



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

江西井冈山蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征

吴强建, 肖委明, 赵晓东, 谢志坚, 彭剑峰, 周春火

引用本文:

吴强建, 肖委明, 赵晓东, 谢志坚, 彭剑峰, 周春火. 江西井冈山蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 1025–1032.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0475>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

潮土区菜田土壤肥力现状评价

王倩姿, 王书聪, 张书贵, 张静芝, 孙志梅, 马文奇, 薛澄

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 645–653 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0233>

黄淮海平原农区农用地土壤肥力评价及时空变化特征——以山东省博兴县为例

李颖慧, 姜小三

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 602–612 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0100>

勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价

刘娟, 张乃明, 邓洪

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 79–86 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0063>

三种纳米材料对水稻幼苗生长及根际土壤肥力的影响

尹勇, 刘灵

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 736–743 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0259>

广东省增城区不同耕地利用类型下赤红壤酸度变化

蔡泽江, 余强毅, 吴文斌, 文石林

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 980–988 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0508>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吴强建, 肖委明, 赵晓东, 等. 江西井冈蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 1025–1032.

WU Q J, XIAO W M, ZHAO X D, et al. Status, spatial distribution, and fertility of soil in pomelo orchards in Jinggang, Jiangxi Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(5): 1025–1032.



开放科学 OSID

江西井冈蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征

吴强建^{1,2}, 肖委明³, 赵晓东⁴, 谢志坚^{1,2}, 彭剑峰², 周春火^{1,2*}

(1. 江西农业大学江西井冈蜜柚科技小院, 南昌 330045; 2. 江西农业大学国土资源与环境学院/江西省农业废弃物资源化利用与面源污染防治产教融合重点创新中心, 南昌 330045; 3. 江西省吉安市园艺场, 江西 吉安 343016; 4. 井冈山农业科技园管理委员会, 江西 吉安 343016)

摘要: 为探究江西井冈蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征, 在江西省井冈蜜柚 110 个主产果园采集表土层(0~20 cm)、亚表土层(20~40 cm)和底土层(40~60 cm)土壤, 运用 ArcGIS 技术、相关性分析和主成分分析, 对土壤 pH、有机质及养分含量等 12 项土壤肥力指标进行系统分析。结果表明: 果园表层土壤 pH 值为 4.00~7.38, 土壤有机质和碱解氮、有效磷、速效钾、有效锌、交换性镁含量分别为 7.85~32.71 g·kg⁻¹ 和 45.50~318.50、1.99~146.11、26.96~306.08、0.36~16.47、15.00~219.63 mg·kg⁻¹; 有效铜和交换性钙含量分别低于 7.91 mg·kg⁻¹ 和 658.88 mg·kg⁻¹; 果园土壤肥力指标含量随土壤深度增加而降低; 总体上, 种植区表层土壤 pH 分布呈中部高四周低的格局, 有效磷含量与之相反, 有机质含量西部高东部低, 微量元素含量南部低北部高。相关性分析表明, 表层土壤 pH 与交换性镁含量呈显著正相关, 交换性镁含量与交换性钙、有效锌、全磷、速效钾含量均呈显著正相关。主成分分析表明, 土壤交换性钙、交换性镁、碱解氮和有效锌含量是种植区土壤肥力变异的主要控制因素。研究表明, 江西井冈蜜柚种植区果园土壤各土层间肥力和区域分布均存在较大差异, 改良土壤以及补充养分含量有利于提升土壤肥力。

关键词: 井冈蜜柚; 土壤肥力; 区域分布; 有机质; 微量元素

中图分类号: S666.3; S158 文献标志码: A 文章编号: 2095-6819(2022)05-1025-08 doi: 10.13254/j.jare.2021.0475

Status, spatial distribution, and fertility of soil in pomelo orchards in Jinggang, Jiangxi Province

WU Qiangjian^{1,2}, XIAO Weiming³, ZHAO Xiaodong⁴, XIE Zhijian^{1,2}, PENG Jianfeng², ZHOU Chunhuo^{1,2*}

(1. Jiangxi Jinggang Pomelo Science and Technology Backyard, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. School of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University/Innovative Integration Center of Industry and Education in Resource Utilization of Agricultural Waste, Prevention and Control of Non-point Pollution of Jiangxi Province, Nanchang 330045, China; 3. Jiangxi Ji'an Horticultural Field, Ji'an 343016, China; 4. Jinggangshan Agricultural Science and Technology Park Management Committee, Ji'an 343016, China)

