

# 杏棉间作系统田间配置对生态因子及棉花 光合生理参数的影响

徐文修,刘郁娜,胥新强,陈飞虎,张永强

(新疆农业大学,新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:**在杏棉间作条件下,研究了棉花不同田间配置对复合系统生态因子及棉花光合生理参数的影响。结果表明,各处理棉花冠层温度日均值变幅为 24.49℃~35.19℃,并呈现出 C>B>A 的变化规律(A 代表行数 12 行、株距 12 cm、间距 1.15 m 的配置;B 代表行数 10 行、株距 10 cm、间距 1.45 m 的配置;C 代表行数 8 行、株距 8 cm、间距 1.85 m 的配置),棉花冠层湿度则呈现出 C>A>B 的变化规律。在棉花见花期之前,20 cm 处土壤温度一直以 A 处理最大,其次为 B 处理,见花期之后各处理间无差异。在棉花灌头水前,各处理 20 cm 处的土壤含水量差异明显,呈 B>A>C 的规律,40 cm 处则差异不明显;灌头水之后,各处理 40 cm 处土壤含水量差异显著,并呈现 B>C>A 的规律。全生育期各处理  $P_n$  呈现 C>B>A 的变化规律,与棉花冠层温度呈正相关,但与 SPAD 值不呈线性关系。皮棉产量以 B 处理最高,比 A、C 处理分别高 4.69%、19.96%。在整个生育期,尽管果树遮阴影响,但杏棉复合系统内的温度条件都能满足棉花生长发育的需要,因此,棉花冠层湿度和土壤含水量的高低是影响棉花产量高低的重要因素。

**关键词:**杏棉间作;田间配置;生态因子;光合生理

**中图分类号:** S562.01; S562.047 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0046-06

## Effects of field configuration on ecological factors and photosynthetic parameters of cotton in apricot-cotton intercropping system

XU Wen-xiu, LIU Yu-na, XU Xin-qiang, CHEN Fei-hu, ZHANG Yong-qiang

(Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to find out the effects of field configuration on ecological factors and photosynthetic parameters of cotton in the multiple system of apricot-cotton intercropping. The results showed that the daily average temperature of cotton canopy varied within 24.49℃~35.19℃, and it could be ranked as: C>B>A (A stood for 12 rows, 12 cm plant spacing, 1.15 m spacing between apricot and cotton; B stood for 10 rows, 10 cm plant spacing, 1.45 m spacing between apricot and cotton; and C stood for 8 rows, 8 cm plant spacing, 1.85 m spacing between apricot and cotton). The humidity of cotton canopy could be ranked as: C>A>B. Before initial flowering stage, A was the highest in soil temperature at 20 cm depth and B was the next, while hereafter, there was no difference among the treatments. Before the first irrigation, there were significant differences of soil water content at 20 cm depth among the treatments, which could be ranked as: B>A>C, but there was no remarkable difference at 40 cm depth; after the first irrigation, there were significant differences at 40 cm depth among the treatments, which could be ranked as: B>C>A.  $P_n$  in all growth period was ranked as C>B>A, which was positively correlated with the temperature of cotton canopy, but not with SPAD. The lint yield of B was the largest, being 4.69% and 19.96% higher compared with that of A and C respectively. In spite of the shade of fruit trees, the temperature could be satisfied to the growth of cotton in the apricot-cotton intercropping system, therefore, humidity and soil water content were the important factors affecting the cotton production.

收稿日期:2012-04-30

基金项目:农业部公益性行业专项(201103001);国家“十一五”科技支撑计划项目(2009BADA4801-3)

