

临安市不同山核桃产区土壤肥力状况的差异性研究

马闪闪¹, 赵科理¹, 丁立忠², 黄莎², 蔡铃², 赵伟明³, 叶正钱¹

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院 浙江省土壤污染生物修复重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市林业局 林业技术推广中心, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为探讨山核桃 *Carya cathayensis* 林地土壤基本肥力特征及土壤肥料管理对策, 于 2013 年 3-4 月, 采用全球定位系统(GPS)野外定位并采集浙江省临安市山核桃主产区 7 个乡镇共 189 个土壤样品, 对临安市山核桃主产区土壤肥力状况进行分析和比较。结果表明: 研究区土壤 pH 值变幅为 pH 4.2 ~7.5, 平均值为 pH 5.2, 小于 pH 5.5 的区域占 75%; 土壤有机质平均为 31.6 g·kg⁻¹, 普遍较高, 但也有 12% 的林地土壤有机质低于 20.0 g·kg⁻¹; 大多数林地土壤有效氮较高, 超过 80.0 mg·kg⁻¹ 的占 91%, 处于高水平(>200.0 mg·kg⁻¹)的占 15%; 研究区山核桃林地土壤有效磷平均为 14.0 mg·kg⁻¹, 但变幅大, 分别有 63% 和 40% 的林地土壤有效磷低于 10.0 mg·kg⁻¹ 和 5.0 mg·kg⁻¹, 土壤有效磷有待提高; 土壤速效钾平均为 85.9 mg·kg⁻¹, 51% 的林地土壤速效钾质量分数不足 80.0 mg·kg⁻¹。各地需要根据实际情况, 调整施肥数量和结构及开展土壤酸性改良, 因地制宜地制定区域施肥规划。表 7 参 23

关键词: 经济林学; 山核桃; 土壤酸化; 土壤速效养分; 土壤肥力

中图分类号: S718.4; S664.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)06-0953-08

Soil fertility in *Carya cathayensis* orchards for major towns of Lin'an City, China

MA Shanshan¹, ZHAO Keli¹, DING Lizhong², HUANG Sha², CAI Ling², ZHAO Weiming³, YE Zhengqian¹

(1. Key Laboratory of Soil Contamination Bioremediation of Zhejiang Province, School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Technology Extension Center, Forest Enterprise of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: To study soil fertility in Chinese hickory (*Carya cathayensis*) orchards via soil surveys and to optimize regional soil and fertilization management, in the spring of 2013, 189 soil samples were collected by GPS from seven towns in Lin'an, Zhejiang Province, China, where distribution of Chinese hickory is most widespread. Soil fertility properties were analyzed and compared among the towns. Results of the study area showed that soil pH value varied from 4.2 to 7.5 with a mean of 5.2; 75% of these soils had a pH < 5.5. The content of soil organic matter (SOM) was rich in general with a mean of 31.6 g·kg⁻¹. In most of the orchard soils, available nitrogen (SAN) (hydrolytic N) was rich: 91% of the investigated soils > 80.0 mg·kg⁻¹ and 15% of those > 200.0 mg·kg⁻¹. In Tuankou Town all soils had SAN > 100.0 mg·kg⁻¹. Although the mean soil available phosphorus (SAP) was 14.0 mg·kg⁻¹, 63% of orchard soils were < 10.0 mg·kg⁻¹ and 40% were < 5.0 mg·kg⁻¹. Mean soil available potassium (SAK) was 85.9 mg·kg⁻¹, however 51% of the research area had SAK < 80.0 mg·kg⁻¹ implying a low SAK supply. Therefore, severe soil acidification and high SAN were most common in the research area and a considerable number of the orchard soils had low SAP and especially low

收稿日期: 2015-12-09; 修回日期: 2016-03-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41201323); 浙江省科学技术公益项目(2015C33051); 浙江省林业科研成果推广项目(2013B13); 浙江农林大学科学研究发展基金资助项目(2005FR053)

作者简介: 马闪闪, 从事土壤与植物营养学研究。E-mail: 498022187@qq.com。通信作者: 叶正钱, 教授, 博士, 从事土壤与植物营养环境生态等研究。E-mail: yezhq@zafu.edu.cn

SAK. Soil fertility management measures need to be made according to local soil conditions to ameliorate soil acidity and optimize fertilization; and soil testing and formulating regional fertilizer applications are required to control N fertilizer application, to improve soil P availability, and to emphasize K fertilizer application. [Ch, 7 tab. 23 ref.]

