

连续 14 年黑土坡耕地秸秆覆盖免耕水土保持效应

张兴义^{1,2}, 李健宇¹, 郭孟洁¹, 胡伟², 李建业²

(1.东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2.中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150081)

摘要: 为探究长期秸秆覆盖免耕对黑土坡耕地土壤结构的影响以及水土保持效应, 通过秸秆覆盖免耕 (NT) 和传统顺坡耕作 (CT) 2 组长期定位田间试验, 对土壤结构、土壤保水能力、保土效应作对比分析。结果表明: NT 与 CT 相应性状比较, 土壤容重没有显著增加 ($P > 0.05$), 在 0—20 cm 土层, 虽总孔隙度和非毛管孔隙度低, 但增加了土壤毛管孔隙度和水稳性大团聚体 ($WR_{0.25}$) 含量, $WR_{0.25}$ 含量和平均重量直径 (MWD) 差异均达到显著水平 ($P < 0.05$); 分别提高了垄台土壤初始入渗和稳定入渗速率 28.8%, 24.7%; 0—10 cm 土层, 饱和含水量和田间持水量差异均达到显著水平 ($P < 0.05$); 减少了产流次数、径流量和土壤流失量分别为 11 次, 86.6% 和 98.9%, 有效地遏制了水土流失。研究结果表明, 长期连续秸秆覆盖免耕是一项有利于土壤结构稳定和遏制土壤侵蚀的黑土地保护措施。

关键词: 秸秆覆盖; 免耕; 黑土; 坡耕地; 水土保持

中图分类号: 157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2022)03-0044-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2022.03.007

Effects of Straw Mulching and No Tillage for Continuous 14 Years on Soil and Water Conservation in Mollisols Sloping Farmland

ZHANG Xingyi^{1,2}, LI Jianyu¹, GUO Mengjie¹, HU Wei², LI Jianye²

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin 150030;

2.Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081)

Abstract: To reveal the influence of long-term straw mulching and no tillage (NT) on soil structure and soil and water conservation of Mollisols sloping farmland, two 14 years long-term experiments, including NT and conventional tillage (CT), were conducted to compare soil structure, water conservation capacity and soil retention effect. The results showed that compared with CT, the soil bulk density of NT did not increase significantly ($P > 0.05$). The total porosity and non-capillary porosity of NT were lower than those of CT in 0—20 cm layer, while NT increased the capillary porosity and content of water stable aggregate ($WR_{0.25}$), and the differences in $WR_{0.25}$ and mean weight diameter of soil aggregate (MWD) between the two treatments were significant ($P < 0.05$). Meanwhile, NT increased the initial infiltration rate and stable infiltration rate of ridge platform by 28.8% and 24.7%, respectively. And in 0—10 cm layer, the differences in saturated water content and field capacity between the two treatments were significant ($P < 0.05$). In addition, the number of runoff production, runoff and soil loss decreased by 11 times, 86.6% and 98.9% in NT, respectively. This study indicated that long-term continuous NT was an effective practice to stabilize soil structure and prevent soil erosion in Mollisols.

Keywords: straw mulching; no tillage; Mollisols; sloping farmland; soil and water conservation

黑土是世界上最肥沃的农田土壤之一, 我国东北黑土区已成为国家重要的粮食产区和优良的商品粮基地^[1]。但由于人类长期不合理的农业生产活动, 掠夺式经营, 加之黑土区漫川漫岗地貌类型特点, 夏季单峰降雨, 多采用顺坡/斜坡垄作, 水土流失加剧, 农田黑土发生严重退化, 表现为黑土层变薄, 土壤变硬, 土壤有机质含量下降。区域调查^[2]显示, 农田黑土有

机质含量开垦后已下降了 60%, 黑土自然生产力下降了 20%。黑土区 85% 的旱作农田为坡度 $> 0.5^\circ$ 的坡耕地, 多顺坡/斜坡垄作, 存在不同程度的水土流失, 坡耕地年均黑土层变薄速率为 2~3 mm, 黑土层厚度仅剩 30 cm 左右, 农田水土流失已成为当前黑土退化的最主要诱因^[3-4]。

根据世界粮农组织定义, 保护性农业的主要原则

收稿日期: 2021-10-03

资助项目: 国家自然科学基金项目 (42007058, 42177312, 41701313)

第一作者: 张兴义 (1966—), 男, 博士, 研究员, 主要从事黑土生态研究。E-mail: zhangxy@iga.ac.cn

通信作者: 李建业 (1988—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事黑土生态研究。E-mail: lijianye@iga.ac.cn

