

晋西黄土丘陵区不同人工林下土壤养分性质研究

陆晓宇, 张洪江*, 程金花, 马西军, 张君玉

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 为了研究晋西黄土丘陵区不同人工林下土壤养分特性之间的异同, 在该区选取了 4 种典型人工林配置模式, 对其土壤表层(0~20 cm)和下层(20~40 cm)土壤的有机质含量、全量养分(N、P、K)以及速效养分(N、P、K)、pH 值等进行了测定和比较, 并据此分析了不同人工林下土壤养分分布的特性。结果表明: 不同人工林模式下养分含量具有明显的层次性, 除全 K 外, 几种主要养分均存在表层(0~20 cm)高于下层(20~40 cm)的特征; 通过相关分析和主成分分析发现, 土壤有机质和全 N、速效 N 存在极显著正相关关系, 4 种人工林模式下土壤养分综合得分由高到低依次为针阔混交林、人工阔叶林、人工针叶林和灌木林。

关键词: 黄土丘陵区; 土壤养分; 人工林

中图分类号: S714.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)08-0081-04

Study on Soil Nutrients under Different Plantations in Loess Hilly Region in Western Shanxi

LU Xiao-yu, ZHANG Hong-jiang*, CHENG Jin-hua, MA Xi-jun, ZHANG Jun-yu

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

Abstract: To study the similarities and/or differences of soil nutrients under different plantations in the loess hilly region in western Shanxi, soil surface layer(0—20 cm) and lower layer(20—40 cm) under 4 typical plantation types were chosen, whose organic matter, nutrients(total N, P, K, available N, P, K) and pH value were measured and compared. The result showed that the nutrient content of different plantations had a significant vertical difference, and that in the surface layer (0—20 cm) was higher than the lower layer (20—40 cm) except total K. By correlation analysis and principal component analysis, a significantly positive correlation was shown between soil organic matter and total nitrogen, available nitrogen. And the general scores of soil nutrients under 4 kinds of plantation mode were ranked as follows: mixed forest, artificial broad-leaved forest, artificial coniferous forest and shrub forest.

Key words: loess hilly region; soil nutrients; plantations

黄土高原丘陵沟壑区是土壤侵蚀、土地退化以及水土流失最为严重的区域之一, 但随着人工植被的建立和恢复, 土壤质量得到修复、水土流失得到控制、生态环境得到改善, 这是因为人工林不仅具有显著的水土保持功能, 而且能够明显改善土壤肥力^[1-4]。目前, 有关人工林地土壤养分方面的研究已有很多, 但多集中在林地开垦后土壤养分退化^[5-6]、

不同植物群落下土壤养分特征^[7-9]方面, 而对于相同地形和生长条件下不同树种土壤养分的差异研究较少, 尤其针对晋西黄土丘陵区的研究更少。鉴于此, 以晋西黄土区 4 种典型的人工林为例, 对不同人工林纯林和混交林的土壤养分进行系统分析, 采用科学方法对现有的人工林养分模式进行评价, 探求土壤养分的最佳人工林树种配置模式, 旨在为黄土高

收稿日期: 2012-03-20

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(TD20112); 国家自然科学基金项目(30900866); “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD31B02)

作者简介: 陆晓宇(1987-), 男, 甘肃武威人, 在读硕士研究生, 研究方向: 水土保持。E-mail: luxiaoyu1987@gmail.com

* 通讯作者: 张洪江(1955-), 男, 河北易县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理研究。

