

# 湖南省柑橘园土壤营养状况及其对叶片养分的影响<sup>①</sup>

曹 胜<sup>1</sup>, 欧阳梦云<sup>2</sup>, 周卫军<sup>1\*</sup>, 崔浩杰<sup>1</sup>, 段群滔<sup>1</sup>, 宋 彪<sup>1</sup>

(1 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2 湖南农业大学食品科技学院, 长沙 410128)

**摘 要:** 为了解湖南省柑橘园土壤及叶片养分丰缺状况, 对湖南省 82 个柑橘主产区土壤和植株叶片的矿质元素含量进行分析测试, 运用曲线回归方法分析了土壤酸碱性与土壤肥力间相关性, 采用典型性相关分析方法研究了土壤与叶片养分的定量统计关系。结果表明: 全省 86.75% 的柑橘园土壤 pH 为酸性至强酸性, 78.31% 的土壤有机质含量处于适宜水平, 有效氮、磷、钾缺乏土壤比例分别为 15.66%、69.88% 和 27.71%, 柑橘叶片全氮、磷、钾缺乏比例分别为 12.35%、16.05% 和 18.52%。曲线回归分析结果显示, 土壤养分含量与 pH 存在密切的关系, 土壤有机质( $Y_1$ )、碱解氮( $Y_2$ )、有效磷( $Y_3$ )、速效钾( $Y_4$ )与 pH( $X$ )的拟合关系分别为:  $Y_1=2.15X^2-24.17X+85.53(R^2=0.53)$ 、 $Y_2=0.255X^2-3.17X+91.29(R^2=0.36)$ 、 $Y_3=5.51X^2-66.37X+208.22(R^2=0.43)$ 、 $Y_4=5.59X^2-37.24X+213.43(R^2=0.40)$ 。典型性相关分析结果显示, 土壤养分含量水平的高低对叶片中其他养分含量也存在明显的影响, 柑橘园土壤养分指标( $X_1$ : pH;  $X_2$ : 有机质;  $X_3$ : 碱解氮;  $X_4$ : 有效磷;  $X_5$ : 速效钾)与叶片养分指标( $Y_1$ : 氮;  $Y_2$ : 磷;  $Y_3$ : 钾)的拟合模型分别为:  $U_1=-0.390X_1+0.909X_2+0.398X_3+0.269X_4-0.297X_5$ ,  $V_1=0.792Y_1+0.637Y_2-0.132Y_3$ 。在园区培肥管理时, 应注意调节土壤酸碱度, 因土酌情采取增施氮肥、磷肥和钾肥等综合平衡施肥措施。

**关键词:** 湖南省; 柑橘园; 土壤养分; 叶片养分; 回归分析; 典型性相关分析

中图分类号: S666 文献标识码: A

湖南省是我国柑橘主产优势区之一, 属大陆性亚热带季风湿润气候, 近年来全省柑橘种植面积为 38 万  $\text{hm}^2$ , 年产量在 517 万 t 以上。但与此同时, 柑橘品质问题也同样突出。柑橘园土壤营养状况、柑橘叶片养分状况与柑橘果实品质的提高有着密切关系。土壤理化性质影响土壤固肥和供肥能力, 叶片营养则反映树体营养和土壤养分利用效率<sup>[1-5]</sup>。目前针对柑橘园土壤或者树体养分的研究已有不少报道, 如淳长品等<sup>[6]</sup>对三峡库区部分柑橘园土壤营养状况研究表明, 多数果园土壤大量元素的有效含量处于缺乏范围, 土壤 pH 与有机质含量对土壤有效营养元素含量影响显著; 吉前华等<sup>[7]</sup>对贡柑叶片的矿质营养与果实品质的关系研究表明, 叶片氮含量与果实镁含量成正比, 与锰含量成反比; Zhou 等<sup>[8]</sup>在土壤硼元素对柑橘的叶片和根系影响等方面也做了大量的研究工作。但这些研究都很少将柑橘园中的土壤养分测定与树体叶片养分诊断作为一个有机整体进行系统研究, 从而导致得出的结论孤立或者难于应用于生产实际。对柑橘营

养诊断施肥时, 有必要将土壤营养诊断和叶片营养诊断相结合。基于此, 本文对湖南省 82 个柑橘示范园土壤及叶片养分状况进行测定, 以明确果园土壤和叶片养分丰缺状况, 查明果树营养限制因子; 并就柑橘园土壤与叶片养分含量进行相关性分析, 以比较两者的异同点, 发现施肥中存在的问题, 采取综合措施对柑橘园土壤进行科学改良和平衡施肥。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2017 年, 在湖南省柑橘主产区, 包括位于湘南、湘西、湘西南、湘西北的 12 个县域, 选择 82 个典型的柑橘园定点调查和采样(图 1)。本次调查以温州蜜桔园为研究对象, 树龄 15~30 a。土样采集时, 按照 S 型选取树冠滴水线内侧 10 cm 位置, 采集 5 点以上 0~40 cm 土层土壤样品(图 2), 混合均匀后, 按四分法分取 1 kg 左右土样, 于室内自然风干, 研磨制样, 分别过 10 目和 100 目筛, 装瓶待测。

