

# 杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系

王清奎<sup>1,3</sup>, 汪思龙<sup>1\*</sup>, 冯宗炜<sup>2</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;  
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**通过在福建省来舟林场对不同栽植代数杉木人工林土壤可溶性有机碳(DOC)和氮(DON)及土壤养分的研究,其结果表明,随着杉木栽植代数的增加林地土壤 DOC 和 DON 含量逐渐下降,在 0~10cm 土层内第 3 代杉木林土壤 DOC 和 DON 含量分别是第 1 代杉木林的 83.9%和 87.1%、第 2 代杉木林的 90.6%和 96.9%,在 10~20cm 土层内第 3 代杉木林土壤 DOC 和 DON 含量分别是第 1 代杉木林的 80.2%和 81.5%、第 2 代杉木林的 81.8%和 90.0%。在不同林地和土层内土壤 DOC 含量之间的差异性达到了显著或极显著水平,而 DON 含量之间的差异性不显著。不同栽植代数杉木林土壤养分的变化趋势与 DOM 一致,随着杉木连栽,土壤养分含量呈下降趋势。在 0~10cm 土层内第 3 代杉木林土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾含量分别是第 1 代杉木林的 83.1%、60.4%、68.1%和 44.3%,是第 2 代杉木林的 84.6%、68.5%、74.4%和 58.7%;在 10~20cm 土层内第 3 代杉木林土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾含量分别是第 1 代杉木林的 74.0%、53.4%、57.6%和 54.6%,是第 2 代杉木林的 94.8%、59.5%、74.3%和 65.5%。经相关性分析,在各土层内土壤 DOC 和 DON 含量与土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾等土壤养分含量存在着不同程度的相关性。

**关键词:**杉木人工林;可溶性有机碳;可溶性有机氮;土壤养分

文章编号:1000-0933(2005)06-1299-07 中图分类号:S153.62,S718.55 文献标识码:A

## A study on dissolved organic carbon and nitrogen nutrients under Chinese fir plantation: Relationships with soil nutrients

WANG Qing-Kui<sup>1,3</sup>, WANG Si-Long<sup>1\*</sup>, FENG Zong-Wei<sup>2</sup> (1. *Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China*; 2. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China*; 3. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1299~1305.

**Abstract:** Dissolved organic matter (DOM) is a major controlling factor in soil formation, mineral weathering, and pollutant transport, and plays an important role through nutrient dynamics in terrestrial ecosystems. DOM composed mainly dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus (DOC, DON and DOP). DOM can be produced and consumed by micro-organisms or plants and stabilized/solubilized on and off in soil surface. Like other fractions of soil organic matter, some findings suggest that biodegradation of DOM is mediated by aqueous phase. But, the biodegradation mechanism of DOM is not well known. Carbon, nitrogen and phosphorus are the key elements in organic matter. Therefore, dissolved nutrients play an important role in terrestrial C, N and P budgets. Moreover, they (DOC, DON and DOP) play significant roles in the maintenance of nutrient capital in terrestrial ecosystems. However, a number of studies focused on a single element at a time, but few of them have examined the C, N and P content of DOM and evaluated the relative changes of C, N and P with solution movement through

**基金项目:**中国科学院知识创新工程重要方向课题资助项目(KZCX3-SW-418);国家自然科学基金资助项目(30270268,30470303)

**收稿日期:**2004-10-12;**修订日期:**2005-03-11

**作者简介:**王清奎(1977~),男,山东人,博士生,主要从事土壤有机质与土壤质量研究。E-mail: wqkui@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence.

**致谢:**本研究在采集土壤样品的过程中得到福建省林业科学研究院叶功富院长、谭芳林博士、林捷博士和来舟林场等同志的大力帮助,在此谨表谢意!

**Foundation item:** Chinese Academy of Science Program (No. KZCX3-SW-418) and National Natural Science Foundation of China (No. 30270268,30470303)

**Received date:**2004-10-12;**Accepted date:**2005-03-11

**Biography:** WANG Qing-Kui, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil organic matter and soil quality. E-mail: wqkui@163.com

ecosystems level or in response to changing nutrient availability simultaneously.

The experiments were conducted to investigate changes of DOC, DON and soil nutrients such as total nitrogen (TN), ammonium-N ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), total potassium (TK) and available potassium (AK) under different rotation of Chinese fir plantation at Laizhou Forestry Farm in Nanping, Fujian province. The results indicated that DOC, DON and soil nutrients declined with the continuous plantation of Chinese fir. In the 0~10cm soil layer, DOC and DON values in soil at the third plantation of Chinese fir were 16.1 and 22.9% lower than those of the first rotation, 9.4 and 3.1% lower than those of the second rotation, respectively. In 10~20cm soil layer, the contents of DOC and DON in soil from third rotation of Chinese fir were 19.8 and 18.5% lower than those from the first rotation, and 18.2 and 10.0% lower than those from the second rotation, respectively. The differences in contents of DOC among different forest stands and soil layer were significantly different while differences in contents of DON were insignificant.

