

长期施肥下毛竹林土壤的肥力质量研究

张飞英¹, 刘亚群¹, 徐瑞英¹, 周 瑛²

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江工业大学 化学工程与材料学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 2014-2015年, 在浙江省16个县(区/市)的毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*)林地共采集1141份土壤样品, 分析pH值、有机质、速效钾、有效磷和铵态氮, 并采用层次分析法, 对其肥力质量进行综合评价。结果表明, 浙江省毛竹林地土壤肥力质量总体上较好, 占68.75%, 其中常山和德清的土壤肥力质量最优, 土壤肥力质量指数分别为1.0135和1.0936; 土壤肥力质量处于中等及以下水平的占31.25%, 龙泉、绍兴、龙游的土壤质量较差。相关分析显示, 土壤的铵态氮与计算得到的土壤肥力质量综合指数呈现极显著的相关性($R=0.943$, $P<0.01$), 另外, 土壤有机质和速效钾含量与土壤肥力质量综合指数也呈极显著的正相关, 其相关系数平方值分别达到了0.640($P<0.01$)和0.670($P<0.01$), 表明氮元素、有机质和速效钾含量是衡量土壤肥力质量的重要指标。毛竹林地土壤pH在4.5~8.5, 平均为4.84, 土壤的酸化与林农偏施氮肥有一定的关系。

关键词: 毛竹林; 土壤肥力质量; pH值; 铵态氮; 速效钾; 有机质

中图分类号: S714.8

文献标识码: A

Study on Soil Quality under *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* Forest with Fertilization

ZHANG Fei-ying¹, LIU Ya-qun¹, XU Rui-ying¹, ZHOU Ying²

(1. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: From 2014 to 2015, 1141 soil samples were collected from *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* forest with fertilization in 16 counties of Zhejiang province. Determinations were made on soil pH, organic matter, available potassium, available phosphorus and ammonium nitrogen. Analytic hierarchy process on soil quality of 16 counties resulted that good quality of soil occupied 68.75%, the best was in Changshan and Deqing with quality index of 1.0135 and 1.0936, the left (31.25%) was medium or below, especially in Longquan, Shaoxing and Longyou. Correlation analysis showed that soil ammonium nitrogen had significant correlation ($R=0.943$, $P<0.01$) with soil fertility quality index, as well as soil organic matter and available potassium content with soil fertility quality index, with R square of 0.640 ($P<0.01$) and 0.670 ($P<0.01$), indicating that nitrogen, organic matter and available potassium was important indicator for soil fertility quality. The determination demonstrated that mean pH value of the tested soil was 4.84, perhaps caused by fertilization with nitrogen.

Key words: *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* forest; soil fertility quality; pH; ammonium nitrogen; available potassium; organic matter

浙江省毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*)林面积约66.27万 hm^2 , 占全省竹林面积的83.66%, 占全国毛竹林面积的17.1%。浙江是我国毛竹林培育利用发达省份, 有“世界竹子看中国, 中国竹子看浙江”之称。为满足持续增长的工业原料的需求, 毛竹林处于急速扩展的趋势。“十一五”期间全省88个行政县(市

收稿日期: 2016-01-15; 修回日期: 2016-04-17

基金项目: 浙江省科技厅科研专项(2014F10002)

作者简介: 张飞英(1984-), 女, 浙江诸暨人, 助理研究员, 从事林业土壤、森林食品相关研究。

/区)中,80个县开展了由政府推动的毛竹林培育经营工程,但是全省26个竹产区只有10.78%的竹农对现有的竹林培育技术感到满意,基本满意的为51.94%,而不满意的比例为34.88%。这说明当前的竹林经营技术还有待改进。在施肥方面,林业局、林业站没有毛竹施肥种类、施肥量推荐的标准,也缺乏土肥站、植保站等专业机构人员,因此农民多凭农作经验和商家广告选择化肥种类及施肥量,受“化肥越多产量越高”的影响明显。而毛竹林地的土壤肥力质量直接影响毛竹林的经济效益。

