

# 波状坡耕地拦挡淀排技术水沙调控效果

丁新辉<sup>1</sup>, 谢永生<sup>1,2†</sup>, 魏富娟<sup>3</sup>, 蔡铭阳<sup>4</sup>, 索改弟<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100 陕西杨凌; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 712100 陕西杨凌; 3. 西北农林科技大学风景园林艺术学院, 712100 陕西杨凌; 4. 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100 陕西杨凌)

**摘要:** 我国北方土石山区的地形特点是土层薄、坡长坡陡、波状起伏、以坡耕地水土流失为主。该区水土流失严重, 侵蚀沟道密集, 对当地和下游造成严重的水土流失问题。为解决波状坡耕地水土流失的治理问题, 针对波状坡耕地形态特征和水土流失特点, 设计波状坡耕地拦挡淀排技术, 并将其布设于野外径流小区进行观测。结果表明: 1) 拦挡淀排技术对波状坡耕地削流和减蚀作用均有较好的效果, 2年平均的削流率和减蚀率分别为53.72%和87.21%, 该技术对于各种类型的降雨均有较好的坡面削流效果, 该措施的排水系统表现出可靠性和稳定性。2) 通过对不同类型的降雨造成的径流量分析, 拦挡淀排技术对波状坡耕地的径流调控率在降雨强度较大的情况下能发挥出较好的效果。通过趋势线分析, 对照小区的产沙量与降雨量间的直线斜率大于措施小区(趋势线接近水平), 说明拦挡淀排措施下不同降雨量产生的泥沙量都很小, 拦挡淀排技术减沙效果显著。3) 通过对次降雨资料分析表明, 措施小区泥沙侵蚀量均远小于对照小区。波状坡耕地的年泥沙侵蚀量主要是由几场大暴雨引起的, 拦挡淀排技术在大暴雨情况下也有显著的减蚀效果。通过添加趋势线分析发现措施小区泥沙侵蚀量与降雨量、降雨强度和 $I_{30}$ 之间均没有良好的线性关系, 措施小区泥沙侵蚀量受降雨量、降雨强度和 $I_{30}$ 的共同影响。在雨季, 措施小区泥沙侵蚀量受地表粗糙度的影响较大。4) 从农作物产量来看, 相同施肥条件下, 拦挡淀排技术在干旱年比平水年份对作物增产的作用更明显。因此, 拦挡淀排技术能够有效防治波状坡耕地水土流失, 可作为一项新型坡耕地水土流失防治技术。

**关键词:** 波状坡耕地; 水土流失; 削流率; 减蚀率; 拦挡淀排; 北方土石山区

中图分类号: S157.9 文献标志码: A 文章编号: 1672-3007(2016)03-0123-07

DOI: 10.16843/j.sswc.2016.03.016

## Regulating effects of the interception-precipitation-drainage technology on water and sediment in wave type slope farmland

Ding Xinhui<sup>1</sup>, Xie Yongsheng<sup>1,2†</sup>, Wei Fujuan<sup>3</sup>, Cai Mingyang<sup>4</sup>, Suo Gaidi<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture & Forest University, 712100, Yangling, Shaanxi, China; 3. College of Landscape Architecture and Arts, Northwest Agriculture & Forest University, 712100, Yangling, Shaanxi, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture & Forest University, 712100, Yangling, Shaanxi, China)

**Abstract** [Background] The terrain features of the rocky mountain area in northern China are characterized by thin soil layer, long steep slope, wave type undulating, mainly soil and water erosion in slope farmland. The soil erosion of this area is serious, and the erosion channels are intensive, causing serious soil and water loss to the local and downstream. [Methods] In order to solve the soil erosion

收稿日期: 2015-12-21 修回日期: 2016-05-10

项目名称: 国家科技支撑计划“农田水土保持工程与耕作关键技术研究”(2011BAD31B01); 水利部公益性行业科研专项经费项目“工程开挖面与堆积体水土流失测算技术研究”(201201048)

第一作者简介: 丁新辉(1989—), 男, 硕士研究生。主要研究方向: 坡耕地水土流失治理。E-mail: dingxinhui14@mails.ucas.ac.cn

