

凋落物中次生代谢物对森林土壤可溶性氮的影响^①

刘维丽, 马红亮*, 彭秀明, 夏清, 陈功, 孙杰

(福建省亚热带资源与环境重点实验室, 湿润亚热带生态-地理过程省部共建教育部重点实验室,

福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 通过外加性质不同的凋落物以及不同浓度的单宁酸, 于武夷山不同海拔高度的森林土壤中进行培养, 研究森林凋落物中次生代谢物对土壤可溶性氮(N)的影响。结果显示, 土壤经加入凋落物处理, 其可溶性N含量降低。加入杉木凋落物使红壤可溶性N含量降低12.0%~27.5%, 杉木较竹叶凋落物处理降低作用显著($p < 0.05$); 对黄红壤添加不同浓度单宁酸处理显示, 与对照比较, 高浓度单宁酸可显著($p < 0.001$)降低土壤可溶性N含量, 降低幅度在40.6%~48.1%, 而低浓度单宁酸对土壤可溶性N的影响不显著。表明植物凋落物, 尤其是杉木对土壤可溶性N的影响很可能与其本身单宁酸含量差异有关, 从而影响了土壤可溶性有机N和无机N的转化。

关键词: 凋落物; 单宁酸; 可溶性氮; 森林土壤

中图分类号: S714.8

树木在生长过程中会产生许多有机化合物, 如多酚类等次生代谢物^[1]。研究表明, 次生代谢物虽通过各种代谢途径直接影响植物生长发育, 但它们在森林生态系统中的功能却极其重要^[2-4]。如不同植物凋落物以及不同时期的凋落物中所含的酚类化合物, 包括单宁酸的含量都表现出显著差异^[3-5]; 因此单宁酸所具有的一系列独特的性质引起了国内外学者广泛关注, 而单宁酸在生态系统中的作用也受到越来越多的重视^[2,5]。如已有研究显示, 土壤净矿化率与缩合单宁含量呈显著负相关^[2,6]。

凋落物在森林生态系统中占有重要地位, 凋落物分解是养分归还土壤的最主要途径^[7-8], 同时凋落物中的一些次生代谢物也会随着其分解而释放到土壤中, 影响土壤中氮(N)的有效性。土壤中可溶性N是土壤N中最活跃的组分, 一方面它是土壤有效养分的来源之一, 可以直接或经过转化后为作物吸收; 另一方面, 它的移动性相对较强, 可能随水分运移而发生径流或淋溶流失, 引起环境污染^[9]。已有的研究显示单宁酸影响N的矿化, 降低N的有效性, 且单宁酸的不同结构影响不一^[10-11], 且相关研究只提到单宁酸存在影响N有效性的复杂反应, 并未明确是什么过程主要引起了N有效性的变化。可见针对不同土壤类型, 凋

落物对土壤N转化的影响尚不够清楚。

本试验拟选取武夷山不同海拔高度的土壤(红壤, 黄红壤)、性质不同的凋落物(杉木, 竹叶)以及不同浓度的单宁酸为研究对象, 在实验室培养后, 采用化学和生物分析的方法, 研究外源不同植物凋落物对土壤可溶性N的影响, 揭示凋落物中次生代谢物对可溶性N有效性的可能影响。

1 材料与方法

1.1 实验材料

采样地位于武夷山脉北坡 27.33° ~ 27.54° N, 117.27° ~ 117.51° E之间, 属典型的亚热带季风气候。全区面积约 570 km², 是武夷山脉偏北部分, 平均海拔高达 1 200 m, 年平均气温为 19℃, 年均降水量在 2 000 mm左右, 年平均相对湿度在 80% ~ 85% 之间, 年平均雾日在 100 天以上。随着海拔的升高, 植被依次为常绿阔叶林、针阔叶混交林带、针叶林带、中山苔藓矮曲林带和亚热带山地草甸, 垂直带谱明显。区内土壤属于亚热带酸性山地森林土壤类型。其土壤类型具有垂直分布的特性, 海拔 700 m 以下为红壤, 700 ~ 1 050 m 为黄红壤, 1 050 ~ 1 900 m 为黄壤, 1 900 m 以上为山地草甸土。黄坑的红壤全C 14.9 g/kg,

