

# 不同间作条件下枣树的光合特性研究

丁松爽, 苏培玺, 严巧娣, 高松, 张岭梅

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 临泽内陆河流域研究站, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 为了解不同间作条件下枣树的光合生理特性, 为绿洲枣农复合系统的优化配置提供依据, 选择了枣树/玉米和枣树/紫花苜蓿两种有代表性的间作方式, 用 LI-6400 光合作用测定系统测定了不同间作条件下枣树叶片气体交换参数的日变化。结果表明, 枣树/玉米间作地(简称玉米地)和枣树/紫花苜蓿间作地(简称苜蓿地)的田间主要气象因子有显著不同; 两间作地枣树叶片的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $E$ )日变化都呈典型的单峰曲线; 苜蓿地枣树的  $P_n$  最高值持续时间短暂, 全天水分利用效率( $WUE$ )较低, 而玉米地枣树  $WUE$  较高。以上结果说明, 间作枣树的  $WUE$  直接受种间关系影响, 枣树和深根性的紫花苜蓿间作效果较差, 而枣树和玉米间作则具有更高的水分利用效率和光能利用效率。

**关键词:** 枣农间作; 枣树; 光合作用; 水分利用效率

**中图分类号:** S665.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0184-06

不同作物的间作套种具有充分利用水土光热资源、单位面积获得更高产量的优点, 在我国农业中具有举足轻重的作用。间作系统中, 不同作物在一定生长期内共处, 它们在时间和空间上都会发生种间资源的竞争或促进作用, 当前者大于后者时, 表现为间作劣势, 当前者小于后者时, 表现为间作优势<sup>[1]</sup>。前人的研究主要集中在不同作物对地下水肥资源的利用及其相互影响上, 并取得了较好的成果<sup>[2,3]</sup>。

枣树(*Zizyphus jujuba* Mill.) 抗逆性强、叶小稀疏、耐粗放管理, 具有开展间作套种的很多优点, 在全国各地尤其是西北干旱区, 枣农间作被广泛应用。目前, 与枣树间作的作物主要有小麦、玉米、大豆、花生、苜蓿等, 这些作物对枣树生长和产量影响的研究还不多见。光合产物是果树产量形成的基础, 研究光合作用并揭示其规律, 对了解产量的形成和制定田间合理的管理措施, 有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。本文分别选取枣树与紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.) 和玉米(*Zea mays* L.) 间作的形式, 通过观测其光合气

体交换参数的日变化, 分析不同间作条件对田间小环境以及枣树光合特性的影响, 以期对枣农间作地枣树栽培管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 观测地概况

试验区位于甘肃省河西走廊中段临泽县北部, 绿洲外与巴丹吉林沙漠南缘相接, 依赖黑河水, 为典型的沙漠绿洲, 属于干旱荒漠气候类型, 干旱、高温和多风是其主要气候特点。地带性土壤为灰棕荒漠土, 试验观测地 0~160 cm 为灌溉风沙土。

观测枣树均为 5 年生临泽小枣, 南北行种植, 5 月上旬为萌芽期, 5 月中旬为展叶期, 9 月下旬为果实成熟期, 10 月上旬开始落叶。枣树/紫花苜蓿间作地和枣树/玉米间作地枣树东西两面各距间作物 0.5 m, 以上两种间作种植的枣树分别简称苜蓿地枣树和玉米地枣树。于天气晴朗的 2007 年 8 月 24~25 日进行观测, 此期是枣树的适宜生长期。研究地的土壤水分含量见表 1。

表 1 不同间作条件下土壤重量含水量(%)

Table 1 Soil moisture content (weight) under different intercropping conditions

类别 Type	土壤深度 Soil depth(cm)				
	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
苜蓿地 Growth site of clover	13.5	10.6	6.9	7.4	8.0
玉米地 Growth site of maize	15.7	13.7	14.1	16.0	16.1

收稿日期: 2008-03-31

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-04-01; KZCX2-XB2-09-03); 国家自然科学基金资助项目(40771005)

