

三峡库区植物篱模式对土壤理化性质和可蚀性的影响

黄小芳¹, 丁树文^{1,2}, 柯慧燕³, 邓羽松⁴, 林丽蓉^{1,2},
李柏润¹, 裴欣莹¹, 朱新远¹, 郭靖东¹

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070;

2. 华中农业大学农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070;

3. 湖北省水土保持监测中心, 武汉 430071; 4. 广西大学林学院, 南宁 530004)

摘要: 为探究不同植物篱模式对土壤理化性质及土壤可蚀性空间上的影响, 以三峡库区秭归县张家冲水土保持试验站为研究区, 选取经济林地小区(H1)和农耕地小区(H3)分别为“植物篱+经济林地小区”(H2)和“植物篱+农耕地小区”(H4)对照小区, 对其 3 个坡位(上、中、下坡)和 2 个土层(0—20, 20—40 cm)进行土壤理化性质对比分析, 探讨 2 种植物篱配置下对土壤理化性质和可蚀性的影响。结果表明: (1) 同一小区, 土壤机械组成和土壤养分含量空间分异较明显, 上坡与中坡、下坡差异显著 ($p < 0.05$), 其中土壤机械组成以砂粒为主(59.01%~63.51%), 且分布于上坡, 而土壤细颗粒主要分布在中、下坡, 0—40 cm 土层土壤养分均表现为下坡>中坡>上坡, 全钾含量均值较其对照小区分别高 3.75%~19.61%。(2) 不同小区, 土壤细颗粒和土壤养分含量表现为植物篱小区高于无植物篱小区, 其中土壤细颗粒占比表现为 H4 小区(39.94%)>H2 小区(38.92%)>H1 小区(38.34%)>H3 小区(37.84%); 土壤可蚀性 K 值大小与土壤细颗粒含量呈反比, 即土壤细颗粒占比越大, K 值越小, 越不易被侵蚀, “农耕地+植物篱”(H4)较“经济林+植物篱配置”(H2)更不易被侵蚀。(3) 随着土壤有机质、黏粒、全氮和全钾含量的增加, 可以有效增强土壤抗侵蚀能力。土壤可蚀性 K 值与粉粒、黏粒分别呈极显著正相关和负相关关系(相关系数分别为 1.000, -0.708), 而与砂粒、有机质、全氮和全钾均无显著相关关系($p > 0.05$)。

关键词: 植物篱; 三峡库区; 土壤理化性质; 空间分布

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)03-0009-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.03.002

Effects of Hedgerow Patterns on Soil Physical and Chemical Properties and Erodibility in Three Gorges Reservoir Area

HUANG Xiaofang¹, DING Shuwen^{1,2}, KE Huiyan³, DENG Yusong⁴, LIN Lirong^{1,2},

LI Bairun¹, PEI Xinying¹, ZHU Xinyuan¹, GUO Jingdong¹

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;

2. Key Laboratory of Arable Land Conservation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River,

Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; 3. Hubei Center for Soil and

Water Conservation Monitoring, Wuhan 430071; 4. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004)

Abstract: In order to explore the spatial effects of different hedgerow patterns on soil physical and chemical properties and soil erodibility, this study took Zhangjiachong Soil and Water Conservation Experimental Station in Zigui County of the Three Gorges Reservoir Area as the research area, and selected the economic woodland plot (H1) and agricultural land plot (H3) as the control plot of “hedgerow and economic woodland plot” (H2) and “hedgerow and farmland plot” (H4) respectively. The soil physical and chemical properties were compared and analyzed in three slope positions (up, middle and down slope) and two soil layers (0—20 and 20—40 cm). The results showed that: (1) In the same plot, the spatial variations of soil mechanical composition and soil nutrient content were obvious, and the difference was significant ($p < 0.05$). The soil

收稿日期: 2020-12-15

资助项目: 湖北省水利重点科研项目(HBSLKY201913); 国家重点研发计划项目(2017YFC0505302); 华中农业大学大学生科技创新项目(2019015)

第一作者: 黄小芳(1997—), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: xiaofang2019@mail.hzau.edu.cn

通信作者: 丁树文(1964—), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持与农业生态研究。E-mail: dingshuwen@mail.hzau.edu.cn

mechanical composition was mainly composed of sand (59.01% ~ 63.51%) and distributed in the upper slope, while the soil fine particles mainly distributed in the middle and lower slopes. The soil nutrients in 0—40 cm soil layer were downhill>middle slope>upper slope, and the average content of total potassium was 3.75%~19.61% higher than that of the control plot. (2) In different plots, the contents of soil fine particles and soil nutrients in hedgerow plot was higher than those in non hedgerow plot, and the proportion of soil fine particles was as follows: H4 plot (39.94%)>H2 plot (38.92%)>H1 plot (38.34%)>H3 plot (37.84%). There was a negative relationship between the K values of soil erodibility and the fine particles contents. The larger proportion of soil fine particles, the smaller the K value, the more difficult soil erosion occurred. The soil of H4 was less likely to be eroded than that of H2. (3) With the increase of soil organic matter, clay, total nitrogen and total potassium contents, soil erosion resistance could be effectively enhanced. Soil erodibility K value of soil erodibility was significantly positively and negatively correlated with silt and clay (correlation coefficients were 1.000, -0.708), but not with sand, organic matter, total nitrogen and total potassium ($p > 0.05$).

