

周利利, 段增强, 韩庆忠, 等. 秭归县柑橘园土壤肥力综合评价[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(6): 1346-1353.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.06.011

秭归县柑橘园土壤肥力综合评价

周利利^{1,2}, 段增强¹, 韩庆忠³, 夏立忠¹, 张光国³

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 湖北省秭归县农业技术推广中心, 湖北 秭归 443600)

摘要: 通过调查分析秭归县柑橘主产区 2 045 个土壤样点的土壤养分指标, 包括有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜和有效锌含量以及 pH 值, 用主成分分析方法和隶属度函数对土壤肥力进行了综合评价, 并分析了影响土壤肥力的因素。结果表明: 秭归县柑橘主产区 94% 的土壤综合肥力处于中等及以下水平, 长江以南种植区土壤综合肥力中等水平地块面积较大; 土壤肥力综合指数与实际年产量呈极显著正相关, 可用来评价柑橘园土壤综合肥力。柑橘主产区碱解氮处于缺乏状况, 其他养分处于适宜水平, 但速效磷空间变异性较大; 从各养分的分布空间来看, 种植区内有机质、速效磷和速效钾分布较为均匀, pH、碱解氮、有效铁分布不均; 大部分种植区 pH 值处于 4.8~8.5, 适宜柑橘生长, 局部地区土壤偏酸, 长江以南酸性土壤面积较大。总体来说, 秭归县柑橘主产区土壤肥力水平属中等以下, 土壤肥力还有很大的提升空间, 合理的养分管理是有效提高柑橘产量的重要措施。

关键词: 柑橘园; 土壤养分; 综合评价; 产量

中图分类号: S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)06-1346-08

Comprehensive evaluation of soil fertility in citrus orchards in Zigui County

ZHOU Li-li^{1,2}, DUAN Zeng-qiang¹, HAN Qing-zhong³, XIA Li-zhong¹, ZHANG Guang-guo³

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Zigui Agriculture Technology Extension Centre, Zigui 443600, China)

Abstract: The soil nutrients indicators of 2 045 soil samples in the main citrus production areas of Zigui County were analyzed. The content of organic matter, alkali hydrolysable nitrogen, available phosphorus, available potassium, available iron, effective manganese, effective copper and available zinc, and pH were the main indicators. The soil fertility was comprehensively evaluated by principal component analysis and membership function, and the factors affecting soil fertility were analyzed. The results showed that the comprehensive fertility of 94% soil in the main citrus production areas of Zigui County was in the medium and lower level, and the medium-level plot area was larger in south of the Yangtze River. The integrated soil fertility index was significantly positively correlated with the actual annual yield, which could be used to evaluate integrated soil fertility of citrus orchards. The alkali hydrolysable nitrogen in the main citrus production area was in deficient condition, and other nutrients were in appropriate level, but the spatial variability of available phosphorus was relatively large. According to the distribution space of nutrients, the distribution of organic matter, available phosphorus and available potassium in the planting area was relatively uniform. Alkali hydrolysable nitrogen, pH and effective iron were unevenly distributed. The pH of referenced area ranged from 4.8 to 8.5, which was suitable for citrus growth. The soil in some areas was acid soil, and the area of acid soil in the south of the Yangtze River was large.

On the whole, the soil fertility level in the main citrus production areas of Zigui County was below the middle level, and there was enough rising space of soil fertility. Reasonable nutrient management is an important measure to improve the yield citrus.

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0202001)

作者简介: 周利利(1992-), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 从事植物营养研究。(Tel) 17602545263; (E-mail) llzhou@issas.ac.cn

通讯作者: 段增强, (Tel) 13605174685; (E-mail) zqduan@issas.ac.cn

Key words: citrus orchard; soil nutrient; comprehensive evaluation; yield

农业生产中土壤肥力是反映土壤肥沃性的一个重要指标,是衡量土壤提供给作物生长所需的各种养分的能力。肥力的高低影响作物生长以及农业生产结构、布局和效益等^[1-3]。准确掌握种植区域土壤肥力状况,科学合理施肥,才能够提高产量及品质和保护生态环境,实现减肥增效的目的。湖北省秭归县气候独特,因盛产脐橙而成为久负盛名的“中国脐橙之乡”。柑橘产业在当地农村经济发展中占有重要地位,同时柑橘的栽培在三峡的生态环境保护中发挥重要作用。