Soil nutrients decreased with the similar trend of DOC and DON. In the whole soil profile, the contents of TN, TK,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , AK under the third rotation of Chinese fir were 21.4, 43.1, 37.7 and 50.5% lower than those of the first rotation, and 10.3, 36.0, 25.6 and 37.9% lower than those the second rotation, respectively. DOC and DON in both soil layers have positive correlation to different degree with soil nutrients. So it was concluded that dissolved organic matter controls soil nutrient dynamics and contents of DOC, DON and nutrients decreased with Chinese fir continuously cropping.

**Key words:** Chinese fir plantation; dissolved organic carbon (DOC); dissolved organic nitrogen (DON); soil nutrient

可溶性有机质(Dissolved organic matter, DOM)是指通过 0.45 $\mu\text{m}$  筛孔且能溶解于水、酸或碱溶液、具有不同结构及分子量大小的有机物(如低分子量的有机酸、碳水化合物等和大分子量的多酚、氨基糖和腐殖质等)的连续体或混合体,主要包括可溶性有机碳(Dissolved organic carbon, DOC)、可溶性有机氮(Dissolved organic nitrogen, DON)、可溶性有机磷(Dissolved Organic Phosphorus, DOP)等<sup>[1,2]</sup>。DOC、DON、DOP 在全球陆地生态系统的 C、N、P 收支平衡中具有重要作用。DOM 主要来源于植物凋落物、土壤腐殖质、微生物和根系及其分泌物<sup>[1]</sup>,是陆地生态系统中一类十分活跃的化学组分,它不仅能促进矿物的风化<sup>[3]</sup>和土壤形成<sup>[4]</sup>,而且还对生态系统土壤养分的有效性和流动性<sup>[5~7]</sup>等有直接影响。森林土壤有机碳库贮量的微小变化,都可显著地引起大气  $\text{CO}_2$  浓度的改变<sup>[8,9]</sup>。DOC 库作为土壤有机质的一个重要组分,也是森林土壤中的一个重要碳库。此外,DOC 还与土壤中  $\text{CO}_2$  通量存在密切的相关性<sup>[10]</sup>。

在森林土壤中 50% 以上的 N 是以有机形态存在的<sup>[7,11]</sup>,其中 N 在 DOM 中的形态存在主要有氨基糖态氮、多肽态氮以及与腐殖质类似的疏水性酸。DON 在陆地和水域生态系统的 N 循环和周转中具有重要作用<sup>[5,6]</sup>。此外,DON 和 DOP 在维持陆地生态系统中养分平衡方面也发挥重要作用<sup>[6]</sup>。DON 在植物养分中具有双重作用,一方面通过矿化作用成为矿化氮的氮源,另一方面也是菌根植物的直接氮源<sup>[12]</sup>。碳、氮、磷都是土壤有机质的重要组成部分,但大多数学者<sup>[6,13]</sup>只是对其中的单个元素进行研究,同时对 DOM 组分中的 DOC、DON、DOP 进行研究的很少,对 DOM 与土壤养分有效性关系的研究更为少见。杉木是我国重要的速生生产用材树种之一,约占我国南方森林面积的三分之一<sup>[14]</sup>。杉木纯林连栽所引起的林地土壤肥力和生产力下降已成为其可持续经营与利用的严重障碍<sup>[15]</sup>。国内学者对此已做了大量研究工作,但到目前为止,有关杉木人工林土壤可溶性有机质的研究尚未见报道。因此,本研究以福建不同栽植代数杉木人工林为例,研究了杉木连栽林地土壤 DOC、DON 和土壤养分的变化以及它们之间的关系,以期为进一步完善杉木人工林可持续经营的理论体系提供依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 土样采集

试验地位于福建省南平来舟林场,位于东经 117°57',北纬 26°38',年平均气温 19.4℃,绝对最低温-6.5℃,无霜期 300d,年平均降雨量 1800mm。土壤分别采自立地条件基本一致的第 1 代、第 2 代和第 3 代杉木人工林,各个林地的基本情况见表 1。于 2004 年 3 月份分别在每个林分内选择 3 个 10×20m<sup>2</sup> 的样地在每块样地内按“S”型布 10 点,按 0~10cm 和 10~20cm 分层取样,去除可见植物残体和根系,每块样地内相同层次土样混合均匀,组成一个混合土样。新鲜土样分为两部分,一部分过 2mm 筛后置于 4℃ 下存放用于测定 DOC 和 DON,另一部分在室内风干后过 2mm 和 0.25mm 筛,供分析土壤养分和有机碳。

### 1.2 土样分析

土壤水溶性有机碳和氮按照 Liang 等<sup>[16]</sup>的方法进行测定,操作过程为:取 10g 新鲜土加入去离子水(水土比为 2.5:1, V/W),此后振荡 30min 并 4000r/min 离心 10min,用玻璃纤维滤膜(0.45 $\mu\text{m}$ )过滤,滤液中的有机碳和氮用 Elementar High II C+N 仪测定。土壤养分采用常规方法测定<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据分析

