

秸秆覆盖量对不同容重黑土坡耕地 水土流失的影响

曹尤淞¹, 李和平^{1,2}, 肖波^{1,3}

(1. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 河南省煤炭地质勘察研究总院, 河南 郑州 450000; 3. 中国科学院 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 研究免耕背景下土壤容重和秸秆覆盖对东北黑土坡耕地水土流失的影响, 为东北黑土区保护性耕作技术的改良和推广提供理论依据。[方法] 通过模拟传统翻耕和免耕条件下的土壤容重(1.2, 1.3 g/cm³), 结合不同秸秆覆盖量(0, 328, 656, 984 g/m²)开展人工降雨试验, 对比不同方式下黑土的初始产流时间、产流速率、径流量以及土壤流失量。[结果] ①土壤容重的增加显著缩短了初始产流时间并增加了水土流失量。同一秸秆覆盖量条件下, 与容重为 1.2 g/cm³ 时相比, 1.3 g/cm³ 容重时的土壤初始产流时间缩短了 13.1%~49.9%, 径流量增加了 0.4%~90.4%, 土壤流失量增加了 24.6%~302.8%; ②与无秸秆覆盖相比, 秸秆覆盖下的土壤初始产流时间延长了 1.2~2.9 倍, 径流量减少了 3.1%~38.9%, 土壤流失量减少了 34.0%~97.9%, 且秸秆覆盖的保土效果与秸秆覆盖量呈极显著正相关关系($p < 0.01, r = 0.862$); 秸秆覆盖量为 656 g/m² 时达到最佳的水土保持效果; ③土壤容重的增加会加剧黑土水土流失, 但秸秆覆盖显著降低了黑土水土流失, 综合对比发现土壤容重为 1.3 g/cm³ 时采取秸秆覆盖, 平均减少了 10.7% 的径流量和 74.2% 的土壤流失量。[结论] 为有效防治水土流失, 建议东北黑土区免耕时应注意结合秸秆覆盖措施, 且秸秆覆盖量保持在 656 g/m² 以上为宜。

关键词: 土壤容重; 秸秆覆盖; 水土流失; 耕地退化; 模拟降雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)03-0056-06

中图分类号: S157.2

文献参数: 曹尤淞, 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. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.008; Cao Yousong, Li Heping, Xiao Bo. Effects of straw mulching on soil and water loss under different soil bulk densities on slope cropland in black soil region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 56-61.

Effects of Straw Mulching on Soil and Water Loss Under Different Soil Bulk Densities on Slope Cropland in Black Soil Region

Cao Yousong¹, Li Heping^{1,2}, Xiao Bo^{1,3}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing

100193, China; 2. He'nan Provincial Coal Geological Survey and Research Institute, Zhengzhou,

He'nan 450000, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess

Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The regulating effects of soil bulk density and straw mulching on soil and water loss on slope cropland in the black soil region of Northeastern China were studied in order to facilitate further improvement and application of conservation tillage practices including no tillage and straw returning to fields. [Methods] Two levels of soil bulk density (1.2 and 1.3 g/cm³, representing the soil with conventional tillage and no-tillage practices, respectively) and four levels of straw mulching (0, 328, 656, and 984 g/m²) were considered in this study. For these treatments, simulated rainfall experiments were conducted. The starting

收稿日期: 2021-03-11

修回日期: 2021-04-03

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划“黄土高原生物结皮土壤水热耦合机制与水汽运动过程”(2019); 中央高校基本科研业务费专项“东北黑土区保护性耕作对坡岗地水土流失的影响”(2018QC071)

第一作者: 曹尤淞(1998—), 男(汉族), 陕西省安康市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。Email: s20203213021@cau.edu.cn.

通讯作者: 肖波(1981—), 男(汉族), 陕西省西乡县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤物理与水土保持研究。Email: xiaobo@cau.edu.cn.