包括免耕、秸秆覆盖还田和轮作。保护性农业可以改善土壤物理结构,增加土壤有机质,提高土壤保水能力,作为保护性农业的重要措施,秸秆覆盖免耕对于减少坡耕地水土流失具有重要作用^[5-6]。东北黑土区保护性耕作研究起步较晚,前人^[7]研究表明,秸秆覆盖免耕有利于农田土壤形成稳定结构,增强土壤抗蚀性和保水能力,减少作物全生育期输沙次数、径流量和侵蚀量,连续秸秆覆盖免耕 8 年后,土壤表层 0—20 cm 较传统耕作土壤有机质增加了 11.4%,具有恢复土壤质量的作用^[8]。近年来秸秆覆盖免耕在黑土地保护中的重要作用,已得到了充分重视,以保护性耕作为核心的“梨树模式”已得到各级政府肯定,2020 年国家启动了黑土地保护性耕作国家行动计划,2021 年颁布了《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025)》^[9],将保护性耕作作为主要措施之一。虽然保护性耕作在东北黑土区已有初步应用与推广,但目前东北黑土区保护性耕作研究多聚焦于平地,且多以短期和单个生育期为主^[8],而对坡耕地的土壤物理性状和水土保持效应长期研究较少^[4],为揭示秸秆覆盖免耕对于坡耕地土壤质量维护和水土保持作用,通过连续 14 年的坡耕地秸秆覆盖免耕长期定位田间试验,探究黑土坡耕地保护性耕作对于土壤容重、土壤孔隙度和土壤团聚体等土壤物理结构的影响,分析表层土壤入渗速率及土壤保水能力,结合年产生流和产沙量差异,评价黑土长期秸秆覆盖免耕的水土保持效应,以期在黑土坡耕地侵蚀退化阻控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验场布设在中国科学院海伦水土保持监测研究站(47°21′16″N,126°49′56″E),位于松嫩平原黑土地带中部黑龙江省海伦市光荣村,海拔 226 m,典型漫川漫岗地貌,坡度 1.5°~7.0°。气候类型属温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同期,年均气温 1.5℃,年均降水量 500 mm,70%降雨集中在 6—9 月。土壤类型为典型黑土,分层明显,黑土层平均厚度为 30 cm。0—20 cm 耕层土壤砂粒、粉粒、黏粒含量分别为 31.6%,30.8%,37.6%,土壤有机质含量为 42.1 g/kg^[7]。

1.2 试验设计

试验小区建于 2007 年,径流小区坡度为 5°,宽 4.5 m,长 20 m。四周用地下埋 30 cm,地上露 20 cm 围板隔离,下设径流收集槽,连接分流桶和集流桶,用于收集径流和泥沙采样。设置秸秆覆盖免耕(NT)和传统顺坡耕作(CT)径流小区,每个处理 3 次重复。NT 为秋季收获时秸秆留茬 20 cm,其余秸秆粉碎长度<20 cm 并覆盖于地表,次年人工免耕播种,除草

剂控制杂草,不进行任何秋耕和苗期中耕作业,次年原垄种植;CT 为当地农民常规耕作方式,秋收后全部移出秸秆,顺坡旋耕起垄,垄宽为 70 cm,垄高为 20 cm,苗期人工播种,除草剂控制杂草外人工辅助锄草,中耕扶垄 2 次^[8]。所有处理均采用大豆—玉米 2 年轮作制,2020 年种植作物为大豆。

1.3 观测指标与方法

土壤采样观测日期为 2020 年 8 月 10 日,土壤物理性状依照鲁如坤^[10]方法测定。地表径流和输沙观测期为 2020 年 6 月 1 日至 9 月 31 日。

土壤容重(g/cm³)使用环刀法测定,分别在垄沟和垄台处采样,采样深度分别为 0—5,5—10,10—15,15—20 cm 土层,各取 3 个重复。

土壤含水量(%),田间持水量(%),毛管孔隙度(%)均用环刀浸泡法测定,环刀采样方法同土壤容重。

土壤孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度计算公式为:

$$f = \left(1 - \frac{\gamma_b}{\gamma_a}\right) \times 100\% \quad (1)$$

$$f_1 = D \times \gamma_b \quad (2)$$

$$f_2 = f - f_1 \quad (3)$$

式中: γ_b 为土壤容重(g/cm³); γ_a 为土壤比重(取值 2.65 g/cm³); D 为田间持水量(%), f 、 f_1 、 f_2 分别为土壤总孔隙度(%),土壤毛管孔隙度(%)和土壤非毛管孔隙度(%)。

水稳性团聚体:采集 0—5,5—10,10—15,15—20,20—40 cm 共 5 层的土壤样品,垄台和垄沟处分别取样,每个试验处理小区采用 5 点混合法,室内风干后,采用快速浸提法^[11]进行处理。

$$R_{0.25} = \frac{M_{r>0.25}}{M_T} \quad (4)$$

式中: M_T 为团聚体总重量(g); $M_{r>0.25}$ 为粒径>0.25 mm 的团聚体的重量(g)。

土壤水稳性团聚体团聚体平均重量直径(MWD)计算公式为:

$$MWD = \sum_{i=1}^n (X_i W_i) \quad (5)$$

式中: X_i 为 i 级别团聚体的平均直径(mm); W_i 为 i 级别团聚体的重量百分含量(%); $n \geq 0.25$ 。

土壤入渗速率:使用双环入渗仪法测定。

径流量和泥沙量:采用分流桶和集流桶装置,人工观测每次降雨产生的径流总量,取样烘干法测定泥沙含量。

1.4 数据处理

采用 SPSS 21.0 软件进行数据处理与分析,SigmaPlot 12.5 软件进行作图。

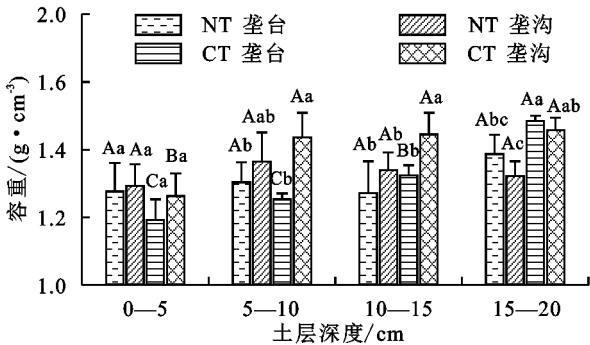
2 结果与分析

2.1 秸秆覆盖免耕对于土壤结构和功能的影响

2.1.1 土壤容重 土壤容重是土壤结构的重要指标之一,受土壤耕作影响显著。由图 1 可知,实施 14 年 NT 不仅没有增加土壤容重,反而降低 10—20 cm 土层土壤容重。NT 由于人为扰动较少,土壤容重没有表现出土层深度之间的差异,而传统耕作由于长期耕作,土壤容重随土层深度的增加而增大;垄台和垄沟土壤容重相比较,由于人为扰动少,NT 在 0—20 cm 土层容重无显著差异($P>0.05$),而 CT 处理在 0—15 cm 土层处垄沟均大于 CT 垄台,表明传统耕作表层土壤压实作用不容忽视,是导致土壤紧实变硬的重要原因,而长期秸秆覆盖免耕能有效抑制土壤变硬。

