

王霜,李田甜,甘塘煌,等. 枣棉间作下氮密互作对棉花铃期光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(21):55-61.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.21.009

# 枣棉间作下氮密互作对棉花铃期光合特性及产量的影响

王霜,李田甜,甘塘煌,王俊生,田玉刚,李志鹏,候金枚,张家琪,林皎,万素梅  
(塔里木大学农学院,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**探索南疆枣棉间作系统下种植密度与施氮量对棉花铃期叶片光合日变化规律及产量的影响,为间作棉花的种植密度及氮肥管理策略提供理论依据。设置3个种植密度为主处理:22万株/hm<sup>2</sup>(D1)、18万株/hm<sup>2</sup>(D2)、14万株/hm<sup>2</sup>(D3),5个氮肥梯度为副处理:560 kg/hm<sup>2</sup>(N560)、420 kg/hm<sup>2</sup>(N420)、280 kg/hm<sup>2</sup>(N280)、140 kg/hm<sup>2</sup>(N140)、0 kg/hm<sup>2</sup>(N0),以单作棉花(CK)为对照,在棉花铃期对光合日变化各项指标进行测定,并分析经济产值。结果表明,棉花叶片的 $P_n$ 、 $G_s$ 、WUE日变化呈双峰曲线变化趋势, $T_r$ 日变化呈单峰曲线变化趋势, $C_i$ 和 $L_s$ 值日变化分别呈“V”形和倒“V”形变化趋势。在间作系统中籽棉产量以D1N280处理(22万株/hm<sup>2</sup>和280 kg/hm<sup>2</sup>)最高,其值为2983.70 kg/hm<sup>2</sup>,且D1(22万株/hm<sup>2</sup>)的土地当量比为1.39,与未施氮相比,增施氮肥可以显著增加间作系统的光合性能和棉花产量。因此本试验中枣棉间作系统棉花适宜的种植密度和施氮量分别为22万株/hm<sup>2</sup>和280 kg/hm<sup>2</sup>,该研究结果可为南疆枣棉间作系统作物增产提供理论依据与技术支持。

**关键词:**间作;棉花;光合日变化;密度;氮肥;产量

**中图分类号:**S562.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)21-0055-07

新疆地区具有光热资源丰富、日照时间长、降水量少等特点<sup>[1]</sup>。全疆林果种植面积已达到125.93万hm<sup>2</sup>,塔里木盆地林果种植面积达到7.03万hm<sup>2</sup>,占新疆农果面积的75%以上<sup>[2]</sup>。南疆地区可耕面积有限,为保障棉花产业的增收效率,促进农果增收,农果间作成为当地农业的特色发展模式之一。农果类复合系统中小气候复杂多样<sup>[3]</sup>,导致作物之间出现争水争肥、光热利用不充足等一系列矛盾<sup>[4]</sup>,因此通过科学的水肥管理、合理的空间分布,构建出适宜作物生长的冠层微环境<sup>[5]</sup>,提高间作系统中的光、温、水、肥以及土地资源的利用效率,有利于增加经济产值,实现农业资源的高效

利用<sup>[6]</sup>。

光合作用能够维持大气中O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的稳定,是植物体能量的来源,对生物进化有重要作用。合理的种植密度和水肥管理有利于作物光合产物的形成,提高作物产量<sup>[7]</sup>。研究表明,间作系统种植4行棉花能够更好地协调个体与群体之间的关系<sup>[8]</sup>,种植密度24万株/hm<sup>2</sup>时有较高的群体光合速率,保证较多的光合物质分配<sup>[9]</sup>;施氮不足或过量都会导致叶片光合生理活性下降,光合能力降低<sup>[10]</sup>。施氮水平在207~310 kg/hm<sup>2</sup>能保障棉花生育后期光合产物的形成<sup>[11]</sup>,有利于提高植物叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和水分利用效率(WUE)<sup>[12]</sup>。适宜的种植密度和施氮水平能够充分发挥作物群体优势,为光合生产营养物质提供保障<sup>[13]</sup>。

在枣棉间作系统中,棉花处于光能截获劣势地位,密度与氮肥互作能否促进间作作物的光合性能与产量,其影响因素尚不明确。因此,本试验设置3个种植密度、5个氮肥梯度和1个棉花单作为对照,探讨间作系统中不同处理下棉花功能叶片光合性能变化规律,进一步明确种植密度和氮肥用量对棉花产量的影响机制,为提高实际生产中间作系统下作物产量提供理论基础和技术参考。

收稿日期:2023-02-08

基金项目:国家自然科学基金(编号:32060449);2022年校级研究生创新项目(编号:FDGRI202216)

作者简介:王霜(1998—),女,新疆阿拉尔人,硕士研究生,主要从事作物高产栽培理论与技术研究。E-mail:1518121955@qq.com。

通信作者:万素梅,博士,教授,博士生导师,主要从事作物高产栽培理论与技术研究,E-mail:wansumei510@163.com;林皎,博士,副教授,主要从事作物高产栽培理论与技术研究,E-mail:linjiao@taru.edu.cn。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

