

次降雨过程中北京市不同土地利用方式下土壤养分流失特征

史佳良, 王秀茹, 李淑芳, 李 宁

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 研究了次降雨过程中北京市不同土地利用方式下(草地、农田、林地和果园)土壤养分流失特征。结果表明:(1)在不同土地利用方式下,地表径流量的变化均随着降雨时间的增加呈对数变化趋势,在同一降雨时间内,地表径流量均表现为草地>农田>林地>果园。(2)草地泥沙流失量随降雨历时变化幅度较大,在降雨后期出现陡增陡降的变化趋势,其他 3 种土地利用方式下泥沙流失量的增加变化幅度较小;不同土地利用方式下泥沙流失量大小顺序为:草地>农田>林地>果园。(3)草地和农田地表径流量显著高于林地和果园($P<0.05$),地表径流量和壤中流均表现为:草地>农田>果园>林地;从壤中流总量变化特征来看,草地和农田产生的壤中流显著高于林地和果园($P<0.05$)。(4)不同土地利用方式下的泥沙积累量均随降雨历时而呈指数的变化趋势。(5)不同土地利用方式下水相氮磷流失量、泥沙氮磷流失量和氮磷流失总量均表现为:草地>农田>果园>林地。(6)降雨径流过程中,不同土地利用方式下磷的流失是以侵蚀泥沙相为主,氮素的流失以径流水相为主。(7)不同土地利用方式降雨前期土壤全氮和全磷含量大小基本表现为:草地>农田>林地>果园,泥沙 N 和 P 含量比雨前土壤表层 N 和 P 含量有所增加,说明侵蚀泥沙对 N 和 P 具有一定的富集作用,并且不同土地利用方式下侵蚀泥沙对 P 的富集高于对 N 的富集,综合比较可知,草地侵蚀泥沙富集养分的能力最高。(8)不同土地利用方式下泥沙量与侵蚀泥沙中全氮和全磷含量均存在显著或者极显著的正相关关系($P<0.05$),与土壤全氮和全磷含量存在不同的正相关关系(相关系数较低),说明侵蚀泥沙量的增加会引起泥沙中养分含量不同程度的增加效应,并且草地和农田侵蚀量与养分含量的相关系数高于林地和果园。

关键词: 土壤养分流失; 土地利用方式; 北京市

中图分类号: X171; S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)05-0058-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.05.010

Characteristics of Soil Nutrients Loss under Different Land Use Patterns in Beijing during Course of Rain

SHI Jialiang, WANG Xiuru, LI Shufang, LI Ning

(School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: Characteristics of soil nutrients loss under different land use patterns in Beijing during course of rain were studied. The results indicated that (1) The surface runoff under different land use patterns had a logarithmic change tendency with the increasing of rain, which ordered grassland>farmland>woodland>orchard. (2) The increasing range of soil erosion of grassland was larger, and farmland, woodland, orchard was lower, which ordered grassland>farmland>woodland>orchard. (3) The surface runoff and interflow of grassland and farmland were significantly higher than woodland and orchard ($P<0.05$), which ordered grassland>farmland>orchard> woodland. (4) The sediment accumulation under different land use patterns had a exponential function change tendency with the increasing of rain, which ordered grassland>farmland> woodland>orchard. (5) The nitrogen and phosphorus loss in water, sediment nitrogen and phosphorus loss and the total loss of nitrogen and phosphorus ordered grassland>farmland>orchard> woodland. (6) The loss of nitrogen was mostly in runoff water, and the loss of phosphorus was mostly in erosive sediment under different land use patterns. (7) The total content of nitrogen and phosphorus under different land use patterns at antecedent rainfall ordered grassland>farmland>woodland>orchard. The sediment ratio of N/P was higher than that of ratio of N/P at antecedent rainfall which indicated that erosion and sediment had an effect of nitrogen and phosphorus enrichment, and the nitrogen enrichment was higher than phosphorus enrichment, which the grassland had the most highest nutrients enrichment. (8) The sediment had a significant

收稿日期: 2016-05-02

资助项目: 国家自然科学基金(20134465); 林业厅创新课题(NZ20140506)

第一作者: 史佳良(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: shijialiang90@163.com

通信作者: 王秀茹(1957—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事流域管理、水资源及农田水利等研究。E-mail: wang_xr@163.com

or extremely significant positive correlation with the nutrients of sediment, and had a different positive correlation with the nutrients of soil, which implied that the sediment yield could cause the increase of various kinds of sediment nutrients.

