文章编号：1001-3776（2016）05-0059-05

杭州市余杭区雷竹林土壤肥力评价及管理对策

刘 军，徐旻昱

（杭州市余杭区林业工作站，浙江 杭州 311100）

摘要：2013 年 7 – 8 月，在杭州市余杭区雷竹（*Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*）林产区共设置了 292 个样地，对其土壤样品进行分析，研究长期覆盖及重施肥对雷竹林地土壤肥力的影响。结果表明，土壤有机质平均含量为 32.06 g/kg，碱解氮、有效磷和速效钾平均含量分别为 167.12、111.61 和 206.99 mg/kg；碱解氮、有效磷、速效钾含量很丰富的林地分别占 51.4%、62.5%和 40.7%；平均 pH 值为 5.0，其中强酸性（pH < 4.6）的占 34.7%；土壤 pH 值与 4 个肥力指标间呈负相关关系，其中与碱解氮、有效磷达极显著水平（$P < 0.01$），土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾 4 个指标两两间均呈极显著正相关（$P<0.01$）；高含量的氮、磷、钾和土壤酸化导致林地养分不平衡，影响雷竹生长，存在面源污染风险。建议雷竹林经营过程中使用配方施肥技术，平衡土壤养分，适量施用石灰，减轻土壤酸化。

关键词：雷竹；土壤肥力；配方施肥；石灰

中图分类号：S795.7 **文献标识码**：A

Soil Fertility Evaluation of *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* Stand in Yuhang and Countermeasures

LIU Jun，XU Min-yu

（*Yuhang Forestry Station of Zhejiang, Yuhang 311100, China*）

Abstract: 292 sample plots were established in July and August of 2013 in *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* stands with mulching and fertilization in Yuhang, Zhejiang province for determination of soil fertilities. The result demonstrated that mean soil organic matter reached 32.06 g/kg, mean alkali-hydrolyzale nitrogen, available phosphorous and available potassium had respectively 167.12, 111.61, 206.99 mg/kg. The result also showed that 51.4%, 62.5% and 40.7% of tested soil had first grade content of alkali-hydrolyzale nitrogen, available phosphorous and available potassium. Mean soil pH was 5.0, 34.7% of tested soil was less than 4.6. Soil pH had negative relationship with determined soil fertility index, especially significant ($P<0.01$) with of alkali-hydrolysable nitrogen and available phosphorous. Moreover, there were significant positive correlations ($P<0.01$) with either two of the four fertility index. Directive fertilization and lime application was recommended for balance of fertility, decrease of soil acidification and diffused pollution.

Key Words: *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*; soil fertility; directive fertilization; lime

土壤肥力质量是指土壤供应和协调作物生长所需的营养和环境因素的能力[1]。自然的土壤肥力质量高低取决于母质和土壤形成过程，自然条件下土壤肥力质量的变化十分缓慢，但施肥、灌溉、耕作等人为活动显著影响着土壤肥力质量的好坏[2]。不同区域土壤在自然条件和人为活动的双重影响下，土壤肥力质量存在较大差异[3]。

雷竹（*Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis*）又称早竹、早园竹，是一种优良的笋用竹种，自然笋期为 3 月

收稿日期：2016-03-12；修回日期：2016-06-21
基金项目：杭州市余杭区农技推广基金会“雷竹林更新改造综合技术示范与推广”（2012 – 2014）
作者简介：刘军（1961 – ），男，浙江余杭人，高级工程师，从事林业科技研究与推广工作。

初至 4 月底，覆盖出笋期为 12 月到翌年 3 月底。主要分布在浙江省西北部的丘陵平原地带，其中杭州市余杭区是雷竹的原产地之一，在其西北部的径山、黄湖、瓶窑、余杭 4 个镇（街道）有大量栽培，截止 2015 年，全区种植面积约 6 666.7 hm^2，年产竹笋 5.36×10^4 t，年销售额 2 亿元。雷竹林高效栽培技术的核心是林地覆盖和重施肥，通常覆盖材料中稻草用量 40 t/（hm^2・a），砻糠用量 55 t/（hm^2・a），肥料用量为无机复合肥（N：P_2O_5：K_2O=16：16：16）2.25 t/（hm^2・a）和尿素 1.125 t/（hm^2・a）[4]。雷竹林经营过程中的强度人为活动对土壤质量的影响已有相关的研究[5~8]，但对于全区土壤肥力质量的总体现状及等级划分还未见报道，本文采用单指标分析法，对余杭区雷竹林土壤肥力质量现状进行等级评价，并探讨其形成原因，旨在为该区域雷竹林健康生产、土壤改良及面源污染控制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于浙江省杭州市余杭区，地处中亚热带向北亚热带过渡区，119º40'~120º23' E， 30º09'~30º34' N。属亚热带季风气候，境内温暖湿润，四季分明，光照充足，雨量充沛，年平均气温 16.1℃，极端最高气温 40.7℃，极端最低气温-11.8℃，一月平均气温 3.9℃，七月平均气温 28.3℃，相对湿度 79.5%，年平均降水量 1 509 mm，年平均日照时数 1 527 h[9]。