本试验于 2022 年在新疆第一师塔里木大学园艺试验站(40°32'N、81°18'E,海拔 1 015 m)枣棉间作试验田进行,该试验区处于塔里木河上游,属于暖温带干旱荒漠区,光照充足,日照时间长,主风向为东北风,土壤类型为沙壤土,日照率为 66%,年蒸发量为 1 976.6 ~ 2 558.9 mm,年降水量为 40.1 ~ 82.5 mm,降水量少,年蒸发量大。试验地供试红枣品种为灰枣,该品种树势中强,结果龄期早,产量高而稳定。棉花品种为中棉 619,该品种为早熟品种,具有生育期短、株高适宜、铃壳较薄、吐絮集中等

特点。

### 1.2 试验设计

试验设置 3 种不同的棉花种植密度,分别为 22 万株/m<sup>2</sup>(D1)、18 万株/m<sup>2</sup>(D2)、14 万株/m<sup>2</sup>(D3);5 种氮肥梯度,分别为 560 kg/hm<sup>2</sup>(N560)、420 kg/hm<sup>2</sup>(N420)、280 kg/hm<sup>2</sup>(N280)、140 kg/hm<sup>2</sup>(N140)、0 kg/hm<sup>2</sup>(N0)。在距离枣树 1 m 处种植棉花,宽窄行为 0.6 m 和 0.2 m,并设置棉花单作为对照,种植密度见图 1,共设置 20 个处理,每个处理重复 3 次,随机区组排列。在棉花生育期进行 7 次氮肥追施,随水施入,追施比例分别为 10%、10%、20%、20%、20%、10%、10%,试验地的其他管理措施与生产上保持一致。

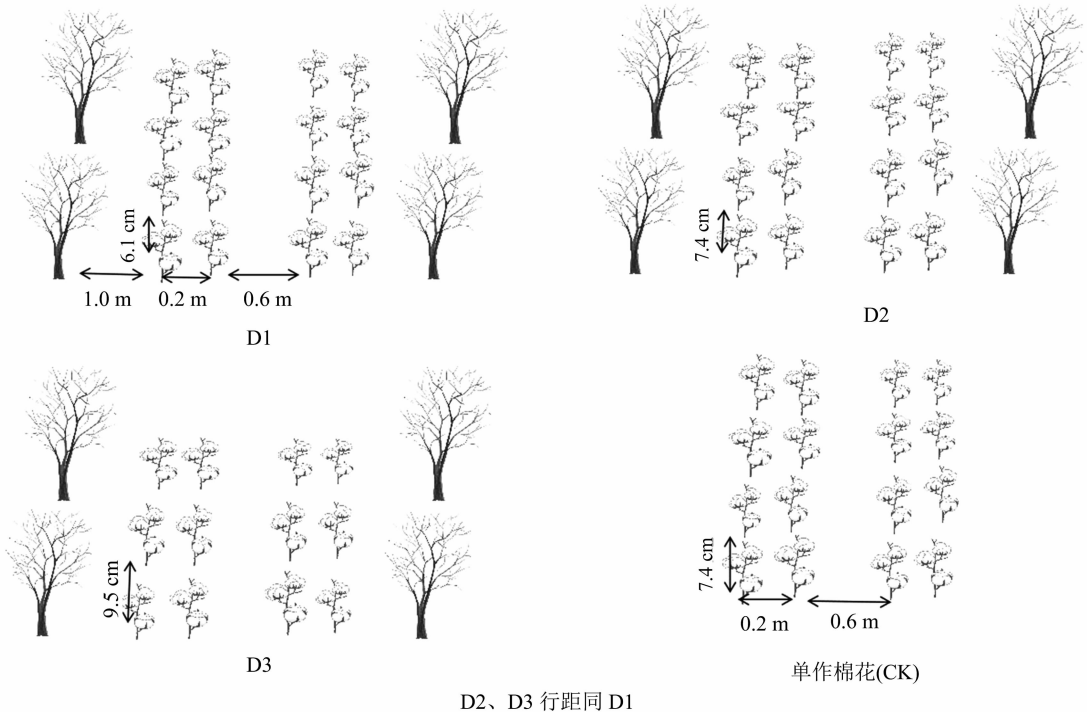


图1 枣棉间作与单作棉花种植密度示意

### 1.3 测定指标

1.3.1 棉花铃期光合性能日变化 使用 Li-6400XT 便携式光合仪测定,时间为 08:00—20:00,每 2 h 测定 1 次,共 7 次。各处理选取 3 株具有代表性的植株,测定棉花植株倒数第 4 张功能叶光合指标,包括净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ ),并计算气孔限制值( $L_s$ ) = 1 -  $C_i/C_a$ ,叶片水分利用效率:  $WUE = P_n/T_r$ ,其中  $C_a$  为大气 CO<sub>2</sub> 浓度。每次测定之前,先进行自然光强度测定、调整光源,以保证数据质量。

