

# 三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀研究:进展与方向\*

郑红丽, 韦杰, 陈国建, 李阳兵  
(重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047)

**摘要:**紫色土坡耕地是三峡库区粮食经济作物的主产载体,也是库区水土流失的主要源地和入库泥沙的主要来源。结合野外调查和相关报道,对三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀研究方法、侵蚀强度、泥沙颗粒形态以及侵蚀引起的养分流失等方面进行综述。结果表明,坡耕地土壤侵蚀研究方法主要包括径流小区法、人工模拟降雨法和侵蚀针法等直接观测方法和核素示踪、模型模拟和遥感监测等间接观测方法;库区紫色土坡耕地土壤侵蚀速率达 $3\ 464\sim 9\ 452\ \text{t}/\text{km}^2$ ,其中 $15^\circ\sim 25^\circ$ 坡度范围的土壤侵蚀最为严重,是今后坡耕地土壤流失防治的重点坡段;流失泥沙主要以 $<0.02\ \text{mm}$ 的团聚体和 $<0.002\ \text{mm}$ 的粘粒为主,其中粉粒( $0.002\sim 0.02\ \text{mm}$ )和粘粒( $<0.002\ \text{mm}$ )携带的养分流失较多;植物篱、垄作和坡改梯等措施理水效果明显,均对坡耕地侵蚀产沙具有较好的控制作用。今后应在模型方法、坝坎结构和功能、水土保持措施适宜性评价等方面拓展研究。

**关键词:**土壤侵蚀;水土保持;紫色土;坡耕地;三峡库区

**中图分类号:** S151.9

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-6693(2014)03-0042-07

紫色土由紫色砂岩、页岩风化而成,具有土层薄、水稳性差、抗蚀性弱等特点。三峡库区位于北纬 $29^\circ\sim 31^\circ 51'$ ,东经 $106^\circ 21'\sim 111^\circ 30'$ ,东起湖北宜昌,西至重庆江津<sup>[1]</sup>。区内耕地坡面长,其中紫色土坡耕地占三峡库区耕地面积的78%,是库区粮食经济作物的主产载体<sup>[2]</sup>,也是库区土壤流失的主要源地。研究表明,三峡库区紫色土坡耕地水土流失强烈,侵蚀模数达 $3\ 464\sim 9\ 452\ \text{t}/(\text{km}^2\cdot \text{a})$ <sup>[3]</sup>。库区年均土壤侵蚀量达1.5亿t,入库泥沙4 000多万t,其中60%以上来自于坡耕地<sup>[4]</sup>。三峡水库移民后靠、生态保护和基础设施建设势必会加重紫色土坡耕地负荷,控制紫色土坡耕地土壤侵蚀及其面源污染既是提高库区粮食生产能力的重要途径,也是保障三峡库区生态安全的必要环节。三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀已引起了社会各界的广泛关注,并取得了大量的研究成果,为区域水土保持生态环境建设积累了丰富的基础。本文选取了近15年来关于三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀的相关文献,并结合野外调查,着重对紫色土坡耕地土壤侵蚀的研究方法、侵蚀速率、泥沙颗粒形态以及侵蚀引起的养分流失等进行综述,并提出三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀的研究方向展望。

## 1 三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀研究方法

目前,坡耕地土壤侵蚀研究方法主要有径流小区观测法、人工模拟降雨法、侵蚀针法、核素示踪法、模型模拟预测法和遥感监测法。其中,径流小区法、人工模拟降雨法和侵蚀针法是直接观测方法,属于传统方法;核素示踪、模型模拟和遥感监测是间接观测方法,属于现代方法。这些方法各有优缺点(表1),适用时间尺度、空间尺度也有所差异。

径流小区观测法是目前采用最广泛的土壤侵蚀研究方法,既可用于自然降雨情况,也可与人工降雨模拟结合使用。常用的径流小区规格为 $5\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ , $3\ \text{m}\times 8\ \text{m}$ 坡度主要依据当地坡耕地典型坡度确定,常采用 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $25^\circ$ <sup>[5-7]</sup>;人工模拟降雨法是通过降雨器按照自然降雨的物理性能模拟降雨以研究坡耕地的土壤侵蚀。降雨器喷头分为垂直下喷式和侧喷式,相对于垂直下喷式模拟降雨喷头,侧喷式喷头所模拟的降雨雨强比较大,雨滴也较大,雨强变化范围 $20\sim 300\ \text{mm}/\text{h}$ ,降雨均匀度大于0.70,适合于做大雨滴的溅蚀实验。国内使用较多的降雨器有中科院双侧双喷模拟降雨机<sup>[4]</sup>、美国 SPRACO 旋转下喷式模拟降雨器<sup>[8]</sup>;侵蚀针法<sup>[9]</sup>是在坡面尺度

