

DOI: 10.5846/stxb201806031240

李光敏, 陈伏生, 徐志文, 刘娟, 张扬, 方向民, 万松泽. 间伐和林下植被剔除对毛竹林土壤氮矿化速率及其温度敏感性的影响. 生态学报, 2019, 39(11): - .

Li G M, Chen F S, Xu Z W, Liu J, Zhang Y, Fang X M, Wan S Z. Effects of thinning and understory removal on soil nitrogen mineralization rate and temperature-sensitivity in a moso-bamboo plantation. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(11): - .

间伐和林下植被剔除对毛竹林土壤氮矿化速率及其温度敏感性的影响

李光敏^{1,2}, 陈伏生^{1,2}, 徐志文³, 刘娟^{1,2}, 张 扬^{1,2}, 方向民^{1,2}, 万松泽^{1,2,*}

1 江西农业大学林学院, 南昌 330045

2 江西特色林木资源培育与利用 2011 协同创新中心, 南昌 330045

3 江西九岭山国家级自然保护区, 靖安 330600

摘要: 选择中亚热带毛竹人工林为研究对象, 利用野外原位和室内培养相结合的方法, 探讨不同间伐强度 (25% 间伐、50% 间伐) 和林下植被剔除对土壤氮矿化速率及其温度敏感性的影响。结果表明, 25% 间伐显著增加土壤氨化速率 ($P < 0.01$), 但降低硝化速率 ($P < 0.01$); 50% 间伐显著增加土壤硝化速率 ($P < 0.01$), 而林下植被剔除显著降低土壤硝化速率 ($P < 0.01$)。相关分析的结果表明, 土壤氨化速率与有机碳 (SOC)、全氮 (TN) 及全磷 (TP) 含量呈显著负相关关系; 硝化速率与 SOC、含水量 (SWC) 呈显著正相关关系, 与铵态氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 含量呈显著负相关关系。随着温度的升高, 不同处理下的氨化速率均显著增加 ($P < 0.01$), 而硝化速率显著降低 ($P < 0.01$)。25% 间伐显著降低土壤净氮矿化和氨化过程的 Q_{10} 值, 对硝化过程的 Q_{10} 值影响不显著; 50% 间伐对氨化和硝化过程的 Q_{10} 值影响均不显著; 林下植被剔除对氨化过程的 Q_{10} 值影响不显著, 但显著增加硝化过程的 Q_{10} 值。不同处理下的土壤氮矿化过程的 Q_{10} 值介于 1.17—1.36 之间。25% 间伐和林下植被保留有利于毛竹林土壤氮素的供给。

关键词: 氨化速率; 硝化速率; 温度敏感性; 间伐; 林下植被剔除

Effects of thinning and understory removal on soil nitrogen mineralization rate and temperature-sensitivity in a moso-bamboo plantation

LI Guangmin^{1,2}, CHEN Fusheng^{1,2}, XU Zhiwen³, LIU Juan^{1,2}, ZHANG Yang^{1,2}, FANG Xiangmin^{1,2}, WAN Songze^{1,2,*}

1 School of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2 Collaborative Innovation Center of Jiangxi Typical Trees Cultivation and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

3 Jiangxi Jiulingshan National Nature Reserve, Jingan 330600, China

Abstract: Nitrogen (N) is an essential element for plant growth, and only inorganic N can be directly absorbed by plants. Thus N mineralization and its temperature sensitivity are of significance to the biogeochemical cycle and ecosystem function. In the present study, field experiments in combination with thermostatic cultivation were conducted to investigate the effects of thinning intensities [25% thinning (25% Th) and 50% thinning (50% Th)] and understory removal (UR) on soil N mineralization and its temperature sensitivity in Moso plantation. The results showed that 25% Th significantly increased the soil N ammonification rate ($P < 0.01$), but it decreased the nitrification rate ($P < 0.01$). By contrast, 50% Th and UR had significant effects on the nitrification rate, but not on the ammonification rate. Specifically, 50% Th remarkably increased

基金项目: 江西省主要学科学术和技术带头人培养计划项目 (20153BCB22008); 国家自然科学基金青年基金 (31500341); 江西省科技计划项目 (20171BAB214034); 江西省教育厅科技计划项目 (GJJ160361; GJJ15038)

收稿日期: 2018-06-03; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: swan0722@126.com

the nitrification rate ($P < 0.01$), whereas UR decreased the nitrification rate ($P < 0.01$). Correlation analysis showed that there were negative correlations between the ammonification rate and soil organic carbon content (SOC), total nitrogen content and total phosphorus content; the soil nitrification rate showed positive correlations with SOC and soil water content, but negative correlation with ammonium nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) content. Q_{10} was used to indicate the correlation between temperature and N mineralization. 25% Th decreased the Q_{10} of net N mineralization and ammonification, while UR increased that of nitrification. In general, Q_{10} under different treatments were 1.17 and 1.36. In conclusion, 25% Th and understory conservation are beneficial to soil N supply in Moso plantation.

