

红壤区林地浅沟不同植被类型土壤生态化学计量特征

朱平宗^{1,2}, 张光辉^{1,2}, 杨文利³, 赵建民³

(1.北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2.北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875; 3.南昌工程学院 水利与生态工程学院, 南昌 330099)

摘 要:为了探究红壤区林地浅沟植被类型对土壤养分含量及其生态化学计量特征的影响,通过野外调查与室内分析相结合的方法,选取林下植被类型为草地和灌木地的浅沟为研究对象,以裸地浅沟为对照,对其表层(0—10 cm)土壤养分含量及生态化学计量特征进行了研究。结果表明:(1) 浅沟土壤养分含量及其生态化学计量特征受植被类型和浅沟部位的共同影响。(2) 与裸地浅沟相比,草地和灌木地浅沟的土壤养分含量显著增大($p < 0.05$),草地土壤的 C、N 和 P 含量分别增加了 67.7%, 51.1%, 200.0%, 灌木地分别增加了 84.6%, 127.0%, 226.3%;土壤生态化学计量特征则显著减小(除草地的 C/N 外),C/P 和 N/P 分别减小了 50.9%, 46.8% 和 65.2%, 51.1%。(3) 在浅沟不同部位,泥沙沉积导致沟底土壤养分含量显著大于沟坡和沟缘,但生态化学计量特征没有明显的变化规律。(4) 土壤 C、N 和 P 含量间呈极显著的正相关关系,N 含量是 C/N 的主要限制因子,P 含量是 C/P 和 N/P 主要限制因子。红壤区林地浅沟植被恢复后,虽然土壤养分含量显著增大,但整体水平仍然偏低,而 N 和 P 是该区植被恢复的限制性因素,在植被恢复过程中适当施用氮肥和磷肥,可加快植被恢复进程。

关键词:土壤; 生态化学计量特征; 植被类型; 浅沟; 红壤区

中图分类号:S714.8; S154.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)06-0060-06

Characteristics of Soil Ecological Stoichiometry of Different Vegetation Types in Ephemeral Gully of Forestland in Red Soil Region

ZHU Pingzong^{1,2}, ZHANG Guanghui^{1,2}, YANG Wenli³, ZHAO Jianmin³

(1.State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, Beijing Normal University,

Beijing 100875, China; 2.Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3.School of Water Resources and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

Abstract: In order to explore the effects of vegetation types on soil nutrients and ecological stoichiometry in ephemeral gully of forestland in red soil region, combining the method of field investigation and indoor analysis, we analyzed soil nutrients (C, N, P) and ecological stoichiometry of top soil (0—10 cm) for ephemeral gullies with different vegetation types. The results showed that: (1) soil nutrients and ecological stoichiometry of ephemeral gully were greatly affected by vegetation types and topographic positions; (2) compared to the bare ephemeral gullies, soil nutrients of ephemeral gullies with grass and shrub increased significantly, the C, N, and P contents of grassland increased by 67.7%, 51.1%, 200.0%, respectively, and those of shrub land increased by 84.6%, 127.0%, 226.3%, respectively, while ecological stoichiometry decreased significantly (except for the C/N of grassland), the C/P and N/P decreased by 50.9%, 46.8% and 65.2%, 51.1%, respectively; (3) for different topographic positions of ephemeral gully, due to the influence of sediment deposition, soil nutrient contents in groove were significantly greater than those of gully slope and edge, while no obvious regular change was found in ecological stoichiometry; (4) correlation analysis indicated that significant positive correlations were found between C, N, and P contents, and N content was the main limiting factor on C/N, P content was the main limiting factor on C/P and N/P. Although the contents of soil nutrients increased significantly, the overall level was still low in ephemeral gully of forestland in red soil region after vegetation restoration. N and P were the limiting factors on vegetation restoration in this region, and proper application of nitrogen and

收稿日期:2019-12-28

修回日期:2020-03-05

资助项目:江西省高等学校科技落地计划项目“赣江流域不同植被类型的生态水文效应”(KJLD14095)

第一作者:朱平宗(1991—),男,江西抚州人,博士研究生,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:201831051008@mail.bnu.edu.cn

通信作者:杨文利(1968—),男,陕西凤翔人,学士,副教授,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:szyangwl@163.com

phosphorus fertilizer is beneficial to accelerating the process of vegetation restoration.

