

# 江苏下蜀林区土壤溶解有机碳与土壤因子的关系

俞元春<sup>1</sup> 李淑芬<sup>2</sup>

(1 南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037; 2 金陵科技学院园艺系 南京 210038)

**摘要** 采用 TOC-5000A 总有机碳仪测定了江苏下蜀森林土壤溶解有机碳(DOC)的含量,分析了土壤 DOC 与土壤因子的关系。结果表明:酸性森林土壤中,DOC 与有机 C、全 N、碱解 N、有效 P 等养分因子之间呈极显著或显著的正相关关系,土壤 DOC 与土壤肥力状况关系密切,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 Fe、有机络合态 Al 和活性羟基 Al 之间呈极显著或显著的正相关。土壤中有有机 C 的运输是调整土壤中 Al 和 Fe 的溶出及迁移的一个重要因子。土壤 DOC 与交换性 Al、pH 值、全 P、速效 K 之间无相关关系。

**关键词** 森林土壤;溶解有机碳(DOC);土壤因子;养分;相关关系

**中图分类号** S153.6

土壤溶解有机碳(Dissolved organic carbon,简称 DOC)指在一定的时空条件下,受植物和微生物影响强烈、具有一定溶解性、在土壤中移动比较快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化,其形态、空间位置对植物、微生物来说活性比较高的那一部分土壤 C 素。国外描述这一部分 C 素的术语为有效 C、水溶性 C、易氧化 C、可矿化 C、生物可降解 C、活性 C、微生物量 C 等<sup>[1]</sup>。从这个概念来看,DOC 与土壤中其它物质的含量很可能存在着某些关系。土壤 DOC 只占森林土壤有机质的很少一部分,但它与土壤有机质的其它组分之间可以在一定的条件下相互转化,始终处于动态平衡之中。就土壤 DOC 的作用而言,一方面,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;另一方面,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 Al、重金属等元素的毒性和迁移有深刻的影响。同时森林土壤 DOC 的淋失是土壤有机 C 损失的重要途径,它作为一项环境指标,对研究 C 素循环与环境有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

南京林业大学下蜀林场位于江苏省句容县境

内,北纬 31°59',东经 119°14'。该地区属北亚热带季风气候区,四季分明,热量、雨量较中亚热带为低,年平均降雨量为 1104mm,年平均气温 15.2。土壤主要为石英砂岩或其坡积-冲积物上发育的黄棕壤。质地重壤至壤质,pH 在 4.5~5.5 之间。选择的林分类型有杉木成林、杉木幼林、马尾松成林和阔叶麻栎(*Quercus acutissima*)成林,各个林分下植被都相当繁茂,以小山竹和禾本科草为主。其基本性质见表 1。

### 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,包括马尾松成林、杉木成林、阔叶林麻栎、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 40~60cm,由下而上分层采集土样,同时采集了根圈土(距主根 2cm)。共采样 3 次,时间为春季、夏季、秋季。样品带回室内风干,分别过 1mm 和 0.25mm 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<sup>[2]</sup>

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 N:硫酸铜-硫酸钾-硒粉催化,半微量凯氏法;土壤全 P:

硫酸-高氯酸消解，钼锑抗比色法；土壤水解 N：碱解扩散法；土壤速效 K：1mol/L 乙酸铵浸提，原子吸收法测定；土壤有效 P：0.03mol/L 氟化铵—0.1mol/L 盐酸浸提，钼锑抗比色；交换性 Al：过 0.25mm 筛的细土与 1mol/L KCl 之比为 1:10，浸提 30 分钟，离心过滤，铝试剂比色<sup>[3]</sup>；活性羟基 Al：上述离心后的土中继续加入 0.2 mol/L HCl 使土水比