作者简介: 丁松爽(1982-), 女, 河南南阳人, 在读博士研究生, 主要从事农业生态学研究。

试验地土壤容重为  $1.47 \text{ g/cm}^3$ , 田间持水量为  $20.21\%$  (重量比)。枣树根系主要分布在  $20\sim 60 \text{ cm}$  土层, 苜蓿地  $20\sim 60 \text{ cm}$  土层土壤重量含水量平均为  $8.6\%$ , 为田间持水量的  $42.6\%$ , 土壤水分含量较低。玉米地  $20\sim 60 \text{ cm}$  土层土壤重量含水量平均为  $13.9\%$ , 为田间持水量的  $68.8\%$ , 土壤水分含量比较充足。

## 1.2 测定方法

用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合作用测定系统, 对枣树叶片的  $P_n$ 、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率 ( $E$ ) 等生理指标进行测定, 同时得到光合有效辐射 ( $PAR$ )、空气相对湿度 ( $RH$ )、气温 ( $T_a$ )、环境  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_a$ ) 等参数。日变化从当地时间上午 8:00 开始, 下午 18:00 结束, 每隔 2 h 观测 1 次。每种间作条件分别选取 3 株长势良好的代表性枣树植株, 在阳面树冠中部选取 3 片成熟叶片, 做好标记, 活体测定, 重复 3 次。测定结束后, 采集所测叶片, 用 LI-3100 叶面积仪测量

出精确的叶面积后, 输入 LI-6400 主机重新计算数据。采用 Origin7.0 软件对气象因子、气体交换参数的日变化进行作图分析, 并通过线性回归分析蒸腾速率 ( $E$ ) 与气孔导度 ( $G_s$ ), 以及水分利用效率 ( $WUE$ ) 与各气象因子之间的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同间作条件对田间气象因子的影响

光合有效辐射 ( $PAR$ ) 是太阳辐射能中可以被绿色植物用来进行光合作用的能量, 是植物生长所需的基本能源<sup>[5]</sup>。从图 1a 看出, 两种间作条件下枣树叶片所截获  $PAR$  的日变化都是典型的单峰曲线, 苜蓿地枣树和玉米地枣树  $PAR$  最高值分别为  $1644 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $942 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 都出现在 12:00, 前者较后者高出  $702 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 在 8:00~18:00 的任何时刻, 苜蓿地枣树所截获  $PAR$  均大于玉米地枣树, 日平均依次为  $923 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $541 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 前者比后者高出  $382 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