\* 收稿日期:2013-08-03 修回日期:2013-10-25 网络出版时间:2014-5-8 14:38

资助项目:国家自然科学基金(No. 41001168);国家科技支撑计划项目(No. 2011BAD31B03);重庆市自然科学基金(No. CSTC2010BB0326; No. cstc2013jcyjA80014);重庆师范大学教改项目(No. 201332)

作者简介:郑红丽,女,研究方向为水土保持效益评价, E-mail: zhl\_19880515@126.com;通讯作者:陈国建, E-mail: chengj@126.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140508.1438.009.html>

范围内布设一定密度的标桩或铁钎,通过测量降雨前后标桩高度变化来直接反应土壤侵蚀或沉积厚度,适用于资料缺乏地区小范围内的快速测定和估算。

核素示踪法由张信宝<sup>[10]</sup>在20世纪80年代末引入到国内土壤侵蚀研究,在缺乏观测资料的地区能较好地估算一定时段内土壤侵蚀状况。常用的示踪核素包括<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb、<sup>7</sup>Be,其中,<sup>137</sup>Cs示踪1963年以来的平均侵蚀模数,<sup>210</sup>Pb示踪过去88年以来的平均侵蚀模数,这2种核素测定的均是长时间尺度;<sup>7</sup>Be适用于短期的季节性或场次降雨侵蚀量的示踪;模型模拟预测法以试验观测资料和数理统计技术为基础建立的土壤侵蚀影响因素和土壤侵蚀强度之间关系的模型,并以此进行一定参数条件的模拟确定土壤侵蚀量。三峡库区使用的坡耕地预测模型有USLE经验模型和WEPP等物理模型<sup>[11-12]</sup>;遥感监测法适用于区域尺度,可以对大范围面积的侵蚀强度及分布进行动态观测,能够实现对集中连片坡耕地的监测<sup>[13]</sup>。

不同监测方法的联合使用不仅能克服各种方法的弊端、节约人力物力,还能在一定程度上增加研究的可信度,如人工模拟降雨法与径流小区观测、模型模拟法与遥感监测相结合运用,这也是今后土壤侵蚀研究中的重要趋势。

表1 侵蚀研究方法在库区紫色土坡耕地的应用

Table 1 Methods determining soil erosion on purple-soil sloping farmlands

研究方法	主要特点	应用
核素示踪法	效率高、数据可靠。一般适用于裸露坡耕地, <sup>137</sup> Cs和 <sup>210</sup> Pb示踪结果为多年平均值, <sup>7</sup> Be示踪短期降雨侵蚀。对采样要求较高,且测试费用相对较贵。	龙冀 <sup>[14]</sup> ;董杰 <sup>[15]</sup> ;王安邦 <sup>[16]</sup> ;苏正安 <sup>[17]</sup> ; Ju L <sup>[18]</sup> ;王玉宽 <sup>[19]</sup> ;李豪 <sup>[20]</sup> ;Feng M Y <sup>[21]</sup>
径流小区法	成本低,获取数据快,适合在人工控制坡度、降雨及植被等条件下进行,既可采用自然降雨,也可在人工降雨条件下试验。与大田观测数据存在一定差异。	李其林 <sup>[2]</sup> ;夏立忠 <sup>[6]</sup> ;廖晓勇 <sup>[7]</sup> ;马云 <sup>[22]</sup> ;史东梅 <sup>[23]</sup> ;姜达炳 <sup>[24]</sup> ;蒋光毅 <sup>[25]</sup> ;蔡崇法 <sup>[26]</sup> ;Zhu A X <sup>[27]</sup> ;Cui P <sup>[28]</sup>
人工模拟降雨法	获取数据快,往往在径流小区内完成,以理想状态假设为前提,与大田观测数据存在一定差异。	严冬春 <sup>[4]</sup> ;陈正发 <sup>[29]</sup> ;卜崇峰 <sup>[8]</sup> ;倪九派 <sup>[30]</sup> ;郭进 <sup>[31]</sup>
模型模拟预测法	模型相关因子数据获取比较困难,且数据处理量较大。是缺乏常规监测数据地区土壤侵蚀预测的有效方法。	王莉 <sup>[11]</sup> ;谭钦文 <sup>[32]</sup> ;Shi Z H <sup>[33]</sup>
侵蚀针法	实验方法简单,成本低,但受耕作影响大,侵蚀针容易丢失,观测结果误差较大。	胡国庆 <sup>[9]</sup>
遥感监测法	适合大范围集中连片坡耕地土壤侵蚀动态研究,具有信息量大、数据更新便捷等特点,但不能获取直接的侵蚀量数据,且成本相对较高。	朱远达 <sup>[13]</sup>

## 2 三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀强度

作物覆盖是坡耕地土壤侵蚀的重要影响因素,裸露坡耕地的土壤侵蚀速率明显高于植被覆盖坡耕地,且侵蚀速率表现出随坡长的增加呈上升趋势<sup>[19]</sup>。作物覆盖在一定程度上增加了土壤的抗蚀性,其土壤侵蚀速率明显低于裸地,如苕麻护坎措施下的土壤侵蚀模数为803 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[14]</sup>,而裸露坡耕地的侵蚀模数达到了8 754 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[16]</sup>(表2)。在各种种植模式中,粮经果复合垄作模式和果—植物篱复合模式的保水保土效果比较理想<sup>[34]</sup>。

