3 种典型河岸林土壤氮磷的空间分布格局及其影响因素

樊兰英, 郭晋平
(山西农业大学 林学院, 山西 太谷 030801)

摘 要: 通过等距离梯度密集采样,结合主成分分析和相关性分析,研究了 3 种河岸林土壤全氮和全磷的空间分布及其影响因素。结果表明,3 种河岸林全氮储量表层显著高于中层和底层;全磷储量层次性不明显。3 种河岸林中,云杉河岸林土壤的氮磷储量最大,青杨辽东栎混交林次之,落叶松辽东栎最小。影响全氮分布的主要因子为有机质和植被盖度;影响全磷分布的主要因素为土层厚度和土壤容重。

关键词: 河岸林; 全氮; 全磷; 空间分布
文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2012)02-0017-04 **中图分类号:** S158, S157

Spatial Distribution and Influencing Factors of N and P in Soils Under Three Types Riparian Forests

FAN Lan-ying, GUO Jin-ping
(*Forestry College, Shanxi Agriculture University, Taigu, Shanxi* 030801, *China*)

Abstract: Spatial distribution of total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) in soils under three riparian forests were studied with a dense equidistance sampling scheme. The results of correlation and principal component analysis showed that the contents of TN in surface soil were significantly higher than those in subsoil, while the contents of TP in surface were that almost same level with those in subsoil. The contents of TN and TP of the spruce forest soil were the highest, followed by the mixed forest of *Populus* and oak, and the soil under the mixed forest of larch and oak had lowest levels. The main factors affecting TN distribution were organic carbon and vegetation coverage, and soil depth and bulk density controlled the distribution of TP.

Keywords: riparian forest; total nitrogen(TN); total phosphorus(TP); spatial distribution

河岸带是受淡水有规律影响的半陆地过渡带,位于河溪两侧或湖泊周围,呈狭长带状。河岸带作为一种重要的生态交错带,具有明显的边缘效应,是地球生物圈中最复杂的生态系统之一[1-2]。河岸带同时也是氮、磷的储集库,发挥着氮与磷汇、源及转换器的功能,在氮、磷的生物地球化学循环中起着重要的作用[1,3]。河岸林是一个复杂而独特的生态系统,高碳的环境使其为硝化作用、反硝化作用提供了碳源,粗糙的地表和植物吸收促进了氮、磷的固定和转换,在去除污染物方面,比草地河岸带具有更高的效率[4-6]。

国内外关于河岸林的研究集中在植物群落及物种丰富度、河岸带的定义及宽度和河岸林的功能。尽管国内学者对各类土壤做过一些研究和探索,但对山地河岸林氮、磷积累与分布的研究还较少[7-10]。本研究通过对 3 类典型高地/河岸林植被连续体土壤氮、磷储量的研究,系统地比较 3 类河岸林不同层次土壤全氮和全磷的空间格局,综合分析了氮磷的分布特征,以及与环境因子的关系,以期为合理开发、利用、恢复和保护河岸林提供一定的理论依据。为进一步阐明河岸林对氮、磷滤除的各个分量及环境影响提供基础数据。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

文峪河上游位于吕梁山脉中断关帝山林区的庞泉沟国家级自然保护区。地理坐标为 111°21′—111°37′E,37°45′—37°59′N。气候属于受季风影响和控制的暖温带大陆性山地气候,年均气温 4.2 ℃,年均降水量 822.6 mm;年日照时数 1 900 ~ 2 200 h,无霜期 100 ~ 130 d。水文特征受大气候影响,每年的 7—8 月份为洪水期。流域地处吕梁山山脉断裂隆起的核心地带,属背斜构造,是由花岗岩隆起形成的亚高山山地。分

