

黑土区坡耕地不同秸秆还田方式的水土保持效果分析

贺云锋, 沈海鸥, 张 月, 赵占军, 牟廷森
(吉林农业大学资源与环境学院, 长春 130118)

摘要: 为了揭示黑土区坡耕地不同秸秆还田方式的水土保持效果, 基于野外原位坡耕地人工模拟降雨试验, 以传统顺坡垄作处理为对照, 分析 50, 100 mm/h 降雨强度下 3 种具有代表性的秸秆还田方式(秸秆深还、秸秆碎混和免耕+残茬覆盖)对坡耕地产流产沙过程、径流量、侵蚀量及其减流减沙效益的影响。结果表明: (1) 不同秸秆还田方式的产流率皆随降雨量的增加而增大, 产流率和产沙率大小均表现为顺坡垄作>秸秆深还>秸秆碎混>免耕+残茬覆盖。(2) 与顺坡垄作相比, 50, 100 mm/h 降雨强度下, 秸秆还田处理分别延缓产流时间 14.0, 4.8 min, 产流时间的滞后可以体现秸秆还田措施的水土保持效果。(3) 秸秆深还、秸秆碎混、免耕+残茬覆盖处理的平均减流效益分别为 36.8%, 53.9%, 65.8%, 平均减沙效益分别为 84.9%, 90.3%, 96.8%。可见, 免耕+残茬覆盖方式的水土保持效果最好, 其次为秸秆碎混和秸秆深还。

关键词: 秸秆深还; 秸秆碎混; 秸秆覆盖; 径流量; 侵蚀量

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2020)06-0089-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.06.014

Analysis of Soil and Water Conservation Effects of Different Straw Returning Patterns in Sloping Farmland in the Chinese Black Soil Region

HE Yunfeng, SHEN Haiou, ZHANG Yue, ZHAO Zhanjun, MOU Tingsen
(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118)

Abstract: The objective of this study was to reveal the soil and water conservation effects of different straw returning patterns at croplands in the black soil region of China. Based on simulated rainfall experiments at field croplands *in situ*, effects of three representative straw returning patterns (deep application of straw, smashed straw turnover, and no-tillage with straw mulching) on the processes of runoff rates and soil loss rates, total runoff and soil erosion amount, runoff and sediment reduction benefits at 50 and 100 mm/h rainfall intensities were analyzed. The traditional up- and down slope tillage was used as the control treatment. The results showed that: (1) The runoff rates for treatments of different straw returning patterns increased as the rainfall amount increased. Both the runoff rates and soil loss rates decreased in the order of up- and down slope tillage (CK)>deep application of straw>smashed straw turnover>no-tillage with straw mulching. (2) The straw returning treatments delayed the runoff yield time for 14.0 min at 50 mm/h and 4.8 min at 100 mm/h compared with the traditional up-and down slope tillage treatment, which could reflect the soil and water conservation effects of these straw returning measures. (3) The mean runoff reduction benefits for deep application of straw, smashed straw turnover, and no-tillage with straw mulching treatments were 36.8%, 53.9%, and 65.8%, and their mean sediment reduction benefits were 84.9%, 90.3%, and 96.8%, respectively. Therefore, the pattern of no-tillage with straw mulching had the best soil and water conservation effect in this study, which was followed in descending order by the patterns of smashed straw turnover and deep application of straw.

Keywords: deep application of straw; smashed straw turnover; straw mulching; runoff; erosion

东北黑土区是我国重要的粮食产区,同时也是全国水土流失的重点区域^[1-2],其坡耕地是发生土壤侵蚀最严重的区域^[3]。黑土层厚度每年减少可达 0.4~0.5 cm^[4],造成宝贵的黑土资源流失,土地生产力下