Keywords: soil; characteristics of ecological stoichiometry; vegetation type; ephemeral gully; red soil region

C,N,P 作为土壤养分的重要组成部分,三者含量的高低及其动态平衡直接反映了土壤肥力状况,影响土壤微生物的活性、凋落物的分解速率以及植物的生长,进而影响生态系统的生产力^[1];生态化学计量学是研究生态系统能量平衡和化学元素(主要是 C,N,P)平衡的科学,不仅反映了土壤养分状况,还能揭示土壤养分的可获得性及其限制因子^[2],被广泛应用于植物个体生长、种群动态、群落演替、限制性元素判断、生态系统稳定性等研究领域^[3-5]。研究生态系统的化学计量学特征,对于探讨“植物—凋落物—土壤”养分循环的调控机制、揭示元素平衡、分析生态要素交互作用具有重要意义^[3,6-7]。因此,研究土壤 C,N,P 及其生态化学计量特征对生态系统土壤养分循环和平衡机制的认识具有重要意义。

植被恢复是水土保持和退化生态系统恢复的重要措施,能够显著改善土壤结构,提高土壤肥力^[8]。植被恢复后,植被覆盖以及枯落物的蓄积量显著增大,土壤养分含量也显著增加^[9]。但增大幅度受植被类型的影响,不同植被类型的枯落物分解速率及根系生长存在差异,进而影响了土壤养分的输入与输出,导致土壤中养分的分布特征及平衡关系也存在差异,这些差异可能导致土壤养分的限制因子也发生相应的改变,从而进一步影响植被的生长^[10]。曾全超等^[11]在黄土高原的研究表明森林植被的生长主要受 P 含量的限制,而草原植被主要受 N 含量的限制。因此,充分了解不同植被类型土壤养分状况及其限制因子,可更好地为植被恢复后生态系统功能的可持续发展提供科学依据。

南方红壤区是我国仅次于黄土高原的第二大侵蚀区,20 世纪 80 年代以来,开展了一系列的植被恢复工程,不仅有效地控制了严重的水土流失,而且明显改善了当地的生态环境^[8]。但由于林分结构过于单一,林下植被覆盖低下,特别是在马尾松大面积分布的花岗岩地区,情况更为严重,林下水土流失严峻,很多地方发育有大量浅沟^[12-13]。浅沟的发育自然会导致土壤养分及其生态化学计量特征发生显著的变化,但随着植被的恢复,其土壤养分及生态化学计量特征可能会发生相应的响应。然而目前针对南方红壤区植被恢复对生态化学计量特征影响的相关研究主要集中在不同恢复年限、林龄和侵蚀强度等方面^[8-9,14-15],关于林下不同植被类型土壤养分及其生态化学计量特征的研究鲜见报道,特别是浅沟侵蚀区。本文选取红壤区林下浅沟典型植被类型(草地和

灌木地)为研究对象,以裸地浅沟为对照。分析红壤区林下浅沟植被类型对土壤养分含量及其生态化学计量特征的影响,以期揭示该区域浅沟植被恢复后生态系统中土壤养分元素的循环机制和反馈机制,为该区域退化生态系统的植被恢复与重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与样地设置

试验地设置在江西省吉安县登龙乡大塘村(27°00′24″—27°00′28″N,114°46′28″—114°46′39″E),位于江西省中部的吉泰盆地,为典型的低山丘陵地貌,海拔为 70~150 m。气候为亚热带季风气候,年平均气温和降雨量分别为 18.1℃和 1 518 mm,降雨年内分配不均,主要集中在 4—7 月,约占全年降水量的 63%,且多以暴雨形式出现,导致了严重的水土流失。土壤类型为红壤,成土母质以花岗岩风化物为主。林地为人工种植的马尾松纯林(*Pinus massoniana*),树龄为 25 a,种植密度为 650 株/hm²,林冠郁闭度为 30%~50%,树高为 10~15 m。由于长期不合理的人类活动(植被砍伐和枯落物收集),导致林下植被相对缺乏,土壤侵蚀严重,坡面浅沟发育。通过野外实地调查,试验区浅沟自然恢复的植被类型主要为草地[芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)]和灌木[黄栀子(*Gardenia jasminoides*)、木荷(*Schima superba*)、檫木(*Loropetalum chinense*)等]。因此本文选择裸地和植被类型为草地和灌木的浅沟各 3 条,以裸地浅沟为对照,分析植被类型对土壤养分及其生态化学计量特征的影响,样地基本概况见表 1。

