

文章编号: 1005-0906(2010)01-0099-04

玉米灌溉田土壤水分变化及其耗水规律研究

孙占祥, 冯良山, 杜桂娟, 刘 洋

(辽宁省农业科学院, 沈阳 110161)

摘 要: 以辽宁省主要旱地作物玉米为研究对象, 研究了其灌溉田土壤水分变化及其耗水规律。在试验条件下, 0 ~ 20 cm 土层水分含量最低, 整个玉米生育期内水分变化幅度最大; 30 ~ 50 cm 土层由于受长期耕作习惯等因素的影响土壤的黏滞度较高, 保持较明显的水分梯度, 并使 50 ~ 90 cm 土层水分变化与 0 ~ 20 cm 土层相比滞后 1 ~ 3 d; 90 ~ 120 cm 土层土壤水分受根系影响较小, 变化不大。玉米生育前期农田实际蒸散量和参考蒸散量均趋于不断增大, 生育中期个别时段内由于受阴雨气候影响蒸散量有所减弱; 参考蒸散量最大值出现在玉米播种后第 46 天左右, 农田实际蒸散量最大值出现在玉米出苗后第 96 天左右, 玉米生育后期两者逐渐减弱。玉米生育前期表土层土壤蒸发量占实际蒸散量的比重较大, 生育中期田间蒸发量受降雨和灌溉等因素影响, 变化幅度较大, 生育后期相对较小。随着玉米叶面积增加, 作物系数不断增加, 在播种后第 81 天左右作物系数达最大值, 之后作物系数逐渐下降。

关键词: 玉米; 土壤水分; 耗水规律; 灌溉田**中图分类号:** S513.04**文献标识码:** A

Study on the Law of Soil Moisture and Evapo-transpiration Changes in the Irrigated Corn Farmland

SUN Zhan-xiang, FENG Liang-shan, DU Gui-juan, LIU Yang

(Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: We had studied law changes of soil moisture and evapo-transpiration in irrigated farmland of corn which was the principal crop of dry farmland in Liaoning province. The results indicated that the minimum moisture content of soil was in the soil layer 0 – 20 cm where moisture fluctuation ranged the most widely in the whole crop growth and development period. In contrast, the change of moisture was modest in the soil layer 30 – 50 cm where the water content of the soil kept a gradient clearly. The change of the moisture in the soil layer 50 – 90 cm lagged the layer 0 – 20 cm, though the change in the two soil layers were parallel. The actual measured evaporation and the reference evapotranspiration increased greatly in the earlier stage of crop growth and development period. The evaporation was weak sometimes in the intermediate stage of crop growth and development period for various reasons, especially for the overcast sky. The maximum of reference evapotranspiration at the 46th day after sowing and the maximum of actual measured evaporation at the 96th day after sowing. Both decreased gradually in the later stage of crop growth and development period. The proportion of plant interspace evaporation to actual measurement evaporation was higher in the earlier stage of crop growth and development period. The proportion was changed in evidence in the intermediate stage, because of the rainfall and irrigation. And the proportion was smaller in the later stage. The crop coefficient increase with leaves area. The maximum crop coefficient at the 81st day after sowing, and then it became weak gradually.

Key words: Corn; Soil moisture; Law of water consumption; Irrigated farmland**收稿日期:** 2009-02-23**基金项目:** 农业部“948”项目(2006-G52A-Q01)、“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD29B06)、国家公益性行业科研专项经费项目(200803028)、“十一五”辽宁省科技攻关项目(2007212001, 2008212002)**作者简介:** 孙占祥(1967-), 男, 辽宁抚顺人, 博士, 研究员, 主要从事旱地农业研究。

辽宁省位于东北地区南部,是公认的生态脆弱带和气候变化敏感区,同时也是我国水资源严重短缺的省份之一,人均水资源占有量只有全国平均占有量的四分之一。水资源利用率低已经成为制约区域农业和农村经济发展的瓶颈。为了提高水资源的利用效率,制定合理的灌溉制度,需要对该地区主要作物的耗水规律进行深入研究^[1]。

