

植被去除对侵蚀环境土壤有机质和养分的影响

陈春良^{1,2}, 鲍凯强³, 王梦莹^{1,2}, 郑柯^{1,2}, 邱莉萍², 魏孝荣²

(1.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学

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; 3.韩城市农业技术推广中心, 陕西 韩城 715400)

摘要:为探究侵蚀环境下植被对土壤性质的影响机制,在陕北黄土高原选择了 3 个小流域,在坡面和与之对应的沉积区布设 2 年的植被去除试验,分析了植被去除后侵蚀区和沉积区土壤有机质和养分的分布特征。结果表明:(1) 土壤侵蚀—沉积作用显著影响土壤养分的分布,沉积区 0—60 cm 土层硝态氮、铵态氮、全磷和速效钾含量分别比侵蚀区高 75.3%, 25.1%, 11.8% 和 27.0%。(2) 植被对土壤有机质和养分的影响存在明显的地形差异。植被去除 2 年后,0—10 cm 土层土壤有机质、铵态氮和速效钾含量在侵蚀区降低了 1.75 g/kg, 0.97 mg/kg, 35.85 mg/kg, 在沉积区降低了 7.61 g/kg, 1.47 mg/kg, 90.74 mg/kg, 硝态氮含量在侵蚀区增加了 0.60 mg/kg, 在沉积区降低了 2.33 mg/kg。(3) 植被去除后,沉积区土壤各指标间存在显著相关关系,而侵蚀区这种相互关系较弱。这些结果表明:植被去除对沉积区土壤有机质、速效钾的影响较大,对侵蚀区硝态氮、铵态氮的影响较大。研究结果加强了对侵蚀—沉积过程中土壤—植被相互作用的认识,为水土流失区土壤质量提升提供科学依据。

关键词:土壤侵蚀; 地形条件; 植被去除; 水蚀风蚀交错区

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)05-0131-06

Effects of Vegetation Removal on Soil Organic Matter and Nutrients in an Erosive Environment

CHEN Chunliang^{1,2}, BAO Kaiqiang³, WANG Mengying^{1,2}, ZHENG Ke^{1,2}, QIU Liping², WEI Xiaorong²

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,

China; 2.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.Hancheng Agricultural Technology Extension Center, Hancheng, Shaanxi 715400, China)

Abstract: To explore the effects of vegetation on soil properties under erosion environment, we selected three sub-watersheds to conduct a vegetation removal experiment for two years in northern Shaanxi of the Loess Plateau. Soil organic matter and nutrients in the eroding and corresponding deposition sites in plots with and without vegetation were analyzed. The results showed that: (1) soil erosion and deposition significantly affected soil organic matter and nutrient contents.; compared with the erosion sites, soil nitrate, ammonium, total phosphorus and available potassium in the 0—20 cm depth in the deposition sites increased by 75.3%, 25.1%, 11.8% and 27.0%, respectively; (2) the effects of vegetation varied significantly between eroding and deposition sites; after two years vegetation removal, contents of soil organic matter, ammonium and available potassium in the 0—10 cm depth decreased by 1.75 g/kg, 0.97 mg/kg and 35.85 mg/kg in the eroding sites, and decreased by 7.61 g/kg, 1.47 mg/kg and 90.74 mg/kg in the deposition sites, respectively; soil nitrate increased by 0.60 mg/kg and 2.33 mg/kg in the eroding and deposition sites, respectively; (3) after two years experiment, we had observed the significant correlations among changes of soil nutrients in the deposition sites, but a relatively weaker correlations in the eroding sites. These results showed that vegetation removal had greater effects on soil organic matter and available potassium in the deposition sites,

收稿日期:2021-08-10

修回日期:2021-08-30

资助项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDB40020300);国家自然科学基金(41622105);中国科学院前沿科学重点研究计划(QYZDB-SSW-DQC039);国家重点研发计划课题(2016YFC0500704)

第一作者:陈春良(1996—),男,河南南阳人,硕士研究生,从事土壤生态研究。E-mail:18438616656@163.com

通信作者:邱莉萍(1979—),女,江西赣州人,博士,副研究员,主要从事土壤物质循环方面的研究。E-mail:qilup79@163.com

and greater effects on nitrogen and ammonium in the eroding sites. These results can enhance the understanding regarding to soil and vegetation interaction in the erosive environments, and provide a scientific basis for the improvement of soil quality in soil and water loss areas.

