

秸秆移除对西南山丘区紫色土抗侵蚀能力的影响

任涛¹, 贺宇欣^{2*}, 张鹏¹, 刘超², 李乃稳², 谭霄²

(1.四川大学 水利水电学院, 成都 610065;

2.四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

摘要:【目的】研究不同秸秆移除率对西南山丘区紫色土抗侵蚀能力的影响。【方法】在四川省简阳市进行大田试验, 选定5个表征土壤抗侵蚀能力的参数进行测量。试验共设置5个不同梯度的秸秆移除率, 依次为100%、75%、50%、25%、0%, 并随种植时间进行冬油菜—夏玉米秸秆的移除, 测定了土壤质量含水率、干体质量、水稳性团聚体质量分数、几何平均直径、饱和导水率这5个参数。【结果】表层0~10 cm土层的质量含水率在不同移除率间差异性显著, 25%移除率在所有处理中最大。不同移除率干体质量均随时间减小的趋势, 0~5 cm内干体质量降幅随移除率的减小依次为5.5%、4.6%、2.1%、-5.2%、0.4%, 5~10 cm内降幅依次为2.4%、5.0%、4.2%、0.8%、5.4%。25%移除率下的水稳性团聚体质量分数在5组处理中最大, 在4次取样时分别为76.5%、81.2%、74.6%、76.8%。移除率为75%、50%、25%时团聚体的几何平均直径随时间增大, 而移除率100%时显著下降, 降幅随时间依次为31.2%、14.7%、-42.0%。移除率0%时土壤饱和导水率高达61.1 mm/min, 与其余移除率间差异性显著。【结论】25%秸秆移除率能提高西南山丘区紫色土抗蚀抗冲能力, 土壤持水透气性增强, 表面板结固化现象减少, 同时团聚体结构得到改善, 能在一定程度上缓解水土流失现象, 而100%移除率会使紫色土抗蚀能力减弱, 更易遭受侵蚀, 造成土壤进一步退化。研究成果为我国西南山丘区紫色土耕地进行田间秸秆的移除提供了参考, 确定了一个最佳移除比例。

关键词: 西南山丘区; 紫色土; 秸秆移除; 土壤; 可持续发展

中图分类号: S157

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2019317

任涛, 贺宇欣, 张鹏, 等. 秸秆移除对西南山丘区紫色土抗侵蚀能力的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 82-88.

REN Tao, HE Yuxin, ZHANG Peng, et al. The Resistance of Purple Soil Against Erosion Depends on Straw Removal Rate in the Hilly Regions in Southwest China [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 82-88.

0 引言

【研究意义】西南山丘区由于其独特的山地丘陵地形, 加之耕地类型主要为紫色土(Purple Soil)耕地, 使该地区已成为我国水土流失最为严重的地域之一, 耕层集中表现为土壤侵蚀退化严重, 农作物产量低且不稳定^[1-2]。紫色土是由紫色泥(页)岩风化形成, 由于成土母质本身具有土层薄、团聚体结构差、易崩解、抗蚀性弱等特点^[3-4], 是西南山丘区主要的土壤资源之一, 紫色土耕地面积约占四川省耕地总面积的68%^[5]。作物秸秆作为农业生产中重要的副产品, 既可作为植物营养元素的来源, 又可因管理不当而造成环境污染, 甚至导致土壤退化。随着秸秆禁烧政策的实施, 大量秸秆无人管理, 被农民随意堆弃在田埂

或沟渠边, 秸秆腐熟过程中释放的营养元素无法被作物吸收利用, 从而导致农业面源污染。为保证农业可持续发展, 防止因秸秆不当管理而造成土壤侵蚀退化, 需研究适宜西南山丘区的秸秆管理措施, 明确在实际生产大田条件下的秸秆最大可移除量。

秸秆一度被人们认为是农业生产中的废弃物, 而随着土壤可持续发展概念的提出, 秸秆作为土壤表面的直接保护层, 能隔绝外界条件对地表的干扰, 对土壤抗侵蚀能力有显著影响。土壤侵蚀主要分为风蚀和水蚀, 西南山丘区由于降雨分布不规律, 大部分降雨集中在5—9月, 易形成强降雨, 使该地区坡面耕地遭受严重的水土流失, 侵蚀类型主要为水蚀。【研究进展】土壤抗侵蚀能力中, 团聚体稳定性是一项重要指标。Blanco-Canqui等^[6]发现, 秸秆从免耕玉米连续种植系统中移除后, 1 a内, 50%秸秆移除率下的土壤团聚体稳定性下降了50%~80%, 而在100%秸秆移除率时下降了100%~300%。但也有研究表明, 秸秆覆盖与团聚体稳定性之间没有确切关系。Karlen等^[7]在进行连续10 a的秸秆完全移除后, 发现土壤湿

收稿日期: 2019-10-18

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51709190); 四川省重大科技专项项目(2018SZDZX0027)