Key Words: ammonification rate; nitrification rate; temperature sensitivity; thinning; understory removal

氮(N)是植物生长发育所必需的大量元素。在森林生态系统中,土壤 N 占整个生态系统 N 储量的 90% 以上,且主要以有机 N 形式存在,植物能够直接吸收利用的无机 N 一般只占全 N 的 1%—5%,因此土壤中可利用性 N 素是生态系统初级生产力的主要限制因子^[1-2]。N 素的矿化作用(Nitrogen mineralization)是指土壤中难以被植物吸收利用的有机 N,在土壤动物和微生物的驱动下,经过氨化作用和硝化作用,转化为可被植物直接吸收利用的无机态 N,在很大程度上决定了土壤中用于植物生长的氮素可利用性。土壤氮矿化作用早已受到众多土壤学家和生态学家们的关注,研究氮矿化过程及其温度敏感性对揭示生物地球化学循环过程和生态系统功能具有重要意义。近些年来,国内外学者针对森林土壤氮矿化过程及其影响因子、植物与氮矿化过程的互作关系、以及土壤氮矿化过程对全球气候变化和不同人为干扰措施的响应开展了大量的研究^[3-6];同时,我国学者在不同地区也开展了类似的研究,包括热带森林、温带草原、不同海拔梯度等^[7-10]。研究结果表明,土壤氮矿化过程主要受土壤湿度、温度、有机碳含量及土壤微生物群落结构等的调控。然而,国内外目前针对亚热带地区森林土壤氮矿化速率及其温度敏感性对不同森林管理措施的响应的研究尚有不足,限制了对土壤氮矿化过程响应人工经营措施和全球气候变化的全面理解。

间伐和林下植被剔除(砍灌除杂)是常见的森林经营活动,对森林 N 素循环有重要影响。目前,有关间伐和林下植被剔除对土壤 N 矿化影响的研究结论仍然存在较大争议。有研究表明,间伐影响土壤温度、水分含量及微生物活性等土壤特性,从而增加或降低氮矿化速率,或对氮矿化速率没有显著影响,这可能与间伐强度、间伐时间及林分类型等有关^[11-12]。林下植被的去除降低林下冠层郁闭度,会有更多的阳光直射地面,使得土壤温度升高,土壤水分蒸发增加,同时减少雨量截留,减少蒸腾作用引起土壤湿度的增加,这种温湿度的变化将对土壤微生物群落组成和氮循环过程产生影响^[13-14]。此外,林下植被的去除减少根系分泌物和细根的周转,改变生态系统凋落物质量,导致微生物群落组成和氮循环过程发生变化^[15]。物种组成、去除方式以及去除后剩余物的处理是造成林下植被剔除对氮矿化影响不同研究结论存在差异的可能原因。

毛竹(*Phyllostachys edulis*)是我国南方最重要的非木质经济林木物种。由于长期连续不合理的强度经营,部分毛竹林开始出现地力衰退、生产力下降的趋势^[16],如何保持毛竹林的长期生产力已成为一个亟待解决的科学问题。在毛竹的生产经营过程中,间伐和林下植被去除(砍灌除杂)是常见的管理措施,有关不同间伐强度和林下植被去除对毛竹林土壤氮矿化速率及其温度敏感性的研究相对较少,且研究结果是优化毛竹林抚育措施和实现林地长期生产力的关键内容。本研究以江西广泛分布的毛竹人工林为研究对象,通过野外控制和室内恒温培养实验,开展不同强度间伐和林下植被去除对毛竹人工林土壤氮矿化速率及其温度敏感性影响的研究。研究结果将加深土壤氮循环过程对森林经营管理措施响应的理解,为优化毛竹人工经营管理措施提供科学依据。

1 试验地概况

本研究的野外试验样地位于江西省宜春市宜丰县上富镇江西农业大学大港试验林场(东经 114°56'13", 北纬 28°37'22"),距离南昌市约 120 km,海拔约 300 m。该林场所处地属于亚热带湿润气候区,年平均气温

16—18℃,年平均降雨量约 1600 mm,主要集中在 4—6 月份,年均无霜期为 268 d,土壤类型为红壤土。大港试验林场占据毛竹人工林面积约 467 hm²,毛竹密度约 3700 株/hm²。毛竹林内含有丰富的林下植被物种。其中以杜茎山(*Maesa japonica*)、华紫珠(*Callicarpa cathayana*)、毛冬青(*Ilex pubescens*)、长叶冻绿(*Rhamnus crenata*)等为主要优势物种,其余还有少量的狗脊(*Woodwardia japonica*)、淡竹叶(*Lophatherum gracile*)、露珠草(*Circaea cordata* Royle)、构树(*Broussonetia papyrifera*)等。

2 研究方法

2.1 试验设计

利用 2015 年 6 月建立的野外控制试验平台开展研究,包括在毛竹人工林中选择立地条件相同、林分密度基本相似(约 3700 株/hm²)的 6 块 20 m × 20 m 的试验样方,其中每块样方之间的距离>100 m。在对样方毛竹数量和土壤本底值完成清查后,随机选择其中两块样方分别做对照(CK)、25%间伐(25%Th)及 50%间伐(50%Th)的处理,不同间伐强度处理后,保证每个样方保留木中一度竹和二度竹共占 40%,三度竹占 40%,四度竹占 30%;25%间伐去除毛竹数量约 30 株,50%间伐去除毛竹数量约 62 株。随后将每个处理样方等分为 4 个 10 m × 10 m 的亚样方,随机选择成对角线的 2 个亚样方做林下植被去除(UR: Understory removal)的处理,另外 2 个亚样方保留林下植被。由此,本实验为两因素的裂区试验设计,包含 6 个处理(CK、UR、25%Th、25%Th-UR、50%Th 及 50%Th-UR)和 4 次重复,间伐下来的毛竹和去除的林下植被立即移除样方外,每个 10 m × 10 m 的样方四周挖 80cm 深的壕沟,以去除样方边缘效应对试验的影响。

2.2 样品采集

野外试验处理 1 年后,在 2016 年 7 月(森林生长高峰期)采用土钻法,在每个处理样方内随机选择 9 个点采集 0—10 cm 层土壤,同一个样方内土壤混合成一个样品,挑出肉眼可见的根系、小石块及凋落物后分为 2 份。1 份新鲜土过 2 mm 土壤筛后用于测定土壤含水量(SWC)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)及有效磷(AP)等速效养分指标;另外用塑料容器(内径 12 cm,高 10 cm)称取 30 g 新鲜土至 25℃ 和 30℃ 恒温培养箱中进行培养,用于测定氮矿化对温度的敏感性。用保鲜膜封好塑料容器,减少培养过程土壤水分的流失,保鲜膜上均匀分布 4 个小孔,便于空气的流通;另 1 份土样自然风干,测定土壤 pH、有机碳(SOC)、全氮(TN)及全磷(TP)含量。利用原状土就地连续培养法测定土壤氮矿化速率,按样方坡度在上中下选取 3 个点进行试验,每个点打入一组 PVC 管,每组 2 支管。其中一支立即取回实验室分析,另外一支进行原位培养,一个月后采回实验室进行分析。

