

黄土高原油松人工林地土壤养分及化学性质的时空效应^{*}

耿增超^a, 张社奇^b, 王国栋^b, 刘建军^c

(西北农林科技大学 a 资源环境学院; b 理学院; c 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 研究了黄土高原油松人工林土壤养分及化学性质的时空分布特征。结果表明, 油松林地土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量及pH 值随树龄增加无确定的变化规律; 土壤全磷含量随树龄增加按幂函数衰减; 土壤交换性钙含量和交换性盐基总量随树龄增加按Logistic 模型变化; 交换性镁含量随树龄增加按幂函数递增; 油松林地土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量随土壤深度的增加按幂函数衰减, 土壤全磷、交换性钙和交换性镁含量及交换性盐基总量随土壤深度增加无确定变化规律, 但土壤pH 值随深度增加按幂函数增加。与撂荒地相比, 油松林地土壤有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、交换性钙、交换性镁含量及交换性盐基总量分别增加了46.4%~317.9%, 18.7%~234.5%, 174.8%~290.3%, 19.7%~53.3%, 0.6%~54.7%, 74.1%~102.6%, 6.0%~47.1%和83.7%~114.2%, 速效钾则出现了表面富集化现象。表明油松林能够有效改善土壤的养分状况。

[关键词] 油松纯林; 树龄; 土壤深度; 土壤养分状况; 阳离子交换

[中图分类号] S714.5; S791.254.02

[文献标识码] A **[文章编号]** 1671-9387(2006)08-0098-07

油松(*Pinus tabulaeformis*)是黄土高原主要的水土保持树种之一。由于其耐干旱贫瘠、适应性强, 在我国干旱和半干旱地区生态环境建设中具有重要地位。近年来, 我国有关油松人工林地的研究^[1-6]主要集中在水分平衡和养分循环方面, 而有关油松林地土壤养分时空效应的系统性研究还不多见。本试验以渭北黄土高原油松人工林为研究对象, 探讨了不同树龄和不同土壤深度下的土壤养分及化学性质的变化规律, 旨在为黄土高原地区人工油松林的合理经营提供科学依据。

1 研究区自然概况

研究区样地选在陕西省耀县柳林林场。该林场位于北纬35°00′~35°20′, 东经108°45′~108°55′, 最高海拔1 734 m, 最低海拔850 m。岩石主要有灰岩、砂页岩和砂砾岩; 土壤以碳酸盐褐土、普通褐土和褐土型粗骨土为主; 土层厚度约为1 m。该地区属暖温带半湿润半干旱大陆性气候, 年平均气温12.5℃, ≥10℃的活动积温2 929℃, 无霜期228 d, 年降雨量571 mm, 多集中在7~9月。主要植被有栎类

(*Quercus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*, 引进)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus davidiana* Dode)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana* Decne)、胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、绣线菊(*Spiraea wilsonii*)、蒿类(*Artanisia* spp.)和白草(*Pennisetum centasiaticum* Tzvel.)等。

2 研究方法

2.1 样地的选设

于2002-08在陕西耀县柳林林场分别选定立地条件相近的42、32、24、22、17和12年生油松纯林样地6块及撂荒地1块(CK)进行试验。这6块林地依次用I、II、III、IV、V和VI作为代码。各试验地概况见表1。

2.2 森林群落结构的调查

分别在样地选定标准地(20 m×20 m), 在标准地内进行每木检尺, 测定密度、平均高、平均胸径等林分特征; 对林下植被和撂荒地的植被作生物学调查。

^{*} [收稿日期] 2006-02-16

[基金项目] 国家“十五”科技攻关计划重大专项(2001BA516A15-05); 陕西自然科学基金项目(20020201093)

[作者简介] 耿增超(1963-), 男, 陕西韩城人, 副教授, 硕士, 主要从事土壤养分循环及农林废弃物资源转化研究。

[通讯作者] 张社奇(1964-), 男, 教授, 博士, 主要从事土壤生态与环境生物物理研究。

表1 试验地概况

Table 1 Survey of experimental plots

林分类型代码 Types of stands	海拔/m Elevation	密度/(株·hm ⁻²) Density stocking	郁闭度 Canopy closure	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average diameter
I	1 100	2 380	0.6	9.0	5.70
II	1 050	3 600	0.7	7.5	4.30
III	1 120	6 400	0.9	6.0	3.00
IV	1 150	5 000	0.5	4.5	2.63
V	1 160	3 700	0.4	4.0	2.50
VI	1 130	2 222	0.2	3.5	2.21
CK	1 140	/	/	/	/