†通信作者简介: 谢永生(1960—), 男, 博士, 研究员。主要研究方向: 土地资源与水土保持。E-mail: yxie@ms.iswc.ac.cn

problems of wave type slope farmland , based on the morphological features of wave type slope farmland and its characteristics of soil and water loss , we designed the interception-precipitation-drainage technology on wave type slope , deployed the cells with the technology ( measure cell) and contrast cell , and observed the runoff and sand output. [Results] 1) The average rate of cutting flow and rate of erosion reduction on the wave type slope by interception-precipitation-drainage technology in 2 years were 53.72% and 87.21% , respectively , meaning that favorable results of both cutting flow and reducing erosion achieved. The technology presented solid cutting runoff effect on slope for all kinds of rainfall , and the drainage system of the measure cell showed feasible reliability and stability. 2) Analyzing the erosion caused by different rainfall intensity , the interception-precipitation-drainage technology on wave type slope played a better effect on the runoff regulation in large rain intensity. Through the trend line analysis , the linear slope between runoff and rainfall of the contrast cell was greater than that of measure cell ( trend line close to horizontal level) , indicating that the amount of sediment produced by different rainfall was very small under the interception-precipitation-drainage technology on wave type slope , i. e. , the sediment reduction effect of the interception-precipitation-drainage technology on the wave type slope was significant. 3) According to the analysis of the data of individual rainfall , the sediment erosion amount on the measure cell was much smaller than that of the contrast one. The annual sediment erosion on wave type slope farmland was mainly caused by several downpours , the interception-precipitation-drainage technology on wave type slope had significant effect on decreasing erosion under the downpours. Analysis by adding trend line showed that sediment erosion in the measure cell had no good linear relationship with rainfall , rainfall intensity and  $I_{30}$  , and the sediment erosion on the measure cell was influenced jointly by rainfall , rainfall intensity and  $I_{30}$ . Moreover , in the rainy season , the sediment erosion on the measure cell was largely affected by surface roughness. 4) Regarding the crop yield , on the same condition of fertilization , the increasing production effect of the wave type slope interception-precipitation-drainage technology was more obvious in dry year than flat water year. [Conclusions] Therefore , the interception-precipitation-drainage technology on the wave type slope may effectively prevent the soil and water loss on wave type slope farmland , which can be used as a novel control technology of soil erosion on slope farmland.

**Keywords:** wave type slope farmland; soil erosion; rate of cutting flow; rate of erosion reduction; interception-precipitation-drainage; northern rocky mountain area

第 2 次全国土地调查显示 ,我国坡耕地(坡度  $> 6^\circ$ ) 面积达 240 万  $\text{hm}^2$  , 约占全国耕地面积的 27% [1]。研究 [2-3] 表明 ,坡耕地是水土流失的主要策源地 ,其水土流失量一般占到流域水土流失总量的 40% ~ 60% ; 因此 ,研究坡耕地水土流失治理新措施具有十分重要的实际意义。

波状坡耕地是指除纵向坡度外 ,在横向(等高线方向)也存在起伏 ,由瓦背形浅沟连成波浪状的坡耕地 [4]。姜永清等 [5] 认为瓦背形浅沟实质上是坡耕地上一种产沙量较高的稳定地貌形态。张永光等 [6] 发现浅沟一般位于坡面的中下部 ,而且多发育在瓦背状坡面的集流水路上。浅沟是由暴雨径流冲刷在坡耕地槽形部位形成的侵蚀沟 ,横断面因再侵蚀和再耕作呈弧形扩展 ,无明显沟缘 ,多呈瓦背状排

列 ,在地貌形态上并不突出 [7]。龚家国等 [8] 的研究表明耕作对浅沟侵蚀的发生具有决定作用。贾绍禹等 [9] 认为梯田是减少坡地耕作等造成的水土流失的根本性措施 ; 但是波状坡耕地土层薄 (厚度  $< 1 \text{ m}$ )、不适宜修筑水平梯田——主要因为坡改梯工程对土层的扰动大 ,一经开垦 ,坡面会遭到扰动 ,且容易碰到下部基岩 ,造成土层结构的破坏和养分的流失 ,不利于农业种植 [10]。