1.3.2 棉花产量 于棉花收获期分别对间作和单

作处理下棉花收获株数、单株结铃数进行测量,然后每个小区选取具有代表性的 10 株棉花测定其单铃质量,并测定棉花实际收获产量。

土地当量比:指在同一农田间混种 2 种或 2 种以上作物的收益与作物单作时收益的比值。根据公式(1)计算:

土地当量比(LER) = 枣树间作产量/枣树单作产量 + 棉花间作产量/棉花单作产量。 (1)

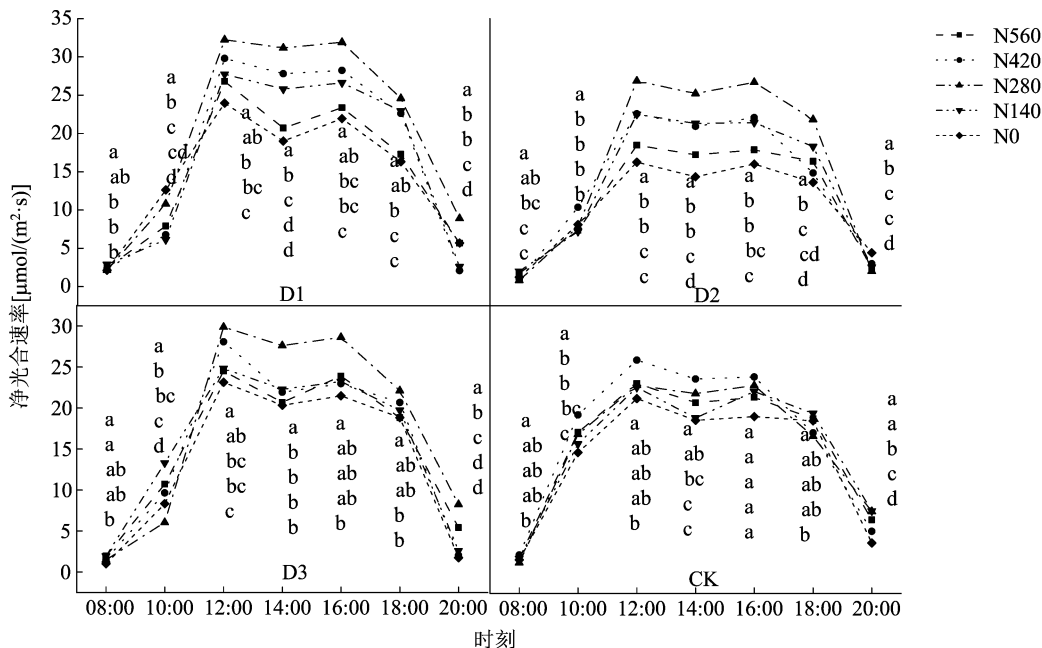
### 1.4 数据分析

用 Excel 进行数据处理,利用 DPS 做显著性分析,用 Origin 绘制折线图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植密度和施氮量对棉花铃期净光合速率日变化的影响

由图2可知,棉花间作和单作(CK)的 $P_n$ 日变化规律呈双峰曲线,峰值出现的时间分别为12:00和16:00,并且第2个峰值均小于第1个峰值。14:00时各处理下棉花叶片均呈不同程度的光合“午休”现象。单作棉田中以N420的 $P_n$ 日变化均



不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 下图同  
图2 不同种植密度和施氮量对棉花铃期净光合速率日变化的影响

### 2.2 不同种植密度和施氮量对棉花铃期气孔导度日变化的影响

如图3所示,棉花间作和单作的 $G_s$ 日变化均呈“双峰”曲线变化趋势,峰值出现的时间为12:00和16:00,且各处理的第2个峰值均小于第1个峰值,其变化趋势与净光合速率一致。单作棉田中 $G_s$ 光合日变化均值以N280处理最高,分别比N0、N140、N420、N560提高了26.4%、14.3%、1.9%、16.9%;在间作系统中,D3处理 $G_s$ 日变化均值较D1、D2处理分别高5.6%和7.5%,均以N280处理最高,D1、D2、D3分别为0.22、0.22、0.23 mol/(m<sup>2</sup>·s)。由 $G_s$ 日变化趋势可知,各处理在12:00植物叶片的气孔张开最大,CO<sub>2</sub>和水分供应充足。

### 2.3 不同种植密度和施氮量对棉花铃期蒸腾速率日变化的影响

如图4所示,棉花间作和单作叶片 $T_r$ 日变化均

值最高,分别比N0、N140、N280、N560提高了19.8%、8.1%、6.4%、6.9%;在间作系统中D1处理 $P_n$ 日变化均值较D2、D3处理高出3.0%和7.9%,均以N280处理下的 $P_n$ 日变化均值最高,D1、D2、D3分别为20.25、19.57、17.71 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。综上所述,与单作棉花相比,间作棉花整个生育期都受到枣树遮光影响,从而降低了棉花的净光合速率日变化均值。

