

黄土丘陵沟壑区退耕地人工柠条林土壤养分特征及其空间变异

张振国^{1,4}, 黄建成², 焦菊英^{1,3}, 白文娟^{1,4}

(1. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 宁夏农林科学院 资源与环境研究所, 宁夏 银川 750021; 3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 应用时空互代方法, 以柠条林为例, 对黄土丘陵沟壑区不同利用年限人工林土壤养分特征、空间变异及其演变进行了系统的研究。结果表明, 该区人工林土壤肥力处于较低水平; 人工林表层土壤养分中速效磷和速效钾的空间变异性较大; 各环境因子对土壤养分有一定的影响, 海拔、坡度和坡向等环境因子与人工林地土壤养分间呈负相关关系, 坡位和地形与人工林地土壤养分间呈正相关关系。随着利用年限的增加, 人工林土壤养分各指标含量均增加, 与利用年限有显著的相关性。有机质、全氮、有效氮和速效磷的增加量不明显, 全磷含量保持相对稳定的水平, 速效钾经过多年积累有明显的增加。从土壤养分指数模型可以算出该区的人工林土壤有机质、全氮、有效氮约需 35 a 能达到中上等养分水平, 速效钾则约需 27 a 能达到中上等养分水平。

关键词: 土壤养分; 人工林; 空间变异; 黄土丘陵沟壑区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)04-0114-07

中图分类号: S157.5

Characteristics, Spatial Variability and Evolution of Soil Nutrients on Abandoned Artificial Forest(*Caragana korshinskii*) Lands in the Loess Hilly Region

ZHANG Zhen guo^{1,4}, HUANG Jian cheng², JIAO Ju ying^{1,3}, BAI Wen juan^{1,4}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Resource and Environment of Agriculture and Forestry, Yinchuan, Ningxia 750001, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry; Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The characteristics, spatial variability and evolution of soil nutrients in artificial forest lands (*Caragana korshinskii*) with different ages in the loess hilly and gully region are systematically studied through the approach of substituting the temporal serial for the spatial serial. Results show that soil nutrient contents on artificial forest lands are in a low level. Spatial variability of soil available phosphorus(AP) and spatial variability of available potassium(AK) are greater than those of other nutrients in top soils. The environment of factors affects soil nutrients to some extent. Correlation of soil nutrients with elevation, gradient and aspect is negative, while correlation of soil nutrients with position of slope and relief is positive. The soil nutrient contents increase with the increase in landuse year. Significant correlation is found between soil nutrient contents and landuse year. No significant increases in organic matter(OM), total nitrogen(TN), available nitrogen(AN) and available phosphorus(AP) are found with the increase in landuse year. Total phosphorus(TP) keeps a relatively stable content in different landuse years. However, AK increases significantly after the community of many years. From the formula of soil nutrient index(SNI), we can know that OM, TN, AN can reach the middle nutrient level after 35 years, and AK can reach the middle nutrient level after 27 years

收稿日期: 2006-12-20 修回日期: 2007-03-18

资助项目: 国家自然科学基金(40571094)和(40271074); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”项目(01140301)

作者简介: 张振国(1981-), 男(汉族), 山东省寿光市人, 在读硕士, 研究方向为植被恢复与环境效应评价。E-mail: zgzhang04@mails.gucas.ac.cn.

通讯作者: 焦菊英(1965-), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 博士, 研究员, 主要从事水土保持的环境效应研究。E-mail: jjjiao0ms.iswc.ac.cn.

on artificial forest land in the loess hilly and gully region.