Keywords: soil erosion; landform conditions; vegetation removal; water-wind erosion crisscross region

土壤侵蚀是土壤被外力(如雨滴、径流、重力等)破坏、分离,从其形成区移动,并在洼地等沉积地点沉积的自然过程^[1]。土壤侵蚀会降低土壤结构的稳定性,改变土壤养分元素的含量与组成,引起土壤退化和土地生产力下降^[2-3]。我国西部的黄土高原是世界上土壤侵蚀最严重的地区之一,水土流失面积占80%,植被退化,土壤质量下降,土壤养分和泥沙等随径流迁移至水系造成环境污染,严重制约着区域社会、环境的可持续发展^[4]。1999年以来我国逐步实行退耕还林还草工程,使该区域植被覆盖率提升,生态环境状况得到改善。

植被作为生态环境的重要组成部分,对水土流失区的土壤发育、养分平衡和生态功能提升具有重要意义。黄土高原土壤质量的提高与植被恢复密切相关。近年研究表明,植被恢复显著改善了黄土高原地区坡地不同坡位表层土壤的颗粒组成、团聚体组成和土壤容重,降低坡面土壤的可蚀性,减少土壤养分流失量^[5-6],植被凋落物的输入可以提高土壤养分含量,改善土壤肥力状况^[7]。在坡耕地退耕后植被群落的演替过程中,土壤全量养分和速效养分含量逐渐增加,土壤酶活性和生物学特性均显著提升^[8-9]。这些研究大多集中于植被对单一研究区内不同坡位和坡向上土壤性质的影响,关于不同侵蚀位置(侵蚀区、沉积区)下植被对土壤性质影响的研究相对较少。因此,亟需加强侵蚀—沉积作用下土壤性质对植被响应特征的研究。

本文以神木六道沟流域侵蚀—沉积作用明显的3个典型小流域为研究对象,分析不同侵蚀环境下植被对土壤有机质、矿质氮、全磷、速效钾分布特征的影响,辨识土壤性质对地形、植被变化的响应机制,从而加强对侵蚀环境下土壤与植被相互作用的认识,为黄土高原水土流失防治和生态功能提升提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省榆林市神木市六道沟小流域(110°21′—110°23′E, 38°46′—38°51′W),地处毛乌素沙漠和黄土高原过渡带,水蚀风蚀作用强烈交错,是典型的生态脆弱区。该区域面积约为6.9 km²,海拔1 094~1 274 m,主要的土壤类型有黄绵土、风沙土和坝淤土等;气候类型为半干旱大陆性季风气候,

年平均气温8.4℃,历年平均降水量约为437 mm,降水分配不均,全年约70%~80%的降水集中在6—9月且多以暴雨形式出现。该地区主要的植被类型有苜蓿(*Medicago sativa*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、铁杆蒿(*Tripolium vulgare*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)等。

1.2 试验方法

2017年5月,在六道沟小流域选取侵蚀作用典型的3个小流域为研究对象(表1)。在每个小流域的侵蚀区(坡面中上部)及其对应的沉积区(沟道、淤地坝)选取代表性样地并分别设置3个平行小区(10 m×5 m),每个平行小区设置2个子小区(3 m×3 m),一个子小区不做任何处理作为本试验的有植被小区,另一个子小区去除植被、地表枯落物和根系作为本试验的植被去除小区,以研究植被去除对土壤性质的影响。试验期间,每月定期对无植被小区内植被和凋落物进行人工清除。2017年和2018年的8月份在不同的坡面和沟道随机设置3个样方框(1 m×1 m),调查侵蚀区和沉积区的植被特征并测定地上生物量。

土壤样品采集于2017年10月14日和2018年10月11日,每个子小区内设置5个采样点,呈“S”形分布,用土钻采集0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm和40—60 cm土层的土壤样品,带回实验室自然风干后,剔除杂物,研磨后分别过2 mm和0.25 mm筛以备分析。土壤有机质采用重铬酸钾容量法;土壤硝态氮和铵态氮含量采用2 mol/L KCl浸提,AA3流动分析仪测定;土壤全磷含量采用钼锑抗比色法测定;土壤速效钾含量采用NH₄OAC浸提—火焰光度法测定^[10]。