基金项目: 现代农业(柑橘)产业技术体系专项基金项目(CARS-27)资助。

\* 通讯作者(wjzh0108@163.com)

作者简介: 曹胜(1991—), 男, 湖南长沙人, 博士研究生, 主要从事土地/土壤环境过程及模拟研究。E-mail: 1669149416@qq.com

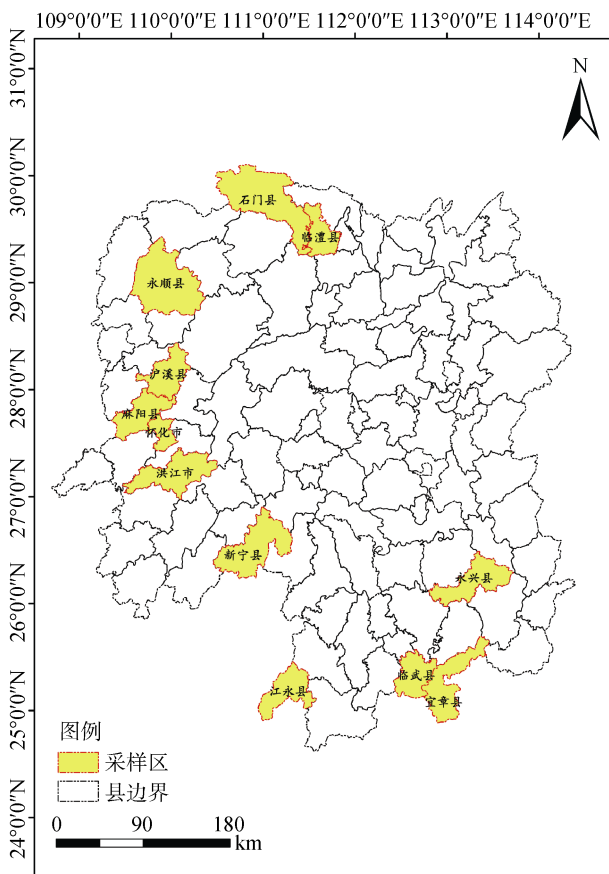


图 1 湖南省柑橘园分布

Fig. 1 Distribution of citrus orchards in Hunan Province

柑橘叶片采样时，保证与土壤样品采样点相对应。选择树形和长势基本一致的 5 株柑橘，每株按四周方向采集当年生 4~7 月龄的营养性春梢顶部叶片 40 片(带叶柄)，共计 200 片，于室内经去离子水清洗(叶片上残留的尘土、农药、叶面肥等)、杀青、玛瑙研钵磨碎、混匀、密封储存待测。

1.2 样品测定

采用电位法测定土壤 pH；重铬酸钾容量法测定土壤有机质；碱解扩散法测定土壤碱解氮；氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷；乙酸铵浸提-火焰光度法测定土壤速效钾。

植株氮、磷、钾含量测定，采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮法制备待测液，蒸馏法测定氮，钒钼黄比色法测定磷，火焰光度法测钾。

土壤和叶片各指标的具体测定方法详见参考文献[9-10]。

1.3 土壤养分分级指标

本文采用庄伊美等<sup>[11]</sup>和鲁剑巍等<sup>[12]</sup>结合柑桔生长适应性研究划分的土壤和叶片养分分级标准(表 1)。其研究认为，柑橘是喜微酸性土壤的果树，pH 过高或者过低均不适合柑橘果树的生长，最适酸碱度为弱酸性，pH 5.5~6.5；柑橘生长发育所要求土壤有机质最适宜范围为 15~30 g/kg；柑橘生长最适土壤有效氮、磷、钾含量分别是 80~90、30~40、100~150 mg/kg；叶片营养诊断时，叶片氮、磷、钾最适含量分别是 10~20、4~5.5、18~24 g/kg<sup>[11-12]</sup>。

1.4 数据处理

本文所有的数据采用 Microsoft Excel 2010 汇总整理，SPSS 20.0 进行统计分析，Origin 2017 制图。文中数据为 3 个重复样的平均值 ± 标准偏差。