作者简介: 任涛(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤理化性质研究。E-mail: 872817707@qq.com

通信作者: 贺宇欣(1984-), 男, 讲师, 博士, 主要从事土壤物理与水土保持研究。E-mail: yuxinhe@scu.edu.cn

团聚体稳定性并不会下降。团聚体平均几何直径作为评判土壤侵蚀性的重要参数,在国内外有广泛的研究。李涵等^[8]发现,在进行 9 000 kg/hm 的秸秆覆盖后,团聚体几何平均直径明显高于无秸秆覆盖的对照组。Blanco-Canqui 等^[6]也发现,秸秆覆盖能使团聚体稳定度升高,几何平均直径也随之上升。土壤发生水蚀主要是由于地表径流的出现,而土壤入渗能力关系着土壤能否及时地吸纳降雨。吴婕等^[9]发现,缺乏秸秆覆盖容易使土壤表面出现结皮,降低土壤的水、气、热通量,增大土壤侵蚀性。Singh 等^[10]也发现,经过 9 a 大麦秸秆 100%移除处理后,翻耕土壤的饱和导水率大约减少了 5 倍。但 Black 等^[11]发现,在免耕 20 a 的粉砂壤土上试验后,0%和 100%的大麦秸秆移除率下土壤饱和导水率之间并没有统计学差异。土壤水力特性中,孔隙度和含水率在很大程度上取决于表面秸秆覆盖的影响。Shaver 等^[12]发现,有秸秆覆盖的土壤在春夏之交通常比无秸秆覆盖的土壤要更加湿润,李玮等^[13]也发现,秸秆覆盖可提高土壤含水率和表层贮水量。

根据国内外学者的研究,有秸秆覆盖的土壤能显著降低土壤被外力侵蚀的可能性,同时在一定程度能缓解农业面源污染,但由于土壤的异质性,且土壤侵蚀同时还受到气候条件、种植结构、管理模式等的影响,因此难以形成统一的秸秆覆盖标准。【切入点】目前国内外对我国西南山丘区紫色土耕地土壤抗侵蚀能力的研究较少,且以往大部分研究都是基于室内试验田进行小范围模拟,并没有在实际生产大田中进行实验,缺少这方面的数据。【拟解决的关键问题】因此,需明确西南山丘区耕地中作物秸秆移除的方式,探究不同秸秆移除率对紫色土抗侵蚀能力的影响。本文通过对 5 个表征土壤抗侵蚀能力指标的测量,确定了一个最佳移除比例,为提高西南山丘区紫色土抗侵蚀能力及促进该地区土壤可持续发展提供了依据,为指导西南山丘区进行田间秸秆的移除提供了参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验田位于四川省简阳市新堰村(30°29'11"N, 104°38'42"E),海拔 430 m,面积 0.133 hm²,为农民自耕自种田块,始耕作于 1979 年,至今已有 40 a 历史。简阳市位于四川盆地西部,属亚热带季风气候,雨量充沛,夏季高温多雨,冬季几乎无降雪。2018 年简阳市月平均降雨量与月平均气温如图 1 所示(数据来源于中国气象数据网,其中 4 月的降雨量数据缺失)。由图 1 可知,降雨主要集中于 5—9 月,其中 6 月与 7 月的降雨量最大,分别达到 257.9 mm 和 286.5

mm,10—12 月的降雨量较小,分别为 60.3、12.7、22.6 mm。2018 年简阳市月平均气温呈先上升后下降的趋势,1 月到 8 月的月平均气温从 6.3 °C 逐渐上升至 28 °C,8 月到 12 月的月平均气温从 28 °C 逐渐下降至 7.5 °C。试验田作物的种植制度为夏玉米—冬油菜(番薯套种)的轮作制度,耕作方式为中耕。夏玉米品种为华玉 5 号(陕西华盛种业科技有限公司生产),冬油菜品种为油司令(神农公司生产)。据统计,夏玉米种植期间尿素施肥 1 次,施肥量为 450 kg/hm²,磷肥(主要成分为过磷酸钙,其中有效磷 P₂O₅ 占比高于 12%)施肥 2 次,施肥量为 750 kg/hm²;第 1 次在玉米幼苗期(225 kg/hm²),第 2 次在玉米拔节抽穗期(525 kg/hm²);冬油菜种植期间尿素和磷肥都只施 1 次,均在油菜幼苗移栽后的第 1 周进行施肥,其中尿素施肥量为 375 kg/hm²,磷肥施肥量为 750 kg/hm²。试验田土壤质地为黏土,表层 0~5 cm 处质量含水率为 17.5%,干体积质量为 1.05 g/cm³;5~10 cm 处质量含水率为 19.6%,干体积质量为 1.23 g/cm³。