收稿日期: 2009-08-31 修回日期: 2011-04-08
资助项目: 国家自然科学基金项目"山地河岸林对氮磷输入的联合滤除功能和机制研究"(30970480); 教育部高等学校博士点基金项目"河岸带对高地面源污染物过滤功能的格局控制机制研究"(200801130002)
作者简介: 樊兰英(1982—),女(汉族),山西省晋城市人,博士研究生,主要从事河岸林滤除氮磷方面的研究。E-mail: flying-gy@163.com。
通信作者: 郭晋平(1963—),男(汉族),山西省原平市人,博士,教授,主要从事森林生态学研究。E-mail: jinpguo@126.com。

布的主要土壤类型有亚高山草甸土、山地棕色森林土、山地淋溶褐土、山地褐土、粗骨性褐土及褐土性土。该区自然植被茂盛，主要河岸林类型有云杉林、华北落叶松林、云杉落叶松混交林、山杨辽东栎混交林、落叶松辽东栎混交林和白桦林等；主要乔木树种有华北落叶松(*Larixgmelinii* var. *principis-rupperchtii*)、云杉[白扦(*Picea meyeri*)，青扦(*P. wilsonii*)]、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、红桦(*B. albo-sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)等[11-12]。

1.2 样地设置及取样

河岸林土壤生物地球化学的活跃期为夏季，在庞泉沟国家自然保护区，9月份平均气温为15 ℃，降水量显著减少，植物吸收水分趋于稳定。该试验于2009年9月初进行采样。选择该区域典型的河岸林设置调查分析样地(表1)。设置面积51 m×5 m的3条样带，样带之间距离相等，均为6 m。样带从溪流岸边起始，垂直于河流走向。在每条样带内，沿河岸带/高地方向以3 m为间隔设置等距离的梯度密集采样条带，每条条带设采样点3个。土壤层次划分为表层(0—15 cm)、中层(15—30 cm)和底层(30—50 cm)。野外共采集土壤样品486个。

1.3 土壤样品分析

在每个采样点、每层取3个重复样品，混合后用四分法取样1 kg带回实验室迅速风干待测。土壤含水量采用烘干法；pH值测定采用电位法；容重测定采用环刀法测定；有机质采用高温外加热重铬酸钾氧化—容量法；土壤全氮用全自动凯氏定氮仪法；全磷采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法[14]。试验数据采用DPS和SPSS 13.0进行差异性和相关性分析。

表1 研究样地概况

研究样方	含水量/%	pH值	有机质/(g·kg^{-1})	容重/(g·cm^{-3})	覆盖度/%
落叶松—辽东栎(LL)	18.579	6.386	5.485	1.375	45
青杨—辽东栎(QL)	23.753	7.001	10.619	1.077	75
云杉林(YS)	32.955	6.243	12.016	1.024	70

2 结果与分析

2.1 不同土层河岸林土壤全氮和全磷的分布比较

3类河岸林剖面全氮含量都呈现出表层>中层>底层的特征，且都表现出表层含氮量显著高于中层和底层(表2)。LL和QL剖面中层和底层含量差别不大，在YS剖面中层全氮与底层存在极显著差异。在淋溶层和淀积层中，全氮含量基本在2.224～4.147 g/kg范围内。

自然土壤中的磷素主要来源于成土母质和动植物残体归还，因此其含量主要受土壤类型和气候条件的影响[7,12]。在LL和YS河岸林土壤剖面，各层全磷含量差异不明显，QL河岸林表层全磷含量显著高于底层，中层介于两者之间。

表2 河岸林土壤剖面全氮和全磷的分布 g/kg

样方	元素	表层	中层	底层	中值
LL	N	3.772±0.822^{a}	2.632±0.805^{b}	2.102±0.482^{b}	2.835±0.457
	P	0.297±0.113^{a}	0.398±0.205^{a}	0.322±0.281^{a}	0.339±0.062
QL	N	6.648±3.201^{a}	3.001±0.717^{b}	2.345±0.551^{b}	4.037±1.172
	P	0.369±0.075^{a}	0.321±0.071^{ab}	0.274±0.082^{b}	0.321±0.044
YS	N	6.924±2.108^{a}	4.202±0.841^{b}	2.868±0.609^{cC}	4.646±1.069
	P	0.724±0.246^{a}	0.501±0.263^{a}	0.620±0.189^{a}	0.615±0.198