现有的坡耕地水土保持措施(耕作措施和生物措施)主要是针对坡面横向无起伏的直型坡 [11-12] ,对于有波谷汇流的波状坡耕地则难以发挥作用 ,而且这些水土保持措施效益差、不稳定、需频繁维护、花费较多劳力 [13-14]。笔者基于波状坡耕地治理困难的问题 ,采用对土壤扰动相对较小的双壁波纹管

壤中排水措施<sup>[15]</sup> 提出一种针对波状坡耕地水土流失的拦挡淀排技术,旨在为我国波状坡耕地水土流失治理提供具有可行性的解决方案,以满足波状坡薄土坡耕地水土流失治理的迫切需求。

### 1 研究区概况

研究区位于河北省承德市平泉县西部东北沟小流域(E 118°33'09"~118°37'09",N 41°03'07"~41°06'19") 属燕山山脉中低区,海拔 593~1 179 m,流域内水系属于滦河水系。该流域地貌类型以土石低山为主,年平均地面气温 7.1℃,无霜期 135 d,多年平均降雨量为 540.8 mm,年均蒸发量为 1 670 mm,记录的最大年降水量 771.4 mm,最小年降水量为 336.9 mm,约 80% 降水集中在雨季(6—10 月),10 年一遇大暴雨 6 h 降雨量为 72 mm,20 年一遇大暴雨 6 h 降雨量为 83 mm。流域内土壤类型以棕壤、黄绵土、粗骨土以及新积土等为主,研究区所属的侵

蚀类型区为北方土石山区。东北沟小流域在地貌、气候、土壤、植被类型等方面在冀北山区具有广泛代表性,该小流域于 1991 年被列为滦河重点治理工程项目区。东北沟小流域于 20 世纪 90 年代初开始采取封禁措施,流域内的养殖业规模逐年减小,如今农业生产主要以种植业为主。

### 2 数据与方法

#### 2.1 试验布设

在东北沟小流域共布设野外径流小区——措施小区和对照小区各 1 个(表 1)。2 小区纵向坡度为 10°,横向坡度为 5°,垂直投影面积为 21 m×15 m,种植作物均为春玉米。各小区均采用等高耕作,在作物生长期对土壤及作物的管理均不采用大型机械,操作工具主要为锄头、铁锹、镐头小型农具,各小区施肥种类、时间及施肥量也均完全相同。

表 1 波状坡径流小区布设情况  
Tab. 1 Setting situation of wave type slope runoff plots

小区名称 Cell name	土壤类型 Soil type	纵向坡度 Longitudinal slope/(°)	横向坡度 Transverse slope/(°)	小区面积 Cell area/m <sup>2</sup>	小区作物 Crop in the cell
措施小区 Measure cell	次生黄土 Secondary loess	10	5	21 × 15	玉米 Corn
对照小区 Contrast cell					

如图 1 所示,在垂直于波型坡波谷中心线的位置设置石坎,顺波谷线埋设壤中排水暗管,壤中排水暗管与嵌筑于拦挡坎内部的竖管相连,排水管的下方通入田间沟渠或河道。石坎迎水面嵌筑有 2 列斜向上的引水管,每列 4 层(图 1b)。坡面径流汇集于波谷拦挡坎的迎水面,由于引水管设计为斜向上一

定角度,使得径流中携带的泥沙在石坎底部沉淀下来。当水面超过第 1 层引水管的上端时,坡面径流通过斜管进入石坎内部竖管中,最后进入地下暗管排出;若坡面径流量较大,拦挡下方水面上涨速度过快导致第 1 层斜管来不及将所有径流排出,随着水面的上升,第 2 层斜管参与排水,依次类推。多层斜