①基金项目: 福建省青年科技人才创新项目(2007F3020)、福建省教育厅B类项目(JB07076)和福建师范大学本科生课外科技立项计划项目资助。

* 通讯作者: (mhl936@163.com)

作者简介: 刘维丽(1987—), 女, 福建邵武人, 在读生态环境系本科生。

全N 1.7 g/kg, 庙湾的黄红壤全C 30.2 g/kg, 全N 3.0 g/kg。

1.2 培养实验

2008年5月,取自武夷山不同海拔高度表层0~20 cm土层的土壤样品:310 m处黄坑的红壤和920 m处庙湾的黄红壤,风干,剔除残留的根茬等,充分混匀,自然风干,过2 mm筛。于桐木关和1250 m处分别收集地上杉木和竹子叶凋落物,冲洗凋落物表面土壤,烘干,粉碎备用。凋落物的主要性质见表1,凋落物用60%乙醇提取后,总糖采用蒽酮比色法,单宁酸用

Folin-Ciocalteu比色法测定。本实验共设7个处理,①红壤;②红壤+杉木;③黄红壤;④黄红壤+竹叶;⑤黄红壤+杉木;⑥黄红壤+低浓度单宁酸;⑦黄红壤+高浓度单宁酸。每处理每个培养单元凋落物的质量均为1 g,土壤重相当于烘干土重100 g,加入的单宁酸低浓度处理为10 mg,高浓度处理为0.5 g。在25℃恒温培养箱中培养,并调节土壤含水量为田间饱和持水量的50%,称重法补充水分。培养期间分别在培养开始后的第7、14、21、28、42、56、85天取样,每个处理每次取3个重复,测定可溶性N含量。

表1 植物凋落物基本性质
Table 1 Characteristics of plant residues

凋落物	C (mg/g)	N (mg/g)	C/N	总糖 (μg/g)	单宁酸 (mg/g)
杉木(桐木关)	485.6	10.8	45.1	96.6 ± 8.6	19.7 ± 0.5
竹子(1250 m处)	417.5	15.0	27.9	21.7 ± 6.4	6.72 ± 0.05

1.3 可溶性氮的测定与分析

称取土样25.0 g到三角瓶中,加入100 ml 0.5 mol/L的K₂SO₄溶液,然后置于摇床上,转速为168 r/min,振荡30 min,过滤得到待测滤液(若不能立即测定,将其放置在-15℃冰柜保存)。用凯氏定氮法测定浸提液中的可溶性N。

1.4 数据处理

所得数据采用Excel2003和SPSS 13.0软件进行数据处理与统计分析及绘图,表和图中数据均为平均值±标准差,不同处理土壤各变量之间的显著性检验采用单因子方差分析(ANOVA)。

2 结果与分析

2.1 加入杉木对红壤可溶性氮的影响

由图1可知,红壤(对照)与红壤+杉木处理在培养过程中可溶性N含量的变化趋势基本一致,随培养时间延长略有降低。但培养过程中可溶性N含量红壤+杉木处理明显低于红壤处理,除了培养第56天外($p=0.055$),其他培养时间土壤可溶性N含量均存在明显差异($p<0.05$),与对照相比,红壤+杉木处理在培养后的第7、14、21、28、42、56和85天,分别使土壤可溶性N降低15.2%、27.5%、18.5%、19.7%、15.3%、12.0%和20.6%。可见杉木凋落物影响土壤中N素的转化,明显地降低了土壤可溶性N含量。