为 1:10，浸提 30 分钟，离心过滤，铝试剂比色；有机络合态 Fe、Al：过 0.25mm 筛的细土与 0.1mol/L 焦磷酸钠之比为 1:10，浸提 2h，用 ICP 测定<sup>[4]</sup>；水溶性有机 C：称过 2mm 筛的土，水土比为 10:1，浸提 5h，过 0.45 $\mu$ m 滤膜，滤液用岛津 TOC-5000A 总有机碳仪测定<sup>[5]</sup>，结果用 C 表示。

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

林分	深度 (cm)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有机质 (g/kg)	pH (H <sub>2</sub> O)
杉木成林	0~20	1.112	0.085	104.55	2.643	37.36	12.74	4.84
	20~40	0.444	0.142	40.74	1.094	27.11	3.96	4.75
	40~60	0.392	0.220	37.70	1.139	32.03	2.58	4.98
杉木幼林	0~20	0.825	0.294	94.54	2.093	50.11	7.51	4.56
	20~40	0.548	0.302	63.53	2.888	38.01	4.58	5.14
	40~60	0.304	0.316	51.36	5.780	45.21	4.14	5.42
马尾松	0~20	0.984	0.199	99.95	2.267	51.78	12.51	4.82
	20~40	0.540	0.169	51.65	1.064	42.84	5.23	4.72
	40~60	0.457	0.271	56.57	1.226	44.45	4.95	4.86
阔叶林	0~20	0.702	0.146	78.63	1.295	39.70	7.39	4.88
	20~40	0.378	0.171	43.92	0.515	34.15	5.22	4.98
	40~60	0.237	0.170	39.25	1.462	39.81	2.74	4.26

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤 DOC 与 pH 的关系

土壤 DOC 与 pH 的关系拟合见图 1A，从图 1A 及方程的  $r$  可以看出土壤中的 DOC 含量与土壤 pH 值之间线性相关关系不显著 ( $r_{0.05}=0.288$ ,  $r_{0.01}=0.372$ ,  $n=46$ )。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>[6]</sup>。Jardine<sup>[7]</sup>认为 pH=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 and David<sup>[8]</sup>通过酸淋溶土柱实验发现，O 层土柱用酸淋溶时，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，致使土壤溶液中有机物含量增加，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 C 的关系

土壤中的有机 C 含量可代表土壤有机质的含量。将春天、夏天和秋天 3 个季节所测得的土壤中全部 DOC 含量和土壤有机 C 含量结果作散点图，拟合回归方程得图 1B。从图 1B 及方程的  $r$  可以看出土壤中的 DOC 含量与土壤有机 C 含量之间存在明显的正相关关系，其直线回归方程系数  $r$  为 0.831，相关性达到了极显著水平 ( $r_{0.05}=0.288$ ,  $r_{0.01}=0.372$ ,  $n=46$ )。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，但它们之间并不成正比，即前者占后两者的百分比并非为常数。

林滨等<sup>[9]</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。王岩等应用氯仿熏蒸培养法测定土壤生物量 C 和 N，结果表明：土壤生物量

