

# 不同微集水方式对玉米田耗水规律的影响

冯良山<sup>1,2,3</sup>, 孙占祥<sup>1,2,3</sup>, 肖继兵<sup>4</sup>, 刘洋<sup>2,3</sup>, 侯志研<sup>2,3</sup>, 田建全<sup>5</sup>, 尹晓丽<sup>5</sup>

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业科学院, 沈阳 110161; 3. 辽宁省旱作节水工程技术研究中心, 沈阳 110161; 4. 辽宁省水土保持研究所, 辽宁 朝阳 122000; 5. 宁河县农业技术推广中心, 天津 宁河 301500)

**摘要:** 针对辽西地区水资源严重缺乏的突出问题, 以传统种植模式为对照, 研究了垄覆膜沟种植( $T_1$ )、垄覆膜沟覆膜种植( $T_2$ )和垄覆膜沟覆秸秆种植( $T_3$ )3种一元或二元覆盖微集水模式的效果。本试验条件下 $T_2$ 的保水效果最好, 其次为 $T_3$ , 再次为 $T_1$ , 玉米生育期内分别比对照少耗水49.87、43.06、29.39 mm。同时, 微集水模式可以降低作物的需水量, $T_2$ 、 $T_3$ 和 $T_1$ 分别较对照生育期内需水量减少81.66、69.20、48.45 mm, 生育期平均作物系数分别较传统模式降低0.12、0.16、0.09。集水种植各种栽培模式与传统种植相比都不同程度地增加玉米产量和水分利用效率, 尤以 $T_3$ 和 $T_2$ 提高幅度最大。

**关键词:** 微集水; 土壤耗水量; 作物需水量; 作物系数; 水分利用效率

中图分类号: S513; S501

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0213-04

## Effects on Soil Water Consumption of Maize Field in Different Soil Micro-catchment Pattern

FENG Liang-shan<sup>1,2,3</sup>, SUN Zhan-xiang<sup>1,2,3</sup>, XIAO Ji-bing<sup>4</sup>,  
LIU YANG<sup>2,3</sup>, HOU Zhi-yan<sup>2,3</sup>, TIAN Jian-quan<sup>5</sup>, YIN Xiao-li<sup>5</sup>

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China; 2. Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China; 3. Engineering Research Center for Dry and Water-efficient Farming of Liaoning Province, Shenyang 110161, China; 4. Institute of Water and Soil Conservation in Liaoning, Chaoyang, Liaoning 122000, China; 5. Ninghe Popularization Center of Agricultural Techniques, Ninghe, Tianjin 301500, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to study the effect of unary or binary coverage of three micro-catchment patterns in comparison with the traditional cropping pattern. The results indicated that  $T_2$  (ridge and ditch mulched film) water conserved best,  $T_3$  (ridge mulched film and ditch mulched straw) was the next best pattern, and  $T_1$  (ridge mulched film and ditch no-mulched) was the third. In compared with the control, the volume of soil water consumption of  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_1$  decreased by 49.87 mm, 43.06 mm and 29.39 mm, and the volume of water requirement of  $T_2$ ,  $T_3$  and  $T_1$  decreased by 81.66 mm, 69.20 mm and 48.45 mm, the average of crop coefficient decreased by 0.12, 0.16 and 0.09. Micro-catchment patterns can increase maize production and water use efficiency in varying degrees, especially  $T_3$  and  $T_2$ .

**Key words:** micro-catchment; soil water consumption; water requirement; crop coefficient; water use efficiency

农业水资源的供给能力制约着区域农业的发展, 维系着农业生态系统及粮食安全, 水资源短缺是半干旱地区农业生产的重要限制因素<sup>[1-2]</sup>。农田微集水技术是通过农田微地型的改变与覆盖保墒措施的有效结合, 以提高降水储蓄率、水分利用率和利用效率。该技术将传统技术、保护性耕作技术和集雨技术有机

结合, 改善了农田生态用水环境, 实现了降水资源的区域富集及储存, 满足农作物的生长用水需求, 抑制水土流失, 是现代旱作农业发展的很好途径<sup>[3-6]</sup>。本试验通过对不同微集水方式耗水规律进行研究, 以期能够全面地了解微集水蓄水保墒和提高水分利用效率的作用效果, 为旱作农业发展提供理论和技术支撑。

