

# 甘肃河西地区不同储水灌溉和生育期 灌溉农田水分特征分析

杨 伟, 张富仓, 陈静静

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 对甘肃河西地区不同储水灌溉和生育期灌溉农田水分特征进行了试验研究。结果表明: 在河西地区, 冬季储水灌溉定额为 180 mm 的处理, 其生育期剖面的土壤水分较多地分布在 140~160 cm, 且土壤含水量达到 30% 以上, 容易发生深层渗漏; 较小的储水灌溉定额, 土壤水分主要分布在 0~100 cm 范围内, 不会引起土壤剖面水分的深层渗漏。冬季储水灌溉定额愈大, 春播前农田无效土壤蒸发也愈大。冬季储水灌溉定额相同, 生育期灌溉定额大的处理其剖面含水量高, 且分布愈深, 深层土壤的水分渗漏也愈大。总的灌溉定额相同, 冬季储水灌溉和生育期灌溉比较, 生育期灌溉定额较大的处理, 剖面水分的分布主要集中在 0~100 cm 的土层内, 没有出现易发生深层渗漏较高的水分分布。在小麦生育期, 总的灌溉定额相同的条件下, 冬季储水灌溉定额大的处理, 0~200 cm 土壤水分有亏缺, 冬季储水灌溉定额大或生育期灌溉定额大, 农田腾发量也愈大。适中的储水灌溉定额, 不仅有利于作物的生长, 还有利于灌溉水分利用效率的提高。

**关键词:** 储水灌溉; 土壤水分; 春小麦; 河西地区; 灌溉定额

**中图分类号:** S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0007-09

储水灌溉是利用土壤水库的调蓄作用, 把非生育期的地面来水或地下水以较大的灌水定额通过灌溉储存在土壤中, 以满足作物生育期用水要求<sup>[1]</sup>。冬季储水灌溉在我国北方干旱半干旱地区被普遍采用<sup>[2]</sup>, 特别是在西北干旱半干旱地区甘肃河西地区, 冬季寒冷, 大部分作物不秋播, 而多采用春播, 一般在秋末冬初进行储水灌溉(也叫冬季泡田), 可保证春播时有较好的墒情, 尽管这样, 河西地区的储水灌溉由于冬季的地面来水少, 储水灌溉的河流来水量不足, 尤其是进入 11 月份以后, 渠道开始结冰, 输水困难, 几乎每年都有一部分农田得不到灌溉, 影响春季的播种<sup>[4]</sup>。同时可以看到, 大多的储水灌溉, 是利用地下水, 灌水量大面广, 灌水定额多在 200 mm 以上<sup>[3]</sup>, 长期利用地下水进行储水灌溉, 会加剧地下水位的下降, 引起植被的破坏等, 进而引起生态环境恶化和土壤盐碱化, 另外灌水后经过整个冬季和初春, 由于土壤蒸发, 土壤水分大量损失, 影响了灌溉水的利用效率。因此, 在水资源十分紧缺的河西地区, 研究节水型的储水灌溉技术, 对于缓解水资源的紧张状况, 提高水资源和灌溉水的利用效率, 制定该地区合理的节水灌溉制度等具有重要的理论和实际意

义。本文在该地区农田储水灌溉资料调查分析的基础上, 试验研究了不同储水灌溉和生育期灌溉春小麦农田水量平衡特征, 为探索有利于作物生长的节水型的储水灌溉制度提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况及试验设计

试验在中国农业大学石羊河流域农业与生态节水试验站进行, 该站位于甘肃省武威市凉州区, 地处腾格里沙漠边缘(37°50'49"N, 102°51'01"E)。海拔高度 1 500 m, 为大陆性温带干旱气候, 地下水埋深 25~30 m, 该地区年平均气温 8℃, >0℃ 积温 3 550℃ 以上, 干旱指数 15~25。年均日照时数 3 000 h 以上, 年均降水量 160 mm, 年均水面蒸发量 2 000 mm 以上, 无霜期 150 d 以上, 日照充足, 热量丰富, 风大沙多, 春季最大风速 38 m/s, 多为西北风。土壤为灰钙质轻砂土, 2 m 土壤剖面的土壤水分物理性质见表 1。

试验于 2007 年 11 月至 2008 年 8 月进行。试验种植春小麦, 农田灌溉处理分为两个阶段, 第一阶段为储水灌溉阶段(2007 年 11 月 20 日至 2008 年 3 月

收稿日期: 2009-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(50579066, 50879073)

作者简介: 杨 伟(1981—), 男, 甘肃秦安人, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: yangwei810607@163.com

通讯作者: 张富仓(1962—), 男, 陕西武功人, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: zhangfc@nwsuaf.edu.cn

19 日),这段时间处于冬季,没有种植作物,其灌溉处理为冬季储水灌溉,设 3 个灌水定额处理,分别为 75 mm、120 mm 和 180 mm,其中 180 mm 为当地目前的储水灌溉定额;第二阶段为春小麦的播种到收获阶段(2008 年 3 月 20 日至 2008 年 7 月 20 日)。种植春小麦,其灌溉处理为作物生育期的灌溉制度处理,同时还设置了 2 个冬季不进行储水灌溉的灌水处理,这 2 个处理除了生育期灌水处理外,还增加了春季播种前的灌溉,组合起来共有 8 个灌水处理见表 2。为了分析降雨对农田土壤水分的影响,还设计了

一个不灌水且不种作物处理(裸地),用于和灌水处理的比较。试验在大田中进行,设计种植面积为 20 m×50 m,每小区的种植面积为 4 m×8 m,试验周围有 2 m 的隔离区,每个处理均随机排列,3 个重复。