Key words: cash forestry; *Carya cathayensis*; soil acidification; soil available nutrient; soil fertility

山核桃 *Carya cathayensis* 是中国特有的名优干果和木本油料作物, 主要分布在浙皖交界的天目山地区, 包括浙江临安及安徽宁国等县市, 其中以临安市昌化为中心产区^[1], 岛石、龙岗、河桥、湍口等乡镇为主要分布区。山核桃对适生的立地条件要求较高, 于微酸性至中性土壤中生长最佳^[2]。随着山核桃消费需求的不增大, 栽培面积、产量和年产值逐年增加。临安山核桃栽培面积和产量均居全国首位, 山核桃产业已成为产区林农经济收入的主要来源, 但是, 随着近年来人为经营管理特别是林农化肥的大量施用, 使山核桃林地土壤性质发生了巨大变化, 导致土壤条件不利于山核桃生长, 已引发山核桃叶片黄化、树林早衰等严重退化症状的大面积爆发, 山核桃适生土壤环境受到严重威胁^[3-4]。目前, 虽然在山核桃林地土壤、植物叶片和果仁等方面已开展了一些土壤植物营养的相关研究^[5-6], 并对山核桃林地土壤肥力性质相继进行了调研^[3,7-8], 但是对临安山核桃不同产区乡镇土壤肥力水平状况及其空间分布差异性的分析却甚少。由于不同乡镇自然土壤成土环境和施肥管理措施水平等的差异性, 多年经营后, 可能会导致不同乡镇土壤性质区域性差异。基于此, 著者开展科学布点调查与土样的采集和分析, 研究临安山核桃主产区林地土壤基本肥力现状及其区域空间分布特点和存在问题, 并试图通过土壤肥力等级划分, 对土壤肥力状况进行评价, 以期如山核桃土壤肥料区域管理、优化施肥和实现临安山核桃产业稳健持续发展提供数据支撑和对策。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省临安市西部山核桃林地分布较为集中的 7 个乡镇, 分别为昌化镇、岛石镇、湍口镇、清凉峰镇、太阳镇、龙岗镇和河桥镇。全市年平均气温为 16.4 ℃, 7 月平均气温为 29.1 ℃, 1 月平均最低气温为 4.1 ℃, 年平均降水量为 1 628.6 mm, 年平均日照时数 1 847.3 h, 无霜期 235 d。7 个乡镇的山核桃林地多分布在海拔 50 ~ 1 200 m 的丘陵山地, 林地土壤主要为油黄泥、黄红泥以及钙质页岩土等^[9]。

1.2 样品采集与制备

室内布点。充分考虑样点分布的均匀性和代表性, 按 1.0 km × 1.0 km 网格布设山核桃林地土壤采样点(即选取平方千米网格中有山核桃林分的点确定为采样点)^[7], 对采样点进行准确定位。

实地勘察及样品采集。于 2013 年 3-4 月山核桃林地施肥前, 对临安市山核桃主产区 7 个乡镇开展土壤普查。根据林地采样布点图, 通过全球定位系统(GPS)导航和定位, 结合山核桃林地实际情况以及是否利于长期跟踪复查, 在 7 个乡镇设采样点共计 189 个。在选定的典型样地上, 按“S”型布点, 分别采集 5 个点的表层(0~20 cm)土样, 将其混合成 1 个土壤样品, 然后采用四分法留取样品 1.0 kg, 带回实验室, 样品经风干, 分别过 10 目和 100 目筛, 供土壤 pH 值、速效养分及有机质测定。同时, 记录采样点山核桃的立地条件、土壤情况、农户施肥管理和山核桃产量情况。

1.3 土壤测定方法与数据分析

采用常规分析方法对土壤样品进行分析^[10]。其中: 土壤 pH 值采用 pH 计 [$m(\text{土}):m(\text{水})=1.0:2.5$] 电位法测定; 有机质采用重铬酸钾-外加热法; 有效氮采用碱解扩散法; 有效磷采用 Olsen 法; 速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法。

图表均采用 Excel 2010 软件进行处理, 使用 SPASS 18.0 统计分析软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 研究区山核桃林地土壤肥力总体状况

土壤肥力水平高低与否的分析，需要有土壤肥力水平等级指标参考，然而，由于对山核桃土壤植物营养与施肥的研究尚很薄弱，迄今还没有相应的肥力等级划分指标或系统的临界值指标，而它又大大不同于自然林地，为此我们结合前期的一些研究结果，以农业上采用的常规农作物肥力等级划分指标作为参考^[5,11-12]，将研究区山核桃林地土壤基本肥力参数包括 pH 值、有机质质量分数等水平及其高低分布情况进行频率分布统计，并结合产区土壤历史资料(《临安土壤志》)展开分析。从表 1 可见：研究区土壤平均 pH 5.2，pH 值高于 pH 6.0 的区域仅占 13%，有 75%的林地土壤 pH 值低于 pH 5.5，与山核桃适生 pH 值相比，土壤严重酸化。土壤有机质质量分数普遍较高，平均 31.6 g·kg⁻¹，但也有部分土壤有机质质量分数很低，甚至低于 10.0 g·kg⁻¹。研究区土壤有效氮也普遍较高或很高，其中质量分数高于 100.0 mg·kg⁻¹ 的区域占 91%，15%的林地土壤高于 200.0 mg·kg⁻¹。与土壤氮相反，山核桃林地土壤有效磷质量分数较低的占多数，低于 10.0 mg·kg⁻¹ 和 5.0 mg·kg⁻¹ 的林地分别达到 63%和 40%，可能磷素不足或严重不足；但是也有部分土壤有效磷超过 20.0 mg·kg⁻¹，磷素淋失风险大^[12]。土壤速效钾平均为 85.9 mg·kg⁻¹，只有 15%的林地土壤速效钾质量分数超过 120.0 mg·kg⁻¹，有 51%的林地土壤速效钾质量分数不足 80.0 mg·kg⁻¹，甚至有 20%林地不足 50.0 mg·kg⁻¹，可能供钾严重不足^[5]。