作者简介:徐文修(1962—),女,河北蠡县人,教授,博士,博士生导师,主要从事耕作制度与农业生态研究工作。E-mail: xjwx@sina.com。

**Keywords:** apricot-cotton intercropping; field configuration; ecological factors; photosynthetic parameters

随着新疆特色林果业的快速发展,为解决果农争地矛盾,杏棉、杏麦、枣棉等各种果农间套作新兴立体种植模式大量涌现<sup>[1]</sup>。在果农复合系统内,随着果树树龄的增加,树冠逐年增大,其对农作物的遮荫影响也日益严重,与大田相比,复合系统内的小气候及农作物的光合生理均发生了变化,致使立体种植模式中的农作物栽培技术与单作不尽相同,由此,引起了众多学者对立体复合系统的小气候、农作物光合特性以及对农作物产量影响等方面开展了研究。对复合系统气候的研究表明,果农间作种植模式可以有效降低系统内的风速、调节系统内农作物冠层的温湿度,并直接影响农作物接受光合有效辐射的大小<sup>[2-6]</sup>。由于系统内小气候的变化,使得农作物光合生理参数也受到影响<sup>[7-9]</sup>。对复合系统内间作棉花的研究表明,由于受果树遮荫影响,间作棉花细胞间隙  $CO_2$  浓度增加,叶片光合速率下降,  $P_n$  日变化由单作的双峰曲线变为单峰曲线,并且峰值出现的时间与果树树影的变化长度和方向相关<sup>[10-13]</sup>。上述研究基本上都是基于复合系统与单作系统的对比研究,而对复合系统内棉花不同田间配置的对比研究鲜有报道。本文就不同田间配置对棉花生态因子和棉花光合生理参数的影响进行了研究,为杏棉间作复合生态系统棉花高产栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于2011年4—10月在新疆喀什地区岳普湖县进行。岳普湖县位于天山南麓、塔里木盆地西部,喀什平原岳普湖三角洲冲积缘的前端,盖孜河流域的最下游,地理位置东经  $76^\circ$  和北纬  $38^\circ$  之间,海拔高度为  $1\ 180 \sim 1\ 225\ m$ ,为喀什地区叶尔羌河、克孜

河、盖孜河三条河同灌县,水资源十分丰富,年光照时间  $2\ 500 \sim 3\ 000\ h$ ,全年平均气温  $11.7^\circ C$ ,无霜期长达  $210 \sim 243\ d$ ,全年  $\geq 10^\circ C$  积温  $4\ 102.7^\circ C$ ,年降水量  $40.3 \sim 89.6\ mm$ ,属暖温带大陆性干旱气候。

试验地面积为  $760\ m^2$ 。杏树2005年定植,品种为李光杏 (*A. vulgaris var. glabra* S. X. Sun),种植方向为南北行向,株行距配置为  $3\ m \times 6.5\ m$ ,杏树树高  $5.45\ m$ ,最大冠幅  $4.16\ m$  (东西)  $\times 5.02\ m$  (南北),杏树主干高  $0.6\ m$ 。4月6日杏树开花,7月2日采摘杏子。间作田前茬是棉花,土壤有机质含量  $15.24\ g \cdot kg^{-1}$ ,碱解氮  $72\ mg \cdot kg^{-1}$ ,速效磷  $15.6\ mg \cdot kg^{-1}$ ,速效钾  $213\ mg \cdot kg^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

在2行杏树间铺膜种植棉花,每膜上棉花的种植行距为  $30, 40, 30\ cm$ ,膜间距为  $60\ cm$ 。以棉花株距、行数及间距(与果树相邻棉花行距树干的距离)配置为研究因子,分设 A、B、C 3 个处理(表1),重复3次,共设9个小区,小区的面积为  $6.5\ m \times 13\ m = 84.5\ m^2$ ,供试品种为中棉49。棉花播种前结合整地深施尿素  $300\ kg \cdot hm^{-2}$ ,磷酸二胺  $225\ kg \cdot hm^{-2}$ ,在棉花见花期和盛花期分别开沟追施尿素  $300\ kg \cdot hm^{-2}$  和  $150\ kg \cdot hm^{-2}$ ;灌溉为地面漫灌,6月27日灌第1水,7月10日灌第2水,第3水及第4水分别在7月26日及8月7日灌溉,田间管理参照高产棉田进行。其中净地密度是指在果棉间作条件下,除果树占地面积外,棉花实际占地面积上的棉花种植密度,即棉花株数除以棉花对应实际占地面积。毛地密度是指在果棉间作条件下,包括果树占地面积在内的单位面积上的棉花种植密度,即棉花株数除以果棉系统的总占地面积。其对应的棉花产量为毛地产量。

表1 棉花不同田间配置设计

Table 1 Design of different field configuration with cotton

处理 Treatments	行数 Number of rows	株距/cm Plant spacing	间距/m Spacing between apricot and cotton	净地密度 $\div (10^4\ plants \cdot hm^{-2})$ Net density	毛地密度 $\div (10^4\ plants \cdot hm^{-2})$ Gross density
A	12	12	1.15	23.9	15.5
B	10	10	1.45	27.9	15.5
C	8	8	1.85	34.2	15.5

### 1.3 研究方法

1.3.1 树影的日变化 利用直尺,以树干为中心,从棉花的现蕾期开始,在每个生育期各选取晴天一

日,每一日自  $10:00$  至  $19:00$ ,每1小时测量一次杏树遮荫长度的变化。

1.3.2 棉花冠层温湿度的测定 测点选取在各小

区的行与行之间,在棉花的现蕾期、见花期、盛花期、盛铃期、见絮期,用以色列产的 MicroLite - U 盘型温度记录仪从 9:00 ~ 21:00 每 1 小时测定其温湿度,测定位置为棉花冠层上部(棉株三分之二处),并计算其平均值。