试验小区播种的小麦品种为甘农一号,为当地常规品种,于 2008 年 3 月 20 日播种,播前对种子进行精选,以保证纯度和出苗整齐,大田耕作和施肥方式与当地常规管理一致,试验灌溉水源为机井水,采用 75 mm 口径的 PVC 管输水,灌水时在出水口安装水表进行量水。

表 1 灰钙质轻砂土剖面土壤水分物理特征

Table 1 Soil physical characteristics of calcium light sandy

| 土层<br>Soil layer<br>(cm) | 容重<br>Bulk density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 田间持水量<br>$\theta_p$<br>(cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ) | 土壤质地<br>Soil texture | 各级颗粒含量(%) Size fractions |                   |                   |                    |                     |              |
|--------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------|
|                          |                                            |                                                            |                      | 1 ~<br>0.25 mm           | 0.25 ~<br>0.05 mm | 0.05 ~<br>0.01 mm | 0.01 ~<br>0.005 mm | 0.005 ~<br>0.001 mm | <0.001<br>mm |
| 0 ~ 20                   | 1.65                                       | 0.19                                                       | 壤土 Loam              | 16.6                     | 30                | 27                | 9.5                | 13                  | 3.77         |
| 20 ~ 38                  | 1.68                                       | 0.21                                                       | 粉砂壤土 Silt loam       | 17.7                     | 29                | 26                | 9.3                | 14                  | 4.01         |
| 38 ~ 86                  | 1.43                                       | 0.29                                                       | 壤土 Loam              | 4.31                     | 21                | 55                | 7.8                | 8.8                 | 3.25         |
| 86 ~ 106                 | 1.35                                       | 0.28                                                       | 壤土 Loam              | 17.1                     | 29                | 32                | 7.9                | 10                  | 3.31         |
| 106 ~ 140                | 1.32                                       | 0.31                                                       | 粉砂质粘土 Silty clay     | 3.74                     | 5.4               | 31                | 20                 | 33                  | 7.59         |
| 140 ~ 200                | 1.45                                       | 0.28                                                       | 粉砂质粘土 Silty clay     | 6.21                     | 10                | 35                | 16                 | 26                  | 6.94         |

表 2 不同储水灌溉和生育期灌溉处理(mm)

Table 2 Irrigation details treatment for spring wheat

| 灌溉处理(定额)<br>Irrigation treatment             |    | 生育期灌水定额 Fixed irrigation in growth period |                       |                        |                       |                       |             | 灌溉定额<br>Irrigation quota |     |
|----------------------------------------------|----|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-----|
|                                              |    | 播前灌<br>Irrigation before sowing           | 分蘖期<br>Tillers period | 拔节期<br>Jointing period | 孕穗期<br>Sterile period | 灌浆期<br>Filling period | 共计<br>Total |                          |     |
| 冬季储水灌溉<br>Winter storage irrigation          | T1 | 180                                       | 0                     | 60                     | 90                    | 90                    | 60          | 300                      | 480 |
|                                              | T2 | 120                                       | 0                     | 75                     | 120                   | 105                   | 60          | 360                      | 480 |
|                                              | T3 | 75                                        | 0                     | 105                    | 135                   | 105                   | 60          | 405                      | 480 |
|                                              | T4 | 180                                       | 0                     | 45                     | 90                    | 60                    | 45          | 240                      | 420 |
|                                              | T5 | 120                                       | 0                     | 60                     | 90                    | 60                    | 60          | 270                      | 390 |
|                                              | T6 | 75                                        | 0                     | 75                     | 90                    | 75                    | 60          | 300                      | 375 |
| 春季播前灌溉<br>Irrigation before sowing in spring | T7 | 0                                         | 75                    | 90                     | 120                   | 75                    | 60          | 420                      | 420 |
|                                              | T8 | 0                                         | 60                    | 75                     | 90                    | 60                    | 45          | 330                      | 330 |

注:T1 为本地区的灌溉制度,其余处理均参照 T1 制定。

Note: T1 is the local irrigation system, and the other treatments are made referring to T1.

## 1.2 测定项目与方法

在试验阶段,所有处理的土壤剖面安装剖面土壤水分测定仪,土壤含水量用管式 TDR(Trime)每 10 天测定一次,降雨及灌水后各加测一次。土壤水分测定深度为 2 m<sup>[5]</sup>。1 m 以内每 10 cm 测定一次,1 m 以下每 20 cm 测一次,同时采用取土烘干法不定期对土壤含水量进行校正。

土壤分层及总的储水量用  $W_s = \sum_{i=1}^n \theta_i h_i$  进行计

算, $\theta_i$  为分层测得的土壤体积含水率( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), $h_i$  为  $i$  层的土层厚度(mm)。在不考虑地表径流和土壤对地下水的渗漏条件下,农田水量平衡方程可以写为:

$$ETa = P + I - \Delta S \tag{1}$$

式中:  $ETa$  为实际作物蒸散量(mm);  $P$  为降雨量(mm);  $I$  为灌溉水量(mm);  $\Delta S$  为 2 m 土体土壤水分的变化量(mm)。

