

间伐对杉木人工林凋落物-土壤碳氮磷含量及储量的影响

黄凤生¹, 袁健军², 余雪琴³

(1. 浙江省开化县林业局, 浙江 开化 324300; 2. 浙江诚川建设有限公司, 浙江 杭州 311400; 3. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 324300)

摘要: 森林经营管理影响植物-土壤系统碳氮磷元素转化及其计量关系。在浙江开化县林场开展了不同间伐强度下凋落物和土壤碳氮磷储量及其生态化学计量关系研究。结果表明, 间伐7年后, 凋落物生物量及碳氮磷储量在不同间伐处理之间没有显著差异, 土壤总有机碳、易氧化有机碳、总磷和有效磷储量在不同间伐处理之间的差异也不显著, 但中度间伐处理土壤总氮和水解氮储量比未间伐处理分别增加了40.7%和32.3%, 轻度间伐处理与未间伐处理之间土壤总氮和水解氮储量差异不显著。凋落物和土壤碳氮磷生态化学计量比在不同间伐处理之间差异不显著, 但土壤易氧化有机碳/水解氮随间伐强度增大逐渐降低(50.1~35.9), 水解氮/有效磷随间伐强度增大逐渐增加(60.0~81.6)。因此, 间伐有利于土壤氮素的积累, 这可能与间伐后凋落物生物量的增加有关。

关键词: 间伐; 杉木人工林; 凋落物; 土壤; 养分

中图分类号: S714.8 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2020)01-0032-05

Effect of Thinning on Content and Storage of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Litter and Soil in *Cunninghamia lanceolata* Plantation

HUANG Feng-sheng¹, YUAN Jian-jun², YU Xue-qin³

(1. Kaihua Forestry Bureau of Zhejiang, Kaihua 324300, China; 2. Zhejiang Chengchuan Co. Ltd., Hangzhou 311400, China; 3. Kaihua Forest Farm of Zhejiang, Kaihua 324300, China)

Abstract: In 1996, improved *Cunninghamia lanceolata* families were afforested with density of 2500 individual/ha in Kaihua Forest Farm of Zhejiang province. Tendering was carried out 2 times/year in the first 3 years after planting. In 2003, the first thinning was implement and in 2010, the second thinning experiment was made with light intensity (18%), moderate intensity (32%) and control (no thinning) in sample plot of 20 m×20 m with 3 repeats. Within sample plot, 5 quadrats were established. In 2017, litter and soil in different quadrat were collected for investigation. The results showed that litter biomass, carbon, nitrogen and phosphorus storages had no significant difference among different treatment. The storage of total soil organic carbon, readily oxidizable organic carbon, total phosphorus and available phosphorus showed the same. However, the storage of total and hydrolysable nitrogen in the plot with moderate intensity increased by 40.7% and 32.3% than that in the control. There was no significant difference of total and hydrolysable nitrogen between light thinning and the control. The C:N:P ratios in litter and soil had no significant difference among different thinning treatment, while the ratio of soil readily oxidizable organic carbon/hydrolysable nitrogen decreased with the increase of thinning intensity (from 50.1 to 35.9), and the ratio of hydrolysable nitrogen/available phosphorus increased with the thinning intensity (from 60.0 to 81.6).

Key words: thinning; *Cunninghamia lanceolata*; litter; soil; nutrient

收稿日期: 2019-05-09; 修回日期: 2019-11-12

基金项目: 国家林业科技成果推广项目(2015-40)

作者简介: 黄凤生, 工程师, 从事林业资源管理工作; E-mail: 54605612@qq.com。

碳(C)、氮(N)和磷(P)是生态系统最主要的3种元素,与植物结构及生长密切相关^[1-3]。植物生长所需大部分养分来自土壤,土壤对植物生长具有调节作用^[4-5]。植物光合作用固定的C以凋落物分解的形式输入到土壤中,使得土壤C得到补给。凋落物分解是连接植被和土壤的纽带,人工林经营管理影响凋落物输入和输出过程^[6-7]。因此,森林经营管理往往导致凋落物-土壤养分含量的时空变化以及C、N和P生态化学计量关系的变化^[8-9]。