1.2 样品采集与分析

2013 年 7 – 8 月，根据雷竹林分布情况，结合余杭区森林资源分布图，在雷竹笋主要产区按 0.5 km × 0.5 km 网格布设土壤样地（即半公里网格中有雷竹分布的点即为采样点），共设 292 个样地。每个样地按五点采样法采集表层 0 ~ 30 cm 的土壤样品，去除石块和植物，室内风干，过 2 mm 筛后，用于测定土壤肥力相关指标。

土壤有机质采用高温外加热重铬酸钾—硫酸外加热法测定；碱解氮采用碱解扩散法测定；有效磷采用 Bray 法，盐酸—氟化铵溶液浸提，钼锑抗比色法测定；速效钾采用乙酸铵浸提，火焰分光光度法测定[10]。根据全国第二次土壤普查土壤养分分极标准，结合林地土壤的特点[11]，将土壤肥力指标分为 6 个等级，具体分级标准见表 1。

表 1 土壤养分及酸碱度分级标准

Table 1 Grading standard of soil fertility and pH

级别	养分分级标准				酸碱度分级标准	
	有机质/($g\cdot kg^{-1}$)	碱解氮/($mg\cdot kg^{-1}$)	有效磷/($mg\cdot kg^{-1}$)	速效钾/($mg\cdot kg^{-1}$)	级别	pH 值
1 很丰富	>40	>150	>40	>200	1 强酸	<4.6
2 丰富	30~40	120~150	20~40	150~200	2 酸性	4.6~5.5
3 适中	20~30	90~120	10~20	100~150	3 微酸	5.6~6.5
4 缺乏	10~20	60~90	5~10	50~100	4 中性	6.6~7.4
5 很缺乏	6~10	30~60	3~5	30~50	5 碱性	7.5~8.5
6 极缺乏	<6	<30	<3	<30	6 强碱	>8.5

表 2 雷竹林土壤肥力质量指标

Table 2 Soil fertility index of *Ph. praecox cv. prevernalis* stand

肥力指标	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数/%
pH 值	8.0	3.0	5.0	0.91	18.3
有机质/($g\cdot kg^{-1}$)	100.00	3.97	32.06	13.57	42.3
碱解氮/($mg\cdot kg^{-1}$	694.00	19.17	167.12	77.65	46.5
有效磷/($mg\cdot kg^{-1}$)	775.27	0.40	111.61	124.24	111.3
速效钾/($mg\cdot kg^{-1}$)	993.50	25.00	206.99	155.70	75.2

2 结果与分析

2.1 雷竹林土壤肥力质量特征

根据林地土壤肥力分级标准（表 1），从土壤肥力指标的平均值来看（表 2），雷竹林地土壤有机质含量丰富，碱解氮、有效磷、速效钾含量达很丰富水平，土壤绝大部分酸性。5 个肥力指标中，土壤有效磷的变异系

数达 111.3%，为强变异性，而其它 4 个指标的变异系数均在 10%~100%，为中等变异性，其中以 pH 值的变异最小，变异系数仅为 18.3%。

2.2　雷竹林土壤肥力质量分级

2.2.1　土壤 pH 值　调查显示，土壤酸化明显，pH 值 3.0 ~ 8.0，平均值为 5.0。从表 3 可知，强酸性、酸性的土壤占调查样点数的 77.8%，其中 pH 值小于 4.6 的强酸性土壤占调查样点的 34.7%，仅有 22.2% 的调查样点 pH 值处于微酸性或中性。调查发现 pH 处于四、五级的样地主要是由于多年施用石灰引起的。

