

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.02.009

长期不同施肥方式对毛竹林土壤酸化过程的影响

张飞英, 刘亚群, 柏明娥

(浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 在浙江省毛竹 *Phyllostachys heterocyclus cv. Pubescens* 主产区的 11 个县(市、区)选择固定样地, 对长期施用尿素、复合肥、有机肥和不施肥(对照) 4 种不同施肥方式的林地进行 pH 定位监测研究, 历时 10 a (2006–2015 年)。结果表明, 对照的土壤平均酸化速率为 $0.011 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$; 长期施用尿素的平均酸化速率达 $0.082 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$, 是对照的 7.5 倍; 施用复合肥土壤的平均酸化速率为 $0.053 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$, 是对照的 4.8 倍; 施用有机肥土壤的平均酸化速率为 $0.019 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$, 是对照的 1.7 倍, 相对比施用化肥的缓慢些, 但一定程度上也促进土壤的酸化进程。因此减少毛竹林地化肥的施用是控制和缓解毛竹林土壤酸化的重要手段, 同时积极开展生态施肥和生态经营以实现毛竹林健康可持续发展。

关键词: 毛竹林; 长期施肥; 土壤酸化; 酸化速率

中图分类号: S727.15; S753.53⁺²

文献标识码: A

文章编号: 1001-3776(2017)02-0060-05

Effects of Different Fertilizations on Soil Acidification of *Phyllostachys heterocyclus cv. Pubescens* Stands

ZHANG Fei-ying, LIU Ya-qun, BAI Ming-e

(Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Permanent sample plots were established in 2006 at *Phyllostachys heterocyclus cv. pubescens* stands in 11 counties from the main producing areas of Zhejiang province. Different fertilization treatments were conducted on bamboo stands like application of urea, compound fertilizer, organic fertilizer and no fertilization (ck) to determine pH during 2006-2015. The results showed that the mean annual soil acidification rate of the control was 0.011 pH , and that of the plots treated by urea reached 0.082 pH , about 7.5 time of the CK. The annual average soil acidification rate of stand treated with compound fertilizer was 0.053 pH , which was 4.8 times of the CK, and that of stands treated by organic fertilizer was 0.019 pH , 1.7 time of the CK. Therefore, suggestions were offered such as reducing application of chemical fertilizers instead of ecological fertilization and management for healthy and sustainable development of bamboo forest.

Key words: *Phyllostachys heterocyclus cv. pubescens*; long-term fertilization; soil acidification; acidification rate

毛竹 *Phyllostachys heterocyclus cv. pubescens* 主要分布于我国秦岭至长江流域以南各省区, 是我国分布最广、面积最大、开发利用程度最高的竹种。全国有毛竹林 443.02 万 hm^2 , 占竹林总面积的 73.8%、森林总面积的 2.13%^[1]。因此毛竹林经营的好坏直接影响我国南方竹农的收入, 也直接影响毛竹林的可持续健康发展。近十几年来, 为提高竹材和笋的产量不断在林地施用化肥, 导致林地退化和土壤酸化^[2-5]。土壤酸化是土壤质量退化的一个重要方面, 其实质是土壤盐基性阳离子减少, 氢、铝离子增加, 土壤 pH 降低, 有毒金属离子活性增大

收稿日期: 2016-12-14 ; 修回日期: 2017-01-28

作者简介: 张飞英, 助理研究员, 从事林业土壤、林下经济相关研究; E-mail: 157880063@qq.com。

的过程^[6]。土壤酸化过程在自然界是固然存在的^[7],但在自然状态下的酸化速度非常缓慢,由于工业飞速发展和人为强烈活动加速了土壤酸化进程^[8]。Tarkalson 等^[9]认为施肥和土地利用方式在土壤酸化中占主导地位。Cai 等^[10]研究表明长期施用化学氮 $300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 8~12 a 后土壤 pH 下降了 1.2~1.5。徐仁扣^[11]发现在降雨量相对较低的南澳大利亚地区, $80 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的铵态氮肥已明显加速了土壤的酸化。许中坚等^[12]发现在土壤中施用硝酸铵会使土壤的酸度有不同程度的增大。据 Ju 等^[13]的研究发现,重施氮肥能导致土壤严重酸化,并显著提高土壤铝、铁含量。因此对毛竹林进行生态施肥和缓解酸化过程成为毛竹林健康和可持续经营面临的新问题^[14-16]。本研究通过长期多点定位观察将研究揭示毛竹林不同施肥方式对林地土壤酸化过程的影响,可为毛竹林生态施肥健康经营提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