Keywords: soil nutrient; artificial forest land; spatial variability; hilly and gully region on the Loess Plateau

植被建设是生态环境建设的重要内容,人工林在黄土高原水土保持及生态环境建设中占据重要地位,而柠条(*Caragana korshinskii*)是黄土丘陵沟壑区主要栽培人工林物种之一。柠条是锦鸡儿属(*Caragana*)植物栽培种的通称,为豆科灌木类植物,分布于黄土高原、河西走廊等地,具有强大的防风固沙和保持水土功能,同时又是优质的灌木饲料植物资源,具有较高的生态经济价值^[1-2]。已有的研究表明,柠条林地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^[1-3]。

有关人工林土壤养分方面的研究多集中在人工恢复过程中土壤养分的变化方面^[3-6],土壤肥力评价^[5,7],对土壤的培肥效应^[8]以及养分与生产力之间关系等方面^[9],而不同利用年限柠条林地的土壤养分演变的研究或者是时间序列不连续,或者是样地重复少,不具有统计学意义,因而难以准确反映土壤养分演变的真实情况。为此本研究以黄土高原主要的造林树种之一柠条为对象,系统研究黄土丘陵沟壑区退耕地人工林的土壤养分状况、时空变异及其与环境因子的关系,重点探讨人工林土壤养分的演变规律及其趋势,旨在为黄土高原退耕地有效进行人工林建设提供科学依据。本研究对西部的生态环境建设和退耕还林(草)工程的顺利实施,具有重要的理论意义和实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区的延安(属森林带北缘)、安塞(属森林草原带)和吴旗(属草原带),分别代表着黄土丘陵区典型的植被类型区和地貌气候条件。研究区属干旱半干旱气候,降水量 400~550 mm,年际变化大且年内分布不均。延安以梁状丘陵沟壑区为主,间或有大型孤立的峁状地形海拔变化 900~1400 m;安塞属典型的梁峁状沟壑区,地形复杂,梁峁连绵,沟壑纵横,海拔为 997~1731 m;吴旗属黄土高原梁状丘陵沟壑区,谷宽梁缓,间有少数残丘低峁,海拔 1233~1809 m。由于水土流失严重,地带性土壤已经损失殆尽,退耕地土壤主要为在黄土母质上发育起来的黄绵土。土质疏松,抗冲性差,水土流失严重,属极强度侵蚀区。土地利用类型主要有坡耕地、梯田、果园、乔木林地、灌木

林地、天然草地和荒坡地等。人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、柠条(*Caragana microphylla*)、小叶杨(*Populus simonii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)为主^[10-11]。

1.2 研究方法

(1) 野外调查。应用时空互代的方法(在一定的尺度内,以不同地点上选取不同年限的柠条林地来代替同一地点上生长的不同年限的柠条林地),在研究区内选不同利用年限的柠条人工林地 25 个,林地样方大小为 5 m × 5 m,在样方范围内按“S”形随机选取 6 个点,取 0—20 cm(部分样点取剖面样:0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm)土壤混合样,同时观测并记录样地的盖度及样点的地形、地貌、坡度、海拔及植被等环境因子。保证所选的样地土壤与成土母质类型一致,土壤没有因自然或者人为因素的作用而出现地形的变迁或明显的土壤物质再分配,并且柠条林营造和管理方法相同。研究样地的土壤类型为黄绵土,其基本情况见表 1。

另外,本次调查还选取了天然林地——辽东栎(*Quercus liaotungensis*)和灌木丛共 4 个样点的土壤剖面样作为比较。土壤样品经风干过筛(1 mm 和 0.25 mm)后保存,用于实验室分析测定。

(2) 土壤养分测定项目与方法^[12]。土壤有机质用重铬酸钾容量法—外加热法;全氮采用半微量开氏法;全磷用硫酸—高氯酸消煮—钼锑抗比色法分析;有效氮用碱解扩散法(康惠法)测定;速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾用醋酸铵浸提—原子吸收光谱法测定。

(3) 土壤养分指数的计算^[5]。用土壤养分指数(I_{SN} , soil nutrient index)来综合评价人工林地土壤养分水平。首先通过相对系数法将各养分指标量纲归一化,得到各个养分指标的隶属度值:

$$C_i = f_i / f_{\max}$$

式中: C_i ——各个养分指标的隶属度值; f_i ——各个养分指标的原始值; f_{\max} ——各个养分指标的最大值。

然后根据主成分分析中各个养分指标的公因子方差确定其权重系数,最后计算土壤的养分指数。

$$I_{SN} = \sum_{i=1}^6 K_i \cdot C_i$$

式中: K_i ——各个养分指标的权重指数; C_i ——各个养分指标的隶属度值。

表 1 研究样地的基本情况

编号	深度/cm	海拔/m	坡度/(°)	坡位	坡向	地形	林龄	盖度
1	0-20	1308	30	M1	阴1	梁坡	5	40
2	0-20	1269	26	U1	阳1	梁坡	8	50
3-5	0-60	1206~1342	28~33	U1, M1, L1	阴1, 阳2	梁坡	10	60
6	0-20	1324	27	U1	阳1	峁坡	12	70
7	0-20	1339	25	M1	阳1	梁坡	15	70
8	0-20	1236	27	U1	阴1	峁坡	20	75
9-10	0-60	1284, 1121	27~33	U1, M1	阴1, 阳1	梁、峁坡	21	65
11	0-20	1252	25	M1	阳1	梁坡	25	70
12-14	0-60	1134	30	M1, L2	阴2, 阳1	梁2, 峁1	27	75
15-19	0-60	1130~1283	5~30	U2, M1, L2	阴3, 阳2	梁3, 峁2	29	75
20	0-60	1197	26	M1	阴1	沟坡	30	80
21-23	0-20	1130~1285	21	M1, L2	阴1, 阳2	梁1, 沟2	33	85
24	0-20	1121	23	L1	阴1	沟坡	37	85
25	0-60	1108	20	L1	阳1	梁坡	41	90

注: U, M, L 分别表示上、中、下坡位; 坡位、坡向和地形描述中的数字代表样地个数。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分特征

人工林表层(0-20 cm)土壤养分特征见表2。与天然林相比,人工林土壤有机质、全氮、有效氮的平均含量仅为天然林的27.8%, 31.3%和31.6%。全磷、速效磷、速效钾的平均含量分别为天然林的

88.4%, 83.3%和67.2%。人工林土壤养分含量与天然林之间的差异较为显著。

依据黄土高原地区土壤养分的含量分级^[13], 研究区人工林土壤有机质、全氮、有效氮含量属于低水平, 尽管全磷含量处于中等偏上水平, 但由于柠条的吸收同化作用显著, 使得速效磷含量很低, 这表明该区人工林土壤肥力处于低水平。

表 2 人工林表层土壤养分统计性描述

项目	有机质/ (g·kg ⁻¹)		全氮/ (g·kg ⁻¹)		有效氮/ (mg·kg ⁻¹)		全磷/ (g·kg ⁻¹)		速效磷/ (mg·kg ⁻¹)		速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	
	人工林	天然林	人工林	天然林	人工林	天然林	人工林	天然林	人工林	天然林	人工林	天然林
样本	25	4	25	4	25	4	25	4	25	4	25	4
最大值	15.51	38.98	0.86	1.83	77.90	142.4	0.65	0.74	1.83	3.83	197.1	170.2
最小值	4.03	24.97	0.26	1.49	23.96	120.5	0.46	0.58	0.46	1.60	42.49	130.5
平均值	8.52	30.64	0.52	1.67	41.89	132.3	0.61	0.69	1.45	1.74	98.95	147.2
标准差	2.90	6.40	0.16	0.15	14.95	9.84	0.09	0.03	0.79	0.10	41.19	17.47
变异系数/%	34.03	20.88	30.33	8.84	35.68	7.43	14.75	4.34	54.41	5.62	41.62	11.86
F 值	6.39*		7.91*		8.3**		75**		6.04*		50**	

注: ①* 表示差异达到5%显著水平; ** 表示差异达到1%显著水平, 下同。

由于黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀严重, 人工林在未达到一定的郁闭度而发挥水土保持功能时, 其土壤侵蚀导致土壤表层养分的流失; 另一方面该地区人工林无肥料的投入, 故该地区土壤肥力较低。土壤全磷含量主要受母质中矿物成分和有机质积累情况的影响, 由于黄土母质中含磷矿物丰富^[8], 所以该区土壤全磷含量较高。同理, 速效钾含量相对较高, 也与黄土母质富含钾矿物有关。

