

# 玉米生长期坡耕地地表径流及侵蚀产沙特征

罗 键<sup>1</sup>, 郑子成<sup>1</sup>, 秦 凤, 李廷轩<sup>1</sup>, 孔祥东<sup>2</sup>

(1. 四川农业大学 资源环境学院, 成都 611130; 2. 四川省水土保持局, 成都 610041)

**摘 要:**为了弄清玉米生长过程中侵蚀动态变化,该文采用人工模拟降雨与微小区相结合的方法,研究了紫色土区不同耕作措施对坡耕地地表径流及侵蚀产沙的影响。结果表明:在雨强 1.0 mm/min 条件下,平作坡面在种植前径流量最小,横坡垄作坡面在拔节期—抽雄期坡面径流量最小。在雨强 1.5 mm/min 条件下,横坡垄作坡面在玉米拔节期—抽雄期径流量最小。在雨强 2.0 mm/min 条件下,横坡垄作坡面在玉米苗期—拔节期坡面径流量最小。在雨强为 1 mm/min 和 1.5 mm/min 条件下,不同耕作措施坡面在玉米的抽雄期—成熟期产流时间最短,在雨强为 2.0 mm/min 条件下,不同耕作措施坡面在苗期—拔节期产流时间最短。这一研究成果可为区域水土流失有效防治提供理论依据。

**关键词:**玉米; 紫色土; 耕作措施; 径流量; 产沙量

**中图分类号:**S157.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)03-0011-05

## Surface Runoff and Sediment Yield Characteristics of Sloping Cropland during Maize Growth Season

LUO Jian<sup>1</sup>, ZHENG Zi-cheng<sup>1</sup>, QIN Feng<sup>1</sup>, LI Ting-xuan<sup>1</sup>, KONG Xiang-dong<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Sichuan Forestry Inventory and Planning Institute, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In order to clarify the process of erosion dynamic change at the different growth stages of maize, the simulated rainfall experiments and runoff plot experiment were employed to investigate characteristics of surface runoff and sediment yield among different tillage practices (flat planting, longitudinal ridge and cross ridge) during the period of corn maturity. The results showed the runoff amount was the minimum for the conventional tillage before planting and for the ridge tillage in the jointing stage—heading stage of maize under the condition of rainfall intensity 1.0 mm/min. The runoff amount was the minimum for the ridge tillage in the jointing stage—heading stage of maize under the condition of rainfall intensity of 1.5 mm/min. Under the condition of rainfall intensity of 2.0 mm/min, the runoff amount was the minimum for the ridge tillage at the seedling—jointing stage of maize. Under the condition of rainfall intensity of 1.0 and 1.5 mm/min, the runoff generation time was the shortest at the tasseling—maturity stage of maize for all tillage practices. However, the runoff generation time was the shortest at seedling—jointing stage under rainfall intensity of 2.0 mm/min. This study provides a certain theoretical basis for the effective prevention and control of soil erosion.

**Key words:** maize; purple soil; tillage practice; runoff amount; sediment yield

紫色丘陵区是中国典型农业区,人地矛盾尤为突出,逐年增加大量零散坡耕地,由于受其发育母质的影响,土层浅薄,质地较轻,土壤保水能力较差,加上不合理的耕作管理,水土流失较为严重。目前,国内外关于土地利用方式、施肥管理对坡耕地水土流失影响的研究较多<sup>[1-6]</sup>,关于耕作方式的研究大都基于流域或坡面大尺度范围<sup>[7-11]</sup>,作物的研究大多立足于不

同作物覆盖度或季节变化条件下土壤流失情况<sup>[12-16]</sup>,而对于玉米全生育期及零散坡耕地的研究甚少。因此,本文通过微小区与野外人工模拟降雨相结合的方法,系统研究玉米不同生育期坡耕地径流及侵蚀产沙的特征,有助于全面掌握紫色土区零散坡耕地水土流失规律,以期服务于紫色土区坡耕地水土流失的治理及区域农业可持续利用。

收稿日期:2013-09-25

修回日期:2013-10-17

资助项目:国家自然科学基金项目(41271307);四川省学术和技术带头人培养资金(2012);四川农业大学大学生科研兴趣培养计划项目资助(2012)