众多研究者将数理统计应用到土壤肥力评价中,主成分分析、聚类分析、多元回归和模糊数学在果园、农田等肥力综合评价中应用较多,评价结果可用来指导科学施肥^[2,4-5]。研究表明主成分分析较其他方法在评价土壤质量中应用最广^[6],众多评价方法当中 Fuzzy 综合评判法、全量数据集法和最小数据集法等采用模糊数学和相关分析的理论^[7-8],可满足评价的客观性要求。土壤肥力的综合评价涉及众多因素,土壤物理、化学、生物和环境等因素,但截至目前土壤肥力评价没有统一的评价方法。研究中多用土壤养分肥力指标来表示土壤肥力,土壤养分数据相对容易获得,简化肥力评价指标^[9-10],应用统计方法抽取影响土壤肥力的最主要因子,可达到评价土壤肥力的目的^[11]。

本研究选取对作物生长及产量影响较大,易受管理方式影响的评价指标。基于主成分分析方法和隶属度函数,对秭归县柑橘园土壤肥力进行客观综合评价,并分析土壤肥力的相关影响因素,了解柑橘主产区土壤肥力状况,为提高柑橘园科学管理及合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于湖北省宜昌市秭归县茅坪镇天翼合作社,柑橘种植区主要位于长江两岸的低海拔地区。经度为 $110^{\circ}18'E \sim 111^{\circ}0'E$,纬度为 $30^{\circ}38'N \sim 31^{\circ}11'N$,亚热带大陆季风气候,柑橘种植区域主要位于海拔 700 m 以下的坡耕地,年平均气温 $15^{\circ}C$ 以上,年有效积温大于 $48\ 000^{\circ}C$,适宜柑橘种植对气候的要求。截至 2017 年秭归县脐橙总面积已达 2×10^4 hm^2 ,柑橘产业是当地的主要产业。

1.2 样品采集与分析

根据秭归县柑橘种植面积及地理位置,沿长江两岸的柑橘种植区展开调查,样点分布如图 1 所示。调查从 2006 开始,截止 2016 年共收集 2 045 个样点数据。样品采集采用 5 点混合法,采样地块面积为 $0.13 \sim 0.33\ hm^2$,沿树冠滴水线内侧 $30 \sim 40\ cm$ 处采集土样,取土深度 $0 \sim 40\ cm$,采取四分法每个样品保留 250 g,带回室内分析。采样时间段为每年的 10 月下旬到下一年 2 月,避开施肥期,避开施肥沟穴,滴灌柑橘园避开滴灌头湿润区。

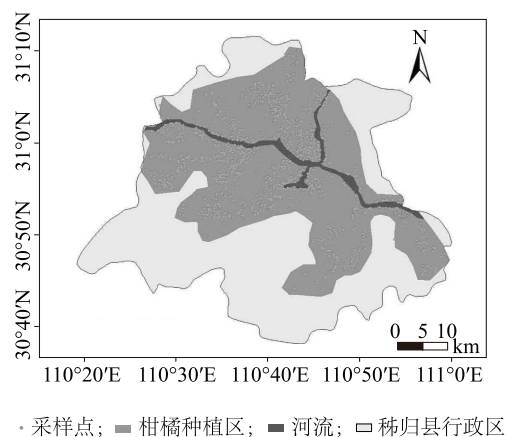


图 1 秭归县柑橘种植区样点分布

Fig.1 Distribution of sampling points in citrus planting area of Zigui County

采集的样品经自然风干后挑出根系及石块,过 2 mm 筛后保存。参考鲍士旦的方法^[12]对土壤样品的有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌含量以及 pH 等指标进行测定。pH 测定采用水浸提电位法(水土比为 2.5 : 1.0,体积质量比),有机质含量测定采用重铬酸钾容量法,碱解氮含量测定采用碱解扩散法,有效磷含量测定采用碳酸氢钠浸提法,速效钾含量测定采用火焰光度法,有效锌、有效锰、有效铜和有效锌含量测定均采用 DTPA 浸提-原子吸收分光光度计法。

1.3 土壤肥力评价方法

1.3.1 肥力指标的选取 评价土壤肥力时应选取稳定性小(即受人为耕作方式影响较大)且能较准确反映土壤综合肥力的指标^[13]。同时,从众多因素中筛选出具有代表性、独立性、主导性的因子是定量

