

植被覆盖条件下纳米碳对黄土坡面 养分流失调控的试验研究

丁倩¹, 周蓓蓓¹, 吕金榜¹, 胡梓超¹, 陈晓鹏¹, 王全九^{1,2}

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 西安 710048;

2. 西北农林科技大学 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:将纳米材料应用于坡面养分流失调控对减少黄土坡面养分流失等有着重要意义。基于神木六道沟流域上的坡面人工模拟降雨试验,分析了不同纳米碳含量(质量百分比分别为0%,0.1%,0.5%,0.7%,1.0%)对黄土坡面养分迁移过程的影响。结果表明:(1)同一作物的小区添加不同纳米碳含量对养分流失影响不明显;5种下垫面条件下,养分流失量均呈随纳米碳含量增加而降低的趋势,其中纳米碳含量为0.5%及0.7%对降低径流养分流失量的效果最好。不同纳米碳含量条件下,径流中的养分流失量从小到大为:空地>玉米>柠条>绿豆>苜蓿。(2)人工模拟降雨条件下,土壤表层养分在0—5 cm内均有明显减少。而大于5 cm深度的土壤中的养分值在降雨后有所增加,但随着深度增大养分增加量减少,而且添加不同浓度纳米碳导致养分值减少的速率不同。(3)不同纳米碳含量下与不同植被覆盖下径流中各离子的养分流失调控效果评价是径流中不同离子的平均浓度与平均流失率均随纳米碳含量的增加而减小,规律性较为明显。

关键词:纳米碳含量;坡面养分流失;坡面养分分布;人工模拟降雨;下垫面

中图分类号:S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)06-0035-06

Experimental Study on the Regulation of Nano Carbon to Soil Nutrient Losses Under Different Vegetation Cover Conditions

DING Qian¹, ZHOU Beibei¹, LYU Jinbang¹, HU Zichao¹, CHEN Xiaopeng¹, WANG Quanjiu^{1,2}

(1. College of Water Resources and Hydropower, State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Losses Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The nanometer materials applied in the nutrient loss control could improve the utilization rate of soil water and improve soil physical structure. Based on the artificial simulated rainfall experiment in Shenmu County, Shaanxi Province, we analyzed the different contents of nano carbon (0.0%, 0.1%, 0.5%, 0.7%, 1.0% in mass) on the nutrient affect the migration process on loess slope. The results showed that planting the same crop community adding different concentration of nano carbon has not the obvious effects on nutrient losses. Five kinds of underlying surface conditions, the nitrogen, phosphorus and potassium loss amounts in runoff on the slope all present a decreasing trend with the increase of nano carbon contents, when the nano carbon contents are 0.5% and 0.7%, the effect of reducing nutrient loss amount in runoff is more significant. Under the conditions of different nano carbon contents, the nitrogen, phosphorus and potassium loss amounts decrease in the order: bare land>corn>Korshinsk Peashrub>green bean>alfalfa. Regulation effect in runoff under different nano carbon contents and different vegetation coverage were consistent with different nutrient losses. After artificial simulation rainfall, nutrients in top soil profile under different types of vegetation decreased significantly, but with the increase of the depth, the nutrient loss became decreased, which indicated that rainfall runoff could take soil nutrient of the surface layer, but most of them would be leached into the deep soil. Nutrient content decreased with the increase of depth of the soil profile, moreo-

收稿日期:2016-10-13

修回日期:2016-11-17

资助项目:国家自然科学基金重点项目(51239009);国家自然科学基金面上项目(41371239);陕西省科技支撑项目(2013KJXX-38);陕西省水利专项支撑计划(2012Slkj-04;2013Slkj-04);陕西省自然科学基金(2015JQ5161)

第一作者:丁倩(1993—),女,陕西商洛人,在读研究生,研究方向:农业水土资源与生态环境。E-mail:451059932@qq.com

通信作者:周蓓蓓(1982—),女,陕西西安人,副教授,博士,研究方向:农业水土与生态环境。E-mail:happyangle222@gmail.com

ver, the nutrient loss was quite different due to different applied nano carbon. The average concentration and the average loss rates of different nutrients in runoff decreased when the nanometer carbon concentration increased, the regularity is obvious.