2.3 土壤样品测定

土壤 SWC 采用烘干法测定;土壤 SOC 采用重铬酸钾—硫酸外加热法测定;土壤 TN 采用半自动流式分析仪测定,TP 采用磷钼蓝比色法测定,土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 分别采用靛酚蓝比色法和镀铜镉还原-重氮偶合比色法测定;AP 采用 NaHCO₃ 溶液提取,钼锑抗比色法测定;pH 值采用水浸提酸度计法(水:土为 2.5:1)测定。

2.4 氮矿化速率及其温度敏感性计算

土壤氮矿化速率采用如下公式计算:

氨化速率=(培养后铵态氮含量-培养前铵态氮含量)/培养时间

硝化速率=(培养后硝态氮含量-培养前硝态氮含量)/培养时间

氮矿化速率=(氨化量+硝化量)/培养时间

氮矿化速率与温度的指数方程,及氮矿化速率温度敏感性 Q_{10} 计算公式如下:

$$R = ae^{bt}, Q_{10} = e^{10b}$$

式中, R 为土壤矿化速率, t 为培养温度, a 、 b 为待定系数

2.5 数据处理与分析

采用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析。采用双因素方差分析方法对间伐、林下植被剔除及两者的交

互作用进行分析(显著性水平 $P < 0.05$);单因素方差分析和最小显著差异法(LSD)进行不同处理之间的多重比较;用 Pearson 法对氮矿化速率与土壤理化特性进行相关性分析。利用 Sigmaplot 10.0 作图。图表中数据为平均值 $\pm$ 标准误。

3 结果与分析

3.1 间伐和林下植被剔除对土壤理化特性的影响

间伐对土壤理化特性的影响与间伐强度有关。间伐处理 1 年后,25%间伐极显著的降低 SWC、SOC、TN、TP 的量及土壤 pH 值,同时显著增加土壤 NO_3^- -N 的含量;在 6 个不同处理之间,25%Th-UR 处理下的 SWC、SOC、TN 及 TP 含量最低,但 25%间伐与林下植被剔除之间并无显著的交互作用;与对照相比,25%Th 处理下 NO_3^- -N 含量增加了 38.2%;而相对 UR 处理而言,25%Th-UR 处理下 NO_3^- -N 含量增加了 106.9%。50%间伐显著降低土壤 TP、 NH_4^+ -N 含量,但显著增加了 NO_3^- -N 的含量。与对照相比,50%Th 处理下 TP 含量降低了 21.7%,而相对 UR 处理而言,50%Th-UR 处理下 TP 含量降低了 5.9%;50%间伐处理对其他理化指标影响不显著,且与林下植被剔除之间的交互作用不显著。林下植被剔除显著降低 SWC 和 AP 含量,而显著增加土壤 TN 含量;与保留林下植被的处理相比,林下植被剔除处理降低了 6.7%—15.3%的土壤 SWC,降低了 1.1%—11.5%的土壤 AP;与对照相比,UR 处理增加了 14.9%的土壤 TN 含量。林下植被剔除对土壤 TN 的影响与间伐之间的交互作用不显著(图 1)。

3.2 间伐和林下植被剔除对土壤氮矿化速率的影响

间伐和林下植被剔除对土壤氨化速率和硝化速率影响显著。间伐对土壤氮矿化速率的影响与间伐强度有关,25%间伐处理显著增加土壤氨化速率,但降低硝化速率;50%间伐处理对氨化速率影响不显著,但极显著增加硝化速率(图 2)。林下植被剔除显著降低土壤硝化速率,在 6 个不同处理中,25%Th-UR 处理下的硝化速率表现为最低,但林下植被剔除与 25%间伐处理之间并无显著交互作用;与保留林下植被的处理相比,林下植被剔除降低 51.5%—310.4%土壤硝化速率。间伐和林下植被剔除对土壤净氮矿化速率无显著影响(图 2)。

3.3 土壤氮矿化速率变化的影响因子

土壤硝化速率分别与 SWC、SOC 呈显著正相关,而与土壤 NH_4^+ -N 含量呈显著负相关(表 1);土壤氨化速率分别与 SOC、TN、TP 呈显著负相关。影响土壤净矿化速率的因子与影响土壤氨化速率的因子基本一致,即土壤净矿化速率与 TN、TP 呈显著负相关关系。

表 1 土壤硝化速率、氨化速率及净矿化速率与理化性质间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between soil nitrogen nitrification rate, ammonification rate, net mineralization rate and the physicochemical properties

变量 Variables	硝化速率 Nitrification rate	氨化速率 Ammonification rate	净氮矿化速率 Net N mineralization rate
含水量 Soil water content	0.559 **	-0.279	0.196
有机碳 Soil organic carbon	0.520 **	-0.590 **	-0.106
全氮 Total nitrogen	0.123	-0.525 **	-0.438 *
全磷 Total phosphorus	-0.039	-0.495 *	-0.524 **
pH	0.162	-0.169	-0.078
有效磷 Available phosphorus	0.228	-0.281	-0.067
铵态氮 Ammonium nitrogen	-0.561 **	0.315	-0.206
硝态氮 Nitrate nitrogen	-0.06	0.198	0.183

注: $P > 0.05$; * $P < 0.01$; ** $P < 0.05$.