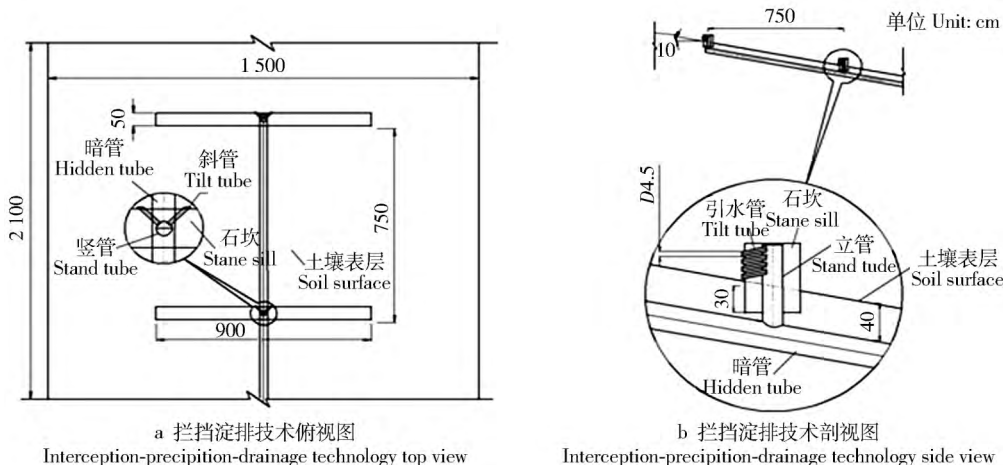


图 1 拦挡淀排技术设计图

Fig. 1 Design figure of interception-precipitation-drainage technology

管的设计一方面能够保证拦挡的排水速度,另一方面则可以解决由于下层斜管入口被沉淀泥沙掩埋而

导致排水不畅的问题。小区实景图及拦挡坎实物见图 2。



图 2 试验小区实物图

Fig. 2 Real pictures of experimental plots

根据拦挡坎的高度以及纵横向坡度,将拦挡坎长度定为 9 m,坎间距定为 7.5 m。

## 2.2 数据处理

本文涉及的野外气象数据均由设置在径流小区附近的小型气象站提供,若单日出出现多场降雨则按照次降雨量进行加权平均,以多次降雨强度的加权平均值作为该日的平均降雨强度。措施小区不收集壤中排水和泥沙,直接在集流池内取样。通过取样体积计算出单位体积泥沙含量,由单位体积含沙量及集流池径流总量即可计算出小区降雨产沙总量以及削流率  $X$  和减蚀率  $Y$ 。

$$X = \frac{A_0 - B_0}{A_0}$$

式中:  $A_0$  为对照小区径流量,  $\text{m}^3$ ;  $B_0$  为措施小区径流量,  $\text{m}^3$ 。

$$Y = \frac{A_1 - B_1}{A_1}$$

式中:  $A_1$  为对照小区产沙量,  $\text{kg}$ ;  $B_1$  为措施小区产沙

量,  $\text{kg}$ 。

所有数据均采用 SPSS 22.0 处理并用 WPS 2015 作图。

## 3 结果与分析

### 3.1 对波状坡耕地水沙调控效果

如表 2 所示,措施小区 2014 和 2015 年坡面总径流量相当,2015 年总产沙量只是 2014 年的 59.09%,说明拦挡淀排技术对波状坡耕地坡面侵蚀防治能够起到良好的效果。

对照小区 2015 年的径流量是 2014 年的 1.63 倍,泥沙侵蚀量是 2014 年的 2.15 倍,通过分析降雨资料可知,2015 年的降雨主要集中在 6 月和 7 月,由于刚经过收获,地表覆盖度小,所以侵蚀严重。从调控效率来看,由表 2 计算可知,拦挡淀排技术 2 年平均的削流率和减蚀率分别为 53.72% 和 87.21%,削流和减蚀作用均取得较好的效果。