坡度和坡长是坡耕地土壤侵蚀的决定性因素。坡度相近情况下,土壤侵蚀强度随坡长的增加而增强,如坡长15 m的坡耕地土壤侵蚀模数为4 149 t/(km<sup>2</sup>·a),而坡长为20 m的坡耕地土壤侵蚀模数则达到了5 240 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[14-15]</sup>,这主要是由于随着坡长增加,径流汇集路径增加,侵蚀形态既有坡耕地顶部的溅蚀,同时在坡耕地的中下部形成细沟或浅沟侵蚀,侵蚀强度增强;25°以下坡耕地土壤侵蚀模数为803 t/(km<sup>2</sup>·a)~9 452 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[16]</sup>,其中中坡(15°~25°)的侵蚀模数介于2 300 t/(km<sup>2</sup>·a)~9 452 t/(km<sup>2</sup>·a),随着坡度的增加,侵蚀模数增加较快,是侵蚀程度最强的坡度范围;缓坡(8°~15°)的侵蚀模数介于1 295 t/(km<sup>2</sup>·a)~2 502 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[17]</sup>,随着坡度的增加,侵蚀模数有所增加,但不及中坡的增速大;而微坡(<8°)的土壤侵蚀强度相对较小,侵蚀模数往往小于1 000 t/(km<sup>2</sup>·a)。坡耕地的土壤侵蚀强度远远高于其他土地利用方式用地,在相近坡长情况下,其土壤侵蚀速率呈现出随坡度增加而增加的趋势,且土壤侵蚀量随着坡度的增加而增大(表2)。

### 3 三峡库区紫色土坡耕地侵蚀泥沙的颗粒形态

降雨引发土壤侵蚀并导致表土细颗粒流失,造成土壤粗骨化,土壤中粘粒含量高是反映坡耕地土壤抗蚀能力强弱的有效指标,紫色土中 $<0.005\text{ mm}$ 的粉粒含量越高,抗蚀性越强,侵蚀相对较弱;反之,侵蚀增强<sup>[16]</sup>。紫色土结构松散,在降雨初始阶段,流失泥沙中颗粒含量以 $<0.02\text{ mm}$ 的单粒和微团聚体为主,随着径流量增加,所携带泥沙中 $>0.02\text{ mm}$ 的颗粒也

表 2 库区紫色土坡耕地土壤侵蚀状况

研究区	坡耕地概况	侵蚀状况	文献出处
开县兴龙小流域	坡度 $25^\circ$ , 坡长 10 m, 裸露坡耕地	侵蚀模数为 $8\,754\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	文安邦 <sup>[16]</sup>
忠县	坡度 $8^\circ$ , 坡长 17 m	侵蚀模数为 $2\,502\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	苏正安 <sup>[17]</sup>
忠县等 11 个区县	坡度 $15^\circ$ , 坡长 15 m	侵蚀模数为 $4\,149\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	董杰 <sup>[15]</sup>
忠县新政小流域	上坡 $21^\circ$ , 下坡 $9^\circ$ , 坡长 35 m	平均侵蚀模数为 $3\,770\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	Ju L <sup>[18]</sup>
开县	坡度 $25^\circ$ , 坡长 10 m	侵蚀模数为 $8\,929\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	王玉宽 <sup>[19]</sup>
忠县新政小流域	坡度 $11.4^\circ$ , 坡长 69.5 m, 中间挖有若干水平沟	侵蚀模数加权平均值为 $1\,295\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	李豪 <sup>[20]</sup>
奉节草堂河流域	3 个样点的坡度分别为 $<15^\circ$ 、 $15^\circ\sim 45^\circ$ 、 $>45^\circ$	侵蚀模数分别为 $6\,451$ 、 $7\,902$ 和 $1\,450\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	何太蓉 <sup>[35]</sup>
丰都十直镇	苕麻护坎坡耕地坡度 $11^\circ$ 、坡长 5.3 m; 相邻坡耕地坡度 $22^\circ$ 、坡长 5.8 m	苕麻护坎坡式梯地的侵蚀模数为 $803\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 相邻坡耕地为 $2\,300\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	龙翼 <sup>[14]</sup>
万州典型区生态环境监测重点站	坡度 $15^\circ$ , 坡长 20 m, 粮经果农林复合垄作	复合垄作坡耕地侵蚀模数为 $958\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 平作为 $5\,240\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	王李明 <sup>[5]</sup>
中科院秭归实验站	坡度 $20^\circ$ , 坡长 10 m 植物篱和浅垄作	植物篱和浅垄作坡耕地侵蚀模数为 $1\,376\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ , 顺坡耕作 $994\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	夏立忠 <sup>[6]</sup>