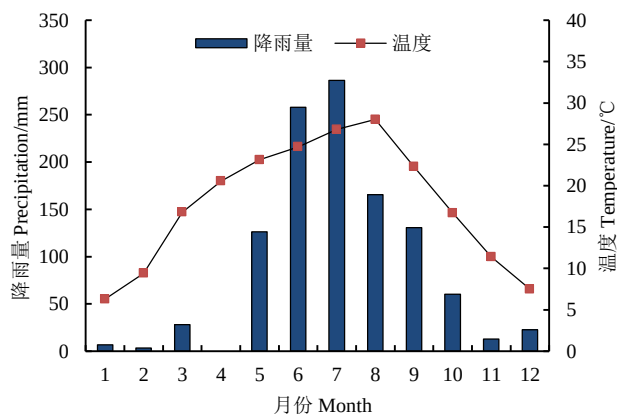


图 1 2018 年简阳市月平均降雨量(mm)与月平均气温(°C)

Fig 1 Average monthly rainfall (mm) and average monthly temperature (°C) in Jianyang city in 2018

1.2 试验设计

试验共设置 5 个不同梯度的秸秆移除率,依次为 100%、75%、50%、25%、0%,并设置 4 个重复组,共 20 个处理块,每个处理块均是面积为 25 m²的正方形,为分组完全随机分布。2018 年 4 月 29 日进行基础土样的采集,测得田间土壤基础数据(质量含水率、干体积质量等);2018 年 5 月 15 日在冬油菜成熟后进行油菜秸秆移除(处理方式是未移除的秸秆条状覆盖在处理块的土壤表面,秸秆大致完整且未被切碎,下同);油菜秸秆移除株数随移除率的减小依次为 56、42、28、14、0 株;2018 年 8 月 5 日在夏玉米生长期采集第 1 次土壤样本;2018 年 8 月 27 日在夏玉米成熟后进行玉米秸秆的移除,玉米秸秆移除株数随移除率的减小依次分别为 120、90、60、30、0 株;2018 年 12 月 21 日在冬油菜生长期采集第 2 次土壤样本;

2019 年 1 月 21 日在冬油菜生长期进行土壤饱和和导水率的测量,并采集第 3 次土壤样本;2019 年 4 月 23 日在冬油菜成熟前采集第 4 次土壤样本。

1.3 测量指标及方法

1.3.1 质量含水率 θ_m

用环刀采集田间 0~10 cm 无扰动表层土壤样本,将环刀放入恒温干燥箱内进行烘干,烘干时间为 48 h,温度 105 °C,称量烘干前与烘干后环刀内土壤样本的质量,计算出 θ_m 。

$$\theta_m = (M_0 - M_1) / M_1, \quad (1)$$

式中: M_0 为烘干前环刀内土壤样本的质量 (g); M_1 为烘干后环刀内土壤样本的质量 (g)。

1.3.2 干体积质量 ρ_b

测量方法与测质量含水率时一致,为环刀法。

$$\rho_b = M_1 / V, \quad (2)$$

式中: M_1 为烘干后环刀内土壤样本的质量 (g); V 为环刀的内部体积 (cm^3)。

1.3.3 水稳定性团聚体 $WR_{0.25}$

对采集的土样进行湿筛处理,称取 50 g 自然风干土样放置于团粒分析仪的套筛顶部(套筛孔径从上而下依次为 5、2、1、0.5、0.25 mm),沿筒壁缓慢加水至刚好没过土样,先浸泡 10 min,后竖直震荡 10 min,振幅 4 cm,收集各级筛层上的团聚体,在 65 °C 下烘干 48 h 至恒质量,称量各级团聚体质量。

$$WR_{0.25} = M_{r>0.25} / M_T = 1 - (M_{r<0.25}) / M_T, \quad (3)$$

式中: $M_{r>0.25}$ 为粒径大于 0.25 mm 的团聚体质量(g); M_T 为团聚体总质量 (g)。

1.3.4 湿团聚体几何平均直径 $WGMD$

$$WGMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \ln x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right], \quad (4)$$

式中: x_i 为第 i 个筛层上团聚体的平均直径 (cm); w_i 为第 i 个筛层上的团聚体占总团聚体的质量百分比。

1.3.5 饱和导水率 k_f

本次试验仪器采用的是 Hood Infiltrometer IL-2700^[14],其主要工作原理是通过马氏瓶原理来改变施加在圆形入渗区域上的负压,测出不同压力下的稳定入渗速率进而推算出 k_f 。由于单次测量需要时间过长的缘故,选取了 100%、50%、0%这 3 个具有典型意义的移除率进行测量。

$$k_u = k_f e^{(\alpha h)}, \quad (5)$$

$$Q = \pi \cdot a^2 \cdot k_u \cdot [1 + 4 / (\pi \cdot \alpha \cdot a)], \quad (6)$$

式中: k_u 为渗透系数 (mm/min); h 为水压头 (h); α 为 Gardner 系数; Q 为稳态流流量 (mm^3/min); a 为入渗罩半径 (mm)。