降,从而严重制约了黑土区的农业生产和经济发展,威胁着我国的生态安全和农业可持续发展^[5]。东北黑土区秸秆产量丰富,秸秆还田作为一项重要的水土保持措施,也是实现农业可持续发展的重要途径之一^[6]。秸秆还田方式呈现多元化的发展趋势,主要包括秸秆深还、秸秆碎混还田、秸秆覆盖还田、堆沤还田、焚烧还田和过腹还田等^[7]。已有研究^[8-10]表明,秸秆还田既可有效调节地表径流、防治土壤侵蚀,又可促进土壤微粒的团聚,改善土壤结构和提高土壤肥力,从而遏制黑土退化,增加土壤抗蚀性,并改善土壤和生态环境。黑土区相关研究^[11]表明,与传统耕作处理相比,秸秆粉碎还田处理可使坡面径流量减少 60.0%~66.7%,侵蚀量减少 85.4%~86.4%;免耕+秸秆覆盖处理可使坡面径流量减少 97.7%,侵蚀量减少 98.9%^[12]。可见,不同秸秆还田方式对坡耕地减流减沙效益的影响呈现一定差异。此外,现有研究^[11-12]多基于定位监测方法获取黑土区坡耕地径流量和侵蚀量,缺少径流侵蚀的过程性研究成果;即使基于人工模拟降雨试验方法开展的相关研究^[13],虽然能够获取径流侵蚀的过程性数据,但是又缺少野外原位坡耕地条件下的研究成果。鉴于此,本研究采用田间原位模拟降雨试验方法,阐明黑土区坡耕地不同秸秆还田方式对坡耕地径流侵蚀过程、径流量、侵蚀量及其减流减沙效益的影响,以期对东北黑土区坡耕地土壤侵蚀防治提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验装置与材料

本研究依托吉林农业大学土壤学科省级重点实验室的水土保持科研基地(125°21'E, 43°52'N)开展试验工作,于 2018 年 7—8 月完成人工模拟降雨试验。研究区属于温带大陆性季风气候,降雨主要集中在 6—9 月,年均降水量 617 mm,年均气温 4.8℃^[14]。降雨设备采用侧喷式单喷头降雨装置^[15],降雨高度为 6 m,降雨均匀度>85%,降雨强度主要通过调节压力阀和喷头孔径(5~12 mm)来控制,降雨强度可调节范围为 30~165 mm/h。

试验径流小区修筑在野外原位坡耕地上,径流小区规格为 5 m(水平投影长度)×2 m(宽度)。径流小区边壁材料选用聚丙烯板,将其埋入地下 30 cm,用于防止水分入渗的影响;地表留出 20 cm,用于防止雨滴击溅以及地表径流溢出,从而保证形成相对完整的径流小区。小区底部设有集蓄装置,用于收集试验过程中的径流泥沙样品。径流小区土壤为黑土,其颗粒组成为:砂粒(>50 μm)质量分数 18.4%,粉粒(2~50 μm)质量分数 78.9%,黏粒(<2 μm)质量分数 2.7%,有机质含量为 25.9 g/kg。

1.2 试验设计

径流小区坡面处理包括秸秆深还、秸秆碎混、免耕+残茬覆盖和传统顺坡垄作(对照)4 种,每个处理设计 2 个重复。本试验秸秆选用玉米秸秆,径流小区实测秸秆量为 12 t/hm²。(1)秸秆碎混:将径流小区内 50%秸秆通过机械进行粉碎(长度<5 cm)备用;将径流小区 0—15 cm 土层土壤取出,再将已粉碎的秸秆与径流小区 15—25 cm 土层土壤均匀混合,随后将径流小区填平起垄,最后将剩余的 50%秸秆直接覆盖还田。(2)秸秆深还:将径流小区内全部秸秆通过机械进行粉碎(长度<5 cm)备用;将径流小区 0—25 cm 土层土壤取出,再将已粉碎的秸秆与 25—35 cm 土层的土壤均匀混合,最后用表层土壤将径流小区填平起垄。(3)免耕+残茬覆盖:径流小区在秋收后不进行翻耕处理,并将径流小区内全部秸秆直接覆盖还田。(4)传统顺坡垄作:坡面处理为翻耕裸露,按照野外坡耕地垄规格实测资料和相关研究成果^[16],将顺坡常规垄规格设计为垄高 15 cm,垄间距 65 cm,垄丘顶宽 20 cm。布置秸秆碎混、秸秆深还和传统顺坡垄作 3 种处理过程中,通过控制土壤质量的方法控制土壤容重,耕作层平均土壤容重为 1.20 g/cm³;免耕+残茬覆盖处理表层平均土壤容重为 1.26 g/cm³。模拟试验开展期间,为了防止其他影响因子的干扰,径流小区内无田间作物生长。由于东北典型黑土区地表坡度多为 3°~8°^[17-18],据此将试验径流小区坡度设计为 5°。根据长春国家基准气候站 1983—2012 年的暴雨资料,将降雨强度设计为 50,100 mm/h^[19],为保证降雨总量(50 mm)相同,降雨历时分别为 60,30 min。