准确评价土壤质量的关键^[14]。因此本研究选取对柑橘生产影响较大且较容易获得的有机质、速效氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效铜和有效锌含量及土壤 pH 等指标,利用 SPSS 19.0 进行数据统计及主成分分析。

1.3.2 表土肥力综合指标值的计算 土壤肥力是各种理化指标的综合体现,较单因子肥力评价指标更能反映土壤质量的真实性^[15]。根据模糊数学中模糊集的加成法计算土壤肥力综合指标 IFI 值,计算公式参考林圣玉等^[16]评价公式。 IFI 值公式为: $IFI = \sum W_i N_i$,式中 W_i 表示各肥力因子的权重, N_i 表示第 i 种养分指标的隶属度值。

1.3.2.1 单项指标权重的确定 目前确定权重大小的方法主要有经验打分法、层次分析法、多元统计中的主成分分析法、回归分析法或相关系数法^[17]。在众多方法中主成分分析法简便,应用较为普遍^[18-20]。因此采用主成分分析计算出各肥力指标的权重,根据因子对评价对象的贡献率提取众多因素当中的主因子,根据主成分特征值及成分得分系数矩阵计算进一步确定主要影响因子的权重(W_i)。

1.3.2.2 指标隶属度计算 隶属度函数是模糊数学中一个重要的概念,反映评价指标与作物生长效应之间的关系,以及各项指标在土地系统中的状态。将评价指标无量纲化,隶属度值范围为 0~1,值越大反映肥力水平越高。根据养分与产量之间的关系, pH 指标采用梯形函数,其余土壤养分评价指标均采用 S 形函数^[14]。

S 型

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

梯形

$$f(x) = \begin{cases} 1.0-0.9(x-x_3)/(x_4-x_3) & x_3 < x \leq x_4 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_4 \end{cases}$$

隶属度函数计算时,阈值在土壤肥力评价当中至关重要,直接关系到评鉴结果的准确性,阈值主要根据长期生产实践及前辈研究结果来确定^[17]。本研究函数阈值根据鲁剑魏等提出的湖北省柑橘园土壤养分分级指标^[21]及三峡库区柑橘园土壤养分分级指标(ASI 标准)^[22]确定隶属度函数的相关阈值(表 1)。

1.4 数据处理

数据经过 Excel 整理后,利用 SPSS19.0 进行数据统计及主成分分析;采用 Arcgis10.2 对养分空间分布状况进行制图。结合鲁剑魏等^[21]提出的湖北省柑橘园土壤养分分级指标(表 2)及骆伯胜等^[11]的评价肥力等级分级标准,对柑橘主产区土壤养分状况进行评价。

表 1 隶属度函数阈值

Table 1 Threshold of membership function

隶属度函数	指 标	x1	x2	x3	x4
T	pH	4.5	6.5	7.5	8.5
S	有机质含量(g/kg)	5	30		
S	碱解氮含量(mg/kg)	50	300		
S	有效磷含量(mg/kg)	12	60		
S	速效钾含量(mg/kg)	80	160		
S	有效铁含量(mg/kg)	10	300		
S	有效锰含量(mg/kg)	5	150		
S	有效铜含量(mg/kg)	1	3		
S	有效锌含量(mg/kg)	2	6		

x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 为隶属度函数转折点相关阈值。

表 2 橘园土壤养分分级指标

Table 2 Classification index of soil nutrients in citrus orchards

指标	有效养分分级				
	极缺	缺乏	适量	高量	过量
碱解氮(mg/kg)	<50.0	50.0~100.0	100.1~200.0	>200.0	-
速效磷(mg/kg)	<5.0	5.0~15.0	15.1~80.0	>80.0	-
速效钾(mg/kg)	<50.0	50.0~100.0	100.1~200.0	>200.0	-
有效钙(mg/kg)	<200	200~1 000	1 001~2 000	2 001~3 000	>3 000
有效镁(mg/kg)	<80.0	80.0~150.0	150.1~300.0	300.1~500.0	>500.0
有效铁(mg/kg)	<5.0	5.0~10.0	10.1~20.0	20.1~50.0	>50.0
有效锰(mg/kg)	<2.0	2.0~5.0	5.1~20.0	20.1~50.0	>50.0
有效铜(mg/kg)	<0.30	0.30~0.50	0.51~1.00	1.01~2.00	>2.00
有效锌(mg/kg)	<0.50	0.50~1.00	1.01~5.00	5.01~10.00	>10.00
有效钼(mg/kg)	-	<0.050	0.051~0.200	0.201~0.300	>0.300
有效硼(mg/kg)	-	<0.50	0.51~1.00	-	-
pH	<4.80 (偏酸)	4.80~5.40 (酸性适宜)	5.41~6.50 (最适)	6.51~8.50 (碱性适宜)	>8.50 (偏碱)