Abstract: This study aims to explore the current situation of the regional distribution and fertility of soil in Jinggang pomelo planting area in Jiangxi Province. The topsoil (0~20 cm), subtopsoil (20~40 cm) and subsoil (40~60 cm) were collected from 110 main orchards of Jinggang pomelo in Jiangxi Province. The study carried out a systematic analysis of 12 soil fertility indexes including soil pH, organic matter and nutrient content using the ArcGIS technology, correlation analysis, and principal component analysis. The results showed that pH and contents of organic matter, alkali hydrolyzed nitrogen, available phosphorus, available potassium, available zinc, and exchangeable magnesium in the topsoil of the orchard were 4.00~7.38, 7.85~32.71 g·kg⁻¹, 45.50~318.50 mg·kg⁻¹, 1.99~146.11 mg·kg⁻¹, 26.96~306.08

收稿日期: 2021-08-02 录用日期: 2021-10-08

作者简介: 吴强建(1997—), 男, 江西永丰人, 硕士研究生, 主要从事植物营养研究。E-mail: 949124650@qq.com

*通信作者: 周春火 E-mail: zchh3366@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200808); 吉安市重大科技专项(吉财教指[2020]83号); 井冈山农高区科技计划项目(井农科字[2021]51号)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2017YFD0200808); The Special Fund for Key Program of Science and Technology of Ji'an, China(JCJZ202083); Jinggang Mountains Agricultural High and New Tech Development Zone Science and Technology Project(JNKZ202151)

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $0.36 \sim 16.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and $15.00 \sim 219.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of available copper and exchangeable calcium were lower than $7.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $658.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. Soil fertility index decreased with the increase in soil depth. Overall, the pH of topsoil was higher in the middle of the planting area and lower around, while the content of available phosphorus showed an opposite trend. The content of organic matter of topsoil in the planting area was higher in the west and lower in the east, and the content of trace elements was less in the south than that in the north. Correlation analysis showed that there was a significantly positive correlation between topsoil pH and exchangeable magnesium content, and a significantly positive correlation between exchangeable magnesium content and exchangeable calcium, available zinc, total phosphorus, and available potassium. Principal component analysis showed that the contents of soil exchangeable calcium, exchangeable magnesium, alkali hydrolyzed nitrogen, and available zinc were the dominant factors influencing soil fertility variation in the planting area. The fertility and regional distribution of orchard soil in Jinggang pomelo planting area in Jiangxi Province were quite different. Improving the acid soil, supplementing medium trace elements are conducive to upgrading soil fertility.

Keywords: Jinggang pomelo; soil fertility; regional distribution; organic matter; trace element

土壤肥力是土壤质量的重要指标,是土壤综合性质的表现^[1-2]。土壤肥力分布特征是土壤肥力的重要表征指标^[3],是精准评价土壤肥力质量的基础^[4-5]。唐志文等^[6]通过研究脐橙园土壤肥力分布特征,为脐橙园土壤培肥提供生产指导。卢召艳等^[7]研究柑橘果园空间分布特征,得出产业限制的影响因子,有效提高了柑橘生产质量。周利利等^[8]通过对柑橘园土壤肥力状况的研究,分析土壤肥力分布特征,为果园高产提供有效措施。研究土壤肥力现状及分布特征对指导农业生产具有重要意义^[9-11]。

吉安市位于江西省中部,土壤类型以红壤为主,全域丘陵和坡地面积占总面积的60%以上,是典型的南方丘陵红壤区。研究表明,南方丘陵红壤区柑橘、蜜柚、冰糖橙等一系列果园均存在土壤酸化和土壤养分失衡等问题^[12-15]。本研究利用ArcGIS技术、相关性分析和主成分分析方法对江西井冈蜜柚种植区果园土壤肥力现状及区域分布特征进行定量分析,期为江西省井冈蜜柚果园土壤养分管理和科学施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究以江西省吉安市($25^{\circ}58' \sim 27^{\circ}57' \text{N}$, $113^{\circ}46' \sim 115^{\circ}56' \text{E}$)为研究区域,吉安位于赣江中游,罗霄山脉中段,属亚热带季风湿润性气候区,受东南季风影响,气候温暖湿润,水热充沛,为井冈蜜柚栽培提供了充足的水热条件。