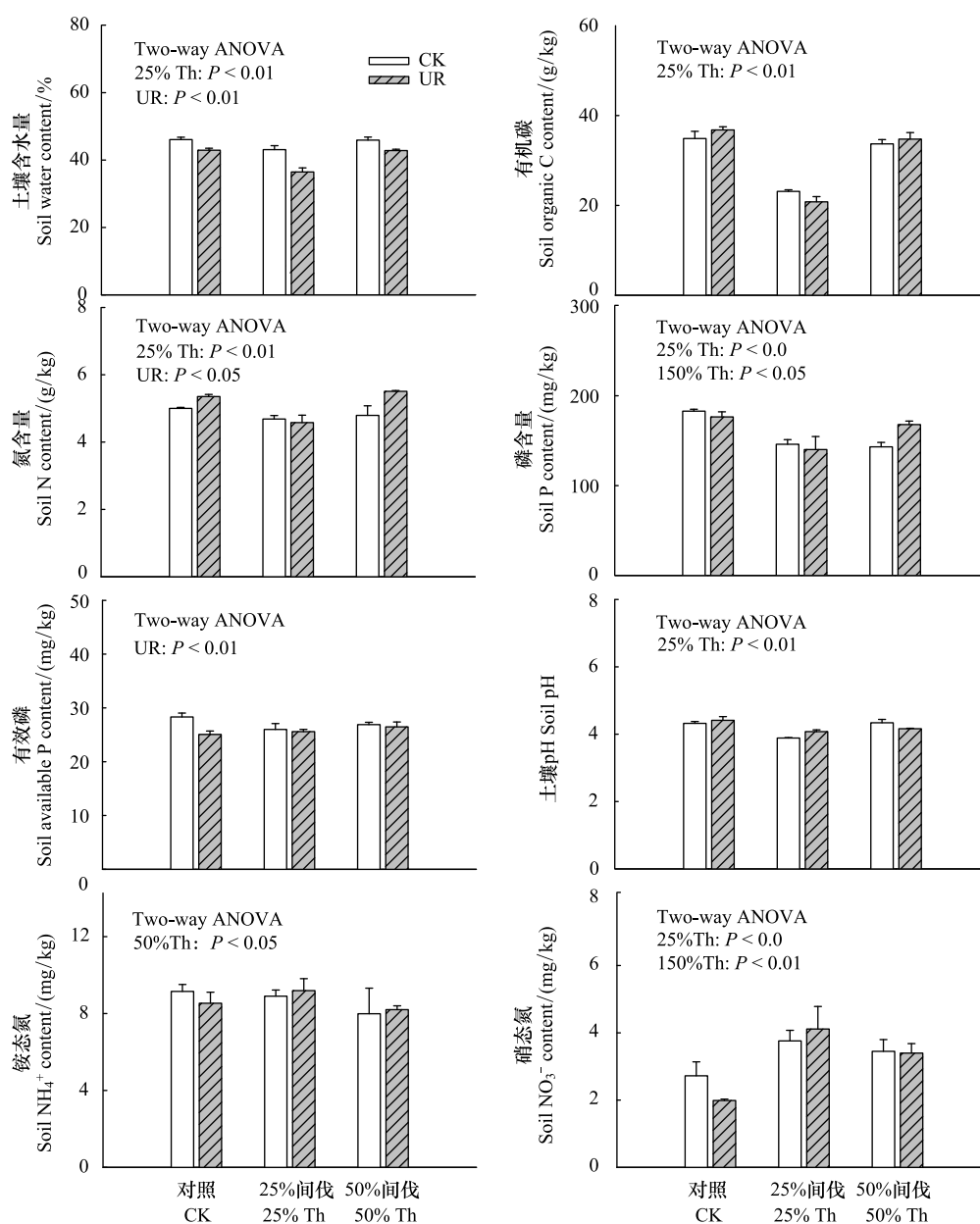


图1 间伐和林下植被剔除对土壤理化特性的影响

Fig.1 Effects of thinning and understory removal on soil physical and chemical characteristics

25%Th;25%间伐处理,25% thinning;50%Th;50%间伐处理,50% thinning;CK:对照,control;UR:林下植被剔除处理,understory removal;25%Th-UR;25%间伐并剔除林下植被处理,25% thinning with understory removal;50%Th-UR;50%间伐并剔除林下植被处理,50% thinning with understory removal

3.4 间伐和林下植被剔除对土壤氮矿化速率温度敏感性的影响(Q_{10})

随着培养温度的升高,土壤氨化速率和净氮矿化速率显著增加(图3),而硝化速率显著降低(图3)。在培养温度为25℃条件下,间伐显著降低土壤氨化速率($P<0.01$),但增加硝化速率($P<0.01$),且间伐处理与林下植被剔除之间的交互作用也达到显著水平($P<0.01$),对净氮矿化速率影响不显著($P=0.36$)。尽管50%Th处理下的氨化速率高过50%Th-UR处理,但双因素方差分析的结果表明,林下植被剔除处理显著增加土壤氨化速率($P=0.46$),而对硝化速率和净氮矿化速率影响不显著。在培养温度为30℃条件下,25%间伐处理显著增加氨化速率和净氮矿化速率($P<0.01$),对硝化速率影响不显著;与之相反,50%间伐处理增加硝化速率($P=0.02$),而对氨化速率和净氮矿化速率影响不显著;林下植被剔除处理降低硝化速率($P<0.01$)和净氮矿化速

