

绿洲灌区小麦间作玉米的棵间蒸发及其主要影响因子

陈 珩, 郑立龙

(甘肃省农业科学院农业经济与信息研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过研究绿洲灌区小麦间作玉米的棵间蒸发, 确定其主要影响因子。结果表明, 土壤含水量、土壤温度、叶面积指数及小麦留茬覆盖等均为影响棵间蒸发的主要因子, 间作比单作棵间蒸发量高出 3.3%~4.1%, 留茬可降低棵间蒸发 3.7%, 也可提高土壤温度 2.1~2.5 °C。在不同供水水平的单作玉米各处理中, 表层土壤含水量随供水量的增大而增大, 棵间蒸发总量也随供水量的增大而增大。同一供水水平下, 高茬收割小麦间作玉米群体的棵间蒸发量和蒸发总量低于小麦间作玉米群体。

关键词: 绿洲灌区; 间作; 供水水平; 土壤含水量; LAI; 地温

中图分类号: S513; S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2018)11-0079-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2018.11.023

Evaporation of Wheat/Corn Intercropping and Its Main Impact Factors in Oasis Irrigation Areas

CHEN Heng, ZHENG Lilong

(Institute of Agricultural and Economic Information, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The evaporation of wheat/corn intercropping in oasis irrigation area was studied, and the main influencing factors were determined. The results showed that soil moisture, soil temperature, leaf area index and wheat stubble mulching are the main factor influencing evaporation. The evaporation of intercropping was 3.3%~4.1% higher than that of the single cropping, the stubble could reduce the evaporation of intercropping by 3.7% and increase the soil temperature by 2.1~2.5 °C. In different water supply levels of corn monoculture, the topsoil moisture and evaporation increased with water supply capacity. Under the same water supply level, the evaporation of wheat/corn intercropping with high stubble harvesting of wheat was lower than regular wheat/corn intercropping.

Key words: Oasis Irrigation Areas; Intercropping; Water level; Soil moisture; LAI; Ground temperature

间套作是我国农业生产的重要组成部分, 它是一种集约化生产技术, 它通过技术和劳力的密集投入, 在有限的土地上获得更多的农产品, 从而实现农业的高产高效^[1]。合理的间套作可以比单作增产 30%~50%以上, 部分增产在 100%以上^[2]。小麦玉米间作套种是一种巧用生长季节和空间, 充分利用地力和热量资源, 改善群体环境的良好种植方式。但是小麦/玉米带田也是一种高耗水的栽培方式, 水资源严重不足、蒸发强烈使我国北方地区的应用面临越来越大的挑战。

甘肃河西地区自 20 世纪 70 年代引进小麦间

作玉米等间作种植模式, 创造了“吨粮”、“双千”等高产高效多熟种植模式, 在粮食安全和提高农业效益中做出了巨大贡献。但是, 随水资源供给量的不断下降和其它产业需水量的不断增大, 现有的单位耕地配水量已难以支撑传统间作模式的应用, 间作节水理论和技术研究亟待开展。我们于 2017 年对在不同供水水平和小麦不同留茬方式下, 对比研究了小麦间作玉米与单作小麦、单作玉米的棵间蒸发特性, 并对棵间蒸发量与土壤含水量、土壤温度和作物叶面积指数的关系进行了探讨, 以期设计高效间作节水技术提供科学依

收稿日期: 2018-06-12

作者简介: 陈珩(1970—), 男, 河北宁晋人, 助理研究员, 主要从事农业经济与信息研究工作。联系电话: (0931)7614994。

据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

指示小麦品种为宁春 4 号, 指示玉米品种为沈单 16 号。

1.2 试验区概况

试验于 2016 年 3—10 月在位于甘肃河西走廊东端的甘肃省武威市凉州区黄羊镇甘肃农业大学试验农场进行。属于灌溉区, 地处北纬 37° 3′、东经 103° 3′, 平均海拔 1 776 m。年均降水量 160 mm, 且主要集中在 7—9 月份。年均蒸发量为 2 400 mm, 干燥度为 5.85, 年均气温 7.2 °C。≥0 °C 年均积温为 3 513.4 °C, ≥10 °C 年均积温为 2 985.4 °C, 年均日照时数 2 945 h。试验地地势平坦、土层深厚、肥力中上、土质疏松、排灌方便, 土壤质地为砂壤土。耕层土壤含有有机质 35.2 g/kg、全氮 2.68 g/kg、速效氮 30 mg/kg、有效磷含量 234 mg/kg、速效钾含量 476 mg/kg、全盐含量 2.7 g/kg, pH 7.8。前茬小麦。

