

网络出版时间:2014-05-28 11:34

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.008

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.06.008.html>

黄土高原子午岭不同发育阶段油松 人工林土壤理化性质的变化

党 鹏,王乃江,王娟婷,章文佳,黄 耀

(西北农林科技大学 林学院 西部环境与生态教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】揭示子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤理化性质的变化规律,为该地区油松人工林的地力维护提供理论依据。**【方法】**采用典型样地调查方法,在甘肃省正宁县中湾林场,以荒坡为对照,测定不同发育阶段(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林)油松人工林土壤的物理性质和主要养分含量,并对各指标进行相关性分析。**【结果】**在油松人工林不同发育阶段,土壤含水量变化不明显;成熟林阶段土壤体积质量和孔隙度明显优于荒坡和其余各发育阶段林地;随林龄的增长,土壤有机质、全氮含量呈上升趋势,土壤 pH 逐渐下降,速效磷、速效钾、硝态氮、铵态氮呈波动变化;相关性分析发现,土壤有机质、全氮和 pH 之间均存在相关性,其中有机质与全氮极显著正相关,pH 与有机质、全氮显著负相关。**【结论】**从土壤持续发育的过程来看,在黄土高原子午岭林区营造油松人工林可以使林地土壤的理化性质得到持续改善,土壤养分进一步增加。

【关键词】 油松;人工林;土壤性质;黄土高原;子午岭

【中图分类号】 S714.5;S791.254

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)06-0115-07

Changes of soil physical-chemical properties of *Pinus tabulaeformis* plantations at different developmental stages in Ziwuling region of Loess Plateau

DANG Peng, WANG Nai-jiang, WANG Juan-ting, ZHANG Wen-jia, HUANG Yao

(Key Laboratory of Environment and Ecology of Education Ministry in West China,
College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】This study illustrated the variations of soil properties of *Pinus tabulaeformis* plantations at different developmental stages in Ziwuling region of Loess Plateau, aiming to improve soil maintenance in this region. **【Method】**The experiment was conducted in Zhongwan forest farm in Zhengning, Gansu using typical sample plots survey method. Slope wasteland was taken as control. The physical and chemical properties and contents of nutrients of the soil of *Pinus tabulaeformis* plantations at different developmental stages (young forest, immature timber, nearly mature forest, and mature forest) were measured, and correlation analysis among all indicators was conducted. **【Result】**At different developmental stages of *Pinus tabulaeformis* plantations, the change of soil moisture content was not significant. Soil bulk density and porosity of mature forest were better than those of other stages and the control. With the increase of the forest age, contents of soil organic matter and total nitrogen increased, while soil pH de-

【收稿日期】 2014-01-17

【基金项目】 国家“十二五”科技支撑计划项目“黄土高原人工林可持续经营技术研究示范”(2012BAD22B0302)

【作者简介】 党 鹏(1987—),男,陕西合阳人,在读硕士,主要从事森林培育研究。E-mail: dangdp@163.com

【通信作者】 王乃江(1966—),男,陕西岐山人,副教授,博士,主要从事干旱区森林培育理论和技术、植被恢复和天然林恢复研究。E-mail: wang7082261@163.com

creased, and contents of available P, available K, nitrate and ammonium fluctuated. Correlation analysis showed that organic matter, total nitrogen and soil pH correlated with each other, with an extremely significant positive correlation between organic matter and total nitrogen, and a significant negative correlation between soil pH and total nitrogen or organic matter. 【Conclusion】 From the perspective of the soil sustainable development process, creating *Pinus tabulaeformis* plantations in Ziwoing region of Loess Plateau could sustainably improve the soil physical-chemical properties and soil nutrients.

