三峡库区紫色土坡耕地表土的可蚀性研究

徐文秀[1,2]，韦 杰[1,2]，李进林[2,3]，鲍玉海[3]，李沙沙[1,2]

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院，重庆 401331；2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室，重庆 401331；
3. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所，山地表生过程与生态调控重点实验室，四川 成都 610041)

摘 要：[目的] 揭示三峡库区紫色土坡耕地表土可蚀性特征，为水土保持措施空间配置优化设计提供依据。[方法] 以无措施坡耕地为对照，选取紫色土区埂坎、水平沟坡耕地为研究对象，采集表土测试机械组成和有机质含量，利用 EPIC(environmental policy-integrated climate)模型计算可蚀性指标，比较 3 种坡耕地表土的颗粒组成、有机质含量和可蚀性指标。[结果] ①紫色土坡耕地表土粉粒含量较高，黏粒含量较低，分别为 45.78%～76.29%和 6.05%～10.58%。坡面尺度内，埂坎坡耕地上地块下坡位表土粉粒含量明显高于紧邻的下地块上坡位，砂粒含量则相反。地块尺度内，上坡位砂粒含量较高，中下坡位粉粒含量和黏粒含量较高。②紫色土坡耕地表土有机质含量为 0.61%～1.48%。坡面尺度内，埂坎坡耕地上地块下坡位表土有机质含量明显高于紧邻的下地块上坡位。地块尺度内，有机质主要在中下坡位富集。③紫色土坡耕地表土可蚀性 K 值介于 0.043 8～0.059 2 之间。坡面尺度内，埂坎和水平沟坡耕地下地块上坡位表土可蚀性 K 值分别比紧邻的上地块下坡位低 16.55%和 6.30%。地块尺度内，中下坡位的表土可蚀性 K 值较大，且最高值出现在坡面的 3/4 处。表土可蚀性 K 值与粉粒含量呈极显著正相关($p<0.01$)，与砂粒含量呈极显著负相关($p<0.01$)。[结论] 三峡库区紫色土坡耕地表土抗蚀能力较弱，埂坎和水平沟均具有较好的水土保持效果，对提高坡耕地抗蚀性具有一定作用。

关键词：土壤可蚀性；紫色土；坡耕地；三峡库区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)03-0007-05 **中图分类号**：S157.1，S151.9

文献参数：徐文秀，韦杰，李进林，等. 三峡库区紫色土坡耕地表土的可蚀性研究[J]. 水土保持通报，2019，39(3)：7-11. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.002；Xu Wenxiu，Wei Jie，Li Jinlin，et al. Topsoil erodibility on purple soil sloping farmlands in Three Gorges reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(3)：7-11.

Topsoil Erodibility on Purple Soil Sloping Farmlands in Three Gorges Reservoir Area

Xu Wenxiu[1,2]，Wei Jie[1,2]，Li Jinlin[2,3]，Bao Yuhai[3]，Li Shasha[1,2]

(1. *School of Geography and Tourism，Chongqing Normal University，Chongqing* 401331，*China*；
2. *Chongqing Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area，Chongqing* 401331，*China*；3. *Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation，Institute of Mountain Hazards and Environment，Chinese Academy of Sciences，Chengdu，Sichuan* 610041，*China*)

Abstract：[Objective] The erodibility of topsoil on purple soil sloping farmlands in the Three Gorges reservoir area was investigated in order to provide a basis for spatial allocation design of soil conservation measures. [Methods] Two different kinds of purple soil sloping farmlands with soil bunds，horizontal ditch were selected，and topsoil was collected to determine the particle composition and organic matter content. Then the soil erodibility index was calculated by the environmental policy-integrated climate (EPIC) model，as to compare the particle composition，organic matter content and erodibility of the topsoil on purple soil sloping farmlands

收稿日期：2018-09-13 **修回日期**：2018-12-12

资助项目：国家自然科学基金项目“紫色土坡耕地土石复合坎结构与水土保持效应研究”(41471234)；重庆市教委科技项目(KJZD-K201800502)