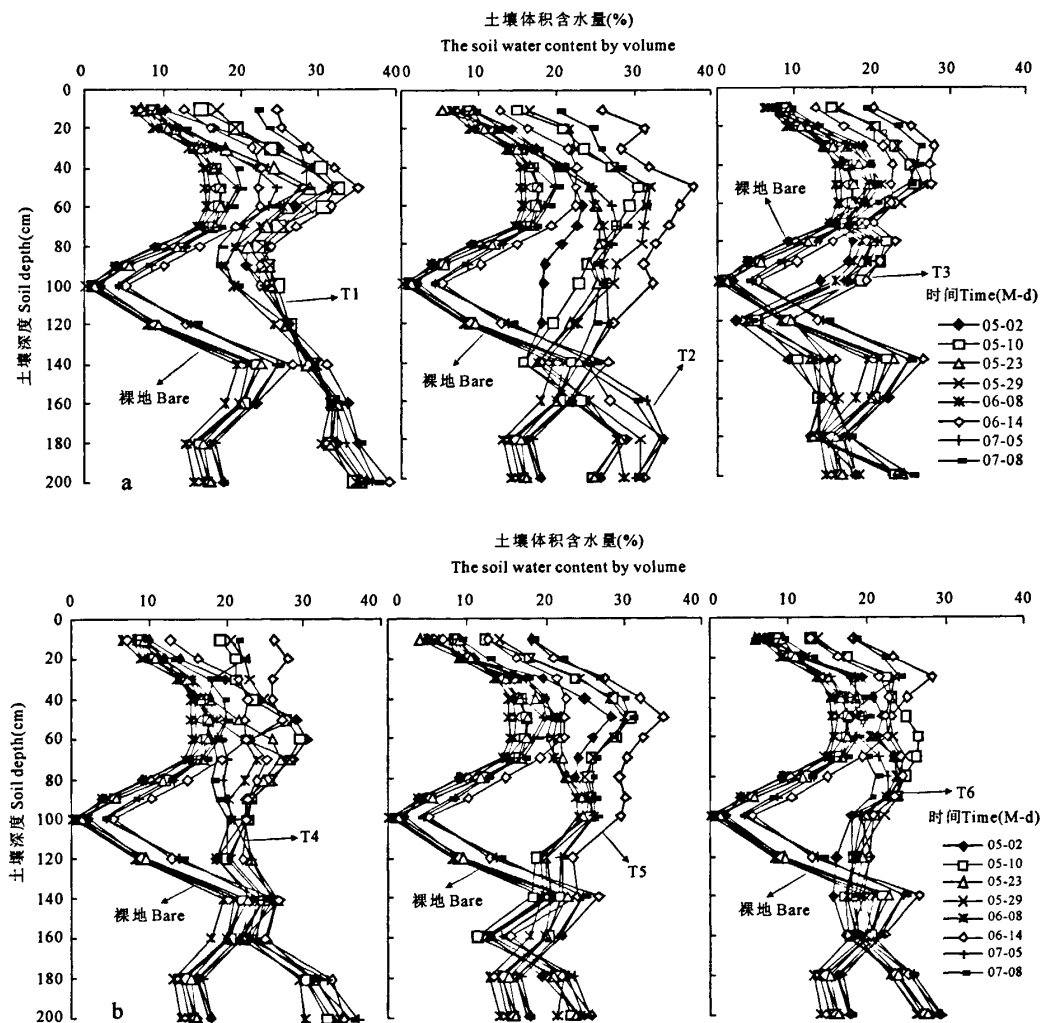
## 2 结果与分析

### 2.1 不同储水灌溉农田土壤水分动态

在半干旱地区,由于降雨量较少,农田土壤水分状况主要受灌水和农田蒸发蒸腾的影响,其中灌溉对土壤水分动态变化的影响较大。图1为不同贮水灌溉定额与不灌溉的裸地农田春小麦生育期0~2m土壤剖面水分的动态变化比较。

图1a为三种不同冬季储水灌溉定额以及作物生育期不同灌溉定额组合处理(T1、T2和T3)农田土壤水分的动态变化。由图1a可以看出,在作物生育期内,不灌溉且不种作物的裸地,其土壤剖面的水分变化由于受降雨的影响,变化较小。与裸地比较,三种灌溉处理的农田土壤剖面的水分动态变化较大,并随灌水处理的不同而显著不同。冬季储水灌溉定

额大的T1处理,其生育期剖面的土壤水分在140~160 cm土层土壤含水量达到了30%以上,200 cm处的土壤含水量接近40%,说明大定额的冬季贮水灌溉增加了深层的土壤水分,容易发生渗漏;而冬季储水灌溉定额适中的T2处理,生育期剖面的土壤水分较多的分布在0~140 cm和140~200 cm,由于生育期灌水比T1多,所以剖面上部的的水分比T1大,但水分的深层渗漏有所减小;与T1与T2比较,T3处理的冬季储水灌溉定额较小,但生育期的灌水定额较大,从剖面的水分变化看,土壤水分主要分布在0~100 cm范围内,说明较小的贮水灌溉定额,不会引起土壤剖面水分的深层渗漏。虽然从总的灌溉定额看,T1、T2和T3处理都是480 mm,但由于冬季储水灌溉和生育期灌水的分配不同,土壤剖面的水分差异明显。