1.2 样品采集与测定

2017 年 8 月,选取形态基本相似但林下植被类型不同的浅沟共 9 条(裸地,草地,灌木各 3 条),各个浅沟的基本信息见表 1。为探究浅沟部位对土壤养分含量及其生态化学计量特征的影响,根据浅沟的发育特征,沿每条浅沟的沟底、沟坡和沟缘布设 3 条样带,从样带上部到下部采用 5 点采样法采集表层(0—10 cm)土壤样品,充分混合形成一个约 1 kg 土样,9 条浅沟共采集 27 个土样,带回实验室。在自然条件下风干,去除枯落物、根系和石块等杂质后研磨,过 100 目孔筛后测定土壤的有机碳(C)、全氮(N)和全磷(P)含量。土壤有机碳含量采用硫酸—重铬酸钾氧化外加热法测定;全氮含量采用全自动凯氏定氮仪(海能 k1100)测定;全磷含量采用 NaOH 碱熔—钼锑抗

比色法测定,每个土样各指标的测定重复 3 次,取平均值作为测定值,并进一步计算 C/N、C/P 和 N/P。

表 1 样地基本信息

植被类型	浅沟	坡度/°	长度/m	宽度/m	盖度/%	植被群落
裸地	1	25.85	24.15	2.14		沟底有少量的苔藓
	2	27.54	26.41	2.43		
	3	31.72	23.75	2.58		
草地	1	26.23	22.45	2.18	88	芒萁全覆盖,有少量黄栀子 and 荆棘
	2	24.01	25.43	2.11	90	
	3	28.36	20.98	2.45	93	
灌木	1	25.68	27.43	2.55	45	黄栀子、木荷、榿木、枫香、乌饭树、芒萁等
	2	28.30	22.58	2.83	40	
	3	23.45	26.57	2.65	53	

1.3 数据分析

利用 SPSS 21.0 软件对数据进行分析,其中浅沟不同植被类型和部位间土壤 C、N 和 P 含量及其生态化学计量的差异采用单因素方差分析(One-way ANOVA)中的 LSD 法;土壤养分及其生态化学计量特征的关系采用 Pearson 法进行相关分析,其中 $p < 0.01$ 表示在 0.01 显著水平下有显著差异, $p < 0.05$ 表示在 0.05 显著水平下有显著差异。运用 Excel 2013 和 Origin 2016 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 植被类型对浅沟土壤养分含量的影响

马尾松林下不同植被类型浅沟土壤养分含量的差异分析结果(表 2)表明,不同植被类型(裸地、草地和灌木地)浅沟土壤 C、N 和 P 含量均存在显著差异($p < 0.05$),且土壤养分含量的大小顺序均表现为灌木地>草地>裸地。与裸地相比,草地的土壤 C、N

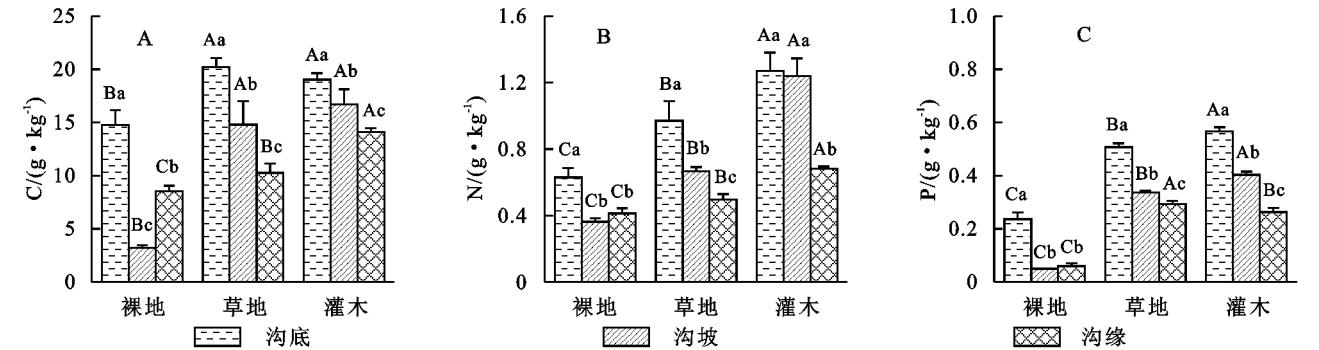
和 P 含量分别增加了 67.7%,51.1%,200.0%,灌木地分别增加了 84.6%,127.0%,226.3%。