土壤肥力质量是土壤系统的化学、生物和物理性质之间复杂相互作用的综合体现,它可以用几个关联的特征来指示,当将土壤看作生态系统的一部分来检验时,土壤肥力质量评价提供了一种评价人类管理决策对环境直接和间接影响的有效方法^[1]。但是单一的土壤性质指标无法定量地表达土壤肥力的状况,近年来,越来越多的研究采用综合系统的评价方法,比如运用聚类分析、因子分析、主成份分析和模糊综合评判等^[2]。在进行综合评价中,确定各个评价指标所占权重系数的精确度和科学性将直接影响评价的结果。层次分析法是综合集成定性分析和定量分析的一种系统工程方法,将以人的主观判断为主的定性分析进行定量化,将各种判断要素之间的差异数值化,帮助人们保持思维过程的一致性,适用于复杂的模糊综合评价系统,是目前被广泛应用的一种确定权重的方法^[3-4]。本研究应用层次分析法对浙江毛竹林土壤肥力进行评价,旨在为林农测土施肥提供科学依据,促进浙江竹产业的可持续发展。

1 材料和方法

1.1 土壤样品的采集

2014年和2015年,在浙江省的安吉、云和、临海、衢江、江山、黄岩等16个县(市/区),随机选取毛竹林地,每块毛竹林地按照“S”型选取采样竹10株,在采样竹附近挖一个深30 cm左右的土壤剖面,在剖面上均匀采集0~20 cm土壤约250 g,去除根系、砾石等杂物。将10个采样点所有土壤混匀,用四分法取500 g,带回实验室自然风干、研磨、过筛后保存备用。共采集1 141份土壤样品。

所选毛竹林地施肥情况:1989年之前为竹林开发阶段,仅劈山、垦复,未施肥;1989-2000年,大年(留养新竹年)6月在每株毛竹的上方开环形沟,施用尿素(或碳铵)450 kg·hm⁻¹;2000-2010年施用配方肥,每年用量为尿素450 kg·hm⁻¹、过磷酸钙380 kg·hm⁻¹、氯化钾75 kg·hm⁻¹;2010年至今,每年施用毛竹专用肥750 kg·hm⁻¹和尿素450 kg·hm⁻¹。

1.2 测定方法

pH测定方法根据林业行业标准《LY/T 1239-1999 森林土壤pH值的测定》,采用pH计水浸提电位测定法。土壤有机质含量测定依据林业行业标准《LY/T 1237-1999 森林土壤有机质的测定及碳氮比的计算》。土壤铵态氮的测定方法依据林业行业标准《LY/T 1231-1999 森林土壤铵态氮的测定》。土壤有效磷的测定方法依据林业行业标准《LY/T 1233-1999 森林土壤有效磷的测定》。土壤速效钾的测定方法依据林业行业标准《LY/T 1236-1999 森林土壤速效钾的测定》。

1.3 评价方法

应用上述方法测定的与土壤肥力质量有关的速效氮、有效磷、速效钾、有机质和pH值5个评价指标,采用层次分析法进行浙江毛竹林土壤肥力质量评价。采集到的样品的5个评价指标的测定结果见表1。

表1 浙江省16个县(市/区)土壤肥力质量评价的定量指标测定结果
Table 1 Values of indicators for assessment of soil fertility quality (k=1 141)

指标	平均值	最小值	最大值	标准差
pH值	4.844 4	4.040 0	7.230 0	0.311 0
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	10.626 5	0.092 2	231.975 1	22.330 9
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	76.395 6	12.251 7	856.857 9	65.194 3
速效氮/(mg·kg ⁻¹)	114.105 8	6.261 5	195.786 8	71.932 5
有机质/(g·kg ⁻¹)	35.264 8	2.583 9	133.098 5	14.489 6

2 结果与分析

2.1 建立土壤肥力质量评价的隶属度矩阵

根据在一定范围内评价指标与作物效应的关系函数, 隶属度函数为:

$$f(x)=\begin{cases} 1 & x\geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1\leq x<x_2 \\ 0.1 & x<x_1 \end{cases} \tag{1}$$

式中, x_1 和 x_2 分别为评价指标的下限值 and 上限值。

表 2 为本研究涉及的评价指标 x_1 和 x_2 的对应值。经过式(1)的处理, 消除了各个评价指标之间的量纲差异, 建立了土壤肥力质量评价的隶属度矩阵:

$$A_{mn}=\{a_{ik}|i=1\sim m,k=1\sim n\}$$

式中, a_{ik} 的值均在 0.1 ~ 1.0, 大小反映了各评价指标的隶属程度。

表 2 S 型隶属函数对应的上下限值
Table 2 Limit values of corresponding S-shaped membership functions