在黄土丘陵沟壑区, 土壤养分对植物的有效性是决定植物生产力、植物分布的异质性和生活型的一个非常重要的因子。土壤养分是林木生长的基础, 肥力大小直接影响林木生长, 为了促进黄土丘陵沟壑区人工林可持续发展及减少土壤养分流失, 需要通过合理配置树种, 建立混交林, 保护林地枯枝落叶物, 提高降水的利用率, 适当增施氮、磷及有机肥等途径来改善该区人工林土壤肥力水平低下的状况。

表3 各指标间的相关系数

指标	有机质	全氮	有效氮	全磷	速效磷	速效钾
有机质	1					
全氮	0.975**	1				
有效氮	0.957**	0.975**	1			
全磷	0.744**	0.730**	0.795**	1		
速效磷	0.593*	0.574*	0.657**	0.725**	1	
速效钾	0.780**	0.740**	0.814**	0.746**	0.772**	1

对人工林土壤养分指标之间相关分析结果表明(表3),有机质、全氮和有效氮之间具有极显著的相关性,有机质与速效磷、全氮与速效磷之间有显著的相关性,其它指标之间也有较显著的相关性,这与前人分析研究结果较为一致^[14]。

2.2 土壤养分的空间变异性

土壤养分的空间变异性分析是土壤养分管理和合理施肥的基础,其变异系数是土壤性质的内在反映,能够区别不同土壤养分对外界条件的敏感性。对不同样点之间及土壤剖面不同层次间土壤养分的统计分析结果表明(表4),人工林表层土壤养分中速效磷和速效钾的变异系数较大,其次为有效氮、有机质,全氮变异系数较小,全磷的变异系数最小,与前人研

究基本相同^[15],这表明环境因子(坡度、坡向、坡位等)对土壤有机质及速效养分的影响较大。

根据人工林土壤剖面养分描述性统计,各种养分在剖面中的含量具有明显的层次性,表层(0—20 cm)养分含量最高,向下逐渐降低,40—60 cm 层次养分含量最低,并且表层(0—20 cm)与下层养分含量差异极为显著(全磷除外),而下层20—40,40—60 cm 间养分含量差异不显著,这与前人研究的植被对土壤养分的表聚效应相吻合^[16]。

从表4中也可以看出,除全磷各层次养分的变异系数较小外,其余各指标各层次养分的变异系数都较大,这也说明植被和环境因子对各层次土壤养分含量影响较大。

表4 人工林土壤剖面养分描述性统计

土壤养分	深度	样本数	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%
有机质/ (g·kg ⁻¹)	20	11	10.22	4.03	7.32A	1.85	25.32
	40	11	5.15	2.13	4.21B	0.92	21.89
	60	11	4.79	1.71	3.37B	0.78	23.23
全氮/ (g·kg ⁻¹)	20	11	0.66	0.26	0.46A	0.13	27.14
	40	11	0.40	0.13	0.28B	0.07	24.85
	60	11	0.30	0.12	0.23B	0.05	21.47
有效氮/ (g·kg ⁻¹)	20	11	49.88	23.96	35.04A	10.05	28.69
	40	11	45.86	9.31	19.10B	11.28	59.06
	60	11	22.82	7.93	12.67B	4.205	33.18
全磷/ (g·kg ⁻¹)	20	11	0.61	0.46	0.55A	0.04	6.64
	40	11	0.59	0.45	0.53A	0.03	6.41
	60	11	0.55	0.44	0.52A	0.03	5.36
速效磷/ (g·kg ⁻¹)	20	11	2.12	0.46	1.10A	0.60	54.09
	40	11	1.53	0.23	0.63B	0.37	59.02
	60	11	1.04	0.10	0.39B	0.26	65.71
速效钾/ (g·kg ⁻¹)	20	11	125.80	42.49	78.55A	25.77	32.80
	40	11	85.64	25.81	43.14B	17.60	40.79
	60	11	51.94	24.95	36.82B	9.10	24.71

