

①

# 黄土坡面侵蚀垂直分带性及其侵蚀产沙研究进展

肖培青<sup>1,2</sup>, 郑粉莉<sup>1</sup>, 史学建<sup>2</sup>

(1 中国科学院 水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西杨陵 712100; 2 黄委会黄河水利科学研究院, 河南郑州 450003)

**摘 要:** 黄土丘陵沟壑区梁峁坡面从分水岭到沟缘线土壤侵蚀明显表现为溅蚀片蚀带、细沟侵蚀带、浅沟侵蚀带。概述了坡面侵蚀形态的垂直分带、坡沟侵蚀产沙关系、坡面侵蚀产沙分配特征、坡上方来水来沙对坡面、细沟侵蚀过程影响的研究进展, 提出有待于进一步研究的问题。  
**关键词:** 坡面侵蚀过程; 侵蚀垂直分带; 研究进展  
**中图分类号:** S 157      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1005-3409(2002) 01-0046-03

## Recent Research Progress on Erosion Vertical Zones and Erosion and Sediment at Loess Hillslopes

XIAO Pei-qing<sup>1,2</sup>, ZHENG Fen-li<sup>1</sup>, SHI Xue-jian<sup>2</sup>

(1 Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China;

2 Institute of Hydraulic Research, the Yellow River Conservation Commission, Zhengzhou 450003, Henan Province, China)

**Abstract:** Soil erosion in hilly-gully region of the Loess Plateau has clear sheet erosion zone, rill erosion zone and shallow gully erosion zone from watershed to gully edge. Research progresses on erosion vertical zones of erosion pattern, relation of erosion and sediment between hill slope and gully slope, characteristics of erosion and sediment distribution at hillslope, and effects of run-on water and sediment on down slope and rill erosion processes are outlined, further research issues are presented.  
**Key words:** erosion processes; erosion vertical zones; research progress

## 1 前 言

黄土高原丘陵沟壑区, 从分水岭到坡脚线, 径流入渗规律、侵蚀产沙强度、侵蚀方式及水沙运移特征表现出明显的垂直分带性规律<sup>[1,2]</sup>。不同地形部位的野外径流小区观测资料表明上方来水来沙对坡下方侵蚀带产生重要影响<sup>[3,4]</sup>。但针对这一特点进行定量研究的工作开展不多, 有关的土壤侵蚀动力机制研究还较薄弱。因此, 为了研究坡面不同侵蚀分带之间的侵蚀产沙关系及其机理, 定量刻画坡面侵蚀—沉

积—搬运过程, 建立土壤侵蚀物理过程模型, 科学布设水土保持措施和合理制定水土保持规划方案, 需对土壤侵蚀垂直分带作系统深入的研究。基于此, 本文对有关黄土坡面垂直分带的研究进展做一综述。

## 2 研究进展

### 2.1 坡面侵蚀形态的垂直分带

黄土高原坡地土壤侵蚀的研究自 50 年代以来, 取得了一系列科研成果。承继成<sup>[1]</sup>, 陈永宗等(1976)<sup>[5]</sup>分析了降雨、坡度、坡长对坡面侵蚀的影

① 收稿日期: 2001-11-20  
基金项目: 国家自然科学基金(40071058)。  
作者简介: 肖培青, 女, (1972-), 汉族, 硕士, 研究方向为坡面水蚀动力过程机制。

响, 描述了黄土丘陵地区各种地貌形态与坡面径流侵蚀的关系, 在定性描述和定量分析坡面侵蚀过程的基础上, 进行了坡面侵蚀分带性研究, 对于深入认识坡面侵蚀规律和坡面发育理论有重要意义。罗来兴(1958)<sup>[6]</sup>根据细沟侵蚀量沿坡长变化的实测资料指出, 黄土区坡地上的冲刷量先是增强, 以后逐渐减弱, 随后又逐渐增强, 呈强弱交替变化。承继成(1965)<sup>[1]</sup>在综合多家观点的基础上认为坡地流水作用是一个十分复杂的问题, 它取决于坡形、坡长、土壤抗蚀强度、地表径流强度、降雨特征等诸多因素。总体趋势是从分水岭向下由小变大, 再由大变小, 自分水岭到坡地划分为微弱侵蚀带—侵蚀强烈带—冲刷带—堆积带。由于黄土地貌具有明显的垂直分带, 坡面侵蚀产沙也存在垂直分异规律。80 年代, 刘元保等(1988)<sup>[2]</sup>根据野外考察, 对黄土丘陵沟壑区侵蚀垂直分带也进行了划分。所有这些研究成果, 大大深化了人们对于黄土高原侵蚀环境及其侵蚀区域分异规律的认识, 清楚地展示了土壤侵蚀方式和侵蚀形态空间垂直分异的基本格局, 为从定量和动力学角度研究土壤侵蚀规律奠定了重要基础。