指标	临界值	
	x_1	x_2
pH 值	4.5	8.5
有机质/(g·kg ⁻¹)	10	40
速效氮/(mg·kg ⁻¹)	60	150
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	5	40
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	40	165

2.2 利用层次分析法确定毛竹林地土壤肥力评价指标权重

2.2.1 建立递阶层次结构^[5-7] 依据毛竹林土壤肥力评价指标特征, 以研究区毛竹林土壤肥力为目标层, 速效养分和生物指标为准则层, 各单项评价指标为方案层, 建立毛竹林土壤肥力递阶层次分析结构, 如图 1。利用生物指标 C4、C5, 考察土壤微生物状况, 微生物活动除了受温度、湿度等外部因子影响外, 土壤有机质含量是主要影响因素, pH 值较低时对微生物活动具有抑制作用, 因此, 通过 pH 值和有机质表征毛竹林土壤生物状况, 准则层 B 中称为生物指标。

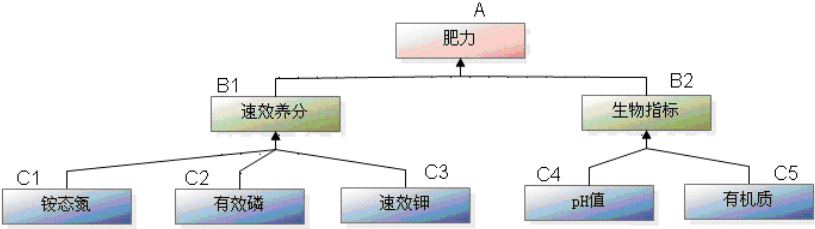


图 1 毛竹林土壤肥力质量递阶层次结构

Figure 1 Hierarchical structure of soil fertility quality under bamboo forest

2.2.2 判断矩阵的确定和层次排序 土壤肥力受 2 个决策因素的影响, 而 2 个决策因素又分别受各子决策因素的影响, 通过对上一层次某因素与该层次相关因素之间相对重要性的比较和层次结构图, 可以构造判断矩阵。

判断矩阵 W 对应于最大特征值的特征向量 W, 经归一化后即为同一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值。对于目标层 A (土壤肥力) 而言, 由判断矩阵 $W_{A\times B}$ 求得最大特征值为 $\lambda_{\max}=2.000\ 0$, 特征向量 $W_{A\times B}=(0.833\ 3, 0.166\ 7)$, 因此, 相对于土壤肥力而言, 2 个影响因素按照权重排序应当为速效养分>生物指标。

由判断矩阵 $W_{B1\times C_i}$ ($i=1, 2, 3$) 求得最大特征值为 $\lambda_{\max}=3.000\ 0$, 特征向量 $W_{B1\times C_i}=(0.451\ 1, 0.140\ 0, 0.408\ 9)$, 对于速效养分而言, 权重排序应当为速效氮>速效钾>有效磷。由判断矩阵 $W_{B2\times C_i}$ ($i=4, 5$) 求得最大特征值为 $\lambda_{\max}=2.000\ 0$, 特征向量 $W_{B2\times C_i}=(0.021\ 0, 0.979\ 0)$, 对于生物指标而言, 权重排序应当为有机质>pH 值。

对 3 个判断矩阵进行一致性检验, $CR(W_{A\times B})=0.000\ 0$, 很显然矩阵 $W_{A\times B}$ 能满足一致性要求, 同理, 对于矩阵 $W_{B1\times C_i}$ ($i=1, 2, 3$), $CR(W_{B1\times C_i})=0.000\ 0$, 矩阵 $W_{B2\times C_i}$ ($i=4, 5$), $CR(W_{B2\times C_i})=0.000\ 0$, 都具有满意的一致性。

B 层中各因素关于总目标的权重 b_1, \dots, b_n , 按土壤肥力影响因素中, 方案的重要性排序为: 速效氮 > 速效钾、有机质 > 有效磷 > pH 值。对层次总排序也需作一致性检验, $CR=0.000\ 0 < 0.1$, 满足一致性要求。这表明上面得到的方案权值 w_i 可作为评价指标的权重值。