注：同行不同小写字母表示差异显著。样方编号LL，QL，YS分别代表落叶松—辽东栎样方，青杨—辽东栎样方和云杉林样方。下同。

2.2 不同类型河岸林土壤全氮和全磷的分布比较

3类河岸林中YS河岸林土壤在各层全氮含量均为最高。QL和YS河岸林表层土壤全氮含量显著高于LL河岸林(表2)。QL和LL河岸林中层土壤全氮含量差别不大，两者显著低于YS河岸林。底层土壤中，LL河岸林全氮含量显著低于YS河岸林，QL河岸林介于两者之间。YS河岸林土壤在各层全磷含量同样均为最高。在表层和底层，YS河岸林土壤全磷含量显著高于LL和QL河岸林，而LL和QL河岸林两者全磷含量差别不大。在中层，YS河岸林全磷含量显著高于QL河岸林，LL河岸林介于两者中间。YS河岸林的平均含氮量和含磷量均最高，与QL河岸林含氮量显著高于LL河岸林。QL和LL河岸林含磷量显著低于YS河岸林。

2.3　氮、磷分布影响因子的主成分分析

为了能更充分地反映起主导作用的综合指标，对表 3 中 7 个性状进行主成分分析。

根据累积贡献率≥85.00% 的标准[13]，本试验中有两个主成分入选，对于 3 类河岸林，其累积贡献率分别为 99.021%，96.873% 和 89.862%，包含了大部分信息。

表 3　7 个主要环境因子的的主成分分析

样方	特征根		贡献率		累积贡献率		特征向量						
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2	1	2	3	4	5	6	7
LL	406.09	114.57	77.23	21.79	77.23	99.02	0.066	−0.006	0.002	0.031	0.792	−0.094	0.019
							0.006	0.003	0.015	0.021	0.093	0.695	0.321
QL	345.84	61.10	82.33	14.54	82.33	96.87	0.006	0.003	−0.001	−0.011	0.746	−0.322	0.014
							−0.193	−0.008	0.002	0.037	0.317	0.827	0.421
YS	103.22	66.29	54.72	35.14	54.72	89.86	−0.095	0.007	0.005	−0.025	0.881	−0.463	0.189
							−0.101	0.003	−0.008	−0.022	0.453	0.885	0.532

注: Z_1 和 Z_2 为第一主成分和第二主成分; 1—7 分别代表土壤含水量、pH 值、容重、有机质、植被盖度、土层厚度和河岸带宽度。

第一主成分(Z_1) 对 3 类河岸林的贡献率分别为 77.23%，82.33% 和 54.72%，对应的特征向量以植被盖度值最大，因此把第一主成分称为植被因子。第二主成分(Z_2) 的贡献率分别为 21.79%，14.54% 和 35.14%，对应的特征向量中以土层厚度和河岸带宽度最大，故称第二主成分为土壤容积因子。植被因子和土壤容积因子能把全部测试指标提供信息的约 90% 反映出来。第二主成分土壤容积因子中，土层厚度的载荷量均大于河岸林宽度的载荷量(0.695 > 0.321; 0.827 > 0.421; 0.885 > 0.532)。

2.4　氮磷储量与环境因子的相关性分析

从表 4 可以看出，3 种河岸林土壤有机质含量与全氮含量密切相关，表层土壤中的枯落物和沉积物等氮的来源较多，造成表层土壤氮含量显著高于下层。植被盖度对全氮含量的影响较大，尤其在表层，植被盖度与全氮表现出极显著的相关性，植被盖度与 LL，QL 和 YS 的相关系数分别为 0.760($p < 0.05$)，0.839($p < 0.01$) 和 0.878($p < 0.01$)。