Keywords: soil nutrients loss; land use patterns; Beijing

土壤是人类赖以生存和发展的重要保障和自然物质基础,土壤养分供应能够协调地上植被的生长和发展,从而促进土壤有机质、腐殖质的分解和循环等过程,能够反映出土壤质量和健康状况^[1-3],其中成土母质、气候环境、耕作和利用方式等导致土壤养分具有较大的分异和时空变化特征^[4-6]。水土流失主要是指地表物质在外营力的作用下发生物质再分配和位移的一系列自然过程,这种自然过程主要包括侵蚀、剥离、搬运、沉积等^[7-8]。近年来,国内外的研究大多集中在黄土高原区土壤侵蚀过程中的产流产沙动态变化特征,却忽略了在此过程中所伴随的土壤养分流失等一系列的生态环境问题^[9-11]。在降雨条件下,雨水通过入渗和径流下渗,当径流产生时,土壤表层受降雨冲刷的侵蚀,引起土壤养分的流失;另一方面,土壤侵蚀导致生产力降低,从而引发大量的生态和环境问题^[12-14]。随着农业经济的发展,我国可利用的土地面积不断减少,再加上人地之间的矛盾,从目前的研究结果来看,不同土地利用方式、施肥和管理模式对水土流失影响的研究较多,并且大多集中在土壤地表的侵蚀,并且基于流域或坡面尺度上的水土流失,关于该条件下土壤养分流失特征的研究相对较少^[15-17]。土地利用方式可以通过改变土壤的水热条件影响养分的循环过程,合理的土地利用方式能够改善土壤质地结构,增强土壤系统对外界的抵抗力;而不合理的土地利用方式则会降低土壤质量和加速土壤侵蚀和退化^[15]。随着人口的急剧增长和精细农业的发展,北京市可利用的土地利用资源呈逐年降低趋势,土地垦殖系数也居高不下,其中北京市可利用土地利用资源主要包括草地、农田、林地和果园等类型,而自然降雨导致土地资源和类型的多样变化,加剧了该区土壤侵蚀^[16],因此亟需了解北京市不同土地利用类型土壤养分分布及其流失规律^[17]。人工控制径流小区试验条件易控制,易量化和获得参数较多,是定量研究土壤侵蚀和养分流失的常用控制性试验方法^[17]。因此,本研究通过人工控制径流小区模拟试验,研究次降雨条件下北京市不同土地利用方式地表产流及其养分流失的动态过程特征,旨在明确北京市不同土地利用方式下水土流失及养分流失动态特征,为该地区生态恢复、培肥土壤、提高土壤质量提供一定的数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市位于华北平原西北边缘(39°26′—41°03′N,

115°25′—117°30′E),东西宽 160 km,南北长 170 km,最高海拔 1 000 m,最低海拔 10 m,属温带半干旱和半湿润的季风气候,夏季高温多雨,冬季干燥寒冷,四季分明,年平均气温在 8~12℃,时常伴有风沙,年极端最高气温 35~40℃,高寒山区年平均气温在 3~5℃,山区(海拔 800 m 以下)年平均气温为 9~11℃,无霜期较长,年均降水量为 600 mm,年际变化较大,80%的降雨集中在 7—9 月,土壤类型以潮土、褐土和砂姜黑土为主。

1.2 供试土壤

供试样品采自北京市不同土地利用类型的原状土壤(草地、农田、林地和果园),其中农田为玉米小麦轮作田地,草地为牧草地,以苜蓿为主,林地为刺槐林为主,伴生有灌木和草本植物,果园以鸭梨、糖梨为主,伴生有枣树等;采用单保庆等^[18]对于原状土取样方法,用土块大小为 1.5 m×1.5 m×0.5 m(长×宽×高,也即微型小区),取土样时,先用铁锹和铁锤挖取 20 cm×20 cm×50 cm 土体,取样过程中尽量保持土壤原状,然后将 16 个土块合并放入小木箱中,用原状土块填充缝隙,并适当压紧,自然状态放置半个月,当土体恢复到自然状态下再进行模拟的降雨试验。同时,取不同土地利用类型 0—20 cm 的表层土壤,剔除石块、植物根茎以及杂草,带回室内风干,过 2 mm 粗筛备用。试供土壤理化性质及肥力特征如表 1 所示。基于野外实地调查,每种土地利用方式重复 3 次,每个小区下垫面用带有空隙的混凝土,以固化防渗,保持一定的透水性,渗入土体中的水分可通过挡板上直径为 2 cm 的小孔,水分流入集水槽(收集壤中流),每个微型小区下部砌成 V 字形的集水水槽,通过 PVC 管连接径以收集径流。