E-mail: zhanghj@bjfu.edu.cn

原今后的土壤生态恢复提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省吕梁市中阳县境内的车鸣峪林场(111°04′~111°21′E、37°03′~37°20′N),属黄河流域典型的半干旱黄土丘陵区。该区属暖温带半干旱区,具有明显的大陆性季风气候,多年平均降水量为 500~550 mm,降雨集中在 7—9 月份(占全年降水量 70%以上),年平均蒸发量为 1 019.7 mm,年平均气温 5~6℃,极端最高气温为 35.6℃(1994 年 6 月 16 日),极端最低气温为 -24.13℃(1980 年 1 月 30 日),无霜期 125~150 d,≥10℃年积温为 2 500~3 000℃。土壤以黄绵土为主,该土壤养分条件差、水土流失严重。植被属于暖温带森林草原区。该区生态环境脆弱,自然资源长期利用不合理,天然植被受破坏严重,现有植被主要是自 2002 年采取退耕、封禁等措施形成的次生演替植被和人工植被。大部分林地是疏林地,林分稳定性差。该区人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、桑树(*Morus alba* L.)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等为主;灌丛主要包括锦鸡儿[*Caragana frutens* (L.) Koch]、黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)等天然灌丛;草本植被有铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、狗尾巴草(*Setaria viridis*)等形成的天然草地。

1.2 试验方法

以 4 种具有代表性的人工林模式——人工阔叶乔木林、人工针叶乔木林、人工针阔混交林和灌木林为试验群体,采样时为了消除林龄、郁闭度等差异对不同人工林土壤养分的影响,选择了 4 块树龄和郁闭度相近的人工林作为试验样地,详见表 1。各样地以梅花形布设 5 个采样点,按 0~20 cm、20~40 cm 分层取原状土,将每个样点土壤样品混合装入土壤袋,自然风干后剔除石块、根茎及各种新生体和侵入体,充分混合后研磨过筛,以测定其养分指标。

土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法—外加热法测定,全 N 含量采用湿烧—凯氏法测定,全 P 含量采用 HClO₄-H₂SO₄ 消化、钼锑抗比色法测定,全 K 含量采用 HF-HClO₄ 熔融、火焰光度法测定,水解性 N 采用碱解扩散法测定,速效 P 含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提、钼锑抗比色法测定,速效 K 含量采用 NH₄OAc 浸提、火焰光度法测定,pH 值采用电位测定法测定。

表 1 取样点基本概况

植被类型	树种	土壤类型	树龄/a	郁闭度
人工阔叶林	榆树	黄绵土	8	0.6
人工针叶林	油松	黄绵土	8	0.5
针阔混交林	榆树×刺槐×油松	黄绵土	8	0.6
人工灌木林	黄刺玫×锦鸡儿	黄绵土	8	0.6

1.3 数据处理

为研究不同人工林配置模式下土壤养分差异存在的机制,对不同养分与土层、树龄、配置模式进行描述性统计分析,之后采用相关性分析各养分指标之间的内在相关性,再采用主成分分析法对 7 个养分指标进行综合降维,将众多相关性指标化为少数几个相互独立的综合独立指标,以便于对不同人工林下的土壤养分进行综合打分,并作出合理比较,具体计算方法详见参考文献[10]。所有统计分析均利用 Excel 和 SPSS 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同人工林土壤主要养分的统计分析

由表 2 可以看出,人工阔叶林、人工针叶林和针阔混交林下土壤 0~20 cm 层的有机质含量要优于人工灌木林。4 种人工林中,针阔混交林的土壤有机质含量沿剖面方向变化最大,人工灌木林变化则较小。针阔混交林土壤 0~20 cm 层全 N、水解性 N 以及全 P 含量均明显优于其他 3 种人工林;人工阔叶林和人工针叶林土壤 0~20 cm 层与 20~40 cm 层的速效 P 含量差异较大;土壤全 K 含量最高的人工林为人工灌木林。

通过对 0~20 cm 与 20~40 cm 的土壤养分对比发现,除全 K 以外,几种主要土壤养分指标均呈现 0~20 cm 优于 20~40 cm 的趋势(表 2)。人工针叶林和针阔混交林下的有机质含量要优于人工阔叶林与人工灌木林,可能是由于油松等针叶树种产生的残体、腐殖质更加丰富,补充了土壤中的有机质所致。全 N、水解性 N 和有机质之间存在紧密的关系,针阔混交林下 0~20 cm 的土层在全 N 和水解性 N 方面同样优于其他人工林土壤。