1.3.3 土壤温度的测定 测点选取在各小区的行与行之间,将以色列产的 MicroLabLite 防水型温度仪埋于地下 20 cm 处,在棉花的现蕾期、见花期、盛花期、盛铃期、见絮期,从 9:00 ~ 21:00 每 1 小时测定记录测点的土壤温度,并计算其平均值。

1.3.4 土壤含水量的测定 测点选取在各小区的行与行之间,从现蕾期开始每 10 ~ 15 d 定点测定一次。测定方法为烘干称重法。测定土层深度分别为地下 20 cm 及 40 cm。

1.3.5 SPAD 值的测定 从现蕾期开始每 10 ~ 15 d 测定一次。采用日本产的 SPAD 502 Plus 叶绿素仪定点测定各小区棉花倒四叶的 SPAD 值。每小区调查和取样的样株均在定点的区域内,每膜分宽窄行各选择长势均匀具有代表性的连续 6 株,再计算其平均值。

1.3.6 光合生理指标的测定 在棉花的现蕾期、盛蕾期、见花期、盛花期、盛铃期、见絮期,采用美国产的 TPS - 2 便携式光合测定系统,用开放式气路,自然光源,从 9:00 ~ 19:00 每两小时定点测定各小区棉花倒四叶的净光合速率  $P_n$ 、蒸腾速率  $T_r$ 、胞间  $CO_2$  浓度、气孔导度  $G_s$ 。每膜分宽窄行各选择长势均匀具有代表性的连续 2 株,再计算其平均值。

1.3.7 棉花产量的测定 吐絮后实收小区产量,在各小区每膜按宽窄行选取 30 个吐絮铃,测其单铃重和衣分。

## 2 结果与分析

### 2.1 杏树树影的日变化

图 1 可以看出,一天之中,上午 10:00 杏树西边遮荫长度最大,达到 6.5 m,间作棉花全部在杏树阴影下生长;正午 15:00 以杏树为中心,杏树东两侧同时遮荫,遮荫长度基本对称,此刻杏树遮荫长度最小,为 2.0 m,C 处理只有边 1 行受到杏树的遮荫影响,B 处理遮荫影响到边 2 行,A 处理受遮荫影响的行数最多,已经达到边 3 行;15:00 以后,遮荫区向杏树东边转移并逐渐扩大,19:00 以后杏树东边的遮荫长度也达到整个间作区,置全部棉花于阴影之中。图 1 充分说明在杏棉间作条件下,遮荫影响的时间及范围与间距关系密切,A 处理间距小,棉花受到杏树的遮荫长度大、时间长,能接受到的直射光照

时间最短;C 处理间距最大,受到的遮荫影响最小,B 处理受到的遮荫影响处于中间水平。

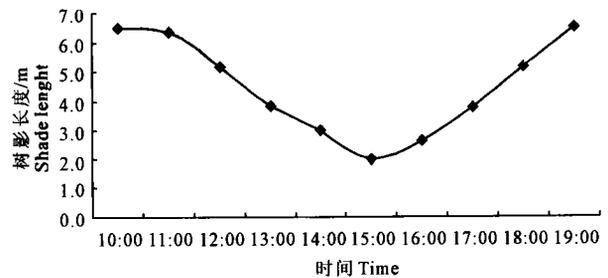


图 1 杏树树影日变化

Fig.1 Diurnal variation of apricot shade

### 2.2 田间配置对棉花冠层温湿度日均值的影响

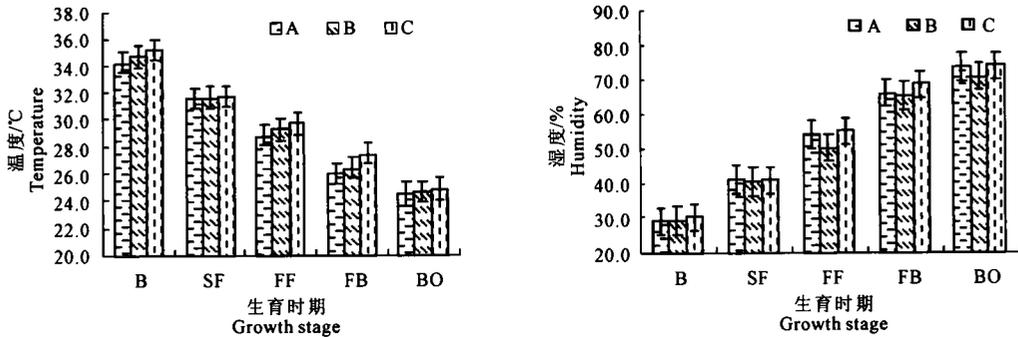
由图 2 可知,从棉花的现蕾期至见花期,不同配置的棉花冠层的温度均呈下降趋势,据当地气象资料显示,7 月份平均温度最高,而本研究表明复合系统内的最高气温出现在 6 月份,杏树的遮荫影响使系统内的光强度发生了改变,从而改变了棉花冠层温度的变化趋势。各处理在同一生育时期冠层温度日均值均表现为  $A < B < C$ 。棉花是典型的喜温作物,生长发育的最适宜温度是  $25^{\circ}C \sim 30^{\circ}C$ ,从图 2 中可以看出,生育前期各处理的温度均高于棉花的最适温度,在此范围内温度越低越利于棉花发育,即前期 A 处理的温度最适宜棉花生长;在生育后期由于棉花植株增高,叶片增多,冠层上部的光截获率降低,再加上气候本身的影响,棉花冠层温度降低,但仍棉花的最适生长范围内,在这个范围之内温度越高越有利于棉花的生长发育,即在生育后期 C 处理的温度最适宜棉花生长。充分说明杏棉间作复合系统内,温度并未成为限制棉花正常生长发育的生态因子。