Key words: *Pinus tabulaeformis*; plantation; soil physical-chemical properties; Loess Plateau; Ziwoing

土壤是植物群落更新演替过程的重要载体^[1],而植物的出现和生长也影响着土壤的形成和发育^[2]。土壤物理性质是土壤蓄水保肥的基础,并影响着林木对养分的吸收利用^[3]。土壤养分含量的多少是评价土壤肥力水平的重要指标,影响着物种多样性和植被的生长^[4],其中碳、氮、磷元素作为土壤养分循环的核心驱动着其他养分元素的循环与转化^[5]。研究林分的土壤理化性质有助于了解林分的土壤质量状况,为进一步实施合理的经营措施提供依据。

人工林在我国植被恢复和林业建设中有着重要的地位,其不仅具有显著的水土保持功能,而且能明显改善土壤肥力状况^[6-7]。黄土高原子午岭林区有较大面积的人工纯林,在区域水土保持和经济建设中发挥着巨大的生态作用^[8]。此前,有关该地区森林土壤性质的研究主要集中在不同植被类型土壤水分和土壤氮素的变化特征^[9-10]、不同植被恢复阶段土壤有机碳和土壤养分的特征^[11-12]、人工林和天然林养分循环^[13]以及植物叶片和土壤养分库的变化规律^[14]等方面,也有研究探讨了土壤水分、肥力与生物量的关系^[15-16]。而针对该地区不同发育阶段人工林土壤理化性质的研究还相对较少,仅见耿增超等^[17]研究了陕西耀县油松人工林土壤养分和化学性质的时空效应,但黄土高原地区地理环境复杂,区域间差异性较大,针对甘肃子午岭林区不同发育阶段人工林土壤理化性质的变化规律也有待研究。

油松是黄土高原地区人工林建设的主要树种之一,同时也是子午岭林区重要的造林树种。本研究对甘肃省子午岭林区中湾林场 10~50 年生油松人工林发育过程中土壤理化性质的变化情况进行了调查,旨在了解油松人工林在发育过程中土壤理化性质的动态变化,为该地区油松人工林的合理经营提供理论依据。

1 研究地概况

研究地位于黄土高原中部子午岭林区南段的甘

肃省正宁县中湾林场(108°27'E, 35°17'N),海拔 1 246~1 756 m,该区处于森林草原和半干旱草原的过渡区,气候温和湿润,属于温带半湿润气候类型,年均气温 9.3℃,极端最高气温 36.17℃,极端最低气温-27.17℃,≥10℃积温 2 645.3℃;年降水量 588.2 mm,年蒸发量 1 228.3 mm,相对湿度 60%~70%,干燥度 0.72,无霜期 163 d,年日照时数 2 200~2 400 h。油松人工林林下主要灌木有土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、灰荀子(*Cotoneaster acutifolius*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、红瑞木(*Cornus alba*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、茶条槭(*Acer tataricum subsp. ginnala*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、陕西荚蒾(*Viburnum schensianum*)和北京丁香(*Syringa peginensis*)等,草本层主要有披针苔草(*Carex lanceolata*)、唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、卷叶黄精(*Polygonatum cirrhifolium*)、异叶败酱(*Patrinia heterophylla*)和大火草(*Anemone tomentosa*)等。

2 研究方法

2.1 样地的选择

2013-08 在甘肃省正宁县中湾林场设置油松人工林样地并进行土壤理化性质的调查,油松人工林的林龄根据当地造林记录并结合样芯年轮数确定。根据立地条件相似的原则,设置油松人工林标准样地 12 块,每块面积 20 m×20 m。人工林林龄分别是 10 年(幼龄林)、23 年(中龄林)、32 年(近熟林)和 50 年(成熟林),4 种林龄的油松人工林地造林前均是坡耕地,且造林方式相同。另外在荒坡地设置 3 块样地,进行群落结构调查及土壤采集和分析。试验样地概况见表 1。

2.2 土样的采集与测定

2.2.1 土样的采集 在每个样地内挖取 3 个土壤剖面,沿土壤剖面 0~10、10~20 和 20~30 cm 分别

用环刀取样,测定土壤体积质量、含水量和毛管孔隙度。同时,在每个样地内按“S”形设置 9 个采样点,在 0~10、10~20 和 20~30 cm 处用土钻分层取样,不同样点间土样分层混合后装入布袋,风干后过筛,用于土壤 pH 及养分指标测定。

表 1 子午岭林区中湾林场油松人工林样地基本概况

Table 1 Information of <i>Pinus tabulaeformis</i> plantations in Zhongwan forest farm in Ziwouling region							
林分类型 Types of stands	林龄/年 Forest age	平均树高/m Average height	平均胸径/cm Average diameter	海拔/m Elevation	坡向/(°) Slope aspect	坡度/(°) Slope degree	郁闭度 Canopy closure
荒坡 Slope wasteland	—	—	—	1 460	105	22	—
幼龄林 Young forest	10	2.74±0.20	3.99±0.21	1 545	142	21	0.56
中龄林 Immature timber	23	7.21±0.69	8.08±0.45	1 402	155	15	0.86
近熟林 Nearly mature forest	32	10.15±0.48	16.81±0.18	1 608	290	13	0.82
成熟林 Mature forest	50	11.42±0.62	19.03±0.68	1 620	295	19	0.78

