

模拟氮沉降对森林土壤酚类物质和可溶性糖含量的影响^①

高艳^{1,2}, 马红亮^{1,2}, 高人^{1,2*}, 尹云锋^{1,2}, 陈仕东^{1,2},
章伟^{1,2}, 朱祥妹^{1,2}, 杨玉盛^{1,2}

(1 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 2 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 采用野外原位试验模拟氮沉降, 研究其对福建建瓯万木林自然保护区杉木林(CUL)、浙江桂(CIC)和罗浮栲林(CAF) 3种林分土壤多酚、单宁和可溶性糖含量的影响。每个林分设置对照(CK, 0 kg/(hm²·a))、低氮(LN, 30 kg/(hm²·a))和高氮(HN, 100 kg/(hm²·a))3个处理。结果表明: 针叶杉木林土壤多酚含量最高, 单宁和可溶性糖含量最低, 且均与另两个阔叶树种林分差异显著。杉木和罗浮栲林土壤多酚含量随着氮添加量的增加而显著降低, 浙江桂多酚受HN处理影响不大, 仅LN处理显著降低49.4%。氮沉降主要表现为降低土壤单宁含量, LN处理分别显著降低杉木林、浙江桂和罗浮栲林单宁含量43.5%、70.0%和79.5%; 而HN处理仅降低阔叶林土壤单宁含量。然而, 氮沉降增加土壤可溶性糖含量, 与对照处理相比, LN处理分别显著增加杉木、浙江桂和罗浮栲林土壤可溶性糖48.8%、19.2%和19.8%。各林分凋落物中多酚、单宁和可溶性糖含量受氮沉降的影响不显著。

关键词: 氮沉降; 针阔叶林; 多酚; 单宁; 可溶性糖

中图分类号: S714.2; S718.5

氮元素是植物生长必需的营养元素, 是森林生态系统的养分限制因子^[1]。近两个世纪, 人类活动已显著增加了活性氮的生成和沉降速度^[2]。过剩的氮输入已经对森林生态系统产生了不同程度的影响, 因而引起了科学家和公众的广泛关注^[3]。我国已经成为继欧洲和美国之后的第三大氮沉降集中区域之一, 从我国社会经济的发展速度来看, 氮沉降量极有可能继续上涨, 我国氮沉降的现状和趋势越来越受到人们的关注^[4]。

多酚类等次生代谢物是林木在生长过程中产生的多种有机化合物之一^[5], 虽不通过各种代谢途径直接影响植物生长发育, 但在整个森林生态系统中有着极其重要的功能^[6]。酚类物质作为一个由植物进入土壤的重要的生物活性成分^[7], 在土壤中可能通过增加微生物活性^[8]、络合蛋白质形成蛋白-单宁复合物^[9-10]或通过抑制酶活性^[11]而固定土壤氮。可溶性糖作为植物初生代谢物之一, 是植物有机体生命活动不可缺少的物质^[12], 于凋落物分解过程中进入土壤后可提供丰富碳源和有效能量用于土壤微生物新陈代谢, 可被

合成微生物组织、被土壤聚合或吸收^[13]且能刺激土壤微生物从休眠状态进入活跃期^[14]。而酚类化合物中的单宁影响氮的矿化、降低氮的有效性, 且单宁的不同结构影响不一^[15]。森林生态系统具有独特的地被层, 因此, 酚类物质和可溶性糖作为从植物进入土壤的重要成分, 在氮沉降影响土壤氮素转化过程中发挥着重要的作用。

国内外有关酚类物质和可溶性糖的研究主要集中在植物方面, 比如不同植物部位酚类物质和可溶性糖的含量、性质及影响因子的研究、其对植物生理及植物养分循环的影响和作为药物的开发应用等^[14,16-17], 对进入土壤的那部分去向及其与土壤中氮素的关系还不是很清楚^[18], 且有关氮沉降对森林土壤酚类物质和可溶性糖的影响的研究更是少见报道。因此, 本研究拟通过在杉木林、浙江桂和罗浮栲林生态系统进行的2年的氮沉降模拟试验, 研究土壤酚类物质和可溶性糖对氮沉降增加的响应, 以期为该地区在大气氮沉降持续增加的情况下森林生态系统的氮素转化及动态提供参考。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901115, 31070548, 31170578), 教育部创新团队项目(IRT0960), 福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目(JA12058)和福建师范大学优秀青年骨干教师培养基金项目(fjsdjk2012069)资助。

