

不同施肥方式对黑土坡面养分流失的影响

沈奕彤, 郭成久

(沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110866)

摘要: 为了深入了解不同施肥方式对黑土区坡面养分流失的影响, 探寻不同施肥方式对黑土坡面养分流失的规律, 试验采用室内人工模拟降雨的方法, 系统研究了表面喷施和混施 2 种施肥方法对 5 种不同容重下的黑土坡面养分流失的影响。试验结果表明: 表层喷施和混施对黑土坡面产流过程没有明显影响, 2 种施肥方法下, 坡面径流强度变化情况基本一致, 累计径流量也均随着降雨历时的延长呈线性增长关系。施肥方法对径流中氮磷钾浓度变化却有着极显著的影响。不论土壤容重增大或变小, 在产流初期, 表层喷施处理下的溶质浓度远高于对应的混施处理, 表层喷施坡面径流中硝态氮、可溶性磷和钾离子初始产流浓度分别为对应混施处理的 2.6~3.2 倍、2.1~2.6 倍和 1.7~2.1 倍。从养分流失总量来看, 在相同容重条件下硝态氮、可溶性磷、速效钾流失量在表层喷施条件下分别是混施的 9~11 倍、7~10 倍和 3~6 倍, 并随着土壤容重增加, 表层喷施与混施两种施肥方法下的硝态氮和钾离子的流失量差距缩小, 而磷离子流失量差距则有所增大。当土壤容重小于 1.2 g/cm^3 时, 表层喷施幂函数拟合系数要高于混施, 当坡面土壤容重大于等于 1.2 g/cm^3 时, 混施拟合系数高于表层喷施。

关键词: 表层喷施; 混施; 黑土坡面; 模拟降雨; 养分流失

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0041-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.05.007

Effect of Different Fertilization Methods on Nutrient Loss of Black Soil Slope

SHEN Yitong, GUO Chengjiu

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866)

Abstract: In order to better understand the effects of different fertilization methods on black soil region slopes nutrient loss, exploring different fertilization methods on black soil nutrient loss of slope law, this test used indoor artificial simulated rainfall method systematically to study the influence of surface spraying and mixed fertilization on nutrient loss in black slope under five different soil bulk densities. The results showed that: Surface spraying and mixed fertilization on the black soil had no significant effect on slop runoff process, two fertilization methods, runoff intensity changes were basically the same, the cumulative rainfall runoff also increased with duration extended linear growth relationship. Fertilization of NPK concentration changed in runoff, had a very significant impact. Regardless of soil bulk density increased or decreased in the early runoff, solute concentration at the surface spraying process was much higher than the corresponding mixed fertilization processing, surface runoff spraying nitrate, soluble phosphorus and potassium ions initially runoff concentrations corresponded to 2.6~3.2, 2.1~2.6 and 1.7~2.1 times the combined application process. The total amount of nutrient loss from the point of view, under the same conditions nitrate density, soluble phosphorus, potassium loss volume mixed fertilization were 9~11, 7~10 and 3~6 times at the surface spraying conditions. And with the increase of soil bulk density, surface spraying and mixed fertilization and potassium nitrate loss of two fertilization methods gap narrowed, while the gap between the amount of phosphorus ions loss increased. When the soil bulk density was less than 1.2 g/cm^3 the power function fit factors in surface spraying was higher than that in mixed fertilization, when the slope soil bulk density was greater than or equal to 1.2 g/cm^3 , the mixed fertilization fitting coefficient was higher than the surface spraying.

Keywords: surface spraying fertilization; mixed fertilization; black soil slope; simulated rainfall; nutrient loss

1 引言

我国近年在工业、农业、科技等方面都取得了令

人瞩目的成绩, 国民经济快速发展, 人们为了满足其日益增长的物质需求, 越来越多地使用农业化学产

收稿日期: 2016-05-10

资助项目: 辽宁省自然科学基金项目(20102197)

第一作者: 沈奕彤(1992—)女, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀规律及其治理研究。E-mail: 646708284@qq.com