2.2 坡沟侵蚀产沙关系

黄土高原坡沟侵蚀产沙关系的研究, 在定性和定量研究方面, 皆取得了一定的进展。早在 60 年代, 蒋德麒等(1966)<sup>[7]</sup>就不同地貌地区不同侵蚀亚带的产沙规律作了研究, 探讨了沟间地和沟谷地的产沙比例问题, 表明黄土丘陵沟壑区第一副区沟谷地产沙量占流域产沙总量 52.9% ~ 69.8%。曾伯庆(1980)<sup>[8]</sup>通过分析山西羊沟道资料得出沟坡地接受沟间地径流的侵蚀产沙量是沟坡地不接受沟间地径流的 4.5 倍。徐雪良(1987)<sup>[9]</sup>得出韭园沟流域沟间地径流量占 35.3%, 泥沙占 30.8%。焦菊英等(1992)<sup>[10]</sup>分析结果表明, 山西羊沟道流域沟坡地接受沟间地径流的侵蚀产沙量是沟坡地不接受沟间地径流的 1.8 倍。陈永宗等(1988)<sup>[11]</sup>分析子洲团山沟黄土沟坡受沟地径流下沟影响的侵蚀产沙量是不受径流下沟影响侵蚀产沙量的 5 倍; 而焦菊英等(1992)<sup>[12]</sup>分析结果为 3.5 倍。近期, 郑粉莉等(1994)<sup>[12]</sup>通过分析子午岭林区林地开垦后沟间地径流下沟对沟坡地侵蚀产沙的影响, 得出, 林地沟间地径流下沟对沟谷地侵蚀产沙几乎不产生影响, 而林地被开垦后, 沟间地径流下沟增加沟谷地的侵蚀产沙量随着开垦年限的增加而增加, 其增加幅度为 1.7~4.8 倍。此研究结果为正确评价人类活动在现代土壤侵蚀中的作用提供了新的论证资料。

2.3 坡面侵蚀产沙分配特征

蒋德麒等(1966)<sup>[7]</sup>指出, 黄土丘陵沟壑区第一副区韭园沟梁峁坡片蚀、细沟、浅沟为主的侵蚀占总侵蚀量的 28.7%。唐克丽等(1984)<sup>[13]</sup>通过对杏子河流域侵蚀产沙研究得出, 坡面发生浅沟侵蚀地带的面积占总面积 72% ~ 90%, 以细沟侵蚀为主的地带其分布面积不足总面积的 10%。坡耕地面积占沟间地面积 90% 以上, 其中 > 25° 的陡坡耕地占沟间地面积 48%, 坡耕地侵蚀产沙以细沟侵蚀、浅沟侵蚀为主, 因此, 梁峁坡耕地的侵蚀产沙量最重要, 而产沙来源主要是坡面表土层。基于此, 提出杏子河流域必须重视防治坡耕地的治理。龚时 等(1978)<sup>[14]</sup>根据几条沟道小流域的试验观测资料得出, 沟间地侵蚀量占 43.3% ~ 61.8%, 农耕地侵蚀量约占总侵蚀量的 50% 以上。根据韭园沟流域 1954 ~ 1964 年平均资料, 农耕地侵蚀量占总侵蚀量 59.3%<sup>[15]</sup>。张科利等(1991)<sup>[16]</sup>通过小区试验对黄土坡面的产沙分配规律进行了研究, 得出片蚀细沟侵蚀带侵蚀量约占沟间地侵蚀量 30%, 浅沟侵蚀带约占 70%。近期, 郑粉莉等(1998)<sup>[4]</sup>分析结果表明, 坡面侵蚀产沙分配主要受降雨强度和降雨能量的制约, 即随着侵蚀强度和侵蚀能量的增大, 坡面最大侵蚀产沙部位由细沟侵蚀带向浅沟侵蚀带过渡, 坡面侵蚀产沙强度变化的本质为侵蚀方式的演变。次后, 郑粉莉(2000)<sup>[17]</sup>通过对大型自然坡面径流场观测资料的分析, 得出片蚀带的侵蚀产沙量占全梁坡的 9.8% ~ 16.1%, 细沟侵蚀带的侵蚀产沙量占全梁坡的 26.1% ~ 31.8%, 浅沟侵蚀带的侵蚀产沙量占全梁坡的 52.1% ~ 64.1%。所有这些研究为黄土地区坡地产沙规律做了重要贡献。