收稿日期: 2010-10-07

修回日期: 2010-12-28

资助项目: 国家科技支撑计划项目(NC2010FA0015, 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: 冯良山(1980-), 男, 辽宁庄河人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事水肥高效利用研究。E-mail: fenglsh@163.com

通信作者: 孙占祥(1967-), 男, 辽宁抚顺人, 研究员, 博士研究生导师, 主要从事旱作农业研究。E-mail: sunzhxanxiang@sohu.com

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2008 年在辽宁省农业科学院阜新旱农实验区(阜新市阜新蒙古族自治县阜新镇,东经 121°46′,北纬 42°09′)进行,供试玉米品种为辽单 565 号,供试土壤耕层理化性质如表 1。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,设 4 个处理,分别为: T<sub>1</sub> 垄上覆膜沟内种植(沟宽 65 cm,垄宽 35 cm,垄上覆膜,沟内种植玉米两行,行距 40 cm,株距 35 cm,见图 1); T<sub>2</sub> 垄上覆膜沟内覆膜种植(在垄上覆膜的基

础上,沟内也覆盖地膜,见图 2); T<sub>3</sub> 垄上覆膜沟内覆盖秸秆种植(在垄上覆膜的基础上,沟内覆盖玉米秸秆,如图 3 所示)。CK 传统种植(行距 50 cm,株距 35 cm)。每个处理重复 3 次,小区面积为 100 m<sup>2</sup>,每个小区四周埋设 1 m 深防水板并设置 1 m 隔离带,以防止田间径流和土壤水侧向渗漏。

玉米播种时间为 4 月 26 日,播种时施磷酸二铵(含 N18%, P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>46%)和三元复合肥(含 N15%, P<sub>2</sub>O<sub>4</sub>15%, K<sub>2</sub>O15%)各 150 kg/hm<sup>2</sup> 作为种肥,播种后覆膜或秸秆,秸秆覆盖量为 6 000 kg/hm<sup>2</sup>,覆膜栽培出苗后人工放苗,拔节期打孔追施尿素(含 N46%) 450 kg/hm<sup>2</sup>,其它管理正常。

表 1 供试土壤基本理化性质

pH	有机质/ %	全氮/ %	全磷/ %	全钾/ %	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	田间持水量/ %	凋萎系数/ %
6.70	2.06	0.105	0.075	3.14	78.0	31.8	196.0	35.6	13.6

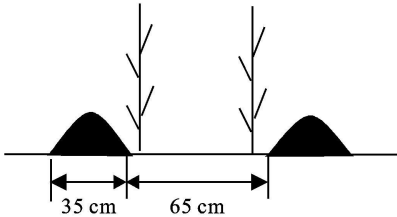


图 1 垄上覆膜沟内种植

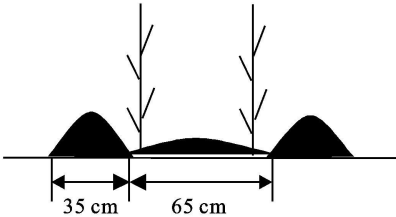


图 2 垄上覆膜沟内覆膜

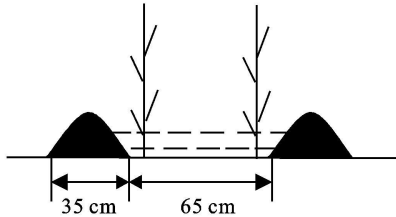


图 3 垄上覆膜沟内覆秸秆

1.3 调查方法

1.3.1 土壤含水量 2007 年每个小区内埋设 1 根 TDR 时域反射仪特制塑料管,2008 年土壤稳定后,自玉米出苗起,每隔 7 d 用德国产 TRIME-FM 土壤剖面水分速测仪定点测定 0-160 cm 土壤含水量,每个深度梯度为 20 cm,每个梯度读数 3 次,降雨后 24 h 后加测一次。

1.3.2 气象数据 试验田内设有自动气象观测站(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、土壤温度等气象要素。