Keywords: hedgerow; Three Gorges Reservoir area; soil physical and chemical properties; spatial distribution

由于特殊的自然地理环境,我国坡耕地水土流失较为严重,据统计^[1],全国水土流失总面积为 273.69 万 km²,其中,坡耕地水土流失面积为 21.89 万 km²,占水土流失总面积的 8%;全国土壤侵蚀总量 45 亿 t,其中坡耕地土壤侵蚀量为 14.15 亿 t,占土壤侵蚀量总面积的 33%。三峡库区是长江中下游地区的生态环境屏障和西部生态环境建设的重点,同时也承担着当地及长江中下游经济社会可持续发展的重任^[2-3]。为防治水土流失,改善生态环境,采取相应的水土保持措施(工程、植物和耕作等技术措施与管理措施)来减缓水土流失是必要的。在长期的社会生产中,因植物篱能有效减少土壤侵蚀和控制面源污染等水土保持效果而在三峡库区得到广泛应用^[4-5]。植物篱能够通过拦截径流和泥沙改善土壤理化性质和提高土壤酶及微生物活性有效减少土壤侵蚀,形成良好的经济效益和生态效益^[6]。

土壤可蚀性是表示土壤被侵蚀的难易程度,反映土壤对侵蚀外营力剥蚀和搬运的敏感性^[7]。土壤机械组成和养分含量是衡量土壤可蚀性的重要指标,也是影响植物生长发育过程中的因素之一,因此,研究植物篱对土壤可蚀性和理化性质的影响是有必要的^[8]。Li 等^[9]通过对三峡库区研究发现,植物篱的根系和枯落物能有效拦截黏土颗粒,减少氮磷等养分的流失;李波等^[10]研究发现,植物篱系统可有效增加石灰土坡耕地土壤耕层(0—30 cm)细颗粒含量和减小土壤养分流失,黄鑫等^[11]对比分析了香根草和新银合欢不同植物篱对表层土壤水稳性团聚体、孔隙度和氮磷等理化性质的变化。长期以来,许多学者^[10-14]基于不同土壤类型、植物篱配置的土壤理化性质和减蚀机理上进行大量研究,而缺乏对三峡库区不同植物篱配置模式下土壤理化性质空间分布及可蚀性研究。

鉴于此,本文以湖北省宜昌市秭归县的张家冲水土保持监测站径流小区为研究区域,通过分析不同植物篱措施对不同深度土壤理化性质影响,探究 2 种植物篱配置下土壤养分空间分布和可蚀性特征,以期为三峡库区生产实践中合理布设植物篱种植模式和防治面源污染提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验地位于三峡库区宜昌市秭归县茅坪镇境内张家冲水土保持试验站(110°57'20"E, 30°46'51"N)。属亚热带大陆性季风气候,无霜期 305 d,多年平均气温 16.8℃,多年平均日照时间 1 728 h,多年平均降水量 1 321.0 mm。研究区土壤为花岗岩母质出露发育的黄棕壤,植被以亚热带常绿、落叶阔叶林和针阔混交林为主,林草覆盖率 62.6%。植被类型为次生针、阔叶混交为主,主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、柏树(*Cupressus funebris*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)等;农作物以种植水稻(*Oryza sativa*)、油菜(*Brassica napus*)、花生(*Arachis hypogaea*)、小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)和红苕(*Ipomoea batatas*)等为主。

1.2 试验设计

本次试验共选取 4 个径流小区,其中 H1 和 H3 分别种植柑橘(经济林地)和花生/油菜(农耕地)轮作,H2 和 H4 分别为“经济林+紫穗槐植物篱”和“农耕地+植物篱”,与 H1 和 H3 互为对照小区。小区坡度均为 25°,坡向为 210°,小区水平投影面积为 20 m²(长 10 m,宽 2 m),土壤为黄棕壤,质地砂土。植物篱栽植模式为紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)栽植于各小区上、中、下 3 个不同部位,带宽 30 cm,每带植

物篱 2 行,行距 20 cm,株距为 20 cm,已定植 3 年以上。为避免误差,4 个径流小区采取相同的施肥耕作措施,各径流小区及采样点见图 1。

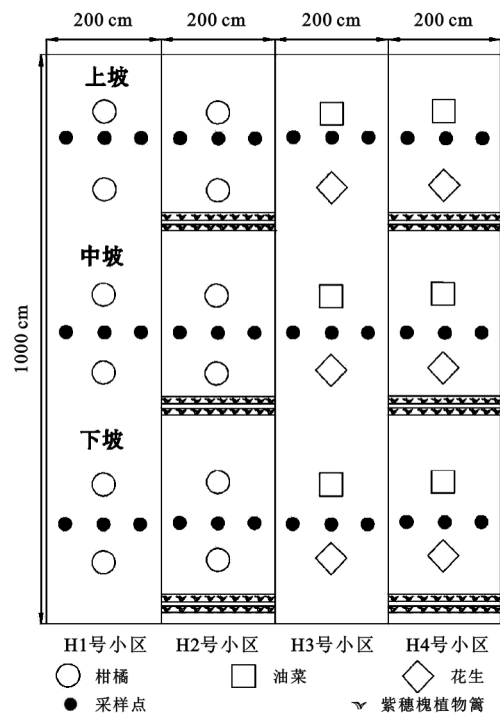


图 1 径流小区及采样点示意

1.3 试验方法

于 2019 年 10 月下旬进行采样,采样时间为雨后放晴 3 天以上,且无除草措施,待土壤湿度适宜、土不沾铲、接触不变形时,采用典型选样法进行采样。为消除边壁影响,采样点距离边壁 40 cm,距篱带 0~20 cm。在径流小区中自上而下分为上坡、中坡、下坡 3 个坡位,每个坡位从左至右等距离(间距 60 cm)选取 3 个点。在各样点除去地表覆盖物后,用土钻分 2 层采集不同深度土样(0—20,20—40 cm),采样完成后装袋编号待测。

