

## 新疆枣棉间作下棉花光合特性及产量变化

杨 涛<sup>1,2</sup>,段志平<sup>1,2</sup>,石岩松<sup>1,2</sup>,刘天煜<sup>1,2</sup>,栾鹏飞<sup>1,2</sup>,张永强<sup>1,2</sup>,  
焦 超<sup>1,2</sup>,朱 芸<sup>3</sup>,李鲁华<sup>1,2</sup>,张 伟<sup>1,2</sup>

(1.石河子大学农学院,新疆 石河子 832000;2. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆 石河子 832000;  
3.石河子大学药学院,新疆 石河子 832000)

**摘要:**为了解枣棉间作模式中棉花的光合特性及产量,通过在棉花的苗期、现蕾期、花铃期、吐絮期利用 Li-6400 光合仪测量单作、间作下棉花的光合特性,分析比较单作、间作产量及经济产值。结果表明:单作、间作光合特性差异在花铃期最大,间作棉花在花铃期净光合速率( $Pn$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、气孔导度( $Gs$ )比单作棉花分别低 31.33%、15.13%、22.39%,而胞间 CO<sub>2</sub>浓度( $Ci$ )比单作棉花高 8.90%;产量上间作棉花的收获株数、总成铃数、皮棉产量比单作棉花分别低 28.26%、32.7%、41.61%;枣棉间作在土地利用率和总经济产值上具有明显优势,表现在枣棉间作模式提高了 35% 的土地利用率,比同面积单作棉花提高了 41.27% 的经济产值,比同面积单作枣树提高了 30.63% 的经济产值。枣棉间作下,间作对棉花光合的不利影响随着枣树和棉花的共进生长逐渐增大,间作造成棉花的减产,但是具有大幅提高土地利用率和经济效益的作用。

**关键词:**枣棉间作;光合特性;产量;经济产值

中图分类号:S562;S344.2 文献标志码:A

## Analysis of photosynthetic characteristics and yield of cotton intercropping with Jujube in Xinjiang

YANG Tao<sup>1,2</sup>, DUAN Zhi-ping<sup>1,2</sup>, SHI Yan-song<sup>1,2</sup>, LIU Tian-yu<sup>1,2</sup>, LUAN Peng-fei<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Yong-qiang<sup>1,2</sup>, JIAO Chao<sup>1,2</sup>, ZHU Yun<sup>3</sup>, LI Lu-hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Wei<sup>1,2</sup>

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;  
2. Key Laboratory of Oasis Agro-Ecology of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi, Xinjiang 832000, China;  
3. College of pharmacy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China)

**Abstract:** In order to understand the photosynthetic characteristics and yield of cotton in intercropping system, the photosynthetic characteristics of cotton in sole-cropping and intercropping cotton-jujube were measured by using Li-6400 photosynthesis system at the seedling stage, squaring stage, flower and boll stage, and boll opening stage of cotton. Analysis of yield and economic output value of cotton in sole-cropping and intercropping cotton-jujube. The results showed that the most significant differences of photosynthetic characteristics between sole-cropping and intercropping were in flower and boll stages. The net photosynthetic rate ( $Pn$ ), transpiration rate ( $Tr$ ), and stomatal conductance ( $Gs$ ) of intercropped cotton were 31.33%, 15.13%, and 22.39% lower than that of sole-cropping, respectively. The intercellular CO<sub>2</sub>concentration ( $Ci$ ) of intercropped cotton was 8.90% higher than that of the sole-cropping. The yield of intercropped cotton on the harvest plants, number of bolls hectare, and lint yield were 28.26%, 32.7%, and 41.61% lower than that of the sole-cropping, respectively. In the land-use efficiency and the economic output value of cotton, intercropping had obvious advantages over sole-cropping. It showed that the

收稿日期:2017-10-22

修回日期:2017-12-11

基金项目:国家自然科学基金(31460335,31560376);中国博士后科学基金面上项目(2015M582737);石河子大学高层次人才科研启动资金专项(RCZX201422)