2.1.2 土壤孔隙度 土壤的孔隙既能反映土体的结构,又能反映其功能,关系到土壤通气性和水分运移,进而影响着水土保持功能。由图 2 可知,实施 14 年秸秆覆盖免耕后,NT 较 CT 处理总孔隙度和非毛管孔隙度均降低,毛管孔隙度增加,毛管孔隙度占总孔隙度比由 $76.5\% \pm 11.3\%$ 增加到 $83.6\% \pm 5.6\%$,非毛管孔隙度占总孔隙度比由 $23.5\% \pm 11.6\%$ 降低到

$16.4\% \pm 5.6\%$,随土层深度增加,NT 处理下总孔隙度、毛管孔隙度与非毛管孔隙度无显著差异,而 CT 处理下总孔隙度、非毛管孔隙度均减少,毛管孔隙度无显著差异,表明人为扰动是影响土壤非毛管孔隙度的主要影响因素,传统耕作虽能疏松土壤,但是主要以增加土壤大孔隙为主,耕作过程破坏了毛管孔隙,换言之,秸秆覆盖免耕有利于土体稳定结构毛管孔隙的保持和发育。



注:图柱上方不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一处理不同土层间差异显著($P<0.05$)。下同。

图 1 秸秆覆盖免耕对土壤容重的影响

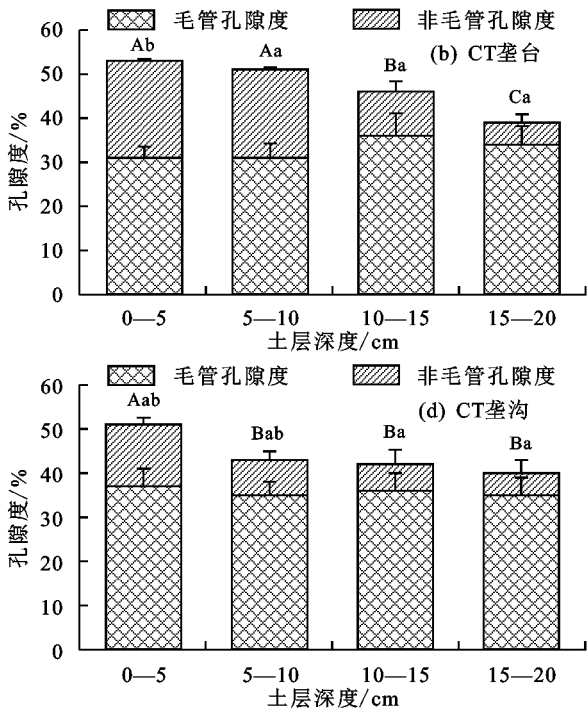
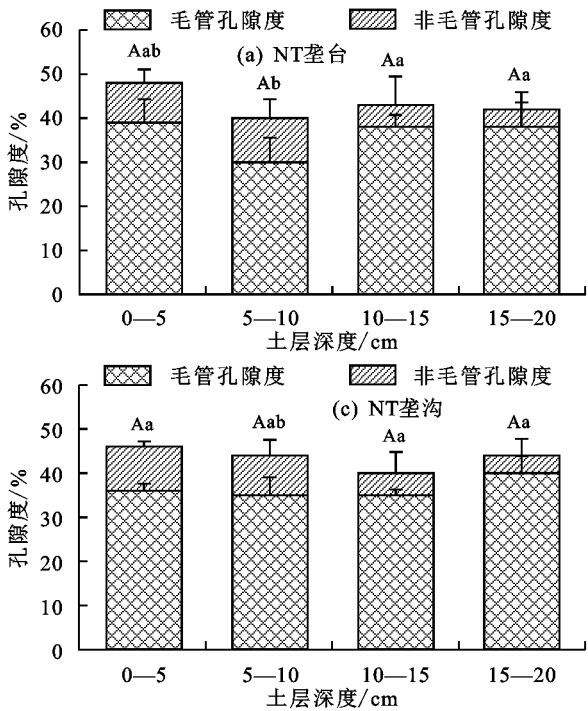


图 2 秸秆覆盖免耕对土壤孔隙度的影响

2.1.3 土壤水稳性团聚体 土壤水稳性团聚体是衡量土壤质量的一项重要综合指标,显著影响土壤结构和功能。由表 1 可知,实施 14 年秸秆覆盖免耕较传统耕作显著增加了表层 0—20 cm 土壤水稳性大团聚体($WR_{0.25}$)的含量($P<0.05$),NT 垄台 $WR_{0.25}$ 含量较 CT 垄台高 $4.7\% \sim 9.9\%$,平均相差 6.7% ,垄沟高 $2.2\% \sim 15.4\%$,平均相差 10.1% ;而在 20—40 cm 土层,二者差异不显著($P>0.05$),深层土壤团聚体受耕作措施影响较小。随

土层深度增加,NT 和 CT 的 $WR_{0.25}$ 含量均表现出下降的趋势,NT 的 $WR_{0.25}$ 含量表现为 0—5 cm 最高,这是由于长期秸秆覆盖增加了表层土壤有机碳的积累^[12],由于土壤人为扰动减少,避免了传统耕作导致的土壤团聚体机械破碎,促进了土壤的团聚化作用;而 CT 的 $WR_{0.25}$ 含量并未表现出 0—5 cm 表土层最高,是由于连年秋季旋耕,导致耕层内不同土层土壤混合,致使耕层土壤性状均一化。NT 和 CT 垄台的

