

辽西半干旱区玉米/大豆单间作 田间耗水规律研究

张莹¹, 孙占祥², 李爽¹, 冯良山², 杨宁², 刘洋², 侯志研², 白伟², 文凤¹

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业科学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 采用 FAO Penman - Monteith 公式和水量平衡法对辽西半干旱区玉米、大豆单作和间作模式的耗水规律进行了研究。结果表明, 全生育期玉米/大豆间作的农田实际蒸散量比玉米、大豆单作分别低 15.37 mm 和 29 mm, 水分亏缺量分别比大豆、玉米单作低 45.54 mm 和 5.68 mm, 间作群体作物系数为 0.82, 介于单作玉米(0.81)和单作大豆(0.83)之间。此外间作模式作物需水量与降水量的吻合程度好于单作。

关键词: 单作; 间作; 玉米; 大豆; 耗水规律

中图分类号: S247.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)05-0043-04

现代农业生产中, 为了合理利用农业资源已采用了许多方法, 包括提高水分和养分、太阳辐射和 CO₂ 以及土地的利用效率。但是水、土等农业资源越来越少, 对农业生产构成了威胁。间作是一种在时间和空间上实现种植集约化的种植方式, 能够提高光能利用率, 同时可充分地利用温、水、肥等资源, 从而提高单位面积产出效率^[1-3], 玉米/大豆间作种植在充分利用光、热、水和养分资源的同时, 可实现粮油同步增产^[4]。研究玉米/大豆间作群体内的耗水规律和水分利用效率, 对于选择和确定适宜的间作种植模式及建立科学合理的管理措施都十分重要。

国内外学者对单作条件下作物耗水规律进行了大量的研究^[5-7], 但是对间作条件的研究很少。此前对于玉米/大豆间作群体的研究多集中在光、热和养分等方面, 关于间作群体耗水和水分利用效率的研究较少, 高阳等^[4]曾用微型蒸渗仪研究了玉米/大豆间作群体土壤表面的蒸发情况, 但采用估算模型进行研究的鲜有报道。国内外从 20 世纪 60 年代开始的耗水规律及水分平衡研究, 先后采用水量平衡法、蒸渗仪测定法、FAO Penman - Monteith 公式法、波文比-能量平衡法和遥感法等模型估算或直接测量方法。以上方法各有优缺点, 其中以水量平衡法和 FAO Penman - Monteith 公式法应用较为广泛^[8-12]。为此, 本研究系统地观测了玉米、大豆单作和间作群体土壤水分动态变化规律, 采用 FAO -

Penman Monteith 公式法和水量平衡法对不同种植模式下玉米、大豆群体的耗水规律进行研究, 以期对辽西半干旱区节水农业的发展和节水农作制的构建提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2008 年在辽宁省农业科学院阜新科研基地(阜新市阜蒙县沙扎兰村)进行, 试验地海拔 213 m, 地面坡度为 1/800。试验田为沙壤土, 耕层土壤平均田间持水量为 29%, 凋萎含水量为 12%。

1.2 试验设计

试验设 3 个处理, 分别为单作大豆、单作玉米和玉米/大豆间作, 单作处理设 3 次重复, 每小区面积为 60 m², 间作处理 3 个间作条带, 种植行比为 4:4, 面积为 240 m²。小区周围设 20 cm 高田埂, 小区间设 1 m 隔离带。玉米品种为良玉 9 号、大豆品种为铁丰 29 号, 玉米、大豆的播种日期分别为 4 月 26 日和 5 月 10 日。种植密度: 玉米行距 50 cm, 株距 30 cm; 大豆行距 50 cm, 穴距 20 cm, 间作中玉米大豆间距 50 cm。施肥量: 二铵(含 N 18%, P₂O₅ 46%) 300 kg/hm², 硫酸钾(含 K₂O 46%) 450 kg/hm², 尿素(含 N 46%) 420 kg/hm², 除草等田间管理均按当地习惯进行, 供水条件为雨养, 适时补灌保命水。

1.3 调查项目及方法

土壤含水量: 每个小区内埋设 1 根 TDR(时域反

收稿日期: 2010-03-05

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD29B06); 农业部 948 项目(2006 - G52A - Q01); 辽宁省科技攻关课题(2007212001、2008212002); 国家公益性行业(农业)科研专项经费(200803028)

