

不同种植年限人工林土壤养分变化特征

马 静, 柏 松*

西南民族大学化学与环境学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年3月15日; 录用日期: 2023年4月16日; 发布日期: 2023年4月23日

摘 要

人工林更新对土壤养分特性的影响, 至今还缺乏深入认识。本研究分析了不同林龄阶段云南松人工林土壤养分的变化特征。结果表明, 人工林更新对土壤粗颗粒影响较大, 与幼龄林和中龄林相比, 近熟林和成熟林土壤砂粒含量有所增加。人工造林使土壤酸性增加, 土壤交换性酸随林龄增加呈上升趋势。近熟林和成熟林土壤交换性酸显著高于幼龄林和中龄林。与幼龄林和中龄林相比, 近熟林交换性酸分别增加了32.14%和19.35%, 成熟林分别增加46.42%和59.00%。土壤有机质和全氮含量随林龄的增加呈先增加后减少的趋势。土壤全P含量随林龄增加的变化趋势不明显, 全钾含量随林龄增加呈先减少后增加趋势。

关键词

人工林, 森林更新, 土壤养分特性, 有机质

Change Characteristics of Soil Nutrients in Plantations with Different Planting Years

Jing Ma, Song Bai*

College of Chemistry & Environment, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 15th, 2023; accepted: Apr. 16th, 2023; published: Apr. 23rd, 2023

Abstract

Until now little is known about impact of plantation on the soil nutrient characteristics. Nutrient properties of soil in plantations with different growing ages have been analyzed in this study. The results indicated that afforestation had a profound effect on coarse soil particles. The sand grain

*通讯作者。

content in near-mature forest and mature forest increased abruptly, compared to young and middle-aged forests. Artificial afforestation increased soil acidity and there is a general increase in soil exchangeable acid with growing plantation ages. Soil exchangeable in near-mature forest and mature forest is higher than that in young and middle-aged forests. Soil exchangeable acid in near-mature forest increased by 32.14% and 19.35% compared to young and middle-aged forests and that in mature forest increased by 46.42% and 59.00%. Soil organic matter content first increases and then decreases with growing plantation ages, which is consistent with change of soil total N content. There is no obvious change trend in total P content. Soil total K content first decreases and then increases with growing plantation ages.

Keywords

Plantation, Forest Regeneration, Soil Nutrient Properties, Organic Matter

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人工林更新是恢复退化森林生态系统的有效方式之一, 并被认为是可以促进林地土壤质量的提升。国际上针对人工林更新对土壤生态系统的影响的研究由来已久。早在 1869 年, 德国就开展了人工林与土壤性质相互关系的研究, 并指出了人工林地力衰退的问题。随后挪威、澳大利亚、法国、美国等国科学家相继开展了一系列研究[1]。

国内关于人工林更新与土壤质量相关关系的研究始于 20 世纪 50 年代。我国林业研究者在对人工林展开研究时, 也发现人工林出现地力衰退的问题。近几十年来, 针对该问题的研究逐渐增多。研究涉及的树种包括桉树[2]、杨树[3]、落叶松[4] [5], 杉木[6]、马尾松[7]、刺槐、樟子松、油松、华山松等等[8], 取得了大量的研究成果。

然而, 迄今关于人工造林对土壤养分循环的影响, 还没有统一的认识。一些研究显示, 人工造林可以在一定程度上提升土壤质量。赵玉林等研究了不同林龄香樟人工林土壤养分的变化特征, 结果显示随着林木生长年限增加, 香樟人工林使土壤肥力逐步得到改善[9]。张国微等研究了不同类型人工林对土壤养分的影响, 结果表明人工林土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量均显著高于未造林地, 人工林植被可以提高林地土壤养分含量, 从而改善土壤质量[10]。最近, 赵满兴等研究了丘陵区沙棘人工林对土壤养分的影响, 发现随着种植年限的增加, 沙棘人工林显著增加了土壤有机质、碱解氮、有效磷、有效钾和酶活性[11]。

但也有不少学者发现, 人工造林后林地土壤不同程度出现地力衰退现象。Smethurst 和 Nambiar 对辐射松的研究发现, 造林初期土壤有机质下降明显, 并引起土壤营养状况发生改变[12]。曾芳群等对蓝桉造林前后土壤化学性状作了对比分析, 结果显示造林后土壤有机质明显低于造林前[13]; 在巴西 Cerrados 地区, 砂质土壤中有机质含量在营造桉树林后降低了 16%~33% [14]。新近的研究发现, 刺槐人工林和落叶松林在中龄期和近熟林期生长迅速, 林木根系代谢活性增加, 提高了养分吸收速率, 会导致土壤有机碳、全氮等物质的消耗大于积累, 进而引起土壤养分含量下降[15] [16]。值得注意的是, 最近田静等的研究表明, 人工林提高了土壤有机碳、全氮及全磷含量, 却降低了土壤有效氮、有效磷等速效养分的含量。由此可见, 人工造林对土壤养分循环的影响还没有一致的结果[17]。