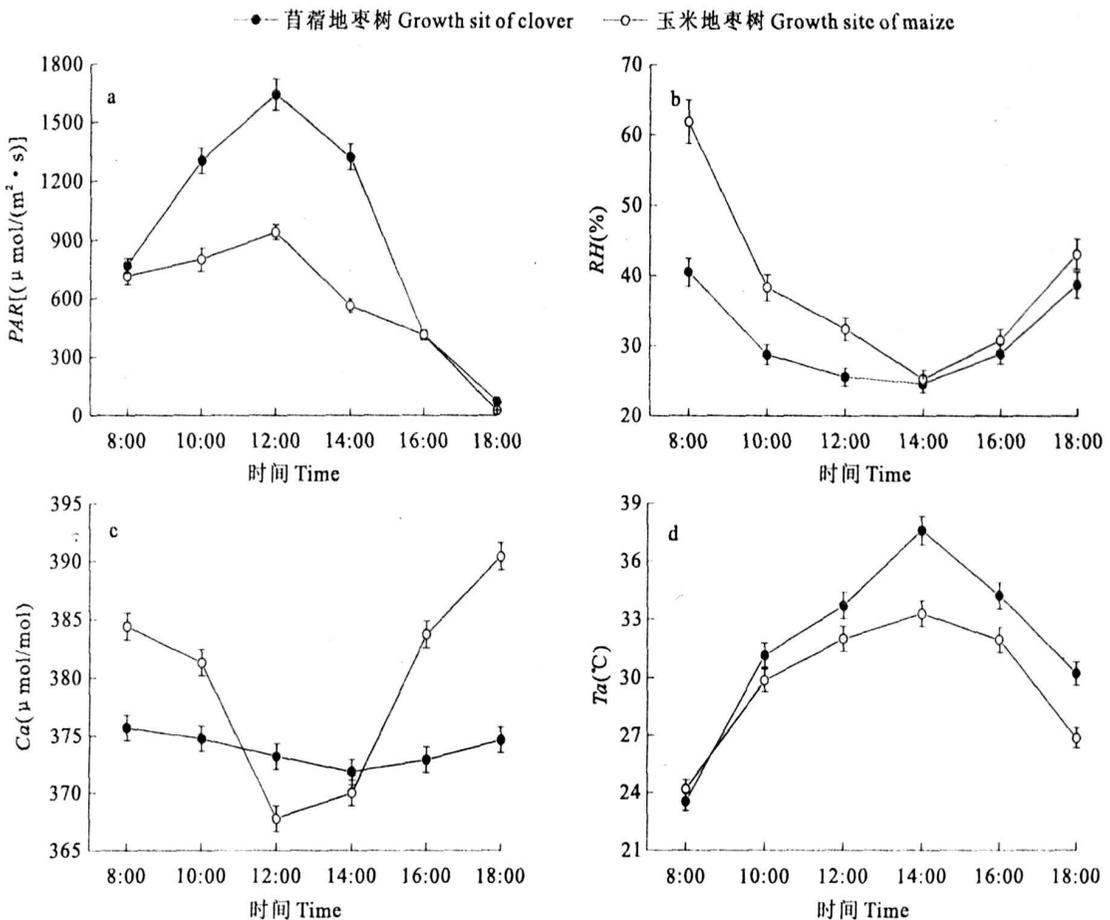


图 1 不同间作条件下光合有效辐射 ( $PAR$ )、空气相对湿度 ( $RH$ )、环境  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_a$ ) 和气温 ( $T_a$ ) 的日变化

Fig. 1 Daily changes of photosynthetically active radiation, air relative humidity, ambient  $\text{CO}_2$  concentration and air temperature under different intercropping conditions

图 1b 显示, 苜蓿地和玉米地田间空气相对湿度 ( $RH$ ) 的日变化均为“U”形曲线, 在 8:00~18:00 的任何时刻, 前者均小于后者, 日平均分别为 31.2% 和 38.6%;  $RH$  最低值出现在 14:00, 其值分别为 24.6% 和 25.3%, 两者相差不大。

图 1c 是环境  $CO_2$  浓度 ( $Ca$ ) 的日变化曲线, 玉米地  $Ca$  日变化呈“U”形曲线, 最低值出现在 12:00, 其值为  $367.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 18:00 的  $Ca$  值为  $390.4 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 变化幅度较大; 而苜蓿地  $Ca$  在 8:00~18:00 间变化不明显, 最低值出现在 14:00, 其值为  $371.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

苜蓿地和玉米地田间气温 ( $Ta$ ) 日变化呈单峰曲线 (图 1d), 最高值都出现在 14:00, 其值分别为  $37.6^\circ\text{C}$  和  $33.3^\circ\text{C}$ , 前者比后者高  $4.3^\circ\text{C}$ ; 两者的日平均 (8:00~18:00) 分别为  $31.7^\circ\text{C}$  和  $29.7^\circ\text{C}$ 。

## 2.2 不同间作条件下气体交换参数的变化

由图 2a 看出, 8 月下旬枣树叶片净光合速率

( $P_n$ ) 日变化呈单峰型曲线。上午 8:00, 苜蓿地和玉米地枣树叶片的  $P_n$  值分别为  $10.31 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $8.78 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 继续上升, 至 12:00 达到高峰, 其值分别为  $15.40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $10.28 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 前者比后者高出  $5.12 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 差异显著; 12:00 之后, 苜蓿地枣树  $P_n$  几乎呈直线下降, 至 18:00 下降幅度达 94%; 在此期间, 玉米地枣树  $P_n$  的下降速度较为缓慢, 18:00 的  $P_n$  值为  $4.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

图 2b 是不同间作条件下枣树叶片蒸腾速率 ( $E$ ) 的日变化曲线。可以看出,  $E$  日变化也是典型的单峰曲线, 但最高值出现的时间不同。苜蓿地枣树  $E$  最高值晚于  $P_n$  最高值, 出现在 14:00, 其值  $10.63 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 玉米地枣树  $E$  最高值早于  $P_n$  最高值, 出现在 10:00, 其值为  $7.43 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 后者明显低于前者; 在  $P_n$  达到高峰的 12:00, 两者分别为  $9.14 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  和  $6.10 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 前者仍然大于后者。

