

# 台风“利奇马”暴雨引发的土壤侵蚀调查研究

## ——以山东省临朐县为例

从辰宇<sup>1</sup>, 韩剑桥<sup>1,2</sup>, 焦菊英<sup>1,2</sup>, 冯伟<sup>3</sup>, 马春玲<sup>1</sup>,  
谢梦霞<sup>1</sup>, 刘元昊<sup>1</sup>, 黑哲<sup>2,4</sup>, 戈文艳<sup>1,2</sup>, 李连胜<sup>5</sup>, 王国振<sup>2,3</sup>, 王飞<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 水利部 水土保持监测中心, 北京 100000; 4. 中国科学院大学, 北京 100000; 5. 潍坊市水文局, 山东 潍坊 261000)

**摘要:** [目的] 实地调查极端降雨事件下的土壤侵蚀特征, 探寻水土流失治理中存在的问题, 为人类应对极端天气灾害提供科学依据。[方法] 以受 2019 年 8 月 9 号台风“利奇马”暴雨影响较大的山东省临朐县为调查区域, 采用资料分析与野外调查相结合的方法, 分析曾家沟、耿家沟典型小流域的坡面侵蚀、道路侵蚀及弥河上游各级河道的冲淤情况。[结果] “利奇马”台风过境期间, 暴雨中心的雨量站降雨量达到 50 a 一遇标准; 林草地、撂荒地基本无细沟侵蚀发生, 坡耕地细沟侵蚀模数为 4 560~19 500 t/km<sup>2</sup>, 梯田田面上细沟集中于承接上方汇水的位置; 受植被保护或石坎梯田的田坎完好, 而其他类型田坎滑塌严重。调查样地滑塌侵蚀模数 301~36 321 t/km<sup>2</sup>, 田坎滑塌最为严重; 河岸尤其是弯顶处冲刷严重, 河道回流区、两河交汇处、拦河坝以及桥梁上游等淤积量较大。[结论] 小流域的水土保持措施可减少暴雨造成的土壤侵蚀量。建议针对不同部位和利用类型的土地设计修建适宜的蓄排水和保土措施, 并加强对农民的水土保持型农艺培训, 提升极端暴雨下的水土流失防灾减灾能力。

**关键词:** “利奇马”台风; 暴雨; 山东省临朐县; 土壤侵蚀; 水土保持措施

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)05-0337-08

中图分类号: S157

**文献参数:** 从辰宇, 韩剑桥, 焦菊英, 等. 台风“利奇马”暴雨引发的土壤侵蚀调查研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 337-344. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 05. 047; Cong Chenyu, Han Jianqiao, Jiao Juying, et al. Investigation on soil erosion from Typhoon Lekima rainstorm [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 337-344.

## Investigation on Soil Erosion from Typhoon Lekima Rainstorm —A Case Study in Linqu County, Shandong Province

Cong Chenyu<sup>1</sup>, Han Jianqiao<sup>1,2</sup>, Jiao Juying<sup>1,2</sup>, Feng Wei<sup>3</sup>, Ma Chunling<sup>1</sup>, Xie Mengxia<sup>1</sup>,  
Liu Yuanhao<sup>1</sup>, Hei Zhe<sup>2,3</sup>, Ge Wenyan<sup>1,2</sup>, Li Liansheng<sup>5</sup>, Wang Guozhen<sup>2,3</sup>, Wang Fei<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Monitoring Center of Soil and Water Conservation, Ministry of Water Resources, Beijing 100055, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100000, China; 5. Weifang Hydrographic Bureau, Weifang, Shandong 261000, China)

**Abstract:** [Objective] We aimed to investigate the characteristics of soil erosion in extreme rainfall events to explore the problems related to soil erosion control, and provide the scientific basis for human beings to cope

收稿日期: 2019-09-20

修回日期: 2019-10-01

**资助项目:** 国家重点研发课题“生态治理与生态文明建设生态技术筛选、配置与试验示范”(2016YFC0503705); 国家自然科学基金面上项目“次降雨特征与植被变化对半干旱黄土区土壤水分补充的协同影响”(41771558); 国家自然科学基金青年项目“黄土坡面细沟演化的有效侵蚀力解析及作用机制研究”(41807067); 陕西省水利水保科技项目“秦巴山地坡面近自然水土保持关键技术集成与示范”(2017sbkj-01)