2.3 毛竹林地土壤肥力综合评价

由隶属度函数得到的各个指标在不同采样点的标准化转换值, 并结合权重, 即可建立土壤肥力质量的综合评价模型, 则某一采样点的土壤肥力质量指数为:

$$F_i = \sum_{k=1}^n a_{ik} w_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

(2)

式中, F_i 为第 k 个采样点的土壤肥力质量指数值, a_{ik} 为第 k 个采样点的第 i 个指标的隶属度值, w_i 为第 i 个指标的权重值。根据表 3 评价指标的权重值, 计算浙江省 16 个县(市/区)的毛竹林地的土壤肥力质量指数值(F_i), 结果见表 4。如果按照五级分类法^[2], 则 $F_i \geq 0.8$ 为土壤肥力质量好, $0.6 \leq F_i < 0.8$ 为较好, $0.4 \leq F_i < 0.6$ 为中等, $0.2 \leq F_i < 0.4$ 为较差, $F_i < 0.2$ 为差。从表 4 中可以看出, 浙江省毛竹林地土壤肥力质量总体上较好, 占 68.75%; 常山和德清的土壤肥力质量最优, 土壤肥力质量指数分别为 1.013 5 和 1.093 6; 土壤肥力质量处于中等及以下水平的占到 31.25%, 其中龙泉、绍兴、龙游三地毛竹林的土壤质量较差; 浙江毛竹林地的土壤绝大多数呈酸性, pH 值在 4.04 ~ 7.23, 平均为 4.84。其主要原因在于长期偏施氮肥导致土壤一定程度的酸化。

表 3 方案层总排序

Table 3 Order of weight of indicators		
方案层	方案权值	排序
C1 速效氮	0.375 9	1
C2 有效磷	0.116 7	4
C3 速效钾	0.340 7	2
C4 pH 值	0.003 5	5
C5 有机质	0.163 2	3

表 4 浙江省 16 个县(市/区)土壤肥力质量定量指标测定结果

Table 4 Values of indicators for soil fertility quality from 16 counties of Zhejiang province

县(市/区)	有效磷 /(mg·kg ⁻¹)	速效氮 /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 /(mg·kg ⁻¹)	有机质 /(g·kg ⁻¹)	酸碱度	土壤肥力质量指数	样本数
衢江	2.244 5	99.614 4	38.812 2	35.116 7	4.657 8	0.507 0	50
龙泉	2.177 8	56.065 3	42.488 0	32.753 1	4.845 2	0.394 8	100
绍兴	3.078 3	55.523 2	58.765 2	16.170 3	4.945 7	0.376 2	14
龙游	0.946 5	45.640 3	34.758 3	25.978 7	4.907 0	0.369 5	100
庆元	2.158 2	74.764 4	89.616 0	43.938 0	4.991 5	0.634 3	100
遂昌	7.007 3	51.543 0	80.698 6	32.802 5	4.863 0	0.498 8	115
江山	9.450 2	128.702 6	79.094 6	37.723 2	4.882 2	0.788 9	110
安吉	12.810 4	158.465 0	66.076 7	38.869 0	4.772 9	0.828 1	230
淳安	12.930 6	157.790 3	53.601 7	36.036 3	4.908 0	0.814 4	5
景宁	15.541 9	116.214 9	47.868 7	30.641 9	4.915 0	0.656 3	18
云和	15.359 2	147.450 7	97.509 0	37.036 5	4.934 2	0.930 6	12
武义	17.720 2	110.013 1	77.775 0	25.121 9	4.798 0	0.659 6	54
仙居	17.688 2	123.976 8	75.567 6	28.555 9	4.865 8	0.738 6	79
常山	3.894 2	188.003 8	140.399 4	43.150 7	4.866 2	1.013 5	81
黄岩	17.370 6	165.713 0	70.261 9	39.205 0	4.866 7	0.874 8	50
德清	105.589 3	263.420 0	309.816 9	37.937 4	4.532 2	1.093 6	23