表 2 两小区坡面产流产沙情况统计

Tab. 2 Runoff and sediment statistics of slopes on two plots

年份 Year	侵蚀性降雨量 Erosive rainfall/mm	平均降雨强度 Average rain intensity/ ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )	$I_{30}$ / ( $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ )	措施小区 Measure cell		对照小区 Contrast cell		调控效率 Regulation efficiency	
				年径流量 Annual runoff/ $\text{m}^3$	年泥沙量 Annual sediment volume/kg	年径流量 Annual runoff/ $\text{m}^3$	年泥沙量 Annual sediment yield/kg	削流率 Cut flow rate/%	减蚀率 Reduced erosion rate/%
2014	222.00	2.25	25.04	6.28	323.40	10.77	1 612.35	41.68	79.94
2015	198.70	1.75	17.10	6.08	191.10	17.75	3 464.50	65.75	94.48

注:  $I_{30}$  为最大 30 min 降雨强度。Note:  $I_{30}$  is max rainfall intensity in 30 min.

### 3.2 次降雨条件下拦挡淀排技术对波状坡耕地水沙调控效果

为准确评价该项技术的次降雨坡面水沙调控效果,选取 2014 和 2015 年共 17 场降雨进行统计分析。如图 3 所示,从坡面产流情况来看,所有 17 场降雨过程中,措施小区的坡面径流量均小于对照小区,说明该技术对于各种类型的降雨均有较好的坡面削流效果,该措施的排水系统表现出可靠性和稳定性。

有研究表明降雨强度对土壤流失量的影响程度北方明显高于南方<sup>[16]</sup>,而降雨量对土壤流失的影响程度南方却明显高于北方<sup>[17-18]</sup>。通过对 17 场降雨分析可知,平均降雨强度 > 10 mm/h 的降雨只有 4 场,而  $I_{30}$  > 10 mm/h 的降雨为 15 场,因此,当地的

降雨以短时强降雨为主。拦挡淀排技术对降雨量为 10.0 和 13.5 mm 的 2 场降雨的坡面径流调控效率较低(措施小区和对照小区径流量相近),其平均降雨强度分别为 1.9 和 2.8 mm/h,  $I_{30}$  分别为 29 和 3 mm/h;其他 15 场降雨的坡面削流率较高,平均降雨强度为 6.97 mm/h,平均  $I_{30}$  分别为 16.84 mm/h,而这 17 场降雨的平均降雨量为 18.1 mm,平均降雨强度为 6.42 mm/h,平均  $I_{30}$  为 23.2 mm/h。通过分析可知,坡面径流调控效果较差的 2 场降雨的共同特点是降雨强度较小(均小于平均降雨强度),而调控效率较高的降雨则降雨强度较大。由此可以看出,拦挡淀排技术对于波状坡耕地的径流调控率在降雨强度较大的情况下能发挥出较好的效果。

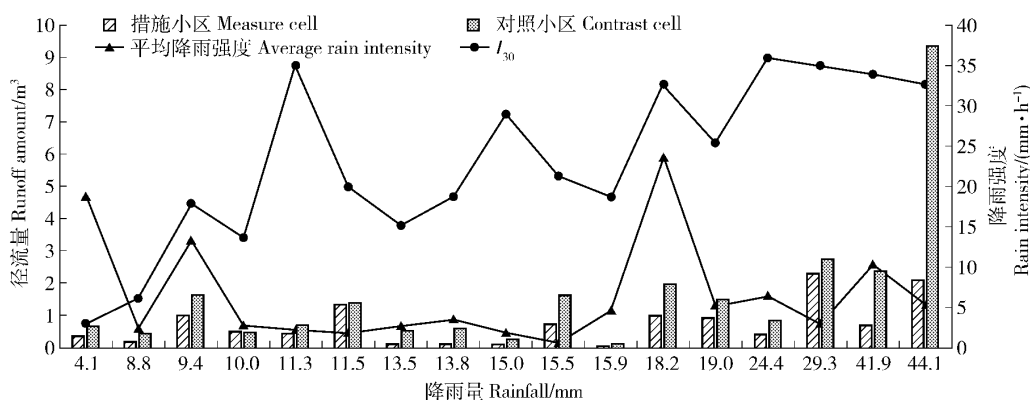


图 3 2 小区 17 场降雨次降雨坡面产流情况

Fig. 3 Slope runoffs of 17 rainfalls on two plots

如图 4 所示,2014 和 2015 年汛期(6—10 月)措施小区次降雨坡面产沙量均小于对照小区:对照小区在该时期内累计产沙 507 kg,措施小区为 51.2 kg,措施小区产沙量远远小于对照小区。说明拦挡淀排技术对于波状坡耕地坡面产沙调控效果十分显著。

