

文章编号:1001-7380(2015)06-0010-05

氮添加对苏北杨树人工林土壤动物群落 垂直结构的影响

曹国华¹, 张 玲², 吴思思², 葛之葳^{2*}, 阮宏华²

(1. 江苏省东台林场, 江苏 东台 224242; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要:为研究氮沉降对杨树人工林土壤动物群落结构特征的影响,在东台林场模拟氮沉降固定样地(2012年4月开始施氮)中进行了土壤动物群落结构特征调查。在经营模式、立地条件相同的7,11,18年生的3林龄杨树人工林样地,设置5个不同质量梯度的氮沉降处理,即0(N0),5(N1),10(N2),15(N3),30(N4) g N/(m²·a)。结果表明:(1)施氮处理会增加杨树人工林土壤动物个体数,而N4处理只对11年生林分和18年生林分中土壤动物个体数有一定的限制作用。(2)不同施氮浓度下,7,11年生人工林中土壤动物个体数和类群数均呈现表聚性,18年生林分土壤动物也只是在N4处理下表现出向土壤深层趋避的特点。(3)总体上7年生林分土壤动物多样性高于11年生林分和18年生林分。

关键词:杨树人工林;氮添加;土壤动物群落;多样性;表聚性

中图分类号:S792.11 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.06.003

Effects of nitrogen addition on soil animal community vertical structure in Northern Jiangsu poplar plantation

CAO Guo-hua¹, ZHANG Ling², WU Si-si², GE Zhi-wei^{2*}, RUAN Hong-hua²

(1. Dongtai Forest Farm, Dongtai 224242, China; 2. College of Biology and Environment,
Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: A nitrogen addition experimental site was set up in Apr., 2012 with the aged 7, 11 and 18 forests and different concentrations of nitrogen addition as 0(N0), 5(N1), 10(N2), 15(N3), 30(N4) g N/(m²·a) to study the responses of soil fauna community structure to N addition in poplar plantation of Northern Jiangsu, China. The results showed that (1) N addition promoted the individual numbers of soil fauna; meanwhile, the limitations of individual numbers of soil fauna were observed under N4 treatment in the aged 11 and 18 forests. (2) The surface convergences were found in the aged 7 and 11 forests and all nitrogen deposition concentrations. Even in the aged 18 forest, only under N4 treated soil, fauna preferred to move to the deeper layer. (3) In generally, the species diversity was higher in the aged 7 forest than in the aged 11 and 18 forests.

Key words: Poplar plantation; N addition; Soil fauna community; Diversity; Surface convergence

由于工业化的迅猛发展,欧洲和北美地区最先出现氮沉降问题,但随着发展中国家经济的高速发展,氮沉降问题表现出全球化的趋势。氮沉降是指大气中的活性氮从大气转移到地表的过程,不断增加的氮沉降引起了一系列的生态问题,包括土壤酸化、生物多样性的减少、森林植被的衰退等。氮沉降问题现已

成为全球变化研究方向的热点问题之一。

在对氮沉降的研究中,关于氮沉降下土壤与植物、微生物响应的研究较多。相对而言,关于土壤动物的响应研究却所知甚少。在NITREX项目,Boxman^[1]曾在1次凋落物分解试验研究的取样中(1993年7月)统计了弹尾虫和甲螨的种类数量和

收稿日期:2015-10-09;修回日期:2015-11-05

基金项目:江苏省自然科学基金青年基金项目“氮沉降对杨树人工林SOC同位素效应的影响”(BK20130973);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介:曹国华(1965-),男,江苏东台人,工程师,主要从事林业应用技术研究。

* **通信作者:**葛之葳(1981-),男,安徽广德人,讲师,博士,主要研究方向:森林生态系统碳循环。E-mail:nerrynor@163.com。

生物量;Kuperman^[2]对长期受氮沉降影响的3个区域进行了大型土壤动物的野外调查,结果表明:在酸沉降量最低的地区,大型土壤动物的总个体数极显著高于另外2地。但是,这些没有进行专门试验设计或仅仅基于野外调查的结果,并不能明确指出N沉降对土壤动物的影响^[3]。

