

# 林地开垦后坡面侵蚀过程与土壤养分流失的研究<sup>X</sup>

郑粉莉, 张成娥

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 林地被人为开垦破坏后, 加速侵蚀是导致坡面土壤养分流失的根本原因。坡面土壤养分流失的空间分布与坡面侵蚀方式和侵蚀强度的空间分布相一致, 浅沟沟槽是坡面土壤养分流失最严重的部位。土壤养分流失在开垦初期非常迅速, 开垦耕种 5a 后, 土壤养分含量可减少 50%。土壤剖面中 A 层的流失是土壤养分流失的标志。

**关键词:** 人为加速侵蚀; 土壤养分流失; 子午岭次生林区

**中图分类号:** S157.1; S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2002)01-0044-03

## Study on Sloping Soil Erosion Processes and Soil Nutrient Loss After Forest Removal

ZHANG Fen-li, ZHANG Cheng-e

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,  
Northwestern Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** Man made accelerated erosion is a key reason for soil nutrient loss after forestlands were disturbed by human being. Sloping spatial distribution of soil nutrient loss responds to spatial distribution of soil erosion patterns erosion intensity. Shallow gully ditch is the severest position of soil nutrient loss. Soil nutrients abruptly loss in the beginning stage of forest removal. After five years of forest removal, soil nutrient content reduces by 50%. A layer loss in soil profile is a sign of soil nutrient loss.

**Key words:** man made accelerated erosion; soil nutrient loss; Ziwuling second forest area

砍伐森林、开垦耕种是造成加速侵蚀和土壤养分流失的根本原因。但迄今为止, 黄土高原有关土壤侵蚀与养分流失的研究甚少。在黄土高原唯一次生林区的子午岭林区, 对人为破坏植被被加速侵蚀过程与土壤养分流失过程进行研究, 以期对黄土高原良性生态系统的重建提供科学依据。

## 1 试验布设与研究方法

试验区位于黄土高原子午岭次生林区, 自然坡面径流小区以浅沟为集水单元进行布设, 共布设 5 个自然坡面径流小区, 包括梁坡(从分水线到沟缘线)林地、开垦裸露地和农地 3 个和全坡面(从分水线到坡脚线)林地和开垦裸露地 2 个, 小区面积 1 000 ~ 1 660 m<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 地面坡度在梁坡为 5° ~ 34°, 在谷坡为 37° ~ 42°。

每年雨季前后(4 月和 10 月) 分别采集不同地形部位的耕层土样和剖面土样(梁坡上部、梁坡中部浅沟沟槽和浅沟沟坡, 梁坡下部浅沟沟槽和浅沟沟坡, 谷坡上部浅沟沟槽和浅沟沟坡, 谷坡中部浅沟沟槽和浅沟沟坡), 每一地形部位取 3 ~ 4 个样, 并收集每次降雨产流产沙的泥沙量, 分析土壤和泥沙中的有机质(重铬酸钾-硫酸消化法)、碱态 N(康维皿法)、全 N(凯氏定氮仪法)、速效 P(碳酸氢钠法) 等, 研究人为加速侵蚀对土壤养分流失和迁移的影响。结合定位观测, 对不同开垦年限农地(10 a、20 a、31 a) 的土壤剖面构型进行了调查, 并采集耕层土样和剖面土样进行分析。

## 2 结果和讨论

### 2.1 坡面侵蚀方式对土壤养分流失的影响

林地被人为破坏开垦耕种后, 土壤侵蚀急剧发展, 侵蚀模数可高达 8 000 ~ 19 000 t/km<sup>2</sup> a, 为次生林地土壤侵蚀模数的数百倍至数千倍<sup>[3]</sup>。强烈的土壤侵蚀导致土壤养分大量流失。

受侵蚀方式和侵蚀强度的影响, 坡面土壤养分流失存在着明显的空间差异(表 1)。梁坡顶部, 土壤侵蚀方式为溅蚀和细沟间侵蚀, 每年侵蚀掉土层 0.05 ~ 0.4 cm, 土壤养分流失程度最弱; 在梁坡的浅沟沟槽部位, 土

X 收稿日期: 2001-10-18 \* 国家自然科学基金项目“黄土坡面土壤侵蚀与养分流失过程响应关系及其机理研究”(49871050) 资助  
作者简介: 郑粉莉, 女, 生于 1960 年, 研究员, 博士生导师。主要从事土壤侵蚀与侵蚀环境效应评价研究。

