

文章编号: 1000-5692(2003)01-0008-04

# 雷竹土壤水溶性有机碳及其与重金属的关系

姜培坤, 徐秋芳, 杨芳

(浙江林学院 生态环境研究所, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为了解高效栽培雷竹林地土壤水溶性有机碳 (WSOC) 状况, 在浙江省雷竹主产区采集了土壤样品进行分析。结果表明: 高效栽培雷竹林土壤 WSOC 含量范围为  $(0.155 0 \pm 0.005 3) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $25^\circ\text{C}$  提取) 和  $(0.222 0 \pm 0.006 3) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $100^\circ\text{C}$  提取), 雷竹林土壤 WSOC 含量和 WSOC 占土壤有机碳总量 (TOC) 的比例均明显高于立地条件相同的板栗林土壤和茶园土壤。雷竹林地增温覆盖措施增加了土壤 WSOC 的量, 连续覆盖 5 a 的土壤 WSOC 比覆盖 1 a 的增加了 1 倍。雷竹林土壤 WSOC 与土壤 TOC、全氮、水解氮、有效磷、速效钾含量和脲酶、蔗糖酶活性及有效镉、钴、镍、铅、锌含量均有显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ) 相关性, 说明土壤水溶性有机质含量与土壤质量密切相关。表 3 参 17

**关键词:** 雷竹; 土壤; 水溶性有机碳; 养分; 酶活性; 重金属

**中图分类号:** S714; S155      **文献标识码:** A

土壤水溶性有机碳 (WSOC) 是指土壤有机碳中溶于水的那部分碳。虽然它只占土壤总有机碳 (TOC) 的较小部分<sup>[1,2]</sup>, 但它一方面是土壤活性有机碳, 容易被土壤微生物分解, 在提供土壤养分方面起重要作用<sup>[3,4]</sup>, 另一方面, 它充当了许多有机和无机污染物特别是难溶性污染物如重金属的主要迁移载体<sup>[5]</sup>, 因而对污染物的毒理和水迁移有着深刻的影响。土壤 WSOC 的含量和地被物数量及土壤有机碳总量有直接关系, 而人为的频繁耕作也会对土壤 WSOC 含量产生较大影响<sup>[6]</sup>。雷竹 *Phyllostachys praecox* 是近十几年来被筛出并大面积栽培的笋用竹种<sup>[7]</sup>。目前, 雷竹在长江以南各省均有栽培, 其中以浙江的面积最大。近年来以重施肥和冬季地表增温覆盖为核心的雷竹高效栽培技术得到了大面积推广<sup>[8]</sup>, 使本来在 3~4 月份出土的春笋提前到年前 12 月份出土, 实现了反季生产, 从而使笋价大增, 加之大量施用肥料, 使产量大幅度提高, 因而高效栽培雷竹园经济效益大幅度增加<sup>[8]</sup>。但连年多量施肥特别是连年稻草、苍糠等高碳氮比物料盖于地表并腐烂入土将会使土壤性质发生变化。现已查明, 雷竹高效栽培措施长期实施使土壤生物学性质变得不良, 竹林提前退化<sup>[9,10]</sup>。连年地表覆盖加上高强度耕作必然也影响了土壤 WSOC 的含量。此文对高效栽培措施实施时间不同的竹园土壤进行了分析, 旨在发现一些规律。

## 1 样品与方法

### 1.1 研究区概况

本次土壤样品采自浙江省临安市藻溪、高虹、千虹等乡镇。该区域属中亚热带,  $30^\circ 14' \text{N}$ ,  $119^\circ$

收稿日期: 2002-09-02; 修回日期: 2002-11-06

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(300209)