times and rates of runoff generation as well as the amount of soil and water loss for each treatment were measured. [Results] ① Soil and water loss of the treatments with bulk density of 1.3 g/cm^3 were significantly higher than observed for the treatments with bulk density of 1.2 g/cm^3 . Specifically, the starting time of runoff generation was reduced by $13.1\% \sim 49.9\%$ by decreasing soil bulk density, and correspondingly the runoff and soil loss were increased by $0.4\% \sim 90.4\%$ and $24.6\% \sim 302.8\%$, respectively, by the decreasing of bulk density; ② In comparison to the control (no straw mulching), straw mulching delayed the starting time of runoff generation by $1.2 \sim 2.9$ times. Straw mulching also reduced runoff amount by $3.1\% \sim 38.9\%$ and soil loss amount by $34.0\% \sim 97.9\%$. These decreases in runoff and soil loss were positively correlated ($p < 0.01$, $r = 0.862$) with straw mulching amount. The best performance of straw mulching in conserving soil and water would be obtained using 656 g/m^2 of straw mulch; ③ The soil and water loss on the black soil slope land was aggravated by increasing soil bulk density, but relieved by increasing straw mulching as a result of the straw returning practice. On average, no-tillage (increasing soil bulk density, 1.3 g/cm^3) and straw mulching practices reduced runoff by 10.7% and soil loss by 74.2% . [Conclusion] In the black soil region of Northeastern China, no-tillage should be practiced in conjunction with straw mulching to prevent soil and water loss on slope cropland, and the optimum amount of straw mulching should be greater than 656 g/m^2 .

Keywords: soil bulk density; straw mulching; runoff and soil loss; cropland degradation; simulated rainfall

东北黑土区地势广袤,土壤肥沃,是中国主要的玉米和粳稻商品粮供应地,粮食年产量约占全国总量的 $1/4$ ^[1]。然而,受气候变化和人类活动的影响,黑土结构遭到不断破坏,水土流失愈发严重^[2]。研究表明,东北黑土区水土流失面积达 $2.19 \times 10^5 \text{ km}^2$,占土地总面积的 20.11% ,其中以黑龙江省较为严重,水土流失面积约占耕地总面积的 47% ^[3],坡耕地土壤侵蚀是黑土区水土流失的主要类型,约占水土流失总面积的 46% ^[4]。导致黑土区水土流失的主要因素包括:①东北黑土区超过 60% 的耕地为坡耕地,且大多集中在漫川漫岗地区,地形条件易引发水蚀;②黑土土质疏松且富含有机质,其本身也具有较强的可蚀性;③东北黑土区夏季(7—9月)降雨量较大,约占全年降雨的 70% ,高强度的集中降雨极易造成水土流失;④不合理的开发利用使坡耕地植被覆盖度普遍降低,削弱了黑土表层的有效防护。基于上述影响,东北黑土区坡耕地土层厚度正以 $0.1 \sim 0.5 \text{ cm/a}$ 的速度不断减少^[5],水土流失状况异常严峻,亟待解决。

免耕和秸秆覆盖作为保护性耕作的主要技术措施^[6],目前已有研究关注其水土保持效应^[7-8],主要是通过田间试验对比免耕秸秆覆盖与其他耕作方式下的水土流失特征,如贺云峰等^[9]对比了免耕秸秆覆盖和传统顺坡垄作的水土保持效应,发现前者能有效减少坡耕地径流量和侵蚀量;孙芳媛^[10]研究发现同等条件下免耕和秸秆覆盖能够减少 93.6% 和 97.3% 的侵蚀产沙量;Feng等^[11]对比发现免耕秸秆覆盖较间作、套作等更有利于水蚀风蚀交错区土壤的水分保持。但是免耕条件下土壤容重、孔隙度、团聚度等一系列土壤物理性质均发生变化,田间试验受混杂因素

影响,难以具体解释容重等土壤物理性质对水土流失的影响,致使免耕影响水土流失的研究多为宏观现象的阐明,而缺乏内在机制的分析。此外,目前针对秸秆覆盖影响黑土水土流失的研究仍然较少,且多为直接对比有、无秸秆覆盖时的水土流失特征^[12],水土流失随秸秆覆盖量的变化特征尚不明确。

