

片蚀与细沟间侵蚀过程中地表微地形的变化*

郑子成^{1,2,3†} 吴发启³ 何淑勤⁴ 赖 腊¹

(1 四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014)

(2 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

(3 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(4 四川农业大学林学院, 四川雅安 625014)

摘 要 采用室内人工模拟降雨和地统计分析相结合的方法, 对 4 种人为管理措施地表微地形在片蚀和细沟间侵蚀过程中的变化特征进行了研究。结果表明, 不同雨强下, 各管理措施坡面地表微地形表现出了一定程度的不规则性。不同雨强和管理措施条件下, 各等级的高程在片蚀阶段和细沟间侵蚀阶段都发生了相互转移; 其中第 I 级和第 II 级转移出最多, 且在细沟间侵蚀阶段后也只有很少部分转移至第 I 级、第 II 级; 第 III 级地表高程转移最少, 且有大部分的其他等级的高程转入第 III 级, 这两个侵蚀阶段在 0~0.01 m 和 0.01~0.03 m 区域最易发生土壤堆积。

关键词 微地形起伏; 管理措施; 变化特征; 片蚀; 细沟间侵蚀

中图分类号 157.1 **文献标识码** A

地表微地形是在一定尺度的地表上, 用以描述地表微地貌的随机性或不规则性。不同的耕作方式、作物种类、土壤类型、各降雨物理参数以及泥沙输移过程等, 均会导致微地形的形成及变化。从 20 世纪 60 年代起, Kuripers 等就对该问题的研究提出过初步设想^[1]。随后, 国内外许多学者就地表微地形的影响因素、测量方法以及与侵蚀和坡面水文过程的关系等方面展开了研究^[2-12], 虽取得了较为丰硕的成果, 但就地表微地形与土壤侵蚀方面的研究, 存在两种观点。一些学者认为地表微地形可以削减侵蚀作用^[13-18], 一些学者认为地表微地形可增加潜在冲刷, 加剧侵蚀^[19-22]。出现上述结果, 主要是因为地表微地形分布的随机性和侵蚀过程中变化的不确定性。所以, 系统深入地研究微地形侵蚀机理的研究十分必要。鉴于此, 本文以黄土区坡耕地为研究对象, 通过室内人工模拟降雨试验, 融合土壤侵蚀学、GIS 等理念与方法, 研究常见管理措施地表微地形变化特征, 旨在探明地表微地形和土壤侵蚀机理之间的相关性, 以期服务于黄土区土壤侵蚀预测预报过程模型的构建。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土样采自陕西杨凌耕层土壤 (0~20 cm), 土壤基本性质见表 1。土壤风干后, 过 10 mm 筛

*国家自然科学基金项目(40901138)、中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室开放研究基金项目、地表过程与资源生态国家重点实验室开放基金项目(2008-KF-05)和四川省科技厅应用基础项目(2008JY0022)资助

作者简介: 郑子成(1976-), 男, 内蒙古人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持与土壤生态。E-mail: zichengzheng@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-04-12; 收到修改稿日期: 2010-09-09

分层装入侵蚀槽内，所用侵蚀槽均为 2.0 m×1.0 m×0.5 m 的铁质侵蚀槽。在填土过程中，为了使填土均一且容重接近自然坡面，采用容重随机实测法，使平均容重保持在 1.08 g cm⁻³ 左右。