林分类型代码 Types of stands	坡向坡度/(°) Slope aspect slope degree	灌木高度/m Bush height	草层高度/cm Grass height	林下生物量/(t·hm ⁻²) Field productivity
I	东南 SE15~20	1.6	20	4.987
II	东南 SE20~25	1.4	20	3.652
III	东南 SE15~20	1.5	20	3.764
IV	东南 SE15~20	1.5	25	4.165
V	东南 SE20~25	1.4	30	4.218
VI	东南 SE20~25	1.5	40	5.324
CK	东南 SE15~20	1.3	40	/

2.3 土壤采样与测定

供试土壤为碳酸盐褐土。分别在各样地选定20 m×20 m 标准地,在每木检尺基础上,找出平均木,并在平均木下挖掘土壤剖面,按由下向上的顺序逐层分6个层次(90,70,50,30,20,10 cm 土壤深度)采集土样,分装,将土样带回实验室风干、分拣、研磨后进行分析。撂荒地土样选取同前。

土壤中全氮、速效氮、全磷、有效磷、速效钾、有机质、交换性钙镁的含量及土壤交换性盐基总量和土壤pH 值,均参照文献[7]的方法进行测定。

3 结果与分析

3.1 油松林地土壤养分的变化特征

油松人工林林地土壤养分测定结果见表2。

3.1.1 土壤有机质与pH 值 (1)土壤有机质。从表2 可以看出,42,32,24,22,17 和12 年生油松纯林林地平均土壤有机质值分别为13 005,12 516,12 006,18 827,23 763 和8 631 g/kg。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地土壤有机质差异不显著($F=2.048$, $F_{0.05}=3.32$),说明土壤有机质含量与树龄之间无直接关系。

由表2 还可知,不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70 和90 cm 土层平均土壤有机质含量分别为44 950,24 750,7 729,4 804,3 361 和3 156 g/kg。方差分析结果显示,不同土层深度有机质含量差异达极显著水平($F=19.335$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤有机质含量随土壤深度的变化

符合幂函数递减规律:

$$y = 840.51x^{-1.307}, R^2 = 0.831^{**} \quad (1)$$

回归结果表明,造林后土壤有机质含量分别与土壤全氮、速效氮、全磷、速效磷、速效钾含量存在正相关,并达到极显著水平,说明土壤各因子含量的提高与有机质含量密切相关。

由表2 可知,与撂荒地10,20,30,50,70 和90 cm 土层相比,油松纯林林地对应土层土壤有机质含量平均分别增加了278.3%,317.9%,156.2%,103.9%,49.5%和46.4%。说明造林后土壤有机质含量有了大幅度提高,这可能是由于油松林每年向林地提供的大量凋落物经过微生物腐解后,使土壤有机质含量得以大幅度提高的结果。

(2)土壤pH 值。土壤pH 值虽不能直接表明土壤中某种养分的含量,但其高低可控制和影响土壤中微生物区系的改变,从而影响着绝大多数营养元素的转化方向、转化过程、形态及其有效性。

由表2 可知,42,32,24,22,17 和12 年生油松纯林林地土壤pH 值的平均值分别为8.27,8.43,8.35,8.22,8.15 和8.18。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地土壤pH 值差异不显著($F=2.671$, $F_{0.05}=3.32$),说明油松纯林林地土壤pH 与树龄之间无直接关系。

不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70 和90 cm 土层土壤的平均pH 值分别为7.76,7.98,8.44,8.54,8.50 和8.48。方差分析结果显示,不同深度土层土壤pH 值差异达极显著水平($F=19.517$,

$F_{0.01}=5.39$)。由回归分析结果可知,土壤pH 值随土壤深度的变化规律为:

$$y = 7.0342x^{0.044}, R^2 = 0.616^{**} \quad (2)$$

与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比,

油松纯林林地对应土层土壤pH 值平均分别降低了 8.70%, 7.76%, 1.89%, 1.83%, 2.40% 和 2.50%, 说明油松人工林能够显著降低土壤表层的pH 值。