将试验小区取回的土样去除砾石及根系等杂物,经风干过筛后备用。土壤有机质含量采用电砂浴重铬酸钾法测定;土壤全氮采用半微量凯氏定氮法测定;土壤全钾采用 NaOH 熔融—原子吸收分光光度法测定;土壤机械组成测定采用吸管法^[13]测定。土壤可蚀性 K 值通过用 EPIC 模型^[14]进行获取,其值需除以 7.593 转换为国际制单位($t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^2)$)。

1.4 统计分析

采用 Excel 2016 软件进行数据处理,SPSS 24.0 软件进行统计分析与显著性检验(Duncan 法, $p < 0.05$),采用 Origin 2020 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 植物篱对土壤机械组成和土壤可蚀性的影响

土壤机械组成是土壤重要的物理性质之一,土壤

细颗粒(粉粒和黏粒)的数量与质量是土壤养分含量和土壤保肥能力的体现^[15]。其中黏粒是土壤胶体的组成部分,因其比表面积大,离子吸附力较强,被认为是氮磷钾等养分元素的主要载体^[16]。从图 2 可知,由花岗岩发育而来的黄棕壤(0—40 cm)土壤颗粒以砂粒为主(约占 61%),其次是粉粒(约占 24%),黏粒最少(约占 15%),其分布情况主要取决于成土母质的自身性质及环境因素。植物篱小区(H2 和 H4)砂粒含量较对照小区(H1 和 H3)相对减少,细颗粒含量相对增加,且 2 种植物篱配置模式中土壤细颗粒含量表现为“农耕地+植物篱”(H4) > “经济林+植物篱配置”(H2)。紫穗槐根系在表土中穿插盘结,有效增强表土的抗蚀能力,能够将土壤中粉粒和黏粒含量提高 0.63%~5.54%,对控制黏粒和粉粒的流失有一定效果。H2(植物篱+柑橘)和 H4(植物篱+花生/油菜)小区的土壤细颗粒含量分别比 H1(柑橘)和 H3(花生/油菜)对照小区增加 1.01,1.06 倍,这与黄鑫等^[11]的研究结果相似。由于对照小区细颗粒流失,土壤发生粗化,而植物篱能有效改变土壤机械组成的分布情况,避免土壤细颗粒被径流携带走,造成粉粒和黏粒的流失。

不同小区机械组成空间分异性较为明显,土壤细颗粒主要分布在中、下坡。H1、H2、H3 和 H4 对照小区上坡土壤细颗粒分别为 36.49%,37.57%,36.79%,38.85%,较中坡减少了 5.34%,3.79%,2.54%,2.84%,与其下坡粉粒和黏粒百分比含量相比分别减少了 8.75%,6.40%,5.64%,5.21%。由此可见,各小区土壤细颗粒(粉粒和黏粒)由上坡到下坡发生迁移有逐渐增大的趋势,但不同小区增加幅度不一,这与前人^[14,17]研究结果一致。由于径流由上坡向下坡运动过程中,紫穗槐植物篱根部的机械拦挡作用,使得大颗粒在植物篱带前发生沉积,而径流携带细颗粒穿过篱带继续向下运动,从而使其在中坡和下坡逐渐沉积下来。