表 4　河岸带土壤全氮和全磷与环境因子的相关性分析

样方	因 子	表层全氮	表层全磷	中层全氮	中层全磷	底层全氮	底层全磷
LL	河岸带宽度	−0.224	−0.186	−0.519*	0.141	−0.318	−0.396
	土壤含水量	0.393	−0.386	0.127	0.013	0.209	0.178
	土壤容重	−0.321	−0.061	−0.503*	0.049	0.071	0.504
	土层厚度	0.005	0.586*	0.037	0.562*	0.415	0.108
	土壤 pH 值	−0.538*	0.400	0.037	−0.139	−0.105	−0.503
	土壤有机质	0.504*	−0.311	0.743**	0.499*	0.649**	−0.132
	植被盖度	0.760*	0.281	0.506*	0.433	0.045	−0.264
QL	河岸带宽度	−0.365	0.482	−0.253	−0.420	−0.335	−0.304
	土壤含水量	0.660**	−0.830**	0.394	−0.937**	−0.260	−0.757**
	土壤容重	−0.640**	0.904**	−0.195	0.958**	0.336	0.991**
	土层厚度	0.290	−0.381	0.136	0.224	0.319	0.440
	土壤 pH 值	0.400	−0.834**	0.428	−0.967**	−0.218	−0.940**
	土壤有机质	0.760**	−0.561*	0.683*	−0.228	0.323	−0.197
	植被盖度	0.839**	0.413	0.562*	0.609	−0.234	0.711*
YS	河岸带宽度	−0.694**	−0.215	−0.492*	−0.452	−0.365	−0.711**
	土壤含水量	0.291	0.442	0.086	0.424	−0.016	0.423
	土壤容重	−0.769*	0.511*	−0.577*	−0.095	−0.166	0.288*
	土层厚度	0.101	0.409	−0.388	0.536*	0.488*	0.646*
	土壤 pH 值	0.302	0.019	−0.294	−0.126	−0.246	−0.286
	土壤有机质	0.888*	0.111	0.519*	0.547*	−0.024	0.316
	植被盖度	0.878**	0.667*	0.631*	0.419	−0.008	−0.152

注: ** 表示在 0.01 水平上关系显著; * 表示在 0.05 水平上关系显著(双尾)。

影响LL河岸林各层全磷含量的因子为土层厚度,表层、中层与土层厚度的相关系数分别为0.586($p<0.05$)和0.562($p<0.05$)。影响QL河岸林全磷含量的因子较多,包括含水量、容重、pH值、植被盖度等,相关性较高的因子为土壤容重、含水量和pH值。土壤含水量与全磷含量呈显著负相关关系,3个层次的相关系数分别为-0.830($p<0.01$),-0.937($p<0.05$)和0.757($p<0.01$)。土壤容重与全磷含量呈现出极显著的正相关关系,3个土层的相关系数分别为0.904($p<0.01$),0.958($p<0.01$)和0.991($p<0.01$)。不同于LL和YS河岸林,土壤pH值与全磷含量负相关性较强。YS河岸林全磷储量的影响因子主要为土层厚度和容重,土层厚度与全磷含量呈显著正相关关系,随着剖面深度的增加,相关系数由中层的0.536增加到底层的0.646;土壤容重与全磷含量呈显著正相关关系。

3 结论

3类典型河岸林剖面全氮含量均表现出土壤表层显著高于中层和底层。相关性分析结果显示,土壤有机质含量与全氮含量密切相关。森林河岸林表层土壤中的枯落物和沉积物等氮的来源较多,造成表层土壤氮含量显著高于下层,与已有的研究结果一致[15]。植被盖度对全氮含量的影响较大,尤其在土壤表层,植被盖度与全氮表现出极显著的相关性。一方面由于较高的植被盖度具有相对丰富的凋落物;另一方面,在养分随水流由高地至河岸带的过程中,植物的物理阻碍作用及吸收都会将营养物滞留至土壤中。落叶松辽东栎混交林和云杉林河岸林土壤剖面,各层全磷含量差异不明显,没有明显的层次感。青杨辽东栎河岸林表层全磷含量显著高于底层,中层介于两者之间。这是由于自然土壤中的磷素主要来源于成土母质和动植物残体归还,其含量主要受土壤类型和气候条件的影响[16-17]。