呈“单峰”曲线变化趋势,峰值出现的时间为14:00。在单作棉田中N420处理的 $T_r$ 日变化均值最高,分别比N0、N140、N280、N560提高了17.0%、2.8%、2.8%、10.4%;在间作系统中,D3处理 $T_r$ 日变化均值较D1、D2处理分别高9.8%和18.7%,均以N280处理最高,D1、D2、D3分别为9.19、8.63、9.07 mmol/(m<sup>2</sup>·s)。试验结果表明,在14:00时各处理 $T_r$ 最强,水分散失量高。

### 2.4 不同种植密度和施氮量对棉花铃期胞间CO<sub>2</sub>浓度日变化的影响

如图5所示,间作和棉花单作叶片 $C_i$ 日变化均呈“V”形变化趋势,最低值出现时间为18:00。在单作棉田中不施氮肥(N0)处理的 $C_i$ 日变化均值最高,分别比N140、N280、N420、N560提高了2.7%、2.6%、13.7%、10.0%;在间作系统中,D2处理 $C_i$ 日变化均值较D1、D3处理分别高出1.0%和0.8%,

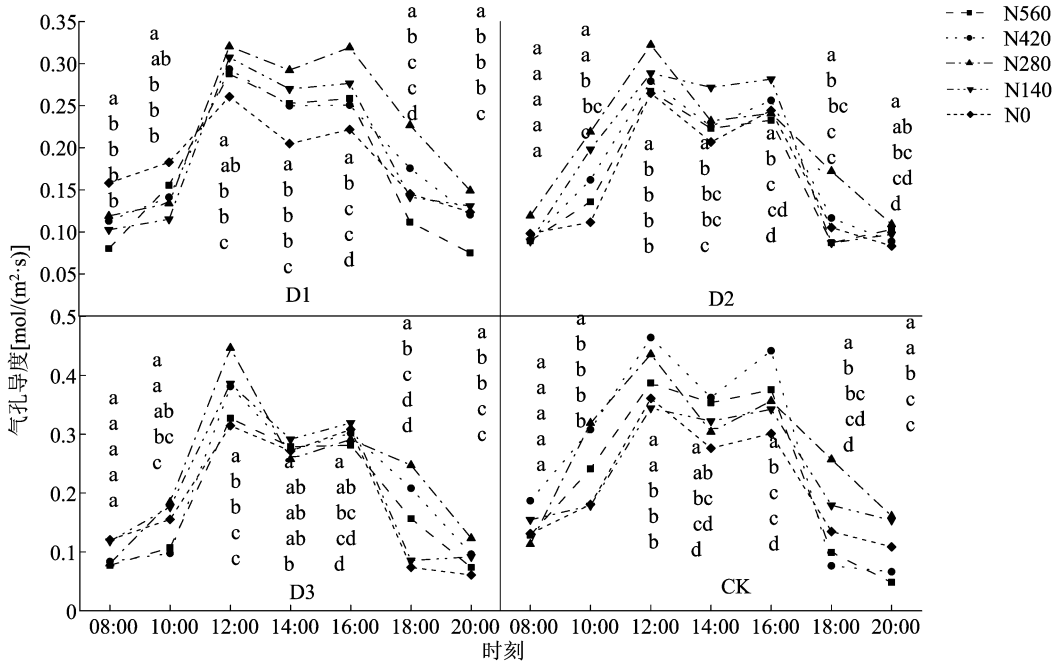


图3 不同种植密度和施氮量对棉花铃期气孔导度日变化的影响

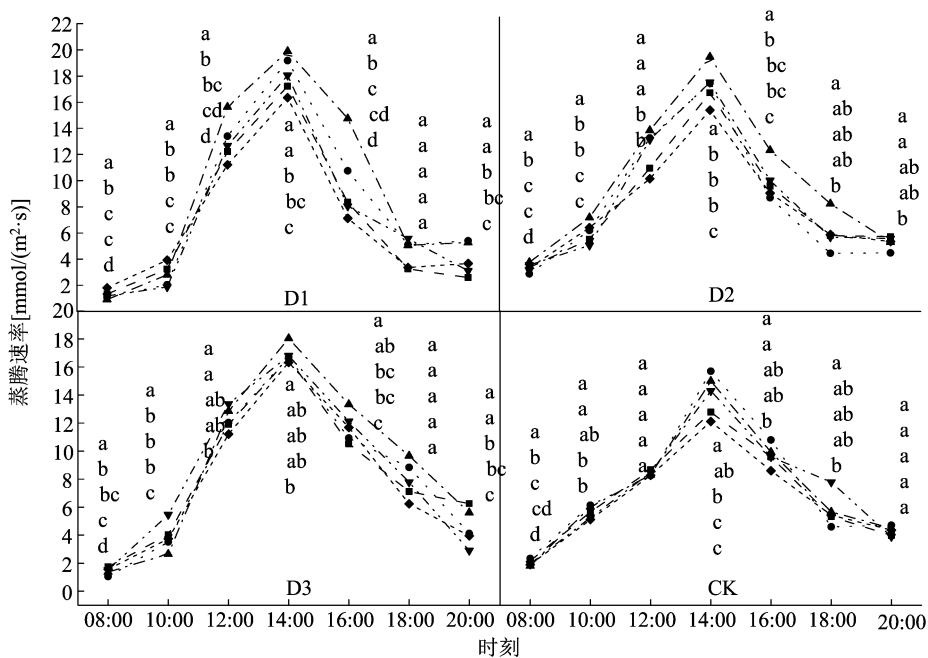


图4 不同种植密度和施氮量对棉花铃期蒸腾速率日变化的影响

均以 N0 处理最高, D1、D2、D3 分别为 233.2、237.2、240.7  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。总体而言, 施氮能够降低植物叶片  $C_i$ 。

### 2.5 不同种植密度和施氮量对棉花铃期气孔限制值日变化的影响

如图 6 所示, 间作和单作棉花叶片  $L_s$  日变化均呈倒“V”形变化趋势, 整体变化规律与  $C_i$  相反, 全天以 18:00 的值最高。间作系统下施氮量最高的处

理(N560)  $L_s$  日变化均值最低并且均小于单作棉花, D1、D2、D3 分别为 0.36、0.38、0.37。综上所述, 18:00 时各处理的  $L_s$  最高, 说明  $\text{CO}_2$  向植物羧化部位扩散较快。