为此, 本研究拟对不同种植年限云南松人工林土壤养分特性进行分析, 探讨土壤理化特性随林龄的变化规律, 以期深入认识人工林更新对土壤养分循环的影响。

2. 样品采集与分析方法

在四川西昌螺髻山地区依据造林时间, 选择地势相对平坦、排水性好的地方作为采样点。根据研究区林业管理人员记录, 依照造林时间顺序, 分别选取种植年限不同的四种云南松人工林, 分别为幼龄林、中龄林, 近熟林和成熟林, 林龄分别为 6、14、25、33 年。每种林地类型布设 3 个样地, 每个样地设置 5 个采样点, 按照混合采样法采集 0 cm~20 cm 表层土样, 去除细根和其它植物残体, 在实验室自然风干后过筛(< 2 mm)作为供试土样。

土壤指标分析: 土壤机械组成为砂粒(2 mm~0.05 mm)、粉粒(0.002 mm~0.05 mm)和粘粒(< 0.002 mm)三个粒级, 吸管法测定。土壤 pH 用酸度计测定, 水土比为 2.5:1。有机质用重铬酸钾-硫酸氧化外加热法; 全氮用凯氏定氮法; 全磷用高氯酸-硫酸消解, 钼锑抗比色法测定。全钾用氢氧化钠熔融法, 原子吸收分光光度法。水解氮用碱解-扩散吸收法。有效磷用钼锑抗比色法。速效钾用醋酸铵浸提, 原子吸收分光光度法; 阳离子交换量(CEC)根据盐基总量加和计算[18]。

3. 结果与分析

3.1. 不同林龄人工林土壤颗粒组成特征

本研究发现, 人工林地土壤粘粒含量在 25.93%~30.32%之间, 粉砂含量在 28.47%~34.87%之间, 各林龄阶段人工林土壤粘粒和粉砂含量没有显著差异(表 1)。砂粒含量在 26.74%~45.61%之间, 与粘粒和粉砂不同, 砂粒含量随着林龄增加有所增加。幼龄林和中龄林阶段土壤砂粒含量无显著差异。与幼龄林和中龄林相比, 近熟林砂粒含量分别增加了 14.88%和 10.12%, 成熟林砂粒含量分别增加 23.13%和 18.03%, 但近熟林与成熟林之间差异不显著。

Table 1. Mechanical composition of soil in plantations with different growing ages (%)
表 1. 不同林龄人工林土壤机械组成(%)

林分	粘粒(< 0.002 mm)	粉砂(0.05 mm~0.002 mm)	砂粒(2.00 mm~0.05 mm)
幼龄林	25.93 ± 0.03 a	33.11 ± 0.21 a	37.96 ± 1.08 a
中龄林	27.53 ± 0.02 a	34.87 ± 0.07 a	39.60 ± 1.69 a
近熟林	28.92 ± 0.04 a	28.47 ± 0.26 a	43.61 ± 0.95 b
成熟林	29.32 ± 0.03 a	32.94 ± 0.06 a	46.74 ± 1.51 b

注: 不同字母代表不同林分在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

Sartori 等的研究表明, 造林后随林龄增加, 土壤砂粒含量有所增加[19]。Annunzio 等对刚果营造桉树人工林的研究指出, 人工造林主要影响土壤的粗颗粒组分[14], 这与本研究结果是一致的。

3.2. 不同林龄人工林土壤酸度特征

研究区不同林龄人工林土壤均呈弱酸性, pH 值在 5.45~5.93 之间, 并随人工林种植年限增加呈下降趋势。幼龄林与中龄林之间土壤 pH 无显著差异($p > 0.05$) (表 2)。近熟林土壤 pH 较低龄林有所下降, 与幼龄林和中龄林相比, 分别下降了 0.29 和 0.15 个单位。成熟林土壤 pH 最低, 较近熟林下降了 0.23 个单位, 两者之间存在显著差异($p < 0.05$)。

Table 2. Acidity change of soil in plantations with different growing ages
表 2. 不同林龄人工林土壤酸度变化