土壤动物是土壤生态系统中不可分割的组成部分,它们与残体分解、土壤理化性质的优化、土壤发育以及土壤物质与能量转换等方面都有着密不可分的关系,是土壤质量和土地质量评价的一个重要指标。影响土壤动物群落结构的环境因素多种多样,包括土壤、植被、气候和地形等,它们之间交互影响,形成了土壤动物群落的栖息环境,对土壤动物群落的组成与数量以及垂直结构产生重大影响^[4]。而绝大部分沉降的氮素最终进入土壤,对土壤生态系统带来了巨大冲击,也给土壤动物的数量和多样性等带来了改变。研究表明,在充分发育和未受搅动的土壤中,土壤动物的组成和数量具有明显的分层性,一般来说,下层土壤的动物数量和多样性高于上层土壤^[5]。土壤有机质是土壤动物主要能量来源,氮沉降的增加使得土壤中有机质含量产生变化,而中小型土壤动物种类及多样性与土壤有机质含量间的相关性较显著,因此会随着土壤有机质含量的变化而变化^[6]。

本研究以模拟氮沉降为背景,监测不同施氮浓度下苏北杨树人工林土壤动物群落垂直结构特征的变化情况,通过分析土壤动物的个体数、类群数和物种多样性,来揭示土壤动物群落垂直结构特征对氮沉降的响应规律,为全球气候变化背景下,人工林管理模式的调整提供理论基础。

1 研究方法

1.1 研究背景

本研究区域位于江苏省盐城市境内的东台林场,地理位置为120°49'E,32°52'N,创建于1965年,属于亚热带和暖温带的过渡区,邻近黄海,具有明显的过渡性、海洋性和季风性气候,四季分明,雨量集中,雨热同季,冬冷夏热,日照充足。常年平均气温为14.6℃,无霜期为220 d,降雨量为1 051.0 mm,年均日照2 169.6 h。土壤类型为脱盐草甸土,土壤质地为沙质壤土,土壤pH值偏碱性^[7]。东台林场为江苏省沿海重点防护林,林场占地面积为2 000 hm²,森林覆盖率为85%,木材总蓄积量约为

50 000 m³,东台林场分布的主要植被有人工营造的72 杨(*Populus euramericana* cv I-72)、69 杨(*Populus deltoides* cv I-69)、35 杨(*Populus deltoides* cv I-35)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides* Hu et Cheng)、银杏(*Ginkgo biloba* L.)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、毛泡桐(*Paulownia tomentosa*)、榉树(*Zelkova serrata*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等,草本有罗布麻(*Apocynum venetum* L.)、葎草(*Humulus scandens* Merr.)、野蔷薇(*Rosa multiflora* Thumb.)及一些蕨类植物等。

1.2 方法

1.2.1 样地设置 本研究在已有的东台林场模拟氮沉降样地中开展。该样地建立于2012年4月,通过人工施氮的方式进行模拟氮沉降。在经营模式、立地条件相同的7,11,18年生的3种不同林龄梯度的杨树(黑杨派无性系I-35)人工林,分为幼龄林(7年生)、中龄林(11年生)、成熟林(18年生)3林龄梯度。每个林龄设置3个重复样地,每个样地内均匀划分为5样方,即5个不同氮梯度处理(N0, N1, N2, N3, N4),分别为0, 5, 10, 15和30 g N/(m²·a),各个处理样方采用随机区组试验方法排列,每个小样方25 m×30 m,共计45个样地。

1.2.2 试验处理 试验样地于2012年4月开始,每年在植物生长季(5~10月),按不同施氮量施加外源氮素(NH₄NO₃),每月1次,将氮素人工均匀撒入样地,然后喷洒少量水,以便获得更好的肥效,对照样地喷洒同样多水,以减少不同处理间的差异。

1.2.3 土样采集 采样时间为2015年6月。在每个重复样方内按照S形取样法选取5个点,在每个点上用直径40 mm的土钻分0~10,10~25,25~40 cm 3层取样,将这5个采样点分土层混和成3个样,用以土壤动物鉴别和计数。另外,在每一个样方内按照S形取样法选取5个点,在每一点上,拉直径20 cm的正方形小样方收集地表凋落物层,先采用手拣法收集大型土壤动物,并直接对号投入装有70%酒精的小瓶杀死后固定,带回实验室在显微镜下进行分类鉴定。

