

文章编号: 1000-5692(2003)02-0119-05

# 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系

李淑芬<sup>1</sup>, 俞元春<sup>2</sup>, 何 晟<sup>2</sup>

(1. 金陵科技学院 幕府校区 园艺系, 江苏 南京 210038; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 采用 TOC-5000A 总有机碳仪测定了福建主要森林类型土壤溶解有机碳 (DOC) 的含量, 分析了土壤溶解有机碳与土壤因子的关系。结果表明: 南方酸性森林土壤中, DOC 与有机碳总量、全氮、全磷、碱解氮、有效磷和速效钾等养分因子之间呈极显著或显著的正相关关系, 因而可以作为评价土壤肥力性状的生物学指标。土壤 DOC 与土壤中有有机络合态铁、有机络合态铝和活性羟基铝之间呈极显著或显著的正相关。土壤中有有机碳是影响土壤中铝和铁的溶出及迁移的一个重要因子。土壤 DOC 与 pH 值之间在一定的范围内呈极显著的负相关关系, 因而土壤中铝的吸附、保持及溶解铝的排出受到溶液中 DOC 的强烈控制。土壤 DOC 与交换性铝之间无显著相关性。表 2 参 14

**关键词:** 森林土壤; 溶解有机碳; 土壤成分; 土壤有效养分; 铁; 铝

**中图分类号:** S714.2      **文献标识码:** A

土壤溶解有机碳 (dissolved organic carbon, 简称 DOC) 特指在天然 pH 条件下能溶于水的有机碳, 是活性有机碳的一种。它在土壤中移动比较快, 不稳定, 易氧化, 易分解, 易矿化, 对植物和微生物来说活性比较高。它与土壤微生物生物量一样是土壤活性有机质, 容易被土壤微生物分解, 在提供森林土壤养分方面起着重要的作用。同时它在水中可溶, 对森林土壤生态系统中元素的生物地球化学循环及铝和重金属等元素的毒性和迁移有深刻的影响。因此, 阐明土壤溶解有机碳与土壤其他因子的关系对于土壤质量指标的选取、土壤碳素循环和生态环境保护等都有重要意义。然而, 对于森林土壤溶解有机碳, 国内研究较少。本文在这一方面做一些初步探索。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

研究地区设在福建省建瓯市长源采育场, 地处武夷山脉南侧, 地理位置为  $27^{\circ}0'N$ ,  $118^{\circ}09'E$ 。该地区属中亚热带季风气候, 年平均气温  $18.8^{\circ}C$ , 年平均降水量为  $1673.3\text{ mm}$ , 年平均蒸发量  $1499.2\text{ mm}$ , 年平均相对湿度  $81\%$ , 年日照时数为  $1829\text{ h}$ , 雨水多集中在春夏。山地以低山丘陵为主, 坡度  $20\sim35^{\circ}$ , 海拔  $554\text{ m}$ 。实验地选择的林分类型有杉木 *Cunninghamia lanceolata* 成林、杉木幼林、马尾松 *Pinus massoniana* 成林和阔叶青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 成林, 其中杉木幼稚林下植被繁茂, 主要有苦竹 *Pleoblastus amarus*、观音座莲 *Angiopteris fokiensis*、狗脊 *Woodwardia japonica*、深裂叶卷柏 *Selaginella tamariscina*、黄瑞木 *Adinandra millettii* 和芒萁 *Dicranopteris dichotoma* 等。试验地土壤为花岗岩发育的暗

收稿日期: 2002-09-16; 修回日期: 2003-01-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30070615)

作者简介: 李淑芬 (1973-), 女, 山东莱西人, 硕士, 从事森林土壤学研究。

红壤，质地疏松，土层深厚，肥力较高。其基本性质见表 1。

表 1 试验地土壤基本性质  
Table 1 Soil properties of the studied area

林 分	深度/ cm	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	pH 值 (H <sub>2</sub> O)
杉木成林	0~20	0.805	0.182	92.10	2.191	79.12	13.44	5.00
	20~40	0.442	0.195	40.64	2.367	60.95	8.56	4.95
	40~60	0.235	0.174	33.58	1.291	52.13	6.07	5.17
杉木幼林	0~20	1.195	0.299	117.60	1.233	29.08	23.08	4.70
	20~40	1.081	0.279	135.18	2.862	44.22	21.41	4.68
	40~60	0.838	0.283	71.24	2.678	46.31	12.54	4.82
马尾松	0~20	0.898	0.232	82.71	2.302	27.60	16.38	4.76
	20~40	0.610	0.246	57.19	1.325	40.76	10.54	4.77
	40~60	0.607	0.325	56.00	0.579	31.82	8.26	4.88
阔叶林	0~20	1.661	0.280	171.46	3.852	58.94	35.55	4.26
	20~40	1.024	0.253	112.73	3.916	61.79	19.62	4.48
	40~60	0.782	0.229	92.42	2.38	40.84	16.50	4.54