2.3 毛竹林地土壤肥力相关性分析

由表 5 相关分析显示, 土壤的速效氮与计算得到的土壤肥力质量综合指数呈现极显著的相关性($R=0.943$, $P<0.01$)。这表明了土壤含氮量是影响浙江毛竹林土壤质量的重要因素。土壤有机质和速效钾含量与土壤肥力质量评价的综合指数都呈极显著的正相关, 其相关系数平方值分别达到了 0.640 ($P<0.01$) 和 0.670 ($P<0.01$), 表明浙江毛竹林土壤的有机质含量和钾素水平也是影响土壤肥力质量的重要因素。这些因素都跟林农对毛竹林地的土壤管理和施肥管理有关^[8-9]。对大部分的采样点, 毛竹是当地农户的主要收入来源和当地农业经济的主要产业之一。

表 5 土壤肥力质量指数与土壤肥力质量定量指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of soil fertility quality index and soil fertility quality indicators

指标	速效氮	速效钾	有机质	有效磷	酸碱度
土壤肥力质量指数	0.943**	0.670**	0.640**	0.580*	-0.313

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关, **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 结论与讨论

以上研究结果表明,浙江省 16 个县(区/市)毛竹林地土壤肥力质量总体上较好,质量较好的占 68.75%,处于中等及以下水平的占到 31.25%。

相关分析表明,土壤含氮量、有机质含量和钾素水平是影响土壤肥力质量的重要因素,土壤的速效氮与土壤肥力质量综合指数呈现极显著的相关性($R=0.943$, $P<0.01$),土壤有机质和速效钾含量与土壤肥力质量评价的综合指数都呈极显著的正相关,其相关系数平方值分别达到了 0.640 ($P<0.01$) 和 0.670 ($P<0.01$)。

浙江毛竹林地的土壤绝大多数呈酸性, pH 值在 4.04~7.23, 平均为 4.84。主要原因在于长期偏施氮肥导致土壤一定程度的酸化。土壤酸化是指在自然和人为条件下土壤 pH 值下降的现象,其过程即是盐基离子阳离子淋失,从而使 Al^{3+} 和 H^+ 成为土壤中主要的交换性阳离子,其实质是土壤交换性酸增加,交换性盐基离子减少^[10]。长期大量的施用化肥,偏施氮肥,而铵态氮及其硝化引起土壤盐基元素淋失,盐基饱和度降低,有机肥施用偏少,使得盐基元素的补充减少,降低了土壤 pH 值的缓冲能力,是毛竹林地土壤不断酸化的主要原因。

科学施肥是预防土壤酸碱度失衡的先决条件。大量偏施氮肥易造成土壤酸化,加速钙、镁、钾等盐基离子淋溶和流失,长此以往会破坏土壤结构^[10]。有机肥一般都是呈中性或微碱性反应,含有较丰富的钙、镁、钠、钾等元素,可以中和土壤游离酸,补充土壤盐基物质,缓解土壤酸化速度。有机肥经微生物分解后合成的腐殖质可与土壤中矿质胶体结合,形成有机-无机复合体,增加土壤缓冲性能。另外,有机肥还能改善土壤物理化学性状,增加孔隙度,提高土壤吸附力,防止和减缓盐基元素的淋失。

参考文献:

- [1] Karlen D L, Mausbach M J, Doran J W, *et al.* Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial) [J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61. 4-10.
- [2] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 378-382.
- [3] 毕晓丽, 洪伟. 生态环境综合评价方法的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(2): 122-124, 126.
- [4] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学[M]. 上海: 上海科技教育出版社. 2000.156-164.
- [5] 汪应洛. 系统工程: 第 4 版[M]. 北京: 机械工业出版社. 2012. 120-130.
- [6] 章海波, 骆永明, 赵其国, 等. 香港土壤研究 VI. 基于改进层次分析法的土壤肥力质量综合评价[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 577-583.
- [7] 汪贵斌, 曹福亮, 程鹏, 等. 不同银杏复合经营模式土壤酶活性及综合评价[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 1-6.
- [8] 朱志建, 王波, 朱炜, 等. 毛竹笋用林春笋冬出覆盖技术[J]. 世界竹藤通讯, 2014, 12(6): 19-21.
- [9] 王波, 汪奎宏, 李琴, 等. 地面覆盖对毛竹生长影响的初步研究[J]. 世界竹藤通讯, 2012, 1(1): 20-22.
- [10] 许中坚, 刘广深, 刘维屏. 人为因素诱导下的红壤酸化机制及其防治[J]. 农业环境保护, 2002, 21(2): 175-178.