作者简介:杨涛(1994-),男,安徽巢湖人,硕士研究生,主要从事耕作学与农业生态学研究。E-mail:215550492@qq.com

通信作者:李鲁华(1967-),女,新疆塔城人,教授,主要从事耕作学与农业生态学研究。E-mail:shzliluhua@163.com

张伟(1979-),男,新疆玛纳斯人,博士,副教授,主要从事耕作学与农业生态学研究。E-mail:bluesky2002040@163.com

jujube-cotton intercropping increased the land-use efficiency by 35% and increased the economic output value by 41.27% compared with that of the same area of sole cotton, and it increased the economic output value by 30.63% compared with that of the same area of sole jujube. In the jujube-cotton system the adverse effects of intercropping on photosynthesis increased with the growth of jujube and cotton, it reduced cotton yield but it greatly increased the land utilization ratio and economic return.

**Keywords:** jujube-cotton intercropping; photosynthetic characteristics; yield; economic output value

中国的农业在追求优质高产的同时,越来越重视其与生态环境之间的关系。当前随着农林复合系统的相关研究逐渐深入,众多研究表明其主要优势是它的多样性和持续性,它还在改良土壤质量,改善田间小气候,提高农作物经济效益和维护生态环境等方面起到了重要的作用<sup>[1]</sup>。枣棉间作属于典型的农林复合系统,依靠其灵活多样的生产模式,枣棉间作种植在南疆地区已经有了较好的发展,但在北疆地区推广种植较少,相关研究不足。前人的研究主要集中在南疆塔里木盆地地区的枣棉间作系统,包括枣棉间作的生物学研究、种间关系、生态效应和小气候等研究<sup>[2]</sup>,北疆地区的枣棉间作模式中光合及产量的相关研究很少。

枣棉间作种植模式作为主要推广利用的立体间作模式之一,结合新疆当地优越的水土和光合热量条件,具有显著间作优势,在部分地区的生产中已经发挥出了它的优越性<sup>[3]</sup>。通过研究枣棉间作中棉花光能的利用和产量的变化,对于脆弱的新疆生态环境和枣、棉产业可持续性发展具有重要意义<sup>[4]</sup>。枣棉间作在北疆种植的相关研究不足,本研究通过单作、间作中棉花光合特性的变化及差异,比较产量之间的差异,分析枣棉间作相比传统单作种植模式在产量和经济产值等方面的优势,为枣棉间作种植模式在北疆地区的发展提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点概况

试验于2016年在新疆石河子第八师150团(86°03' E, 45°04' N)进行,该地区属于典型的沙漠干旱区,土壤类型为沙壤土,无霜期约为170 d,种植红枣面积约为46.67 hm<sup>2</sup>。该地年均降雨量为189.1~200.3 mm,年蒸发量为1 517.5~1 563.8 mm;昼夜温差较大,年平均气温6.6~7.1°C;最高气温出现在7月至8月初,气温为25.0~26.7°C;最低气温出现在1月,气温为-17.8~15.2°C。

### 1.2 试验材料与试验设计

1.2.1 试验材料 枣树品种为冬枣“赞皇”,棉花品种为新疆主栽品种新陆早48号。

1.2.2 试验设计 试验采取随机区组设计,3次重复,小区面积70 m<sup>2</sup>,每个小区环境一致。枣棉间作的株行距配置设计如图1。枣树株行距配置为行距2.8 m,株距为1.4 m。间作棉花膜宽1.2 m(采用膜下滴灌技术),一膜四行,行距分别是0.2 m和0.4 m,棉花和枣树间距1 m。单作和间作棉花的栽培种植与大田种植方式一致。间作中枣树栽植时间为2009年,一般在3月进行平茬(从地面10 cm之上整枝修剪)。试验于2016年4月25日进行棉花播种,于7月15日打顶,采用人工打顶,收获日期为10月10日。棉花播种前施入底肥,尿素(纯氮含量46%)260 kg·hm<sup>-2</sup>,磷酸二铵120 kg·hm<sup>-2</sup>。在棉花整个生育时期中灌溉9次,灌水量540 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>·次<sup>-1</sup>。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合特性测定 分别在棉花的苗期、现蕾期、花铃期、吐絮期对棉花倒四叶进行光合特性的测定。于当地时间上午11时左右在枣棉间作处理中,选择叶片健康、长势基本一致、没有病状、光照条件相似的同一叶位棉花倒四叶叶片,用Li-6400光合仪测3个叶片取平均值。同时在单作棉花处理中,用同样的方法取样,采用Li-6400光合仪测3个叶片取平均值。所测指标包括净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(*Ci*)、气孔导度(*Gs*)等生理因子。