1.3 数据处理

本研究采用Microsoft Excel 2013进行数据整理和作图,利用SPSS 24.0软件进行方差分析、多重比较和皮尔逊相关性分析。利用土壤性质变化量(Δ)来量化植被去除对土壤性质的影响。土壤性质变化量=无植被小区土壤性质含量—同时期有植被小区土壤性质含量。

2 结果与分析

2.1 侵蚀—沉积作用对土壤有机质和养分分布的影响

本研究中侵蚀区和沉积区0—10 cm土层有机质、硝态氮、铵态氮和速效钾含量均显著高于其他土层,且各养分含量随土层深度增加而逐渐降低。沉积

区0—10 cm 土壤全磷含量显著高于 20—40,40—60 cm 土层,而侵蚀区土壤全磷含量在不同土层间差异不显著。沉积区0—60 cm 土层土壤硝态氮、铵态氮、全磷、速效钾含量分别比侵蚀区高 75.3%,25.1%,11.8%和 27.0% ($p<0.05$),而且这种差异在 0—20 cm 大于 20—60 cm 土层(图 1)。

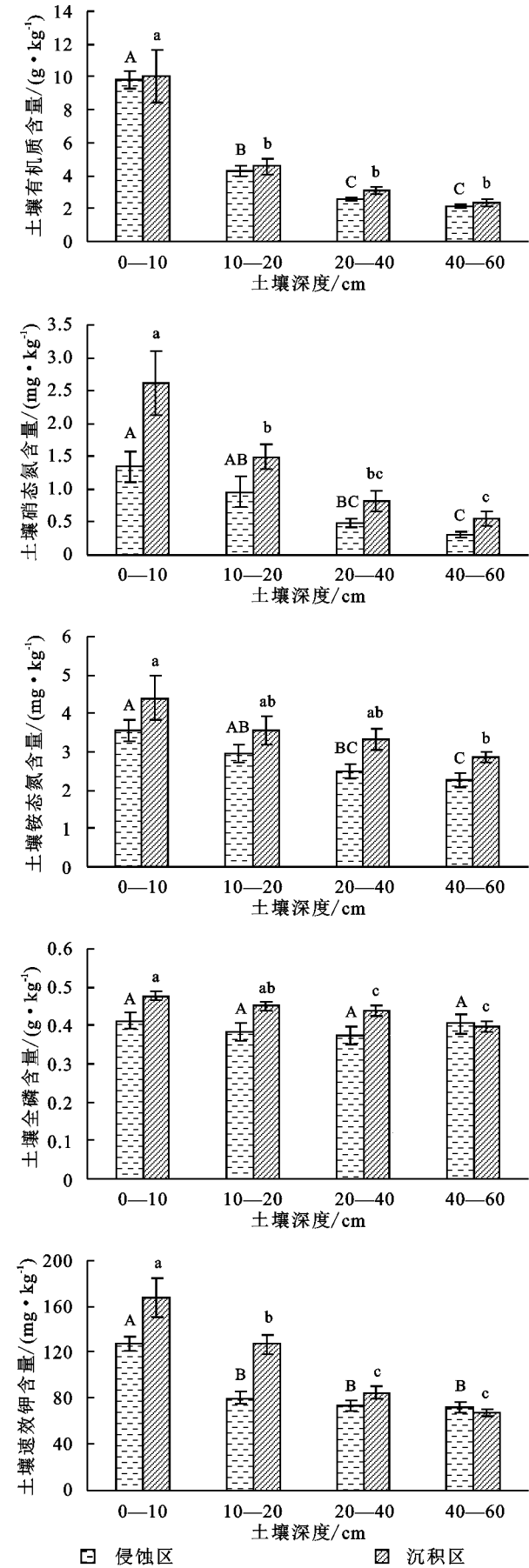
表 1 本研究所选侵蚀区和沉积区基本信息						
地形	海拔/m	坡向	坡度/(°)	土壤类型	地上生物量/(g·m ⁻²)	
					2017	2018
侵蚀区 ¹	1194	NE74°	20	风沙土	325.73	349.14
沉积区 ¹	1163				385.53	438.36
侵蚀区 ²	1188	NE80°	23	风沙土	268.22	292.36
沉积区 ²	1173				395.13	478.08
侵蚀区 ³	1213	NE68°	28	风沙土	195.73	246.63
沉积区 ³	1173				343.59	523.73