**第一作者:** 从辰宇(1995—), 男(汉族), 陕西省咸阳市杨陵区人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀。E-mail: 496956300@qq.com。

**通讯作者:** 王飞(1971—), 男(汉族), 陕西省西安市鄠邑区人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事水土保持环境效应评价与流域综合管理研究。E-mail: wafe@ms.iswc.ac.cn。

with extreme weather disasters. [Methods] Linqu County, Shandong Province, which was greatly affected by Typhoon Lekima on August 9, 2019, was chosen as the investigation area. By means of data analysis and field investigation, the slope erosion and road erosion characteristics of typical small watersheds in Zengjiagou and Gengjiagou were analyzed, as well as the scouring and silting of various river courses in the upper reaches of the Mihe River. [Results] During the crossing of Typhoon Lekima, the rainfall at the center of the rainstorm reached the 50-year recurrence interval. There was no rill erosion in the forest, grassland and abandoned farmlands, but this did occur in the sloped farmland. The erosion modulus was  $4\ 560\sim 19\ 500\ \text{t}/\text{km}^2$ , and the rills on the terraced fields were concentrated in the position where the catchment above was carried out; the ridges of terraced fields protected by vegetation or stone ridges were intact, while the other types of ridges showed serious collapse. The landslide erosion modulus of the surveyed land was  $301\sim 36\ 321\ \text{t}/\text{km}^2$ , and the collapse of ridges was the most serious. The riverbanks, especially at the top of the bend, were severely scoured, and the sediment amount was larger in the river return area, the junction of the two rivers, the barrage, and upstream of the bridge. [Conclusion] Soil and water conservation measures in small watersheds can reduce the soil erosion caused by rainstorms. It is suggested to design and construct suitable water storage and drainage, as well as soil conservation measures for different areas and used land. It may also be helpful to strengthen farmers' agronomic training of soil and water conservation, which could have positive effects on preventing soil erosion disasters caused by heavy rain.

**Keywords:** Typhoon Lekima; heavy rain; Linqu County, Shandong Province; soil erosion; soil and water conservation measures

在全球气候变化背景下,极端天气可能频繁出现。如何应对极端暴雨条件下的土壤侵蚀灾害是中国乃至世界未来长期时间内需要面对的新问题<sup>[1]</sup>。实地调查极端暴雨影响下的土壤侵蚀特征及其原因,探寻水土保持在应对极端天气中存在的问题,对减轻极端暴雨条件下的土壤侵蚀灾害具有重要意义。

受 2019 年 8 月 9 号台风“利奇马”和冷空气的共同影响,山东省遭受了极端暴雨灾害。从 8 月 11 日 20 时至 12 日 16 时,潍坊市临朐县降水量 385.4 mm,昌乐县降水量 380.1 mm,青州县降水量 351.9 mm,广饶县降水量 343.9 mm,以及临淄、淄川、博山县等地均突破了当地单日降水极值纪录<sup>[2]</sup>。特大暴雨对该地区的农业、交通、基础设施等造成了重大损失,截至 8 月 14 日 10 时,“利奇马”台风共导致山东省  $5.03\times 10^6$  人受灾,  $4.13\times 10^5$  人紧急转移安置, 8 000 余人需紧急生活救助; 6 700 余间房屋倒塌,  $1.60\times 10^5$  间房屋不同程度损坏; 农作物受灾面积  $6.43\times 10^5\ \text{hm}^2$ , 其中绝收  $4.95\times 10^4\ \text{hm}^2$ ; 直接经济损失  $9.01\times 10^9$  元<sup>[3]</sup>。位于暴雨中心的临朐县灾害更为严重,其农地、道路土壤侵蚀剧烈。“利奇马”台风暴雨为研究极端暴雨下的土壤侵蚀灾害提供了一个典型案例。为此,本文选取暴雨中心附近的临朐县曾家沟与耿家沟为代表性流域,于 2019 年 8 月 15—22 日进行了土壤侵蚀调查,旨在分析极端暴雨下的土壤侵蚀特征及水土流失治理中存在的问题,为极端

暴雨下土壤侵蚀灾害的防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区临朐县隶属山东省潍坊市(北纬  $36^{\circ}04'$ — $36^{\circ}37'$ ,东经  $118^{\circ}14'$ — $118^{\circ}49'$ ),位于山东半岛中部,沂山北麓,属典型的北方丘陵轻度侵蚀区,暖温带亚湿润大陆性季风气候,多年平均降水量 592 mm。临朐县总面积  $1\ 831\ \text{km}^2$ ,辖 8 个镇,2 个街道;2018 年总人口  $9.26\times 10^5$  人。弥河由南向北穿临朐县境而过,境内流域面积  $1\ 438\ \text{km}^2$ ,占临朐县总面积的 78.5%<sup>[4]</sup>。“利奇马”台风暴雨在弥河流域汇集,导致弥河干流洪水峰高量大,造成下游寿光市堤防决堤,导致了严重的洪水灾害。