作者简介:罗键(1991—),男,内蒙古集宁市人,主要从事水土保持方面的研究。E-mail:1527323414@qq.com

通信作者:郑子成(1976—),男,内蒙古盟人,副教授,博士,主要从事土壤侵蚀与水土保持方面研究。E-mail:zichengzheng@aliyun.com

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区概况

本试验在农业部资阳长江上游农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站进行,该区域位于长江上游沱江水系花椒沟小支流的响水滩上端,处于 $104^{\circ}34'12''$ — $104^{\circ}35'19''$ E和 $30^{\circ}05'12''$ — $30^{\circ}06'44''$ N,属四川省资阳市雁江区松涛镇的响水村,平均海拔395 m,该区属亚热带季风气候,年平均气温 $17^{\circ}\text{C}$ ,一年中降水分配极不均匀,年均降雨量965.8 mm,暴雨主要发生在6—10月。年日照时数1 300 h,年均无霜期长达300 d。研究区坡耕地以玉米种植为主,辅以种植白菜、芋头、海椒等,玉米按照当地实际情况,每666.7  $\text{m}^2$ 栽培约2 700株。土壤为遂宁组母质发育的红棕紫泥,质地较轻,pH值为8.1,有机质含量为11.6 g/kg,全氮和碱解氮分别为0.73 g/kg和40.1 mg/kg,有效磷14.08 mg/kg,速效钾为86.6 mg/kg,土壤肥力中等。

## 1.2 供试材料

供试玉米品种为当地主栽的川单13,于2012年4月上旬播种,行距80 cm,株距30 cm。播种前分别施氮肥(N)和磷肥( $\text{P}_2\text{O}_5$ )250  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 和125  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,拔节前期追施氮肥150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,氮肥为尿素(含N 46.3%),磷肥为过磷酸钙(含 $\text{P}_2\text{O}_5$  12%),其他管理措施均按当地农耕习惯进行。

## 1.3 研究方法

本试验采用野外人工模拟降雨的方法。微小区用来模拟零散坡耕地,其面积设计为2 m×1 m,坡度设置为 $15^{\circ}$ 。按照当地农民习惯,在每一试验区内布设平作、横坡垄作和顺坡垄作3种措施,以裸地作为对照。横坡垄作和顺坡垄作分别沿水平方向和顺坡方向开沟起垄,垄高15 cm,垄距30 cm,垄宽40 cm,平作对地表进行松土和平整。根据研究区多年水文资料记录的降雨频率及特点,本研究设计降雨强度为1.0 mm/min,1.5 mm/min,2.0 mm/min,对应降雨历时分别为60,40,30 min。所有试验重复3次,共计36个小区。试验分别在玉米播种期、苗期—拔节期、拔节期—抽雄期和抽雄期—成熟期进行。

在降雨过程中收集地表径流。开始产流后,每3 min收集一次径流泥沙样,采用量筒法测定径流量,采用烘干法测定泥沙量。

# 2 结果与分析

## 2.1 玉米季不同耕作措施坡面产流特征

2.1.1 径流总量变化特征 由图1可知,随着雨强

的增加,不同耕作措施坡面径流量均呈增加的变化趋势。在雨强1.0 mm/min条件下,对照坡面玉米不同生育期径流量均高于实施措施坡面,表明实施措施下玉米不同生育期坡面对径流具有一定的调控作用。不同措施在各生育期存在一定差异,横坡垄作和平作坡面在各生育期径流量均较小,其中平作坡面在种植前径流量最小,主要由于松耕等作业方式,增加土壤入渗能力;而横坡垄作坡面在拔节期—抽雄期坡面径流量最小,因为这一时期,玉米叶片支撑角度对降雨的截留作用较大<sup>[17]</sup>,加上地表微地形的起伏,导致坡面径流量较小。

