

# 民勤绿洲农田休闲期土壤水分调控技术

丁林, 雒天峰

(甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 通过 TRIME-IPH 土壤水分测定仪和微型蒸渗器, 测定了农田休闲期不同耕作及覆盖条件下土壤水分动态变化规律, 并结合气象数据比较了不同耕作和覆盖处理的优越性, 分析了休闲期不同耕作覆盖措施对土壤水分及降水利用状况的影响, 提出了农田休闲期水分调控措施。结果表明, 传统耕作模式与覆盖措施相结合减少了土面蒸发, 提高了降水的转化利用率, 适宜的田面处理方式(深翻+起垄+覆全膜, 深翻+起垄+覆草和深翻+平整+覆全膜)封冻前 20 cm 处含水率较常规处理(深翻)提高 40.8%, 31.3% 和 29.7%, 整个休闲期日均蒸发量分别降低 0.36, 0.20 和 0.27 mm/d, 累计蒸发量分别下降 23.3%, 15.0% 和 24.1%, 其中深翻+平整+覆全膜处理的抑制蒸发效果最为显著。考虑到覆盖材料的收集、采购费用等因素, 采用深翻+平整+覆全膜和深翻+起垄+覆全膜处理是适宜在民勤绿洲推广的农田休闲期水分调控措施之一。

**关键词:** 农田; 休闲期; 水分调控; 降水利用; 耗水; 民勤绿洲

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)05-0135-05

中图分类号: S275.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.032

## Soil Moisture Control Technology During Fallow Period of Farmland in Minqin Oasis

DING Lin, LUO Tian-feng

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** Using different farming and coverage methods, an experiment in farmland was conducted to determine soil moisture dynamic change regulation with TRIME-IPH and miniature micro-lysimeter soil moisture tester during fallow period. The advantage of different farming and coverage methods were compared with weather and other auxiliary data. The measured data were analyzed to learn the effect of different farming and coverage measures on soil water and precipitation utilization. It indicated that traditional farming model combined with cover measures could reduce surface soil evaporation and improve the utilization and conversion rate of natural rainfall. The soil moisture of suitable treatment for farmland surface(commune + ridging + covering film, commune + ridging + covering grass and commune + flat + covering film) increased by 40.8%, 31.3% and 29.7% in 20 cm before freezing compared with conventional treatment(commune), the daily average evaporation decreased 0.36 mm/d, 0.20 mm/d and 0.27 mm/d respectively in leisure period, and the cumulative evaporation capacity decreased by 23.3%, 15.0% and 24.1%. Among them the inhibition of evaporation processing effect for commune + flat + covering film is most significant. Considering the factors such as cover material collection, procurement cost, leisure farm uses the commune + ridging + covering film and commune + flat + covering film are the suitable water control measures for in Minqin oasis.

**Keywords:** farmland; leisure period; moisture control; precipitation utilization; water consumption; Minqin oasis

民勤绿洲灌区休闲期降水集中, 农田土壤蒸发量大<sup>[1]</sup>。7月中旬小麦收获至11月中旬封冻前, 土壤含水率下降至7%~10%, 0—100 cm 土壤水分损失量可达 600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 其中降水的 60% 通过土壤无效

收稿日期: 2013-10-14

修回日期: 2013-11-25

资助项目: 国家自然科学基金项目“滴灌条件下土壤—地膜—玉米—大气系统水分传输机制与模拟”(51169001); 国家“十二五”科技支撑计划课题“西北生态脆弱区经济作物高效用水关键技术与示范”(2011BAD29B04); 水利部公益性行业科研专项“疏勒河流域规模化集约高效农业过程控制技术”(201301082); 甘肃省青年科技基金计划“麦秸—塑膜复合覆盖对土壤水热及环境的影响机制”(145RJYA281)

作者简介: 丁林(1978—), 男(汉族), 甘肃省武威市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事旱区水资源利用及节水灌溉方面的研究。E-mail: dl20709@163.com。