表 3　雷竹林不同土壤肥力等级所占比例

Table 3　Percentage of different fertility grade of tested soil

级别	pH 值/%	有机质/%	碱解氮/%	有效磷/%	速效钾/%
1	34.7	21.6	51.4	62.5	40.7
2	43.1	27.8	21.9	14.0	16.1
3	14.4	34.7	15.2	10.9	16.1
4	6.5	13.6	8.3	7.4	18.7
5	1.2	0.0	2.9	3.8	7.6
6	0.0	2.3	0.3	1.4	0.8

2.2.2　土壤有机质　土壤有机质含量 3.97 ~ 100.00 g/kg，平均含量为 32.06 g/kg。从表 3 可知，试验区雷竹林有机质含量很丰富、丰富的土壤占调查样点数的 49.4%，有 34.7%样点的土壤有机质含量适中，而含量缺乏及以下的样点数仅占 15.9%。

2.2.3　土壤速效氮磷钾　土壤碱解氮含量 19.17 ~ 694.00 mg/kg，平均含量为 167.12 mg/kg。从表 3 可知，碱解氮很丰富、丰富的土壤占调查样点数的 73.3%，其中含量大于 150 mg/kg 的土样占 51.4%，有 15.2%的土壤碱解氮含量适中，仅有 11.5%的土壤样点氮素缺乏和极缺乏。

2.2.4　土壤有效磷　土壤有效磷含量介于 0.40 ~ 775.27 mg/kg，平均含量为 111.61 mg/kg。从表 3 可知，土壤富含磷素，有效磷含量大于 40.00 mg/kg 的一级土壤占调查样点数的 62.5%，有效磷缺乏的土壤仅占调查样点数的 12.8%。

2.2.5　土壤速效钾　土壤速效钾含量为 25.00 ~ 993.50 mg/kg，平均含量为 206.99 mg/kg。从表 3 可知，土壤速效钾含量大于 150.00 mg/kg 的土壤占调查样点数的 56.8%，含量适中的占 16.1%，而有效钾缺乏的土壤占 27.1%。

2.3　雷竹林土壤肥力质量指标间的相关性

雷竹林土壤肥力质量指标间的相关系数，如表 4。

从表 4 中可知，土壤 pH 值与其它 4 个指标呈负相关关系，其中与碱解氮、有效磷的相关性达极显著水平（$P < 0.01$），与速效钾的相关性达显著水平（$P < 0.05$）。有机质、碱解氮、有效磷、速效钾 4 个指标两两间均呈极显著正相关（$P < 0.01$）。

表 4　雷竹林土壤肥力质量指标间的相关系数

Table 4　Correlation coefficient among soil fertility index

肥力指标	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
pH 值	1.000 0				
有机质	-0.050 6	1.000 0			
碱解氮	-0.168 9**	0.560 9**	1.000 0		
有效磷	-0.390 0**	0.334 2**	0.324 5**	1.000 0	
速效钾	-0.111 0*	0.194 5**	0.212 5**	0.407 5**	1.000 0

注：*表示显著相关（$P < 0.05$）；**表示极显著相关（$P < 0.01$）。

3　结论与讨论

余杭区雷竹林土壤肥力质量总体表现为“四高一低”，即高含量的土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾，而 pH 值偏低。与该区域同期农地土壤相比[9]，土壤有机质、有效磷和速效钾平均含量分别比农地高出 21.4%、109.0%和 41.4%，而 pH 值则低了 0.5。

3.1　雷竹林土壤高养分含量的形成及土壤管理

3.1.1　雷竹林土壤高养分含量的成因及对环境的影响　研究表明，土壤中生物量和有机物质的增加，使得土壤微生物活动不断增强，加速了土壤有机质的累积[12]。本研究结果表明，余杭区雷竹林土壤有机质平均含量达 32.01 g/kg，这与雷竹林在经营过程中冬季地表覆盖物中的增温材料稻草 40 t/（hm^2・a）基本都腐烂入土，成为土壤有机质的组成部分，同时每年凋落的雷竹叶也向土壤提供了一定量的有机物质，从而促进了土壤有机质的积累有关。蔡荣荣等[13]研究表明，水稻田改种雷竹后 15 a，0 ~ 10 cm 土壤有机质含量平均每年增加 3.22 g/kg，李国栋等[14]研究也表明，雷竹林每年表层有机质可增加 9.24 t/hm^2。