1.3 试验方法

正式模拟降雨试验之前,采用 30 mm/h 降雨强度进行预降雨,至径流小区出口刚刚有连续水流出现为止,目的是保证试验前期径流小区土壤水分条件的一致性,减少下垫面空间变异性。预降雨结束后,用塑料布将径流小区覆盖,静置 24 h 后进行正式模拟降雨试验。

为确保降雨试验的准确性和降雨强度的均匀性,每次试验前对降雨强度进行率定,当实测降雨强度与目标降雨强度的差值<5%,且降雨均匀度>85%时方可进行正式降雨。径流小区开始产流后,记录产流时间,接取径流泥沙样品,取样间隔为 1~3 min。

模拟降雨试验结束后,称取径流泥沙的总质量,随后将其静置 6~8 h 后倒掉上清液并转移到已经称取质量的铝盒中,最后放入烘箱,在 105℃下烘干称取质量,用以计算产流率、产沙率、径流量和侵蚀量^[20]。

1.4 参数计算

以顺坡垄作处理为对照基准,通过对比其他试验

处理下的径流量与侵蚀量,即可获取不同秸秆还田方式的减流效益和减沙效益^[21]。

$$R_{rb} = \frac{R_{CK} - R_i}{R_{CK}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_{rb} 为减流效益(%); R_{CK} 为顺坡垄作处理的径流量(mm); R_i 为其他秸秆还田处理的径流量(mm); i 为秸秆深还、秸秆碎混或者免耕+残茬覆盖。

$$S_{rb} = \frac{S_{CK} - S_i}{S_{CK}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: S_{rb} 为减沙效益(%); S_{CK} 为顺坡垄作处理的侵蚀量($g/(m^2 \cdot h)$); S_i 为其他秸秆还田处理的侵蚀量($g/(m^2 \cdot h)$)。

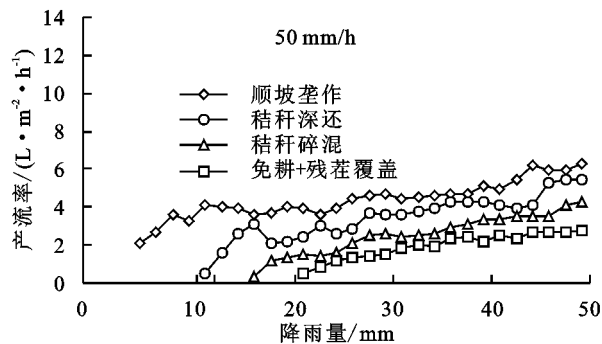
1.5 数据处理

使用 Excel 2010 和 SPSS 19.1 软件进行数据处理与分析;采用 Excel 2010 计算径流量、侵蚀量、减流效益和减沙效益,绘制产流率和产沙率随降雨量的变化过程图以及 50, 100 mm/h 降雨强度下不同秸秆还田方式的产流时间对比图;采用 SPSS 19.1 软件中方差分析和多重比较(LSD),进行不同秸秆还田方式和降雨强度下径流量和侵蚀量显著性水平检验($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆还田方式对坡耕地径流侵蚀过程的影响

2.1.1 产流率变化



理的产流率均随降雨量的增加而逐渐增大。在 50 mm/h 降雨强度下,秸秆深还、秸秆碎混、免耕+残茬覆盖和传统顺坡垄作处理平均产流率依次为 4.40, 3.45, 2.50, 1.94 L/($m^2 \cdot h$);在 100 mm/h 降雨强度下,其平均产流率依次为 9.76, 6.54, 4.49, 3.51 L/($m^2 \cdot h$)。可见,产流率大小表现为传统顺坡垄作 > 秸秆深还 > 秸秆碎混 > 免耕+残茬覆盖。分析原因是免耕+残茬覆盖处理既能减少土层扰动,增加土壤有机质,改善土壤结构,增加土壤抗蚀性,又能增加地表覆盖,减小雨滴打击作用^[13, 22],所以其土壤水分入渗率最高,对应的坡面产流率最低;秸秆碎混处理有助于改善土壤结构,增加土壤团聚体含量^[11],其秸秆还田深度为径流小区 15—25 cm 土层,坡面覆盖 50% 的秸秆量亦能够消减雨滴动能,因此,能够明显影响土壤水分入渗率,造成较低的坡面产流率;而秸秆深还处理虽然能够改良土壤孔隙结构及水分状况等^[14],但是由于其还田深度为径流小区 25—35 cm 土层,其对次降雨土壤水分入渗的影响不及免耕+残茬覆盖和秸秆碎混处理,所以在 3 种秸秆还田方式中,秸秆深还方式对坡面产流率的影响最小。综上所述,秸秆还田有助于调节径流,增加土壤蓄水能力,其中免耕+残茬覆盖具有最好的减流作用,其次为秸秆碎混和秸秆深还方式。