表 2 不同植被类型浅沟土壤养分特征 g/kg

植被类型	C	N	P
裸地	9.00±0.52c	0.47±0.04c	0.13±0.02c
草地	15.09±0.67b	0.71±0.02b	0.38±0.01b
灌木	16.61±0.60a	1.07±0.07a	0.41±0.01a

注:表中数据为平均值±标准差,不同小写字母表示不同植被类型土壤养分含量差异显著,下表同。

用单因素方差分析法(one-way ANOVA)进一步分析不同植被类型和浅沟部位间土壤养分含量的差异(图 1)。结果表明,植被类型显著影响土壤养分含量。对于相同的浅沟部位不同植被类型而言,灌木地和草地浅沟沟底和沟坡的土壤 C 含量均显著大于裸地($p < 0.05$),而不同植被类型浅沟沟缘的土壤 C 含量差异显著($p < 0.05$)(图 1A)。不同植被类型浅沟沟底、沟坡和沟缘的土壤 N 和 P 含量均存在显著差异($p < 0.05$)且含量在裸地均最低(图 1B—C)。



注:不同大写字母表示不同植被类型土壤养分含量差异显著,不同小写字母表示不同浅沟部位土壤养分含量差异显著。

图 1 不同植被类型土壤养分含量差异

浅沟部位显著影响土壤养分含量。对于相同植被类型不同的浅沟部位,土壤 C 含量差异显著($p < 0.05$),且沟底含量均最高(图 1A)。裸地浅沟沟底的土壤 N 含量显著大于沟坡和沟缘($p < 0.05$);草地则在不同浅沟部位间均存在显著差异($p < 0.05$),且沟底>沟坡>沟缘;灌木地则表现为沟底和沟坡显著大于沟缘($p < 0.05$)(图 1B)。裸地浅沟沟底的土壤 P

含量显著大于沟坡和沟缘($p < 0.05$);草地和灌木地不同浅沟部位间均存在显著差异($p < 0.05$),表现为沟底>沟坡>沟缘(图 1C)。综上可知,无论是在裸地、草地还是灌木地,土壤养分含量均在沟底最高。

2.2 植被类型对浅沟土壤生态化学计量特征的影响

马尾松林下不同植被类型浅沟土壤生态化学计量特征的差异分析结果表明,不同植被类型间浅沟土

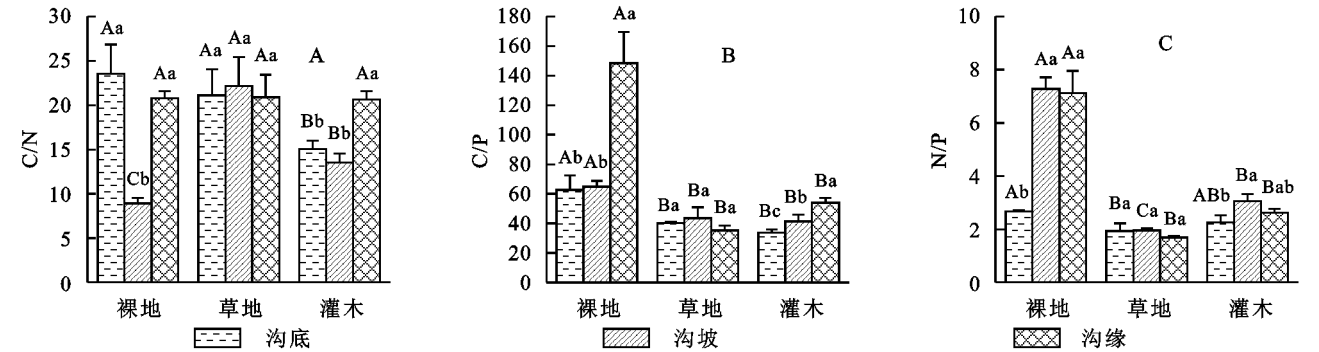
壤生态化学计量特征存在一定的差异(表 3)。裸地和草地的 C/N 显著大于灌木地($p<0.05$),与裸地相比,草地的 C/N 增加了 10.7%,而灌木地则减少了 18.8%;裸地的 C/P 和 N/P 显著大于草地和灌木地($p<0.05$),与裸地相比,草地和灌木地的 C/P 分别减少了 50.9%,46.8%,N/P 分别减少了 65.2%,51.1%。