* 通讯作者(ren.gao@fjnu.edu.cn)

作者简介: 高艳(1987—), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事森林生态系统氮循环研究。E-mail: gaz.5566@163.com

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究地点位于福建省北部建瓯万木林自然保护区(27°03' N, 118°09' E)内,地处武夷山脉东南、鹫峰山脉西北。该区域属典型中亚热带季风气候,年平均气温 18.8℃,年均降雨量 1 673.3 mm,相对湿度 81%,全年无霜期 277 天。土壤为花岗岩发育的山地红壤,有机质含量 14~26 g/kg,植被为亚热带暖湿地区的常绿双子叶植物阔叶树种,主要由樟科、木兰科、壳斗科、杜英科、山茶科、冬青科、山矾科和金缕梅科等为主的常绿阔叶树组成。本研究分别选择浙江桂天然林(CIC)、罗浮栲天然林(CAF)和杉木林人工林(CUL)为样地。浙江桂林乔木层中浙江桂(*Cinnamomum chekiangense*)占绝对优势,假蚊母树(*Distyliopsis dunnii*)次之,灌木层较稀疏,草本层不发达。罗浮栲林,群落以壳斗科栲属占优势地位,主要有罗浮栲(*Castanopsis fabric*)、丝栗栲(*Castanopsis fargesii*)、拉氏栲(*Castanopsis lamontii*)、南岭栲

(*Castanopsis fordii*)等,灌木层较丰富。杉木林树种单一,林分结构简单,灌木层以杜茎山(*Maesa japonica*)、狗骨柴(*Woodwardia japonica*)为主,草本有狗脊蕨、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)等。林分特征见表 1。

1.2 样地设计

2009 年 9 月选择建群种针叶树 1 种(杉木)、阔叶树 2 种(浙江桂、罗浮栲)建立野外模拟氮沉降增加试验,样地设置采用 2 因素 3 重复非平衡析因设计,每个样地设 9 个 2 m × 2 m 的样方,为防止样方相互干扰,样方间留有约 10 m 的间隔,并使用马口铁皮进行围封。设置 3 个氮沉降水平:对照(CK, 0 kg/(hm²·a))、低氮(LN, 30 kg/(hm²·a))和高氮(HN, 100 kg/(hm²·a)),每个处理 3 个重复。根据当地年降雨量水平和年内分布,分别于每年的 5、9、12 月份(由于某些原因,施氮时间偶有改变,具体施氮时间和施氮量见表 2)根据氮处理水平,将每个处理每次所需要喷施的 NH₄NO₃ 溶解在 2 L 蒸馏水中,用喷壶均匀喷洒,对照处理则喷洒同样量的水,以减少因外加的水而造成的影响。

表 1 样地基本特征
Table 1 Characteristics of the sampling forest stands

林分	海拔(m)	坡度(°)	树龄(a)	树高(m)	胸径(cm)	凋落物现存量(t/(hm ² ·a))	土壤 pH
CUL	300	21	37	18	18.3	4.82	5.60
CIC	390	20	152	26	36.4	6.70	4.38
CAF	350	35	122	25	31.1	6.57	4.65

表 2 试验样地施氮时间与施氮量(kg/hm²)
Table 2 Nitrogen application rate at each sampling time

氮水平	施氮时间						
	2009 年 9 月	2009 年 12 月	2010 年 8 月	2010 年 11 月	2011 年 2 月	2011 年 6 月	2011 年 9 月
CK	0	0	0	0	0	0	0
LN	7.5	10	12.5	7.5	10	12.5	7.5
HN	25	32.5	42.5	25	32.5	42.5	25