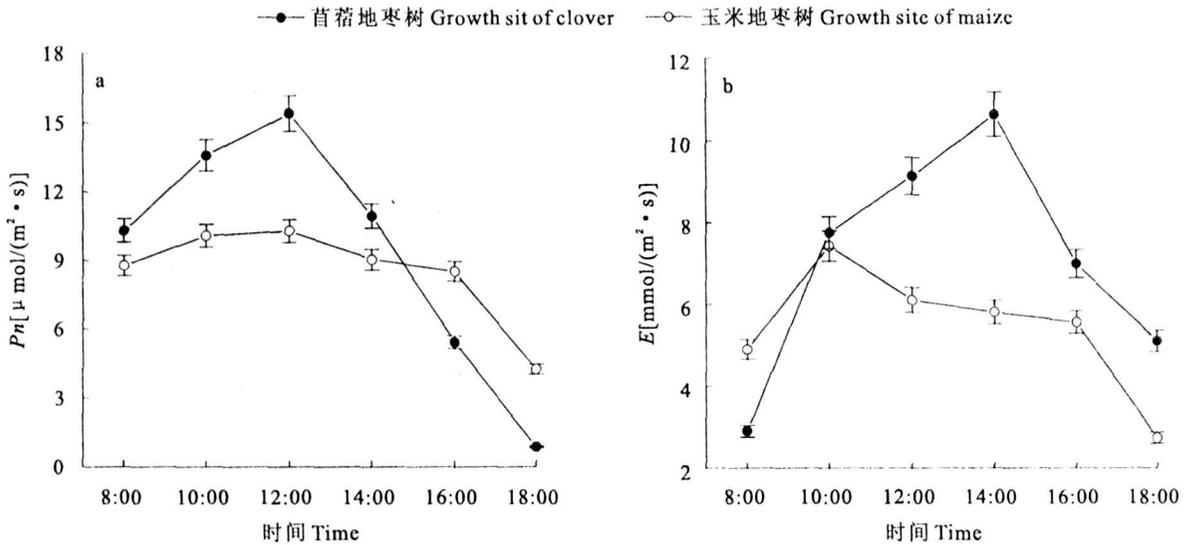


图 2 不同间作条件下净光合速率 ( $P_n$ ) 和蒸腾速率 ( $E$ ) 的日变化

Fig. 2 Daily changes of net photosynthetic rate and transpiration rate under different cropping conditions

图 3 是不同间作条件下枣树叶片蒸腾速率 ( $E$ ) 与气孔导度 ( $G_s$ ) 的关系分析。可以看出, 玉米地枣树叶片  $E$  与  $G_s$  的线性关系明显 (3b), 而苜蓿地枣树叶片  $E$  与  $G_s$  的线性关系不明显 (3a), 因而可以认为玉米地枣树  $E$  与  $G_s$  显著相关, 气孔导度大小决定蒸腾速率; 苜蓿地枣树  $E$  与  $G_s$  相关, 表明其蒸腾速率除受气孔开度的影响外, 还受非气孔因素影响。

## 2.3 不同间作条件下水分利用效率的变化

由图 4 看出, 两种间作条件下枣树叶片  $WUE$  日变化 (8:00~18:00) 差异较大。上午 8:00, 苜蓿

地枣树  $WUE$  是  $3.44 \text{ mmol}/\text{mol}$ , 随后下降, 至 18:00 为  $0.18 \text{ mmol}/\text{mol}$ , 下降幅度达 95%; 玉米地枣树的  $WUE$  日变化幅度不如前者那么明显, 表现出单峰曲线, 最高值  $2.42 \text{ mmol}/\text{mol}$  出现在 12:00; 另外, 两者的日平均 (8:00~18:00) 分别为  $1.44 \text{ mmol}/\text{mol}$  和  $1.70 \text{ mmol}/\text{mol}$ , 苜蓿地枣树的水分利用效率低于玉米地枣树。