对所有土壤样品的有机质、全 N、全 P、全 K、水解性 N、速效 P、速效 K 含量和 pH 值进行 K-S 检验(表 3),可以看出,在 5% 的水平上,各土壤性质指标均符合正态分布。所测样品 pH 值均值为 8.78,土壤为碱性土,其变异系数(CV)只有 0.97%,不同土样中的 pH 值差异并不大。有机质、全 N、水解性 N 和速效 P 的变异系数都超过了 40%,说明在所有指标中有机质、全 N、水解性 N 和速效 P 的差异较大。而全 P 和全 K 的变异系数相对较小,说明其差异程度较小。

表 2 不同人工林下的土壤养分差异

植被类型	土层/ cm	有机质/ (g/kg)	全 N/ (g/kg)	全 P/ (g/kg)	全 K/ (g/kg)	水解性 N/ (mg/kg)	速效 P/ (mg/kg)	速效 K/ (mg/kg)	pH
人工阔叶林	0~20	12.18	1.43	0.48	15.06	38.72	73.14	145.06	8.81
	20~40	6.54	1.22	0.47	14.59	24.69	48.43	120.75	8.83
人工灌木林	0~20	7.75	1.15	0.43	15.33	29.65	67.84	97.25	8.72
	20~40	7.36	1.12	0.41	15.46	26.60	62.67	61.75	8.77
人工针叶林	0~20	17.16	1.80	0.49	14.42	48.77	65.59	125.50	8.69
	20~40	10.66	1.08	0.39	14.58	26.70	23.04	75.00	8.78
针阔混交林	0~20	18.57	2.83	0.50	14.08	58.57	61.75	163.50	8.62
	20~40	8.08	0.75	0.38	14.92	26.47	39.39	111.00	8.63

表 3 试验样地土壤性质的描述性统计分析

项目	均值	标准差	最大值	最小值	CV/%	K-S 值	P 值
有机质/(g/kg)	9.77	5.41	24.82	3.18	55.34	0.805	0.536*
全 N/(g/kg)	1.34	0.68	3.02	0.37	50.89	0.635	0.814*
全 P/(g/kg)	0.46	0.07	0.60	0.32	14.90	0.521	0.949*
全 K/(g/kg)	14.88	0.98	16.90	12.50	6.56	0.637	0.812*
水解性 N/(mg/kg)	32.51	14.06	68.96	15.40	43.25	1.150	0.142*
速效 P/(mg/kg)	59.31	29.76	143.69	18.37	50.19	0.815	0.520*
速效 K/(mg/kg)	121.65	43.05	200.00	56.00	35.39	0.688	0.730*
pH	8.78	0.08	8.93	8.62	0.97	0.555	0.918*

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.2 不同人工林土壤养分指标间的相关性分析

为研究全效及速效 N、P、K,以及土壤有机质之间的关系,对所有森林植被群落下 0~40 cm 的土壤有机质、全 N、全 P、全 K、水解性 N、速效 P、速效 K 进行了相关分析(表 4)。由表 4 可知,土壤有机质

与土壤全 N、水解性 N 呈极显著正相关,相关系数分别为 0.549、0.882($P<0.01$);土壤全 N 与水解性 N 呈显著正相关($r=0.587, P<0.01$),与全 K 呈显著负相关($r=-0.451, P<0.05$)。而全 P 与速效 P、全 K 与速效 K 之间的相关性并不显著。