1.2 样品采集与测定

选取吉安市9个井冈蜜柚主产区110个规模种植果园(面积不小于 $3\,300 \text{ m}^2$)^[16],于2020年7月20—28日井冈蜜柚果实膨大期采用多点混合的方法采集代

表性土壤样品330个。采用S形布点法,每个果园随机选取长势基本一致的5棵果树,分别采集0~20、20~40、40~60 cm土层土壤各300 g左右,除去石块、根系等杂质,同一土层土壤等量均匀混合成一个样品,用四分法取约1 kg土样^[17]。土壤样品经自然风干后,磨碎过筛,密封装袋后保存备用。

土壤指标测定:pH值采用玻璃电极法;有机质采用重铬酸钾容量法-稀释热法;碱解氮采用碱解扩散法;有效磷采用碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法;速效钾采用乙酸铵浸提火焰光度计法;全氮采用半微量凯氏定氮法;全磷采用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法;全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法;交换性钙、交换性镁采用乙酸铵提取ICP-AES法;有效铜、有效锌采用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸浸提ICP-AES法^[18-19]。

1.3 土壤肥力等级划分

土壤肥力指标含量分级标准参考庄伊美^[20]、鲁剑巍^[21]的研究方法及福建省园地土壤养分丰缺指标(试行)进行划分(表1)。土壤pH值分级划分:<4.5,强酸性;4.5~5.5,酸性;5.5~6.5,微酸性。

1.4 数据处理与分析

利用SPSS 17对数据进行相关性分析、主成分分析和方差分析(LSD法,显著水平 $\alpha=0.05$),利用Origin 2017制图,利用ArcGIS 10.2绘制区域分布图。

2 结果与分析

2.1 表层土壤肥力状况

由表2可知,井冈蜜柚种植区果园各样点土壤肥力差异较大。土壤微量元素有效铜差异性最大,其含量 $\leq 7.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为1.80,变异系数高达91.71%;中量元素交换性钙差异性最大,其含量 $\leq 658.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,标准差为139.01,变异系数为

表1 土壤肥力指标含量分级标准

Table 1 Classification standard of soil fertility indexes

等级 Grade	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen/ (g·kg ⁻¹)	有效铜 Available copper/ (mg·kg ⁻¹)	有效锌 Available zinc/ (mg·kg ⁻¹)	交换性钙 Exchangeable calcium/ (mg·kg ⁻¹)	交换性镁 Exchangeable magnesium/ (mg·kg ⁻¹)
丰富 Sufficient	>20	>150	>30	>120	>1.5	>1.0	>5.0	>1 000	>120
中等 Moderate	10~20	100~150	15~30	80~120	1.0~1.5	0.5~1.0	1.0~5.0	500~1 000	60~120
缺乏 Deficient	<10	<100	<15	<80	<1.0	<0.5	<1.0	<500	<60

表2 表层土壤肥力指标状况

Table 2 Nutrient contents of topsoil

指标 Index	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	变化范围 Range	变异系数 Coefficient of variation/%
pH	4.93	0.72	4.00~7.38	14.67
有机质 Organic matter/(g·kg ⁻¹)	18.82	5.68	7.85~32.71	30.17
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen/(mg·kg ⁻¹)	122.79	50.66	45.50~318.50	41.26
有效磷 Available phosphorus/(mg·kg ⁻¹)	29.13	25.48	1.99~146.11	87.45
速效钾 Available potassium/(mg·kg ⁻¹)	136.59	55.24	26.96~306.08	40.44
全氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)	1.10	0.35	0.38~2.94	31.59
全磷 Total phosphorus/(g·kg ⁻¹)	0.83	0.44	0.22~2.58	52.94
全钾 Total potassium/(g·kg ⁻¹)	14.35	9.15	0.72~43.41	63.78
交换性钙 Exchangeable calcium/(mg·kg ⁻¹)	156.14	139.01	≤658.88	89.03
交换性镁 Exchangeable magnesium/(mg·kg ⁻¹)	72.70	40.02	15.00~219.63	55.04
有效铜 Available copper/(mg·kg ⁻¹)	1.96	1.80	≤7.91	91.71
有效锌 Available zinc/(mg·kg ⁻¹)	5.33	3.50	0.36~16.47	65.69

