

# 石羊河流域农田休闲期耗水规律研究\*

丁 林<sup>1</sup> 金彦兆<sup>1</sup> 李元红<sup>1</sup> 刘 冠<sup>2</sup> 王以兵<sup>1</sup> 孟彤彤<sup>1</sup> 李 斌<sup>1</sup>

(1. 甘肃省水利科学研究院 兰州 730000; 2. 江苏省昆山市水利局 昆山 215300)

**摘 要** 通过微型蒸渗器和 diviner2000 土壤水分测定仪测定了不同耕作及储水灌溉条件下农田休闲期土壤水分动态变化规律,并结合气象数据比较不同耕作方式和灌水处理的优越性,分析了休闲期不同耕作方式及储水灌溉措施对土壤水分及降水利用的影响。研究表明,春耕可减少农田表层土壤蒸发,保水效果较好;低定额储水灌溉既没有造成深层渗漏,且蒸发损失小;冬季大定额储水灌溉产生 43.86 mm 的深层渗漏和 121.11 mm 的土壤水分蒸发,形成了水资源的无效流失;而春耕+免储水灌溉只产生 54.41 mm 水分损失,节水效果显著。土壤蒸发和深层渗漏产生的土壤水分损失大小顺序为:传统冬季储水灌溉>低定额储水灌溉>秋耕+免储水灌溉>春耕+免储水灌溉,低定额储水灌、秋耕+免储水灌溉、春耕+免储水灌溉处理土壤水分损失较对照分别减少 53.44 mm、97.52 mm 和 110.56 mm(土面蒸发+深层渗漏)。石羊河流域春耕+免储水灌溉处理可有效减少休闲期水分损失,提高休闲期水分利用效率。

**关键词** 农田 休闲期 耕作方式 储水灌溉 土面蒸发 深层渗漏 耗水规律 石羊河流域

**中图分类号:** S275.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)04-0447-07

## Farmland water consumption during fallow period in Shiyanghe River Basin

DING Lin<sup>1</sup>, JIN Yan-Zhao<sup>1</sup>, LI Yuan-Hong<sup>1</sup>, LIU Guan<sup>2</sup>, WANG Yi-Bing<sup>1</sup>, MENG Tong-Tong<sup>1</sup>, LI Bin<sup>1</sup>

(1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China; 2. Kunshan Water Conservancy Bureau, Jiangsu Province, Kunshan 215300, China)

**Abstract** Water-storing irrigation, a widely applied irrigation method in Shiyanghe River Basin, stored redundant river or reservoir water in soil during fallow period through irrigation to provide water for the seedling growth in the next spring. Though lower evaporation in winter fallow period, the accumulative evaporation is still greater due to high evaporation during summer fallow period and high water-storing irrigation quotas. Given low water use efficiency and wasteful traditional irrigation, this paper put forward an alternative strategy for water-storing irrigation in Shiyanghe River Basin, west China. Different plough and irrigation methods were set to explore variation in soil water moisture and evaporation by using micro-lysimeter and driver 2000. Meteorological materials and other auxiliary data were also used to analyze the effects of different plough and irrigation practices on usage of soil water and rainfall. The study showed that no-tillage in autumn reduced surface soil evaporation with obvious water conservation effects. Low water-storing irrigation quotas prevented not only deep seepage, but also evaporative loss. High winter water-storing irrigation quotas caused 43.86 mm deep seepage and 121.11 mm soil moisture evaporation, laying the basis for wasteful utilization of the limited water resources. Spring plough without water-storing irrigation only caused 54.41 mm loss of water, whose water-saving effect was significant. Soil moisture loss via evaporation and deep seepage processes were in the order of traditional water-storing irrigation > low water-storing irrigation rate > autumn plough without water-storing irrigation > spring plough without water-storing irrigation. Compared with the control (CK), low rate water-storing irrigation, autumn plough without water-storing irrigation and spring plough without water-storing irrigation treatments reduced water loss by 53.44 mm, 97.52 mm and 110.56 mm, respectively. The experimental results indicated that spring plough without water-storing irrigation reduced water loss and improved water use efficiency in farmlands during fallow period in Shiyanghe River Basin.

**Key words** Farmland, Fallow period, Plough method, Water-storing irrigation, Soil evaporation, Deep seepage, Water con-

\* 水利部公益性行业科研专项(201101045)、国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAD29B04)、甘肃省技术与开发专项(1004TCYA037)、甘肃省工程技术中心建设计划(1009FTGA016)、国家自然科学基金项目(51169001)和甘肃省科技支撑计划项目(1011NKCA061)资助

丁林(1978—),男,硕士,工程师,主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: dl20709@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011-03-15 接受日期: 2011-10-28

sumption, Shiyanghe River Basin

(Received Mar. 15, 2011; accepted Oct. 28, 2011)