表 1 山核桃林地土壤肥力的等级水平的分布

Table 1 Distribution frequency of soil fertility parameters in the soils of *Carya cathayensis*

土壤等级	pH 值		有机质		有效氮		有效磷		速效钾	
	数值	比例/%	数值/(g·kg ⁻¹)	比例/%	数值/(mg·kg ⁻¹)	比例/%	数值/(mg·kg ⁻¹)	比例/%	数值/(mg·kg ⁻¹)	比例/%
1 级	≤5.0	47	≤10.0	1	≤80.0	2	≤5.0	40	≤50.0	20
2 级	5.0~5.5 5.5~6.0	28 12	10.0~20.0 20.0~30.0	12 34	80.0~100.0	6	5.0~10.0	23	50.0~80.0	31
3 级	6.0~7.0	11	30.0~40.0	33	100.0~200.0	76	10.0~20.0	15	80.0~120.0	34
4 级	≥7.0	2	≥40.0	21	≥200.0	15	≥20.0	22	≥120.0	15
均值	5.2		31.6		155.6		14.0		85.9	
变幅	4.2~7.5		9.7~67.7		56.6~269.0		1.4~130.1		18.9~255.7	

说明：土壤性质等级参照《浙江土壤》，1 级低，4 级高。

2.2 不同乡镇山核桃林地土壤 pH 值的差异

不同乡镇山核桃林地土壤 pH 值高低和分布有显著不同。7 个乡镇山核桃林地土壤 pH 值大小顺序为湍口>太阳>清凉峰>岛石>昌化>河桥>龙岗(表 2)。各乡镇土壤平均 pH 值都在 pH 5.5 以下，各乡镇土壤 pH 值低于 pH 5.5 的区域都超过 60%，达 66%~97%。土壤最低 pH 值都低于 pH 5.0，为强酸性。绝大部分土壤处于酸性和强酸性状态，尤以龙岗镇山核桃林地土壤 pH 值最低且面积大，平均值仅为 pH 4.9，pH 值低于 pH 5.0 的面积占全镇山核桃林地面积的 71%，强酸性土壤面积比例最大；湍口镇 pH 值最高，均值也仅为 pH 5.5，显著高于河桥镇(pH 5.1)和龙岗镇(pH 4.9)($P<0.05$)，pH 值低于 pH 5.0 的区域占 32%，pH 值在 pH 5.0~5.5 区域的占 36%；河桥镇土壤 pH 值为 pH 5.1，pH 值低于 pH 5.0 区域占 55%，强酸性土壤面积已达 1/2。山核桃林地土壤 pH 值受成土母岩、海拔及人为施肥等因素的影响，但是同一林地其变

表 2 不同乡镇山核桃林地土壤 pH 值等级分布

Table 2 Distribution frequency of soil pH in seven towns in Lin'an City

乡镇	1 级(≤5.0)/%	2 级(5.0~5.5 5.5~6.0)/%	3 级(6.0~7.0)/%	4 级(≥7.0)/%	均值*	变幅
岛石	52	16 10	23	0	5.3 ± 0.7 abc	4.6~6.9
昌化	48	39 3	7	3	5.2 ± 0.7 abc	4.4~7.5
龙岗	71	17 9	3	0	4.9 ± 0.4 c	4.4~6.2
清凉峰	25	41 25	9	0	5.4 ± 0.5 ab	4.7~6.8
湍口	32	36 8	16	8	5.5 ± 0.7 a	4.7~7.4
河桥	55	30 5	10	0	5.1 ± 0.4 bc	4.6~6.2
太阳	47	20 20	7	6	5.4 ± 0.8 ab	4.7~7.5

说明：* 采用 Duncan 新复极差法进行多重比较；不同小写字母表示 0.05 水平下存在显著差异。

化程度显然受人为干扰，特别是长期大量化学肥料施用引起的土壤酸化影响^[13]。

2.3 不同乡镇山核桃林地土壤有机质质量分数水平差异

临安 7 个乡镇山核桃林地土壤有机质质量分数也存在较大差异。由表 3 可以看出：除清凉峰和河桥 2 个乡镇外，其他 5 个乡镇有机质平均质量分数均高于 30.0 g·kg⁻¹。7 个乡镇林地土壤有机质质量分数顺序为昌化>岛石>湍口>太阳>龙岗>清凉峰>河桥。昌化镇土壤有

表 3 不同乡镇山核桃林地土壤有机质质量分数等级分布

Table 3 Distribution frequencies of organic matter contents in the soils in seven towns in Lin'an City