1.2.4 分析、鉴定方法 采用改良的Tullgren漏斗分离装置进行土壤动物的分离,时间为24 h。装置使用20盏60 W的白炽灯,1次同时进行20个样品的分离。每层取出土样300 g放入筛网中,下面放置75%的酒精接样器。收集到的所有土壤动物在显微镜下进行数量统计、分类鉴定到目。土壤动物

分类鉴定参照《中国土壤动物检索图鉴》。

试验所得数据采用 Excel 2003, SPSS 3.0 进行统计分析及绘图。

土壤动物群落多样性指标采用 Shannon-Wiener 多样性指数,具体计算如下:

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

式中, P_i 是第 i 个种的个体数 N_i 占总个体数 N 的比例,即 $P_i = N_i / N$ 。

2 结果与分析

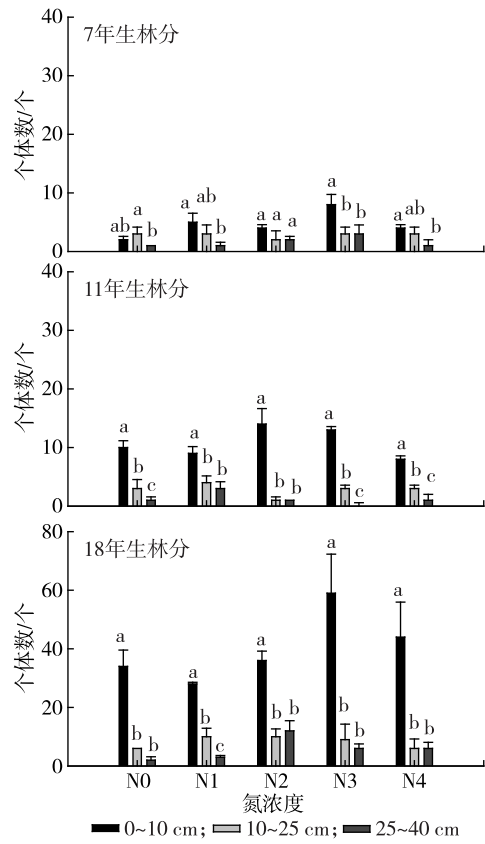
2.1 氮添加对土壤动物个体数量的垂直分布影响

不同林龄的土壤动物对施氮浓度的响应存在着明显区别。总的来说,它们对氮浓度有着相似的响应。随着氮浓度逐渐增加,3 种林龄的土壤动物个体数也在增加,施氮处理对 7 年生林分个体数量有促进作用,而在 11 年生林分中,中浓度氮起促进作用,高浓度起抑制作用。谭艳等^[8] 在研究中指出,随着林龄的增加,土壤动物群落的个体密度和类群数量不断降低。而本文的研究结果与其稍有不同,这可能与采样时间有关。

从不同土层来看,7 年生林分 0~10, 10~25, 25~40 cm 3 层土壤动物个体数的最大值均出现在 N3,7 年生林分 0~10 cm 层土壤动物个体数与 10~25 cm 和 25~40 cm 层土壤动物个体数在 N3 处理时差异显著,N3 处理明显增加了 0~10 cm 层土壤动物个体数,而 10~25 cm 层土壤动物个体数与 25~40 cm 层土壤动物个体数在施氮处理后差异并不显著。11 年生林分 0~10 cm 土层最大值出现在 N2,N4 处理对土壤动物个体数有着抑制作用,且 3 层土壤动物个体数在 N3,N4 处理时差异显著。10~25 cm 层和 25~40 cm 层均在 N2 时受到抑制,并且施氮浓度增加,个体数与对照组相比有所下降。18 年生林分 0~10 cm 层土壤动物个体数在 N3 时最大,且明显高于其他 2 层,10~25 cm 层和 25~40 cm 层在 N2 处理时个体数有所增加,但随着施氮浓度的增加,个体数开始下降。10~25 cm 层和 25~40 cm 层土壤动物个体数差异不显著。总体而言,0~10 cm 层土壤动物个体数高于 10~25 cm 层和 25~40 cm 层,呈现表聚性。