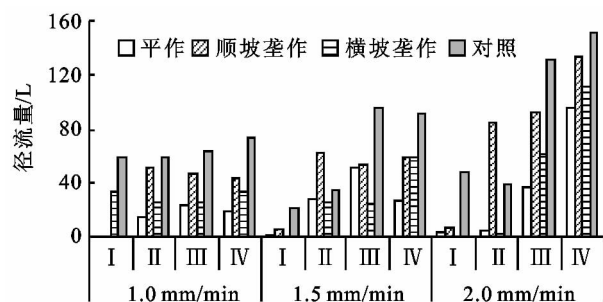


图1 玉米季各耕作措施坡面径流总量的变化特征

注:图中I、II、III、IV分别代表种植前、苗期—拔节期、拔节期—抽雄期和抽雄期—成熟期,下同。

在雨强1.5 mm/min条件下,除苗期—拔节期外,其他生育期对照坡面的径流量均高于实施措施的坡面。玉米种植后,横坡垄作坡面在玉米拔节期—抽雄期径流量最小。在雨强2.0 mm/min条件下,除苗期—拔节期外,其他生育期对照坡面的径流量均高于实施措施的坡面。对照及顺坡垄作坡面的径流量均随着玉米生育期推进,坡面径流量呈增加的变化趋势,横坡垄作坡面在玉米苗期—拔节期坡面径流量最小。产生此现象的原因是随着玉米生长期的推进,玉米叶片逐渐向下倾斜<sup>[18]</sup>,植株覆盖度下降,对地表的保护能力逐渐降低,故导致坡面径流量呈升高的趋势。

2.1.2 地表产流过程 由图2可知,不同雨强条件下,玉米生长期各耕作措施坡面径流量总体表现为随着降雨历时的延长呈逐渐上升的趋势,在降雨后期逐渐趋于不同程度的下降,不同雨强条件下对照坡面径流量总体高于实施措施的坡面。

玉米种植前,对照坡面径流量随着降雨强度的增加,坡面产流有所提前,径流量呈增加的变化趋势,且高于实施措施坡面,各措施坡面径流过程的产流量总体表现为顺坡>平作>横坡。苗期—拔节期,各坡面径流量均有不同程度增加。在雨强1.0 mm/min条件下,顺坡垄作坡面径流量在降雨开始后2~30 min内逐渐上升,39 min达到峰值,降雨后期出现陡降,

产流平均值为 3.69 L;对照坡面径流量降雨期间波动起伏较大,至 42 min 达到峰值,径流量平均值为 2.43 L;平作和横坡垄作坡面在降雨前期径流量稳定在 0.60 L 左右,随着降雨历时的延长,径流量有所增加。在雨强 1.5 mm/min 条件下,顺坡垄作坡面的产流最早,至 30 min 到达峰值,其径流量平均值为 9.26 L;对照和横坡垄作坡面的径流量随降雨的延续总体上呈先增加后降低的变化趋势,27 min 达到峰值;平作坡面径流量在降雨开始后 6~30 min 内不断增加,至 30 min 到达峰值,径流量平均值为 4.92 L。在雨强 2.0 mm/min 条件下,不同耕作措施坡面均在 3 min 左右开始产流,径流量在降雨开始后 3~6 min 内迅速增加,之后增幅较小;对照坡面在 12 min 到达峰值,之后略有上升,径流量平均值为 10.40 L;顺坡垄作坡面在 21 min 到达峰值,径流量平均值为 7.53 L。不同雨强条件下,拔节期—抽雄期各坡面径流量均表现为先增加后趋于下降的变化趋势;与对照坡面相比,各措施坡面产流时间均有所滞后,且各坡面径

流过程的产流量总体低于苗期—拔节期。在雨强 1.0 mm/min 条件下,抽雄—成熟期不同耕作措施坡面的径流量在降雨后 1~3 min 内迅速增加,57 min 之后迅速下降;随着玉米生育期的推进,不同耕作措施的产流时间逐渐延缓且径流变化逐渐趋于基本一致。在雨强 1.5 mm/min 条件下,各耕作措施坡面均在 3 min 左右开始产流,在 3~24 min 内径流量逐渐上升,对照和平作坡面于 24 min 到达峰值,之后逐渐下降,而顺坡和横坡垄作坡面至 30 min 到达峰值。在雨强 2.0 mm/min 条件下,顺坡垄作和对照坡面均在 1 min 左右开始产流,径流量在降雨开始后 2~3 min 内迅速增加,而顺坡垄作坡面径流量随着降雨历时的增加逐渐减少;横坡垄作和平作坡面均在 3 min 左右开始产流,随着降雨历时的延长,横坡垄作坡面的径流量在降雨开始后 6~15 min 内稳定在 4.20 L 左右,之后逐渐上升,至 21 min 到达峰值;平作坡面随降雨的延续,径流量呈先增大后减小的趋势,至 18 min 到达峰值。