1.3 采样与试验方法

土样采集:于 2011 年 12 月(即施氮 3 个月)后,在每个样地的对角线上用土钻(内径 5 cm)取 3 钻表层 15 cm 的土壤,混合成一个样品,除去可见的植物根系和动植物残体,分别装入聚乙烯塑料袋内低温保鲜运回实验室,过 2 mm 筛后置于 4℃下保存备用。凋落物收集^[19]:自上而下取两层,即地表的新鲜凋落物 L 层和其下的发酵腐殖质 FH 层(即 F 层发酵层与 H 层腐殖质层之和);将新鲜凋落物经 65℃ 烘至恒重并磨细过 200 目筛,把发酵腐殖质层中的绿叶、大的果实和树根等去除后洗掉泥土再经 105℃ 烘至恒重并磨细过 200 目筛,都置于干

燥锅中供分析测定。

土壤和凋落物中多酚的测定采用福林法^[20],以没食子酸为标样;单宁的测定也采用福林法,用单宁酸^[21]做标样;可溶糖的测定采用蒽酮比色法^[22],以葡萄糖为标准;土壤 pH 用土水比 1:2.5(v/v)电位法测定;土壤含水量采用烘干法测定。

1.4 数据处理

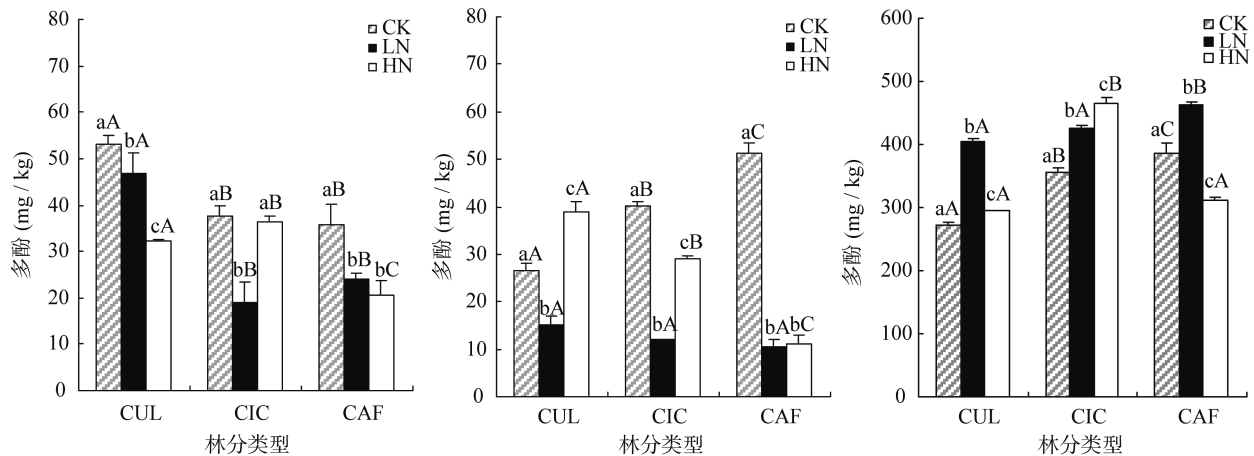
所得数据均采用 SPSS17.0 软件进行分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同林型和氮处理间的差异,用 T 检验法比较不同层次凋落物之间的差异,显著性水平设定为 P = 0.05。

2 结果与分析

2.1 氮沉降对不同林分土壤多酚、单宁和可溶性糖含量的影响

在未加氮的情况下，各林分土壤多酚、单宁和可溶性糖含量的情况如图 1 所示。土壤多酚含量在杉木林土壤中最高，且与浙江桂和罗浮栲林差异显著，两种阔叶林分彼此之间差异不显著；土壤单宁含量在杉木林土壤中最低，显著低于两种阔叶林，罗浮栲林含量最高，3 种林分之间差异显著；土壤可溶性糖含量在杉木林土壤中最低，阔叶林罗浮栲林中最高，3 林分间差异显著。

由图 1 可以看出，与未加氮 CK 处理相比，杉木和罗浮栲林土壤多酚含量随着氮添加量的增加而显著降低，分别依次降低 11.9%、39.4% 和 32.3%、42.7%，浙江桂土壤多酚在 LN 处理显著降低 49.4%。