第一作者：徐文秀(1992—)，女(汉族)，山东省昌邑市人，硕士研究生，研究方向为水土保持与荒漠化治理。E-mail：xuwenxiu0314@163.com。

通讯作者：韦杰(1979—)，男(汉族)，四川省苍溪县人，博士，教授，硕士生导师，主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail：wei_jie@mails.ucas.ac.cn。

with different soil conservations. [Results] ① The content of silty particle in the topsoil of purple soil sloping farmlands was higher, and ranged from 45.78% to 76.29%, while the content of clay particle was relatively lower, ranged from 6.05% to 10.58%. At the slope scale, silty particle content at the lower slope of the upper field was significantly higher than that at the uphill position of the adjacent downhill plot, while sandy particle content was the opposite. At the field plot scale, sandy particle content was higher in the upper slope, and silty particle content and clay particle content were both higher in the middle and lower slope. ② The content of soil organic matter in topsoil on purple soil sloping farmlands ranged from 0.61% to 1.48%. At the slope scale, the organic matter content in topsoil of the lower slope of the upper field was significantly higher than that in the upper slope of the adjacent downhill plot. At the field plot scale, the organic matter content in the topsoil was mainly concentrated in the middle and lower slope. ③ The erodibility K value of topsoil on purple soil sloping farmlands was ranged from 0.043 8 to 0.059 2. At the slope scale, the erodibility K value at the upper slope of the lower slope of ridge and horizontal gully farmland was 16.55% and 6.30% lower than that at the lower slope of the adjacent upper field, respectively. At the field plot scale, the erodibility K value was higher in the middle and lower slope. The highest value occurred at the 3/4 of the slope. The erodibility K value of topsoil was positively related to silty particle content ($p<0.01$), while negatively related to sandy particle content ($p<0.01$). [Conclusion] The anti-erosion capability of topsoil on purple soil sloping farmlands in the Three Gorges reservoir area is weak. Both soil bund and horizontal ditch have good soil conservation effects on purple soil sloping farmlands, which play an important role in improving the capability of soil anti-erosion.

Keywords: soil erodibility; purple soil; sloping farmlands; the Three Gorges reservoir area

土壤可蚀性是指土壤对侵蚀的敏感程度,即土壤受雨滴击溅、径流冲刷以及壤中流等作用而被分散和搬运的难易程度[1-2],也是评价土壤质量的重要指标。下伏基岩、土壤质地、团聚体特征、土地利用方式等因素均可影响土壤的可蚀性[3-4]。其中,下伏基岩是土壤的最初物质来源,可通过决定土壤的成土母质、矿物特征、土壤质地等影响土壤可蚀性[5]。土壤团聚体是土壤结构的基本单元,在调节土壤养分、增强土壤抗蚀性等方面具有重要作用[6]。不同土地利用方式下的表土颗粒组成和紧实度特征不同,从而可使特定区域内的土壤可蚀性因土地利用方式而存在明显的空间分异[7]。通常情况下,相比林地、草地而言,耕地表层土壤疏松破碎,稳定性团聚体含量较低,且耕作行为的扰动较频繁,其抗侵蚀能力相对较弱[7-8]。一般认为,土壤有机质具有良好的胶结粘合效果,可通过促进稳定性团聚体的形成而提高土壤的抗蚀性[9]。然而,也有研究表明,土壤有机质与可蚀性之间没有显著的相关性[10]。