储水灌溉在石羊河流域被普遍应用<sup>[1-4]</sup>, 主要目的是把冬季河流(水库)多余的水量通过灌溉的方式储存在土壤中, 以保证次年春播所要求的土壤含水量并供作物在生育期第1次苗水灌溉前利用<sup>[5-8]</sup>。根据对流域主要灌区多年的调查了解, 该区储水灌溉的定额普遍较高, 一般为 $2\,250\sim 2\,700\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ <sup>[9-10]</sup>, 有时甚至达到或超过 $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ; 另外夏季休闲期降水集中, 农田土壤蒸发量大, 年降水的一半以上分布于此时段, 此期降水的60%被土壤无效蒸发损失, 是降水高峰与高蒸发时段同步期; 而冬季休闲期由于经过储水灌溉, 虽然气候因素降低了土壤蒸发能力, 但其累积蒸发量仍然较大<sup>[10-15]</sup>。农田耗水的研究不仅是农田水分平衡研究的重要组成部分, 也是制定灌溉计划以及评价气候资源和水分供应状况的前提, 在农业生产中有重要作用<sup>[16]</sup>。国内外相关研究多集中在不同覆盖措施及耕作措施对农田休闲期节水效应及休闲期土面蒸发模型方面, 对农田休闲期耗水规律及适宜于石羊河流域的休闲期耕作与灌溉措施方面的研究较少。本研究针对石羊河流域传统灌水模式中存在的灌溉水深层渗漏、休闲期土面无效蒸发等问题, 对休闲期降水量和储水灌水量的有效储蓄和调配利用, 以及农田整个休闲期(夏季+冬季)蒸发耗水规律开展研究, 研究结果对石羊河流域有限水资源高效利用及其综合治理具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验点设在甘肃省武威市中心灌溉试验站, 该站位于武威市凉州区城区东南 30 km 的王景寨村, 东经  $102^{\circ}52'$ , 北纬  $37^{\circ}52'$ , 海拔 1 581 m。多年平均降水量 180.9 mm, 蒸发量 1 901.8 mm, 年均降水天数 57 d, 无霜期 155 d, 属典型的大陆性温带干旱气候。该区呈平原地貌, 土壤类型以黏土、壤土和沙土为主。降水量年内分布极不均匀, 4—6 月、7—9 月降水量分别占年内降水量的 19.79%和 55.95%。地下水埋深 40 m, 相对湿度 53.26%, 全年日照 2 618.8 h, 平均风速  $2.68\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。土壤肥力状况为: 有机质含量  $8.84\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全氮  $0.77\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )  $1.42\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全钾(K)  $27.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  等。

### 1.2 试验设计

试验采用冬季储水灌溉和免储水灌溉两种形式, 免储水灌溉即免去冬季或春季农田储水灌溉, 试验共设置 4 个处理, 分别为传统冬季储水灌溉(CI, 灌水

量  $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ )、低定额冬季储水灌溉(LI, 灌水量  $900\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ )、秋耕+免储水灌溉(ANSW)、春耕+免储水灌溉(SNSW), 小区面积  $2.5\text{ m}\times 12\text{ m}$ , 各处理均设 3 个重复。每个处理随机布置 3 个测定土壤蒸发量的蒸渗桶(Micro-Lysimeter), 该蒸渗桶用 0.75 mm 厚的镀锌铁皮卷制而成, 直径 20 cm, 桶高 30 cm, 底部封闭。

### 1.3 试验方法

用蒸渗桶直接测定土面蒸发时, 取原状土装到桶内, 每天下午 19:00 进行称重, 根据两次称重差值换算出土壤蒸发量, 在发生有效降水及灌水后立即进行换土处理, 所换土层为该小区原状土。各试验小区秋耕前有麦茬覆盖, 麦茬高 10 cm, 秋耕后无麦茬覆盖。从小麦收割后 2 d 开始, 每隔 10 d 在深度为 0~100 cm 土层中每 10 cm 取 1 个土样, 用烘干称重法测定并计算土壤质量含水量, 降水及灌水前后进行加测, 冬季土壤上冻后, 用 diviner2000 测定土壤含水量, 每 10 d 进行 1 次观测。试验于 2007 年 8 月 4 日开始, 2008 年 3 月 25 日结束, 秋耕时间为 2007 年 10 月 25 日, 储水灌溉时间为 2007 年 11 月 20 日。试验期间降水量及气温变化情况见图 1 所示。

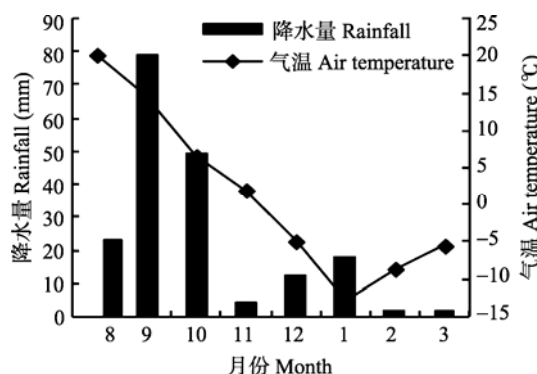


图 1 试验期间(2007 年 8 月—2008 年 3 月)试验区降水量及气温变化情况

Fig. 1 Temperature and precipitation changes in the studied area from Aug. 2007 to Mar. 2008

