

# 保护性耕作对坡耕地土壤水分特性和水土流失的影响

试验研究

郭贤仕, 杨如萍, 马凡, 郭天文, 张绪成

(甘肃省农业科学院 旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在黄土高原西部丘陵沟壑区水土流失严重的坡耕地进行了2 a的定位试验,研究了不同耕作方式对坡耕地土壤水分特性和水土流失的影响。研究表明:(1)免耕+覆盖的保护性耕作方式保水效果明显,全年平均土壤含水量比传统耕作高出1%以上,单纯的免耕与传统耕作没有显著差异。(2)免耕可使耕作层土壤水分保持相对稳定,初春播种后土壤较长时间保持较高含水量有利于作物出苗;雨后免耕处理耕作层具有更强保水能力,从而使土壤水分保持相对稳定则有利于作物生长。(3)不同耕作方式对坡耕地土壤水分特性的影响与其对土壤结构的影响有关,免耕虽然增加了耕作层土壤容重,但也增加了团聚体的稳定性,降低了团聚体破坏率,增强了土壤抗蚀力,覆盖能降低免耕地表层土壤容重,增强其持水与保墒能力。(4)免耕措施未必能减少坡地径流量,但可显著降低土壤侵蚀量,免耕辅以秸秆覆盖的保护性耕作可有效防止水土流失,径流量和产沙量较传统耕作处理分别减少了8.35%和88.11%。

**关键词:** 保护性耕作; 土地水分; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0001-05

中图分类号: S157.2

## Effects of Conservation Tillage on Soil Water Characteristics and Soil Erosion in Slope Farmland

GUO Xian-shi, YANG Ru-ping, MA Yi-fan, GUO Tian-wen, ZHANG Xu-cheng

(Dryland Agricultural Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** After two years' experiment in the west loess hilly and gully region with serious soil erosion, the effects of various tillage ways on soil water characteristics and soil erosion in slope farmland were studied. Results showed that (1) No-tillage with straw covering had good water conservation effect and its mean soil water content in a year was 1% higher than traditional tillage. There was no obvious difference between the no-tillage and traditional tillage. (2) Soil water content in cultivated layer kept steadily in the no-tillage, which benefits seedling emergence in early spring and crop growth after rainfall. (3) The effects of various tillage ways on soil water characteristics were related to the change of soil structure. Soil bulk density was increased by the no-tillage, the destruction ratio of soil aggregates was reduced, and the anti-erosion ability of soil was increased by the increment of the stability. Straw covering reduced soil bulk density and enhanced soil water retaining capacity. (4) The no-tillage might not reduce runoff on farmland, but it obviously controlled soil erosion. No-tillage with straw covering controlled soil and water loss efficiently and runoff and soil erosion were reduced by 8.35% and 88.11%, respectively.

**Keywords:** conservation tillage; soil water; soil and water loss

坡耕地是我国重要耕地资源,尽管多年来一直坚持坡地改梯田的农田基本建设,我国坡耕地仍然占耕地总面积的1/5,面积达 $2.13 \times 10^7 \text{ hm}^2$ <sup>[1]</sup>。坡耕地也是我国水土流失的主要区域之一,坡耕地每年产生的土壤流失量约为 $1.5 \times 10^9 \text{ t}$ ,占全国水土流失总量的1/3<sup>[3]</sup>。黄土高原丘陵沟壑区是我国乃至世界上

水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区之一,侵蚀模数高达 $4\ 000 \sim 10\ 000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,该区域所产生的泥沙占每年 $1.3 \times 10^9 \sim 1.5 \times 10^9 \text{ t}$ 入黄泥沙中的大部分,由于坡耕地又是该区水土流失最严重的部位,并且面积所占比重较大,坡耕地水土流失量一般占流域水土流失总量的40%~60%<sup>[2,4]</sup>。

虽然坡耕地的“退耕”和“坡改梯”是黄土高原丘陵沟壑区防治水土流失、提高旱地生产力的有效措施,但由于资金及地形地貌等客观条件的限制,坡耕地在一定时期内仍将存在。在农业生产实践过程中,对这些坡耕地采用一些水土保持耕作措施,同样可能达到防治水土流失,提高旱地生产力的目的。免耕覆盖作为一种保护性耕作种植技术,可改善土壤结构,增加土壤水分入渗,能有效防止水土流失,同时还有省工、省力、省能、易行等特点,是可持续的旱地农业发展模式<sup>[5-7,10]</sup>。为探索控制黄土丘陵沟壑区坡耕地水土流失的耕作方法和原理,本研究进行坡耕地免耕和秸秆覆盖定位试验,分析措施实施后坡耕地土壤水分特性的变化及其对径流量和土壤侵蚀量的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