基于此,本研究通过模拟传统翻耕和免耕条件下的土壤容重($1.2, 1.3 \text{ g/cm}^3$),结合不同秸秆覆盖量($0, 328, 656, 984 \text{ g/m}^2$)开展人工降雨试验,比较不同方式下黑土的初始产流时间、产流速率、径流量以及土壤流失量,明确土壤容重和秸秆覆盖对东北黑土区坡耕地水土流失的影响,以期为东北黑土区保护性耕作技术的改良和推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2017年5—9月在位于东北典型黑土区的中国农业大学吉林梨树试验站内开展。梨树县位于吉林省西南部,地理坐标为东经 $123^\circ 45'$ — $124^\circ 53'$ 和北纬 $43^\circ 02'$ — $43^\circ 46'$;地处松辽平原腹地,大黑山西侧,地势东南高、西北低,南部低山丘陵,中部波状平原,北部为东辽河冲积平原。该区属北温带半湿润大陆季风性气候,雨热同季,四季分明,年平均气温为 6°C , $\geq 10^\circ \text{C}$ 年积温 $2\ 900 \sim 3\ 100^\circ \text{C}$,年日照时数为 $2\ 392 \sim 2\ 928 \text{ h}$,无霜期为 $115 \sim 118 \text{ d}$,年均降雨量为 587 mm ,其中7—9月的降雨约占全年降雨量的 70% ,年均蒸发量为 808 mm 。研究区土壤为典型黑土,土壤质地为粉质黏壤土(砂粒、粉粒和黏粒含量分别占 14.6% , 51.7% 和 33.7%),有机质含量为

2.2%,全氮含量为 1.36 g/kg,速效氮含量为 87.96 mg/kg。

1.2 试验设计与方法

2017年5月对试验站内传统翻耕区和免耕区耕层(0—20 cm)土壤容重进行实测,同时结合相关文献资料^[13],将土壤容重设定为 1.2 g/cm³,1.3 g/cm³两个水平,分别代表传统翻耕和免耕下的黑土容重。试验小区当季收获的玉米秸秆总量平均为 1 093.2 g/m²,从无秸秆覆盖到全量覆盖之间,设计 0,30%,60%,90%4个水平,对应的秸秆覆盖量分别为 0,328,656,984 g/m²。即本试验共设置 2个因素,8种处理,每种处理重复 3次,总计 24个样本。

供试土壤取自试验站内农田耕层(约 20 cm),将土样自然风干至原质量含水量的 6%~7%后,过 5 mm筛,按照设定的土壤容重填装土槽。试验所用土槽规格为长 3.0 m,宽 0.6 m,高 0.6 m,为便于对水土流失的观测,依照研究区坡耕地坡度的上限值,土槽坡度统一设定为 8°。为保证填土均匀性,试验采用分层填土法,即每 5 cm为一层,共分层装填 50 cm的黑土;填装上层土之前,打毛下层土表面防止出现分层现象,土槽的边缘用力均匀压实以减免边界效应的影响。待填装完毕,将切割后长约 5 cm的玉米秸秆碎段,按设定的秸秆覆盖量均匀撒放于土槽表面。模拟降雨前土槽的质量含水量均控制为 15%,与田间实际状况一致,含水量不足或超过者,通过喷水或晾晒的方式进行调整。

模拟降雨装置采用西安新汇泽测控技术有限公司研制的 XHZ-JY102型便携式人工模拟降雨器,降雨高度为 4 m。其工作原理是利用压力,通过喷灌自吸泵将水由上至下从喷体喷出,具有一定初速度,能满足天然降雨雨滴的终点速度(见表 1)。根据东北黑土区降雨短历时、高强度的特点^[14],结合《中国暴雨统计参数图集》等^[15]资料,同时考虑到秸秆覆盖会极大降低雨滴动能,若雨强不足,当秸秆覆盖量较大时水土流失差异可能不显著,本试验将雨强设定为 120 mm/h;降雨均匀度>80%,与天然降雨一致(天然降雨均匀度通常大于 80%^[16])。

表 1 120 mm/h 模拟降雨强度下的降雨均匀度

雨强/ (mm·h ⁻¹)	时长/ min	面积/ cm ²	雨量/ml			降雨 均匀度/%
120	60	314	29.1	42.4	30.1	86.0
			39.5	49.9	31.1	
			30.3	39.2	32.5	
			39.4	35.9	40.4	

本试验降雨时间约 2 h,试验过程中记录初始产流时间并对径流进行全过程收集(每 1 min 收集一次)。降雨结束后将收集的径流静置 8~10 h,待澄清后将上清液和泥沙分离,对上清液称重并换算为径流量,将泥沙于阴凉处风干后称重并换算为土壤流失量。由于本试验中产流开始 45 min 后,坡面的径流量趋于稳定,因此本文取产流过程前 45 min 的数据进行分析。

1.3 数据处理与分析

使用 Microsoft Excel 2013 计算平均值和标准误差,同时绘制图表。使用 IBM SPSS Statistics 22 进行单因素和双因素方差分析以检验不同处理的差异显著性,同时进行回归分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤容重下黑土的水土流失特征