乡镇	1 级(< 10.0)/%	2 级(10.0~20.0 20.0~30.0)/%	3 级(30.0~ 40.0)/%	4 级(≥40.0 g·kg ⁻¹)/%	均值/(g·kg ⁻¹)	变幅/(g·kg ⁻¹)
岛石	0	3 42	26	29	34.3 ± 11.3 ab	17.4~67.7
昌化	0	10 16	26	48	38.0 ± 13.3 a	10.9~66.5
龙岗	3	15 34	31	17	30.1 ± 10.5 bcd	9.7~55.8
清凉峰	0	19 47	31	3	26.8 ± 8.2 cd	11.2~51.7
湍口	0	0 40	44	16	33.2 ± 8.6 ab	20.4~54.2
河桥	0	30 30	35	5	25.5 ± 9.1 d	11.1~41.8
太阳	0	7 26	47	20	32.5 ± 7.5 ab	18.5~45.9

说明：不同小写字母表示 0.05 水平下存在显著差异。

机质质量分数最高，为 38.0 g·kg⁻¹，显著高于龙岗(30.1 g·kg⁻¹)，清凉峰(26.8 g·kg⁻¹)和河桥(25.5 g·kg⁻¹)等 3 个乡镇($P<0.05$)。全镇 74% 林地土壤有机质质量分数高于 30.0 g·kg⁻¹，有机质丰富，这与昌化镇海拔较高，石灰岩面积分布广，有利于土壤有机质积累有关^[14]；河桥镇有机质质量分数均值(25.5 g·kg⁻¹)仅为昌化镇的 67%，显著低于其他乡镇（龙岗镇除外），全镇 60% 的林地土壤有机质质量分数低于 30.0 g·kg⁻¹，其中低于 20.0 g·kg⁻¹ 的区域也达到 30%。这与河桥镇土壤类型分布以及相对海拔较低有关。从土壤最高 pH 6.2 及 pH 5.5 以上的林地仅占 15% 可以推知：河桥镇成土母质母岩中灰岩类母岩特别是石灰岩分布相对少，土壤以黄红泥土和砂黏质黄泥土为主^[15]，山核桃林地经营过程中人为干扰对加速土壤有机质矿化分解作用大。湍口镇和太阳镇林地土壤有机质处于中间水平，分别为 33.2 g·kg⁻¹ 和 32.5 g·kg⁻¹，2 个乡镇有机质质量分数高于 30.0 g·kg⁻¹ 的山核桃林地面积分别为 60% 和 67%；同时湍口镇有机质质量分数均高于 20.0 g·kg⁻¹，有机质较丰富。

2.4 不同乡镇山核桃林地土壤有效氮水平比较

临安 7 个乡镇山核桃林地土壤有效氮均处于较高或很高水平(表 4)，其中湍口镇最高，为 173.2 mg·kg⁻¹，林地土壤有效氮质量分数高于 100.0 mg·kg⁻¹ 的区域占 100%，比河桥镇和龙岗镇显著高 39.6 mg·kg⁻¹ 和 28.6 mg·kg⁻¹ ($P<0.05$)；

表 4 不同乡镇山核桃林地土壤有效氮等级分布

Table 4 Distribution frequency of available nitrogen contents in the soils in seven towns in Lin'an City

乡镇	1 级(< 80.0)/%	2 级(80.0~ 100.0)/%	3 级(100.0~ 200.0)/%	4 级(≥200.0 mg·kg ⁻¹)/%	均值/(mg·kg ⁻¹)	变幅/(mg·kg ⁻¹)
岛石	0	3	77	19	164.3 ± 43.2 ab	89.6~256.8
昌化	7	3	68	23	156.1 ± 48.4 abc	56.6~249.5
龙岗	3	11	74	11	144.6 ± 40.6 bc	62.1~241.3
清凉峰	3	3	88	6	152.4 ± 37.2 abc	68.4~255.0
湍口	0	0	84	16	173.2 ± 35.0 a	111.7~263.8
河桥	0	25	65	10	133.6 ± 39.2 c	86.4~206.4
太阳	0	7	73	20	169.3 ± 42.9 ab	99.5~269.0

说明：不同小写字母表示 0.05 水平下存在显著差异。

质量分数均较高，显然是由于人为施入氮肥的量相当所致。

2.5 不同乡镇山核桃林地土壤有效磷水平比较

从表 5 可以看出：7 个乡镇之间山核桃林地土壤有效磷水平差异极大，其中岛石镇土壤有效磷质量分数最高(33.0 mg·kg⁻¹)，与昌化等其他 6 个乡镇呈显著性差异($P<0.05$)，有效磷质量分数高于 20.0 mg·kg⁻¹ 的区域占 58%，77% 的林地土壤有效磷质量分数高于 10.0 mg·kg⁻¹，仅 10% 的林地面积有效磷质量分数低于 5.0 mg·kg⁻¹。其次是河桥镇和清凉峰镇，有效磷质量分数分别是 20.7 和 12.6 mg·kg⁻¹，林地土壤有效磷质量分数也较充足，但 2 个乡镇土壤有效磷质量分数低于 10.0 mg·kg⁻¹ 的区域分别占 50% 和