1.4 数据统计与分析

运用 Excel 2010 进行数据的计算与拟合,SAS 9.4

中的 PROC MIXED 过程进行单因素方差分析,UGT IL2700 GUI 进行土壤饱和和导水率的计算,ORIGIN 8 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆移除率对质量含水率的影响

不同秸秆移除率表层 0~10 cm 土壤质量含水率 (θ_m) 与干体积质量 (ρ_b) 如表 1 所示。由表 1 可知,在 2 次取样时,0~5 cm 土层土壤的 θ_m 值在不同移除率下均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。其中第 1 次取样时,各移除率下 θ_m 值大小顺序为: 0% > 25% > 75% > 50% > 100%; 而第 2 次取样时,仅 100% 移除率与其余移除率间存在显著性差异 ($P < 0.05$), θ_m 值大小顺序为: 25% > 75% > 0% > 50% > 100%。对比这 2 次取样可以发现,100% 移除率下的 θ_m 值在 5 组移除率中最小。

由表 1 可知,5~10 cm 土层土壤的 θ_m 值在 2 次取样下呈现出相同的规律。第 1 次取样时,25% 移除率与其余移除率间差异性显著 ($P < 0.05$),其 θ_m 值达到 28.7%; 而第 2 次取样时,5 组移除率间均无显著性差异 ($P < 0.05$),但 θ_m 值大小顺序与第 1 次取样时一致,均为: 25% > 100% > 75% > 0% > 50%。

2.2 不同秸秆移除率对干体积质量的影响

表 1 为不同秸秆移除率下土壤的质量含水率与干体积质量。由表 1 可知,第 1 次取样时,0~5 cm 土层内土壤的 ρ_b 值在 100% 与 25% 移除率下与其余移除率间有显著性差异 ($P < 0.05$), ρ_b 值的大小顺序为: 100% < 25% < 0% < 75% < 50%; 而第 2 次取样时,仅 100% 移除率与其余移除率间有显著性差异 ($P < 0.05$), ρ_b 值的大小顺序为: 100% < 0% < 75% < 25% < 50%。对比这 2 次取样发现,50% 移除率下的 ρ_b 值在 5 组移除率中最大,而 100% 移除率最小。从时间尺度上来看,第 2 次取样时各移除率下的 ρ_b 值普遍比第 1 次取样时要小,降幅随移除率的减小依次为 5.5%、4.6%、2.1%、-5.2%、0.4%,可以看出, ρ_b 值降幅有随移除率的减小而减小的趋势。

由表 1 可知,第 1 次取样时,5~10 cm 土层内土壤的 ρ_b 值在各移除率间均存在显著性差异 ($P < 0.05$), ρ_b 值的大小顺序为: 25% < 100% < 75% < 0% < 50%; 而第 2 次取样时,各移除率间均无显著性差异 ($P < 0.05$), ρ_b 值的大小顺序为: 25% < 0% < 75% < 100% < 50%。对比这 2 次取样可以发现,第 2 次取样时各移除率下的 ρ_b 值均比第 1 次要小,降幅随移除率的减小依次为 2.4%、5.0%、4.2%、0.8%、5.4%。此外,25% 移除率下的 ρ_b 值在 2 次取样时均是 5 组移除率中最小的,而 50% 移除率均最大。

表 1 不同秸秆移除率下土壤的质量含水率与干体积质量

Table 1 Soil mass moisture content and dry volume mass under different straw removal rates

样品名称 Sample name	秸秆移除率/% Straw removal rate	质量含水率 Mass moisture content/%		干体积质量 Dry volume mass/(g cm ⁻³)	
		0~5 cm	5~10 cm	0~5 cm	5~10 cm
基础土样	100	17.52	19.628	1.050 475	1.231 925
	100	24.087 7c	25.845 3b	1.172 2b	1.384 7b
	75	25.507 1abc	25.626 7b	1.305 2a	1.422 3ab
	50	24.543 7bc	24.319 8c	1.315 9a	1.435 7a
	25	26.661 4ab	28.682 4a	1.191 2b	1.340 7c
第 1 次土样	0	26.803 9a	25.353 7bc	1.246 6ab	1.422 7ab
	100	24.535 7b	27.656 8a	1.108 3b	1.351 3a
	75	26.644 7ab	27.275 3a	1.244 7a	1.350 5a
	50	25.946 5ab	26.589 5a	1.287 9a	1.375 5a
	25	28.110 5a	27.742 5a	1.252 7a	1.330 6a
第 2 次土样	0	26.242 4ab	27.021 5a	1.241 8a	1.345 8a

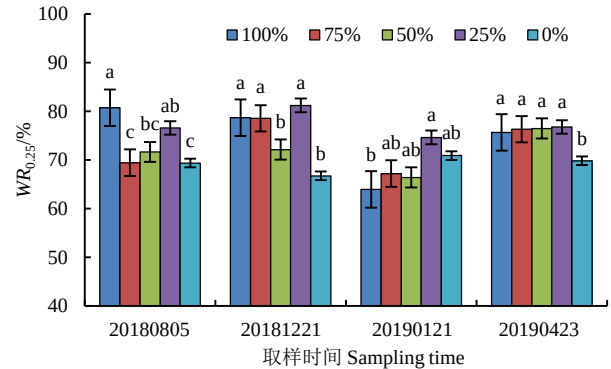
注 表中同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note Different lowercase letters in the same column in the table indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