为探明枣树水分利用效率 ( $WUE$ ) 与田间气象因子的关系, 对  $WUE$  与主要气象因子的关系进行了线性回归分析。结果 (图 5) 表明, 光合有效辐射 ( $PAR$ )、空气相对湿度 ( $RH$ ) 和气温 ( $Ta$ ) 与  $WUE$

呈显著的相关性( $P < 0.0001$ ),  $PAR$  对  $WUE$  影响最大( $R = 0.35$ ), 其次是  $RH$  ( $R = 0.31$ ) 和  $Ta$  ( $R =$

$-0.30$ ); 环境  $CO_2$  浓度 ( $Ca$ ) 与  $WUE$  的线性关系不显著( $P = 0.497$ )。

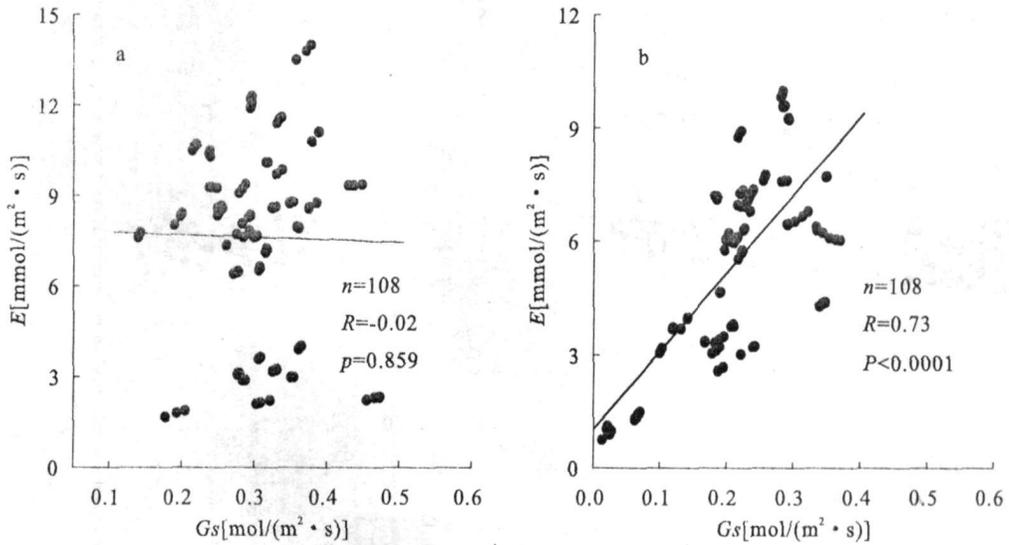


图 3 气孔导度 ( $G_s$ ) 与蒸腾速率 ( $E$ ) 的关系 (a—苜蓿地枣树; b—玉米地枣树)

Fig. 3 Relationship between stomatal conductance and transpiration rate (a—Growth sit of clover; b—Growth site of maize)

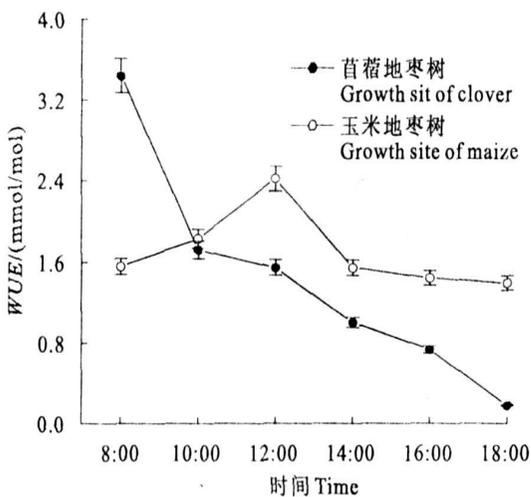


图 4 不同间作条件下枣树的水分利用效率 ( $WUE$ ) 日变化  
Fig. 4 Daily changes of water use efficiency under different cropping conditions