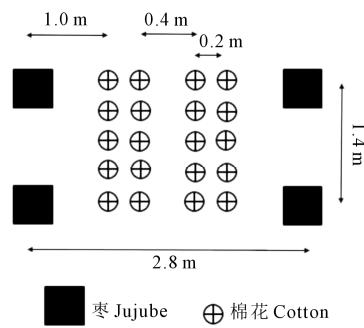


图1 枣棉间作株行距配置

Fig.1 Plant and row spacing arrangement of jujube-cotton intercropping system

**1.3.2 产量及产值计算** 分别测定单作和间作模式中棉花的收获株数、单株结铃数、总成铃数、单铃重、皮棉产量及衣分, 测定枣树产量(鲜果产量)。每个小区抽取 20 株棉花, 求出平均单株结铃数, 采摘后称总重量, 求出平均单铃重。调查总收获株数, 计算总成铃数, 棉花和枣树按各小区实际收获量计算产量, 换算为标准单位。根据实际产量计算土地当量比, 结合市场价格行情计算经济产值。

#### 1.4 数据统计与分析

使用 SPSS 12.0 和 Excel 2010 统计数据, 分析并制表制图。分析土地的利用率时引入土地当量比计算<sup>[5]</sup>, 公式为

$$LER = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{Y'_i}$$

式中,  $m$  代表作物数,  $Y_i$  代表单位面积内间、混作中第  $i$  个作物的产量,  $Y'_i$  代表同等面积内单作时第  $i$  个作物的产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 枣棉间作下棉花主要生育时期的净光合速率

净光合速率( $Pn$ )作为研究作物光合特性的重要参数, 其值越高, 作物对光能的利用率越高, 单位时间内有机物的积累就越多。在 6 月 5 日(苗期)、6 月 26 日(现蕾期)、7 月 27 日(花铃期)、8 月 31 日(吐絮期), 测得单作、间作棉花主要生育时期净光合速率(图 2)。从图中看出, 净光合速率峰值出现的时期不同, 间作棉花净光合速率峰值(28.64  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )出现在现蕾期, 单作棉花净光合速率峰值(29.93  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )出现在花铃期。两种模式净光合速率随生育时期的变化趋势相同, 呈现出先增后减的变化趋势。苗期至现蕾期两种模式净光合速率差异不显著, 在花铃期差异最大, 间作比单作低约 31.33%, 造成差异的主要原因是枣棉间作模式中的光合竞争, 即枣树对棉花的遮荫影响。

### 2.2 枣棉间作下棉花主要生育时期的蒸腾速率

蒸腾速率( $Tr$ )作为作物的一个重要生理指标, 指作物在一定时间内, 单位叶面积上所散失的水量。在 6 月 5 日(苗期)、6 月 26 日(现蕾期)、7 月 27 日(花铃期)、8 月 31 日(吐絮期), 单作、间作模式下棉花主要生育时期内的蒸腾速率变化见图 3。单作和间作棉花的蒸腾速率峰值出现的时间不同, 间作下棉花的蒸腾速率峰值(11.01  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )出现在现蕾期, 而单作棉花的蒸腾速率峰值出现在花铃期, 峰值为 12.76  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两种模式蒸腾速率随生育时期的变化趋势相同, 呈现出

