

# 核(桃)麦间作系统内小气候特征的初步研究

王冀川<sup>1,2</sup>,艾买尔江·吾斯曼<sup>2</sup>,阿依谢姆古丽·玉苏普<sup>3</sup>,  
吴爱琼<sup>3</sup>,夏建华<sup>3</sup>,张栋海<sup>4</sup>

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 塔里木大学植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 3. 墨玉县种子管理站, 新疆 和田墨玉 848100;

4. 新疆生产建设兵团第三师农业科学研究所, 新疆 图木舒克市 843901)

**摘要:** 对墨玉县两种核(桃)麦间作模式小气候因素调查分析表明,小麦间作较单作成熟期推迟4~6 d,群体内CO<sub>2</sub>浓度和温度分别降低25.33~28.73 μmol·mol<sup>-1</sup>和0.23℃~0.43℃,相对湿度增加4.38~5.32个百分点,产量降低42.2%~74.5%。在间作区域内,拔节到抽穗,是核桃叶幕迅速形成期,遮荫率为52.22%~60.32%,重度遮荫率(光照强度≤1/2空地光照强度)为29.77%~34.09%,至扬花期的遮荫率最大,达52.21%~71.51%,重度遮荫率达37.15%~38.39%,并一直持续到小麦成熟,全期弱影响阶段(光照强度>1/2空地光照强度)50天左右,强影响阶段(光照强度≤1/2空地光照强度)45天左右,间作小麦群体内CO<sub>2</sub>浓度和温度大小顺序为顶部>中部>底部,距离树行越近,群体内平均CO<sub>2</sub>浓度越少,平均相对湿度越高,平均温度越低。9 m×3 m的核桃配置的综合小气候条件和产量构成优于6 m×4 m核桃配置,是值得推广的核(桃)麦间作模式。

**关键词:** 核(桃)麦间作系统;小气候;遮荫率;光照强度

**中图分类号:** S512.1;S344.2;S162.4 **文献标志码:** A

## Preliminary study on micro-climatic characteristics of walnut and wheat intercropping systems

WANG Ji-chuan<sup>1,2</sup>, Aimerjiang Wusiman<sup>2</sup>, Ayixiemuguli Yusup<sup>3</sup>,

WU Ai-qiong<sup>3</sup>, XIA Jian-hua<sup>3</sup>, ZHANG Dong-hai<sup>4</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;

3. Seed Management Station of Moyu County, Hetian, Xinjiang 848100, China; 4. Institute of Agriculture Science and Technology of the Third Division of Xinjiang Production and Construction Group, Tumisuk, Xinjiang 843901, China)

**Abstract:** The microclimate factors in two intercropping systems between walnut and wheat in Moyu County were studied. The results showed that compared with monoculture wheat, maturity of intercropped wheat was delayed by 4~5 days, CO<sub>2</sub> concentration, temperature and yield were decreased by 25.33~28.73 μmol·mol<sup>-1</sup>, 0.23℃~0.43℃ and 42.2%~74.5%, respectively, and relative humidity was increased by 4.38~5.32 percentage points. In the intercropping area, the stage from jointing to booting was the rapid formation period for walnut canopy. The shading rate reached to 60.32%~52.22% and the severe shading rate (light intensity ≤ 1/2 light intensity of open space) was 29.77%~34.09%. At the stage from flowering to maturity, the shading rate reached to 52.21%~71.51% and the severe shading rate was 37.15%~38.39%. During the full growth period, duration with the weak influence (light intensity > 1/2 light intensity of open space) was about 50 days, while duration with the strong influence (light intensity ≤ 1/2 light intensity of open space) was about 45 days. The order of CO<sub>2</sub> concentration and temperature in intercropping wheat groups was top group > middle > bottom. The closer the distance between the tree rows to observation point, the lower the average CO<sub>2</sub> concentration in wheat population, the higher the average relative humidity, and the lower the average temperature. Micro-climate condition and yield components for walnut configured with 9 m×3 m were better than

收稿日期:2015-05-30

基金项目:国家自然科学基金项目(30960188,31260303);自治区科技支撑计划项目(201331113);少数民族聚居团场(第三师51团)科技特派员科技帮扶三年行动专项(2013AA002)

作者简介:王冀川(1968—),男,河北廊坊人,教授,硕士,在读博士,主要从事作物高效生产理论与技术研究。E-mail:wjcwzy@126.com。

those configured with  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$ , a model worthy of being promoted for walnut and wheat intercropping.

**Keywords:** walnut and wheat intercropping systems; micro-climate; shade rate; light intensity

南疆位于天山以南昆仑山以北的东经  $73.5^\circ \sim 93.4^\circ$ 、北纬  $35.9^\circ \sim 42.8^\circ$  的内陆区域,为典型的温暖型荒漠气候,区内光热丰富、降雨稀少、温差较大,适合特色林果业发展。近年来,随着南疆种植业的大力调整,枣、核桃、杏、苹果、梨、巴旦杏等种植面积不断扩大,对南疆粮食产业形成了较大冲击<sup>[1]</sup>,直接造成南疆的粮食安全和社会稳定等问题。南疆是新疆最大的少数民族聚集区,长期以来形成了以小麦为主的种植业格局,为了兼顾农民增收和粮食安全,积极推广林粮间作是解决问题的关键措施之一。小麦具有早熟、矮秆的特征,适合林下间作。目前,南疆间作小麦面积已达  $54.24\text{ 万 hm}^2$ ,形成了以间作小麦为主的农林复合系统的特色种植模式<sup>[1]</sup>。