壤侵蚀方式为强度浅沟侵蚀, 每年侵蚀掉土层 8 ~ 20cm, 造成的土壤养分流失非常严重; 在浅沟沟坡部位, 土壤侵蚀方式为细沟间侵蚀和细沟侵蚀, 每年侵蚀掉土层 0.8 ~ 8 cm, 土壤养分流失程度较浅沟沟槽处弱, 而较浅沟沟坡处强; 在谷坡浅沟沟槽处, 土壤侵蚀为剧烈浅沟侵蚀, 每年侵蚀掉土层 20 ~ 60 cm, 土壤养分流失最严重, 开垦 3 年后, 基岩已出露地表; 在谷坡浅沟沟坡处, 土壤侵蚀方式为细沟侵蚀和细沟间侵蚀, 但由于地面坡度较大, 侵蚀强度较梁坡浅沟沟坡处强, 每年侵蚀掉土层 2 ~ 10 cm, 造成的土壤养分流失程度较浅沟沟槽处弱, 而梁坡浅沟沟坡处严重。

表 1 全坡面开垦裸露地不同地形部位 0 ~ 20cm 耕层土壤养分流失

侵蚀部位	对照值				开垦 2a							
	有机质 (g/kg)	碱态 N (mg/kg)	全 N (g/kg)	速效 P (mg/kg)	有机质 (g/kg)	减少值 (%)	碱态 N (mg/kg)	减少值 (%)	全 N (g/kg)	减少值 (%)	速效 P (mg/kg)	减少值 (%)
梁坡顶部	24.78	176.3	1.471	3.88	20.92	15.6	132.15	25.0	1.383	6.0	6.00	56.7
梁坡浅沟沟槽	30.42	206.41	1.800	17.18	22.55	25.9	129.93	37.1	1.405	21.9	5.35	68.8
梁坡浅沟沟坡	27.66	188.6	1.613	15.33	21.52	22.2	130.78	30.7	1.382	14.2	5.75	62.5
沟谷浅沟沟槽	65.26	222.4	2.107	19.73	24.33	62.7	120.11	46.0	1.188	43.6	5.63	74.5
沟谷浅沟沟坡	27.93	195.6	1.646	16.83	19.48	30.2	124.43	36.3	1.341	18.5	5.95	64.6

对比不同形态养分的流失量可以看出, 速效 P 的流失最为严重, 开垦 2 a 后其流失 56.7% ~ 74.5%; 其次为碱态 N 和有机质, 分别流失 25.0% ~ 46.0% 和 15.6% ~ 62.7%; 而全 N 流失最轻, 林地开垦两年后, 全 N 流失 6.0% ~ 43.6%。

表 2 梁坡开垦裸露地不同地形部位 0 ~ 20cm 耕层土壤养分流失随开垦年限的变化

地形部位	开垦前(对照)			开垦当年			开垦 3a			开垦 5a		
	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	碱态 N (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	碱态 N (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	碱态 N (mg/kg)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	碱态 N (mg/kg)
梁坡顶	24.78	1.471	176.25	19.42	1.383	132.15	17.70	1.261	116.04	16.04	1.161	112.53
浅沟槽	40.46	1.800	2066.41	26.74	1.482	120.11	15.71	1.202	103.82	11.25	0.880	79.36
浅沟坡	28.25	1.613	188.61	23.98	1.405	123.97	17.99	1.341	105.46	15.25	1.160	95.52

## 2.2 坡面土壤养分流失随开垦年限的变化

表 2 表明, 林地开垦耕种初期土壤养分流失最为迅速。开垦当年, 表层 20 cm 土层的有机质减少 15.1% ~ 33.9%, 全 N 减少 6.0% ~ 17.6%, 碱态 N 减少 25.0% ~ 41.8%; 开垦 3 a 后, 有机质减少 28.6% ~ 61.7%, 全 N 减少 14.2% ~ 33.2%, 碱态 N 减少 34.1% ~ 49.7%; 开垦 5 a 后, 有机质减少 35.2% ~ 72.2%; 全 N 减少 25.9% ~ 51.1%, 碱态 N 减少 36.1% ~ 61.5%, 土壤肥力已不能满足作物生长的需要, 开垦耕种 31 a 农地的土壤养分含量与目前的黄绵土相似。

