

文章编号: 1000-5692(2004)04-0424-04

雷竹笋重金属含量及其与施肥的关系

姜培坤¹, 徐秋芳¹, 罗煦钦², 王俊奇²

(1. 浙江林学院 生态环境研究所, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市农业技术推广中心, 浙江 临安 311300)

摘要: 为了解高效栽培雷竹笋重金属含量(质量分数)现状, 探讨施肥和竹笋重金属含量的关系, 采集了浙江省雷竹主产区 70 个样点的竹笋样品进行测定, 布置了肥料试验。结果表明, 高效栽培雷竹笋重金属镉(Cd)、铅(Pb)、锌(Zn)、铬(Cr)、铜(Cu)的平均质量分数分别为 $0.009 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.093 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $8.780 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.830 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对照我国蔬菜卫生标准, 研究区雷竹笋均未出现重金属超标现象。相关分析显示, 竹笋重金属含量与土壤重金属全量无显著相关性, 但与土壤重金属有效态之间相关性达显著或极显著水平。定位试验表明, 不同施肥量处理间竹笋重金属含量均无显著差异, 但有机肥化肥混施处理竹笋 Pb 和 Cu 含量明显高于纯化肥处理。雷竹覆盖区与不覆盖区竹笋重金属含量没有实质性差异。表 3 参 18

关键词: 雷竹; 竹笋; 重金属; 土壤; 化肥; 有机廐肥

中图分类号: S644.2; S795 **文献标识码:** A

雷竹 *Phyllostachys praecox* 是最近十几年筛选出的优良笋用竹种。近年来, 通过集约化经营, 采用以重施肥和冬季覆盖增温为核心的高效栽培技术, 使雷竹笋实现了反季节生产, 并使产量上升, 从而取得很高的经济收益。目前, 雷竹在中国长江以南各省均有分布, 其中以浙江省面积最大。由于经济利益驱动, 雷竹林施肥量很大, 推荐施肥量中, 每年施入化肥超过 $3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 有机肥(廐肥)达 $100 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 而有的农民施肥量更大, 几乎达到滥用肥料的地步。这样一方面降低了肥料的利用率, 另一方面, 势必使竹林土壤和竹笋质量下降^[2-11]。来自畜禽的有机肥和施用的化肥都含有一定数量的重金属^[12, 13], 尤其是镉(Cd)、铅(Pb)、锌(Zn)和铜(Cu)等, 而且, 有机肥还可以通过螯合作用提高这些重金属的有效性, 促进植物吸收^[14]。因而, 长期超量施肥, 可能会带来土壤和竹笋重金属的不良积累并危害人类健康。因而, 有必要对高效栽培雷竹林进行调研, 分析竹笋重金属现状, 同时探讨竹笋重金属积累与施肥的关系, 为雷竹笋安全生产提供决策依据。

1 样品与方法

1.1 研究区概况

研究区设在浙江省临安市和德清市。该区属中亚热带季风气候, 地形地貌均为低山丘陵, 而雷竹全部分布于丘陵地区。土壤为发育于粉砂岩、凝灰岩和花岗岩的红壤。该区属雷竹主产区, 也是高效

收稿日期: 2004-02-23; 修回日期: 2004-07-13

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, 教授, 从事土壤与环境科学研究。E-mail: jiangpeikun@zjfc.edu.cn