表 3 不同植被类型浅沟土壤生态化学计量特征

植被类型	C/N	C/P	N/P
裸地	19.25±1.26a	80.83±10.73a	5.36±0.36a
草地	21.30±1.59a	39.68±1.33b	1.86±0.05c
灌木	15.63±0.76b	43.00±2.84b	2.62±0.19b

用单因素方差分析法(one-way ANOVA)进一步分析不同植被类型和浅沟部位间土壤生态化学计

量特征的差异(图 2)。结果表明,植被类型显著影响土壤生态化学计量特征。对于相同的浅沟部位不同植被类型,裸地和草地浅沟沟底土壤 C/N 在均显著大于灌木地($p<0.05$),且裸地最大;不同植被类型浅沟沟坡土壤 C/N 均存在显著差异($p<0.05$),表现为草地>灌木地>裸地;而不同植被类型浅沟沟缘土壤 C/N 差异均不显著(图 2A)。裸地浅沟沟底、沟坡和沟缘土壤 C/P 均显著大于草地和灌木地($p<0.05$)(图 2B)。裸地浅沟沟底土壤 N/P 显著大于草地($p<0.05$),与灌木地无明显差异;不同植被类型浅沟沟坡土壤 N/P 均存在显著差异($p<0.05$),表现为裸地>灌木地>草地;裸地浅沟沟缘土壤 N/P 显著大于草地和灌木地($p<0.05$)(图 2C)。



注:不同大写字母表示不同植被类型生态化学计量特征差异显著,不同小写字母表示不同浅沟部位生态化学计量特征差异显著。

图 2 不同植被类型土壤生态化学计量差异

浅沟部位显著影响土壤生态化学计量特征。对于相同的植被类型不同浅沟部位,裸地浅沟沟底和沟缘土壤 C/N 显著大于沟坡($p<0.05$);草地无明显差异;灌木地浅沟沟缘土壤 C/N 显著大于沟坡和沟底($p<0.05$)(图 2A)。裸地浅沟沟缘土壤 C/P 显著大于沟底和沟坡($p<0.05$);草地则无明显差异;灌木地土壤 C/P 在各浅沟部位间均存在显著差异($p<0.05$),表现为沟缘>沟坡>沟底(图 2B)。裸地浅沟沟底土壤 N/P 显著小于沟坡和沟缘($p<0.05$);草地无明显差异;灌木地浅沟沟坡土壤 N/P 显著大于沟底($p<0.05$)(图 2C)。

2.3 土壤养分含量和生态化学计量特征的相关分析

土壤养分含量和生态化学计量特征的 Pearson 相关分析结果表明(表 4),土壤 C 含量与 N 和 P 含量均呈极显著的正相关关系,而与土壤 C/P 和 N/P 呈极显著的负相关关系;土壤 N 含量与 P 含量呈极显著的正相关关系,而与土壤 C/N 和 C/P 呈显著的负相关关系;土壤 P 含量与 C/P 和 N/P 呈极显著的负相关关系;土壤 C/P 与 N/P 呈极显著的正相关关系。