由于降雨量为 44.1 mm 的对照小区产沙量高达 293.65 kg,所以为便于分析拦挡淀排技术对其他次降雨的泥沙调控效率,将其剔除。通过添加趋势线分析,对照小区的产沙量与降雨量间的直线斜率大于措施小区(趋势线接近水平)的,说明拦挡淀排措施下不同降雨量产生的泥沙量都很

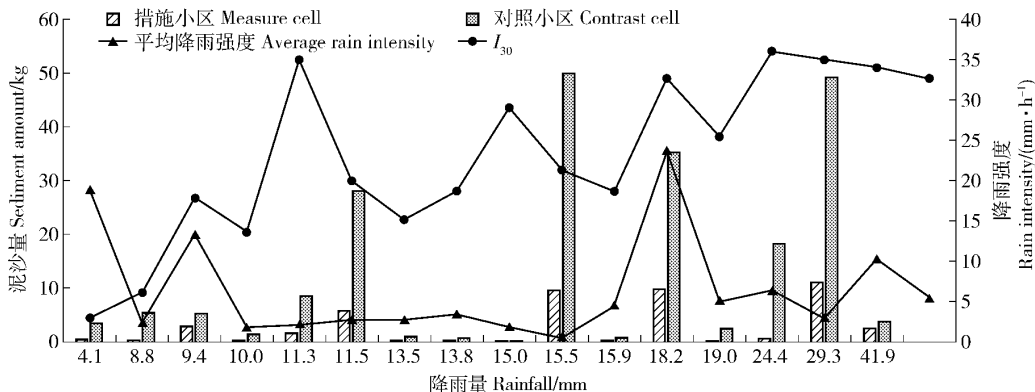


图 4 2 小区 17 场降雨次降雨坡面产沙情况

Fig. 4 Slope sediments of 17 rainfalls on two plots

小, 拦挡淀排技术减沙效果显著。从对照小区来看, 降雨量为 44.1 mm 的降雨造成的泥沙侵蚀量占全年侵蚀量的 57.92%。说明该地区的土壤侵蚀主要是由几场大暴雨引起的, 而这场大暴雨造成的拦挡淀排技术措施小区坡面产沙量只有 5.23 kg, 泥沙调控率达到 98.22%, 表明拦挡淀排技术在大暴雨情况下亦有显著的减蚀效果。通过添加趋势线分析发现措施小区泥沙侵蚀量与降雨量, 降雨强度  $I_{30}$  之间均没有良好的线性关系, 措施小区泥沙侵蚀量受降雨量, 降雨强度  $I_{30}$  的共同影响, 分析降雨资料表明在雨季, 泥沙侵蚀量受地表

粗糙度的影响较大。

### 3.3 对波状坡耕地玉米产量的影响

从 2014 和 2015 年的玉米产量(表 3)看, 措施小区分别比对照小区高出 5.4% 和 7.2%, 而从年降雨量看, 2015 年属于枯水年降雨量只有 436.2 mm, 2014 年的全年降雨量为 539.8 mm, 比 2015 年高出 103.6 mm, 属平水年。说明该地区玉米产量在施肥相同的情况下受降水的影响较为明显, 坡面土壤水分的调控对玉米产量有着重要影响, 拦挡淀排技术在枯水年对于玉米产量的影响要大于平水年, 即该技术有助于干旱条件下的作物增产。

表 3 不同年份径流小区玉米生长量统计

Tab. 3 Statistic of the maize growth of runoff plots in different years

年份 Year	处理 Treatment	面积 Area/m <sup>2</sup>	年降雨量 Rainfall/mm	小区产量 Yield of plot/kg	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2014	对照小区 Contrast cell	256.5	539.8	220.86	7 011.78
	措施小区 Measure cell	256.5	539.8	233.56	7 414.97
2015	对照小区 Contrast cell	256.5	436.2	215.75	6 849.55
	措施小区 Measure cell	256.5	436.2	232.58	7 383.86