Keywords: nano carbon content; profile of solute migration; profile of solute distribution; artificial rainfall; underlying surface

近年来,随着纳米科学技术的不断创新和快速发展,纳米材料的独特性质使其可能在土壤结构与养分迁移等方面产生重要作用^[1-2]。国内外已有学者利用了纳米技术的开发空间,将纳米材料研制成土壤修复剂,利用纳米材料的强吸附性等来改善土壤的保水保肥性,并开展大量试验研究。纳米碳由于其绿色环保的特性,使得众多学者将其作为研究热点。其中王艳等^[3]通过对比试验发现添加纳米碳之后,大豆的吸水率随着纳米碳的浓度的升高而升高,而且失水率及失水速率均有所下降,此外纳米碳还可以促进种子萌发,提高磷肥的利用率,促使作物茁壮成长。李淑敏等^[4]研究发现低施肥水平条件下时,纳米碳对作物玉米的生长发育有着较明显的积极影响,且纳米碳对施加不同浓度的氮肥的玉米都有促进氮肥吸收的作用,提高玉米根系活力及其酶的活性。刘健等^[5]研究发现肥料添加纳米碳后,在不同土壤类型、气候条件下的水稻均表现出很明显的增产趋势,增幅为 4.0%~11.9%,其结果说明在养分供应充足的情况下,肥料添加纳米碳能够刺激水稻生长,提高产量。梁太波等^[6]研究指出,施用纳米碳烟株钾素积累速率快,且提高了烟株各器官钾素含量、积累量及烟株对钾肥的吸收。以上研究均表明,纳米碳可有效提高植物对养分的利用率,较少肥料浪费,促进植物生长。我国黄土区生态环境脆弱,水土养分流失严重,一方面导致该区域土壤生产力低下,肥料利用率低;另一方面,养分流失造成了面源污染。因此针对这一问题,国内外

众多学者已经开展了大量试验和理论研究,但由于黄土区特殊的气候条件及土壤性质,使其收效甚微。同时提高粮食生产率就必须提高土壤的保水保肥性,因此了解水土流失的影响因素,并展开减少和抑制水土流失的研究对于该区域显得尤为重要。研究学者们研究了不同水土流失影响因素对养分流失的影响^[7-9]。在土壤环境方面,国内外对纳米碳在土壤修复以及肥料增效方面^[5-6,10-11]的研究较多,但在黄土坡面养分迁移方面的研究却很少。因此,本文通过野外模拟降雨试验,试图探求降雨条件下在土壤中施加纳米碳对坡地土壤养分随径流迁移基本特征的影响,为黄土坡面养分管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

降雨试验在中国科学院水土保持研究所神木侵蚀与环境试验站进行。该区位于陕西省神木县以西 14 km 的六道沟小流域,地处黄土高原半干旱草原与干旱草原的过渡带,属于黄土高原水蚀风蚀交错带的强烈侵蚀中心。该流域面积 6 189 km²,东经 110°26',北纬 38°49',平均干燥度为 118,年降水量为 250~450 mm,且 6—9 月占全年降水量的 70%~80%。植被类型属于灌丛草原类型^[12]。供试作物为绿豆、苜蓿、柠条、玉米,肥料为 KNO₃, KH₂PO₄, KBr。该地区主要土壤类型干润砂质新成土,其理化性质见表 1^[13-14]。

表 1 试验小区土壤理化性质

土壤	颗粒含量/%			pH 值	CaCO ₃ / %	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)
	黏粒 (<0.001 mm)	粗粉粒 (0.05~0.001 mm)	砂粒 (>0.05 mm)					
干润砂质新成土	15.70	37.47	46.83	8.0	4.31	11.32	0.82	0.61