随之增多,并且颗粒含量逐渐稳定<sup>[36]</sup>,这与红壤和黑土的流失颗粒形态有所不同,红壤在产流初期 $>1\text{ mm}$ 的泥沙较少, $<0.25\text{ mm}$ 的泥沙较多,随着产流时间推移,径流携沙能力增强, $>1\text{ mm}$ 的泥沙增多<sup>[37]</sup>,而黑土在流失过程中土壤颗粒组成为砂粒 $>$ 粉粒 $>$ 粘粒<sup>[38]</sup>,总体来说,紫色土坡耕地土壤流失颗粒粒径小于红壤和黑土,这主要与紫色土本身的物理形态和特性有关。

紫色土流失泥沙主要以 $<0.02\text{ mm}$ 的团聚体和 $<0.002\text{ mm}$ 的粘粒为主,因此防止紫色土土壤侵蚀,必须从防止细颗粒流失着手<sup>[36]</sup>。植物篱能够减轻土壤受降雨溅蚀和径流冲蚀,具有较高的泥沙拦截作用,其根系在表土中穿插盘结,极大地增强表土的抗蚀能力,能够将土壤中粉粒( $0.002\sim 0.05\text{ mm}$ )和粘粒( $<0.002\text{ mm}$ )含量提高  $10\%\sim 14\%$ <sup>[23, 39]</sup>,对控制粘粒和粉粒的流失效果显著。种植模式优化能够改变坡面形态,且植物篱和种植模式的复合应用,能显著地提高土壤孔隙度,降低土壤容重,对减少地表径流、缓解坡耕地土壤细颗粒的流失、防止土壤粗骨化效果显著(表 3)。

表 3 库区紫色土坡耕地泥沙颗粒分布状况

Table 3 Sediment particle features of purple sloping farmlands in Three Gorges Reservoir area

地面类型	泥沙颗粒分布状况	文献出处
地表裸露	区内 $>2\text{ mm}$ 的粒径含量占 $17\%$ , 其中细颗粒 $0.1\sim 0.005\text{ mm}$ 的含量占 $32.5\%$ , $<0.005\text{ mm}$ 的占 $15.5\%$	文安邦 <sup>[16]</sup>
	降雨可使坡耕地土壤结构中径级 $>2\text{ mm}$ 单粒所占比例减少,而流失泥沙中 $0.02\sim 0.002\text{ mm}$ 单粒所占比例增多, $<0.02\text{ mm}$ 单粒所占比例减少	姜达炳 <sup>[24]</sup>
植物篱	对坡面土壤粘粒的拦截作用显著,粘粒在篱前富集含量升高,总体上表现为:粘粒 $>$ 砂粒 $>$ 粉粒	马云 <sup>[22]</sup>
	篱带、篱间土壤颗粒组成中 $<0.02\text{ mm}$ 的粉黏粒含量分别提高 $13.20\%$ 和 $6.30\%$	廖晓勇 <sup>[39]</sup>
种植模式优化	桑基模式下土壤层中 $1\sim 0.25\text{ mm}$ 和 $0.25\sim 0.05\text{ mm}$ 径级的微团聚体含量分别均高于传统种植模式下相同土层含量约 $86.7\%$ 和 $11.8\%$	史东梅 <sup>[23]</sup>
	垄上土壤中层结构中 $<0.02\text{ mm}$ 颗粒含量增加了 $23.52\%$ ,沟内耕作层土壤容重比对照减少了 $2.99\%$	廖晓勇 <sup>[7]</sup>
	垄作 $0.02\sim 0.002\text{ mm}$ 和 $<0.02\text{ mm}$ 土壤颗粒含量大于平作	蒋光毅 <sup>[25]</sup>
	改善了土壤颗粒组成,土壤中粒径 $<0.02\text{ mm}$ 的粉、粘粒含量比对照高 $10.72\%$ ,而粒径 $>2\text{ mm}$ 的粗骨含量比模式构建之前减少 $2.34\%$	陈治谏 <sup>[40]</sup>

## 4 三峡库区紫色土坡耕地侵蚀泥沙的养分流失

土壤侵蚀是库区坡耕地土壤养分流失的主要原因,也是面源污染形成的重要途径。侵蚀表土被雨水剥离和搬运,养分含量也随之变化,这是因为土壤中的营养元素很容易吸附在流失的土壤颗粒上,在流失泥沙中有养分富集特征。养分流失形态主要包括颗粒态和溶解态2种,其中颗粒态是主要形式,占坡耕地土壤养分流失总量的90%以上<sup>[36]</sup>。因此,防治颗粒态养分流失是减轻面源污染和水体富营养化的关键。

