

# 辽东山区红松人工林间伐恢复过程中土壤化学计量学特征

潘丕克 丁磊 李淳 徐阳 徐庆祥 刘晴 常婧

(辽宁省森林经营研究所 辽宁丹东 118003)

**摘要:**【目的】为了明确辽东红松人工林间伐恢复过程中的土壤化学计量学特征。【方法】以间伐和未间伐(对照)的辽东山区红松人工林为研究对象,于2012年进行间伐作业,并分别于2014年和2019年对两块样地取土壤样品分析碳氮磷钾养分含量和它们之间的化学计量学特征。【结果】在间伐短期恢复过程中,土壤全氮、水解性氮均有明显的提高,其中间伐比对照提高的程度更大;土壤全磷和有效磷含量基本保持不变,有效磷呈略降低趋势;土壤全钾呈显著的下降趋势,而速效钾上升明显;间伐的有机碳呈上升趋势而对照的有机碳则呈下降趋势。土壤C:N和C:K均有显著的提升,而C:P基本保持不变。N:P有一定程度的提升,而N:P增长较高。P:K有一定程度的增加。【结论】在间伐短期恢复过程中,辽东山区红松人工林土壤养分含量均有显著增加,只有磷含量基本保持不变。在此过程中,土壤C:N和C:K均有显著的提升,而C:P基本保持不变。在自然环境良好的条件下,5年时间辽东山区红松人工林能够从间伐时土壤的破坏状态恢复至自然平衡状态。

红松作为我国东北东部山地地带性植被的优势树种,用途广泛,具有较高的经济价值和生态价值。辽宁省森林经营研究所实验林场拥有自1949年营造的新中国第一处红松人工林,迄今林龄达71年,作为红松人工林具有代表性,对其研究具有重要意义。土壤的化学计量比是分析土壤中有机质组成和质量的重要指标,反映了土壤内部碳氮磷钾等养分的循环特征。本文以辽东红松人工林为研究对象,分析了间伐措施后短期内土壤碳氮磷钾含量和它们之间的比值,以丰富该地区红松人工林生态系统生态化学计量学领域的基础研究。

## 1 研究区概况

研究地点位于辽宁省本溪市本溪满族自治县草河口镇(40°53'N,123°51'E),属于大陆性季风性气候,平均海拔约645m,气温低,年均气温6.5℃,年均降水量926.3mm,土壤为山地棕色森林土,pH值为5.3~6.3,保水性差。植被以红松人工林为主,其下植物稀疏,仅有少量铁线莲(*Clematis florida* Thunb)、大叶樟(*Cinnamomum parthenoxylon*(Jack) Nees)、天南星(*Arisaema erubescens* (Wall) Schott)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

以1949年营造的红松人工林为研究对象,间伐处理分别在1959年、1967年、1987年、1994年、2005年、2012年进行6次抚育间伐作业,每次间伐保留株树严格DB21/T 706-2013《森林经营技术规程》进行。对照处理从营造人工林之后一直未进行过任何抚育间伐措施,保持自然稀疏状态。样地基本特征见表1。

表1 样地基本特征

Tab.1 Basic characteristics of the plot

| 采伐强度 | 海拔/m | 坡位 | 坡向 | 密度 株/公顷 | 平均胸径 cm |
|------|------|----|----|---------|---------|
| 对照   | 530  | 中  | NE | 1100    | 23.52   |
| 间伐   | 530  | 中  | NE | 310     | 36.34   |

### 2.2 研究方法

分别于2014年(伐后2年)和2019年(伐后7年)对两块样地取土壤样品进行分析,分别取0-10cm(A层)和10-20cm(B层)的土层样品。取样方法按照LY/T 2250—2014《森林土壤调查技术规程》的方法进行。取得的土壤样品按照LY/T 1228—2015《森林土壤氮的测定》、LY/T 1232—2015《森林土壤磷的测定》、LY/T 1234—2015《森林土壤钾的测定》、LY/T 1237—1999《森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算》等的方法测定土壤全氮、水解性氮、全磷、有效磷、全钾、速效钾和有机碳等养分含量。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤养分含量