肥料的大量施用是土壤养分含量的快速积累和急剧提高的最重要原因。雷竹林经营过程中化肥用量超过 3 t/（hm^2·a），从而造成林地土壤氮、磷、钾大量累积。孟赐福等[15]研究表明，常规施肥雷竹林土壤的 N、P 和 K 盈余量分别达到 706.0、127. 1 和 665.0 kg/hm^2，黄芳等[4]研究也表明，雷竹林土壤残留 N 素为 610 kg/hm^2。15 a 栽培历史的雷竹林土壤碱解氮含量是栽培初期的 2.37 倍[16]；种植年限增加 6 a，土壤有效磷和速效钾含量增加了 4.45 倍和 44.0%[15]。雷竹林土壤磷的积累速率远高于氮、钾的原因在于施入土壤中的磷肥不易流失，更为重要的原因是雷竹对磷的吸收比氮、钾要少得多。雷竹笋吸收的 N：P：K 比为 1：0.16：0.69，其叶片吸收的比例为 N：P：K= 1：0.15：0.97[15]。

土壤中过量氮、磷的累积会对环境造成极大的负荷，土壤中高含量的氮素，不仅向地表水体及地下水排放硝态氮和铵态氮，还向大气释放氮氧化物，尤其含量非常高的有效磷，更是对附近水体富营养化的严重威胁[17]。雷竹林土壤发生磷素流失的有效磷“阈值”为 52.52 mg/kg，余杭区现有 54.1%的雷竹林土壤有效磷含量超过该值，存在着较大的流失风险。定位研究表明[18]，雷竹林地土壤氮、磷流失（包括径流及渗漏）达 97.5~309.4 kg/(hm^2·a) 和 3.5~15.9 kg/（hm^2·a）。雷竹产区水体氮磷年均含量达 4.24、0.05 mg/L，分别是非产区水体的 3.2 倍和 2.4 倍[5]。

3.1.2 减量配方施肥 针对雷竹土壤高含量的氮磷钾、土壤养分失调及对周边水体产生潜在面源污染风险的问题，推广实施测土配方施肥，减少化肥投入量，实现土壤养分平衡。测土配方施肥以肥料田间试验、土壤测试为基础，根据雷竹的需肥规律、土壤供肥性能和肥料效应，在合理施用有机肥料的基础上，提出氮、磷、钾及中、微量元素等肥料的施用品种、数量、施肥时期和施用方法。根据余杭区雷竹林土壤养分现状，结合林土翻耕，采用撒施方法，建议每年 5 月中、下旬，施用雷竹（笋）配方肥（N：P_2O_5：K_2O=20：4：16）750 ~ 1 125 kg/hm^2 和商品有机肥或发酵厩肥 3 000 ~ 4 500 kg/hm^2[19]，与常规施肥相比[4]，可减少三分之二以上的肥料投入。如以竹笋产量为 14 250 ~ 24 825 kg/(hm^2·a)和疏伐老竹 11 300 kg/(hm^2·a)计，竹林生态系统输出氮、磷、钾分别为 93 ~ 139、15.3 ~ 23.0、98.0 ~ 129 kg/（hm^2·a）[15]，因此上述施肥量足以满足雷竹生长的养分所需，另外调节了肥料配比，大大减少了磷的输入和输出，有效缓减林地土壤磷素的大量累积。

3.2 雷竹林土壤酸化原因及经营对策

3.2.1 雷竹林土壤酸化原因及其影响 长期施用化肥将导致土壤酸化[20]。余杭区雷竹土壤 pH 值平均为 5.0，其中 pH 值小于 4.6 的强酸性土壤样点数所占比例达 34.7%。孙晓等[21]研究结果表明，雷竹林种植 10 a 后，表层土壤 pH 值下降了 3 个单位，平均年酸化 0.19 ~ 0.29。吴士文等[22]研究也表明，雷竹经营过程中的化肥过量施用、覆盖材料分解产生的酸性物质以及雷竹根系分泌有机酸等三者的共同作用引起竹林土壤酸化，表土的最低 pH 值达到 3.75。

土壤酸化不利于雷竹林的可持续利用，在酸性强化条件下，各种阳离子养分如钾、钙、镁等更容易被土壤溶液从土壤胶体上代换下来进而被径流移出土体而流失。雷竹林土壤酸化后，土壤交换性酸、铝显著增加，土壤中生物毒性铝和生物可利用铝含量剧增，雷竹根部铝大量积聚，养分转运受阻，从而危害雷竹的正常生长[7]。