2 结果分析

2.1 柑橘园土壤营养状况

2.1.1 土壤 pH 和有机质含量 土壤酸碱性是土壤的重要属性之一，对于土壤营养成分有效性、土壤微生物活性及作物的生长发育均有明显的影响<sup>[13]</sup>。当土壤 pH>7.5 时，柑橘叶片容易出现缺铁症状，当土壤 pH<5.5 时，土壤板结造成土壤的吸水、吸氧及营养物质的吸附能力降低，影响柑橘根系对磷、钾、钙、镁等营养元素的吸收，影响柑橘生长发育<sup>[14]</sup>。本研究结果显示，采集的 82 个柑橘园土壤 pH 的整体变幅为 3.19~7.37，平均值为 4.54(表 2)。其中，仅有 9.64% 的果园土壤 pH 在 5.5~6.5 的最适宜范围，3.61% 的果园土壤 pH 在中性 6.5~7.5 范围，33.73% 的果园土壤 pH 处于酸性 4.5~5.5 范围，53.01% 的果园土壤 pH 处于 4.5 强酸性环境。

表 1 柑橘园土壤和叶片养分含量分级标准<sup>[11-12]</sup>  
Table 1 Grading standards of nutrient contents in citrus orchard soil and citrus leaves

指标	缺乏	低	中等	适宜	高	
土壤	有机质(g/kg)	< 5	5~10	10~15	15~30	>30
	碱解氮 (mg/kg)	< 50	50~70	70~80	80~90	>90
	有效磷(mg/kg)	< 10	10~20	20~30	30~40	>40
	速效钾(mg/kg)	< 50	50~80	80~100	100~150	>150
叶片	氮(g/kg)	< 2	2~6	6~10	10~20	>20
	磷(g/kg)	< 0.9	0.9~2.5	2.5~4	4~5.5	>5.5
	钾(g/kg)	< 7	7~11	12~17	18~24	>24
土壤 pH	强酸性 4.5	酸性 4.5~5.5	弱酸性 5.5~6.5	中性 6.5~7.5	碱性 7.5~8.5	强碱性>8.5

表 2 湖南省土壤养分状况及丰缺评价  
Table 2 Soil nutrient status and evaluation in Hunan Province

指标	均值±标准差	变异系数(%)	范围	样品分布(%)		
				低量水平	适宜水平	高量水平
pH	4.54 ± 0.77	16.96	3.19 ~ 7.37	86.75	9.64	3.61
有机质(g/kg)	20.39 ± 7.2	35.31	10.09 ~ 39.68	12.05	78.31	9.64
碱解氮(mg/kg)	82.39 ± 2.93	3.56	76.81 ~ 92.80	15.66	80.72	2.41
有效磷(mg/kg)	23.79 ± 21.41	90.00	2.39 ~ 99.83	69.88	9.64	19.28
速效钾(mg/kg)	161.8 ± 99.88	61.73	32.34 ~ 639.51	27.71	31.33	40.96

土壤有机质含量与土壤肥力有密切的关系,不仅含有植物所需的各种营养元素,如氮、磷、钾、碳、硫等;同时,腐殖质也是土壤团粒结构的重要组成部分,影响着土壤的水分、温度、空气和养分状况。土壤有机质含量的多少,在一定程度上可以反映土壤的肥力高低,测定其含量,可以作为施肥改土、提高土壤肥力的依据<sup>[15-17]</sup>。湖南省柑橘示范园土壤有机质的整体变幅为 10.09 ~ 39.68 g/kg,平均值为 21.23 g/kg(表 2)。其中,78.31% 的柑橘园土壤有机质含量处于 15 ~ 30 g/kg 适宜水平,12.05% 的柑橘园土壤有机质含量处于 10 ~ 15 g/kg 中等水平,9.64% 的柑橘园土壤有机质含量处于 >30 g/kg 高含量水平。

**2.1.2 土壤矿质元素有效含量** 柑橘果树所需营养大部分是由土壤供给的,测定土壤中碱解氮、有效磷、速效钾含量,可反映土壤的有效氮、磷、钾供应能力,对柑橘推荐施肥具有指导意义。湖南省柑橘园土壤有效氮、磷、钾养分含量差异显著,其含量范围分别是 76.81 ~ 92.80、2.39 ~ 99.83、32.34 ~ 639.51 mg/kg(表 2)。

碱解氮是衡量土壤肥力的一个重要指标。柑橘示范园土壤碱解氮平均值为 82.39 mg/kg,处于适宜水平的柑橘园土壤占总数的 80.72%,表明湖南省柑橘园土壤碱解氮含量基本适宜。而含量低于 80 mg/kg 的样品占总数的 15.66%,造成柑橘园土壤氮素含量不足的原因可能是砂砾岩、紫色砂页岩这类砂质土壤易发生氮的流失、淋溶,同时施氮肥少或者肥料表施等也是造成氮素损失的重要原因<sup>[18]</sup>。