1.2 试验处理

根据研究区域实际降雨量,将试验降雨强度设定为 60 mm/h,试验开始前利用针孔模拟降雨器进行调节。每个试验小区大小为 1 m×1 m。小区中种植作物为玉米、绿豆、苜蓿、柠条以及裸地共 5 个处理,每个种作物根据纳米碳含量 0.0%,0.1%,0.5%,0.7%,1.0%共设 5 个处理,共 25 个 1×1 m² 的试验小区。小区中作物为四行,将纳米碳按重量比例为 0%,0.1%,0.5%,0.7%,1.0%施入作物行与行之

间的空地地表以下 5 cm,共三条,每条宽 10 cm、长 1 m、厚为 5 cm。

1.3 降雨装置与降雨设计

1.3.1 降雨装置 降雨装置为自行设计的针孔降雨器^[15]。针孔降雨器主要由支架(可上下调节高度),水槽(针头,震动装置)和供水装置三部分。

1.3.2 降雨设计及取样 试验降雨前 3 h,用定量的纯净水将 KNO₃, KH₂PO₄, KBr 配成溶液,然后用喷雾器将之均匀的喷施在小区坡面上。

降雨前取土,坡上中下土钻沿坡面垂直方向取土,每5 cm 一层取土,取土深度为表层30 cm,其中0—5 cm 土层利用小铲子分5层(每层1 cm)取土,装入自封袋留待测量土壤中养分含量。同时利用土钻0—30 cm 取土,装入铝盒留待烘干法测量土壤含水量。取完土后回填。调节针孔降雨器雨强至60 mm/h,开始降雨,记录降雨历时,开始产流时间,产流开始后,用塑料桶分别收集每一时段内试验土槽出口处的径流,用称重法测定每个径流桶的重量,放置至澄清,之后利用针管尽量吸取上层清水,晒干桶底泥沙。

降雨结束后,移去降雨器,坡上中下土钻取土,取土方法与降雨前相同。

2 结果与分析

2.1 不同纳米碳含量下径流中养分变化

为了探求纳米碳含量对径流中养分流失变化的影响,根据实测数据,将野外降雨试验数据进行处理绘于图1。由图1可以看出,不同植被类型覆盖下的径流中硝态氮浓度、水溶性磷浓度及钾离子浓度均随时间减小。在降雨初期,土壤表层内的养分浓度均大量流失且下降速率较快,而在25 min左右径流中养分浓度逐渐趋于稳定,此时径流中各离子浓度基本降至最低点。进一步分析得出,纳米碳对于径流中的养分流失调控效果显著($p < 0.05$),随纳米碳含量增加,径流中养分浓度逐渐降低。这主要由于地表径流带走土壤中有效养分,而纳米碳具有的强吸附性特点使其能够有效减少有效养分流失。

另外,不同植被覆盖类型处理中,不同植被对于径流中养分流失调控亦有不同。不同植被土壤的对养分的吸附性随纳米碳含量增大而增强。李淑敏等^[4]以及梁太波等^[6]研究表明纳米碳对作物生长发育有着较明显的积极影响,纳米碳对施加不同浓度氮肥的玉米都有促进氮肥吸收的作用,而且施用纳米碳烟株钾素积累速率快,且提高了烟株各器官钾素含量、积累量及烟株对钾肥的吸收。这与本文试验研究结果一致,表明纳米碳可有效提高养分利用率,从而减少养分流失量。

2.2 不同纳米碳含量下表层土壤中养分变化

为进一步研究纳米碳对坡面养分流失的调控,在降雨前后分别从小区坡上、坡中、坡下位置每5 cm取一次土,混合均匀,共取得0—30 cm深的土壤样6个,测得降雨前后的土壤中的养分。依据实测数据,将土壤剖面养分差值绘于表2。由表2可以看出,不同植被覆盖土壤