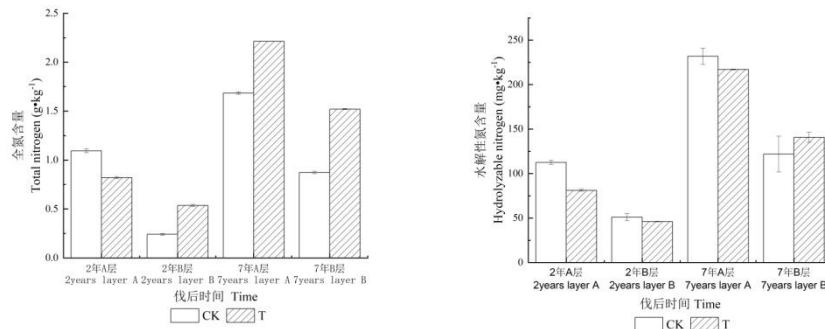


图 1 土壤氮含量

图 1 中可以看出, 经过 5 年的恢复, 土壤中全氮含量和水解性氮含量均有显著的提升。间伐处理的土壤氮含量增长更快。其中 CK 和间伐的 A 层土壤全氮含量分别从 1.094 和 0.820 g/kg 提高至 1.684 和 2.213g/kg; B 层土壤全氮含量分别从 0.241 和 0.536g/kg 提高至 0.873 和 1.520g/kg。CK 和间伐的 A 层土壤水解性氮含量分别从 112.52 和 81.05mg/kg 提高至 231.777 和 216.948mg/kg; B 层土壤水解性氮含量分别从 51.075 和 46.148mg/kg 提高至 121.935 和 140.802mg/kg。

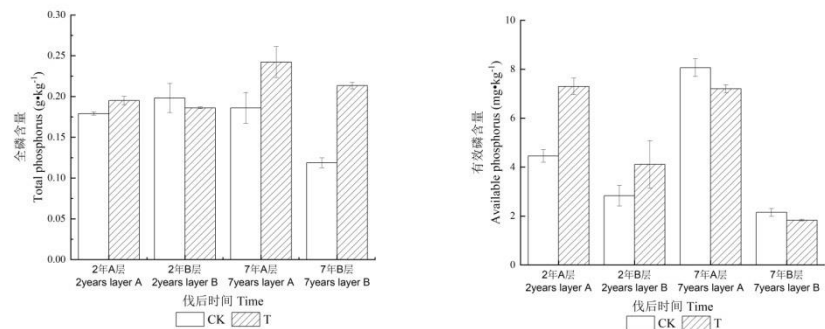


图 2 土壤磷含量

图 2 中可以看出, 经过 5 年的恢复, 土壤中全磷含量和有效磷含量提升不明显, 甚至 B 层土有下降趋势。其中 CK 和间伐的 A 层土壤全磷含量分别从 0.179 和 0.195g/kg 变化至 0.186 和 0.242g/kg; B 层土壤全磷含量分别从 0.198 和 0.186g/kg 变化至 0.119 和 0.213g/kg。CK 和间伐的 A 层土壤有效磷含量分别从 4.458 和 7.295mg/kg 变化至 8.062 和 7.199mg/kg; B 层土壤有效磷含量分别从 2.829 和 4.113mg/kg 变化至 2.150 和 1.830mg/kg。

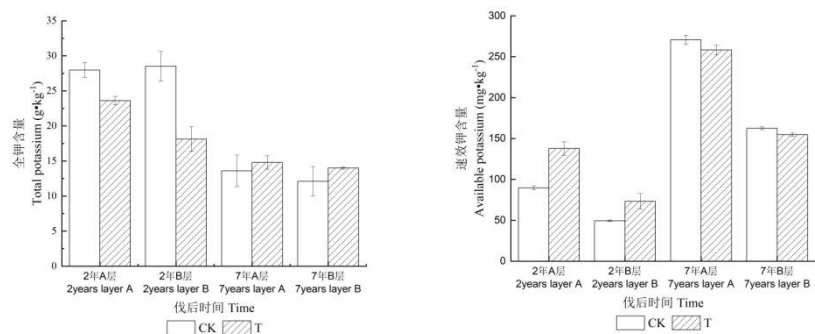


图 3 土壤钾含量

图 3 中可以看出, 经过 5 年的恢复, 土壤中全钾含量明显降低, 速效钾含量明显增高。其中 CK 和间伐的 A 层土壤全钾含量分别从 27.975 和 23.620g/kg 降低至 13.589 和 14.797g/kg; B 层土壤全钾含量分别