先增后减的变化趋势。单作、间作棉花的蒸腾速率在苗期至现蕾期没有明显的差异, 两者差异出现在现蕾期至吐絮期阶段, 在花铃期蒸腾速率差异达到最大, 间作比单作低约 15.13%。单作、间作光合差异逐渐增大是因为枣树在棉花现蕾期至吐絮期生长旺盛, 枝条展开阻碍光照, 对棉花的遮荫影响逐渐增大。

### 2.3 枣棉间作下棉花主要生育时期的胞间 $\text{CO}_2$ 浓度

在 6 月 5 日(苗期)、6 月 26 日(现蕾期)、7 月 27 日(花铃期)、8 月 31 日(吐絮期), 测得单作和间作棉花胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $Ci$ )变化见图 4。单作和间作棉花的胞间  $\text{CO}_2$  浓度趋势变化基本相似, 总体表现为先上升, 花铃期后下降。两者胞间  $\text{CO}_2$  浓度峰值都出现在花铃期, 其间作峰值为 266.75  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 单作峰值为 253.15  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。间作和单作棉花的胞间  $\text{CO}_2$  浓度差异出现在现蕾期后, 在花铃期达到最大, 间作比单作高约 8.90%。研究表明,

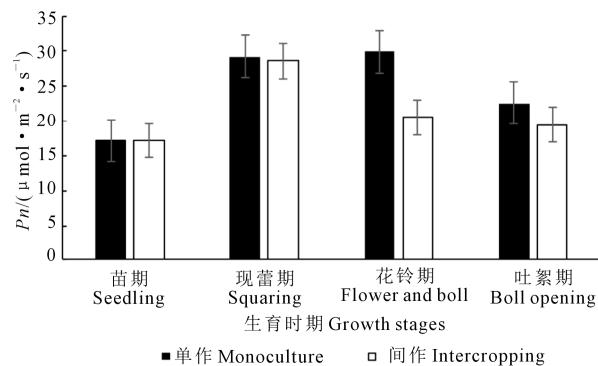


图 2 单作、间作下棉花主要生育时期的净光合速率( $Pn$ )

Fig.2 Changes on the net photosynthetic rate during the main growth stages of cotton in monoculture and intercropping systems

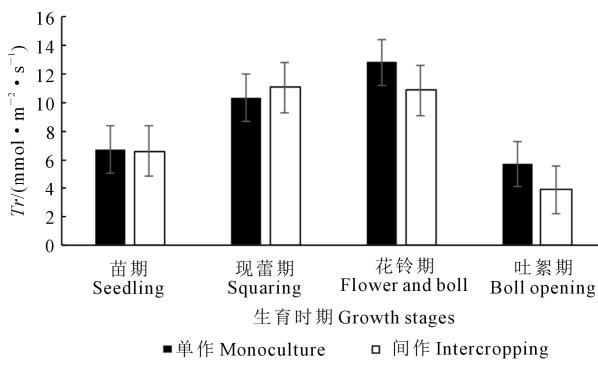


图 3 单作、间作下棉花主要生育时期的蒸腾速率( $Tr$ )

Fig.3 Changes on the transpiration rate during the main growth stages of cotton in monoculture and intercropping systems

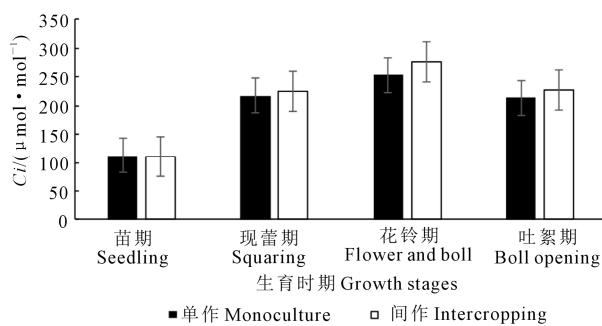
图4 单作、间作下棉花主要生育时期的胞间CO<sub>2</sub>浓度(C<sub>i</sub>)