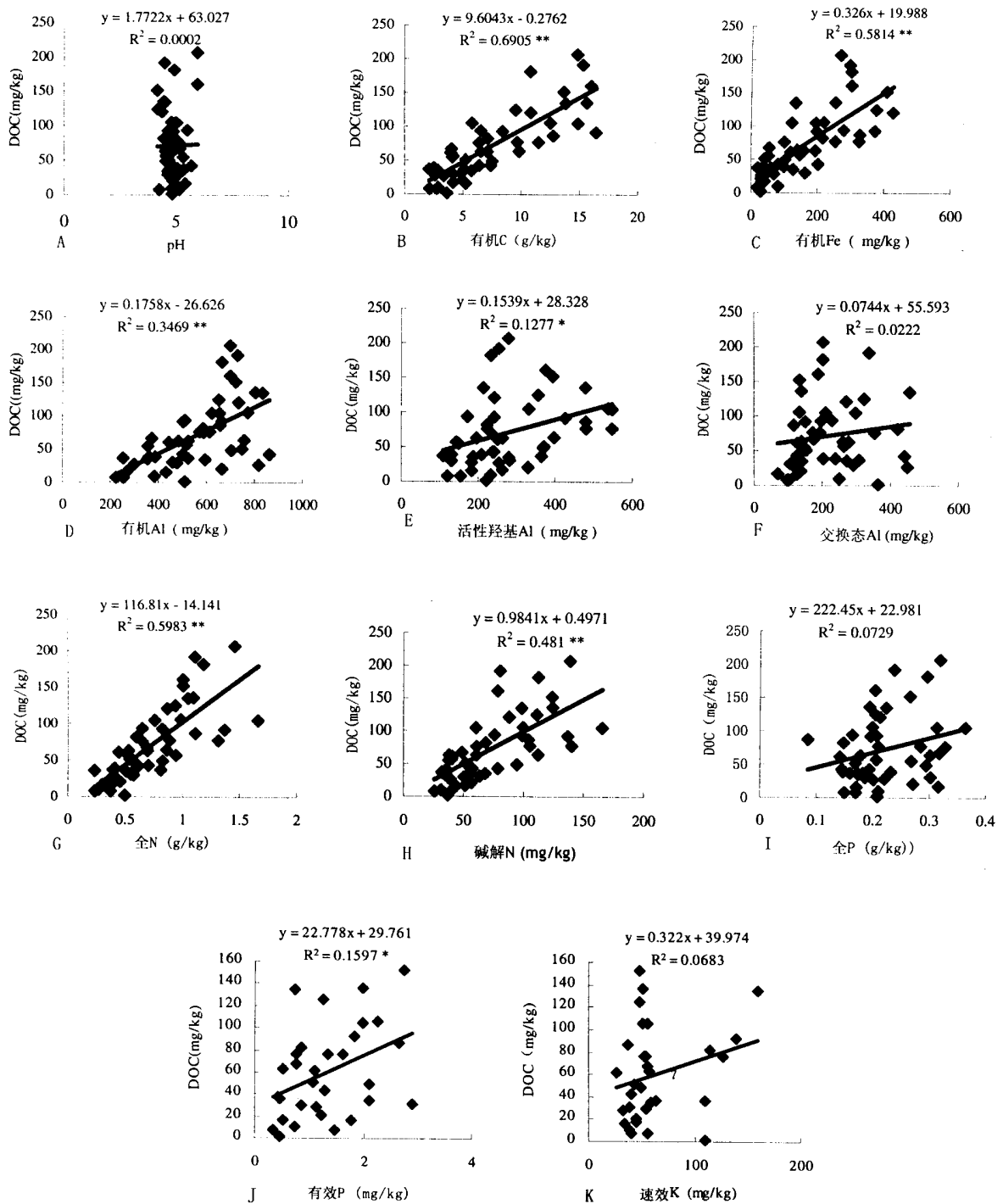


图 1 土壤 DOC 与土壤各因子的关系

Fig 1 Relationships between soil DOC and some other soil factors

C 与土壤有机 C 的相关性达到极显著水平。倪进治<sup>[10]</sup>研究表明,生物活性有机 C 库、微生物量 C、微生物量 N、水溶性有机 C、热水提取有机 C、轻组有机 C、重铬酸钾易氧化有机 C 的含量都与总有机

C 显著相关,因此决定生物活性有机 C 库大小的因素可能是总有机 C 的含量。

### 2.3 土壤 DOC 与 Fe、Al 的关系

从图 1C、图 1D 及方程的  $r$  可以看出土壤中的

DOC 含量与土壤有机络合态 Fe、有机络合态 Al 含量之间存在明显的正相关关系，其直线回归方程系数  $r$  分别为 0.762、0.589，其相关性均达到了极显著水平。

