

文章编号: 1000-5692(2004)01-0010-05

雷竹笋硝酸盐含量及其与施肥的关系

姜培坤, 徐秋芳

(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 *Phyllostachys praecox* 林竹笋硝酸盐含量现状, 探讨施肥和竹笋硝酸盐含量关系, 采集了浙江省雷竹主产区 70 个样点的竹笋样品, 布置了肥料试验。研究结果表明: 雷竹笋硝酸盐含量为 $(745.24 \pm 358.11) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数为 48.05%, 70 个样点中有 48 个样点竹笋硝酸盐含量超过 WHO/FAO 卫生标准, 以竹笋煮、炒煮后硝酸盐含量下降 70% 计, 有 11.43% 的雷竹笋属于严重污染。肥料试验表明, 随着全年施肥量的增加, 雷竹笋硝酸盐含量明显增加。有机无机肥混合施用可显著减少竹笋硝酸盐积累, 综合产量和硝酸盐含量, 以年施肥量为尿素 $487.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 复合肥 $750.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和猪栏肥 $56.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的处理较为理想。冬季覆盖增加了雷竹笋硝酸盐含量, 试验的 6 个处理中未覆盖竹林竹笋硝酸盐含量平均比覆盖竹林低 33.48%。表 6 参 14

关键词: 蔬菜园艺; 雷竹; 竹笋; 硝酸盐; 施肥

中图分类号: S644.2 **文献标识码:** A

亚硝酸胺是当前国内外医学界公认的强致癌物质之一, 而硝酸盐是亚硝酸胺的前体物^[1], 因此环境中硝酸盐的含量及迁移深受关注。由于人体摄入的硝酸盐有 81.2% 来自蔬菜^[2], 因而近年来有关蔬菜硝酸盐积累及与施肥关系方面的研究颇多^[3~5]。研究表明, 氮肥用量、氮肥种类及施肥时期均是影响蔬菜硝酸盐含量的重要因素。研究也表明, 硝酸盐积累较多的蔬菜主要是叶菜类和根茎类等, 而长期菜和竹笋则被认为是硝酸盐积累较少的蔬菜^[6]。竹笋营养丰富, 味鲜美, 一直被视为无公害蔬菜而受到青睐。但近年来, 为了追求高产高效, 有些笋用竹林栽培集约化程度越来越高, 肥料特别是氮肥投入量日益增加, 其中, 雷竹 *Phyllostachys praecox* 是较为突出的竹种。雷竹目前在江南各省均有栽培, 其中以浙江省面积最大。重施肥和冬季地表增温覆盖是雷竹高效栽培的主要内容。在雷竹推荐施肥量中, 化肥超过 $3.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 有机肥达 $100 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[7]。大量施肥对竹笋品质保持不利。冬季 4~5 个月的地表覆盖不仅阻隔了雨水入渗土壤, 还使土壤光照、通气不良, 这些都改变了传统竹林的经营状况, 也极有可能会使竹笋硝酸盐含量增加。笔者在雷竹主产区广泛采样, 同时布置施肥试验, 旨在查清目前雷竹笋硝酸盐含量状况, 探讨施肥及土壤养分与雷竹笋硝酸盐含量的关系。

1 样品与方法

1.1 研究区概况

研究区设在浙江省雷竹覆盖栽培区。该区属中亚热带季风气候, 年平均气温 16°C , 年降水量

收稿日期: 2003-08-20; 修回日期: 2003-10-15

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, 从事森林土壤研究。E-mail: jiangpeikun@zjfc.edu.cn

1 400 mm，无霜期 239 d。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。研究区属雷竹主产区，也是高效栽培技术推广最早，推广面积最大的区域。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 左右荩糠，到第 2 年的 4 月中旬揭去上层荩糠回收，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 月上中旬施肥 1 次，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：P₂O₅ K₂O=15：15：15）为主，但有些农户全年均施化肥。不同农户所施肥料用量差异悬殊，纯施化肥农户全年化肥用量常达 3.0~4.5 t·hm⁻²（折合纯氮为 0.8~1.2 t·hm⁻²），有机肥化肥混施农户化肥用量控制在 1.0~2.0 t·hm⁻²，另外厩肥用量控制在 80~100 t·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 月底在上述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，并在竹笋样采集点多点采集 0~25 cm 土层土壤混合样 1 个。

1.2.2 施肥试验 施肥试验在 2002 年进行。试验地竹林建园历史 6 a，2001 年覆盖过 1 a。试验地土壤基本性质见表 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 2，3 次重复，随机区组设计，小区面积 140 m²。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 稻草和竹叶混合物，上再覆 10 cm 厚的荩糠。各小区 2/3 面积覆盖，其余 1/3 面积不覆盖。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。在采集笋样同时，多点采集各处理小区 0~25 cm 土层土壤样品。