## 2.3 坡面土壤侵蚀对土壤剖面养分变化的影响

从土壤剖面层次看, 林地被开垦 5 a 后, 开垦裸露地梁坡顶部、梁坡中部及浅沟沟槽等部位的土壤剖面中的 A 层基本流失殆尽, 表层土壤有机质含量、CaCO<sub>3</sub> 含量接近 A/B<sub>ca</sub> 层或 B<sub>ca</sub>/C 层的上部(表 3), 在沟坡浅沟沟槽处, A + A/B<sub>ca</sub> 层已完全被侵蚀掉, 甚至 B<sub>ca</sub>/C 层也部分被侵蚀掉。次生林地的土壤养分主要集中在表层(A 层), A 层的养分流失程度是土壤养分流失强烈程度的显著标志。因此, 人为破坏植被开垦耕种可使数百年形成的土壤剖面迅速遭到破坏。

## 2.4 开垦裸露地和开垦农地土壤养分流失的对比

对比分析梁坡不同地形部位开垦农地和开垦裸露地土壤养分流失程度可以看出, 在不施肥的条件下, 开垦 4 a 农地的养分流失程度较裸露地稍大, 其中全 N 流失增大 2% ~ 15%, 碱 N 流失增大 1% ~ 16%(表 4)。这是因为开垦农地的养分损失不但有土壤侵蚀造成的养分流失, 也有农作物在生长过程中对养分的吸收而造成的养分耗损, 而开垦裸露地的养分损失主要是由于加速侵蚀造成的养分流失。但同加速侵蚀引起的养分损失量相

表 3 林地开垦裸露 5a 后不同地形部位土壤剖面的土壤性状

地形部位	开垦裸露地			对照值		
	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	CaCO <sub>3</sub> (%)	土层 (cm)	有机质 (g/kg)	CaCO <sub>3</sub> (%)
梁坡顶部	0 ~ 20	16.04	12.01	0 ~ 5	39.66	10.04
	20 ~ 30	6.95	13.53	5 ~ 25	25.33	14.80
	30 ~ 81	5.73	13.27	25 ~ 50	4.18	16.95
	50 ~ 150	3.29	17.41			
梁坡浅沟沟槽	0 ~ 14	15.32	11.60	0 ~ 13	57.26	7.75
	14 ~ 25	11.03	11.98	13 ~ 72	18.08	11.79
	25 ~ 85	5.72	13.24	72 ~ 105	8.01	13.77
	105 ~ 150	3.90	13.30			
梁坡浅沟沟坡	0 ~ 8	8.15	11.61	0 ~ 6.5	52.51	6.13
	8 ~ 26	6.07	11.81	6.5 ~ 35	20.44	12.89
	26 ~ 52	4.83	11.54	35 ~ 66	2.50	16.49
	52 ~ 78	4.93	11.41	66 ~ 150	1.65	15.50
谷坡浅沟沟槽	0 ~ 8	4.50	11.34	2.5 ~ 20	96.47	6.85
	8 ~ 26	4.69	11.58	20 ~ 90	20.92	9.99
	26 ~ 84	4.37	11.34	90 ~ 135	12.69	9.87
	66 ~ 150	1.65	15.50	135 ~ 200	11.39	11.33

比, 作物吸收的养分占较小部分。因此可以认为, 林地开垦后, 土壤养分流失主要是由于严重的加速侵蚀造成的。故控制坡面土壤侵蚀, 是维持土壤生产力的关键所在。

表 4 梁坡不同地形部位开垦 4a 裸露地与农地 0~20cm 耕层土壤养分流失的比较

试验处理	梁坡顶部		梁坡中部浅沟沟槽		梁坡中部浅沟沟脊		梁坡下部浅沟沟槽		梁坡下部浅沟沟脊	
	全 N	碱解 N	全 N	碱解 N	全 N	碱解 N	全 N	碱解 N	QD 全 N	碱解 N
	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)
作物地(不施肥)	1.090	113.65	1.327	99.54	1.341	102.52	1.090	113.11	1.257	122.34
裸露地	1.161	112.53	1.357	115.46	1.383	113.44	1.257	128.85	1.327	136.96

### 3 结 论

(1) 林地开垦破坏后的加速侵蚀是坡面土壤养分流失的根本原因。土壤养分流失程度与侵蚀强度相一致, 坡面土壤养分流失的空间分布与坡面侵蚀方式的空间分布相一致。从细沟间侵蚀、细沟侵蚀到浅沟侵蚀, 土壤侵蚀强度逐渐加剧, 坡面土壤养分流失程度也逐渐增大。坡面浅沟沟槽处土壤养分流失最为严重, 细沟侵蚀处养分流失次之, 而细沟间侵蚀处养分流失最轻; 谷坡土壤侵蚀强度大于梁坡, 造成养分流失强度也大于梁坡。