目前,作物耗水规律的研究主要是通过估算农田实际蒸散量 ET_a 来实现的,农田实际蒸散量是研究农田生态系统内部及其与大气之间水热交换和分配的主要指标,体现了农田内部和表面水分输送到大气中的总过程^[2]。长期以来,关于作物耗水规律的研究有许多报道。Doorenbos 和 Pruitt^[3]提出了不同气候条件下部分作物的作物系数和必要性。Wright 和 Jensen^[4]采用三次多项式,将作物系数曲线分成播种至完全覆盖和完全覆盖至收获两个大的时段,并进行了详细的研究。Steele 等^[5]以播后天数为变量,采用五次多项式进行回归,分析确定了玉米的作物系数曲线。长期以来,该问题的研究难点之一是缺乏有效的方法获取数量足够的、可靠的农田实际蒸散量数据^[6]。本文采用土壤水分定位观测和 Micro-lysimeter 方法,利用气象观测数据,研究了玉米在充分灌溉条件下的土壤水分变化规律、参考作物蒸散量、田间土壤实际蒸散规律、棵间蒸发规律和作物系数,为提高区域农业用水效率和制定合理的灌溉制度提供依据。

1 试验区概况与研究方法

1.1 试验区概况

试验于 2003 年在辽宁省农业科学院沈阳市灌溉试验田进行。沈阳市位于辽宁省中部,属于温带大陆性季风气候,主要特点是冬冷夏暖,寒冷期长,春秋短促多风,夏季雨量集中,日照充足。年平均气温为 8.1℃,年降水量平均为 716.6 mm,降水主要集中在夏季,6~8 月的降水量约占总降水量的 62.5%。全年≥6 级大风的日数平均为 58.5 d,其中春季 27.0 d,占全年的 46.2%;≥8 级大风的日数 34.2 d,其中春季 18.7 d,占全年的 57.6%。

1.2 观测方法

试验材料为辽宁省农业科学院选育的辽单 524,于 5 月 18 日播种,玉米整个生育期均处于充分供水条件下(田间土壤相对含水量≥70%,灌水定额为 30 mm)。试验田土壤为沙壤土,土壤肥力中等,1.2 m 土层的平均田间持水量为 26%~27%。凋萎含

水量为 11%~12%,土壤平均容重为 1.39 g/cm³。该试验田共分 5 个小区,每个小区面积为 60 m²,小区四周设有 20 cm 高的田埂,小区内埋设 1 根 TDR 时域反射仪特制塑料管。自玉米出苗起,每隔 5 d 用 TDR 时域反射仪定点测定 0~120 cm 土壤含水量,每个深度梯度为 20 cm,每个梯度读数 3 次,降雨或灌水后加测。

同时采用 Micro-lysimeter 每 5 d 测定 1 次土壤表层棵间蒸发量。Micro-lysimeter 用 PVC 管制成,高 15 cm,内径 10 cm,表面积 78.5 cm²,备有内径稍大、材料相同的外套固定于土壤中,以便将 Micro-lysimeter 取出和放回时操作迅速方便。人工将 Micro-lysimeter 从土壤表面按下,将其推入土壤至 0.5 cm 露出地面,然后取出盛有原状土柱的 Micro-lysimeter,削去底部多余的土壤,封底,然后用感量为 0.1 g 的电子天平称量,称重后将其放回套筒,24 h 再称重 1 次,两次称重之间的重量差即可换算为表层土壤棵间蒸发量。

1.3 计算方法

1.3.1 参考作物蒸散量(ET_0)

采用 FAO 推荐的 FAO Penman-Monteith 公式进行计算,公式如下所示:

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

式中: R_n 是到达作物表面的净辐射[MJ/(m²·d)]; G 是土壤热通量密度[MJ/(m²·d)]; T 是作物冠层 2 m 高处的空气温度(℃); 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(kPa/℃); γ 是干湿球常数。

1.3.2 农田实际蒸散量(ET_a)