## 2 结果与分析

### 2.1 农田休闲期土壤水分垂直变化特点

#### 2.1.1 夏季休闲期土壤水分垂直变化特点

根据各处理的秋耕方式, 将夏季休闲期分为两个阶段, 第 1 阶段从小麦收割至秋耕, 第 2 阶段从秋耕至储水灌溉前。分别对收割后(2007 年 8 月 4 日)、秋耕前(2007 年 9 月 20 日)、秋耕后(2007 年 10 月 25 日)、储水灌溉前(2007 年 11 月 16 日)的土壤含水量进行测定, 各时间点的土壤水分垂直分布见图 2。

2007年8月4日对收割后的土壤水分进行测定,各处理0~100 cm土层土壤水分垂直分布基本一致。表层土壤受到蒸发影响,含水量较低;40~50 cm土层土壤含水量最大;50 cm以下土层土壤含水量又开始下降,造成土壤水分在垂直方向上呈横“V”字形。2007年9月下旬CI、LI、ANSW 3个处理进行秋耕, SNSW 实施秋季免耕, 2007年9月20日和2007年10月25日分别测定各处理秋耕前后的土壤含水量。从图2看出,秋耕前各处理间的土壤水分分布仍然没有发生差异性变化,由于该阶段(9月20日—10月25日)有效降雨对土壤水分的补给,土壤水分略有提高,0~30 cm土层土壤水分变化最为明显,深层土壤水分分布几乎没有变化。秋季免耕(SNSW)处理0~40 cm土层土壤含水量与传统耕作方式相比差异显著( $P<0.01$ ),说明传统耕作模式与秋季免耕土壤

的机械结构相比发生了较大变化,土壤孔隙度变大,保水性较差,同等天然降雨的转化利用率减低,形成水分的流失。30 cm以下土层水分变化趋势各处理间差异不大,说明秋季免耕处理主要通过限制农田表层土壤蒸发来保持土壤水分,而对底层土壤水分影响不大。由于储水灌溉前有效降雨量较少,表层土壤的含水量有所下降,但在0~30 cm土层, SNSW 处理的土壤含水量与其他3个处理相差较大( $P>0.01$ )。也就是说,从前茬小麦收获到秋耕后,由于土壤质地及土壤结构发生较大变化,表层土壤疏松,极大地加剧了表层土壤水分蒸发,形成大量的水分损失,而秋季免耕处理则很好地保持了土壤水分。

### 2.1.2 冬季休闲期土壤水分垂直变化特点

不同储水定额冬季储水灌溉后的土壤含水率变化如图3所示。由图3可以看出, CI 和 LI 处理由于

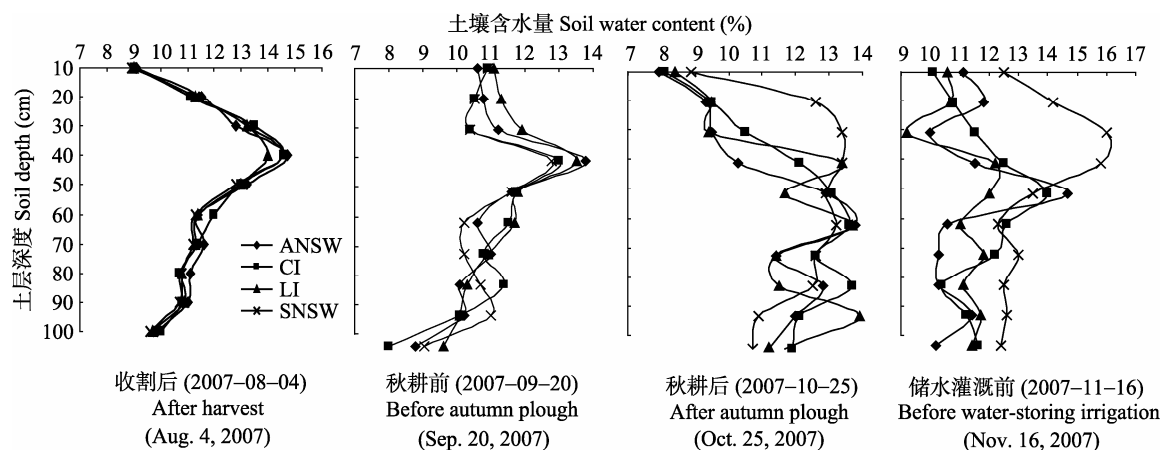


图2 不同耕作及储水灌溉处理夏季休闲期的土壤水分垂直分布情况

Fig. 2 Vertical distribution of soil moisture content during summer fallow period under different plough and irrigation treatments

ANSW: 秋耕+免储水灌溉 Autumn plough without water-storing irrigation; CI: 传统冬季储水灌溉 Traditional water-storing irrigation; LI: 低定额储水灌溉 Low water-storing irrigation rate; SNSW: 春耕+免储水灌溉 Spring plough without water-storing irrigation. 下同 The same below.