中的养分差值变化规律类似。在0—5 cm内,养分均有明显减少。由于纳米碳的结构及吸附性使得随径流入渗至土壤的养分增加,从而大于5 cm深度的土壤中的养分值在降雨后有所增加,但随着深度增大养分增加量减少,而且添加不同浓度纳米碳导致养分值减少的速率不同。土层深度达到15 cm以上时降雨前后的养分差值并不明显。降雨产生的径流可带走土壤表面的养分,但是随着降雨的入渗作用将部分养分携带进入了较深层土壤。则降雨后不同类型植被土壤养分在0—5 cm的表层土壤中有较明显减少,而更深层的土壤养分减少量很少甚至有所增加。当降雨强度一样时,土壤渗透性及土壤对溶质的吸附能力是影响溶质入渗的重要因素。由于加入纳米碳改变了土壤结构,从而减少了土壤表层的水分流失,使得更多养分能够随着水分入渗至深层土壤。因此添加纳米碳能够有效减少土壤中的养分流失,增加作物对养分的吸收量,从而促进作物的生长发育。

2.3 养分流失调控

为进一步分析纳米碳含量对不同植被覆盖处理下径流中钾离子、水溶性磷以及硝态氮浓度的影响,分析了径流中硝态氮、钾离子以及水溶性磷的平均浓度与平均流失率。

径流溶质的平均浓度可用公式表示为:

$$\bar{C} = M_{\text{总}} / W_{\text{总}} \quad (1)$$

式中: \bar{C} 为径流溶质的平均浓度(mg/L); $M_{\text{总}}$ 为径流溶质总的损失量(mg); $W_{\text{总}}$ 为径流总量(L)。径流溶质的平均流失率可用公式表示为:

$$m = \frac{\bar{C} \cdot M_{\text{总}}}{t} \quad (2)$$

式中: m 为径流溶质的平均流失率(mg/min); t 为降雨时间(min)。不同坡面地表状况下的径流各离子的平均浓度与径流溶质的平均流失率见表3。

由表3所示,不同纳米碳含量(0%,0.1%,0.5%,0.7%,1%)对于坡面径流中硝态氮的平均浓度及径流中硝态氮的平均流失率均有着显著($p < 0.05$)影响。不同植被覆盖情况下径流中硝态氮的平均浓度表现为随纳米碳含量增大而减小,但在纳米碳含量高于0.7%时,1%纳米碳含量下各离子的平均浓度在某些植被覆盖类型下反而有所增加。而径流中硝态氮的表现随纳米碳含量增大而减小。对径流中的水溶性磷和钾采用同样的分析可看出其变化规律与硝态氮的类似;数据对比中可看出径流中不同离子的平均浓度与平均流失率均随纳米碳含量的增加而减小,规律性较为明显。