林分	pH	交换性酸(mol·kg ⁻¹)	CEC(mol·kg ⁻¹)	盐基饱和度(%)
幼林龄	5.97 ± 0.05 a	0.28 ± 0.81 a	23.64 ± 0.03 a	34.72 ± 0.21 a
中龄林	5.83 ± 0.27 a	0.31 ± 0.13 a	21.56 ± 0.02 a	31.69 ± 0.07 a
近熟林	5.68 ± 0.04 b	0.37 ± 0.34 b	19.83 ± 0.04 a	25.51 ± 0.26 b
成熟林	5.45 ± 0.11 c	0.41 ± 0.43 b	18.92 ± 0.03 a	23.86 ± 0.06 c

注: 不同字母代表不同林分在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

人工造林对土壤酸碱度的影响已有许多报道。普遍发现人工林更新会不同程度的引起土壤酸化, 尤以针叶林为甚[20], 这与本研究是结果吻合。人工造林引起土壤酸性增加的原因可能是, 由于人工纯林的林相单一, 凋落物富含木质素、单宁等, 在阴潮环境中容易形成较多的有机酸并产生酸性淋溶, 进而使土壤变酸。此外当土壤中同时存在 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 时, 针叶树喜吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, 土壤吸收 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 后会产生等值的 H^+ , 也会导致土壤酸化。云南松作为针叶树种, 其凋落物主要为松针, 针叶分解容易导致土壤 pH 下降。

四种林地的土壤交换性酸在 $0.28 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.41 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间变化, 并随林龄的增加呈上升趋势(表 2)。近熟林和成熟林土壤交换性酸差异不大, 但均显著高于幼龄林和中龄林($p < 0.05$)。与幼龄林和中龄林相比, 近熟林交换性酸分别增加了 32.14% 和 19.35%, 成熟林分别增加 46.42% 和 59.00%。该结果表明云南松人工林生长发育至近熟林阶段, 会对土壤交换性酸产生影响。在落叶松人工林的研究中也发现土壤交换性酸随造林时间有所增加的趋势[21]。出现该现象的原因可能是随着人工造林时间增加, 土壤 pH 降低, 引起土壤交换性铝离子增加, 交换性酸随之增加。

土壤 CEC 含量在 $18.92 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 23.64 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间变化, 各林龄阶段土壤 CEC 差异不显著($p > 0.05$), 说明人工林种植年限对土壤 CEC 的影响不大。CEC 变化不明显的原因在于, CEC 虽然受土壤 pH 的影响, 但可能受有机质和粘粒的影响更大, 是 pH、有机质和粘粒含量相互作用的结果。土壤盐基饱和度随林龄的增加下降明显。幼龄林与中龄林之间盐基饱和度差异不大, 但近熟林盐基饱和度下降显著。与幼龄和中龄阶段的人工林相比, 近熟林盐基饱和度下降了 26.52% 和 19.50% ($p < 0.05$)。成熟林盐基饱和度较近熟林下降更多。相比于幼龄林和中龄林, 成熟林土壤盐基饱和度分别下降 31.27% 和 24.71% (表 2)。造林时间增加引起土壤盐基饱和度下降的原因可能是, 随着林龄增加, 土壤中交换性酸增多, 导致盐基离子大量淋失, 促使盐基饱和度下降。

3.3. 不同林龄林地土壤养分特征

各林龄阶段人工林土壤有机质含量在 $34.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 45.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。有机质含量随林龄的增加呈先上升后下降的趋势(表 3)。幼龄与中龄阶段土壤有机质含量差异不大。近熟林有机质含量最高, 为 $45.14 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 成熟林阶段有机质含量略有下降, 较近熟林下降了 8.26%, 但仍高于幼龄林和中龄林($p < 0.05$) (表 3)。这表明云南松人工林更新对土壤有机质有一定影响。土壤有机质随林龄而变化的趋势也见于落叶松人工纯林的研究中[21]。产生这种影响的原因可能是, 在幼林阶段, 随着云南松的生长, 凋落物逐渐增加, 补充了土壤有机质的数量, 使土壤有机质含量逐渐增加。到中龄阶段以后, 随着林地郁闭度增大, 林地光照和水分条件变差, 微生物活动减弱, 凋落物分解缓慢难以归还, 促使有机质含量呈下降趋势[22]。

Table 3. Nutrient characteristics of soil in plantations with different growing ages**表 3.** 不同林龄人工林土壤养分特性