3 讨论

3.1 植被类型对浅沟土壤养分含量的影响分析

C,N,P 作为土壤养分的重要组成部分,是反映

土壤质量的重要指标,主要受气候条件、植被类型、土壤母质、地形条件、土壤动物、微生物和人类活动等的影响^[16],其供应量的多少显著影响植物的生长、发育及物质循环过程^[5,17-18]。本研究得出,浅沟由裸地恢复为草地和灌木地后,表层(0—10 cm)土壤 C 含量增加了 67.7%,84.6%,N 含量增加了 51.1%,127.0%,P 含量增加了 200.0%,226.3%。与裸地浅沟相比,植被恢复后浅沟土壤养分含量显著增加,这与前人在红壤丘陵区的研究结果均一致^[9,19]。但与全国 0—10 cm 土层土壤 C,N 和 P 的平均含量(24.56,1.88,0.78 g/kg)相比^[20],裸地、草地和灌木地浅沟土壤 C,N 和 P 含量均低于全国平均水平。

表 4 土壤养分含量与生态化学计量特征相关分析

变量	C	N	P	C/N	C/P	N/P
C	1					
N	0.89**	1				
P	0.99**	0.85**	1			
C/N	-0.28	-0.68*	-0.23	1		
C/P	-0.93**	-0.72*	-0.96**	0.04	1	
N/P	-0.91**	-0.64	-0.95**	-0.08	0.97**	1

注:*表示显著相关($p<0.05$),**表示极显著相关($p<0.01$)。

植被恢复后,土壤养分虽然显著增加,但仍低于全国土壤的平均水平,且不同植被类型土壤养分的增

加量并不相同,这与土壤 C、N 和 P 的来源和保持机制有关。土壤 C 含量与生态系统中枯落物的分解速率密切相关,而不同植被类型枯落物蓄积量及特性存在差异,其分解速率也存在差异;土壤 N 素主要来源于动植物残体的分解、植被根系的固氮作用和大气氮沉降^[9],与土壤母质、枯落物分解速率和植物吸收利用率有关。而本研究中土壤母质相同,大气氮沉降影响较小,因此土壤 N 含量主要受动植物残体的分解速率和植被根系固氮作用的影响,这与不同植被类型土壤微生物量和土壤酶活性密切相关。本研究中土壤 P 含量显著低于全国平均水平,这与南方红壤区土壤 P 含量普遍偏低的结果一致^[21],P 素的缺乏导致微生物活动受到限制,影响土壤酶的分泌^[22],由此导致土壤 N 含量增加缓慢,因此今后在该区域进行人工恢复植被的过程中可适当增加磷肥的施用量。

不同植被类型浅沟土壤养分含量差异显著($p < 0.05$),这与植被的物种组成和结构层次有关,植被的多样化使得土壤动物、微生物量增加,活性增强,加快了植被枯落物分解速率,进而促进了枯落物养分的归还速率,使得土壤养分含量增加^[5];相关分析也得到了相同的结果,土壤 C 含量与 N 和 P 含量呈极显著的正相关关系,该结论与李占斌^[18]和张秋芳^[9]等的结论一致,说明枯落物的分解使得土壤 C 含量增加,进而促进枯落物 N 和 P 归还到土壤中,使得土壤养分含量增加。

土壤养分含量在浅沟不同部位间也存在显著差异(图 1)。总体上,浅沟沟底的土壤养分含量均最大,这种差异主要是由土壤侵蚀引起的。南方红壤区,以短时大暴雨为主的降雨类型以及强降雨侵蚀力导致了马尾松林下严重的浅沟侵蚀^[13,23],进而导致土壤养分流失。浅沟侵蚀过程中,在浅沟的沟坡和沟缘主要发生侵蚀和搬运作用,而在沟底主要发生沉积作用^[13],因此土壤侵蚀导致流失的养分一部分沉积在沟底,使得沟底土壤养分含量显著高于沟坡和沟缘。此外,沟底湿润的环境条件也有利于微生物的生存,进而促进枯落物的分解。

3.2 植被类型对浅沟土壤生态化学计量特征的影响分析

土壤 C/N、C/P 和 N/P 是反映土壤有机质组成和质量程度的重要指标,其大小主要受区域水热条件和土壤母质层的风化作用控制^[24]。土壤 C/N 是土壤质量的敏感性指标,与有机质的分解速率密切相关,一般有机质分解速率越快,C/N 越小^[9],本研究区裸地、草地和灌木地的 C/N 分别为 19.25、21.30、15.63(表 3),均高于全国土壤 C/N 平均水平(10.00~