1.3 试验设计

1.3.1 试验装置 目前国内关于大多数野外模拟降雨试验设备均是依据黄土高原气象条件所设计的。本文在分析研究区(北京市)近年来降雨规律和分布的基础上,选择适合该区的降雨试验设备,基于此背景,试验设定降雨强度为 80 mm/h,降雨历时为 1.0 h。本次模拟降雨装置为便携式人工模拟降雨器,购于西安清远公司,该设备降雨高度为 5.0 m,均匀度能达到 80%以上,降雨强度可以控制在 10~150 mm/h 范围内。降雨土槽是由 PVC 板组成(1.5 m×1.5 m×0.5 m,长×宽×高),土槽底部设有径流孔,

土槽径流孔径为 5.0 mm,径流孔随机分布,降雨器支架与土槽相连接,末端与手动滑轮相连接,可以调节和控制其坡度(调节范围 0°~15°),通过调节控制

小区的坡度基本相一致,控制在 5°~10°范围内,槽的一侧设置延伸槽,并开设孔径为 1 cm 的平行管孔,用于收集壤中流。

表 1 供试土壤理化性质特征

土地利用方式	不同粒级土壤机械组成/%			pH	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %
方式	1~0.05 mm	0.05~0.002 mm	<0.002 mm			
草地	10.23±2.36	59.54±5.13	30.23±3.25	6.87±0.26	0.68±0.31	46.78±2.65
农田	3.69±0.98	71.25±4.59	25.06±1.36	7.16±0.19	0.86±0.29	42.36±1.87
林地	15.36±3.14	64.18±3.68	20.46±2.96	6.22±0.25	0.94±0.25	48.92±3.54
果园	16.18±2.87	65.14±5.47	18.68±2.48	5.45±0.14	0.92±0.18	47.25±2.48
均值	11.37±5.75	65.03±4.82	23.61±5.17	6.43±0.76	0.85±0.12	46.33±2.80
F	89.65	75.32	94.17	65.23	59.14	77.15

1.3.2 降雨过程与分析测定 选择天晴、无风的天气,在前期降雨 24 h 后进行模拟降雨试验(降雨强度为 80 mm/h),模拟降雨直至坡面产流为止,然后用布覆盖后静置,使得土壤水分自由运动接近自然状态;每场降雨试验前对降雨强度进行 3 次测定和校正,其中 3 次的误差不超过 5%,从而保证降雨的强度和均匀度达到基本的试验要求。当上述各条件成熟时,按照上述基本条件在每个小区(合计 12 个微型小区)同时开展 3 场平行降雨的试验,降雨结束后静置 1 h,使土槽内部的土壤水分均匀分布,从坡面产流开始计时,记录径流产生的时间和初始降雨时间,同时观察和记录侵蚀的过程和动态,降雨历时 1 h,平均每 5 min 采集一次径流水样,然后测量各时段径流水的体积,同时收集产生的泥沙,取样时间间隔为 2 min,泥沙样品静置 48 h 后除去上层清水,经过热风干后称其重量,测定总氮和总磷含量,以降雨前的泥沙氮和磷含量作为对照,然后置于烘箱中(105 ℃)烘至恒重,测得径流泥沙含量;在降雨结束以后收集表层土壤测定 N 和 P 含量。

1.4 数据分析和样品的测定

上述收集的地表径流水样分为 2 部分:一部分测定总氮(TN)和总磷(TP)含量;另一部分水样过 0.50 μm 滤膜测定溶解态氮(DN)和溶解态磷(DP)含量。

TN 和 DN 含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894—89),TP 和 DP 含量采用钼酸铵分光光度法(GB11893—89),径流水相悬浮颗粒态氮(PN)和悬浮颗粒态磷(PP)采用差减法;土壤和泥沙中 TN 含量采用半微量凯氏定氮法,TP 含量采用碳酸钠熔融法^[19]。

利用 Excel 2003.0 和 SPSS 18.00 软件对数据进行分析,所有数据经过 SPSS 的参数拟合,在 P<0.01 进行曲线的选取,显著性分析采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式对地表径流和壤中流的影响