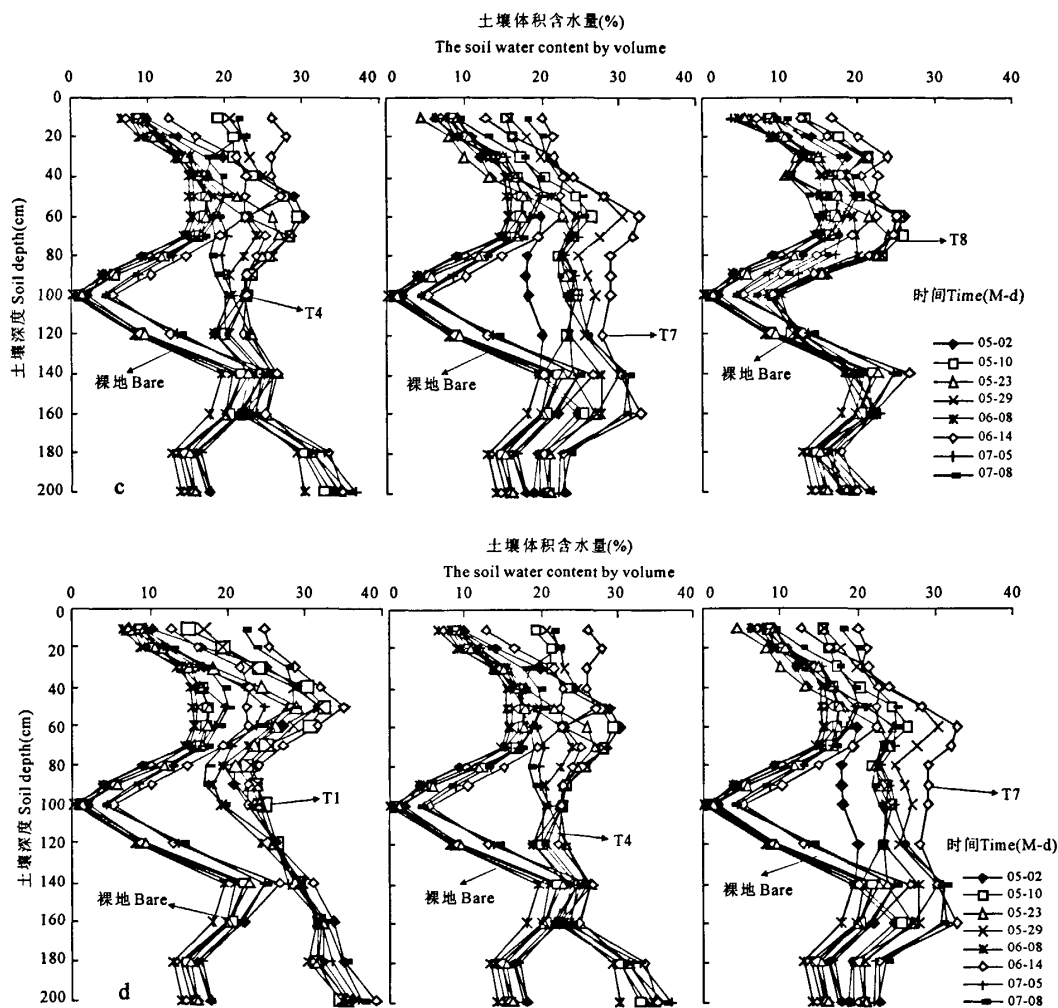


图 1 不同时期不同灌溉处理农田 0~200 cm 土壤剖面的水分动态分布

Fig.1 Dynamics distribution of soil water in 0~200 cm profile under different irrigation treatments of different period

图 1b 为三种不同冬季储水灌溉定额以及作物生育期不同灌溉定额组合处理(T4、T5 和 T6)农田土壤水分的动态变化。与图 1a 不同的是, T4、T5 和 T6 处理生育期的灌溉定额小, 所以总的灌溉定额也小, 导致剖面上部的水分含量要低一些, 但与图 1a 相近的是, 冬季大的储水灌溉定额(T4), 剖面下部 160~180 cm 的水分含量就多, 深层渗漏的水分也愈多。

图 1c 为总的灌溉定额相同的冬季储水灌溉与春季播前灌溉的组合处理(T4 和 T7)以及两种春季播前及生育期不同灌溉定额的处理(T7 和 T8)农田土壤水分的动态变化。由图可以看出, 与 T4 比较, 生育期灌溉定额大的处理(T7), 剖面水分含量普遍较高, 且分布广, 但 T4 是冬季储水灌溉处理, 与 T7 处理比较, 深层(160~200 cm)渗漏的水分就高。T7

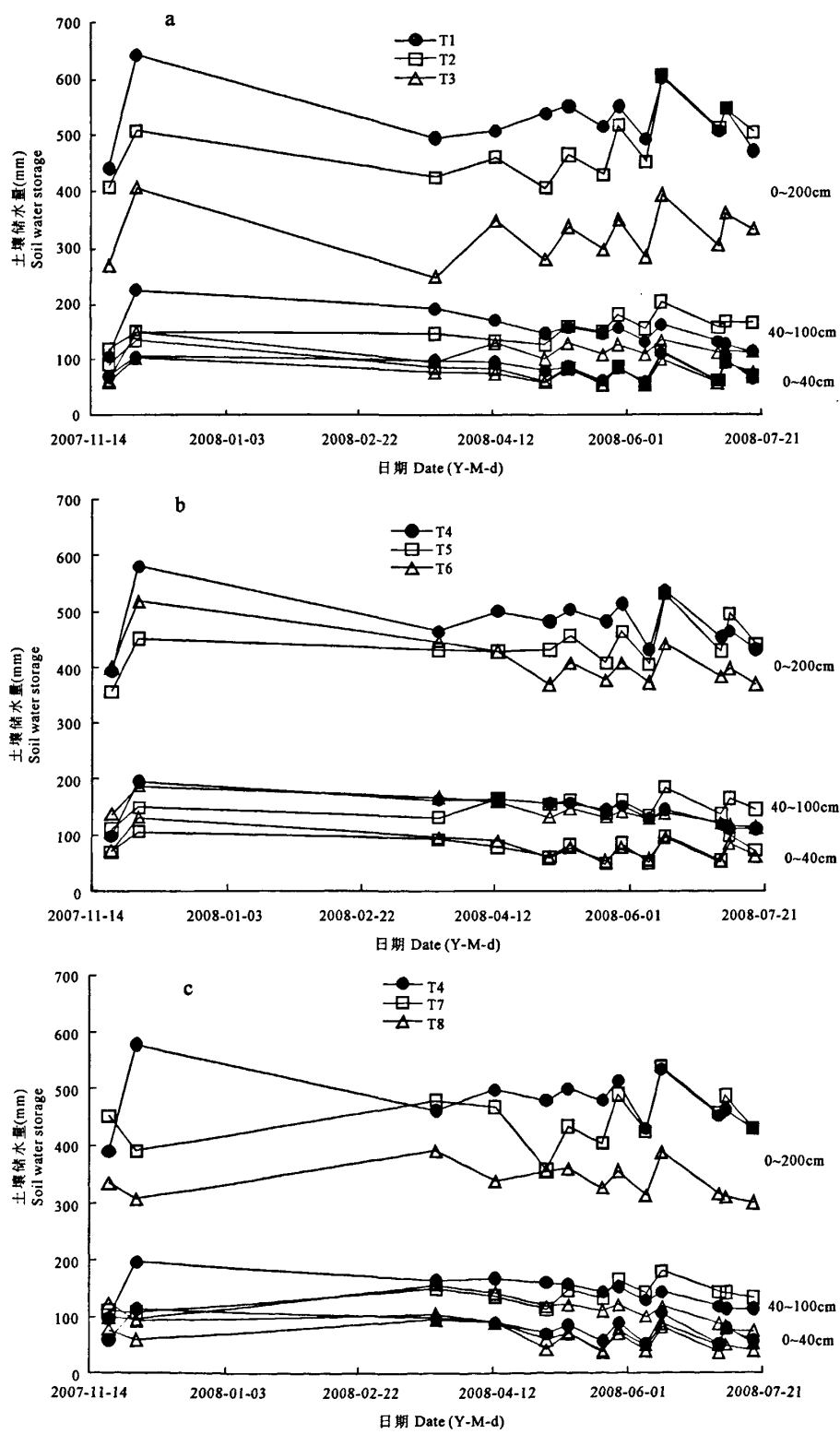
和 T8 两个冬季不储水灌溉的处理比较, 生育期灌溉定额愈大, 剖面含水量就愈高, 且剖面分布较均匀。