将春天、夏天和秋天 3 个季节所测得的土壤中 DOC 含量和土壤活性羟基 Al、交换性 Al 含量作散点图(图 1E、1F)，得出土壤中的 DOC 与活性羟基 Al 呈显著相关，而土壤 DOC 含量与交换态 Al 含量之间无显著的相关关系。

土壤中有有机 C 的运输是调整 Al 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 Al。土壤溶液中 Al 水平与焦磷酸浸提出的有机 C 有关，并且与总有机 C 有关。越来越多的证据表明，土壤中固相有机复合体控制 Al 的浓度。Mulder and Stein<sup>[11]</sup>在高度酸化的土壤上研究表明，Al 溶解度的变化与有机复合 Al，甚至矿化土层有关。有机络合 Al 以及总 Al 与 pH 及有机物之间的关系非常重要，David and Driscoll<sup>[12]</sup>研究证明，各层土壤溶液中总 Al 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 Al 的变化，pH 与总 Al 之间缺乏一个好的相关关系，这可能与有机络合 Al 有关，仅仅用 pH 不能预测土壤溶液中 Al 的浓度。这使评价酸沉降对 Al 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<sup>[13]</sup>研究结果表明，土壤中有有机络合 Al 与 pH 不相关( $r=-0.24$ ,  $n=45$ ,  $p>0.05$ )，与 DOC 也不相关( $r=0.20$ ,  $n=42$ )。而 David and Driscoll<sup>[12]</sup>在溪水中发现有机络合 Al 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( $<1.2\text{mmol/L}$ )。在土壤浸提液中，有机 Al 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 Al 成为限制因子。因此，增加 DOC 量不一定使有机 Al 含量增加，同时 DOC 包含大量的有机 C 形态，这其中有些有机 C 不一定与 Al 发生亲合作用<sup>[10]</sup>。有机 C 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 Al 发生配合反应，使复合物中的 C/Al 率降低，同时由于有机-Al 溶质的溶解度降低，使土壤溶液 pH 和离子强度增加。Ross 等<sup>[13]</sup>研究指出，活性溶解 Al (活性儿茶酚紫法) 和总 Al (石墨炉法) 密切相关，除了有机质积累层 O 层外，两种形态的 Al 与土壤中 DOC 正相关，因而 DOC 可能控制着酸性土壤中 Al 的移动。Anderw and John<sup>[14]</sup>认为土壤中总有机酸与溶解 Al 和溶解 Fe 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 Al 的吸附、保持及溶解 Al 的排出受到溶液中 DOC 的强烈控制。

#### 2.4 土壤 DOC 与营养元素的关系

将所测得的土壤中 DOC 含量和土壤全 N、碱解 N、全 P、有效 P、速效 K 含量结果作散点图，拟合回归方程得图 1J 和图 1K。由图及方程的  $r$  可以看出土壤中的 DOC 含量与土壤全 N、碱解 N 含量之间存在明显的正相关关系，其直线回归方程相关系数  $r$  分别为 0.774、0.694，其相关性均达到了极显著水平。土壤中的 DOC 含量与土壤有效 P 含量之间的相关关系也达到了显著水平 ( $r=0.4$ ,  $r_{0.05}=0.349$ ,  $r_{0.01}=0.449$ ,  $n=30$ )。而土壤 DOC 与全 P 和速效 K 之间无相关关系。

从以上结果可以看出，土壤中的 DOC 含量与有效 P、有机质、全 N、碱解 N 等物质的含量均呈正相关。这与徐阳春等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。DOC 与其它土壤因子的相关关系存在的基础是各项指标含量在一定的范围之内，而下蜀黄棕壤速效 K 含量很低(表 1)，这可能是 DOC 与速效 K 不相关的原因所在。DOC 与生物有效性较低的全 P 不相关，而与生物有效性较高的土壤因子相关，这说明土壤中 DOC 含量的大小可以反映土壤中潜在的活性养分含量、周转速率，可以反映土壤养分循环和供应状况，因此，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 C、全 N、碱解 N、有效 P 等养分因子之间呈极显著或显著的正相关关系。土壤中 DOC 含量的大小可以反映土壤中潜在的活性养分含量、周转速率，可以反映土壤养分循环和供应状况，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。