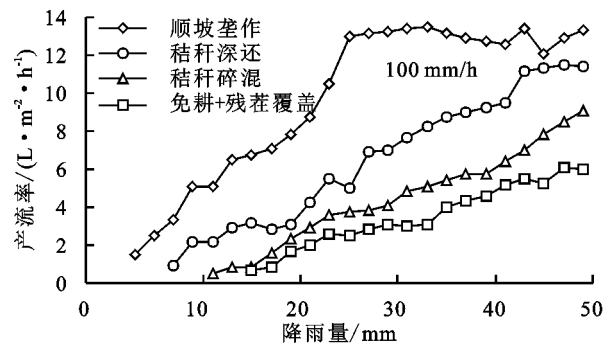


图1 不同秸秆还田方式下产流率随降雨量的变化

随着降雨强度的增加,相同秸秆还田方式的坡面产流率均明显增大,且产流率随降雨量变化的波动幅度明显增加(图1)。这是由于降雨强度越大,其在短时间内的土壤入渗能力受到的影响越大,从而导致产流率增加^[23]。此外,随着降雨强度的增加,不同秸秆还田方式间产流率随降雨量的变化差异明显增大。分析原因是降雨强度及秸秆还田方式的变化可使径流水动力特征发生变化,而径流水动力学参数的大小对坡面径流侵蚀能力和挟沙能力的大小有重要影响^[24]。免耕+残茬覆盖处理坡面覆盖 100% 的秸秆量,而秸秆碎混处理秸秆还田深度相对较浅,且坡面覆盖有 50% 的秸秆量,这些秸秆能够有效降低雨滴动能,充分调节坡面径流,且降雨强度越大,这种秸秆消能作用和径流调节作用越显著^[11, 13]。秸秆深还处理秸秆还田深度虽

然相对较深,且秸秆全部还入耕作层以下,但是其坡面无秸秆覆盖,不能有效消减雨滴动能及调节坡面径流^[24],所以其产流率随降雨量的变化与免耕+残茬覆盖及秸秆碎混处理相比差异较大。结果表明,降雨强度对不同秸秆还田方式的产流率变化具有一定的影响,其直接影响产流率大小及波动幅度。

2.1.2 产流时间对比 通过观察坡面产流时间发现,秸秆还田能够有效延长坡面径流汇集时间(图2)。与顺坡垄作对照处理相比,50, 100 mm/h 降雨强度下,免耕+残茬覆盖处理的坡面产流时间分别延后 20.1, 7.2 min, 秸秆碎混处理的坡面产流时间分别延后 13.9, 4.8 min, 秸秆深还处理的坡面产流时间分别延后 8.1, 2.4 min。表明秸秆还田方式对产流时间的影响表现为免耕+残茬覆盖 > 秸秆碎混 > 秸秆深

还>顺坡垄作,即免耕+残茬覆盖处理对产流时间的延缓作用最明显。分析原因是秸秆全量覆盖比半量覆盖条件下减流效果更显著^[10,25],且秸秆覆盖于地表对产流时间的延缓作用较秸秆还于地下的效果更好,即秸秆还田可使土壤水分入渗和持水能力增强,从而增加了径流在坡面的停留时间,这种产流时间的滞后是秸秆还田措施水土保持效果的重要体现^[21]。