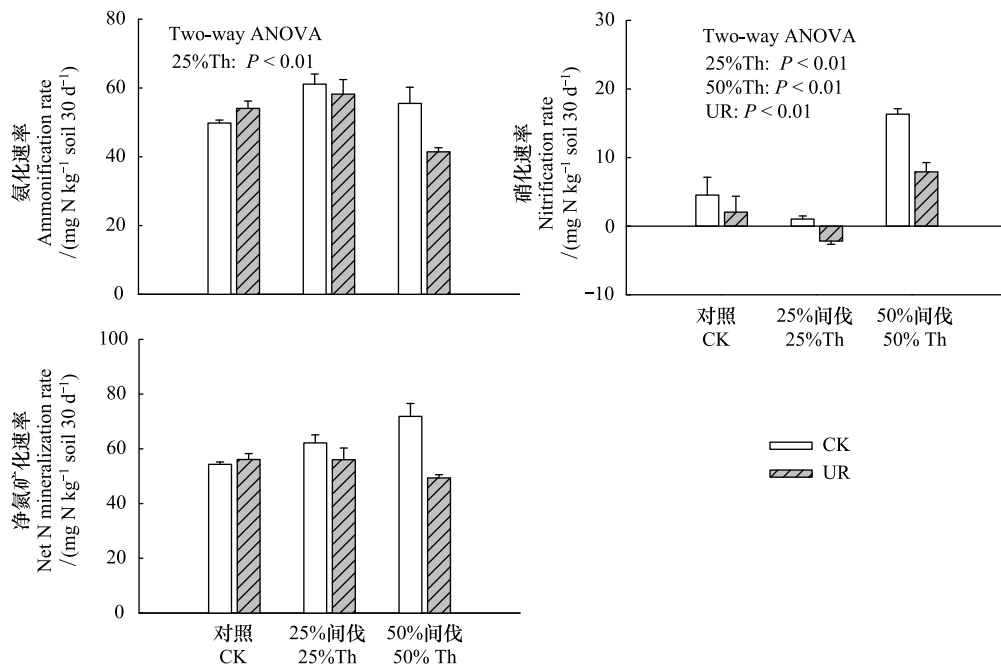


图2 间伐和林下植被剔除处理对土壤氮矿化速率的影响

Fig.2 Effects of thinning and understory removal on soil ammonification, nitrification and net nitrogen mineralization rate

率($P=0.02$),对氨化速率影响不显著。

利用指数模型计算了2个不同培养条件不同处理下的土壤氮矿化 Q_{10} 值,发现间伐和林下植被剔除处理均显著影响氮矿化过程 Q_{10} 值。对氨化过程而言,50%间伐处理和对照之间 Q_{10} 值差异不显著(图4),但25%间伐处理显著降低氨化过程的 Q_{10} 值;林下植被剔除对氨化过程的 Q_{10} 值没有显著影响;不同处理下氨化过程的 Q_{10} 值在1.18—1.27之间。与氨化过程不同,间伐对硝化过程的 Q_{10} 值没有显著影响,但林下植被剔除处理显著增加硝化过程 Q_{10} 值(图4),不同处理下的硝化过程 Q_{10} 值在1.20—1.36之间。从净氮矿化速率来看,间伐和林下植被剔除均显著影响净氮矿化过程的 Q_{10} 值,其中间伐主要表现为25%间伐降低净氮矿化过程的 Q_{10} 值,而林下植被剔除处理显著增加净氮矿化过程的 Q_{10} 值,不同处理下的净氮矿化 Q_{10} 值在1.17—1.28之间。

3 讨论

3.1 间伐和林下植被剔除对土壤氮矿化速率的影响

土壤N矿化是微生物参与的过程。森林生态系统间伐后改变了林地土壤温度、含水量、碳的可利用性及土壤养分含量,这将影响土壤微生物群落结构和活性,从而影响土壤氮素的矿化作用^[17-18]。本研究结果表明,土壤净N矿化速率在不同间伐强度间差异不显著,但氨化速率和硝化速率差异明显。这与Son等得出的日本落叶松不同间伐强度对N矿化作用没有显著影响的结论相一致,主要原因可能是氨化速率和硝化速率变异的相互补充导致^[19]。不同间伐强度间,土壤净氨化速率平均值表现为:25%间伐>50%间伐>对照,且25%间伐显著增加氨化速率;土壤净硝化速率平均值表现为:50%间伐>对照>25%间伐,且不同处理之间差异达到显著水平($P<0.05$)。相关分析表明,土壤净氨化速率的增加与土壤有机碳、全氮及全磷含量的降低显著相关;土壤净硝化速率的增加与降低的土壤铵态氮含量显著相关,而净硝化速率的降低则与降低的土壤含水量和土壤有机碳关系密切。以往研究也表明,土壤湿度是影响土壤N矿化最重要的因子^[20],这说明25%间伐后林分密度降低,增加了到达林地表面的光照强度,降低土壤含水量从而降低了净硝化速率,同时减少土壤碳和养分元素通过凋落物回归的量,减弱异养微生物与氨化细菌对N源的竞争作用,从而增加净氨化速率。另