湿度是影响棉花产量的又一重要因素,湿度过大阻碍棉花发育,尤其在花铃期湿度过大,蕾铃脱落率及烂铃率增大,进而降低产量。由图 2 可知,整个生育期湿度呈上升趋势,同一生育时期各处理均呈现  $C > A > B$  的规律,现蕾期及见花期处理间的差异很小,随着生育进程推进,差异增大。

结合分析不同生育时期棉花冠层温湿度发现,处理间湿度并未随着温度的升高而降低。A 处理间距最小,离杏树最近,受杏树遮荫影响的面积及时间均最大,温度最低,但由于间距最小,湿度大于 B 处理;C 处理间距最大,离杏树最远,受杏树遮荫影响的面积及时间均最小,温度最高,但由于 C 处理的株距最小,通风效果差,导致 C 处理的湿度也最大。温度过高及湿度过大均不利于棉花生长发育,B 处

理有着最低的湿度及适宜的棉花生长温度,因而有

利于棉株稳健生长。



注: B、FB、SF、FF、FB、BO 分别代表表现蕾期、盛蕾期、见花期、盛花期、盛铃期、吐絮期。

Note: B, FB, SF, FF, FB and BO stood for initial budding stage, full budding stage, initial flowering stage, full flowering stage, full bolling stage, boll opening stage.

图 2 棉花不同生育期日平均温湿度动态变化

Fig.2 Dynamic changes of daily average temperature and humidity during different growth stages of cotton

### 2.3 田间配置对地温的影响

土壤温度也是影响棉花生长发育的重要环境因子。图 3 表明, 3 种田间配置 20 cm 处的土壤温度变化趋势基本一致, 呈单峰曲线变化规律, 峰值出现在 7 月 6 日(见花期)。各处理之间土壤温度在全生育期均呈表现为 A > B > C 的变化规律, 并在峰值之前, 这种规律更为明显。此外, 试验中发现在各个生育时期, C 处理与 B、A 处理相比, C 处理的棉株个体发育最差, 究其原因主要是 C 处理间距最大, 裸露的土地面积大, 其对土地的覆盖能力最差, 土壤温度表现最低; 而 A 处理间距最小, 裸露的土地面积小, 对土地的覆盖能力强, 单位面积的覆盖率高, 所以土壤温度最高。

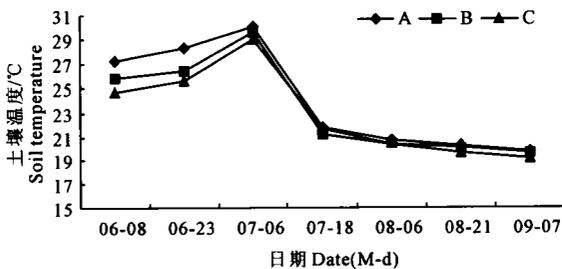


图 3 不同时期 20 cm 土层土壤温度动态变化

Fig.3 Dynamic changes of soil temperature at 20 cm depth during different growth stages of cotton

### 2.4 田间配置对土壤含水量的影响

水是棉花生长发育过程中进行生理生化反应的媒介, 也是叶片光合作用的基本原料<sup>[14]</sup>。棉花的主要根系分布在 20~40 cm 的土层。从图 4 中可以看出 20 cm 及 40 cm 的土壤含水量变化趋势基本一致, 各处理均在 6 月 23 日出现低谷, 在 8 月 4 日出现峰值, 这主要是因为南疆环塔里木盆地自然降水少, 农