如表 2 所示,同一秸秆覆盖量(0,328,656,984 g/m²)下土壤容重增加均缩短了初始产流时间。其中与 1.3 g/cm³容重相比,1.2 g/cm³容重土壤的初始产流时间分别延长了 14.5%,78.1%,58.3%,100.0%。且当秸秆覆盖量为 984 g/m²时两种容重土壤的初始产流时间差异显著($p<0.05$)。

秸秆覆盖量相同时,不同土壤容重下的产流过程相似,即初期产流速率快速增加,之后增速放缓且上下波动,后期趋于稳定(图 1)。以秸秆覆盖量 656 g/m²为例:在 1.2 g/cm³土壤容重下,产流速率在 1~4 min 内从 0.4 mm/min 快速增加到 1.3 mm/min,之后速率缓慢增加并在第 20 min 左右达到稳定,降雨后期的稳定产流速率为 2.0 mm/min;而在 1.3 g/cm³土壤容重下产流速率在 1~8 min 内从 1.0 mm/min 快速增加到 2.5 mm/min,之后速率缓慢增加并在第 30 min 左右达到稳定,降雨后期的稳定产流速率为 3.5 mm/min。与 1.2 g/cm³土壤容重相比,土壤容重为 1.3 g/cm³时的稳定产流速率增加了 75.0%。秸秆覆盖量为 656 g/m²,984 g/m²时,1.3 g/cm³土壤容重下各时刻的产流速率均大于 1.2 g/cm³土壤容重。

表 3 中各处理的径流量显示,在 328 g/m²秸秆覆盖量下,土壤容重为 1.3 g/cm³时的径流量比土壤容重为 1.2 g/cm³时减少了 12.9%,而其他处理分别增加了 0.3%,66.4%,90.2%;同时,秸秆覆盖量为 656 g/m²,984 g/m²时两种土壤容重下径流量差异显著($F=11.30, p<0.001$)。土壤流失量方面,当秸秆覆盖量相同时,1.2 g/cm³容重下的土壤流失量均低于 1.3 g/cm³容重。其中在 0,328,656,984 g/m²秸秆覆盖量下,土壤容重 1.3 g/cm³分别是土壤容重

1.2 g/cm³ 下的 1.6, 4.0, 1.2, 1.9 倍; 秸秆覆盖量为 0, 328 g/m² 时, 两种土壤容重下的土壤流失量差异显著。

表 2 不同容重和秸秆覆盖量下黑土的初始产流时间 min

秸秆覆盖量/ (g · m ⁻²)	不同容重土壤的初始产流时间	
	1.2 g/cm ³	1.3 g/cm ³
0	7.1 ± 0.6 ^{Aa}	6.2 ± 2.9 ^{Aa}
328	26.0 ± 0.5 ^{Aa}	14.6 ± 6.3 ^{Aa}
656	27.7 ± 0.5 ^{Aa}	17.5 ± 5.1 ^{Aa}
984	26.8 ± 3.0 ^{Aa}	13.4 ± 4.9 ^{Ab}

注: 同行不同大写字母表示差异极显著 ($p < 0.01$), 同行不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

表 3 不同容重和秸秆覆盖量下黑土的径流量和土壤流失量

秸秆覆盖量/	土壤容重/	径流量/	土壤流失量/
(g · m ⁻²)	(g · cm ⁻³)	mm	(g · m ⁻²)
0	1.2	115.7 ± 7.8 ^{ABab}	1 383.5 ± 33.1 ^{Bb}
	1.3	116.1 ± 8.0 ^{ABab}	2 165.4 ± 17.2 ^{Aa}
328	1.2	112.1 ± 15.5 ^{ABab}	355.0 ± 4.8 ^{Cc}
	1.3	97.6 ± 4.3 ^{BCbc}	1 429.9 ± 27.3 ^{Bb}
656	1.2	76.9 ± 3.1 ^{Ccd}	120.7 ± 2.0 ^{DEd}
	1.3	128.0 ± 5.3 ^{ABa}	150.3 ± 2.5 ^{Dd}
984	1.2	70.7 ± 1.3 ^{Cd}	28.9 ± 1.1 ^{Fe}
	1.3	134.5 ± 4.1 ^{Aa}	56.1 ± 2.3 ^{EFe}

注: 同列不同大写字母表示差异极显著 ($p < 0.01$), 同列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