在林下间作系统中,间作小麦的生长环境产生了较大变化,林、粮对光、温、气、水、养等生长因素形成竞争关系,造成小麦生长的空间环境恶化,直接影响小麦的生长,且随着林木生长年限的增加,间作小麦生长空间环境条件越变越差,小麦产量直线下降,甚至达到绝产的境况。如何克服林下间作小麦空间小气候不利因素,充分利用间作系统中的有利因素,最大限度发挥小麦生长潜力获得高产,是目前间作区亟待解决的科学问题。

近年来,针对林下间作系统的研究主要集中在间作小麦的生长、生理特征的变化<sup>[2-3]</sup>、土壤环境<sup>[4]</sup>、水肥竞争关系<sup>[5]</sup>等方面,对间作系统中小气候的影响也主要对光分布进行了简单的研究<sup>[6]</sup>,对不同种植模式下的光、温、气的分布动态研究较少,从而对揭示小麦生长的影响特征研究造成困难,基于此,本文着重分析两种核桃种植模式下的间作系统中的光、温、气等小气候的动态变化,为间作小麦种植提供科学依据。

## 1 试验地点与条件

试验地点安排在和田地区墨玉县的喀尔赛乡,北临塔克拉玛干沙漠与阿克苏地区阿瓦提县相连,东部与兵团四十七团场部为邻,地域为东经  $79^\circ 33' \sim 79^\circ 40'$ 、北纬  $37^\circ 23' \sim 37^\circ 34'$ ,海拔高度  $1\ 298 \sim 1\ 305\text{ m}$ ,该地处于天山南麓洪水冲积扇平原地带西北部,地势较平坦,气候属暖温带干燥荒漠气候,四季分明,夏季炎热,干燥少雨,春季升温快,秋季降温快,降水量稀少,光照充足,无霜期长,昼夜温差大。

年平均气温  $11.3^\circ\text{C}$ ,1月平均气温  $-6.5^\circ\text{C}$ ,7月平均气温  $24.8^\circ\text{C}$ ,极端最低气温  $-18.7^\circ\text{C}$ ,年平均降水量为  $36 \sim 37\text{ mm}$ ,蒸发量  $2\ 239\text{ mm}$ ,无霜期  $226\text{ d}$ ,年日照时数为  $2\ 655\text{ h}$ ,日照百分率  $54.9\%$ 。本试验所在地核桃品种为温 185,小麦品种为山农 22。

## 2 调查方法

试验观察地点安排在两个村的不同树龄、不同种植配置的桃树林:赛先拜巴扎村核桃株行距配置为  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$ ,南北向种植,树龄  $6\text{ a}$ ,距离树行  $0.5\text{ m}$  处间作小麦;昆其村核桃株行距配置为  $9\text{ m} \times 3\text{ m}$ ,东西向种植,树龄  $11\text{ a}$ ,距离树行  $0.5\text{ m}$  处间作小麦。小麦在 2013 年 10 月 3 日播种,  $15\text{ cm}$  等行距条播,播量  $227.5\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

在小麦不同生育阶段,对间作区域内按照《农田气象观测规范》<sup>[7]</sup>的规定测定并记录各项小气候指标。方法如下:以间作小麦带宽的一半( $R$ )为测量区域长度,以树株距的一半( $r$ )为测量区域宽度,在  $R$  长度上每间隔 4 行小麦、在  $r$  长度上每间隔  $50\text{ cm}$  确定监测点(如图 1),以单作麦田为对照。每个测定于晴天无风的中午北京时间  $12:00 \sim 14:00$ ,用 GLA-C 光量子计和 SENTRY 台湾先驰 ST-303 二氧化碳检测仪测定小麦群体底部、中部、顶部(按照群体自然高度,平均分点)的光照强度( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )、 $\text{CO}_2$  浓度、温度和湿度等。成熟期每点连续测定 15 穗,包括穗粒数、粒质量等。每个调查行内数取  $1.1\text{ m}$  内小麦的有效穗数再乘以  $60000$  作为每公顷收获穗数,最后割取各调查行内(赛先拜巴扎村点割取行长为  $2\text{ m}$ ,昆其村点为  $1.5\text{ m}$ )麦穗脱粒计实产。