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国亚热带地区最主要的用材树种之一,不仅生长快,而且材质优良,栽培面积大,占现有人工林面积的19.01%,在木材生产和生态安全中发挥着重要作用。间伐是主要的人工林经营技术措施之一,通过降低林分密度,改善林分结构和种间关系,减小树木间的竞争,促进保留木的生长^[10]。森林凋落物是土壤养分的主要来源,对于维持森林生态系统养分平衡至关重要^[11]。已有研究表明,间伐改变了林内微环境,进而影响地上、地下凋落物的产量、质量和分解^[12-14]。抚育间伐可以促进凋落物分解,是缓解针叶凋落物过分积累的主要措施之一。油松 *Pinus tabulaeformis* 人工林间伐后叶凋落物分解速率可提高0.15%~1.87%,养分归还量可提高2.87~3.64倍^[15]。此外,由于间伐改变了土壤养分的循环过程,对土壤碳储量及养分含量有重要影响^[8]。但是,目前多数研究主要关注间伐后短期内凋落物分解和土壤质量的变化,而间伐对凋落物-土壤C、N和P的储量及其生态化学计量关系的长期影响则知之甚少。本研究在浙江省开化县林场以间伐7年后的杉木人工林为研究对象,研究不同间伐处理对凋落物和土壤C、N和P含量、储量及其生态化学计量关系的影响,为杉木人工林养分循环过程研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地设在浙江省开化县林场,118°25'E,29°09'N,属亚热带季风气候,年平均气温16.4℃,年平均降水量1814 mm,无霜期252 d,年日照总时数1334.1 h,海拔180~300 m。土壤为红黄壤,pH值在4.2~4.7。林场森林总面积1.26万hm²,主要以经营杉木为主,杉木人工林面积占林地总面积的60%以上。

供试林分为1996年采用杉木优良无性系营造的纯林,初植密度为2500株·hm²,造林后前3年每年抚育2次。2003年进行1次抚育间伐(间伐强度约15%)。2010年进行第2次间伐,分别设置轻度间伐(18%间伐强度,LT,以株数计,下同)、中度间伐(32%间伐强度,HT)和不间伐(CK)3种处理,每种间伐处理小区面积20 m×20 m,3次重复,共9个小区,所有试验位于同一坡面,试验小区立地条件基本一致。2017年11月每木检尺小区内杉木树高和胸径。结果显示,CK,LT和HT的保留密度分别为1805,1436和1102株·hm²,平均树高分别为16.1,16.3和16.7 m,平均胸径分别为18.5,18.9和20.2 cm。

1.2 数据收集和分析

2017年11月,在每块样地内随机设置1 m×1 m的样方5个,收集样方内所有凋落物,称鲜质量后,取一部分凋落物样品带回实验室用于含水量和化学性质测定。同时在每块样地内采用直径4 cm的土钻,采集0~20 cm土层土壤样品,每个样地内随机采集6~8个样点的土样,同一样地土样混合后作为一个混合样。土样经自然风干后,用于土壤化学性质测定。每个样地内采用环刀取3个样品,用于土壤容重测定。凋落物有机碳(litter organic carbon, LOC)和土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)含量采用重铬酸钾氧化-外加热法测定,总氮(total nitrogen, TN)采用凯氏定氮法测量,总磷(total phosphorus, TP)用钼蓝比色法,土壤易氧化有机碳(readily oxidizable organic carbon, ROC)采用高锰酸钾氧化法测定,水解氮(Hydrolyzed nitrogen, HN)采用碱解扩散吸收法,有效磷(available phosphorus, AP)用钼锑抗比色法^[16]。