(图中误差线为标准误差， $n = 3$ ；同一林分不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)，不同大写字母表示不同林分相同氮处理间差异显著($P < 0.05$))

图 1 氮添加对不同林分土壤多酚、单宁和可溶性糖含量的影响

Fig. 1 Effects of N addition on soil polyphenols, tannin and soluble sugar contents in different forest stands

表 3 各土样对应收集的凋落物中多酚、单宁和可溶性糖的含量

Table 3 Contents of polyphenols, tannin and soluble sugar in litter corresponds to each soil sample

林分	氮水平	多酚(mg/g)		单宁 (mg/g)		可溶性糖(mg/g)	
		L	FH	L	FH	L	FH
CUL	CK	4.2 ± 2.1 bA	2.8 ± 1.4 bA	4.5 ± 1.9 bA	2.3 ± 0.8 bA	23.9 ± 8.7 aA	16.5 ± 6.9 aA
	LN	5.1 ± 1.2 bA	1.7 ± 0.7 bB	5.1 ± 0.1 bA	2.3 ± 1.1 bB	26.0 ± 3.4 aA	15.3 ± 1.4 aB
	HN	6.7 ± 2.1 bA	2.9 ± 1.2 bA	9.4 ± 1.6 abA	3.1 ± 2.1 abB	44.5 ± 18.5 aA	13.9 ± 3.9 aB
CIC	CK	3.6 ± 0.8 bA	1.7 ± 0.6 bB	9.2 ± 3.8 abA	6.2 ± 2.6 abA	16.6 ± 4.9 aA	9.5 ± 0.7 aA
	LN	4.7 ± 1.6 bA	2.3 ± 1.2 bA	9.0 ± 3.5 abA	6.6 ± 2.7 abA	26.4 ± 10.1 aA	13.6 ± 0.4 aA
	HN	10.4 ± 0.7 aA	4.0 ± 0.7 aA	14.2 ± 1.1 aA	10.0 ± 4.5 aA	25.3 ± 10.1 aA	12.2 ± 3.2 aA
CAF	CK	3.3 ± 1.4 bA	1.7 ± 0.7 bA	3.2 ± 1.8 bA	1.3 ± 0.1 bA	33.3 ± 5.7 aA	12.7 ± 2.6 aB
	LN	6.8 ± 0.7 bA	2.9 ± 0.9 bB	7.1 ± 0.5 abA	3.1 ± 0.9 abB	33.9 ± 14.9 aA	12.7 ± 1.7 aA
	HN	6.6 ± 2.6 bA	2.1 ± 0.4 bB	8.3 ± 3.7 abA	2.4 ± 0.4 bA	22.2 ± 9.3 aA	8.3 ± 6.3 aA

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)，同行不同大写字母表示相同处理不同层次间差异显著($P < 0.05$)。

相比 CK 处理，杉木、浙江桂和罗浮栲林的土壤单宁含量在 LN 处理中分别显著降低 43.5%、70.0% 和 79.5%，在 HN 处理中杉木显著增加 46.3%，浙江桂和罗浮栲林分别显著降低 28.1% 和 78.1%。与 CK 处理相比，LN 处理分别显著增加杉木、浙江桂和罗浮栲林可溶性糖 48.8%、19.2% 和 19.8%，HN 处理分别显著增加杉木和浙江桂 8.3% 和 30.2%，而显著降低罗浮栲 19.5%。

2.2 氮沉降对不同林分凋落物中多酚、单宁和可溶性糖含量的影响

由表 3 可以看出，由于凋落物的分解，3 种林分凋落物中多酚、单宁和可溶性糖的含量均 L 层高于 FH 层，即表层高于底层，不过一般差异不明显。另外，比较表 3 与图 1 数据可发现，凋落物中各物质的含量均明显高于土壤，说明凋落物对土壤存在着影响。