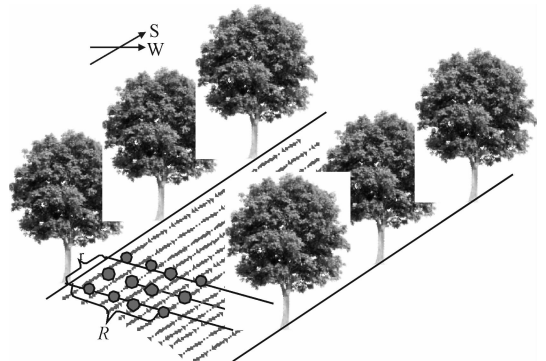


图 1 林下观测取点示意图

Fig. 1 Schematic of observation points in intercropping wheat field

采用 SPSS13.0 统计软件对试验数据进行统计分析。用 Sigmaplot10.0 和 Microsoft Excel 2003 软件作图。

### 3 结果分析

#### 3.1 间作系统作物物候期分布

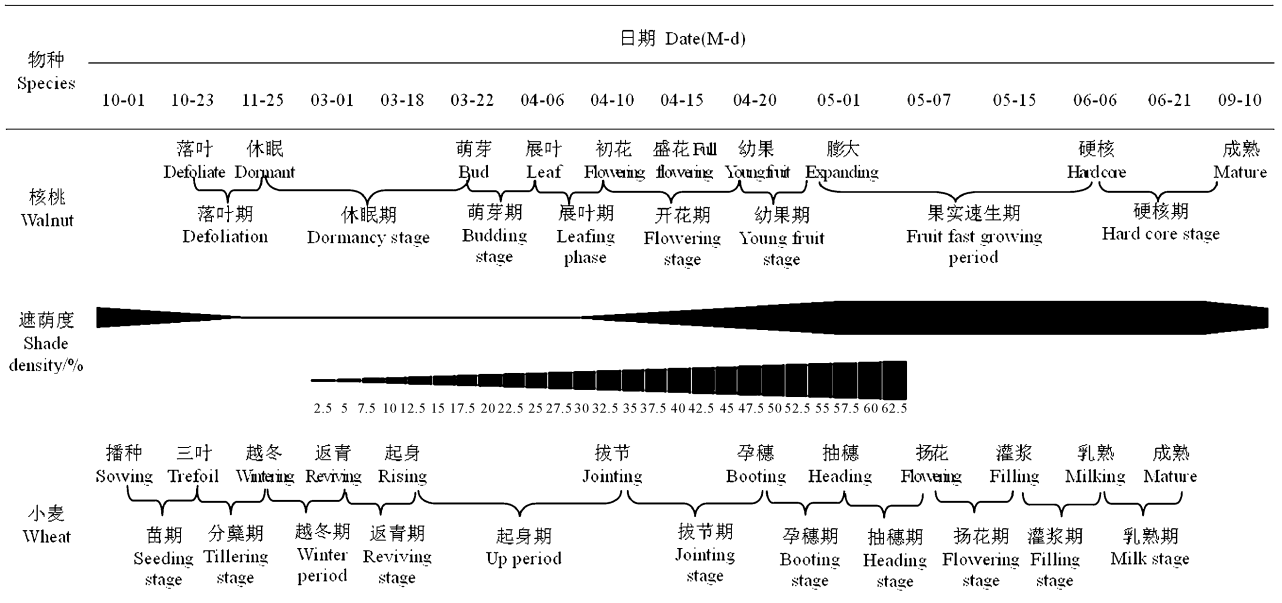
对试验点核桃、小麦按照《中国物候观测方法》<sup>[8]</sup>要求进行物候期观测,结果见表 1。

小麦在 10 月 3 日播种,到 10 月 8 日出苗,此时,核桃开始成熟,树叶逐渐变黄;在小麦三叶期(10 月 23 日)时,核桃开始落叶,至 11 月中旬入冬前树叶落尽,小麦在 11 月底进入越冬,第二年 3 月 6 日开始返青,3 月 18 日起身,在起身中期(3 月 22 日)核桃开始萌芽裂芽,4 月初进入展叶期,当小麦拔节时(4 月 10 日)核桃开始开花,叶幕出现,小麦孕穗期(4 月 20 日至 5 月初),对应核桃幼果期,核桃叶幕开始形成,从小麦抽穗(5 月 1 日)到乳熟期(6 月 6 日),需经历扬花(5 月 7 日)和灌浆(5 月 15 日),此

阶段核桃处于果实速生期,树冠最大;从小麦乳熟到成熟(6 月 21 日)是核桃硬核生长,至 10 月 9 日左右果实成熟。在间作系统中,小麦冬前生育阶段,受到核桃叶幕的一定影响,但影响不大;从核桃展叶开始,到叶幕基本形成,小麦处于起身拔节期,受到影响逐渐增加;从抽穗到成熟,是小麦生长的关键时期,也是核桃叶幕最茂盛时期,对小麦的影响也最大。核桃叶幕对小麦产生影响的时间为:10 月上旬(出苗)至 11 月上旬(分蘖)和 4 月上旬(拔节)至 5 月初(抽穗)为弱影响阶段(光照强度 > 1/2 空地光照强度),计 50 天左右;5 月上旬(扬花)至 6 月下旬(成熟)为强影响阶段(光照强度 ≤ 1/2 空地光照强度),计 45 天左右,占小麦生育期总天数(不包括越冬期)的 28%左右。间作对小麦的生育进程有一定影响,与单作麦田相比,其扬花期推迟 1~2 天,灌浆期推迟 2~3 天,成熟推迟 4~6 天,其中 6 m × 4 m 模式点小麦生育进程推迟天数较多。

表 1 小麦、核桃物候动态

Table 1 The phenology dynamic of wheat and walnut



#### 3.2 间作系统内光照强度分布动态

对间作系统内按照图 1 的定点于 4 月 5 日(核桃展叶,小麦起身期)、4 月 29 日(核桃幼果期,小麦孕穗期)、5 月 6 日(核桃果实速生期,小麦扬花)、5

月 17 日(核桃膨果期,小麦灌浆期)进行光照强度测定,对所测数据进行归一化处理(组内各数据与组内最大数据之比),以便于不同时期数组的统一比较,结果如图 2、表 2。