蒸发,是降水高峰与高蒸发时段同步期,致使大部分土壤水分和降水不能充分利用<sup>[2]</sup>。而冬季休闲期(11月至翌年3月)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>[3-7]</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>[8]</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等方面<sup>[9-13]</sup>,对农田休闲期水分蒸发的调控及适宜休闲期农艺调控措施方面的研究较少。因此,本文拟通过研究冬季免储水灌溉条件下〔即改变传统的将非生育期地面来水以较大灌水定额储存于土壤,而采取免去冬(春)季储水灌溉的一种灌水方式〕不同覆盖方式及配套耕作措施下,农田休闲期土壤水分变化规律、降水利用效率及地面覆盖对土壤水的减蒸性能等问题,探索适合于民勤绿洲农田休闲期土壤水分的调控措施。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省水利科学研究院民勤试验站,地处民勤绿洲和腾格里沙漠交界地带的民勤县大滩乡,地理坐标为东经 $103^{\circ}12'$ ,北纬 $38^{\circ}42'$ 。该区属典型的大陆性荒漠气候,气候干燥,降水稀少,蒸发量大,风沙多,自然灾害频繁。多年平均气温 $7.8^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $39.5^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-27.3^{\circ}\text{C}$ ,平均湿度 $45\%$ ,多年平均降水 $110\text{ mm}$ ,多年平均蒸发量 $2\,644\text{ mm}$ ,年日照时数 $3\,028\text{ h}$ ,光热资源丰富, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,550^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $3\,145^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 $150\text{ d}$ ,最大冻土深 $115\text{ cm}$ 。试验区土质 $0-60\text{ cm}$ 为黏壤土, $60\text{ cm}$ 以下逐渐由黏壤土变为沙壤土,土壤平均容重为 $1.54\text{ g/cm}^3$ 。降水量年内分布极不均匀, $4-6$ 月, $7-10$ 月降水量分别占年内降水量的 $26.5\%$ 和 $57.1\%$ 。地下水埋深 $30\text{ m}$ ,试验田土壤养分、盐分含量为有机质 $0.527\%$ ,全氮 $0.045\%$ ,全磷 $0.115\%$ ,全钾 $1.667\%$ ,pH值 $7.96$ ,全盐 $1.872\text{ g/kg}$ 。

### 1.2 试验设计

试验覆盖方式采用覆膜与覆草两种形式,耕作方式采用免耕、起垄和平整3种形式。试验在小麦收获后的麦田内进行,共设7个处理,分别为:免耕留茬( $T_1$ ),免耕+覆草( $T_2$ ),深翻+起垄+覆全膜( $T_3$ ),深翻+起垄+覆草( $T_4$ ),深翻+平整+覆全膜( $T_5$ ),深翻( $T_6$ ),深翻+覆草( $T_7$ )共7个处理。试验田翻耕深度 $30\text{ cm}$ ,覆草处理覆草量均采用一个水平,为 $6\,000\text{ kg/hm}^2$ ,垄沟规格为垄底宽 $100\text{ cm}$ ,垄高 $25\text{ cm}$ ,垄顶宽 $60\text{ cm}$ ,沟宽 $40\text{ cm}$ 。试验小区大小为

$6\text{ m}\times 9\text{ m}$ ,重复3次,小区随机排列。平地处理随机布置3个测定土壤蒸发量的蒸渗桶,垄沟处理分别在垄顶、垄沟随即布置4个蒸渗桶,该蒸渗桶用 $0.75\text{ mm}$ 厚的镀锌铁皮卷制而成,直径 $20\text{ cm}$ ,桶高 $30\text{ cm}$ ,底部封闭。

### 1.3 试验方法

试验从2008年7月22日(小麦收割后2 d)开始,按试验设计对田面采取了起垄、覆膜、覆草等措施;土壤含水量测定从开始试验后每隔 $10\text{ d}$ 在深度为 $0-100\text{ cm}$ 土层中每 $10\text{ cm}$ 取1个土样,用烘干称重法测定并计算土壤质量含水率,降水前后进行加测。冬季土壤封冻后,用TRIME-IPH土壤水分速测仪测定并计算土壤含水量。深度为 $0-100\text{ cm}$ 的土层中每 $20\text{ cm}$ 测1个数据,每 $10\text{ d}$ 进行1次观测,误差校正根据文献<sup>[14-15]</sup>所述方法分室内和野外分别校正,试验数据经校正后使用。封冻前平地处理随机取3点,垄沟处理分别在垄顶、沟底各随机取2点取土测定含水量,封冻后平地处理随机取3点,垄沟处理分别在垄顶、沟底各随机取2点布置测定土壤含水量的TRIME-IPH测管测定含水量。用蒸渗桶<sup>[16]</sup>直接测定土面蒸发时,取原状土装到测桶内,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,在发生有效降水后立即进行换土处理,所换土层为该小区原状土。免耕试验小区有麦茬覆盖,麦茬高 $10\text{ cm}$ ,其他试验小区蒸渗桶覆盖措施与该小区试验设置一致。在休闲期内利用TRM-ZS3全自动气象站观测记载温度、降水、蒸发、风速等气象因素。试验数据用Excel进行原始数据处理和制图,用DPSv 6.05做相关的统计分析。试验于2009年3月25日结束。