2 结果与分析

2.1 秭归县柑橘园土壤肥力的一般描述和养分的空间分布特征

由柑橘园土壤养分一般性描述(表3)可知,土壤碱解氮含量平均值为92.6 mg/kg,处于缺乏状态;土壤pH、有机质、有效磷、速效钾、有效铁、有效锰、有效锌的平均值为6.1、22.0 g/kg、32.4 mg/kg、141.1 mg/kg、18.9 mg/kg、15.8 mg/kg、2.2 mg/kg,均值处于适宜状态;有效铜处于过量水平,平均值达2.4

mg/kg。各指标的变异系数(CV)大小顺序为有效磷>有效锌>有效铁=有效铜>速效钾>有效锰>有机质>碱解氮>pH。用变异系数大小表示土壤特性空间变异性的强弱^[23],其中有效磷含量变异系数最大,为1.12,说明秭归县柑橘园不同种植园区有效磷含量空间变异度很大,此结果与韩庆忠等^[24]对秭归县水田坝乡土壤养分的评价结果相似。其余土壤养分指标变异系数处于0.1至1.0之间,属中等变异,整体而言当地柑橘园土壤各养分变异较大。

表3 秭归县柑橘园土壤养分的一般性描述

Table 3 General description of soil nutrients in citrus orchards of Zigui County

项目	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有效铁 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	有效锌 (mg/kg)
最大值	9.0	77.9	336.0	372.4	720.0	153.4	56.7	26.2	20.3
最小值	3.4	0.7	6.7	0.3	10.0	0.3	0.5	0.0	0.0
均值	6.1	22.0	92.6	32.4	141.1	18.9	15.8	2.4	2.2
标准差	1.2	10.7	41.4	36.3	89.1	13.5	9.8	1.7	1.8
变异系数(CV)	0.20	0.49	0.45	1.12	0.63	0.71	0.62	0.71	0.82

CV≥1.0时为强变异性,0.1<CV<1.0时为中等变异性,CV≤0.1时为弱变异性。

图2表明秭归县柑橘种植区大部分园区有机质、pH、有效磷、速效钾和有效铁处于适宜水平,少部分园区偏低或丰富;种植区大部分柑橘园碱解氮处于缺乏水平,养分空间分布不均;种植区pH大部分园区处于4.8至8.5之间,而柑橘生长最适宜的pH值为5.5~6.5^[25]。土壤养分状况易受自然因素和人为因素的影响^[26],其原因可能在于与当地多样的土壤类型、质地、地貌地形以及农户施肥状况及养分类型有关。有研究者认为地形和土壤类型的差异是影响土壤养分空间布局的重要因素^[27]。秭归县土壤类型多为黄壤、紫色土和石灰土^[28],黄壤土含铁锰还原物多;紫色土有机质含量低而磷钾含量较为丰富,土壤结构松散,地表径流易造成水土流失^[29];石灰土呈中性至微碱性,营养元素易缺失,铜、锌等元素有效性低^[30]。种植区多为坡耕地,坡度大,多年来水土流失一直较为严重,导致土壤养分随水流失严重^[31-32]。农户施肥习惯也是造成种植区内养分分布不均的因素。因此施肥应参考果园养分状况及果树需求有针对性地进行施肥,并结合水土流失治理措施,例如柑橘园地面绿肥覆盖措施,减轻水土流失。

2.2 秭归县柑橘园土壤单因素肥力评价

根据特征值>0.5提取主成分,选取前6个主因子的累积贡献率(84.6%)(表4),即可表达原始数据80%以上的养分信息,满足信息提取的要求,说明利用主成分分析是可行的。进一步求出各评价指标的权重。