治理程度较低的曾家沟和治理程度较高的耿家沟小流域,地处弥河上游,位于暴雨中心附近,受降雨影响最大,对于土壤侵蚀研究极具代表性(图 1)。该区域内沟道纵横,比降大,沟壑密度  $1.7\ \text{km}/\text{km}^2$ ,沟壑面积占总面积的 1.61%,流域内土壤类型主要是棕壤和棕壤性土。该流域成土母质为花岗片麻岩,土层厚度一般 50 cm 左右,层次不明显,含砾石较多,下部为半风化的母岩<sup>[5]</sup>。土壤空隙度大,透水透气性好,有机质含量低,酸碱性由中性到微碱性,土壤胶结力弱,易被雨水冲刷,造成水土流失。同时由于受地形、地质、地貌等自然条件的影响,加之人为不合理的开发利用,水土流失现象时有发生。

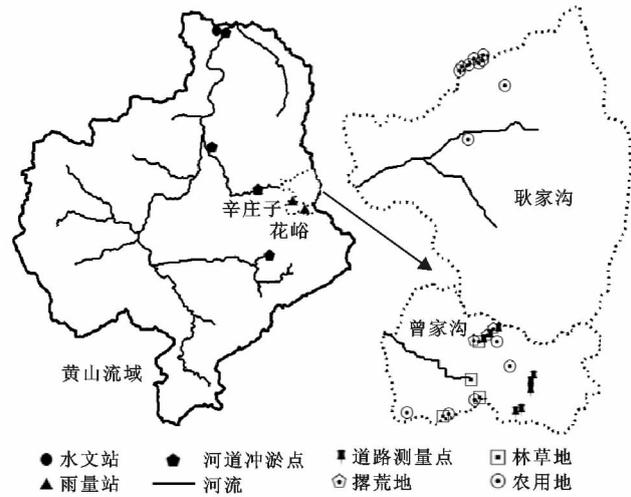


图 1 研究区雨量站位置及调查样点土地利用类型

## 2 数据来源与研究方法

(1) 降雨资料。由山东省潍坊市水利局收集了曾家沟、花峪与辛庄子雨量站在 2019 年“利奇马”台风过境期间的降雨资料,以及辛庄子雨量站 1976—2017 年的 24 h 最大降雨量。雨量站位置如图 1 所示。通过

2019 年的降雨资料,分析该次暴雨的降雨过程,并根据有资料的辛庄子雨量站,采用皮尔逊 III 型曲线计算该次暴雨中 24 h 最大降雨量的重现期<sup>[6]</sup>。

(2) 坡面侵蚀资料。通过布设样带/样方对两个小流域内坡面不同土地利用(梯田、林草地、撂荒地)及作物类型(山楂、苹果、板栗、玉米、花生等)的侵蚀情况进行调查与测量,并记录样方的经纬度、坡度、作物种类及其盖度。共调查了 20 个样地,其中撂荒地 4 个,农用地 13 个,林草地 3 个。样地位置如图 1 所示。对于每类土地利用的样地,布设长度为 10 m 的断面,由坡上一直测到坡下<sup>[7]</sup>。若是连续的梯田阶群,对于田坎上的细沟或滑塌也进行测量,样地的分布及具体情况见表 1。对于比较小的坡地,选择了 2 m×2 m 的小样方(个别小田块采用 1 m×1 m 进行测量,表 1 中的样地 A<sub>16-18</sub>)。对于样地的每条细沟,每隔 0.2 m 测量一个断面,由坡上到坡下依次量取各断面内的宽度和深度;对于田坎上的滑塌或切沟,根据坡长、坡度以及测量的难易程度测量 3~5 个断面不等。结合无人机影像统计的小流域内不同类型农地的面积,采用容积法计算侵蚀量和侵蚀模数<sup>[8]</sup>。容重根据文献<sup>[9]</sup>取 1.36 g/cm<sup>3</sup>。