$WR_{0.25}$ 含量均高于垄沟,主要是作物根系垄台较垄沟更加密集,根系及其分泌物和微生物等作用所致;NT 的 $WR_{0.25}$ 含量在垄台和垄沟总体未表现出显著性差异($P>0.05$),而 CT 的 $WR_{0.25}$ 含量在垄台和垄沟差异显著,这是由土壤旋耕和垄作共同作用所致。

平均重量直径(MWD)是衡量土壤水稳性团聚体稳定性的指标,其值越大表明土壤质量越好^[12]。NT 和 CT 的 MWD 差异总体表现出与 $WR_{0.25}$ 含量一致,在 0—20 cm 差异显著,20—40 cm 差异不显著,垄台大于垄沟,NT 垄台和垄沟的 MWD 总体差异不显著,而 CT 处理下差异显著,与 $WR_{0.25}$ 含量反映的变化规律一致。

$WR_{0.25}$ 和 MWD 是用总含量和平均直径来描述土壤水稳性团聚体的差异,即使是数值相同,但分级占比不同,也说明其具有差异。由图 3 可知,NT 和 CT 总体都表现为 0.25~0.5 mm 的最多,0.106~0.25 mm 的次之,0.5~1.0 mm 再次之。 >2 , >1 ,0.5~1.0,0.25~0.5 mm 的土壤水稳性团聚体含量均表现为 NT $>$ CT,垄台 $>$ 垄沟,说明连续 14 年实施秸秆覆盖免耕可提高各级水稳

性大团聚体含量,促进土壤团聚化,且由于机械耕作的原因,对垄台的影响大于垄沟。

表 1 秸秆覆盖免耕对土壤水稳性团聚体含量及其稳定性的影响

土层深度/cm	处理	秸秆覆盖免耕对 >0.25 水稳性团聚体含量/%		秸秆覆盖免耕对平均重量直径/mm	
		垄台	垄沟	垄台	垄沟
0—5	NT	60.27Aa	56.13Aa	0.64Ba	0.61Aa
	CT	50.41Ab	40.78Cc	0.51Ab	0.35Ac
5—10	NT	50.13Ba	48.93Ba	0.54Ca	0.53Ba
	CT	45.46Bb	38.24Cc	0.38Bb	0.25Bc
10—15	NT	57.41Aa	51.04Ab	0.76Aa	0.58Ab
	CT	49.70Bb	44.68Bc	0.40Bc	0.31Bd
15—20	NT	56.03Aa	48.97Bb	0.54Ca	0.56Aa
	CT	50.20Bb	46.81Ac	0.55Aa	0.37Ab
20—40	NT	43.36Ca	44.40Ca	0.35Db	0.36Cb
	CT	44.48Ca	40.92Ca	0.36Bb	0.39Ab

注: $WR_{0.25}$ 为土壤中 >0.25 mm 的团聚体含量;MWD 为土壤中团聚体的平均重量直径;同列不同大写字母表示不同土层间同一处理差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一土层不同处理间的差异显著($P<0.05$)。下同。