2.2 植被去除及地形差异对土壤有机质和养分的影响

植被去除显著降低了侵蚀区和沉积区土壤有机质含量($p<0.01$)。植被去除 1 a 和 2 a 后,0—10 cm 土层有机质含量在侵蚀区分别降低了 2.29,1.75 g/kg,在沉积区分别降低了 2.26,7.61 g/kg。随土层深度的增加,植被去除对有机质的影响逐渐减小,40—60 cm 土层有机质的变化量趋近于 0。此外,植被去除 2 a 后,0—60 cm 土层土壤有机质降低量在沉积区显著高于侵蚀区(图 2)。

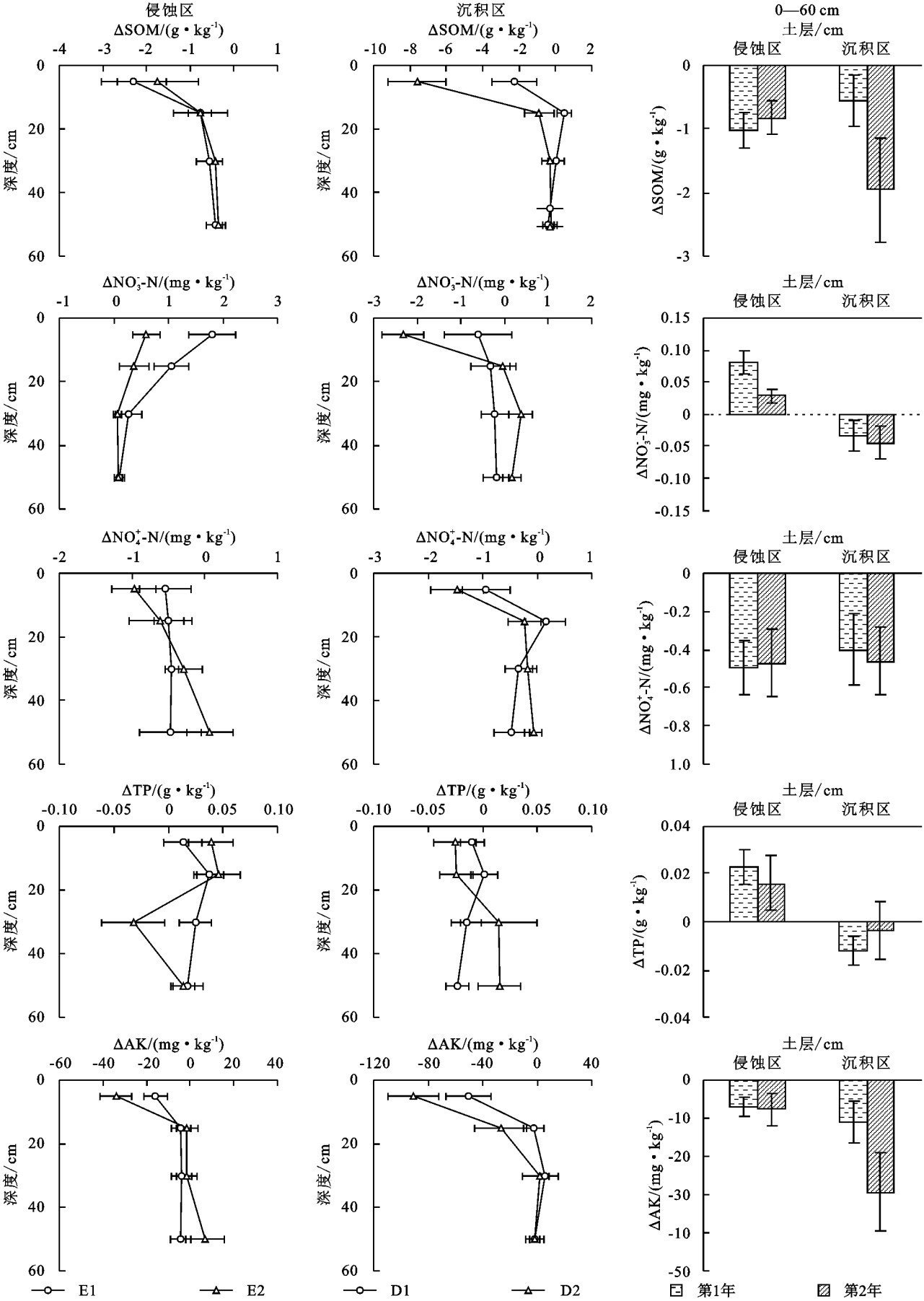
土壤硝态氮和铵态氮对植被去除的响应在不同的形之间也存在显著的差异($p<0.01$)。植被去除 1 a 和 2 a 后,0—10 cm 土层硝态氮含量在侵蚀区分别增加了 1.80,0.60 mg/kg,在沉积区则分别降低了 0.60,2.33 mg/kg。随土层深度增加,植被去除后侵蚀区硝态氮的增加量逐渐减小,而沉积区硝态氮含量增加量逐渐增大。随植被去除时间增加,0—60 cm 土层硝态氮变化量在侵蚀区降低,在沉积区变化不大。植被去除 1 a 和 2 a 后,0—10 cm 土壤铵态氮含量在侵蚀区分别降低了 0.54,0.97 mg/kg,在沉积区分别降低了 0.94,1.47 mg/kg($p<0.01$);而且随着土层深度的加深,铵态氮变化量逐渐减小(表 2)。