表2 不同树龄油松纯林林地土壤养分的测定结果

Table 2 Content of soil nutrient in different tree ages of *Pinus tabulaeformis*

林分类型 代码 Types of stands	土壤 深度/cm Soil depth	有机质/ (g · kg ⁻¹) Organic matter	全氮/ (g · kg ⁻¹) Total N	速效氮/ (mg · kg ⁻¹) A available N	全磷/ (g · kg ⁻¹) Total P	速效磷/ (mg · kg ⁻¹) A available P	速效钾/ (mg · kg ⁻¹) A available K	pH
I	10	40.610	1.748	23.02	0.546	7.52	216.39	7.5
	20	12.920	0.773	17.14	0.530	1.92	102.11	7.8
	30	8.620	0.68	13.78	0.550	1.35	92.08	8.3
	50	7.610	0.578	14.58	0.511	1.29	84.07	8.4
	70	4.590	0.364	15.18	0.484	1.58	56.00	8.2
	90	3.680	0.306	15.52	0.500	1.92	58.00	8.3
II	10	38.522	1.634	22.36	0.565	5.64	189.26	7.6
	20	14.236	0.752	18.01	0.541	2.87	110.53	8.0
	30	7.487	0.637	13.66	0.558	2.16	73.64	8.4
	50	6.321	0.603	13.56	0.547	1.37	70.38	8.5
	70	4.367	0.485	14.74	0.576	1.86	59.27	8.6
	90	4.165	0.392	14.53	0.515	1.95	58.61	8.5
III	10	36.650	1.541	22.87	0.655	4.99	171.33	7.7
	20	14.945	0.744	17.96	0.597	4.15	98.44	8.1
	30	6.185	0.641	13.21	0.602	3.01	63.15	8.6
	50	5.035	0.667	11.54	0.620	3.12	50.17	8.7
	70	4.528	0.559	13.87	0.633	2.95	56.46	8.8
	90	4.695	0.467	14.27	0.630	2.95	51.35	8.7
IV	10	58.234	1.729	31.28	0.675	5.61	168.35	7.8
	20	36.246	0.969	24.57	0.634	3.79	103.29	7.9
	30	7.637	0.708	15.17	0.628	2.84	65.68	8.5
	50	4.160	0.592	14.23	0.681	2.80	51.23	8.6
	70	3.158	0.461	14.39	0.677	2.73	55.36	8.7
	90	3.524	0.426	15.40	0.669	2.17	54.44	8.6
V	10	70.689	2.947	36.29	0.752	5.77	265.74	7.9
	20	57.616	1.424	29.53	0.708	3.12	130.02	7.8
	30	8.197	0.756	17.97	0.719	2.72	68.43	8.5
	50	3.018	0.535	16.21	0.729	1.23	66.15	8.7
	70	1.699	0.404	15.16	0.778	0.95	59.17	8.2
	90	1.360	0.395	16.07	0.732	1.13	58.32	8.2
VI	10	24.995	1.159	21.79	0.642	5.29	181.16	7.8
	20	12.537	0.751	15.20	0.725	4.83	104.45	8.1
	30	8.245	0.711	10.96	0.594	3.92	69.05	8.2
	50	2.678	0.376	11.39	0.626	3.46	71.02	8.2
	70	1.823	0.293	19.52	0.729	2.55	72.98	8.2
	90	1.510	0.300	12.45	0.753	2.32	71.02	8.4
CK	10	11.882	0.536	6.73	0.534	4.26	97.33	8.5
	20	5.923	0.415	5.62	0.503	3.11	83.14	8.6
	30	3.017	0.389	5.14	0.492	2.65	78.27	8.6
	50	2.356	0.328	4.89	0.428	2.16	80.25	8.7
	70	2.248	0.337	4.67	0.436	1.89	74.39	8.7
	90	2.155	0.321	4.75	0.413	1.34	75.18	8.7

3.1.2 土壤氮素 氮素是植物的必需元素之一,也是土壤养分中最重要的元素之一,其在土壤中主要以有机态的氨基酸、氨基糖、嘌呤、嘧啶等有机物和

无机态的 NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ 等形式存在。森林土壤中的N 素在不施肥的条件下主要来源于林中凋落物的分解,以及一些固氮树种、固氮微生物和降解中的