作者简介: 姜培坤(1963-), 男, 浙江桐乡人, 副教授, 从事土壤与环境科学研究。

42°E, 年均气温为 15.9 °C, 年降水量 1 424 mm, 无霜期 236 d。样点分布在海拔 100~200 m 之间, 土壤均为红壤土类。该区域是浙江省雷竹主产区, 也是高效栽培措施推广最早的地区之一。该地区雷竹每年 11 月中下旬进行地表增温覆盖, 一般是地表先盖 0.15~0.25 m 的稻草, 稻草上面再覆盖 0.10 m 左右苍糠, 到第 2 年 4 月上中旬揭去上层苍糠回收再利用, 而下层稻草大部分腐烂入土。施肥一般每年分 3 次, 5 月中旬、9 月下旬和 11 月覆盖前, 3 次肥料用量比例控制在 35%~40%, 30%和 30%~35%, 5 月中旬和 9 月下旬 2 次用肥常以化肥为主, 肥料类型常是复合肥 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 为 15:15:15) 和尿素, 肥料翻入土中, 覆盖前的一次施肥一般用鸡粪、菜籽饼和化肥。全年肥料用量化肥为 3.0~5.0 t·hm<sup>-2</sup>, 有机肥 2.5~3.5 t·hm<sup>-2</sup>。本次共建立采样点 27 个, 竹子为 5~10 年生。同时, 还建立了同海拔有可比性的经济林种 6 年生板栗 *Castanea mollissima* 林和 8 年生茶 *Camellia sinensis* 园。

## 1.2 采样与分析方法

2001 年 3 月上旬, 在每个确定的样点建立 10 m×20 m 的采样区, 在采样区中用采样器蛇型法多点采 0~0.25 m 土层内混合土样。土样分成 2 份, 1 份鲜样测定土壤 WSOC, 另一份风干后供土壤 TOC、氮、磷、钾和重金属含量测定。分析方法如下: 土壤 WSOC 采用 25 °C 和 100 °C 等 2 种不同温度的蒸馏水浸提, 水土比 2:1<sup>[11]</sup>, 恒温振荡 30 min 后, 用 0.45 μm 滤膜抽滤, 再在岛津 TOC-500A 有机碳分析仪上测定。土壤总有机碳和氮磷钾含量采用常规法<sup>[12]</sup>。土壤重金属有效态 0.1 mol·L<sup>-1</sup> HCl 浸提, ICP 法<sup>[12]</sup>。土壤酶活性全部采用关松荫等方法<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 高效栽培雷竹园土壤 WSOC 含量

从采集的 27 个样点看, 雷竹林土壤 WSOC 含量范围 25 °C 和 100 °C 浸提分别为 (0.155 0±0.005 3) g·kg<sup>-1</sup> 和 (0.222 0±0.006 3) g·kg<sup>-1</sup>。所有样点土壤 100 °C 浸提 WSOC 含量均大于 25 °C 浸提的量, 前者平均是后者的 1.43 倍。2 种不同温度浸提的土壤 WSOC 具有极显著相关性, 相关系数为 0.833 6。

从雷竹林与板栗林、茶园的比较中发现 (表 1), 雷竹土壤 WSOC 含量高于相同立地的板栗土壤和茶园土壤, 25 °C 和 100 °C 浸提 WSOC 雷竹土壤分别是板栗、茶园土壤的 2.46, 2.63 倍和 2.36, 2.55 倍, WSOC/TOC 雷竹土壤也明显高于板栗和茶园土壤, 说明雷竹栽培不仅提高了土壤 WSOC 的含量, 同

表 1 雷竹、板栗和茶园土壤 WSOC 含量比较

林种	TOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	WSOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )		WSOC/ TOC	
		25 °C	100 °C	25 °C	100 °C
雷竹	10.81	0.155 0	0.222 0	0.014	0.020 0
板栗	9.34	0.063 0	0.094 0	0.006 7	0.010 0
茶园	9.16	0.059 0	0.087 0	0.006 4	0.095 0