1.3 试验设计

试验共设 12 个处理, 试验处理代码见表 1。试验随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 25.6 m², 小区间留走道 40 cm。

表 1 小麦间作玉米棵间蒸发试验处理代码^①

单作小麦	单作玉米	小麦间作玉米	高茬收割小麦间作玉米
W ₁	C ₁	W ₁ /C ₁	W ₂ /C ₁
W ₂	C ₂	W ₁ /C ₂	W ₂ /C ₂
W ₃	C ₃	W ₁ /C ₃	W ₂ /C ₃

① W 为小麦, I 为灌水量, C 为玉米, W/C 为间作。

单作小麦平作: 播种密度为 675 万粒/hm², 分行种植, 行距 12 cm, 露地条播。

单作玉米平作: 播种密度为 5 500 株/hm², 行距 40 cm, 株距 30 cm, 覆膜栽培。

小麦间作玉米: 小麦带宽 80 cm、种 6 行, 行距 12 cm, 播种密度为 375 万粒/hm²。玉米带宽 80 cm、种 2 行, 密度 52 500 株/hm², 行距 40 cm、株距 24 cm, 玉米采用覆膜栽培。高茬收割小麦处理中, 小麦留茬 30 cm。

施肥量与当地水平相当, 灌水量在单作小麦中分为 3 600、4 050、4 500 m³/hm² 3 个梯度, 单作玉米中分为 5 250、5 700、6 150 m³/hm² 3 个梯度,

小麦间作玉米中分为 6 000、6 600、7 200 m³/hm² 3 个梯度。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 棵间蒸发量(*E*) 小麦棵间土壤蒸发量用自制的 PVC 微型蒸发器取小区原状土测定, 其高度为 15 cm、内口径为 11 cm, 每小区安装 1 个, 用精度为 0.01 g 的 LP3102 型电子天平每天称重, 以计算土壤棵间蒸发量。微型蒸发器中土样每减少 1 g 相当于蒸发水分 0.105 1 mm。每 10 d 测定 1 次, 于 7:00 时取样, 2~3 d 后更换其中的土, 使其与大田的土壤水分一致, 下雨或灌水后加测。

1.4.2 土壤含水量 作物播种前测定基础含水量。作物生长期每隔 20 d 测定 1 次 0~20 cm 表层土壤含水量、20~150 cm 土层的土壤含水量, 作物收获后加测 1 次。

1.4.3 土壤温度 用地温计分 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 6 个层次测定。于每天 8:00 时、14:30 时、18:30 时记录数据, 每 5 d 测 1 次。小麦间作玉米模式中分小麦带、玉米带、小麦玉米交错带分别测定

1.4.4 叶面积指数 定期观测小麦的株高和叶面积。小麦定期在边三行随机取 10 株测定单株叶面积。玉米定期(不同生育期)在小区内随机取 5 株测定叶面积。叶面积的测定均采用长宽系数法。叶面积指数(LAI)用下式计算

$$LAI=0.83\rho\cdot\sum_{i=1}^n(a_i\times b_i) \quad (\text{小麦})$$

$$LAI=0.75\rho\cdot\sum_{i=1}^n(a_i\times b_i) \quad (\text{玉米})$$

其中, ρ 为作物种植密度、 a 和 b 分别为叶片的长和宽, i 为叶片个数。

1.5 数据处理

所得数据用 EXCEL 进行整理汇总; 用 SPSS 19.00 统计软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理的作物棵间水分蒸发量