### 2.6 不同种植密度和施氮量对棉花铃期叶片水分利用率日变化的影响

如图 7 所示, 间作和单作棉花叶片 WUE 日变化进程均呈不对称的“双峰”曲线, 峰值出现在 10:00

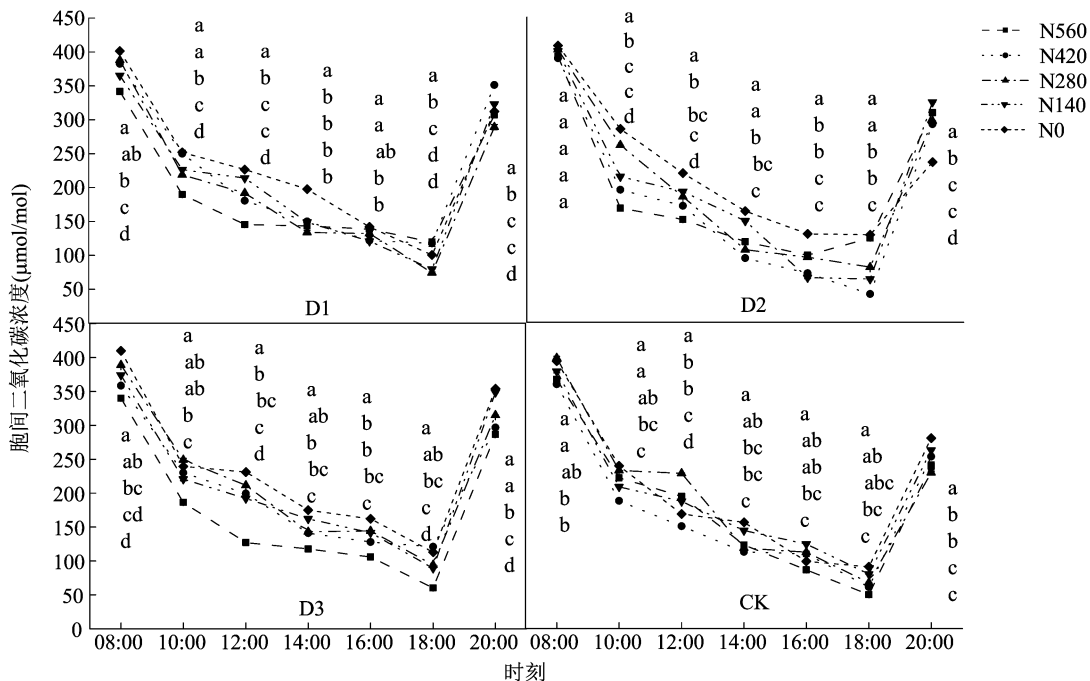


图5 不同种植密度和施氮量对棉花鈴期胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化影响

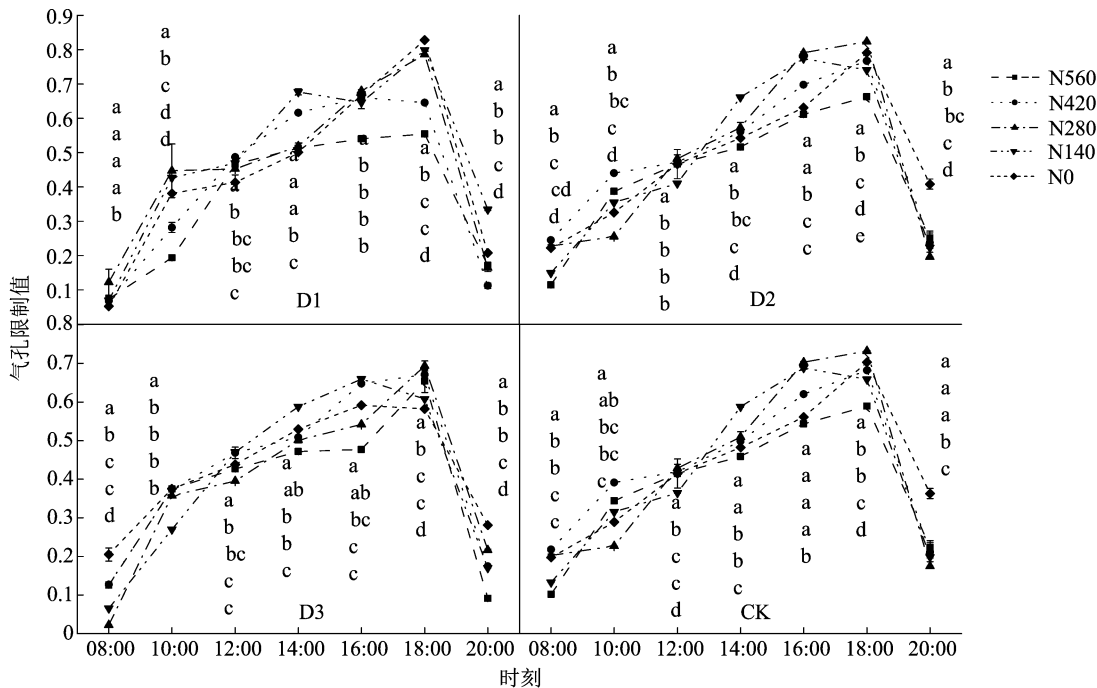


图6 不同种植密度和施氮量对棉花鈴期气孔限制值日变化的影响

和 18:00, 并且第 2 个峰值高于第 1 个峰值。14:00 出现下降是由于光合“午休”导致  $P_n$  下降, 使 WUE 降低。各处理之间 WUE 日变化均值无明显差异, D2 处理 WUE 日变化均值分别比 D1、D3、CK 高 0.7%、41.0%、6.4%。总体而言, 14:00 时温度升高, 植物为了减少水分散失, 气孔关闭, WUE 下降。

### 2.7 不同种植密度和施氮量对棉花产量的影响

由表 1 可知, 单作棉花产量均高于间作棉花。在间作系统中 D3 处理的平均单株鈴数最高, 为 8.9 个; D2 处理的平均单鈴质量较 D1、D3 分别高 7.9% 和 12.7%; D1 处理的平均籽棉产量较 D2、D3 分别高 3.9%、4.9%, 说明间作处理下低密度有利于植株个体的发展, 但群体发展不足, 进而引起产量下