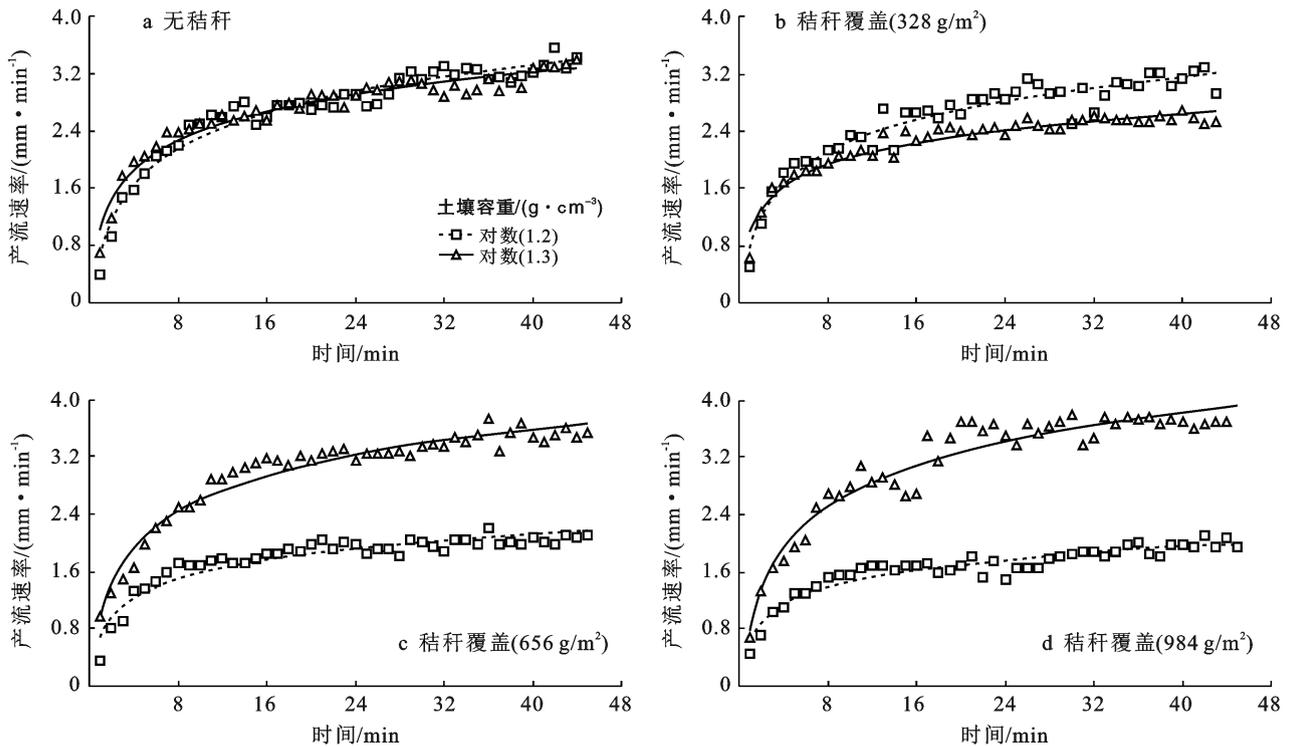


图 1 各秸秆覆盖量下不同容重黑土的产流速率

2.2 不同秸秆覆盖量下黑土的水土流失特征

如表 2 所示, 秸秆覆盖量在 656 g/m² 以下时, 初始产流时间随覆盖量的增加而延长, 当覆盖量超过 656 g/m² 后, 初始产流时间出现小幅度下降。1.2 g/cm³ 土壤容重下, 秸秆覆盖量为 328, 656, 984 g/m² 的初始产流时间较无覆盖分别延长了 2.7, 2.9, 2.8 倍, 差异极显著 ($F = 39.69, p < 0.002$); 在 1.3 g/cm³ 土壤容重下, 秸秆覆盖量为 328, 656, 984 g/m² 的初始产流时间较无覆盖分别延长了 1.4, 1.8, 1.2 倍。

当容重相同时, 不同秸秆覆盖量下的产流过程相似, 即初期产流速率先快速增加而后增速放缓, 最后趋于稳定(图 2)。产流速率方面, 在 1.2 g/cm³ 土壤容重下, 0, 328, 656, 984 g/m² 秸秆覆盖的稳定产流速