(2) 林地开垦后, 坡面土壤养分流失非常迅速, 开垦 3 年后, 有机质减少 28.6%~61.7%, 全 N 减少 14.2%~33.2%, 碱态 N 减少 34.1%~49.7%; 开垦 5 a 后土壤养分含量已不能满足作物生长需要。人为破坏开垦耕种可使开垦耕种前数百年形成的肥沃土层毁于旦夕。

(3) 土壤养分流失导致土壤剖面薄层化, 土壤剖面中 A 层的流失是土壤养分流失的显著标志。

#### 参考文献:

- [1] 唐克丽, 郑粉莉, 张科利, 等. 子午岭林区土壤侵蚀与生态环境关系的研究内容和方法[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993, 17: 3 - 10.
- [2] 郑粉莉, 唐克丽, 白红英. 标准小区和大型坡面径流场径流泥沙监测方法分析[J]. 人民黄河, 1994, 7: 19 - 22.
- [3] 郑粉莉, 唐克丽, 王文龙, 等. 子午岭林区林地和开垦地土壤侵蚀特征研究[A]. 子午岭林区土壤侵蚀与生态环境关系的研究内容和方法[C]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊, 1993(17): 30 - 36.

#### 上接第 43 页

(1) 规范全国土壤侵蚀调查。土壤侵蚀遥感调查的规范化涉及到调查频率、调查内容、制图精度、技术指标、成果等。建议每 5 年进行 1 次全国土壤侵蚀调查, 调查内容主要为水力侵蚀、风力侵蚀和冻融侵蚀 3 大类型不同侵蚀强度的面积, 即空间分布。

(2) 加强重点地区土壤侵蚀动态监测。对重点地区进行连续、高频率动态监测, 监测土壤流失、土地利用、植被类型和覆盖度变化, 分析防治效益。例如, 环北京地区、三峡库区、晋陕蒙接壤区等, 都可作为动态监测重点。

(3) 进一步推进“3S”技术在水土保持监测中的应用。以“3S”(即 RS—遥感, GIS—地理信息系统和 GPS—地球定位系统) 为核心的地球信息技术的发展, 为现代水土保持监测工作提供了新的技术手段。今后应大力推行“3S”在监测中的应用, 提高监测技术手段和科技含量, 为区域土壤侵蚀动态监测、水土保持规划和治理评价、水土保持监督和宏观决策等服务。

(4) 研究开发土壤侵蚀量预报模型。采用多学科、多手段的研究方法, 在土壤侵蚀基本理论指导下, 综合考虑我国的土壤侵蚀现状和社会生产实践的实际需求, 将定位观测、遥感、地理信息系统(GIS) 与数学模拟等方法相结合, 开展土壤侵蚀预报模型的研究和应用<sup>[4]</sup>, 使土壤侵蚀动态监测研究提高到新的深度和高度。

致谢: 参加本研究的还有姜永清研究员、王一谋研究员和梁音副研究员, 特此谨致谢意。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准(SL 190-96)[Z]. 1997.
- [2] 水利部遥感中心. 应用遥感技术调查全国土壤侵蚀现状与编制全国土壤侵蚀图技术工作细则[Z]. 1986.
- [3] 赵晓丽, 张增祥, 王长有, 等. 基于遥感和 GIS 的西藏中部地区土壤侵蚀动态监测[J]. 水土保持学报, 1999, 13(2): 44 - 50.
- [4] 张增祥, 等. 基于遥感和地理信息系统的山区土壤侵蚀强度数值分析[J]. 农业工程学报, 1998, (3): 77 - 83.
- [5] 蔡崇法, 等. GIS 支持下三峡库区典型小流域土壤养分流失量预测[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 9 - 12.
- [6] 黄诗峰, 等. 基于 GIS 的流域土壤侵蚀量估算指标模型研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 105 - 107.
- [7] 刘海涛, 等. 基于 WebGIS 的土壤侵蚀模型的研究及应用[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 52 - 55.
- [8] 牛志明, 等. ANSWER2000 在小流域土壤侵蚀过程模拟中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 56 - 60.
- [9] 范建容, 等. 基于 RS 和 GIS 的四川省李子河流域土壤侵蚀动态变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 25 - 28.