2.3 环境因子对土壤养分的影响

黄土丘陵沟壑地区丘陵起伏,沟壑纵横,地形支离破碎,山坡地分布广泛,植被稀少,不同地形条件下土壤水分、养分含量不同。本研究将定性的坡位、坡向和地形因子赋以不同的编码,使其定量化:分别以1,2,3表示坡位的上坡、中坡和下坡;1,2表示阳坡和

阴坡;1,2,3表示梁坡、峁坡和沟坡。然后对养分和环境因子之间做相关性分析(见表5)。从表5可以看出,环境因子和土壤养分之间的相关性未达到显著性水平;海拔、坡度和坡向等环境因子与人工林地各土壤养分间呈负相关关系,即随着海拔升高和坡度增大,土壤养分含量降低,阴坡土壤养分含量大于阳坡;

坡位和地形与人工林地土壤养分间呈正相关关系,即土壤养分含量上坡>中坡>下坡,沟坡>梁坡>峁坡。这是由于随着坡度增加,降雨容易产生径流,造成坡面表层土壤养分的流失,使得土壤养分含量降低。在黄土丘陵沟壑区,下坡位的土壤侵蚀较上坡位

轻,并且下坡位能承受上坡位下来的径流和土壤中的养分。梁、峁、沟坡拦截降雨量的不同及热量分布不均,使得阴坡水分条件好于阳坡,沟坡水分条件好于梁峁坡,加之沟坡人为因素干扰少,因此阴坡和沟坡植被生长状况较好,有利于土壤养分的积累。

表 5 土壤养分与环境因子间的相关系数

土壤养分指标	海拔	坡度	坡位	坡向	地形
有机质	-0.3123	-0.0834	0.2867	-0.0341	0.3561
全氮	-0.2368	-0.0101	0.2374	-0.1681	0.1284
有效氮	-0.3824	-0.0989	0.2132	-0.0463	0.3873
全磷	-0.1068	-0.0038	0.0103	-0.0513	0.2937
速效磷	-0.0421	-0.0632	0.2308	-0.1687	0.1438
速效钾	-0.2556	0.1283	-0.0534	-0.2315	0.0816

2.4 不同利用年限土壤养分动态

土壤作为植物生长繁殖的基地,是植物群落的主要环境因子之一。土壤作为重要的生态因子,总是与植物(被)协同发展的。土壤状况直接影响着植物的生长发育,同时,植物在整个生长发育过程中也通过根系分泌物和枯落物等改善土壤的水、热、气、肥等理

化性质,植被与土壤的这种相互影响、相互促进的关系,是植被恢复演替的动力^[17]。研究其动态变化对了解、预测人工林土壤养分的演变趋势具有重要的指导意义。本研究样地包括了从幼林到成熟林各阶段的共 25 个样方,反映了柠条林生长过程中对土壤养分的影响作用。