栽培技术推广最早, 推广面积最大的地区。在该区, 一般是每年 11 月下旬至 12 月上旬进行雷竹林地表增温覆盖, 常是地表先覆 15~20 cm 稻草或竹叶, 再在上面覆 10 cm 左右砻糠, 到第 2 年的 4 月中旬揭去上层砻糠回收, 而下层稻草或竹叶大部分腐烂入土。由于覆盖增温, 可使本来在第 2 年 3 月底才出土的笋提前到当年 12 月底就出土。施肥和翻耕一般是, 每年 5 月上中旬施 1 次肥, 并结合翻耕 1 次, 第 2 次施肥在 9 月中下旬, 第 3 次是在覆盖前。3 次施肥比例控制在 35%~40%, 30%和 30%~35%。5 月和覆盖前施肥常是有机肥和化肥混施, 9 月份一般以化肥为主, 有机肥常以厩肥为主, 也有农户施用菜籽饼, 化肥以尿素和复合肥 ($N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$), 有些农民全年均施化肥。肥料用量不同农户间差异悬殊, 纯施化肥竹农全年化肥用量常达 $3.0\sim 4.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (折合纯氮为 $800\sim 1\,200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 有机肥化肥混施竹农的化肥用量常控制在 $1.0\sim 2.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 厩肥用量为 $80\sim 100\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调研与采样 2001 年 2 月底和 2002 年 2 月底在研究区进行广泛采样。共设置 70 个样点, 所有样点都设在有冬季覆盖的竹园中。由于竹林间施肥数量、管理方式及经营历史有较大差别, 因而样点尽量设置在不同区域, 不同农户竹园中, 使样点尽量在各乡镇间分布均匀。样点设置好后, 在每个样点采集有代表性竹笋 2 kg, 并在其中 40 个竹笋样采集点多点采集 0~25 cm 土层的混合样 1 个。

1.2.2 施肥试验 2002 年在临安市三口镇葱坑村布置雷竹施肥试验, 试验地竹林建园历史 6 a, 2001 年覆盖过 1 a, 试验地土壤有机质质量分数为 $44.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮质量分数 $2.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 水解氮质量分数 $235.66\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有效磷质量分数 $96.87\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾质量分数 $274.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。2002 年 5 月上旬开始在试验地设立 6 个处理, 处理内容见表 1。3 次重复, 随机区组设计, 小区面积 140 m^2 。考虑到雷竹生产重施肥的现实, 不设立不施肥的空白对照。施肥时间分 3 次, 即 5 月 12 日、9 月 22 日和 12 月 5 日, 肥料用量占全年比例分别为 35%、30%和 35%。2002 年 12 月 10 日开始冬季地表覆盖, 先在地表盖 15 cm 稻草竹叶混合物, 上再覆 10 cm 厚的砻糠。各小区 2/3 面积覆盖, 其余 1/3 面积不覆盖, 覆盖区和不覆盖区施肥量一致。2003 年 1 月初, 覆盖区开始出笋, 而不覆盖区到 3 月 10 日才开始出笋。在覆盖区出笋中期, 即 2003 年 2 月 28 日采集覆盖区各处理中典型笋样各 2 kg, 在未覆盖区出笋中期即 3 月底 (本次采样 3 月 29 日), 采集各处理笋样各 2 kg。

1.2.3 分析项目及方法 竹笋采集后, 去壳并把可食部分纵向切成 4~6 条, 选择每支笋的 2~3 条杀青后 $60\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干, 磨碎后供笋体重金属含量 (质量分数) 测定, 土壤样品风干, 过筛后备用。竹笋和土壤重金属含量测定采用 ICP 法^[15]; 土壤有机质, 采用重铬酸钾外加热法; 全氮, 采用凯氏法; 水解氮, 采用碱解法; 有效磷, 采用 Bray 法; 速效钾, 采用乙酸铵浸提, 火焰光度法^[15]。

表 1 试验各处理肥料用量

Table 1 Fertilizer rate of different treatments

处理号	全年施肥量/ $(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2})$	氮素用量相对值
1	尿素 975 复合肥 1 500	1.0
2	尿素 1 462 复合肥 2 250	1.5
3	尿素 1 950 复合肥 3 000	2.0
4	尿素 975 复合肥 1 500 厩肥 112 500	2.0
5	尿素 975 复合肥 1 500 菜籽饼 18 750	2.0
6	尿素 487.5 复合肥 7 500 厩肥 56 250	1.0

说明: 复合肥为 $N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$

1.3 数据分析

数据分析采用 DPS 软件^[16]。

2 结果分析

2.1 雷竹笋重金属含量的现状分析

研究区 70 个覆盖竹林样点竹笋分析表明 (表 2), 目前高效栽培雷竹笋重金属 Cd, Pb, Zn, Cr 和 Cu 的平均质量分数分别为 0.009, 0.093, 8.780, 0.026, 0.083 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最大值分别为 0.028, 0.170, 13.480, 0.094 和 1.350 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其中变异最大为 Cd (变异系数为 37.0%), 变异系数最小是 Cr (变异系数为 21.5%)。我国食品卫生标准规定蔬菜中 Cd, Pb, Zn, Cr, Cu 的卫生标准分别为