柑橘示范园土壤有效磷平均含量为 23.79 mg/kg,仅 9.64% 柑橘园土壤有效磷处于适宜含量,而有效磷严重缺乏( < 30 mg/kg)的样品占 69.88%。造成有效磷含量偏低的原因可能是酸性土壤中磷常与铁、铝、钙等结合成不溶性的磷酸铁、磷酸铝和磷酸钙而被固定<sup>[19]</sup>。

柑橘示范园土壤速效钾平均含量为 161.80 mg/kg,其中 31.33% 柑橘园土壤速效钾处于适宜含量,低于

适宜含量的样品数占总数的 27.71%。部分柑橘园速效钾含量偏低的原因可能是柑橘园砂质土、近代河湖冲积物、第四季红色黏土等土壤钾背景含量较低,同时丘陵山地水土流失严重,土壤淋溶性强<sup>[20]</sup>。

**2.1.3 土壤酸碱性**与土壤肥力的关系 研究表明,柑橘园土壤酸碱性与土壤有效态养分之间关系密切,土壤 pH 过高或过低,加剧元素间的促进或拮抗作用,均会造成营养元素失调<sup>[21-22]</sup>。土壤酸碱性对有机质的合成与分解、氮磷钾元素的转化和释放都有密切的关系。

生物的呼吸作用和有机质分解等过程中所形成的有机酸(如腐殖酸、氨基酸)和无机酸(如碳酸)能降低土壤的 pH。由图 2 可以看出,湖南省柑橘园有机质含量 15 ~ 30 mg/kg 的土壤分布较为广泛,对土壤 pH 和有机质含量进行二次曲线方程拟合: $Y=2.15X^2-24.17X+85.53(R^2=0.53)$ ,当 pH > 5.6 时,pH 与土壤有机质含量呈正相关关系,随着土壤 pH 增大,有机质含量呈现增加趋势;当 pH < 5.6 时,则相反。

土壤细菌和放射菌在接近中性和微碱性环境中活动最旺盛,土壤过酸过碱都将降低生物活性,从而降低养分转化速率。由图 2 可以看出,湖南省柑橘园碱解氮含量 80 ~ 90 mg/kg 的土壤分布较为广泛,对土壤 pH 和碱解氮含量进行二次曲线方程拟合: $Y=0.255X^2-3.17X+91.29(R^2=0.36)$ ,当 pH < 6.2 时,pH 与碱解氮含量呈现负相关关系,随着土壤 pH 增加,碱解氮含量出现缓慢降低趋势。湖南省柑橘园土壤质地多为砂土或轻壤,结构松散且成碎块状,施入的氮肥在土壤微生物的作用下转化为硝态氮或铵态氮,产生大量 H<sup>+</sup>,加速土壤酸化过程,同时也造成氮素的淋溶损失。

酸性过强,土壤活性铁、铝与磷酸形成难溶性的磷酸铁或磷酸铝沉淀而使土壤胶结成大块,不易破碎,磷的有效性降低。由图 2 可以看出,湖南省柑橘园土壤有效磷含量大部分处于 40 mg/kg 以下,对土壤 pH 和有效磷含量进行二次曲线方程拟合: $Y=5.51X^2-$