表 1 台风“利奇马”暴雨的土壤侵蚀调查样地布设情况

样地类型	样地编号	所属流域	类型	作物/主要物种	植被盖度/%	坡度/(°)	侵蚀情况
撂荒地	A <sub>1</sub>	耿家沟	梯田	马唐、小蓬草等	70~80(第一阶) 30~40(第二阶) 25(第三阶)	—	无细沟侵蚀
	A <sub>2</sub>	曾家沟	梯田	马唐、蓼等	60(第四阶)	—	田面无细沟侵蚀田坎有 1 处滑塌
	A <sub>3</sub>	曾家沟	梯田	茵陈蒿、小蓬草等	60~80	—	无细沟侵蚀
	A <sub>4</sub>	曾家沟	梯田	小蓬草、茵陈蒿等	60~80	—	无细沟侵蚀
农用地	A <sub>5</sub>	耿家沟	梯田	苹果	50(使用除草剂,枯草覆盖)	—	田面有细沟,下部发展为切沟,下部田坎有滑塌,全部测量
	A <sub>6</sub>	耿家沟	坡耕地	花生(覆膜)	50	9~18	田边有细沟,测量 1/3
	A <sub>7</sub>	耿家沟	梯田	花生(覆膜)	45	—	田面有细沟,田坎有滑塌,全部测量
	A <sub>8</sub>	耿家沟	梯田	山楂	25	—	田面有细沟,田坎有滑塌,全部测量
	A <sub>9</sub>	耿家沟	坡耕地	玉米	50	—	田面、田坎(低)具有细沟,测量 10m 断面
	A <sub>10</sub>	耿家沟	梯田	丹参、红薯	40	—	田面有细沟,田坎有滑塌,全部测量,坡改梯工程
	A <sub>11</sub>	曾家沟	梯田	山楂	30	—	田面有细沟,田坎有滑塌,全部测量
	A <sub>12</sub>	曾家沟	梯田	玉米	40	—	田面有细沟,田坎有滑塌,测量 10 m 断面
	A <sub>13</sub>	曾家沟	梯田	花生	35	—	田面有细沟,田坎有滑塌
	A <sub>14</sub>	曾家沟	梯田	花生	35	—	田面有细沟,田坎有滑塌
	A <sub>15</sub>	曾家沟	坡耕地	玉米	40	13~15	有细沟,田坎有滑塌,测量 3 个 2 m×2 m 样方
	A <sub>16</sub>	曾家沟	坡耕地	玉米	30	2~10	有细沟,测量 3 个 2 m×2 m 样方
	A <sub>17</sub>	曾家沟	坡耕地	玉米	25	30	有细沟,测量 3 个 1 m×1 m 样方
林草地	A <sub>18</sub>	耿家沟	—	杨树	90	—	无细沟
	A <sub>19</sub>	耿家沟	—	刺槐	35	—	无细沟
	A <sub>20</sub>	曾家沟	—	刺槐	30	—	无细沟

道路侵蚀采用抽样调查的方法,调查区域以曾家沟为主,选择了两条生产道路,以 20 m 为单位长度测

量沟蚀的规模,每间隔 0.5 m 测量一个断面。第一条道路分为了 4 个路段,第二条道路分为了 3 个单位进

行测量,并在奥维地图定位。在侵蚀模数计算时,路面土壤容重采取  $1.7 \text{ g/cm}^3$ ,测量区段道路的面积是利用奥维地图勾画出测量区边界获得,以此计算侵蚀模数。

对于河道冲淤,针对弥河黄山水文站控制区域的河床冲变化情况,共布置样点 4 个。采用现场测量和无人机拍摄相结合调查方法开展调查,采用植物根茎或水泥面定位该次暴雨的淤积厚度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 “利奇马”台风暴雨过程

图 2 为曾家沟、花峪、辛庄子水文站在该次暴雨期间(20190810—20190813)的暴雨过程线。暴雨开始于 20190810 上午 9:00 左右,持续将近 48 h,直至 20190812 日上午 8:00 才基本停止。其中曾家沟为暴雨中心,瞬时最大雨强为  $240 \text{ mm/h}$ ,24 h 最大降雨量为  $450 \text{ mm}$ ,累积降雨量达到  $576 \text{ mm}$ 。花峪与辛庄子累积降雨量分别为  $552 \text{ mm}$  和  $502 \text{ mm}$ ,低于暴雨中心曾家沟。辛庄子雨量站 24 h 最大降雨量为  $405 \text{ mm}$ ,根据皮尔逊 III 型曲线计算频率,重现期达到了 50 a—遇(图 3)。

#### 3.2 坡面侵蚀特征

3.2.1 不同土地利用类型的细沟侵蚀特征 对于撂荒地与林草地,由于土壤扰动小,植被覆盖良好,能很好抵御该次暴雨侵蚀,无细沟侵蚀发生。如耿家沟杨树林坡面的覆盖度达到 90%,撂荒地的植被覆盖度

25%~80%不等,并有一定的生物结皮,基本没有细沟侵蚀(图 4);在曾家沟选取的 4 阶撂荒梯田及其他两处撂荒梯田,田面在该次暴雨下均没有产生细沟侵蚀(图 5)。