业主要采用人工灌溉, 一般棉花蕾期之前不需灌溉, 所以棉花自苗期至蕾期, 土壤含水量一直呈逐渐下降趋势, 直至出现低谷。从花铃期开始棉花需水量增大, 灌溉也随之开始, 土壤含水量随灌水次数的增加而增加, 直至最后一次灌水之后土壤含水量又开始下降。灌水前各处理 20 cm 土层的含水量差异明显, 表现为 B > A > C, 40 cm 处差异很小。棉花灌水之后, 各处理不同深度土壤含水量则表现相反, 20 cm 处土壤含水量差异不大, 40 cm 处土壤含水量差异明显, 呈现 B > C > A 的规律。差异明显的灌水前 20 cm 及灌水后 40 cm 处土壤含水量均是 B 处理的最高, 是因为 A 处理株距大水分散失快, 再加上 A 处理间距最小, 边行棉花离杏树最近, 杏与棉花根系竞争最为激烈; C 处理株距最小, 单位面积上的棉花株数多, 棉株之间竞争激烈, 导致含水量低于 B 处理。灌水前 20 cm 处的土壤含水量是 A 处理高于 C 处理, 而灌水后 40 cm 处土壤含水量则是 C 处理高于 A 处理, 可见, 在生育前期浅层土壤种内竞争激烈, 灌水后深层土壤种间竞争激烈。

### 2.5 田间配置对棉花倒四叶 SPAD 值的影响

叶绿素含量的多少直接影响到棉花叶片的光合作用, 习惯上用 SPAD 值来表示叶绿素的相对含量, SPAD 值可以准确判定作物生长是否正常及提供植物生长的信息<sup>[15]</sup>。由图 5 可以看出, SPAD 值随着生育进程基本呈现上升趋势, 在 6 月 23 日至 7 月 3 日出现了小幅度的下降, 这主要是因为棉花由营养生长阶段转为生殖生长阶段, 棉叶营养供应相对减少, 造成 SPAD 值降低。棉花见花后开始灌水施肥, 提供更多的养分供棉叶吸收, SPAD 值增加<sup>[16]</sup>, 至盛铃期达到最大, 随着棉花吐絮, 棉叶衰老并开始脱

落, SPAD 值再次下降。C 处理从见花期开始 SPAD 值始终小于 A、B 处理, A、B 处理在盛花期前差异不

大, 并均在盛铃期达到峰值。

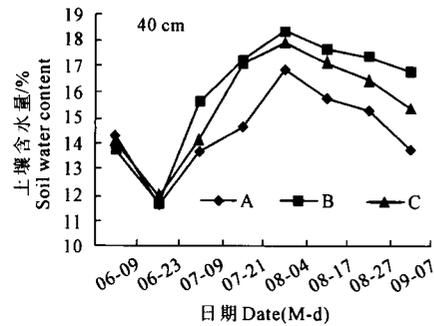
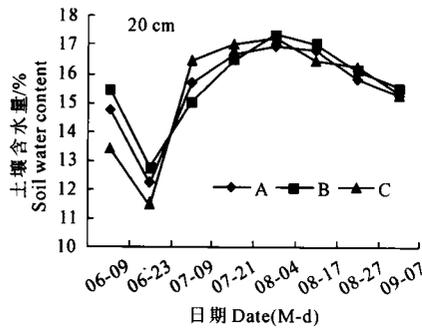


图 4 不同时期不同土层土壤含水量动态变化

Fig.4 Dynamic changes of soil water content at different depth during different growth stages of cotton