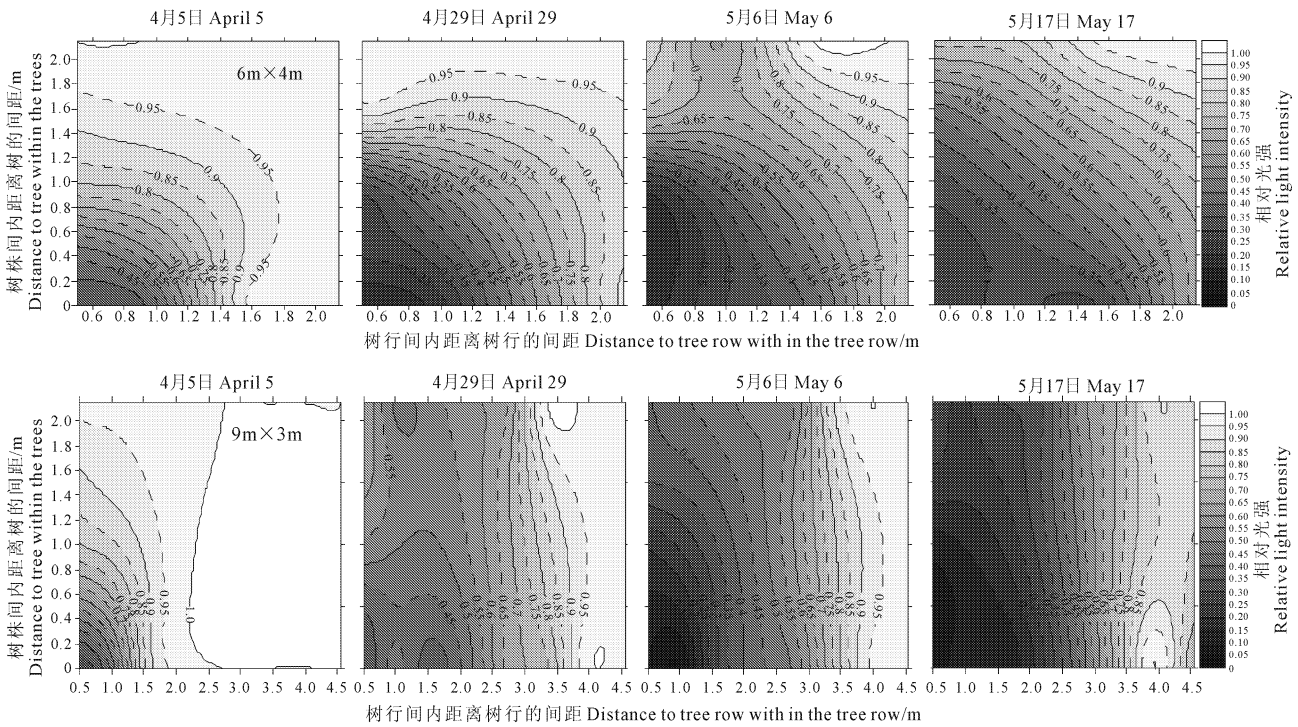


图 2 不同时间间作系统内相对光强分布动态

Fig.2 Dynamic distribution of relative light intensity in the intercropping systems on different days

表 2 不同时间间作系统内光分布参数

Table 2 Light distribution parameters of intercropping systems on different days

模式 Model	日期 Date (M - d)	株间距阴影距离 Shadow distance in tree spacing /m	行间距阴影距离 Shadow distance in tree row spacing/m	遮荫面积 Shaded area /(m <sup>2</sup> ·tree <sup>-1</sup> )	严重遮荫面积 Severe shading area /(m <sup>2</sup> ·tree <sup>-1</sup> )	遮荫率 Shading rate /%	严重遮荫率 Severe shading rate /%	平均相对光强 Average relative light rate
6 m × 4 m	04 - 05	1.01	1.45	4.60	1.62	19.17	6.74	0.81
	04 - 29	1.62	1.88	9.57	5.15	39.87	21.45	0.66
	05 - 06	2.10	2.25	14.48	7.14	60.32	29.77	0.57
	05 - 17	2.13	2.66	17.16	9.21	71.51	38.39	0.42
	平均 Mean	1.72	2.06	11.45	5.78	47.72	24.09	0.62
	CV/%	30.61	25.08	48.42	55.94	48.42	55.94	26.29
9 m × 3 m	04 - 05	1.21	1.55	5.89	1.27	21.82	4.70	0.87
	04 - 29	2.02	2.45	10.87	8.57	40.24	31.72	0.69
	05 - 06	2.48	4.11	14.10	8.87	52.22	34.09	0.60
	05 - 17	2.51	4.20	14.10	9.28	52.21	37.15	0.47
	平均 Mean	2.06	3.08	11.24	7.00	41.62	26.91	0.66
	CV/%	29.50	42.17	34.49	54.73	34.49	55.64	25.99

注:1. 设每棵树的遮荫面积为短轴  $a$ 、长轴  $b$  的标准椭圆, 树间距为  $c$ , 则田间每棵树的遮荫面积 = 椭圆面积 - 重叠面积, 其中重叠面积 ( $S$ ) 计算如下:

Note: 1. Assume each tree's shaded area being a standard ellipse with the short axis  $a$  and long axis  $b$ , the shaded area per tree is equal to the ellipse area minus overlap area which is calculated as follows:

$$S = 4 \times \left( \frac{a \times b \times \arccos\left(\frac{c}{2a}\right)}{2} - \frac{c \times b \times \sqrt{a^2 - \frac{c^2}{4}}}{4a} \right)$$

2. 平均相对光强: 均匀分布观测点的光照强度占最高光照强度比例的平均值, 表示间作区域内平均受光度。

Note: 2. Average relative light rate was represented by the rate of light intensity of uniform distribution observation points to highest light intensity.