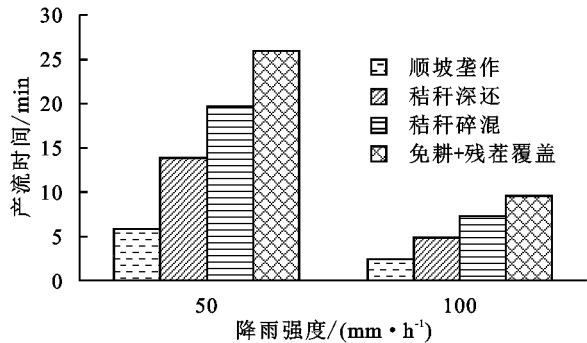
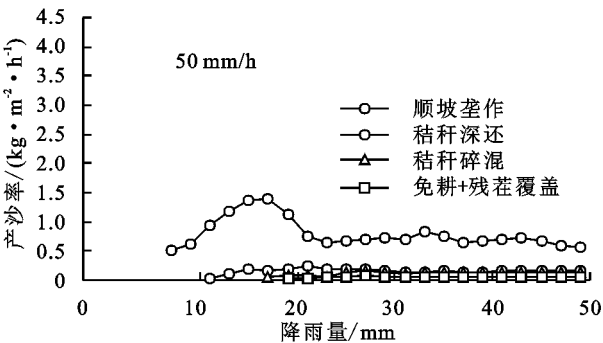


图 2 50,100 mm/h 降雨强度下不同秸秆还田方式的产流时间对比

车明轩等^[26]研究表明,秸秆覆盖还田对初始产流时间具有一定滞后作用,且随降雨强度的增加而减少,本研究结果与之相似。在 50 mm/h 降雨强度下,秸秆还田处理的产流时间是顺坡垄作处理的 2.4~4.5 倍;在 100 mm/h 降雨强度下,秸秆还田处理的产流时间是顺坡垄作处理的 2.0~4.0 倍(图 2)。表明随着降雨强度的增加,产流时间逐渐缩短,且不同秸秆还田方式对产流时间的延缓作用逐渐减小。这是由于降雨强度越大,雨滴打击和径流冲刷能力越大,导致径流汇集速度加快^[23,26],其对坡耕地产流时间的影响逐渐超过秸秆还田方式的影响。



综上可见,不同秸秆还田方式均能改变坡面产流时间,从而改变土壤水分入渗时间,调节坡面径流流速和径流侵蚀力;但是,降雨强度越大,秸秆还田对产流时间产生的滞后作用越小。因此,建议在筛选适宜的秸秆还田方式时,应该将研究区降雨特征作为重要的背景因子。

2.1.3 产沙率变化 由图 3 可知,传统顺坡垄作处理产沙率随降雨量的变化呈现先快速增加后减小并逐渐趋于相对稳定的趋势,这是由于顺坡垄作坡面为裸露处理,降雨初期其坡面含有大量松散碎屑物质,径流优先搬运这些物质,导致产沙率迅速增加并达到峰值^[27];其后,随着降雨的持续进行,坡面可供搬运的物质逐渐减少,导致其产沙率逐渐减小并趋向于相对稳定^[21]。50,100 mm/h 降雨强度下,顺坡垄作处理的稳定产沙率分别约为 0.644,1.958 kg/(m²·h)。值得注意的是,秸秆还田处理的产沙率明显低于传统顺坡垄作,呈现比较稳定的变化趋势;但是,3 种秸秆还田方式之间产沙率随降雨量的变化也具有一定的差异,其大小表现为秸秆深还>秸秆碎混>免耕+残茬覆盖。这是由于免耕+残茬覆盖处理对降雨和径流有最好的消减作用和调节作用,秸秆碎混处理次之,秸秆深还处理由于秸秆还田深度较深,且坡面无秸秆覆盖,所以其对径流的影响相对较小。径流水动力特征的差异导致其侵蚀能力和挟沙能力的差异,秸秆还田处理的产沙率虽然明显低于顺坡垄作处理,但是 3 种秸秆还田方式之间依然存在差异。表明秸秆还田措施在调节坡面径流过程的同时,也能有效控制坡面土壤侵蚀过程^[11,28]。