化合态氮。全氮含量一般表示氮素的供应容量,反映土壤的总体供氮水平;而碱解氮(包括已分解的有机态氮、 NH_4^+ 和 NO_3^-) 只表示一定时期内氮素的供应水平。

(1) 土壤全氮。从表2可以看出, 42, 32, 24, 22, 17 和 12 年生油松纯林林地平均土壤全氮含量分别为 0.742, 0.751, 0.770, 0.814, 1.077 和 0.598 g/kg。方差分析结果显示, 不同树龄土壤全氮含量差异不显著 ($F = 2.360, F_{0.05} = 3.32$), 说明土壤全氮含量与树龄之间无直接关系。

不同树龄油松纯林林地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层平均土壤全氮含量分别为 1.793, 0.902, 0.689, 0.559, 0.428 和 0.381 g/kg。方差分析结果显示, 不同土层深度土壤全氮含量的差异达极显著水平 ($F = 26.305, F_{0.01} = 5.39$)。由回归分析可知, 土壤全氮含量随土层深度的变化规律为:

$$y = 7.2278x^{-0.668}, R^2 = 0.847^{**} \quad (3)$$

与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比, 油松纯林林地对应土层土壤全氮含量平均分别增加了 234.5%, 117.4%, 77.1%, 70.3%, 26.9% 和 18.7%, 说明营造油松林能够增加土壤中全氮含量。

(2) 土壤速效氮。42, 32, 24, 22, 17 和 12 年生油松纯林林地的平均土壤速效氮含量分别为 16.54, 16.14, 15.62, 19.17, 21.87 和 15.22 mg/kg。方差分析结果显示, 不同树龄土壤速效氮含量的差异未达极显著水平 ($F = 4.857, F_{0.01} = 5.39$)。进行回归分析可知, 土壤速效氮含量随树龄的变化规律具有波动性和不确定性。

不同树龄油松纯林林地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层的平均土壤速效氮含量分别为 26.27, 20.40, 14.13, 13.59, 15.48 和 14.71 mg/kg。方差分析结果显示, 不同深度土层土壤速效氮含量的差异达极显著水平 ($F = 18.02, F_{0.01} = 5.39$)。由回归分析可知, 土壤速效氮含量随土层深度的变化规律为:

$$y = 41.384x^{-0.255}, R^2 = 0.474^{**} \quad (4)$$

与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比, 油松纯林林地对应土层土壤速效氮含量平均分别增加了 290.3%, 263%, 174.8%, 177.8%, 231.4% 和 209.6%, 说明营造油松林可大幅度增加土壤速效氮含量。

土壤全氮和速效氮含量增加的原因主要为, 造林后有大量新鲜凋落物, 凋落物腐化后释放出大量的 NH_4^+ 和 NO_3^- ; 此外, 林木根系及微生物的分泌物中含有许多易分解的简单有机态 N, 这些物质进入

土壤不仅使土壤全氮含量增加, 而且速效氮含量也有明显增加。

3.1.3 土壤磷素 土壤中磷的原始来源是成土母质。地壳中 P_2O_5 含量为 5.5 g/kg, 土壤中 P_2O_5 平均含量为 3.2 g/kg。土壤全磷包括速效磷和迟效磷。速效磷含量和全磷含量均与土壤利用方式有关。

(1) 土壤全磷。从表2可以看出, 42, 32, 24, 22, 17 和 12 年生油松纯林林地的平均土壤全磷含量分别为 0.52, 0.55, 0.62, 0.66, 0.74 和 0.68 g/kg。方差分析结果显示, 不同树龄油松纯林林地土壤全磷含量差异达极显著水平 ($F = 33.481, F_{0.01} = 5.39$)。回归分析结果表明, 土壤全磷含量与树龄间的变化规律为:

$$y = 1.4003x^{-0.258}, R^2 = 0.658^{**} \quad (5)$$

不同树龄油松纯林林地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层土壤的平均全磷含量分别为 0.639, 0.623, 0.609, 0.619, 0.646 和 0.633 g/kg。方差分析结果显示, 不同深度土壤全磷含量差异不显著 ($F = 0.987, F_{0.05} = 3.32$), 说明土壤全磷含量与土层深度间无直接关系。