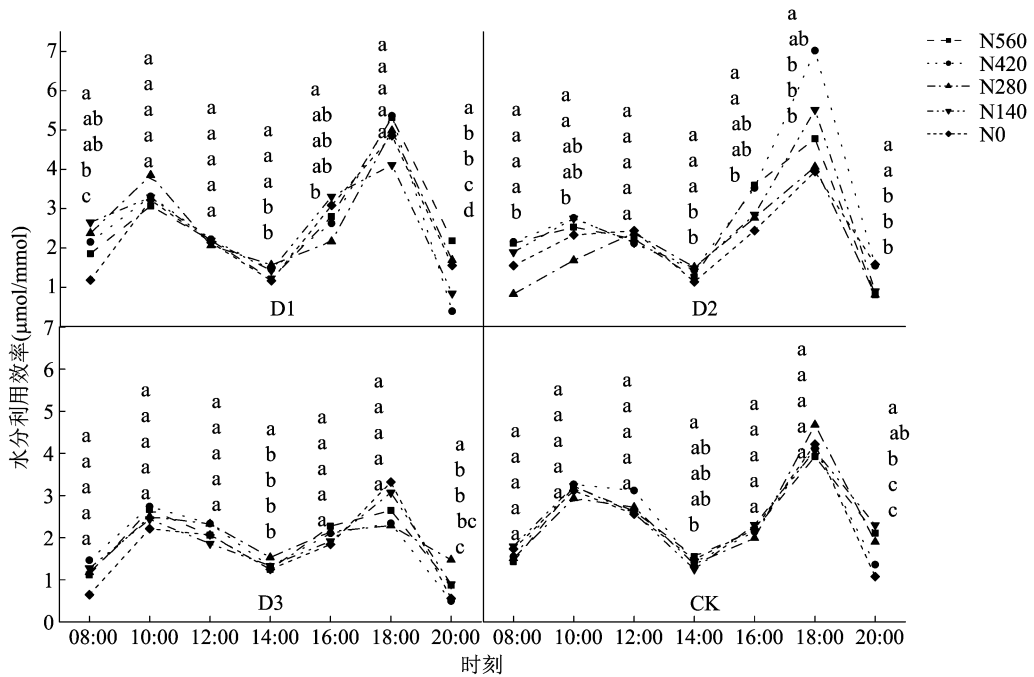


图7 不同种植密度和施氮量对棉花铃期水分利用效率日变化的影响

表1 不同种植密度和施氮水平对棉花产量及产量构成因素的影响

种植密度	氮肥处理	单株铃数 (个/株)	单铃质量 (g)	衣分 (%)	籽棉产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	土地当量比
D1	N0	5.78c	3.93	40	1 622.22b	1.39
	N140	8.67a	4.51	41	1 828.15b	
	N280	8.78a	4.91	41	2 983.70a	
	N420	8.78a	4.77	41	1 837.04b	
	N560	7.22b	4.40	41	1 749.63b	
D2	N0	5.33c	4.34	42	1 368.89c	1.36
	N140	6.78b	4.81	41	1 860.74b	
	N280	8.11a	5.46	41	2 662.22a	
	N420	7.67a	5.10	42	2 008.89b	
	N560	6.78b	4.59	40	1 746.67b	
D3	N0	7.44c	2.62	40	1 493.33b	1.35
	N140	7.89c	4.14	40	1 764.44b	
	N280	10.83a	5.46	41	2 471.11a	
	N420	9.22b	4.69	42	2 179.26a	
	N560	9.11b	4.63	40	1 642.96b	
CK	N0	6.78d	4.37	42	2 940.30c	
	N140	8.22c	5.17	40	3 202.07c	
	N280	8.67bc	5.42	39	3 598.22b	
	N420	10.56a	5.65	41	4 076.89a	
	N560	9.67ab	5.49	40	3 686.22b	

注:同栏同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

降。在相同密度下,棉花单株铃数、单铃质量、籽棉产量随施氮量的增加出现先增加再下降的变化趋势,施氮量为 280 kg/hm<sup>2</sup> 更有利于提高单株铃数、

单铃质量和籽棉产量。