2.3 不同秸秆移除率对 $WR_{0.25}$ 值的影响

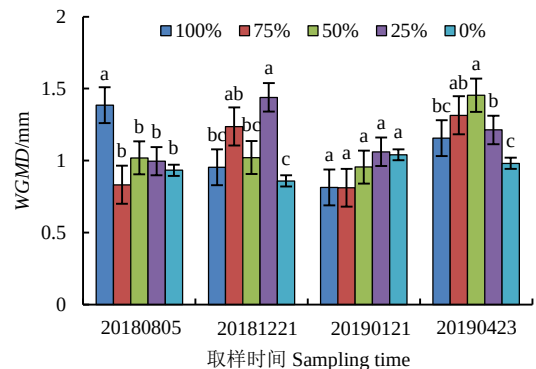
不同秸秆移除率下土壤水稳定性团聚体质量分数 ($WR_{0.25}$) 结果如图 2 所示 (图中同一取样时间下的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 且显著性差异仅在同一采样时间内进行比较, 不进行跨时间比较)。由图 2 可知, 第 1 次取样时, 100% 和 25% 移除率与其余 3 组移除率间存在显著性差异 ($P < 0.05$), $WR_{0.25}$ 值的大小顺序为: 100% > 25% > 50% > 75% > 0%; 第 2 次取样时, 50% 和 0% 移除率与其余 3 组移除率间存在显著性差异 ($P < 0.05$), $WR_{0.25}$ 值的大小顺序为: 25% > 100% > 75% > 50% > 0%; 第 3 次取样时, 100% 移除率与其余 4 组移除率间存在显著性差异 ($P < 0.05$), $WR_{0.25}$ 值的大小顺序为: 25% > 0% > 75% > 50% > 0%; 第 4 次取样时, 0% 移除率与其余 4 组移除率间存在显著性差异 ($P < 0.05$), $WR_{0.25}$ 值的大小顺序为: 25% > 50% > 75% > 100% > 0%。对比 4 次取样可以发现, 100% 移除率下的 $WR_{0.25}$ 值在 5 组移除率中有逐渐变小的趋势, 而 25% 移除率下的 $WR_{0.25}$ 值除在第 1 次取样时比 100% 移除率略小外, 在后面 3 次取样时均是 5 组移除率中最大的, 其 $WR_{0.25}$ 值随取样时间依次为 76.5%、81.2%、74.6%、76.8%。100% 移除率下的 $WR_{0.25}$ 值呈现出随着时间先减小后增大的趋势, 后 3 次与前 1 次取样时的 $WR_{0.25}$ 值相比降幅依次为 2.5%、18.7%、-18.3%; 而 75%、50%、25% 移除率下的 $WR_{0.25}$ 值随时间的变化规律大致相同, 都是先增大后减小然后继续增大, 在第 3 次取样时均有较明显的降幅, 而在第 4 次取样时出现回涨; 与其余 4 组移除率相比, 0% 移除率下的 $WR_{0.25}$ 值在 4 次取样

时变化幅度不大, 均在 66%~71% 之间。

图 2 $WR_{0.25}$ 值随秸秆移除时间的变化Fig.2 The value of $WR_{0.25}$ varies with straw removal time

2.4 不同秸秆移除率对 $WGMD$ 值的影响

不同秸秆移除率下的土壤湿团聚体几何平均直径 ($WGMD$) 结果如图 3 所示 (图中同一取样时间下的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 且显著性差异仅在同一采样时间内进行比较, 不进行跨时间比较)。

图 3 $WGMD$ 值随秸秆移除时间的变化Fig.3 The value of $WGMD$ varies with the removal time

由图 3 可知,第 1 次取样时,100%移除率与其余 4 组移除率间存在显著性差异 ($P<0.05$),WGMD 值的大小顺序为:100%>50%>25%>0%>75%;第 2 次取样时,75%和 25%移除率与其余 3 组移除率间存在显著性差异 ($P<0.05$),WGMD 值的大小顺序为:25%>75%>50%>100%>0%;第 3 次取样时,各组移除率间均无显著性差异 ($P<0.05$),WGMD 值的大小顺序为:25%>0%>50%>100%>75%;第 4 次取样时,75%和 50%移除率与其余 3 组移除率间存在显著性差异 ($P<0.05$),WGMD 值的大小顺序为:50%>75%>25%>100%>0%。对比 4 次取样可以发现,100%移除率下的 WGMD 值除在第 1 次取样时较大外,在后面 3 次取样时均是 5 组处理中较小的,而 75%、50%、25%这 3 个移除率下的 WGMD 值在后面 3 次取样时均较大。从处理来看,100%移除率下的 WGMD 值呈现出随时间先减小后增大的趋势,降幅随取样时间依次为 31.2%、14.7%、-42.0%,在第 4 次取样时出现回涨,但仍比第 1 次取样时小了 16.6%;75%、50%、25%移除率下的 WGMD 值随时间的变化规律一致,都是先增大后减小然后继续增大,与第 1 次取样相比,第 4 次取样时的 WGMD 值均有较明显的增长,涨幅依次为 58.1%、42.7%、21.8%;0%移除率下的 WGMD 值随时间变化较为平缓,4 次取样时均在 0.86~1.04 mm 之间。