由成分得分系数矩阵(表5)可知,第1主成分中有机质、碱解氮含量有较大正向载荷,说明与该主成分相关性较大,是影响土壤肥力的主要因素;第2主成分中pH、速效钾含量有较大正向载荷,高度正相关,表明这2个评价指标是影响土壤肥力重要因素;第3、6主成分中有效铜含量有较大正向载荷,高度正相关,有效铜含量是影响土壤肥力的因素;主成分4、5中有效锰有较大正向载荷,说明有效锰含量也是影响土壤肥力的因素。

由表4、表5根据以下公式得出权重值(表6): $\beta_j = A1j \times F1 + A2j \times F2 + A3j \times F3 + A4j \times F4 + A5j \times F5 + A6j \times F6$,指标权重 $W_i = \beta_j / (m \sum_j \beta_j)$, A_{ij} 表示第*i*个主因子对第*j*个评价指标的得分系数,取其绝对值计算, W_i 即指标 X_i 的权重, F_i 表示主成分特征值, j (评价指标)=(1,2,3,⋯,m)。

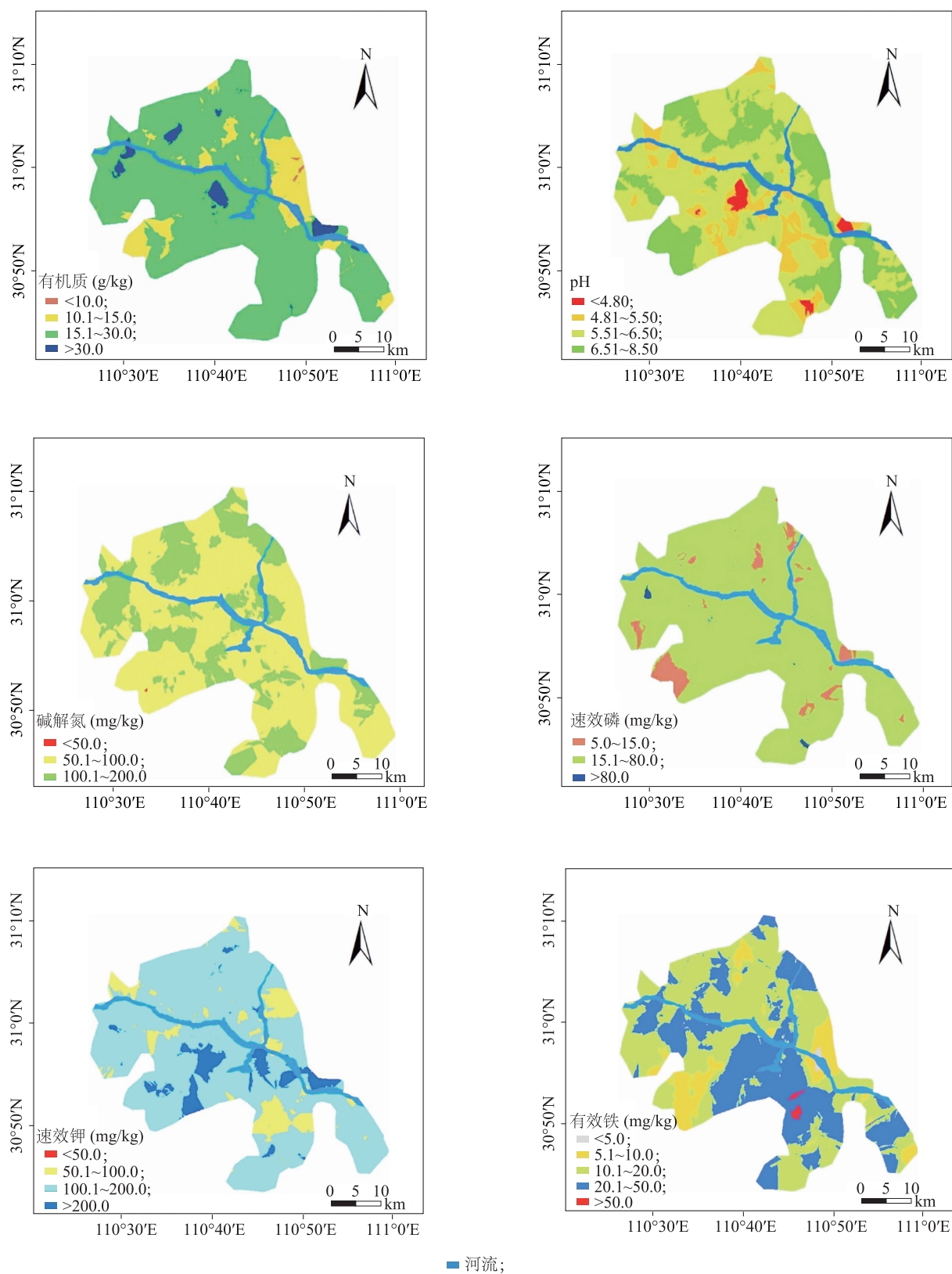


图2 秭归县柑橘种植区养分空间分布

Fig.2 Spatial distribution of nutrient in citrus planting area of Zigui County

表4 各主成分特征值及方差贡献率

Table 4 Eigenvalue and variance contribution rate of principal components

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	特征根	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)	特征根	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
F1	2.68	29.7	29.7	2.68	29.7	29.7
F2	1.42	15.8	45.5	1.42	15.8	45.5
F3	1.08	12.0	57.5	1.08	12.0	57.5
F4	0.94	10.5	68.0	0.94	10.5	68.0
F5	0.86	9.6	77.6	0.86	9.6	77.6
F6	0.63	7.0	84.6	0.63	7.0	84.6
F7	0.50	5.6	90.1	0.50	5.5	90.1
F8	0.49	5.4	95.5			
F9	0.40	4.5	100.0			

表5 各成分得分系数矩阵