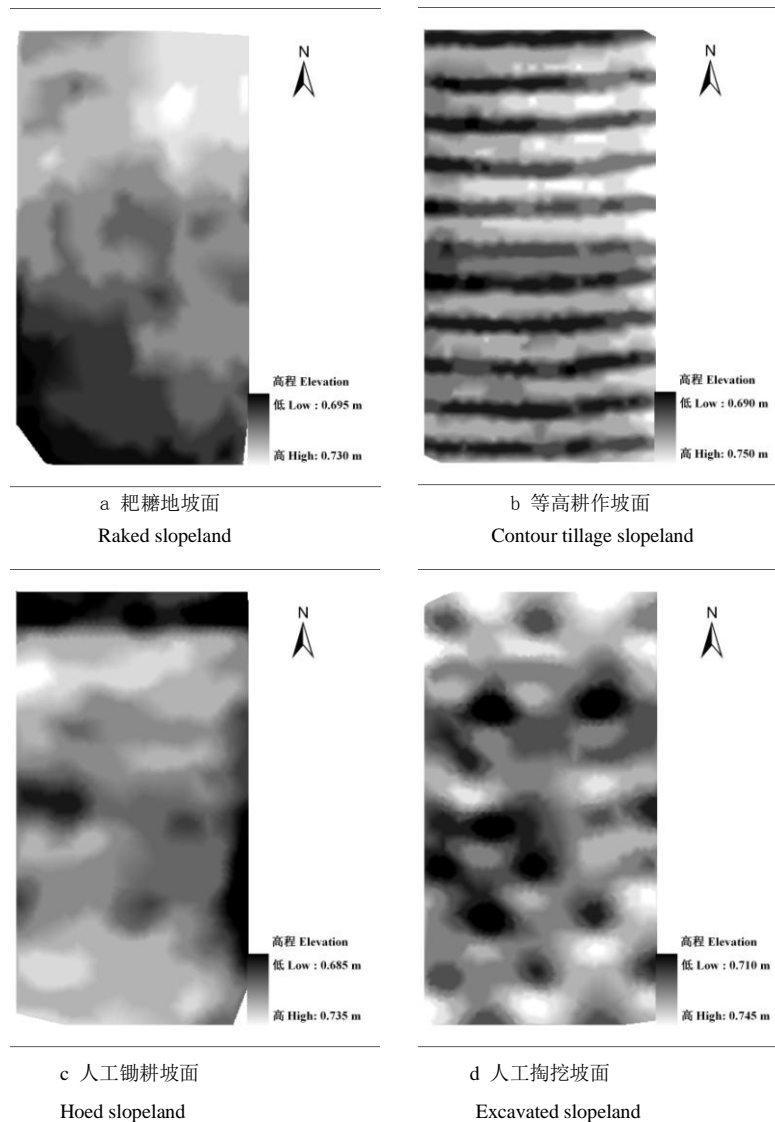
表 1 试验土壤机械组成(0~20 cm)

Table 1 Particle size distribution of the soil in the experiment (0~20 cm)

各级颗粒含量 Particle size distribution (%)					
<0.001 mm	0.005~0.001 mm	0.01~0.005 mm	0.05~0.01 mm	0.25~0.05 mm	> 0.25 mm
36.28	12.89	6.88	41.13	2.70	0.12

1.2 地表微地形的布设

由于黄土高原农耕地的经营主要以人为管理为主，本研究基于当地农耕地作业方式的实地调查结果，在相应的侵蚀槽内，布设耙耱地、人工锄耕、人工掏挖、等高耕作 4 种主要措施，分别模拟不同的地表微地形，4 种主要措施的起始微地形起伏状况见图 1。



注：图中 N 向对应于坡面的上部 Note: In the figure N stands for the upper of a slope

图 1 降雨前不同管理措施坡面微地形起伏

Fig.1 Pre-rainfall micro-relief of the sloplands under various managements

1.3 试验方法

试验采用室内人工模拟降雨的方法进行。所用人工降雨设备采用中国科学院水土保持研究所研制的下喷式降雨机进行，降雨高度 2.7 m，有效降雨面积约 20 m²。实验前，进行了不同降雨强度的率定，降雨均匀度可达 0.93 以上。采用五点法布设雨量筒，取其平均值，求算降雨强度和雨量。

本研究采用场降雨，降雨强度分别为 0.75 mm min⁻¹ 和 1.72 mm min⁻¹，降雨历时视坡面侵蚀发展阶段而确定，从降雨开始到侵蚀槽中的土壤表面上出现鱼鳞状小坑和微跌水时，立即停止实验。设计地表坡度为 15°，每一试验 3 次重复。

1.4 测定内容及方法

降雨前土壤容重采用环刀法测定；地表微地形采用激光微地形测量仪（自行研制）测定，该仪器空间采点密度为 3 cm×3 cm，采样高程的参照物是仪器的顶部，测定地表相对高程的精度为 ±0.05 mm。