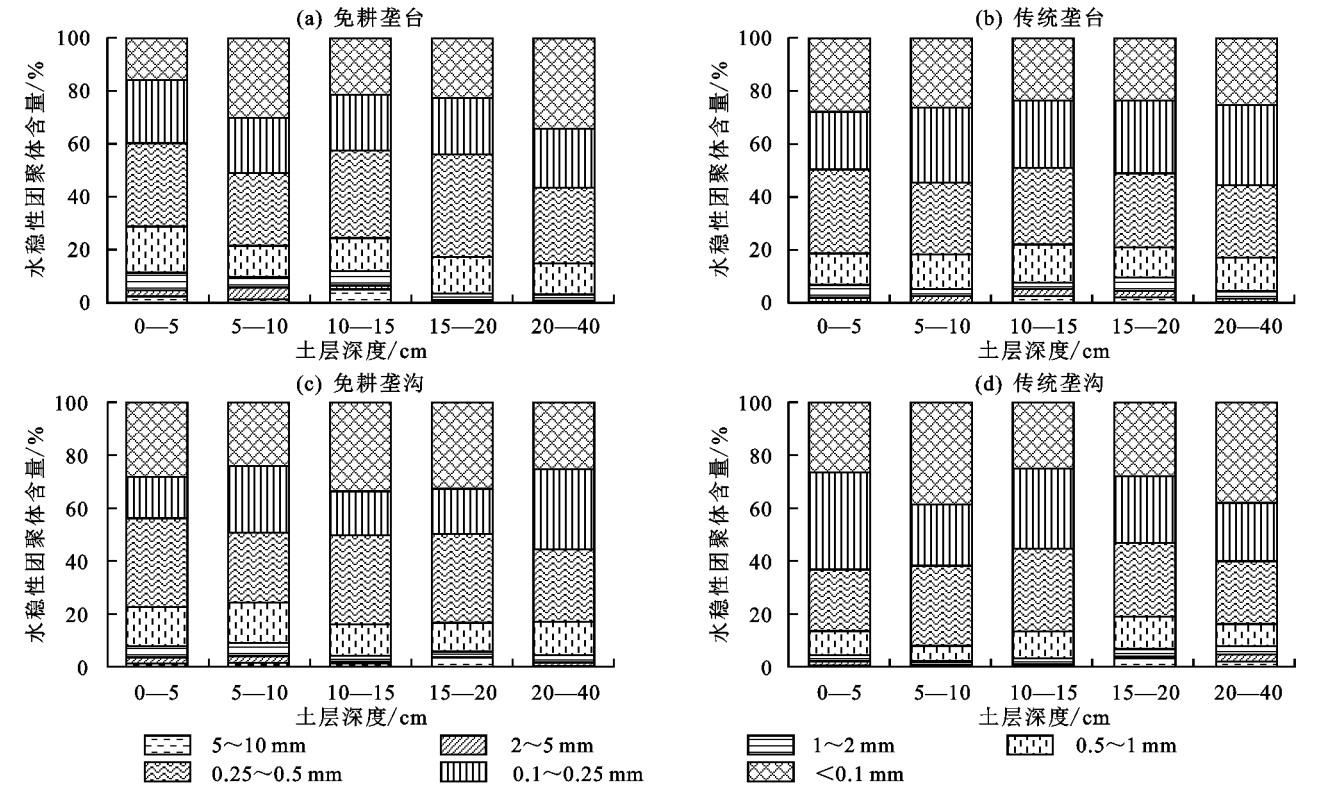


图 3 秸秆覆盖免耕对土壤水稳性团聚体粒径分布的影响

2.2 秸秆覆盖免耕对于土壤蓄水保水能力的影响

2.2.1 土壤入渗速率 土壤耕作改变了土壤结构,势必对土壤蓄水和保水能力产生影响^[13]。双环入渗仪地表土壤入渗速率结果测定表明,NT 土壤初始和稳定入渗速率均高于 CT。NT 和 CT 垄台的初始入渗速率分别为 31.16,24.20 mm/min,NT 较 CT 提高了 28.8%;垄沟的分别为 25.71,21.18 mm/min,NT 较 CT 提高了 21.4%。表明 NT 可提高土壤初始入

渗速率,有利于降雨快速入渗,进而减少坡面地表径流,降低土壤侵蚀。NT 和 CT 的稳定入渗速率垄台分别为 1.06,0.85 mm/min,NT 较 CT 提高了 24.7%;NT 和 CT 垄沟的入渗速率分别为 0.97,0.91 mm/min,NT 较 CT 提高了 6.6%(图 4),秸秆覆盖是 NT 入渗速率增加的主要原因,秸秆覆盖增加地表粗糙度,增加地表径流入渗时间,减缓降雨对土壤的直接打击,维持土壤团聚体和孔隙度,减少地表结皮形成。

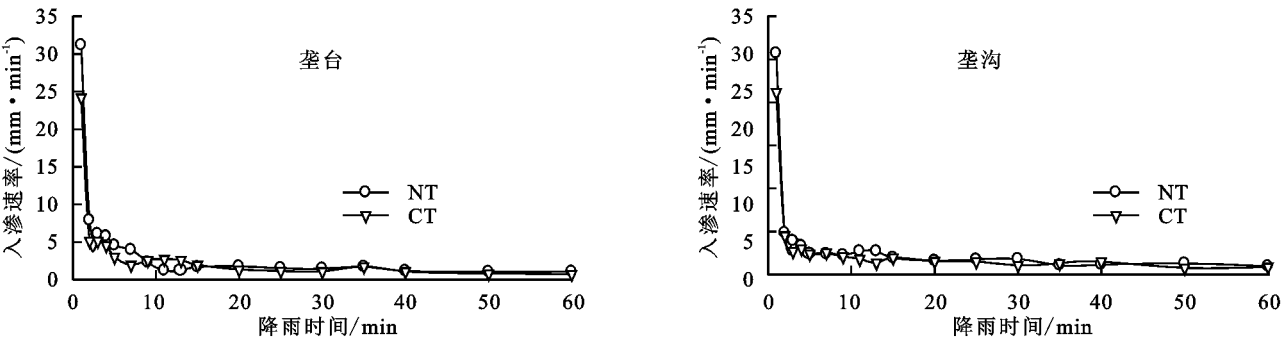


图 4 秸秆覆盖免耕对土壤入渗速率的影响

2.2.2 土壤饱和含水量和田间持水量 土壤田间持水量可反映土体最大持水能力,饱和含水量代表土体最大的储水量,既与水土保持作用有关,又与土壤生产力有关^[14]。经过连续 14 年的秸秆覆盖免耕,0—5 cm 土层 NT 田间持水量均高于 CT,而 5—15 cm 土层的田间持水量无显著差异($P>0.05$),随着土层深度的增加,NT 的田间持水量无显著变化($P>0.05$),而 CT 的田间持水量逐渐增加(图 5),表明秸秆覆盖免耕会增加土壤保水能力,而耕作过程会破坏毛管孔

隙,降低土壤保水能力,但随着土层深度的增加,该影响会逐渐削弱。0—20 cm 土层平均土壤饱和含水量,NT 垄台和垄沟分别为 51.0%和 47.1%,CT 分别为 46.8%和 46.1%,总体表现为 NT 高于 CT,垄台高于垄沟,0—15 cm 土层的 NT 垄台的饱和含水量最大,与 CT 及 NT 的 15—20 cm 层的饱和含水量差异均达到显著性水平,除 0—15 cm 土层的 NT 垄台的饱和含水量外其他处理下土层间饱和含水量均无显著性差异($P>0.05$)。