2.5 不同秸秆移除率对 k_f 值的影响

不同秸秆移除率下土壤渗透系数 k_f 结果如图 4 所示(不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$))。由图 4 可知, k_f 在 3 种移除率间存在显著性差异 ($P<0.05$),有随移除率减小而增大的趋势。100%移除率下的 k_f 值为 22.5 mm/min, 50%移除率下的 k_f 值为 21.3 mm/min, 0%移除率下的 k_f 值为 61.1 mm/min, 0%移除率下的 k_f 值分别比 100%、50%移除率大了 171.6%、186.9%。

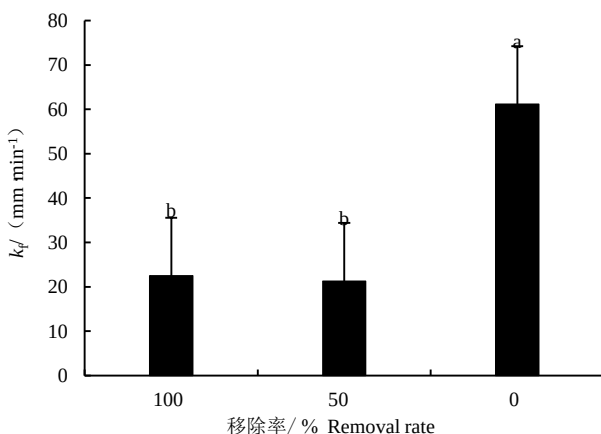


图 4 不同秸秆移除率下的 k_f 值

Fig. 4 The value of k_f at different straw removal rates

3 讨论

本试验发现,移除率 100%时,表层 0~5 cm 的质量含水率在所有处理中最小,与其余移除率有较大差异,而在 5~10 cm 这个较深土层,移除率 100%下的含水率与其余处理无显著区别。有研究表明^[15-17],在深层次土层,秸秆覆盖下的土壤含水率与秸秆不覆盖基本相同,甚至还要低,这可能与秸秆覆盖下的植株生长旺盛,消耗土壤含水率较多有关。此外,本试验还发现,第 2 次取样时表层土壤的含水率普遍比第 1 次取样时大,这可能与 8 月和 9 月的强降雨有关,这 2 月的降雨量均达到 125 mm 以上。强降雨使土壤表层湿润饱和,若土壤结构不良,无法及时地吸纳降雨,大量水分将滞留在地表而产生地表径流,甚至使土壤表面处于闭气状态,当土壤中氧气耗尽后会产生厌氧环境,产生大量还原性物质,有机质无法正常运行分解,植物生长发育将受到抑制。

本试验发现,不同移除率下表层的干体质量随时间逐渐减小,这与吴婕等^[9]的结论一致,他们发现秸秆覆盖能使土壤体质量降低 1.86%~3.73%。土壤表层无秸秆覆盖时,雨滴击打、农机碾压、人畜踩踏等外界因素会使土壤更易受到干扰,出现小颗粒土粒的移动和重新排列,甚至会堵塞壤中孔隙,土壤水热通量降低,植物无法正常吸收水分和营养,造成土壤生产力下降。此外,本试验还发现,在表层 0~10 cm 处,50%移除率下的干体质量在 5 组处理中最大,而 100%移除率在 5 组处理中反而较小,这种现象的出现可能与田间耕作方式(中耕)有关。

本试验发现,各组处理的水稳定性团聚体数量呈现出先增大后减小然后继续增大的趋势,在第 3 次取样时出现下降,这可能与取样时间有关,因第 3 次取样时间在冬季,由于冰冻—融化过程的反复,团聚体孔隙中水分热胀冷缩导致团聚体出现崩解,水稳定性下降,而气候回暖后冻融作用消失,土壤团聚作用增强,不同处理下水稳性团聚体的数量均出现一定的增长。这与杨居聪等^[18]的研究一致,他们发现冬季时冻融作用会使土壤大团聚体遭到破坏。此外,本试验还发现,25%移除率的水稳定性团聚体数量在 5 组处理中最大,而移除率 100%时,因土壤表面裸露,直接受到外界因素的干扰,水稳定性团聚体数量在 5 组处理中的排序逐渐下滑,最后一次取样时在所有处理中最小。土壤团聚体稳定性下降现象在地表土壤裸露的第一年就往往显现出来,秸秆覆盖能隔绝侵蚀力对土壤表面的扰动,使冰冻-融化和湿润-干燥过程变得柔和,与本试验结论一致。