89.03%;大量元素有效磷差异性最大,其含量为1.99~146.11 mg·kg⁻¹,最大值与最小值相差近73倍,标准差为25.48,变异系数达87.45%;土壤pH差异性最小,变异系数为14.67%,标准差为0.72。井冈蜜柚种植区果园土壤26.36%呈强酸性,68.18%呈酸性,5.46%呈微酸性。由表3可知,井冈蜜柚种植区110个果园中,大量元素中土壤碱解氮含量缺乏比例为40%,土壤有效磷、速效钾含量缺乏比例分别为32.73%、16.36%;中量元素中土壤交换性钙、交换性镁含量缺乏比例分别为97.27%、42.73%。据有关资料显示,蜜柚适宜生长pH为5.5~6.5。由此可见,井冈蜜柚种植区果园土壤酸化面积较大,不利于蜜柚生长,缺乏的营养元素主

要有氮、磷、钙和镁元素。

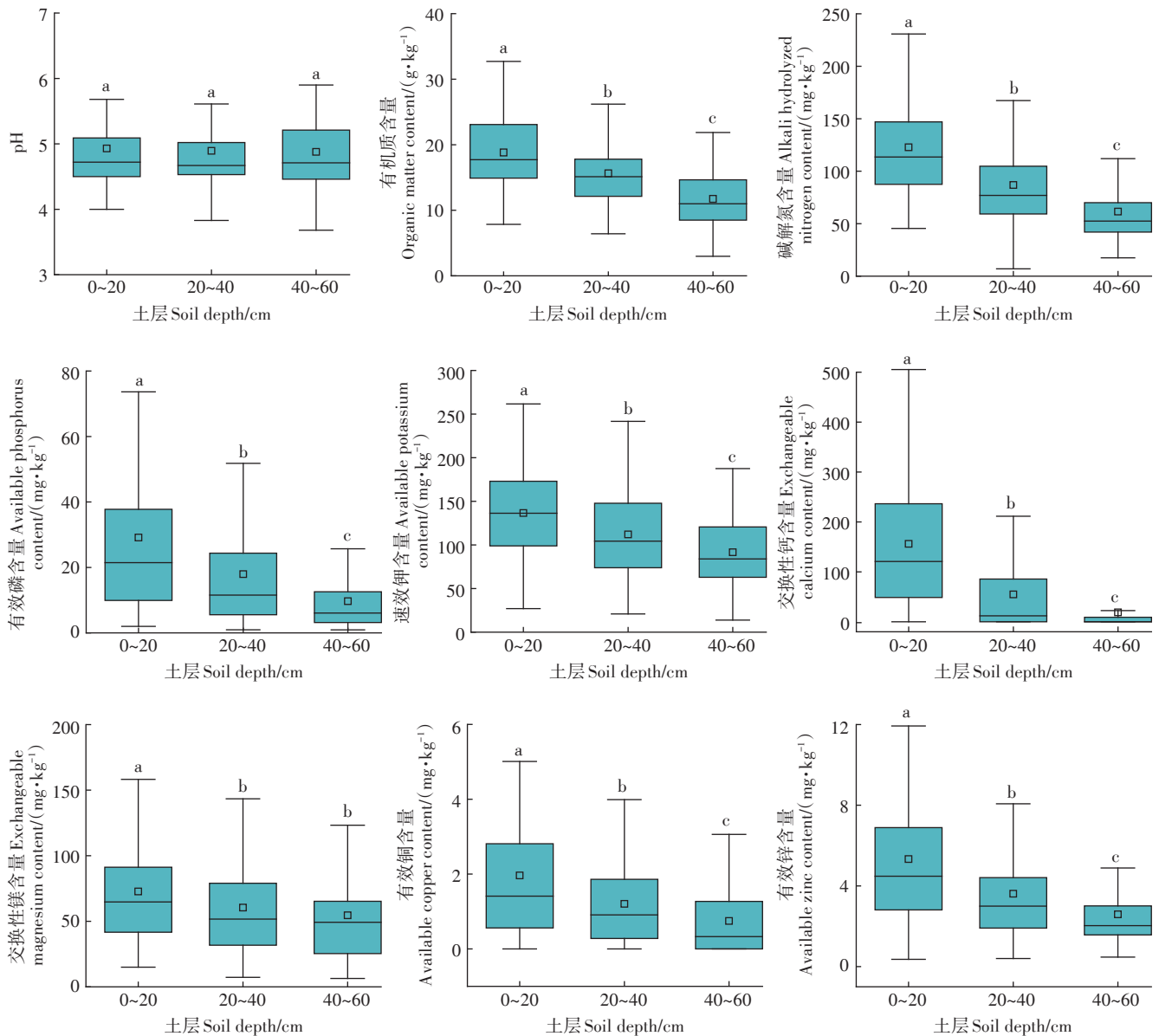
2.2 不同土层土壤肥力状况

由图1可知,针对土壤各项指标进行逐层(表土层与亚表土层,亚表土层与底土层)比较,土壤pH平均下降了0.04、0.01个单位,有机质平均含量降幅分别为16.95%、24.95%,碱解氮平均含量降幅分别为29.26%、29.12%,有效磷平均含量降幅分别为38.38%、46.07%,速效钾平均含量降幅分别为17.93%、18.31%,交换性钙平均含量降幅分别为64.93%、65.19%,交换性镁平均含量降幅分别为16.89%、9.73%。井冈蜜柚种植区果园土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效

表3 表层土壤各肥力等级的果园数量占比(%)

Table 3 Proportion of orchards in each fertility grade of topsoil(%)

等级 Grade	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	全氮 Total nitrogen	有效铜 Available copper	有效锌 Available zinc	交换性钙 Exchangeable calcium	交换性镁 Exchangeable magnesium