### 3 讨论

间作不仅可以提高复种指数, 在时间和空间上更好地利用光能, 而且不同的间作条件可以不同程度地改善田间的光、 $CO_2$ 、温度、水、肥等条件, 达到提高作物光合效率和提高产量的目的。本文研究了枣树与紫花苜蓿和玉米间作时, 田间主要气象因子的日变化。结果发现, 苜蓿地枣树所截获的光合有效辐射 ( $PAR$ ) 远远高于玉米地枣树; 在 8:00~18:00 的任何时刻, 苜蓿地的空气相对湿度 ( $RH$ ) 较小而气温 ( $Ta$ ) 较高, 二者的田间  $CO_2$  浓度也有很

大的差别(图 1)。当地生产中, 紫花苜蓿生长至 70 cm 左右即被刈割, 长期位于间作系统的近地面高度, 本文所研究的 5 年生枣树高度为 2.5 m, 间作苜蓿对枣树叶片光照的影响不大。而玉米的高度在 1.8 m 左右, 对枣树树冠中下层叶片起到了遮荫作用, 所以玉米地枣树的  $PAR$  值较低。另外, 玉米地的郁闭度较大, 其冠层结构及玉米的光合、呼吸作用等生理活动改变了间作系统内  $RH$ 、 $Ta$  和  $Ca$  等环境因子, 从而影响了枣树的光合作用。

植物光合作用受到光照强度、温度、水分等很多环境因素的影响。本研究表明, 两种间作条件下枣树  $P_n$  日变化都是典型的单峰曲线(图 2a)。8 月下旬在该观测区光照已不是很强, 为枣树适宜生长期, 两种间作条件下的枣树都没有中午光合作用下调现象。苜蓿地枣树的  $P_n$  日平均(8:00~18:00)为  $9.42 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 最高值为  $15.40 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; 玉米地枣树  $P_n$  日平均为  $8.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 最高值为  $10.28 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 前者的光合能力强于后者。进一步的分析发现, 虽然苜蓿地枣树的  $P_n$  最高值较大, 但保持的时间十分短暂, 12:00 之后  $P_n$  值几乎呈直线下降。在干旱荒漠地区及其边缘绿洲, 水分因子是该地区植物生长的最大限制因素。水分亏缺时光合作用降低, 水分亏缺严重时, 光合机构也会受到损伤, 电子传递速率降低, 从而影响光合作用<sup>[6]</sup>。表 1 显示, 两种间作条件下的土壤水分含量有明显差异, 苜蓿地 20~60 cm 上层土壤水分含量