团聚体几何平均直径是评判土壤抗侵蚀能力的

重要参数, 一般来说, 其值越大代表土壤抗侵蚀能力越强。本试验发现, 当移除率为 25%、50%、75% 时, 表层土壤团聚体几何平均直径有较大增幅, 这可能与秸秆腐解过程中高分子化合物参与腐殖化作用有关^[19], 土壤中腐殖质数量增多, 团聚体间的胶结作用增强。而移除率 100% 时团聚体的几何平均直径在 5 组处理中最小, 秸秆腐熟后释放的有机质及营养元素无法被植物吸收利用, 异养型微生物和土壤动物的代谢活动减弱, 导致土壤结构变差, 更易受到侵蚀。

由于土壤异质性, 秸秆覆盖对土壤导水率的影响会随着土壤性质的空间变化而不稳定, 即使在同一处理下, 田块中不同区域的土壤渗透性也会有较大差异。本试验发现, 移除率 0% 时饱和导水率与其余处理间有显著性差异, 这可能与秸秆覆盖后土壤表面结皮现象减少有关。Blanco-Canqui 等^[20]发现, 土壤导水率在表面秸秆移除后会迅速下降, 与本试验结论一致, 但也有研究表明^[7], 不同秸秆移除率对农田土壤导水率变化的影响在统计学上没有差异, 这可能与土壤质地、种植制度、管理措施等因素有关。

4 结 论

秸秆覆盖在土壤表面能提高土壤含水率, 降低土壤体积质量, 提高水稳性团聚体质量分数及其几何平均直径, 同时能显著增大土壤入渗速率, 土壤结构得到改善, 抗侵蚀能力明显提高, 其中以 25% 秸秆移除率效果最为显著。

参考文献:

- [1] 娄义宝, 史东梅, 金慧芳, 等. 西南紫色土坡耕地农作物-耕层质量适宜性的耦合度诊断[J]. 中国农业科学, 2019, 52(4): 661-675.
- LOU Yibao, SHI Dongmei, JIN Huifang, et al. Coupling degree diagnosis on suitability evaluation of cultivated-layer quality for slope farmland in purple hilly region of south-western China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(4): 661-675.
- [2] 张维, 吕玉娟, 唐翔宇. 紫色土坡耕地水分运移及胶体颗粒的输出动态研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(2): 58-63.
- ZHANG Wei, LYU Yujuan, TANG Xiangyu. Water movement mechanism and colloid transport dynamic from sloping farmland of purple soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(2): 58-63.
- [3] 蒋顺清, 李青云. 长江上游紫色岩土特性与水土流失的关系[J]. 长江科学院院报, 1995, 12(4): 51-57.
- JIANG Shunqing, LI Qingyun. Relations between characteristics of purple soils and water and soil losses on upstream of Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1995, 12(4): 51-57.
- [4] 孙波. 我国东南丘陵山区红壤肥力的演化机制及其综合评价[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 1995.

- SUN Bo. The evolution mechanism and comprehensive evaluation of red soil fertility in hilly and mountainous areas of southeast china[D]. Nanjing: Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 1995.
- [5] 朱波, 陈实, 游祥, 等. 紫色土退化旱地的肥力恢复与重建[J]. 土壤学报, 2002, 39(5): 743-749.
- ZHU Bo, CHEN Shi, YOU Xiang, et al. Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 743-749.
- [6] BLANCO-CANQUI H, LAL R, POST W M, et al. Rapid changes in soil carbon and structural properties due to stover removal from no-till corn plots[J]. Soil Science, 2006, 171(6): 468-482.
- [7] KARLEN D L, WOLLENHAUPT N C, ERBACH D C, et al. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn[J]. Soil and Tillage Research, 1994, 31(2/3): 149-167.
- [8] 李涵, 张鹏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区秸秆覆盖还田对土壤团聚体特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 27-33.
- LI Han, ZHANG Peng, JIA Zhikuan, et al. Effects of straw mulching treatment on characteristics of soil aggregates in Weibei dryland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2012, 30(2): 27-33.
- [9] 吴婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 192-195.
- WU Jie, ZHU Zhonglin, ZHENG Jianguo, et al. Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(2): 192-195.
- [10] SINGH B, CHANASYK D S, MCGILL W B. Soil hydraulic properties of an Orthic Black Chernozem under long-term[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1996, 76(1): 63-71.
- [11] SHARRATT B, ZHANG M C, SPARROW S. Twenty years of tillage research in subarctic Alaska[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1/2): 75-81.
- [12] SHAVER T M, PETERSON G, AHUJA L R, et al. Surface soil physical properties after twelve years of dryland No-Till management[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(4): 1 296-1 303.
- [13] 李玮, 乔玉强, 陈欢, 等. 秸秆还田和施肥对砂姜黑土理化性质及小麦-玉米产量的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 5 052-5 061.
- LI Wei, QIAO Yuqiang, CHEN Huan, et al. Effects of combined straw and N application on the physicochemical properties of lime concretion black soil and crop yields[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(17): 5 052-5 061.
- [14] SCHWARZEL K, PUNZEL J. Hood infiltrometer—a new type of tension infiltrometer[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(5): 1 438-1 447.
- [15] 于舜章, 陈雨海, 周勋波, 等. 冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 175-178.
- YU Shunzhang, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al. Effect of straw-mulch during wheat stage on soil water dynamic changes and yield of summer maize[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(6): 175-178.