浙江省是我国毛竹的主产区,地处华东地区中部,东海之滨, $118^{\circ}01' \sim 123^{\circ}08' \text{ E}$, $27^{\circ}01' \sim 31^{\circ}10' \text{ N}$, 属亚热带湿润季风气候,年平均气温 $16 \sim 19^{\circ} \text{ C}$, 年平均降水量 $1\,200 \sim 1\,800 \text{ mm}$ 。陆域面积 10.55 万 km^2 , 只占全国陆域面积的 1.1%, 但竹林面积却占全国的 16%。截止 2013 年底,浙江省有 26 亿多株毛竹,相当于人均拥有 47.5 株^[17]。在浙江省的湖州、金华、衢州、丽水、台州的毛竹主要产区选择 11 个县(市、区)(图 1),包括湖州市的安吉县,金华市的武义县,衢州市的龙游县、衢江区、江山市,丽水市的遂昌县、龙泉市、庆元县,台州市的临海市、黄岩区,选择典型固定样地,开展定位监测。监测开始之前,土壤 pH 背景值为 5.31。



图 1 监测点位置图

Figure 1 Location of sample plots

1.2 实验方法

2006 年,在选取的 11 个监测点中,分别选择经营正常、立竹密度在 $2\,200 \sim 2\,800 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 间的具有代表性的毛竹典型笋竹两用林分 4 块,每块毛竹林分面积均大于 $3\,000 \text{ m}^2$, 分别设置施尿素(N)、施复合肥(NPK)、施有机肥(M)和不施肥对照(CK) 4 种不同施肥种类进行试验,并设立固定样地进行 pH 定位监测,固定样地面积 600 m^2 。监测点的施肥量为:尿素 $300 \pm 10.0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 复合肥 $750 \pm 10.0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 有机肥 $450 \pm 10.0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。复合肥以尿素磷铵硫酸钾三种肥料按 30%, 35%, 35% 的比例配合施用;有机肥采用当地猪、牛、鸡的畜禽熟腐粪肥。翻垦及其他经营管理等农事活动根据当地经营习惯照常进行。

1.3 样品采集与测定分析

每年春季发笋期过后的 5 月中下旬,在每个固定样地内采用上、中、下部各 2 个计 6 个采样点进行多点采样,采集 0~20 cm 土层的混合土壤,然后将 6 个采样点的土样进行充分混合,再用四分法选取混合土样带回实验室。土壤 pH 测定方法根据《LY/T1239-1999 森林土壤 pH 值的测定》,采用 pH 计水浸提电位测定法。

1.4 数据的统计分析

土壤酸化速率 (Acidification Rate/AR) 是指单位时间 pH 变化引起的单位容积土壤中 H^+ 的变化量^[18]:

$$\text{AR} = (\text{pH}_{1\sim3} - \text{pH}_{7\sim10}) / (T - 3)$$

式中, $\text{pH}_{1\sim3}$ 表示试验初始 3 a 土壤平均 pH; $\text{pH}_{7\sim10}$ 表示试验第 7 至第 10 年的平均 pH; T 为试验时间。