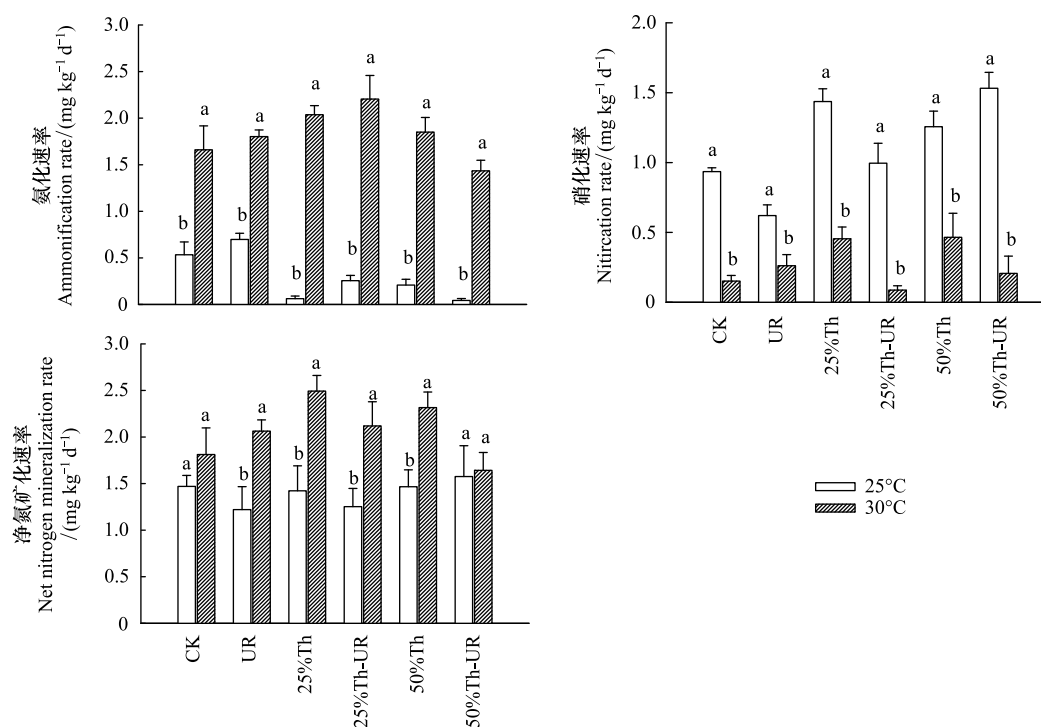


图3 间伐和林下植被剔除对不同温度培养下的土壤氨化速率、硝化速率及净氮矿化速率的影响

Fig.3 Effects of thinning and understory removal on soil nitrogen ammonification rate, nitrification rate and net nitrogen mineralization rate under different culture temperatures

不同小写字母表示不同处理间氮矿化速率差异显著 ($P < 0.05$)

外,有研究表明毛竹是一类偏好吸收铵态氮的植物^[21],由于林分密度的降低,毛竹从土壤中吸收铵态氮的量减少,也可能是25%间伐处理增加净氨化速率的重要原因。50%间伐处理减少土壤可利用碳的输入,增加土壤水分通过蒸发作用的损失,同时降低微生物活性和减少植物从土壤中吸收的水分,最终表现为50%对土壤有机碳和含水量没有显著影响,这与Pang等的研究结果相类似^[18]。异养微生物活性的降低,减弱了对 NO_3^- -N的固持作用,从而增加土壤净硝化速率,使得土壤中更多的氮以 NO_3^- -N形式存在,增加土壤氮通过淋溶而流失的风险。

林下植被是森林生态系统的重要组成部分,剔除林下植被能改变土壤温湿度、养分可利用性及土壤微生物群落结构等^[22-23]。本研究结果表明,毛竹人工林剔除林下植被降低土壤含水量,进而降低净硝化速率。林下植被在驱动生态系统养分循环方面发挥重要作用^[24]。人工林林下植被剔除试验结果表明,土壤有机质含量的降低是减缓微生物氮矿化作用和硝化作用的主要原因^[25]。尽管林下植被生物量不足人工林总生物量的20%^[22],但相对乔木而言,林下植被往往具有较小的C:N值,养分周转速率快^[26];此外,林下植被剔除不利于生态系统凋落物分解可溶性有机碳的释放^[27]。可见,林下植被剔除降低土壤可溶性有机碳的含量,增加对土壤生物“上行效应”的控制,从而降低土壤净硝化速率^[23]。

3.2 间伐和林下植被剔除对土壤氮矿化温度敏感性的影响

土壤净氮矿化量受温度的影响较大。相关研究通过总结土壤氮矿化影响因素得出,土壤温度是影响土壤氮矿化的最主要因素之一,高温利于氮矿化^[28]。周才平和欧阳华等(2001)在长白山主要林型下土壤氮矿化速率与温度的关系研究中指出,土壤净矿化速率随温度的升高呈指数增加^[29]。Breme和Kuikman(1997)发现土壤温度是影响总氮矿化的最重要的环境因子,对氮矿化速率有强烈的控制作用,且呈正相关^[30]。本研究中,随着温度的升高,不同处理下的净氮矿化速率和氨化速率均显著增加,而硝化速率均显著的降低(图3)。可以推测,土壤氨化微生物的活性临界点超过30℃,而硝化微生物的活性临界点低于25℃,土壤氮净矿化速