2.1.1 不同土地利用方式对地表径流的影响 由图 1 可知,北京市不同土地利用方式下,地表径流量均

随着降雨时间呈函数变化趋势(对数),并且不同土地利用方式曲线均达到极显著水平(P<0.01),其相关方程分别为:

草地: $y=1.151 \ln x+0.698, R^2=0.923\ 6, P<0.01$

农田: $y=1.035 \ln x+2.357, R^2=0.954\ 1, P<0.01$

林地: $y=1.284 \ln x+2.617, R^2=0.871\ 6, P<0.01$

果园: $y=1.249 \ln x+0.389, R^2=0.836\ 9, P<0.01$

式中:x 为降雨时间;y 为地表径流量。

由图 1 可知,降雨开始后地表产流量与降雨时间呈极显著正相关(P<0.01),在降雨产流初期,不同土地利用方式下地表径流量增加幅度较大,降雨历时达 20 min 以后,地表径流量缓慢增加并逐渐趋于稳定。在相同的降雨时间,地表径流量基本表现为草地>农田>林地>果园,局部有所波动。

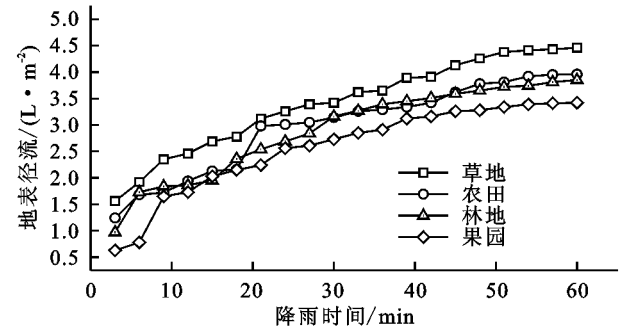


图 1 不同土地利用方式对地表径流的影响

2.1.2 不同土地利用方式对地表径流量及壤中流的影响

由图 2 可知,地表径流量和壤中流均表现为:草地>农田>果园>林地,草地和农田地表径流量显著高于林地和果园(P<0.05),其中草地和农田地表径流量差异不显著(P>0.05),林地和果园壤中流差异不显著(P>0.05),这主要是由于草地和农田土壤容重较小、孔隙度较大导致坡面输水量较大,积水和顺水能力较强,顺坡面流下形成径流,这也是草地和农田壤中流较高的主要原因之一;从不同土地利用类型壤中流的变化特征来看,草地和农田产生的壤中流显著高于林地和果园(P<0.05),这主要是受到土壤质地的影响,雨水在草地和农田在坡面停留时间较长,通过土壤孔隙下渗形成壤中流^[20-21]。

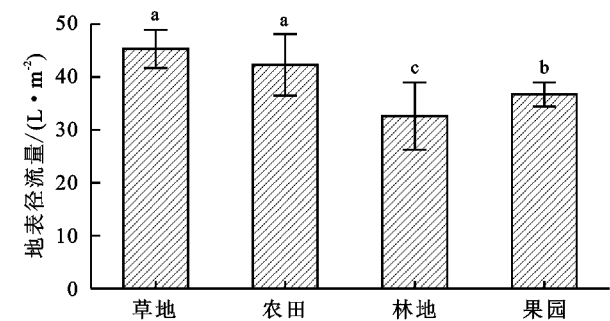


图 2 不同土地利用方式对地表径流及壤中流的影响

2.2 不同土地利用方式对侵蚀产沙的影响

2.2.1 不同土地利用方式对泥沙流失率的影响 由图 3 可知,不同土地利用方式下的侵蚀流失率随降雨历时呈现非线性的变化趋势,其中草地的泥沙流失量随降雨历时变化较大,降雨后期出现陡降或者陡增的变化趋势,降雨历时在 35~45 min 时达到峰值,其他 3 种土地利用方式下的泥沙流失量随降雨时间变化较小,基本保持平稳的变化趋势,而在降雨后期泥沙流失量有所降低。通过以上情况可知,草地对泥沙流失量的调控作用高于其他土地利用方式的调控作用。不同土地利用方式下的产沙过程随着降雨历时变化并不明显,在降雨开始,泥沙产生量较大,随着降雨历时的延续,在土壤表层形成了一层隔水膜,对泥沙的产生和位移起到了一定的缓冲和抑制作用,从而使得泥沙产生量呈逐渐降低并趋于平稳的变化趋势;同时,泥沙流失量的大小在一定程度上反映了对水土流失程度,草地的水土流失程度最大,其次是农田和林地,最后是果园。由图 3 还可知,草地、农田、林地和果园径流含沙量随降雨历时逐渐降低,由此说明不同土地利用方式径流对土壤坡面具有较强的冲刷力,主要是由于土壤的坡面结构导致穿透雨汇集,汇集到一定程度后产生细小的侵蚀沟,从而增强了径流对土壤颗粒的冲刷力和侵蚀力,由于侵蚀沟的存在导致不同土地利用方式下的含沙量变化趋势相一致^[20-21]。