数据处理采用 Microsoft Excel 2007 和 OriginPro 8.5.0 软件。

2 结果与分析

2.1 施肥种类与土壤酸化趋势

将各试验点在同一阶段的土壤 pH 求平均值,以探索浙江毛竹林在长期施肥下土壤 pH 的变化趋势。不同的施肥种类对土壤酸化的影响程度显然不同。监测表明,在同一阶段由于施肥种类的不同,各监测点毛竹林土壤的平均 pH 下降程度不同(图 2)。未施肥土壤的 pH 值 10 a 后较初始值下降 0.06 个单位,说明自然酸化非常缓慢;施用尿素的土壤 pH 下降程度最大,至第 10 年较初始值下降 0.57 个单位,几乎呈直线下降;施用复合肥土壤在第 1 至第 3 年高于施用尿素的土壤,在第 7 至第 10 年阶段低于施用尿素的土壤,但在 10a 间的平均 pH 较初始值下降 0.45 个单位;施用有机肥土壤的 pH 到第 10 年较初始值下降 0.21 个单位,但是,在第 7 至 10 年,施用复合肥土壤的 pH 下降了 0.13 个单位,而施用有机肥土壤的 pH 增加了 0.01 个单位,说明长期施有机肥对土壤酸化具有较强的缓冲作用并在后期得到充分的体现。

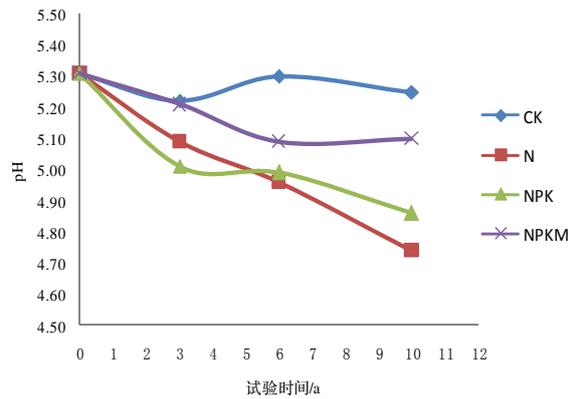


图 2 不同施肥处理土壤 pH 变化趋势

Figure 2 Variation of soil pH under different fertilizer treatments

2.2 施肥种类与土壤酸化速率

不同施肥种类对毛竹林土壤酸化速率的影响十分明显。10 a 的监测表明(图 3),对照毛竹林土壤的平均酸化速率为 $0.011 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,说明土壤固然存在的酸化过程,但速度非常缓慢;施用尿素毛竹林土壤的平均酸化速率达 $0.082 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,是对照的 7.5 倍,大大加速了土壤的酸化过程;施用复合肥毛竹林土壤的平均酸化速率为 $0.053 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,是对照的 4.8 倍,同样加速毛竹林地的土壤酸化进程;施用有机肥毛竹林土壤的平均酸化速率为 $0.019 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,是对照的 1.7 倍,相比施用化肥缓慢些,但一定程度上也促进土壤的酸化进程,这可能与畜禽粪肥的组成等有关。

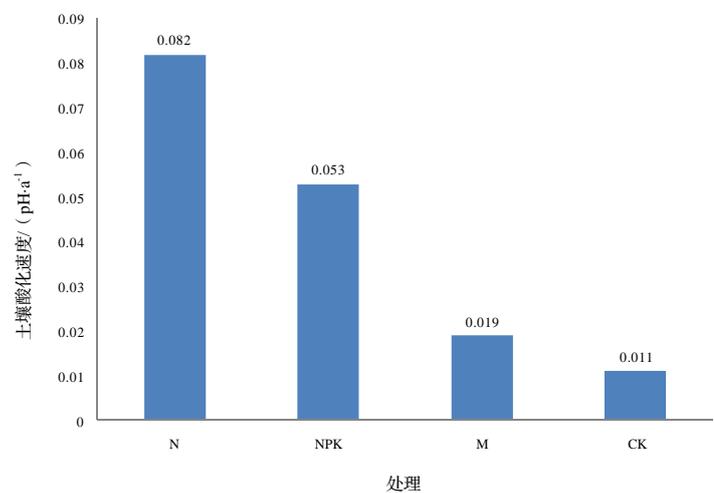


图 3 不同施肥处理土壤平均酸化速率

Figure 3 Soil acidification rate of stands treated by different fertilizers

2.3 不同监测点的土壤酸化速率比较

各监测点不同施肥处理的毛竹林土壤酸化速率也并不相同(图 4)。与对照相比,施用尿素的土壤酸化速度最大的是安吉县监测点,酸化速率为 $0.13 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,其次为衢江区和龙泉市监测点。施用复合肥的土壤酸化速度最大的也是安吉县监测点,酸化速率为 $0.09 \text{ pH}\cdot\text{a}^{-1}$,其次也为衢江区和龙泉市。说明浙江省毛竹林土壤的酸化现象普遍存在,但毛竹林土壤的酸化速率以安吉县最高,这可能与安吉县毛竹的集约化经营强度有关,其次是龙泉市和衢江区。