2.4 上方来水来沙对坡面侵蚀的影响

陈浩(1991, 1992)<sup>[13, 18]</sup>对羊道沟流域 26 场降雨资料的分析发现, 在梁峁坡区的不同地貌部位和沟坡区, 产沙量( $S$ )与降雨特征指标( $RP$ ), 上坡来水量( $Q_1$ )及( $RPQ_1$ )呈正比相关。另外, 他还用一个简易的来水来沙装置来模拟上方来水与输沙, 进行了上坡来水在坡面产沙中作用的人工降雨实验研究。资料表明, 上坡来水含沙量愈大, 坡面水流挟沙能力越大, 不同地形部位在汇流过程中随着水流动能增加, 坡面侵蚀量随着增加。但实验未涉及高含沙水流问题, 所考虑问题过于简单化, 上部来沙装置需不断搅拌, 且供沙强度不均匀。

郑粉莉等(1998, 2000)<sup>[4, 17]</sup>等在富县子午岭林区的裸露坡耕地和安塞梁坡休闲坡耕地, 对不同侵蚀带之间的侵蚀产沙关系及其机理进行了研究。结果表明, 从各侵蚀分带和有上方来水来沙的复合侵

蚀带的侵蚀量对比看, 由于上方径流汇入, 侵蚀方式由片状侵蚀向线状侵蚀方式演变, 复合侵蚀带的侵蚀模数和径流冲刷量明显大于单一侵蚀带的侵蚀模数和径流冲刷量。上方来水来沙使细沟侵蚀带的侵蚀产沙量增加 13.5% ~ 37.3%, 使浅沟侵蚀带的侵蚀产沙量增加 6.5% ~ 82.8%。上方来水来沙增加坡下方侵蚀量的多少取决于上方来水量及其来水含沙量, 降雨特征(降雨强度和降雨能量)和下垫面侵蚀状况。在野外试验研究的基础上, 郑粉莉等(2000)<sup>[17]</sup>利用室内双土槽径流小区系统, 定量研究了陡坡地(20°)上方来水来沙对坡下方无浅沟侵蚀带和有浅沟侵蚀带侵蚀产沙的影响, 研究结果表明, 在相同坡上方来水条件下, 上方来沙强度的减小不仅使坡下部的侵蚀产沙量增加, 而且也将改变坡下部坡面侵蚀过程。上方来水来沙对坡下方侵蚀—沉积—搬运过程的影响及其产沙量受上方来水含沙量, 降雨强度、地面坡度和土壤表面条件的影响。此研究对深化认识坡面侵蚀过程作了创新的贡献。

### 2.5 上方来水来沙对细沟侵蚀过程的影响

细沟侵蚀作为坡面土壤侵蚀的一个重要过程, 但由于受研究技术条件所限, 已有的细沟水流力学特征能数计算公式, 基本上都是在特定的条件下获得的, 仅考虑了径流冲刷而忽视了降雨的作用。再者, 国外的研究成果大多来自于缓坡地。这些研究成果是否适用于我国黄土高原特殊的侵蚀条件, 还需要做进一步工作。作者在前人研究的基础上, 利用5 m 试验土槽和2 m 供沙土槽的双土槽系统的径流小区, 进一步研究了上方来水来沙对细沟水流力学参数和细沟水流侵蚀—沉积—搬运过程的影响<sup>[19, 20]</sup>。结果表明: 坡上方来沙量不但被径流全部搬运, 且坡上方来水在坡下方细沟侵蚀槽引起净侵