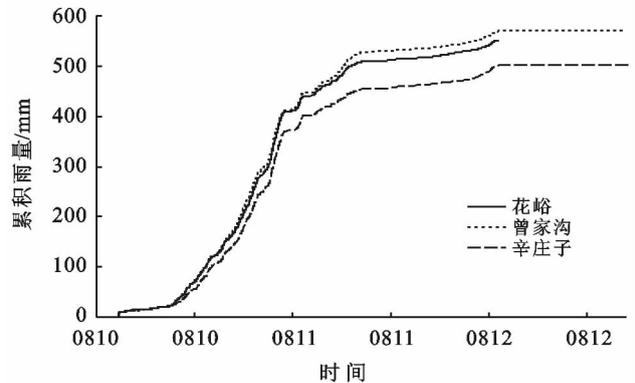


图 2 20190810—20190813 曾家沟、花峪与辛庄子雨量站累积降雨量过程

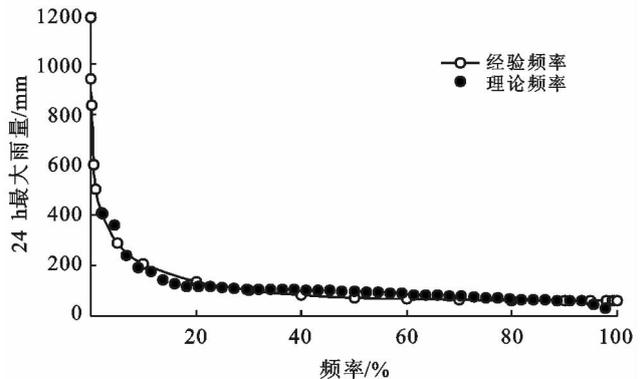


图 3 辛庄子雨量站 24 h 最大降雨量频率曲线



图 4 耿家沟的杨树林(左,马春玲摄于 20190819)和梯田撂荒地(右,焦菊英摄于 20190819)

选取的 13 块不同类型的农地在该次暴雨下田面细沟侵蚀的情况如表 2 所示。调查小流域坡耕地比例很小,以 3~5 m 宽的梯田为主,且坡耕地坡长较短、梯田田面较窄。5 块坡耕地有细沟发育,平均长度变化在 1.1~2.8 m,平均宽度 0.2~0.3 m,平均深度 0.05~

0.09 m,细沟侵蚀模数  $4\ 560\sim 19\ 500 \text{ t/km}^2$ 。细沟发育与坡耕地的位置密切相关,样地  $A_6, A_9, A_{16}$  在坡顶,坡度小,汇水面积也小,细沟侵蚀模数分别为  $6\ 200, 4\ 560$  和  $7\ 000 \text{ t/km}^2$ ;而坡度大,上方有一定汇水面积的玉米地细沟侵蚀模数接近  $20\ 000 \text{ t/km}^2$ (图 6)。

表 2 台风“利奇马”暴雨引起的不同地类农地细沟侵蚀特征参数

整地类型	样地序号	作物类型	细沟数量/条	平均长度/m	平均宽度/m	平均深度/m	宽深比	最大长度/m	最大宽度/m	最大深度/m	样地面积/m <sup>2</sup>	侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> )
梯田	A <sub>5</sub>	苹果	2	18.19	1.106	0.3	3.682	24.38	1.225	0.326	3 228	4 806
	A <sub>7</sub>	花生(覆膜)	5	5.94	0.494	0.211	2.335	14	0.765	0.326	3 837	1 600
	A <sub>8</sub>	山楂	1	3	0.863	0.367	2.353	3	0.863	0.366 7	1 980	652
	A <sub>10</sub>	丹参、红薯	4	2.625	0.5	0.107	4.693	3.7	0.6025	0.157 5	2 650	266
	A <sub>11</sub>	山楂	29	2.311	0.455	0.12	3.795	5.5	2.101	0.207 5	3 622	1 418
	A <sub>12</sub>	玉米	0	—	—	—	—	—	—	—	1 123	—
	A <sub>13</sub>	花生	0	—	—	—	—	—	—	—	3 364	—
	A <sub>14</sub>	花生	0	—	—	—	—	—	—	—	1 178	—
坡耕地	A <sub>6</sub>	花生(覆膜)	7	2.429	0.221	0.055	4.018	4.5	0.375	0.067	920	6 200
	A <sub>9</sub>	玉米	12	2.78	0.221	0.071	3.105	5.2	0.522	0.125	2 180	4 560
	A <sub>15</sub>	玉米	4	2.313	0.191	0.047	4.063	2.92	0.251	0.079	4	7 000
	A <sub>16</sub>	玉米	4	2.175	0.308	0.086	3.565	2.3	0.413	0.083	4	19 500
	A <sub>17</sub>	玉米	2	1.065	0.212	0.065	3.255	1.1	0.216	0.066	1	19 000



图 5 曾家沟撂荒地(焦菊英摄于 20190818)



图 6 坡耕地玉米地的细沟侵蚀(焦菊英摄于 20190818)