紫色土坡耕地是三峡库区农业活动的主要场所,但紫色土土层薄、水稳性差、抗蚀能力弱,水土流失强烈,侵蚀模数可高达 3 464～9 452 t/(km^2 · a) [11]。埂坎和水平沟是重要的水土保持措施,通过分割坡长调控坡耕地土壤侵蚀,均具有较好的水土保持效果[12]。研究表明,较无措施坡耕地而言,埂坎和水平沟 2 种坡耕地的减蚀效应分别为 77%和 63%[12]。当前,有关紫色土坡耕地的研究主要集中在耕层质量评价、水土保持措施效益评价、土壤养分平衡等方面[13-15]。然而,有关紫色土坡耕地表土可蚀性的报道相对较少。本文选取三峡库区腹地的埂坎和水平沟 2 种坡耕地作为研究对象,并以无措施坡耕地为对照,以期揭示坡耕地表土可蚀性特征,为三峡库区紫色土坡耕地水土保持措施空间配置优化提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验地处于三峡库区腹地的重庆市忠县(107°3′—108°14′E,30°03′—30°35′N)境内,县内出露地层多为第四系坡残积土层(Q_4^{dl+el})及侏罗系中统沙溪庙组砂、泥岩(J_2s),岩性以泥岩和砂岩为主,呈互层结构。地貌类型以丘陵和低山为主,海拔为 117～1 680 m。忠县地处暖湿亚热带东南季风区,属亚热带东南季风区山地气候,雨量充沛,年均降雨量为 1 200 mm,但季节分配不均,主要集中于雨季(4—10 月)。年均气温为 18.2 ℃,≥10 ℃年积温为 5 787 ℃,相对湿度在 80%左右,无霜期大约 340 d,日照时数 1 327.5 h。土壤主要有紫色土、水稻土等,土层厚度一般为 0.3～0.6 m,水稳性较差,抗蚀性弱[6]。主要种植的粮食作物有水稻(*Oryza glaberrima*)、玉米(*Zea mays*)、红薯(*Ipomoea batatas*)、黄豆(*Glycine max*)

等,经济作物有油菜(*Brassica campestris*)、柑橘(*Citrus reticulata*)等。

1.2　样品采集和测试

通过野外调查,分别在忠县白庙村选取无措施紫色土坡耕地,在屏山村和新政村选取设有埂坎和水平沟的紫色土坡耕地作为采样地。无措施坡耕地由于耕作自然形成上下不同坡度两个地块,埂坎和水平沟坡耕地均为上下两个地块,各地块概况见表 1。采用平行双剖面线法,即从坡上向坡下拉皮尺,在距皮尺左右两侧 50 cm 处分别采样并混合,根据不同地块的坡长和坡度分别确定采样间隔,采样间隔控制在 1～3 m 内。利用内径 3.5 cm 取土钻,采集表层土壤(0—20 cm),每个采样点采集 2 kg 土样,用密封袋保存好带回实验室进行理化分析。用 MS 2000 激光粒度分析仪测定土壤颗粒组成,采用美国土壤粒级分类标准将土壤颗粒分为黏粒(＜0.002 mm)、粉粒(0.002～0.05 mm)和砂粒(＞0.05～2 mm),土壤有机质采用重铬酸钾氧化外加热法测定。

表 1　采样坡耕地各地块概况

坡耕地类型	采样地点	地块特征	下伏基岩	农作物
无措施	白庙村	上地块平均坡度为 18°,坡长为 11 m,下地块平均坡度为 22°,坡长 9 m	紫色泥岩	小麦和蔬菜
埂 坎	屏山村	上地块平均坡度为 33°,坡长为 7.7 m,下地块平均坡度为 32°,坡长为 6.9 m	紫色泥岩	黄豆和小麦
水平沟	新政村	上地块平均坡度为 22°,坡长为 8.1 m,下地块平均坡度为 24°,坡长 3.1 m	紫色泥岩	玉米和白菜

1.3　土壤可蚀性 K 值计算

采用 Williams 等[16] 提出的 EPIC(erosion-productivity impact calculator)模型,该模型因物理意义明确和计算简便而得到广泛应用。计算公式为:

$$K=\{0.2+0.3\exp[-0.025\ 6S_{AN}(1-S_{IL}/100)]\}\times\left(\frac{S_{IL}}{C_{LA}+S_{IL}}\right)^{0.3}\times\left[1.0-\frac{0.25C}{C+\exp(3.72-2.95C)}\right]\times\left[1.0-\frac{0.7SN_1}{SN_1+\exp(-5.51+22.9SN_1)}\right]$$

式中:S_{AN}——砂粒(＞0.05～2 mm)含量(%);S_{IL}——粉粒(0.002～0.05 mm)含量(%);C_{LA}——黏粒(＜0.002 mm)含量(%);C——有机碳含量(%);$SN_1=1-SAN/100$。计算的土壤可蚀性 K 值为美国制单位,将其乘以 0.1317 则转变为国际制单位($t\cdot hm^2\cdot h$)/($MJ\cdot mm\cdot hm^2$)。