1.5 数据分析处理方法

先通过 Excel 2003 将原始数据处理为坐标格式的数据组，然后在 ArcGIS9.2 Geostatistical Analyst 模块中，选择适合数据特征的空间插值方法进行插值，再在三维分析（3D Analyst）下生成 DEM，模拟微地形地表，最后分别在 Spatial Analyst Tools 模块下处理数据，得到不同侵蚀阶段土壤侵蚀的转移矩阵。

2 结果与分析

先基于相对高程点生成插值图并栅格化，再将不同侵蚀阶段的栅格图分别与降雨前栅格图叠加后即得相应的高差图层。根据高差图的数据特征，综合各阶段的地表起伏变化状况，按高差 <-0.01 m、-0.01~0 m、0~0.01 m、0.01~0.03 m 和 >0.03 m 分为五个等级，即 I、II、III、IV、V 级，通过相对高程值的变化反映地表微地形起伏状况。

2.1 耙耧地地表微地形的变化

从表 2 可以看出，耙耧地管理措施坡面，在雨强 0.75 mm min⁻¹ 条件下，第 I 级、第 II 级的高程转移量最大，均达 100%；第 I 级高程在细沟间侵蚀阶段主要转移为第 IV 级，转移量达 63.15%；36.85% 的高程转移至第 III 级；这部分区域微地形起伏相对片蚀阶段有所升高，表明在这一阶段主要以堆积为主。第 III 级的高程转移量相对最少，有 57.75% 区域的高程发生了转移，其中仅有 0.42% 的高程转移为第 I 级和第 II 级，说明这部分地表的微地形起伏虽有所降低，发生了轻微的土壤侵蚀，但仍以堆积为主。第 IV 级的高程转移量相对最多，有 95.68% 的高程发生了转移，且全部为负向转移，地表微地形起伏降低，标志着该区域发生了明显的土壤侵蚀。总而言之，从片蚀到细沟间侵蚀阶段共有 182.6% 区域的高程转移至第 III 级，有 209.1% 区域的高程转移至第 IV 级，而只有 0.31% 和 7.99% 区域的高程分别转移至第 I 级和第 II 级。以上分析表明，片蚀到细沟间侵蚀阶段大部分的区域地表微地形

起伏升高，小部分区域微地形起伏程度降低，说明试验区大部分面积的土壤发生了堆积，少部分发生了侵蚀。

表 2 耙耧地片蚀-细沟间侵蚀两阶段不同等级高程变化转移矩阵 (%)

Table 2 Matrix of elevation transfer between grades during the phases of sheet erosion and inter-rill erosion on the raked

		slope land				
雨强 Rainfall intensity (mm min ⁻¹)	片蚀-细沟间侵蚀 From sheet erosion to inter-rill erosion	I	II	III	IV	V
0.75	I	0.00	0.00	36.85	63.15	—
	II	0.00	0.00	15.70	84.30	—
	III	0.03	0.39	42.25	57.33	—
	IV	0.28	7.60	87.80	4.32	—
	V	—	—	—	—	—
1.72	I	—	—	—	—	—
	II	—	0.00	94.27	5.73	—
	III	—	0.00	95.02	4.98	—
	IV	—	3.47	87.35	9.18	—
	V	—	0.00	42.17	57.83	—

在雨强 1.72 mm min⁻¹ 条件下，第 II 级发生了 100% 的高程转移，其中 94.27% 的高程转移为第 III 级，5.73% 的高程转移为第 IV 级，地表微地形起伏有所升高。第 III 级高程的转移量最少，仅有 4.98% 的发生了转移，且为正向转移，转移至第 IV 级。第 IV 级有 90.82% 的高程发生负向转移，说明微地形起伏有所降低。在片蚀阶段处于第 V 级的高程全部转移为第 III 级和第 IV 级。细沟间侵蚀阶段共有 318.2% 的高程转移至第 III 级。上述分析表明，在较大雨强作用下，只有极少区域的地表发生了严重侵蚀，大部分区域的地表既有轻微的侵蚀，同时也有一定的堆积。