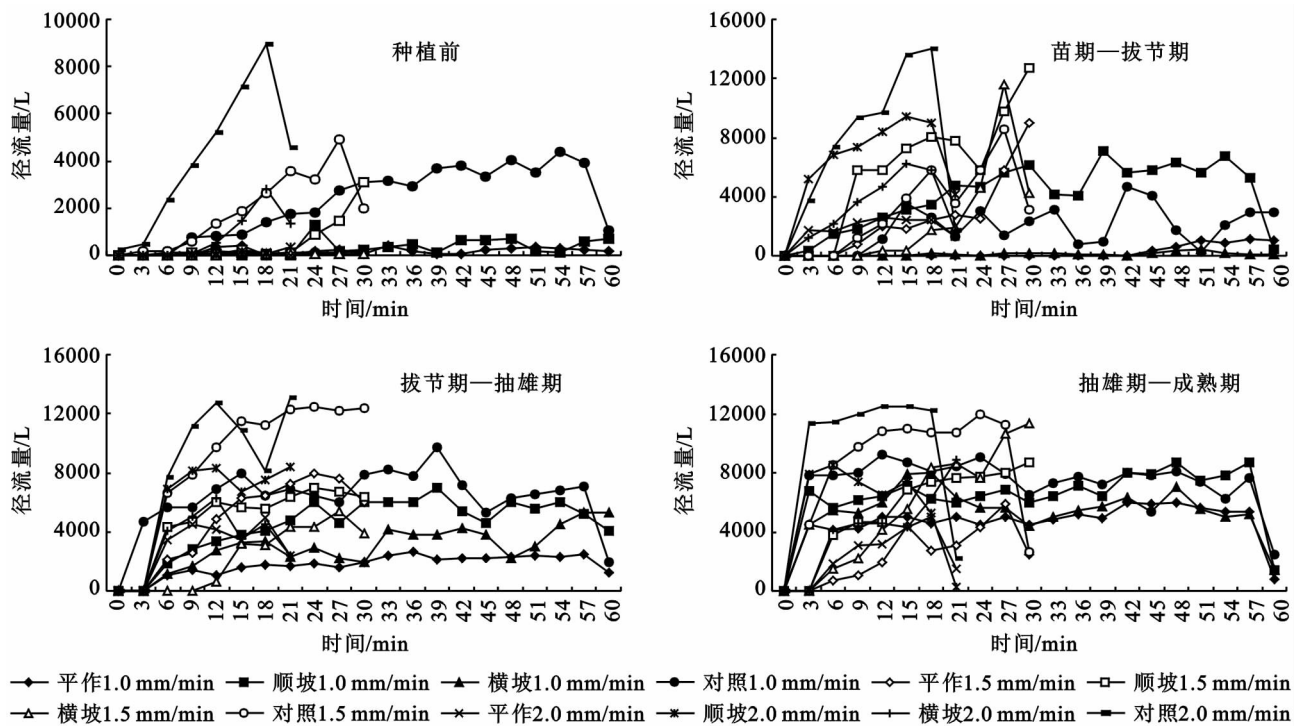


图 2 不同雨强条件下玉米各生育期坡面产流过程

注:图中 1.0, 1.5, 2.0 mm/min 均代表降雨强度,下同。

## 2.2 玉米季不同耕作措施侵蚀产沙特征

2.2.1 侵蚀产沙量变化特征 由图 3 可知,不同雨强条件下,种植前坡面侵蚀产沙量均低于其他生育期坡面。随着雨强的增加,平作、顺坡垄作及对照坡面侵蚀产沙量呈先增加后降低的变化趋势,横坡垄作坡面侵蚀产沙量变化较为稳定,且最小。在雨强 1.0 mm/min 条件下,随着玉米生育期的推进,各措施坡

面侵蚀产沙量均呈增加的变化趋势,且对照坡面和顺坡垄作坡面侵蚀产沙量均高于其他措施坡面。在雨强 1.5 mm/min 条件下,随着玉米生育期推进,顺坡垄作坡面苗期—拔节期和抽雄期—成熟期侵蚀产沙量较大,而对照坡面的侵蚀量却呈一直增加的变化趋势。在拔节期—抽雄期,实施措施坡面的侵蚀产沙量最小。在雨强 2.0 mm/min 条件下,随着玉米生育期