2　结果与分析

2.1　紫色土坡耕地表土颗粒组成

紫色土坡耕地表土的黏粒、粉粒和砂粒含量分别为 6.05%～10.58%,16.53%～48.02%和 45.78%～76.29%,但不同水土保持措施坡耕地表土颗粒组成存在差异(图 1)。无措施坡耕地表土砂粒含量高于埂坎和水平沟 2 种措施坡耕地,分别为 29.58%,26.3%和 25.69%。表土粉粒含量最高的是水平沟坡耕地(66.62%),其次是埂坎坡耕地(65.65%),无措施坡耕地最低(62.39%)。3 种坡耕地表土黏粒含量差异不大,埂坎为 8.05%,无措施为 8.03%,水平沟为7.68%。土壤颗粒组成分形维数与黏粒含量呈显著正相关[17],因此 3 种坡耕地表土颗粒组成分形维数差异不大,介于 2.56～2.71 之间。埂坎坡耕地上下地块表土黏粒含量和颗粒组成分形维数均存在显著性差异($p<0.05$),而粉粒和砂粒含量没有显著差异。对于无措施和水平沟 2 种坡耕地而言,上下地块表土各颗粒含量和颗粒组成分形维数均没有显著性差异(表 2)。总体来看,埂坎坡耕地和水平沟坡耕地中,上地块下坡位表土粉粒含量均高于紧邻的下地块上坡位,砂粒含量则相反,相比而言,埂坎坡耕地更为明显(图 1b,1c)。同一地块内,粉粒含量和黏粒含量在中下坡位较高,在上坡位较低,砂粒含量则正好相反(图 1)。

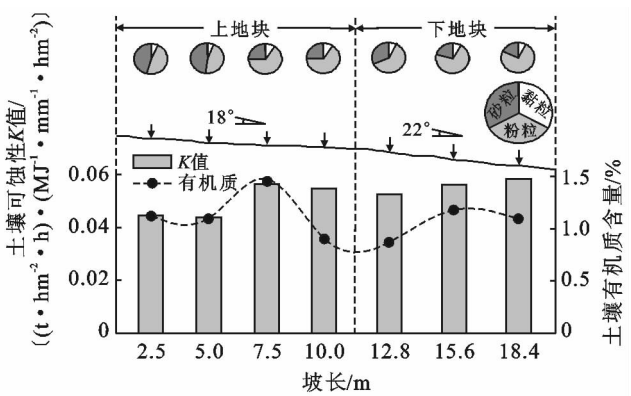
2.2　紫色土坡耕地表土有机质含量

水平沟和埂坎 2 种坡耕地的表土有机质含量均低于无措施坡耕地,分别为 0.97%,0.86%和 1.11%。原因可能是无措施坡耕地存在间歇性撂荒,而有措施坡耕地为常用耕地,土壤有机质消耗较多。总体来看,埂坎和水平沟 2 种水土保持措施坡耕地的上地块表土有机质含量高于下地块,相比而言,水平沟坡耕地更明显(表 2)。这可能是因为埂坎和水平沟均具有较好的水土保持效果,上地块的土壤养分流失得到了一定控制[12]。地块尺度内,表土有机质含量在中下坡位较高,这与粉粒含量和黏粒含量在坡面上的分布相同(图 1),原因可能是有机质被细颗粒吸附后,随泥沙的输移而迁移[18-20]。埂坎坡耕地上地块下坡位表土有机质含量高于紧邻的下地块上坡位,而水平沟的这种差异不明显(图 1b,1c),说明埂坎的水土保持效果更好。这主要是因为埂坎能够完全分割坡面,而深度较浅的水平沟容易被泥沙淤满,从而失去截流拦沙作用。