不同林地和土层内土壤 DOC、DON 和土壤养分的差异显著性采用 Microsoft Excel XP 中的单因素方差分析(ANOVA)方法进行分析,文中的试验数据是 3 个重复的平均值。

表 1 试验林地的基本情况

Table 1 General situation of different forest stands						
林 地 Forest stand	海拔 Elevation(m)	林龄 Age (a)	树高 Height(m)	胸径 DBH(cm)	整地方式 Site preparation	林下植被 Undergrowth vegetation
第 1 代杉木林 FCF	165	17	13.3	18.4	炼山全垦	木荷, 观音座莲, 野芋子
第 2 代杉木林 SCF	200	14	12.8	16.1	炼山全垦	白蜡树, 管茅, 野芋子
第 3 代杉木林 TCF	100	15	12.2	15.7	炼山全垦	管茅, 野芋子, 牛奶子

FCF 第 1 代杉木林 the first rotation of Chinese fir plantation; SCF 第 2 代杉木林 the second rotation of Chinese fir plantation; TCF 第 3 代杉木林 the third rotation of Chinese fir plantation; 下同 the same below

2 结果与分析

2.1 DOC 和 DON

表 2 列出了不同林地和土层内土壤 DOC、DON 的含量。由表 2 可知,在 0~10cm 和 10~20cm 两个土层内 DOC、DON 的含量随杉木栽植代数的增加而降低。第 1 代杉木纯林林地 0~10cm 土层内可溶性有机碳含量为 135.8mg/kg,分别是第 2 代杉木纯林(125.7 mg/kg)、第 3 代杉木纯林(113.8 mg/kg)的 1.08 和 1.19 倍(表 2);在 10~20cm 土层,第 1 代、2 代和 3 代杉木纯林可溶性有机碳含量分别是 117.2、114.9 和 94.0 mg/kg。在不同林地和土层内 DOC 占土壤有机碳的百分含量(DOC/SOC,%)在 0.50%~0.67%之间,但其变化没有规律可循(表 3),在第 1 代和第 2 代杉木人工林上层土壤(0~10cm)内 DOC/SOC 低于下层土壤(10~20cm),而第 3 代杉木人工林则相反。经方差分析可知,在 0~10cm 土层内,第 1 代杉木林与第 2 代、第 3 代杉木纯林之间 DOC 含量的差异性达到了极显著水平( $p<0.01$ ),第 2 代与第 3 代杉木林之间差异性也达到了显著水平( $p<0.05$ );在 10~20cm 土层内,第 3 代杉木林与第 1 代和第 2 代之间 DOC 含量的差异性达到极显著水平,而第 1 代与第 2 代杉木林之间则差异不显著。

表 2 不同林地土壤可溶性有机碳、氮和土壤养分含量

Table 2 Contents of dissolved organic carbon and nitrogen and soil nutrients under different forest stand							
林分 Forest	土层 Soil layer(cm)	可溶性有机碳 DOC(mg/kg)	可溶性有机氮 DON(mg/kg)	全氮 Total N(g/kg)	全钾 Total K(g/kg)	铵态氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/kg)	速效钾 Available K(mg/kg)
FCF	0~10	135.8(1.0) <sup>a</sup>	6.4(0.9) <sup>a</sup>	1.54(0.19) <sup>a</sup>	19.8(1.6) <sup>a</sup>	7.5(1.8) <sup>a</sup>	97.4(22.0) <sup>a</sup>
	10~20	117.2(1.4) <sup>bc</sup>	5.8(0.9) <sup>a</sup>	1.29(0.12) <sup>a</sup>	19.1(1.7) <sup>a</sup>	8.3(3.0) <sup>a</sup>	73.6(16.6) <sup>a</sup>
SCF	0~10	125.7(3.4) <sup>b</sup>	5.7(1.0) <sup>a</sup>	1.51(0.08) <sup>a</sup>	17.4(2.7) <sup>a</sup>	6.9(0.6) <sup>ab</sup>	73.5(12.6) <sup>a</sup>
	10~20	114.9(3.6) <sup>bc</sup>	5.2(0.5) <sup>a</sup>	1.01(0.05) <sup>ab</sup>	17.2(2.7) <sup>a</sup>	6.4(0.5) <sup>ab</sup>	61.3(3.3) <sup>ac</sup>
TCF	0~10	113.9(5.0) <sup>bc</sup>	5.5(0.6) <sup>a</sup>	1.28(0.25) <sup>a</sup>	11.9(2.0) <sup>b</sup>	5.1(0.5) <sup>c</sup>	43.2(1.7) <sup>ab</sup>
	10~20	94.0(4.2) <sup>d</sup>	4.7(0.3) <sup>a</sup>	0.95(0.20) <sup>ab</sup>	10.2(2.2) <sup>b</sup>	4.8(0.4) <sup>c</sup>	40.2(12.4) <sup>ab</sup>