单位面积凋落物C、N和P储量用样方内元素含量乘以面积进行计算,土壤C、N和P储量计算公式为:

$$S = A \times \rho \times D$$

式中, S 为 C, N 或 P 储量; A 为 C, N 或 P 含量; ρ 为土壤容重; D 为土层深度。

不同间伐处理之间凋落物和土壤 C, N 和 P 含量及其储量的差异采用 SPSS 22.0 的单因素方差分析检验, 并进行 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 凋落物和土壤的 LOC, SOC, TN, TP 含量及储量的变化

由表 1 可知, 地表凋落物生物量随间伐强度增大呈增加趋势, 但不同间伐处理之间凋落物生物量之间没有显著差异 ($P>0.05$); 凋落物 LOC, TN, TP 含量及其储量在不同间伐处理之间也没有显著差异 ($P>0.05$)。

表 1 杉木林不同间伐处理凋落物的生物量, LOC, TN, TP 含量及储量

Table 1 Biomass, content and storage of LOC, TN and TP of *C. lanceolata* litter under plantations with different thinning intensities

处理	生物量 /(t·hm ⁻²)	LOC含量 /(g·kg ⁻¹)	LOC储量 /(kg·hm ⁻²)	TN含量 /(g·kg ⁻¹)	TN储量 /(kg·hm ⁻²)	TP含量 /(g·kg ⁻¹)	TP储量 /(kg·hm ⁻²)
CK	7.4±0.3	428.5±17.7	3 174.4±162.3	10.7±0.8	79.3±5.8	0.57±0.02	4.2±0.2
LT	7.6±0.3	438.5±19.5	3 322.7±187.2	10.4±1.0	78.7±5.6	0.53±0.04	4.1±0.3
HT	7.9±0.4	434.9±15.6	3 370.5±194.5	11.2±1.1	86.2±7.3	0.50±0.04	3.8±0.1

由表 2 可知, 土壤容重随间伐强度增大逐渐降低, LT 与 CK 之间土壤容重没有显著差异 ($P>0.05$), HT 处理土壤容重比 CK 降低了 9.7% ($P<0.05$)。土壤 SOC 含量随间伐强度增加逐渐增大, 仅 HT 处理的土壤 SOC 含量显著高于 CK ($P<0.05$)。土壤 SOC 储量、TP 含量及其储量在不同间伐处理之间差异不显著 ($P>0.05$)。土壤 TN 含量及其储量随间伐强度增大而增加, LT 和 HT 处理土壤 TN 含量分别比 CK 增加了 35.7% 和 55.5%, 土壤 TN 储量分别比 CK 增加了 30.2% 和 40.7%; 仅 HT 与 CK 之间具有统计上的显著差异 ($P<0.05$)。

表 2 杉木林不同间伐处理土壤 SOC, TN, TP 含量及储量

Table 2 Content and storage of SOC, TN and TP in the soil under *C. lanceolata* plantations with different thinning intensities

处理	容重 /(g·cm ⁻³)	SOC含量 /(g·kg ⁻¹)	SOC储量 /(kg·hm ⁻²)	TN含量 /(g·kg ⁻¹)	TN储量 /(kg·hm ⁻²)	TP含量 /(g·kg ⁻¹)	TP储量 /(kg·hm ⁻²)
CK	1.20±0.06a	15.09±1.51b	3625±389a	1.19±0.09b	284.5±23.1b	0.19±0.03a	45.9±4.9a
LT	1.15±0.06ab	15.18±1.24ab	3499±338a	1.34±0.18ab	309.0±35.4ab	0.21±0.01a	47.5±2.3a
HT	1.09±0.04b	16.23±1.28a	3516±250a	1.51±0.21a	327.8±40.7a	0.27±0.07a	57.8±13.1a

注: 同一列不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著, 下同。

土壤 ROC, AP 含量及其储量在不同间伐处理之间差异不显著 ($P>0.05$) (表 3)。土壤 HN 含量及其储量随间伐强度增大而增加, LT 和 HT 处理的土壤 HN 含量分别比 CK 增加了 28.9% 和 45.4%, 土壤 HN 储量分别比 CK 增加了 23.7% 和 32.3%; 仅 HT 处理与 CK 之间具有统计上的显著差异 ($P<0.05$)。