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，作为鲜样测定硝酸盐含量，另外 2~3 条杀青后 60~70 ℃烘干，磨碎后供笋体氮含量测定，同时，测定含水量。土壤样品风干，过筛后备用。竹笋硝酸盐含量分析采用紫外吸收法：选取有代表性的竹笋鲜样，洗净称量后加水（笋：水=1：1）捣浆，称取 20 g 于 250 mL 的容量瓶上加 5 mL 氨缓冲液（pH 9.6~9.7），加 90 mL 蒸馏水，2 g 活性炭，振荡 30 min，加蛋白质沉淀剂，定容后放置 5~10 min 后过滤。在波长 219 nm 处比色测定吸光值。土壤有机质，重铬酸钾外加热法；全氮，克氏法；水解氮，碱解法；有效磷，Bray 法；速效钾，乙酸铵浸提，火焰光度法；笋体氮含量，H₂SO₄-H₂O 消煮，蒸馏法^[8]。

1.3 数据分析

数据分析采用 DPS 软件^[9]

表 1 试验地土壤基本性质（0~25 cm 土层）

Table 1 The basic properties of soil (0~25 cm) in trial plot					
pH	有机质/ (H ₂ O)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	水解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
5.02	44.35	2.15	235.66	96.87	274.80

表 2 试验各处理肥料用量

Table 2 Fertilizer rate of different treatments		
处理号	全年施肥量/ (kg·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
5	尿素 487.5, 复合肥 750, 厩肥 56 250	1.0

说明 *复合肥为 N:P₂O₅:K₂O=15:15:15

2 结果分析

2.1 雷竹笋硝酸盐含量的现状分析

对雷竹主产区 70 个覆盖竹林样点竹笋分析表明（表 3），目前高效栽培雷竹笋硝酸盐含量平均值为 $745.24\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，样品间变异较大，最大值为 $1\,894.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，最小值为 $210.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，变异系数达 48.05% 。由于不同地点采样时间一致，均在出笋中期，因而造成竹笋硝酸盐含量的差异主要是由竹林土壤状况和施肥数量等因素决定的，这也反映了不同农户对雷竹管理的差别。

表 3 雷竹笋硝酸盐含量现状

Table 3 The general concentration of nitrate in bamboo shoots

样品数/个	硝酸盐含量/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)				变异系数/ %
	平均值	最大值	最小值	标准差	
70	745.24	1 894.80	210.00	358.11	48.05

1973 年世界卫生组织（WHO）和联合国粮农组织（FAO）就制订了食品硝酸盐的限量标准^[10]，提出了蔬菜可食部分中硝酸盐含量的卫生标准值为 $432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。对照这一标准可以发现，目前雷竹笋硝酸盐含量已明显超标。

硝酸盐含量的分级显示（表 4）。所调查的 70 个样点中，只有 22 个样点竹笋可食部分的硝酸盐含量低于 $432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，占 31.43% ，而其余 48 个样点含量均超过 WHO/FAO 标准，占 68.57% 。但由于中国饮食习惯中蔬菜生吃较为少见，竹笋生吃一般又不适宜。根据研究，蔬菜盐渍后硝酸盐（ NO_3^- ）可损失 45% ，烧煮熟后可损失 70% ^[11]。因而，只要笋体硝酸盐含量小于 $1\,410\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，煮熟后食用就符合卫生标准。按这样的结果推算，目前雷竹笋达严重污染的仅占 11.43% （表 4）。

2.2 雷竹笋硝酸盐含量与土壤养分的相关分析

表 5 显示，高效栽培雷竹笋不仅硝酸盐含量与土壤有机质、全氮、水解氮、有效磷和速效钾等基本养分指标无显著相关性，而且笋体全氮含量与土壤这些基本养分指标间相关性也均不显著，这和其他蔬菜上的研究结果不同^[5]。竹笋不同于其他蔬菜，尤其不同于叶菜类。竹笋长成需要的营养主要靠竹鞭提供，这种营养积累是壮鞭期完成的，因而竹笋体营养状况包括硝态氮含量和出笋期的土壤养分状况可能就没有显著关联度。这也启示我们管理好壮鞭期和笋芽分化期等时期的肥、水，对竹笋品质及营养尤为重要。