土壤养分主要是随着粉粒(0.002~0.02 mm)和粘粒(<0.002 mm)的流失而流失。植物篱的挡土保肥作用优于不同种植模式,研究表明<sup>[23,39,41]</sup>,枝叶茂盛且根系发达的灌木类植物篱拦土保肥作用尤其显著,不仅能拦截土壤细颗粒,极大减少土壤养分的流失,自身的新鲜枝叶能够作为绿肥还田,增加了土壤有机质含量;不同种植模式对土壤径流的截持与减少泥沙的流失具有一定的物理阻挡作用,土壤中有有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾等的含量相对于对照组提高8%~16%<sup>[25,39]</sup>,流失泥沙中的磷素流失量减少50%以上<sup>[23,41]</sup>,有效地提高了土壤的养分含量,其中果草模式对土壤中有有机质、全氮、全磷、速效氮和速效钾等养分流失的防治效果最好,全钾和速效磷的防治作用不明显<sup>[42]</sup>(表4)。

表4 库区紫色土坡耕地实施水土保持措施后养分流失状况

Table 4 Nutrient loss on purple sloping farmlands with soil conservation practices in Three Gorges Reservoir Area

措施类型	作用效果	文献出处	
植物篱	多年生伺草	泥沙磷素减少54.3%,对减少有机质、全氮、速效氮、速效磷的富集比效果显著	史东梅 <sup>[23]</sup>
	紫花苜蓿、香椿	泥沙磷素流失量降低53.9%和50.4%	夏立忠 <sup>[41]</sup>
	皇竹草	篱带、篱间0~15 cm土层土壤有机质含量高于对照29.76%和18.70%,全氮含量分别高23.81%和15.87%,全磷含量分别高23.73%和10.17%,全钾含量分别高12.86%和5.86%	廖晓勇 <sup>[39]</sup>
粮经果复合垄作	土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾流失量分别减少了15.18%、8.82%、9.86%、8.99%、11.79%、13.33%、9.20%	蒋光毅 <sup>[25]</sup>	
种植模式	侵蚀土壤中有有机质、全氮、全磷、碱解氮、有效磷、速效钾等的含量大小为:粮经果复合垄作>粮经果复合平作>纯粮顺坡平作	王海明 <sup>[5]</sup>	
	生态耕作模式	泥沙态磷流失量分别降低30.58%、47.70%和44.58%	夏立忠 <sup>[6]</sup>
	3种不同配置的果草模式	有机质、全氮、全磷、速效氮和速效钾的衰减率都大于5%,全钾和速效磷的衰减率小于5%	卢喜平 <sup>[42]</sup>
坡篱种粮、坡地种柑	坡篱种粮总氮和总磷年均流失量达23.29 kg/hm <sup>2</sup> 和1.02 kg/hm <sup>2</sup> ,坡地种柑相对于坡篱种粮总氮和总磷年均排放量减少了60%和85.29%	许其功 <sup>[43]</sup>	

## 5 紫色土坡耕地土壤侵蚀研究方向展望

### 5.1 紫色土坡耕地土壤侵蚀模型模拟

目前三峡库区紫色土坡耕地坡面侵蚀的相关数据多是通过人工模拟降雨观测所得,但库区紫色土坡耕地面积广大,且不同区域自然条件差异大,不同水保措施和降雨、坡度、坡长等因子的组合作用下全部开展监测需要花费很大的人力、物力和财力,而且在科学试验上也不合理。今后应在加强土壤侵蚀因子研究基础上发展适合紫色土坡耕地侵蚀预测的物理模型,增强预测精确性,为库区紫色土坡耕地水土保持措施优化配置提供支撑。

### 5.2 紫色土坡耕地埂坎的结构与功能研究

埂坎通过分割坡长达到控制坡耕地土壤侵蚀,是坡耕地防治水土流失的有效屏障。目前三峡库区采用了石坎、土坎、土石复合坎等多种埂坎结构,但有关埂坎的最优宽高比、土坎的适宜高度等结构参数报道较少,各种埂坎的水土保持效应研究也不够,以致埂坎的水土保持机理不清,更谈不上埂坎的优化设计。因此,今后可以在埂坎的结构和功能方面开展相关研究,以形成耕地耕作措施和埂坎工程措施对坡耕地侵蚀产沙的双重抑制作用。

### 5.3 紫色土坡耕地水土保持措施适宜性评价

适宜性评价是合理配置水土保持措施的重要前提。目前三峡库区紫色土坡耕地采取了大量的水土保持措施,但总体来说措施效果研究多,措施的适应性评价较少。今后应加强库区紫色土坡耕地水土保持措施的生态效益监测,并结合措施的经济性、可操作性、农民接收意愿等开展综合评估,针对不同自然条件(包括降雨、坡度等)坡耕地提出适宜的措施体系。