较低,而玉米地土壤水分含量充足。因此,水分亏缺

可能是造成苜蓿地枣树  $P_n$  急剧下降的一个原因。

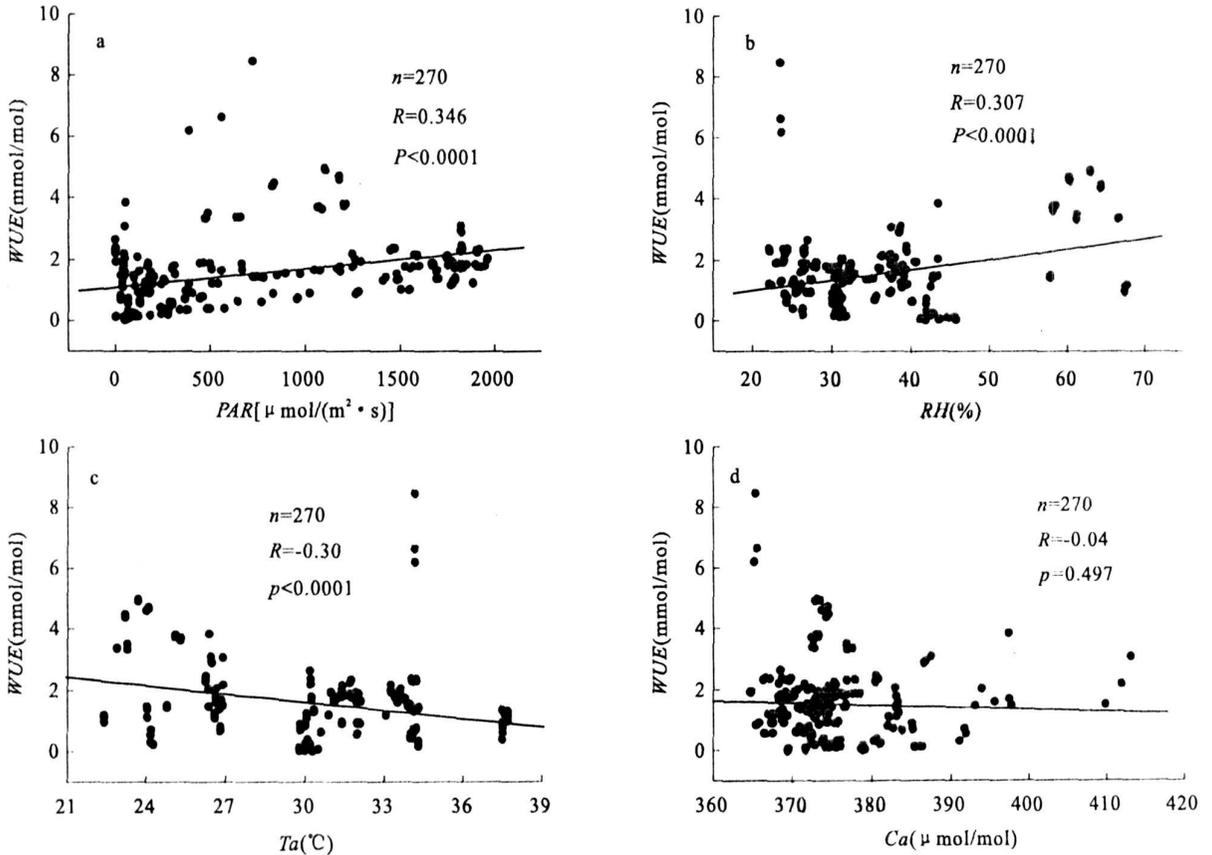


图 5 水分利用效率(WUE)与光合有效辐射(PAR)、空气相对湿度(RH)、气温( $T_a$ )和环境  $\text{CO}_2$  浓度( $Ca$ )的关系

Fig. 5 Relationship between water use efficiency and photosynthetically active radiation, air relative humidity, air temperature and ambient  $\text{CO}_2$  concentration

植物进行光合作用时作为原料消耗的水分,只是植物从土壤中吸收水分的很小一部分,绝大部分水分都是通过蒸腾作用散失掉的。蒸腾作用与光合作用一样,受很多因素的调节,气孔蒸腾是蒸腾的主要方式<sup>[6]</sup>。由图 2b 看出,两种间作条件下枣树的蒸腾速率( $E$ )日变化有明显差异。对蒸腾速率( $E$ )与气孔导度( $G_s$ )作线性回归(图 3)发现,玉米地枣树  $E$  与  $G_s$  显著相关,苜蓿地枣树  $E$  与  $G_s$  的相关性不显著。分析原因可能是,玉米地土壤水分充足,对枣树的生长不存在水分胁迫;而苜蓿地的土壤水分含量低,可能对枣树生长产生胁迫,气孔因素和非气孔因素共同影响蒸腾速率。

近年来,水分利用效率(WUE)已经成为国内外半干旱和半湿润地区农业和生物学研究的一个热点问题<sup>[7]</sup>。它分三个层次来考虑,即叶片、群体和产量水平上的 WUE。其中,叶片水平上的 WUE 指水分的生理利用效率或蒸腾效率,是植物消耗水分形成干物质的基本效率,在其他层次水分利用效率研究中居基础地位<sup>[8]</sup>。线性回归结果(图 5)表

明,光合有效辐射(PAR)、空气相对湿度(RH)和气温( $T_a$ )等环境因子对枣树叶片 WUE 影响较大。比较发现,虽然苜蓿地枣树的  $P_n$  和  $E$  最高值及日平均都较大(图 2),但其 WUE 日平均较低且全天都处于下降状态,而玉米地枣树 WUE 日变化不大,日平均却较高(图 4)。这主要是因为,气孔是植物进行气体交换的主要窗口,控制着叶片和大气之间  $\text{CO}_2$  及水蒸气的扩散和传导,气孔行为对光合作用和蒸腾作用都有着深刻的影响<sup>[9]</sup>,气孔减少水分损失的响应的同时也降低光合作用,而增加光合作用的响应的同时也增加了水分损失。