推进,顺坡垄作坡面侵蚀产沙量较高且持续稳定,而对照坡面侵蚀量却呈一直增加的变化趋势。这主要因为种植前实施耕作措施坡面,增加地表粗糙度<sup>[19]</sup>,有利于雨水的下渗,从而有效地减少了地表径流,导致携带的泥沙较少。生长后期,由于前期降雨在地表形成一些分散细沟和浅沟,有利于雨水的汇集,再加上植株后期对地表的保护作用减小,使得雨水对地表的侵蚀加剧,故侵蚀量有所增加。顺坡垄作坡面的侵蚀产沙量最大,产生这一现象的原因是顺坡沟垄平行于坡面,有利于径流在坡面的汇集,加剧了对地表的冲刷。随着降雨强度的增加,侵蚀量呈先增加后降低的变化趋势。这是因为降雨强度与实施耕作措施后地表糙度间的互动作用所致。

2.2.2 地表产流过程 由图 4 可知,在不同雨强条

件下,随着玉米生育期的推进,不同耕作措施坡面的侵蚀量呈逐渐增大的趋势。对照坡面的侵蚀量大且波动起伏明显,这是由于对照坡面无地表覆盖及耕作措施的保护,使其易受雨滴的侵蚀和径流的冲刷,导致地表侵蚀量大且随机性强。顺坡垄作坡面的侵蚀量最大,这与它自身沟垄具有较强的汇水作用有关。