12.00)^[5]。与裸地相比,植被恢复后,土壤的 C/N 在草地有所增加,但在灌木地有所减小,说明灌木地有机质的分解速率较快,导致土壤氮素的积累。其可能原因是草地的植被结构单一,枯落物种类单一,而灌木地植被多样,枯落物类型也多样,导致微生物群落的多样性和数量存在差异,进而影响枯落物的分解速率^[25];此外草地 C/N 的增加也可能是因为芒萁根系具有较强的固氮能力^[26],大量吸收土壤中的 N 素,导致土壤中 N 素较少,使得 C/N 增大。但整体而言,随着植被的恢复,土壤的 C/N 呈减小的趋势,其主要原因是随着植被的演替,植物的生物多样性越来越丰富,枯落物的分解速率越快,土壤的矿化作用也越强^[15],但土壤 C 含量的增加幅度小于 N 含量,使得土壤 C/N 的降低,同时也证实了土壤的 C/N 与有机质的分解速率呈反比^[2]。

土壤 C/P 作为 P 素矿化能力的标志,是衡量土壤矿化作用释放 P 素或微生物从环境中吸收和固持 P 素潜力的一个指标,反映了土壤 P 的有效性^[2,15,27]。本研究区裸地、草地和灌木地的 C/P 分别为 80.83、39.68、43.00(表 3),与全国土壤 C/P 平均水平(61.00)相比^[20],裸地的 C/P 高于全国平均水平,而草地和灌木地则低于。裸地由于土壤侵蚀,土壤养分流失严重,导致土壤 C/P 较大。植被恢复后,枯落物的分解释放了部分 P 素,使得 C/P 降低,但由草地到灌木地的正向演替过程中,土壤 C/P 呈增大的趋势,说明随着植被的演替,土壤有机质不断增加,但土壤 P 的有效性在降低,区域土壤 P 素偏低的环境逐渐成为植被恢复过程中限制植被生长的因子。此外 C/P 与 C、P 的相关分析也可以看出,研究区土壤 C/P 受 P 素的影响更明显。

土壤 N/P 可用作衡量 N 饱和的指标,用于确定植被群落 N、P 养分限制的一个重要指标^[2,9]。本研究区裸地、草地和灌木地的土壤 N/P 分别为 5.36、1.86、2.62(表 3),与全国土壤 N/P 的平均水平(5.20)相比^[20],裸地略大,但草地和灌木地均显著偏小。植被恢复后,N/P 显著减小,但由草地到灌木地则显著增大,这一结果与曾全超等^[11]的一致。而相关分析表明,N 素和 P 素表现为极显著的正相关关系,而 N/P 与 N 素不显著,与 P 素表现为极显著,说明该区域浅沟植被恢复后,植被的生长主要受 P 素的限制,进一步验证了研究区 P 素的缺乏成为制约该区域植被恢复的主要因子。

4 结论

红壤区林下浅沟土壤养分含量及其生态化学计

量特征受植被类型和浅沟部位的共同影响。与裸地浅沟相比,草地土壤的 C、N 和 P 含量分别增加了 67.7%, 51.1%, 200.0%, 灌木地分别增加了 84.6%, 127.0%, 226.3%, 但仍低于全国平均水平, 而土壤生态化学计量特征则显著减小(除草地的 C/N 外); 对于浅沟的不同部位, 由于侵蚀泥沙在沟底沉积, 导致浅沟沟底的土壤养分含量显著大于沟坡和沟缘($p < 0.05$), 但不同部位间的土壤生态化学计量特征没有明显差异; 相关分析表明, 土壤 C、N 和 P 含量间呈极显著正相关关系, N 含量是 C/N 的控制因子, P 是 C/P 和 N/P 控制因子。综上可知, 在红壤区林地浅沟植被恢复后, 虽然土壤养分含量显著增大, 但整体水平仍然偏低, 而 N 和 P 是该区植被恢复的限制性因素, 在植被恢复过程中适当施用氮肥和磷肥, 可加快植被恢复进程。

参考文献:

- [1] Liu R, Zhang W G, Jiang X L, et al. Study on the characteristics of degradation succession of *Elymus nutans* community and its correlation to soil properties [J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(10): 96-103.
- [2] 朱秋莲, 邢肖毅, 张宏, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(15): 4674-4682.
- [3] Elser J J, Sterner R W, Gorokhova E, et al. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. *Ecology Letters*, 2010, 3(6): 540-550.
- [4] 张雨鉴, 王克勤, 宋娅丽, 等. 滇中亚高山 5 种林型土壤碳氮磷生态化学计量特征[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(1): 73-82.
- [5] 吴鹏, 崔迎春, 赵文君, 等. 喀斯特森林植被自然恢复过程中土壤化学计量特征[J]. *北京林业大学学报*, 2019, 41(3): 1-14.
- [6] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [7] 章广琦, 张萍, 陈云明, 等. 黄土丘陵区刺槐与油松人工林生态系统生态化学计量特征[J]. *生态学报*, 2018, 38(4): 1328-1336.
- [8] 刘政, 田地, 黄梓敬, 等. 南方红壤侵蚀区不同恢复年限马尾松人工林土壤和叶片 N、P 养分含量及生态化学计量特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2019, 25(4): 768-775.
- [9] 张秋芳, 陈奶寿, 陈坦, 等. 不同恢复年限侵蚀红壤生态化学计量特征[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(2): 59-66.
- [10] Hobbie S E. Plant species effects on nutrient cycling: revisiting litter feedbacks [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(6): 357-363.
- [11] 曾全超, 李鑫, 董扬红, 等. 黄土高原延河流域不同植被类型下土壤生态化学计量学特征[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(11): 1881-1891.
- [12] 梁音, 张斌, 潘贤章, 等. 南方红壤丘陵区水土流失现状与综合治理对策[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(1): 22-27.
- [13] 杨文利, 朱平宗, 程洪, 等. 马尾松人工林地浅沟表层土壤颗粒的空间分布特征[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(4): 158-162.
- [14] 崔宁洁, 刘小兵, 张丹桔, 等. 不同林龄马尾松 (*Pinus massoniana*) 人工林碳氮磷分配格局及化学计量特征[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(2): 188-195.
- [15] 曹娟, 闫文德, 项文化, 等. 湖南会同 3 个林龄杉木人工林土壤碳、氮、磷化学计量特征[J]. *林业科学*, 2015, 51(7): 1-8.
- [16] 庞圣江, 张培, 贾宏炎, 等. 桂西北不同森林类型土壤生态化学计量特征[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(1): 17-23.
- [17] 路翔, 项文化, 刘聪. 中亚热带 4 种森林类型土壤有机碳氮贮量及分布特征[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 169-173.
- [18] 李占斌, 周波, 马田田, 等. 黄土丘陵区生态治理对土壤碳氮磷及其化学计量特征的影响[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(6): 315-321.
- [19] 区晓琳, 陈志彪, 姜超, 等. 植被恢复对亚热带侵蚀红壤团聚体养分分布的影响[J]. *水土保持学报*, 2016, 30(6): 230-238.
- [20] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Pattern and variation of C : N : P ratios in China's soils: a synthesis of observational data [J]. *Biogeochemist*, 2010, 98(1/3): 139-151.
- [21] Hou E Q, Chen C R, Wen D Z, et al. Phosphatase activity in relation to key litter and soil properties in mature subtropical forests in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 515/516: 83-91.
- [22] Huang W J, Liu J X, Wang Y P, et al. Increasing phosphorus limitation along three successional forests in southern China [J]. *Plant and Soil*, 2013, 364(1/2): 181-191.
- [23] 杨文利, 赵建民, 朱平宗, 等. 南方红壤区激水流域降雨侵蚀力时空特征[J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(3): 18-25.
- [24] 向云, 程曼, 安韶山, 等. 延河流域不同立地条件下植物—枯落物—土壤生态化学计量学特征[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(10): 1642-1652.
- [25] Bach L H, Grytnes J A, Halvorsen R, et al. Tree influence on soil microbial community structure [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(11): 1934-1943.
- [26] 聂阳意, 陈坦, 吕茂奎, 等. 植被恢复过程中芒萁覆盖对侵蚀红壤氮组分的影响[J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 181-188.
- [27] 陶冶, 张元明, 周晓兵. 伊犁野果林浅层土壤养分生态化学计量特征及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2239-2248.