落叶松辽东栎河岸林、青杨辽东栎河岸林和云杉林河岸林的植被盖度分别为45%,75%和70%。研究结果表明,云杉林河岸林的平均含氮量和含磷量均最高,云杉林河岸带与青杨辽东栎河岸带全氮储量显著高于落叶松辽东栎河岸林,植被盖度显然是全氮储量的重要影响因子。青杨辽东栎和落叶松辽东栎河岸林全磷储量显著低于云杉河岸林。在落叶松辽东栎河岸林,土层深度与全磷储量呈显著正相关关系。云杉河岸林全磷储量的影响因子主要为土层深度和容重,土层深度和土壤容重均与全磷含量呈显著正相关关系。分析结果表明,对于落叶松辽东栎河岸带和云杉河岸带,土层深度是土壤全磷含量的重要影响因子。对于青杨辽东栎河岸林,与全磷相关性较高的因子为土壤容重、含水量和土壤pH值。土壤含水量与全磷含量呈显著负相关关系;土壤容重与全磷含量呈现出极显著的正相关关系;土壤pH与全磷含量负相关性较强,青杨辽东栎河岸林土壤呈碱性(pH=7.001)。研究结果表明,云杉河岸林和青杨辽东栎河岸林土壤容重与全磷储量呈显著正相关关系。

综上所述,河岸林全氮储量表层显著高于中层和底层;全磷储量层次性不明显。3类河岸林,云杉河岸林的氮、磷储量最大,青杨辽东栎次之,落叶松辽东栎最小。影响全氮分布的主要因子为有机质和植被盖度;影响全磷分布的首要因素为土层厚度和土壤容重。云杉河岸林和青杨辽东栎混交河岸林较强的养分储备能力对河岸林功能的发挥有必要进一步深入研究。

[参考文献]

[1] 岳隽,王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望[J]. 地理科学进展,2005,24(5):33-40.

[2] Cooper A B, Smith C M, Smith M J. Effects of riparian set-aside on soil haracteristics in an agricul-tural landscape: Implications for nutrient transport and retention[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,1995,55(1):61-67.

[3] 夏继红,严忠民. 生态河岸带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报,2004,32(3):252-255.

[4] Haycock N E, Pinay G. Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during winter[J]. Journal of Envirofunental Quality,1993,22(1):273-278.

[5] Osborne L L, Kovacic D A. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management[J]. Freshwater Biology,1993,29(2):243-258.

[6] Jon E S, Karl W J, Williard J J, et al. Nutrient attenuation in agricultural surface runoff by riparian buffer zones in Southern Illinois, USA[J]. Agroforestry System,2005,64(2): 169-180.

[7] 崔东海,韩壮行,姚琴,等. 帽儿山林场不同河岸带植被类型土壤水分—物理性质[J]. 东北林业大学学报,2007,35(10):42-44.

[8] 白军红,邓伟,张玉霞. 莫莫格湿地土壤氮磷空间分布规律研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):79-81.

[9] 王庆成,于红丽,姚琴,等. 河岸带对陆地水体氮素输入的截流转化作用[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2611-2617.

[10] 刘方,黄昌勇,何腾兵,等. 不同类型黄壤旱地的磷素流失及其影响因素分析[J]. 水土保持学报,2001,15(2):37-41.

(下转第25页)

壤有机碳影响预测 [J]. 地域研究与开发,2006,25(3):94-99.

[12] 贾宇平,马义娟. 黄土高原小流域土壤总碳分布与储量研究 [J]. 水土保持通报,2005,25(5):17-24.