2.2 等高耕作地表微地形的变化

从表 3 可以看出，等高耕作管理措施坡面，在雨强 0.75 mm min⁻¹ 条件下，第 V 级的高程转移量最大，转移了 99.95%，其中有 78.12% 的高程转移为第 III 级，且只有 8.55% 的高程转移为第 I 级和第 II 级，表明只有少部分的区域土壤发生了严重侵蚀。第 III 级高程转移量最少，仅为 23.87%。第 II 级共有 99.31% 的高程发生了转移，其中 84.01% 转移为第 III 级，15.24% 转移为第 IV 级，0.06% 转移为第 V 级，且均为正向转移。第 I 级有 99.23% 的高程发生了正向转移，其中 97.47% 地表微地形起伏较大。第 IV 级的高程转移了 78.27%，其中 0.05% 的高程发生正向转移。总体而言，从片蚀到细沟间侵蚀阶段，大部分的高程均转移为第 III 级。在细沟间侵蚀阶段，第 III 级的高程量达 405.2%，且第 III 级转移的高程也最少。上述结果说明在雨强 0.75 mm min⁻¹ 条件下，片蚀到细沟间侵蚀阶段地表微地形起伏程度有所增加，表明地表发生了较为明显的堆积。

表 3 等高耕作片蚀-沟蚀间侵蚀两阶段不同等级高程变化转移矩阵 (%)

Table 3 Matrix of elevation transfer between grades during the phases of sheet erosion and inter-rill erosion on the contour

		tillage slopeland				
雨强 Rainfall intensity (mm min ⁻¹)	片蚀-细沟间侵蚀 From sheet erosion to inter-rill erosion	I	II	III	IV	V
0.75	I	0.77	1.76	92.68	4.79	0.00
	II	0.00	0.69	84.01	15.24	0.06
	III	0.04	3.29	76.13	20.10	0.45
	IV	0.01	3.95	74.26	21.73	0.05
	V	0.04	8.51	78.12	13.28	0.05
1.72	I	0.02	10.65	71.96	17.36	—
	II	0.00	14.50	69.11	16.39	—
	III	0.00	12.59	59.42	27.99	—
	IV	0.01	20.87	62.99	16.13	—
	V	2.36	69.61	28.03	0.00	—

在雨强 1.72 mm min⁻¹ 条件下, 地表高程的变化仍表现为第 III 级转移量最少, 仅有 40.58%; 第 I 级转移量最多, 达到 99.98%, 且全部为正向转移, 只有 2.37% 的高程在细沟间侵蚀阶段转入第 I 级, 说明在细沟间侵蚀阶段, 地表微地形起伏呈增加趋势; 第 IV 级有 62.99% 转移为第 III 级, 20.88% 转移为第 I 级和第 II 级, 说明处于第 IV 级的地表大部分区域发生了轻微侵蚀, 少部分区域发生了严重侵蚀。第 V 级的高程在细沟间侵蚀阶段有 69.61% 转移为第 II 级, 28.03% 转移为第 III 级, 均为负向转移, 微地形起伏有所降低。细沟间侵蚀阶段共有 291.5% 面积的土壤处于第 III 级。总体而言, 在雨强 1.72 mm min⁻¹ 条件下, 发生侵蚀和发生堆积区域的面积相差不大。

2.3 人工锄耕地表微地形的变化

从表 4 可以看出, 人工锄耕管理措施坡面, 在雨强 0.75 mm min⁻¹ 条件下, 片蚀阶段的高程均介于第 III 级~第 V 级, 细沟间侵蚀阶段高程均处于第 I 级~第 IV 级; 第 IV 级高程转移量最少, 有 36.47% 发生转移, 全部为负向转移, 其中有 28.12% 的高程转移为第 I 级和第 II 级, 表明发生较为严重的土壤侵蚀; 片蚀阶段为第 V 级的在细沟间侵蚀阶段全部发生负向转移; 第 III 级则有 99.52% 转移至第 IV 级, 为正向转移。细沟间侵蚀阶段, 有 201.85% 处于第 IV 级。说明在雨强 0.75 mm min⁻¹ 条件下, 地表微地形起伏在部分区域升高, 部分区域有所降低, 即既发生了堆积, 同时也表现出侵蚀的作用。

在雨强 1.72 mm min⁻¹ 条件下, 人工锄耕坡面在片蚀阶段的地表高程均处于第 II 级~第 IV 级, 细沟间侵蚀阶段地表高程处于第 I 级~第 IV 级。第 III 级发生转移最少, 仅为 19.68%, 且转移大部分区域发生了负向转移; 在片蚀阶段没有处于第 I 级的高程, 而在细沟侵蚀阶段有 9.68% 的高程转入第 I 级, 说明局部区域土壤侵蚀严重。片蚀处于第 V 级的高程有 81.32% 转入第 III 级, 地表微地形起伏有所减小。处于第 IV 级的地表有 84.35% 发生了负向转移, 其中 72.49% 转入第 III 级, 说明这一区域地