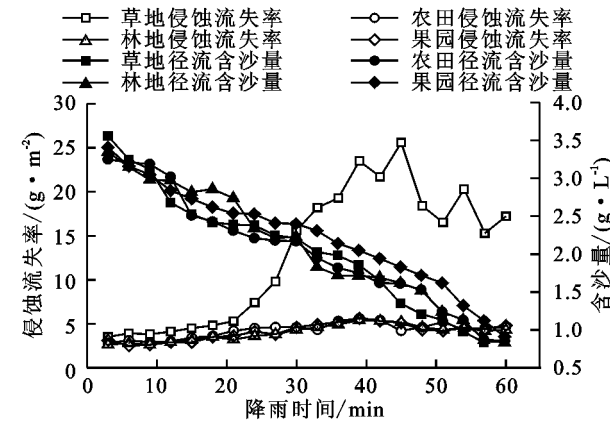
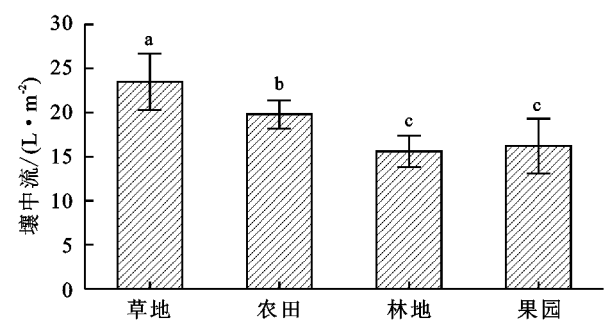


图 3 不同土地利用方式对侵蚀产沙的影响

2.2.2 不同土地利用方式对泥沙累积量的影响 由图 4 可知,不同土地利用方式下泥沙累积量均随着降雨



历时呈指数方程增加趋势,并且泥沙累积量与降雨历时呈极显著的正相关($P<0.05$),其相关方程分别为:

草地: $y=2.2567 e^{0.06366x}$, $R^2=0.9882$, $P<0.01$
农田: $y=2.0959 e^{0.05703x}$, $R^2=0.9855$, $P<0.01$
林地: $y=1.8388 e^{0.05522x}$, $R^2=0.9809$, $P<0.01$
果园: $y=1.6305 e^{0.05682x}$, $R^2=0.9738$, $P<0.01$

式中: y 为泥沙累积量; x 为降雨历时。

由图 4 可知,在整个径流发生的过程中,草地和农田的泥沙流失最为严重,并且随着降雨时间的增加而大幅度的增加,果园和林地的流失量均较小,由此可知,果园和林地对于土壤的控蚀效果较好,这与前人的研究结果一致^[22]。因此,建议果园和林地作为北京市减少水土流失较好的土地利用方式。

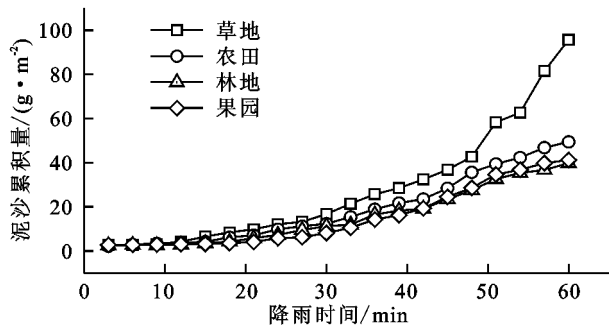


图 4 不同土地利用方式对泥沙累积量的影响

2.3 不同土地利用方式对降雨径流中氮、磷流失特征的影响

2.3.1 径流水相中总氮和总磷随径流过程的变化 在相同的降雨强度条件下,不同土地利用方式下水相和泥沙流失量中的氮和磷含量根据以下公式计算^[23]:

$$M=\sum_{i=1}^n c_i \times Q_i$$

式中: Q_i 为径流量; c_i 为径流中氮磷浓度。
经过计算得到结果如表 2 所示。由表 2 可知,在 80 mm/h 降雨强度下,不同土地利用方式下水相氮磷流失量、泥沙氮磷流失量和氮磷流失总量均表现为:草地>农田>果园>林地,上述结果在一定程度上表明了径流水相中 N 和 P 的流失量与土壤 N 和 P 含量的变化具有一致性。
2.3.2 径流水相中不同形态氮、磷流失特征 由图 5 可知,不同土地利用方式下径流中 DN 占 TN 的百分