## 2 结果与分析

### 2.1 休闲期土壤含水量动态变化

根据试验将休闲期分为两个阶段,第一阶段从小麦收割至封冻前,第二阶段从封冻至翌年播种前。分别对收割后(2008年7月22日)、封冻前(2008年11月15号)、翌年播种前(2009年3月25日)的土壤含水量进行测定,各时间点的水分垂直分布状况见图1。

2008年7月22日对收割后的土壤水分进行测定,各处理的 $0-100\text{ cm}$ 间土壤水分垂直分布基本一致,各处理的水分初始含量没有差异。表层土壤受到小麦生育后期土面蒸发影响,其含水量较低, $70-90\text{ cm}$ 的土壤含水量最大,造成土壤水分在垂直方向上呈横“V”字型。由于耕作方式及覆盖方式不同,封冻前各处理间 $0-50\text{ cm}$ 含水量变化较为剧烈,不同

覆盖处理 0—40 cm 的土壤含水量与传统耕作方式相比,形成显著性差异,如 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理在 20 cm 处含水率较常规深翻处理提高 40.8%, 31.3% 和 29.7%。说明传统耕作模式与覆盖措施相结合减少了土面蒸发,保水性较好,天然降水的利用率较高。在 40 cm 以下各处理间水分含量差异不大,说明耕作覆盖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。由于封冻后有效降水较少,表层土壤含水量有所下降,但在 0—20 cm 土层,覆盖处理的土壤含水量仍高于裸地处理,30—40 cm 土层土壤含水量明显高于裸地处理。也就是说,从前茬小麦收获秋耕后,由于土壤结构发生较大变化,表层土壤疏松,常规处理极大地加剧了表层土壤水分蒸发,形成了大量的水分损失。

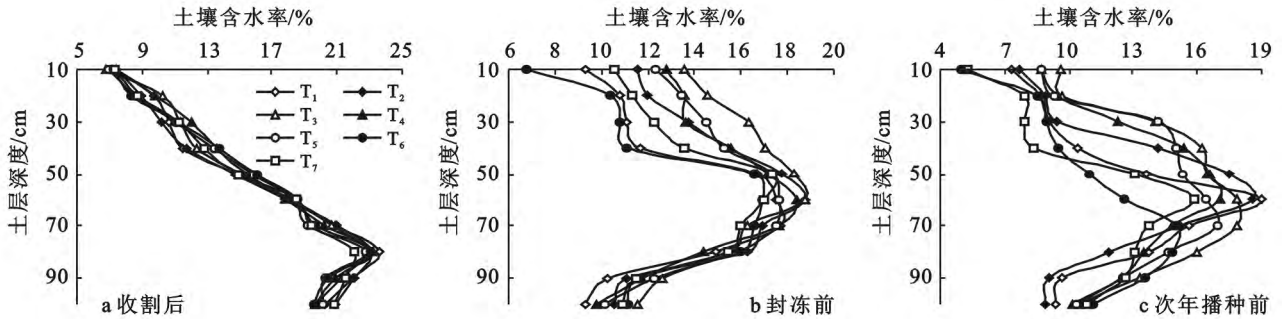


图 1 不同耕作及覆盖条件下休闲期的土壤水分分布情况

注: T<sub>1</sub> 免耕留茬; T<sub>2</sub> 免耕+覆草; T<sub>3</sub> 深翻+起垄+覆全膜; T<sub>4</sub> 深翻+起垄+覆草; T<sub>5</sub> 深翻+平整+覆全膜; T<sub>6</sub> 深翻; T<sub>7</sub> 深翻+覆草。下同。