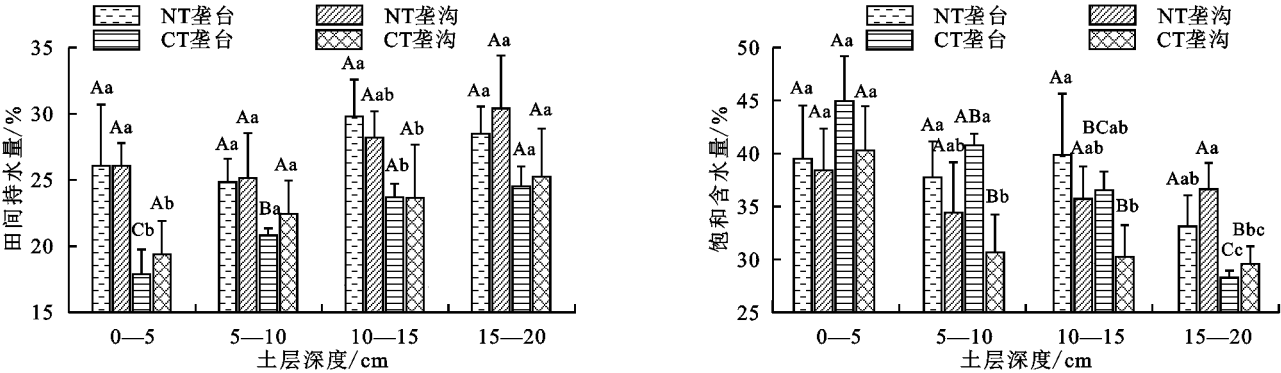


图 5 秸秆覆盖免耕对土壤田间持水量和饱和含水量的影响

2.3 秸秆覆盖免耕的水土保持作用

2020 年总降雨量为 855.8 mm,其中坡耕地水土流失发生在 6—9 月,降雨量 763 mm,占全年降雨量的 89.2%,6,7,8,9 月降雨量分别为 221.9,138.2,252.3,160.6 mm(图 6),夏季集中单峰降雨是东北黑土区一个显著气候特点,也是黑土坡耕地水土流失的主要诱因之一。研究区域 30 年平均降雨为 500 mm,2020 年属极端降雨年,较常规年多降雨 70%。NT 和 CT 产沙次数分别为 12,23,总径流量分别为 19.8,148.2 mm,NT 较 CT 减流 86.6%,NT 较 CT 多保水 128.4 mm,且该部分雨水在土壤中多以有效水的形式存在,有利于作物的生长和籽实的形成,反言之,顺坡垄作流失的水是造成坡耕地水分胁迫加重作物减产的主要原因^[2]。NT 和 CT 年降雨土壤侵蚀模数分别为 40.7,3 609.8 t/km²,NT 较 CT 减沙 98.9%,CT 土壤侵蚀达到了极强烈等级,而秸秆覆盖免耕年土壤侵蚀模数远低于东北黑土区的容许土壤侵蚀强度 200 t/km²。试验小区地表径流和输沙的监测结果充分证明,实施 14 年秸秆免耕,具有遏制坡耕地水土流失的作用,是阻

控土壤侵蚀退化十分有效的措施。NT 相对于 CT 的减流量(86.6%)和减沙量(98.9%)与径流小区初始年(2007 年)监测结果(70.6%和 89.9%)相比,均出现明显增加,表明随着实施年限的延长,NT 处理的水土保持作用在明显增强。

3 讨论

连续 14 年秸秆覆盖免耕措施显著改善土壤结构,增强团聚体稳定性,NT 处理容重与 CT 处理下无显著差异。农田土壤耕作的主要目的是为作物种子发芽和作物生长发育创造一个良好的土壤结构,利于土壤升温 and 蓄水保墒,以往多通过翻耕或旋耕(即传统耕作)混合和疏松土壤来达到目的,将紧实的土壤疏松到理想的土壤容重范围,增加土壤入渗能力,但已有研究^[11]证实长期传统耕作,虽疏松了土壤,但经降雨淋溶后,土壤回实,土壤稳定性差,尤其是高强度的机耕扰动土壤,造成土壤团聚体破碎化和机械压实,导致土壤退化和水土流失加剧,成为当前农业生产需解决的主要问题。近几十年人们不断探索保护性农业措施,秸秆覆盖免耕就是针

对土壤退化和水土流失防治而研发的创新技术,已在世界范围内广泛应用^[15]。前人^[16]研究认为,秸秆覆盖免耕会增加土壤容重,但根据相同研究区域已有研究^[17]表明,随着免耕实施年限的增加,土壤容重呈逐年下降趋势,经过连续 7 年秸秆覆盖免耕,土壤容重逐渐变小,但

仍高于传统耕作,而在 14 年秸秆覆盖免耕后,土壤容重与传统耕作容重相比无显著差异($P>0.05$),据此表明,长期秸秆覆盖免耕不断减小土壤容重,有利于形成稳定的土壤结构,因此,连续秸秆覆盖免耕对于改善土壤容重,避免土壤压实具有重要作用^[18]。