率分别是 3.3, 2.5, 2.0, 1.9 mm/min, 秸秆覆盖处理分别比无覆盖处理分别减少了 24.2%, 39.4%, 42.4%, 在 1.3 g/cm³ 土壤容重下, 不同处理的稳定产流速率分别是 3.0, 3.6, 3.5, 3.7 mm/min, 秸秆覆盖处理比无覆盖处理的稳定产流速率分别增加了 20.0%, 16.7%, 23.3%。

各处理的径流量显示, 土壤容重为 1.2 g/cm³ 时的径流量随秸秆覆盖量的增加而不断减少(表 3)。与无覆盖相比, 秸秆覆盖量为 328, 656, 984 g/m² 时径流量分别减少了 3.1%, 33.5%, 38.9%。不同秸秆覆盖量下的径流量总体差异显著 ($F = 7.25, p < 0.043$), 但当秸秆覆盖量不超过 328 g/m² 和秸秆覆盖量超过 656 g/m² 时, 径流量差异均不显著; 土壤容重为 1.3 g/cm³ 时, 径流量随着秸秆覆盖量的增加呈先

减小后增加趋势。不同秸秆覆盖量下的径流量总体差异显著($F=14.39, p<0.013$), 两两比较发现, 328 g/m² 秸秆覆盖量下径流量比无覆盖减少了 15.9%, 差异显著($p=0.037$); 656 g/m², 984 g/m² 秸秆覆盖量下径流量分别比无覆盖增加了 10.2% 和 15.8%, 在秸秆覆盖量为 984 g/m² 时差异显著($p=0.038$)。

土壤流失方面, 两种容重下土壤流失量均随秸秆

覆盖量的增加而不断减小。1.2 g/cm³ 土壤容重下, 与无覆盖相比, 秸秆覆盖量为 328, 656, 984 g/m² 时土壤流失量分别减少了 74.3%, 91.3%, 97.9%, 各处理之间均差异显著($F=1398.20, p<0.001$); 1.3 g/cm³ 土壤容重下, 与无覆盖相比, 秸秆覆盖的土壤流失量分别减少了 34.0%, 93.1%, 97.4%, 各处理之间均差异显著($F=4006.83, p<0.001$)。

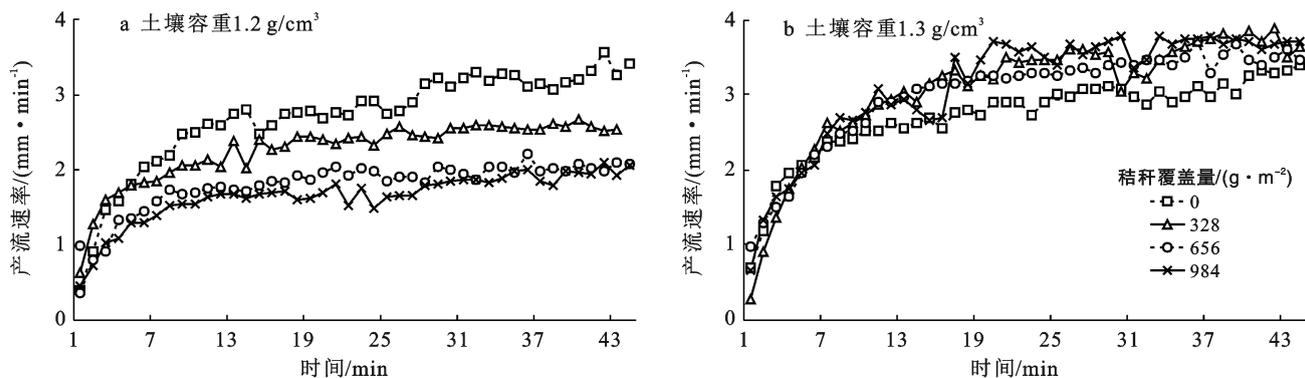


图 2 两种容重黑土在不同秸秆覆盖量下的产流速率

2.3 土壤容重和秸秆覆盖量与水土流失的关系

如表 4 所示, 径流量、土壤流失量、容重三者间两两成正相关关系, 其中径流量与土壤容重显著正相关($p<0.05$); 径流量和土壤流失量与秸秆覆盖量之间成负相关关系, 且土壤流失量与秸秆覆盖量极显著负相关($p<0.05$)。进一步的回归分析结果显示, 径流量与土壤容重和秸秆覆盖量的回归方程决定系数为 0.258 ($F=3.61, p=0.057$), 土壤容重的回归系数为 0.559, 秸秆覆盖量的回归系数为 0.210, 表明土壤容重对径流量的影响大于秸秆覆盖量; 土壤流失量与土壤容重、秸秆覆盖量和径流量之间回归方程的决定系数为 0.865 ($F=33.17, p<0.001$), 秸秆覆盖量的回归系数为 0.922, 土壤容重为 0.471, 径流量为 0.289, 表明秸秆覆盖量对土壤流失量的影响大于土壤容重和径流量。