作者简介: 张莹(1985—), 女, 硕士研究生, 主要从事旱作节水研究和节水灌溉研究。

通讯作者: 孙占祥(1967—), 男, 研究员, 主要从事旱地农业研究。

射仪)特制塑料管,其中间作模式每小区在两作物交界处加埋一根,自作物出苗起,每隔 7 d 用 TDR(时域反射仪)定点测定 0~160 cm 土壤含水量,深度梯度为 20 cm,每个梯度读数 3 次,降雨 24 h 后加测一次。

气象数据:试验田附近设有 20 要素自动气象观测站(TRM-ZS2 型),分别观测每天太阳辐射、日照时数、最高气温、最低气温、平均气温、平均风速、实际水汽压、相对湿度、气压、降雨量、蒸发量等气象要素。

1.4 计算方法

1.4.1 参考作物蒸散量(ET_0) 采用 FAO Penman-Monteith 公式进行计算。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

式中: R_n 是到达作物表面的净辐射量 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; G 是土壤热通量密度 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; T 是作物冠层 2 m 高处的空气温度 ($^{\circ}\text{C}$); U_2 是作物冠层 2 m 高处的风速 (m/s); e_a 是饱和水汽压 (kPa); e_d 是实际水汽压 (kPa); Δ 是水汽压对温度的斜率 ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$); γ 是干湿球常数。

1.4.2 农田实际蒸散量(ET_a) 采用土壤水平平衡法进行计算。

$$ET_a = P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (2)$$

式中, P 为该时段内的降雨量 (mm); RO 为降雨时土壤的表面径流量 (mm) (本试验由于田间设有田埂,因此忽略); DP 为深层土壤渗漏量 (mm); CR 为地下水由毛管上升到根区的水量 (mm) (由于试验田地下水位较低,因此忽略); ΔSF 为土壤水侧向渗漏量 (mm),包括侧向流入量 SF_{in} 和侧向留出量 SF_{out} 两项 (本试验忽略); ΔSW 为土壤含水量变化量 (mm)。

1.4.3 作物需水量(ET_c) 表示时段内作物群体对水分的需求量,可用公式(3)求得。

$$ET_c = ET_a \div K_s \quad (3)$$

K_s 采用公式(4)计算:

$$K_s = \ln \left[\left(\frac{s - sw}{s^* - sw} \right) \times 100 + 1 \right] / \ln 101 \quad (4)$$

式中, s 为耕层土壤实际含水量; sw 为根系土壤凋萎系数; s^* 为耕层土壤田间持水量。

1.4.4 作物系数(K_c) 为最大蒸散量与参考作物蒸散量的比值。

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (5)$$

1.4.5 农田水分盈亏量(ΔW) 是指土壤耕作层内,既无地表径流,又无渗漏和地下水补给时,降水量与作物需水量之间的差值。如公式(6)。

$$\Delta W = P - ET_c \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 生育期内气象数据的变化规律

从图 1 可以看出,区域降水主要集中在作物生育中期,生育前期小于 5 mm 的无效降水较多。参考作物蒸散量在作物生育前期的变化幅度较大,由于参考作物蒸散量是由多种气象数据计算而来,从而说明在作物生育前期各气象因子的变化也较为剧烈。生长中期由于区域阴雨天气的增多,部分时段太阳净辐射量降低,空气湿度加大,风速减小,因此参考作物蒸散量有所下降,后期随着气温和净辐射量的逐渐降低,参考作物蒸散量不断下降。这与罗毅等的研究结果^[13]基本一致。

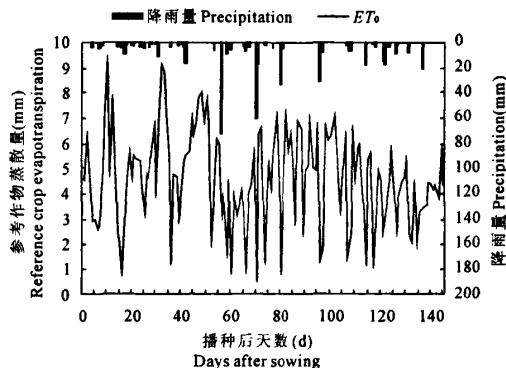


图 1 参考作物蒸散量和降雨量的变化规律

Fig.1 Changes of reference crop evapotranspiration and precipitation

2.2 不同种植模式下农田实际蒸散量及其水分盈亏量

由表 1 可以看出,玉米、大豆不论是各自单作还是间作,农田实际蒸散量总体的变化呈现“先升后降”的趋势,高峰值均出现在 7~8 月份,这主要是因为玉米和大豆的生长发育进程较为同步。作物生育前期和后期几种种植模式的农田实际蒸散量差异较大,生育中期差异较小。利用全生育期数据进行对比,玉米/大豆间作农田实际蒸散量分别比单作玉米、大豆低 15.37 mm 和 29 mm。