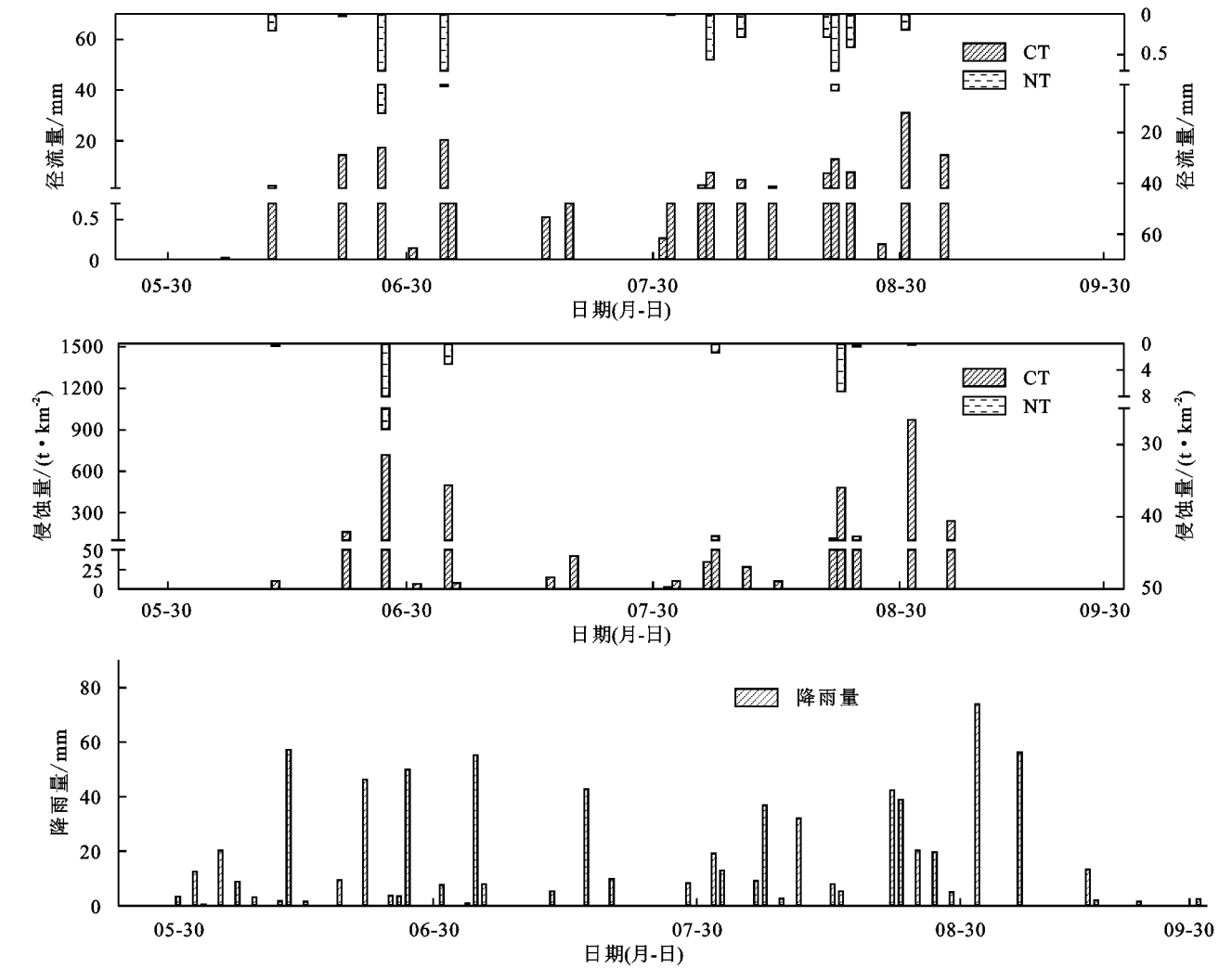


图 6 不同耕作措施下的径流量和产沙量

连续实施 14 年秸秆覆盖免耕,显著增加表层土壤 $WR_{0.25}$ 含量,其原因是由于秸秆覆盖免耕降低人为扰动,避免机械耕作导致的土壤团聚体破碎,并增加土壤有机质含量^[19],促进土壤水稳性大团聚体形成,并增强土壤团聚体稳定性^[17]。根据黑土坡耕地秸秆覆盖免耕处理下土壤物理结构研究^[14]发现,经过连续 5 年的秸秆覆盖免耕措施,土壤 0—10 cm 土层处 $WR_{0.25}$ 较传统耕作增加 2.57%,而本试验中 NT(0—10 cm)的 $WR_{0.25}$ 较 CT 增加 3.4%~22.6%,说明长期连续秸实施秆覆盖免耕措施,可显著提高土壤水稳性大团聚体含量,有效改善土壤结构。

秸秆覆盖免耕增加土壤毛管孔隙度,降低非毛管孔隙度,导致秸秆覆盖免耕处理下土壤饱和含水量和田间持水量高于传统耕作,饱和含水量和田间持水量是反应土壤保水能力主要指标,也是土壤孔隙特征的重要表征,秸秆覆盖免耕对土壤含水量的影响主要通

过 2 个方面,通过增加地表覆盖,减少土壤表面蒸发,其次,通过增加水稳性大团聚体数量,改变土壤孔隙结构,减少非毛管孔隙,增加毛管孔隙,促进入渗速率的增加,提高土壤有效含水量,提升土壤水分利用效率^[20-21],东北黑土区降雨的发生集中在 7—8 月,是黑土农田水土流失发生的主要时期,该时期的土壤入渗速率对于水土流失评价具有重要意义,土壤初始入渗速率越高,越利于雨水快速入渗,从而减少瞬间暴雨导致的超渗产流;土壤稳定入渗速率越高,越不易形成地表径流^[14],因此,连续秸秆覆盖免耕可以有效的增加土壤的入渗速率和土壤保水能力,从而减少坡耕地的水土流失。

水力侵蚀是东北黑土区主要侵蚀类型^[22],秸秆覆盖免耕措施显著降低坡耕地径流泥沙量,究其原因主要有:(1)秸秆覆盖免耕改善土壤结构,增强土壤稳定性和雨水入渗,秸秆覆盖本身对径流和泥沙具有物