通信作者: 郭成久(1964—)男, 教授, 主要从事土壤侵蚀规律及其治理研究。E-mail: chengjiuguo11@163.com

品,化肥和农药的使用达到了前所未有的数量。化学肥料可通过改善土壤环境,从而显著提高农作物生长量。同时,也是由于施加了大量的化学肥料,使土壤表层养分含量过高,土壤养分的流失可引起环境的破坏。因此,在使用肥料时,应本着合理利用肥料的基本指导思想,兼顾农业效益和环境效益。目前,国内外学者也对施肥方式和养分流失关系进行了大量研究,Aparcico 等^[1]认为,肥料施用过量会造成两大恶劣后果:其一是肥料利用率低;其二是氮素的淋溶极易引起地下水污染。李华等^[2]也通过试验发现,硝态氮的淋溶随施氮肥量的增大而增加,过量的施用氮肥并没有使作物增产,反而降低了肥料的利用率。黄绍敏等^[3]认为,在表层土壤中,土壤硝态氮含量在仅施氮肥情况下达到最高,而在氮磷钾肥共同施用下含量最低。林超文等^[4]也通过研究得出相似结论:合理施肥能够减少养分的流失,并且进一步发现适当的增施钾肥可有效减少磷和钾元素的流失。Li 等^[5]通过研究得出,采用 SOILNDB 模型可以准确计算坡地中氮的淋溶量,并认为采取合理的农业措施可以使氮的流失量降到最小。古巧珍等^[6]通过试验研究发现,氮磷钾肥与有机肥的搭配使用,是减缓土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的积累和提高肥料利用率的唯一途径。陈晓歌等^[7]通过室内模拟试验研究得出:土壤中硝态氮的累积量随着施氮量、土层深度和渗透时间的增加而逐渐增大,但土壤中硝态氮的累积量随灌溉量增大而减小。Behera 等^[8]认为,在施肥条件下磷素的淋溶较氮素相比较少,主要是由于磷很容易被土壤颗粒吸附。

本研究以不同容重条件下的黑土为研究对象,采用室内人工模拟降雨方法,对不同的施肥方法(表层喷施、混施肥)对土壤养分流失的影响进行了研究,本研究不拘泥于单一因素,将容重与施肥方式 2 种影响因素结合起来,进一步印证不论土壤容重如何变化,不同施肥方法对养分流失都存在着较大影响,以期为东北黑土区找到合理的施肥制度,减轻农田化肥流失对生态环境污染,提高农业产量。

2 试验材料与方法

2.1 供试材料

模拟降雨试验所用材料于 2015 年 5 月采自黑龙江省拜泉县坡面表层 30 cm 的黑土。土壤质地为粉质粘壤土,各级颗粒所占比例(国际制): $2 \sim 0.02$ mm 粒径占 5.78%, $0.02 \sim 0.002$ mm 占 52.32%, < 0.002 mm 占 41.9%,其基本理化性质为耕层土壤容重为 1.26 g/cm^3 ,pH 值(水浸提法)为 6.6,有机质含量 46.2 g/kg ,全氮含量 2.5 g/kg ,全磷含量 1.2 g/kg ,全钾含量 22.6 g/kg ,速效磷 21.8 mg/kg ,速效钾

168.4 mg/kg 。供试土壤经风干一周左右后,过筛,除去石块等杂质后均匀混合,留以备用。

试验于 2015 年 5 月—8 月在沈阳农业大学水利试验基地的室内模拟降雨试验大厅进行。室内模拟降雨小区为双土槽径流试验小区,长为 3 m(包括出口汇流段 0.18 m)、宽 1.5 m、高 0.8 m,坡度可在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间调节。模拟降雨装置为下喷式降雨设备,高度为 9 m,可满足天然降雨雨滴终极速度的要求,喷头可覆盖的降雨面积为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,降雨强度可在 $21.32 \sim 98.56 \text{ mm/h}$ 之间调节,均匀度可达 85% 以上。