60%；龙岗镇、昌化镇和太阳镇的土壤有效磷质量分数最低，分别是 6.5，7.4 和 7.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，3 个乡镇约 60%的林地土壤有效磷质量分数低于 5.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤 pH 值过高或过低都会使土壤磷的有效性降低，龙岗镇林地土壤 pH 值处在最低水平(pH 4.9)，有效磷质量分数不足 10.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的区域占该镇总区域的 86%；昌化镇有效磷质量分数低于 10.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 区域占 80%，湍口镇有 76%的土壤有效磷低于 10.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.6 不同乡镇山核桃林地土壤速效钾水平比较

充足的钾对于提高作物抗病抗逆性及农产品品质有较好的促进作用。由表 6 可以看出：7 个乡镇土壤速效钾变幅为 18.9~255.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，极差达 236.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ；除龙岗镇外，其他 6 个乡镇速效钾质量分数均值均大于 80.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，河桥镇山核桃林地土壤速效钾质量分数最高(102.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)，但同一乡镇内的速效钾质量分数存在较大的空间差异，土壤速效钾水平普遍不高。土壤速效钾质量分数不足 80.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的林地，河桥镇、昌化镇和太阳镇分别占 30%，38%和 54%。岛石、清凉峰和湍口等 3 个乡镇土壤速效钾质量分数分别是 84.3，88.2 和 80.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，3 个乡镇 55%，44%和 60%的林地土壤速效钾质量分数处于中等以下水平。龙岗镇土壤酸性强，林地土壤速效钾最低，仅为 66.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，高于 120.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的林地区域仅占 3%，69%的林地土壤速效钾不足 80.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.7 山核桃林地土壤肥力指标相关性分析

土壤肥力化学指标之间存在不同程度的相关关系(表 7)，其中土壤有机质与有效氮呈极显著的正相关。相关系数达 0.764，表明土壤有机质与土壤供氮能力密切相关，这与众多的研究结果一致。另外，土壤速效钾与有效氮、有效磷达到显著、极显著相关。人为经营条件下，氮磷钾三要素有效态水平主要受施肥调控，特别是高养分水平是施肥的结果。因此，土壤有效氮受土壤有机质水平状况和人为施肥措施的双重影响。土壤 pH 值与有效氮达到极显著负相关性，随着土壤有效氮水平的提高，土壤 pH 值降低，酸性增强。

表 5 不同乡镇山核桃林地土壤有效磷等级分布

Table 5 Distribution frequency of soil availability phosphorus in the soils of seven towns in Lin'an City

乡镇	1 级(< 5.0)/%	2 级(5.0~ 9.9)/%	3 级(10.0~ 19.9)/%	4 级(≥20.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)/%	均值/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	变幅/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
岛石	10	13	19	58	33.0 ± 30.4 a	2.2~78.6
昌化	48	32	13	7	7.4 ± 7.6 c	1.9~35.7
龙岗	63	23	6	9	6.5 ± 0.8 c	1.4~30.9
清凉峰	38	22	16	25	12.6 ± 13.9 bc	1.4~62.6
湍口	40	36	12	12	9.6 ± 10.0 c	1.7~37.0
河桥	30	20	20	30	20.7 ± 30.0 b	1.8~130.1
太阳	53	13	27	7	7.7 ± 6.1 c	1.8~20.6

说明：不同小写字母表示 0.05 水平下存在显著差异。

表 6 不同乡镇山核桃林地土壤速效钾等级分布

Table 6 Distribution frequency of available potassium contents in the soils of seven towns in Lin'an City

乡镇	1 级(≤ 50.0)/%	2 级(50.0~ 80.0)/%	3 级(80.0~ 120.0)/%	4 级(≥120.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)/%	均值/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	变幅/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
岛石	23	32	32	13	84.3 ± 45.9 ab	18.9~216.1
昌化	19	19	26	36	96.6 ± 27.9 a	33.0~169.2
龙岗	40	29	29	3	66.6 ± 3.7 b	25.5~151.4
清凉峰	13	31	47	9	88.2 ± 41.2 ab	31.0~255.7
湍口	20	40	36	4	80.6 ± 28.6 ab	42.5~159.5
河桥	5	25	50	20	102.4 ± 38.0 a	42.9~196.2
太阳	7	47	20	27	93.8 ± 39.8 a	46.4~167.0

说明：不同小写字母表示 0.05 水平下存在显著差异。

表 7 研究区山核桃林地土壤化学性质之间的相关性

Table 7 Correlation between soil chemical properties in seven towns in Lin'an City

指标	有机质	pH 值	速效钾	有效磷	有效氮
pH 值	0.104	1			
速效钾	0.125	0.086	1		
有效磷	0.105	-0.064	0.276**	1	
有效氮	0.764**	-0.242**	0.187*	0.067	1