2.3 施肥对雷竹笋硝酸盐含量的影响

从表 6 中可以看出，3 个纯化肥处理（处理 1，处理 2 和处理 3）中，施肥量较大的处理 2 和处理 3 笋体硝酸盐含量显著高于施肥量相对较小的处理 1。3 个有机肥化肥混施处理中也出现相同趋势，即施肥量较大的处理 4 和处理 5，笋体硝酸盐含量显著高于处理 6，这和前人在其他蔬菜上的研究结果一致^[12,13]。说明氮素施用数量是影响雷竹笋硝酸盐含量的重要因素。

比较纯化肥和有机肥化肥混施处理可以发现，氮素施用量相等的处理，处理 1 和处理 6 之间，处理 6 竹笋硝酸盐含量显著低于处理 1，处理 4 和处理 5 显著低于处理 3 甚至处理 2，即在氮素施用量相等情况下，有机无机肥混合施用可减少笋体硝酸盐积累。有机肥不仅能提供包括大量元素和微量元素在内的各种营养元素，而且还能改善土壤的氧化还原条件，减少土壤硝态氮数量，进而降低蔬菜中硝

表 4 雷竹笋硝酸盐含量分级

Table 4 The grades of nitrate concentration in bamboo shoots

硝酸盐分级	样本数	百分数/ %	卫生性	污染程度
一级 ($< 432\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	22	31.43	生食允许	轻
二级 ($432 \sim 785\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	15	21.43	生食不宜，盐渍、熟食允许	中
三级 ($758 \sim 1\,410\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	25	35.71	生食、盐渍不宜，熟食允许	重
四级 ($1\,410 \sim 3\,100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	8	11.43	生食、盐渍、熟食均不宜	严重

表 5 雷竹笋硝酸盐含量与土壤养分的相关系数

Table 5 The correlation coefficients between nitrate concentration of bamboo shoots and soil nutrients						
	竹笋全氮含量	土壤有机碳	土壤全氮	土壤水解氮	土壤有效磷	土壤速效钾
竹笋全氮含量	1	0.195 8	0.113 8	0.155 6	0.097 2	-0.201 8
竹笋硝酸盐含量	0.066 0	0.169 3	0.187 9	0.178 2	0.0253 1	0.087 0

说明： $r_{0.01}=0.302$ ， $r_{0.05}=0.231$

酸盐含量^[14]。有机肥也促进了土壤反硝化过程，减少了土壤硝态氮浓度^[2]。同时，有机肥还可以使竹笋产量显著增加，表 6 中 3 个有机肥处理，竹笋产量均明显高于单施化肥处理。不同有机肥比较来看，施用猪栏肥处理产量又明显高于施用菜籽饼处理。综合产量和竹笋硝酸盐含量，笔者以为处理 6 较为理想，即猪栏肥和化肥混施，同时，施用数量适当控制不仅可使竹笋产量增加，而且竹笋硝酸盐含量也不高。

表 6 不同施肥处理雷竹笋硝酸盐含量比较

Table 6 Comparison of nitrate concentration in bamboo under different treatments			
处理	覆盖试验区		不覆盖区
	全年产量/ (kg·hm ⁻²)	NO ₃ ⁻ 含量/ (mg·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ 含量/ (mg·kg ⁻¹)
1	14 250	677.5c	543.6
2	14 775	1130.1a	651.7
3	15 975	1317.4a	944.3
4	45 075	1045.2b	620.7
5	23 887	858.2b	514.8
6	24 825	485.8d	340.6

说明：表中覆盖试验区硝酸盐含量为 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（ $P<0.05$ ）

从表 6 中还可以看出，同是出笋中期采集的覆盖与不覆盖区 2 类竹笋，硝酸盐含量有显著差别，各处理竹笋硝酸盐含量均是未覆盖区低于覆盖区，从处理 1 至处理 6 未覆盖竹林竹笋硝酸盐含量分别比覆盖竹林降低了 19.76%，42.33%，28.32%，40.61%，40.01%和 29.98%。覆盖竹林竹笋硝酸盐含量高于未覆盖竹林，一方面是由于覆盖竹林覆盖物阻隔了雨水入渗土壤，从而使覆盖前施用的肥料特别是化肥无法尽快溶解于土壤溶液，而是较长时间集中于土壤表土层，从而在某种程度上使土壤氮素含量相对较高。另一方面可能是覆盖物影响了光敏感硝酸还原酶活性，不利用硝酸盐的同化，从而使竹笋硝酸盐含量增加。

3 结论

从上面分析看出，目前采用重施肥和冬季覆盖增温措施的高效雷竹林竹笋硝酸盐含量平均为 745.24 mg·kg⁻¹，超过 WHO/FAO 食品卫生标准达 68.57%，根据竹笋煮、炒熟后硝酸盐损失 70%计算，有 11.43%雷竹笋属于严重污染。