Fig.4 Changes on the intercellular CO<sub>2</sub> concentration during the main growth stages of cotton in monoculture and intercropping systems

胞间CO<sub>2</sub>浓度的变化与光照和气孔导度密切相关,造成单作、间作差异的原因除光照外还受农田小气候效应的影响。

#### 2.4 枣棉间作下棉花主要生育时期的气孔导度

在6月5日(苗期)、6月26日(现蕾期)、7月27日(花铃期)、8月31日(吐絮期),单作、间作棉花主要生育时期的气孔导度(G<sub>s</sub>)变化见图5。间作棉花的气孔导度峰值( $0.56 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )出现在现蕾期,单作棉花的峰值( $0.67 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )出现在花铃期。单作、间作棉花的气孔导度随生育时期的变化趋势相同,呈现先增后减的趋势。单作、间作棉花苗期至现蕾期的气孔导度没有显著性差异,差异在花铃期达到最大,间作比单作低约22.39%。气孔导度是影响胞间CO<sub>2</sub>浓度变化的原因之一,理论上气孔导度下降会使胞间CO<sub>2</sub>浓度增加,试验结果与理论结果一致。

#### 2.5 枣棉间作下棉花产量构成变化分析

测定单作和间作下棉花的收获株数、单株结铃数、总成铃数、单铃重、皮棉产量及衣分见表1。根据试验结果,间作中棉花收获株数、单株结铃数、总成铃数、单铃重、皮棉产量及衣分比单作棉花低。单

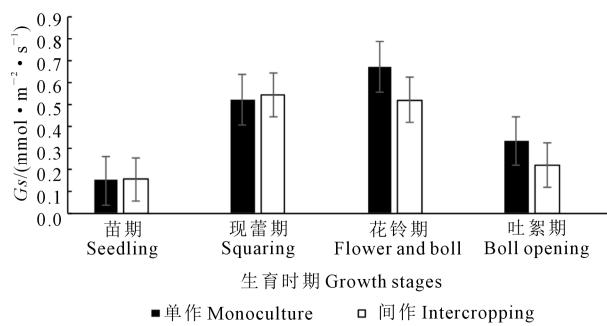
图5 单作、间作下棉花主要生育时期的气孔导度(G<sub>s</sub>)

Fig.5 Changes on the stomatal conductance during the main growth stages of cotton in monoculture and intercropping systems

作和间作棉花在单株结铃数、单铃重和衣分的表现上差异不显著,但在收获株数、总成铃数和皮棉产量上差异显著。间作棉花收获株数比单作棉花要减少28.26%,总成铃数减少32.7%,棉花皮棉产量减少41.61%。单作、间作之间棉花的收获株数和总成铃数的差异较大,是造成产量差异的直接原因。从光合角度分析,枣树与棉花间作,枣树枝条遮荫使棉花光合受到影响,尤其是在棉花的现蕾期之后系统内光合竞争越来越严重。枣棉间作中棉花属于弱势作物,在竞争中能获得的光能有限,导致棉花的生长发育受到抑制,部分植株矮小无法正常生长或不能结铃而被淘汰,使收获株数大幅减少,影响总成铃数,最终造成减产。间作枣树和单作枣树在产量上差异显著,间作枣树相比单作枣树减产约23.35%,在枣棉间作中枣树属于强势作物,在资源竞争中有一定的优势,所以相比棉花减产少。

本试验中,土地当量比(LER)=(棉花间作时的产量÷棉花单作时的产量)+(枣树间作时的产量÷枣树单作时的产量),可算出土地当量比为1.35。枣棉间作模式增长率=(LER-1)×100%,可算出增长率为35%,说明枣棉间作模式可以提高35%的土地利用率,生产优势十分明显。

表1 单作与间作下棉花产量及其构成比较

Table 1 Comparison of yield and yield components of cotton in sole-cropping and intercropping systems