2.2.2 土壤理化性质的测算 土壤物理性质计算公式分别为: SPSS18.0 软件进行单因素方差分析和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 不同发育阶段油松人工林的土壤物理性质

土壤含水量= $\frac{m_1-m_2}{m_2-m}\times100\%$;
土壤体积质量= $\frac{m_2-m}{V}$;
土壤孔隙度= $(1-\frac{\text{土壤体积质量}}{\text{土壤比重}})\times100\%$ 。
式中: m_1 为铝盒和鲜土的总质量, m_2 为铝盒和干土的总质量, m 为铝盒质量, V 为铝盒体积,土壤比重约为 2.65 g/cm³。
土壤有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定,土壤全氮采用凯氏定氮法测定,速效磷采用钼锑抗比色法测定,速效钾采用火焰光度法测定,硝态氮和铵态氮用 AA3 连续流动分析仪测定,pH 采用电位法测定。
2.3 数据处理
应用 Excel 2003 软件对试验数据进行处理,用

土壤水分是土壤肥力的重要促动因素,体积质量和孔隙度分别是反映土壤松紧度、通透性的重要指标^[18]。由表 2 可知,荒坡和不同发育阶段油松人工林的土壤含水量、孔隙度总体上随着土壤深度的增加而减小,土壤体积质量则随着土壤深度的增加而增大。方差分析结果表明,在中龄林、近熟林中,0~10 cm 土层土壤含水量显著高于 10~20 和 20~30 cm 土层,荒坡、幼龄林、成熟林各土层之间土壤含水量差异不显著;在近熟林、成熟林,0~10 cm 土层土壤体积质量和孔隙度均显著低于 10~20 和 20~30 cm 土层,而荒坡、幼龄林、中龄林各土层土壤体积质量和孔隙度无显著差异。

表 2 子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤物理性质的变化

Table 2 Changes of soil physical properties of <i>Pinus tabulaeformis</i> plantations at different developmental stages in Ziwouling region						
指标 Index	土层/cm Soil layers	荒坡 Slope wasteland	幼龄林 Young forest	中龄林 Immature timber	近熟林 Nearly mature forest	成熟林 Mature forest
土壤含水量/% Soil moisture	0~10	17.13±2.30 Aa	17.36±1.13 Aa	18.91±0.17 Aa	17.49±0.39 Aa	18.66±2.30 Aa
	10~20	17.02±1.81 Aa	16.31±1.62 Aa	17.10±0.50 Ab	16.33±0.64 Ab	16.49±2.76 Aa
	20~30	11.80±2.55 Aa	16.48±1.49 Aa	15.82±1.27 Ab	15.73±0.84 Ab	16.51±1.45 Aa
土壤体积质量/(g·cm ⁻³) Soil bulk density	0~10	1.17±0.06 Aa	1.13±0.06 Aa	1.10±0.08 Aa	1.02±0.03 Aa	0.92±0.15 Ba
	10~20	1.16±0.07 ABa	1.12±0.08 Ba	1.21±0.10 Aa	1.18±0.05 Ab	1.08±0.07 Bb
	20~30	1.26±0.15 Aa	1.13±0.07 Aa	1.22±0.13 Aa	1.29±0.10 Ab	1.09±0.02 Bb
土壤孔隙度/% Soil porosity	0~10	55.85±2.41 Ba	57.18±2.18 Ba	58.97±2.87 Ba	61.51±0.13 Ba	68.99±5.62 Aa
	10~20	56.21±2.80 ABa	57.60±0.01 Aa	52.66±3.61 Ba	55.47±1.92 Bab	58.83±4.6 Ab
	20~30	52.27±5.48 Ba	57.42±2.66 Ba	52.48±4.84 Ba	51.32±0.15 Bb	59.54±0.93 Ab

注:表中数据为“平均值±标准差”;数据后标不同大写字母表示同一土层各指标在油松人工林不同发育阶段间差异显著($P<0.05$),标不同小写字母表示油松人工林同一发育阶段各指标在不同土层间差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:The data is “average value±standard deviation”. Different uppercase letters indicate significant difference of each index in each soil layer among different developmental stages ($P<0.05$),and different lowercase letters indicate significant difference of each index among different soil layers of soil at each developmental stage ($P<0.05$). The same below.