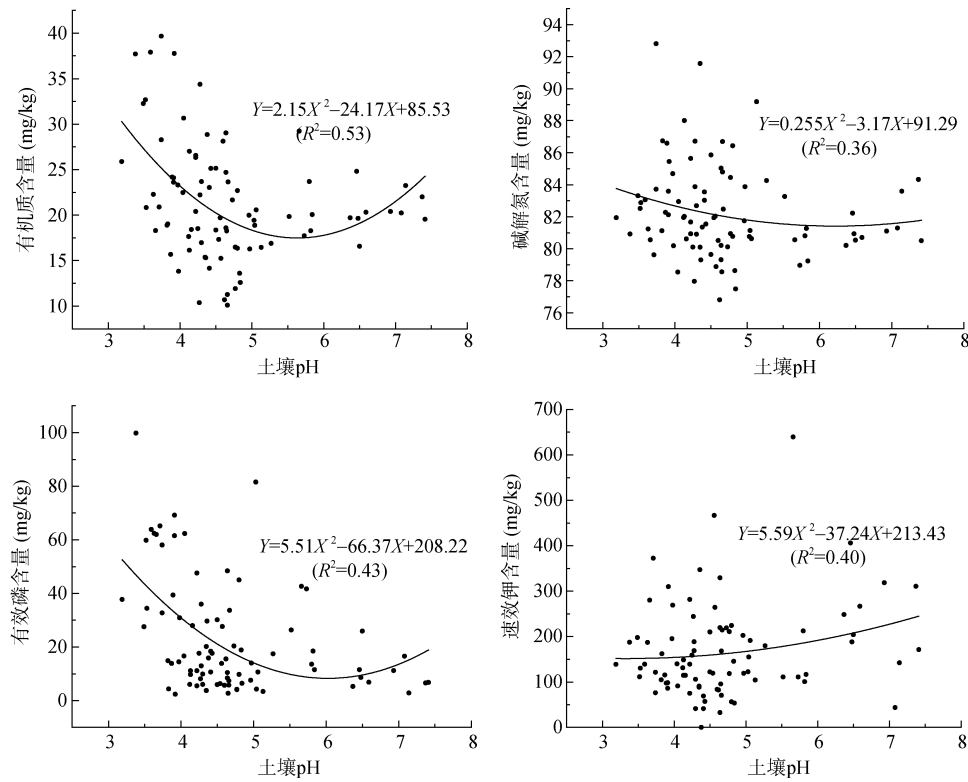


图 2 土壤 pH 和土壤养分含量之间变化趋势  
Fig. 2 Correlation between soil nutrients and pH

66.37X+208.22( $R^2=0.43$ ), 当 pH 6.0 时, pH 与土壤有效磷含量呈负相关关系, 随着土壤酸碱度增大, 有效磷含量呈现降低趋势; 当 pH>6.0 时, 则相反。说明土壤的酸化与磷肥的施用存在一定关系, 磷肥生产中残存的硫酸也是导致土壤酸化的重要原因。

钾在酸性土, 特别是强酸性土上容易淋洗损失。由图 2 可以看出, 土壤速效钾含量小于 250 mg/kg 的果园数量较多, 对土壤 pH 和速效钾含量进行二次曲线方程拟合:  $Y=5.59X^2-37.24X+213.43$ ( $R^2=0.40$ ), 两者之间呈现正相关关系, 当土壤在酸性条件范围时, 随着土壤酸碱度增大, 速效钾含量呈现缓慢增加趋势。

综上可知, 湖南省柑橘园土壤 pH 在 5.6~6.2 时, 土壤中矿质元素有效养分含量最高, 这与庄伊美等<sup>[11]</sup>和鲁剑巍等<sup>[12]</sup>研究认为适宜柑橘栽培的土壤 pH 为

5.5~6.5 基本吻合。

## 2.2 柑橘叶片矿质养分状况

与土壤养分含量相比, 叶片养分含量分析更能反映柑橘树养分丰缺情况。柑橘叶片大量元素含量测定结果表明(表 3), 氮、磷、钾含量变化差异较大, 其适宜含量范围分别是 10.0~20.0、4.0~5.5、18.0~24.0 g/kg。柑橘叶片氮平均含量为 11.85 g/kg, 12.35% 柑橘叶片样品处于氮素含量缺失状态。磷是形成柑橘叶片细胞原生质、核酸、细胞核和磷脂等物质的重要成分, 柑橘叶片磷平均含量为 4.23 g/kg, 其中 16.05% 叶片样品处于磷素含量不足。钾与柑橘的新陈代谢和碳水化合物合成、运输有密切关系, 柑橘叶片钾平均含量为 13.25 g/kg, 18.52% 柑橘叶片处于钾素含量缺乏状态。

表 3 柑橘叶片矿质元素的含量  
Table 3 Contents of mineral elements in citrus leaves

元素	变幅 (g/kg)	平均值 (g/kg)	样品分布(%)		
			低量水平	适量水平	高量水平
N	2.63~24.58	11.85±2.39	12.35	86.42	1.23
P	3.29~5.76	4.23±0.35	16.05	81.48	2.47
K	4.69~21.05	13.25±3.87	18.52	61.73	19.75

### 2.3 柑橘园土壤养分与叶片矿质养分相关性

柑橘叶片的养分含量与土壤中的养分含量密切相关,因为植物中大部分养分来源于土壤。研究土壤与叶片养分间的相关性,有助于了解土壤养分含量对植物吸收养分的直接影响及土壤中不同养分对植物中其他养分含量的影响,从而为正确地施肥和培肥地力提供科学依据。

为了进一步探明柑橘园土壤养分含量与叶片矿质养分元素含量之间的相关性,采用典型性相关分析方法研究土壤与叶片养分的定量统计关系。典型相关分析,即分析两组变量:土壤养分指标  $U=(X_1: \text{pH};$

$X_2$ : 有机质;  $X_3$ : 碱解氮;  $X_4$ : 有效磷;  $X_5$ : 速效钾) 和叶片养分指标  $V=(Y_1$ : 氮;  $Y_2$ : 磷;  $Y_3$ : 钾) 之间的相关关系。