比分别为:草地 35.2%,农田 26.7%,林地 31.4%,果园 23.5%;PN 占 TN 的百分比分别为:草地 64.8%,农田 73.3%,林地 68.6%,果园 76.5%。由此可知,不同土地利用方式下径流中氮素主要以 PN 为主,由此说明土壤中仅少量 DN 溶出随径流输出;由图 5 还可知,不同形态

磷的流失也具有相同的特征,不同土地利用方式下径流中 DP 占 TP 的百分比分别为:草地 62.3%,农田 57.2%,林地 73.1%,果园 65.4%;PP 占 TP 的百分比分别为:草地 37.7%,农田 42.8%,林地 26.9%,果园 34.6%,这说明土壤 P 的流失主要以 DP 为主。

表 2 径流水相中氮和磷流失量随径流过程的变化

土地利用方式	水相氮流失量			水相磷流失量			泥沙氮磷流失量		流失总量	
	TN	DN	PN	TP	DP	PP	TN	TP	TN	TP
草地	12.93±2.12	4.62±0.23	8.31±0.85	2.37±0.52	0.42±0.06	1.95±0.56	5.12±0.86	3.69±0.56	18.05±3.69	6.06±0.68
农田	11.33±1.56	4.11±0.65	7.22±0.76	1.88±0.63	0.35±0.09	1.53±0.54	4.65±0.91	2.85±0.72	15.98±5.23	4.73±0.58
林地	10.83±1.03	4.25±0.34	6.58±0.51	1.30±0.74	0.38±0.08	0.92±0.62	4.23±0.87	1.68±0.62	15.06±2.01	2.89±0.61
果园	10.06±2.15	3.62±0.41	6.44±0.84	1.30±0.56	0.27±0.05	1.03±0.78	3.58±0.92	1.52±0.38	13.64±3.14	2.82±0.72
均值	11.29±1.21	4.15±0.41	7.14±0.85	1.71±0.52	0.36±0.06	1.36±0.48	4.40±0.65	2.44±1.03	15.68±1.81	4.15±1.54
F	98.23	84.25	103.87	91.45	83.57	73.24	99.77	115.64	106.58	94.56

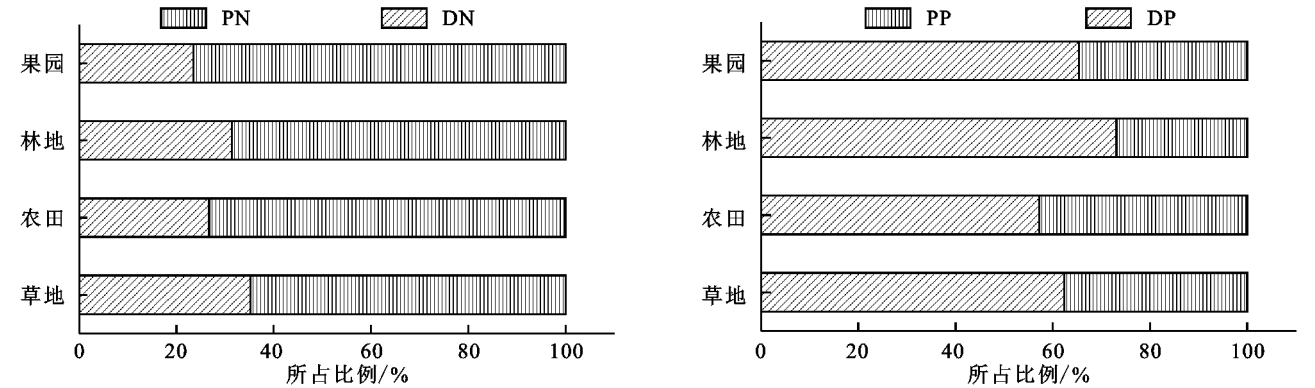


图 5 径流水相中不同形态氮、磷流失特征

2.3.3 侵蚀泥沙中氮磷流失特征 对侵蚀泥沙中 N 和 P 的累积流失量进行统计分析(图 6),由图 6 可知,N 和 P 流失总量大小均表现为草地>农田>林地>果园,其中林地和果园泥沙全氮和全磷含量差异不显著($P>0.05$);降雨前期土壤全氮和全磷含量大小均表现为草地>农田>林地>果园,降雨前期不同土地利用方式下土壤全氮含量差异均显著($P<0.05$),降雨前期草地和农田、林地和果园土壤全磷含量差异不显著($P>0.05$)。经过计算可知,不同土地利用方式下的泥沙 N 和 P 含量比雨前土壤表层 N 和