1.3.3 玉米产量 收获前每个小区取 30 m<sup>2</sup> 单打单收测产,每个小区选取有代表性的 10 穗考种。

1.4 计算方法

1.4.1 参考作物蒸散量(ET<sub>0</sub>) 采用 FAO Penman-Monteith 公式进行计算,公式如(1)所示。

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

式中: R<sub>n</sub> ——到达作物表面的净辐射量 [MJ/(m<sup>2</sup>·d)]; G ——土壤热通量密度 [MJ/(m<sup>2</sup>·d)]; T ——作物冠层 2 m 高处的空气温度(℃); U<sub>2</sub> ——作物冠

层 2 m 高处的风速(m/s); e<sub>a</sub> ——饱和水汽压(kPa); e<sub>d</sub> ——实际水汽压(kPa); Δ ——水汽压对温度的斜率(kPa/℃); γ ——干湿球常数。

1.4.2 农田实际蒸散量(ET<sub>a</sub>) 采用土壤水分平衡法(2)进行计算。

$$ET_a = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad (2)$$
 式中: I ——该时段内的灌水量(mm); P ——该时段内的灌水量和降雨量(mm); RO ——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 ——深层土壤渗漏量(mm); CR ——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 ——土壤水侧向渗漏量(mm),包括侧向流入量 SF<sub>in</sub> 和侧向留出量 SF<sub>out</sub> 两项(本试验忽略); ΔSW ——土壤含水量变化量(mm)。

1.4.3 作物需水量(ET<sub>c</sub>) 指生长在大面积农田上的无病虫害作物,在土壤水分和肥力适宜时,在给定的生长环境中能够取得高产潜力的条件下,为满足植株蒸腾、棵间蒸发、组成植株体的水量之和,可用公式(3)求得。

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

式中: K<sub>s</sub> ——土壤水分胁迫系数,在雨养条件下则采用公式(4)计算。

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

式中:  $s$  —— 耕层土壤实际含水量;  $s_w$  —— 根系土壤凋萎系数;  $s^*$  —— 耕层土壤田间持水量。

1.4.4 作物系数( $K_c$ ) 指不同发育期中需水量与参考作物蒸散量之比值,是农业节水灌溉的重要参考指标,近年来也将其应用到旱作农业研究领域,其公式为如下:

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

1.4.5 水分利用效率(WUE) 指单位体积水生产的作物产量,公式如(5)所示。

$$WUE = Y/ET_a$$
$$= 0.1 \times Y/ET_a \quad (6)$$

式中:  $Y$  —— 玉米单位面积产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米田实际蒸散量的影响

从图 4 可以看出,几种处理中玉米田的日耗水量大小为  $CK > T_1 > T_3 \approx T_2$ 。经计算,相对于对照,生育期  $T_2$  少耗水 49.87 mm,  $T_3$  少耗水 43.06 mm,  $T_1$  少耗水 29.39 mm。由此说明,微集水种植可有效增加农田覆盖度,减少土壤水分蒸发量。

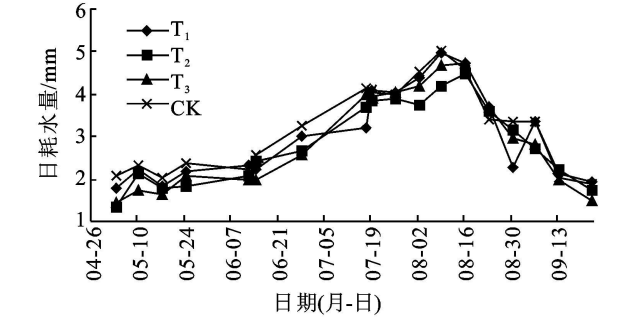


图 4 不同处理玉米田耗水量变化情况

2.2 不同处理对玉米田需水量的影响

参考作物蒸散量是由多种相关的气象数据计算得来,如图 5 所示,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 5 月中上旬达到最大值,为 6.85 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,致使参考作物蒸散量有所下降;玉米生育后期尽管晴朗天气增多,但随着净辐射量逐渐减少,参考作物蒸散量相对不高,这与以往的研究基本一致<sup>[79]</sup>。