而对于梯田,大多数情况下坡面没有细沟发生,一般是在承接上方汇水的田面会产生细沟。例如 A<sub>5</sub> 样地,是一片苹果园,包括 5~6 阶梯田和坡面冲沟地段,二者相连一起,梯田部分有使用除草剂后的枯草覆盖,田面没有细沟发生;而在凹形坡面承接上方道路部汇水的部位,细沟长度可达 24.38 m,甚至在下方发育成切沟(图 7),整块苹果园的细沟侵蚀模数为 4 806 t/km<sup>2</sup>。

A<sub>7</sub> 样地为 10 阶梯田花生,在第 4 阶以下由于汇水造成田面细沟发生,在第 5 阶以下的地边发育有切沟,田坎滑塌严重(图 8),样地细沟侵蚀模数为 1 600 t/km<sup>2</sup>。A<sub>8</sub> 样地为 8 阶的山楂园,由于上方汇水面积大并有滑坡发生,上方汇水造成田面和树盘边有细沟发生(图 9),样地细沟侵蚀模数为 1 418 t/km<sup>2</sup>。



图 7 苹果园地侵蚀(焦菊英摄于 20190819)



图 8 梯田花生地侵蚀(焦菊英摄于 20190819)

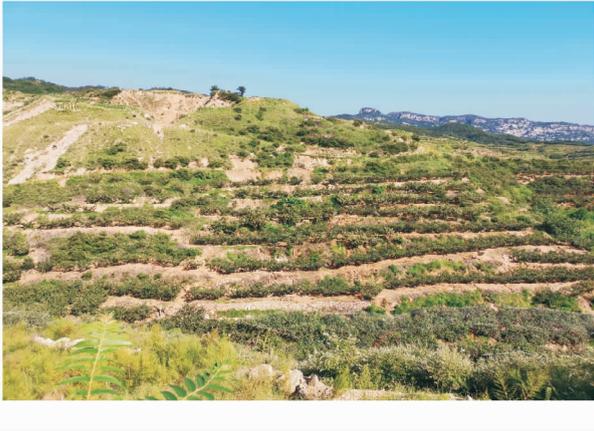


图 9 梯田山楂地侵蚀(焦菊英摄于 20190817)

3.2.2 不同土地利用类型的田坎滑塌特征 在该次暴雨中,梯田田坎滑塌严重(图 10)。调查样地滑塌的平均长度 1.1~5.6 m,平均宽度 0.7~6.4 m,平均



图 10 曾家沟(左)和耿家沟(右)的田坎滑塌(焦菊英摄于 20190818)

表 3 台风“利奇马”暴雨引起的不同地类农地的田坎滑塌侵蚀特征

样地序号	作物类型	滑塌数量/条	平均长度/m	平均宽度/m	平均深度/m	宽深比	最大长度/m	最大宽度/m	最大深度/m	样地面积/m <sup>2</sup>	侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> )
A <sub>5</sub>	苹果	3	3.433	1.520	0.218	6.974	4.8	2.488	0.288	3 228	1 066
A <sub>7</sub>	花生(覆膜)	3	5.6	0.702	0.266	2.636	10	0.903	0.273	3 837	1 126
A <sub>8</sub>	山楂	3	2.933	1.411	0.235	5.997	3.7	2.077 5	0.272 5	1 980	2 327
A <sub>10</sub>	丹参、红薯	1	1.1	1.52	0.325	4.677	1.1	1.52	0.325	2 650	301
A <sub>11</sub>	山楂	15	4.119	1.14	0.424	2.688	8.9	4.1	1.067	3 622	10 705
A <sub>12</sub>	玉米	2	4.15	3.72	0.445	8.352	5.3	4.1	0.629	1 123	12 229
A <sub>13</sub>	花生	1	2.25	6.4	0.183	34.973	2.25	6.4	0.183	3 364	3 101
A <sub>14</sub>	花生	3	4.34	5.367	0.449	11.953	4.6	6.9	0.533	1 178	36 321

### 3.3 道路侵蚀

表 4 统计了曾家沟小流域生产道路侵蚀情况。曾家沟的生产道路主要分布在耕地和园地中间,多为土石路面,基本无路边沟等排水措施。暴雨过程中道路充当了坡面的排水通道,侵蚀严重,甚至基岩出露(附图 31c)。测量区域内道路平均侵蚀宽度为

厚度 0.2~0.5 m,样地田坎侵蚀模数在 301~36 321 t/km<sup>2</sup>(表 3)。

田坎滑塌最轻的是 A<sub>10</sub> 样地,上面 7 阶梯田种植丹参,下面两阶梯田种植红薯,该梯田群为坡改梯工程,整地质量比较高,仅有 1 处滑塌。花生地均为覆膜种植,地膜在地面形成一个不透水层,雨水的入渗量有限,大多随地形走势在地面汇集形成股流,造成田坎滑塌严重(图 11),最大的侵蚀宽度大 6.9 m。A<sub>11</sub> 的山楂与 A<sub>12</sub> 的玉米样地的田坎滑塌也很严重(附图 31a,31b),滑塌侵蚀模数达 10 000~12 000 t/km<sup>2</sup>。