2.1.1 不同处理各生育期内的日棵间蒸发量 不同处理作物各生育期内的土壤水分日棵间蒸发量如图 1。分析发现, 种植模式对作物生育期日平均棵间蒸发量的效应极显著($P<0.01$), 灌水水平对作物生育期日平均棵间蒸发量的效应显著($P<0.05$), 种植模式与灌水水平的互作效应不显著($P>0.05$)。

以单作小麦、单作玉米日棵间蒸发量的加权平均为对照，比较间作与单作日棵间蒸发量差，结果表明传统收割小麦间作玉米生育期平均日棵间蒸发量在 3 个灌水梯度下高于单作 4.4%~7.1%，留茬收割小麦间作玉米生育期平均日棵间蒸发量高于单作 0.8%~2.6%。相同供水水平下，高茬收割小麦间作玉米与传统收割小麦间作玉米日棵间蒸发量相比，留茬抑制间作群体的日棵间蒸发量， W_2/CI_1 、 W_2/CI_2 、 W_2/CI_3 与 W_1/CI_1 、 W_1/CI_2 、 W_1/CI_3 对应相比，日棵间蒸发量分别降低了 4.4%、4.23%和 6.2%。

在不同供水水平的单作玉米各处理中，日棵间蒸发量随灌水量的增大而增大， C_3 较 C_2 高 1.87%、较 C_1 高 4.73%；而在其它处理中表现中供水水平下日棵间蒸发量大于低水平和高供水水平。
 2.1.2 不同处理棵间蒸发总量 从图 2 可知，以单作小麦、单作玉米日棵间蒸发量的加权平均为对照，比较间作与单作棵间蒸发总量差异，表明传统收割小麦间作玉米生育期棵间蒸发总量在 3 个灌水梯度下高于单作 7.3%~9.4%，留茬收割小麦间作玉米棵间蒸发总量高于单作 6.3%~7.5%。在小麦间作玉米和高茬收割小麦间作玉米种植模

式中，同一供水水平下高茬收割小麦间作玉米群体棵间蒸发量低于小麦间作玉米群体的，处理 W_2/CI_1 比处理 W_1/CI_1 低 4.3%，处理 W_2/CI_2 比处理 W_1/CI_2 低 4.5%，处理 W_2/CI_3 比处理 W_1/CI_3 低 6.4%。

在不同供水水平的单作玉米各处理中，棵间蒸发总量随灌水量的增大而增大， C_3 较 C_2 高 1.53%、较 C_1 高 3.94%；而在其它处理中表现出中供水水平下日棵间蒸发量大于低，高供水水平下的日棵间蒸发量。

2.2 不同处理中水分消耗影响因子间的差异

2.2.1 各处理生育期内表层土壤中的含水量 由图 3 可知，比较间作与单作处理加权平均表层土壤含水量差异，表明传统收割小麦间作玉米表土土壤含水量在 3 个灌水梯度下高于单作 0.7%~2.3%，留茬收割小麦间作玉米表土土壤含水量高于单作 1.8%~3.7%。小麦间作玉米和高茬收割小麦间作玉米种植模式中，在低水平和中供水水平下，高茬收割小麦间作玉米表土土壤含水量高于小麦间作玉米群体，处理 W_2/CI_1 比处理 W_1/CI_1 高 1.6%，处理 W_2/CI_2 比处理 W_1/CI_2 高 5.7%，而在高供水水平下，处理 W_2/CI_3 比处理 W_1/CI_3 低 9.5%。