表 3 杉木林不同间伐处理的土壤 ROC, HN, AP 含量及储量

Table 3 Content and storage of ROC, HN and AP in the soil under *C. lanceolata* plantations with different thinning intensities

处理	ROC含量 /(g·kg ⁻¹)	ROC储量 /(kg·hm ⁻²)	HN含量 /(mg·kg ⁻¹)	HN储量 /(kg·hm ⁻²)	AP含量 /(mg·kg ⁻¹)	AP储量 /(kg·hm ⁻²)
CK	3.43±0.52a	819.3±104.4a	68.4±19.2b	16.5±4.8b	1.14±0.34a	0.27±0.07a
LT	3.46±0.24a	794.1±17.1a	88.2±15.8ab	20.4±4.4ab	1.21±0.39a	0.28±0.09a
HT	3.57±0.31a	784.2±85.3a	99.5±16.3a	21.8±3.6a	1.22±0.36a	0.27±0.09a

2.2 凋落物和土壤中的 C, N, P 的生态化学计量学特征

由图 1 表明, 凋落物的 OC/TN, OC/TP 和 TN/TP 在不同间伐处理之间没有显著差异 ($P>0.05$)。SOC, TN 和 TP 的计量关系在不同间伐处理之间也没有统计上的显著差异 ($P>0.05$)。由图 2 表明, 土壤 ROC/HN 随间伐强度增大逐渐降低, HT 处理的 ROC/HN 与 CK 之间差异显著 ($P<0.05$); HN/AP 则随间伐强度增大逐渐增加, HT 处理的 HN/AP 与 CK 之间差异显著 ($P<0.05$); ROC/AP 在不同间伐处理之间差异不显著 ($P>0.05$)。