试验小区位于甘肃省定西市安定区唐家堡镇唐家堡村(35°26′30″N, 104°34′32″E),属典型黄土高原半干旱丘陵沟壑区。该区多年年均降水 415.2 mm,降水主要分布在 7—9 这 3 个月,年均蒸发量 1 531 mm,年平均气温 6.2 ℃。试验小区为 10°~12°的坡耕地,海拔 2 030 m,土壤类型为黄绵土,该区在试验期的降水情况见表 1。

表 1 试验期降水情况

年份	降水次数	> 10 mm 降水次数	5~10 mm 降水次数	< 5 mm 降水次数	年降水总量/mm
2008	91	15	11	65	424.1
2009	73	8	10	53	293.8

### 1.2 处理设置

设置传统耕作、免耕、秸秆覆盖免耕共 3 个处理。传统耕作是按当地的耕作习惯,翻耕裸地种植,休闲期实行三耕两耩。免耕为作物收获后休闲期不进行耕作,播种时也尽量少翻动土壤。试验共进行了 3 a,秸秆覆盖为试验开始的第一年(2007 年)用 6 000 kg/hm<sup>2</sup>小麦秸秆进行覆盖,2008 和 2009 年按 1 500 kg/hm<sup>2</sup>进行秸秆补充,小麦收获时留高茬。3 个处理作物种植制度均为:春小麦—春小麦—豌豆。田间试验小区面积 5.0 m × 7.2 m,3 次重复,随机区组排列。

### 1.3 主要指标测定方法

所有主要指标测定过程中,采集土样均按照小区进行 3 次重复取样。

(1) 土壤水分特性测定。在作物主要生长期和休闲期测定 200 cm 土层含水量;在初春播种后,测定耕作层土壤水分动态和容重的变化;在作物生长期和休

闲期各选择 1~2 次能产生有效径流的降水,在降雨后测定耕作层土壤水分动态。(2) 土壤结构测定。测定 0—10 cm 土壤容重;团粒结构于 2009 年 7 月 7 日取 0—30 cm 耕作层的混合土样,用萨维诺夫干筛法和湿筛法测定。(3) 降水量、径流量和侵蚀量测定。气象站记录降水量、降水强度和降水历时。在试验小区下部设置径流池,每次降水产流后及时测量径流体积,同时采集混合水样 100 ml,过滤后烘干称重,计算水样的泥沙含量,进一步计算侵蚀量。侵蚀量(kg/hm<sup>2</sup>)=浑水总量(ml) × 样品泥沙含量(g/ml) × 10<sup>-3</sup> / (3.6 × 10<sup>-3</sup>);径流量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>) = [浑水总量(ml) - 侵蚀量(g) / 坡面土壤比重] × 10<sup>-6</sup> / (3.6 × 10<sup>-3</sup>)。 (4) 数据处理。显著性和回归分析使用 DPS 分析软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式对坡耕地土壤水分的影响

2.1.1 不同耕作方式对田间土壤水分的影响 不同耕作方式对坡耕地土壤水分有明显的影 响。2 a 的试验结果表明(表 2),免耕+覆盖处理土壤含水量最高,2 a 的年平均土壤含水量比传统耕作处理分别高出了 0.77% 和 1.32%,保水效果明显。虽然传统耕作与单纯的免耕处理的年平均土壤含水量没有显著差异,但由于秋休闲期土壤水分含量相对较高,传统耕作比单纯的免耕处理年平均土壤含水量高出约 0.3%。2009 年不同时段免耕+覆盖处理土壤含水量都是最高的,而 2008 年在春小麦生长期,不同处理之间土壤含水量没有明显区别。