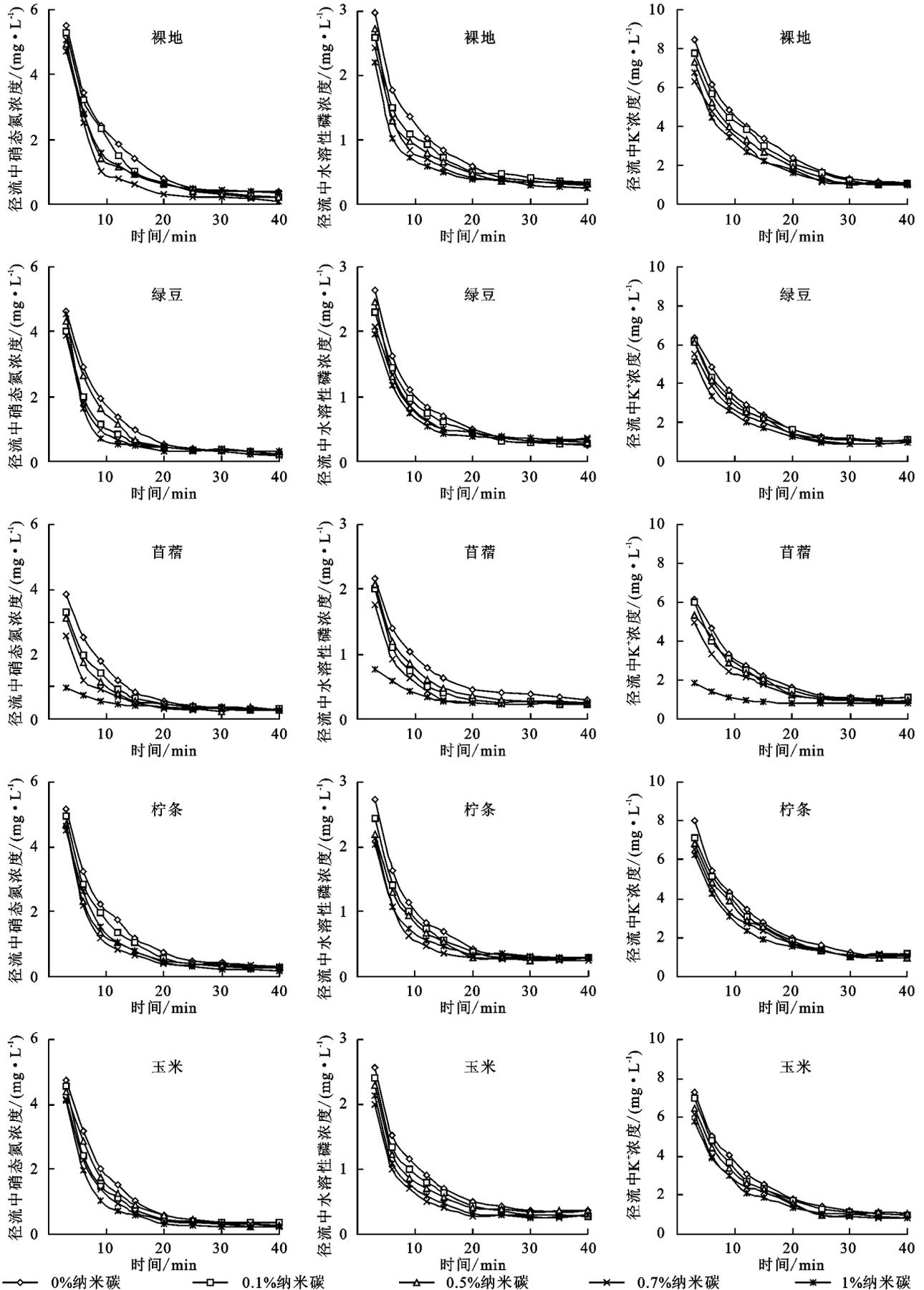


图1 纳米碳对径流中养分流失的影响

表 2 纳米碳含量对土壤降雨前后养分差值的影响

养分	土壤剖面/cm	裸地					苜蓿				
		0	0.1%	0.5%	0.7%	1%	0	0.1%	0.5%	0.7%	1%
全氮	0—5	-3.9	-3.9	-3.4	-3.3	-3.3	-3.6	-1.9	-2.6	-3.3	-2.1
	5—10	1.12	1.21	1.31	1.22	1.34	0.39	0.82	1.99	2.29	3.24
	10—15	0.51	0.86	1.27	1.02	0.99	0.76	0.71	0.12	0.05	0.11
	15—20	0.16	0.18	0.01	0.25	0.54	0.28	0.06	-0.1	-0.2	0.01
	20—25	-0.1	0.03	0.01	0.03	0.01	-0.1	-0.1	-0.2	0.21	0
	25—30	0	0	0.01	0.03	0.04	-0.3	0.07	0.03	0.14	0
全磷	0—5	-1.2	-1.4	-0.5	-0.5	-1.4	-1.0	-0.8	-0.1	-1.4	-1.5
	5—10	0.02	0.03	0.02	0.02	0	0.02	0.07	-0.1	0.02	-0.1
	10—15	0.05	0.07	0.03	0.02	0.07	0	0	0	0	0
	15—20	0.03	-0.1	0	0.05	0.03	0	0	0	0	0
	20—25	0.02	0.03	0	0.03	0.07	0	0	0	0	0
	25—30	0.03	0.07	0	0.02	0.05	0	0	0	0	0
全钾	0—5	-5.5	-5.1	-4.7	-3.9	-4.5	-6.1	-6.0	-5.3	-5.5	-5.0
	5—10	0.55	0.68	0.92	0.99	1.33	2.08	3.17	1.10	1.03	0.28
	10—15	0.28	0.49	0.93	0.70	1.22	0.76	1.44	0.59	0.44	0.15
	15—20	0.01	0.08	-0.1	-0.1	0.41	-0.1	0.48	-0.1	0.01	-0.1
	20—25	0.03	-0.1	0	-0.1	-0.1	0	0.01	0	0	0
	25—30	0.03	0.04	-0.1	0.04	0	0	0	0	-0.1	-0.1