对于撂荒梯田,田坎基本上完好,只是在曾家沟选取的 4 阶撂荒梯田中仅有一阶梯田的田坎发生 1 处滑塌(长 4.7 m,宽 1.4 m,厚 0.353 m)堆积在下一阶田面。

3.05 m,平均侵蚀深度为 0.655 m,平均侵蚀模数为 28 391.29 t/km<sup>2</sup>,其中最大的侵蚀模数为 71 490 t/km<sup>2</sup>,最小的侵蚀模数为 4 816 t/km<sup>2</sup>。承接上方汇水较多的部位,有切沟形成。在耿家沟小流域内排水措施较为完备的区域,降雨和耕地里面的雨水会随着排水沟流走,道路侵蚀轻微(附图 31d)。



图 11 花生地的田坎滑塌 (谢梦霞摄于 20190819)

表 4 台风“利奇马”暴雨引起的曾家沟道路侵蚀参数统计结果

道路编号	侵蚀长度/m	侵蚀宽度/m	侵蚀深度/m	坡度/ (°)	土壤侵蚀模数/ (t · km <sup>-2</sup> )
1	20	0.45	1.15	8	71 490
2	5.9	3.45	1.325	3	10 457
3	4	4.4	0.363	3	22 543
4	5	6.4	0.66	4	13 000
5	20	0.56	0.284	5	17 633
6	20	0.934	0.466	2	4 816
7	20	1.494	0.334	7	58 800
8	11.43	3.1	0.6	3	36 141

在进入曾家沟村的硬化路面,虽外表结构完整并无塌陷损毁。但因紧邻沟道,在沟内暴涨水流的掏蚀下,部分道路的路基被冲毁,其中最严重冲毁路基被冲出一个长 11 m,深 1.07 m,高 0.85 m 的凹穴,调查期间车辆已不能通过(图 12)。耿家沟临河水泥路路基采用浆砌石守护,基本无路基掏蚀现象发生。

因此,道路侵蚀展现了路面汇流侵蚀与路基掏蚀两种形式,而有坡面排水措施与路基守护的道路侵蚀强度较弱。



图 12 暴雨后被掏刷的水泥路路基 (戈文艳摄于 20190819)

### 3.4 河道冲淤

从调查结果来看,河道岸坡崩塌剧烈。因在弯顶处滩槽高程较大,且处于洪水顶冲位置,崩塌更为剧烈,符合河床演变的一般规律(如图 13,附图 31e, 31f)。对比发现,实施了护岸工程等险工的部位,基本无崩塌。



图 13 暴雨后弥河岸坡冲刷情况 (韩剑桥摄于 20190820)

河道回流区、两河交汇、拦河坝以及桥梁上游等淤积量较大。在河道凸岸回流区内,滩体淤积明显。如黄山水文站下游右岸的玉米地淤积深度达 10.0 cm 左右(表 5)。两河交汇区域,由于洪水水流相互顶托,比降减小,汇流区域有淤积,如辛庄观测站河道淤积 8.0~32.0 cm。拦河坝淤积较严重,淤积面基本与坝体高度平齐(如附图 31g 所示)。桥梁上游由于阻水作用,有泥沙淤积产生(如附图 31h 所示)。

表 5 台风“利奇马”暴雨引起的主要河滩地的冲淤情况

编号	河滩地位置	部位特征	淤积厚度/cm
1	黄山水文站玉米地	回流区	11.53
	玉米地下方的滩地	回流区	10.0
	石头前方的滩地	回流区	11.8
2	两河交汇处堤坝	交汇区	17.8
	右岸玉米地	交汇区	10.3
3	左岸滩地	交汇区	11.8
	龙湾河中游	交汇区	13.5
4	辛庄卡口站河道	交汇区	32.0
	左岸玉米地	交汇区	14.7
	右岸退耕地	交汇区	8.0