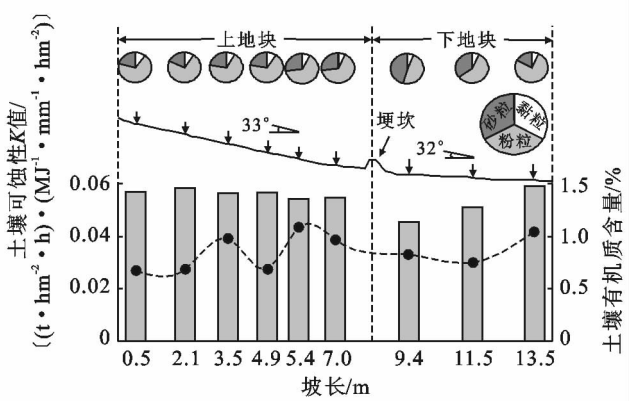
表 2 坡耕地表土性质描述性统计

坡耕地类型	地块	土壤颗粒组成/% 黏粒 (<0.002 mm)	粉粒 (0.002～0.05 mm)	砂粒 (>0.05～2 mm)	分形维数	有机质含量/%	土壤可蚀性 K 值/〔(t·hm²·h)·(MJ⁻¹·mm⁻¹·hm⁻²)〕
无措施	上	8.01±0.87^{ab}	57.98±6.91^{a}	34.00±7.44^{a}	2.64±0.03^{ab}	1.15±0.12^{a}	0.049 9±0.003 3^{a}
	下	8.04±0.39^{ab}	68.27±4.03^{a}	23.69±4.26^{a}	2.67±0.01^{ab}	1.05±0.09^{ab}	0.055 6±0.001 7^{ab}
埂坎	上	8.78±0.49^{a}	68.18±1.11^{a}	23.05±1.48^{a}	2.68±0.01^{a}	0.85±0.08^{b}	0.056 2±0.000 6^{b}
	下	6.60±0.27^{b}	60.59±8.37^{a}	32.81±8.53^{a}	2.62±0.02^{b}	0.87±0.09^{ab}	0.051 9±0.004 0^{ab}
水平沟	上	7.45±0.59^{ab}	66.74±2.42^{a}	25.82±2.56^{a}	2.65±0.02^{ab}	0.88±0.13^{ab}	0.055 3±0.001 0^{ab}
	下	7.99±0.52^{ab}	66.49±3.39^{a}	25.52±2.96^{a}	2.66±0.01^{ab}	1.09±0.08^{ab}	0.054 7±0.001 7^{ab}

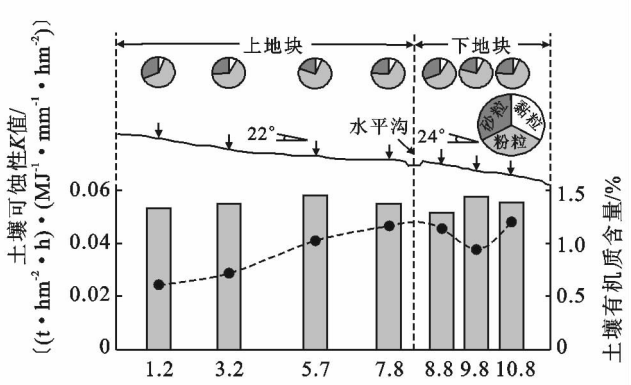
注:同列数据后不同小写字母表示不同地块间差异显著($p<0.05$)。



a 无措施坡耕地



b 埂坎坡耕地



c 水平沟坡耕地

图 1 坡耕地表土颗粒组成、有机质含量和可蚀性 K 值分布

2.3 坡耕地表土可蚀性 K 值及其影响因素

紫色土坡耕地表土可蚀性 K 值介于 0.043 8～0.059 2之间。坡面尺度内,埂坎和水平沟 2 种坡耕地的上地块表土可蚀性 K 值均高于下地块,相反,无措施坡耕下地块比上地块高,但是均没有通过显著性检验(表 2)。地块尺度内,表土可蚀性 K 值在中下坡位较高,且最高值出现在地块坡面的 3/4 处(图 1)。埂坎坡耕地和水平沟坡耕地中,下地块上坡位表土可蚀性 K 值均比紧邻的上地块下坡位低,分别低 16.55%和 6.30%(图 1)。紫色土坡耕地表土可蚀性 K 值与土壤理化性质的相关分析结果表明,表土可蚀性 K 值与粉粒含量、黏粒含量和分形维数呈正相关,相关系数分别为 0.993,0.425 和 0.740,其中与粉粒含量呈极显著正相关($p<0.01$)。表土可蚀性 K 值与砂粒含量和有机质含量呈负相关,相关系数分别为 −0.978和 −0.434,其中与砂粒含量呈极显著负相关($p<0.01$)(表 3)。坡耕地表土抵抗坡面径流侵蚀能力低,土壤容易被侵蚀而产生大量泥沙,土壤可蚀性 K 值较大。