表 4 土壤几种主要养分之间的相关系数

土壤养分指标	有机质	全 N	全 P	全 K	水解性 N	速效 P	速效 K
有机质	1	0.549**	0.266	-0.156	0.882**	-0.112	0.252
全 N	0.549**	1	-0.019	-0.451*	0.587**	0.086	0.019
全 P	0.266	-0.019	1	0.051	0.321	-0.145	0.282
全 K	-0.156	-0.451*	0.051	1	-0.276	0.028	0.141
水解性 N	0.882**	0.587**	0.321	-0.276	1	0.116	0.208
速效 P	-0.112	0.086	-0.145	0.028	0.116	1	-0.041
速效 K	0.252	0.019	0.282	0.141	0.208	-0.041	1

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

2.3 不同人工林土壤养分主成分分析

在进行主成分分析之前,假定土壤有机质、全 N、全 P、全 K、水解性 N、速效 P、速效 K 同等重要。根据表 3 中 K-S 值可以看出,7 个指标均符合正态分布,因此,在主成分分析过程中不再对其进行标准

化。采用土壤养分指标的原始数据进行主成分分析。为了便于表达,用 $Prin_i$ 代表第 i 个养分综合指标,用 X_i ($i=1,2,\dots,7$)分别表示土壤有机质、全 N、全 P、全 K、水解性 N、速效 P 和速效 K。主成分分析结果见表 5 和表 6。

表 5 土壤养分主成分分析总方差解释数据

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%
$Prin_1$	2.634	37.632	37.632	2.634	37.632	37.632
$Prin_2$	1.479	21.123	58.755	1.479	21.123	58.755
$Prin_3$	1.039	14.841	73.596	1.039	14.841	73.596
$Prin_4$	0.719	10.274	83.870	0.719	10.274	83.870
$Prin_5$	0.691	9.874	93.745			
$Prin_6$	0.365	5.220	98.964			
$Prin_7$	0.072	1.036	100.000			

表 6 土壤养分主成分分析因子得分系数矩阵

项目	主成分			
	$Prin_1$	$Prin_2$	$Prin_3$	$Prin_4$
有机质(X_1)	0.342	0.091	-0.013	-0.203
全 N(X_2)	0.285	-0.289	0.000	-0.202
全 P(X_3)	0.136	0.437	-0.108	0.885
全 K(X_4)	-0.158	0.396	0.347	-0.255
水解性 N(X_5)	0.354	0.015	0.140	0.087
速效 P(X_6)	-0.001	-0.216	0.872	0.342
速效 K(X_7)	0.111	0.436	0.223	-0.579

由表 5 可见,提取的 4 个主成分已经能够解释 83.870% 的累计方差,基本能够反映土壤养分的变异信息,能够满足综合反映土壤养分的目的。

从表 6 可以看出 7 个养分指标在 4 个主成分中分别所占得分,第一主成分 $Prin_1$ 主要包含土壤有机质、水解性 N 的信息,第二主成分 $Prin_2$ 主要包含土壤全 N、全 K 的信息,第三主成分 $Prin_3$ 主要包含土壤速效 P 的信息,第四主成分 $Prin_4$ 主要包含土壤全 P、速效 K 的信息。通过表 6 的因子得分

矩阵,可以得出 4 个养分综合指标($Prin_1$ 、 $Prin_2$ 、 $Prin_3$ 、 $Prin_4$)的表达式:

$$Prin_1 = 0.342X_1 + 0.285X_2 + 0.136X_3 - 0.158X_4 + 0.354X_5 - 0.001X_6 + 0.111X_7 \quad (1),$$

$$Prin_2 = 0.091X_1 - 0.289X_2 + 0.437X_3 + 0.396X_4 + 0.015X_5 - 0.216X_6 + 0.436X_7 \quad (2),$$

$$Prin_3 = -0.013X_1 + 0.000X_2 - 0.108X_3 + 0.347X_4 + 0.140X_5 + 0.872X_6 + 0.223X_7 \quad (3),$$

$$Prin_4 = -0.203X_1 - 0.202X_2 + 0.885X_3 - 0.255X_4 + 0.087X_5 + 0.342X_6 - 0.579X_7 \quad (4).$$