图 1d 为不同储水灌溉定额与生育期灌溉处理 T1、T4 和 T7 的剖面水分比较。由图可以看出, 冬季储水灌溉定额较大, 均为 180 mm 处理(T1 和 T4), 由于生育期的灌溉定额不同(T1 > T4), 灌溉定额大的 T1 处理其剖面含水量要高, 且分布愈深, 深层土壤的水分渗漏也愈大。冬季储水灌溉的 T4 处理与生育期灌溉的 T7 处理比较, 虽然总的灌溉定额相同, 但生育期灌溉定额较大的处理(T7)剖面水分的分布要明显大于小的处理(T4), 而且没有出现易发生深层渗漏较高的水分分布。

## 2.2 不同储水灌溉农田土壤剖面贮水量分析

图 2 为不同灌水处理下, 从冬季储水灌溉到春

小麦生育期土壤分层储水量随时间的变化。 T1~T6 处理和春季播前及生育期灌溉的 T7 和 T8  
由图 2a、图 2b 和图 2c 可看出,冬季储水灌溉的 处理,0~40 cm 土层土壤储水量较小且变化趋势和



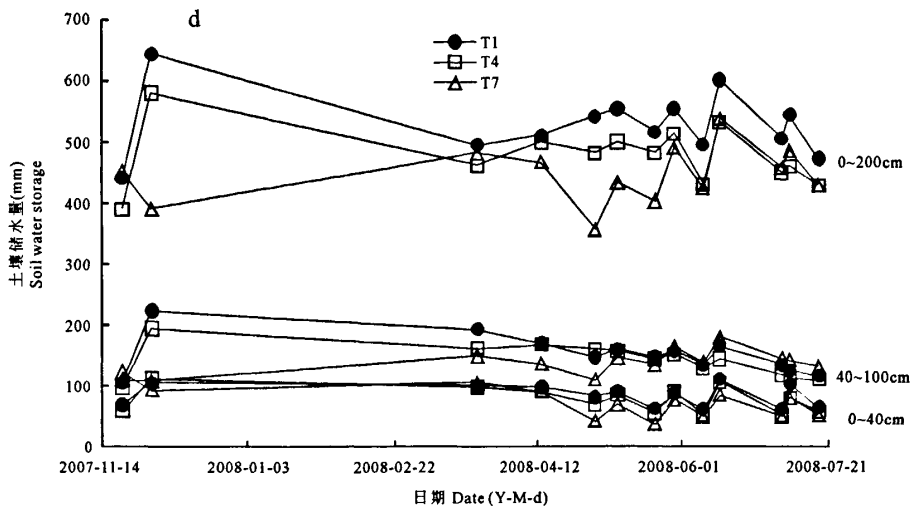


图 2 不同时期不同灌溉处理农田 0~200 cm 土壤剖面储水量的变化

Fig.2 Dynamics change of soil water storage in 0~200 cm profile under different irrigation treatments in different period

范围基本一致,各个处理之间土壤分层储水量没有明显的差异,这是由于土壤表层或作物耕层的土壤水分受地表土壤蒸发和作物蒸腾的影响较大所致。与 0~40 cm 不同的是,40~100 cm 土壤的贮水量各处理之间呈现出一些差异。由图 2a 可以看出,冬季储水灌溉的 T1、T2 和 T3 处理,储水灌溉后 40~100 cm 剖面的土壤储水量随灌溉水量的增加而增加,在春小麦播种前,冬季储水灌溉定额分别为 180 mm、120 mm 和 75 mm 的 T1、T2 和 T3 处理 40~100 cm 以下土壤渗漏量分别为 105 mm、93 mm 和 41 mm。在小麦生育期中,灌水 40~100 cm 土层土壤储水量随时间(灌水日期)的变化为:一水前,  $T1 > T2 > T3$ ;一水后至二水前,  $T1 = T2 > T3$ ;二水后至四水前,  $T2 > T1 > T3$ ;四水后至收获,  $T2 > T1 = T3$ ;说明在二水后,由于生育期增量灌水,提高了 T2 和 T3 处理的贮水量,尤其是冬季贮水灌溉定额为 120 mm 的处理,在生育期二水后,40~100 cm 土层土壤储水量就能超过 T1。图 2b 的结果也与图 2a 在储水灌溉时期有类似之处,在小麦生育期内,特别是在三水过后, T5 处理比 T4 和 T6 处理 40~100 cm 的贮水量要高 15%~25%,虽然 T5 处理的冬季贮水灌溉定额要小于 T4,但由于生育期的灌水量增大,使该层次的贮水量高,冬季高的灌水可能增加了 100 cm 以下的深层土壤水。图 2c 和图 2d 表明,春季播前灌溉和生育期灌水对土壤剖面 40~100 cm 的土壤贮水也产生一定的影响。灌水量较大的 T7 处理剖面 40~100 cm 的贮水量比灌水量小的 T8 处理增加 10%~30%,