林龄(年)	有机质(g·kg ⁻¹)	全氮(g·kg ⁻¹)	全磷(g·kg ⁻¹)	全钾(g·kg ⁻¹)
幼林龄	34.12 ± 0.52 a	2.76 ± 0.01 a	0.72 ± 0.23 a	12.55 ± 0.08 a
中龄林	36.28 ± 0.32 a	2.71 ± 0.02 a	0.96 ± 0.06 a	11.58 ± 0.69 a
近熟林	45.14 ± 0.51 b	3.14 ± 0.06 b	0.82 ± 0.16 a	9.68 ± 0.85 b
成熟林	41.41 ± 0.46 c	2.81 ± 0.03 c	0.79 ± 0.05 a	11.80 ± 0.51 c

注: 不同字母代表不同林分在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

土壤全 N 含量随林龄的变化趋势与有机质相似。幼龄与中龄阶段全 N 含量差异不显著, 近熟林土壤全 N 含量最高, 至成熟林后全 N 含量略有下降。中龄阶段以后土壤全 N 增加可能是随着林木生长, 凋落物不断增多, 氮元素不断积累的结果。近熟林阶段以后, 土壤全 N 含量有所下降, 可能是人工林凋落物分解矿化速率低所致。土壤全 P 含量在 $0.72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 0.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 各林龄阶段全 P 含量变化不明显 ($p > 0.05$)。土壤全 K 含量随林龄的变化趋势不同于其它养分指标, 全 K 含量总体随林龄增加呈先减少后增加趋势。近熟林阶段土壤全 K 含量最低, 分别比幼龄林、中龄林和成熟林低 28.28%, 16.40% 和 17.96%。全 K 含量随林龄的变化趋势较难解释, 因为土壤 K 素主要来源于母质。

3.4. 不同林龄林地土壤速效养分特征

土壤水解 N 在近熟林阶段后呈下降趋势(表 4), 成熟林、幼龄林与中龄林、近熟林之间存在显著差异 ($p > 0.05$)。各林龄阶段土壤速效 P 在 $17.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 21.96 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 各林龄阶段速效磷含量变化不显著 ($p > 0.05$)。土壤速效 K 含量在中龄阶段后有所增加, 近熟林和成熟林速效 K 含量显著高于幼龄林和中龄林, 且存在差异显著 ($p < 0.05$)。

Table 4. Available nutrient characteristics of soil in plantations with different growing ages**表 4.** 不同林龄人工林土壤速效养分特性

林龄(年)	水解氮(mg·kg ⁻¹)	速效磷(mg·kg ⁻¹)	速效钾(mg·kg ⁻¹)
幼林龄	174 ± 0.01 a	20.72 ± 0.43 a	468.55 ± 0.08 a
中龄林	140 ± 0.02 a	21.96 ± 0.32 a	472.28 ± 0.46 a
近熟林	124 ± 0.06 a	19.82 ± 0.15 a	483.34 ± 0.75 b
成熟林	112 ± 0.03 b	17.79 ± 0.74 a	478.73 ± 0.31 b

注: 不同字母代表不同林分在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

水解 N 在成熟林阶段下降的原因, 可能是林地大量枯落物没有大量分解, 尚未形成稳定的物质循环, 致使林地水解 N 处于支出状态。土壤速效 K 含量随林龄的增加而增加, 可能是速效 K 受土壤有机质的影响, 因为近熟林阶段土壤有机质的积累有助于 K 素的生物循环, 使其避免淋溶失。

4. 结论

人工林更新对土壤粗颗粒影响较大, 与幼龄林和中龄林相比, 近熟林和成熟林砂粒含量增加明显。人工造林使土壤酸性增加, 土壤交换性酸也随林龄增加呈上升趋势。近熟林和成熟林土壤交换性酸均显著高于幼龄林和中龄林 ($p < 0.05$)。与幼龄林和中龄林相比, 近熟林交换性酸增加了 32.14% 和 19.35%, 成熟林增加了 46.42% 和 59.00%。土壤有机质含量随林龄的增加呈先增加后减少的趋势。幼龄与中龄阶段土

壤有机质含量差异不大。近熟林有机质含量最高, 至成熟林阶段其含量略有下降。土壤全 N 含量随林龄的变化趋势与有机质相似, 而全 P 随林龄增加的变化趋势不明显。全 K 含量随林龄增加呈先减少后增加趋势。近熟林阶段土壤全 K 含量最低, 分别比幼龄林、中龄林和成熟林低 28.28%, 16.40% 和 17.96%。土壤水解 N 和速效 P 随林龄增加的变化不显著。速效 K 含量在中龄阶段后有所增加, 近熟林和成熟林速效 K 含量显著高于幼龄林和中龄林。