一般认为维度系数大于 0.3, 则相关关系表现显著<sup>[23]</sup>。从表 4 可知, 3 组相关系数矩阵中只有第一组  $U_1$  和  $V_1$  相关系数为正向 0.788 9,  $P=0.000 1$ , 达到  $P < 0.01$  极显著水平, 同时第一组典型相关系数所包含信息占信息总量的 88.82%, 说明只有第一组典型变量显著性差异具有统计学意义, 能够充分地解释土壤养分含量  $U_1$  和叶片养分含量  $V_1$  两组变量间变化的强弱关系。

表 4 典型相关系数显著性检验  
Table 4 Significance test of typical correlation coefficient

No.	相关系数	Wilk's	卡方值	df	P 值
1	0.788 9	0.336 3	88.822 0	15	0.000 1
2	0.297 9	0.890 6	9.444 8	8	0.306 2
3	0.150 7	0.977 3	1.873 4	3	0.599 1

根据典型变量相关系数检验结果, 土壤养分指标  $U_1$  和叶片养分指标  $V_1$  两组变量由标准化数据组成的拟合公式为:  $U_1 = -0.390X_1 + 0.909X_2 + 0.398X_3 + 0.269X_4 - 0.297X_5$ ,  $V_1 = 0.792Y_1 + 0.637Y_2 - 0.132Y_3$ 。

湖南省 82 个柑橘示范园土壤养分含量与柑橘叶片养分含量相关性研究结果(图 3)显示, 土壤养分含量与叶片养分含量之间存在 78.89% 的相关性。土壤养分指标酸碱度、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的典型载荷分别为-0.390、0.909、0.398、0.269、0.297。

叶片养分指标氮、磷、钾的典型载荷分别为: 0.792、0.637、-0.132。说明土壤中 pH 与土壤有机质、碱解氮、有效磷及叶片中氮、磷含量呈负相关, 土壤有机质与碱解氮、有效磷含量及叶片中氮、磷含量呈正相关关系, 且两变量相关性绝对值大小排序为:  $X_2 > Y_1 > Y_2 > X_3 > X_1 > X_5 > X_4 > Y_3$ , 说明土壤中某种养分含量不但对植株吸收该种养分产生直接的影响, 同时还会影响到植物对其他养分的吸收, 从而显示出土壤中养分与叶片中养分元素间关系的复杂性<sup>[24]</sup>。

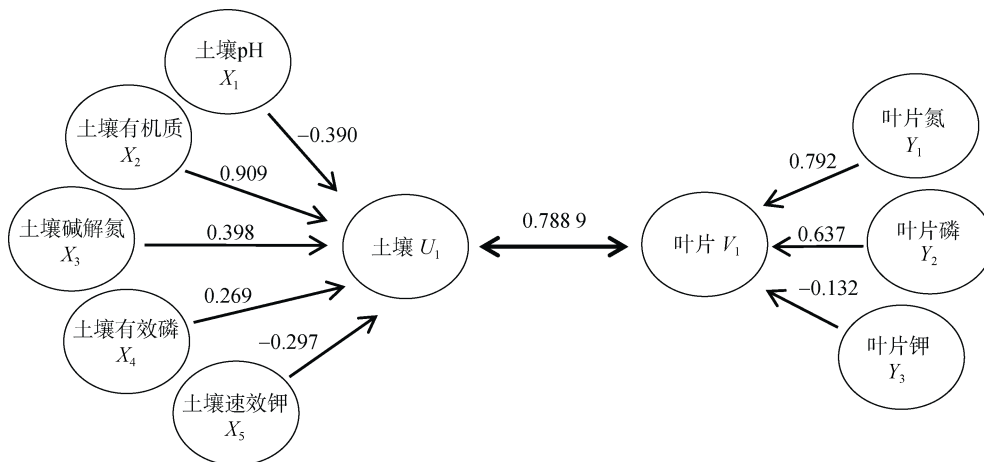


图 3 土壤养分与叶片养分含量相关系数结构图  
Fig.3 Correlation coefficient structure diagram of nutrient contents in soils and citrus leaves

### 3 讨论

在柑橘品质改良和提质增效过程中, 土壤和叶片养分丰缺情况是重要的研究课题。果园土壤分析可以

说明土壤养分的可利用性, 叶片养分分析表明了树体在生长过程中营养状态。湖南省超过 86.75% 的柑橘园土壤 pH 5.5, 处于酸性至强酸性环境, 这可能是柑橘栽培过程中长期施化肥所导致, 而一般认为适宜

柑橘栽培的土壤 pH 为 5.5~6.5<sup>[12]</sup>。合理施用石灰能够调节土壤酸碱性改善果实品质,张影等<sup>[25]</sup>研究发现,酸性土壤施用石灰可以显著提升果树营养成分吸收,降低果实酸度,提高果实固酸比。土壤有机质是土壤肥力的物质基础<sup>[16-17]</sup>,研究区柑橘园土壤有机质整体较好,其中 78.31% 的柑橘园土壤有机质含量处于 15~30 g/kg 适宜水平。