0.05, 0.20, 20.00, 0.50 和 10.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[17]。对照此标准发现, 研究区高效栽培雷竹笋重金属含量均未出现超标现象。这一点和研究区雷竹主产区土壤重金属含量未出现超标现象是吻合的^[18]。虽然, 目前研究区雷竹林土壤和竹笋重金属含量均未出现超标, 但研究也发现, 随着栽培历史延长, 土壤重金属含量有显著增加的趋势^[18]。这种土壤重金属的累积趋势会不会带来将来竹笋的安全问题, 值得关注。

在分析竹笋重金属含量的同时, 对其40个样点的土壤重金属全量和有效态含量进行了分析。竹笋和土壤重金属含量的相关分析表明: 竹笋5种重金属含量与土壤重金属全量相关

表2 雷竹笋重金属质量分数

Table 2 Content of heavy metal in bamboo shoots of *Phyllostachys praecox*

重金属	均值/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1})$	最大值/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1})$	最小值/ $(\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1})$	变异系数/%	卫生标准/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
Cd	0.009	0.028	0.001	37.0	0.05
Pb	0.093	0.170	0.004	29.1	0.20
Zn	8.780	13.480	0.874	31.3	20.00
Cr	0.026	0.094	0.001	21.5	0.50
Cu	0.830	1.350	0.004	24.3	10.00

性均不显著, 竹笋 Cd 和 Cr 含量与土壤有效态含量也无显著相关性, 而竹笋 Zn 和 Pb 的含量与土壤有效态含量相关性达显著水平, 竹笋 Cu 含量与土壤有效态含量相关性达极显著水平。

2.2 施肥对雷竹笋重金属含量的影响

从表3可以看出, 随着施肥量的增加, 竹笋重金属 Cd, Pb, Cr 和 Cu 的含量均有一定程度提高, 但均未达到显著性差异。说明当年竹林施肥量虽一定程度上影响了竹笋重金属含量, 但决定竹笋重金属含量的主要因素是土壤重金属状况, 特别是土壤重金属有效态含量。从不同肥料形态来看, 3个有机肥化肥混合处理竹笋重金属 Pb 和 Cu 含量显著高于纯化肥处理, 而重金属 Cd, Zn 和 Cr 在不同肥料形态处理间无显著性差异。混施有机肥后竹笋重金属 Pb 和 Cu 含量增加可能与有机肥活化了 Pb 和 Cu 从而使土壤有效态增加有关, 这一点和上文中竹笋 Pb, Cu 与土壤有效态含量有显著相关性是吻合的。当然, 有机肥活化土壤重金属致使竹笋重金属含量增加, 特别使竹笋重金属含量超标, 只有在土壤重金属含量很高的情况下才能发生, 一般情况下, 特别是土壤重金属含量较低的情况下, 适度活化对竹笋不会产生不良影响, 对于像 Cu 这样的矿质营养元素低含量下适度活化反而有利。

从表3还可以看出, 覆盖区与不覆盖区间竹笋重金属含量没有实质性差异, 说明本试验设计状况下覆盖并未影响竹笋对土壤重金属的吸收行为。这是由于覆盖物覆盖之初天气冷, 覆盖物分解缓慢, 一直到竹笋采样时覆盖物分解而产生的土壤溶解性有机物数量较少, 从而对土壤重金属有效化影响较小, 因而覆盖处理中竹笋可吸收的土壤有效态重金属与不覆盖区没有明显差别, 从而造成了两试验区竹笋重金属含量无差异。

表3 不同施肥处理雷竹笋重金属质量分数比较

Table 3 Comparison on content of heavy metal in bamboo shoots among the different treatments

处理	覆盖试验区雷竹笋重金属/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$					不覆盖试验区雷竹笋重金属/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$				
	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu
1	0.014a	0.110b	4.650a	0.025a	0.110b	0.013	0.111	3.888	0.021	0.098
2	0.015a	0.115b	3.850a	0.029a	0.113b	0.014	0.121	2.905	0.029	0.087
3	0.018a	0.120b	4.850a	0.033a	0.123b	0.014	0.120	4.156	0.028	0.121
4	0.020a	0.188a	3.570a	0.041a	0.186a	0.019	0.200	3.648	0.039	0.190
5	0.018a	0.160a	4.520a	0.040a	0.171a	0.019	0.187	4.985	0.033	0.165
6	0.017a	0.161a	3.020a	0.035a	0.157a	0.018	0.190	4.032	0.026	0.166