表 3 不同纳米碳含量下径流中各离子的养分流失调控效果评价

植被类型	纳米碳质量含量/%	径流总量/ml	径流溶质	径流中水	径流溶质	平均流失率		
			硝态氮/ (mg · L ⁻¹)	溶性磷/ (mg · L ⁻¹)	钾离子/ (mg · L ⁻¹)	硝态氮/ (mg · min ⁻¹)	水溶性磷/ (mg · min ⁻¹)	钾离子/ (mg · min ⁻¹)
裸地	0	3911.1	1.125	0.702	2.565	109.971	68.653	250.804
	0.1	2989.0	0.823	0.606	2.169	61.511	45.315	162.111
	0.5	2484.5	0.610	0.494	1.799	37.914	30.696	111.793
	0.7	3158.6	0.511	0.508	1.879	40.347	40.092	148.376
	1	2537.5	0.638	0.385	1.522	40.505	24.416	96.607
绿豆	0	2005.0	0.894	0.621	2.027	44.788	26.062	63.461
	0.1	1677.8	0.583	0.507	1.806	24.473	15.865	58.467
	0.5	1251.8	0.589	0.455	1.567	18.429	14.727	56.412
	0.7	1294.4	0.396	0.441	1.320	12.817	15.867	98.492
苜蓿	1	1439.9	0.445	0.421	1.314	16.027	31.420	98.090
	0	1007.9	0.826	0.598	1.919	20.822	15.073	48.378
	0.1	875.6	0.616	0.389	1.681	13.495	8.514	36.801
	0.5	768.5	0.502	0.410	1.524	9.643	7.883	29.280
柠条	0.7	617.6	0.516	0.365	1.539	7.974	5.641	23.763
	1	338.0	0.383	0.282	0.893	3.241	14.118	37.476
	0	2555.0	0.985	0.572	2.227	62.945	36.552	142.281
	0.1	2199.9	0.822	0.501	2.048	45.206	27.535	112.649
玉米	0.5	2120.3	0.628	0.420	1.765	33.286	22.258	93.596
	0.7	1768.4	0.529	0.327	1.675	23.385	14.472	74.080
	1	1703.4	0.543	0.415	1.584	23.131	17.690	67.471
	0	2984.5	0.950	0.653	2.145	70.905	48.745	160.084
玉米	0.1	2637.9	0.753	0.541	1.928	49.662	35.696	127.175
	0.5	2119.8	0.650	0.481	1.614	34.465	25.475	85.534
	0.7	2311.8	0.579	0.381	1.500	33.463	22.048	86.719
	1	1918.1	0.406	0.374	1.313	19.460	17.922	62.964

唐泽军等^[16]及张长保等^[17]通过降雨试验得出施加PAM能够很好地增加土壤的有效降雨量并促进玉米的生长且不同PAM用量下均表现出降低入渗增加径流,并能有效减少土壤侵蚀,其侵蚀量随PAM用量增加而减少。王树会等^[18]施用腐殖酸能促进烟株吸收养分,从而促进其生长发育。这与本文的研究结果是一致的,施加纳米碳含量可有效的减少径流中的养分流失。这可能是由于纳米碳极其细小且具有极大的吸附性,施加纳米碳后填充了土壤中的孔隙,从而改变土壤结构且增加土壤吸附性,导致养分流失量减小。这在改善土壤保水保肥性等方面具有极大潜力。

3 结论

(1) 纳米碳对坡地养分流失具有较显著($p < 0.05$)的影响,但不同植被覆盖条件下,其作用亦有差异,因此对于不同的植被覆盖条件下,所添加的纳米碳的量也应有所不同。同一作物的小区添加不同纳米碳含量对养分流失影响不明显;5种下垫面条件下,养分流失量均呈随纳米碳含量增加而降低的趋势,其中纳米碳含量为0.5%及0.7%对降低径流养分流失量的效果最好。不同纳米碳含量条件下,径流中的养分流失量从小到大为:空地>玉米>柠条>绿豆>苜蓿。