表中同一栏数据带不同字母的表示达到了 1% 的差异显著水平括号内数字为标准偏差 Values in the same columns that do not contain the same letters are significantly different at the 1% level; Standard deviations (in parentheses) are listed; 下同 the same below

在 0~10cm 和 10~20cm 土层内第 2 代杉木林 DON 含量(5.5 mg/kg 和 4.7 mg/kg)分别是第 1 代(6.4 mg/kg 和 5.8 mg/kg)、第 2 代杉木林(5.7 mg/kg 和 5.2 mg/kg)的 87.1%和 81.5%、96.9%和 90.0%(表 2)。这说明杉木连栽引起土壤 DON 含量下降。在不同林地和土层内土壤 DON 占全氮的百分含量(DON/TN,%)在 0.36%~0.52%之间,不同林地间 DON/TN 的变化没有规律,但在不同土层内表现为下层土壤(10~20cm)大于上层土壤(0~10cm)(表 3)。经差异显著性检验可知,各林分和土层内土壤 DON 含量的差异性均没有到达显著水平。

表 3 土壤可溶性碳/氮比及可溶性碳氮、速效养分分别占有机碳、全氮和全量养分的百分比例

Table 3 Ratio of DOC to DON and DOC, DON, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N and AK as percentage of SOC, TN and TK, respectively							
林分 Forest	土层 Soil layer(cm)	有机碳 SOC(g/kg)	可溶性有机碳/有机碳 DOC/SOC (%)	可溶性有机氮/全氮 DON/TN (%)	可溶性有机碳/可 溶性有机氮 DOC/DON	铵态氮/全氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/TN(%)	速效钾/全钾 AK/TK(%)
FCF	0~10	25.24	0.54	0.41	21.4	0.49	0.49
	10~20	19.09	0.61	0.45	20.3	0.65	0.38
SCF	0~10	25.17	0.50	0.38	22.0	0.46	0.42
	10~20	17.16	0.67	0.52	21.9	0.64	0.36
TCF	0~10	18.60	0.60	0.43	20.6	0.40	0.36
	10~20	16.96	0.55	0.49	19.9	0.50	0.39

2.2 土壤养分

杉木人工林土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾的含量随杉木栽植代数的增加而降低(表 2)。这说明随栽植代数增加杉木林地土壤肥力下降。第 1 代杉木林 0~10cm 土层全氮含量分别是第 2 代、第 3 代杉木林的 1.02 倍和 1.2 倍,全钾含量是 1.13 倍和 1.66 倍,铵态氮含量是 1.09 倍和 1.47 倍,速效钾含量是 1.33 和 2.26 倍。第 1 代杉木林 10~20cm 土层内全氮、全钾、铵态氮、速效钾含量分别为 1.29 g/kg、19.1 g/kg、8.3 mg/kg 和 73.7 mg/kg,分别是第 2 代杉木林的 1.28、1.11、1.29 倍和 1.20 倍,是第 3 代林的 1.35、1.87、1.73、1.83 倍。随杉木栽植代数增加,各个土层内土壤有效养分的含量下降速度比土壤全量养分快。由表 3 可知,土壤铵态氮占全氮的百分含量在 0.40%~0.65%之间,在同一土层内表现为随杉木栽植代数增加而降低;在同一林地内为上层土壤(0~10cm)低于下层土壤(10~20cm)。土壤速效钾占全钾得百分含量在 0.36%~0.49%范围内,在 0~10cm 土层中随杉木栽植代数的增加而下降,在 10~20cm 土层内为第 3 代杉木林最高,第 2 代杉木林最低。第 3 代杉木林 0~10cm 土层内全钾、速效钾含量与第 1 代、第 2 代杉木林差异显著,而全氮和铵态氮含量差异不显著。在 10~20cm 土层内土壤养分含量差异情况比较复杂。第 1 代和第 2 代杉木林全氮含量差异显著,而第 2 代与第 3 代山林铵态氮含量差异极显著,第 3 代杉木林与第 1 代、第 2 代杉木林全钾、速效钾含量差异显著(表 2)。

2.3 DOC、DON 与土壤养分的关系

将不同栽植代数和不同土层土壤的可溶性有机物和土壤养分作为整体来分析可溶性有机碳、氮与土壤养分的关系。图 1 阐明了杉木人工林土壤中 DOC 和土壤养分含量之间的相关性,其结果表明,土壤 DOC 含量与土壤全氮、全钾和速效钾含量都呈极显著正相关( $p=0.001, n=18$ ),与土壤铵态氮含量也达到了显著相关( $p=0.01, n=18$ )。DOC 含量与土壤养分相关程度不同,其中与全氮相关程度最高,其次为速效钾和全钾,与铵态氮相关性最低。