将 4 种人工林下 0~20 cm、20~40 cm 的土壤养分含量数据代入式(1)~(4),计算各主成分的得分,再以各主成分的方差贡献率为权数,对所提取的得分进行加权求和,得到反映土壤养分状况的综合得分。4 种人工林的养分综合得分排序如下:针阔混交林>人工阔叶林>人工针叶林>人工灌木林。

表 7 不同植被群落下 0~40 cm 土壤养分综合得分

植被类型	土层/cm	$Prin_1$	$Prin_2$	$Prin_3$	$Prin_4$	综合得分	排名
人工阔叶林	0~20	31.996	54.899	106.566	-61.783	33.105	2
	20~40	22.437	48.783	77.540	-56.089	24.493	
人工灌木林	0~20	20.764	34.780	89.755	-36.131	24.769	4
	20~40	17.733	20.477	77.785	-17.031	20.793	
人工针叶林	0~20	35.299	48.246	96.737	-53.078	32.378	3
	20~40	19.455	34.726	45.435	-38.977	17.395	
针阔混交林	0~20	43.819	65.494	103.101	-75.940	37.823	1
	20~40	22.326	46.877	67.840	-53.751	22.849	

3 结论与讨论

4 种人工林下有机质、全 N、水解性 N 和速效 P 的差异较大。而全 P 和全 K 的值比较集中,差异程度较小。针阔混交林土壤 0~20 cm 层全 N、水解性 N 以及全 P 含量均明显优于其他 3 种人工林;人工阔叶林和人工针叶林土壤 0~20 cm 层与 20~40 cm 层的速效 P 含量差异较大;人工灌木林土壤全 K 含量最高。

4 种人工林土壤 0~20 cm 层的养分条件要普遍优于 20~40 cm,但 20~40 cm 层的全 K 要高于 0~20 cm 层(人工阔叶林除外)。由于上层土壤相对下层而言更容易直接接触到枯落物和腐殖质,能够更频繁参与地表的物质交换,同时存在更多土壤动物和土壤微生物,因此土壤养分条件更好。

使用主成分分析法对不同配置模式的人工林土壤进行打分排序,并在不同人工林树种配置之间对比发现,4 种人工林的养分综合得分排序如下:针阔混交林>人工阔叶林>人工针叶林>人工灌木林。

参考文献:

[1] 常庆瑞,安韶山,刘京,等.黄土高原恢复植被防止土地

退化效益研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):6-9.

[2] 常庆瑞,岳庆玲.黄土丘陵区人工林地土壤肥力质量[J].中国水土保持科学,2008,6(2):71-74,94.

[3] 王国梁,刘国彬,许明祥.黄土丘陵区纸坊流域植被恢复的土壤养分效应[J].水土保持通报,2002,22(1):1-5.

[4] Gale M R, Grigal D F, Harding R B. Soil productivity index: predictions of site quality for white spruce plantation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55: 1701-1708.

[5] 查小春,唐克丽.黄土丘陵林地土壤侵蚀与土壤性质变化[J].地理学报,2003,58(3):464-469.

[6] 孙波,张桃林,赵其国.我国中亚热带缓丘区红粘土红壤肥力的演化——Ⅱ.化学和生物学肥力的演化[J].土壤学报,1999,36(2):203-217.

[7] 张庆费,由文辉,宋永昌.浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响[J].应用生态学报,1999,10(1):19-22.

[8] 尹娜,魏天兴,张晓娟.黄土丘陵区人工林土壤养分效应研究[J].水土保持研究,2008,15(2):209-211,214.

[9] 安慧,韦兰英,刘勇,等.黄土丘陵区油松人工林和白栎天然林细根垂直分布及其与土壤养分的关系[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):611-619.

[10] 徐国祥.统计预测和决策[M].上海:上海财经大学出版社,2003:175.