由表 3 还可以看出,各林分凋落物中多酚含量随氮沉降水平增加而增加,其中浙江桂林 HN 处理明显高于其他处理,CK 与 LN 处理之间差异不显著;杉木和罗浮栲林增加不明显,两林分不同氮处理间差异不显著。各林分不同层次凋落物中单宁含量的变化和多酚的趋势相似,氮沉降增加了各林分凋落物中单宁含量,且最高值为浙江桂林 HN 处理,但差异均不显著。杉木林 L 层中凋落物中可溶性糖含量随氮沉降水平增加而提高,FH 层则随氮沉降水平增加而降低;浙江桂和罗浮栲林 L 层和 FH 层为 LN 处理最高,HN 处理低于 LN 处理,甚至低于 CK 处理。

3 结语与讨论

植物次生和初生代谢产物含量随树种不同而变化,且树与树之间、树的不同部位、不同季节或生长期其含量也会有差异,由于降解与转化作用,土壤中次生和初生代谢产物的含量并非与地上林木及地面植物中的含量直接相关^[19]。正如 Waterman 和 Mole^[23]的研究结果:针阔叶树种间酚类物质差异不大,除树种差异外,更多是受土壤呼吸、微生物碳和它们自身的降解转化影响。而本文研究显示 3 种林分土壤中酚类物质和可溶性糖含量在不同树种间差异显著,针叶树种杉木林中的多酚显著高于阔叶树种浙江桂和罗浮栲林,单宁和可溶性糖含量的变化与多酚存在着不一致性,表现为杉木显著低于浙江桂和罗浮栲林,无疑主要与树种差异有关。因为针叶与阔叶树种土壤化学性质及微生物条件不同,这些不同是由包括微型气候、地被覆盖层、根系数量、根系分泌物还有凋落物化学结构在内的一系列差异引起的^[19],本研究中针阔林间凋落物现存量及 pH 差异明显(表 1)。钟哲科等^[24]的研究结果也表明,单宁含量变化和多酚含量变化存在着不一致性,因为虽同属酚类物质,但多酚和单宁间结构存在差异^[7]。凋落物中多酚、单宁和可溶性糖含量在本研究中都表现为顶层高于底层,即 L 层高于 FH 层,这与 Kanerva 等^[19]的研究结果一致,因为凋落物代谢产物不容易从地面凋落物层流失或者说它们只有小部分在最顶层被降解转化。凋落物降解转化将养分从枯落物归还至土壤并逐渐转化至能被植物吸收利用,这养分循环及降解速率涉及物理、化学及生态环境等方面的因素^[25]。本研究发现凋落物中多酚、单宁和可溶性糖含量要明显高于其下土壤中的含量,进一步佐证了地面凋落物的降解转化是土壤中植物代谢产物这一活性成分碳的来源之一^[21]。

多酚、单宁和可溶性糖等植物代谢产物是植物与环境长时间交互影响的产物,所以受许多生物、非生

物环境因子的影响,比如营养元素、水分、CO₂、光照、温度^[21]等。已有 CNB^[26](carbon-nutrient balance)假设和 GDB^[27](growth-differentiation balance)假设用来预测环境因子对植物次生代谢产物含量的影响,这两种假设都把代谢产物含量的变化归结于资源可用性的变化,并且预测:在低营养条件下植物会对次生碳化合物增加碳分配。本研究结果显示,低氮沉降(LN 处理)显著降低 3 林分土壤多酚和单宁含量,这与 Katjiua 和 Ward^[28]的研究相符,也支持 CNB 和 GDB 假设,一般认为高含量单宁都与低肥条件有关^[29]。不过,Hattenschwiler 等^[18]研究却认为高养分并非一定对应低含量的植物酚类物质,正如本文研究的各林分凋落物中的多酚和单宁含量受氮沉降的影响而有所增加,虽然未达显著性水平。这些不一致的研究结果可能与植物在碳营养平衡方面的差异^[30]有关,或者是因为被处理的土壤营养状态还没达到能同步改变酚类物质含量的条件^[31]。可溶性糖在凋落物分解产生酚类物质的过程中被当做原料消耗,次生代谢产物一般由初生代谢产物派生而来^[12],本文中可溶性糖含量与多酚、单宁研究结果不一样的是,低氮沉降显著增加各林分土壤可溶性糖的含量,杉木林土壤增加幅度最大,这可能是因为氮添加加速了凋落物的分解速率^[25]而产生更多的可溶性糖。本研究显示土壤中的多酚、单宁和可溶性糖含量受氮沉降影响显著而凋落物中其所受影响不显著,由此可推断本研究中的氮沉降并非主要通过影响地面凋落物分解而影响土壤中代谢产物的含量,更多是通过影响土壤环境而达到对土壤中代谢产物含量的显著影响。因为作为植物代谢产物,多酚、单宁和可溶性糖除地面凋落物的降解转化外,还可以通过地上林木地面植被淋溶进入土壤,另外还有部分来自地下根系分泌,所以它们受地上林木、地面凋落物、地下根、土壤呼吸、微生物数量与种类、微生物碳、降雨等一些列因素的影响,涉及植物-土壤间相当复杂的相互作用过程^[5,7,14,21]。鉴于本文对多酚、单宁和可溶性糖的研究集中在凋落物分解和淋溶进入土壤中的作用,并由此推断其在土壤氮素循环中的作用以及对氮沉降的响应,下一步工作的重点将是研究酚类物质结构差异、根系分泌与可溶性糖和多酚之间的关系及其对土壤氮的影响。