不同发育阶段油松人工林各土层土壤含水量变化不明显,变化幅度为 3.35%;土壤体积质量随着林龄的增长,总体呈现下降的趋势,变化幅度为 9.38%;土壤孔隙度随着林龄的增长逐步变大,变化幅度为 14.2%。方差分析结果表明,不同发育阶段林分各土层土壤含水量均无显著差异;成熟林 0~10 和 20~30 cm 土层的土壤体积质量、孔隙度与荒坡和其余各发育阶段存在显著差异。

3.2 不同发育阶段油松人工林的土壤化学性质

3.2.1 不同土层土壤化学性质的比较 由表 3 可以看出,荒坡和不同发育阶段油松人工林的土壤有机质、全氮、速效钾、铵态氮含量均随采样深度的增加而降低,土壤 pH 则随采样深度的增加而增大,速效磷、硝态氮含量随采样深度的增加无明显变化规律。由方差分析结果可知,油松人工林发育到中龄林阶段及以后,土壤有机质在各土层之间差异显著,0~10 cm 土层土壤全氮、速效磷、速效钾与 10~20 和 20~30 cm 土层有显著性差异,10~20 cm 与

20~30 cm 土层之间则差异不显著;幼龄林、中龄林在 0~10 cm 土层硝态氮、铵态氮与 10~20 和 20~30 cm 土层之间有显著差异,10~20 cm 与 20~30 cm 土层之间则无显著差异;不同发育阶段林分土壤 pH 在各土层间差异不显著。

3.2.2 不同发育阶段林分土壤化学性质的比较

由表 3 可知,不同发育阶段油松人工林各土层土壤有机质、全氮含量均随林龄的增长呈现上升趋势,而土壤 pH 则表现出下降趋势。在 0~10 cm 土层,成熟林土壤有机质含量较荒坡、幼龄林分别提高了 411.3%和 142.5%,全氮含量较荒坡、幼龄林分别提高了 325.0%和 155.8%;在 10~20 cm 土层,成熟林土壤有机质含量较荒坡、幼龄林分别提高了 318.2%和 123.9%,全氮含量较荒坡、幼龄林分别提高了 224.1%和 126.5%;在 20~30 cm 土层,成熟林土壤有机质含量较荒坡、幼龄林分别提高了 183.2%和 140.8%,全氮含量较荒坡、幼龄林分别提高了 175.5%和 151.7%。

表 3 子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤化学性质的变化

Table 3 Changes of soil chemistry properties of *Pinus tabulaeformis* plantations at different developmental stages in Ziwuling region