2.2 试验方法

2.2.1 土样准备与试验设计 采自田间的土壤养分含量有较大差异。为保证试验土样初始养分含量一致,试验前测定风干土样的含水量和氮磷钾含量,依据土壤初始含水率和试验要控制的含水率,确定所需的补水量。根据试验设计的肥土氮、磷和钾的含量,确定 KNO_3 和 KH_2PO_4 的用量;用一定补水量溶解一定量的硝酸钾和磷酸二氢钾。试验控制土壤氮含量 100 mg/kg ,磷含量 50 mg/kg ,钾含量 330 mg/kg ,采用表面喷施和混施两种施肥方法对 5 种不同容重下的黑土坡面养分流失情况进行研究。黑土最优前期质量含水量为 $20\% \sim 21.27\%$ ^[9],且黑土区坡度较缓,一般坡度不大于 8° ^[10]。因此,本试验控制土壤含水率 21%,模拟坡度设为 8° 。土壤容重为 0.8,1.0,1.2,1.3,1.4 g/cm^3 ,降雨强度设为 80 mm/h ,降雨时长设为 60 min,每个试验做 2 次平行处理。本试验采用表面喷施和混施两种施肥方法:(1)表面喷施:在避风处采用喷雾器喷施在供试坡面表面,喷射成雾状,避免对坡面表层土壤冲击,形成结皮,也防止喷施到试验区外部区域。(2)混施:将前期处理好的土料摊开,用喷雾器将配制好的肥料水均匀喷洒在土料上,充分搅拌,然后装入塑料大桶中,放在室温条件下,密封存放,静置 24 h。通过上述方法,可以获得肥料均匀土壤,且土壤含水率可控制误差在 $\pm 1\%$ 范围内。

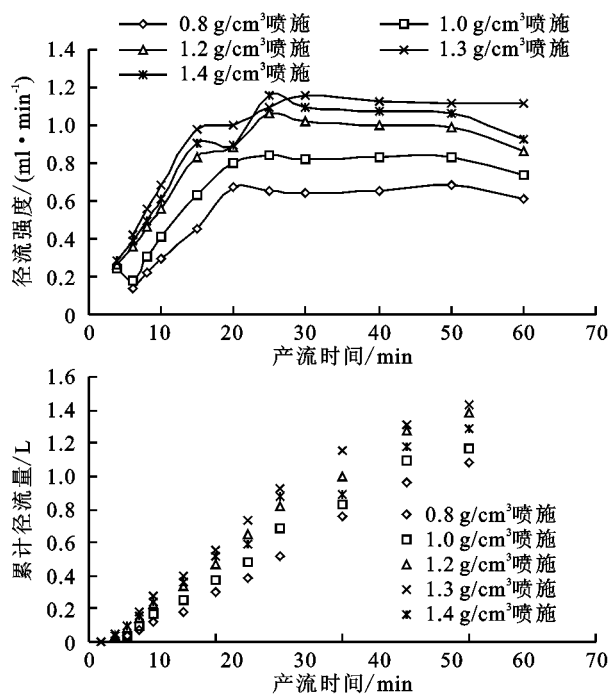
2.2.2 填装土槽 径流小区内土壤模拟典型调查区土壤状况进行铺设,铺设土壤均过筛(筛圈直径 1 m,孔径 2 cm),以去除土壤中碎石、树脂等杂质,土壤铺设厚度为 40 cm。先在土槽底部垫 20 cm 厚细沙,压实并铺上一层纱布,用铁丝网固定。在之上共分 4 层装土,2 层黑土土壤,2 层土肥混合,每层厚度 5 cm。在填装上层土壤前,铺平下层土壤表层,以防止土壤之间出现分层情况。依此方法填装 10 cm 厚黑土土壤后,继续按前述操作方法填装已配制好的肥土 10 cm。填好土后,将土槽四周压实,以减小边坡对水分入渗、产流产沙过程及坡面养分流失等诸多方面的影响。

2.2.3 模拟降雨过程与样品采集 模拟降雨前备好

写有编号的接样大桶和小桶,多次率定雨强,调节土槽坡度,当雨强与均匀度都达到试验要求时,开始降雨。当坡面开始产流时,记录时间,前 10 min 每隔 2 min 用小桶收集径流水样,10~30 min 每隔 5 min 收集径流水样,30~60 min 每隔 10 min 收集径流水样,其余径流用大桶收集。静置水样 2 h 后,测量不同时刻小桶中的径流量,从每个桶内取出 200 ml 澄清水样装入小塑料瓶中,编号后将塑料瓶放入 4 ℃ 冷储存柜中保存,供化学分析备用。将各处理的所有径流样除去上层清液,用称重法换算泥沙量,取适量泥沙风干样备用。