与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比, 油松纯林林地对应土层土壤全磷含量平均分别增加了 19.7%, 23.8%, 23.7%, 44.6%, 48.2% 和 53.3%, 说明营造油松林在一定程度上可以增加土壤全磷含量。

(2) 土壤速效磷。42, 32, 24, 22, 17 和 12 年生油松纯林林地的平均土壤速效磷含量分别为 2.55, 2.64, 3.53, 3.32, 2.49 和 3.73 mg/kg。方差分析结果显示, 不同树龄油松纯林林地土壤速效磷含量差异显著, 但未达到极显著水平 ($F = 3.427, F_{0.05} = 3.32, F_{0.01} = 5.39$)。

不同树龄油松纯林林地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层的平均土壤速效磷含量分别为 5.76, 3.45, 2.67, 2.21, 2.10 和 2.07 mg/kg。方差分析结果显示, 不同土层深度土壤速效磷含量差异达极显著水平 ($F = 23.349, F_{0.01} = 5.39$)。由回归分析可知, 土壤速效磷含量随土层深度的变化规律为:

$$y = 15.17x^{-0.4862}, R^2 = 0.5242^{**} \quad (6)$$

与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比, 油松纯林林地对应土层土壤速效磷含量平均分别增加了 35.2%, 10.8%, 0.6%, 2.4%, 11.3% 和 54.7%, 说明营造油松林可提高土壤速效磷含量。土壤全磷和速效磷含量提高的原因, 一是凋落物进入土壤时携带有磷素; 二是在凋落物、根系以及微生物

等作用下,土壤对磷的吸附、解吸以及固定能力得以提高,从而使土壤磷素水平提高;三是碳酸钙固体表面对磷酸根的吸附加强,进而提高了土壤的磷素水平。

3.1.4 土壤钾素 依据化学形态,土壤中的钾素可分为水溶性钾、交换性钾、非交换性钾和结构性钾。根据植物利用的有效性又可划分为速效钾(水溶性钾+交换性钾)、缓效钾(非交换性钾)和矿物钾(结构性钾)。土壤全钾反映土壤潜在的供钾能力,速效钾可反映土壤对植物的现实供钾状况。

从表2可以看出,42,32,24,22,17和12年生油松纯林林地平均土壤速效钾含量分别为101.44,93.62,81.82,83.06,107.97和94.95 mg/kg。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地土壤速效钾含量差异不显著($F=2.499$, $F_{0.05}=3.32$),说明土壤速效钾含量与树龄间无直接关系。

不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70和90 cm土层土壤平均速效钾含量分别为198.71,108.14,72.01,65.50,59.87和58.62 mg/kg。方差分析结果显示,不同深度土壤的速效钾含量差异达极显著水平($F=71.548$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤速效钾含量随土层深度的变化规律为:

$$y = 578.9x^{-0.5441}, R^2 = 0.8202^{**} \quad (7)$$

与撂荒地10,20,30,50,70和90 cm土层相比,油松纯林林地对应土层土壤速效钾含量平均分别增加了104.2%,30.1%,-8%,-18.4%,-19.5%和-22.0%,可见土壤钾素从土壤深层向表层出现了迁移和富集。这是由于林木从土壤深层吸收钾素形成同化产物,部分同化产物回归土壤后在表层矿化,使释放的钾素在表层富集所致。

3.2 油松林地土壤化学性质的变化特征

油松林地土壤化学性质的测定结果见表3。

3.2.1 土壤中交换性钙、镁含量 (1)土壤交换性钙。土壤阳离子交换量是反映土壤肥沃程度及保水保肥能力的重要指标。从表3可以看出,42,32,24,22,17和12年生油松纯林林地平均土壤交换性钙含量分别为535.7,534.3,533.5,527.4,518.0和334.6 mmol/kg。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地土壤交换性钙含量的差异达极显著水平($F=44.320$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤交换性钙含量随树龄的变化规律符合Logistic模型,即:

$$y = 53.309 / (1 + \exp(6.622 - 0.595x)), \\ R^2 = 0.8965^{**} \quad (8)$$

不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70和90

cm土层土壤交换性钙平均含量分别为498.8,491.9,496.0,498.1,497.7和501.0 mmol/kg。方差分析结果显示,不同深度土层交换性钙含量差异不显著($F=0.066$, $F_{0.05}=3.32$),说明土壤交换性钙含量与土层深度无直接关系。