采用土壤水分平衡法进行计算:

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

式中, I 和 P 分别为该时段内的灌水量和降雨量(mm); RO 为降雨和灌溉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} 和侧向流出量 SF_{out} 两项(本试验忽略); ΔSW 为土壤含水量变化量(mm)。

1.3.3 作物系数(K_c)

玉米作物系数为玉米最大蒸散量与参考作物蒸散量的比值,由于试验在充分供水条件下进行,土壤

水分胁迫系数 $K_s=1$, ET_a 与作物需水量(ET_c)数值相等^[7],则:

$$K_c=\frac{ET_a}{ET_0}$$

(3)

2 结果与分析

2.1 田间土壤水分变化规律

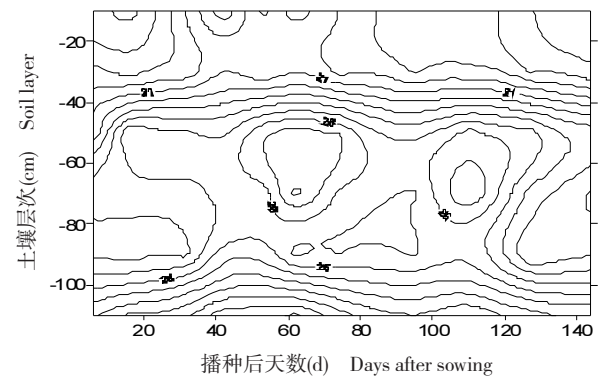


图 1 土壤水分动态变化情况
Fig.1 The change of soil moisture

从图 1 可以看出,在玉米田土壤的各层次中,0~20 cm 土层土壤水分含量最低,整个玉米生育期

内水分变化幅度最大;30~50 cm 土层土壤水分保持较明显的水分梯度,且变化较为平稳,这可能由于长年免于耕作并受到地表压力的影响,使该层土壤形成较为稳定的孔隙网络,这些土壤孔隙相对较小且均一,土粒表面对水的吸附力相对明显,土壤黏滞度较高;50~90 cm 土层变化规律与 0~20 cm 土层相似,但与 0~20 cm 土层相比其土壤水分含量的最高时期滞后 1~3 d;90~120 cm 土层平均土壤水分含量最高,尽管在玉米生育期内土壤水分有所变化,但由于受作物根系以及毛管力的影响较小,所以变化幅度不大。

2.2 田间蒸散量变化规律

由图 2 可以看出,出苗后随着植株和叶面积的不断增长,生育前期农田实际蒸散量趋于不断增大。生育中期由于此时段阴雨天气较多,个别时段内地表净辐射量有所减少,加之风速等影响因素的变化,农田实际蒸散量有所减弱。在出苗后第 96 天左右农田蒸散量达到最大值,为 5.10 mm/d,之后由于植株不断衰老,蒸腾能力有所减弱,蒸散量不断减少。由于农田实际蒸散量受多种因素影响,所以整个生育时期波动较大。