丰富 Sufficient	40.00	26.36	41.82	60.00	11.82	65.45	43.63	0	13.63
中等 Moderate	54.55	33.64	25.45	23.64	46.36	10.91	52.73	2.73	43.64
缺乏 Deficient	5.45	40.00	32.73	16.36	41.82	23.64	3.64	97.27	42.73



不同字母表示有显著性差异 ($P < 0.05$)
The different letters represent significant differences ($P < 0.05$)

图1 不同土层土壤肥力指标含量分布图

Figure 1 Distribution of soil fertility in different soil layers

铜和有效锌的含量均随土层深度增加而显著降低,但土壤交换性镁含量在亚表土层与底土层之间无显著差异,土壤pH在各土层间无显著差异。

2.3 表层土壤肥力区域分布特征

由图2可知,表层土壤pH中部高四周低,泰和县最高,为5.51,安福县最低,为4.66;有机质含量西高东低,遂川县最高,为24.35 g·kg⁻¹,吉州区最低,为15.04 g·kg⁻¹;有效磷含量四周高中部低,安福县最高,为56.22 mg·kg⁻¹,泰和县最低,为15.03 mg·kg⁻¹;交换性钙含量基本处于缺乏水平,泰和县最高,为243.75

mg·kg⁻¹,安福县最低,为104.59 mg·kg⁻¹;交换性镁含量呈北高南低分布,吉安县最高,为86.90 mg·kg⁻¹,遂川县最低,为45.81 mg·kg⁻¹。由此可知,井冈蜜柚种植区果园土壤肥力区域分布差异较大。

2.4 表层土壤肥力指标间相关性分析

由表4可知,表层土壤肥力各指标之间存在一定的相关性。土壤pH值与交换性镁含量呈极显著正相关,交换性镁含量与速效钾、全磷、有效锌、交换性钙含量均呈极显著正相关。由此可知,井冈蜜柚种植区果园土壤酸性的改善有利于提高果园土壤养分,尤其可以显著提