2.2.4 数据处理 测定径流水样养分含量:硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)含量过滤后采用 210 nm 和 275 nm 双波长比色法,用紫外分光光度计测定;水溶性磷(WDP)含量采用钼蓝比色法(Olsen 法),用紫外分光光度计测定;钾离子含量采用原子吸收分光光度计测定^[11]。

径流水样中溶质养分流失量的计算公式为:
$$Ln = \sum_{i=1}^n (C_i \times R_i)$$
式中: L_n 为各离子的流失量; C_i 、 R_i 分别为对应 i 时段各离子的流失浓度、产流量; n 为样品个数。



3 结果与分析

3.1 施肥方法对黑土坡面产流过程及养分流失量的影响

由图 1 可知,在其他试验条件基本相同的情况下,施肥方法对黑土坡面产流过程及累计径流量几乎没有影响。在表层喷施和混施 2 种施肥方法条件下,坡面 5 种土壤容重下径流强度及累计径流量变化情况基本一致,在降雨初期内,坡面以溅蚀为主,因此初始产流 20 min 内,坡地径流量快速增加,随后增加逐渐减缓至趋于稳定;2 种施肥方法下的累计径流量也均随着降雨历时的延长呈线性增长关系。但二者过程并不是完全一致的,在产流过程及径流量上有着细微差异,之所以出现这些差异,主要是由于一些人为控制的因素(如土壤前期含水量、雨强率定等)存在着一定误差以及室内人工模拟降雨设备中存在着一些不可控因素(如水压的不稳定性、雨滴降落的均匀度变化等)。综上所述,不同施肥方式(表面喷施、混施)对黑土坡面产流过程及累计径流量没有明显影响。

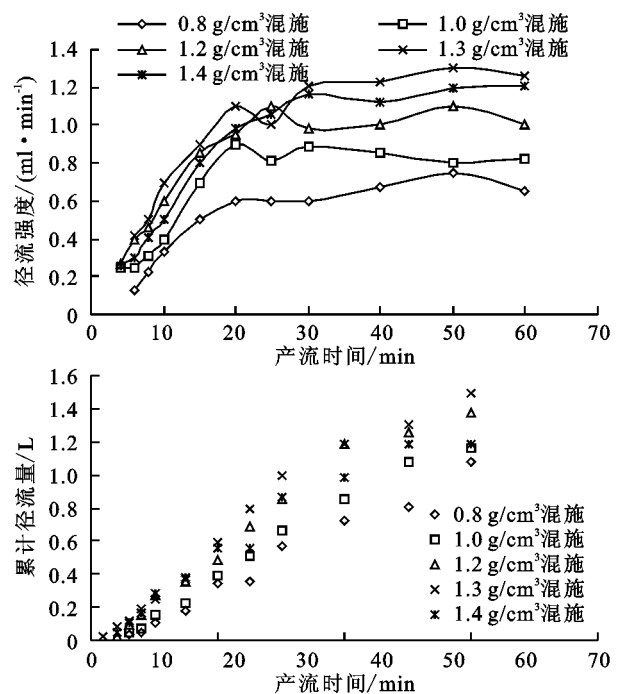


图 1 不同施肥方法下黑土坡面径流强度及累计径流量变化过程

3.2 不同施肥方法对黑土坡面养分流失影响

由图 2 可知,虽然施肥方法对土壤产流过程几乎没有影响,但对径流中氮磷钾浓度变化却有着极显著的影响。从图 2 中可以看出,表层喷施处理在产流初期时溶质浓度远高于对应的混施处理,这是由于混施处理使得等量肥料均匀分布于土层内,且土壤对肥料的吸附和固定能力较强,使得混施处理下土壤养分初始含量较低;5 种不同容重下表层喷施坡面径流中硝态氮、可溶性磷和钾离子初始产流时浓度分别为对应混施处理的 2.6~3.2、2.1~2.6、1.7~2.1 倍。