从 28.512 和 18.126g/kg 降低至 12.106 和 13.988g/kg。CK 和间伐的 A 层土壤速效钾含量分别从 89.615 和 137.795mg/kg 升高至 270.664 和 258.260mg/kg；B 层土壤速效钾含量分别从 49.394 和 73.092mg/kg 升高至 162.523 和 154.782mg/kg。

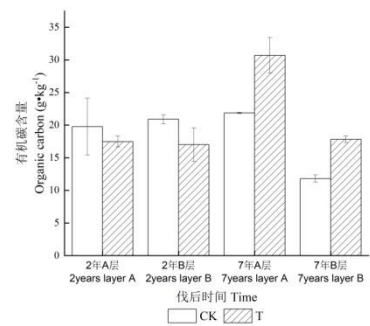


图 4 有机碳含量

图 4 中可以看出，经过 5 年的恢复，土壤中有有机碳含量升高。其中 CK 和间伐的 A 层土壤有机碳含量分别从 19.769 和 17.470g/kg 升高至 21.866 和 30.702g/kg；B 层土壤有机碳含量分别从 20.888 和 17.010g/kg 变化至 11.804 和 17.822g/kg。

3.2 土壤化学计量学特征

表 2 表示的是经过 5 年的恢复，间伐后红松人工林土壤化学计量学特征变化。由表中可知，C:N 变化区间为 11.726-86.672，随着土壤的恢复，C:N 明显降低，且 B 层降低幅度大。C:P 基本保持不变，变化区间为 83.553-126.794，A 层升高幅度较小，B 层则有较小的降低。C:K 提升较明显，变化区间为 0.707-2.075，CK 和间伐的 A 层恢复后为恢复前的 2.28 倍和 2.80 倍，CK 和间伐的 B 层恢复后则为恢复前的 1.33 倍和 1.36 倍。N:P 有一定提升，变化区间为 1.217-9.139，CK 和间伐的 A 层恢复后为恢复前的 1.48 倍和 2.17 倍，CK 和间伐的 B 层恢复后则为恢复前的 6.05 倍和 2.47 倍。N:K 提升较明显，变化区间为 0.008-0.150，CK 和间伐的 A 层恢复后为恢复前的 6.15 倍和 4.29 倍，CK 和间伐的 B 层恢复后则为恢复前的 9.00 倍和 3.63 倍。P:K 有一定提升，变化区间为 0.006-0.016，CK 和间伐的 A 层恢复后为恢复前的 2.33 倍和 2.00 倍，CK 和间伐的 B 层恢复后则为恢复前的 1.43 倍和 1.5 倍。

表 2 土壤化学计量学特征

| 土壤化学计量学指标 | 处理 | 伐后时间    |         |         |        |
|-----------|----|---------|---------|---------|--------|
|           |    | 2 年     |         | 7 年     |        |
|           |    | A 层     | B 层     | A 层     | B 层    |
| C:N       | CK | 18.070  | 86.672  | 12.983  | 13.526 |
|           | T  | 21.305  | 31.735  | 13.874  | 11.726 |
| C:P       | CK | 110.441 | 105.495 | 117.585 | 99.530 |
|           | T  | 89.590  | 91.452  | 126.794 | 83.553 |
| C:K       | CK | 0.707   | 0.733   | 1.609   | 0.975  |
|           | T  | 0.740   | 0.938   | 2.075   | 1.274  |
| N:P       | CK | 6.112   | 1.217   | 9.057   | 7.358  |
|           | T  | 4.205   | 2.882   | 9.139   | 7.126  |
| N:K       | CK | 0.039   | 0.008   | 0.124   | 0.072  |
|           | T  | 0.035   | 0.030   | 0.150   | 0.109  |
| P:K       | CK | 0.006   | 0.007   | 0.014   | 0.010  |
|           | T  | 0.008   | 0.010   | 0.016   | 0.015  |

4 讨论

4.1 辽东山区红松人工林间伐恢复过程中土壤养分含量变化规律

在间伐短期恢复过程中,土壤全氮、水解性氮均有明显的提高,其中间伐比对照提高的程度更大;土壤全磷和有效磷含量基本保持不变,有效磷呈略降低趋势;土壤全钾呈显著的下降趋势,而速效钾上升明显;间伐的有机碳呈上升趋势而对照的有机碳则呈下降趋势。