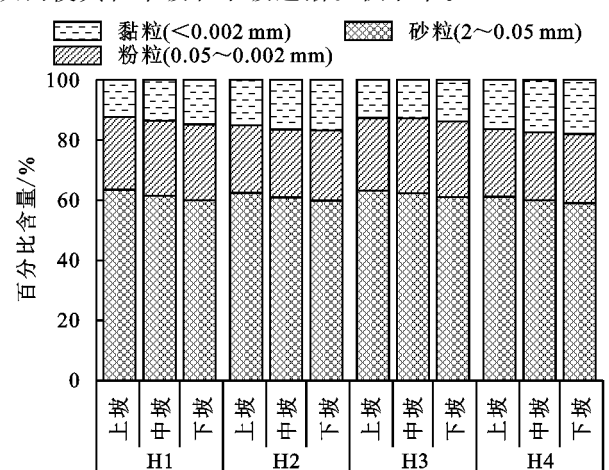


图 2 不同植物篱配置下黏粒、粉粒和砂粒的占比
土壤可蚀性是评价土壤侵蚀敏感程度的重要指

标,反映土壤被侵蚀的难易程度^[18]。K 值越小,表明土壤可蚀性越弱,即土壤抗侵蚀能力越强^[19]。从不同小区土壤可蚀性描述性统计结果(表 1)来看,各小区土壤可蚀性均值表现为 H1 小区(柑橘)>H3 小区(花生/油菜)>H2 小区(植物篱+柑橘)>H4 小区(植物篱+花生/油菜),变异系数为 0.568 49%~1.009 83%,均属于弱等变异程度。其中 H2 号小区的土壤可蚀性 K 值和变异系数均大于 H4 号小区,即“农耕地+植物篱”较“经济林+植物篱”配置更不易被侵蚀。由于 2 种植物篱配置下根系特征不同,导致根系微生物的种类和数量不同,抵抗土壤侵蚀力作用不同。又因“经济林+植物篱”配置中,经济林(柑橘)具有拦截降雨,减少雨水对地面的直接打击等作用,但柑橘林下无植被覆盖,导致地表径流增加,土壤入渗减少,“经济林+植物篱”更

易受到侵蚀。植物篱对土壤可蚀性的影响差异显著($p<0.05$),且 2 种不同植物篱配置模式下土壤可蚀性 K 值均小于无植物篱对照小区。其中 H4 小区土壤可蚀性均值($0.032\ 13\ (\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$)与 H3 小区($0.033\ 32\ (\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$)差异显著,而与 H2 植物篱小区($0.032\ 20\ (\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$)差异不显著。土壤可蚀性最值以 H2 小区最小($0.031\ 99\ (\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$),H1 和 H3 小区最大($0.033\ 57\ (\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h})/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$),H4 小区最值差异最大。由此可以看出,植物篱小区较对照小区更不易被侵蚀,这是因为植物篱能有效拦截地表径流,降低径流流速,同时紫穗槐的根系对穿插固结土壤,促进土壤入渗,减少坡面径流泥沙等效果显著^[20]。

表 1 不同土地利用方式下土壤可蚀性特征变化参数

土地利用方式	小区	均值/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^2)$	方差/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^2)$	最小值/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^2)$	最大值/ $(\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^2)$	变异系数/%
经济林地	H1	0.03333a	0.00034	0.03294	0.03357	1.00983
	H2	0.03220b	0.00031	0.03199	0.03254	0.95906
农耕地	H3	0.03332a	0.00033	0.03295	0.03357	0.98261
	H4	0.03213b	0.00018	0.03042	0.03255	0.56849

注:同列数据后用不同小写字母表示不同小区土壤可蚀性差异显著($p<0.05$)。

2.2 植物篱对土壤养分的影响

土壤有机质、TN 和 TK 是衡量土壤养分的重要指标。土壤有机质是土壤养分的重要来源之一,其质量和数量直接影响土壤潜在的生产力,是衡量土壤肥力水平的基础^[12]。表 2 总结了 2 种不同土层以及不同植物篱配置模式下的土壤养分描述性统计,土壤各养分指标含量在小区坡面上的分布差异较为明显,SOM 的变异系数值为 0.16%~25.81%,表明土壤有机质有弱变异和中等变异程度;TN 和 TK 变异系数分别为 1.14%~12.49%和 0.09%~0.78%,土壤全氮和全钾均表现为弱变异程度。从土壤 SOM 最值含量来看,H3 小区(花生/油菜)的上坡下层土(20—40 cm 土层)有机质含量最低,H2 小区(植物篱+柑橘)的下坡上层土(0—20 cm)有机质含量最高,两者差值为 8.23 g/kg。土壤 TN 最值含量与土壤 SOM 不同的在于:土壤全氮含量最低值和最高值分别为 H1 小区(柑橘)的上坡下层土(20—40 cm 土层)和 H2 小区(植物篱+柑橘)的下坡上层土(0—20 cm),两者差值为 0.65 g/kg。土壤 TK 最值含量与 SOM 相似,以 H2 小区(植物篱+柑橘)的下坡上层土最高(47.98 g/kg),H3 小区(花生/油菜)的上坡下层土最低(28.74 g/kg),两者差值为 19.24 g/kg。2 种植物

篱配置模式中不同位置养分含量表现为经济林+植物篱配置系统(H2)>农耕地+植物篱(H4)。

为研究不同土层以及不同植物篱配置模式对土壤养分分布的影响,分别对 2 种不同土层以及 2 种不同植物篱配置模式下的土壤养分进行显著性差异比较(Duncan 法, $p<0.05$)。由图 3 可知,经济林地和农耕地不同植物篱配置方式下土壤有机质均呈现水平和垂直分异,土壤有机质含量呈现出上坡流失、中下坡富集,并随着土层加深递减的分布特点。小区上坡有机质含量均低于中坡和下坡,同一小区和土层深度土壤有机质上坡与中坡、下坡差异显著($p<0.05$),且 0—20 cm 土层表现为下坡(10.66%~15.76%)>中坡(9.15%~15.29%)>上坡(5.91%~12.23%),这与土壤细颗粒的分布特征相似,20—40 cm 也呈现出相同的变化规律:上坡减少,下坡增加。因为土壤有机质主要富集在土壤细颗粒中,降雨产生的地表径流携带大量细颗粒泥沙由上坡向下坡流动,中下坡土壤在水土流失过程中得到上坡土壤细颗粒的补充,而上坡则不断流失。同一坡位和土层土壤有机质表现为,有无植物篱小区差异显著($p<0.05$),且有植物篱小区有机质是无植物篱小区的 1.27~3.22 倍。其中,0—20 cm 土层中有机质表现为:H2 小区(植物篱+柑橘)>H4 小区(植物篱+花生/油菜)>H1 小