[13] 徐香兰,张徐彭. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析 [J]. 水土保持学报,2003,17(03):13-15.

[14] 魏孝荣,邵明安,高建伦. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳与环境因素的关系 [J]. 环境科学,2008,29(10):2879-2883.

[15] 薛萐,刘国彬,戴全厚,等. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变 [J]. 应用生态学报,2008,19(3):517-523.

[16] 李育材. 退耕还林还草工作回顾与总体思路 [J]. 林业经济,2001,22(9):3-9.

[17] 徐勇,田均良,沈洪泉,等. 生态重建模式的评价方法:以黄土丘陵区为例 [J]. 地理学报, 2004,59(4):621-628.

[18] 肖波,王庆海,尧水红,等. 黄土高原东北缘退耕坡地土壤养分和容重变异特征研究 [J]. 水土保持学报,2009,23(3):92-96.

[19] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征 [J]. 水土保持学报,2004,18(3):53-56.

[20] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学 [M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[21] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响 [J]. 中国农业生态学报,2007,15(4):53-56.

[22] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究 [J]. 水土保持学报,2008,22(1):7-12.

[23] 连纲,郭旭东,傅伯杰,等. 黄土高原小流域土壤容重及水分空间变异特征 [J]. 生态学报,2006,26(3):647-654.

[24] 吴建国,张小全,徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳储量的影响 [J]. 应用生态学报,2004,15(4):593-599.

[25] 苏永忠,赵哈林. 土壤有机碳储量、影响因素及其环境效应的研究进展 [J]. 中国沙漠,2002,22(3):220-228.

[26] 龙健,黄昌勇,李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响 [J]. 水土保持学报,2006,16(1):7679.

[27] Silveria A M, Victoria R L, Baliester M V, et al. Simulation of the effects of land use changes in soil carbon dynamics in the Piracicaba river basin, Sao Paulo State, Brazil [J]. Brasileira, 2000,35(2):389-399.

[28] Davidson E A, Ackeman I K. Changes in carbon inventories following cultivation of previously untilled soil [J]. Biogeochemistry, 1993,20(2):161-193.

[29] 李新宇,唐海萍,赵云龙,等. 怀来盆地不同土地利用方式对土壤质量的影响分析 [J]. 水土保持学报,2004,18(6):103-107.

[30] Smith J L, Paul E A. The Significance of Soil Microbial Biomass Estimations [M] //Bollag J M, Stotzky G. Soil Biochemistry. New York: Marcel Dekker, Inc., 1991:359-396.

[31] 王小利,段建军,郭胜利. 黄土丘陵区小流域表层土壤有机碳密度及其空间分布 [J]. 西北农林科技大学学版:自然科学版,2007,3(10):98-102.

[32] 刘守赞,郭胜利,王小利,等. 植被对黄土高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响 [J]. 自然资源学报,2005,20(4):529-536.

(上接第 20 页)

[11] 吉久昌,郭跃东,郭晋平,等. 文峪河上游河岸林群落类型及其生态适应性 [J],生态学报, 2009, 29(3):1587-1595.

[12] 白晋华, 朱宝才, 郭晋平. 关帝山林区文峪河流域植被景观空间格局研究 [J]. 山西农业大学学报:自然科学版, 2004,24(3) , 229-233,248.

[13] Lowrance R, Altier L S, Williams R G, et al. The riparian ecosystem management model [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000,55(1):27-34.

[14] Robert P G, James A E, Elaine R I, et al. Chemistry and microbial activity of forest and pasture riparian-zone soils along three Pacific Northwest streams [J]. Plant and Soil, 1997, 190(1):169-178.

[15] 黄玲玲. 竹林河岸带对氮磷截流转化作用的研究 [D]. 北京:中国林业科学研究院,2009.

[16] Nguyen L, Smith C M, Cooper A B. Impact of cattle treading on hill land: Soil physical properties and contaminant runoff [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 1998,41(2): 279-291.