表 2 不同耕作方式下 200 cm 土层土壤水分含量 %

处理	年份	播前	夏季作物生长期	秋休闲期	年平均
传统耕作	2008	13.81	10.61	13.46	11.73
	2009	13.55	11.74	12.86	12.32
免耕	2008	13.53	10.46	12.99	11.48
	2009	13.36	11.68	11.96	11.99
覆盖免耕	2008	14.26	11.37	14.45	12.50
	2009	14.55	13.25	13.96	13.64

注:夏季作物生长期、秋休闲期土壤水分含量分别为 4 次和 3 次不同测定时间测定值的平均值。

2.1.2 初春耕作层土壤水分动态 初春播种后耕作层土壤保墒对旱地作物出苗有重要影响。在陇中黄土丘陵沟壑半干旱区,在每年 3 月中旬夏季作物播种期,此阶段正是土壤耕作层解冻期,该期耕作层土壤水分含量一般都较高。夏作物播种期后的初春是气温快速升高的时期,该时期耕作层土壤水分散失很

快, 半干旱区夏作物经常出现的缺苗现象, 就是由于这一时期耕作层土壤水分快速散失而造成的。不同的耕作方式耕作层土壤水分动态表现出不同的特点, 传统耕作表层土壤水分下降较快; 免耕处理耕作层土壤水分下降较慢, 但保持下降趋势; 覆盖免耕处理耕

作层土壤水分下降速度较为缓慢(表3)。播种前及播种后的10 d内, 免耕处理耕作层土壤含水量均显著高于传统耕作, 但在15 d以后, 免耕处理耕作层的土壤水分含量与传统耕作没有显著差异, 覆盖免耕处理的耕作层土壤水分含量均显著高于其它两个处理。

表3 2009年不同耕作方式下耕作层土壤水分动态

耕作方式	土层/cm	090319	090324	090329	090403	090408	090413
传统耕作	10	11.02	8.23	7.12	7.20	6.85	6.21
	20	14.35	12.97	12.93	12.81	12.81	13.29
	30	17.36	17.18	17.28	17.17	17.25	16.88
	40	17.18	17.03	17.09	17.09	17.29	17.16
	平均	14.98 <sup>c</sup>	13.85 <sup>c</sup>	13.61 <sup>c</sup>	13.57 <sup>b</sup>	13.55 <sup>b</sup>	13.39 <sup>b</sup>
免耕	10	12.34	11.22	10.27	8.63	8.52	8.24
	0	16.54	16.36	15.45	14.14	13.57	13.06
	30	17.72	17.65	17.41	16.15	15.67	15.56
	40	16.85	16.93	16.33	16.01	15.89	15.37
	平均	15.86 <sup>b</sup>	15.54 <sup>b</sup>	14.87 <sup>b</sup>	13.73 <sup>b</sup>	13.41 <sup>b</sup>	13.06 <sup>b</sup>
免耕覆盖	10	16.86	16.35	16.14	16.21	16.12	16.03
	20	17.85	17.67	17.67	17.55	17.53	17.31
	30	18.82	18.72	18.36	18.27	17.67	17.59
	40	18.74	18.64	18.43	18.22	18.15	18.11
	平均	18.07 <sup>a</sup>	17.85 <sup>a</sup>	17.65 <sup>a</sup>	17.56 <sup>a</sup>	17.37 <sup>a</sup>	17.26 <sup>a</sup>

注: 不同字母表示  $P=5\%$  显著水平下的统计结果, 下同。

不同耕作方式对耕作层不同层次的含水量也有显著影响(表3)。传统耕作由于播种对土壤的扰动较大, 表层(0—20 cm)土壤水分迅速下降到6%~7%, 但20—40 cm 土层土壤水分下降较为缓慢, 这与表层土壤干层对下层水分阻断作用有关。传统耕作使表层土壤水分迅速下降, 对底墒较差的土壤影响较大, 将严重影响作物出苗。免耕处理表层土壤水分下降速度虽然慢于传统耕作处理, 但整个耕作层土壤水分下降幅度高于传统耕作, 播种后持续干旱也可能使耕作层土壤水分下降至很低的水平, 免耕地经常出现的作物出苗保苗困难就与耕作层整体土壤水分散失较快有关。覆盖免耕处理耕作层土壤水分散失较慢, 各层次均保持了较高的水分含量, 旱地覆盖免耕条件作物出苗率通常较高, 特别是针对一些播种深度较浅的作物, 该措施保苗效果更为明显。