肥料试验发现，随着全年施肥量增加，竹笋硝酸盐含量显著增加，猪栏肥和化肥混施处理竹笋硝酸盐含量明显低于单施化肥处理，综合产量和竹笋硝酸盐含量，全年施用尿素 487.5 kg·hm⁻²，复合肥 750.0 kg·hm⁻²和猪栏 56.25 t·hm⁻²的处理最为理想。

雷竹林冬季覆盖使竹笋硝酸盐含量增加，试验的 6 个处理未覆盖竹林竹笋硝酸盐含量平均比覆盖竹林低 33.48%。

参考文献：

[1] 郑鹏然, 周树南. 食品卫生工作手册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1985. 418—428.
[2] 胡勤海, 叶兆杰, 马生良. 杭州市蔬菜硝酸盐污染现状及防治对策[J]. 环境污染与防治, 1991, 13 (4): 5—9.
[3] 周根娣, 李东平, 吕辉. 施用不同氮、钾肥水平对卷心菜中硝酸盐含量积累的影响[J]. 农业环境与发展, 1999, 16 (3): 35—37.
[4] 刘明月, 秦玉芝, 蔡雁平, 等. NPK 施用量与芹菜硝酸盐积累和产量的相关性[J]. 中国蔬菜, 1998 (6): 4—7.
[5] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 氮肥施用与蔬菜硝酸盐积累的相关研究[J]. 生态学报, 1998, 18 (5): 523—528.
[6] 任祖淦, 邱孝煊, 蔡元呈, 等. 化学氮肥对蔬菜硝酸盐污染影响的研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17 (4): 326—329.
[7] 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.

- [8] 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. 146—226.
- [9] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及计算机处理平台[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 15—70.
- [10] 日本农林省作物分析法委员会. 栽培植物营养法诊断分析方法[M]. 邹邦基, 译. 北京: 农业出版社, 1984. 315—326.
- [11] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹, 等. 蔬菜硝酸盐积累的研究 1. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价[J]. 园艺学报, 1982, 9(4): 41—47.
- [12] 徐卫红, 王正银, 刘飞. 不同土壤与施肥对莴笋硝酸盐和营养品质效应[J]. 西南农业大学学报, 2001, 26(6): 553—556.
- [13] 刘文祥, 王桂英, 李乃光. 土壤肥力与施肥对油菜硝酸盐含量和产量的影响[J]. 北京农业科学, 1996, 14(4): 25—27.
- [14] 耿建梅, 丁淑英. 降低蔬菜中硝酸盐含量的途径及其机制[J]. 四川环境, 2001, 20(2): 27—29.

Changes in nitrate content of bamboo shoots responsive to nitrogen fertilizer rate

JIANG Pei-kun, XU Qiu-fang

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

Abstract: *Phyllostachys praecox* which can produce delicious bamboo shoots have been planted in large scope. The practice of surplus fertilizing and winter mulching has been carried out in the near decade to get earlier bamboo shoots and then a high economic profit. A field investigation was undertaken to understand the nitrate pollution situation of bamboo shoots in *Ph. praecox* cropping area, a fertilizer trial with 6 treatments [3 nitrogen levels: 598, 897, 1 196 kg[°]hm⁻² (N) and different allocation of 4 kinds of fertilizer: urea, compound fertilizer, pig manure, oil-cake] was conducted to examine the effects of large amount of nitrogen fertilizing on nitrate pollution in bamboo shoots. It was found that nitrate concentration in bamboo shoots of investigated plots was on average of 745.24 ± 358.11 mg[°]kg⁻¹ with a variation coefficient 48.05% ($n=70$), among the 70 samples, nitrate concentration of 48 samples exceed the WHO/FAO standard. There are still 11.43% bamboo shoots contain more nitrate than standard after the bamboo shoots being cooked. The results from the trial informed us that nitrate concentration in bamboo shoots boosted with rate of fertilizer. The mixture of chemical and organic fertilizer could significantly reduced nitrate concentration compared on the base of the same level of nitrogen. Considering the factors of both bamboo yield and nitrate pollution, the treatment with urea 487.5 kg[°]hm⁻²·a⁻¹, compound fertilizer 750.0 kg[°]hm⁻²·a⁻¹ and pig manure 56.25 t[°]hm⁻²·a⁻¹ was an ideal rate of fertilizer. The practice of winter mulching enhanced nitrate concentration by 33.48% compared to non-mulching plots according to the mean value of 6 treatments. [Ch. 6 tab. 14 ref.]

Key words: vegetables gardening; *Phyllostachys praecox*; bamboo shoot; nitrate; fertilizing