2.2 单宁酸对黄红壤可溶性氮的影响

由图2可知,与黄红壤处理(即对照)相比,黄

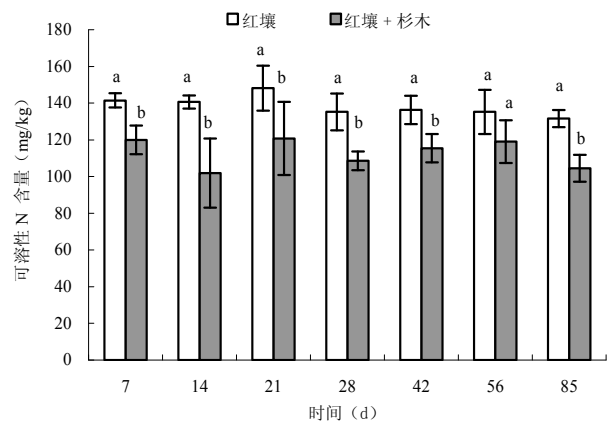


图1 杉木对红壤可溶性N的影响

Fig. 1 Effects of fir residue on soluble nitrogen of red soil in Huangkeng

红壤+低浓度单宁酸处理,除第14和21天取样所测样品的可溶性N含量与对照存在显著性差异外($p\leq 0.05$),其他各时间测得的可溶性N含量并无显著差异($p>0.05$)。但是黄红壤+高浓度单宁酸处理与对照处理存在显著差异。与黄红壤处理相比,黄红壤+高浓度单宁酸处理使可溶性N含量在培养后的第7、14、21、28、42、56和85天,分别显著($p<0.001$)降低40.6%、44.7%、48.1%、45.8%、46.2%、44.2%和40.8%,同时,该处理也显著($p<0.001$)低于低浓度单宁酸处理。由此可见单宁酸是影响可溶性N含量的主要因素之一,且只有单宁酸含量达到一定程度才会对土壤N素转化产生显著影响,而低浓度单宁酸虽有影响,但程度有限($p>0.05$)。

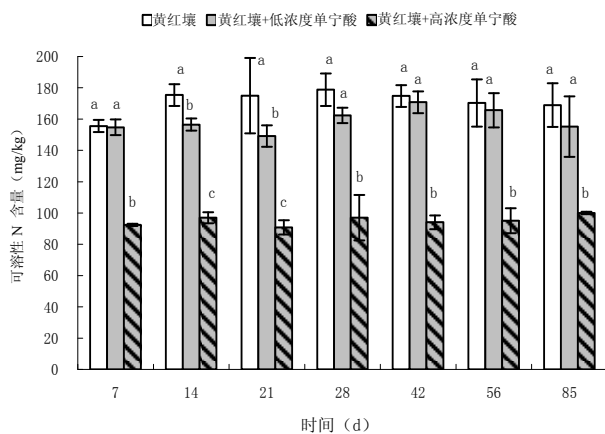


图 2 单宁酸对黄红壤可溶性 N 的影响

Fig. 2 Effects of tannic acid added on soluble nitrogen of yellow-red soil in Miaowan

2.3 加入杉木和竹叶对黄红壤可溶性 N 含量的影响

由图 3 可知, 加入杉木和竹叶对黄红壤可溶性 N 含量的影响不显著, 除在培养的 21 天后黄红壤+杉木、黄红壤+竹叶处理可溶性 N 含量分别高于对照试验 (黄红壤处理) 7.7% 和 7.4% 之外, 基本上在其他培养时间可溶性 N 都比对照处理有所降低, 且加入杉木处理降低幅度大于竹叶处理。与对照试验 (黄红壤处理) 相比, 在培养的第 7 天黄红壤+竹叶处理可溶性 N 升高了 6.6%, 而黄红壤+杉木处理则降低了 3.1%; 在第 14 天时, 黄红壤+杉木和黄红壤+竹叶处理使可溶性 N 分别下降了 29.6% 和 5.5%; 在培养的第 28 天及以后, 黄红壤+杉木和黄红壤+竹叶处理使可溶性 N 分别下降 10.7%~22.3% 和 6.1%~16.1%。

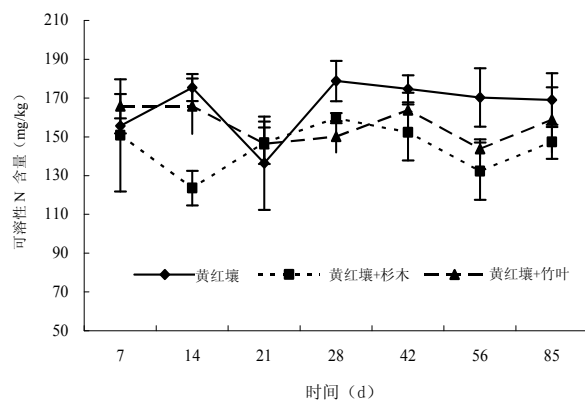


图 3 加入杉木和竹叶对黄红壤可溶性 N 含量的影响

Fig. 3 Effects of fir and bamboo leaf residue added on soluble nitrogen of yellow-red soil in Miaowan