利用公式(1)得出间作系统中棉花 D1、D2、D3 不同种植密度土地当量比分别为 1.39、1.36、1.35,其土地利用效率增幅依次为 39%、36% 和 35%,表明间作模式较单作能够提高 36.7% 的土地利用率,生产优势明显。

### 3 讨论与结论

光合作用作为维持植物生命活动的能量来源,有效转化率仅为理论转化率的 25% 左右,仍有很大的进步空间,因此进一步提高光能转化率,是首先需要考虑的问题<sup>[14-15]</sup>。通过对棉花铃期光合日变化研究得出, $G_s$ 、WUE 和  $P_n$  均呈“双峰”曲线变化趋势,由于 14:00 温度和光强度偏高,导致棉花功能叶片部分气孔关闭,出现“午休”现象。与前人研究结果<sup>[16]</sup>相比,本试验光合“午休”时间延迟 2 h,可能是由于新疆与内地所处时区不同,导致光合“午休”延迟;也有研究表明植株不会出现光合“午休”现象<sup>[17]</sup>,是由于地理位置和气象条件导致。造成光合“午休”的原因包括气孔因素和非气孔因素,主要通过  $C_i$  变化趋势来判断<sup>[18]</sup>,本试验 12:00—14:00 的  $P_n$  和  $C_i$  均呈现下降趋势而  $L_s$  增加,说明  $P_n$  日变化中光合“午休”的出现主要是通过气孔因素决定。

在间作系统中各作物之间对光热、水肥等自然资源都存在竞争关系,主要表现为枣树对棉花的遮

阴影响以及 2 个作物之间的养分竞争,增加间作物密度能够有效提高间作群体的净光合速率<sup>[19]</sup>。当施氮水平处于 240 ~ 360 kg/hm<sup>2</sup> 时  $P_n$  与施氮量呈正相关关系<sup>[20]</sup>。蔡瑞国等研究表明, $P_n$  会随着施氮量的增加而增加,但是过量的氮肥又会使其呈现降低趋势<sup>[21]</sup>。本研究结果表明,间作系统中施氮量为 0 ~ 280 kg/hm<sup>2</sup> 时, $P_n$ 、 $T_r$  日变化均值总体随施氮量的增加而变大,施氮处理棉花叶片的  $P_n$ 、 $T_r$ 、WUE 日变化均值均高于不施氮处理,说明氮肥可以促进棉花的光合性能<sup>[22-23]</sup>。