表大部分发生轻微侵蚀。从片蚀阶段到细沟间侵蚀阶段有 324.3% 地表的土壤处于第 III 级。在雨强为 1.72 mm min^{-1} 条件下, 大部分地表发生了土壤侵蚀, 少部分区域发生了堆积。

表 4 人工锄耕片蚀-沟蚀间侵蚀两阶段不同等级高程变化转移矩阵 (%)

Table 4 Matrix of elevation transfer between grades during the phases of sheet erosion and inter-rill erosion on the hoed slopeland

雨强 Rainfall intensity (mm min^{-1})	片蚀-细沟间侵蚀 From sheet erosion to inter-rill erosion	slopeland				
		I	II	III	IV	V
0.75	I	—	—	—	—	—
	II	—	—	—	—	—
	III	0.00	0.00	0.48	99.52	—
	IV	5.89	22.23	8.36	63.53	—
	V	32.21	21.50	7.49	38.80	—
1.72	I	—	—	—	—	—
	II	1.98	7.82	90.20	0.00	—
	III	2.91	16.71	80.32	0.06	—
	IV	4.79	7.08	72.49	15.65	—
	V	0.00	7.76	81.32	10.92	—

2.4 人工掏挖地表微地形的变化

从表 5 可以看出, 人工掏挖管理措施坡面上, 在雨强 0.75 mm min^{-1} 条件下, 片蚀阶段的高程介于第 II 级~第 IV 级之间。

表 5 人工掏挖片蚀-沟蚀间侵蚀两阶段不同等级高程变化转移矩阵 (%)

Table 5 Matrix of elevation transfer between grades during the phases of sheet erosion and inter-rill erosion on the excavated slopeland

雨强 Rainfall intensity (mm min^{-1})	片蚀-细沟间侵蚀 From sheet erosion to inter-rill erosion	excavated slopeland				
		I	II	III	IV	V
0.75	I	—	—	—	—	—
	II	0.00	0.00	1.29	98.06	0.65
	III	0.00	1.26	17.11	65.21	16.41
	IV	0.06	4.29	20.78	66.40	8.47
	V	0.73	14.19	28.93	49.54	6.61
1.72	I	3.84	8.81	17.78	59.41	10.15
	II	2.19	7.40	18.24	53.19	18.97
	III	6.01	11.39	19.50	50.92	12.18
	IV	6.32	9.74	22.69	56.81	4.45
	V	37.96	29.38	21.55	11.08	0.03

第 II 级地表高程发生了 100% 的转移, 且全部为正向转移, 其中 98.06% 的转移为第 IV 级; 而第

IV级转移量最少，只有 33.60% 高程发生了转移，其中 25.13% 发生负向转移。第 V 级高程也发生了 93.39% 的负向转移，但只有 14.92% 转为了负数，说明虽然发生侵蚀，但是侵蚀程度轻微。在细沟侵蚀阶段也有 0.79% 的高程转为了第 I 级，这部分面积的高程发生了严重侵蚀，但是所占的面积不大。从片蚀到细沟间侵蚀阶段共有 279.2% 面积的土壤转入第 IV 级。

在雨强 1.72 mm min^{-1} 条件下，第 IV 级高程转移量最少，只有 43.19% 的高程发生了转移，且有 38.74% 为负向转移。第 V 级转移量最大，达 99.97%，且全部为负向转移，67.34% 转移至第 I 级和第 II 级，说明这部分区域地表的土壤侵蚀严重。第 III 级有 63.10% 的高程发生了正向转移，17.40% 的高程发生了负向转移。第 I 级在片蚀阶段有 96.16% 发生正向转出，但是在细沟间侵蚀阶段有 52.48% 的高程转入，在细沟间侵蚀阶段共有 231.4% 面积的土壤转移至第 IV 级。总体而言，处于第 I 级的高程值有所降低，表明区域土壤发生堆积。