### 2.2 不同覆盖方式对降水入渗的影响

提高降水利用率是提高农业生产能力的有效途径,在农田灌溉上多利用降水则意味着少利用灌溉水,尤其是对于水资源缺乏的沙漠绿洲地区,有效利用降水是节水的有效途径之一<sup>[2]</sup>。2008 年试验区累计降水量 103.1 mm, 7 月 30 日最大降水量 32.0 mm, 最大降水强度 0.063 mm/min。7 月 18 日至 10 月 1 日累计降水量 74.6 mm, 占全年降水量的 72.4%。以 9 月 18—28 日为例,此时间段内降水 7 次,降水量 34.9 mm,最大单次降水量 18.4 mm。分别在降水初 9 月 18 日和降水后 9 月 28 日采用烘干法分别测量了不同土层深度的土壤含水量。

从表 1 可以看到,降水对不同处理土壤含水量的

影响深度集中于 0—40 cm, 其中, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> 影响深度从垄面算起。40 cm 土层内各处理土壤含水量累计增加值分别为 8.84%, 8.61%, 8.33%, 6.36%, 5.39%, 9.44%, 8.58%。不同处理 40 cm 土层深度内土壤含水量累计增加值呈现: T<sub>6</sub> > T<sub>1</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>7</sub> > T<sub>3</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>5</sub> 趋势。这主要是地面深翻后,地表土质疏松,雨水易于入渗,观测期内气温较低,蒸发较小,导致深翻处理的土壤水分含量增加值最大。免耕条件下土壤紧密,0—10 cm 土层的含水量增加明显。覆草条件下,由于秸秆涵养部分降水,导致降水强度较小时难以达到地表,水分不易渗入土壤,土壤水分含量累计增加值降低。深翻起垄覆全膜条件下降水沿沟底形成一个入渗带(表 1)。

表 1 降水前后不同土层深度土壤含水量变化

处理	各土层(cm)土壤含水量率变化/%									
	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	80—90	90—100
T <sub>1</sub>	5.79	4.73	1.71	0.61	-0.32	0.25	-2.19	-0.79	-1.16	-1.79
T <sub>2</sub>	4.92	3.49	0.79	-0.59	-0.69	0.27	1.29	-0.72	-0.36	1.22
T <sub>3</sub>	2.22	3.57	1.38	1.16	0.48	1.19	0.08	-4.05	-1.77	-1.25
T <sub>4</sub>	4.42	4.43	0.71	-3.20	-1.29	1.02	2.24	0.87	-1.38	-0.63
T <sub>5</sub>	0.64	1.11	0.02	3.62	-2.23	-2.45	-0.52	-1.69	-1.89	-0.02
T <sub>6</sub>	5.92	3.82	1.11	3.59	1.60	-0.11	-2.29	-1.12	-1.22	0.34
T <sub>7</sub>	4.44	3.16	-2.72	-1.74	-0.45	-0.47	-1.97	1.75	-0.46	-0.98

### 2.3 休闲期不同处理的保墒效果

小麦收获—土地封冻期,各处理的日均蒸发量处于 0.94~1.30 mm/d,免耕秸秆覆盖处理相比免耕裸

地日均蒸发量降低 0.21 mm/d,深翻起垄覆全膜、深翻起垄覆草和深翻平整覆全膜处理相比深翻裸地日均蒸发量分别降低 0.36, 0.20 和 0.27 mm/d,深翻平

整覆全膜的抑制蒸发效果较为显著,其中免耕和深翻处理总蒸发量较大,与其他处理有极显著差异( $p < 0.01$ ),说明覆盖措施对封冻前土壤水分蒸发有很好的抑制作用。

地面封冻—春耕期,各处理的累计蒸发量只占到总蒸发量的 9.1%~23.4%,深翻+覆草和免耕+覆草处理蒸发量较大,与其他处理有极显著差异( $p < 0.01$ ),说明覆草对封冻后土壤水分蒸发的抑制作用

不大(表 2)。整个休闲期内各处理日均蒸发量呈现:深翻+覆草>深翻>免耕>免耕+覆草>深翻+起垄+覆草>深翻+覆全膜>深翻+起垄+覆全膜趋势。深翻+覆草和深翻处理休闲期总蒸发量较其他处理大,形成极显著差异( $p < 0.01$ ),说明深翻后土壤疏松,增大了土壤孔隙度,若不采取覆盖措施,土壤蒸发会显著提高,加大了蒸发损失,而覆草后截留了大量降水,不利于补充土壤水分,同样蒸发损失较大。