## 4 结论与讨论

1) 拦挡淀排技术对波状坡耕地削流和减蚀作用均取得较好的效果, 2 年平均的削流率和减蚀率分别为 53.72% 和 87.21%;

2) 通过对不同类型的降雨造成的侵蚀量分析, 拦挡淀排技术对波状坡耕地的径流调控率在降雨强度较大的情况下能发挥出较好的效果。通过添加趋势线分析, 对照小区的产沙量与降雨量间的直线斜率大于措施小区(趋势线接近水平)的。说明拦挡淀排措施下不同降雨量产生的泥沙量都很小, 拦挡淀排技术减沙效果显著。

3) 通过对次降雨资料分析表明, 措施小区泥沙侵蚀量均远小于对照小区。波状坡耕地的年泥沙侵蚀量主要是由几场大暴雨引起的, 拦挡淀排技术在大暴雨情况下也能表现出显著的减蚀效果。通过添加趋势线分析发现措施小区泥沙侵蚀量与降雨量, 降雨强度  $I_{30}$  之间均没有良好的线性关系, 措施小区泥沙侵蚀量受降雨量, 降雨强度  $I_{30}$  的共同影响。

4) 从农作物产量来看, 相同施肥条件下, 拦挡淀排技术在干旱年比平水年对作物增产的作用更明显。

波状坡耕地大多面积较小、地形破碎, 无法进行机械化耕种, 农民主要使用轻型农具进行种植, 拦挡坎的布设不会对当地的耕作造成太大的影响。统计

的 17 场降雨中平均降雨强度大部分都 < 5 mm/h, 其中有调控效率高的, 也有调控效率低的(调控效率高的占大多数), 可能跟下垫面粗糙度以及  $I_{30}$  有关。拦挡淀排技术主要通过减少波状坡耕地水分和养分的流失, 提高坡面水肥利用效率, 从而促进坡耕地玉米的生长; 因此, 拦挡淀排技术能够有效防治波状坡耕地水土流失, 可作为一项新型坡耕地水土流失防治技术。