湖南省柑橘园土壤有效氮、磷、钾缺乏比例分别为 15.66%、69.88% 和 27.71%,叶片氮、磷、钾缺乏比例分别为 12.35%、16.05% 和 18.52%,这与马小川等<sup>[26]</sup>报导的湖南省温州蜜桔园土壤养分现状结论相似。果园土壤养分与叶片养分间关系复杂,土壤中某种养分含量不但对叶片吸收该种养分产生直接影响,同时还影响叶片对其他养分的吸收,尹杰<sup>[27]</sup>对贵州柑橘园土壤养分含量与叶片养分含量关系的分析结果表明,土壤与叶片中氮素相关性显著,叶片氮含量与土壤磷、钾含量呈显著负相关,叶片磷含量与土壤中钾含量呈显著负相关。本研究结果显示,土壤和叶片丰缺比例基本吻合,部分存在差距的原因主要是叶面肥喷施,土壤养分缺失并不能完全导致树体养分缺乏;另一方面原因是一种养分的施用抑制其他养分的吸收,由于某种养分施用过量也会造成原本土壤中不缺乏养分很难被树体吸收利用。

曲线回归分析结果表明,土壤养分含量间存在密切的关系,其中养分受 pH 影响最大,土壤中 pH 与土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量拟合曲线表明,在 pH 为 5.5~6.5 弱酸性环境时,各种养分有效性都最高。叶片营养主要来自于土壤,典型性相关分析结果表明,土壤养分含量与叶片养分含量之间存在 78.89% 的相关性,土壤 pH 与土壤有机质、碱解氮、有效磷含量及叶片中氮、磷含量呈负相关,土壤有机质含量与土壤中碱解氮、有效磷含量及叶片中氮、磷含量呈正相关关系,可推测提高土壤 pH,增加有机质含量,可有效改善土壤理化性状,促进叶片养分的吸收,这与吴倩等<sup>[28]</sup>、黄春辉等<sup>[29]</sup>在果园营养状况上的分析结论一致。土壤和叶片养分关系密切,因此进行柑橘园土壤改良时,应全面考虑养分的配合施用,选取合适的肥料品种,而不是孤立地只施用某一种单质肥。

总体而言,本试验就湖南省柑橘园土壤和叶片大量元素进行了初步研究,而柑橘园土壤、叶片以及果实大、中、微量矿质元素对柑橘生长发育的作用及影响营养元素的因子,是值得今后进一步深入研究的课题。

## 4 结论

湖南省柑橘示范园土壤普遍呈酸性,有机质含量适中,土壤和叶片存在不同程度缺素问题。柑橘园土壤酸碱性及土壤肥力的关系密切,土壤养分含量与叶片矿质养分元素含量相关性显著。因此,在园区培肥管理时应注意调节土壤酸碱性,改善土壤理化性质,因土酌情采取增施氮肥、磷肥和钾肥等综合平衡施肥措施。

## 参考文献:

- [1] 张强,魏钦平,刘旭东,等.北京昌平苹果园土壤养分、pH 与果实矿质营养的多元分析[J].果树学报,2011,28(3):377-383
- [2] 鲍江峰,夏仁学,彭抒昂,等.湖北省纽荷尔脐橙园土壤营养状况及其对果实品质的影响[J].土壤,2006,38(1):75-80
- [3] Fallahi E, Fallahi B, Neilsen G H, et al. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples[J]. Acta Horticulturae, 2011, 868: 49-60
- [4] Li Y, Han M Q, Lin F, et al. Soil chemical properties, 'Guanximiyu' pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian province, China[J]. Journal of Soil Science & Plant Nutrition, 2015, 15: 263-269
- [5] 邓小华,张瑶,田峰,等.湘西植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系[J].土壤,2017,49(1):49-56
- [6] 淳长品,彭良志,江才伦,等.三峡库区部分柑桔园土壤营养状况的初步研究[J].中国南方果树,2009,38(2):1-6
- [7] 吉前华,郭雁君,姚金明,等.贡柑叶片的矿质营养及其对果实品质影响的研究[J].西南农业学报,2010,23(3):786-790
- [8] Zhou G F, Peng S A, Liu Y Z, et al. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency[J]. Trees, 2014, 28(1):295-307
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000
- [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] 庄伊美,王仁玠,谢志南,等.柑桔、龙眼、荔枝营养诊断标准研究[J].东南园艺,1995(1):6-9
- [12] 鲁剑巍,陈防,王富华,等.湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):390-394
- [13] 胡启山.土壤的酸碱性对土壤肥力及作物生长的影响[J].科学种养,2010(10):63
- [14] 谢志南,庄伊美.福建亚热带果园土壤 pH 值与有效态养分含量的相关性[J].园艺学报,1997,24(3):209-214
- [15] 郭振,王小利,段建军,等.长期施肥对黄壤性水稻土有机碳矿化的影响[J].土壤学报,2018,55(1):225-235
- [16] 梁玉衡.论土壤团粒结构与土壤肥力的关系[J].土壤通报,1983(1):30-32