3 讨论

由于不同植物组织中木质素、多酚、单宁酸等次生代谢产物的含量不同^[10,12], 使其在土壤对 N 素转化和保持的作用中产生了不一样的影响^[13-14]; 树木通过自身化学性质 (C/N 比、木质素含量) 的组成影响凋落物层和土壤中 N 的转化^[15-16]。本文研究显示凋落物的添加使土壤可溶性 N 含量降低, 而且添加单宁酸的结果也显示, 高浓度单宁酸的加入显著降低了可溶性 N 含量, 无疑与凋落物中单宁酸的含量和形态有关^[10-11]。本文结果显示, 加入杉木凋落物土壤中的可溶性 N 含量明显低于加入竹叶凋落物的土壤, 这与杉木凋落物中的单宁酸含量明显高于竹叶 193.8% (表 1) 有很大的关系。

研究表明土壤中硝态氮 ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) 和铵态氮 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) 的保持很大一部分是由于与酚类化合物发生反应, 起非生物固定的作用保持在有机 N 中^[10,17], 降低 N 的有效性, 从我们的试验处理可分析知, 有可能是因为凋落物分解过程中释放的单宁酸与土壤中的蛋白质分子结合, 形成复合物, 改变 N 素存在状态, 我们通过 K_2SO_4 浸提液的方法来提取土壤可溶性 N, 使部分 N 无法提取, 从而降低可溶性 N 含量。最近的研究发现蛋白质和丹宁化合物随多酚浓度升高而增加, 将可能导致以无机 N 为主要 N 循环形式向有机 N 形式 (DON) 转变, 在酸性且贫瘠的土壤中 DON 在总可溶性 N 中占 90%^[18]。可见可溶性 N 变化涉及到各 N 组分的转化还有待进一步分析。单宁酸的轻组是微生物的活性碳源, 重组有抑制作用。轻组增加土壤呼吸, 降低净 N 矿化; 重组降低呼吸, 略微增加 N 矿化^[11]。本文从加入不同浓度单宁酸对土壤中可溶性 N 含量的影响结果看出, 加入高浓度的单宁酸, 可能与 N 发生非生物保持作用, 使得土壤中的可溶性 N 含量明显减少, 因此凋落物化学特性的差异或改变会影响土壤 N 有效性的变化。研究表明在不同植被、地形、土壤类型、土壤 N 状况和土地利用历史等条件下, 微生物 N、尿酶活性、N 素的转化、损失等过程有较大差异^[13,19-22]。鉴于本文所分析的土壤类型偏少, 且在与凋落物对应的关系条件下研究还不系统, 有关次生代谢产物单宁酸对 N 转化的影响还在继续进行。

参考文献:

- [1] Binkley D, Giardina C. Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 89-106
- [2] Kraus TEC, Zasoski RJ, Dahlgren RA. Fertility and pH effects on