2.1.3 耕作层土壤雨水的入渗和蒸发 雨后耕作层水分动态, 既是雨后土壤水分入渗状况的反映, 又是表层土壤水分散失的反映。表4为2008年6月7日小麦生长期在降水20.3 mm后第5天的耕作层土壤水分动态, 雨后第一天, 表层土壤水分含量都较高, 接近饱和, 20 cm以下土壤水分含量较低, 雨后几天耕作层下层的土壤水分含量还有小幅上升。传统耕作处理耕作层在0—20 cm 土层土壤水分含量下降较

快, 20—30 cm 土层土壤水分含量上升较快; 免耕处理包括覆盖免耕处理, 其耕作层在0—20 cm 土层土壤水分下降较慢, 20—30 cm 土层土壤水分上升也较慢。传统耕作雨后耕作层土壤水分变化较剧烈, 入渗和蒸发均较快; 免耕处理耕作层土壤水分含量则相对稳定, 并且较长时间维持较高的水分含量。

表4 不同耕作方式下雨后耕作层土壤水分动态

耕作方式	雨后 天数/d	土层深度/cm				平均
		10	20	30	40	
传统耕作	1	22.42	18.32	13.28	12.60	16.65
	3	15.09	17.38	16.26	13.10	15.46
	5	12.34	15.87	16.21	13.72	14.54
免耕	1	22.10	17.19	11.68	11.08	15.51
	3	14.45	17.44	14.33	11.61	14.46
	5	11.19	16.03	16.00	12.11	13.83
免耕覆盖	1	22.35	19.22	13.82	13.72	17.28
	3	18.89	18.62	16.23	14.07	16.95
	5	16.89	18.06	16.03	14.15	16.28

## 2.2 不同耕作方式对坡耕地土壤结构的影响

2.2.1 全年土壤容重动态 免耕和覆盖对耕作层容重影响明显(表5)。

2a的试验结果表明, 传统耕作处理的耕作层容重较低, 免耕和覆盖免耕处理的容重较高。在休闲期

不同耕作方式的容重差异显著,而在作物生长期各处理之间差异较小,多差异不显著。耕作层土壤容重一直处于较高水平,土壤结构紧密,是免耕雨后土壤水分入渗性较差的主要原因。免耕地通过覆盖可以降低表层土壤容重,秸秆覆盖是改善土壤结构的有效方法,特别是在雨后表层土壤水分快速蒸发、休闲期自

然降水较少时可防止土壤表层产生结皮。秋休闲期实行三耕两耙的传统耕作方法,容易使表层土壤水分散失,也不符合现代保护性耕作的理念,但传统耕作方法可通过多次耕耙打破雨后表层结皮、松散土壤、改善土壤结构,有利于雨水快速下渗,同时切断土壤水分上升的毛管通道。

表 5 2009 年不同耕作方式下土壤容重

耕作方式								g/cm <sup>3</sup>
	090319	090421	090521	090617	090707	090820	091015	平均
传统耕作	1.04 <sup>c</sup>	1.02 <sup>c</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.23 <sup>b</sup>	1.21 <sup>b</sup>	1.03 <sup>c</sup>	1.02 <sup>c</sup>	1.10
免耕	1.15 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.30 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	1.24
覆盖免耕	1.09 <sup>b</sup>	1.09 <sup>b</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.20 <sup>b</sup>	1.23 <sup>b</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>	1.16

2.2.2 初春耕作层土壤容重动态 初春播种后,不同耕作方式下耕作层土壤容重差异较大(表 6)。传统耕作处理由于播种时的翻耨,容重一直处于较低水平,免耕和覆盖免耕处理容重较高。初春温度升高,土壤解冻,表层土壤水分快速蒸发,对免耕处理的容重影响较大,容重保持增大趋势。反过来,免耕处理初春季节土壤容重较大、坚实,也是免耕地初春土壤水分散失较快的原因。初春免耕处理土壤容重较大、坚实,也是作物出苗率降低的原因之一。覆盖免耕处理土壤容重变化较小,覆盖能有效改善耕作层土壤结构。