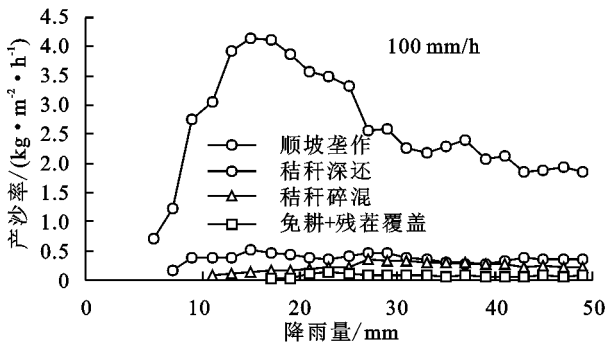


图 3 不同秸秆还田方式下产沙率随降雨量的变化

随着降雨强度的增加,相同秸秆还田方式的坡面产沙率均增大,且产沙率随降雨量变化的波动幅度也随之增大(图 3)。原因是降雨强度越大,其降雨侵蚀力和径流侵蚀力越大,导致产沙率增加^[23]。其中顺坡垄作处理产沙率随降雨量的变化在 50,100 mm/h 降雨强度下差异最明显。50 mm/h 降雨强度下,降雨量达到 8 mm 时顺坡垄作处理开始产沙,产沙率逐渐增加至最大值 1.394 kg/(m²·h),此后坡面产沙

率缓慢下降,直至达到相对稳定阶段,此时产沙率为 0.644 kg/(m²·h);100 mm/h 降雨强度下,降雨量达到 6 mm 时顺坡垄作处理开始产沙,产沙率迅速增至最大值 4.123 kg/(m²·h),此后坡面产沙率逐渐减小,直至达到相对稳定阶段,此时产沙率为 1.958 kg/(m²·h)。与 100 mm/h 降雨强度相比,50 mm/h 降雨强度下最大产沙率和稳定产沙率分别减小 66.2% 和 67.1%。此外,随着降雨强度的增加,不同秸秆还田方

式间产沙率随降雨量的变化差异也略有增加,但是增加幅度明显小于顺坡垄作处理。原因也是由于降雨强度及秸秆还田方式的变化可使坡面径流侵蚀能力和挟沙能力发生变化,从而影响产沙率变化特征^[21,24]。表明降雨强度对不同秸秆还田方式的产沙率变化也有一定的影响^[11]。因此,在筛选具体秸秆还田方式时,应充分考虑其对降雨雨滴动能以及径流侵蚀能力的消减作用,从而有效防治黑土区坡耕地土壤侵蚀。

2.2 不同秸秆还田方式对坡耕地径流量及侵蚀量的影响

从表 1 可以看出,通过对比不同秸秆还田方式下的坡耕地径流量和侵蚀量发现,其大小顺序均表现为顺坡垄作>秸秆深还>秸秆碎混>免耕+残茬覆盖。

表 1 不同秸秆还田方式下坡面的径流量和侵蚀量

秸秆 还田方式	降雨强度/ (mm·h ⁻¹)	总径 流量/mm (g·m ⁻² ·h ⁻¹)	总侵蚀量/ (g·m ⁻² ·h ⁻¹)	减流 效益/%	减沙 效益/%
顺坡垄作	50	42.2Aa	884.4Ba	0	0
	100	44.5Aa	1850.0Aa	0	0
秸秆深还	50	26.6Ab	113.6Bb	37.0	87.2
	100	28.2Ab	321.7Ab	36.6	82.6
秸秆碎混	50	18.1Ac	77.8Bbc	57.1	91.2
	100	22.0Abc	197.4Ac	50.6	89.3
免耕+残茬覆盖	50	14.1Ac	28.1Ac	66.6	96.8
	100	15.6Ac	59.7Ad	64.9	96.8

注:同列不同大写字母表示相同秸秆还田方式下不同降雨强度处理的各指标在 $p<0.05$ 水平上差异显著;同列不同小写字母表示相同降雨强度下不同秸秆还田方式的各指标在 $p<0.05$ 水平上差异显著。