指标 Index	土层/cm Soil layers	荒坡 Slope wasteland	幼龄林 Young forest	中龄林 Immature timber	近熟林 Nearly mature forest	成熟林 Mature forest
有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	0~10	12.02±1.22 Da	25.34±2.26 Ca	36.57±2.20 Ba	42.83±2.68 Ba	61.46±2.81 Aa
	10~20	8.58±0.85 Ca	16.02±1.18 Bba	20.72±1.47 Bb	34.17±0.67 Ab	35.88±0.55 Ab
	20~30	8.40±1.16 Ca	9.88±1.51 Cb	12.68±0.62 Cc	19.00±1.99 Bc	23.79±0.94 Ac
全氮/(g·kg ⁻¹) Total Nitrogen	0~10	0.68±0.33 Ba	1.13±0.57 Ba	2.36±0.56 Aa	2.76±0.61 Aa	2.89±0.21 Aa
	10~20	0.58±0.36 Ca	0.83±0.08 BCa	1.18±0.11 Bb	1.90±0.41 Aab	1.88±0.04 Ab
	20~30	0.53±0.40 Ca	0.58±0.07 Ca	0.85±0.19 BCb	1.13±0.11 ABb	1.46±0.01 Ac
速效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	0~10	8.08±3.00 Ba	7.25±0.57 Ba	10.96±1.80 Ba	11.66±2.48 Ba	16.06±4.53 Aa
	10~20	8.13±1.30 Aa	6.70±0.68 Aa	8.97±2.33 Aab	8.09±3.96 Aab	12.10±4.95 Ab
	20~30	9.06±1.81 Aa	8.28±1.32 Aa	5.02±1.81 Ab	4.02±0.39 Ab	7.38±1.24 Ab
速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K	0~10	89.91±8.08 Ba	82.74±6.61 Ba	199.38±27.40 Aa	173.24±20.80 Aa	161.41±2.60 Aa
	10~20	60.07±6.82 Cb	74.10±4.17 Cab	152.08±20.83 Ab	115.25±8.21 Ab	110.75±10.39 Bb
	20~30	56.18±5.14 Bb	62.33±7.86 Bb	113.52±11.66 Ab	100.83±10.14 Ab	98.09±5.84 Ab
硝态氮/(mg·kg ⁻¹) NO ₃ ⁻ -N	0~10	0.97±0.39 Ba	2.25±0.57 Ba	4.65±0.81 Ba	4.95±2.11 Ba	9.74±4.22 Aa
	10~20	1.90±1.24 Ba	1.19±0.59 Bb	3.24±0.41 Bb	3.78±1.11 Bab	12.91±3.98 Aa
	20~30	1.70±0.92 Ba	0.82±0.13 Bb	1.79±0.34 Bc	1.30±0.35 Bb	7.90±0.77 Aa
铵态氮/(mg·kg ⁻¹) NH ₄ ⁺ -N	0~10	6.71±1.45 Ba	10.05±1.63 Aa	8.89±0.99 Aa	8.10±1.08 Aa	8.20±1.22 Aa
	10~20	5.51±1.48 Ba	8.86±1.56 Aab	5.83±0.02 Ab	8.19±2.61 Aa	6.44±1.08 Aa
	20~30	4.13±1.04 Ba	6.22±0.56 Ab	5.03±0.45 Ab	5.85±0.97 Aa	6.06±3.50 Aa
pH 值 pH value	0~10	7.62±0.02 Aa	7.44±0.05 Ba	7.29±0.06 BCa	7.18±0.04 BCa	7.15±0.06 Ca
	10~20	7.68±0.03 Aa	7.44±0.02 ABa	7.31±0.08 Ba	7.22±0.06 Ba	7.18±0.09 Ba
	20~30	7.69±0.04 Aa	7.49±0.03 Aa	7.32±0.06 ABa	7.24±0.02 Ba	7.20±0.10 Ba

由方差分析结果可知,不同发育阶段油松人工林土壤有机质、全氮含量在各土层的差异均达到显著水平,成熟林高于其他发育阶段,荒坡最低;土壤速效磷含量在 0~10 cm 土层表现为成熟林显著高于荒坡和其他各发育阶段,在 10~20 和 20~30 cm

土层各发育阶段间差异不显著;在中龄林阶段及以后,各土层土壤速效钾含量均显著高于荒坡和幼龄林;土壤硝态氮含量在各土层表现为成熟林显著高于荒坡和其他各发育阶段;不同发育阶段油松人工林各土层土壤铵态氮含量均显著高于荒坡,土壤

pH 均低于荒坡。

3.3 油松人工林不同发育阶段土壤理化性质的相关性

子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤主要理化性质的 Pearson 相关系数见表 4。由表 4 可以看出,土壤有机质除与 pH 和土壤体积质量呈显著负相关外,与其余各项指标均呈正相关,土壤 pH 除

与土壤体积质量呈正相关外,与其余各项理化指标均呈负相关,说明土壤 pH 对土壤养分有一定的指示作用。土壤有机质、pH 和全氮之间具有显著相关性,其中有机质与全氮极显著正相关,pH 与有机质、全氮显著负相关。土壤体积质量与有机质、全氮均呈显著负相关,与土壤孔隙度呈极显著负相关。

表 4 子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤主要理化性质的 Pearson 相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients among soil properties of *Pinus tabulaeformis* plantations at different developmental stages in Ziwwuling region