(2) 降雨后不同类型植被的土壤养分在0—5 cm的表层土壤中有较明显的减少,土层深度达到15 cm以上时降雨前后的养分差值并不明显。且更深层的土壤养分减少量很少甚至有所增加。随着土壤剖面深度增大,土壤中养分差值减少,且不同浓度纳米碳对养分值差值变化速率影响显著($p < 0.05$)。降雨产生的径流可带走土壤表面的养分,但是随着降雨的入渗作用将部分养分携带进入了较深层土壤。

(3) 径流中不同离子的平均浓度与平均流失率均随纳米碳含量的增加而减小,规律性较为明显。不同纳米碳含量下坡面随径流迁移的溶质的平均浓度具体表现为:空地>柠条>玉米>绿豆>苜蓿,这与坡面降雨过程中径流的变化趋势相一致。径流中各溶质的平均流失率表现为:空地>玉米>柠条>绿豆>苜蓿。不同纳米碳含量下径流中各离子的养分流失调控效果评价与不同植被覆盖下径流中各离子的养分流失调控效果评价结论一致。

参考文献:

- [1] 徐翠云. 国内外纳米科技研究应用现状及发展趋势分析[J]. 中国粉体技术, 2002, 8(3): 32-36.
- [2] 陈志刚, 顾卓明, 顾彩香. 纳米技术的研究应用现状和发展趋势[J]. 南通航运职业技术学院学报, 2004, 3(3): 42-46.
- [3] 王艳, 韩振, 张志明, 等. 纳米碳促进大豆生长发育的应用研究[J]. 腐植酸, 2010(4): 22-28.
- [4] 李淑敏, 马辰, 李丽鹤, 等. 纳米碳对玉米氮素吸收及根系活力和土壤酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 14-18.
- [5] 刘键, 马筠, 张志明, 等. 肥料添加纳米碳在水稻上的施用效果[J]. 磷肥与复肥, 2011, 26(6): 76-77.
- [6] 梁太波, 蔡宪杰, 过伟民, 等. 纳米碳用量对烤烟生长发育和钾素吸收积累的影响[J]. 烟草科技, 2011(11): 61-65.
- [7] 张亚丽, 张兴昌, 邵明安, 等. 降雨强度对黄土坡面矿质氮素流失的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 55-58.
- [8] 李裕元, 邵明安, 郑纪勇, 等. 降雨强度对黄绵土坡地磷流失特征影响试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 39-46.
- [9] 王全九, 王力, 李世清. 坡地土壤养分迁移与流失影响因素研究进展[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(12): 109-114.
- [10] 王小燕, 马国辉, 田小海. 纳米增效尿素对杂交水稻田面水氮素动态及氮肥利用率的影响[C]//中国作物学会. 2010中国作物学会学术年会论文摘要集, 2010.
- [11] 成杰民. 改性纳米黑碳应用于钝化修复重金属污染土壤中的问题探讨[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1): 7-13.
- [12] 余冬立, 邵明安, 俞双恩. 黄土区农草混合利用坡面土壤水分空间变异性[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 57-63.
- [13] 穆晓慧, 李世清, 党蕊娟. 黄土高原石灰性土壤不同形态磷组分分布特征[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1341-1347.
- [14] 党亚爱, 李世清, 王国栋, 等. 黄土高原典型土壤全氮和微生物氮剖面分布特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 13(6): 1020-1027.
- [15] 周蓓蓓, 胡梓超, 王全九. 一种便携式野外模拟降雨装置[P]. 西安: CN204583541U, 2015-08-26.
- [16] 唐泽军, 雷廷武, 赵小勇, 等. PAM改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 216-219.
- [17] 张长保, 王全九, 樊军, 等. 模拟降雨下PAM对砂黄土养分迁移影响实验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 82-85.
- [18] 王树会, 张红艳. 不同腐殖酸用量对烤烟生长及产质的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 288-291.