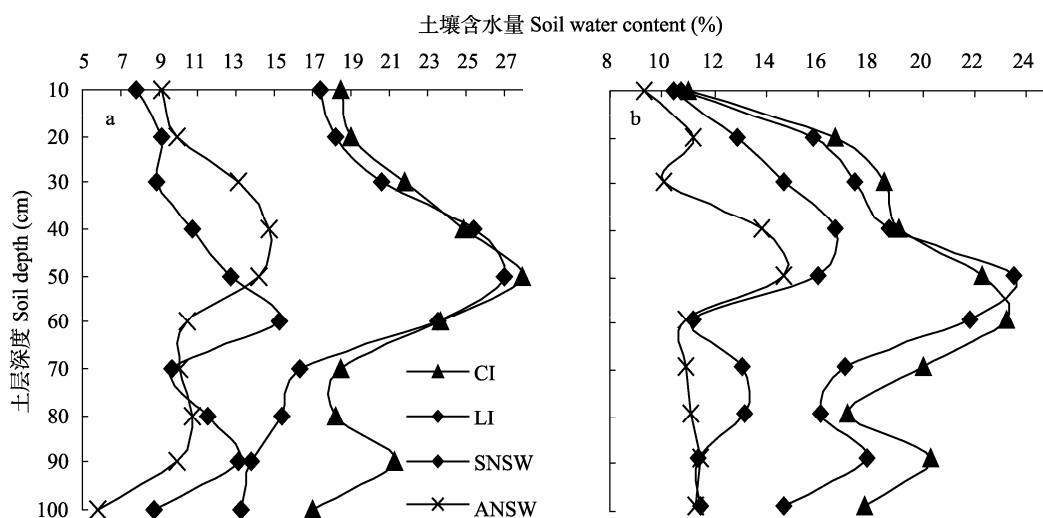


图3 冬季储水灌溉后(a, 2007年11月25日)及次年播种前(b, 2008年3月25日)不同耕作及储水灌溉处理土壤含水量垂直分布情况

Fig. 3 Vertical distribution of soil moisture content after water-storing irrigation (a, Nov. 25, 2007) and before planting in the next spring (b, Mar. 25, 2008) under different plough and irrigation treatments

经过储水灌溉补充土壤水分, 故其土壤含水量远高于其他两种处理, 而且在 70~100 cm 土层中, CI 处理的土壤含水量又高于 LI 处理, 达到该土层田间持水率的 19.6%, 必定造成一定程度的深层渗漏, 形成土壤水分的无效流失。各处理由于受到土壤蒸发影响, 0~20 cm 土层含水量差异不大, 而在 20~100 cm 土层, CI 和 LI 处理的土壤含水量仍高于其他两种处理, 由于 2007 年冬季休闲期降水量较大, SNSW 和 ANSW 两种处理通过降水水分补给, 土壤含水量还略有提高。从图可看出, CI 处理表层含水量与 LI 处理相差不大, 但存在明显的水分深层渗漏, 造成农田土壤水分的不必要浪费。而 LI 处理的土壤水分则主要储存在 40~60 cm 土层当中, 既没有造成深层渗漏, 又不会形成蒸发损失, 储水灌的效果较好。

## 2.2 农田休闲期土壤含水量变化动态

通过对休闲期土壤水分的连续观测, 对休闲期农田表层 0~30 cm 土层土壤含水量变化进行了对比分析。由图 4 可知, 前茬小麦收割时, 各处理间土壤

水分差别并不大, 由于几乎没有有效降水, 土壤含水量不断下降。9 月降雨较多, 土壤含水量有所增加, 到 10 月下旬又开始呈下降趋势。10 月 25 日耕地后, 秋季免耕(SNSW)处理的土壤水分虽然也在减小, 但其土壤水分变化比其他 3 个处理的下降速度要小, 说明秋季免耕(SNSW)具有保墒作用。进入 9 月, 降水量增多, 表层土壤含水量变化较为剧烈, 而与其他处理相比, 秋季免耕的表层土壤含水量变化相对平稳, 且与其他处理含水量之间的差距不断扩大。11 月 20 日对 CI 和 LI 处理的小区进行冬季储水灌溉, 其他两处理未冬灌。CI 和 LI 的土壤含水量明显升高, CI 的含水量最大, LI 次之, 其次是 SNSW 和 ANSW。

## 2.3 农田休闲期土壤水分蒸发动态

### 2.3.1 土壤日蒸发量与表层土壤含水量的关系

为了消除气象因素的影响, 图 5 给出了 2007 年 9 月(平均温度 20.6 °C)和 11 月(平均温度 8.6 °C)实测裸地土壤日蒸发量与表层 0~20 cm 土层土壤质量含