指标 Index	有机质 Organic matter	pH 值 pH Value	全氮 Total Nitrogen	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	含水量 Soil moisture	体积质量 Soil bulk density
pH 值 pH value	-0.716 *								
全氮 Total Nitrogen	0.927 * *	-0.693 *							
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	0.671	-0.586	0.440						
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	0.659	-0.606	-0.523	-0.404					
速效磷 Available P	0.243	-0.293	0.332	0.345	-0.111				
速效钾 Available K	0.496	-0.571	0.660	0.189	-0.491	0.157			
含水量 Soil moisture	0.162	-0.137	0.013	0.086	0.190	-0.091	0.206		
体积质量 Soil bulk density	-0.736 *	0.331	-0.716 *	-0.295	0.410	-0.066	-0.139	-0.183	
孔隙度 Soil porosity	0.636	-0.332	0.515	0.295	0.411	0.067	0.140	0.184	-0.996 * *

注: * * 表示相关性极显著($P<0.01$), * 表示相关性显著($P<0.05$)。
Note: * * means extremely significant correlation ($P<0.01$),and * means significant correlation ($P<0.05$).

4 讨论与结论

从本研究结果可以看出,油松人工林不同发育阶段土壤体积质量逐渐下降,并且总体低于荒坡,土壤孔隙度逐渐增大,并且总体高于荒坡。与荒坡相比,油松人工林林木根系和枯枝落叶层的作用增加了油松林地土壤的疏松性、通气性及透水性。成熟林土壤体积质量、孔隙度明显优于荒坡和幼龄林,这与王宏星等^[4]和李晓东等^[19]的研究结果一致。随着林龄的增长,林分地表凋落物不断累积而增厚,土壤有机质也随之增加,因此土壤体积质量和孔隙度得到明显改善。

不同发育阶段油松人工林土壤有机质、全氮随土壤深度的增加而逐渐减小,具有明显的表聚效应,这与程瑞梅等^[20]、刘鸿雁等^[21]、刘兴诏等^[22]和耿玉清等^[23]的研究结果一致。土壤 0~10 cm 土层受凋落物、土壤动物和微生物种群数量影响较大,生物残体和有机养分产生量较多,生物固氮作用也较强,致使 0~10 cm 土层有机质含量明显高于下层,而全氮主要来源于凋落物的归还,这导致氮素聚集在土壤表层,然后再随水分或其他介质向下迁移。在幼龄林一中龄林阶段,土壤有机质、全氮等营养元素的含量逐渐上升,这与王宏星等^[4]、耿增超等^[17]和李国

雷等^[24]的研究结果一致。在中龄林一成熟林阶段,土壤养分得到持续改善,这可能与子午岭林区的气候条件和管护措施有关,使林下植物能得以很好地生长和发育,进而增加了枯枝落叶层的储量,为林下土壤养分的积累和富集提供了良好条件。

不同发育阶段油松人工林土壤有机质与全氮含量之间表现出极显著正相关性,土壤 pH 与有机质、全氮均表现出显著负相关性,这与魏强等^[25]、张振国等^[26]的分析结果较为一致。随着林分地表枯枝落叶层的大量增多,腐殖化作用逐步增强,表层土壤有机质含量相应逐渐提高,有机质的矿化和生物固氮作用逐步加强,土壤表层全氮含量也相应提高。土壤酸碱性对土壤微生物的活性、矿物质和有机质的分解有重要作用,从而影响土壤养分元素的释放、固定和迁移等^[27],因此土壤 pH 值与有机质、全氮含量均表现出显著相关性。

与荒坡地相比,子午岭林区不同发育阶段油松人工林土壤主要养分含量有所提高,从可持续发育的角度来看,该地区油松人工林能够有效改善土壤理化性状。这为今后对油松人工林进行近自然经营提供了理论基础,同时,在黄土高原子午岭地区油松人工林不同发育阶段,应避免人为干扰对林分的破坏,确保林地土壤的可持续发展,以充分发挥油松人

工林的生态效益。

[参考文献]