在间作中,应充分利用不同作物的特性,如资源需求量高的作物与资源需求量低的作物搭配间作,使间作作物对资源的分配和利用得到优化配置,获得资源的最优利用。例如豆科作物可以较多地利用大气中的氮,而使与其间作的非豆科作物有更多的氮可供利用,从而提高资源利用效率<sup>[10]</sup>。在本研究中,虽然紫花苜蓿是豆科植物,具有固氮作用,但其根系发达,2年内根系即可深达 2.1 m,其适应性强

于枣树,与枣树争肥争水矛盾较为突出,肥水供应不足时枣树生长和结果受到很大影响,所以除水分胁迫外,养分胁迫也可能是枣树水分利用效率( $WUE$ )较低的一个原因。相对而言,玉米根系较浅,与枣树间作实现了对水肥资源在空间上的分层。另外,玉米幼苗期所需养分较少,而此期正是枣树所需养分较多的花期和幼果期,二者在这一时期对水肥的利用也有分隔性。

综上所述,枣树/玉米比枣树/紫花苜蓿间作较好。但是,玉米是喜光植物,如果与枣树的种植距离太近,就会受到枣树遮荫的影响造成减产,所以合适的种植距离和管理措施是枣树/玉米间作系统获得高产的决定因素,这一问题值得进一步研究。在枣树/紫花苜蓿间作系统中,有利于枣树生长的栽培管理措施还需要深入研究。

#### 参考文献:

[1] Vandermeer J H. The Ecology of Intercropping[M]. Cambridge:

Cambridge University Press, 1989.

- [2] 李 隆, 杨思存, 孙建好, 等. 小麦/大豆间作中作物种间的竞争作用和促进作用[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 197-200.
- [3] 唐劲驰, Ismael A M, 余丽娜, 等. 大豆根构型在玉米/大豆间作系统中的营养作用[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1196-1203.
- [4] 温商霖, 刘英军. 葡萄田间光合作用的研究[J]. 园艺学报, 1989, 16(8): 168-172.
- [5] 姚济敏, 高晓清, 冯 起, 等. 额济纳地区苜蓿地光合有效辐射(PAR)的基本特征[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 772-776.
- [6] 曹仪植, 宋占午. 植物生理学[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1998: 21-47, 144-157.
- [7] 山 仑. 旱地农业中有限水高效利用的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 8-13.
- [8] 王会肖, 刘昌明. 作物水分利用效率内涵及研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 99-104.
- [9] 朱 林, 许 兴. 植物水分利用效率的影响因子研究综述[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 204-209.
- [10] 李 隆, 左元梅, 刘永秀, 等. 根际微生态理论在我国农业高产高效中的作用——间套种作物种间的根际微生态效应的发现及应用前景[J]. 中国农业科技导报, 1999, 1(4): 34-40.

## Photosynthetic characteristics of Chinese jujube under different intercropping conditions

DING Song-shuang, SU Pei-xi, YAN Qiao-di, GAO Song, ZHANG Ling-mei

(Linze Inland River Basin Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In order to understand the photosynthetic physiological characteristics of Chinese jujube under different intercropping conditions and provide a basis for optimizing the allocation of the oasis jujube-crop complex system, we chose jujube/maize and jujube/clover intercropping system as two representative intercropping modes. We measured the daily changes of jujube leaf gas exchange parameters in their fitting period with LI-6400 photosynthesis system. The results showed that, the main meteorological factors in the fields were significantly different between the two intercropping conditions. The net photosynthetic rate and transpiration rate presented a typical single-peak curve. The jujube, which intercropped with clover, had a sharply decreased net photosynthetic rate and a lower water use efficiency all day. Whereas the ones intercropped with maize had higher water use efficiency. These results showed that, the water use efficiency of cropped jujube, was significantly affected by the interactions between the intercropping species. Clovers with deep roots were not fit to be intercropped with jujube, whereas jujube intercropped with maize could achieve higher water use efficiency and light use efficiency. The appropriate distance in jujube/maize cropping system and the different intercropping modes to enhance the productivity of jujube were both worthy of further study.

**Key words:** jujube-crop intercropping; Chinese jujube; photosynthesis; water use efficiency