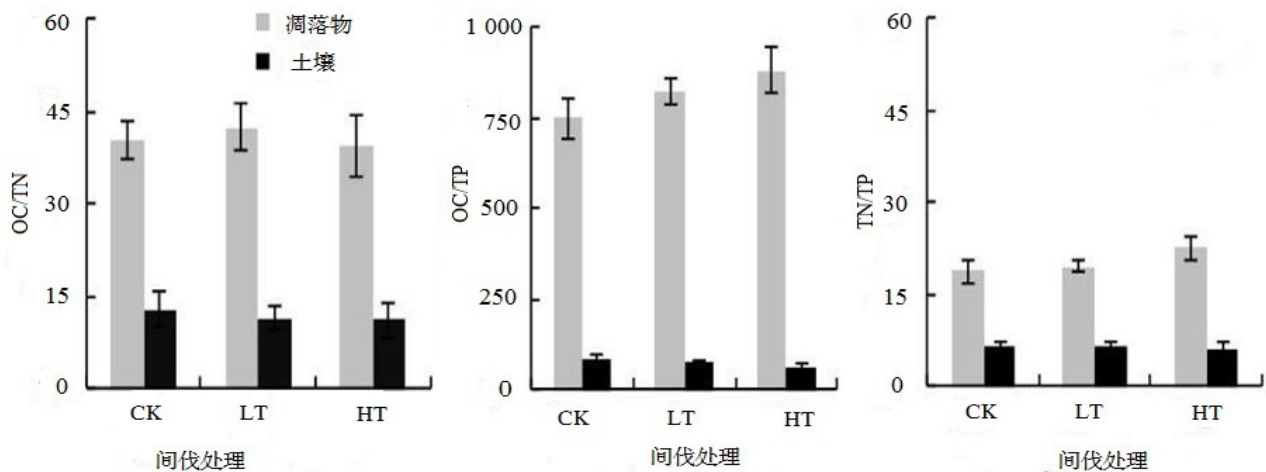


图 1 杉木林不同间伐处理凋落物和土壤 C, N 和 P 含量的计量关系

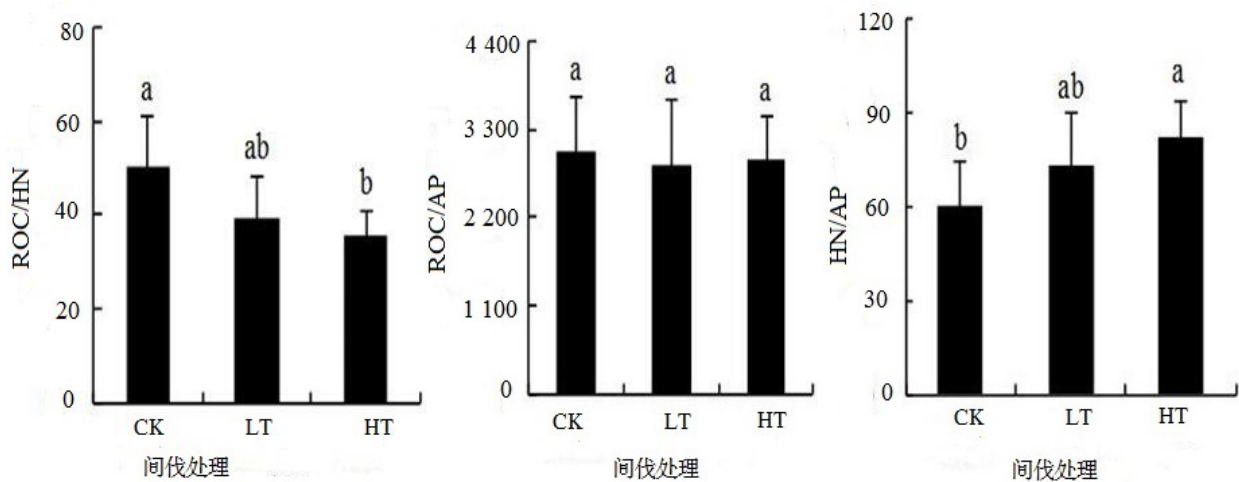
Figure 1 Stoichiometry of C, N, and P content in litter and soil under *C. lanceolata* plantations with different thinning intensities

图 2 杉木林不同间伐处理土壤 ROC, HN 和 AP 含量的计量关系

Figure 2 Stoichiometry of ROC, HN, and AP in soil under *C. lanceolata* plantations with different thinning intensities

3 结论与讨论

间伐降低了林分密度, 改变了林分空间结构, 从而影响凋落物分解和土壤养分循环^[12]。本研究发现, 间伐 7 年后, 地表凋落物生物量, C, N 和 P 元素含量及储量在不同间伐处理之间没有显著差异。已有研究表明, 间伐后林木株数减少, 冠层郁闭度降低, 短期内提高了地表温度, 有助于凋落物的分解^[11-12]。间伐后的林分, 林木个体之间竞争减小, 保留木快速生长, 通过一段时间恢复, 林分凋落物输入量逐渐接近未间伐林分, 因而导致凋落物生物量与未间伐林分之间没有差异。凋落物养分含量 (如 C/N, N/P 等) 主要取决于凋落物的组成, 间伐 7 年后的林分地表凋落物与未间伐林分凋落物组成类似, 均以杉木叶、枝为主, 这可能是导致不同间伐处理凋落物养分含量没有显著差异的主要原因。但是, 丁晓东等^[7]对华北落叶松 *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* 人工林间伐试验发现, 50% 间伐处理的林分 6 年后凋落物生物量增加了 17.25%, TN 含量增加了 31.94%。李国雷等^[15]的研究也表明, 间伐可显著提高油松凋落物 TN 含量, 降低木质素和粗脂肪含量, 从而促进油松凋落物的分解。这些不同的研究结果可能与树种、间伐强度、间伐后持续时间等因素有关。

本研究结果表明, 土壤 SOC, ROC, TP 和 AP 含量及其储量在不同间伐处理之间差异不显著, 但土壤 TN 和 HN 含量及其储量随间伐强度增大显著增加。陈立新和陈祥伟^[6]的研究也表明, 落叶松人工林间伐 15 年间,