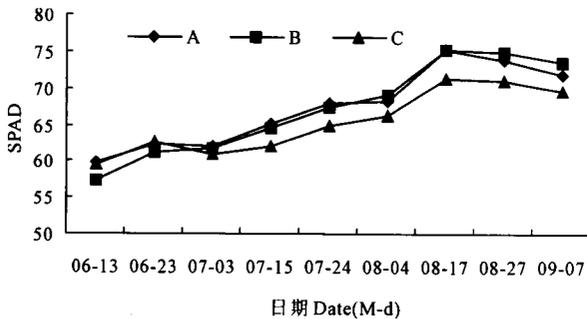


图 5 不同田间配置棉花 SPAD 值动态变化

Fig.5 Dynamic changes of SPAD of cotton under different field configurations

## 2.6 田间配置对棉花光合生理参数的影响

试验表明(图 6), 净光合速率( $P_n$ )随着的生育进程逐渐升高, 在盛蕾期达到峰值, 随后一直呈下降趋势。各处理  $P_n$  在全生育期始终表现为  $C > B > A$ , 与棉花冠层温度变化规律一致。其中在盛蕾期差异最大, 处理 C 比 B、A 处理分别高 10.79%、47.74%, 在见花期差异最小, 处理 C 比 B、A 处理分别高 4.27%、9.96%。气孔是植物进行气体交换的重要窗口, 通过气孔关闭控制植物光合作用中  $\text{CO}_2$  吸收和蒸腾过程中水分的散失<sup>[17-18]</sup>。图 6 显示 3 种配置的气孔导度( $G_s$ )在整个生育期均出现两个波峰, 分别出现在盛蕾期和盛花期, 第一个波峰比第二个波峰分别高 39.79%、29.66%、33.39%, 第二个波峰后呈下降趋势, 波谷出现在见花期。在整个生育期 A 处理明显小于 B、C 处理, 而 B、C 处理差异不大。胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )影响植物光合作用的大小, 并为植物体光合作用提供原料。各处理  $C_i$  在整个生育期均呈现降低-升高-降低-升高的变化趋势。整个生育期 C 处理低于 A、B 处理, 盛花期 A、B

处理差异不大, 盛花期后各处理呈现  $A > B > C$  的规律。蒸腾作用是植物吸收和运输水分、矿物质的主要动力, 同时也是在高温天气降低叶片温度的重要方式。由图 6 可知, 蒸腾速率( $T_r$ )的变化趋势与气孔导度相似, 出现两个波峰一个波谷。波峰波谷出现时期与气孔导度出现一致, 全生育期处理间呈现  $C > B > A$  的规律。

气孔是植物进行水分及  $\text{CO}_2$  交换的载体, 是影响  $P_n$ 、 $C_i$  及  $T_r$  的重要因素。适宜的温度与光强会使  $G_s$  增大,  $C_i$  浓度随之上升, 进而使  $P_n$  增强,  $P_n$  增强消耗的  $\text{CO}_2$  增多, 反过来制约  $C_i$  浓度, 而  $T_r$  随着  $P_n$  的增强而增强。C 处理由于间距最大, 受杏树遮荫影响的面积及时间最短, 接收的光照强度最大且持续时间最长, 棉花冠层的温度最高, 利于气孔张开, 所以  $G_s$ 、 $P_n$  与  $T_r$  最高,  $C_i$  最低; A 处理间距最小, 与 C 处理呈现相反的变化规律; B 处理光合生理指标均处于中间水平。

## 2.7 田间配置对棉花产量的影响

杏棉间作系统不同田间配置生态因子的变化, 直接影响了棉花光合生理的差异, 这种差异又影响了产量构成, 使得不同株行配置的棉花产量表现也各不相同。由表 2 可知, 各处理的收获株数、单株结铃数、单铃重均呈显著性差异。皮棉产量以 B 处理最大, 分别比处理 A、C 高 4.69%、19.96%, 与 A 处理无显著差异, 与 C 处理达到了极显著差异。进一步分析影响皮棉产量的构成因子发现, 单株结铃数受田间配置影响较大, 不同处理间达到了极显著差异, 收获株数、单铃重处理间差异显著, 而衣分处理间差异不显著, 为了获取间作系统棉花高产, 调整株距及间距创造适宜的净地密度至关重要。

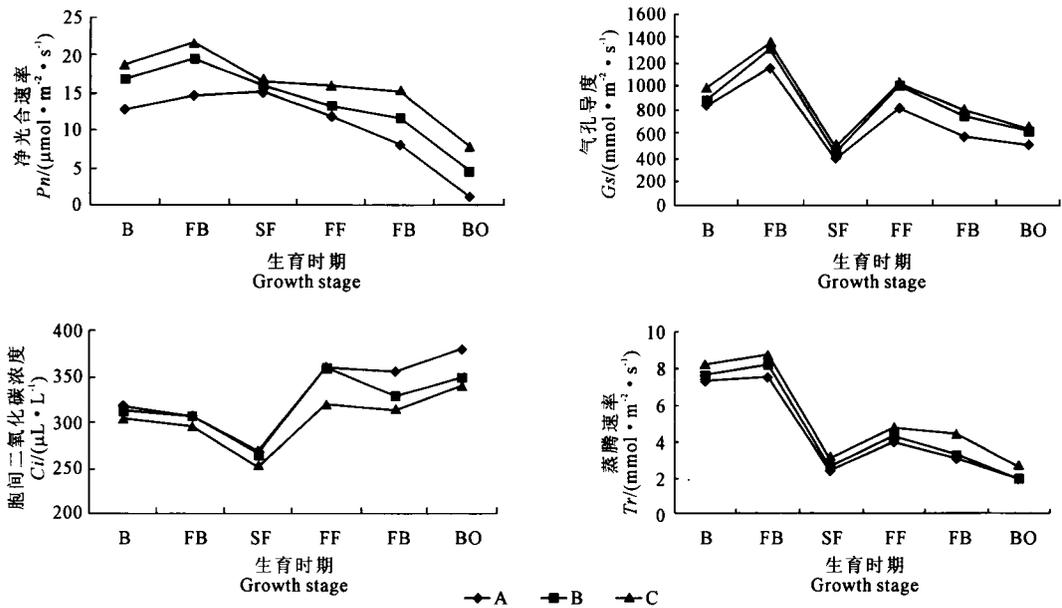


图 6 不同生育时期棉花  $P_n$ 、 $Tr$ 、 $G_s$ 、 $C_i$  的动态变化

Fig.6 Dynamic changes of  $P_n$ ,  $Tr$ ,  $G_s$  and  $C_i$  during different growth stages of cotton