表 3 表土可蚀性 K 值与土壤理化性质的相关分析结果

土壤理化性质	砂粒	粉粒	黏粒	分形维数	有机质
相关系数	−0.978**	0.993**	0.425	0.740	−0.434

注:**代表显著性水平为 0.01。

3 讨 论

紫色土坡耕地表土可蚀性 K 值介于 0.043 8～0.059 2之间,与史东梅等[21]的研究结果基本一致。不同措施坡耕地间可蚀性 K 值没有显著性差异,可能是因为不同坡耕地下伏基岩性状相似,土壤的颗粒特征、可蚀性等属性差异不大。紫色土是由侏罗纪、白垩纪时期形成的紫红色砂岩和页岩风化而成,成土速率快,但粗颗粒含量较多、有机质和稳定性团聚体含量低,其抗蚀能力低于黄壤、红壤和棕壤[21-25](表

4)。三峡库区人地矛盾较为突出、耕作强度高,再加上库区雨量充沛、暴雨集中,导致了紫色土坡耕地的土壤侵蚀较为强烈[11]。

地块尺度内,坡耕地的中下坡位表土粉粒含量和黏粒含量较高,原因是中下坡位汇流面积较大,产流量较大,易侵蚀产沙和发生沉积,是坡面侵蚀泥沙的主要来源,细颗粒含量较高[18-20]。同时,侵蚀泥沙在地块下坡位被埂坎和水平沟拦截并沉积,故与无措施相比,埂坎和水平沟坡耕地上地块下坡位细颗粒含量均明显高于紧邻的下地块上坡位,且埂坎拦沙截流作用强于水平沟,其上地块下坡位与下地块上坡位间细颗粒含量的差异明显大于水平沟。埂坎和水平沟 2 种水土保持措施均能通过拦截坡面径流和泥沙发挥水土保持效益[12],其中埂坎发挥的水土保持效果较好。坡面尺度内,表土可蚀性 K 值在中下坡位较大,总体来看,最高值多出现在坡面的 3/4 处附近,这与坡面侵蚀—堆积过程导致的坡面表土颗粒组成、有机质含量空间分异有直接关联[18-20]。总体来看,紫色土坡耕地表土抗侵蚀能力弱,且中下坡位抗侵蚀能力明显较低,而埂坎和水平沟对坡面侵蚀具有一定的调控作用,2 种水土保持措施的实施对提高坡耕地表土抗蚀性具有重要意义。

表 4　不同土壤类型下坡耕地土壤可蚀性 K 值描述性统计

土壤类型	地 区	土壤颗粒组成/% 黏粒 (<0.002 mm)	粉粒 (0.002～0.05 mm)	砂粒 (>0.05～2 mm)	有机质含量/%	土壤可蚀性 K_{EPIC} 值/〔(t·hm²·h)/(MJ·mm·hm²)〕	数据来源
黄 壤	黔中喀斯特区	34.30	47.00	18.70	4.40	0.036 4	袁勇[23]
红 壤	南方红壤丘陵区	18.00	30.60	51.40	15.38	0.027 5	翟子宁[24]
棕 壤	东北丘陵漫岗区	3.77	52.31	43.89	5.28	0.036 3	许晓鸿[25]
紫色土	西南紫色土丘陵区	25.68	36.58	32.89	0.69	0.045 5	史东梅[21]