表 4 径流量和土壤流失量与土壤容重和秸秆覆盖量的相关系数矩阵

变量	径流量	土壤流失量	土壤容重	秸秆覆盖量
径流量	1.000	0.170	0.559*	-0.210
土壤流失量	—	1.000	0.310	-0.862**
土壤容重	—	—	1.000	—
秸秆覆盖量	—	—	—	1.000

注: * 和 ** 分别表示相关性系数在 0.05, 0.01 水平显著。

3 讨论

不同容重黑土的水土流失研究表明, 相较于 1.2 g/cm³ 容重, 1.3 g/cm³ 容重下黑土初始产流时间缩短, 产流速率、径流量和土壤流失量都显著增加, 这

表明水土流失随土壤容重的增加而加剧。雨滴降落土壤表面后, 首先产生击溅侵蚀, 此时的侵蚀力较弱, 径流也尚未产生; 当降雨强度大于入渗速率后, 坡面径流开始出现, 在持续降雨之下, 汇流面积不断扩大, 径流量和流速迅速增加, 使径流具有较强的冲蚀力, 从而造成大量土壤流失^[17]。土壤入渗性能是影响径流产生和变化的重要因素, 而土壤容重作为土壤结构紧实度的反映, 其变化从根本上影响了土壤颗粒排布和大孔隙数量, 进而影响到土壤的入渗性能^[18]。相同质地土壤, 其孔隙度和大孔隙数量随容重的增大而急剧减少, 而大孔隙是土壤水分流动的主要通道, 其数量减少降低了土壤内部连通性, 同时产生较多的封闭气体, 直接阻碍了水流的畅通性, 导致湿润峰迁移距离减小, 累积入渗量和入渗率减缓, 入渗能力衰减速度加快, 最终表现为水土流失的加剧。

本研究中, 秸秆覆盖延长了黑土初始产流时间, 降低了产流速率、径流量和土壤流失量, 即秸秆覆盖显著提升了黑土的水土保持性能。其原因一方面是秸秆覆盖可以减缓降雨对表层土壤的直接冲击^[19], 维持土壤团聚体结构和孔隙度, 减少地表结皮的形成, 从而增加了单位时间内的雨水入渗量, 降低了产生径流的动能; 另一方面秸秆覆盖通过提升地表粗糙度增加了地表填注量, 致使需要更多的降雨填注才能形成径流, 从而延滞了坡面初始产流时间; 此外, 秸秆本身对径流和泥沙具有物理拦截阻滞作用, 能削弱径流侵蚀力并使泥沙不断沉积, 减少了坡面的产流产沙

量^[20]。本研究发现当黑土容重为 1.3 g/cm^3 时,径流量并未随秸秆覆盖量的增加而显著减少,可能是因为土壤容重较大,土壤中有利于降雨入渗的大孔隙数量过少,并且与田间土壤的结构相比,人工土槽受填装、压实等影响下其内部的非活性孔隙更多,由此导致的径流增加量远大于秸秆覆盖对径流量的减少,致使秸秆覆盖的作用难以显现。仅从本研究的数据来看,秸秆覆盖量为 656 g/m^2 时的初始产流时间最长,其原因可能是当秸秆覆盖量较低时,对降雨初期所造成的击溅侵蚀减缓作用相对较弱,大雨强下的抗溅蚀能力仍然不足,当秸秆覆盖量达到 656 g/m^2 后,土壤表面已经形成了较为致密的覆盖层,充分提升了地表粗糙度,削减了雨滴溅蚀力,因而临界点之后再增加秸秆对延长初始产流时间的作用并不显著。

综合本研究结果,免耕对土壤容重的提升将加剧水土流失,秸秆覆盖则具有良好的水土保持效应。因此,从水土保持角度考虑,东北黑土区免耕时应注意结合秸秆覆盖。

4 结论

(1) 土壤容重增加显著缩短了初始产流时间并增加了水土流失量。与土壤容重为 1.2 g/cm^3 时相比, 1.3 g/cm^3 容重时土壤初始产流时间缩短了 $13.1\% \sim 49.9\%$,径流量增加了 $0.4\% \sim 90.4\%$,土壤流失量增加了 $24.6\% \sim 302.8\%$ 。