区(柑橘)＞H3 小区(花生/油菜),而 20—40 cm 土层中,H2 小区与 H4 小区有机质相差不大,可能是由于花生和油菜进行轮作措施,且花生根系较深,对深层土壤扰动较大。综上可知,经济林+植物篱配置系统下土壤有机质含量高于农耕地+植物篱配置系统,且各坡位土壤有机质分异明显。

表 2 不同植物篱配置下土壤有机质、全氮及全钾描述统计

土地利用类型	小区	土层深度/cm	坡位	SOM			TN			TK		
				最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	变异 系数/%	最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	变异 系数/%	最小值/ (g·kg ⁻¹)	最大值/ (g·kg ⁻¹)	变异 系数/%
经济林地	H1	0—20	上坡	3.13	4.56	18.42	0.41	0.46	5.76	36.61	37.05	0.60
			中坡	5.95	6.34	3.26	0.64	0.70	4.48	42.34	42.82	0.56
			下坡	6.48	7.16	5.70	0.72	0.78	4.00	45.88	46.24	0.40
		20—40	上坡	1.95	2.14	4.66	0.14	0.25	12.49	31.41	31.63	0.35
			中坡	2.40	5.02	25.81	0.31	0.35	6.06	34.33	34.51	0.26
			下坡	4.16	4.32	1.96	0.38	0.42	5.00	41.54	41.82	0.34
	H2	0—20	上坡	7.27	8.08	5.33	0.62	0.68	4.62	38.11	38.33	0.29
			中坡	8.81	8.91	0.58	0.70	0.72	1.41	44.89	45.24	0.39
			下坡	8.95	9.50	3.37	0.75	0.79	2.60	47.56	47.98	0.44
		20—40	上坡	4.67	4.73	0.69	0.39	0.41	2.50	37.41	37.99	0.77
			中坡	5.09	5.30	2.02	0.44	0.48	4.35	38.92	39.12	0.26
			下坡	5.78	5.88	0.98	0.50	0.54	3.85	43.12	43.48	0.42
农耕地	H3	0—20	上坡	3.39	3.46	0.98	0.40	0.42	2.44	32.69	32.75	0.09
			中坡	5.25	5.35	1.01	0.61	0.65	3.17	34.04	34.10	0.09
			下坡	6.05	6.38	2.81	0.70	0.72	1.41	37.81	38.05	0.32
		20—40	上坡	1.27	1.52	10.38	0.14	0.18	7.50	28.74	28.87	0.23
			中坡	4.00	4.08	1.08	0.34	0.42	9.53	29.11	29.17	0.10
			下坡	4.06	4.38	3.80	0.45	0.47	2.17	30.81	30.95	0.23
	H4	0—20	上坡	5.04	5.34	2.96	0.61	0.65	3.17	37.62	38.21	0.78
			中坡	7.07	7.09	0.16	0.63	0.69	4.61	39.89	40.23	0.43
			下坡	7.55	8.09	3.49	0.72	0.78	4.06	42.45	42.72	0.32
		20—40	上坡	4.17	4.57	4.63	0.41	0.43	2.38	28.14	28.40	0.46
			中坡	5.23	5.54	2.94	0.46	0.48	2.13	30.74	31.14	0.65
			下坡	6.10	6.17	0.55	0.49	0.53	3.92	32.82	33.24	0.64

注:SOM 为土壤有机质;TN 为全氮;TK 为全钾。

土壤全氮含量是衡量土壤氮素供应状况的重要指标,主要决定于有机质的积累和分解作用的相对强度^[21]。由图 3 可知,土壤全氮的含量变化与有机质一致,但略有差异,同一小区和土层深度不同坡位全氮含量均表现为差异显著($p<0.05$),且表现为中下坡富集。其中,H2 小区上坡、中坡和下坡全氮含量较 H1 小区分别提高了 1.49~2.07,1.06~1.39,1.03~1.30 倍。H4 小区上坡、中坡和下坡全氮含量分别为 H3 小区的 1.54~3.00,1.05~1.10,1.06~1.11 倍。与对照小区相比,种植紫穗槐小区 2 个土层土壤全氮含量均有提高,且下层土壤全氮含量较上层降低 23.81%~60.98%。这主要是由于植物篱紫穗槐覆盖和有机质增加了土壤渗透性能^[22],一方面减少了坡面径流而增加了土壤全氮含量;另一方面,植物篱阻滞和拦截了坡面径流和泥沙而使得土壤全氮在中下坡富集。