土壤有机质、TN 和 TP 含量是未间伐处理的 3.52 倍、2.25 倍和 1.35 倍。刁娇娇等^[10]研究发现,杉木间伐 7 年后,强度间伐、中度间伐和轻度间伐处理土壤层 C 储量高于对照,尤其是轻度间伐土壤层 C 储量增幅最大。于海群等^[17]研究表明,油松人工林随间伐强度增大,土壤 SOC 含量逐渐增加。这些研究认为间伐后土壤 SOC 含量及储量的增加主要是林下植被改变和凋落物分解速率增加,促进了土壤 SOC 的输入和积累。本研究不同间伐处理之间土壤 C, P 的储量没有差异,可能与间伐后林木快速生长,不同间伐处理之间凋落物输入量接近有关。

尽管土壤 TN 含量显著增加,但土壤 SOC, TN 及 TP 之间比值在不同间伐处理间并没有显著差异。土壤 SOC, TN 及 TP 之间化学计量关系保持较小的变异,可能与间伐后土壤 C, N 和 P 元素变化具有协同作用有关。研究表明,不同区域土壤 C/N 具有较大的空间变异性,但 C/N 在积累和消耗过程中具有相对稳定的比值^[18]。ROC/HN 随间伐强度增大逐渐降低,HN/AP 则随间伐强度增大逐渐增加,这也减少了土壤 N 的矿化。由此可见,间伐 7 年后,杉木凋落物和土壤 OC, TN 和 TP 的生态化学计量关系不受间伐处理的影响,但中度间伐处理土壤 C, N 和 P 速效组分生态化学计量发生显著变化。

参考文献:

- [1] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [2] 贺金生,韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 2-6.
- [3] LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [4] 杨佳佳,张向茹,马露莎,等. 黄土高原刺槐林不同组分生态化学计量关系研究[J]. 土壤学报, 2014(1): 133-142.
- [5] 刘倩,王书丽,邓邦良,等. 武功山山地草甸不同海拔凋落物-土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量特征[J]. 应用生态学报, 2018, 29(5): 1535-1541.
- [6] 陈立新,陈祥伟. 落叶松人工林凋落物与土壤肥力变化的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 581-586.
- [7] 丁晓东,马香丽,高敏,等. 间伐对华北落叶松人工林凋落物和土壤理化性质的影响研究[J]. 河北林果研究, 2014(4): 351-355.
- [8] Sardans J, Rivas-Ubach A, Peñuelas J. The C:N:P stoichiometry of organisms and ecosystems in a changing world: A review and perspectives[J]. Persp Plant Ecol Evol Syst, 2012, 14(1): 33-47.
- [9] 冯德枫,包维楷. 土壤碳氮磷化学计量比时空格局及影响因素研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2017(2): 400-408.
- [10] 刁娇娇,肖文娅,费菲,等. 间伐对杉木人工林生长及生态系统碳储量的短期影响[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(3): 134-139.
- [11] 郭剑芬,杨玉盛,陈光水,等. 森林凋落物分解研究进展[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 93-100.
- [12] 林娜,刘勇,李国雷,等. 抚育间伐对人工林凋落物分解的影响[J]. 世界林业研究, 2010, 23(3): 44-47.
- [13] 余士香,黄凤生,成向荣. 间伐对杉木叶凋落物和细根分解的影响[J]. 华东森林经理, 2018, 32(1): 14-17.
- [14] KUNHAMU T K, KUMAR B M, VISWANATH S. Does thinning affect litter fall, litter decomposition, and associated nutrient release in *Acacia mangium* stands of Kerala in peninsular India?[J]. Can J For Res, 2009, 39(4): 792-801.
- [15] 李国雷,刘勇,李瑞生,等. 油松叶凋落物分解速率、养分归还及组分对间伐强度的响应[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(10): 52-57.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析: 第三版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-96.
- [17] 于海群,刘勇,李国雷,等. 油松幼龄人工林土壤质量对间伐强度的响应[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 65-70.
- [18] AGREN G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities[J]. Ann Rev Ecol Evol Syst, 2008, 39(39): 153-170.