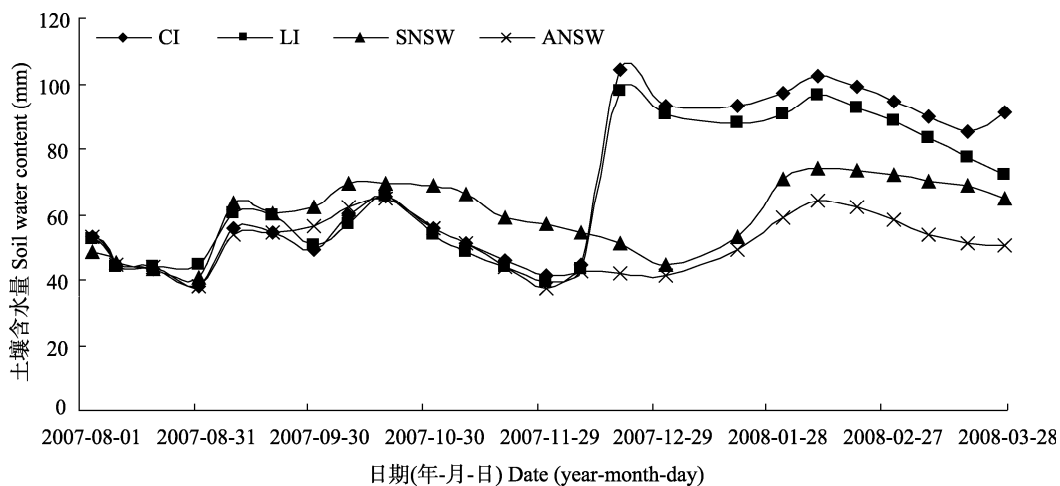


图 4 不同耕作及储水灌溉处理农田休闲期 0~30 cm 土层土壤含水量变化

Fig. 4 Soil moisture changes of 0~30 cm layer during fallow period under different plough and irrigation treatments

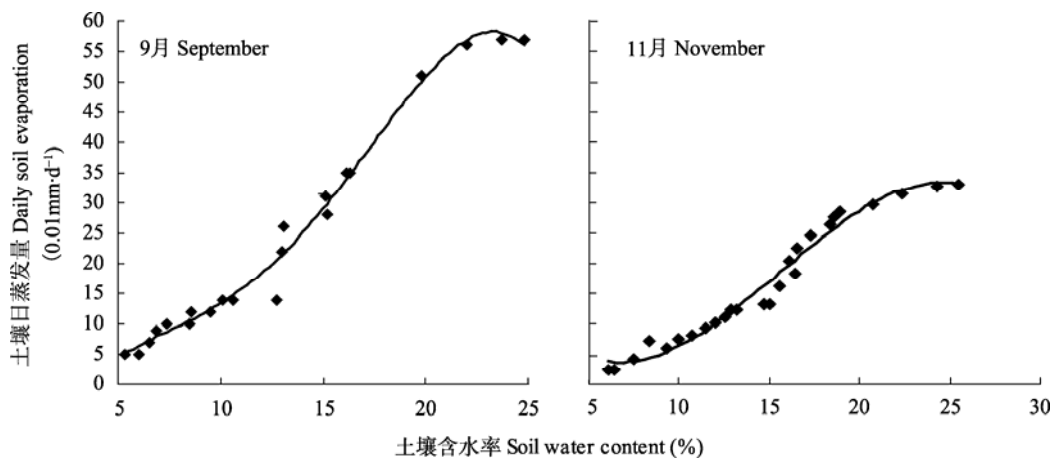


图 5 试验区 9 月、11 月土壤日蒸发量与 0~20 cm 土层土壤含水量的关系

Fig. 5 Correlation between soil daily evaporation and soil moisture content of 0~20 cm soil layer in Sep. and Nov. in the studied area

水率的关系。从图中可以看出, 土壤日蒸发量与表层土壤含水率的变化趋势相同, 均先随土壤含水率的增加而线性增加, 当表层土壤含水率介于 10%~14% 时, 土壤日蒸发量随土壤含水率增加而增大的速率较小; 当表层土壤含水率介于 14%~19% 之间时, 土壤日蒸发量又随土壤含水率的增加而迅速增大; 当表层土壤含水率大于 19% 时, 土壤日蒸发量随土壤含水率的增加基本上呈水平直线变化。这一结果说明, 当表层土壤含水率大于 20% 时, 土壤蒸发主要受大气蒸发力控制, 处在土壤蒸发的第 1 阶段; 当表层土壤含水率介于 10%~19% 时, 土壤蒸发处在蒸发速率的递减阶段, 主要受制于土壤湿度和土壤导水率的大小。根据观测结果, 当表层土壤重量含水率低于 10% 时, 土壤日蒸发量下降趋势减小, 主要是土壤水分受到土壤颗粒吸附力的影响。根据土壤蒸发观测结果, 对土壤日蒸发量与表层土壤重量含水率关系进行回归分析, 结果见表 1。