植被去除后,土壤全磷含量在侵蚀区有所增加,在沉积区略有降低,但其变化未达到显著水平。植被去除显著降低了土壤速效钾含量($p<0.01$)。植被去除 1 a 和 2 a 后,0—10 cm 土层速效钾含量在侵蚀区分别降低了 15.86,35.85 mg/kg,在沉积区分别降低了 50.62,90.74 mg/kg,而且 0—10 cm 土层速效钾的变化量显著高于 10—60 cm 土层。在整个 0—60 cm 土层范围内,随植被去除时间的延长,速效钾降低量在沉积区显著增大,但在侵蚀区无显著变化。



注:同一地形不同字母表示各土层间差异显著($p<0.05$)。

图 1 不同地形条件下土壤有机质和养分的分布特征



注: E 和 D 表示侵蚀区和沉积区, 1, 2 表示植被去除第一年、第二年。

图 2 不同地形条件下植被去除对土壤有机质和养分的影响

表 2 地形(L)、植被(V)、土层深度(SD)和时间(T)对土壤全磷、有机质、速效钾、铵态氮和硝态氮影响的方差分析

Variables	全磷 TP		有机质 SOM		速效钾 AK		铵态氮 NH ₄ ⁺ -N		硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
L	6.849	0.010	0.033	0.857	21.091	<0.001	14.108	<0.001	21.715	<0.001
V	0.008	0.928	49.264	<0.001	21.923	<0.001	9.916	0.002	0.156	0.694
T	2.114	0.148	2.525	0.114	270.124	<0.001	1.607	0.207	91.168	<0.001
SD	1.978	0.123	69.260	<0.001	42.191	<0.001	10.641	<0.001	22.520	<0.001
L×V	1.276	0.261	2.286	0.133	5.653	0.019	0.768	0.382	11.366	0.001
V×T	1.048	0.308	8.499	0.004	6.439	0.012	1.323	0.252	3.828	0.052
V×SD	3.038	0.031	4.600	0.004	11.406	<0.001	0.380	0.768	7.522	<0.001
L×V×T	0.051	0.822	11.330	0.001	9.122	0.003	1.080	0.301	0.124	0.725
L×V×SD	1.336	0.265	9.606	<0.001	3.510	0.017	1.604	0.191	9.092	<0.001

2.3 不同地形条件下土壤有机质和养分变化量间的关系

皮尔逊相关性分析结果表明,植被去除后侵蚀区土壤速效钾变化量仅与有机质和铵态氮变化量极显著正相关(表 3, $p<0.01$),表明侵蚀区速效钾含量对植被去除的响应和土壤有机质和铵态氮存在密切关系。在沉