在表层喷施条件下,在产流初期,硝态氮、可溶性磷及速效钾急剧衰减并逐步趋于稳定,其中以硝态氮浓度衰减的速率最快,在产流开始 10 min 后开始趋于稳定值,之后硝态氮的浓度与雨水的背景值十分接近。这主要是由于硝态氮的移动性极强,降雨过程表层土壤硝态氮衰减速率很快,又不能得到下层土壤硝态氮的及时补充所致;在降雨初期,坡面径流中可溶性磷及速效钾浓度也迅速下降,产流 15 min 之后下降趋势减缓并逐步趋于稳定。在相同容重条件下,表层施肥硝态氮、可溶性磷及速效钾浓度变化范围要比混施肥大

的多,这是由于表层施肥是将化学肥料均匀地喷洒在土壤表面,土壤表面养分含量较高,在产流初期土壤养分大量流失,从而导致径流中硝态氮、可溶性磷及速效钾含量很高,随着降雨历时的延长,表层养分浓度逐渐趋于稳定;而混施肥则是将化学肥料均匀掺拌在土壤中,表层土壤养分含量较低,而在降雨初期,土壤表层养分先随径流流失,因而降雨初期径流中硝态氮、可溶性磷及速效钾浓度变化过程较为平缓且显著低于表施。试验结果表明:表层喷施处理下的土壤养分浓度远高于对应的混施处理,因此避免在雨季或大暴雨前喷施肥料,是降低化学肥料流失的有效途径之一。

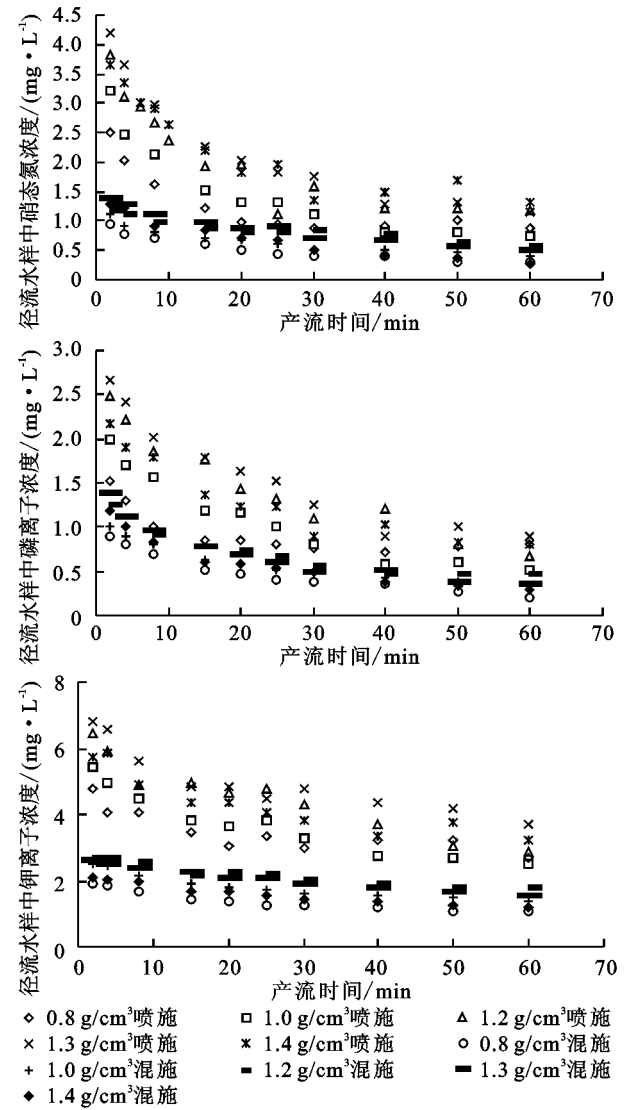


图 2 不同施肥方法下黑土坡面径流水样养分浓度变化

根据公式计算出 2 种施肥方法下黑土坡地 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 和 K^+ 随地表径流的流失量。为了更好地反映施入肥料的流失状况,在计算中均扣除了养分的背景值(降雨前原始未施肥土壤的养分含量)。由表 1 可知,与混施相比,表层喷施条件下黑土坡地的养分流失更加严重。从养分流失总量来看,硝态氮流失量在表层喷施条件下是混施的 9~11 倍,可溶性磷流失