## 5 参考文献

- [1] 国土资源部, 国家统计局. 关于第 2 次全国土地调查主要数据成果的公报 [EB/OL]. [2015-12-25]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230\\_1298865.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230_1298865.htm).  
Ministry of Land and Resources, National Bureau of Statistics. The second national land survey of the main results of the survey data [EB/OL]. [2015-12-25]. [http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230\\_1298865.htm](http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201312/t20131230_1298865.htm). (in Chinese)
- [2] 喻定芳, 戴全厚, 王庆海, 等. 北京地区等高草篱防治坡耕地水土流失效果 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (12): 37.  
Yu Dingfang, Dai Quanhou, Wang Qinghai, et al. Beijing area equal-height grass hedge prevent farmland soil and water loss effect [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2010, 26 (12): 37. (in Chinese)
- [3] 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.  
Pan Jinghu, Zhang Weiqiang, Qin Xiaojuan. Human factors and economic loss analysis of Longdong Loess Plateau soil erosion [J]. China Water Resources, 2008, 12: 37. (in Chinese)
- [4] 陈磊. 薄土坡耕地水土流失防治工程措施效应研究[D]. 陕西杨凌: 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 2014: 26-27.  
Chen Lei. The study on the effect of soil erosion control engineering technology for the thin layered sloping land [D]. Yangling Shaanxi: Research Center of Soil and Water Conservation and Ecologied Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, 2014: 26-27. (in Chinese)
- [5] 姜永清, 王占礼, 吴光荣, 等. 瓦背状浅沟分布特征分析[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 181.  
Jiang Yongqing, Wang Zhanli, Wu Guangrong, et al. Analysis of the distribution characteristics of shallow groove in the back of tile [J]. Soil and Water Conservation Research, 1999, 6(2): 181. (in Chinese)
- [6] 张永光, 伍永秋, 刘宝元. 东北漫岗黑土区春季冻融期浅沟侵蚀[J]. 山地学报, 2006, 24(3): 306.  
Zhang Yongguang, Wu Yongqiu, Liu Baoyuan. The shallow gully erosion of the black soil region in the northeast of China during spring freezing and thawing [J]. Journal of mountain science, 2006, 24(3): 306. (in Chinese)
- [7] Cheng Hong, Wu Yongqiu, Zou Xueyong, et al. Study of ephemeral gully erosion in a small upland catchment on the Inner-Mongolian Plateau [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 90(1): 184.
- [8] 龚家国, 庞金城, 贾仰文, 等. 黄土区浅沟侵蚀影响因素对其侵蚀速率影响的模拟试验研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 7.  
Gong Jiaguo, Pang Jincheng, Jia Yangwen, et al. Simulation test study on influence factors of shallow gully erosion on soil erosion rate in loess region [J]. Soil and Water Conservation Research, 2011, 18(1): 7. (in Chinese)
- [9] 贾绍禹, 陈肇生. “丰产沟”集约耕作法: 对新修旱梯田的培肥作用[J]. 土壤, 1982, 5: 184.  
Jia Shaoyu, Chen Zhaosheng. Intensive cultivation method of “high yield ditch”: the effect of soil fertility on the newly built terrace [J]. Soil, 1982, 5: 184. (in Chinese)
- [10] 魏飒, 郭永晨, 侯克. 北方土石山区坡改梯工程建设技术标准与示范[J]. 中国水土保持, 2015, 4: 28.  
Wei Sa, Guo Yongchen, Hou Ke. Technical standards and demonstration of the construction technology standard for the slope of the northern rocky mountain area of northern China [J]. China Soil and Water Conservation, 2015, 4: 28. (in Chinese)
- [11] 王禹, 杨明义, 刘普灵. 典型黑土直型坡耕地土壤侵蚀强度的小波分析[J]. 核农学报, 2010, 1: 98.  
Wang Yu, Yang Mingyi, Liu Puling. Wavelet analysis of soil erosion intensity in typical black soil slope farmland [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2010, 1: 98. (in Chinese)
- [12] 林超文, 罗春燕, 庞良玉, 等. 不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6091.  
Lin Chaowen, Luo Chunyan, Pang Liangyu, et al. Effects of different tillage and mulching on Soil and nutrient loss of sloping cultivated land in purple hilly region [J]. Journal of Ecology, 2010, 30(22): 6091. (in Chinese)
- [13] 于兴修, 马骞, 刘前进, 等. 横坡与顺坡垄作径流氮磷输出及其富营养化风险对比研究[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 428.  
Yu Xingxiu, Ma Qian, Liu Qianjin, et al. Cross slope and along the ridge runoff output of nitrogen and phosphorus and eutrophication risk comparison [J]. Environmental Science, 2011, 32(2): 428. (in Chinese)
- [14] 付斌. 不同农作处理对坡耕地水土流失和养分流失的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 10.  
Fu Bin. The effects of different farming research on soil erosion and nutrient loss of slope farmland [D]. Chongqing: Southwestern University, 2009: 10. (in Chinese)
- [15] 熊娟. 浅谈双壁波纹管排水管道工程的质量控制要点[J]. 企业技术开发, 2009, 3: 121.  
Xiong Juan. Double wall corrugated pipe drainage on the quality control points of pipeline engineering [J]. Enterprise technology development, 2009, 3: 121. (in Chinese)
- [16] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤的特性及其管理[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 206.  
Lu Ying, Gong Zitong, Zhang Ganlin. City soil characteristics and management [J]. Soil and Environment, 2002, 11(2): 206. (in Chinese)
- [17] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733.  
Liu Guohua, Fu Bojie, Fang Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(5): 733. (in Chinese)
- [18] 刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 等. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探[J]. 地理研究, 2003, 22(4): 397.  
Liu Jiyuan, Yu Guirui, Wang Shaoqiang, et al. Study on the earth information science method of terrestrial ecosystem carbon cycle and its mechanism [J]. Geographical Research, 2003, 22(4): 397. (in Chinese)