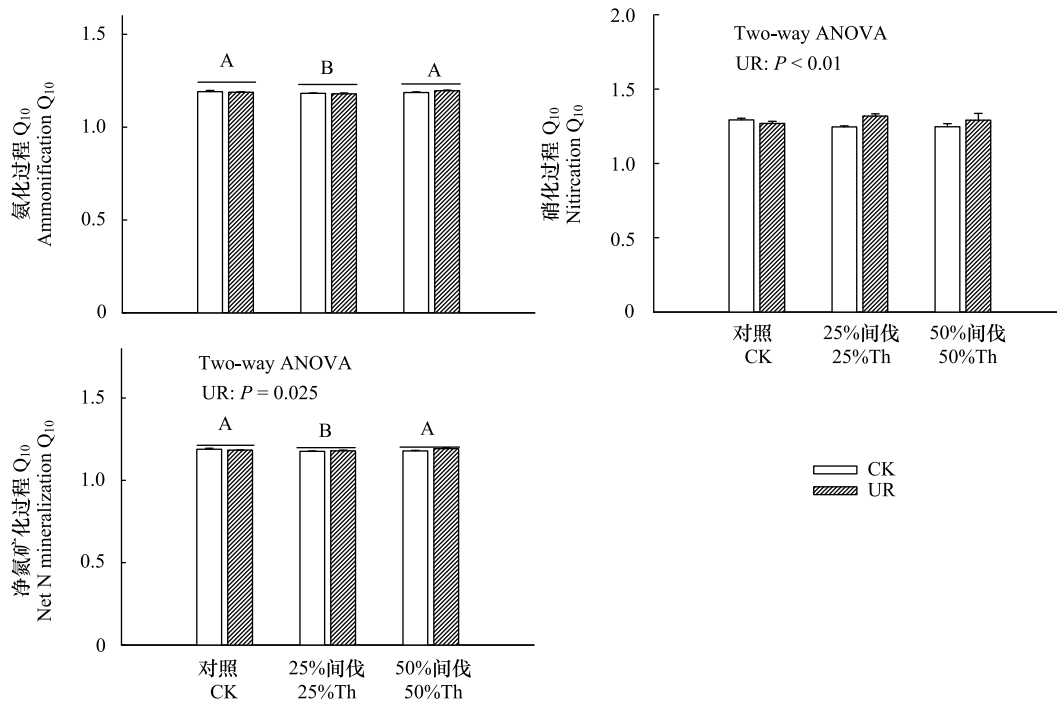


图4 间伐和林下植被剔除对土壤氨化、硝化及净氮矿化过程温度敏感性的影响 (Q_{10})

Fig.4 Effects of thinning and understory removal on temperature sensitivities of soil ammonification, soil nitrification, and net N mineralization

不同大写字母表示不同强度间伐间 Q_{10} 值差异显著 ($P < 0.05$)

率的变化是氨化微生物和硝化微生物共同作用的结果。Niklińska 等 (1999) 在欧洲赤松林的研究中发现,微生物活性的临界点为 20°C 左右^[31]。王常慧 (2004) 在内蒙古羊草草原土壤净矿化速率的研究中发现,微生物活性临界点约为 15°C 左右^[2]。研究区域和对象的不同,土壤氮矿化微生物活性临界点有所差异。此外,土壤氨化速率和硝化速率随温度的显著变化,也可能与其室内陪温度恒定有关^[11]。

Q_{10} 不仅表征不同基质土壤的温度敏感性^[32],还是衡量土壤氮矿化对未来气候变化响应的重要参数^[33]。大多数研究均利用 Q_{10} 来表示土壤氮矿化的温度敏感性,即温度每升高 10°C 土壤氮矿化速率增加的倍数。氮矿化过程是一个需要通过微生物介导的酶促反应过程,土壤基质质量越差,矿化时所需的酶促反应步骤越多,需要的活化能也越高,因此对温度升高的响应更加剧烈,从而具有较高的 Q_{10} 值。间伐和林下植被剔除显著影响毛竹人工林土壤氮矿化的温度敏感性,对毛竹林土壤氮循环研究具有重要意义。25%间伐降低土壤氮净矿化速率和氨化速率温度敏感性,这意味着在未来温度升高背景下,土壤氮矿化速率增速减弱,可能短期内会降低土壤氮素可利用性,当从长远来看,它可能使得土壤中的氮更多的为植物所吸收,促进植物生长,因此25%间伐有利于提高毛竹生产力。与之相反的是,林下植被剔除显著增加土壤净氮矿化速率和硝化速率温度敏感性,土壤氮矿化速率增速将加快,短期内可以提高目标树种的氮素可利用性,促进植物快速生长,但从长远来看,它可能会造成土壤氮素以 NO_3^--N 的形式加速流失,最终降低土壤可利用性氮素,从而对植物生长和生态系统结构和功能形成负反馈。本研究结果可为毛竹人工林氮素利用提供新的视角,为毛竹人工林经营管理措施提供理论依据,但该假说还需要在其他生态系统中展开进一步的研究来验证。

4 结论

毛竹人工林实施 25%间伐处理,提高了氨化速率,降低硝化速率,有利于毛竹对 NH_4^+-N 的吸收利用,并减少氮以 NO_3^--N 的形式从土壤中流失的可能;降低氮矿化速率和氨化速率温度敏感性,从长远看更有利于植物

对土壤 N 的吸收利用,有利于提高毛竹生产力。50%间伐增加硝化速率,增加土壤 N 流失的风险,不利于毛竹生产力的提高。林下植被剔除显著增加土壤净氮矿化速率和硝化速率温度敏感性,但从长远来看,它可能会造成土壤氮素以 NO_3^- -N 的形式加速流失,最终降低土壤可利用性氮素,不利于毛竹生产力。建议在发展毛竹人工林过程中,适当采用一定比例间伐和保留林下植被的经营措施,有助于毛竹生产力的提高。

参考文献 (References):