3.2.2 适量施用生石灰，预防和减轻土壤酸化 施用生石灰是一种有效改良酸性土壤的方法，缓解铝和重金属毒害，补充钙镁营养，改善土壤结构，提高养分循环能力，提高作物产量和品质[23]。根据余杭区雷竹林地土壤 pH 值现状，建议每年 3 月上、中旬，将块状生石灰均匀撒施于除去了覆盖材料的雷竹林地表，施用量为 3 000~6 000 kg/（hm^2·a）[19]，待生石灰块潮解风化后，自然入土，提高土壤 pH 值。庄舜尧等[24]对土壤 pH 值为 3.2 的雷竹林地施用石灰 10 000 kg/（hm^2·a）后，pH 值显著提高，有效减少了土壤硝态氮、铵态氮与可溶态总氮的流失量。

致谢：本文承蒙浙江农林大学吴家森教授级高级工程师指导，谨表示谢忱！

参考文献：

[1] 赵其国，孙波，张桃林. 土壤质量与持续环境—土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤，1997，29（3）：113 – 120.
[2] 徐建明，张甘霖，谢正苗，等. 土壤质量指标预评价[M]. 北京：科学出版社，2010.
[3] 闫慧峰，梁洪波，许家来，等. 山东烟叶生产典型样区土壤质量评价[J]. 中国土壤与肥料，2015（6）：41 – 47.
[4] 黄芳，蔡荣荣，孙达，等. 集约经营雷竹林土壤氮素状况及氮平衡的估算[J]. 植物营养与肥料学报 2007，13（6）：1193 – 1196.
[5] 吴家森. 雷竹产区水体污染特征及其与施肥的关系[D]. 临安：浙江林学院，2008.
[6] 陈裴裴，吴家森，郑小龙，等. 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响[J]. 生态学报，2013，33（18）：5 599 – 5 607.
[7] 季海宝，孙晓，桂仁意，等. 集约经营对雷竹林土壤与植株铝含量的影响[J]. 林业科学，2014，50（1）：15 – 20.
[8] 叶莉莎，陈双林，郭子武. 林地覆盖经营对雷竹林土壤氮素形态及硝化—反硝化作用的影响[J]. 林业科学研究，2015，28（5）：669 – 673.
[9] 季淑枫，章林英，马伟洪，等. 杭州市余杭区农地土壤肥力质量调查[J]. 中国园艺文摘，2015（6）：211 – 214.
[10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科技出版社，1999.
[11] 潘发明. 森林土壤肥力的综合分析评价[J]. 四川林勘设计，1997（1）：32 – 39.
[12] Yadav V, Malanson G. Progress in soil organic matter research: Litter decomposition, modeling, monitoring and sequestration[J]. Prog Phys Geogr，2007，31（2）：131 – 135.
[13] 蔡荣荣，黄芳，孙达，等. 集约经营雷竹林土壤有机质的时空变化[J]. 浙江林学院学报，2007，24（4）：450 – 455.
[14] 李国栋，刘国群，庄舜尧，等. 不同种植年限下雷竹林土壤的有机质转化[J]. 土壤通报，2010，41（4）：845 – 849.
[15] 孟赐福，沈菁，姜培坤，等. 不同施肥处理对雷竹林土壤养分平衡和竹笋产量的影响[J]. 竹子研究汇刊，2009，28（4）：11 – 17.
[16] 姜培坤，徐秋芳. 雷竹早产高效栽培过程中土壤养分质量分数的变化[J]. 浙江林学院学报，2006，23（30）：242 – 247.
[17] 曹志洪. 施肥与水体环境质量—论施肥对环境的影响（2）[J]. 土壤，2003，35（5）：353 – 363.
[18] 陈裴裴，吴家森，郑小龙，等. 不同施肥对雷竹林径流及渗漏养分流失规律的影响[J]. 水土保持学报，2013，27（3）：39 – 43.
[19] 杭州市质量技术监督局. 衰退早竹林更新改造技术规程：DB 3301/T 1007 – 2012 [S]. 北京：中国标准出版社，2013.
[20] 张北赢，陈天林，王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. 中国农学通报，2010，26（11）：182 – 187.
[21] 孙晓，庄舜尧，刘国群，等. 集约经营下雷竹林土壤酸化的初步研究[J]. 土壤通报，2010，41（6）：1339 – 1343.
[22] 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）：1120 – 1125.
[23] 蔡东，肖文芳，李国怀. 施用石灰改良酸性土壤的研究进展[J]. 中国农学通报，2010，26（9）：206 – 213.
[24] 庄舜尧，季海宝，程琳，等. 施用石灰对雷竹林土壤氮磷流失的影响[J]. 浙江林业科技，2014，34（6）：68 – 71.