(2) 土壤 DOC 与土壤中有有机络合态 Fe、有机络合态 Al 和活性羟基 Al 之间呈极显著或显著的正相关。土壤中有有机 C 的运输是调整土壤中 Al 和 Fe 的溶出及迁移的一个重要因子。

(3) 土壤 DOC 与交换态 Al、pH 值、全 P、速效 K 之间无相关关系。与此相关的内容有待进一步探讨。

#### 参考文献

- 1 沈宏，曹志洪，胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32~38

- 2 林业标准汇编. 北京: 中国林业出版社, 1991
- 3 王维君. 我国南方一些酸性土壤铝存在形态的初步研究. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4(1): 2~8
- 4 熊毅. 土壤胶体. 北京: 科学出版社, 1990, 266~267
- 5 张甲坤, 陶澎, 曹军. 土壤中水溶性有机碳测定中的样品保存与前处理方法. 土壤通报, 2000, 31: 175~176
- 6 Driscoll CT, et al. Aluminum chemistry in a forest Spodosol. Soil Science Society America Journal, 1985, 437~444
- 7 Jardine PM, Weber NL and Mccarthy JF. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil. Soil Sci.Soc.Am.J., 1989, 53: 1378~1385
- 8 Vance GF and David MB. Effect of acid treatment on dissolved organic carbon retention by a Spodic horizon. Soil Sci.Soc.Am.J. 1989, 53: 1242~1247
- 9 林滨, 陶澍, 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. 中国环境科学, 1996, 16(4): 307~310
- 10 倪进治, 徐建民. 土壤轻组有机质. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(2): 58~63
- 11 Mulder J and Stein A. The solubility of aluminum in acidic forest soils: Long-term changes due to acid depositions. Geochim. Cosmochim. Acta, 1994, 58: 85~94
- 12 David MB and Driscoll CT. Aluminum spectation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack Mountains (New York, U.S.A.). Geoderma. 1984, 33: 297~318
- 13 Ross DS and Bartlett RJ. Field-extracted Spodosol Solutions and soils:aluminum, organic carbon, and pH interrelationships. Soil Sci.Soc. Am.J., 1996, 60: 589~595
- 14 Andrew A, Pohlman and John G McColl. Soluble organic from forest litter and their role in metal dissolution. Soil Sci. Am. J., 1988, 60: 589~595
- 15 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. 土壤学报, 2002, 39(1): 89~95

## CORRELATIONS BETWEEN DISSOLVED ORGANIC CARBON (DOC) AND SOME OTHER FACTORS OF FOREST SOILS IN XIASHU, JIANGSU

Yu Yuanchun<sup>1</sup> Li Shufen<sup>2</sup>

(1 Faculty of Forest Resources and Environment, Nanjing Forest University, Nanjing 210037;

2 Jinling University of Technology, Nanjing 210038)

**Abstract** The dissolved organic carbon (DOC) of some forest soils in Jiangsu and the correlations between soil DOC and some other soil factors were analyzed. The results revealed that there was a very significant positive correlation between the concentrations of DOC and the concentrations of organic carbon, total nitrogen, available nitrogen and available phosphorus. Soil DOC can be used as an index of soil fertility because of its close correlation with soil fertility factors. A very significant positive or a positive correlation was found between the DOC concentrations in soil and the concentrations of organic iron, organic aluminum and active aluminum, which means that soil DOC is one of the important factors which control the migration of aluminum and iron in soil. However, DOC was not found to be associated with exchangeable aluminum, pH, total phosphorus and available potassium.

**Key words** Forest soil , Dissolved organic carbon (DOC) , Soil factors , Nutrient , Correlation