从图中可以看出,随时间推移,核桃叶幕增加,遮荫面积扩大。在核桃展叶期,系统内遮荫面积较小,遮荫率仅为 19.17%~21.82%,严重遮荫(光照强度 $\leq 1/2$ 空地光照强度)率为 4.70%~6.74%,主要是干枝遮荫;从核桃幼果期开始至果实速生期的一周内(小麦拔节—孕穗),核桃叶幕迅速形成,遮荫面积快速扩大,6 m $\times$ 4 m 模式(赛先拜巴扎村点)的遮荫纵横宽度从 1.62 m $\times$ 1.88 m 增加到 2.10 m $\times$ 2.25 m,遮荫率从 39.87% 增加到 60.32%,重度遮荫宽度从 1.13 m $\times$ 1.45 m 增加到 1.33 m $\times$ 1.71 m,重度遮荫率从 21.45% 增加到 29.77%;9 m $\times$ 3 m 模式(昆其村点)的遮荫纵横宽度从 2.02 m $\times$ 4.45 m 增加到 2.48 m $\times$ 4.11 m,遮荫率从 40.24% 增加到 52.22%,重度遮荫宽度从 1.88 m $\times$ 2.13 m 增加到 2.58 m $\times$ 2.34 m,重度遮荫率从 31.72% 增加到 34.09%;系统内遮荫度的增加一直持续到果实膨胀期,此时,遮荫率达到高峰,6 m $\times$ 4 m 模式的遮荫率达 71.51%,严重遮荫率 38.39%,9 m $\times$ 3 m 模式的遮荫率达 52.21%,严重遮荫率 37.15%。系统内的平均相对光照强度也随时间推进呈下降趋势,下降特点与遮荫率类似,但 9 m $\times$ 3 m 模式略高于 6 m $\times$ 4 m 模式。

从遮荫率变化动态看,赛先拜巴扎村点核桃叶幕形成速度快,遮荫率较高,这主要因为该点核桃为 6 m $\times$ 4 m 模式,种植密度较高(416.7 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ ),树

龄较小(6 a)树势强,而昆其村点的遮荫率不及赛先拜巴扎村点,主要是因为该点虽然树龄大(11 a),但由于种植为 9 m $\times$ 3 m 模式,密度较小(370.5 株 $\cdot$ hm $^{-2}$ ),株间遮荫严重叠高,总的遮荫面积并未增加。另外,该点的核桃株间向遮荫宽度较高,这也与较宽行距有关。

### 3.3 间作小麦群体内 CO<sub>2</sub> 浓度分布

小麦灌浆初期(5 月 17 日)对不同观测点间作小麦群体内 CO<sub>2</sub> 浓度测定值列于表 3,可以看出,小麦群体内 CO<sub>2</sub> 浓度大小为顶部>中部>底部,说明越靠近群体内部,其通风性变差,CO<sub>2</sub> 光合同化消耗较重,这与单作麦田群体内 CO<sub>2</sub> 分布特征一致(其顶部、中部和下部分别为 354.7  $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$ 、350.7  $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$ 和 341.7  $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$ ),但间作麦田群体内 CO<sub>2</sub> 浓度的平均值较单作麦田低 25.33~28.73  $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$ ;间作小麦距离树行越近,群体内平均 CO<sub>2</sub> 浓度减少,且越深入群体内部,其顶部、中部和底部的值之间变异越大,说明越靠近树行,冠层通风性越差,加之与核桃进行 CO<sub>2</sub> 光合同化竞争,造成靠近树行的小麦生理性能下降<sup>[3]</sup>。不同观测点之间,与 6 m $\times$ 4 m 模式相比,9 m $\times$ 3 m 模式下靠近树行的麦行内 CO<sub>2</sub> 浓度略小、远离树行的麦行内 CO<sub>2</sub> 浓度略大,但总的平均 CO<sub>2</sub> 浓度略大于 6 m $\times$ 4 m 模式,说明其系统内 CO<sub>2</sub> 气体环境优于 6 m $\times$ 4 m 模式。

表 3 不同间作模式下小麦群体内 CO<sub>2</sub> 浓度/( $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$ )

Table 3 CO<sub>2</sub> concentration in wheat groups under different intercropping models

距离树行间距 Distance to tree row/m	麦行 Wheat line	6 m $\times$ 4 m					9 m $\times$ 3 m				
		顶部 Top	中部 Central	底部 Lower	平均 Mean	CV /%	顶部 Top	中部 Central	底部 Lower	平均 Mean	CV /%
0.5	1	310.5	296.6	270.3	292.45	6.99	302.8	292.5	260.2	285.17	7.81
0.95	4	329.5	319.3	293.8	314.19	5.86	324.0	316.5	294.0	311.50	5.01
1.55	8	338.0	309.4	314.8	320.73	4.74	329.0	314.0	309.5	317.50	3.22
2.15	12	340.5	342.5	327.7	336.91	2.39	340.7	322.0	319.0	327.23	3.59
2.75	16	342.1	338.7	330.9	337.23	1.70	346.0	329.6	323.8	333.13	3.46
3.35	20						349.1	336.6	319.7	335.13	4.40
3.95	24						344.2	340.3	329.7	338.07	2.22
4.55	28						348.8	343.1	333.9	341.93	2.20
平均 Mean		332.12	321.30	307.49	320.30	4.33	335.58	324.33	311.22	323.71	3.99
CV/%		3.92	6.05	8.27	5.79		4.80	5.17	7.73	5.77	

### 3.4 间作小麦群体内相对湿度分布

灌浆初期小麦群体内相对湿度分布见图 3,平均值及变异系数列于表 4,可知,距离树行较近和较远的麦行群体内湿度大小顺序为底部>中部>顶部,而距离树行中间距离(6 m $\times$ 4 m 模式点第 4~12