处理 Treatment	收获株数 /(10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> ) Harvest plant /(10 <sup>4</sup> plant·hm <sup>-2</sup> )	单株结铃数 Boll number per plant	总成铃数 Number of bolls hectare, /(10 <sup>4</sup> 个·hm <sup>-2</sup> )	单铃重 Boll weight /g	衣分 Lint percentage /%	皮棉产量 Lint yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )	枣树产量 Fresh jujube /(kg·hm <sup>-2</sup> )
单作 Monoculture	15.18a	6.13a	93.05a	5.96ab	40.54a	2248.3a	1865.10a
间作 Intercropping	10.89b	5.75a	62.62b	5.29b	39.63a	1312.7b	1429.52b

注:不同小写字母表示5%的水平上差异显著。

Note: different lowercase letters in the same column indicate significance at the 0.05 level.

## 2.6 枣棉间作模式经济产值分析

结合上述试验数据,以2016年皮棉平均价格为15.342元·kg<sup>-1</sup>,枣树鲜果价格为20元·kg<sup>-1</sup>为例。枣棉间作模式中的经济产值=间作棉花产值+间作枣树产值,计算可得枣棉间作模式总经济产值为48 729.44元·hm<sup>-2</sup>(棉花产值以皮棉产值计算)。单作棉花的皮棉经济产值约为34 493.57元·hm<sup>-2</sup>,单作枣树的经济产值为37 302元·hm<sup>-2</sup>。枣棉间作种植模式比单作棉花每公顷经济产值高约41.27%,比单作枣树每公顷经济产值高约30.63%,枣棉间作模式相比传统单作模式在经济产值方面优势明显。

## 3 讨 论

试验枣树每年3月平茬,即枣树地上部分10cm以上整枝修剪,所以试验中枣树的地下部分为多年生,地上部分都为一年生。枣树作为落叶乔木,具有枝叶稀疏、透光度大的特点,间作产生的遮光效应较小,并且发叶迟,一般在5月初,落叶较早,一般在10月下旬,主要生长期集中在5月上旬至9月上旬<sup>[6]</sup>。在本试验中,单作、间作棉花之间的差异在棉花苗期至现蕾期表现不明显,在现蕾期后差异逐渐显现。棉花于4月25日播种直至棉花的苗期,枣树发叶迟,对间作的棉花光合的影响很小。随着枣树生长发育,枝叶随之茂盛,其对棉花的遮荫效应也愈发明显。棉花的现蕾期到吐絮期与枣树共进生长,此时枣树的个体体积较大,对棉花的光合特性影响较大,光合特性的差异也逐渐增大,在棉花的花铃期差异达到最大,随后差异逐渐减小。宋锋惠等<sup>[4]</sup>研究表明为改善枣棉间作模式中的光环境,实际生产中可以通过对枣树的整形,修剪,合理控制冠幅,扩大透光率,降低枣树对棉花的遮荫影响。也可以通过选择耐阴能力强,适合枣棉间作的棉花品种及扩大枣树与棉花的间距等管理措施,减轻枣棉间作模式中的光合竞争,提高作物产量。

试验中单作棉花净光合速率和蒸腾速率普遍高于间作棉花。净光合速率对作物生长发育及有机物质的合成至关重要,直接影响产量。影响它的主要外界因素是光照强度、温度、CO<sub>2</sub>浓度等,间作中枣树对棉花的遮荫影响,直接使间作棉花的净光合速率受到抑制。蒸腾速率与气孔导度成正相关关系,光照作用使气孔开放,削弱了气孔阻力,加强了蒸腾作用,使蒸腾速率发生变化<sup>[7]</sup>,间作中枣树对棉花的遮荫影响使棉花在生长发育的后期蒸腾作用受一定程度的抑制,蒸腾速率低于单作棉花。