积区,土壤有机质变化量与硝态氮、铵态氮和速效钾变化量极显著正相关($p<0.01$),土壤硝态氮变化量与铵态氮和速效钾变化量间,土壤铵态氮变化量与速效钾变化量间均呈现出极显著的正相关关系($p<0.01$),而土壤全磷变化量与有机质、硝态氮、铵态氮和速效钾变化量间无显著的相关关系($p>0.05$)(表 3)。

表 3 植被去除后侵蚀区和沉积区土壤有机质和养分变化量间的相关性分析

参数	侵蚀区(df=30)					沉积区(df=24)				
	有机质	硝态氮	铵态氮	全磷	速效钾	有机质	硝态氮	铵态氮	全磷	速效钾
	SOM	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	TP	AK	SOM	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	TP	AK
有机质 SOM	1	0.285	0.233	-0.022	0.464 * *	1	0.847 * *	0.824 * *	0.281	0.813 * *
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N		1	-0.031	0.037	-0.164		1	0.546 * *	0.378	0.723 * *
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N			1	-0.104	0.535 * *			1	0.252	0.672 * *
全磷 TP				1	-0.134				1	0.271
速效钾 AK					1					1

注: * * 表示 $p<0.01$ 。

3 讨论与结论

本研究中表层土壤有机质和氮磷钾等养分含量均高于下层土壤,这与表层土壤水分和通气状况较好、动植物活动剧烈有关^[11]。此外,植物根系在表层土壤分布较多,而在深层土壤分布较少^[12],其对表层土壤有机质和养分的积累效应较为明显。另外,植物凋落物在地表的积累和分解也会造成表层土壤有机质和养分的积累^[13]。侵蚀区氮磷钾含量显著低于沉积区,这与其他研究者在不同地区的研究结果一致^[14]。侵蚀作用优先将细颗粒从侵蚀区搬运到沉积区并沉积^[15],而细颗粒富集有较多的有机质和养分^[16],从而提高了沉积区养分含量。

植被参与土壤有机质和养分的循环转化过程,对土壤养分具有强烈的“表聚效应”^[17-18],本研究中,植被去除显著影响表层土壤(0—20 cm)有机质、速效钾和速效氮含量,而且各养分指标的变化量均随土层

深度增加而逐渐降低,表明研究区植被对有机质和养分的影响主要发生在表层土壤。土壤有机质和速效钾与植被地上生物量和养分归还能力紧密相关^[19],本研究中,沉积区的地上生物量高于侵蚀区,因此植被去除后,沉积区土壤有机质和速效钾降低量显著高于侵蚀区,且随植被去除时间的增加而增大。

土壤全磷含量主要受成土母质、气候类型的影响^[20],但也与植物根系的吸收作用、土壤淋溶作用有关^[21-22]。本研究中,植被去除减少了植物根系对磷素的吸收作用,使得侵蚀区无植被小区土壤全磷含量高于有植被小区。由于沉积区土壤颗粒沉积作用,以及表层土壤磷素的淋溶作用,下层土壤全磷含量有所增加。

土壤铵态氮与土壤有机质含量密切相关^[23],植被去除后,随有机质含量的下降,侵蚀区和沉积区铵态氮含量均显著降低。在植物生长季内,由于植物根系的吸收作用,造成土壤硝态氮含量显著降低^[24],因此,本研究

中,植被去除后,侵蚀区硝态氮含量显著增加。沉积区硝态氮含量在0—10 cm土层显著降低,在10 cm以下土层有所增加,这可能与沉积区土壤水分状况较好,硝态氮随水分向深层土壤淋溶迁移有关^[25-26]。

土壤侵蚀—沉积作用显著改变陕北黄土高原侵蚀环境土壤有机质和养分的分布特征,沉积区表层土壤有机质和养分含量显著高于侵蚀区,其差异随土层深度的增加而逐渐降低。

植被去除显著改变了侵蚀环境土壤有机质和养分含量。植被去除对土壤有机质、速效钾的影响表现为沉积区大于侵蚀区,对铵态氮的影响则为侵蚀区大于沉积区;植被去除后,土壤硝态氮含量在侵蚀区显著增加,在沉积区显著降低。

参考文献:

- [1] Lal R. Soil erosion and the global carbon budget[J]. *Environment International*, 2003,29(4):437-450.
- [2] Li H Q, Zhu H S, Qiu L P, et al. Response of soil OC, N and P to land-use change and erosion in the black soil region of the Northeast China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020,302:1-10.
- [3] 李占斌,朱冰冰,李鹏.土壤侵蚀与水土保持研究进展[J].*土壤学报*,2008,45(5):802-809.
- [4] 李宗善,杨磊,王国梁,等.黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J].*生态学报*,2019,39(20):7398-7409.
- [5] 陈卓鑫,王文龙,郭明明,等.黄土高原沟壑区植被恢复对不同地貌部位土壤可蚀性的影响[J].*自然资源学报*,2020,35(2):387-398.
- [6] 王升,王全九,董文财,等.黄土坡面不同植被覆盖度下产流产沙与养分流失规律[J].*水土保持学报*,2012,26(4):23-27.
- [7] Yuan Z Q, Yu K L, Epstein H, et al. Effects of legume species introduction on vegetation and soil nutrient development on abandoned croplands in a semi-arid environment on the Loess Plateau, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016(541):692-700.
- [8] 刘文祥,李勇,于寒青.草灌植被恢复提高坡地土壤水稳性团聚体和碳、氮含量的有效性:退耕年限的影响[J].*植物营养与肥料学报*,2016,22(1):164-170.
- [9] 李林海,邱莉萍,梦梦.黄土高原沟壑区土壤酶活性对植被恢复的响应[J].*应用生态学报*,2012,23(12):3355-3360.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [11] 肖海兵,李忠武,聂小东,等.南方红壤丘陵区土壤侵蚀—沉积作用对土壤酶活性的影响[J].*土壤学报*,2016,53(4):881-890.
- [12] 李建兴,何丙辉,湛芸,等.不同护坡草本植物的根系分布特征及其对土壤抗剪强度的影响[J].*农业工程学报*,2013,29(10):144-152.
- [13] 戴雯笑,楼晨阳,许大明,等.浙西南常绿阔叶林凋落物空间分布及其对土壤养分的影响[J].*生态学报*,2021,41(2):513-521.
- [14] 张孝存,郑粉莉,安娟,等.典型黑土区坡耕地土壤侵蚀对土壤有机质和氮的影响[J].*干旱地区农业研究*,2013,31(4):182-186.
- [15] 黄满湘,章申,晏维金.农田暴雨径流侵蚀泥沙对氮磷的富集机理[J].*土壤学报*,2003,40(2):306-310.
- [16] 王岩,沈其荣,杨振明.土壤不同粒级中C, N, P, K的分配及N的有效性研究[J].*土壤学报*,2000,37(1):85-94.
- [17] Hobbie S E. Effects of plant species on nutrient cycling[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1992,7(10):336-339.
- [18] 许明祥,刘国彬.黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J].*植物营养与肥料学报*,2004,10(1):40-46.
- [19] Xia S W, Chen J, Schaefer D, et al. Scale-dependent soil macronutrient heterogeneity reveals effects of litterfall in a tropical rainforest[J]. *Plant and Soil*, 2015, 391(1):51-61.
- [20] Zhang S H, Chen D D, Sun D S, et al. Impacts of altitude and position on the rates of soil nitrogen mineralization and nitrification in alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012,48(4):393-400.
- [21] 黄翊兰,崔丽娟,李春义,等.滨海滩涂湿地不同植被土壤磷的生物有效性及其影响因子分析[J].*生态环境学报*,2019,28(10):1999-2005.
- [22] 吕家珑.农田土壤磷素淋溶及其预测[J].*生态学报*,2003,23(12):2689-2701.
- [23] 张珊,李玉,车克钧,等.祁连山东段青海云杉林区土壤氮矿化与土壤因子的相关性[J].*水土保持学报*,2016, 30(5):218-223.
- [24] Kong W B, Yao Y F, Zhao Z N, et al. Effects of vegetation and slope aspect on soil nitrogen mineralization during the growing season in sloping lands of the Loess Plateau[J]. *Catena*, 2019,172:753-763.
- [25] 林雪青,李志,向伟,等.黄土高原沟壑区不同坡位和植被下的土壤硝态氮特征研究[J].*环境科学学报*,2017, 37(6):2360-2367.
- [26] 魏孝荣,邵明安.黄土高原沟壑区小流域不同地形下土壤性质分布特征[J].*自然资源学报*,2007,22(6):946-953.