说明: 表中雷竹土壤结果为 27 个样本的平均值

时也使 WSOC 在 TOC 中所占比例明显上升。在雷竹高效栽培措施中长达 4~5 个月的冬季地表覆盖过程中, 稻草、苍糠等有机物料部分腐烂入土, 增加了土壤有机碳总量。有机碳总量的增加一方面使水溶态碳也增加, 另一方面也会刺激土壤微生物使生物代谢加剧。微生物代谢加剧的结果使土壤水溶态有机物数量上升<sup>[14]</sup>, 结果是土壤 WSOC 含量会进一步增加。

### 2.2 不同覆盖年限对土壤 WSOC 的影响

为进一步说明覆盖对土壤 WSOC 的影响结果, 选择了覆盖年限分别为 0, 1, 2, 3, 5 a 的各 2 个样地。从分析结果来看 (表 2), 随着覆盖年份增加土壤 WSOC 含量明显上升, 覆盖 1 a 比未覆盖林地土壤 WSOC 含量增加了 24.18% (25 °C 提取) 和 11.36% (100 °C 提取), 连续覆盖 5 a 的 WSOC 比覆盖 1 a 增加了约 1 倍。覆盖不仅使土壤 WSOC 含量增加, 同时, 也使土壤 WSOC 占 TOC 的比例上升 (表 2), 从未覆盖到连续覆盖 5 a WSOC/TOC 增加了 1 倍。由此看来雷竹冬季地表增温覆盖措施是造成竹林土壤 WSOC 含量增加的重要原因。

表 2 雷竹林地不同覆盖年份土壤 WSOC 及占 TOC 的比例

Table 2 Percentage of WSOC over TOC in soil under different mulching period

覆盖年份	TOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	WSOC/ (g·kg <sup>-1</sup> )	
		25 °C	100 °C
0	8.88	0.089 (1.0)	0.133 (1.5)
1	9.73	0.117 (1.2)	0.146 (1.5)
2	10.35	0.134 (1.3)	0.207 (2.0)
3	10.98	0.198 (1.8)	0.285 (2.6)
5	11.01	0.231 (2.1)	0.330 (3.0)

说明: 括号内数字为 WSOC 占 TOC 的百分比

### 2.3 雷竹土壤 WSOC 和土壤养分及酶活性的相关分析

表3显示, 25℃浸提的WSOC含量和土壤有机碳总量、全氮、水解氮、有效磷、速效钾含量和脲酶、蔗糖酶活性均有显著或极显著相关性, 与蛋白酶活性相关性不显著。100℃浸提的WSOC含量与土壤有机碳总量、全氮、有效磷、速效钾含量和脲酶、蔗糖酶活性相关性也达到了显著或极显著水平。通过回归得到25℃浸提土壤WSOC与TOC的回归方程为  $W_{\text{SOC}}=0.0087T_{\text{OC}}+0.0613$ 。100℃浸提土壤WSOC与TOC回归方程为  $W_{\text{SOC}}=0.0106T_{\text{OC}}+0.1078$ 。

雷竹土壤WSOC含量与养分指标具有较好相关性说明了雷竹经营管理措施特别是施用有机肥、覆盖等措施一方面提高了土壤有机碳总量和养分氮磷钾含量, 另一方面也增加了土壤WSOC的量。脲酶特别是蔗糖酶活性表征了土壤生物转化强度, 生物活性越强, 说明土壤有机物质转化过程强度大, 从而可能产生多量水溶态有机碳。WSOC含量和蛋白酶和磷酸酶活性相关性不显著可能与竹林地氮磷肥用量较多有关<sup>[15]</sup>, 超量使用氮磷肥削弱了这2种酶的活性。

表3 雷竹土壤 WSOC 和土壤养分及酶活性的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between soil WSOC and soil nutrients as well as enzyme activities

项目	TOC	全氮	水解氮	有效磷	速效钾	脲酶	蔗糖酶	蛋白酶	磷酸酶
WSOC (25℃)	0.4867*	0.6134**	0.4026*	0.5226**	0.4451*	0.4499*	0.3884*	0.2723	0.3642
WSOC (100℃)	0.5441**	0.6980**	0.3518	0.6061**	0.5330**	0.4536**	0.3934*	0.1375	0.2634