(2) 秸秆覆盖具有显著的水土保持效应。与无秸秆覆盖相比,秸秆覆盖下的土壤初始产流时间延长了 $1.2 \sim 2.9$ 倍,径流量减少了 $3.1\% \sim 38.9\%$,土壤流失量减少了 $34.0\% \sim 97.9\%$;同时秸秆覆盖的水土保持效果与秸秆覆盖量呈极显著正相关关系;秸秆覆盖量为 656 g/m^2 时达到最佳的水土保持效果。

(3) 免耕后土壤容重的增加可能会增多地表径流,并由此加剧土壤侵蚀,而秸秆覆盖可以显著降低黑土水土流失,综合对比显示,当土壤容重为 1.3 g/cm^3 时采取秸秆覆盖仍平均减少了 10.7% 的径流量和 74.2% 的土壤流失量。

[参 考 文 献]

[1] 张兴义,刘晓冰.中国黑土研究的热点问题及水土流失防治对策[J].水土保持通报,2020,40(4):340-344.

[2] Li Tong, Zhang Haicheng, Wang Xiaoyuan, et al. Soil erosion affects variations of soil organic carbon and soil respiration along a slope in Northeast China [J]. Ecological Processes, 2019,8(1):1-10.

[3] 陆桂华,刘伟平,蒲朝勇,等.2019年中国水土保持公报[M].北京:中华人民共和国水利部,2020:15-17.

[4] 刘宝元,张甘霖,谢云,等.东北黑土区和东北典型黑土区的范围与划界[J].科学通报,2021,66(1):96-106.

[5] An Juan, Zheng Fenli, Wang Bin. Using ¹³⁷Cs technique to investigate the spatial distribution of erosion and deposition regimes for a small catchment in the black soil region, Northeast China [J]. Catena, 2014,123:243-251.

[6] 张海林,高旺盛,陈阜,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16-20.

[7] Komissarov M A, Klik A. The impact of no-till, conservation, and conventional tillage systems on erosion and soil properties in lower Austria [J]. Eurasian Soil Science, 2020,53(4):503-511.

[8] Rahma A E, Wang Wei, Tang Zejun, et al. Straw mulch can induce greater soil losses from loess slopes than no mulch under extreme rainfall conditions [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017,232:141-151.

[9] 贺云锋,沈海鸥,张月,等.黑土区坡耕地不同秸秆还田方式的水土保持效果分析[J].水土保持学报,2020,34(6):89-94.

[10] 孙芳媛.不同耕作措施对坡耕地水土流失的影响[D].广东广州:华南农业大学,2017.

[11] Feng Yongzhong, Liu Qiang, Tan Chunjian, et al. Water and nutrient conservation effects of different tillage treatments in sloping fields [J]. Arid Land Research and Management, 2014,28(1):14-24.

[12] 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.

[13] 槐圣昌,刘玲玲,汝甲荣,等.增施有机肥改善黑土物理特性与促进玉米根系生长的效果[J].中国土壤与肥料,2020(2):40-46.

[14] 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.

[15] 水利部水文局,南京水利科学研究所.中国暴雨统计参数图集[M].北京:中国水利水电出版社,2006:25-29.

[16] 霍云梅,毕华兴,朱永杰,等. QYJY-503 C 人工模拟降雨装置降雨特性试验[J].中国水土保持科学,2015,13(2):31-36.

[17] 郑腾辉,周旺,刘涛,等.连续模拟降雨下岩溶区含砾石堆积体坡面径流产沙特征[J].水土保持学报,2020,34(3):55-60.

[18] 曾健,费良军,裴青宝.土壤容重对红壤水分垂直入渗特性的影响[J].排灌机械工程学,2017,35(12):1081-1087.

[19] 吕凯,段颖丹,吴伯志.降雨强度和秸秆覆盖对坡耕地烤烟降雨入渗特征的影响[J].灌溉排水学报,2020,39(1):91-97.

[20] 张瑜,刘肃,徐子棋,等.秸秆覆盖对黑土区侵蚀沟植被恢复和固土的作用[J].水土保持通报,2020,40(1):157-161,169.