### 2.3 不同耕作方式对土壤团聚体组成的影响

土壤团聚体的数量和稳定性是衡量土壤结构、水分入渗与抗蚀性的重要指标。不论采用干筛或湿筛的团聚体测定方式,团聚体结构组成中, > 1 mm 的土壤大颗粒团聚体含量均为传统耕作处理的较高; < 1 mm 的土壤小颗粒团聚体含量均为传统耕作处理的较低(表 7)。水稳性团聚体受耕作方式的影响更大一些,免耕条件下水稳性团聚体含量高出传统耕作处理 21.12%,覆盖免耕高出传统耕作处理 50.17%,覆盖能进一步强化免耕的作用。

传统耕作团聚体破坏率最高(81.72%),免耕能增加团聚体的稳定性,降低团聚体破坏率。这说明耕作和扰动的程度越大,团聚体稳定性越小,土壤的抗蚀性也就越低,而扰动程度较小的免耕处理,团聚体稳定性较高,土壤抗蚀性也较强,可更好地防止水土流失。

表 6 2009 年初春耕作层土壤容重动态

耕作方式	g/cm <sup>3</sup>					
	090319	090324	090329	090403	090408	090413
传统耕作	1.09 <sup>b</sup>	1.04 <sup>c</sup>	1.12 <sup>b</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.12 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>
免耕	1.15 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>	1.27 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	1.33 <sup>a</sup>
免耕覆盖	1.09 <sup>b</sup>	1.15 <sup>b</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.14 <sup>b</sup>	1.18 <sup>b</sup>	1.16 <sup>b</sup>

表 7 土壤团聚体组成分析

耕作方式	测量方式						%
		> 5 mm	5~ 2 mm	2~ 1 mm	1~ 0.25 mm	> 0.25 mm	破坏率
传统耕作	干筛	28.15	12.73	4.62	10.76	56.26	81.72
	湿筛	1.40	1.33	1.35	6.21	10.29	
免耕	干筛	25.88	11.00	3.33	16.58	56.78	78.06
	湿筛	0.91	1.03	1.34	9.18	12.46	
覆盖免耕	干筛	15.18	8.56	4.10	24.72	52.55	70.61
	湿筛	0.49	0.95	1.99	12.02	15.45	

### 2.4 不同耕作方式下水土流失状况

根据气象站降水记录,2008 和 2009 年试验区共降水 164 次,降水总量为 717.9 mm。其中,最大日降水量为 30.6 mm,有可能产生径流的 > 10 mm 降水次数 23 次,实际产流降雨只有 15 次。

从这 2 a 的试验结果可以看出(表 8),各耕作方式年径流总量由大到小的顺序为:免耕 > 传统耕作 > 覆盖免耕。说明免耕处理不仅没有减少径流,还增加

了径流量,覆盖免耕处理的径流量只略小于传统耕作,两者没有显著差别。究其原因,一方面与陇中半干旱区的自然降水分布特点有关,另一方面与免耕方式对土壤结构的影响有关。

陇中半干旱区的自然降水主要集中在夏季作物收获后的秋季,夏季作物收获后的翻耕、耨耙增加了土壤表面的粗糙度,有利于自然降水的入渗,而免耕地表紧实度较高,容易形成径流。覆盖也有增加土壤

表面粗糙度的作用, 能使免耕地径流量大幅下降。

免耕和覆盖处理的减沙效果显著。从这 2 a 的试验结果可以看出, 各耕作方式产沙总量的大小顺序为: 传统耕作 > 免耕 > 覆盖免耕, 免耕、覆盖免耕处理的产沙量相比传统耕作处理分别减少 34.20% 和 88.11%。从产沙的时段看, 泥沙主要产生于夏季作物收获后的秋季, 这一时期也是该区的雨季, 是径流主要形成期。

传统耕作在作物收获后的多次翻耕耨耙, 使土壤过度松散, 是其产沙量最大的主要原因。免耕地土壤表层较为紧密, 增加了团聚体的稳定性, 土壤抗蚀力也较强。作物秸秆覆盖在有效降低径流量的同时, 防止雨水和径流对土壤的冲溅效果也很明显, 相对无覆盖的免耕地可减少 81.93% 的产沙量。

表 8 不同耕作方式下水土流失量

耕作方式	径流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )		产沙量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	
	2008年	2009年	2008年	2009年
传统耕作	28.64	11.12	351.88	164.05
免耕	46.15	17.88	237.65	101.83
免耕覆盖	23.77	12.67	38.98	22.37