上述分析表明，从片蚀到细沟间侵蚀阶段，在不同的管理措施和降雨条件下均表现为第 III 级地表高程转移量最少，且有大部分的其他等级的高程转入第 III 级或第 IV 级，说明这两个侵蚀阶段在 0~0.01 m 和 0.01~0.03 m 区域最易发生土壤堆积。造成这一结果的主要原因可能是雨滴对于地表的作用本来就是一个削平填洼的过程，在降雨之后地表的起伏相对降雨之前有所减小，微地形起伏程度较小，地表高程趋向于一个中间值，呈现较为平整的表面，而第 III 级和第 IV 级高程恰好处于这个中间值。因此，在第 III 级和第 IV 级高程的地表易于发生堆积。可见，实施不同管理措施的坡耕地，地表微地形起伏与不同侵蚀阶段的侵蚀状况存在一定的相互作用。

3 结论与讨论

1) 耙耱地管理措施坡面，在雨强 0.75 mm min^{-1} 条件下，各侵蚀阶段第 I 级、第 II 级的高程转移量最大；片蚀到细沟间侵蚀阶段大部分的区域地表微地形起伏升高，小部分区域微地形起伏程度降低。在雨强 1.72 mm min^{-1} 条件下，第 II 级高程转移量最大，地表微地形起伏有所升高；第 III 级高程的转移量最少，且为正向转移；片蚀到细沟间侵蚀阶段很少区域的地表微地形起伏明显降低，大部分区域的地表微地形起伏既有升高，也有降低。

2) 等高耕作管理措施坡面，在雨强 0.75 mm min^{-1} 条件下，第 V 级的高程转移量最大，从片蚀到细沟间侵蚀阶段，大部分的高程均转移为第 III 级，地表微地形起伏程度有所增加。在雨强 1.72 mm min^{-1} 条件下，地表高程的变化仍表现为第 III 级转移量最少，第 I 级转移量最多，且全部为正向转移，总体而言，地表微地形起伏升高和降低的区域分布面积相差不大。

3) 人工锄耕管理措施坡面，在雨强 0.75 mm min^{-1} 条件下，第 V 级的高程在细沟间侵蚀阶段全部发生负向转移，第 III 级的高程则大部分转移至第 IV 级，为正向转移，地表微地形起伏在部分区域升高，部分区域有所降低。在雨强 1.72 mm min^{-1} 条件下，第 III 级高程发生转移量最少，且大部分区域为负向转移；在片蚀阶段无第 I 级的高程，而在细沟侵蚀阶段有极少部分的高程转入第 I 级，说明大部分区域地表微地形起伏降低幅度明显。

4) 人工掏挖管理措施坡面上, 在雨强 0.75 mm min^{-1} 条件下, 第 II 级地表高程转移量最多, 且全部为正向转移, 而第 IV 级转移量最少, 第 V 级也发生了大部分负向转移。在雨强 1.72 mm min^{-1} 条件下, 第 IV 级高程转移量最少, 第 V 级转移量最大, 且全部为负向转移。第 III 级也有大部分的高程为正向转移, 第 I 级的高程在片蚀阶段几乎全部为正向转移。

上述研究中可以看出, 对于坡耕地而言, 不同的管理措施不仅可改变地表微地形起伏状况, 对土壤侵蚀的作用有所不同, 且两者间也存在着一定的互动作用, 这一结果为进一步揭示黄土区坡耕地水土流失机理、坡耕地水土流失的治理和退耕还林(草)的实施, 提供了一定的参考依据。