- [1] 陈伏生,曾德慧,何兴元. 森林土壤氮素的转化与循环. 生态学杂志, 2004, 23(5): 126-133.
- [2] 王常慧,邢雪荣,韩兴国. 温度和湿度对我国内蒙古羊草草原土壤净氮矿化的影响. 生态学报, 2004, 24(11): 2472-2476.
- [3] Ameloot N, Sleutel S, Das K C, Kanagaratnam J, de Neve S. Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. Global Change Biology Bioenergy, 2015, 7(1): 135-144.
- [4] Kaleem Abbasi M, Tahir M M, Sabir N, Khurshid, M. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization-immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. Solid Earth, 2015, 6(1): 197-205
- [5] Schütt M, Borken W, Spott O, Stange, C F, Matzner E. Temperature sensitivity of C and N mineralization in temperate forest soils at low temperatures. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 69: 320-327.
- [6] Zhang X L, Wang Q, Xu J, Gilliam F S, Tremblay N, Li C H. In situ nitrogen mineralization, nitrification, and ammonia volatilization in maize field fertilized with urea in Huanghuaihai region of Northern China. Plos One, 2015, 10(1): e0115649.
- [7] 杜宁宁,邱莉萍,张兴昌,程积民. 半干旱区土地利用方式对土壤碳氮矿化的影响. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 73-78.
- [8] 肖好燕,刘宝,余再鹏,万晓华,桑昌鹏,周富伟,黄志群. 亚热带不同林分土壤矿质氮库及氮矿化速率的季节动态. 应用生态学报, 2017, 28(3): 730-738.
- [9] 李光耀,杨晓东,史青茹,马文济,王希华,阎恩荣. 浙江天童森林砍伐对土壤养分库和氮矿化-硝化特征的影响. 生态学杂志, 2014, 33(3): 709-715.
- [10] 徐宪根,周焱,阮宏华,韩勇,於华,曹慧敏,汪家社,徐自坤. 武夷山不同海拔高度土壤氮矿化对温度变化的响应. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1298-1302.
- [11] Inagaki Y, Kuramoto S, Torii A, Shinomiya Y, Fukata H. Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation stands in Japan. Forest ecology and management, 2008, 255(5-6): 1859-1867.
- [12] Prescott C E. Effects of clearcutting and alternative silvicultural systems on rates of decomposition and nitrogen mineralization in a coastal montane coniferous forest. Forest Ecology and Management, 1997, 95(3): 253-260.
- [13] Matsushima M, Chang S X. Effects of understory removal, N fertilization, and litter layer removal on soil N cycling in a 13-year-old white spruce plantation infested with Canada blue joint grass. Plant and Soil, 2007, 292(1/2): 243-258.
- [14] Wu J P, Liu Z F, Wang X L, Sun Y X, Zhou L X, Lin Y B, Fu S L. Effects of understory removal and tree girdling on soil microbial community composition and litter decomposition in two Eucalyptus plantations in South China. Functional Ecology, 2011, 25(4): 921-931.
- [15] Blazier M A, Hennessey T C, Deng S P. Effects of fertilization and vegetation control on microbial biomass carbon and dehydrogenase activity in a juvenile loblolly pine plantation. Forest Science, 2005, 51(5): 449-459.
- [16] 李翀,周国模,施拥军,周宇峰,徐小军,张宇鹏,范叶青,沈振明. 毛竹林老竹水平和经营措施对新竹发育质量的影响. 生态学报, 2016, 36(8): 2243-2254.
- [17] 余宇晨,陈彩虹,丁思一,汪思龙,常双双. 间伐和修枝对杉木人工林土壤微生物群落结构的影响. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(3): 23-27.
- [18] Pang X Y, Bao W K, Zhu B, Cheng W X. Responses of soil respiration and its temperature sensitivity to thinning in a pine plantation. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 171-172: 57-64.
- [19] Son Y H, Lee W K, Lee S E, Ryu S R. Effects of thinning on soil nitrogen mineralization in a Japanese larch plantation. Communications in soil science and plant analysis, 1999, 30(17-18): 2539-2550.
- [20] Knoepp J D, Swank W T. Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization. Biology and Fertility of Soils, 2002, 36(3): 177-182.
- [21] Song Q N, Lu H, Liu J, Yang J, Yang G Y, Yang Q P. Assessing the impacts of bamboo expansion on NPP and N cycling in evergreen broadleaved forest in subtropical China. Scientific reports, 2017, 7: 40383.
- [22] Wu J P, Liu Z F, Chen D M, Huang G M, Zhou L X, Fu S L. Understory plants can make substantial contributions to soil respiration: Evidence from two subtropical plantations. Soil Biology and Biochemistry 2011, 43(11): 2355-2357.
- [23] Zhao J, Wan S Z, Li Z A, Shao Y H, Xu G L, Liu Z F, Zhou L X, Fu S L. *Dicranopteris*-dominated understory as major driver of intensive forest

- ecosystem in humid subtropical and tropical region. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 49: 78-87.
- [24] Bargett R, Wardle D. Abovegroundbelowground linkages: biotic interactions, ecosystem processes, and global change. Oxford, UK: Oxford University Press, 2010.
- [25] Wang F M, Zou B, Li H F, Li Z A. The effect of understory removal on microclimate and soil properties in two subtropical lumber plantations. *Journal of Forest Research*, 2014, 19(1): 238-243.
- [26] Zhao J, Wan S, Fu S L, Wang X L, Wang M, Liang C F, Chen Y Q, Zhu X L. Effects of understory removal and nitrogen fertilization on soil microbial communities in *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management*, 2013, 310: 80-86.
- [27] Wan S Z, Zhang C L, Chen Y Q, Zhao J, Wang X L, Wu J P, Zhou L X, Lin Y B, Liu Z F, Fu S L. The understory fern *Dicranopteris dichotoma* facilitates the overstory *Eucalyptus* trees in subtropical plantations. *Ecosphere*, 2014, 5(5): 1-12.
- [28] 李贵才, 韩兴国, 黄建辉, 唐建维. 森林生态系统土壤氮矿化影响因素研究进展. *生态学报*, 2001, 21(7): 1187-1195.
- [29] 周才平, 欧阳华. 温度和湿度对长白山两种林型下土壤氮矿化的影响. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 505-508.
- [30] Bremer E, Kuikman P. Influence of competition for nitrogen in soil on net mineralization of nitrogen. *Plant and soil*, 1997, 190(1): 119-126.
- [31] Niklińska M, Maryański M, Laskowski R. Effect of temperature on humus respiration rate and nitrogen mineralization: implications for global climate change. *Biogeochemistry*, 1999, 44(3): 239-257.
- [32] Dalias P, Anderson J M, Bottner P, Coûteaux M M. Temperature responses of net nitrogen mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil biology and biochemistry*, 2002, 34(5): 691-701.
- [33] Koch O, Tscherko D, Kandeler E. Temperature sensitivity of microbial respiration, nitrogen mineralization, and potential soil enzyme activities in organic alpine soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, 21(4): GB4017.