行,9 m $\times$ 3 m 模式点第 12~24 行小麦)的群体内湿度大小顺序为中部>底部>顶部,说明此段范围内小麦群体光热分布较合理,底部水分的蒸发聚集在中部,有利于小麦茎叶生理活动,9 m $\times$ 3 m 模式点间作小麦这段面积距离树行较远(与较大树龄有

关),范围较宽(与较大树行距有关),虽然总的平均相对湿度略低于 6 m×4 m 模式点,但其系统内相对湿度变异系数较大(达 41.29%),说明此种植模式对间作系统内小麦群体内湿度的改善程度更高。另外,距离树行越远,冠层内平均相对湿度越低,如树

下第一行小麦群体内的相对湿度为 38.9%~39.1%,而树下第 16 行小麦群体内的相对湿度下降到 33.4%~36.2%,这主要与树行间光照较充足有关。总的来看,间作小麦群体内的平均相对湿度要高出单作 4.38~5.32 个百分点。

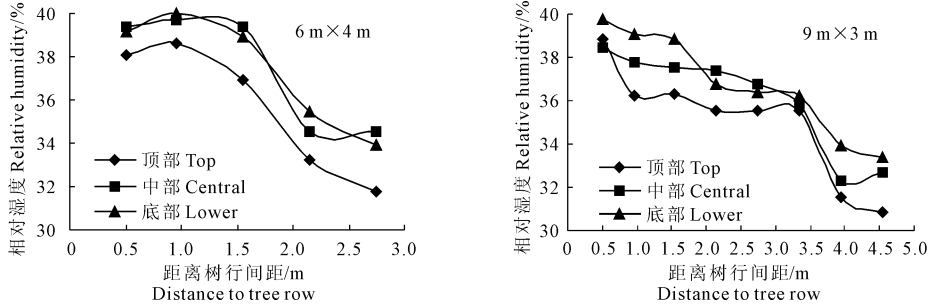


图 3 各点间作小麦群体内相对湿度分布

Fig.3 Distribution of relative humidity in the intercropped wheat

表 4 间作小麦群体内温度、相对湿度分布的平均值及变异系数

Table 4 Means and coefficients of variations for temperature and relative humidity in the intercropped wheat group

模式 Model	项目 Item	相对湿度 Relative humidity/%					温度 Temperature/°C				
		顶部 Top	中部 Central	底部 Lower	平均 Mean	CV /%	顶部 Top	中部 Central	底部 Lower	平均 Mean	CV /%
6 m×4 m	平均 Mean	35.74	37.51	37.50	36.92	2.91	27.64	27.53	27.23	27.47	0.82
	CV/%	8.52	7.19	7.05	7.52	37.80	2.17	2.30	2.46	2.28	41.77
9 m×3m	平均 Mean	35.03	36.11	36.80	35.98	2.78	27.55	27.25	27.01	27.27	1.03
	CV/%	7.51	6.51	6.39	6.67	41.29	2.31	1.52	1.04	1.60	66.40
单作 Monoculture		30.70	30.90	33.10	31.60	4.21	28.20	27.80	27.20	27.70	1.82

3.5 间作小麦群体内温度分布

对间作小麦冠层内温度分析表明(图 4),距离树行越远,冠层内平均温度越高,如距离树行第一行小麦冠层内平均温度为 27.0°C 左右,至第 16 行小麦时温度增至 27.3°C~28.3°C;冠层不同部位温度大小表现为顶部>中部>下部。9 m×3 m 模式的平均温度略低于 6 m×4 m 模式,而其温度变异系数为

66.4%,高于 6 m×4 m 模式的 41.8%,说明该模式下对间作小麦冠层温度影响较大,这可能与 9 m×3 m 模式下遮荫率较小有关,由于遮荫面积内的冠层温度较低,未遮荫面积的冠层温度较高,较小的遮荫率造成间作小麦群体内温度空间分布的不均匀性增加。另外,与单作相比,间作小麦群体内平均温度要低 0.23°C~0.43°C。

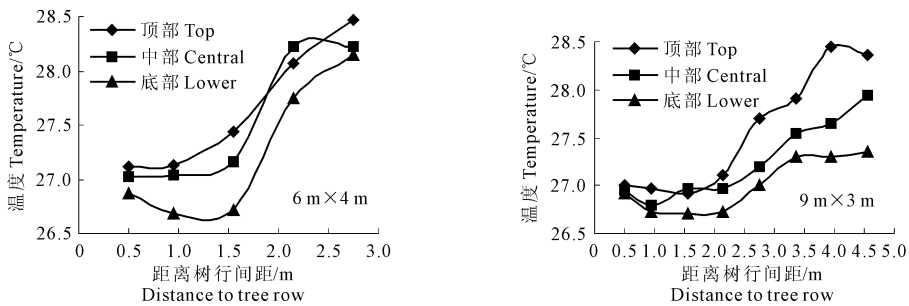


图 4 各点间作小麦群体内温度分布

Fig.4 Distribution of temperature in the intercropped wheat group

3.6 间作小麦产量结构特征

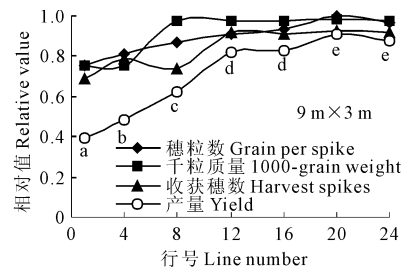
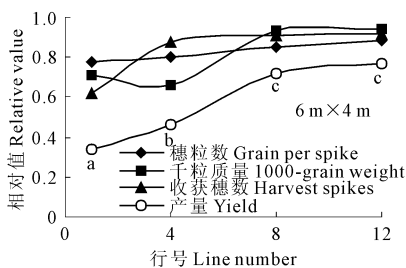
为便于比较,对间作小麦产量构成数据除以相

