响[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 685-688.
- [13] 齐明芳, 刘玉凤, 周龙发, 等. 钙对亚高温下番茄幼苗叶片光合作用的调控作用[J]. 中国农业科学, 2011, 44(3): 531-537.
- [14] 曹慧, 许雪峰, 韩振海, 等. 水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(3): 285-290.
- [15] 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, 22(2): 206-214.
- [16] 严巧娣, 苏培玺. 不同土壤水分条件下葡萄叶片光合特性的比较[J]. 西北植物学报, 2005, 25(8): 1601-1606.
- [17] 姚全胜, 雷新涛, 王一成, 等. 不同土壤水分含量对杠果盆栽幼苗光合作用、蒸腾和气孔导度的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 223-226.
- [18] 解婷婷, 苏培玺. 干旱区不同土地类型下甜高粱叶片光合特性和水分利用效率[J]. 中国农业科学, 2011, 44(2): 271-279.

The influence of water stress on photosynthesis characteristics and water use efficiency in Jujube in Tarim Basin

WAN Su-mei¹, HU Shou-lin¹, GAO Xian-min², WEN Qing-lin¹

(1. College of Plant Sciences, Tarim University, Alar, Xinjiang, 843300, China;

2. Agricultural Technology Extension Station, Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi 830000, China)

Abstract: The diurnal variation of photosynthetic characteristics in jujube field in Tarim Basin under water stress was monitored using portable LI-6400 photosynthesis system at the stage of full fruit. The results showed that the curves of diurnal variation in P_n (net photosynthetic rate) and T_r (transpiration rate) had single peaks; P_n , PAR (photosynthetically active radiation), RH (relative humidity), T_a (atmospheric temperature) and C_a (CO_2 concentration in the field) differed significantly amongst four water treatments at 0.01 level; WUE (water use efficiency) differed significantly amongst four water treatments at 0.5 level, whereas there was no difference in T_r . Based on tendency of changes of photosynthesis characteristics and WUE , it was speculated that jujube could adapt to extreme arid condition, dry condition, and the proper water amount of drip irrigation was about $320\text{ m}^3/667\text{ m}^2$.

Keywords: jujube; water stress; photosynthesis characteristics; water use efficiency; Tarim Basin