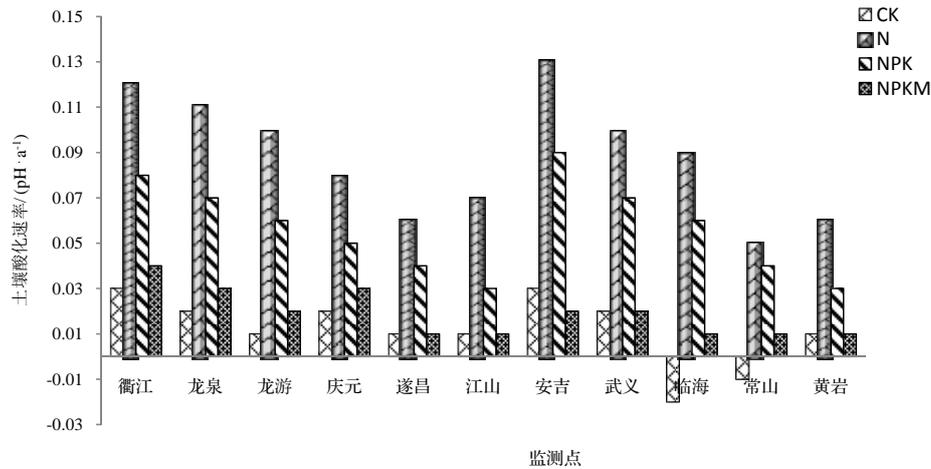


图 4 长期施肥下各监测点的酸化速率

Figure 4 Soil acidification rate of stands in different counties under different fertilizer treatments

3 结论与讨论

经 10 a 多点长期定位监测表明, 毛竹林地不同施肥种类对土壤酸化速率和程度影响很大。在不施肥情况下, 毛竹林土壤也存在固有酸化现象, 但速度非常缓慢。毛竹林地单施尿素, 大大地加速了土壤的酸化进程, 施用 NPK 复合肥, 也会较快地促进土壤的酸化。施用畜禽有机肥一定程度上也促进土壤的酸化进程。

氮的输入是加速耕作土壤酸化的重要因子。本试验中, 单施 10 a 尿素的毛竹林土壤的 pH 出现了明显的下降。正常氮循环过程中, 氮在生物体内的积累并不伴随质子的净增加。其主要原因在于氮素本身来自大气, 通过植物的生物固氮作用转化为有机氮。土壤中的有机氮矿化成矿质氮会消耗 H^+ , 而 NH_4^+ 被植物吸收释放出质子, H^+ 的净增加为零。如果 NH_4^+ 因硝化作用产生 NO_3^- 时释放 2 个 H^+ ($NH_4^+ + 2O_2 = NO_3^- + 2H^+ + H_2O$), 净增加 1 个质子, 当 NO_3^- 被植物吸收时要消耗 1 个质子, 因而 H^+ 的净平衡仍然是零。当氮肥施用量长期或大量超过植物需氧量, 造成肥料氮以 NO_3^- 的形式在土壤中累积时, 会导致土壤严重酸化^[19-20]。

施用复合肥土壤的 pH 变化趋势与施用有机肥的土壤相似, 因复合肥中氮素的含量与有机肥中的差别大, 到第 10 年, 施用复合肥的土壤的平均 pH 较初始值下降 0.45 个单位。施用有机肥处理的土壤, 较施用尿素和施用复合肥的土壤, 酸化速率显著的降低, 在整个监测期间, 施用有机肥土壤的平均 pH 只下降了 0.21 个单位。有机肥主要是畜禽粪便类物质, 对土壤酸化的影响不仅受畜禽粪类碱基的含量、有机氮含量有关, 还与畜禽粪便类物质盐基离子如 Ca^{2+} , Mg^{2+} 组成有关, 盐基离子交换缓冲体系的存在能减缓土壤酸化的加速^[21]。