与撂荒地10,20,30,50,70和90 cm土层相比,油松纯林林地对应土层土壤交换性钙含量平均分别增加了74.1%,86.1%,95.6%,97.9%,101.7%和102.6%,说明营造油松林增加了土壤的保肥能力。

(2)土壤交换性镁。42,32,24,22,17和12年生油松纯林林地平均土壤交换性镁含量分别为7.4,7.5,7.5,7.1,6.8和6.4 mmol/kg。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地平均土壤交换性镁含量差异达极显著水平($F=16.991$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤交换性镁含量随树龄的变化规律为:

$$y = 0.4837x^{0.1219}, R^2 = 0.4416^{**} \quad (9)$$

不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70和90 cm土层平均土壤交换性镁含量分别为7.7,7.2,6.8,6.9,7.0和7.1 mmol/kg。方差分析结果显示,不同深度土层土壤交换性镁含量差异达极显著水平($F=8.748$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤交换性镁含量随土层深度的变化无确定规律。

与撂荒地10,20,30,50,70和90 cm土层相比,油松纯林林地对应土层土壤交换性镁平均含量分别增加了47.1%,25.7%,7.7%,13.1%,6.0%和15.0%,这也说明营造油松林增加了土壤的保肥能力。

3.2.2 土壤中交换性盐基总量 土壤中交换性盐基总量是衡量土壤可溶性养分含量的重要指标。从表3可以得出,42,32,24,22,17和12年生油松纯林林地平均土壤交换性盐基总量分别为547.0,545.1,544.3,536.7,527.0和345.0 mmol/kg。方差分析结果显示,不同树龄油松纯林林地土壤交换性盐基总量差异达极显著水平($F=44.935$, $F_{0.01}=5.39$)。由回归分析可知,土壤交换性盐基总量随树龄的变化规律为Logistic模型,即:

$$y = 54.3795 / (1 + \exp(6.2917 - 5.570258x)), \\ R^2 = 0.8963^{**} \quad (10)$$

不同树龄油松纯林林地10,20,30,50,70和90 cm土层土壤交换性盐基总量的平均值分别为512.9,500.9,505.4,508.5,507.6和509.9 mmol/kg。方差分析结果显示,不同土层深度土壤交换性盐基总量差异不显著($F=0.118$, $F_{0.05}=$

3 32), 说明土壤交换性盐基总量与土层深度无直接关系。与撂荒地 10, 20, 30, 50, 70 和 90 cm 土层相比, 油松纯林林地对应土层土壤交换性盐基总量平均分

别增加了 83.7%, 89.9%, 99.4%, 114.2%, 92.8% 和 100.0%, 说明营造油松人工林可以增加土壤的保水能力。

表3 不同树龄油松纯林林地土壤化学性质的测定结果

Table 3 Chemical condition in different tree age of *Pinus tabulaeformis*

林分类型 Types of stands	土壤深度/cm Soil depth	交换性1/2 Ca ²⁺ / (mmol · kg ⁻¹) Exchangeable Ca ²⁺	交换性1/2 Mg ²⁺ / (mmol · kg ⁻¹) Exchangeable Mg ²⁺	交换性盐基总量/ (mmol · kg ⁻¹) Exchangeable base capacity
I	10	515.2	7.7	529.7
	20	539.0	7.7	550.5
	30	541.4	7.2	552.3
	50	543.2	7.2	554.0
	70	542.8	7.2	553.0
	90	532.4	7.1	542.6
II	10	514.6	7.6	529.5
	20	536.7	7.5	546.8
	30	538.5	7.1	547.9
	50	533.4	7.4	545.6
	70	541.1	7.6	547.8
	90	541.6	7.8	553.1
III	10	516.1	7.7	529.1
	20	536.0	7.4	546.5
	30	531.9	7.0	541.6
	50	533.6	7.3	543.6
	70	532.5	7.5	543.2
	90	550.6	7.8	562.0
IV	10	503.4	7.7	516.2
	20	535.7	7.2	535.7
	30	530.5	6.7	538.9
	50	532.6	7.0	544.1
	70	523.4	6.9	536.4
	90	538.8	7.2	548.7
V	10	489.2	7.7	505.0
	20	514.6	7.0	526.3
	30	528.4	6.6	537.4
	50	533.8	6.4	542.5
	70	515.2	6.5	523.9
	90	526.6	6.5	526.8
VI	10	454.2	7.5	467.8
	20	289.3	6.2	299.3
	30	305.2	6.1	314.3
	50	311.8	6.1	321.0
	70	331.4	6.3	341.4
	90	315.8	6.4	326.0
CK	10	286.5	5.2	279.2
	20	264.3	5.7	263.8
	30	253.6	6.3	253.4
	50	251.7	6.1	256.1
	70	246.8	6.6	263.3
	90	247.3	6.2	254.9