P 含量有所增加,说明了侵蚀泥沙对 N 和 P 具有一定的富集和累积作用;富集率是指侵蚀泥沙中养分含量与被侵蚀土壤中养分含量的比值。计算可得不同土地利用方式下泥沙流对 N 的富集率分别为:草地 1.27,农田 1.07,林地 1.05,果园 1.08;P 的富集率分别为:草地 1.33,农田 1.21,林地 1.30,果园 1.40。通过以上分析可知,侵蚀泥沙对养分的富集的能力与土壤质地组成有着密切的关系,不同土地利用方式下侵蚀泥沙对磷素的富集高于对氮素的富集,综合比较可知,草地侵蚀泥沙富集养分的能力最高。

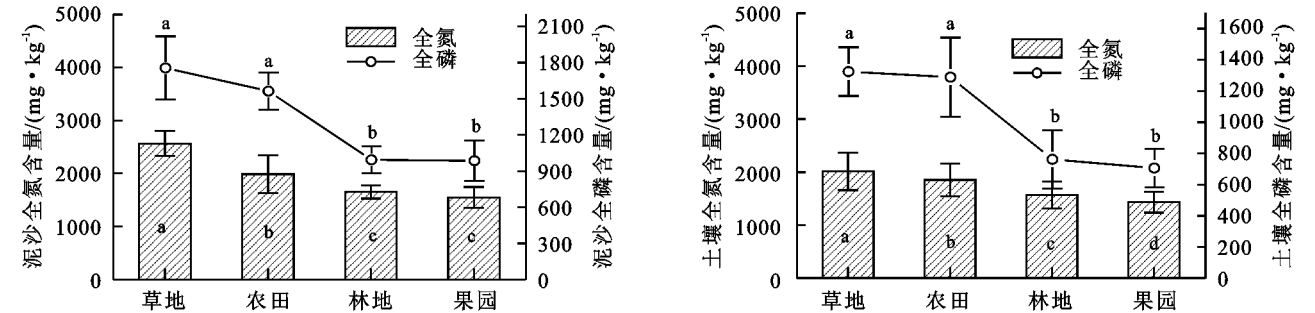


图 6 侵蚀泥沙和土壤中氮磷含量

2.3.4 侵蚀泥沙总体特征与侵蚀泥沙养分变化分析 通过对不同土地利用方式下侵蚀泥沙含量与泥沙养分含量进行相关分析。由表 3 可知,不同土地利用方式下泥沙量与侵蚀泥沙中全氮和全磷含量均存在显著或者极显著的正相关关系($P<0.05$),与土壤全氮和

全磷含量存在不同的正相关关系,其相关系数较低,说明了不同土地利用方式下侵蚀泥沙量的变化会导致泥沙中养分含量也不同程度的变化;而在相同的降雨条件下,N 和 P 含量与侵蚀泥沙含量的相关系数绝对值不尽一致,可能是由于侵蚀泥沙对 N 和 P 的吸附能

力不同所导致的。此外,草地和农田侵蚀流失率与养分含量的相关系数总体上要高于林地和果园。

表3 不同土地利用方式下侵蚀泥沙含量与
泥沙养分含量的相关分析

土地利用方式	泥沙全氮 含量偏相 关系数	泥沙全磷 含量偏相 关系数	土壤全氮 含量偏相 关系数	土壤全磷 含量偏相 关系数
草地	0.982**	0.862**	0.699**	0.578*
农田	0.903**	0.658*	0.369	0.365
林地	0.845**	0.569*	0.523*	0.241
果园	0.635*	0.547*	0.566*	0.189