参考文献:

- [1] Xiao HL. Atmospheric nitrogen deposition and nitrogen dynamics of forest ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16: 90-99

- [2] Galloway JN, Dentener FJ, Capone DG, Boyer EW, Howarth RW, Seitzinger SP, Asner GP, Cleveland CC, Green PA, Holland EA, Karl DM, Michaels AF, Porter JH, Townsend AR, Vorosmarty CJ. Nitrogen cycles: Past, present, and future[J]. *Biogeochemistry*, 2004, 70: 153–226
- [3] 闫聪微, 马红亮, 高人, 尹云锋, 陈仕东. 模拟氮沉降对中亚热带森林土壤可溶性氮含量的影响[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 678–684
- [4] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(12): 2 002–2 012
- [5] Binkley D, Giardina C. why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions[J]. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 89–106
- [6] Lin YM, Liu JW, Xiang P, Lin P, Ding ZH, Sternberg LdSL. Tannins and nitrogen dynamics in mangrove leaves at different age and decay stages (Jiulong River Estuary, China) [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 583(1): 285–295
- [7] Halvorson JJ, Gonzalez JM, Hagerman AE, Smith JL. Sorption of tannin and related phenolic compounds and effects on soluble-N in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 2 002–2 010
- [8] 马红亮, 刘维丽, 高人, 杨玉盛. 凋落物与单宁酸对森林土壤无机氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(1): 61–65
- [9] Adamczyk B, Salminen JP, Smolander A, Kitunen V. Precipitation of proteins by tannins: effects of concentration, protein/tannin ratio and pH[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47: 875–878
- [10] 刘维丽, 马红亮, 彭秀明, 夏清, 陈功, 孙杰. 凋落物中次生代谢物对森林土壤可溶性氮的影响[J]. *土壤*, 2010, 42(4): 564–568
- [11] Rosas A, Mora MdL, Jara AA, López R, Rao MA, Gianfreda L. Catalytic behaviour of acid phosphatase immobilized on natural supports in the presence of manganese or molybdenum[J]. *Geoderma*, 2008, 145: 77–83
- [12] 董妍玲, 潘学武. 植物次生代谢产物简介[J]. *生物学通报*, 2002, 37(11): 17–19
- [13] Martens DA, Frankenberger WT. Soil saccharide extraction and detection[J]. *Plant and Soil*, 1993, 149: 145–147
- [14] He HB, Li XB, Zhang W, Zhang XD. Differentiating the dynamics of native and newly immobilized amino sugars in soil frequently amended with inorganic nitrogen and glucose[J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62: 144–151
- [15] Kanerva S, Kitunen V, Kiiikkilä O, Lopenon J, Smolander A. Response of soil C and N transformations to tannin fractions originating from Scots pine and Norway spruce needles[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 1 364–1 374
- [16] Schmidt MA, Halvorson JJ, Gonzalez JM, Hagerman AE. Kinetics and binding capacity of six soils for structurally defined hydrolyzable and condensed tannins and related phenols[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2012, 12: 366–375
- [17] Smolander A, Kanerva S, Adamczyk B, Kitunen V. Nitrogen transformations in boreal forest soils—does composition of plant secondary compounds give any explanations[J]? *Plant and Soil*, 2012, 350: 1–26
- [18] Hättenschwiler S, Hagerman AE, Vitousek PM. Polyphenols in litter from tropical montane forests across a wide range in soil fertility[J]. *Biogeochemistry*, 2003, 64: 129–148
- [19] Kanerva S, Kitunen V, Lopenon J, Smolander A. Phenolic compounds and terpenes in soil organic horizon layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 44: 547–556
- [20] DeForest JL, Zark DR, Pregitzer KS. Atmospheric nitrate deposition and enhanced dissolved organic carbon leaching: test of a potential mechanism[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69: 1 233–1 237
- [21] Kraus TEC, Dahlgren RA, Zasoski RJ. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems—A review[J]. *Plant and Soil*, 2003, 256: 41–66
- [22] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 166–168
- [23] Waterman PG, Mole S. Analysis of phenolic plant metabolites[A] // Lawton JH, Likens GE. *Methods in Ecology*[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1994: 92–95
- [24] 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[M]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 341–344
- [25] Polyakova O, Billor N. Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 253: 11–18
- [26] Bryant JP, Chapin FSI, Klein DR. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory[J]. *Oikos*, 1983, 40: 357–368
- [27] Herms DA, Mattson WJ. The dilemma of plants: to grow or defend[J]. *The Quarterly Review of Biology*, 1992, 67: 283–335
- [28] Katjiua MLJ, Ward D. Resistance and tolerance of terminalia sericea trees to simulated herbivore damage under different soil nutrient and moisture conditions[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2006, 32: 1 431–1 443
- [29] Northup RR, Yu Z, Dahlgren RA. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter[J]. *Phytochemistry*, 1995, 21: 1 289–1 313
- [30] Horner JD, Cates RG, Gosz JR. Tannin, nitrogen, and cell wall composition of green vs. senescent Douglas-fir foliage [J]. *Oecologia*, 1987, 72: 515–519
- [31] Booker FL, Maier CA. Atmospheric carbon dioxide, irrigation and fertilization effects on phenolic and nitrogen concentrations in loblolly pine (*Pinus taeda*) needles[J]. *Tree Physiology*, 2001, 21: 609–616