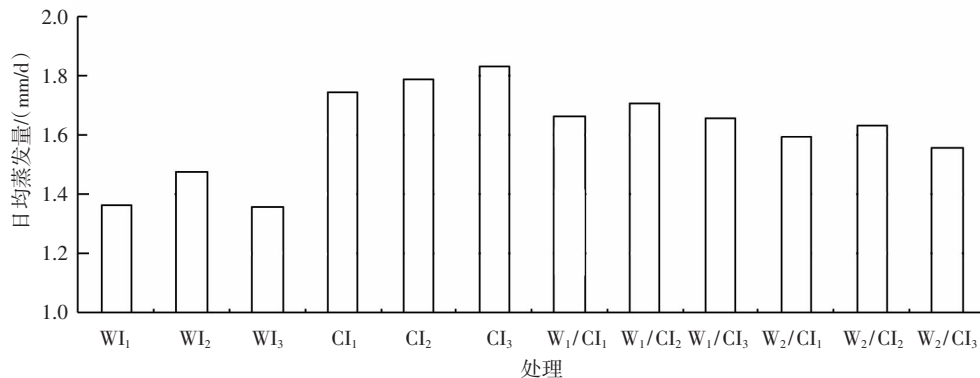


图 1 不同处理生育期内日平均棵间蒸发量

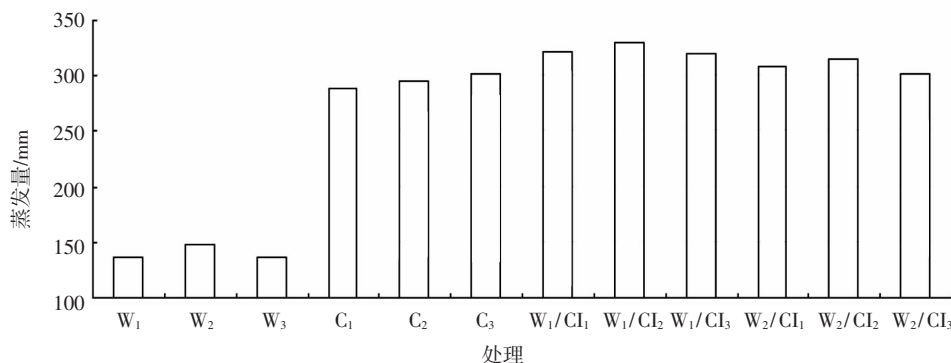


图 2 不同处理生育期内棵间蒸发总量

在不同供水水平的单作玉米各处理中,表土土壤含水量随供水量的增大而增大, C_3 较 C_2 高 3.79%、较 C_1 高 6.27%;而在单作小麦和留茬收割小麦间作玉米处理中表现出中供水水平下表土土壤含水量大于低,高供水水平下的表土土壤含水量。

2.2.2 不同处理全生育期内 0~25 cm 土层的平均温度 以单作小麦、单作玉米处理生育期内表土土壤温度的加权平均为对照,比较间作与单作处理表土土壤温度,表明传统收割小麦间作玉米表土土壤温度在 3 个灌水梯度下高于单作 0.9~1.2 °C,留茬收割小麦间作玉米表土土壤温度高于单作 0.4~0.7 °C。小麦间作玉米和高茬收割小麦间作玉米种植模式中,高茬收割小麦间作玉米表土土壤温度低于小麦间作玉米群体的,处理 W_2/CI_1 比处理 W_1/CI_1 低 0.58 °C,处理 W_2/CI_2 比处理 W_1/CI_2 低 0.02 °C,处理 W_2/CI_3 比处理 W_1/CI_3 低 0.3 °C。

在不同供水水平的传统小麦间作玉米处理中,表土土壤温度在中供水水平下表现为最低, W_1/CI_1 较 W_1/CI_2 高 0.09 °C、 W_1/CI_3 较 W_1/CI_2 高 0.02 °C;而在单作小麦,单作玉米及高茬收割小麦间作玉米处理中表现出中供水水平下表层土壤温度高于低水平和高供水水平下的表层土壤温度。

2.2.3 不同处理生育期内叶面积指数 叶面积是光合生产的基础,作物群体的叶面积指数因时间而变化,作物出苗后,随着植株的生长发育,叶面积指数增大,达到最大值,而后又随着部分叶片老化变黄或脱落,叶面积指数逐渐减小。研究发现,由于小麦和玉米生育期的差异,使得单作群体的叶面积指数明显高于间作群体。在不同供水水平的各处理中,叶面积指数与供水水平呈正相关关系,随着供水量的加大叶面积指数也随着增大。在同一供水水平下,高茬收割小麦间作玉米群体的叶面积指数高于传统收割小麦间作玉米