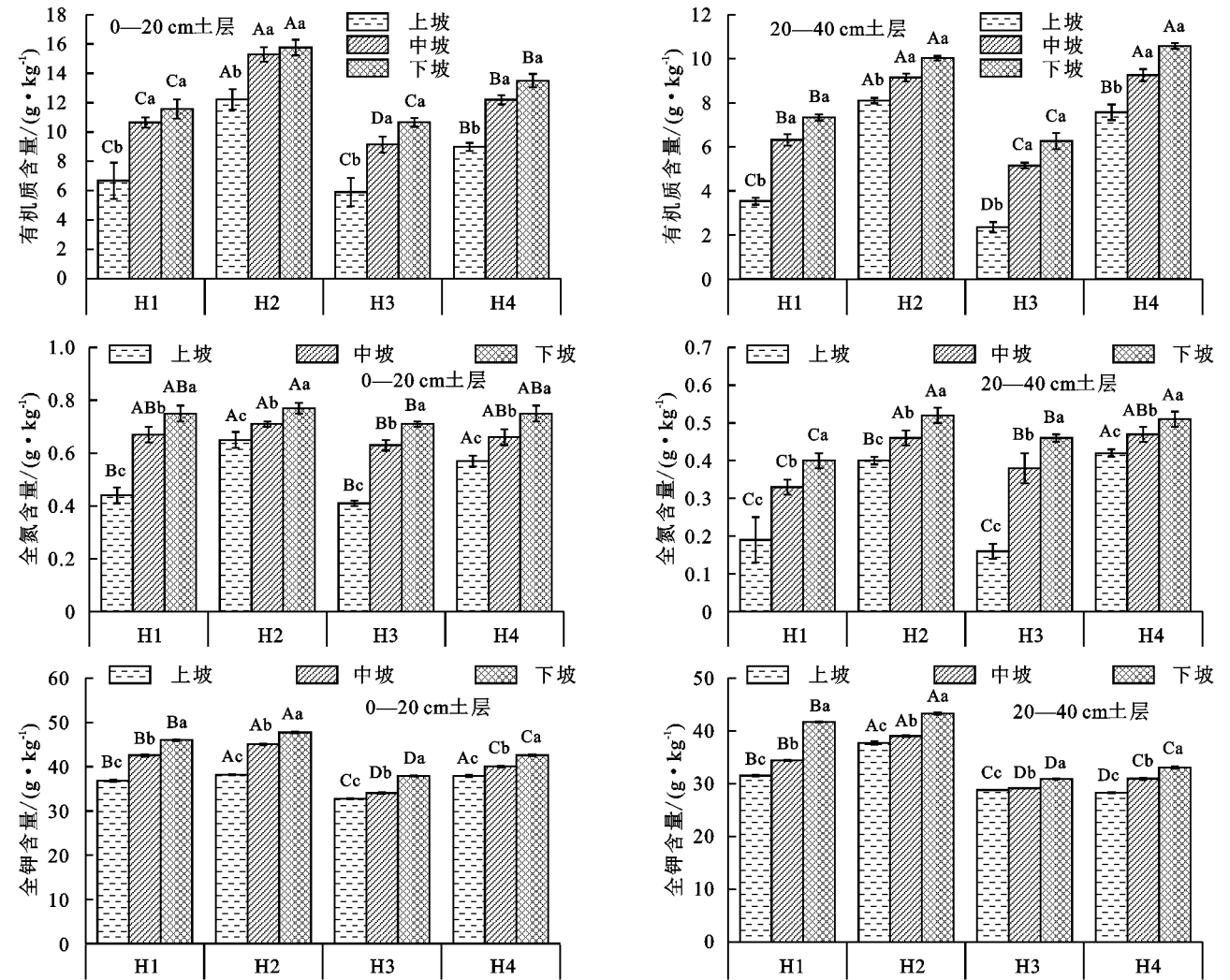
紫穗槐植物篱对全钾的流失有良好的控制作用,0—40 cm 土层植物篱小区全钾含量平均值较其对照小区分别提高 3.75%~19.61%(图 3),且不同土层的植物篱小区全氮含量在坡位上分布差异显著($p<0.05$),其中 H2 小区上层土壤全钾含量较为富集分布在中下坡(占 71%),而下层土壤全钾含量主要集中分布在下坡(占 37%)。由于全钾在土壤不同颗粒中分配较为平均,其含量主要由泥沙带动,而植物篱对土壤颗粒的拦截作用主要体现在中下坡,侵蚀作用将较细颗粒侵蚀走后,表层土壤全钾的含量主要富集在中下坡。全钾含量在坡位上的分布与有机质类似,但不同小区的含量表现差异显著($p<0.05$)。上层土壤中全钾含量表现为:H2 小区(植物篱+柑橘)＞H1 小区(柑橘)＞H4 小区(植物篱+花生/油菜)＞H3 小区(花生/油菜),下层土壤所呈现的全钾含量与上层土壤趋势一样,这与马云等^[23]的研

究结果类似,即土壤全钾的含量不仅与土壤细颗粒的数量有关,而且与不同植物篱配置密切相关。

2.3 土壤理化性质与土壤可蚀性之间的相关分析

土壤机械组成和有机碳含量是获取土壤可蚀性 EPIC 模型中的主要因子。随着降雨对土壤地表的冲刷,土壤机械组成、有机质和土壤养分等也相应随着径流泥沙的流失而发生变化^[24]。植物篱能有效保持水土,改善土壤物理性质等作用。一方面通过其枝叶来削减降雨对土壤的打击动能,另一方面通过增加土壤入渗,减径流流速来降低其携沙能力。表 3 为不同植物篱配置下土壤可蚀性与土壤理化性质间的 Pearson 相关性结果。分析结果表明,土壤可蚀