- [1] 阿守珍,卜耀军,温仲明,等. 黄土丘陵区不同植被类型土壤养分效应研究:以安塞纸房沟流域为例 [J]. 西北林学院学报, 2006,21(6):58-62.
- A S Z,Bo Y J,Wen Z M,et al. Research on effect of different types of vegetation on nutrient changes in Loess Hilly Region-Taking Zhifanggou Watershed in Ansai as an example [J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(6):58-62. (in Chinese)
- [2] 戴全厚,刘国彬,张 健,等. 黄土丘陵区植被次生演替灌木种群的土壤养分效应 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008,36(8):125-131.
- Dai Q H,Liu G B,Zhang J,et al. Effect of shrub species during vegetation secondary succession on soil nutrient on the hilly-gullied loess region [J]. Journal of Northwest A&F University:Nat Sci Ed,2008,36(8):125-131. (in Chinese)
- [3] 陈立新. 落叶松人工林土壤质量变化规律与调控措施的研究 [D]. 北京:中国林业科学研究院,2003:1-10.
- Chen L X. The quality variation and control measures of soil of Larch plantation [D]. Beijing:Chinese Academy of Forestry, 2003:1-10. (in Chinese)
- [4] 王宏星,孙晓梅,陈东升,等. 甘肃小陇山日本落叶松人工林不同发育阶段土壤理化性质的变化 [J]. 林业科学研究,2012,25(3):294-301.
- Wang H X,Sun X M,Chen D S,et al. Changes of soil physical and chemical properties at different developmental stages of larix kaempferi plantations in Xiaolongshan, Gansu province [J]. Forest Research,2012,25(3):294-301. (in Chinese)
- [5] Porazinska D L,Bardgett R D,Blauw M B,et al. Relationships at the aboveground-belowground interface: Plants, soil biota, and soil processes [J]. Ecological Monographs, 2003,73(3): 377-395.
- [6] 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(4):6-9,44.
- Chang Q R,An S S,Liu J,et al. Study on benefits of recovering vegetation to prevent land deterioration on Loess Plateau [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation,1999(4):6-9,44. (in Chinese)
- [7] 许明祥,刘国彬,卜崇峰. 黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价 [J]. 西北植物学报,2003,23(8):1367-1371.
- Xu M X,Liu G B,Bu C F. Soil fertility evaluation of planted forest land on the hilly-gullied Loess Plateau [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2003,23(8):1367-1371. (in Chinese)
- [8] 邱莉萍,张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响 [J]. 自然资源学报,2006,21(6):965-972.
- Qiu L P,Zhang X C. The impact of different land use on soil properties in Ziwwuling [J]. Journal of Natural Resources,2006, 21(6):965-972. (in Chinese)
- [9] 赵世伟,周印东,吴金水. 子午岭次生植被下土壤蓄水性能及有效性研究 [J]. 西北植物学报,2003,23(8):1389-1392.
- Zhao S W,Zhou Y D,Wu J S. Study on soils water storage capacity and availability in secondary vegetation types in Ziwwuling forest region [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2003,23(8):1389-1392. (in Chinese)
- [10] 王百群,吴金水,赵世伟. 子午岭林区植被类型对土壤氮素的效应 [J]. 水土保持通报,2002,22(6):23-25.
- Wang B Q,Wu J S,Zhao S W. Impacts of vegetation types on soil nitrogen in Ziwwuling forest region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2002,22(6):23-25. (in Chinese)
- [11] 吕春花,郑粉莉. 黄土高原子午岭地区植被恢复过程中的土壤质量评价 [J]. 中国水土保持科学,2009,7(3):12-18,29.
- Lü C H,Zheng F L. Evaluation of soil quality during vegetation restoration in the Ziwwuling Area of Loess Plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation,2009,7(3):12-18, 29. (in Chinese)
- [12] 马 帅,赵世伟,李 婷,等. 子午岭林区不同植被恢复阶段土壤有机碳变化研究 [J]. 水土保持通报,2011,31(3):94-98, 154.
- Ma S,Zhao S W,Li T,et al. Changes of soil organic carbon in various stages of vegetation restoration in Ziwwuling mountain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2011,31(3):94- 98,154. (in Chinese)
- [13] 张希彪,上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较 [J]. 生态学报,2006,26(2):373-382.
- Zhang X B,Shangguan Z P. Nutrient distributions and bio-cycle patterns in both natural and artificial *Pinus tabulaeformis* forests in Hilly Loess region [J]. Acta Ecologica Sinica,2006, 26(2):373-382. (in Chinese)
- [14] 邓 娟,上官周平. 子午岭林区人工与天然油松林(*Pinus tabulaeformis*)养分库和碳库特征 [J]. 生态学报,2009,29(6):3231-3240.
- Deng J,Shangguan Z P. Nutrient and carbon pools in both natural and artifical *Pinus tabulaeformis* in Ziwwuling region [J]. Acta Ecologica Sinica,2009,29(6):3231-3240. (in Chinese)
- [15] 刘 勇,上官周平. 子午岭森林群落土壤水分与生物量关系研究 [J]. 西北农业学报,2007,16(5):150-154.
- Liu Y,Shangguan Z P. Study on the relationship between soil moisture and biomass in different forest community in Ziwwuling Area [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2007,16(5):150-154. (in Chinese)
- [16] 张成娥,陈小莉,郑粉莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系研究 [J]. 生态学报,1998,18(2):108-109, 111-112.
- Zhang C E,Chen X L,Zheng F L. Study on relationship between soil microbial biomass and fertility in different environments of Ziwwuling forest area [J]. Acta Ecologica Sincia, 1998,18(2):108-109,111-112. (in Chinese)
- [17] 耿增超,张社奇,王国栋,等. 黄土高原油松人工林地土壤养分及化学性质的时空效应 [J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(8):98-104.