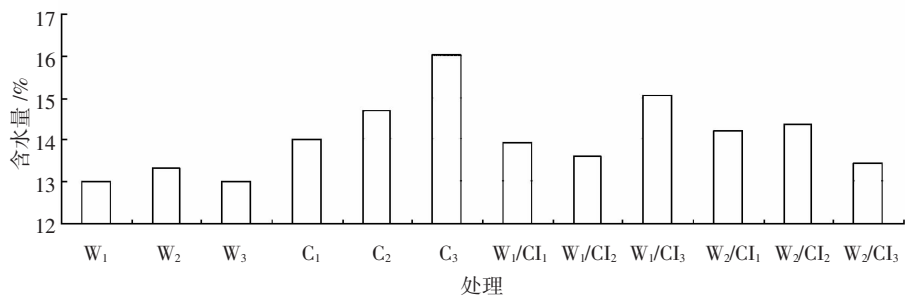


图 3 不同处理全生育期内表土层土壤平均含水量

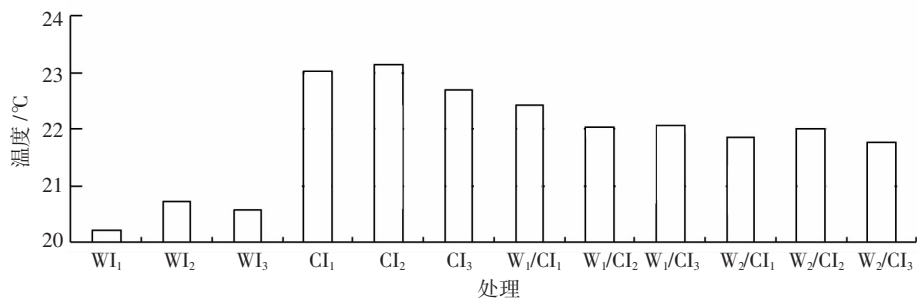


图 4 不同处理全生育期表土层平均土壤温度

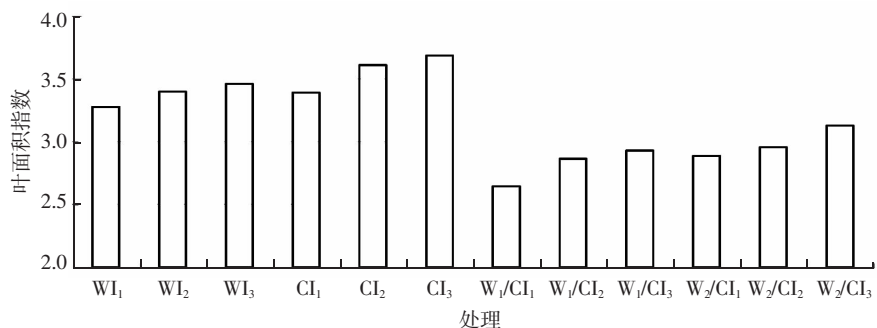


图 5 不同处理生育期内叶面积指数

群体, 处理 W_2/CI_1 比处理 W_1/CI_1 高 9.2%, 处理 W_2/CI_2 比处理 W_1/CI_2 高 3.2%, 处理 W_2/CI_3 比处理 W_1/CI_3 高 6.8%。

2.3 不同处理的棵间蒸发量与主要影响因子间的关系

试验结果(表2)表明, 在影响小麦间作玉米的棵间蒸发的各因素中, 土壤含水量、土壤温度及叶面积指数均达极显著相关, 说明土壤含水量、土壤温度及叶面积指数均为影响小麦间作玉米的棵间蒸发主要因素。

表2 影响小麦间作玉米棵间蒸发因子间的显著相关性分析

	棵间蒸发量	土壤含水量	土壤温度	叶面积指数
棵间蒸发量	1	0.394*	0.854**	0.581*
土壤含水量		1	0.749**	0.637**
土壤温度			1	0.576*
叶面积指数				1