基金项目

西南民族大学中央高校基本科研业务费专项资金资助(2020NYB06)。

参考文献

- [1] Kimmins, J.P.A. (1990) Strategy for Research on the Maintenance of Long-Term Site Productivity. *The 19th World Congress Proceedings*, Vienna, 1990, 206-213.
- [2] 王金悦, 邓羽松, 李典云, 等. 连栽桉树人工林土壤大孔隙特征及其对饱和导水率的影响[J]. *生态学报*, 2021, 41(19): 7689-7699.
- [3] 张欢, 曹俊, 王化冰, 等. 张北地区退化杨树防护林的水分利用特征[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(5): 1381-1388.
- [4] 李雪, 王静, 张静, 等. 林龄和林分密度对华北落叶松人工林土壤养分和细菌群落的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2022, 42(10): 83-92.
- [5] 赵海燕, 徐福利, 王渭玲, 等. 秦岭地区华北落叶松人工林地土壤养分和酶活性变化[J]. *生态学报*, 2015, 35(4): 1086-1094.
- [6] Wang, Q., Teng, Z., Wang, J.J., *et al.* (2020) Elevation Distribution of Fine Root Biomass and Soil Organic Carbon Storage of Mature Chinese Fir Plantations in East China. *Polish Journal of Ecology*, **68**, 84-93. <https://doi.org/10.3161/15052249PJE2020.68.1.007>
- [7] 李鹏, 陈璇, 杨章旗, 等. 不同密度马尾松人工林枯落物输入对土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2022, 36(2): 368-377.
- [8] 刘超华, 李凤巧, 廖杨文科, 等. 人工林对土壤地力的影响过程及其调控研究进展[J/OL]. *土壤学报*: 1-14. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20220520.1831.006.html>, 2022-05-23.
- [9] 赵玉林, 陈云江, 冯毅, 等. 成都龙泉山不同林龄香樟人工林土壤养分和微生物群落结构[J]. *应用与环境生物学报*, 2022, 28(5): 1151-1159.
- [10] 张国微, 薛建辉, 马洁, 等. 喀斯特退化山地不同类型人工林土壤养分与酶活性[J]. *生态学杂志*, 2023, 1-9.
- [11] 赵满兴, 杨帆, 马文全, 等. 黄土丘陵区沙棘人工林土壤养分及酶活性季节变化[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(2): 58-66.
- [12] Smethurst, P.J. and Nambiar, E.K.S. (1990) Distribution of Carbon and Nutrients and Fluxes of Mineral Nitrogen after Clear-Felling a Pradiata Plantation. *Canadian Journal of Forest Research*, **20**, 1490-1497. <https://doi.org/10.1139/x90-197>
- [13] 曾芳群, 何蓉, 蒋云东, 等. 蓝桉造林施肥对林地土壤肥力影响的监测结果[J]. *云南林业科技*, 1996(S1): 34-39.
- [14] Annunzio, R., Conche, S., Landais, D., *et al.* (2008) Pairwise Comparison of Soil Organic Particle-Size Distributions in Native Savannas and Eucalyptus Plantations in Congo. *Forest Ecology and Management*, **255**, 1050-1056. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.10.027>
- [15] Li, K., Han, X., Ni, R.Q., *et al.* (2021) Impact of *Robinia pseudoacacia* Stand Conversion on Soil Properties and Bacterial Community Composition in Mount Tai, China. *Forest Ecosystems*, **8**, 253-264. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00296-x>
- [16] 王冰, 张鹏杰, 张秋良. 不同林龄兴安落叶松林土壤总有机碳与理化性质的关系[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2021, 49(10): 36-45.
- [17] 田静, 步连燕, 陈文峰, 等. 毛乌素沙地人工林恢复对土壤剖面化学性质和细菌群落的影响[J]. *土壤学报*, 2023, 1-12.
- [18] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [19] Sartori, F., Lal, R. and Ebinger, M.H. (2007) Changes in Soil Carbon and Nutrient Pools along a Chronosequence of Poplar Plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **122**, 325-339.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.026>

- [20] 程国玲, 邵士文, 陈永亮. 水曲柳落叶松纯林与混交林根际土壤 pH 值变化对比[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 102-104.
- [21] 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]: [博士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2003.
- [22] 杨涛, 徐慧, 方德华, 等. 樟子松林下土壤养分、微生物及酶活性的研究[J]. 土壤通报, 2006(2): 2253-2257.