Table 5 Score coefficient matrix of each component

评价指标	成分					
	1	2	3	4	5	6
pH	-0.202	0.418	0.299	-0.018	0.220	-0.009
有机质	0.263	0.073	-0.011	-0.420	0.256	-0.283
碱解氮	0.239	0.052	-0.141	-0.594	0.189	0.202
有效磷	0.172	0.243	-0.201	0.139	-0.832	0.137
速效钾	0.122	0.505	-0.254	0.153	0.185	0.500
有效铁	0.238	-0.386	0.109	0.117	-0.108	0.189
有效锰	0.173	-0.054	-0.332	0.644	0.503	-0.150
有效铜	0.172	-0.002	0.677	0.188	0.092	0.627
有效锌	0.216	0.238	0.360	0.159	-0.111	-0.866

表6 公因子方差及指标权重

Table 6 Common factor variance and indicator weight

评价指标	初始值	提取的公因子方差	权重值 (Wi)
pH	1	0.834	0.101
有机质	1	0.755	0.098
碱解氮	1	0.811	0.104
有效磷	1	0.995	0.119
速效钾	1	0.997	0.117
有效铁	1	0.801	0.099
有效锰	1	0.995	0.123
有效铜	1	0.961	0.112
有效锌	1	0.961	0.127

提取方法:主成分分析法。

2.3 秭归县柑橘园土壤肥力综合评价

参照骆伯胜等的评价肥力等级分级标准对样本土壤肥力进行分级^[8]。结果表明肥力综合指数最大值为0.76,最小值为0.11,处于0.1~1.0之间,均值为0.38,综合肥力处于较低水平;变异系数0.34,属于中等变异。从图3可知大部分样点综合肥力指数处于0.2至0.6之间。由计算得知秭归县柑橘种植区内低肥力区域占57%,94%的样本综合肥力处于中等及以下水平。从空间分布(图3)来看,整体上秭归县柑橘种植区土壤综合肥力处于中等或较低水平,长江以南种植区综合肥力为中等的地块面积较大。

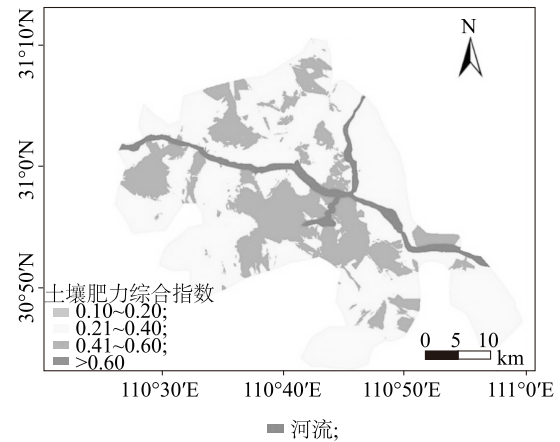


图3 秭归县柑橘园土壤综合肥力空间分布

Fig.3 Spatial distribution of integrated soil fertility in citrus orchards of Zigui County