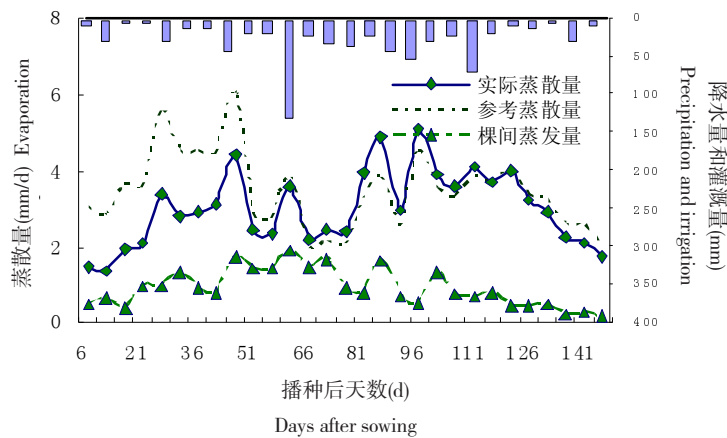


图 2 玉米田土壤水分蒸发特征
Fig.2 The characteristic of evaporation in corn farmland

玉米田表层土壤棵间蒸发同样受到多种因素影响。随着地表净辐射量的增多,玉米田表层土壤棵间蒸发量在生育前期不断增加,一般在大量的降水或灌溉后表层土壤棵间蒸发量会出现较大增加。表明土壤含水量是影响农田表层棵间蒸发量变化的重要因素,这与前人的研究结果较为一致^[10,11]。玉米生育中期尽管受到叶面积系数增加的影响,地表净辐射量有所下降,但此期间降水不断增多,表层土壤含水量很高,土壤水势也相应提高,促进表层土壤棵间蒸

发,在玉米播种后第 61 天左右达到了最大值,为 1.87 mm/d。生育后期随着降水量和地表净辐射量的减少,表层土壤棵间蒸发量逐渐减小。玉米不同生育阶段表层土壤棵间蒸发量占农田实际蒸发量的比值如图 3 所示,玉米生育前期表层土壤棵间蒸发量占实际蒸散量的 18.9%~47.1%,生育中期最高比例可达 68.2%,最小比例为 10.6%,生育后期为 8.9%~33.1%。

参考蒸散量是由多种相关的气象数据计算得

来。在玉米生育前期多为晴朗天气,净辐射量较大,风速较大,空气湿度低,所以参考蒸散量不断升高并在玉米播种后第46天左右达到最大值,为6.02 mm/d;玉米生育中期,阴雨天气增多,某段时间净辐射量有所减弱,风速变小,空气湿度高,致使参考蒸散量在某段时间内有所下降;玉米生育后期随着净辐射量逐渐减少,参考蒸散量也不断减少。

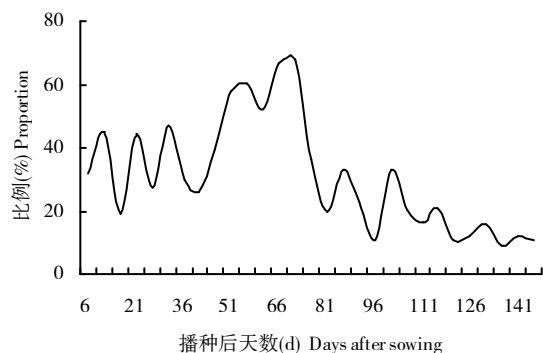


图3 玉米田间棵间蒸发量占实际蒸发量的比例

Fig.3 The proportion of plant interspace evaporation to actual measurement evaporation in corn farmland

由参考蒸散量和农田实际蒸散量计算而来的玉米作物系数如图4所示,随着玉米叶面积增加,作物系数不断增加,在播种后第81天左右作物系数达最大值(1.27),之后作物系数逐渐下降。

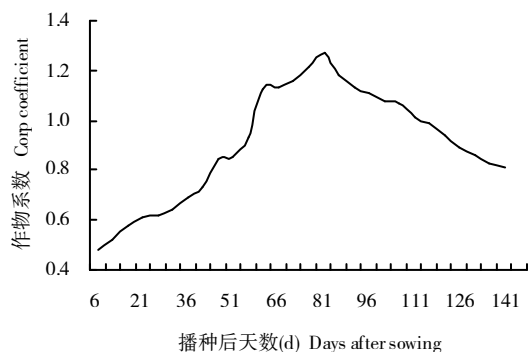


图4 玉米生育期内作物系数变化曲线

Fig.4 Changes of crop coefficient for spring corn during cropping seasons

3 结论与讨论

农作物的水分供应主要来源于土壤水分,而土壤水分又受到天气、作物以及土壤性质等多种因素影响。通过对土壤水分变化规律和蒸散规律进行研究对于研究节水灌溉技术和土壤保墒蓄水技术具有重要的指导意义^[12]。