Effects of Simulated Nitrogen Deposition on Phenolics and Soluble Sugar in Forest Soils

GAO Yan^{1,2}, MA Hong-liang^{1,2}, GAO Ren^{1,2*}, YIN Yun-feng^{1,2}, CHEN Shi-dong^{1,2},
ZHANG Wei^{1,2}, ZHU Xiang-mei^{1,2}, YANG Yu-sheng^{1,2}

(1 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China;

2 College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: An *in situ* field experiment was conducted to study the effects of simulated nitrogen deposition on soil polyphenols, tannin and soluble sugar in *Cunninghamia lanceolata* plantation (CUL), *Cinnamomum chekiangense* (CIC), and *Castanopsis fabric* (CAF) natural forests in Wanmulin Nature Reserve in Jianou of Fujian Province. Three nitrogen levels were installed, *i.e.*, CK (0 kg/(hm²·a)), low N (30 kg/(hm²·a)), and high N (100 kg/(hm²·a)). The results showed that soil polyphenols was highest in CUL while lowest for tannin and soluble sugar, which all had significant difference compared to both CIC and CAF. Soil polyphenols content in CUL and CAF decreased with nitrogen deposition, and in CIC it significantly decreased by 49.4% at LN only. Soil tannin content had been significantly decreased by 43.5%, 70% and 79.5% in CUL, CIC and CAF at LN compared to CK, respectively. However, it was decreased only for broadleaf soil under HN. An increase of 48.8%, 19.2% and 19.8% was found due to nitrogen deposition for soil soluble sugar in CUL, CIC and CAF at LN, respectively. The effects of N addition on litter polyphenols, tannin and soluble sugar in 3 forest litters were not significant.

Key words: Nitrogen deposition, Coniferous and broadleaf forest, Polyphenols, Tannin, Soluble sugar