相关性分析结果(表7)显示有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量与土壤肥力综合指数(*IFI*)呈极显著正相关,表明有机质、碱解氮、有效磷和速效钾是土壤肥力的主要贡献指标;年产量与土壤肥力综合指数(*IFI*)呈极显著正相关,说明本研究评价方法较符合实际生产情况,可用来评价秭归县柑橘园土壤肥力状况;碱解氮和有效磷与年产量无显著相关性,可能与种植区有效氮较易流失、有效磷易被固定等有关;有机质与碱解氮、有效磷、速效钾呈极显著正相关,表明有机质具有提高土壤速效氮、磷、钾的作用,其原因在于有机质不仅带入了各种养分,还能促进原来土壤中各养分的释放^[33];碱解氮与有效磷、速效钾呈极显著正相关,表明一定量的氮肥施用可增加土壤中有效磷、速效钾含量。田间施肥管理中根据各速效养分肥料对土壤肥力的贡献程度,科学

合理地选择各速效养分肥料的配比,并配施有机肥,以维持元素间的平衡,防止出现营养失调现象^[34-36]。柑橘是典型的热带、亚热带多年生常绿果树,全年生长,需肥量比一般落叶果树大,根据果树

生长需求及时补充大量及配施中、微量元素^[37],但同时应关注果树对养分的储存功能,施肥配合修剪技术及耕作措施,提高养分利用率。

表 7 土壤肥力与各因素之间的关系

Table 7 Relationship between soil fertility and various factors

项 目	pH	有机质含量	碱解氮含量	有效磷含量	速效钾含量	年产量	土壤肥力综合指数(IFI)
pH	1.000	-0.227 **	-0.260 **	-0.190 **	0.105 **	-0.108 **	0.005
有机质含量		1.000	0.478 **	0.232 **	0.202 **	0.075 **	0.544 **
碱解氮含量			1.000	0.211 **	0.201 **	-0.018	0.419 **
有效磷含量				1.000	0.298 **	0.042	0.497 **
速效钾含量					1.000	0.060 **	0.541 **
年产量						1.000	0.079 **
土壤肥力综合指数(IFI)							1.000

** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 讨 论

土壤肥力是土壤物理、化学和生物学性质的综合体现^[33]。果树在整个生育期受各种环境因子的影响,植物与土壤之间的养分转换过程与机制又十分复杂,而本研究计算得出的土壤肥力综合指数仅仅体现土壤的一种潜在肥力,不能代表土壤实际生产能力,更完善的土壤肥力评价还需结合土壤物理、生物学性质及实际生产能力等进行进一步评价。需从土壤养分-树体营养-果实品质方面进一步进行相关研究,为制定更好的柑橘园养分管理对策提供依据。

从各养分的丰缺状况来看,秭归县柑橘种植区内碱解氮较为缺乏,有效铜过量,有效磷的空间变异最大,其余养分处于适宜水平。综合肥力评价结果表明秭归县柑橘种植区 94% 的区域综合肥力处于中等及以下水平,长江以南种植区中等水平地块面积较大。土壤肥力综合指数与实际年产量呈极显著正相关,说明本研究评价方法是可行的,能客观地反映柑橘园土壤肥力状况。但土壤综合肥力是多因素的体现,因此评价方法有待进一步的完善,且实际生产中,树体营养状况、果实产量及品质状况与土壤肥力密不可分,还需进一步研究。

参考文献:

[1] 黄 艺,黄红燕,刘昔辉,等不同连作年限桑园土壤肥力变化

及其与桑叶产量的关系[J].南方农业学报,2017,48(4):628-632.

[2] 王 刚.杉木人工林土壤肥力指标及其评价[D].南京:南京林业大学,2008.

[3] 孙 勇,曲京博,初晓冬,等.不同施肥处理对黑土土壤肥力和作物产量的影响[J].江苏农业科学,2018,46(14):45-50.

[4] 孙 波,赵其国.红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J].地理科学进展,1999,18(2):118-128.

[5] 曹承绵,严长生,张志明,等.关于土壤肥力数值化综合评价的探讨[J].土壤通报,1983(4):13-15.

[6] 王恒旭,胡永华,王文成,等.主成分分析在杞县大蒜种植区土壤质量评价中的应用[J].中国农学通报,2006,22(8):297.