表 2 休闲期不同耕作、覆盖措施下土壤蒸发量及储水量

时间段	项目	处理						
		T <sub>7</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
20080722— 20081115	7月22日土壤储水/mm	244.5	243.2	243.8	246.7	241.1	243.3	242.5
	降水量/mm	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1
	11月15日土壤储水/mm	198.9	222.0	238.4	222.9	225.5	196.7	209.1
	蒸发量/mm	148.7aA	124.3cC	108.5eE	126.8cC	118.7dD	149.7aA	136.5bB
	日均蒸发/(mm·d <sup>-1</sup> )	1.29	1.08	0.94	1.10	1.03	1.30	1.19
20081115— 20090325	3月25日土壤储水/mm	184.0	186.8	210.9	199.3	209.9	169.3	167.5
	蒸发量/mm	14.9eD	35.1bB	27.4cC	23.6dC	15.7eD	33.6bB	41.7aA
	日均蒸发/(mm·d <sup>-1</sup> )	0.11	0.27	0.21	0.18	0.12	0.21	0.32
休闲期	日均蒸发量/(mm·d <sup>-1</sup> )	0.67	0.65	0.55	0.61	0.55	0.72	0.73
	蒸发量/mm	163.6bB	159.4bB	135.9dD	150.5cC	134.4dD	183.3aA	178.2aA

注:不同小写字母表示差异显著( $p < 0.05$ );不同大写字母表示差异极显著( $p < 0.01$ )。下同。

## 2.4 不同覆盖对休闲期土壤蒸发的影响

休闲期农田土壤蒸发量较大,是土壤水分损失的主要原因。农田耕作后各处理间日蒸发强度差异较明显,主要是由于不同覆盖材料影响了土面蒸发。从 2008 年 11 月 15 日进入冬季休闲期后,覆盖处理由于提高了降水利用率,补充了土壤水分,使土壤储水量增加,其土壤日蒸发强度有所增加,略高于裸地处理。休闲期农田土壤 1 m 土层的累积蒸发量见图 2。各处理土壤累积蒸发量随覆盖、耕作措施不同逐渐明显,不覆盖处理与覆盖处理的差距逐步拉大,形成了大量水分损失,至翌年作物播种前,与 T<sub>6</sub> 相比 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 累计蒸发量分别下降了 23.3%, 15.0% 和 24.1%,说明耕作后不覆盖形成了过大的水分蒸发损失。

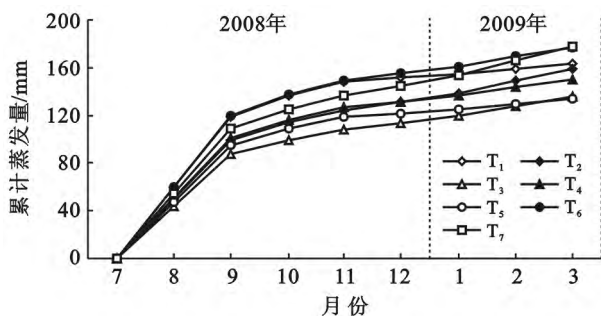


图 2 不同处理休闲期 1 m 土层土壤累积蒸发量

## 2.5 不同处理休闲期耗水量分析

根据土壤水分测定结果,计算了 1 m 土层内的土壤储水量变化,结果见表 3。在整个休闲期,虽然 1 m 土层内土壤储水量有所减少,但是覆盖处理由于降水及原土壤储水有一部分储存在土壤中,提高了土壤含水量,较不覆盖处理增加了土壤的储水量,其中 T<sub>5</sub> 和 T<sub>3</sub> 最终土壤含水率与其他处理有显著差异( $p < 0.05$ )。同样 T<sub>5</sub>, T<sub>3</sub> 的储水量增加要明显高于其他处理,形成极显著差异( $p < 0.01$ ),较增加储水量最小的处理 T<sub>6</sub> 分别多储存水量 48.97 和 47.39 mm。从整个农田休闲期来看,由于土壤蒸发产生的水分损失的大小顺序为: T<sub>7</sub> > T<sub>6</sub> > T<sub>1</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>4</sub> > T<sub>3</sub> > T<sub>5</sub>,其水分损失(土壤蒸发)较大处理为深翻裸地和深翻覆草,分别为 183.3 和 178.2 mm,与其他处理有极显著差异( $p < 0.01$ )。水分损失最小处理为深翻+平整+覆全膜,为 134.4 mm,较 T<sub>5</sub> 和 T<sub>3</sub> 减少蒸发 48.9 和 43.8 mm。