1.2 样品的采集与处理

选择该地区内土壤本底条件基本一致的主要森林类型，包括 25 年生的马尾松人工林、25 年生的杉木成林、阔叶林及 1995 年造林的杉木幼林。在各林分下选择有代表性的地段，选取 3 株平均木，分别在离树干 2/3 树冠投影处挖掘土壤剖面，按 0~20、20~40 和 40~60 cm，由下而上分层采集土样。共采样 3 次，时间为春季（4 月中旬）、夏季（8 月中旬）和秋季（11 月中旬）。样品带回室内风干，分别过 1 mm 和 0.25 mm 尼龙网筛。土壤样品的处理均采用塑料制品，以避免干扰。将样品保存在塑料袋内供分析用。

1.3 样品分析方法

土壤 pH 值，土：水=1：2.5 水浸提，酸度计法；土壤有机质，重铬酸钾氧化-外加热法；土壤全氮，硫酸铜-硫酸钾-硒粉催化，半微量凯氏法；土壤全磷，硫酸-高氯酸溶解，钼锑抗比色法；土壤水解氮，碱解扩散法；土壤速效钾，1 mol·L<sup>-1</sup> 乙酸铵浸提，原子吸收法测定；土壤有效磷，0.03 mol·L<sup>-1</sup> 氟化铵-0.1 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸浸提，钼锑抗比色<sup>[1]</sup>；交换性铝，过 0.25 mm 筛的细土与 1 mol·L<sup>-1</sup> 氯化钾之比为 1：10，浸提 30 min，离心过滤，铝试剂比色<sup>[2]</sup>；活性羟基铝，上述离心后的土中继续加入 0.2 mol·L<sup>-1</sup> 盐酸使土水比为 1：10，浸提 30 min，离心过滤，铝试剂比色；有机络合态铁、铝，过 0.25 mm 筛的细土与 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 焦碳酸钠之比为 1：10，浸提 2 h，用 ICP 测定<sup>[3]</sup>；水溶性有机磷，称过 2 mm 筛的土，使土水比为 10：1，浸提 5 h，过 0.45 μm 滤膜，滤液用岛津 TOC-5000A 总有机碳仪测定<sup>[4]</sup>，结果用碳表示。

2 结果与讨论

2.1 土壤 DOC 与 pH 的关系

从表 2 可以看出，土壤中的 DOC 含量与土壤 pH 值之间呈线性负相关（ $r = -0.523^{**}$ ， $P < 0.01$ ）。关于土壤 DOC 含量与土壤 pH 之间的关系，前人的研究结果也有差异。有人认为 DOC 吸附与 pH 变化关系不大，但最终来说，pH 增加，DOC 吸附是减少的，然而这一影响并没有被证实<sup>[5]</sup>。Jardine 等<sup>[6]</sup>认为 pH 值 4.5 时 DOC 吸附达最高，在较高或较低的 pH 时 DOC 吸附都有所下降。这说明土壤 DOC 含量与土壤 pH 的相关关系需要界定在一定的 pH 值范围内来研究才有意义。Vance 等<sup>[7]</sup>通过酸淋溶土柱实验发现，O 层土柱用水淋溶时，淋溶液中 DOC 含量最大；用酸淋溶时，随 pH 值降低溶液中 DOC 含量减少。B 层土柱随 pH 值降低 DOC 含量增加，这可能是因为通过质子作用，金属-有机配合物被释放出来，致使土壤溶液是有机物含量增加，从而使 DOC 含量增加。所以，关于土壤 DOC 含量与土壤 pH 之间的关系还有待于进一步研究。

2 2 土壤 DOC 与有机碳的关系

土壤中的 DOC 含量与土壤有机碳含量之间存在极显著的正相关关系 ( $r=0.714^{**}$ ,  $P<0.01$ )。虽然水溶性有机物与总有机质或腐殖质含量具有一般正相关关系, 但前者占后两者的百分比并非为常数。

林滨等<sup>[8]</sup>研究土壤沉积物中的水溶性有机物指出, 土壤沉积物中的水溶性有机物, 其实质上是天然有机物中分子量较小且亲水性较强的组分。因此, 土壤沉积物中水溶性有机物含量的差异首先取决于样品总有机质特别是腐殖质含量的高低。不同样品水溶性有机物的含量具有随总有机质、腐殖质含量增高而增高的一般趋势。倪进治等<sup>[9]</sup>研究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。