在一定条件下作物需水量可以理解为作物达到

水分潜力产量时某时段内蒸腾蒸发量<sup>[10]</sup>,作物需水量的大小与气象条件(辐射、温度、日照、湿度、风速)、土壤理化性状、作物种类及其生长发育阶段、农业技术措施、灌溉排水措施等有关,本试验条件下的不同处理作物需水量的差异主要与不同种植模式有关。玉米整个生育期内 CK 的作物需水量最大,其次为  $T_1$ ,再次为  $T_3$ ,最少的为  $T_2$ 。经计算,相对于对照,  $T_2$ 、 $T_3$  和  $T_1$  生育期内需水量分别减少 81.66, 69.20, 48.45 mm。

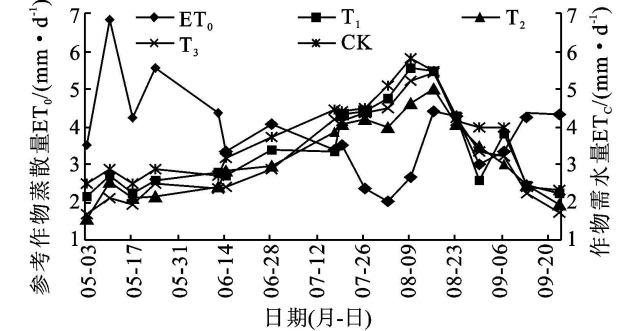


图 5 不同处理玉米需水量和参考作物蒸散量变化情况(2008 年)

2.3 不同处理对玉米作物系数的影响

从图 6 可以看出,玉米生长发育中前期,随着玉米的生长发育不断提高,8 月中前期达到最大值,生育后期随着玉米新陈代谢不断衰老,作物系数不断降低。经计算,几种植植方式中 CK 的作物系数最大,平均作物系数为 1.05;其次为  $T_1$ ,平均作物系数为 0.96(较 CK 减少 0.09);再次为  $T_2$ ,平均作物系数为 0.93(较 CK 减少 0.12);最小的为  $T_3$ ,平均作物系数为 0.89(较 CK 减少 0.16)。

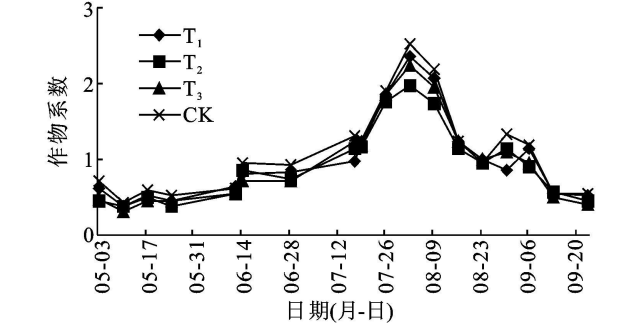


图 6 不同处理玉米作物系数变化情况

2.4 不同处理对玉米产量和水分利用效率的影响

不同处理玉米产量及水分利用效率如表 2 所示。微集水种植各种种植方式与传统种植相比都不同程度地增加玉米产量,尤以  $T_3$  和  $T_2$  增产幅度大,同时微集水模式耗水量也较传统模式小,使水分利用效率有所提高,  $T_3$ 、 $T_2$  和  $T_1$  分别比对照提高 28.53%、22.86% 和 14.96%。

表 2 不同处理产量及水分利用效率

处理	产量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	耗水量/ mm	水分利用效率/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
T <sub>1</sub>	12874bA	545.51	2.56
T <sub>2</sub>	13021bA	512.64	2.74
T <sub>3</sub>	13879aA	521.77	2.86
CK	11622cB	572.51	2.23

3 结论

作为集水农业的一种新形式, 农田微集水种植技术因其良好的农田水分调控效果及显著的增产效应倍受关注。近年来, 有关农田微集水种植技术的研究形式日渐丰富, 内容渐趋完善<sup>[11-14]</sup>。在半干旱区农田土壤水主要以土面蒸发的形式损失, 蒸发量很大, 农田微集水技术能够在对降水进行有效蓄集和调控的基础上, 利用覆盖抑蒸理论, 通过有效覆盖形成一个隔离层, 阻断土壤中气体与大气的交换通道, 减少土壤水的蒸发损失, 而将水储蓄在土壤中, 供作物利用, 达到高效用水的目的<sup>[15]</sup>。