说明：**表示在置信度(双侧)为 0.01 时，相关性达到极显著水平；*表示在置信度(双侧)为 0.05 时，相关性达到显著水平。

3 讨论

林地土壤肥力状况是决定山核桃产量和品质的关键因素^[16]。土壤肥力常规指标性质中,土壤有机质是最关键的土壤肥力化学性质,不仅仅在土壤养分供应和保持方面起作用,对土壤其他理化性质的改善、微生物活动都起着重要作用。通常情况下,不像土壤 pH 值和速效养分,在周年植物生长期间土壤有机质质量分数变化较小,一般保持基本稳定^[5]。研究区山核桃林地土壤有机质质量分数(平均 $31.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)与钱孝严等^[6]($30.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)及祝小祥等^[3]($32.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)的调研结果一致。土壤 pH 值和速效养分与植物生长、人为施肥等因素直接相关,因此,季节性变化大^[11]。秋冬季节,植物代谢活动减弱,土壤 pH 值和速效养分状况基本不受植物的影响,能更好地反应土壤肥力基本情况;而在植物生长季节,土壤养分状况更能反映植物生长和养分吸收代谢与土壤养分供求之间相互作用和平衡的关系^[5]。林地土壤养分的有效性与它在土壤中的转化有重要关系,自然条件下山核桃多分布于石灰岩发育的土壤上,石灰岩土壤中的磷易于发生固定作用而使有效性降低易导致植物缺磷,会影响山核桃的生长发育^[17]。当土壤有效磷低于 $10.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,山核桃植株有可能缺磷^[12]。山核桃林地土壤养分元素的亏缺与否受山核桃生态特性、成土母质及林地地形等综合因素影响较大。山核桃一般于 9 月采收,11 月落叶进入休眠期,于翌年春天发芽长叶。山核桃分布区多为坡陡土薄的山区,林农为方便采收,林下植被常被清除,使冬季地表几乎完全裸露,因此,土壤中残留养分极易随水土流失而损失。影响更大的则是人为施肥对山核桃生长、产量及土壤肥力化学性质的影响^[5,11]。

山核桃是一种适合生长于微酸性及以上的土壤上的木本植物^[18],不耐低 pH 值。我们的研究结果显示:凡连片发生山核桃叶片黄花、枯梢等生长不良症状,树根死亡严重的山核桃林地,土壤 pH 值均低于 pH 5.0(尚未发表)。土壤 pH 值全面反映土壤理化性质,是土壤肥力的重要指标之一。通过对临安 7 个乡镇调查研究分析的结果,与洪游游等^[2]的研究比较得知,土壤 pH 值由 20 世纪末的 pH 6.0~7.0 变为现在的 pH 5.2。研究区有 75% 林地土壤 pH 值低于 pH 5.5,若考虑林木生长阶段性,则 pH 值可能更低^[11]。山核桃林地土壤酸化加剧,致酸离子过量会对山核桃产生毒害,龙岗镇山核桃林地强酸性土壤比例最高(71%),许多老树林死亡与此关系密切,可能是铝毒所致^[19],其机制有待研究。因此,以山核桃林地酸化为典型的土壤退化问题必须得到高度重视。

土壤中养分元素的有效性受土壤 pH 值影响巨大。养分有效性的最高值多出现在土壤 pH 6.5~7.5 之间,土壤 pH 值过高或过低,都会使供给植物生长的营养元素有效性发生变化,导致植物所需的营养元素失调^[20]。人工施肥是土壤养分的重要来源,氮素作为三大营养元素之一,大量施用,对土壤氮水平产生直接影响。研究区土壤有效氮普遍较高或很高,反映出林农大量施用氮肥情况,不仅影响氮肥利用率,引起资源浪费和环境问题,还会带来土壤酸化的加剧。此外,当土壤氮素水平高时,增施氮肥还会引起山核桃减产^[21]。

郭传友等^[22]研究表明:土壤有效磷能显著影响山核桃果实中粗脂肪含量,从而影响山核桃品质和商品价值。在高氮水平下,大量山核桃林地土壤磷有效性偏低,氮磷养分比例失调,可能会成为影响作物产量和品质的限制因子。在酸性条件下(龙岗镇 pH 4.9),磷易被土壤中的铁、铝固定,磷的有效性降低,使研究区存在普遍缺磷状态。通过提高土壤 pH 值和增施有机肥等措施,有利于提高土壤磷的有效性。研究发现:磷水平的空间差异性较大,对于土壤有效磷水平较高的岛石、河桥和清凉峰等 3 个乡镇部分区域,在保障山核桃磷素需求的同时,还要重视和避免山核桃林地土壤磷的淋失风险^[12]。