应单作数据得到相对值见图 5,可知,随着到树行距离的增加,穗粒数呈直线增加趋势,而粒重和收获穗

数在  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  模式的 1~8 行(近树区)、 $9\text{ m} \times 3\text{ m}$  模式的 1~12 行(近树区)内呈波动增加趋势,在  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  模式的 8~12 行(远树区)和  $9\text{ m} \times 3\text{ m}$  模式的 12~24 行(远树区)内呈平缓增加趋势;同时,近树区小麦平均相对产量为 0.5070~0.5781,显著低于远树区的 0.7708~0.8692。远树区较近树区相对产量提高了 77.08%~86.92%,说明近树区是间作小麦产量构成的主要受影响区域,对产量起到主导的影响作用。

从各因素变异系数上看(表 5),穗粒数为 5.95%~9.75%,千粒质量为 11.97%~18.40%,收获穗数为 12.00%~17.15%,两种模式的产量构成因素变异系数的平均值大小顺序为千粒质量 > 收获穗数 > 穗粒数;与单作小麦比较结果上看,间作小

麦的平均穗粒数较单作减少 12.1%~20.6%,千粒质量减少 9.4%~23.5%,收获穗数减少 18.9%~20.4%,籽粒质量较少幅度最大,表明间作重点影响籽粒物质积累。另外,间作对收获穗数影响也较大,这可能与随着核桃树盘加宽和叶幕形成的时间有关,此期正值分蘖转化高峰期,间作遮荫加快了分蘖死亡率,导致分蘖成穗率严重下降,造成收获穗数下降。从产量数据上看,间作小麦平均单产较单作减少了 42.2%~74.5%,其中,越靠近树行,其减幅越大。两种间作模式中, $9\text{ m} \times 3\text{ m}$  的产量构成因素减幅较之  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  的要小,其千粒质量和收获穗数明显高于  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  点,平均单产较  $6\text{ m} \times 4\text{ m}$  模式点增加 22.67%,表明  $9\text{ m} \times 3\text{ m}$  模式是值得推广的间作模式。



注:产量数据标记下不同小写字母表示不同麦行间差异达显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters below the yield data marker meant significant difference among wheat lines at 0.05 level

图 5 各点不同麦行产量构成相对值分布

Fig. 5 Distribution of yield component relative value in different wheat lines

表 5 不同间作模式下小麦产量构成因素比较

Table 5 Comparison of wheat yield components under different intercropping modes

模式 Pattern	穗粒数 Grains per spike		千粒质量 1000-grain weight		收获穗数 Harvest spikes		产量 Yield	
	平均/粒 Mean	CV /%	平均/g Mean	CV /%	平均 Mean /( $10^4$ spikes $\cdot$ $\text{hm}^{-2}$ )	CV /%	平均/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) Mean	CV /%
$9\text{ m} \times 3\text{ m}$	20.29	9.75	41.38	11.97	615.99	12.00	5303.37	29.06
$6\text{ m} \times 4\text{ m}$	18.85	5.95	36.71	18.40	608.30	17.15	4323.11	35.99
单作 Monoculture	22.74		45.31		732.30		7545.25	

## 4 结论与讨论

1) 一般认为<sup>[9]</sup>,从核桃叶幕形成到小麦成熟期是影响的关键期,大约 55 d 左右,但实际上,除了小麦起身拔节期间,核桃处于休眠期,小麦生长基本不受到影响外,其余时间小麦均受到不同程度的影响,冬前的出苗至分蘖期(核桃叶幕衰落期)和早春的返青至抽穗(核桃叶幕形成期),为弱影响阶段,约 50 天左右,小麦抽穗至成熟为强影响阶段,约 45 天左右。

2) 核桃为疏生高冠型落叶乔木,其树冠透光率为 17%~25.6%<sup>[10]</sup>,由于树冠叶幕在空间上的分布

不同,造成投影内光强分布不同。在 5 月 6 日前后(扬花),核桃叶幕基本形成,遮荫面积迅速扩大,遮荫率达 60.32%~52.22%,重度遮荫率达 29.77%~34.09%,到 5 月 17 日左右(灌浆),遮荫率达 52.21%~71.51%,重度遮荫率达 37.15%~38.39%,并一直持续到小麦成熟,此值要高于张立宇等<sup>[6]</sup>的研究结果,这可能与不同核桃种植配置有关。系统内的平均相对光照强度也随时间呈下降趋势,下降特点与遮荫率类似。

3) 与单作相比,间作能降低小麦群体内的温度,增加相对湿度,改善了小麦生长环境条件,这与

乔旭等<sup>[11]</sup>的研究结果一直,但间作小麦群体内 CO<sub>2</sub> 浓度有所下降,这对小麦光合同化作用不利。距离树行越近,群体内平均 CO<sub>2</sub> 浓度减少,平均相对湿度越高,平均温度越低,这可能与树木能降低环境风速、林粮的 CO<sub>2</sub> 同化竞争和林下遮荫影响温湿度等有关<sup>[12]</sup>。