3 小结与讨论

传统收割小麦间作玉米生育期平均日棵间蒸发量在3个灌水梯度下高于单作 4.4%~7.1%, 棵间蒸发总量高于单作 7.3%~9.4%, 土壤含水量高于单作 0.7%~2.3%, 土壤温度高于单作 0.9~1.2℃, 留茬收割小麦间作玉米生育期平均日棵间蒸发量高于单作 0.8%~2.6%, 棵间蒸发总量高于单作 6.3%~7.5%, 表土土壤含水量高于单作 1.8%~3.7%, 表土土壤温度高于单作 0.4~0.7℃, 单作群体的叶面积指数明显高于间作群体的。

农田土壤水分的消耗中, 深层渗漏和棵间蒸发往往被视为无效损耗, 并被作为灌溉的关键调控点而进行系统研究。其中, 在灌溉定额相对较小的情况下, 渗漏可在很大程度上得以控制, 但棵间蒸发量的抑制难度相对较大^[3-5]。小麦收割时按一定高度留茬, 并硬茬复种玉米, 留茬可提高土壤水分含量, 玉米增产效果较好^[6]。在免耕播种的玉米田中, 苗期在 0~20 cm 的土层中, 留茬田比裸露田的土壤含水率高 1.6~4.6 百分点, 有利于干旱条件下玉米苗期的生长, 同时在炎热期麦茬可降低土壤温度 2℃左右, 在低温时段可提高 2℃左右的土壤温度, 即可平衡低温, 促进玉米的生长^[7]。麦秆覆盖使得降水的入渗率高, 土壤墒情好, 能够提高自然降水的保蓄率, 为播后

少雨季节调剂余缺奠定了基础^[8]。覆盖可有效地抑制土壤蒸发; 不覆盖处理的土壤蒸发与土壤水分呈正相关, 土壤水分越大, 土壤表层保持湿润时间越长, 蒸发量越大^[9-10]。作物的棵间蒸发量还与表土含水量、作物叶面积指数息息相关, 在正常供水条件下, 春小麦全生长期的棵间蒸发量占总耗水量(ET)的 21%~23%, 棵间蒸发量与表层土壤含水量(0~10 cm)呈指数函数关系; 棵间蒸发量占耗水量比例 E/ET 随着叶面积指数 LAI 的增加而呈幂函数关系下降, 当叶面积指数 $LAI < 2$ 时, E/ET 随叶面积指数的增加快速减少, 当 $LAI = 2 \sim 3$ 时, E/ET 下降变缓; 当 $LAI > 3$ 时, E/ET 变化不大^[11]。

参考文献:

- [1] 马艳勤, 张林霞, 车照海. 间作套种中的几项关键技术问题[J]. 现代农业, 2007(7): 12-16.
- [2] 马玉芝, 贾春明. 玉米与小麦套种栽培技术[J]. 杂粮作物, 1999, 5(17): 23-24.
- [3] 柴良植, 刘世铨, 李得举. 大力发展间作套种提高灌区综合效益[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(2): 37-43.
- [4] 王秀, 赵四申, 贾素梅, 等. 麦茬高度对免耕夏玉米田土壤水分和土壤温度的影响[J]. 河北农业科学, 2001(3): 17-19.
- [5] ALLEN J R, SINCLAIR T R, LEMON E R. Radiation and microclimate relationships in multiple cropping systems[J]. Field Crops Research, 1976, 1: 171-200.
- [6] 郭永杰, 汤莹, 蔡德荣. 河西绿洲灌区小麦玉米带田水肥耦合效应与协同管理模型[J]. 甘肃农业科技, 2002(7): 33-34.
- [7] 张立强, 汪有科. 小麦高留茬田间水分效应研究[J]. 中国农学通报, 2006, 14(11): 18-19.
- [8] 张文慧. 节水灌溉技术的现状及发展趋势[J]. 行业发展, 2005(5): 27-28.
- [9] CHATTERJEE B N, MANDAL B K. Present trends in research on intercropping [J]. J. Agri. Sci., 1992, 62: 507-518.
- [10] 赵二龙, 李立科, 徐福利, 等. 旱地小麦高留茬少耕全程覆盖高产技术体系研究[J]. 西北农业学报, 1998(4): 177-182.
- [11] 刘祖贵, 孙景生, 张寄阳. 风沙区春小麦棵间蒸发规律的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(6): 60-62.

(本文责编: 郑立龙)