有研究表明,土壤养分有效性降低将导致植物光合作用能力和植物养分含量发生变化,结果是生态系统净初级生产力被限制,同时土壤有机质的分解作用和地表碳积累作用也会降低。本文研究表明,随着间伐的短期恢复,辽东山区红松人工林速效性的氮和钾上升,增加了该生态系统的净生产力,主要表现为红松胸径和蓄积均增加。而且间伐的土壤速效性养分含量更高,导致其胸径和蓄积的增长更快。同时前人长期研究表明,温带森林的植物生长一般是受到氮元素限制的。本研究中土壤氮元素的增加程度最大,也说明了辽东山区红松人工林生长受到氮元素限制。

#### 4.2 辽东山区红松人工林间伐恢复过程中土壤化学计量学特征

在间伐短期恢复过程中,土壤 C:N 和 C:K 均有显著的提升,而 C:P 基本保持不变。N:P 有一定程度的提升,而 N:P 增长较高。P:K 有一定程度的增加。全国土壤 C:N 介于 10:1 和 12:1 之间,本研究中的土壤在伐后 2 年时 C:N 为 18.070~86.672,而 7 年时则为 11.726~13.874,该数据从显著高于全国平均值到恢复至平均值说明了间伐过程中的采伐、运输等操作措施对土壤尤其是表层土壤具有显著的破坏作用,在自然环境良好的条件下,经过 5 年的能够恢复至自然平衡状态。

一般来说,土壤有机质 C:N 与分解速率成反比,因为土壤微生物在生命周期中不仅需要碳源提供能量,还需要氮元素提供细胞生长的需求。而微生物的正常的生长状态下,其需要的 C:N 为 25:1,当 C:N 较高时,需要额外输入氮元素或者增加低 C:N 的植物残体满足微生物生长。一般来讲,幼嫩多汁的植物残体 C:N 较低。因此在间伐初期,可以为林下土壤提供此类植物残体(如草本植物)来加快土壤的恢复速度。

#### 5 结论

在间伐短期恢复过程中,辽东山区红松人工林土壤养分含量均有显著增加,只有磷含量基本保持不变。在此过程中,土壤 C:N 和 C:K 均有显著的提升,而 C:P 基本保持不变。在自然环境良好的条件下,经过 5 年时间辽东山区红松人工林能够从间伐时土壤的破坏状态恢复至自然平衡状态。

### 参 考 文 献

- 国家林业局. 2015. 森林土壤氮的测定(LY/T 1228—2015). 北京: 中国标准出版社.
- 国家林业局. 2015. 森林土壤磷的测定(LY/T 1232—2015). 北京: 中国标准出版社.
- 国家林业局. 2015. 森林土壤钾的测定(LY/T 1234—2015). 北京: 中国标准出版社.
- 国家林业局. 1999. 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算(LY/T 1237—1999). 北京: 中国标准出版社.
- 国家林业局. 2015. 森林土壤调查技术规程(LY/T 2250—2014). 北京: 中国标准出版社.
- 郭绮雯, 段文标, 陈立新, 等. 2021. 模拟凋落物添加与氮磷沉降对红松凋落物生态化学计量特征的影响. 植物营养与肥料学报, 27 (7): 1222-1233.
- 雷丽群, 卢立华, 农友, 等. 2017. 不同林龄马尾松人工林土壤碳氮磷生态化学计量学特征. 林业科学研究, 30 (6): 954-960.
- 梁晓娇. 2017. 红松人工林生态化学计量特征研究. 哈尔滨: 东北林业大学.
- 辽宁省林业厅. 2013. 森林经营技术规程(DB21/T 706-2013). 北京: 中国标准出版社.
- 刘晴, 徐阳, 张妍, 等. 2021. 抚育间伐对辽东山区红松人工林土壤酶活性的影响. 森林工程, 37 (3): 67-71.
- 祁金虎, 杨会侠, 丁国泉, 等. 2016. 抚育间伐对辽东山区人工红松林土壤物理性质及持水特性的影响. 东北林业大学学报, 44 (5): 48-51.
- 王绍强, 于贵瑞. 2008. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. 生态学报, 28 (8): 3937-3947.
- 姚博. 2018. 辽东山区红松人工林不同密度管理培育大径材效果分析. 辽宁林业科技, (5): 1-4.