- [17] 黄婷. 基于支持向量机的土壤基础肥力评价和土壤有机质含量预测研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015
- [18] 董坤. 不同施肥模式对蔬菜地中氮素流失影响研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017
- [19] 梁金凤. 肥料分酸碱施用需谨慎[J]. 农家参谋, 2016(7): 48
- [20] 董艳红, 王火焰, 周健民, 等. 不同土壤钾素淋溶特性的初步研究[J]. 土壤, 2014, 46(2): 225-231
- [21] 万翔, 周小娟, 万能, 等. 湖北西部山区土壤养分元素有效态研究——以建始县业州镇为例[J]. 资源环境与工程, 2017(Sup): 31-35
- [22] 余红兵, 王仁才, 肖润林, 等. 桂西北环境移民示范区柑橘园土壤和叶片营养状况[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(3): 341-344
- [23] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986
- [24] 杨生权. 土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响——以重庆忠县柑橘园为例[D]. 重庆: 西南大学, 2008
- [25] 张影, 胡承孝, 谭启玲, 等. 施用石灰对温州蜜柑树体营养和果实品质及酸性柑橘园土壤养分有效性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(4): 72-76
- [26] 马小川, 卢晓鹏, 张子木, 等. 湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤和叶片营养及果实品质分析[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 423-432
- [27] 尹杰. 贵州柑橘园土壤与树体养分状况及其评价[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007
- [28] 吴倩, 付威宾, 胡成, 等. 麻阳冰糖橙果园营养状况与果实品质状况分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(6): 97-103
- [29] 黄春辉, 曲雪艳, 刘科鹏, 等. ‘金魁’猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J]. 果树学报, 2014, 31(6): 1091-1099

## Soil Nutrient Status of Citrus Orchard and Its Effects on Nutrients in Citrus Leaf in Hunan Province

CAO Sheng<sup>1</sup>, OUYANG Mengyun<sup>2</sup>, ZHOU Weijun<sup>1\*</sup>, CUI Haojie<sup>1</sup>, DUAN Quntao<sup>1</sup>, SONG Biao<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2 College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** In order to provide references for reasonable fertilization and leaf nutrient diagnosis in orchards, soil and citrus leaf samples were collected and measured from 82 citrus orchards in Hunan Province, the method of curve regression was used to analyze the correlation between soil pH and nutrients, the method of typical correlation analysis was used to explore the quantitative statistical relation between the nutrients in soil and citrus leaves, and then nutrient deficiencies in soils and citrus leaves were evaluated. The results showed that 86.75% of soil samples were acid or strongly acid, 78.31% of soil samples were appropriate in organic matter content, 15.66%, 69.88% and 15.66% of soil samples were insufficient in available nitrogen(N), phosphorus(P) and potassium(K), respectively. 12.35%, 16.05% and 18.52% of citrus leaf samples were insufficient in total N, P and K. There were significant correlations between soil pH and nutrient contents, the regression models between soil organic matter ( $Y_1$ ), available N( $Y_2$ ), P( $Y_3$ ) and K( $Y_4$ ) with pH( $X$ ) were:  $Y_1=2.15X^2-24.17X+85.53(R^2=0.53)$ ,  $Y_2=0.255X^2-3.17X+91.29(R^2=0.36)$ ,  $Y_3=5.51X^2-66.37X+208.22(R^2=0.43)$ ,  $Y_4=5.59X^2-37.24X+213.43(R^2=0.40)$ , respectively. Typical correlation analysis results showed soil nutrients had significant effects on nutrients in citrus leaves, with the fitting model as:  $U_1=-0.390X_1+0.909X_2+0.398X_3+0.269X_4-0.297X_5$  ( $U_1$ , soil nutrient index;  $X_1$ , pH;  $X_2$ , SOM;  $X_3$ ,  $X_4$  and  $X_5$ , available N, P, K, respectively),  $V_1=0.792Y_1+0.637Y_2-0.132Y_3$  ( $V_1$ , leaf nutrient index;  $Y_1$ ,  $Y_2$  and  $Y_3$ , total N, P and K, respectively). The above result indicated that attentions should be paid to pH control, using more N, P and K fertilizers, and comprehensive balanced fertilization, etc.

**Key words:** Hunan Province; Citrus orchard; Soil nutrients; Leaf nutrients; Regression analysis; Typical correlation analysis