此外枣棉间作体系下净光合速率和蒸腾速率还受农田小气候和枣树形成的挡风控温等环境因素影响。

胞间CO<sub>2</sub>浓度是用于光合生理生态研究中的重要参数,一般与气孔导度的变化有关。有研究表明,Ci大小取决于4个可能变化的因素:叶片气孔导度、叶片周围空气中的CO<sub>2</sub>浓度、叶肉导度和叶肉细胞的光合活性<sup>[8]</sup>。单作和间作下棉花的胞间CO<sub>2</sub>浓度随生育时期的变化趋势一致,从苗期开始逐渐递增,花铃期后开始下降。间作模式下棉花胞间CO<sub>2</sub>浓度比单作棉花要高,胞间CO<sub>2</sub>浓度的变化主要是气孔导度变化的结果,当气孔导度降低时细胞内CO<sub>2</sub>排出去的少,使胞间CO<sub>2</sub>浓度升高。造成单作和间作棉花胞间CO<sub>2</sub>浓度差异的原因还包括枣棉间作模式下产生的田间小气候因素使CO<sub>2</sub>的浓度存在不稳定因素。

光合作用积累的有机物直接影响产量,棉花产量还由铃数、铃重和衣分这三要素形成,其中衣分和铃重受品种自身的遗传特性影响较大,不同生态环境条件及栽培条件对其影响较小,人为使之改变的难度较大<sup>[9]</sup>。所以生产中,可以利用栽培管理技术增加收获株数,提高单株结铃,从而获得更多的铃数达到棉花的高产。本试验中枣棉间作模式下棉花的收获株数比单作减少了28.26%,单株结铃数减少6.2%,最终棉花总成铃数减少32.7%。收获株数差异是枣棉间作模式产量低于单作的重要因素,枣棉间作中棉花属于弱势作物,在竞争中能获得的资源有限,导致棉花的生长发育受到抑制,部分植株矮小无法正常生长或不能结铃而被淘汰,使收获株数大幅减少。除考虑光合因素的影响外,还要考虑到田间小气候和根系间相互影响因素。试验中,枣棉间作模式下棉花和枣树的产量相比传统单作产量低,其中棉花产量下降最多,降幅达到41.61%,与戴路等<sup>[10]</sup>研究调查的南疆枣棉间作中棉花的减产量27.9%相比较多,分析原因可能是田间配置、枣树棉花的间距和南北疆气候土壤条件差异等原因造成的。枣棉间作种植模式中,枣树属于强势作物,枣树所受到的间作不利影响较小,尤其是在光合上的影响较小,通过计算产量,间作枣树相比单作枣树减产约23.25%。

试验中,计算出土地当量比为1.35,计算枣棉间作模式的土地利用的增长率为35%,所以枣棉间作模式相比单作种植,土地的利用率提高了35%。刘玉华等<sup>[11]</sup>研究表明间混作模式中理想的土地当量比为1.38左右,即提高土地利用率38%左右,与本

试验结果一致。试验表明,枣棉间作种植在经济产值上比单作棉花提高约41.27%,比单作枣树提高约30.63%,所以枣棉间作种植模式至少能够提高30%以上的经济产值。试验结果高于夏婵娟等<sup>[12]</sup>研究调查的南疆棉田经济产值增加25%以上,分析原因可能是田间枣树和棉花种植面积配置、种植品种和市场价格不同造成的。试验证明,北疆发展枣棉间作模式在经济效益上存在优势,并且增加了单位面积上收获作物的种类,能够更有效地应对市场的价格及行情变化,在提高农民收入的同时更能够保障农民的收入。

此外,枣棉间作等农林复合系统在防风效益上也有突出的表现,这对于风沙较为严重的新疆地区农业发展具有重要意义<sup>[13]</sup>。中国已经成为土传病害发生率最严重的国家之一,合理的间作种植蕴含了丰富的生态学原理,是天然的预防病害流行的屏障,能够有力地解决土传病害的问题,间作种植还增加了田间的生物多样性,在防止病虫害方面也具有得天独厚优势<sup>[14-16]</sup>。当前影响枣棉间作模式推广发展的问题主要在于大规模的枣棉间作种植不适应于机械化的采收,这对于人工成本和全面机械化发展的现代农业而言仍是个难题,需要进一步的研究解决。未来随着农业机械化的快速发展,关于间混作种植模式的机械采收问题终将会得到解决,枣棉间作等农林复合系统将会成为农业发展的大势所趋。