性 K 值与粉粒、黏粒分别呈极显著正相关和负相关关系($p<0.01$),而与砂粒、有机质、全氮和全钾均无显著相关关系($p>0.05$)。土壤有机质与砂粒呈极显著相关关系($p<0.01$),而与黏粒、全氮和全钾呈极显著正相关关系,相关系数分别为 0.825, 0.929, 0.721;全氮与砂粒呈极显著负相关关系($p<0.01$),而与黏粒、有机质呈极显著正相关关系($p<0.01$);全钾与砂粒、全氮的相关系数分别为-0.592, 0.628 ($p<0.05$),而与有机质呈极显著正相关($p<0.01$)。由上可知,随着土壤有机质、黏粒、全氮和全钾含量的增加,可以降低土壤可蚀性,从而增强土壤的抗侵蚀能力。



注:图柱上方不同小写字母表示相同小区同一土层不同坡位间土壤养分差异显著($p<0.05$);不同大写字母表示相同坡位同一土层不同小区土壤养分差异显著($p<0.05$)。

图 3 不同土层深度、植物篱配置下对土壤养分的影响

为了确定土壤可蚀性最基本的影响因素和有效指标,消除各影响因子的相互作用,确保因子间的相关系数能真实反映可蚀性与各因子的相关程度,本研究对土壤可蚀性与各影响因素分别进行了偏相关分析。

由表 4 可知,土壤可蚀性与土壤砂粒、粉粒和全

氮呈正相关关系,而土壤可蚀性负相关关系最高为黏粒,其相关系数为-0.773;其次为有机质和全钾,二者相关系数分别为-0.158, -0.053。土壤黏粒是土壤养分的重要载体之一,且土壤养分的流失主要是通过土壤颗粒迁移和径流损失,土壤黏粒含量的高低对土壤抵抗侵蚀能力有重要的影响作用^[25]。

表 3 不同植物篱配置下土壤可蚀性与土壤理化性质间的相关性

项目	土壤可蚀性	砂粒	粉粒	黏粒	有机质	全氮	全钾
土壤可蚀性	1.000	0.186	1.000**	−0.708**	−0.435	−0.205	−0.091
砂粒	0.186	1.000	0.211	−0.825**	−0.799**	−0.878**	−0.592*
粉粒	1.000**	0.211	1.000	−0.726**	−0.455	−0.228	−0.106
黏粒	−0.708**	−0.825**	−0.726**	1.000	0.825**	0.749**	0.477
有机质	−0.435	−0.799**	−0.455	0.825**	1.000	0.929**	0.721**
全氮	−0.205	−0.878**	−0.228	0.749**	0.929**	1.000	0.628*
全钾	−0.091	−0.592*	−0.106	0.477	0.721**	0.628*	1.000

注：* 表示 $p<0.05$ ；** 表示 $p<0.01$ 。

表 4 不同植物篱配置下土壤可蚀性与土壤理化性质间的偏相关性分析

项目	砂粒	粉粒	黏粒	有机质	全氮	全钾
相关性	0.199	1.000	−0.773	−0.158	0.404	−0.053
显著性(双尾)	0.608	0	0.014	0.735	0.368	0.910

3 结 论

(1)同一小区,土壤机械组成和土壤养分含量水平分异较明显,上坡与中坡、下坡差异显著($p<0.05$),其中土壤机械组成以砂粒含量为主,且分布于上坡,而土壤细颗粒主要分布在中、下坡,0—40 cm 土层土壤养分均表现为下坡>中坡>上坡,全钾含量均值较其对照小区分别提高 3.75%~19.61%。

(2)不同小区,土壤细颗粒和土壤养分含量表现为植物篱小区高于无植物篱小区,其中土壤细颗粒占比表现为 H4 小区>H2 小区>H1 小区>H3 小区;土壤可蚀性 K 值大小与土壤细颗粒含量呈反比,即土壤细颗粒占比越大, K 值越小,越不易被侵蚀,“农耕地+植物篱”(H4)较“经济林+植物篱配置”(H2)更不易被侵蚀。

(3)随着土壤有机质、黏粒、全氮和全钾含量的增加,可以有效增强土壤抗侵蚀能力。土壤可蚀性 K 值与粉粒、黏粒分别呈极显著正相关和负相关关系($p<0.01$),而与砂粒、有机质、全氮和全钾均无显著相关关系($p>0.05$)。

参考文献：

[1] 中华人民共和国水利部.第一次全国水利普查水土保持情况公报[J].中国水土保持,2013(10):2-3.

[2] 李乐,刘常富.三峡库区面源污染研究进展[J].生态科学,2020,39(2):215-226.

[3] Zhang T, Ni J P, Xie D T. Assessment of the relationship between rural non-point source pollution and economic development in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016,23(8):8125-8132.

[4] 丁树文,王峰,蔡崇法,等.两种绿篱植物对作物养分吸收的影响[J].资源科学,2004,26 (1):156-160.

[5] Prijono S, Laksmana M T S, Suprayogo D. Effects of hedgerow systems on soil moisture and unsaturated hydraulics conductivity measured by the Libardi method [J]. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 2016,3(2):491-498.

[6] 曹艳,刘峰,包蕊,等.西南丘陵区坡耕地植物篱水土保持效益研究进展[J].水土保持学报,2017,31(4):57-63.

[7] 宋阳,刘连友,严平,等.土壤可蚀性研究述评[J].干旱区地理,2006,29(1):124-131.