与冬季储水灌溉的 T4 处理比较,生育期灌溉定额的大处理(T7),剖面 40~100 cm 剖面贮水增加 5%~15%,尽管 2 个处理的总灌水定额相同,也说明冬季的灌水增加了 100 cm 以下的深层土壤贮水。

从 0~200 cm 总的贮水情况看,不同灌溉处理有较为明显的差异。由图 2a 可以看出,冬季贮水灌溉的 T1、T2 和 T3 处理,0~200 cm 剖面的总贮水量的大小与冬季贮水灌溉定额和生育期的灌溉定额有关,主要表现在春季小麦播种前,冬季储水灌溉定额分别为 180 mm、120 mm 的 T1 和 T2 处理 0~200 cm 以下土壤渗漏量分别为 126 mm 和 103 mm, T3 处理没有 2m 以下的渗漏产生。在小麦生育期中,冬季贮水灌溉的定额愈大,在生育期三水灌溉以前,0~200 cm 土壤贮水量愈大,即,  $T1 > T2 > T3$ ,三水后至四水后,  $T1 = T2 > T3$ ;收获后,  $T2 > T1 > T3$ 。说明三水前,0~200 cm 土层土壤储水量主要受冬季储水量的影响,生育期加大灌水定额处理 T2、T3 的增水效应在三水后愈明显,由于这三个处理的总灌溉定额相同,所以出现这种差异的原因是 T1 处理增加了深层贮水和深层渗漏,而生育期的灌水更多的用于农田蒸发蒸腾。图 2b 和图 2a 不同的是,图 2b 的三个处理 T4、T5 和 T6 处理的生育期灌溉定额要小一些,所以在生育期 0~200 cm 土壤总的贮水量为  $T4 > T5 > T6$ 。图 2c 表明,春季播前灌溉和生育期灌水对土壤剖面 0~200 cm 的土壤贮水也产生一定的影响。灌水量较大的 T7 处理整个生育期土壤剖面 0~200 cm 的贮水量比灌水量小的 T8 处理增加 5%~30%,

与冬季储水灌溉的 T4 处理比较,生育期灌溉定额大的处理(T7),在三水以后其贮水量与 T4 处理相当,在三水以前小于 T4 处理,尽管 2 个处理的总灌水定额相同,也说明冬季的灌水增加了 100 cm 以下的深层土壤贮水。图 2d 表明,冬季储水灌溉定额和生育期灌溉定额大的处理,在作物整个生育期内,0~200 cm 的土壤贮水量愈大。

### 2.3 不同储水灌溉条件下的农田水量平衡分析

分析不同储水灌溉条件下的农田水量平衡,对

于农作物的合理灌溉以及节约用水有重要作用。表 3 为不同灌溉处理条件下,在储水灌溉阶段(2007-11-21~2008-03-21)和春小麦生长阶段(2008-03-22~2008-07-18)农田水量平衡表。对于 200 cm 土层内的土壤水分,收入项为灌溉和降水(不考虑地下水补给),支出项为土壤蒸发和作物蒸腾(不考虑渗漏和径流量)。

表 3 2007~2008 年不同灌溉处理的小麦农田土壤水分平衡特征

Table 3 Soil water balance calculation of spring wheat with different irrigation treatment in 2007 and 2008

| 项目<br>Items                                                              | 储水灌溉阶段 Storage irrigation period (2007-11-27~2008-03-21) |       |       |       |       |       |       |        |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                                                          | T1                                                       | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8     |
| 0~100 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 0~100 cm layer     | 116.5                                                    | 40.8  | 53.3  | 103.4 | 42.7  | 55.1  | -20.5 | -26.1  |
| 100~200 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 100~200 cm layer | -32.6                                                    | 27.5  | -13.0 | -31.9 | 29.9  | -10.9 | -9.2  | -12.2  |
| 0~200 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 0~200 cm layer     | 83.9                                                     | 68.3  | 40.3  | 71.5  | 72.6  | 44.2  | -29.7 | -37.3  |
| 降雨量 Precipitation (mm)                                                   | 4.8                                                      | 4.8   | 4.8   | 4.8   | 4.8   | 4.8   | 4.8   | 4.8    |
| 灌溉定额 Irrigation quota (mm)                                               | 180.0                                                    | 120.0 | 75.0  | 180.0 | 120.0 | 75.0  | —     | —      |
| 农田土壤蒸发(mm)<br>Farmland transpiration                                     | 100.9                                                    | 56.5  | 39.5  | 113.3 | 52.2  | 35.6  | 34.5  | 42.1   |
| 项目<br>Items                                                              | 小麦生育期阶段 Growth period of wheat (2008-03-22~2008-07-18)   |       |       |       |       |       |       |        |
|                                                                          | T1                                                       | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8     |
| 0~100 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 0~100 cm layer     | -112.6                                                   | 4.5   | 17.2  | -93.8 | -5.6  | -88.1 | -68.9 | -136.8 |
| 100~200 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 100~200 cm layer | 90.7                                                     | 76.9  | 66.9  | 61.3  | 16.6  | 13.1  | 17.4  | 44.4   |
| 0~200 cm 土壤贮水量变化(mm)<br>Soil water capacity change in 0~200 cm layer     | -21.9                                                    | 81.4  | 84.1  | -32.5 | 11.0  | -75.0 | -51.5 | -92.4  |
| 降雨量 Precipitation (mm)                                                   | 46.8                                                     | 46.8  | 46.8  | 46.8  | 46.8  | 46.8  | 46.8  | 46.8   |
| 灌溉定额 Irrigation quota (mm)                                               | 300.0                                                    | 360.0 | 405.0 | 240.0 | 270.0 | 300.0 | 420.0 | 330.0  |
| 农田蒸发蒸腾量 (mm)<br>Farmland evapotranspiration                              | 368.7                                                    | 325.4 | 367.7 | 319.3 | 305.8 | 421.8 | 518.3 | 469.2  |