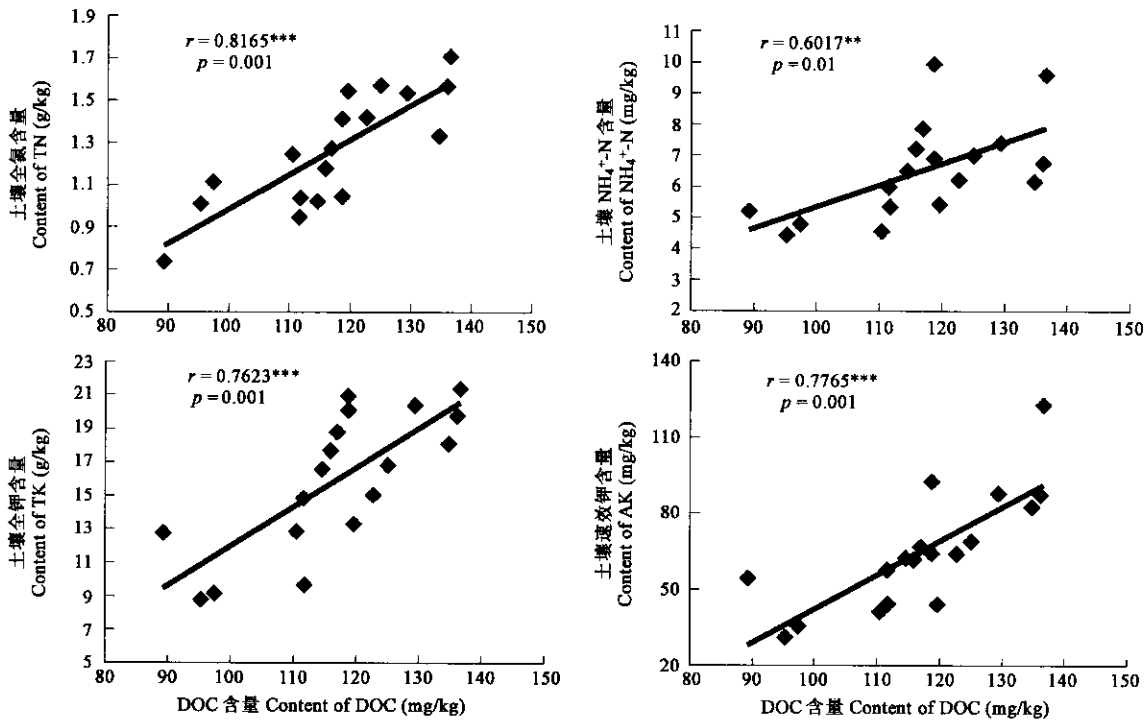


图 1 土壤 DOC 含量与土壤养分之间的关系

Fig. 1 Correlation of DOC with soil nutrients under different forest stands

图 2 显示了杉木林土壤中 DON 与土壤养分含量的相关性。DON 含量与土壤全氮、全钾、铵态氮和速效钾均呈极显著正相关( $p=0.001, n=18$ )。由图 1 和图 2 可知,DOC 和 DON 与土壤全氮、全钾和速效钾的相关性均达到了极显著水平,但土壤全氮、全钾和速效钾与 DOC 的相关性高于与 DON 的相关性,而铵态氮与 DOC 的相关程度低于与 DON 的相关程度。

3 讨论

3.1 可溶性有机碳和氮

可溶性有机碳容易被土壤微生物分解,在提供土壤养分方面起着重要的作用。Linn 和 Doran<sup>[18]</sup>以及 Moneral<sup>[19]</sup>认为在土壤中,尤其森林土壤,可溶性有机碳的含量一般很低,很少超过 200 mg/kg。本研究的结果显示,不同林地土壤 DOC 的含量在

94.0~135.8 mg/kg 之间,与前人研究的结果一致<sup>[20]</sup>。随杉木栽植代数的增加,土壤 DOC 含量下降。已有大量研究结果表明杉木纯林连栽导致土壤 pH 降低、土壤结构变差<sup>[21~23]</sup>。土壤结构和理化性质的变化可能是造成土壤 DOC 含量下降的原因之一。土壤可溶性有机碳含量不仅受土壤因子、植被覆盖和管理措施的影响,还与土壤吸附性质有关<sup>[24,25]</sup>。Kalbitz 等<sup>[11]</sup>认为可溶性有机物被吸附到土壤矿物表面是土壤溶液中可溶性有机物含量低的一个重要因素。土壤吸附具有选择性,疏水性可溶性有机物更容易从土壤溶液中分离出来<sup>[26]</sup>。Qualls 等<sup>[27]</sup>对美国北卡罗来纳州落叶林和皆伐林地土壤 DOC 含量的研究结构显示,土壤 DOC 含量在 10~150 mg/kg 范围内,但皆伐林地高于落叶林土壤。这可能是因为皆伐林地的土壤翻动增加其通透性、腐烂植物残体积累或刺激土壤微生物活动。土壤中 DOC 库贮量的变化,将使其成为大气中 CO<sub>2</sub> 的汇或源,影响土壤对 CO<sub>2</sub> 的沉降、全球碳循环和气候变暖。