## 参考文献:

- [1] 马志林. 三峡库区坡耕地水土流失特征及防治效应研究[D]. 北京林业大学, 2009.  
Ma Z L. Characteristics of soil and water loss in the slope land and technological effects of prevention and control in Three Gorges Reservoir Area[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [2] 李其林, 魏朝富, 曾祥燕, 等. 自然降雨对紫色土坡耕地氮磷流失的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(2): 76-80.  
Li Q L, Wei C F, Zeng X Y, et al. Influence of nature rainfall on nitrogen and phosphor loss in slope land of purple soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(2): 76-80.
- [3] 韦杰, 贺秀斌. 三峡库区坡耕地水土保持措施研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2011, 33(1): 41-45.  
Wei J, He X B. Review of soil conservation practices on sloping farmlands in Three-Gorge Reservoir Area [J]. World SCI-Tech R&D, 2011, 33(1): 41-45.
- [4] 严冬春, 文安邦, 史忠林, 等. 三峡库区紫色土坡耕地细沟发生的临界坡长[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(11): 58-62.  
Yan D C, Wen A B, Shi Z L, et al. Critical slope length of rill occurred in purple soil slope cultivated land in Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(11): 58-62.
- [5] 王海明, 李贤伟, 陈治谏, 等. 三峡库区坡耕地粮经果复合垄作对土壤侵蚀与养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 1-5.  
Wang H M, Li X W, Chen Z J, et al. Soil erosion and nutrient loss of slope of pattern of compound farming of Grain-Case crop-trees in Three Gorges Reservoir Area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(3): 1-5.
- [6] 夏立忠, 马力, 杨林章, 等. 植物篱和浅垄作对三峡库区坡耕地氮磷流失的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 104-111.  
Xia L Z, Ma L, Yang L Z, et al. Effects of hedgerows and ridge cultivation on losses of nitrogen and phosphorus of slope land in Three Gorges Reservoir Area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(14): 104-111.
- [7] 廖晓勇, 陈治谏, 刘邵权, 等. 三峡库区坡耕地粮经果复合垄作技术效益评价[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 37-40.  
Liao X Y, Chen Z J, Liu S Q, et al. Agro-forestry technique of slope cropland in the Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(2): 37-40.
- [8] 卜崇峰, 蔡强国, 袁再健. 三峡库区等高植物篱的控蚀效益及其机制[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 14-18.  
Bu C F, Cai Q G, Yuan Z J. Mechanism and effect of different contour hedgerow types on runoff and sediment erosion in Three Gorges Reservoir Area[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2006, 4(4): 14-18.
- [9] 胡国庆, 董元杰, 史衍玺, 等. 坡面土壤侵蚀空间分异特征的磁性示踪法和侵蚀针法对比研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 53-57.  
Hu G Q, Dong Y J, Shi Y X, et al. Comparative on characteristics of soil erosion spatial variation on slopes using Magnetic Tracing and Erosion Pins[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(1): 53-57.
- [10] 张信宝, 贺秀斌, 文安邦. 侵蚀泥沙研究的<sup>137</sup>Cs核示踪技术[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 152-155.  
Zhang X B, He X B, Wen A B, et al. The <sup>137</sup>Cs nuclear tracing technique for soil erosion and sedimentation studies[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(2): 152-155.
- [11] 王莉, 刘艳锋. 三峡库区传统耕作措施水土保持机理研究[J]. 中国水土保持, 2010, 10: 13-17.  
Wang L, Liu Y F. Mechanism of soil and water conservation of conventional farming measures of the Three Gorges Reservoir Area[J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, 10: 13-17.
- [12] 代华龙, 曹叔尤, 刘兴年, 等. 基于 WEPP 模型的紫色土坡面水蚀预报[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(2): 60-65.  
Dai H L, Cao S Y, Liu X N, et al. Prediction of water erosion on purple soil slope based on WEPP model[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008, 6(2): 60-65.
- [13] 朱远达, 蔡强国, 张光远, 等. GIS 支持下对不同水保措施的评估与比较[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 21-25.  
Zhu Y D, Cai Q G, Zhang G Y, et al. GIS-based evaluation and assessments of two different soil erosion managements[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(6): 21-25.
- [14] 龙翼, 张信宝, 严冬春. 三峡库区苕麻护坎坡式梯地减蚀效益的<sup>137</sup>Cs法研究[J]. 中国水土保持, 2010, 10: 32-33.  
Long Y, Zhang X B, Yan D C. Sediment reduction benefits of sloping terrace with protected ridges of boehmerianivea by using <sup>137</sup>Cs method in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, 10: 32-33.
- [15] 董杰, 杨达源, 周彬, 等. <sup>137</sup>Cs 示踪三峡库区土壤侵蚀速率研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 1-6.  
Dong J, Yang D Y, Zhou B, et al. Study on soil erosion rates in the Three Gorges Reservoir Area using <sup>137</sup>Cs tracing method[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 1-6.
- [16] 文安邦, 张信宝, 王玉宽, 等. 长江上游紫色土坡耕地土壤侵蚀<sup>137</sup>Cs示踪法研究[J]. 山地学报, 2001, 19: 56-59.  
Wen A B, Zhang X B, Wang Y K, et al. A study on soil erosion rates of the purple slope cultivated Land using caesium-137 technique in the upper of the Yangtze River [J]. Journal of Mountain Science, 2001, 19: 56-59.
- [17] 苏正安, 张建辉. 耕作导致的土壤再分布对土壤水分入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 194-198.  
Su Z A, Zhang J H. Impacts of soil redistribution by tillage on soil water infiltration[J]. Journal of Soil and Water