表 1 土壤日蒸发量与 0~20 cm 土层土壤含水率相关关系回归拟合

月份 Month	拟合方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient ( $R^2$ )
9 月 Sep.	$y = -0.0015x^4 + 0.0758x^3 - 1.1803x^2 + 9.10x - 20.12$	0.9879
11 月 Nov.	$y = -0.0103x^3 + 0.481x^2 - 5.0579x + 19.017$	0.9746

### 2.3.2 农田休闲期土壤蒸发量变化

从图 6 可以看出, 农田夏季休闲期各处理间的土壤日蒸发量差异不明显, 土壤日蒸发量变化趋势基本一致。从 2007 年 11 月 21 日冬季储水灌溉后进入冬季休闲期, CI 和 LI 两处理由于进行了灌水, 大

量补充了土壤水分, 其土壤日蒸发量大幅增加, 明显高于其他两处理。2007 年冬季休闲期虽然受到气候因素影响, 土壤蒸发能力下降, 日蒸发量减小, 但由于 2007 年 12 月至 2008 年 1 月降水量较大, 导致这一阶段土壤日蒸发量并没有下降反而有一定程度的提高。进入 2008 年 2 月份以后, 随着气温的回升, 土壤日蒸发量有一定的提高, 但随着表层土壤含水量的下降, 其土壤蒸发也相应减少。

### 2.3.3 农田休闲期土壤累积蒸发量变化规律

休闲期农田土壤蒸发量较大, 是土壤水分损失的主要原因。本研究利用土壤剖面含水量资料及 Lysimeter 测定的土壤表面蒸发资料对休闲期农田土壤累积蒸发量进行了分析比较, 结果见图 7。

从图 7 看出, 在 11 月 22 日冬季储水灌溉以前, 4 个处理的土壤累积蒸发量无明显差异, 随后差距逐步拉大。春小麦播种前, 与 CI 相比, LI、ANSW、SNSW 处理累计蒸发量分别低 12.92%、44.31% 和 55.07%, 说明 CI 处理形成了过多的无效水分损失。

### 2.4 农田休闲期耗水量分析

耗水量( $ET$ )按式(1)计算:

$$ET_{1-2} = 10 \sum_{i=1}^n \gamma_i H_i (W_{i1} - W_{i2}) + M + P_0 + K - C \quad (1)$$

式中,  $ET_{1-2}$  为阶段耗水量(mm),  $i$  为土壤层次号数,  $n$  为土壤层次总数目,  $\gamma_i$  为第  $i$  层土壤干容重( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  $H_i$  为第  $i$  层土壤的厚度(cm),  $W_{i1}$  为第  $i$  层土壤在时段始的含水量(干土重的百分率),  $W_{i2}$  为第  $i$  层土壤在时段末的含水量(干土重的百分率),  $M$  为时段内的灌水量(mm),  $P_0$  为时段内的有效降水量(mm),  $K$  为时段内的地下水补给量(mm), 有底蒸渗器  $K=0$ ,  $C$  为时段内的排水量(地表排水与下层排水之和, mm)<sup>[17]</sup>。

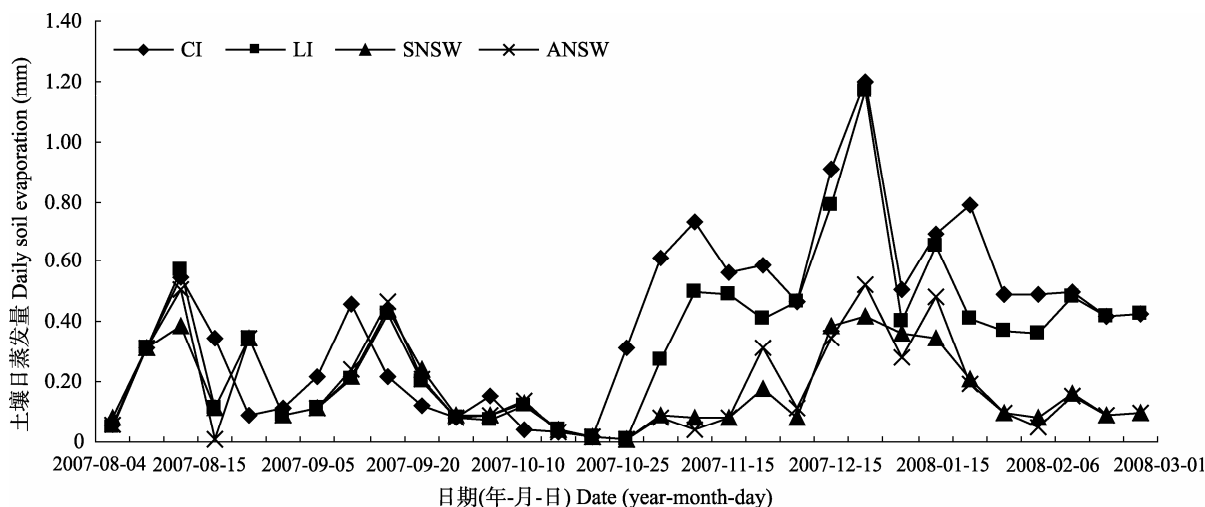


图 6 不同耕作及储水灌溉处理农田休闲期土壤日蒸发量变化

Fig. 6 Soil daily evaporation changes during fallow period under different plough and irrigation treatments