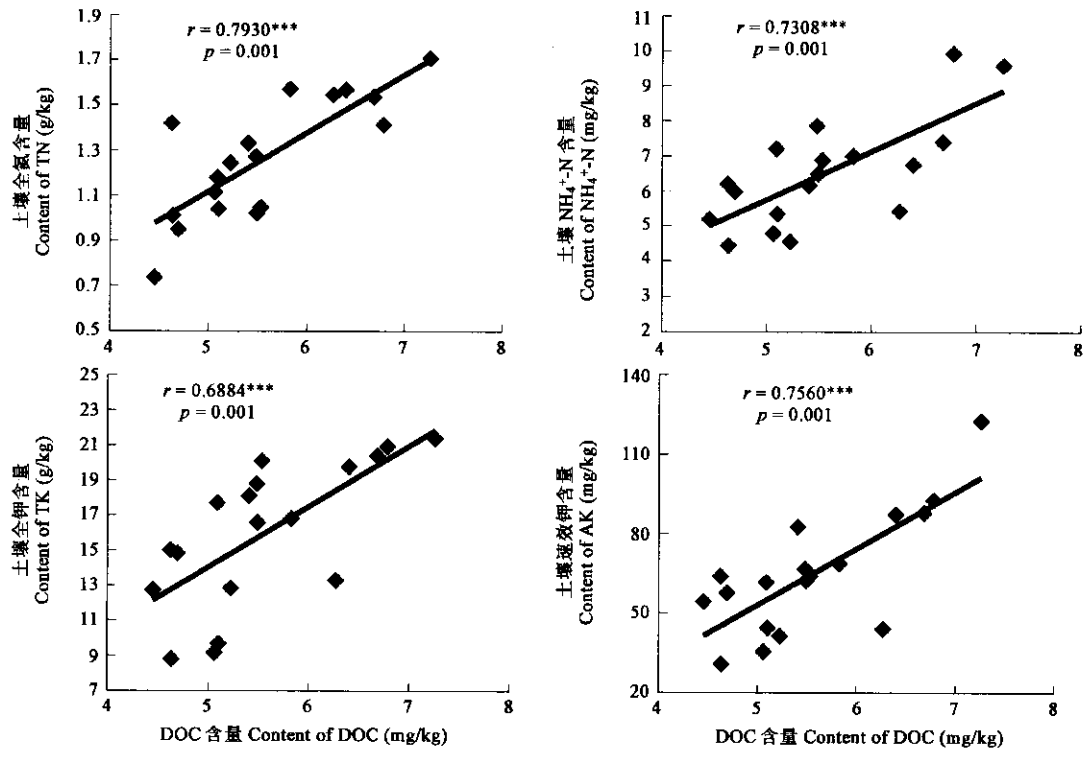


图 2 土壤 DON 含量与土壤养分之间的关系

Fig. 2 Correlation of DON with soil nutrients under different forest stands

可溶性有机氮是土壤活性 N 库的重要组成部分,森林土壤溶液中 N 的最主要存在形式和运输载体之一<sup>[28]</sup>。Perakis 等<sup>[29,30]</sup>对南美洲未受人类干扰的森林流域研究发现,河流中 70% 的 DON 是以有机氮形式存在。本研究的结果显示,各林地土壤 DON 含量在 4.5~7.3 mg/kg 范围内,占土壤总氮的百分含量为 0.33%~0.61%。各林地土壤 DON 含量没有达到差异显著性。Smolander 等<sup>[11]</sup>对挪威云杉林和皆伐林地土壤 DON 含量的研究结果显示,挪威云杉林中 DON 含量占土壤总氮的百分含量为 0.15%,而在皆伐林地 0.34%。有研究表明 DON 化合物在森林土壤有机质矿化和无机 N 固定过程中起着中间 N 库的作用<sup>[12]</sup>。这可能是 DON 先通过矿质土壤的吸附作用存留在土壤中<sup>[31]</sup>,此后 DON 库通过矿化作用释放养分供植物吸收利用。在不同杉木人工林内,上层土壤中 DON 的含量低于下层土壤,DOC 在土层中的变化也基本遵循这一规律。这是因为 DOM 在水中是可溶的,随土壤水下渗而淋溶到深层土壤甚至地下水中。目前对 DON 的生物降解研究很少,对 DON 的降解性能还不清楚。Gregorich 等<sup>[32]</sup>在比较用冷水和热水浸提的有机氮与有机碳的生物降解性能时,发现 DON 的生物降解性能略高于 DOC。而 Qualls 和 Haines<sup>[33]</sup>从栎树林对不同土层深度的土壤溶液取样,发现 DON 降解不比 DOC 快。因此,应该加强杉木人工林林地内土壤 DOM 生物化学特性的研究,以更深入了解 DOM 在土壤中的作用以及与土壤养分的关系。