径流量、产沙量与自然降特征参数的单因子回归及多因子线性回归关系分析表明, 2008—2009年试验期间自然降水特征参数中的平均降水强度和降水历时与径流量、侵蚀量的相关性不大, 径流量、产沙量与降水量呈显著的正相关, 多为极显著( $P = 0.01$ 水平)。

不同耕作条件下的次降雨径流量、产沙量均与降水量呈显著的线性回归关系, 关联方式还是相同的, 不同耕作方式对径流量和产沙量的影响只是量上的区别。

### 3 结论

(1) 不同耕作方式对坡耕地土壤水分有一定影响。免耕+覆盖处理的年平均土壤含水量比传统耕作高出 1% 以上, 保水效果明显, 单纯的免耕处理的土壤含水量与传统耕作没有显著差异。初春播种后的作物出苗期, 传统耕作表层土壤水分下降较快; 免耕处理耕作层土壤水分下降幅度较为缓慢, 但呈持续下降趋势; 覆盖免耕处理耕作层土壤水分下降幅度较为缓慢, 半干旱区旱地在这一时期耕作层土壤水分经常处于出苗所需的临界点, 微小水分含量差异都可能对作物出苗造成很大的影响。传统耕作雨后耕作层土壤水分变化较剧烈, 入渗较快蒸发也较快; 免耕处

理耕作层土壤水分则相对稳定, 并且较长时间维持较高的土壤含水量, 免耕有利于土壤水分保持。

(2) 免耕和覆盖处理对耕作层土壤容重影响明显, 传统耕作耕作层土壤容重较小, 免耕和覆盖免耕处理土壤容重较大。免耕地通过覆盖处理可以降低表层土壤容重, 特别是在土壤水分快速蒸发时可有效防止土壤表层结皮的产生。免耕能增加团聚体的稳定性, 降低团聚体破坏率, 增强土壤抗蚀力, 覆盖能进一步强化免耕的作用。免耕对土壤容重的影响差异较大, 可能与免耕年限、是否有秸秆覆盖以及土壤结构有关<sup>[7-9, 11]</sup>。

(3) 免耕处理增大了土壤容重、紧实度, 也增加了坡地产流量, 由于免耕措施可增加土壤团聚体的稳定性, 增强了土壤抗蚀性, 使其产沙量显著降低。黄土高原半干旱区降水主要集中在夏作物的秋休闲期, 传统耕作的三耕两耨方式在秋休闲期相比单纯的免耕处理可更好地接收雨水入渗<sup>[8, 10]</sup>。作物秸秆覆盖可有效降低径流量, 防止雨水和径流对土壤的冲溅效果也很明显。免耕地要真正实现对水土流失的双重控制, 必须辅以秸秆覆盖的保护性耕作方式<sup>[6-7]</sup>。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 48-51.
- [2] 王馨凤, 王丽华. 大力推进我国水土流失的综合防治[J]. 今日国土, 2008(3): 17-19.
- [3] 李小燕, 杨永利. 浅谈坡改梯工程在流域治理中的地位和作用[J]. 陕西水利, 2008(7): 139-140.
- [4] 潘竟虎, 张伟强, 秦晓娟. 陇东黄土高原土壤侵蚀的人文因素及经济损失分析[J]. 中国水利, 2008(12): 37-39.
- [5] 王洪中, 张忠武. 云南坡耕地农业持续发展研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(4): 18-20.
- [6] 刘贤赵, 康绍忠. 降水入渗和产流问题研究的若干进展及评述[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 57-65.
- [7] 沈裕斌, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 45-50.
- [8] 黄高宝, 罗珠珠, 辛平, 等. 耕作方式对黄土高原旱地土壤入渗性能的影响[J]. 水土保持通报, 2007, 27(6): 5-8.
- [9] 张福武, 蔡立群, 陈英. 免耕对土壤容重总孔隙度和水稳性团聚体的影响[J]. 甘肃农业科技, 2008(8): 9-11.
- [10] 张晓艳, 王立, 黄高宝, 等. 道地药材保护性耕作对坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 58-61.
- [11] 李爱宗, 张仁陟, 王晶. 耕作方式对黄绵土水稳性团聚体形成的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 480-484.