注: * 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$ 。

3 结论

(1)不同土地利用方式下地表径流量均随着降雨历时呈对数变化趋势,径流量在降雨后期缓慢增加并逐渐趋于平稳;在相同的降雨历时下,地表径流量基本表现为草地>农田>林地>果园。不同土地利用方式下侵蚀泥沙量随着降雨历时呈现出非线性的变化趋势。草地泥沙流失量随降雨历时增加幅度较大,其他3种土地利用方式下泥沙流失量的增加幅度较小;不同土地利用方式下泥沙流失量大小顺序为:草地>农田>林地>果园,说明不同土地利用方式下径流对坡面的冲刷力度是较小的。

(2)草地和农田地表径流量显著高于林地和果园($P<0.05$),地表径流量和壤中流均表现为:草地>农田>果园>林地;从壤中流总量变化特征来看,草地和农田产生的壤中流显著高于林地和果园($P<0.05$)。

(3)不同土地利用方式下泥沙的积累量均随降雨历时呈指数变化趋势,整个径流过程中草地和农田的泥沙流失最严重。不同土地利用方式下水相氮磷流失量、泥沙氮磷流失量和氮磷流失总量均表现为:草地>农田>果园>林地,这表明径流水相中氮、磷的流失量与土壤氮、磷含量保持了一致性。

(4)草地、农田、林地和果园在降雨径流过程中,氮素的流失是以径流水相为主,侵蚀泥沙中氮流失较少,而磷的流失是以侵蚀泥沙相为主。氮和磷流失总量大小均表现为草地>农田>林地>果园,不同土地利用方式下的泥沙氮、磷含量较雨前土壤表层氮、磷含量有所增加,由此说明侵蚀泥沙对氮、磷具有一定的富集作用,并且不同土地利用方式下侵蚀泥沙富集磷素能力高于富集氮素能力,草地侵蚀泥沙富集养分的能力最高。

(5)不同土地利用方式下坡面泥沙量与侵蚀泥沙中全氮和全磷含量均存在显著或者极显著的正相关关系($P<0.05$),与土壤全氮和全磷含量存在不同的正相关关系,其相关系数较低,相同降雨条件下,草地和农田侵蚀量与养分含量的相关系数基本高于林地和果园。

参考文献:

[1] Condit R, Engelbrecht B M J, Pino D, et al. Species distributions in response to individual soil nutrients and seasonal drought across a community of tropical trees [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(13): 5064-5068.

[2] Johnson D W, Trettin C C, Todd D E. Changes in forest floor and soil nutrients in a mixed oak forest 33 years after stem only and whole-tree harvest [J]. Forest Ecology and Management, 2016, 361: 56-68.

[3] Perkins L B, Nowak R S. Native and non-native grasses generate common types of plant-soil feedbacks by altering soil nutrients and microbial communities [J]. Oikos, 2013, 122(2): 199-208.

[4] Elliott S, O'Brien J, Hayden T J. Impact of human land use patterns and climatic variables on badger (Meles meles) foraging behaviour in Ireland [J]. Mammal Research, 2015, 60(4): 331-342.

[5] Jokar Arsanjani J, Helbich M, Bakillah M, et al. Toward mapping land-use patterns from volunteered geographic information [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(12): 2264-2278.

[6] 刘秉正, 李光录. 黄土高原南部土壤养分流失规律 [J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 77-86.

[7] 康玲玲, 魏义长. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究 [J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 536-543.

[8] 马琨, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 16-19.

[9] 郑粉莉, 张成娥. 林地开垦后坡面侵蚀过程与土壤养分流失的研究 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 44-46.

[10] 白红英, 唐克丽, 陈文亮, 等. 坡地土壤侵蚀与养分流失过程的研究 [J]. 水土保持通报, 1991, 11(3): 14-19.

[11] Nearing M A, Foster G R, Lane L J, et al. A process-based soil erosion model for USDA: water erosion prediction project technology [J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(5): 1587-1593.

[12] Meyer L D, Wischmeier W H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water [J]. Transactions of the ASAE, 1969, 12(6): 754-0758.

[13] McIntyre D S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact [J]. Soil science, 1958, 85(4): 185-189.

[14] Singh G, Babu R, Narain P, et al. Soil erosion rates in India [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, 47(1): 97-99.

[15] Hedin L O, Armesto J J, Johnson A H. Patterns of nutrient loss from unpolluted, old-growth temperate forests: evaluation of biogeochemical theory [J]. Ecology, 1995, 76(2): 493-509.

[16] Fraterrigo J M, Turner M G, Pearson S M, et al. Effects of past land use on spatial heterogeneity of soil nutrients in southern Appalachian forests [J]. Ecological Monographs, 2005, 75(2): 215-230.