在土壤溶液中 DOC/DON 比值变化幅度很大,但对此变化的深入了解能更好地理解 DON 在生态学上的重要性。Smolander 等<sup>[11]</sup>的研究表明,在挪威云杉和皆伐林地 DOM 中 DOC/DON 在 14~55 之间,但主要在 20~30 之间。在此研究中,第 1 代、第 2 代和第 3 代杉木人工林之间土壤 DOC/DON 比值的变化幅度很小。在不同林地中均表现出上层土壤的 DOC/DON 比高于下层土壤,但差别不大(表 3)。土壤中 DOC/DON 比值受各种因素影响。Neff 等<sup>[34]</sup>在单一树种占主导地位的夏威夷的树

林中,通过室内培养林地的有机层(O 层)发现,树龄对 DOC/DON 比值影响明显。McDowell 等<sup>[35]</sup>和 Neff 等<sup>[34]</sup>通过肥料试验,发现氮素的水平影响土壤溶液中 DON 的含量和 DOC/DON 比值,在 DOC 含量变化不大时,氮肥能增加土壤中 DON 含量。

### 3.2 可溶性有机物与土壤养分的关系

DOM 在森林生态系统养分循环过程中起着重要作用。土壤溶解有机碳对调节土壤养分有很大影响,与土壤内在的生产力高度相关。杉木人工林土壤 DOM 中 DOC、DON 与土壤全氮、铵态氮、全钾、速效钾的相关性基本一致(图 1、图 2)。土壤中的 DOC 含量与土壤全氮、全钾、速效钾含量之间存在极显著的正相关;DON 含量虽与土壤全氮、全钾、速效钾含量之间的相关性也达到了极显著水平,但相关程度低于 DOC 与土壤养分的相关程度。这说明与 DON 相比,DOC 能更好地反映土壤养分状况。此外,还发现 DOC 和 DON 与土壤氮素的相关性均为全氮大于铵态氮,与土壤钾素的相关性则为速效钾大于全钾。李淑芬等<sup>[24]</sup>研究结果也显示:土壤中的 DOC 含量与土壤全氮、碱解氮和速效钾含量之间存在极显著的正相关性,但与全氮的相关程度比与碱解氮的相关程度低。Smolander 等<sup>[11]</sup>研究表明,挪威云杉林地皆伐后林地 DON 的弄得升高,全氮含量降低,净氮矿化作用强烈。倪进治等<sup>[36]</sup>研究了有机肥料对土壤生物活性有机质组分的影响,其结果表明水溶性有机碳与总有机碳显著相关,因此决定生物活性有机碳库大小的主要因素可能是总有机碳的含量。土壤中 DOC 含量的大小可以反映土壤中潜在活性养分含量和周转速率,可以反映土壤养分循环和供应状况<sup>[24]</sup>。随着杉木栽植代数增加,土壤 DOC 含量降低,表明连栽林地土壤中潜在有效养分含量下降,土壤养分供应不足,土壤肥力下降,进而影响杉木人工林的生产力。

DOM 是土壤有机质的重要组成部分,在土壤形成、土壤养分有效性和污染物移动性方面都起着重要作用。目前对土壤 DOM 的研究主要集中在 DOC 方面,对 DON、DOP 等其它 DOM 组分研究很少,且大都是独自进行的;国内对土壤有机质变化、管理措施对土壤有机质及养分的影响进行了大量的研究工作,而有关土壤 DOM 与土壤养分关系的研究报道实属少见。因此,今后应加强这些方面的深入研究,探索 DOM 与土壤养分的作用机理。

### References:

- [1] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, *et al.* Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. *Soil Sci.*, 2000, **165** (4): 277~304.
- [2] Ohno T. Fluorescence inner-filtering correction for determining the humification index of dissolved organic matter. *Environ. Sci. Technol.*, 2002, **36**: 742~746.
- [3] Raulund-Rasmussen K, Borregaard O K, Hansen H C B, *et al.* Effect of natural soil solutes on weathering rates of soil minerals. *Eur. J. Soil Sci.*, 1998, **49**:397~406.
- [4] Schoenau J J, Bettany J R. Organic matter leaching as a component of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur cycles in a forest, grassland and gleyed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1987, **51**: 646~651.
- [5] Currie W S, Aber J D, McDowell W H, *et al.* Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. *Biogeochemistry*, 1996, **35**: 471~505.
- [6] Hedin L O, Armesto J J, Johnson A H. Patterns of nutrient loss from unpolluted oldgrowth temperate forest: evaluation of biogeochemical theory. *Ecology*, 1995, **76**: 493~509.
- [7] Qualls R G, Haines B L, Swank W T. Fluxes of dissolved organic nutrients and humic substances in a deciduous forest. *Ecology*, 1991, **72**: 254~266.
- [8] Dixon R K, Houghton P A, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, 1994, **263**:185~190.
- [9] Sundquist E T. The global carbon dioxide budget. *Science*, 1993, **259**: 935~941.
- [10] Jandl R, Sollins P. Water-extractable soil carbon in relation to the belowground carbon cycle. *Biol. Fertil. Soils*, 1997, **25**: 196~201.
- [11] Smolander A, Kitunen V, Mälkönen E. Dissolved soil organic nitrogen and carbon in a Norway spruce stand and an adjacent clear-cut. *Biol. Fertil. Soils*, 2001, **33**: 190~196.
- [12] Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, *et al.* Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature*, 1998, **392**: 914~916.
- [13] McDowell W H. Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rain forest. *J. Tropical Ecology*, 1998, **14**: 521~536.
- [14] Yu X T. *Silviculture of Chinese fir*. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1997.
- [15] Chen CY, Zhang J W, Zhou C L, *et al.* Researches on improving the quality of forest land and the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1990, **1**(2): 97~106.
- [16] Liang B C, Mackenize A F, Schnitzer M, *et al.* Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils. *Biol. Fertil. Soils*, 1998, **26**: 88~94.
- [17] Lu R K. *Method of soil agricultural chemistry analysis*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000. 147~195.
- [18] Linn D M, Doran J W. Aerobic and anaerobic microbial populations in no-till and plowed soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, **48**:1267