本试验条件下 T<sub>2</sub> 的保水效果最好, 玉米生育期农田实际耗水量较传统模式减少 49.87 mm, 其次为 T<sub>3</sub>, 农田耗水量较传统模式减少 43.06 mm, 再次为 T<sub>1</sub>, 农田耗水量较传统模式减少 29.39 mm。与此同时, 微集水模式可以降低作物的需水量, T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 和 T<sub>1</sub> 分别较对照生育期内需水量减少 81.66, 69.20, 48.45 mm, 生育期平均作物系数分别较传统模式降低 0.12, 0.16, 0.09。集水种植各种种植方式与传统种植相比都不同程度的增加玉米产量和水分利用效率, T<sub>3</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>1</sub> 分别比对照提高 28.53%、22.86% 和 14.96%。

参考文献:

[1] 张初龙, 邓伟. 农业水资源可持续利用评价指标体系构

建与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.

[2] 陈奇恩, 萧复兴, 晋凡生, 等. 晋中旱地玉米耗水规律及农田水分平衡研究[J]. 华北农学报, 1991, 6(4): 94-99.

[3] 张雷, 牛建彪, 赵凡. 旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 8-11.

[4] 温晓霞, 韩思明, 赵风霞, 等. 旱作小麦地膜覆盖生态效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 93-95.

[5] 肖继兵, 孙占祥, 杨久廷, 等. 旱作农田高粱垄膜沟种高产栽培技术研究[J]. 辽宁农业科学, 2008(3): 30-32.

[6] 李育中, 程延年. 抑蒸集水抗旱技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.

[7] 孙占祥, 冯良山, 杜桂娟, 等. 玉米灌溉田土壤水分变化及其耗水规律研究[J]. 玉米科学, 2010, 18(1): 99-102, 107.

[8] 冯良山, 孙占祥, 曹敏建, 等. 科尔沁沙地南缘地区主要作物耗水规律及水分利用评价[J]. 作物杂志, 2010(4): 10-14.

[9] Wang X F, Xu F, Shani U. Evaporation from bare soil in extremely arid environment in southern Israel[J]. Pedosphere, 1996, 6(2): 139-146.

[10] 王俊鹏, 韩清芳, 王龙昌, 等. 宁南半干旱区农田微集水种植技术效果研究[J]. 西北农业大学学报, 2000, 28(4): 16-20.

[11] 中国农业工程学会农业水土工程委员会. 农业高效用水与水土环境保护[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.

[12] 孙占祥. 风沙半干旱区农业综合发展研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.

[13] 贾志宽. 旱作农田根域集水种植技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[14] 肖继兵, 杨久廷, 辛宗绪, 等. 风沙半干旱区旱地玉米提高降水生产效率的栽培技术研究[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 116-120.

[15] 马耀光, 张保军, 罗志成, 等. 旱地农业节水技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

(上接第 212 页)

[2] 孙书洪, 王学安, 王仰仁, 等. 基于作物水分生产函数下的限额灌溉制度优化研究[J]. 水利水电技术, 2005, 36(10): 105-108.

[3] 汤广民, 王友贞. 安徽淮北平原主要农作物的优化灌溉制度与经济灌溉定额[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(2): 24-29.

[4] 吕雯, 汪有科, 许晓平. 秸秆覆盖畦田灌溉水流特性及灌

水质量分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 236-238.

[5] 仵峰, 陈玉民, 宰松梅. 石津灌区适宜田间灌水技术试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2003(2): 19-23.

[6] 黄高宝, 张恩和. 调亏灌溉条件下春小麦玉米间套农田水、肥与根系的时空协调性研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 53-56.

[7] 司徒淞, 张薇, 庞鸿宾. 地面灌水技术优化组合节水高产机理研究[J]. 灌溉排水学报 1998, 17(4): 11-15.