- [16] 于博, 于晓芳, 高聚林, 等. 秸秆全量深翻还田和施加生物炭对不同土壤持水性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(5): 25-32.
YU Bo, YU Xiaofang, GAO Julin, et al. Change in hydraulic properties of soils amended with biochar following plough of straw stalk into deep soil horizon[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(5): 25-32.
- [17] 仲昭易, 张瑜, 冯绍元, 等. 秸秆深埋结合地膜覆盖土壤水盐运移模拟试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(6): 25-30.
ZHONG Zhaoyi, ZHANG Yu, FENG Shaoyuan, et al. Incorporating straw coupled with film mulching to ameliorate soil salinization[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(6): 25-30.
- [18] 杨居聪, 贺宇欣, 王阳, 等. 不同秸秆移除条件下冻融对农田土壤风蚀可蚀性的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(4): 1-7.
YANG Jucong, HE Yuxin, WANG Yang, et al. Freezing and thawing impacts agricultural erodibility under varied straw cover[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 1-7.
- [19] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144.
CHEN Shanghong, ZHU Zhonglin, WU Jie, et al. Decomposition characteristics of straw return to soil and its effect on soil fertility in purple hilly region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 141-144.
- [20] BLANCOCANQUI H, LAL R, POST W, et al. Soil hydraulic properties influenced by corn stover removal from no-till corn in Ohio[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 92(1/2): 144-155.

The Resistance of Purple Soil Against Erosion Depends on Straw Removal Rate in the Hilly Regions in Southwest China

REN Tao¹, HE Yuxin^{2*}, ZHANG Peng¹, LIU Chao², LI Naiwen², TAN Xiao²

(1.College of Water Resources and Hydropower Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2.State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: **【Background】** The hilly areas in mountainous region in southwest China are a unique terrain, the soil in which is dominated by purple soil. Over the past decades these areas have suffered serious water and soil losses due to erosion. Crop straw is a byproduct of agricultural production. It can provide nutrients the crops needs, but could also cause environmental pollution and soil degradation if managed badly. Improving straw management is hence essential to develop sustainable agriculture. **【Objective】** The overarching objective of this paper is to investigate the effect of straw removal after harvest on resistance of the purple soil against erosion in these hilly areas. **【Method】** The field experiment was conducted at Jianyang city in Sichuan province. We measured five soil parameters in the experiment: soil moisture, dry volumetric soil mass, mass fraction, geometric mean diameter of water-stable aggregates, and saturated hydraulic conductivity, to represent the resistance of the soil against erosion. We compared five straw removal rates: 100%, 75%, 50%, 25% and 0%; the straws of winter rape and summer maize were removed during the planting time. **【Result】** The soil moisture content in the top 0~10 cm soil layer varied with the straw removal rate, peaking when the removal rate was 25%. The dry volumetric soil mass decreased as time elapsed. The ultimate decrease for the five removal rates was 5.5%, 4.6%, 2.1%, -5.2% and 0.4% in the top 0~5 cm soil, and 0.4%, 2.4%, 5.0%, 4.2%, 0.8% and 5.4% in the 5~10 cm soil, respectively. The mass fraction of the water-stable aggregates was highest when the removal rate was 25%, being 76.5%, 81.2%, 74.6% and 76.8% at the four sampling time points. When the removal rate was 75%, 50% or 25%, the average geometric diameter of the aggregates increased monotonically with time. When the removal rate was 100%, the average geometric diameter of the aggregates at three sampling time points increased by 31.2%, 14.7% and -42.0%, respectively, compared to the control. When the removal rate was 0%, the saturated hydraulic conductivity of the soil was 61.1mm/min, differing significantly from other removal rates. **【Conclusion】** Removing 25% of crop straws improved resistance of the soil against erosion in the hilly areas. It also increased soil aggregation and hydraulic conductivity, while in the meantime reduced soil crusting thereby increasing water infiltration and soil moisture. Removing 100% of straws made the soil susceptible to erosion and degradation. The results presented in this paper are helpful for understanding the impact of straw management on resistance of soil against water and soil erosion in hilly areas in southwest China.

Key words: southwest hilly region; purple soil; straw removal; soil; sustainable development

责任编辑: 陆红飞