蚀产沙量。坡面细沟侵蚀过程以侵蚀—搬运过程为主。上方来水对细沟侵蚀产沙的贡献受上方来水含沙量和降雨强度的影响。降雨强度的增加或上方来水含沙量的减少, 使净侵蚀产沙量的增加更为显著。上方来水的汇入或降雨强度的增大可使细沟流态由层流转化为紊流。上方水流汇入细沟侵蚀槽后, 细沟水流水流流速、水力半径、雷诺数和弗罗得数明显增大, 而细沟水流阻力系数明显减少。上方水流的汇入细沟侵蚀槽, 导致细沟水流流速、水力半径、雷诺数和弗罗得数增大幅度 and 阻力系数相减少幅度受上方来水量及其来水含沙量和降雨强度的影响。细沟水流流速、雷诺数和阻力系数对细沟侵蚀产沙量产生重要影响, 且上方来水引起坡下方净细沟侵蚀产沙量与细沟水流流速增量、雷诺数增量和阻力系数减少量有很好的相关关系, 净侵蚀产沙量与流速和雷诺数相对增量呈正相关, 而与阻力系数相对减量呈负相关。

## 3 尚需开展的研究工作

纵观国内最近的研究进展, 对坡面侵蚀过程的研究进行了有效的探讨, 取得了一定的进展。然而, 研究内容上尚未涉及上方来水来沙对坡面水流泥沙搬运能力的影响, 没有完善的坡面水流侵蚀与泥沙搬运理论, 坡面侵蚀动力学机制研究还很薄弱。今后的研究工作应强化坡面侵蚀方式演变的动力机制; 高含沙水流条件下上方来水来沙对坡下方侵蚀、沉积、搬运过程的影响; 坡面各侵蚀分带之间的水沙汇集传递关系; 建立完善坡面泥沙运动力学体系, 为最终建立坡面水蚀预报模型奠定理论基础。

### 参考文献:

- [1] 承继成. 坡地流水作用的分带性[C]. 中国地理学会 1963 年学会论文集, 北京: 科学出版社, 1965. 99–104.
- [2] 刘元保, 朱显谟, 等. 黄土高原土壤侵蚀垂直分带性研究[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, 1988, 第7集, 5–8.
- [3] 陈浩. 降雨特征和上坡来水对产沙的综合影响[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 17–23.
- [4] 郑粉莉. 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[J]. 地理学报, 1998, 53(5): 422–427.
- [5] 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵沟壑区坡地的侵蚀发育. 地理集刊, (10), 1976.
- [6] 罗来兴, 等. 黄土高原典型沟道流域侵蚀地貌与水土保持关系论丛[M]. 北京: 科学出版社, 1958.
- [7] 蒋德麒, 等. 黄河中游小流域泥沙来源初步分析[J]. 地理学报, 1966, 32(1): 20–35.
- [8] 曾伯庆. 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失规律及治理效益[J]. 人民黄河, 1980(2): 20–25.
- [9] 徐雪良. 韭园沟流域沟间地、沟谷地来水来沙量的研究[J]. 中国水土保持, 1987, (8).
- [10] 焦菊英, 等. 小流域沟间地与沟谷地径流泥沙来量的探讨[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 24–28.
- [11] 陈永宗, 等. 黄土高原现代侵蚀与治理[M]. 北京: 科学出版社, 1988, 170–181.
- [12] 郑粉莉, 唐克丽, 白红英. 林地开垦后坡沟侵蚀产沙关系的研究[J]. 中国水土保持, 1994(8): 19–20.

业设施,1996,26(4):187– 196.

[13] 柴田孝信,岩田尾宪三,高野泰吉.植物工場たわゐレタスの 成長予測手法の 开发[J].生物境调节,1994,32(2):79– 86.

[14] Daughtry, C. S. T.Direct measurements of canopy structure[J]. Remote Sensing Review, 1990s, 5(1):45– 60.