2 3 土壤 DOC 与铁、铝的关系

土壤中的 DOC 含量与土壤有机络合态铁和有机络合态铝含量之间存在明显的正相关关系, 其相关系数  $r$  分别为 0.772 和 0.661, 其相关性均达到了极显著水平 (表 2)。土壤中的 DOC 与活性羟基铝呈显著相关, 而土壤 DOC 含量与交换态铝含量之间无显著的相关关系。

土壤中有有机碳的运输是调整铝迁移的一个重要因子, 因为它在溶液中的浓度高且能络合大量的铝。土壤溶液中铝水平与焦磷酸浸提出的有机碳有关, 并且与总有机碳有关。越来越多的证据表明, 土壤中固相有机复合体控制铝的浓度。Mulder 等<sup>[10]</sup>在高度酸化的土壤上研究表明, 铝溶解的变化与有机复合铝, 甚至矿化土层有关。有机络合铝以及总铝与 pH 及有机物之间的关系非常重要, David 等<sup>[11]</sup>研究证明, 各层土壤溶液中总铝浓度与 pH 呈负相关 ( $r=-0.43$ ,  $P<0.01$ ,  $n=136$ ), 但这不能应用回归解释总铝的变化, pH 与总铝之间缺乏一个好的相关关系, 这可能与有机络合铝有关, 仅仅用 pH 不能预测土壤溶液中铝的浓度。这使评价酸沉降对铝溶出和对水陆生态系统潜在的毒害这一问题变得更为复杂。

Ross 等<sup>[12]</sup>研究结果表明, 土壤中有有机络合铝与 pH 不相关 ( $r=0.24$ ,  $P>0.05$ ,  $n=45$ ), 与 DOC 也不相关 ( $r=0.20$ ,  $n=42$ )。而 David 等<sup>[11]</sup>在溪水中发现有有机络合铝与 DOC 极相关。然而, 水中 DOC 浓度与土壤溶液中的浓度相比很低 ( $<1.2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。在土壤浸提液中, 有机铝与 DOC 缺少相互关系是由于 DOC 含量高, 以致于在配合反应中, 中心金属阳离子铝成为限制因子。因此, 增加 DOC 量不一定使有机铝含量增加, 同时 DOC 包含大量的有机碳形态, 这其中有些有机碳不一定与铝发生亲合作用<sup>[9]</sup>。有机碳在土壤剖面运动时, 由于微生物氧化有机物或有机物与矿物中铝发生配合反应, 使复合物中的碳/铝率降低, 同时由于有机铝溶质的溶解度降低, 使土壤溶液 pH 和离子强度增加。Ross 等<sup>[12]</sup>研究指出, 活性溶解铝 (活性儿茶酚紫法) 和总铝 (石墨炉法) 密切相关, 除了有机质积累层 O 层外, 2 种形态的铝与土壤中 DOC 正相关, 因而 DOC 可能控制着酸性土壤中铝的移动。Andrew 等<sup>[13]</sup>认为土壤中总有机酸与溶解铝和溶解铁有显著的关系。这些结果都说明在酸沉降影响下的森林生态系统中, 土壤酸化中铝的吸附、保持及溶解铝的排出受到溶液中 DOC 的强烈控制。

表 2 土壤溶解有机碳与土壤中各元素的关系

Table 2 The correlation between DOC and nutrition

项 目	相关方程	相关系数
土壤溶解有机碳与土壤 pH 值	$y=-103.51x+557.55$	$-0.523^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤有机碳	$y=6.0870x+14.939$	$0.714^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤有机络合态铁	$y=0.2675x+35.871$	$0.772^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤有机络合态铝	$y=0.1053x+4.883$	$0.661^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤活性羟基铝	$y=0.1996x+32.982$	$0.394^{*}$
土壤溶解有机碳与土壤交换态铝	$y=-0.0124x+71.196$	$0.035$
土壤溶解有机碳与土壤全氮	$y=62.980x+21.967$	$0.629^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤碱性解氮	$y=0.6830x+9.664$	$0.724^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤全磷	$y=255.920x+7.577$	$0.332^{*}$
土壤溶解有机碳与土壤有效磷	$y=22.4160x+26.879$	$0.670^{**}$
土壤溶解有机碳与土壤速效钾	$y=0.6300x+21.365$	$0.536^{**}$

说明:  $y$  表示土壤溶解有机碳,  $x$  表示土壤中相应元素

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 2.4 土壤 DOC 与营养元素的关系

土壤中的 DOC 含量与土壤全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量之间存在明显的正相关关系, 相关系数  $r$  分别为 0.629, 0.724, 0.670 和 0.536, 其相关性均达到了极显著水平 (表 2), 而土壤中的 DOC 含量与土壤全磷含量之间的相关关系也达到了显著水平。