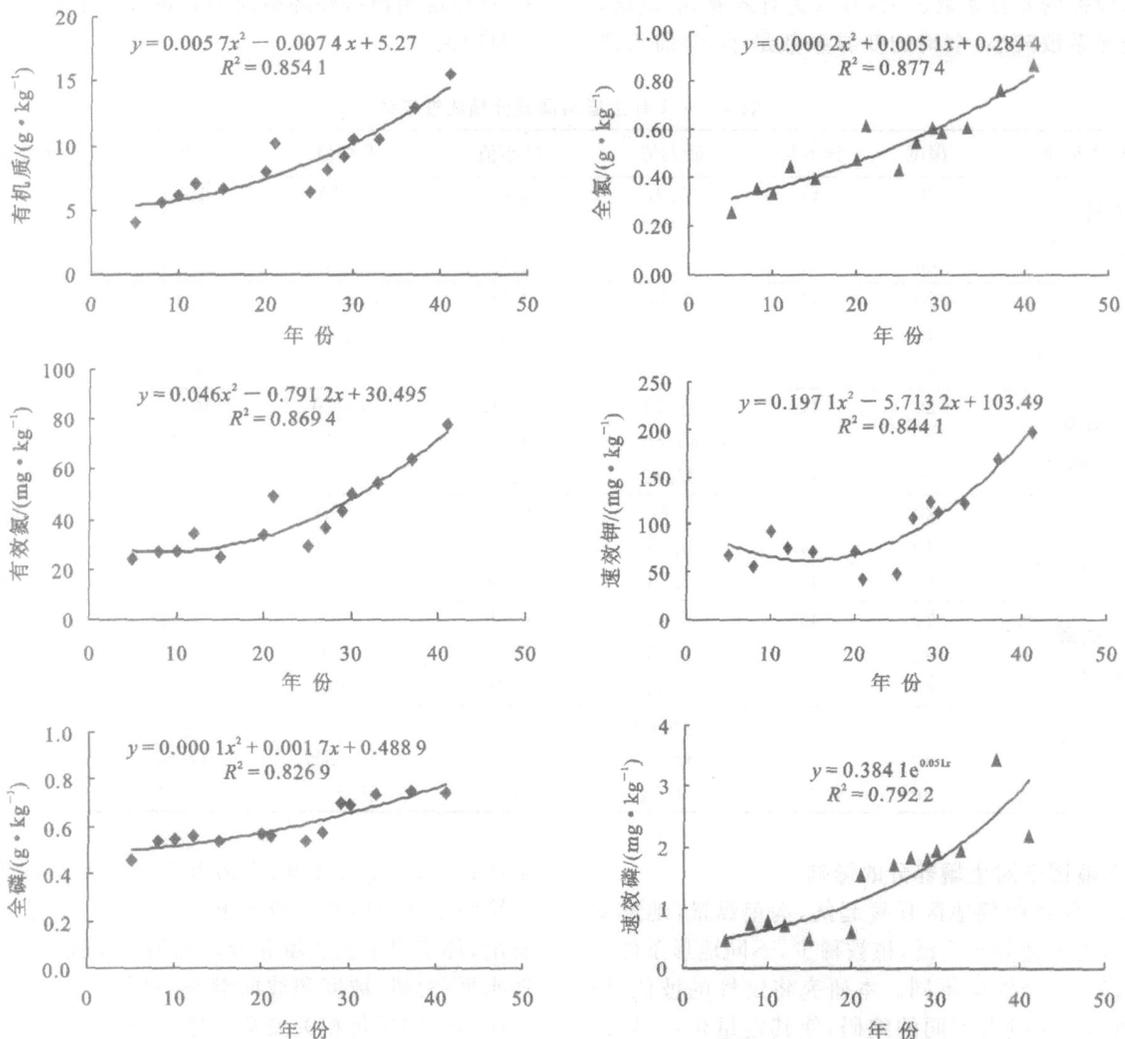


图 1 不同利用年限人工林土壤养分变化

从图1中可以看出,柠条林地土壤养分的各项指标随着林龄的增长均有不同幅度的增加,有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷和速效钾含量与林龄之间的关系可以用多项式函数来拟合,速效磷含量与林龄之间的关系可以用指数函数来拟合。从土壤养分与林龄间的函数关系式可以看出,除速效钾外各因子的系数较小,说明有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷的增加量不明显,速效钾经过多年积累有明显的增加,由最初的67.02 mg/kg到后期的197.10 mg/kg。全磷的系数最小,说明全磷含量保持一个相对稳定的水平,变化区间为0.5~0.7 g/kg,这是由于土壤中的全磷主要取决于土壤母质中矿物成分的多少^[8]。同时可以看出,有机质、全氮、速效氮、全磷和速效钾含量在林龄为20~30 a之间出现下降的趋势,速效磷则在林龄为10~20 a之间出现减少的现象。这是由于柠条生长到一定林龄后快速生长,吸收同化作用显著,使得土壤中各养分含量下降。

相关分析结果表明,柠条林地土壤全氮、有机质、有效氮和速效钾含量与柠条利用年限之间存在极显著的相关性($r_{\text{全氮}} = 0.930^{**}$, $r_{\text{有机质}} = 0.900^{**}$, $r_{\text{有效氮}} = 0.876^{**}$, $r_{\text{速效钾}} = 0.775^{**}$, $n = 25$);全磷和速效磷与利用年限之间相关性达到显著水平($r_{\text{速效磷}} = 0.562^*$, $r_{\text{全磷}} = 0.586^*$, $n = 25$)。刘增文等人对黄土丘陵区柠条林土壤养分状况的研究认为,柠条林地土壤养分状况与生长年限关系不大,这与本研究结果有一定的差异^[18]。