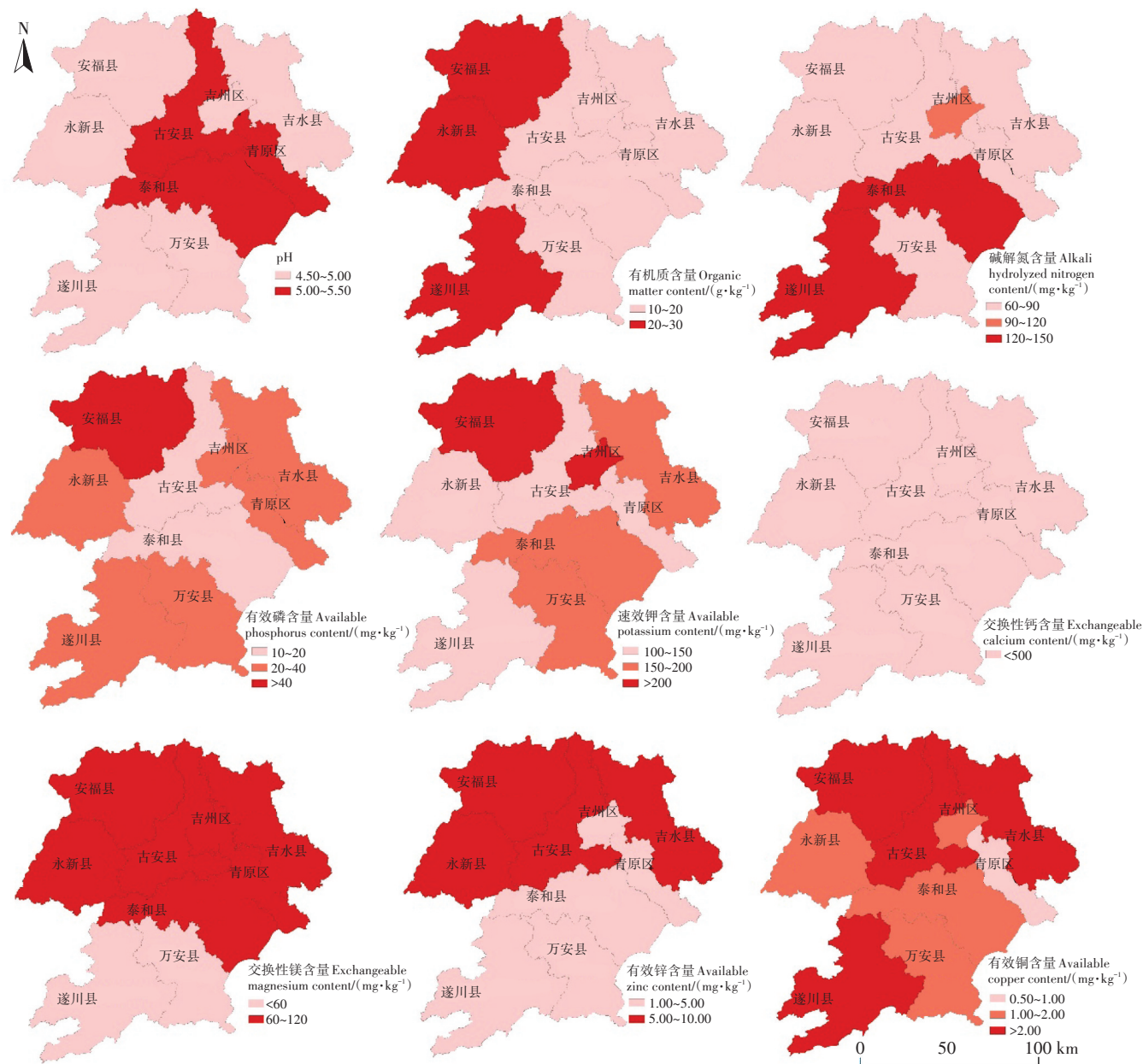


图2 表层土壤肥力指标含量区域分布图

Figure 2 Regional distribution of topsoil fertility

高土壤交换性镁含量。

2.5 表层土壤肥力指标间主成分分析

权重系数反映土壤各项指标对土壤肥力贡献程度,由表5可知,按照特征值大于1的原则^[22],pH、有机质、碱解氮、有效磷的特征值均大于1,累积贡献率为68.95%。利用主成分分析方法计算各有效养分的权重,土壤交换性镁、交换性钙、碱解氮和有效锌含量的权重依次为29%、22%、13%和13%,均大于10%;土壤有机质、pH和速效钾含量权重依次为9%、7%和6%,均介于5%~10%之间;土壤有效磷、有效铜含量

权重均为1%,权重系数最小。因此,井冈蜜柚种植区果园土壤交换性钙、交换性镁、碱解氮和有效锌含量对土壤肥力的贡献程度较大。

3 讨论

据统计,目前我国酸性土壤面积已达 2.18×10^8 hm^2 ,占国土总面积的22.7%^[23]。调研采集的110个井冈蜜柚种植区果园表层土壤中,94.54%的土壤呈酸性至强酸性,酸性土壤面积较大,果园土壤pH均值为4.93,土壤酸性较强,不利于蜜柚生长。酸性土壤形