4　结 论

(1) 紫色土坡耕地表土粉粒含量较高,黏粒含量较低,分别为 45.78%～76.29% 和 6.05%～10.58%。坡面尺度内,埂坎坡耕地上地块下坡位粉粒含量明显大于紧邻的下地块上坡位。地块尺度内,表土砂粒含量在上坡位较高,粉粒含量和黏粒含量在中下坡位较高。

(2) 紫色土坡耕地表土有机质含量介于 0.61%～1.48%之间。坡面尺度内,埂坎坡耕地上地块下坡位有机质含量明显大于紧邻的下地块上坡位。地块尺度内,表土有机质含量在中下坡位较高。

(3) 紫色土坡耕地表土可蚀性 K 值介于 0.043 8～0.059 2 之间。坡面尺度内,埂坎和水平沟坡耕地下地块上坡位表土可蚀性 K 值均低于紧邻的上地块下坡位,埂坎表现较为明显。地块尺度内,表土可蚀性 K 值在中下坡位较高,且最高值出现在坡面的 3/4 处。表土可蚀性 K 值与粉粒含量呈极显著正相关($p<0.01$),与砂粒含量极显著呈负相关($p<0.01$)。

〔 参 考 文 献 〕

[1] Borselli L, Torri D, Poesen J, et al. A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates[J]. Catena, 2012, 97(5):85-94.

[2] Yang Xihua, Gray J, Chapman G, et al. Digital mapping of soil erodibility for water erosion in New South Wales, Australia[J]. Soil Research, 2017,56(2):158-170.

[3] 王秋霞,张勇,丁树文,等.花岗岩崩岗区土壤可蚀性因子估算及其空间变化特征[J].中国水土保持科学,2016,14(4):1-8.

[4] Larionov G A, Bushueva O G, Gorobets A V, et al. Experimental study of factors affecting soil erodibility [J]. Eurasian Soil Science, 2018, 51(3):336-344.

[5] 谢红霞,陈琼,李锦龙,等.长沙市东郊不同母质发育耕型红壤的可蚀性因子 K 值估算[J].水土保持通报,2012,32(3):133-135.

[6] 骆东奇,侯春霞,魏朝富,等.紫色土团聚体抗蚀特征研究[J].水土保持学报,2003,17(2):20-23.

[7] 杨帆,张洪江,程金花,等.北京市延庆县不同土地利用方式下的土壤可蚀性研究[J].水土保持通报,2013,33(6):19-22.

[8] 黄晓强,赵云杰,信忠保,等.北京山区典型土地利用方式对土壤理化性质及可蚀性的影响[J].水土保持研究,2015,22(1):5-10.

[9] Guerra A. The effect of organic matter content on soil erosion in simulated rainfall experiments in W. Sussex, UK[J]. Soil Use and Management, 1994,10(2):60-64.

[10] Bonilla C A, Johnson O I. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile[J]. Geoderma, 2012(189/190):116-123.

[11] 文安邦,齐永青,汪阳春,等.三峡地区侵蚀泥沙的^{137}Cs法研究[J].水土保持学报,2005,19(2):33-36.

(下转第 18 页)

地利用变化对河流径流的影响[J]. 中国科学(D 辑:地球科学),2005(7):671-681.

[7] 夏军,谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学,2002,24(3):1-7.

[8] 田义超,梁铭忠,吴彬. 北部湾沿海地区土地利用动态模拟与水源涵养服务能力估算:以广西钦州市为例[J]. 云南地理环境研究,2013,25(5):69-78.

[9] Sun Ning, Li Xiubin. A summary of the effects of afforestation and deforestation on annual water yields[C]// International Geosciences and Remote Sensing Symposium, Seoul, Korea 25-29 July 2005.

[10] 孙宁,李秀彬,李子君,等. 潮河上游土地利用/覆被变化对年径流影响模拟[J]. 北京林业大学学报,2008,30(S2):22-30.

[11] 陈雅琳,常学礼,崔步礼. 山东半岛典型流域土地利用变化对径流的影响分析[J]. 水土保持研究,2007,13(5):104-107.

[12] 叶宝莹,张养贞,张树文,等. 嫩江流域土地覆被变化对径流量的影响分析[J]. 水土保持通报,2003,23(2):15-18.