量在表层喷施情况下是混施的 7~10 倍,速效钾流失量在 3~6 倍之间,并且随着土壤容重增加($0.8 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$),表层喷施与混施两种施肥方法下的硝态氮和钾离子的流失量差距缩小,而磷离子流失量差距则有所增大。试验结果表明:采用表层施肥和混施两种不同的施肥方法对硝态氮的流失量影响最为显著,磷离子次之,对钾离子影响最弱;在控制土壤表层养分迁移、流失方面,混施效果明显好于表层喷施,采用混施肥的方式可以在一定程度上减缓水土流失。但对于土壤侵蚀较为严重的地区,只是单纯的改变施肥方法并不能从根本上解决土壤侵蚀导致的养分流失问题,而应该采用合理的耕作措施(如修建梯田、秸秆覆盖、少耕免耕等方法)来减少坡面土壤侵蚀的发生。

表 1 不同施肥方法下径流中养分流失情况

养分/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	施肥 方式	养分流失量/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	表面喷施/ 表层混施
硝态氮	0.8	表层喷施	0.63	11
		混施	0.06	
	1.0	表层喷施	1.12	10
		混施	0.11	
	1.2	表层喷施	4.9	12
		混施	0.42	
	1.3	表层喷施	5.11	9
		混施	0.55	
	1.4	表层喷施	3.29	10
		混施	0.34	
可溶性磷	0.8	表层喷施	5.25	7
		混施	0.71	
	1.0	表层喷施	6.85	7
		混施	0.98	
	1.2	表层喷施	10.2	9
		混施	1.08	
	1.3	表层喷施	11.6	10
		混施	1.21	
	1.4	表层喷施	6.64	8
		混施	0.81	
速效钾	0.8	表层喷施	16.1	6
		混施	2.51	
	1.0	表层喷施	26.2	6
		混施	4.1	
	1.2	表层喷施	38.2	5
		混施	7.02	
	1.3	表层喷施	31.3	4
		混施	6.9	
	1.4	表层喷施	19.7	3
		混施	5.77	

3.3 径流养分流失模型的模拟分析

姚军等^[12]在紫色土区进行相关试验研究,试验结果表明幂函数($Y=ab^x$)比指数函数更适于拟合紫色土地区养分流失情况。本文通过对这 2 种函数在模拟土壤养分养分流失过程进行了比较,认为采用幂函数模拟黑土区非饱和流条件下的养分流失过程更加适合。表 2 的模拟结果表明:硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、可溶性磷($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$)、速效钾(K^+)幂函数拟合相关

系数 R^2 均 >0.90 , 拟合较好; 当土壤容重小于 1.2 g/cm^3 时, 表层喷施拟合系数要高于混施, 当坡面土壤容重大于等于 1.2 g/cm^3 时, 混施拟合系数高于表层喷施。即当土壤容重小于 1.2 g/cm^3 时宜采用表明喷施, 坡面土壤容重大于等于 1.2 g/cm^3 时宜采用混施。总的来说, 在黑土地区采用幂函数拟合土壤养分流失是较为合理的, 在不考虑一些人为的外在因素时, 黑土区田间土壤容重一般为 1.2 g/cm^3 左右, 因此在实际耕作中, 采用混施更为适宜。

表 2 不同施肥方法下土壤养分浓度模拟模型

容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	施肥方式	模型拟合方程	拟合 系数 R^2
0.8	表面喷施	$Y=1.7777 \times b^{-0.248}$	0.9261
	表层混施	$Y=1.4275 \times b^{-0.408}$	0.9067
1.0	表面喷施	$Y=3.1056 \times b^{-0.387}$	0.9276
	表层混施	$Y=1.471 \times b^{-0.341}$	0.9253
1.2	表面喷施	$Y=3.3664 \times b^{-0.297}$	0.9337
	表层混施	$Y=1.7148 \times b^{-0.318}$	0.9567
1.3	表面喷施	$Y=3.7678 \times b^{-0.313}$	0.9468
	表层混施	$Y=2.0021 \times b^{-0.391}$	0.9477
1.4	表面喷施	$Y=3.1865 \times b^{-0.332}$	0.9286
	表层混施	$Y=1.7821 \times b^{-0.409}$	0.9526