由于试验区地下水埋深在 20 m 以下, 故地下水的补给量在计算作物耗水量时不予考虑, 即  $K=0$ 。同样高强度长时间的大降水很少, 在计算耗水量时, 一般将 5 mm 以下的降水称为无效降水, 计算时不予考虑。根据观测到的土壤水分变化过程, 计算了石羊河流域农田休闲期 1 m 土层内土壤储水量变化, 结果见表 2。

与历年农田休闲期平均降水量 72 mm 相比, 2007 年春小麦收割后降水量较大。到储水灌溉前, 虽然土壤蒸发量较大, 但由于降雨仍然有一部分水分储存在土壤中, 提高了土壤含水量, 增加了土壤的储水量。其中, SNSW 的储水量增加明显高于其他 3 个处理, 形成显著性差异( $P<0.01$ )。2007 年 11

月下旬, 对 CI 和 LI 处理进行冬季储水灌溉, 由于 CI 处理的灌溉定额较大, 产生了 43.86 mm 的深层渗漏, 形成了水资源的无效流失。在冬季休闲期, 由于土壤含水率相差较大, 故 4 处理的土壤蒸发量相差较大。与 CI 处理相比, LI、ANSW 和 SNSW 的土壤总蒸发量分别减少 15.56 mm、53.66 mm 和 66.70 mm。从整个农田休闲期来看, 由于土壤蒸发和灌溉产生的深层渗漏而产生的土壤水分损失的大小顺序为:  $CI>LI>ANSW>SNSW$ , 其休闲期耗水量分别为 164.97 mm、111.53 mm、67.45 mm 和 54.41 mm, 由上说明, 在石羊河流域农田采用春耕+免储水灌溉可有效减少休闲期耗水量, 提高水分利用效率。

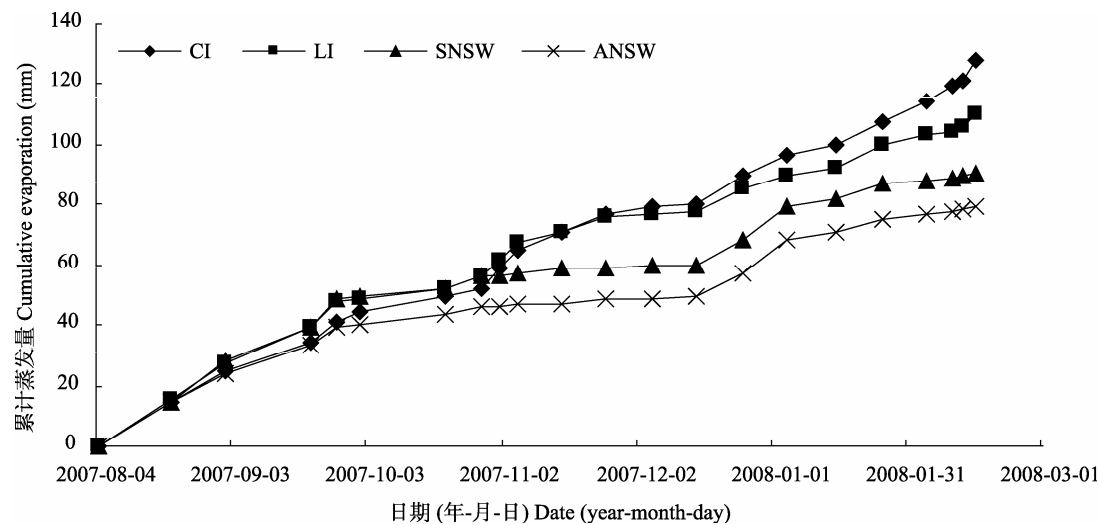


图 7 不同耕作及储水灌溉处理农田休闲期土壤累积蒸发量  
Fig. 7 Cumulative soil evaporation during fallow period under different plough and irrigation treatments

表 2 不同耕作及储水灌溉处理农田休闲期 1 m 土壤深度水量平衡表  
Table 2 Water balance of 1 m soil depth during fallow period under different plough and irrigation treatments mm