表4 表层土壤肥力指标间相关性分析

Table 4 Correlation analysis between topsoil fertility indexes

指标 Index	pH	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	有效铜 Available copper	有效锌 Available zinc	交换性钙 Exchangeable calcium
有机质	0.001										
碱解氮	0.056	0.202*									
有效磷	-0.214*	0.095	0.055								
速效钾	0.044	-0.089	0.127	0.378**							
全氮	-0.028	0.551**	0.205*	0.229*	-0.051						
全磷	0.091	0.225*	0.147	0.524**	0.372**	0.208*					
全钾	0.117	-0.074	0.203*	-0.222*	-0.050	-0.057	0.005				
有效铜	-0.040	0.190*	-0.039	0.448**	-0.027	0.224*	0.175	-0.183			
有效锌	0.024	0.220*	0.099	0.341**	0.121	0.083	0.324**	-0.143	0.381**		
交换性钙	0.071	0.071	0.128	-0.038	0.141	0.125	0	0.096	-0.059	0.154	
交换性镁	0.542**	0.117	0.116	0.154	0.347**	0.084	0.405**	0.144	0.102	0.361**	0.268**

注: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$ 。

Note: * stands for $P < 0.05$, ** stands for $P < 0.01$, respectively.

表5 表层土壤肥力指标主成分分析

Table 5 Principal component analysis of topsoil fertility indexes

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献度 Contribution rate/%	累积贡献度 Cumulative contribution rate/%	指标权重 Index weight
pH	2.23	24.80	24.80	0.07
有机质 Organic matter	1.64	18.24	43.04	0.09
碱解氮 Alkali hydrolyzed nitrogen	1.22	13.53	56.57	0.13
有效磷 Available phosphorus	1.11	12.38	68.95	0.01
速效钾 Available potassium	0.89	9.92	78.87	0.06
有效铜 Available copper	0.67	7.46	86.33	0.01
有效锌 Available zinc	0.58	6.39	92.72	0.13
交换性钙 Exchangeable calcium	0.37	4.08	96.80	0.22
交换性镁 Exchangeable magnesium	0.29	3.20	100	0.29

成包括自然和人为两方向原因。江西省吉安市高温多雨的气候和三面环山的地形条件,使土壤极易发生脱硅富铁铝化过程,形成酸性土壤。本研究分析井冈蜜柚种植区果园表层土壤肥力区域分布特征发现,土壤pH分布呈现中部高四周低的特征,这可能与吉安市地形气候有关。黄至颖等^[24]通过研究贵州省土壤pH变化发现,淋溶作用可将大量盐基离子带入低洼地带,因而形成高海拔低pH的现象^[25]。此外,在生产过程中,重化肥轻有机肥也可能是造成果园土壤酸化的原因之一。贾立辉等^[26]的研究表明,长期施用化肥将导致土壤pH以及土壤酸性缓冲能力下降。

土壤肥力高低是影响作物生产的主要因素。调研采集的110个井冈蜜柚种植区果园表层土壤,73.64%的土壤碱解氮含量处于中低水平,58.18%的土壤有效磷含量处于中低水平,土壤交换性钙、交换

性镁含量中低水平高达100%、86.37%,中量元素缺乏较为严重。此外,主成分分析显示,井冈蜜柚种植区果园土壤交换性镁、交换性钙、碱解氮和有效锌含量是影响土壤肥力的主要因素。余璇等^[27]对江西省井冈蜜柚品种金沙柚的调研结果表明,金沙柚果园土壤普遍存在氮磷钾缺乏情况,与刘秀红^[28]、孙永明等^[29]对江西省柑橘调研结果基本一致。井冈蜜柚种植区果园表层土壤肥力区域分布特征显示,土壤有效磷含量分布特征与土壤pH分布特征恰好相反,呈现中部低四周高的特征,而土壤盐基养分钙、镁、锌和铜等元素呈现南少北多的分布特征,这可能与地形、气候以及土壤pH有关。ELIASSI等^[30]研究发现,低pH土壤有利于提高磷的有效性。曹胜等^[31]的研究表明,南方雨水对土壤钙镁具有淋洗作用,使得土壤对钙和镁离子吸附量下降。刘秀红^[28]发现南丰和衢州大部分柑