表 3 休闲期 1 m 土层深度水量平衡分析

处 理	初始含水 量率/%	最终含水 率/%	有效降水 量/mm	1 m 土层增加 储水量/mm	土壤蒸 发量/mm
T <sub>1</sub>	15.88	11.95cC	103.1	-60.50cC	163.6cB
T <sub>2</sub>	15.79	12.13cC	103.1	-56.33cC	159.4cB
T <sub>3</sub>	15.83	13.70aA	103.1	-32.84aA	135.9eD
T <sub>4</sub>	16.02	12.94bB	103.1	-47.38bB	150.5dC
T <sub>5</sub>	15.66	13.63aAB	103.1	-31.26aA	134.4eD
T <sub>6</sub>	15.80	10.99dD	103.1	-80.23eD	183.3aA
T <sub>7</sub>	15.75	10.87dD	103.1	-75.05dD	178.2bA

### 3 结论

采用秋季深耕、冬季大定额储水灌溉是民勤绿洲农田休闲期传统耕作及灌溉方式。由于该区气候干燥,降水很少,大风天气较频繁,土面蒸发是该区农田休闲期水分消耗的主要途径之一。在试验期间(2008年7月22日至2009年3月25日)参考蒸发量计算结果为 $ET_0=325.9\text{ mm}$ ,而实际试验监测休闲期耕作+覆全膜后土面蒸发量为 $134.4\text{ mm}$ ,占潜在蒸发量的 $54.6\%$ ,较常规深翻处理土面蒸发量 $183.3\text{ mm}$ 少 $48.9\text{ mm}$ 。由以上分析可知,传统耕作方式在农田休闲期蒸发较大,水分损失较多,已不能适应民勤绿洲水资源节约目标及高效节水型农业可持续发展的要求。而采用秋耕+覆盖措施虽然减少了降水入渗量,但可以抑制土壤蒸发量,提高降水利用率,增加土壤储水量;因此在民勤绿洲休闲期农田采用深翻+平整+覆全膜和深翻+起垄+覆全膜处理是适宜推广的土壤水分调控措施之一。

秋耕覆盖等措施实施后,还需要对农田进行休闲期保护,避免因刮风、牲畜、人为等因素破坏覆盖物,需增加劳力投入。这一措施对翌年作物播种及出苗有一定影响,所选作物种植方式要符合已做的田面处理措施。秸秆覆盖对播种期提高地温有一定影响,不利于作物出苗。虽然休闲期耕作覆盖措施抑制了土面蒸发,利用了部分降水资源,但由于未灌冬水,农田总土壤储水量较少,不能满足作物出苗及苗期正常生长的土壤水分要求,还需配合春季补充灌溉、注水播种等相关措施。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 韩福贵,仲生年,俄有浩. 民勤沙区降水及干旱特征分析[J]. 甘肃林业科技,1995(3):34-39.
- [2] 张新民,李元红,王以兵,等. 民勤生态—经济型绿洲技术集成试验示范[R]. 甘肃省水利科学研究院,2010:54-57.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 丁林,金彦兆,李元红,等. 石羊河流域农田休闲期耗水规律试验研究[J]. 中国生态农业学报,2012,20(4):447-453.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 杜守宇. 秋覆膜保墒抗旱技术[EB/OL]. [2008-10-19]. <http://www.12346.gov.cn/>.
- [11] 李光,高志强,孙敏,等. 休闲期覆盖和施氮量对旱地小麦幼苗生理特性的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(3):47-50.
- [12] 贺立恒,高志强,孙敏,等. 旱地小麦休闲期不同耕作措施对土壤水分蓄纳利用与产量形成的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(15):106-111.
- [13] 刘超,汪有科,湛景武,等. 秸秆覆盖量对农田土面蒸发的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(5):448-451.
- [14] 沈新磊,王锐,王全九. TRIME-T3 管式 TDR 在测量土壤水分时的误差及校正[J]. 湖北农业科学,2013,52(13):3015-3017.
- [15] 冶林茂,厉玉升,吴志刚,等. FDR、TDR 与烘干法土壤水分测量对比试验研究[C]//中国气象学会. 2006 年年会“提高大气监测自动化水平、为业务技术体制改革作贡献”分会场论文集,2006:162-168.
- [16] 孙宏勇,刘昌明,张永强,等. 微型蒸发器测定土面蒸发的试验研究[J]. 水利学报,2004,35(8):114-118.