表 2 不同田间配置棉花产量构成因素

Table 2 Yield components of cotton under different field configurations

处理 Treatments	收获株数 Harvested plants /(10 <sup>4</sup> plants·hm <sup>-2</sup> )	单株结铃数 Bolls per plant	单铃重/g Weight per boll	衣分/% Lint percentage	皮棉产量 Lint yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
A	9.58bA	3.21bB	5.87bAB	38.52a	694.85aA
B	9.69aA	3.16cC	6.12aA	38.80a	727.47aA
C	8.51cB	3.29aA	5.61cB	38.65a	606.43bB

注:不同的大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。

Note: Different capital and lowercase letters mean significant difference at 0.01 and 0.05 levels respectively.

### 3 结论与讨论

在复合系统内作物群体的湿度随着温度的升高而降低<sup>[2,4]</sup>,本研究也表明不同田间配置棉花冠层湿度并未随着温度的增高而降低,这与棉花的田间配置密切相关。间距最大株距最小的 C 处理,湿度及温度均最大;A 处理间距最小,温度也最低,湿度处于中间水平;B 处理温度处于中间水平,湿度最小。对不同田间配置棉花冠层温度的研究表明,间作系统内的温度基本上都可以满足棉花的生长需要,而湿度的大小就成为了棉花发育的关键因素。棉花是喜温好光作物,湿度大不利于棉花生长,所以在杏棉复合系统内合理安排棉花的株行距及间距配置,从而控制湿度是保证棉花高产的关键。土壤温度只是在棉株较小时有差异,后期几乎无差异。B 处理的土壤含水量高于 A、C 处理,再次证明了合理的株行距及间距配置是间作棉花稳健生长的关键。

系统内棉花不同生态因子的变化对棉花光合生理产生了一定影响。SPAD 值在全生育期 C 处理明

显低于 A、B 处理,平均低了 3.00%、2.74%。叶绿素对水分及养分变化极为敏感<sup>[16]</sup>,而 C 处理株距小单位面积株数多养分竞争激烈,SPAD 值随之变小。一般认为 SPAD 值高  $P_n$  能力相应强<sup>[19]</sup>,而本研究则表现为 SPAD 值最低的 C 处理  $P_n$  日均值最高,可见在杏棉间作系统里棉花 SPAD 值与  $P_n$  的关系与单作棉花表现规律有所不同,具体原因还有待于进一步研究。

光合速率是衡量棉花产量的关键因素,本研究表明处理间的产量与  $P_n$  未成正相关,而是  $P_n$  处于中间水平的 B 处理产量最高,相反  $P_n$  值最高的 C 处理产量最低,说明在杏棉间作系统内,  $P_n$  并不是产量的决定因素。各处理产量呈现 B > A > C 的变化规律,与棉花冠层湿度变化规律一致,而复合系统内棉花冠层湿度均能满足棉花的生长发育,所以在杏棉间作系统内,合理配置棉花株行距及间距是获得间作棉花高产的重要措施之一。

(下转第 75 页)