2.2 氮添加对土壤动物类群数的垂直分布影响

试验结果表明,3 种林龄土壤动物类群数差异不



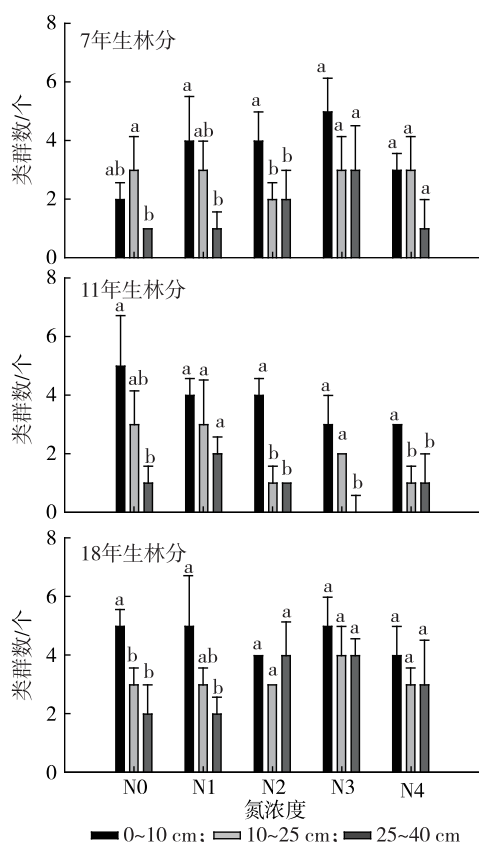
图中差异性显著分析为同一林龄同一氮处理浓度下不同土层间的比较

图 1 不同龄林不同施氮浓度对不同土层土壤动物个体数量的影响

大,这与谭艳等^[8] 得出的各林龄之间土壤动物类群数无显著差异的结果是一致的。随着施氮浓度的增加,7 年生林分分类群数跟着增加,但是 11 年生林分和 18 年生林分呈下降趋势。这可能与不同林龄杨树林年生林分地表植被的多样性有关。有研究表明,植物群落变化过程中土壤动物群落也发生着改变^[9]。

从土层来看,N2 处理对 7 年生林分 0~10 cm 层土壤动物类群数的影响显著高于其他 2 层,而 N3,N4 处理对 3 层土壤动物类群数的影响差异不显著。7 年生林分类群数最大值出现在 N3;11 年生林分和 18 年生林分类群数最大值出现在 N0。7 年生林分 3 层土壤层对于施氮处理的响应基本是一致的,随着施氮浓度的增加,类群数总体上也在增加,且在 N3 时达到最大值;N1 处理对 11 年生林分 3 层土壤动物类群数影响差异并不显著,而在 N2 时 0~10 cm 层土壤动物类群数明显高于其他 2 层,N3 处理对 25~40 cm 层土壤动物类群数抑制作用明显。许多研究证明,一定限度内的 N 沉降对生物可能是

有利的,但过量的 N 沉降则会造成负面影响^[3],其中的界线可能就在于生态系统是否达到了“N 饱和”^[10]。因此,在本试验中,不同林龄不同土层均出现了阈值效应,但阈值点有所不同,这可能与不同林龄、土层的含氮量有关。3 种林龄 0~10 cm 层土壤类群数高于其他 2 层,也呈现表聚性;18 年生林分类群数的响应与其他 2 种龄林是不一样的,18 年生林分在 N2,N3,N4 处理时 3 层土壤动物类群数差异均不显著。0~10 cm 层类群数在 N4 处理时较对照组而言是减少的,而 25~40 cm 层土壤动物类群数在 N4 处理时是高于对照组的。徐国良等^[11-13]通过大量氮沉降模拟试验发现,高浓度氮沉降作用下,土壤动物有向土壤深层趋避的现象。本试验中的 18 年生林分也有此现象。N4 处理使得 10~25 cm 层和 25~40 cm 层的土壤动物类群数有所增加。这可能是 18 年生林分深层土壤含碳量适宜土壤动物生存,当表层土壤氮含量过高而影响土壤动物的生存时,土壤动物就会向土壤深层移动。