2.5 土壤养分动态演变

为了综合评价人工林地土壤养分水平及其动态变化,本研究借助主成分分析计算了不同利用年限的土壤养分指数。利用前文介绍的方法,计算出不同利用年限人工林土壤养分指数(图2)。从图2可以看出,随着林龄的增长,柠条林土壤养分指数相应增加。二者之间的关系可以用二次多项式来表示,并且二者呈极显著的相关性,相关系数为0.933^{**}。

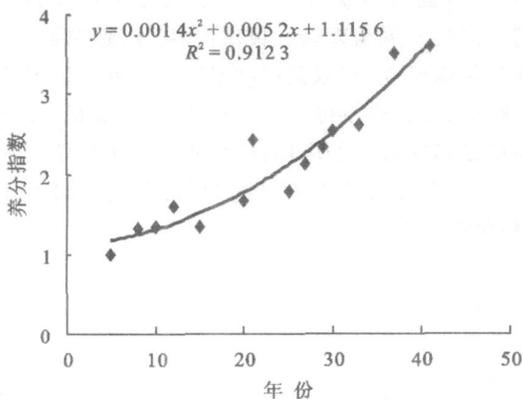


图2 不同利用年限人工林的土壤养分指数

从这个模型中可以计算出黄土丘陵沟壑区人工柠条林地土壤有机质、全氮、有效氮和速效钾各指标的增长率,养分指数年增长率为0.06。据此可以算出该区人工林地有机质、全氮、有效氮及养分指数约需35 a才能达到中上等养分水平,速效钾约需27 a才能达到中上等养分水平。

从以上结果可以看出,人工林土壤养分的恢复需要一个漫长的过程。由于柠条生长到一定林龄后,就会出现部分营养元素的缺乏,加之人们对当地的柠条林缺乏必要的土壤管理,当林分郁闭以后,土壤养分矿化率降低,土壤内的养分便无法满足柠条林快速生长的需求,再加上黄土高原干层的存在,使得柠条林生长到一定林龄后出现衰退的现象^[19]。从土壤肥力恢复的角度对该林分的管理以及合理配置树种都需要深入研究。

黄土丘陵沟壑区土壤贫瘠,养分有效性差,柠条却能旺盛生长,这种现象说明柠条能够提高养分的有效性,具有较强的自肥能力,加之根系极其发达,使其表现出极强的生态适应性,因此土壤肥力在一定程度上能够恢复。

3 结论

(1) 黄土丘陵沟壑区人工柠条林土壤养分除速效钾外,其它各养分含量均偏低,说明该区人工林土壤肥力处于低的水平,各养分指标之间的相关性较强。人工林表层土壤养分中速效磷和速效钾的空间变异性较大,并且各种养分在剖面中的含量具有明显的层次性,表层与下层养分含量差异极为显著。剖面各层次养分除全磷外的变异系数都较大,说明环境因子对各层次土壤养分含量影响较大。

(2) 总的说来,海拔、坡度和坡向等环境因子与人工林地各土壤养分间呈负相关关系,即随着海拔升高和坡度增大,土壤养分含量降低,阴坡土壤养分含量大于阳坡;坡位和地形与人工林地土壤养分间呈正相关关系,即土壤养分含量上坡>中坡>下坡,沟坡>梁坡>峁坡。

(3) 随着利用年限的增加,人工林土壤养分各指标含量均增加,与利用年限有显著的相关性,可以用二次多项式 $y = aX^2 + bX + c$ 模型进行拟合。有机质、全氮、有效氮和速效磷的增加量不明显,全磷含量保持相对稳定的水平,速效钾经过多年积累有明显的增加。从土壤养分指数模型可以算出各指标的增长速率,结果表明该区的人工林土壤有机质、全氮、有效氮约需35 a能达到中上等养分水平,速效钾则约需27 a才能达到中上等养分水平。