$r_{0.01}=0.487$ ,  $r_{0.05}=0.381$

根据表3, 再结合前文中地表覆盖对土壤WSOC含量影响结果, 可以推测, 在雷竹生产上栽培历史久, 连续覆盖年份长, 土壤肥力水平较高的竹园, 土壤WSOC含量也往往较高, 而这些竹园竹笋产量常较高, 经济效益也最好。许多笋农也正努力对自己竹园多施肥料, 连年覆盖来增加经济效益。因而, 雷竹高效栽培技术推广的结果将使土壤WSOC含量明显增加, 而土壤WSOC含量的增加, 虽然在提高土壤养分方面起到了积极作用, 但也使污染物的毒性提高, 从而对环境和竹笋产品安全不利。

### 2.4 雷竹土壤 WSOC 含量和土壤有效态重金属含量的相关分析

为了进一步明确雷竹土壤WSOC增加对土壤重金属活性的影响, 对土壤WSOC和土壤有效态重金属含量进行了相关分析。结果显示, 雷竹土壤WSOC的增加使重金属镉、钴、镍、铅、锌的活性有了明显提高。具体表现在, 25℃浸提WSOC含量和土壤有效锌相关性显著; 100℃浸提WSOC含量和土壤有效镉、有效镍和有效铅相关性均显著, 和土壤有效钴的相关性达到了极显著水平。总的来看100℃浸提WSOC含量与土壤重金属有效态相关性较好。

雷竹高效栽培中, 推荐施肥量很大<sup>[8]</sup>, 而有的农户施肥更大, 几乎达到滥用肥料的程度。连年超量施肥不仅造成肥料浪费, 并迁入环境, 造成污染, 而且由于许多肥料(主要指矿物磷肥和畜禽肥)中都含有可观的重金属, 长期超量施用会造成土壤重金属积累增加<sup>[16,17]</sup>。重金属积累加之连年覆盖使土壤WSOC含量上升, 会导致重金属的环境毒性大大增强, 其结果是有可能造成笋体重金属含量超标, 使竹笋产品安全受到影响, 从而严重影响雷竹生产的可持续发展。因此, 对目前雷竹生产上普遍采用的高效栽培技术应重新认识, 更重要的是应及时进行生态最佳施肥量和合理覆盖技术的研究, 从而确保雷竹生产的安全持续。

## 3 结论

- ①高效栽培雷竹林土壤WSOC含量范围在  $(0.1550 \pm 0.0053) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (25℃提取) 和  $(0.2220 \pm 0.0063) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (100℃提取), 土壤WSOC含量和WSOC/TOC均明显高于相同立地的板栗林和茶园。
- ②雷竹林地冬季地表增温覆盖增加了土壤WSOC的量, WSOC随着覆盖年份的增加而增加, 连续覆盖5a的土壤WSOC比未覆盖增加了1倍多, 覆盖还使土壤WSOC占总有机碳比例增加, 连续覆盖5a WSOC/TOC是未覆地的2倍。
- ③竹林土壤WSOC与土壤有机碳总量、全氮、水解氮、有效磷、速效钾含量、脲酶、蔗糖酶活性及有效镉、钴、镍、铅和锌含量均有显著或极显著相关性。