说明: 表中覆盖试验区重金属含量为3个重复的平均值, 同列中不同英文字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)

3 结论

研究区高效栽培雷竹笋重金属 Cd, Pb, Zn, Cr 和 Cu 的平均质量分数分别为 0.009, 0.093,

8.780, 0.026 和 0.830 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 5 种重金属均未出现超标。雷竹笋 Zn, Pb 和 Cu 的含量与土壤有效态含量相关性达显著或极显著水平。有机化肥混施明显增加雷竹笋 Pb 和 Cu 的含量。雷竹覆盖区与不覆盖区间竹笋重金属含量没有实质性差异。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 姜培坤, 徐秋芳, 钱新标, 等. 雷竹林覆盖增温过程中土壤化学性质的动态变化[J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(2): 123-130.
- [4] 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.
- [5] 姜培坤, 俞益武, 金爱武, 等. 丰产雷竹林地土壤养分分析[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(4): 50-53.
- [6] 杨芳, 徐秋芳. 不同栽培历史雷竹林土壤养分与重金属含量的变化[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 111-114.
- [7] 徐秋芳, 叶正钱, 姜培坤, 等. 雷竹笋营养元素含量及其与土壤养分的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 115-118.
- [8] 姜培坤, 徐秋芳. 雷竹笋硝酸盐含量及其与施肥的关系[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(1): 10-14.
- [9] 姜培坤, 徐秋芳, 杨芳. 雷竹土壤水溶性有机碳及其与重金属的关系[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(1): 8-11.
- [10] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(6): 6-11.
- [11] Jiang P K, Ye Z Q, Xu Q F. Effect of mulching on soil chemical properties and enzyme activities in bamboo plantation of *Phyllostachys praecox* [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal.*, 2002, 33(15-18): 3 135-3 145.
- [12] 同延安, 高宗, 刘杏兰, 等. 有机肥及化肥对壤土中微量元素平衡的影响[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 315-319.
- [13] Raven K P, Loppert R H. Trace element composition of fertilizers and soil amendments [J]. *J Environ Qual.*, 1997, 26: 551-557.
- [14] 杨玉爱, 王珂, 叶正钱, 等. 有机肥资源对其微量元素的整合和利用的研究[J]. 土壤通报, 1994, 25(7): 21-25.
- [15] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 100-300.
- [16] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [17] 中国预防科学院标准处. 食品卫生国家标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [18] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林土壤重金属含量的分析研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 61-63, 74.

Changes in heavy metal amount of bamboo shoots of *Phyllostachys praecox* responsive to nitrogen rate

JIANG Pei-kun¹, XU Qiu-fang¹, LUO Xu-qin², WANG Jun-qi²

(1. Research Institute of Ecological Environment, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Popularization Center of Agricultural Technology of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The objective of this paper is to get some information on heavy metal general status in bamboo shoots produced from *Phyllostachys praecox* and the relationship between heavy metal accumulation in shoots and fertilizer application in soil. Either 70 soil or bamboo shoot samples were collected in the main cropping area of *Phyllostachys praecox* and analyzed for their heavy metal amount. Heavy metal amount ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) on average were respective 0.009, 0.093, 8.780, 0.026 and 0.083 for Cd, Pb, Zn, Cr and Cu, they are not exceed the pollution level according to China hygiene standard for vegetable. It was found that heavy metal amount in bamboo shoots was not correlated with the total heavy metal amount in soil, but well or even great well related with available heavy metal amount in soil. It was shown from fertilizer trial that no difference in heavy metal in bamboo shoots was detected among the treatments with various fertilizer rate, but more abundance of Pb and Cu in bamboo shoots were discovered at the treatment with mixture of manure and mineral fertilizer than at the treatment with pure mineral fertilizer. Winter mulching practice did not make any change in heavy metal in bamboo shoots. [Ch, 3 tab. 18 ref.]

Key words: *Phyllostachys praecox*; bamboo shoots; heavy metal element; soil; chemical fertilizer; organic manure