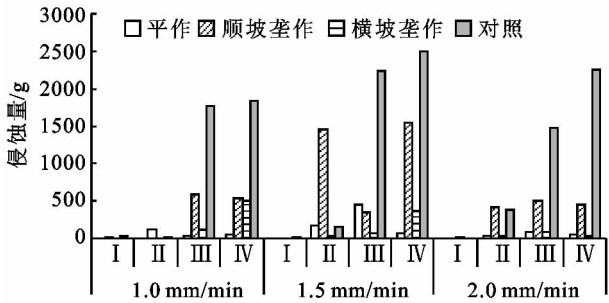


图 3 玉米季各耕作措施坡面侵蚀产沙量变化特征

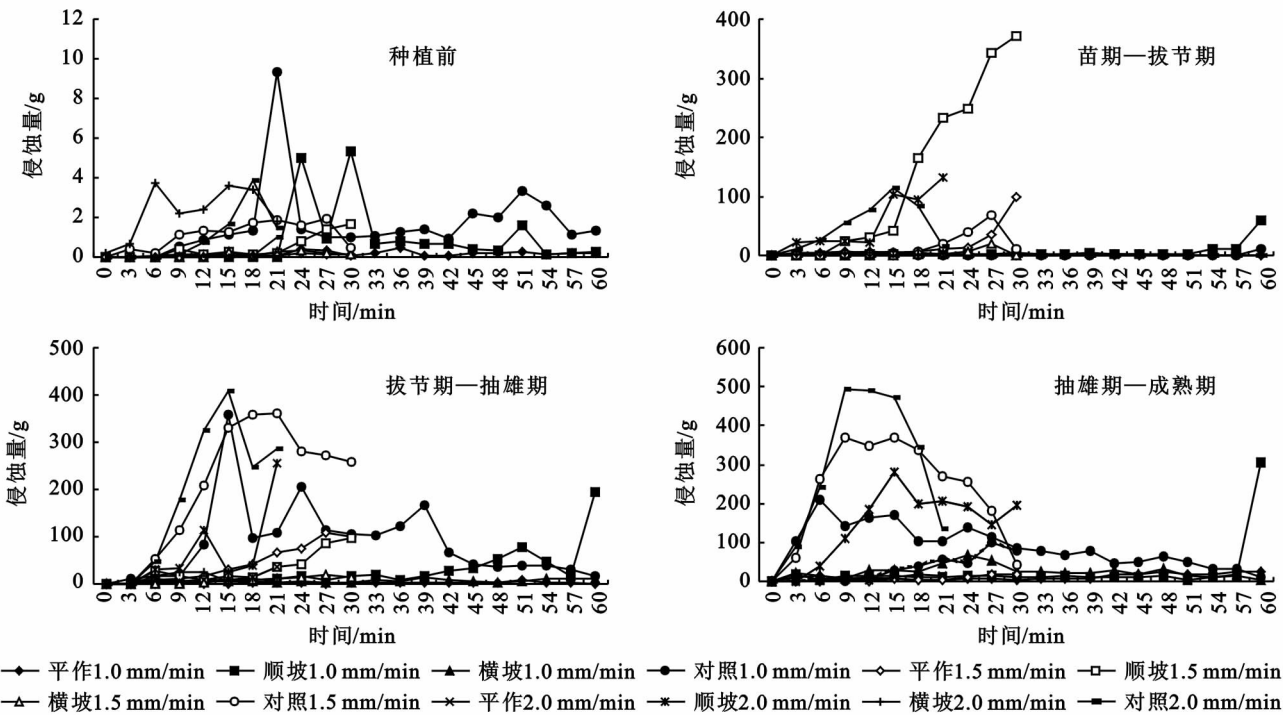


图 4 不同雨强条件下玉米各生育期坡面产沙特征

玉米种植前,在雨强为 1.0 mm/min 条件下,顺坡垄作坡面侵蚀量在产沙初期波动较为明显,随着降雨历时的延长,逐渐趋于平稳。产生这种现象的原因是由于降雨初期,坡面松散土粒随地表径流迁移,随着降雨的延续,前期坡面松散土粒被搬运后,且雨强较小,坡面侵蚀仍以片蚀为主,侵蚀量减小并趋于平稳。在雨强为 1.5 mm/min 条件下,平作和横坡垄作坡面的侵蚀量在种植前较小;顺坡沟垄与坡面方向平行,易于侵蚀的产生。在雨强为 2.0 mm/min 条件下,横坡垄作侵蚀量最大且波动起伏明显,产生这种现象的原因是横坡的垄沟与坡向垂直,由于降雨强度较大,雨水对沟垄的冲刷能力较强,表层松散的土粒

较易被搬运;对照坡面侵蚀量随着降雨的延续呈先上升后下降的趋势;顺坡垄作坡面侵蚀量随降雨历时的延长呈逐渐增加的变化趋势,平作坡面侵蚀量在降雨过程中变化较为稳定。在苗期—拔节期,雨强为 1.0 mm/min 条件下,平作、横坡垄作和对照坡面侵蚀量在降雨过程中变化较为平缓,而顺坡垄作坡面侵蚀量在降雨后期迅速上升,产生这种现象的原因是由于随着降雨历时的增加,雨滴对顺坡垄作坡面侵蚀加剧,逐渐由片蚀转变为细沟侵蚀,侵蚀量迅速增加。

在雨强为 1.5 mm/min 条件下,顺坡垄作侵蚀量在降雨开始 6~30 min 内迅速上升,侵蚀产沙量平均值为 198.3 g,产生这种现象的原因是由于部分坡面

侵蚀方式由片蚀演化为细沟侵蚀,侵蚀量有所增加;对照和横坡垄作坡面侵蚀量随着降雨历时的增加呈先增加后降低的变化趋势,侵蚀产沙量平均值分别为10.4 g和34.5 g。在雨强为2.0 mm/min条件下,顺坡垄作坡面侵蚀量在降雨开始1~3 min内上升至21.0 g左右,在3~12 min侵蚀量基本保持不变,之后侵蚀量又逐渐升高。在拔节期一抽雄期,由于植株覆盖度较大,对地表的保护作用较强<sup>[20]</sup>,对照坡面与玉米种植坡面的侵蚀量差异较大。在抽雄期一成熟期,雨强为1.0 mm/min条件下,横坡垄作坡面侵蚀量呈先增加后降低的变化趋势,主要是由于雨水的不断冲刷,沟垄可能出现部分破坏,故导致侵蚀量的增加。在雨强为1.5 mm/min条件下,顺坡垄作坡面侵蚀量在降雨开始后3~15 min内迅速增加,之后趋于平稳;横坡垄作侵蚀量随降雨历时的延长呈逐渐增加变化趋势。在雨强为2.0 mm/min条件下,平作和横坡垄作坡面的产沙量在降雨过程中稳定在5.5 g和1.0 g左右;顺坡垄作坡面侵蚀量在降雨前期稳定在25.0 g左右,在18 min之后出现陡升,产沙平均值为148.3 g,这与其冠层截留及径流作用的大小密切相关。

### 3 结论

(1) 在雨强1.0 mm/min条件下,其中平作坡面在种植前径流量最小,横坡垄作坡面在拔节期一抽雄期坡面径流量最小。随着玉米生育期的推进,各措施坡面侵蚀产沙量均呈增加的变化趋势,且对照坡面和顺坡垄作坡面侵蚀产沙量均高于其他措施坡面。