充足的钾素可以提高作物抗逆性及促进丰产和增进农产品品质。山核桃是一种需钾量较大的木本植物,其叶片含钾量较高,同时,山核桃收获带走的果实蒲壳中也含有很高的钾^[23]。因此,其需钾水平应与许多农作物相当^[10]。研究区速效钾质量分数平均为 $85.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有 51% 的林地土壤的速效钾不足 $80.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,需增施钾肥。然而,迄今有关山核桃氮磷钾三要素需肥和营养临界水平等土壤植物营养的基本研究仍然甚为缺乏,亟待深化。

提高山核桃林地酸性土壤 pH 值,减少氮肥用量,增施钾肥和提高土壤磷有效性,开展土壤改良和积极调整施肥结构已经成为山核桃林地发展亟须解决的问题。因山核桃产区土壤母岩、母质及分布海拔、坡度等不同,以及不同区域乡镇施肥管理措施、习惯差别,即使同一土壤但不同林农山核桃林地间

土壤性质也可能差异悬殊^[11]，因此，需要在土壤测试的基础上，因地制宜地制定对策，推广测土配方施肥工作，以实现山核桃产业的健康发展。

4 结论

研究区7个乡镇山核桃林地土壤pH值平均为pH 5.2，75%的林地土壤pH值低于pH 5.5，47%的林地土壤pH值低于pH 5.0，土壤酸化普遍且严重，以龙岗镇最为严重；土壤有机质平均为31.6 g·kg⁻¹，普遍较高；土壤有效氮普遍较高或过高；龙岗、昌化和太阳等3个乡镇土壤有效磷有待提高；岛石有58%的林地土壤有效磷超过20.0 mg·kg⁻¹，磷素淋失风险大；研究区51%的林地土壤速效钾质量分数不足80.0 mg·kg⁻¹，其中龙岗和湍口超过60%。施肥数量和结构对土壤pH值和林地养分丰缺有极大影响。建议研究区7个乡镇因地制宜地制定区域施肥规划：减少氮肥用量，大力改良山核桃林地土壤酸性，重视钾肥施用，提高磷肥利用率，开展测土施肥，促进山核桃林地土壤健康和山核桃平稳生产。

5 参考文献

- [1] 黄坚钦，夏国华. 图说山核桃生态栽培技术[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，2008.
- [2] 洪游游，唐小华，王慧. 山核桃林土壤肥力的研究[J]. 浙江林业科技，1997，17(6)：1-8.
HONG Youyou, TANG Xiaohua, WANG Hui. Study on soil fertility of *Carya cathayensis* forests [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 1997, 17(6)：1-8.
- [3] 祝小祥，徐祖祥，徐进，等. 临安山核桃主产区土壤理化性状变化的研究[J]. 农学学报，2014，4(6)：32-35, 40.
ZHU Xiaoxiang, XU Zuxiang, XU Jin, *et al.* A study on the change in soil physical and chemical properties in the Chinese hickory production area of Lin'an [J]. *J Agric*, 2014, 4(6)：32-35, 40.
- [4] 王年金，方建华，徐建斌. 山核桃退化林地生态修复技术[J]. 林业实用技术，2011(12)：22-23.
WANG Nianjin, FANG Jianhua, XU Jianbin. Technology of ecological restoration to degraded Chinese hickory forests [J]. *Pract For Technol*, 2011(12)：22-23.
- [5] 童根平，王卫国，张圆圆，等. 大田条件下山核桃林地土壤和叶片养分变化规律[J]. 浙江林学院学报，2009，26(4)：516-521.
TONG Genping, WANG Weiguo, ZHANG Yuanyuan, *et al.* Seasonal changes of soil and leaf nutrient levels in a *Carya cathayensis* orchard [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, 26(4)：516-521.
- [6] 钱新标，徐温新，张圆圆，等. 山核桃果仁微量元素分析初报[J]. 浙江林学院学报，2009，26(4)：511-515.
QIAN Xinbiao, XU Wenxin, ZHANG Yuanyuan, *et al.* Trace elements in kernels of Chinese hickory (*Carya cathayensis*) grown in limestone and non-limestone soils [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, 26(4)：511-515.
- [7] 钱孝炎，黄坚钦，帅小白，等. 临安市不同乡镇山核桃林地土壤理化性质比较[J]. 浙江林业科技，2013，33(1)：7-11.
QIAN Xiaoyan, HUANG Jianqin, SHUAI Xiaobai, *et al.* Comparison of soil physiochemical properties at *Carya cathayensis* stands in Lin'an [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2013, 33(1)：7-11.
- [8] 陈卫新，邬奇峰，黄仁仁，等. 临安市山核桃林地土壤肥力状况及存在问题[J]. 中国农技推广，2013，29(6)：45-46.
CHEN Weixin, WU Qifeng, HUANG Sansan, *et al.* Soil fertility situation and problems in *Carya cathayensis* orchards [J]. *China Agric Technol Ext*, 2013, 29(6)：45-46.
- [9] 吕惠进. 浙江临安山核桃立地环境研究[J]. 森林工程，2005，21(1)：1-3, 6.
LÜ Huijin. The natural stands conditions of *Carya cathayensis* Sarg. in Lin'an County of Zhejiang Province [J]. *For Eng*, 2005, 21(1)：1-3, 6.
- [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，2000.
- [11] 张春苗，张有珍，姚芳，等. 临安山核桃主产区土壤pH值和有效养分的时空变化[J]. 浙江农林大学学报，2011，28(6)：845-849.
ZHANG Chunmiao, ZHANG Youzhen, YAO Fang, *et al.* Temporal and spatial variation of soil pH and nutrient availability for *Carya cathayensis* orchards in Lin'an [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, 28(6)：845-849.