## 4 结论

(1) 关于坡面侵蚀。①林草措施具有抵御暴雨侵蚀的能力。台风“利奇马”暴雨中耿家沟与曾家沟的

撂荒地、林草地均未发生细沟侵蚀,而农地的沟蚀和田坎滑塌侵蚀严重。建议加强农地田坎植被的培育与保护。②覆膜农地田坎滑塌侵蚀尤为突出。台风“利奇马”暴雨中覆膜花生地比玉米地的田坎滑塌侵蚀更严重,农地覆膜虽然减少了田面侵蚀,但提高了田面集流效率,在排水不畅条件下,汇水造成田坎部位强烈的切沟和滑塌侵蚀。建议在雨季对覆膜进行清理并妥善处理。③排水措施完善的地方土壤侵蚀弱。台风“利奇马”暴雨中没有排水措施的 A<sub>11</sub> 山楂地的侵蚀模数是修建了截排水沟 A<sub>5</sub> 苹果地的 2 倍。建议针对不同部位和利用的土地设计并修建适宜的蓄排水措施,与流域形成相互连通蓄排水网络系统。④采用适宜农艺措施(如排水沟、方形树盘、使用除草剂保留枯草覆盖、石坎、植被田坎等)的农地,土壤侵蚀明显较弱。建议在配套基础蓄排水措施的同时,加强对农民的水土保持型农艺措施培训,平时注重田面、田坎、排水措施、道路等的维护与管理。⑤本次调查区在土石山区,土壤为粗骨土,台风“利奇马”暴雨中细颗粒随片蚀流失,砾石存留在土壤表面,加重了土壤的粗骨化。建议加强田面保护,修筑田埂并配置植物篱。

(2) 关于道路侵蚀。①无排水措施道路径流侵蚀严重。耿家沟修建有水泥排水沟的道路几乎完好无损。建议选择合适草灌植物种植在边坡,沿道路内测边坡设置排水沟以此来减弱坡面上方汇集雨水冲刷路面。②临河道路路基易受洪水掏蚀。建议在路基处修建护坡工程,防止水流对路基的直接掏蚀,减轻暴雨过程中对基础设施的损毁,保障防汛救灾工作的顺利开展。

(3) 关于河道冲淤。①暴雨洪水中,河道岸坡尤其弯顶处崩塌严重,易引发河势变化,导致堤防破坏,涉河建筑物运行困难等问题,建议增加河道险工数量,优化河道险工布局。②拦河坝、桥梁上游等涉河

工程上游及下游附近淤积严重,拦河坝上游淤积甚至高于坝顶高程,淤积影响河道行洪。建议优化建筑物结构,减低涉河建筑物壅水高度和回水范围,并提出有效的运行策略,提高河道防洪能力。③河流交汇处干支流相互顶托,造成泥沙沉积,影响河道行洪。建议修建工程设施引导两河水流,避免河道淤积削弱行洪能力。

**致谢:**本次考察由水利部水土保持监测中心组织并资助,谨此致谢!

#### [参 考 文 献]

- [1] 白先发. 极端暴雨条件下典型梯田侵蚀特征及防蚀效果[D]. 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 陕西 杨凌, 2015.
- [2] “利奇马”风雨综合强度为 1961 年以来最大已致 56 人死亡. 中国天气网[EB/OL]. [2019-08-14]. <http://www.weather.com.cn/>.
- [3] 台风“利奇马”致 530 余亿元直接经济损失. 新京报网[EB/OL]. [2019-08-15]. <http://www.bjnews.com.cn/news/2019/08/15/615677.html>.
- [4] 临朐旅游攻略[EB/OL]. [2013-12-2]. <https://baike.so.com/doc/648704-686627.html>.
- [5] 张立勇, 高鹏, 王成军, 等. 鲁中南药乡小流域林地土壤有机碳空间分布特征[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(3): 83-89.
- [6] 孙济良, 秦大庸. 水文频率分析通用模型研究[J]. 水利学报, 1989(4): 1-10.
- [7] 王楠, 陈一先, 白雷超, 等. 陕北子洲县“7·26”特大暴雨引发的小流域土壤侵蚀调查[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 338-344, III-IV.
- [8] 郑粉莉. 细沟侵蚀量测算方法的探讨[J]. 水土保持通报, 1989(04): 41-45, 49.
- [9] 张子雪, 杨吉华, 吕兰州, 等. 山东土石山区坡耕地水土流失影响因子定量分析[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 91-97.
- [20] 肖雨琳, 魏欣, 刘宝元, 等. 北京山区果园水平阶地措施的水土保持效益[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(6): 81-86.
- [21] 梁国付. 山区小流域景观生态特征与景观生态建设[J]. 平顶山师专学报, 2003, 18(5): 68-71.
- [22] 漆喜林, 王俊波, 李战刚, 等. 鱼鳞坑整地改善土壤水分状况与造林效果分析[J]. 防护林科技, 2014(4): 4-5, 16.
- [23] 余新晓. 关于平原区的水土保持问题[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 271-278.
- [24] 胡续礼. 淮河流域水土保持监测分区及其站点布局研究[D]. 山东 泰安: 山东农业大学, 2013.

(上接第 235 页)