(2) 在雨强1.5 mm/min条件下,除苗期一拔节期外,其他生育期对照坡面的径流量均高于实施措施的坡面,横坡垄作坡面在玉米拔节期一抽雄期径流量最小。随着玉米生育期推进,顺坡垄作坡面苗期一拔节期和抽雄期一成熟期侵蚀产沙量较大,而在拔节期一抽雄期,实施措施坡面的侵蚀产沙量最小。

(3) 在雨强2.0 mm/min条件下,对照及顺坡垄作坡面的径流量均随着玉米生育期推进,坡面径流量呈增加的变化趋势,横坡垄作坡面在玉米苗期一拔节期坡面径流量最小。随着玉米生育期推进,顺坡垄作坡面侵蚀产沙量较高且持续稳定,而对照坡面侵蚀量却呈一直增加的变化趋势。

可见,不同降雨条件下,各措施坡面在玉米不同生育期存在临界侵蚀条件。因此,在坡耕地水土流失防护过程中,不仅要选择合理的耕作措施,而且还应考虑种植作物的各生育期水土流失特征,这样才能够有效地阻控坡耕地水土流失。

### 参考文献:

- [1] 杨玉梅,郑子成,李廷轩.不同土地利用方式下土壤抗冲性动态变化特征及其影响因素[J].水土保持学报,2010,24(4):64-68.
- [2] 徐泰平,朱波,况福虹,等.四川紫色土坡耕地磷素渗漏迁移初探[J].农业环境科学学报,2006,25(2):464-466.
- [3] 何晓玲,郑子成,李廷轩.玉米种植下紫色坡耕地径流中磷素流失特征研究[J].农业环境科学学报,2012,31(12):2441-2450.
- [4] 徐泰平,朱波,况福虹,等.平衡施肥对紫色土坡耕地磷素径流流失的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(4):1055-1059.
- [5] 刘纪根,李蓉.紫色土区土地利用类型与降水变化对水土流失的影响[J].长江科学院院报,2009,26(8):10-19.
- [6] 何晓玲,郑子成,李廷轩.不同耕作方式对紫色土侵蚀及磷素流失的影响[J].中国农业科学,2013,46(12):2492-2500.
- [7] 郑子成,林代杰,李廷轩,等.不同耕作措施下成熟期玉米对径流及侵蚀产沙的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):24-28.
- [8] 聂小军,苏艳艳.川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀特征[J].生态环境学报,2012,21(4):682-686.
- [9] 谢颂华,曾建玲,杨洁.南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J].农业工程学报,2010,26(9):81-85.
- [10] 蔡强国,马绍嘉,王毅,等.横厢耕作措施对红壤坡耕地水土流失影响的试验研究[J].水土保持通报,1994,14(1):49-55.
- [11] 左长清,马良.红壤坡地果园不同耕作措施的水土保持效应研究[J].水土保持学报,2004,18(3):12-15.
- [12] 林代杰,郑子成,张锡渊,等.玉米植株对降雨再分配过程的影响[J].中国农业科学,2011,44(12):2608-2615.
- [13] 夏立忠,杨林章,李运东.生草覆盖与植物篱技术防治紫色土坡地土壤侵蚀与养分流失的初步研究[J].水土保持学报,2007,21(2):28-31.
- [14] 徐宪立,马克明,傅伯杰,等.植被与水土流失关系研究进展[J].生态学报,2006,26(9):3137-3143.
- [15] 李正国,王仰麟,吴健生,等.不同土地利用方式对黄土高原植被覆盖季节变化的影响:以陕北延河流域为例[J].第四纪研究,2005,25(6):762-769.
- [16] 钟壬琳,张平仓.紫色土坡面径流与侵蚀特征模拟试验研究[J].长江科学院院报,2011,28(11):22-27.
- [17] 郑子成,李廷轩,张锡渊,等.玉米植株冠层截留分异特征及其影响因素研究[J].水土保持学报,2012,26(4):208-211,215.
- [18] 姚运生,罗新兰,王秉昆,等.玉米植株形态生长的模拟[J].玉米科学,2000,8(增刊):30-32.
- [19] 秦凤,郑子成,李廷轩,等.玉米季坡耕地地表糙度的变化特征及其对土壤侵蚀的影响[J].水土保持学报,2013,27(3):18-22,27.
- [20] 郑子成,李廷轩,张锡渊,等.降雨条件下玉米植株对水量分配的影响[J].水土保持研究,2012,19(4):72-76.