4 讨论与结论

(1) 表层喷施和混施对黑土坡面产流过程和累计径流量没有明显影响, 2 种施肥方法下, 坡面径流强度变化情况基本一致, 累计径流量也均随着降雨历时的延长呈线性增长关系, 即采用不同的施肥方法对径流的产生以及对土壤表面的作用力影响均不大。试验利用的是人工模拟降雨设备, 由于水压的不稳定性、喷头喷洒的均匀度等问题会使试验产生一定的误差, 因此对试验模拟降雨设备的应加强完善, 并考虑增加天然降雨对黑土坡面养分流失规律的研究, 使试验数据更加合理、精确。

(2) 施肥方法对土壤产流过程几乎没有影响, 但对径流中氮磷钾浓度变化却有着极显著的影响。表层喷施处理在产流初期时溶质浓度远高于对应的混施处理, 5 种不同容重下表层喷施坡面径流中硝态氮、可溶性磷和钾离子初始产流时浓度分别为对应混施处理的 $2.6 \sim 3.2$, $2.1 \sim 2.6$, $1.7 \sim 2.1$ 倍。降雨初期, 硝态氮浓度衰减的速率最快, 在产流开始 10 min 左右开始趋于稳定, 而可溶性磷及速效钾浓度在坡面产流 15 min 之后下降趋势减缓并逐步趋于稳定。在相同容重条件下, 表层施肥硝态氮、可溶性磷及速效钾浓度变化范围要较混施肥相比更大。从养分流失总量来看, 硝态氮流失量在表层喷施条件下是混施的 $9 \sim 11$ 倍, 可溶性磷流失量在表层喷施情况下是混施的 $7 \sim 10$ 倍, 速效钾流失量在 $3 \sim 6$ 倍之间。随着土壤容重增加, 表层喷

施与混施两种施肥方法下的硝态氮和钾离子的流失量差距缩小, 而磷离子流失量差距则有所增大。

(3) 采用幂函数模拟黑土区非饱和流条件下的养分流失过程更加适合。当土壤容重小于 1.2 g/cm^3 时, 表层喷施拟合系数要高于表层混施, 当坡面土壤容重大于等于 1.2 g/cm^3 时, 表层混施拟合系数高于表层喷施。本研究得出幂函数模型较适合于模拟黑土坡面养分流失和迁移过程, 但具体的数学模拟模型还需长期的试验观测和大量的研究分析得出, 日后应进一步完善土壤养分流失模型。

参考文献:

[1] Aparicio V, Costa J L, Zamora M. Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(12): 1361-1372.

[2] 李华, 王朝晖, 李生秀. 旱地小麦地表覆盖对土壤水分硝态氮累积分布的影响[J]. 农业环境科学报, 2011, 30(7): 1371-1377.

[3] 黄绍敏, 张鸿程, 宝德俊, 等. 施肥对土壤硝态氮含量及分布的影响及合理施肥研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 201-203.

[4] 林超文, 庞良玉, 罗春燕, 等. 平衡施肥及雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 生态学报, 2009, 19(10): 5552-5560.

[5] Li X X, Hu C S, Delgado J A, et al. Increased nitrogen use efficiencies as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain[J]. Agricultural Water Management, 2007, 89(1/2): 137-147.

[6] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 旱地土娄土长期定位施肥土壤剖面硝态氮分布与累积研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 48-52.

[7] 陈晓歌, 马耀光. 不同灌水和施氮对黄土性土壤中 NO_3^- -N 迁移和淋失的影响[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 109-114.

[8] Behera S K, Panda R K. Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2009, 130(3): 141-155.

[9] 李德明, 郭成久, 宁睿. 初始含水量对黑土坡面养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 1-5.

[10] 阎百兴, 杨育红, 刘兴土, 等. 东北黑土区土壤侵蚀现状与演变趋势[J]. 中国水土保持, 2008(12): 26-30.

[11] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 47-49, 54-56, 67-68.

[12] 姚军, 王亮, 何丙辉. 人工模拟降雨不同施肥方式下紫色土养分流失研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(11): 83-88.