- Conservation, 2010, 24(3):194-198.
- [18] Ju L, Wen A B, Long Y, et al. Using  $^{137}\text{Cs}$  tracing methods to estimate soil redistribution rates and to construct a sediment budget for a small agricultural catchments in the Three Gorges Reservoir Region, China [J]. *J Mt Sci*, 2013, 10(3):428-436.
- [19] 王玉宽,文安邦,张信宝. 长江上游重点水土流失区坡耕地土壤侵蚀的 $^{137}\text{Cs}$ 法研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(2):77-80.
- Wang Y K, Wen A B, Zhang X B. Study of soil erosion on cultivated slope land in severe soil loss regions of upper reaches of Yangtze River basin using  $^{137}\text{Cs}$  technique [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2003, 17(2): 77-80.
- [20] 李豪,张信宝,文安邦,等. 三峡库区紫色土坡耕地土壤侵蚀的 $^{137}\text{Cs}$ 示踪研究[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(5):1-6.
- Li H, Zhang X B, Wen A B, et al. Erosion rate of purple soil on a cultivated slope in the Three Gorges Reservoir Region using  $^{137}\text{Cs}$  technique [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(5): 1-6.
- [21] Feng M Y, Zhang X B, He X B. Assessment of soil loss on uncultivated slope land by using  $^{137}\text{Cs}$  technique in the upper Yangtze River basin of China [J]. *International Journal of Sediment Research*, 2004, 19(1):60-65.
- [22] 马云,何丙辉,何建林,等. 三峡库区皇竹草植物篱对坡面土壤分形特征及可蚀性的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4):79-83.
- Ma Y, He B H, He J L, et al. Effects of herba and andrographitis hedgerow on soil fractal characteristics and erodibility on sloping cropland in Three Gorges Reservoir Region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(4):79-83.
- [23] 史东梅,卢喜平,刘立志. 三峡库区紫色土坡地桑基植物篱水土保持作用研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(3):75-79.
- Shi D M, Lu X P, Liu L Z. Study on functions of soil and water conservation by mulberry hedgerow intercropping of purple soil slopping farmland in Three Gorges Reservoir Region[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(3): 75-79.
- [24] 姜达炳,樊丹,甘小泽. 三峡库区坡耕地运用生物埂治理水土流失技术的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(2),158-160.
- Jiang D B, Fan D, Gan X Z. Research on the restraint of the soil and water erosion of scarp cultivate land by using plants embankments in the Three Gorges Area[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2005, 13(2): 158~160.
- [25] 蒋光毅,史东梅,卢喜平,等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5):54-59.
- Jiang G Y, Shi D M, Lu X P, et al. Research on runoff and nutrient loss from slope land of purple soil under different planting model[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(5):54-59.
- [26] 蔡崇法,丁树文,张光远,等. 三峡库区紫色土坡地养分状况及养分流失[J]. *地理研究*, 1996, 15(3):77-84.
- Cai C F, Ding S W, Zhang G Y, et al. A preliminary study on the conditions and losses of nutrients of purple soils in Three Gorge Reservoir Area[J]. *Geographical Research*, 1996, 15(3):77-84.
- [27] Zhu A X, Wang P, Zhu T X, et al. Modeling runoff and soil erosion in the Three-Gorge Reservoir drainage area of China using limited plot data [J]. *Journal of Hydrology*, 2013(492),163-175.
- [28] Cui P, Ge Y G, Lin Y M. Soil erosion and sediment control effects in the Three Gorges Reservoir Region, China [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2011, 2(4): 289-297.
- [29] 陈正发,郭宏忠,史东梅,等. 地形因子对紫色土坡耕地土壤侵蚀作用的试验研究[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(5): 83-87.
- Chen Z F, Guo H Z, Shi D M, et al. Experimental study on effect of topographical factors on purple cultivated slopes land soil erosion [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(5):83-87.
- [30] 倪九派,魏朝富,高明,等. 三峡库区坡耕地土壤养分流失的实验研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(5):38-42.
- Ni J P, Wei C F, Gao M, et al. Research on nutrient loss from slope land in Three Gorges Reservoir Area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 38-42.
- [31] 郭进,文安邦,严冬春,等. 三峡库区紫色土坡地土壤颗粒流失特征[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3):18-21.
- Guo J, Wen A B, Yan D C, et al. Particle characteristics of eroded purple soil from slope land in the Three Gorges Reservoir Region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(3):18-21.
- [32] 谭钦文,尹黎明,卢玉东,等. 三峡库区紫色土陡坡耕地土壤侵蚀量预测模型研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2004, 1(1):19-21.
- Tan Q W, Yin L M, Lu Y D, et al. Study on the prediction model of soft loss in purple soft sloping land in Three-Gorges Reservoir area [J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2004, 1(1):19-21.
- [33] Shi Z H, Cai C F, Ding S W. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China[J]. *Catena*, 2004, 55(1), 33-48.
- [34] 廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等. 三峡库区紫色土坡耕地不同利用方式的水土流失特征[J]. *水土保持研究*, 2005, 12(1):159-161.
- Liao X Y, Chen Z J, Liu S Q, et al. Study on soil losses in different land use types of purple slope cropland in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(1):159-161.
- [35] 何太蓉,姜洪涛,杨达源,等. 长江三峡库区现代坡地剥蚀速率研究[J]. *地理科学*, 2004, 24(1):89-93.
- He T R, Jiang H T, Yang D Y, et al. Study on the mod-