- polyphenol and condensed tannin contents in foliage and roots. *Plant and Soil*, 2004a, 262(1/2): 95–109
- [3] Lin YM, Liu JW, Xiang P, Lin P, Ye GF, Sternberg LdaSL. Tannin dynamics of propagules and leaves of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* in the Jiulong River Estuary, Fujian, China. *Biogeochemistry*, 2006, 78(3): 343–359
- [4] Lin YM, Liu JW, Xiang P, Lin P, Ding ZH, Sternberg LdaSL. Tannins and nitrogen dynamics in mangrove leaves at different age and decay stages (Jiulong River Estuary, China). *Hydrobiologia*, 2007, 583(1): 285–295
- [5] Zhang LH, Ye GF, Lin YM, Zhou HC, Zeng Q. Seasonal changes in tannin and nitrogen contents of *Casuarina equisetifolia* branchlets. *Journal of Zhejiang University Science B(Biomedicine & Biotechnology)*, 2009, 10(2): 103–111
- [6] 钟哲科, 王人潮, 江波. 森林土壤有机质层中多酚类物质的生态反馈意义. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 341–344
- [7] 何园球, 沈其荣, 王兴祥. 红壤丘岗区人工林恢复过程中的土壤养分状况. *土壤*, 2003, 35(3): 222–226
- [8] 郭艳娜, 霍沁建, 袁玲. 森林土壤肥力概述. *中国农学通报*, 2004, 20(3): 143–148
- [9] 周建斌, 陈竹君, 郑险峰. 土壤可溶性有机氮及其在氮素供应及转化中的作用. *土壤通报*, 2005, 36(2): 244–248
- [10] Kraus TEC, Zasoski RJ, Dahlgren RA, Horwath WR, Preston CM. Carbon and nitrogen dynamics in a forest soil amended with purified tannins from different plant species. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004b, 36: 309–321
- [11] Kanerva S, Kitunen V, Kiikkilä O, Lopenen J, Smolander A. Response of soil C and N transformations to tannin fractions originating from Scots pine and Norway spruce needles. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 3(6): 1 364–1 374
- [12] Palumbo MJ, Putz FE, Talcott ST. Nitrogen fertilizer and gender effects on the secondary metabolism of yaupon, a caffeine-containing North American holly. *Oecologia*, 2007, 151: 1–9
- [13] Templer PH, Lovett GM, Weathers KC, Findlay SE, Dawson TE. Influence of tree species on forest nitrogen retention in the Catskill Mountains. New York, USA. *Ecosystems*, 2005, 8: 1–16
- [14] Colman BP, Fierer N, Schimel JP. Abiotic nitrate incorporation in soil: Is it real? *Biogeochemistry*, 2007, 84: 161–169
- [15] Lovett GM, Weathers KC, Arthur MA. Control of N loss from forested watersheds by soil C: N ratio and tree species composition. *Ecosystems*, 2002, 5: 712–718
- [16] Springob G, Kirchmann H. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. *Soil Biol. Biochem.*, 2003, 35: 629–632
- [17] Sotta ED, Corre MD, Veldkamp E. Differing N status and N retention processes of soils under old-growth lowland forest in Eastern Amazonia, Caxiuanã, Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 740–750
- [18] Yu Z, Zhang Q, Kraus TEC, Dahlgren RA, Anastasio C, Zasoski RJ. Contribution of amino compounds to dissolved organic nitrogen in forest soils. *Biogeochemistry*, 2002, 61: 173–198
- [19] Xue JM, Sandsa R, Clintonb PW, Paync TW, Skinner MF. Carbon and net nitrogen mineralisation in two forest soils amended with different concentrations of biuret. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 855–866
- [20] Hackl E, Bachmann G, Zechmeister-Boltenstern S. Microbial nitrogen turnover in soils under different types of natural forest. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188: 101–112
- [21] Silver WL, Thompson AW, Reich A, Ewel JJ, Firestone MK. Nitrogen cycling in tropical plantation forests: potential controls on nitrogen retention. *Ecological Applications*, 2005, 15: 1 604–1 614
- [22] Zhang W, Mo J, Yu G, Fang Y, Li D, Lu X, Wang H. Emissions of nitrous oxide from three tropical forests in Southern China in response to simulated nitrogen deposition. *Plant and Soil*, 2008, 306: 221–236

Effect of Secondary Metabolites of Litter on Soluble Nitrogen in Forest soils

LIU Wei-li, MA Hong-liang, PENG Xiu-ming, XIA Qing, CHENG Gong, SUN Jie

(Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process, Ministry of Education, School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: By adding different litters and tannic acid with different rates to forest soils from Wuyi-Mount under cultivate condition, the effects of secondary metabolism on soil soluble nitrogen was studied. The results showed that soluble nitrogen content decreased by adding litters. Soluble nitrogen decreased by 12.0% – 27.5% for red soil with the addition of fir litter. The effect ($p < 0.05$) of fir litter treatment on soluble nitrogen content was higher than that of bamboo. Compared with control, the treatments with high rate of tannic acid significantly ($p < 0.001$) reduced soluble soil nitrogen of yellow-red soil with a decrease by 40.6% – 48.1%, but the effect of low rate of tannic acid on soil soluble nitrogen was not significant. The results indicated that the effects of litters, particularly fir litter, on soil soluble nitrogen possibly depend on tannic acid, which affects the soil organic and inorganic nitrogen turnover in soil.

Key words: Litter, Tannic acid, Soluble nitrogen, Forest soil