注:“-”表示水分亏损;“+”表示水分盈余。

Note:“-” stands for water deficit, and “+” stands for water surplus.

从表 3 中可看出,冬季储水灌溉到播种前,冬季储水灌溉的所有处理(T1~T6)0~200 cm 的土壤水分贮存都有所增加,并且随着储水灌溉定额的增加而增加,冬季不进行储水灌溉的处理(T7 和 T8),这个阶段 0~200 cm 的土壤水分处于亏缺状态。从表 3 还可以看出,如果不考虑 200 cm 以下的深层渗漏,根据农田水分平衡方程计算表明,冬季储水灌溉定额愈大,农田土壤蒸发也愈大,也就是农田水分的无效消耗也愈大,冬季储水灌溉定额分别是 180 mm、120 mm、75 mm 的 T1、T2 和 T3 或 T4、T5 和 T6 处理,在小麦播种前,T1、T2 和 T3 处理的农田水分的无效

蒸发分别为 100.9 mm、56.5 mm、39.5 mm, T4、T5 和 T6 处理分别为 113.3 mm、52.2 mm、35.6 mm,与不储水灌溉 T7 和 T8 处理比较,储水灌溉定额为 75 mm 的处理,春季播种前,农田水分状况与不进行储水灌溉的处理 T7 和 T8 没有明显的差异。

在小麦生育期,不同储水灌溉的处理以及生育期灌溉的处理的农田水分平衡也不相同。表 3 表明,冬季不同储水灌溉的 T1、T2 和 T3 处理,虽然储水灌溉定额不同,但总的灌溉定额相同,在小麦生育阶段,0~200 cm 土层土壤水分储存表现为,冬季储水灌溉定额大的 T1 处理水分有亏缺,亏缺为 21.9

mm,而 T2 和 T3 处理土壤水分储存增加。与 T1、T2 和 T3 处理不同的是,T4、T5 和 T6 处理,其小麦生育期灌溉定额比较小,表现为 0~200 cm 土壤水分变化除 T5 有点增加外,T4 和 T6 均有亏缺,这是由于生育期作物水分消耗大的缘故。播前和生育期灌溉的 T7 和 T8 处理,生育期 0~200 cm 的土壤水分均呈亏缺现象,其亏缺程度随灌水量的增加而减小。从所有灌溉处理比较可以看出,小麦生育期的农田蒸发蒸腾量与冬季储水灌溉定额和生育期的灌溉制度有关,冬季储水灌溉定额大的或生育期灌溉定额大的,农田腾发量也愈大。

2.4 不同储水灌溉对春小麦产量构成和水分利用效率的影响

由表 4 可看出,不同灌水处理下春小麦产量构成因素发生了较大变化。其中,穗长、小穗数各处理之间无明显差异,其余产量构成因子在不同灌水处

理下差异明显。冬季灌水适中的处理 T2 其穗长、小穗数、穗干重、穗粒数、千粒重分别比当地常规灌溉处理 T1 下高 13.8%、26.9%、30.5%、30.7%、5.6%。

冬季适中的储水定额,而生育期较小灌水定额的处理 T5 其穗长、小穗数、穗干重、穗粒数、千粒重分别比 T1 处理的高 2.5%、24.4%、19.9%、1.5%,T1 处理的小穗数比 T5 处理的高 0.4%。播前灌水处理 T8 其产量构成各因素较其余处理均低。不同灌溉处理的春小麦的产量表明,T2、T3 和 T5 处理的产量最高,T4、T6 和 T7 居中,T1 和 T8 的产量最低,农田灌溉的水分利用效率表现为 T5、T6 和 T8 处理最大,T2、T4 和 T7 次之,T1 和 T3 最小。从农田水分平衡、作物产量和水分利用效率综合分析表明,T2 和 T5 处理是最优的储水灌溉下的灌溉制度。

表 4 不同灌水处理对春小麦产量构成和水分利用效率的影响

Fig.4 The effect of different irrigation treatments on yield constitution and WUE of spring wheat