图中差异性显著分析为同一林龄同一氮处理浓度下不同土层间的比较

图2 不同龄林不同施氮浓度对不同土层土壤动物类群数的影响

2.3 氮添加对土壤动物多样性的垂直分布影响

7 年生林分 3 层土层中的土壤动物多样性指数均在 N2 处理时受到抑制,11 年生林分除 0~10 cm 层外其余 2 层也在 N2 处理时多样性有所减少(见图 3)。总体而言,7 年生林分和 11 年生林分的 0~10 cm 土壤动物多样性较高于其他 2 层,但在高氮处理时 7 年生林分 10~25 cm 层土壤动物多样性高,而在 N1 处理时 11 年生林分 10~25 cm 层土壤动物多样性高于其他 2 层,氮处理对不同龄林的 10~25 cm 层土壤动物多样性的促进作用点不同,这与土壤中间层的氮含量有关。18 年生林分不同土层动物多样性的差异性较 7 年生林分和 11 年生林分而言不明显,垂直结构不明显,但 25~40 cm 层多样性明显高于其他 2 层,这可能与上 2 层土壤氮含量过高,导致其向土层深处趋避的现象有关。

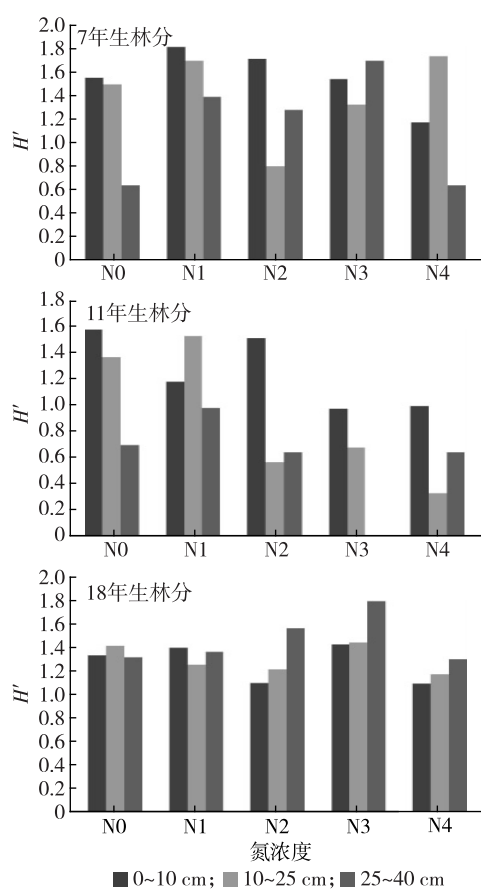


图3 不同林龄不同氮浓度对不同土层土壤动物多样性指数的影响

2.4 氮添加对不同林龄 3 层土层的总个体数和总类群数的影响

从总体上看,3 种林龄表层土壤动物个体数基本大于其他 2 层。7 年生林分 0~10 cm 层土壤动物

总个体数与10~25 cm 和25~40 cm 层差异显著;11年生林分3层土壤动物总个体数差异明显;18年生0~10 cm 层土壤动物总个体数明显高于其他2层,而10~25 cm 和25~40 cm 层2者的土壤动物总个体数差异不明显(如图4)。7年生林分和11年生林分3层土壤动物总类群数差异显著,而18年生林分表层土壤动物总类群数较其他2层而言差异明显,10~25 cm 和25~40 cm 层差异不显著。3种林龄土壤动物总类群数都有0~10 cm>10~25 cm>25~40 cm 的趋势(如图5)。这与土壤表层含碳量有关,0~10 cm 层含碳量高,因此呈现表聚性。