从以上结果可以看出, 土壤中的 DOC 含量与速效钾、有效磷、有机质、全氮和碱解氮等物质的含量均呈正相关。这与徐阳春等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。他的研究表明, 土壤微生物量碳、氮与土壤有机碳、全氮、碱解氮之间均呈极显著的正相关。因此, 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。这表明土壤 DOC 与土壤肥力关系密切, 可以作为评价土壤肥力性状的生物学指标。

## 3 结论

①南方酸性森林土壤中 DOC 与有机碳、全氮、全磷、碱解氮、有效磷和速效钾等养分因子之间呈极显著或显著的正相关关系。土壤中 DOC 含量的大小可以从一个方面反映土壤中活性养分状况, 可以作为评价土壤肥力性状的生物学指标。②土壤 DOC 与土壤中有机络合态铁、有机络合态铝和活性羟基铝之间呈极显著或显著的正相关。土壤中有有机碳的运输是调整土壤中铝和铁的溶出和迁移的一个重要因子。③土壤 DOC 与 pH 值之间在一定的范围内呈极显著的相关关系。因而南方酸性森林土壤中铝的吸附、保持及溶解铝的排出受到溶液中 DOC 的强烈控制。④土壤 DOC 与交换态铝之间无显著相关性。

## 参考文献:

- [1] 刘效章. 林业标准汇编 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [2] 王维君. 我国南方一些酸性土壤铝存在形态的初步研究 [J]. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4 (1): 2—8.
- [3] 熊毅. 土壤胶体 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. 266—267.
- [4] 张甲坤, 陶澎, 曹军. 土壤水溶性有机碳测定中的样品保存与前处理方法 [J]. 土壤通报, 2000, 31 (4): 175—176.
- [5] Driscoll C T. Aluminum chemistry in a forest spodosol [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1985, 49: 437—444.
- [6] Jardine P M, Weber N L, McCarthy J F. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1989, 53: 1 378—1 385.
- [7] Vance G F, David M B. Effect of acid treatment on dissolved organic carbon retention by a spodic horizon [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1989, 53: 1 242—1 247.
- [8] 林滨, 陶澎, 曹军, 等. 伊春河流域土壤与沉积物中水溶性有机物的含量与吸着系数 [J]. 中国环境科学, 1996, 16 (4): 307—310.
- [9] 倪进治, 徐建民. 土壤轻组有机质 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1 (2): 58—63.
- [10] Mulder J, Stein A. The solubility of aluminum in acidic forest soils: long-term changes due to acid depositions [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1994, 58: 85—94.
- [11] David M B, Driscoll C T. Aluminum speciation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack Mountains (New York, U. S. A) [J]. *Geoderma*, 1984, 33: 297—318.
- [12] Ross D S, Bartlett R J. Field-extracted spodosol solutions and soils: aluminum, organic carbon, and pH interrelationships [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1996, 60: 589—595.
- [13] Andrew A P, John G McColl. Soluble organic from forest litter and their role in metal dissolution [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1988, 52: 589—595.
- [14] 徐阳春, 沈其荣. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39 (1): 89—95.

# Correlation between dissolved organic carbon and soil factors of the forest soil in southern of China

LI Shu-fen<sup>1</sup>, YU Yuan-chun<sup>2</sup>, HE Sheng<sup>2</sup>

(1. Department of Horticulture, Jingling University of Technology, Nanjing 210038, Jiangsu, China, 2. Faculty of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

**Abstract:** The dissolved organic carbon (DOC) of forest soil in Fujian Province was tested with TOC-5000A Organic Carbon Instrument. The relationship between soil DOC and soil factors were analyzed. The findings show that there is a very significant positive correlation between the concentration of DOC and the concentrations of organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen, available phosphorus and available potassium. So DOC can be used as an index of soil fertility. A very significant positive or a positive correlation is found between the DOC concentration of soil and the concentration of organic-iron, organic-aluminum and active aluminum, which means that soil DOC is one of the important factors controlling the migration of aluminum and iron in soil. A very significant negative correlation is found between the concentrations of DOC and soil pH value. In the acid forest soil of south China, the absorption, maintenance and release of aluminum and iron are strongly controlled by DOC. There is no significant correlation between soil DOC and exchangeable aluminum. [Ch, 2 tab. 14 ref.]

**Key words:** forest soil; dissolved organic carbon; soil constituent; available nutrient of soils; iron; aluminum