处理 Treatment	有效降雨及灌水量 Effective rainfall and irrigation water	储水灌溉前增加储水量 Increased water storage before water-storing irrigation	深层渗漏 Deep seepage	增加储水量 Increased water storage	土壤总蒸发 Total soil evapo- ration	休闲期耗水量 Water consumption during fallow period
CI	250.7	21.43	43.86	88.73	121.11	161.97
LI	190.8	22.24	6.07	79.27	105.46	111.53
ANSW	100.8	23.09	0	33.35	67.45	67.45
SNSW	100.8	33.16	0	46.39	54.41	54.41

3 讨论与结论

采用秋季深耕、冬季大定额储水灌溉是石羊河流域农田休闲期传统的耕作及灌溉方式, 该流域内夏作物休闲期长达 7 个半月, 秋作物休闲期也达 6 个月之久, 由于该区气候干燥, 降水很少, 大风天气较频繁, 土面蒸散发是该区农田水分主要消耗途径之一。为验证这一结论, 本研究结合试验期间气

象资料, 采用 FAO 的参考蒸散计算公式对试验期间 (2007 年 8 月—2008 年 3 月) 蒸散量进行了计算, 计算结果为  $ET_0=289.44$  mm, 而实际试验监测休闲期土面蒸发量为 121.11 mm, 占潜在蒸散量的 41.84%, 较该区 8 月—次年 3 月多年平均土面蒸发量 100.9 mm 大 20.21 mm, 主要是由于在试验期间降雨量大于该区同期平均降雨量, 属丰水年份, 土壤蒸发量也相应大于多年平均值, 但不影响该区农田休闲期

土壤蒸发量较大这一结论,因此,试验期间蒸发数据较为合理。由上可得传统灌溉方式在农田休闲期蒸发、渗漏较大,水量浪费严重,已不能适应石羊河流域生态治理的目标及高效节水型农业与流域可持续发展的要求。而采用秋季免耕可以一定程度上抑制土壤蒸发量,增加土壤的储水量;采用节水型冬季储水灌技术,适当降低灌溉定额甚至免储水灌可以有效减少土壤水分的深层渗漏,并可在冬季休闲期极大地减少土壤的水分蒸发;采用免耕免冬灌技术可有效减少休闲期水分损失,充分利用降水资源,提高水分利用效率。因而免耕免冬灌技术和节水型冬季储水灌技术将是未来石羊河流域适宜大力推广的主要技术之一。

但免秋耕不能深耕细耙,不利于疏松土壤,不利于作物根系下扎和扩展,因而研究秋耕改春耕技术将是解决这一问题的关键;免冬季储水灌的农田由于土壤储水量较少,土壤含水量较低,不能满足作物出苗及苗期正常生长的土壤水分要求,因而研究春季储水灌溉技术、免储水灌溉注水播种技术及配合施用保水剂技术是非常有必要的。

## 参考文献

- [1] 柴存英,王仰仁,王晓东. 冬小麦储水灌溉节水增产效果分析[J]. 山西水利科技, 1999(1): 93-95
- [2] 刘冠,张新民,董平国. 河西干旱区冬季免储水灌溉结合坐水种技术对春小麦出苗率和产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9426-9429
- [3] 张新民,马忠民,胡想全,等. 节水型冬季储水灌溉技术及其应用前景[J]. 中国农村水利水电, 2007(3): 48-49, 54
- [4] 谢忠奎,王亚军,祁旭升,等. 河西绿洲区储水灌溉节水技术研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 451-454
- [5] 陆祥生,梁智. 武威灌溉农业节水问题思考[J]. 农业科技与信息, 2006(9): 26-27
- [6] 赵财. 河西绿洲灌区主要作物田间节水灌溉技术的适应性分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005: 41-43
- [7] 丁林,张新民,王福霞. 免储水灌施用保水剂注水播种对玉米产量及其构成因素的影响[J]. 中国农村水利水电, 2010(2): 60-63
- [8] 张新民,丁林,雒天峰. 民勤地区玉米注水播种技术试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 86-89
- [9] 王福霞. 河西内陆灌区玉米免储水灌注水播种技术试验研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009: 6-7
- [10] 刘冠. 干旱区农田休闲期耗水规律及春小麦注水播种技术研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009: 12-23
- [11] 丁林,张新民. 保水剂对春玉米注水播种条件下土壤水分及生长发育的影响[J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 56-60
- [12] 王以兵,丁林,张新民. 免储水灌注水播种条件下保水剂使用对玉米生长发育的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 152-156
- [13] 丁林,王以兵,李元红,等. 干旱区辣椒全膜垄作沟灌与保水剂配合节水技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 77-82
- [14] 翟治芬,赵元忠,景明,等. 秸秆和地膜覆盖下春玉米农田腾发特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 62-66
- [15] 姚宝林,景明,施炯林. 留茬覆盖免耕条件下土壤休闲期节水效应研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(2): 122-125
- [16] 孙宏勇,张喜英,陈素英,等. 农田耗水构成、规律及影响因素分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1032-1038
- [17] 韩占江,于振文,王东,等. 调亏灌溉对冬小麦耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 21(11): 2671-2677