4~8 月份三种种植模式比较,农田实际蒸散量最高的是单作大豆,其次是单作玉米,最低的是间作群体,9 月份例外,单作玉米稍高于单作大豆,最低

的仍是间作群体, 这表明大豆耗水量比玉米高, 只是玉米在成熟期蒸散量的下降速度要比大豆慢。

农田蒸散及土壤水分盈亏量直接影响作物生长和产量形成, 分析其特征是评价农业水分状况的基础^[14]。由于本年度试验区降水量较多, 仅 4~9 月就达 482 mm, 雨水相对充足, 因此水分亏缺量较低, 全生育期来看间作群体最低, 为 79.58 mm, 分别比

单作大豆和单作玉米低 45.54 mm 和 5.68 mm。

由此可见, 玉米/大豆间作种植, 农田实际蒸散量和水分亏缺量较两种作物单作种植均有明显下降, 因此在水资源不充足的辽西半干旱区, 玉米/大豆间作种植是更可取的种植方式, 可以有效实现水分的高效利用。

表 1 不同模式下作物耗水情况
Table 1 The conditions of water consumption for crops in different patterns

作物模式 Cropping pattern	项目 Items	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	全生育期 Total
单作玉米 Corn monocropping	实际蒸散量 ET_a (mm/d)	1.54	2.22	2.85	4.16	4.09	3.33	438.57
	水分亏缺量 ΔW (mm)	-3.40	-36.24	3.82	17.80	-77.40	-11.74	-85.26
单作大豆 Soybean monocropping	实际蒸散量 ET_a (mm/d)	—	2.29	2.88	4.16	4.21	2.53	452.20
	水分亏缺量 ΔW (mm)	—	2.84	10.44	20.49	-69.93	-28.94	-65.12
间作群体 Intercropping system	实际蒸散量 ET_a (mm/d)	—	1.95	2.66	4.22	4.15	2.48	423.20
	水分亏缺量 ΔW (mm)	-2.99	-17.67	14.98	12.70	-66.03	-10.67	-59.58

2.3 不同种植模式下作物需水量与降水吻合程度

作物需水量与降水量的吻合程度较低, 是制约我国北方旱区农业可持续发展的主要限制因素^[8], 因此作物需水量与降水量的吻合程度是作物种植结构与种植方式评价的重要指标之一。对不同种植模

式下的作物需水量与降水量进行线性拟合(图 2), 比较可以得出, 间作群体的吻合程度最高($R^2 = 0.6391$), 其次为单作玉米($R^2 = 0.598$), 吻合程度最差的是单作大豆($R^2 = 0.5442$)。

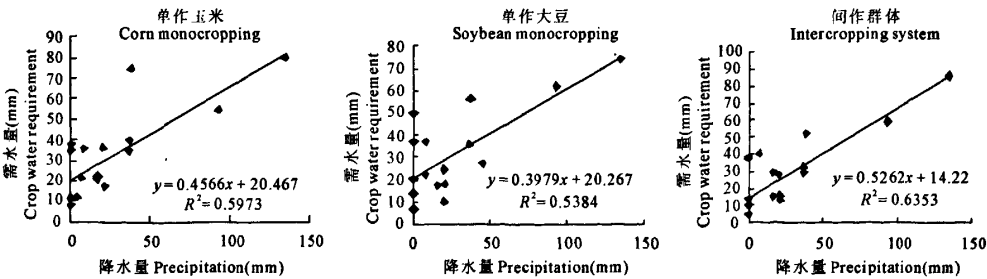


图 2 作物需水量与降水量的吻合程度
Fig.2 The degree of agreement between the water demand and the level of precipitation

表 2 不同种植模式作物系数各月平均值
Table 2 Monthly crop coefficient of different cropping patterns

作物模式 Cropping pattern	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	全生育期均值 Average
单作玉米 Corn monocropping	0.42	0.53	0.79	0.99	1.00	0.86	0.81
单作大豆 Soybean monocropping	—	0.46	0.65	1.03	1.06	0.69	0.83
间作群体 Intercropping	0.39	0.56	0.60	1.02	1.05	0.73	0.82