## 参考文献:

- [1] Boyer J N, Groffman P M. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles [ J ]. *Soil Biol Biochem*, 1996, **28**: 783-790.
- [2] Dosskey M G, Bertsch P M. Transport of dissolved organic matter through a sandy forest soil [ J ]. *Soil Sci Soc Am J*, 1997, **61**: 920-927.
- [3] Jandl R, Sollins P. Water extractable soil carbon in relation to the belowground carbon cycle [ J ]. *Biol Fertil Soils*, 1997, **25**: 196-201.
- [4] Huang W Z, Schoenau J J. Fluxes of water-soluble nitrogen and phosphorus in the forest floor and surface soil of a boreal aspen stand [ J ]. *Geoderma*, 1998, **81**: 251-264.
- [5] Guggenberger G B, Glaser B, Zech W. Heavy metal binding hydrophobic and hydrophilic dissolved organic carbon fractions in spodosol A and B horizon [ J ]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1994, **72**: 111-127.
- [6] Boyer E W. Overview of a simple model describing variation of dissolved organic carbon in an upland catchments [ J ]. *Ecol Model*, 1996, **86**: 183-188.
- [7] 汪祖潭, 方伟, 何均潮, 等. 雷竹笋用林高产高效栽培技术 [ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 5-30.
- [8] 方伟, 何均潮, 卢学可, 等. 雷竹早产高效栽培技术 [ J ]. 浙江林学院学报, 1994, **11** (2): 121-128.
- [9] 金爱武, 周国模, 赵夏威, 等. 雷竹保护地栽培林地退化机制的初步研究 [ J ]. 福建林学院学报, 1999, **19** (1): 94-96.
- [10] 姜培坤, 俞益武, 张立钦, 等. 雷竹林地土壤酶活性研究 [ J ]. 浙江林学院学报, 2000, **17** (2): 132-136.
- [11] Liang B C, Mackenzie A F, Schnitzer M, et al. Management-induced change in labile soil organic matter under continuous com in eastern Canadian soils [ J ]. *Biol Fertil Soils*, 1998, **26**: 88-94.
- [12] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析 [ M ]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 146-300.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [ M ]. 北京: 农业出版社, 1986. 206-239.
- [14] Haynes R J, Francis G S. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions [ J ]. *J Soil Sci*, 1993, **44**: 665-675.
- [15] 姜培坤, 俞益武, 金爱武. 丰产雷竹地土壤养分分析 [ J ]. 竹子研究汇刊, 2000, **19** (4): 50-54.
- [16] 同延安. 有机肥及化肥对土壤中微量元素平衡的影响 [ J ]. 土壤学报, 1995, **32** (3): 315-319.
- [17] Raven K P. Trace element composition of fertilizers and soil amendments [ J ]. *J Environ Qual*, 1997, **26**: 551-557.

## Relationship between water soluble organic carbon and heavy metal elements in the soil under *Phyllostachys praecox* stands

JIANG Pei-kun, XU Qiu-fang, YANG Fang

(Research Institute of Ecology and Environment, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to understand the conditions of water soluble organic carbon (WSOC), 27 soil samples under *Phyllostachys praecox* stands in Lin'an were analyzed. The findings of analysis show that the content of 25 °C water soluble organic carbon (25 °C-WSOC) in the soil under *Phyllostachys praecox* stands is within (0.155 0 ± 0.005 3) g · kg<sup>-1</sup> and that of 100 °C water soluble organic carbon (100 °C-WSOC) within (0.222 0 ± 0.006 3) g · kg<sup>-1</sup>. The content and percent of WSOC in the soil under *Phyllostachys praecox* stands are both higher than those in the soil under tea and Chinese chestnut. The coverage measure to increase the temperature of the soil under *Phyllostachys praecox* stands increases the content of WSOC in the soil. The content of WSOC in the soil having been covered for 5 years in succession is double compared to that in the soil covered for only 1 year. WSOC in the soil under *Phyllostachys praecox* stands has obvious ( $P < 0.05$ ) very obvious ( $P < 0.01$ ) effects on the content of TOC, total N, hydrolyzed N, available-P and rapid-K, activities of urease and surcease, Cd, Co, Ni, Pb and Zn in the soil, which indicates that WSOC organic substances have close relationship with the quality of soil.

**Key words:** *Phyllostachys praecox*; soils; WSOC; nutrient; enzyme activities; heavy non-ferrous metals