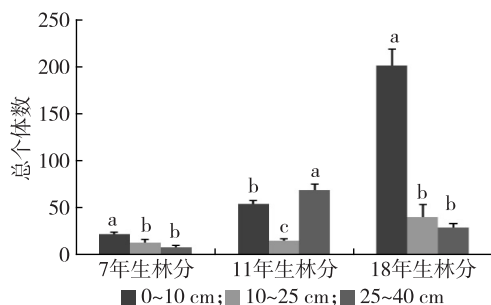


图4 氮添加对不同林龄3土层土壤动物总个体数的影响

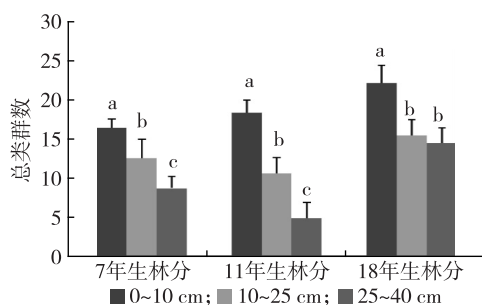


图5 氮添加对不同林龄3土层土壤动物总类群数的影响

3 讨论

(1)7年生林分和18年生林分3层土层土壤动物个体数和类群数随着施氮浓度的增加基本呈现先升后降的趋势。而11年生林分3层土层土壤动物类群数随着施氮浓度的增加而减少,这与张铁锁等^[7]研究结果稍有不同,本文着重从不同土层研究,因而可能与其仅涉及表土层(0~10 cm)的研究结果有所出入。

(2)随着施氮浓度的增加,7年生林分和11年生林分0~10 cm 层土壤动物多样性均高于10~25 cm 和25~40 cm 层,而18年生林分表层土壤动物多样性低于其他2层。总体上7年生林分土壤动物多样性高于11年生林分和18年生林分。

(3)高氮处理对18年生林分25~40 cm 层土壤动物个体数、类群数有促进作用。

(4)各林龄杨树人工林中土壤动物个体数和类群数均呈表聚性。

参考文献:

- [1] Boxman A W, Blanck K, Brandrud T E, et al. Vegetation and soil biota response to experimentally-changed nitrogen inputs in coniferous forest ecosystems of the NITREX project[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 101(1/3): 65-79.
- [2] Kuperman R G. Relationships between soil properties and community structure of soil macroinvertebrates in oak-hickory forests along an acidic deposition gradient [J]. Applied Soil Ecology, 1996, 4(2): 125-137.
- [3] 徐国良,莫江明,周国逸. N 沉降下土壤动物群落的响应: 1 年研究结果总述[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 1-7.
- [4] 朱永恒,赵春雨,王宗英,等. 我国土壤动物群落生态学研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1477-1481.
- [5] 张荣祖,杨明宪,陈 鹏,等. 长白山北坡森林生态系统土壤动物初步调查[J]. 森林生态系统研究, 1980(1): 133-152.
- [6] 何冬梅,由文辉,王建国,等. 锡林河中游草原生态系统中小型土壤动物有机质的关系[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(4): 350-358.
- [7] 张铁锁,赵小龙,郭钦东,等. 模拟氮沉降对杨树人工林土壤动物类群结构的影响[J]. 江苏林业科技, 2013, 40(6): 9-13, 38.
- [8] 谭 艳,王邵军,阮宏华,等. 不同林龄杨树人工林土壤动物群落结构特征[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2014, 38(3): 8-12.
- [9] 徐国良,周国逸,莫江明,等. 鹤山丘陵退化生态系统植被恢复的土壤动物群落结构[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1670-1677.
- [10] 肖辉林. 大气氮沉降对森林土壤酸化的影响[J]. 林业科学, 2001, 37(4): 111-116.
- [11] 徐国良,莫江明,周国逸,等. 土壤动物与 N 素循环及对 N 沉降的响应[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2453-2463.
- [12] 徐国良,莫江明,周国逸. 氮沉降对三种林型土壤动物群落生物量的影响[J]. 动物学研究, 2005, 26(6): 609-615.
- [13] 徐国良,莫江明,周国逸. 模拟氮沉降增加对南亚热带主要森林土壤动物的早期影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1235-1240.