## 参考文献:

- [1] Wakrim R, Wahbi S, Tahi H, et al. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). [J]. Agriculture Ecosystems Environment, 2005, 106: 275-287.
- [2] Buttar G S, Thind H S, Aujla M S. Methods of planting and irrigation at various levels of nitrogen affect the seed yield and water use efficiency in transplanted oilseed rape (*Brassica napus* L.). [J]. Agriculture Water Manage, 2006, 85: 253-260.
- [3] 康绍忠, 潘英华, 石培泽, 等. 控制性作物根系分区交替灌溉的理论及试验[J]. 水利学报, 2001, (11): 80-86.
- [4] 史文娟, 康绍忠. 控制性作物根系分区供水的节水机理及研究进展[J]. 水科学进展, 2001, 12(2): 270-275.
- [5] 梁宗锁, 康绍忠, 石培泽, 等. 隔沟交替灌溉对玉米根系分布和产量的影响及其节水效益[J]. 中国农业科学, 2000, 33(6): 26-32.
- [6] 潘英华, 康绍忠. 交替隔沟灌溉水分入渗规律及其对作物水分利用的影响[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 39-43.
- [7] 杜太生, 康绍忠, 胡笑涛, 等. 根系分区交替灌溉对棉花产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2061-2068.
- [8] 康绍忠, 蔡焕杰. 作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 14-38.
- [9] 梁宗锁, 康绍忠, 张建华, 等. 控制性分根交替灌溉对作物水分利用率的影响及节水效应[J]. 中国农业科学, 1998, 31(5): 88-90.
- [10] Kang S Z, Liang Z S, Hu W, et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on roots divided maize plants[J]. Agric Water Manage, 2001, 38: 69-76.
- [11] Singh P N, Joshi B P, Singh G. Water use and yield response of wheat to irrigation and nitrogen on an alluvial soil in North India[J]. Agriculture Water Manage, 1987, 12: 311-321.
- [12] Kerentajer L, Berliner P R. Effects of moisture stress on nitrogen fertilizer response in dryland wheat[J]. Agronomy Journal, 1988, 80: 977-981.
- [13] Sharma B D, Jalota S K, Kar S, et al. Effect of nitrogen and water uptake on yield of wheat[J]. Fertilizer Research, 1992, 31: 5-8.
- [14] 唐玉霞, 孟春香, 贾树龙, 等. 冬玉米对水肥的反应差异与节水冬施肥技术[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(2): 36-40.
- [15] 翟丙年, 李生秀. 冬玉米水氮配合关键期和亏缺敏感期的确定[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1188-1195.
- [16] Lehrsch G A, Sojka R E, Westermann D T. Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield[J]. Agron J, 2000, 92(6): 1266-1275.
- [17] 郭修武, 王丛丛, 周兴本, 等. 水分胁迫下肥料配比对葡萄生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 140-145.

(上接第 51 页)

## 参考文献:

- [1] 刘晓芳, 蒋腾, 李萍, 等. 新疆发展特色林果的优势与途径[J]. 经济林研究, 2006, 24(3): 88-91.
- [2] 刘郁娜, 徐文修, 张巨松, 等. 杏棉间作系统棉花冠层小气候特征及棉花产量边际效应研究[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(12): 2176-2182.
- [3] 周志翔, 胡婉仪. 泡桐林带遮光与桐果间作模式的研究[J]. 华中农业大学学报, 1994, 13(4): 409-417.
- [4] 袁玉欣, 贾渝彬, 邵吉祥. 杨粮间作系统小气候水平分布特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 21-23.
- [5] 刘志龙, 方建民, 虞木奎, 等. 3 种林茶复合系统小气候特征日变化研究[J]. 林业科技开发, 2009, 2(2): 55-59.
- [6] 李志欣, 刘进余, 刘春田. 枣粮间作复合种植对作物生态及产量的动态影响[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(4): 45-48.
- [7] 张艳敏, 李晋生, 钱维朴, 等. 小麦冠层结构与光分布研究[J]. 华北农学报, 1996, 11(1): 54-58.
- [8] 赵中华, 刘德章, 郭美丽, 等. 棉花群体冠层结构与干物质生产及产量的关系[J]. 棉花学报, 1997, 9(2): 90-94.
- [9] 金宝石, 查良松. GIS 支持下的粮食单产与光热水分布特征相关分析——以安徽省为例[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 1-5.
- [10] 杨兴洪, 邹琦, 赵世杰. 遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 8-15.
- [11] 周治国. 苗期遮荫对棉花功能叶光合特性和光合产物代谢的影响[J]. 作物学报, 2011, 27(6): 967-973.
- [12] 魏红国, 王飞, 张巨松, 等. 杏棉间作对棉花产量及其构成因素的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 214-218.
- [13] 龚鹏, 杨波, 车玉红, 等. 扁桃棉花间作对棉花光合特性及产量影响的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(5): 975-979.
- [14] 韩会玲, 康凤君. 水分胁迫对棉花生产影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 37-40.
- [15] Medonald A S, Davies W J. Keeping in touch: response of the whole plant to deficits in water and nitrogen supply[J]. Adv Bot Res, 1996, 22: 229-300.
- [16] 支金虎, 伍维模, 危常洲, 等. 水分与氮素对膜下滴灌棉花叶片叶绿素含量时空分布的影响[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1): 7-12.
- [17] 官璇, 张如莲, 曹红星, 等. 4 个椰子品种光合、蒸腾作用日变化特征及影响因素[J]. 热带作物学报, 2011, 32(2): 221-224.
- [18] 徐俊增, 彭世彰, 魏征, 等. 节水灌溉水稻叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度及气孔与非气孔限制[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 76-80.
- [19] 罗新宁, 陈冰, 张巨松, 等. 棉花氮素和 SPAD 值叶位分布规律研究[J]. 棉花学报, 2009, 21(5): 427-430.