[8] Wang H, Zhang G H. Temporal variation in soil erodibility indices for five typical land use types on the Loess Plateau of China [J].Geoderma,2021,381:e114695.

[9] Li J Q, Zhang H J, Chen Q B, et al. An analysis of soil fractal dimension in a sloping hedgerow agroforestry system in the Three Gorges Reservoir Area, China [J]. Agroforestry Systems, 2015,89(6):983-990.

[10] 李波,李晔,赵绍林,等.植物篱对石灰土坡耕地理化性质及磷素流失的影响[J].水土保持学报,2017,31(5):14-18,24.

[11] 黄鑫,蒲晓君,郑江坤,等.不同植物篱对紫色土区坡耕地表层土壤理化性质的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):173-177,215.

[12] 黎建强,张洪江,程金花,等.长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质[J].应用生态学报,2011,22(2):418-424.

[13] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.

[14] 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 and Water Conservation,1983,38(5):381-383.

[15] 吕文强,党宏忠,王立,等.黄土高原带状植被土壤理化性质空间分异特征[J].草业学报,2016,25(10):21-30.

[16] 彭熙,李安定,李苇洁,等.不同植物篱模式下土壤物理变化及其减流减沙效应研究[J].土壤,2009,41(1):107-111.

[17] 黄欢,何丙辉,鲍玉海,等.不同模式地埂植物篱对土壤颗粒组成特征参数的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):256-261.

- forces and matric suction [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26(13): 1421-1442.
- [12] 安娟, 陈新军, 宋红丽. 近地表水文条件对横坡垄作坡面褐土团聚体流失的影响[J]. *土壤学报*, 2020, 57(6): 1411-1421.
- [13] Nouwakpo S K, Huang C H, Bowling L, et al. Impact of vertical hydraulic gradient on rill erodibility and critical shear stress [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2010, 74(6): 1914-1921.
- [14] Owoputi L O, Stolte W J. The role of seepage in erodibility [J]. *Hydrological Processes*, 2001, 15(1): 13-22.
- [15] Huang Y H, Chen X Y, Li F H, et al. Velocity of water flow along saturated loess slopes under erosion effects [J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 561: 304-311.
- [16] Cochrane T A, Flanagan D C. Detachment in a simulated rill [J]. *Transactions of the ASABE*, 1996, 40(1): 111-119.
- [17] Nearing M A, Bradford J M, Parker S C. Soil detachment by shallow flow at low slopes [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(2): 339-344.
- [18] Li Z W, Zhang G H, Geng R, et al. Land use impacts on soil detachment capacity by overland flow in the Loess Plateau, China [J]. *Catena*, 2015, 124: 9-17.
- [19] Xiao H, Liu G, Liu P L, et al. Response of soil detachment rate to the hydraulic parameters of concentrated flow on steep loessial slopes on the Loess Plateau of China [J]. *Hydrological Processes*, 2017, 31(14): 2613-2621.
- [20] Zheng F L, Huang C H, Norton L D. Effects of near-surface hydraulic gradients on nitrate and phosphorus losses in surface runoff [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(6): 2174-2182.
- [21] 黄钰涵, 陈晓燕, 罗帮林, 等. 基于土槽冲刷法的紫色土侵蚀细沟剥蚀率研究[J]. *土壤学报*, 2016, 53(3): 594-601.
- [22] Singh H V, Thompson A M. Effect of antecedent soil moisture content on soil critical shear stress in agricultural watersheds [J]. *Geoderma*, 2016, 262: 165-173.
- [23] 肖培青, 姚文艺, 申震洲, 等. 植被影响下坡面侵蚀临界水流能量试验研究[J]. *水科学进展*, 2011, 22(2): 229-234.
- [24] 张玉斌, 郑粉莉. 近地表土壤水分条件对坡面土壤侵蚀过程的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(2): 5-10.
- [25] 任熠, 王先拓, 王玉宽, 等. 紫色土坡面细沟流的水力学特征试验研究[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 39-42, 46.
- (上接第 15 页)
- [18] Zhu G Y, Tang Z S, Shangguan Z P, et al. Factors affecting the spatial and temporal variations in soil erodibility of China [J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2019, 124(3): 737-749.
- [19] 邓羽松, 李双喜, 丁树文, 等. 鄂东南崩岗不同层次土壤分形特征及抗蚀性研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(1): 63-70.
- [20] 吕文强, 党宏忠, 周泽福, 等. 北方带状植物篱土壤水分物理性质分异特征[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(3): 86-91, 97.
- [21] 湛芸, 马云, 何丙辉. 植物篱对紫色土物理性质及养分的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(6): 59-63.
- [22] 吕文星, 张洪江, 程金花, 等. 三峡库区植物篱对土壤理化性质及抗蚀性的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4): 69-73, 78.
- [23] 马云, 何丙辉, 何建林, 等. 植物篱对紫色土区坡地不同土层土壤物理性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(6): 60-64, 70.
- [24] 陈蝶, 卫伟. 植物篱的生态效益研究进展[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(2): 652-662.
- [25] 熊杏, 熊清华, 郭熙, 等. 南方典型丘陵区耕地土壤全氮、有机碳和碳氮比空间变异特征及其影响因素[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(9): 1656-1668.