对于径流量,50 mm/h 降雨强度下顺坡垄作处理的径流量分别是秸秆深还、秸秆碎混和免耕+残茬覆盖处理的 1.6,2.3,3.0 倍;100 mm/h 降雨强度下,这些倍数分别为 1.6,2.0,2.9 倍。对于侵蚀量,50 mm/h 降雨强度下顺坡垄作处理的侵蚀量分别是秸秆深还、秸秆碎混和免耕+残茬覆盖处理的 7.8,11.4,31.5 倍;100 mm/h 降雨强度下,这些倍数分别为 5.8,9.4,31.0 倍。表明不同降雨强度下,秸秆还田措施均能有效减少坡耕地径流量和侵蚀量,其对侵蚀量的防治作用明显高于对径流量的减缓作用。原因主要包括 3 个方面:一是覆盖于地表的秸秆能够消减雨滴动能,秸秆覆盖度越高,其消减雨滴动能作用越显著^[13,29];二是覆盖于地表或者还于地下的秸秆能够调节地表径流,通过影响径流流速,进而改变径流侵蚀力和挟沙力^[28,30];三是秸秆还田能够改善土壤结构,改变土壤孔隙结构,增加土壤水稳性团聚体含量等,从而增加土壤抗蚀能力^[11,14]。此外,随着降雨强度的增加,相同秸秆还田方式下,侵蚀量的增加幅度

明显高于径流量的变化,该结果与我国其他地区秸秆还田方式相关研究^[26,31]结果相似。

为了进一步分析不同秸秆还田方式对坡耕地径流量及侵蚀量的影响,以顺坡垄作处理为基准,分别计算秸秆深还、秸秆碎混、免耕+残茬覆盖处理的减流效益和减沙效益(表 1)。50,100 mm/h 降雨强度下,3 种秸秆还田处理的减流效益分别为 37.0%~66.6%和 36.6%~64.9%,减沙效益分别为 87.2%~96.8%和 82.6%~96.8%。表明随着降雨强度的增加,不同秸秆还田方式的减流效益和减沙效益均减小,但是减小幅度不显著;相同降雨强度下,减流效益和减沙效益最好的秸秆还田方式均为免耕+残茬覆盖,其次为秸秆碎混,最后为秸秆深还。这也与降雨强度及秸秆还田方式的变化引起坡面径流侵蚀能力和挟沙能力发生变化有关^[13,24,26],从而影响坡耕地不同试验处理的减流减沙效益特征。本研究中得到的减流效益和减沙效益与基于天然降雨条件下定位监测方法获取的对应数值相近,相关研究^[11-12]表明,秸秆碎混还田方式及免耕+秸秆覆盖还田方式的减流效益分别为 60.0%~66.7%和 97.7%,减沙效益分别为 85.4%~86.4%和 98.9%。此外,不同秸秆还田方式的减沙效益均高于减流效益,该结果与已有研究^[21]结果相似。综上可知,秸秆还田具有较好的减流减沙作用,其中免耕+残茬覆盖属于比较适用于东北黑土区坡耕地的还田方式,其水土保持效果最好。因此,建议深入开展相关研究,从而提高秸秆还田措施在东北黑土区实施的科学性和适用性。

3 结论

- (1)不同秸秆还田方式的产流率均随降雨量的增加而逐渐增大,且降雨强度越大,其变化差异越明显。与顺坡垄作相比,50,100 mm/h 降雨强度下,秸秆还田处理分别延缓产流时间 14.0,4.8 min。秸秆还田处理的产沙率明显小于顺坡垄作处理,随降雨量呈现比较稳定的变化趋势。可见,秸秆还田措施在调节坡面径流过程的同时,也能有效控制坡面土壤侵蚀过程。
- (2)试验条件下,不同秸秆还田方式均能有效减少坡耕地径流量和侵蚀量,而且其对坡面土壤侵蚀的防治作用明显高于对径流的减缓作用。50,100 mm/h 降雨强度下,秸秆还田处理的减流效益分别为 37.0%~66.6%和 36.6%~64.9%,减沙效益分别为 87.2%~96.8%和 82.6%~96.8%。其中,免耕+残茬覆盖处理的减流减沙效益最好,其次为秸秆碎混和秸秆深还处理。因此,免耕+残茬覆盖属于比较适用于东北黑土区坡耕地的秸秆还田方式。

参考文献:

- [1] 刘宝元, 阎百兴, 沈波, 等. 东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008(1): 1-8.
- [2] Nearing M A, Xie Y, Liu B Y, et al. Natural and anthropogenic rates of soil erosion[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2017, 5: 77-84.
- [3] Cui M, Cai Q G, Zhu A X, et al. Soil erosion along a long slope in the gentle hilly areas of black soil region in Northeast China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2007, 17(3): 375-383.
- [4] 陆继龙. 我国黑土的退化问题及可持续农业[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 53-55, 67.
- [5] Yao Q, Liu J J, Yu Z H, et al. Three years of biochar amendment alters soil physiochemical properties and fungal community composition in a black soil of north-east China[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2017, 110: 56-67.
- [6] 龚振平, 杜婷婷, 闫超, 等. 玉米秸秆还田及施磷量对黑土磷吸附与解吸特性的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 161-169.
- [7] 高洪军, 彭畅, 张秀芝, 等. 不同秸秆还田模式对黑钙土团聚体特征的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 75-79.
- [8] 王珍, 冯浩. 秸秆不同还田方式对土壤结构及土壤蒸发特性的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 224-228, 251.
- [9] 汪军, 王德建, 张刚, 等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 40-44, 62.
- [10] 杨青森, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 秸秆覆盖对东北黑土区土壤侵蚀及养分流失的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 1-5.
- [11] 许晓鸿, 隋媛媛, 张瑜, 等. 黑土区不同耕作措施的水土保持效益[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(3): 12-16.
- [12] 张少良, 张兴义, 刘晓冰, 等. 典型黑土侵蚀区不同耕作措施的水土保持功效研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 11-15.
- [13] 温磊磊, 郑粉莉, 沈海鸥, 等. 沟头秸秆覆盖对东北黑土区坡耕地沟蚀发育影响的试验研究[J]. 泥沙研究, 2014(6): 73-80.
- [14] 朱姝, 窦森, 陈丽珍. 秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 747-758.
- [15] 胡伟, 郑粉莉, 边锋. 降雨能量对东北典型黑土区土壤溅蚀的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4708-4717.
- [16] 边锋, 郑粉莉, 徐锡蒙, 等. 东北黑土区顺坡垄作和无垄作坡面侵蚀过程对比[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 11-16.
- [17] Xu X Z, Xu Y, Chen S C, et al. Soil loss and conservation in the black soil region of Northeast China: A retrospective study[J]. Environmental Science and Policy, 2010, 13(8): 793-800.
- [18] 姜义亮, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 降雨和汇流对黑土区坡面土壤侵蚀的影响试验研究[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8207-8215.
- [19] 刘志生, 张莉, 杨志东, 等. 长春市新一代暴雨强度公式的推求研究[J]. 中国给水排水, 2014, 30(9): 147-150.
- [20] 沈海鸥, 肖培青, 李洪丽, 等. 黑土坡面不同粒级泥沙流失特征分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(20): 111-117.
- [21] 苏鹏, 贾燕峰, 曹馨月, 等. 东北黑土区不同坡段等间距植物篱减流减沙特征[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 22-35.
- [22] 闫雷, 纪晓楠, 孟庆峰, 等. 免耕措施下黑土区坡耕地土壤肥力质量评价[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(5): 43-54.
- [23] 沈海鸥, 刘健, 王宇, 等. 降雨强度和坡度对黑土区土质道路路面侵蚀特征的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 123-126.
- [24] 沈海鸥, 郑粉莉, 温磊磊, 等. 雨滴打击对黄土坡面细沟侵蚀特征的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 104-112.
- [25] 王安, 郝明德, 王英文. 人工降雨条件下秸秆覆盖及留茬的水土保持效应[J]. 水土保持通报, 2012, 32(2): 26-28, 34.
- [26] 车明轩, 宫渊波, Muhammad N K, 等. 不同雨强、坡度对秸秆覆盖保持水土效果的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 131-135, 142.
- [27] Parsons A J, Stone P M. Effects of intra-storm variations in rainfall intensity on interrill runoff and erosion[J]. Catena, 2006, 67: 68-78.
- [28] Jourgholami M, Abari M E. Effectiveness of sawdust and straw mulching on postharvest runoff and soil erosion of a skid trail in a mixed forest[J]. Ecological Engineering, 2017, 109: 15-24.
- [29] 唐涛, 郝明德, 单凤霞. 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究[J]. 水土保持研究, 2008, 22(1): 9-11, 40.
- [30] 张翼夫, 李洪文, 何进, 等. 玉米秸秆覆盖对坡面产流产沙过程的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 118-124.
- [31] 徐勤学, 朱晓峰, 方荣杰, 等. 秸秆覆盖对岩溶区坡耕地产流产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 22-26, 32.