[15] Hopkins, W. G.Introduction to plant physiology[M]. New York:J. Wiley, 1995. 265– 275.

[16] Larsen R. And U. Gertsson. Validation of a model for shoot elongation[J]. Acta Hort, 1993, 328:171– 178.

[17] Lieth, J. H. And C. C. Pasian. A model for net photosynthesis of rose leaves as a function of photosynthetically ac-  
tive radiation, leaf temperature, and leaf age[J].J. Amer. Soc. Hort. Sci, 1990a, 115(3):486– 491.

[18] Lieth, J. H. And C. C. Pasian. A simulation model for the growth and development of flowering rose shoots[J], Sci-  
entia Horticult urae, 1990b, 46:109– 128.

[19] Lin Shin- Hwei, Chun- pin Chang. Environment Problems and Revegetation Methods on the Mudstone area in South  
– western Taiwan[ A]. Proceedings of the First Asia-Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Ero-  
sion Control and Slope Stabilization[ C]. 1999, 223– 231.

[20] Hamamoto, H. Growth analysis of spring under the row cover[J]. Environmental Control in Biology, 1994, 32(2):87  
– 83.

[21] Myers R. H. Classical and Modern Regression with Application[M]. Boston:PWS&Kent Publish Co., 1986. 100– 211.

[22] Pasian C. C. and J. H. Lieth. Nondestructive dry-matter estimation of rose leaves, stems, and flower buds using re-  
gression models[J], Hort Science, 1994a, 9(3):162– 164.

[23] Persson, L. And R. U. Larsen. Adapting a prediction model for flower development in chrysanthemum to new culti-  
vars[J], Acta Hort, 1998, 456:143– 150.

[24] Weisberg, S. Applied linear regression[M]. JOHN WILLY & SONS, 1986. 128– 163.

( 上接第 48 页 )

[13] 唐克丽,等.杏子河流域坡耕地的水土流失及其防治[ J].水土保持通报,1983,3(5):43– 48.

[14] 龚时 ,蒋德麒.黄河中游黄土丘陵沟壑区沟道小流域的水土流失及治理[ J].中国科学,1978,(6).

[15] 黄委会绥德水土保持科学试验站.黄丘(一)副区水土流失规律及水土保持减沙效益试验研究报告[ R].1989,55– 70.

[16] 张科利.黄土坡面侵蚀产沙分配及其与降雨特征关系的研究[J].泥沙研究,1991,(4):39– 45.

[17] 郑粉莉,高学田.黄土坡面土壤侵蚀过程与模拟[ M].西安:陕西人民出版社,2000.96– 119.

[18] 陈浩.上坡来水在坡面产沙中的作用[ C].水土保持科学理论于实践,第二次全国水土保持学术讨论会论文集,林业出  
版社,1992.75– 87.

[19] 肖培青,郑粉莉.上方来水来沙对细沟侵蚀产沙过程的影响[ J].水土保持通报,2001,21(1):23– 25.

[20] 肖培青,郑粉莉,张成娥.细沟侵蚀过程与细沟水流水力学参数的关系研究[J].水土保持学报,2001,15(1):54– 57.

简 讯

根据《教育部中国科学院关于联合共建西北农林科技大学的决定》(教发[1999]139号)和《教育部中国科学院关于  
联合共建“水土保持与生态环境研究中心”的决定》(教发[2002]139号)文件精神,以中国科学院批准的水土保持研究所  
知识创新工程试点方案为基础,在西北农林科技大学成立中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心(以下简  
称“中心”)。“中心”由中国科学院和教育部共建共管,纳入中科院研究机构管理序列,为中国科学院知识创新工程试点单  
元。

方向任务

面向全国,以黄土高原为重点,研究解决水土流失区水土保持生态环境建设中的重大科学与技术问题,建设成为国  
家水土保持科学研究与知识创新基础、高级人才培养基地。同时作为中国科学院 西北资源环境与可持续发展研究基地”  
的重要组成部分,为西北地区社会和经济可持续发展及生态环境建设提供科技支撑。

学科框架

主体学科:水土保持学

支撑学科:土壤学、生态学、农业工程学

优势领域:土壤侵蚀、旱地农业、农业水土工程

发展领域:流域生态与管理