## 4 结 论

1) 枣棉间作中随着棉花和枣树的共进生长,枣树的枝叶逐渐茂盛,其对棉花的遮荫效应也愈发明显。在棉花苗期之后单作和间作的光合特性差异逐渐显现,在棉花的花铃期差异达到最大,造成光合特性差异的主要原因是间作模式中光合竞争和农田小气候等因素影响。

2) 光合因素对产量有很大影响,针对试验表现出的枣树对棉花光合的影响在花铃期最大,应在花铃期前做好枣树的适当修剪和整枝,以减少枣棉间作系统中的光合竞争从而保证产量。

3) 枣棉间作模式在棉花的单产上相比传统单作种植产量低,其中两者棉花的收获株数差异达

28.26%,对产量影响较大。间作模式单产较低的原因主要是在枣棉间的光合竞争中,棉花属于弱势作物,获得的光合资源有限,导致物质积累较少,产量下降。同时在水肥等资源竞争中棉花也处于劣势,针对这种情况应该做好关键时期的相关管理工作,补水补肥。

4) 试验通过计算土地当量比为1.35,说明枣棉间作存在明显间作优势,能提高35%的土地利用率。通过计算产值,枣棉间作模式可以增加经济产值30%以上,相比传统单作种植更具有经济优势。

## 参 考 文 献:

- [1] 黄金东,赵冰,赵刚,等.农林复合系统对世界林业发展的影响[J].世界林业研究,1999,12(1):38-41.
- [2] Su P, Liu X. Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation [J]. Scientia Horticulturae, 2005, 104(3):339-350.
- [3] 郝向东,李鲁华,张伟.枣棉间作系统光合特性研究[J].新疆农垦科技,2016,39(2):6-8.
- [4] 宋锋惠,吴正保,史彦江.枣棉间作对棉花产量和光环境的影响[J].新疆农业科学,2011,48(9):1624-1628.
- [5] 蔡承智,高军,陈阜.土地当量比(LER)的计算校正探讨[J].耕作与栽培,2003,(5):18-20.
- [6] 周长东,武永祥.枣树与小麦实行间作技术[J].经济林研究,1998,(1):37-37.
- [7] 陈根云,陈娟,许大全.关于净光合速率和胞间CO<sub>2</sub>浓度关系的思考[J].植物生理学报,2010,46(1):64-66.
- [8] 于界芬.树木蒸腾耗水特点及解剖结构的研究[D].南京:南京林业大学,2003.
- [9] 陈荣江,朱明哲,孙长法.不同生态环境对棉花产量及产量构成因素的影响[J].安徽农业科学,2007,35(5):1315-1316.
- [10] 戴路,何翔.枣棉间作棉花产量情况调查分析[J].中国棉花,2007,34(12):30-31.
- [11] 刘玉华,张立峰.不同种植方式土地利用效率的定量评价[J].中国农业科学,2006,39(01):57-60.
- [12] 夏婵娟,史彦江.枣棉间作的生态效应对棉花产量的影响[J].西安工程大学学报,2012,26(02):161-167.
- [13] 晁海,张大海,徐林,等.杏棉间作系统小气候水平分布特征研究[J].新疆农业大学学报,2007,30(01):35-39.
- [14] 蔡祖聪,黄新琦.土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究[J].土壤学报,2016,53(02):305-310.
- [15] Narla R D, Muthomi J W, Gachu S M, et al. Effect of intercropping bulb onion and vegetables on purple blotch and downy mildew[J]. Journal of Biological Sciences, 2011, 11(1):52-57.
- [16] 朱锦惠,董坤,杨智仙,等.间套作控制作物病害的机理研究进展[J].生态学杂志,2017,36(4):1117-1126.