- Geng Z C, Zhang S Q, Wang G D, et al. Temporal effects of nutrient and chemical properties of Chinese Pine in the Loess Plateau [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2006, 34(8): 98-104. (in Chinese)
- [18] 康 冰, 刘世荣, 蔡道雄, 等. 南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2479-2486.
Kang B, Liu S R, Cai D X, et al. Soil physical and chemical characteristics under different vegetation restoration patterns in China south subtropical area [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2479-2486. (in Chinese)
- [19] 李晓东, 魏 龙, 张永超, 等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响 [J]. 草业学报, 2009, 18(4): 103-110.
Li X D, Wei L, Zhang Y C, et al. The impact of land use on soil physical and chemical properties in the Loess Plateau of Gansu [J]. Acta Prata Culturae Sinica, 2009, 18(4): 103-110. (in Chinese)
- [20] 程瑞梅, 肖文发, 王晓荣, 等. 三峡库区植被不同演替阶段的土壤养分特征 [J]. 林业科学, 2010, 46(9): 1-6.
Cheng R M, Xiao W F, Wang X R, et al. Soil nutrient characteristics in different vegetation successional stages of Three Gorges Reservoir area [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(9): 1-6. (in Chinese)
- [21] 刘鸿雁, 黄建国. 缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 37-42.
Liu H Y, Huang J G. Dynamics of soil properties under secondary succession forest communities in Mt Jinyun [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(11): 37-42. (in Chinese)
- [22] 刘兴诏, 周国逸, 张德强, 等. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N、P 的化学计量特征 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 64-71.
Liu X Z, Zhang G Y, Zhang D Q, et al. N and P stoichiometry of plant and soil in lower subtropical forest successional series in southern China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 64-71. (in Chinese)
- [23] 耿玉清, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京山地森林的土壤养分状况 [J]. 林业科学, 2010, 46(5): 169-175.
Geng Y Q, Yu X X, Yue Y J, et al. Variation of forest soil nutrient content in mountainous areas, Beijing [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 169-175. (in Chinese)
- [24] 李国雷, 刘 勇, 李瑞生, 等. 油松人工林土壤质量的演变 [J]. 林业科学, 2008, 44(9): 76-81.
Li G L, Liu Y, Li R S, et al. Change of soil quality affected by forest age of *Pinus tabulaeformis* plantations [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(9): 76-81. (in Chinese)
- [25] 魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质 [J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4700-4713.
Wei Q, Ling L, Chai C S, et al. Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4700-4713. (in Chinese)
- [26] 张振国, 黄建成, 焦菊英, 等. 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 [J]. 水土保持通报, 2007, 27(4): 114-120.
Zhang Z G, Huang J C, Jiao J Y, et al. Characteristics, spatial variability and evolution of soil nutrients on abandoned artificial forest (*Caragana korshinskii*) lands in the Loess Hilly region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007, 27(4): 114-120. (in Chinese)
- [27] 赵雪梅, 孙向阳, 王海燕, 等. 三倍体毛白杨速生林土壤养分因子及 pH 值动态变化 [J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3414-3423.
Zhao X M, Sun X Y, Wang H Y, et al. Dynamics of soil nutritional factors and pH value of triploid *Populus tomentosa* plantation [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(13): 3414-3423. (in Chinese)