因此减少化学氮肥的施用是控制和缓解浙江毛竹林土壤酸化的重要手段, 建议改施富含 Ca^{2+} , Mg^{2+} 等盐基离子的有机肥, 减缓土壤酸化的加速。同时积极开展毛竹林生态施肥及其生态经营技术研究, 改良林地土壤结构和质量, 实现毛竹林健康可持续发展。

参考文献:

- [1] 王宏. 我国毛竹林生态施肥面临的主要问题及对策[J]. 世界竹藤通讯, 2014, 12(4): 35-38.
- [2] 楼一平, 盛炜彤, 萧江华. 我国毛竹林长期立地生产力研究问题的评述[J]. 林业科学研究, 1999, 12(2): 172-178.
- [3] 陈双林, 杨伟真. 我国毛竹人工林地力衰退成因分析[J]. 林业科技开发, 2002, 16(5): 3-6.
- [4] 蒋俊明, 朱维双, 刘国华, 等. 川南毛竹林土壤肥力研究[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(4): 486-490.
- [5] 张飞英, 刘亚群, 徐瑞英, 等. 长期施肥下毛竹林土壤的肥力质量研究[J]. 浙江林业科技, 2016, 36(4): 19-23.
- [6] 王文娟, 杨知建, 徐华勤. 我国土壤酸化研究概述[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(8): 19-23.
- [7] 潘根兴. 土壤酸化过程的土壤化学分析[J]. 生态学杂志, 1990, 9(6): 48-52.

- [8] Zhou J, Xia F, Liu X, et al. Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China[J]. *J Soils Sediments*, 2014, 14 (2) : 415 – 422.
- [9] Tarkalson D D, Payero J O, Hergert G W, et al. Acidification of soil in a dry land winter wheat-sorghum/corn-fallow rotation in the semiarid US Great Plains[J]. *Plant Soil*, 2006, 283 (1) : 367 – 379.
- [10] Cai Z, Wang B, Xu M, et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China[J]. *J Soils Sediments*, 2015, 15 (2) : 260 – 270.
- [11] 徐仁扣. 某些农业措施对土壤酸化的影响[J]. *农业环境保护*, 2002, 21 (5) : 385 – 388.
- [12] 许中坚, 刘广深, 俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化[J]. *地质地球化学*, 2002, 30 (2) : 74 – 78.
- [13] Ju X T, Liu X J, Pan J R, et al. Fate of ^{15}N -labeled urea under a winter wheat-summer maize rotation on the North China Plain[J]. *土壤圈* (英文版), 2007, 17 (1) : 52 – 61.
- [14] 王宏, 应叶青, 王晞月. 浙江毛竹林生态经营技术的 PPA – DPSIR 评价[J]. *世界竹藤通讯*, 2012, 10 (5) : 1 – 6.
- [15] 吴士文, 索炎炎, 梁钢, 等. 集约经营下南方竹园土壤酸化特征与缓冲容量研究[J]. *土壤通报*, 2012, 43 (5) : 1121 – 1125.
- [16] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. *土壤*, 2015, 47 (2) : 238 – 244.
- [17] 刘玉莉, 江洪, 周国模, 等. 安吉毛竹林水汽通量变化特征及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2014, 34 (17) : 4900 – 4909.
- [18] Helyar K R, Porter W M. Soil acidification, its measurement and the processes involved[J]. *Soil Acid Plant Grow*, 1989: 61 – 101.
- [19] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327 (5968) : 1008 – 1010.
- [20] Zhou J, Xia F, Liu X, et al. Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China[J]. *J Soils Sediments*, 2014, 14 (2) : 415 – 422.
- [21] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响[J]. *土壤学报*, 2010, 47 (3) : 465 – 472.