[7] 叶回春,张世文,黄元仿,等.北京延庆盆地农田表层土壤肥力评价及其空间变异[J].中国农业科学,2013,46(15):3151-3160.

[8] 杨旭初,叶会财,李大明,等.基于模糊数学和主成分分析的长期施肥红壤旱地土壤肥力评价[J].中国土壤与肥料,2018(3):79-84.

[9] 张小卓,史 静,张乃明,等.云南主要葡萄种植区土壤肥力特征与评价[J].土壤,2014,46(1):184-187.

[10] 邹志飞,潘继花,朱学礼,等.基于指数和法对日照市茶园土壤养分评价研究[J].山东农业科学,2018,50(11):105-110.

[11] 骆伯胜,钟继洪,陈俊坚.土壤肥力数值化综合评价研究[J].土壤,2004(1):104-106.

[12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:35-157.

[13] 孔祥斌,刘灵伟,秦 静,等.基于农户行为的耕地质量评价指标体系构建的理论与方法[J].地理科学进展,2007,26(4):75-85.

[14] 张亚鸽,史彦江,吴正保,等.基于主成分分析的枣园土壤肥力

- 综合评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5):1156-1160.
- [15] 贺纪正,李学垣,徐凤琳. 鄂西山地土壤胶体阳离子交换量与其固相组成的关系[J]. 中国农业科学, 1992,25(1):68-74.
- [16] 林圣玉,李 英,张华明,等. 鄱阳湖区坡耕地土壤肥力质量评价[J]. 中国水土保持,2018(11):60-63.
- [17] 郑立臣,宇万太,马 强,等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2004(5):156-161.
- [18] 张水清,黄绍敏,郭斗斗,等. 基于主成分分析法的土壤肥力评价[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2):1096-1097.
- [19] 陈留美,桂林国,吕家珑,等. 应用主成分分析和聚类分析评价不同施肥处理条件下新垦淡灰钙土土壤肥力质量[J]. 土壤, 2008, 40(6):971-975.
- [20] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等. 我国土壤质量及其评价研究的进展[J]. 土壤通报, 2006(1):137-143.
- [21] 鲁剑魏,陈 防. 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.
- [22] 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.
- [23] 雷志栋,杨诗秀,许志荣,等. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985,10(9):10-21.
- [24] 韩庆忠,夏立忠,向 琳,等. 三峡库区脐橙园土壤养分、酸度变化特征与施肥管理对策——以秭归县水田坝乡为例[J]. 土壤, 2008(4):602-607.
- [25] 张福锁,陈新平,陈 清,等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2009:92-96.
- [26] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报, 2012,49(6):1210-1217.
- [27] 居玛汗·卡斯木,张丽娜,范 鹏,等. 黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力特征综合评价及其区域差异特征研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1):316-323.
- [28] 宋发安. 秭归县柑橘产业现状及对策[J]. 现代农业科技, 2016(10):306-308.
- [29] 陈晓燕,何丙辉. WEPP 模型在紫色土坡面侵蚀预测中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3):42-44.
- [30] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 北京:中国农业出版社, 2003.
- [31] 王 亮. 山地柑橘园部分主要养分空间变异研究[D]. 重庆:西南大学, 2011.
- [32] 杨林章,董元华,马毅杰. 三峡库首地区土地资源潜力与生态环境建设[M]. 北京:水利水电出版社, 2007:25-39.
- [33] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [34] CHAPMAN H D. The mineral nutrition of citrus[M]//REUTHER W. The citrus industry. Univ of Calif Berkley, CA, USA;Riverside edition,1986:127-289.
- [35] KOHLI R R, SRIVASTAVA A K, HUCHCHE A D, et al. Diagnosis of leaf nutrient levels for optimum productivity of citrus reticulata blanco grown in black clay soils under a sub-humid tropical climate[J]. Tropical Agricultural Research and Extension, 1998, 1(2):81-86.
- [36] 庄伊美,王仁玗,谢志南,等. 柑桔、龙眼、荔枝营养诊断指导营养失调症的矫治[J]. 亚热带植物通讯, 1996,25(1):1-7.
- [37] 周 汇,李一山,洪丽芳. 柑橘类果树无公害施肥运筹模型研究[J]. 西南农业学报, 2009, 22(6):1623-1626.

(责任编辑:张震林)