- [12] 赵伟明, 王艳艳, 马嘉伟, 等. 临安山核桃林地土壤磷素状况及其淋失风险分析[J]. 浙江农业学报, 2014, **26**(1): 154 – 158.
ZHAO Weiming, WANG Yanyan, MA Jiawei, *et al.* Phosphorus status and its leaching loss risks in the soils of Chinese hickory orchards in Lin'an City, Zhejiang Province [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2014, **26**(1): 154 – 158.
- [13] 徐祖祥, 盛雪峰, 孙吉林, 等. 临安市山核桃土宜调查与分析: 以油黄泥土为例[J]. 杭州科技, 2002(5): 42 – 43.
XU Zuxiang, SHENG Xuefeng, SUN Jilin, *et al.* Investigation and analysis of soil conditions for optimal growth of *Carya cathayensis* Sarg. in Lin'an County of Zhejiang Province [J]. *Hangzhou Sci Technol*, 2002(5): 42 – 43.
- [14] 卢玫桂, 曹建华, 何寻阳. 桂林毛村石灰土和红壤元素生物地球化学特征研究[J]. 广西科学, 2006, **13**(1): 58 – 64.
LU Meigui, CAO Jianhua, HE Xunyang. The comparative study of biogeochemistry between limestone soil and red soil in Maocun, Guilin [J]. *Guangxi Sci*, 2006, **13**(1): 58 – 64.
- [15] 杭州市土壤普查办公室. 杭州土壤[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.
- [16] 裘希雅, 蒋玉根, 陈瑛, 等. 不同土壤环境对山核桃品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2014(4): 588 – 591.
QIU Xiya, JIANG Yugen, CHEN Ying, *et al.* Effect of soil environmental conditions on nut quality of *Carya cathayensis* Sarg. [J]. *Zhejiang Agri Sci*, 2014(4): 588 – 591.
- [17] 李永夫, 金松恒, 叶正钱, 等. 低磷胁迫对山核桃幼苗根系形态和生理特征的影响[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27**(2): 239 – 245.
LI Yongfu, JIN Songheng, YE Zhengqian, *et al.* Root morphology and physiological characteristics in *Carya cathayensis* seedlings with low phosphorus stress [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(2): 239 – 245.
- [18] 傅松玲, 丁之恩, 周根土, 等. 安徽山核桃适生条件及丰产栽培研究[J]. 经济林研究, 2003, **21**(2): 1 – 4.
FU Songling, DING Zhien, ZHOU Gentu, *et al.* The suitable condition and cultivation technique of *Carya cathayensis* [J]. *Nonwood For Res*, 2003, **21**(2): 1 – 4.
- [19] 肖厚军, 王正银. 酸性土壤铝毒与植物营养研究进展[J]. 西南农业学报, 2006, **19**(6): 1180 – 1188.
XIAO Houjun, WANG Zhengyin. Advance on study of aluminum toxicity and plant nutrition in acid soils [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2006, **19**(6): 1180 – 1188.
- [20] 陈婵婵, 肖斌, 余有本, 等. 陕南茶园土壤有机质和 pH 值空间变异及其与速效养分的相关性[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, **37**(1): 182 – 188.
CHEN Chanchan, XIAO Bin, YU Youben, *et al.* Spatial variability of soil organic matter and pH and the correlation to available nutrients in the tea garden of southern Shaanxi [J]. *J Northwest A & F Univ Nat Sci Ed*, 2009, **37**(1): 182 – 188.
- [21] 宋素灵. 山核桃林地土壤退化现状和施肥改良研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2014.
SONG Suling. *Carya cathayensis* Sarg. *Forest Soil Degradation and Its Improvement Through Fertilization* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2014.
- [22] 郭传友, 黄坚钦, 王正加, 等. 大别山山核桃果实品质与土壤性质的相关分析[J]. 经济林研究, 2006, **24**(4): 19 – 22.
GUO Chuanyou, HUANG Jianqin, WANG Zhengjia, *et al.* Correlation analysis between soil property and fruit quality in *Carya dabieshanensis* [J]. *Nonwood For Res*, 2006, **24**(4): 19 – 22.
- [23] 陈向明, 俞志敏, 金杰, 等. 山核桃外蒲壳无机成分的分析研究[J]. 分析试验室, 2007, **26**(8): 45 – 47.
CHEN Xiangming, YU Zhimin, JIN Jie, *et al.* Studies on the inorganic composition of hickory hull [J]. *Chin J Anal Lab*, 2007, **26**(8): 45 – 47.