理拦截阻滞作用,降低地表径流流速,削弱径流侵蚀力并使泥沙不断沉积,减少坡面产流产沙^[23]; (2) 秸秆覆盖有效削减降雨雨滴动能,调节地表径流,增加土壤入渗,降低雨滴溅蚀,有研究^[24]发现,东北黑土区溅蚀对黑土侵蚀的作用占 80%,减蚀作用的减少对于坡耕地水土保持起到重要贡献; (3) 免耕减少人为扰动对土壤团聚体的影响,增加了土壤抗蚀性和抗冲性,减少了坡面产沙。本试验研究结果与国内外研究^[20,25]基本一致,根据黑土区坡耕地已有研究^[14]发现,短期内秸秆覆盖免耕径流深比传统耕作低 70.6%,径流系数是传统耕作的 13.6%,产沙量比传统耕作低 89.9%,而经过连续 14 年长期秸秆覆盖免耕措施后,秸秆覆盖免耕处理下径流量和产沙量较传统耕作的减少量分别为 86.6%和 98.9%。由此可见,长期秸秆覆盖免耕通过改善土壤物理结构,增加土壤入渗速率,优化土壤孔隙结构,调节地表径流,减流减沙效果明显,对于黑土坡耕地水土保持治理具有重要参考意义。

4 结论

(1) 秸秆覆盖免耕措施可改善土壤结构,提高土壤结构的稳定性,增加土壤蓄水保水能力,促进土壤质量提升,特别是长期秸秆覆盖免耕,有助于克服短期秸秆覆盖免耕导致的土壤容重增大、不利于作物生长的问题,使土壤环境更有利于作物生长,是促进黑土长期可持续发展的重要措施。

(2) 长期秸秆覆盖免耕可有效遏制 5°以下坡耕地的水土流失,是抑制黑土侵蚀退化的重要措施,且随着秸秆覆盖免耕实施年限的增加,水土保持效果逐渐增强,特别是减沙效益增加明显,可为黑土坡耕地的侵蚀阻控防治提供重要科学依据,但本研究由于径流小区坡度的单一,对于长期秸秆覆盖免耕措施下不同坡度的水土保持效果尚需进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘兴土,阎百兴.东北黑土区水土流失与粮食安全[J].中国水土保持,2009(1):17-19.
- [2] 张兴义,刘晓冰.关于黑土研究中的热点问题及新时代黑土区水土流失防治对策[J].水土保持通报,2020,40(4):340-344.
- [3] 姜艳艳,常诚,张大伟,等.东北黑土区水土流失现状及成因分析[J].黑龙江科学,2020,11(18):152-153.
- [4] 桑琦明,王磊,郑粉莉,等.东北黑土区坡耕地斜坡垄作与顺坡垄作土壤侵蚀对比分析[J].水土保持学报,2020,34(3):73-78.
- [5] 曹允淞,李和平,肖波.秸秆覆盖量对不同容重黑土坡耕地水土流失的影响[J].水土保持通报,2021,41(3):56-61.
- [6] 戚颖,李铁男,白雪峰,等.秸秆覆盖对寒旱区农田土壤理化性状的影响[J].东北农业大学学报,2021,52(7):56-63.
- [7] 陈强,Yuriy S K,陈帅,等.不同耕作方式土壤结构季节变化[J].土壤通报,2015,46(1):184-191.
- [8] 张兴义,陈强,陈渊,等.东北北部冷凉区免耕土壤的特性及作物效应[J].中国农业科学,2013,46(11):2271-2277.
- [9] 李保国,王祥,王影,等.梨树模式呵护“耕地中的大熊猫”:聚焦黑土地保护性利用[N].中国自然资源报,2021-05-18(6).
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,1999.
- [11] Sun T, Chen Q, Chen Y, et al. A novel soil wetting technique for measuring wet stable aggregates [J]. Soil and Tillage Research, 2014, 141(8):19-24.
- [12] 张加子琦,贾燕锋,王佳楠,等.东北黑土区长缓复合侵蚀坡面土壤可蚀性参数特征[J].土壤学报,2020,57(3):590-599.
- [13] 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.
- [14] 陈强,Yuriy S K,陈渊,等.少免耕土壤结构与导水能力的季节变化及其水保效果[J].土壤学报,2014,51(1):11-21.
- [15] 邱云霄,黎燕武,余新晓,等.秸秆覆盖对农田土壤风蚀及细颗粒物释放的影响[J].水土保持学报,2020,34(4):131-136,144.
- [16] 胡立峰.中国土壤类型下免耕对土壤容重的影响[J].中国农学通报,2020,36(12):73-78.
- [17] 陈帅,陈强,孙涛,等.黑土坡耕地秸秆覆盖对表层土壤结构和导气性的影响[J].水土保持通报,2016,36(1):17-21.
- [18] 汪可欣,付强,张中昊,等.秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J].农业机械学报,2016,47(3):131-137.
- [19] 闫雷,李思莹,孟庆峰,等.秸秆还田与有机肥对黑土区土壤团聚性的影响[J].东北农业大学学报,2019,50(12):58-67.
- [20] 王育红,蔡典雄,姚宇卿,等.保护性耕作对豫西黄土坡耕地降水产流、土壤水分入渗及分配的影响[J].水土保持学报,2008,22(2):29-31,37.
- [21] Blanco C Q H, Lal R. Impacts of long-term wheat straw management on soil hydraulic properties under no-tillage [J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(4):446-449.
- [22] 郑粉莉,张加琼,刘刚,等.东北黑土区坡耕地土壤侵蚀特征与多营力复合侵蚀的研究重点[J].水土保持通报,2019,39(4):314-319.
- [23] 李飞,韩兴,马秀兰,等.秸秆覆盖对东北黑土区坡耕地产流产沙及氮磷流失的阻控[J].水土保持学报,2020,34(4):37-42.
- [24] 张兴义,乔宝玲,李健宇,等.降雨强度和坡度对东北黑土区顺坡垄体溅蚀特征的影响[J].农业工程学报,2020,36(16):110-117.
- [25] 马仁明,蔡崇法,李朝霞,等.前期土壤含水率对红壤团聚体稳定性及溅蚀的影响[J].农业工程学报,2014,30(3):95-103.