参 考 文 献

- [1] Kruipers H.A relief-meter for soil cultivation studies. *Neth J Agric Sci*,1957,5:255-262
- [2] Renard K G,Forster G R. *Soil conservation: Principle of erosion by water*.Oxford:Perfam on Press,1983
- [3] Romkens M J M,Wang J Y.The effect of tillage on surface roughness.*Am Soc Agric Eng*, 1984,84:2 026-2 042
- [4] Burwell R E,Larson W E.Infiltration as influenced by tillage-induced random roughness and pore space.*Soil Sci Soc Am Proc*,1969,33:449-452
- [5] Johnson C B,Mannering J V,Moldenhauer W C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses.*Soil Sci Soc Am J*,1979,43:772-777
- [6] Lyles L,Woodruff N P.Surface soil cloddiness in relation to soil density at time of tillage.*Soil Sci*,1961,91:178-182
- [7] Allmaras R R,Burwell R E,Holt R F.Plough-layer porosity and surface roughness tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time.*Soil Sci Soc Am Proc*,1967,31: 550-556
- [8] Onstad C A.Depressional storage on tilled soil surfaces.*Trans Am Soc Agric Eng*,1984,27: 729-732
- [9] Romkens M J M,Wang J Y.Effect of tillage on surface roughness.*Trans Am Soc Agric Eng*,1986,29: 429-433
- [10] Dexter A R.Effect of rainfall on the surface micro-relief of tilled soil.*J Terramech*,1977,14: 11-22
- [11] 郑子成,何淑勤,吴发启.坡耕地地表糙度的初探.西北林学院学报,2004,19(1):39-41. Zheng Z C,He S Q,Wu F Q.An inquisition into surface roughness on slope farmland (In Chinese). *Journal of Northwest Forestry University*, 2004,19(1):39-41
- [12] 郑子成,吴发启,何淑勤,等.地表糙度对径流和产沙影响的室内试验研究.农业工程学报,2007,23(10):19-24. Zheng Z C, Wu F Q,He S Q,et al. Effects of soil surface roughness on runoff and sediment discharges with laboratory experiments (In Chinese). *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(10):19-24
- [13] Huang C H,Gascuel O C,Craas-Cayot S.Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion. *Catena*, 2001,46:177-188
- [14] Linden D K,van Doren D M.Parameter for characterizing tillage-induced soil surface roughness.*Soil Sci Soc Am J*,1986,50(6):1 561-1 565
- [15] Darboux F,Dary P,Gascuel O C,et al.Evolution of soil surface roughness and flow path connectivity in overland flow experiments.*Catena*,2001,46:125-139
- [16] Olivier P,Michel E,Norbert S,et al. Microrelief induced by tillage:Measurement and modeling of surface storage capacity.*Catena*,2001,46:141-157
- [17] Gilley J E,Finker S C.Hydraulic roughness coefficients as affected by random roughness.*Trans Am Soc Agric Eng*,1991,34 (3):897-903
- [18] Kamphorst E C,Jetenet L. Predicting depression storage from soil surface roughness.*Soil Sci Soc Am J*, 2000, 64:1 749-1 758

- [19] Cogo N P, Moldenhaver W C, Foster G R. Effect of crop residue, tillage-induced roughness and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci Soc Am J*, 1983, 47:1 005-1 008
- [20] Ingrid T, Gerard G, Victor J, et al. Effects of tillage on runoff and erosion patterns. *Soil and Tillage*, 2001, 65:55-60
- [21] Bertuzzi R, Rouws G, Courault D. Testing roughness indices to estimate soil surface roughness changes due to simulated rainfall. *Soil Tillage Res*, 1990, 17:87-99
- [22] Lorenzo B. Segmentation of soil roughness profiles. *Earth Surface Process and Landforms*, 1999, 24:71-90

Change in Surface Micro-relief during the Course of Sheet Erosion and Inter-rill Erosion

Zheng Zicheng^{1,2,3†} Wu Faqi³ He Shuqin⁴ Lai La¹

(1 *College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China*)

(2 *State key laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

(3 *College of Resources and Environment, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

(4 *College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China*)

Abstract A study was carried out using the method of indoor simulated rainfall combined with geostatistical analysis to investigate characteristics of the change in surface micro-relief under four different kinds of management during the course of sheet erosion and inter-rill erosion. Results show that under the effect of rainfall, regardless of intensity, the surface micro-reliefs of slopelands, regardless of management pattern, all demonstrated a certain extent of irregularity and inter-grade transfer in elevation in the process of sheet erosion and inter-rill erosion. Grade I and Grade II were dominated with moving-out, and only a little was transferred back into Grade I and Grade II even after the inter-rill erosion phase. Little elevation of the surface micro-relief of Grade III moved out, but instead, most of the elevations of other grades moved into Grade III, suggesting that in the regions between 0~0.01 m and 0.01~0.03 m deposition of silts occurs readily during the process of sheet erosion and inter-rill erosion.

Key words Micro-relief; Management measures; Change characteristics; Sheet erosion; Inter-rill erosion