| 灌溉处理<br>Irrigation<br>treatments | 穗长<br>Length<br>of ear<br>(cm) | 小穗数<br>Ears<br>per plant | 穗干重<br>Dry weight<br>of ear<br>(g) | 穗粒数<br>Grains<br>per ear | 千粒重<br>TGW<br>(g) | 产量<br>Yield<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 农田灌溉水<br>分利用效率<br>WUE<br>[kg/(mm·hm <sup>2</sup> )] |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| T1                               | 9.59abC                        | 15.93aAD                 | 2.62bCD                            | 39.87aC                  | 41.10abAD         | 8658c                                | 18.0                                                |
| T2                               | 10.91bD                        | 17.33bAC                 | 3.42aAC                            | 52.13aAC                 | 43.41cD           | 10557a                               | 22.0                                                |
| T3                               | 9.99aCD                        | 15.80bA                  | 3.48aC                             | 44.53cA                  | 43.08cCD          | 10017a                               | 20.9                                                |
| T4                               | 10.43abA                       | 16.93bC                  | 2.95aD                             | 50.67bA                  | 42.03aAC          | 9630b                                | 22.9                                                |
| T5                               | 9.83bB                         | 15.87bA                  | 3.26cA                             | 47.80bAC                 | 41.71aAD          | 10071a                               | 25.8                                                |
| T6                               | 9.96aBD                        | 15.93aC                  | 3.23cD                             | 45.47aD                  | 40.56abA          | 9180b                                | 24.5                                                |
| T7                               | 9.92bC                         | 15.80Acd                 | 2.90cAC                            | 43.33bAD                 | 42.13bA           | 9396b                                | 22.4                                                |
| T8                               | 9.27abC                        | 15.60bD                  | 2.32bC                             | 39.33bAC                 | 35.59bD           | 8271c                                | 25.1                                                |

注:小写字母表示  $P < 0.05$  的显著水平,大写字母表示  $P < 0.01$  的极显著水平。

Note: Within each line, values followed by different lowercase letters mean significant difference at  $P < 0.05$ , while capital letters mean significant difference at  $P < 0.01$ .

3 结论与讨论

在干旱半干旱地区,特别是甘肃河西地区,由于雨水资源有限,且降雨分布不均,保证作物生长所需要的水分大部分通过灌溉来提供,因此,如何将有限的水资源进行合理灌溉,建立适合该地区的有效的灌溉制度是节水增产的重要途径。储水灌溉作为当地的一种传统的灌溉制度多年来一直得到广泛的采用,合理的储水灌溉定额,不仅有利于土壤储水,对来年作物生长也有重要的作用。

本文试验研究表明,冬季储水灌溉定额较大的处理,其生育期剖面的土壤水分较多地分布在 140~160 cm,且土壤含水量达到了 30% 以上,容易发生

渗漏,冬季储水灌溉定额愈大,农田无效土壤蒸发也愈大。较小的储水灌溉定额,土壤水分主要分布在 0~100 cm 范围内,不会引起土壤剖面水分的深层渗漏。在小麦生育期,作物所需要的水分与土壤水分的储量以及灌溉提供的水分有关,冬季储水灌溉定额相同,且生育期的灌溉定额大的处理其剖面含水量要高,且分布愈深,深层土壤的水分渗漏也愈大。总的灌水定额相同,冬季储水灌溉和生育期灌溉比较,生育期灌溉定额较大的处理,剖面水分的分布主要集中在 0~100 cm 的土层内,没有出现易发生深层渗漏较高的水分分布。从土壤水分的储量分析,冬季储水灌溉到播种前,冬季储水灌溉的所有处理 0~200 cm 的土壤水分贮存都有所增加,并且随着储水灌溉



定额的增加而增加,冬季不进行储水灌溉的处理,这个阶段0~200 cm的土壤水分处于亏缺状态。在小麦生育阶段,总的灌溉定额相同的条件下,冬季储水灌溉定额大的处理,0~200 cm土壤水分有亏缺,冬季储水灌溉定额大的或生育期灌溉定额大的,农田腾发量也愈大。适中的储水灌溉定额,不仅有利于作物的生长,还有利于灌溉水分利用效率的提高。

作物的生长除与水分有关系外,还与土壤的通气 and 热状况、土壤的养分、盐分等因素有关,不同定额的储水灌溉,除了影响作物所需要的水分外,还可能影响土壤有机和养分的转化,无机养分和盐分淋洗以及土壤的热状况,从而对作物的生长产生一定的影响,还需要今后进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 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—50.
- [2] 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.
- [3] 李守谦,兰念军.干旱地区农作物需水量及节水灌溉研究[M].兰州:甘肃科学技术出版社,1992:7—13.
- [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] 赵聚宝,徐祝龄.中国北方旱地农田水分平衡[M].北京:中国农业出版社,2006:9—12.
- [6] 李开元,李玉山.黄土高原农田水量平衡研究[J].水土保持学报,1995,9(2):39—44.
- [7] 孙泽强,康跃虎.喷灌冬小麦农田土壤水分分布特征及水量平衡[J].干旱地区农业研究,2006,1(24):100—107.

## Analysis of soil water characteristics of farmland under different winter storage irrigation in Hexi Region of Gansu Province

YANG Wei, ZHANG Fu-cang, CHEN Jing-jing

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas,  
Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The soil water characteristics of farmland under different winter storage irrigation in Hexi Region of Gansu Province were analyzed. The results showed that profile soil water distribution of farmland was mostly in 140~160 cm layers with the treatment of 180 mm winter storage irrigation ration, and the soil water content of the layer was above 30%, easy to occur leakage in the deep soil layer. In the relative small ration of storage irrigation, profile soil water distribution of farmland was mostly in 0~100 cm layers, unlikely to occur leakage in the deep soil layer. There was large invalidation soil water evaporation with the higher ration of the winter storage irrigation. In same winter storage irrigation ration, the more irrigation ration in wheat growth period, the more soil water content and deeper layer soil water distribution and deeper soil water leakage occur. In same irrigation ration of experimental period, comparatively with winter storage irrigation, the large ration crop period irrigation treatment had a soil water distribution in 0~100 cm soil layer, and the results also showed no soil water leakage occurrence. In the same total irrigation ration of experimental period, there was a water deficit in 0~200 cm soil layer with the treatment of large volume shortage irrigation. It had showed that there was a higher evapotranspiration occurrence when having a higher winter storage irrigation ration or larger irrigation ration in growth period. With the appropriate storage irrigation ration, it could not only better crop growth but also increase irrigation water use efficiency.

**Key words:** winter storage irrigation; soil water distribution; spring wheat; Hexi Region; irrigation ration