[参 考 文 献]

- [1] 牛西午, 张强, 杨治平, 等. 柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(4): 628—624.
- [2] 安韶山, 黄懿梅. 黄土丘陵区柠条林改良土壤作用的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(1): 70—74.
- [3] 张庆费, 宋永昌, 由文辉. 浙江天童森林公园植物群落演替对土壤物理性质的影响[J]. 植物资源与环境, 1997, 6(2): 36—40.
- [4] 张庆费, 宋永昌, 由文辉. 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.
- [5] 张庆费, 宋永昌, 由文辉. 浙江天童常绿阔叶林主要演替阶段凋落物与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 174—178.
- [6] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 41—44.
- [7] 许明祥, 刘国彬, 卜崇峰, 等. 黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价[J]. 西北植物学报, 2003, 36(1): 47—52.
- [8] 李瑞雪, 薛泉宏, 杨淑英, 等. 黄土高原沙棘刺槐人工林对土壤的培肥效应及其模型[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 14—21.
- [9] 郝文芳, 单长卷, 梁宗锁, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区人工刺槐林土壤养分背景和生产力关系研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 129—135.
- [10] 侯庆春, 韩蕊莲, 李宏平. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有问题的研究[J]. 土壤水分状况及植被建设区划, 水土保持研究, 2000, 7(2): 102—110.
- [11] 温仲明, 从怀军, 焦峰, 等. 黄土丘陵沟壑区小叶杨林生长的空间异分析[J]. 水土保持通报, 2005, 25(1): 15—18.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [13] 贾恒义, 彭琳, 彭祥林. 黄土高原区土壤养分资源分区及评价[J]. 水土保持学报, 1994, 8(30): 22—28.
- [14] 刘世全, 高丽丽, 蒲玉琳, 等. 西藏土壤磷素和钾素养分状况及影响因素[J]. 水土保持学报, 2005(1): 75—78.
- [15] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y. Geostatistical analysis of soil properties of mid west Taiwan soils[J]. Soil Sci, 1997, 162(4): 291—298.
- [16] 黄和平, 杨劼, 毕军, 等. 黄甫川流域植被恢复对改善土壤肥力的作用研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(3): 37—40.
- [17] 马祥华, 焦菊英. 黄土高原植被恢复与土壤环境相互作用研究进展[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 157—161.
- [18] 刘增文, 李雅素. 黄土丘陵区柠条林地养分状况及其循环规律[J]. 生态学杂志, 1997, 16(6): 27—29.
- [19] 盛伟彤. 人工林地力衰退研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

欢迎订阅 2008 年《水土保持通报》

《水土保持通报》创刊于 1981 年, 双月刊, 中文版, 属环境科学类学科, 连续 4 届被认定为我国中文核心期刊。主管单位为中国科学院, 由中国科学院水利部水土保持研究所与水利部水土保持监测中心联合主办。为《中国科技论文统计源期刊》, 《中国科学引文数据库统计源期刊》, 《中文核心期刊要目总览》, 以及日本《科学技术文献速报(JICST)》, 《中国期刊精品荟萃》等收编。本刊为大 16 开, 180 页/期。刊号为: ISSN1000-288X, CN61-1094/X。国内邮发代号: 52-167, 国外发行代号: 4721BM, 定价: 14.0 元/册。

办刊宗旨: 紧密跟踪水土保持学科的发展动向, 及时报道本学科前沿领域的科学理论、技术创新及其实际应用研究最新成果, 积极引导和推动水土保持学科和水土保持实践的发展与繁荣。报道内容: 土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动态; 水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果; 水土流失治理措施与效益分析; 水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究; 计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用; 国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。读者对象: 从事水保科技研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员; 国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科科教人员及大专院校师生。

地址: 陕西省杨凌区西农路 26 号《水土保持通报》编辑部

邮编: 712100

电话: (029) 87018442

E-mail: bulletin@ms.iswc.ac.cn

http://www.iswc.ac.cn