本试验条件下,玉米灌溉田0~20 cm土层土壤

水分含量最低,整个玉米生育期内水分变化幅度最大;30~50 cm土层在整个玉米生育时期内同一土壤深度变化较小,并保持较明显的水分梯度,这与限量灌溉和雨养农田的变化特征有所不同^[9,13],可能主要与该层土壤的孔隙和根系分布特性以及充足的土壤水分条件有关;50~90 cm土层变化规律与0~20 cm土层相似,但滞后1~3 d,由此可以证明其上层(30~50 cm)土壤的黏滞度较高,土粒表面对水的吸附力较强,而此层土壤的黏滞度较低,土壤水主要受毛管力影响;90~120 cm土层平均土壤水分含量最高,且变化幅度不大,这与前人研究结果较为相同^[14],主要是因为该层土壤受作物根系以及毛管力的影响较小。玉米生育前期农田实际蒸散量和参考蒸散量均趋于不断增大,生育中期个别时段内由于受阴雨天气影响(净辐射减少)蒸散量有所减弱。参考蒸散量最大值出现在玉米播种后第46天左右,为6.02 mm/d,出苗后第96天左右实际蒸散量达到最大值,为5.10 mm/d。随着玉米叶面积增加,作物系数不断增加,在播种后第81天左右作物系数达最大值为1.27,之后作物系数逐渐下降,农田土壤水分散失是植株蒸腾和土壤蒸发共同作用的结果。玉米生育前期表层土壤棵间蒸发量占实际蒸散量的18.9%~47.1%,生育中期最高比例可达68.2%,最小比例为10.6%,生育后期为8.89%~33.1%。由于本试验表层土壤蒸发量采用的是自制的Micro-lysimeter进行测定,因此数据具有相对性,但其变化特征能够在一定程度上反映土壤棵间实际蒸发量的变化规律。

参考文献:

- [1] 纪瑞鹏,班显秀,张淑杰. 辽宁地区玉米作物系数的确定[J]. 中国农学通报, 2004, 20(3): 246-248.
- [2] 李玉霖,崔建垣,张铜会. 奈曼地区灌溉麦田蒸散量及作物系数的确定[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 930-934.
- [3] Doorenbos J, Pruitt W O. Crop water requirements[M]. Irrigation and Drain. Paper No.24. Rome, Italy: Food and Agric. Organization United Nations, 1977.
- [4] Wright J L, Jensen M E. Development and evaluation of evapotranspiration models for irrigation scheduling[J]. Trans. of the ASAE., 1978, 21(1): 88-96.
- [5] Steel D D, Sajid A H, Prunty L D. New corn evapotranspiration crop curves for southeastern North Dakota[J]. Trans. of the ASAE., 1996, 39(3): 931-936.
- [6] 买苗,邱新法,曾燕. 西部部分地区农田实际蒸散量分布特征[J]. 中国农业气象, 2004, 25(4): 28-32.
- [7] Allen R G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study[J]. JHydrol, 2000, 229: 27-41.

(下转第107页)

(上接第 102 页)

[8] 桑以林. 土壤学与农作学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[9] 张步翀, 李凤民, 成自勇. 集雨限量补灌条件下带田玉米土壤水分时空动态研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 49-51.

[10] Burman R, Pochop L. Developments in Atmospheric Science 22. Evaporation, Evapotranspiration and Climate Data[M]. Netherlands: Elsevier Science, 1994.

[11] Jaime G P, James S W, David E, et al. Measurement and modeling evaporation for irrigated crops in northwest Mexico[J]. Hydrol Proc.,

1998, 12: 1397-1418.

[12] Angus J F, van Herwaarden A F. Increasing Water Use and Water Use Efficiency in Dryland Wheat[J]. Agronomy Journal, 2001, 93: 290-298.

[13] 张科利, 彭文英, 王 龙, 等. 东北黑土区土壤剖面地温和水分变化规律[J]. 地理研究, 2007, 26(2): 314-320.

[14] 侯 琼, 沈建国. 内蒙古主要农田土壤水分变化规律与供水分析[J]. 内蒙古水利, 2001, 86(4): 19-24.

(责任编辑: 朴红梅)