4) 近树区产量显著低于远树区,是引起间作小麦产量降低的主要原因,这主要与近树区入射的光合有效辐射量不足造成叶片光合性能下降有关<sup>[13]</sup>。间作对小麦产量构成因素影响的大小顺序为千粒质量 > 收获穗数 > 穗粒数,这与黄学芹等<sup>[14]</sup>的研究结果不同,可能与间作区域的土壤质地、管理水平有关<sup>[15]</sup>。

5) 与 6 m × 4 m 模式相比,9 m × 3 m 模式下间作小麦冠层的平均光照度和 CO<sub>2</sub> 浓度略高,而平均遮荫度、平均相对湿度和平均温度略低,单产也较之增加 22.67%,说明其综合小气候条件优于 6 m × 4 m 模式点,是值得推广的核(桃)麦间作模式。

#### 参考文献:

- [1] 李 婷. 新疆粮食安全及供需状况分析[J]. 新疆社科论坛, 2014, (4): 51-56.
- [2] 乔 旭, 赵 奇, 雷钧杰, 等. 核桃—小麦间作对小麦生长发育及产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(4): 734-738.

- [3] 张宏芝, 陈兴武, 雷钧杰, 等. 施氮量对枣麦间作小麦光合速率、光合物质积累及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(12): 2157-2162.
- [4] 祁 通, 耿庆龙, 孙九胜, 等. 新疆枣—麦间作系统土壤养分空间分布特征[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(11): 1990-1995.
- [5] 赵 英, 张 斌, 王明珠. 农林复合系统中物种间水肥光竞争机理分析与评价[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1792-1801.
- [6] 张立宇, 董玉芝, 陈 虹, 等. 核(桃)农间作系统小气候水平分布特征研究[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(3): 5-10.
- [7] 段落溪, 姜会飞. 农业气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [8] 宛敏渭, 刘秀珍. 中国物候观测方法[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [9] 张立宇. 核(桃)农间作系统小气候效应的研究[D]. 新疆乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.
- [10] 安 煜. 核桃与小麦套作效应的调查研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [11] 乔 旭, 雷钧杰, 陈兴武, 等. 核麦间作系统小气候效应及其对小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 540-544, 554.
- [12] 汪殿蓓, 陈飞鹏, 暨淑仪, 等. 我国农林复合系统的实践与发展优势[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(6): 418-420, 460.
- [13] 张宏芝, 陈兴武, 赵 奇, 等. 不同果麦间作模式下冬小麦冠层光分布和光合速率研究[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1799-1805.
- [14] 黄学芹, 董玉芝, 朱小虎, 等. 核桃与小麦间作系统中小麦产量的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 181-185.
- [15] Odhiambo H O, Ong C K, Deans J D, et al. Roots, soil water and crop yield: tree crop interactions in a semiarid agroforestry system in Kenya[J]. Plant and Soil, 2001, 235: 221-233.

(上接第 102 页)

从以上分析可以看出, N30 和 20 万株·hm<sup>-2</sup> 产量最高, 其次为 N45 和 15 万株·hm<sup>-2</sup> 组合, 但两个组合之间的产量差异很小(仅相差 1.1 kg·hm<sup>-2</sup>), 而 N45 的处理下有利于蛋白质和脂肪的积累, 综合种植的经济效益和品质分析, N45 和 15 万株·hm<sup>-2</sup> 的组合最优, 既能获得较高的产量, 又能获得较好的商品品质和营养品质。

#### 参考文献:

- [1] 陈云波, 赵卫敏, 桂 梅, 等. 种植密度对水城白芸豆产量和品质的影响[J]. 种子, 2008, 27(3): 67-70.
- [2] 王 强, 张亚芝, 魏淑红, 等. 黑龙江省芸豆生产现状与产业化发展[J]. 中国种业, 2008, (4): 11-12.
- [3] 畅建武, 郝晓鹏, 王 燕, 等. 红芸豆氮磷钾肥效试验研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 108-113.
- [4] 孙学映, 朱体超, 陈光蓉, 等. 种植密度和施肥对矮生芸豆产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(13): 3167-3170.
- [5] 宋谨同. 氮肥用量对芸豆氮代谢关键酶活性及产质量影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.

- [6] 宋谨同, 赵宏伟. 氮肥用量对芸豆淀粉含量及产量的影响[J]. 作物杂志, 2010, (5): 76-79.
- [7] 杨 亮, 赵宏伟, 宋谨同, 等. 氮肥用量对芸豆叶绿素含量和子粒营养品质影响的研究[J]. 作物杂志, 2013, (1): 81-87.
- [8] 高运青, 徐东旭, 尚启兵, 等. 华北高寒区施肥量对芸豆产量和经济效益的影响[J]. 河北农业科学, 2012, 16(8): 28-30.
- [9] 刘建国, 李俊华, 翟孟茹, 等. 行距配置与密度对奶花芸豆群体冠层结构及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, (10): 147-149, 191.
- [10] 祝宝林. 黑龙江垦区食用豆类新品种简介[J]. 现代化农业, 2002, (10): 22-23.
- [11] 于晓秋. 芸豆高产栽培综合农艺措施数学模型的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14(4): 22-24.
- [12] 乔秀平. 不同施氮水平对芸豆产量的影响[J]. 山西农业科学, 2014, 42(7): 694-696, 703.
- [13] 刘文钰, 雍太文, 刘小明, 等. 减量施氮对玉米—大豆套作系统中大豆根瘤固氮及氮素吸收利用的影响[J]. 大豆科学, 2014, 33(5): 705-712.
- [14] 杨广东, 张亚芝, 魏淑红, 等. 种植密度对粒用芸豆的产量及商品品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2012, (12): 24-26.