~1272.

[19] Moneral M A. Denitrification and its relation to soluble carbon. M. Sc. Thesis. Department of Soil Sci. , University of Alberta, Edmonton, Alta,1983. 100.

[20] Xu Q F, Xu J M. Changes in soil carbon pools induced by substitution of plantation for native forest. *Pedosphere*, 2003, **13**(3): 271~278.

[21] Deng S J, Zhang J W, Chen C Y. Effect of pure and mixed stands on soil physical and chemical properties. *Chin. J. Appl. Ecol.* , 1994, **5**(2):126~132.

[22] Wang S L, Liao L P, Yu X J, *et al.* Accumulation of organic carbon and changes of soil structure in ecological restoration of degraded Cunninghamia lanceolata plantation soil. *Chin. J. Appl. Ecol.* , 2000, **11**(supp):191~196.

[23] Qiu R H, Yang Y S, Yu X T. Soil structure characteristics in the plantations of *Cunninghamia lanceolata* on different rotations. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, **20**(4):6~11.

[24] Li S F, Yu Y C, He S. Correlation between dissolved organic carbon and soil factors of the forest soil in southern of China. *J. Zhejiang For. Coll.* , 2003, **20**(2):119~123.

[25] Quideau S A, Bockheim J G. Biogeochemical cycling following planting to red pine on a sandy prairie soil. *J. Environ. Qua.* , 1997, **26**: 1167~1175.

[26] Kaiser K, Guggenberger G, Zech W. Sorption of DOM and DOM fractions to forest soils. *Geoderma*, 1996, **74**:281~304.

[27] Qualls R G, Haines B L, Swank W T, *et al.* Soluble organic and inorganic nutrient fluxes in clearcut and mature deciduous forests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 2000, **64**: 1068~1077.

[28] McHale M R, Mitchell M J, McDonnell J J, *et al.* Nitrogen solutes in an Adirondack forested watershed: Importance of dissolved organic nitrogen. *Biogeochemistry*, 2000, **48**(2): 165~184.

[29] Perakis S S, Hedin L O. Fluxes and fates of nitrogen in soil of an unpolluted old-growth temperate forest, southern Chile. *Ecology*, 2001, **82**(8): 2245~2260.

[30] Perakis S S, Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature*, 2002, **415**: 416~419.

[31] Kaiser K, Zech W. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. *Eur. J. Soil Sci.* , 2000, **51**: 403~411.

[32] Gregorich E G, Beare M H, Stoklas U, *et al.* Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*, 2003, **113**: 237~252.

[33] Qualls R G, Haines B L. Biodegradability of dissolved organic matter in forest throughfall, soil solution and stream waters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* , 1992, **56**: 578~586.

[34] Neff J C, Asner G P. Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model. *Ecosystems*, 2001, **4**:29~48.

[35] McDowell W H, Currie W S, Aber J D, *et al.* Effects of chronic nitrogen amendments on production of dissolved organic carbon and nitrogen in forest soils. *Water Air Soil Pollut.* , 1998, **105**:175~182.

[36] Ni J Z, Xu J M, Xie Z M, *et al.* Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil. *Plant Nutri. Fertil. Sci.* , 2001, **7**(4):374~378.

参考文献:

[14] 俞新妥. 杉木栽培学. 福州:福建科技出版社, 1997.

[15] 陈楚莹, 张家武, 周荣莲, 等. 改善杉木人工林的林地质量和提高生产力的研究. 应用生态学报, 1990, **1**(2): 97~106.

[17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 147~195.

[21] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹, 等. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质有些的研究. 应用生态学报, 1994, **5**(2):126~132.

[22] 汪思龙, 廖利平, 于小军, 等. 杉木人工林退化土壤生态恢复过程中有机碳积累于土壤结构的改善. 应用生态学报, 2000, **11**(增):191~196.

[23] 邱仁辉, 杨玉盛, 俞新妥. 不同栽植代数杉木林土壤结构特性的研究. 北京林业大学学报, 1998, **20**(4):6~11.

[24] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系. 浙江林学院学报, 2003, **20**(2):119~123

[36] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响. 植物营养与肥料学报, 2001, **7**(4):374~378.