[13] 贾静,石晓丽. 土地利用/覆被变化对区域径流的影响:以秦皇岛地区为例[J]. 地理与地理信息科学,2017,33(2):108-114,127.

[14] 戴明宏,张军以,王腊春,等. 岩溶地区土地利用/覆被变化的水文效应研究进展[J]. 生态科学,2015,34(3):189-196.

[15] 孟碟. 黔中水利枢纽工程水资源调配与经济核算研究[D]. 天津:天津大学,2013.

[16] 杨秀才. 黔中水利枢纽工程存在的问题及运行管理对策[J]. 现代农业科技,2010(20):273-274.

[17] 侯文娟,高江波,戴尔阜,等. 基于 SWAT 模型模拟乌江三岔河生态系统产流服务及其空间变异[J]. 地理学报,2018,73(7):1268-1282.

[18] 张一鸣,田雨,雷晓辉,等. 三岔河上游近 50 年降水径流变化特征分析[J]. 水文,2016,36(5): 79-84.

[19] 侯祎亮,安艳玲,吴起鑫,等. 贵州省三岔河流域水化学特征及其控制因素[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(7):1121-1128.

[20] 焦树林,刘丽,孙婷,等. 三岔河流域水文特征与化学风化碳汇效应[J]. 地理研究,2013,32(6):1025-1032.

[21] 焦树林,罗福家,梁虹,等. 乌江源区阳长流域化学侵蚀作用的碳汇效应[J]. 水土保持学报,2012,26(5):44-47.

[22] 李毅,石豫川,王平,等. 基于 DEM 的吉太曲流域水文信息分析[J]. 人民黄河,2015,37(9):32-34,37.

[23] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报,2014,69(1):54-63.

[24] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报,2014,69(1):3-14.

[25] 李丽娟,郑红星. 华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析:以潮白河为例[J]. 地理学报,2000,55(3):309-317.

(上接第 11 页)

[12] 韦杰,鲍玉海,金慧芳,等. 三峡库区坡耕地有限顺坡耕作模式及减蚀效应[J]. 灌溉排水学报,2012,31(6):45-48.

[13] 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.

[14] 史东梅,蒋光毅,蒋平,等. 土壤侵蚀因素对紫色丘陵区坡耕地耕层质量影响[J]. 农业工程学报,2017,33(13):270-279.

[15] 周洋,姜敏,李梦雨,等. 湘中丘陵区紫色土坡耕地水土保持措施效益的试验研究[J]. 水土保持学报,2017,31(6):134-138.

[16] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity [J]. Journal of Soil & Water Conservation, 1983,38(5):381-383.

[17] 姜坤,秦海龙,卢瑛,等. 广东省不同母质发育土壤颗粒分布的分形维数特征[J]. 水土保持学报,2016,30(6):319-324.

[18] Wang Li, Shi Zhihua, Wang Junguang, et al. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: A case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China[J]. Journal of Hydrology, 2014,512:168-176.

[19] Slattery M C, Burt T P. Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow [J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2015,22(8):705-719.

[20] 郑良勇,李占斌,李鹏,等. 坡面侵蚀泥沙来源立体分布研究[J]. 水土保持学报,2012,26(3):58-61.

[21] 史东梅,陈正发,蒋光毅,等. 紫色丘陵区几种土壤可蚀性 K 值估算方法的比较[J]. 北京林业大学学报,2012,34(1):32-38.

[22] He Xiubin, Bao Yuhai, Nan Hongwei, et al. Tillage pedogenesis of purple soils in southwestern China[J]. Journal of Mountain Science, 2009,6(2):205-210.

[23] 袁勇,高华端,孙泉忠. 黔中喀斯特地区不同地类土壤侵蚀研究[J]. 中国水土保持,2010(6):50-51.

[24] 翟子宁,王克勤,苏备,等. 松华坝水源区不同土地利用类型土壤可蚀性研究[J]. 西南林业大学学报,2016,36(5):118-124.

[25] 许晓鸿,隋媛媛,张瑜,等. 东北丘陵漫岗区坡耕地土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持通报,2012,32(4):32-35.