4 结 论

由本研究结果可知,油松林地土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量及pH值与树龄间均无直接关系,土壤全磷含量随树龄增加按幂函数衰减,土壤交换性钙含量和交换性盐基总量随树龄增加按Logstic模型变化,交换性镁含量随树龄增加按幂函数递增,表明土壤大部分养分元素可能与植物生长与吸收有关,形成了难以确定的复杂变化规律;而交换性钙、镁含量和盐基总量均随树龄的增加而增加,说明土壤的保水保肥能力得到加强;全磷含量随树龄的增加有降低趋势,其机理仍需进一步研究。

油松林林地土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、

速效钾含量随土壤深度的增加而呈幂函数衰减,土壤全磷含量、交换性钙含量、交换性镁含量及交换性盐基总量随土壤深度增加均无确定的变化规律,但土壤pH值随深度的增加而呈幂函数增加趋势。表明在油松林作用下,土壤表层养分的有效性加强,pH值降低。

与撂荒地相比,油松林地土壤的有机质、全氮、速效氮、全磷、速效磷、交换性钙、交换性镁含量及交换性盐基总量分别增加了46.4%~317.9%,18.7%~234.5%,174.8%~290.3%,19.7%~53.3%,0.6%~54.7%,74.1%~102.6%,6.0%~47.1%和83.7%~114.2%;速效钾则出现了表面富集化现象。表明油松林能够有效改善土壤的养分状况。

[参考文献]

- [1] 魏天兴,朱金兆.黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):45-51.
- [2] 韩冰,吴钦孝,赵鸿雁,等.黄土丘陵区油松人工林对土壤水分因子影响的相关分析[J].防护林科技,1998(3):2-5.
- [3] 刘向东,吴钦孝,赵鸿雁.黄土丘陵区人工油松林和山杨林林冠截留作用的研究[J].水土保持通报,1991,11(1):4-7.
- [4] 李勇,徐晓琴.黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效模式[J].林业科学,1993,29(3):193-198.
- [5] 李勇,李玉山,徐晓琴.油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应[J].水土保持学报,1990,4(1):1-5.
- [6] 高甲荣,肖斌.桥山林区油松人工林营养元素分配与积累的研究[J].应用生态学报,2001,12(5):667-671.
- [7] 张万儒.森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999.

Time-space distributive feature of soil nutrient condition and chemical properties of *Pinus tabulaeformis* plantation forestland in Loess Plateau

GENG Zeng-chao^a, ZHANG She-qin^b, WANG Guo-dong^b, LIU Jian-jun^c

(a College of Resources and Environment; b College of Sciences; c College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The time-space distributive feature of soil nutrient condition and chemical properties of *Pinus tabulaeformis* plantation forestland in Loess Plateau has been studied. The results showed that soil organic matter, pH, total N, and available N, P and K change irregularly with tree age; total P decreases by power function; exchangeable Ca and base capacity vary by Logstic model; exchangeable Mg increases by power function; soil organic matter, total N, available N, P and K decrease by power function with soil depth; total P, exchangeable Ca, Mg and base capacity vary irregularly with soil depth, but pH-value rises by power function with depth. Compared with wasteland, soil organic matter, total N, available N, total P, available P, exchangeable Ca, Mg and base capacity rise respectively by 46.4%-317.9%, 18.7%-234.5%, 174.8%-290.3%, 19.7%-53.3%, 0.6%-54.7%, 74.1%-102.6%, 6.0%-47.1%, 83.7%-114.2%; available K appears surficial enrichment. These show that *Pinus tabulaeformis* is Carr plantation can improve the condition of soil nutrient effectively.

Key words: *Pinus tabulaeformis* plantation; forest age; soil depth; nutrient condition of soil; exchangeable cation