ern slope denudation rate in the Three Gorges Reservoir Area of the Yangtze River[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1):89-93.

- [36] 黄丽, 张光远, 丁树文, 等. 侵蚀紫色土土壤颗粒流失的研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(1):35-39.  
Huang L, Zhang G Y, Ding S W, et al. Study on soil particle losses of eroded purple field[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(1):35-39.
- [37] 闫峰陵. 红壤表土团聚体稳定性特征及其对坡面侵蚀过程的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.  
Yan F L. Surface soil aggregate stability characteristics and the influence of the surface erosion process of red soil [D]. Huazhong Agriculture University, 2008.
- [38] 刘宏魁, 曹宁, 张玉斌. 吉林省黑土侵蚀区水土保持措施对土壤颗粒组成和速效养分影响分析[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(01):111-115.  
Liu H K, Cao N, Zhang Y B. The analysis on effects of soil particle composition and available nutrient under soil and water conservation measures in black soil erosion area of Jilin Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(01):111-115.
- [39] 廖晓勇, 罗承德, 陈治谏, 等. 三峡库区植物篱技术对坡耕地土壤肥力的影响[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(6):1-3.  
Liao X Y, Luo C D, Chen Z J, et al. Soil fertility of slope croplands by applying technique of plant hedgerows in Three Gorges Reservoir Area[J]. *Bulletin of Soil and Wa-*

*ter Conservation*, 2006, 26(6):1-3.

- [40] 陈治谏, 廖晓勇, 刘邵权. 坡地植物篱农业技术生态经济效益评价[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(4):125-128.  
Chen Z J, Liao X Y, Liu S Q. Improvement of slope cropland productivity by applying agricultural technique of plant Hedge-rows[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(4):125-128.
- [41] 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.  
Xia L Z, Yang L Z, Li Y D. Perennial Alfalfa and Contour Hedgerow on reducing soil, nitrogen and phosphorus losses from uplands of purple soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(2):28-31.
- [42] 卢喜平, 史东梅, 吕刚, 等. 紫色土坡地果草种植模式的水土流失特征研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2):21-25.  
Lu X P, Shi D M, Lv G, et al. Study on soil and water loss characteristics of intercropping orchard-Pasturage model in purple soil slope lands[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2):21-25.
- [43] 许其功, 席北斗, 沈珍瑶, 等. 耕作措施对三峡库区土壤侵蚀和养分流失的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(3):41-45.  
Xu Q G, Xi B D, Shen Z Y, et al. Effects of farming practices on soil erosion and nutrient loss in the Three-George Reservoir Area[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(3):41-45.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Review of Soil Erosion on Purple-soil Sloping Croplands in Three Gorges Reservoir Area

ZHENG Hong-li, WEI Jie, CHEN Guo-jian, LI Yang-bin

(Geography & Tourism College, Chongqing Normal University, Chongqing 400047)

**Abstract:** The purple sloping farmland is an important cropland resource in the Three Gorges Reservoir area, and the main source of soil erosion and sediment into the Reservoir. Soil erosion monitoring methods, soil erosion intensity, sediment particle features, nutrient loss on purple soil sloping croplands in the Three Gorges Reservoir Area are summarized. The erosion monitoring methods mainly include runoff plot observation, artificial simulated rainfall, erosion pin observation, nuclide tracing, model simulation, RS monitoring. The publications show that soil erosion rates of the purple sloping croplands range from 3 464 to 9 452 t/km<sup>2</sup> · a, and the most serious erosion usually occurs on the slope from 15° to 25°, which is also the focus slope gradient for preventing soil erosion on sloping cropland in the future. The loss of sediment is dominated by aggregates (<0.02mm) and clay (<0.002mm). The silty (0.002~0.02mm) and clay soils (<0.002mm) are the main carrier of soil nutrient loss on the purple sloping croplands. Hedgerows, contour tillage and terracing are given a significant effect in preventing soil erosion. The erosion simulation using physical model, the structure and function of ridge and suitability evaluations of soil conservation measures are recommended for further study in this particular geographical unit.

**Key words:** soil erosion; soil conservation; purple soil; sloping farmland; the Three Gorge Reservoir Area

(责任编辑 陈琴)