叶片作为植物光合作用的重要场所,对植物的产量有重要的影响。在间作系统中枣树对棉花整个生育期都会出现不同程度的遮光影响,因此适宜的种植密度成为间作系统产量及氮肥利用率的重要因素。有效的空间分布能够调节个体与种群之间的矛盾,保持良好的通风透光条件,充分利用自然资源,提高作物产量<sup>[24-25]</sup>。前人研究表明,相对于单作,间作系统土地利用效率提高了 35%<sup>[26]</sup>,且适宜的施氮量控制在 207 ~ 310 kg/hm<sup>2</sup>,能够显著提高间作棉花单株结铃数和单铃质量,进而达到增产的效果<sup>[27]</sup>。本研究结果得出,间作系统相对于单作土地利用效率提高 36.7%,施氮量为 280 kg/hm<sup>2</sup> 时土地利用效率最高。

本试验结果表明,在枣棉间作模式中,种植密度 22 万株/hm<sup>2</sup> 和施氮量 280 kg/hm<sup>2</sup> 可以提高棉花的  $P_n$ 、 $T_r$ 、WUE 和棉花产量,使土地利用效率达到最优。

#### 参考文献:

- [1] 唐 冶,杨志华,曹占洲,等. 南疆环塔里木盆地林果种植区近 50a 气候变化特征及对果树生长的影响[J]. 农业网络信息, 2014(4): 27-31.
- [2] 王 磊. 南疆林果业发展存在的问题及对策建议[J]. 新疆林业, 2018(3): 28-31.
- [3] 王伟伟,潘存德,张翠芳,等. 枣麦间作系统中冬小麦冠层光合有效辐射时空窗影响因素研究[J]. 西南农业学报, 2018, 31(7): 1373-1378.
- [4] 孔 涛,刘紫薇,沈海鸥,等. 辽西北沙地苹果 || 大豆间作对土壤养分和微生物量分布的影响[J]. 生态学杂志, 2021, 40(2): 340-351.
- [5] 范 虹,殷 文,柴 强. 间作优势的光合生理机制及其冠层微环境特征[J]. 中国生态农业学报, 2022, 30(11): 1750-1761.
- [6] 段志平,刘天煜,张永强,等. 离树间距对枣麦间作小麦光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1445-1452.
- [7] 殷 文,柴 强,于爱忠,等. 间作小麦秸秆还田对地膜覆盖玉米灌浆期冠层温度及光合生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(23): 4764-4776.
- [8] 徐 鹏,万素梅,徐文修,等. 枣棉间作下种植方式对棉花光合特征的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(5): 68-70.
- [9] 罗宏海,张旺锋,赵瑞海,等. 种植密度对新疆膜下滴灌棉花群体光合速率、冠层结构及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 112-114.
- [10] 李伶俐,房卫平,谢德意,等. 施氮量对杂交棉光合生理特性及产量、品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1183-1189.
- [11] 段云佳,谭 玲,张巨松,等. 枣棉间作下氮素对棉花不同部位叶片生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(2): 89-94, 133.
- [12] 孙延亮,赵俊威,刘选帅,等. 施氮对苜蓿初花期光合日变化、叶片形态及干物质产量的影响[J]. 草业学报, 2022, 31(9): 63-75.
- [13] 肖万欣,刘 晶,史 磊,等. 氮密互作对不同株型玉米形态、光合性能及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3690-3701.
- [14] Bailey - Serres J, Parker J E, Ainsworth E A, et al. Genetic strategies for improving crop yields[J]. Nature, 2019, 575(7781): 109-118.
- [15] 郑友峰,陈家兰,肖 昉,等. 不同温度对苋菜光合特性及光合作用相关基因表达的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(5): 50-57.
- [16] 陈立宇,张立峰,路战远,等. 痕量灌溉对棉花花铃期光合性能日变化及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 9-16.
- [17] 艾鹏睿,马英杰. 间作模式农田小气候效应对棉花生理生态指标的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(9): 1594-1602.
- [18] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317-345.
- [19] 杜进勇,柴 强,王一帆,等. 地上地下互作强度对小麦间作玉米光合特性的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(9): 1398-1406.
- [20] 张学昕,刘淑英,王 平. 不同施肥处理对棉花生长及产量参数的影响[J]. 广东农业科学, 2018, 45(10): 61-67.
- [21] 蔡瑞国,王振林,李文阳,等. 氮素水平对不同基因型小麦旗叶光合特性和籽粒灌浆进程的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(4): 36-41.
- [22] 夏莹莹,王东雪,毛子军. 不同水、氮条件对岑溪软枝油茶叶片膜透性和相对含水量的影响[J]. 广西林业科学, 2016, 45(2): 154-158.
- [23] 孙延亮,魏孔钦,刘选帅,等. 紫花苜蓿光合日进程及光合产物分配对施磷的响应[J]. 草业学报, 2022, 31(12): 85-94.
- [24] 马国胜,薛吉全,路海东,等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247-1253.
- [25] 杨军学,罗世武,程炳文,等. 播种方式与密度互作对糜子群体冠层及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(24): 65-73.
- [26] 杨 涛,段志平,石岩松,等. 新疆枣棉间作下棉花光合特性及产量变化[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 89-94.
- [27] 段云佳. 施氮量对枣棉间作棉花生理特性、产量和品质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2012: 28-29.