2.4 不同种植模式下作物系数对比

从表 2 可以看出,各处理作物系数 8 月份的平均值最大,其中最高的是单作大豆,为 1.06,其次是间作群体,为 1.05,最低的是单作玉米,为 1.00;全生育期作物系数的平均值比较,趋势与此相同。由此可见,间作群体的作物系数介于两种作物单作种植之间。

3 小 结

玉米/大豆间作农田实际蒸散量低于玉米、大豆单作,作物需水量与降水量的吻合程度高于玉米、大豆单作,因此本试验条件下玉米/大豆间作对群体耗水规律影响是正效应,该种植模式适合在辽西半干旱区发展。

试验中虽然玉米和大豆播种时间不同,但生育进程大体一致。因此农田实际蒸散量和作物系数的变化趋势基本一致,与作物本身生长发育和气候条件基本同步,生长初期,植株较小,农田实际蒸散量低,作物系数比较小;6 月以后随着植株增大,叶面积指数增大,蒸腾量增加,因而作物系数逐渐升高;到 7、8 月份作物冠层充分发育,作物系数达到最大值。9 月以后,由于植株衰老,蒸腾量减少,作物系数亦逐渐降低,这表现了气候学因素、生物学因素对作物耗水规律的同步影响。

本论文只是从一个生育周期的数据分析得出了玉米/大豆间作与各自单作的耗水规律,且 2008 年试验区域降水条件较为有利,异于往年,加之玉米/大豆间作种植模式行比只有 4:4 一个处理,因此对玉米/大豆间作模式的各方面研究似嫌不足,可能存

在较大误差,对于耗水规律存在差异的原因还需进一步试验和深入分析。

参 考 文 献:

- [1] 王世军.玉米大豆不同结构形式的间作研究[J].贵州农业科学,1984,(5):15—18.
- [2] 刘秀珍,张阅军,杜慧玲.水肥交互作用对间作玉米、大豆产量的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):75—77.
- [3] 高 阳,段爱旺,刘祖贵.单作和间作对玉米和大豆群体辐射利用率及产量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):7—12.
- [4] 高 阳,段爱旺,刘祖贵.玉米/大豆不同间作模式下土壤蒸发规律试验研究[J].农业工程学报,2008,24(7):44—48.
- [5] 彭世彰,索丽声.节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数试验研究[J].水利学报,2004,(1):17—21.
- [6] 彭世彰,朱成立.节水灌溉的作物需水量试验研究[J].灌溉排水学报,2003,22(2):21—25,(5):46—52.
- [7] 胡 芬,陈尚模.寿阳试验区玉米地农田水分平衡及其覆盖测控试验[J].农业工程学报,2000,16(4):146—148.
- [8] 龚元石,李子忠,李春友.应用时域反射仪测定作物需水量和作物系数[J].中国农业大学学报,1998,3(5):61—67.
- [9] 王 健,蔡焕杰,刘红英.利用 Penman - Monteith 法和蒸发皿法计算农田蒸散量的研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):67—71.
- [10] 许 迪,刘 钰.测定和估算田间作物腾发量方法研究综述[J].灌溉排水学报,1997,16(4):54—59.
- [11] 肖俊夫,刘战东,陈玉民.中国玉米需水量与需水规律研究[J].玉米科学,2008,16(4):21—25.
- [12] 钟兆站,赵聚宝,郝小川,等.中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[J].中国农业气象,2000,21(2):1—4.
- [13] 罗 毅,雷志栋,杨诗秀.潜在腾发量的季节性变化趋势及概率分布特性研究[J].水科学进展,1997,8(4):308—312.
- [14] 冯良山,孙占祥,郑家明.辽西风沙半干旱区旱作农田水资源研究[J].土壤通报,2008,39(1):25—28.

Study on water consumption of con and soybean in different cropping patterns on the semi-arid region of western Liaoning Province

ZHANG Ying¹, SUN Zhan-xiang², LI Shuang¹, FENG Liang-shan², YANG Ning²,

LIU Yang², HOU Zhi-yan², BAI Wei², WEN Feng¹

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China;

2. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: The laws of water consumption of corn and soybean were studied through the FAO Penman-Monteith method and the water balance method on the semiarid region of western Liaoning Province. Compared with that in corn monocropping and soybean monocropping, the actual evapotranspiration in intercropping system is 15.37 mm and 29 mm lower respectively in the whole growth period, while the quantity of water deficit is 45.54 mm and 5.68 mm less. The crop coefficient of intercropping system lies between corn monocropping and soybean monocropping, in addition, its degree of agreement between water demand and level of precipitation is better.

Keywords: monocropping; intercropping; corn; soybean; laws of water consumption