橘果园施肥重大量元素轻中微量元素,这与井冈蜜柚施肥现状基本一致,导致果园土壤钙镁含量较低。此外,本研究还发现土壤交换性镁含量与土壤pH呈显著正相关。相关资料显示,土壤酸化加剧了土壤养分流失,降低了土壤养分的生物有效性,使土壤的保肥能力和供肥能力下降^[32]。王义祥等^[33]的研究表明,生物炭及石灰都能显著提高强酸性茶园土壤pH,且生物炭增加了土壤对酸的缓冲能力,大大提高了土壤交换性盐基含量及盐基饱和度。因此,在井冈蜜柚生产过程中,改善酸性土壤是生产的前提,氮磷肥的增施是高产的前提,中微量元素的补充是优质的保障。

井冈蜜柚根系较长,对深层土壤养分的补充具有重要意义。本研究发现井冈蜜柚种植区果园土壤肥力随土层深度增加而降低,土壤交换性钙含量变幅最大,土壤pH值变幅最小。这可能是由于井冈蜜柚表层土壤长期有外源养分输入,导致表层养分含量高于深层。有关研究^[34-35]发现土壤有机质、pH、全磷等随土层深度增加而降低,与本研究结果一致。因此,对于在土壤中移动性较弱的元素(如磷元素)需分层施用。分层施用既补充土壤深层养分,又促进蜜柚根系向地下伸长,提高蜜柚的根系活力。

4 结论

(1)井冈蜜柚种植区果园表层土壤pH均值为4.93,土壤酸性较强;酸性至强酸性土壤占94.54%,酸性土壤占比大,不利于蜜柚生长。

(2)改良土壤酸性、提高土壤养分有效性以及补充大量元素的同时,应注重中微量元素及深层养分的补充,这有利于提高土壤肥力,促进井冈蜜柚的优质高产。

参考文献:

[1] 张文学,王少先,刘增兵,等.基于土壤肥力质量综合指数评价化肥与有机肥配施对红壤稻田肥力的提升作用[J].植物营养与肥料学报,2021,27(5):777-790. ZHANG W X, WANG S X, LIU Z B, et al. Evaluating soil fertility improvement effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizers in a red paddy soil using the soil fertility index[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2021, 27(5): 777-790.

[2] 曹志洪,周建民.中国土壤质量[M].北京:科学出版社,2008. CAO Z H, ZHOU J M. Soil quality of China[M]. Beijing: Science Press, 2008.

[3] 张甘霖,吴华勇.从问题到解决方案:土壤与可持续发展目标的实现[J].中国科学院院刊,2018,33(2):124-134. ZHANG G L, WU H Y. From "problems" to "solutions": Soil functions for realization of

sustainable development goals[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2): 124-134.

[4] 索炎炎,张翔,司贤宗,等.砂姜黑土区花生田种植前后土壤肥力空间变异特征分析及评价[J].核农学报,2021,35(4):933-941. SUO Y Y, ZHANG X, SI X Z, et al. Spatial variation analysis and comprehensive evaluation of soil fertility for peanut in lime concretion black soil area[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(4): 933-941.

[5] 高莉,张吴平,黄明镜,等.基于改进TOPSIS模型的土壤养分综合评价[J].山西农业科学,2021,49(6):739-746. GAO L, ZHANG W P, HUANG M J, et al. Comprehensive evaluation of soil nutrients based on improved TOPSIS model[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2021, 49(6): 739-746.

[6] 唐志文,蒋雅琴,谭善凯,等.新宁县脐橙园土壤养分特征及其培肥改良对策[J].湖南农业科学,2020(7):41-46. TANG Z W, JIANG Y Q, TAN S K, et al. Soil nutrient characteristics of navel orange orchards in Xinning County and countermeasures of improving fertility[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2020(7): 41-46.

[7] 卢召艳,陶维荣,王凤娟.基于GIS的石门县柑橘果园空间分布格局及影响因素分析[J].湖南农业科学,2020(7):78-82,85. LU Z Y, TAO W R, WANG F J. Spatial distribution pattern of citrus orchards in Shimen County based on GIS, and its influencing factors[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2020(7): 78-82, 85.

[8] 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. ZHOU L L, DUAN Z Q, HAN Q Z, et al. Comprehensive evaluation of soil fertility in citrus orchards in Zigui County[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 35(6): 1346-1353.

[9] RECENA R, FERNANDEZ-CABANAS V M, DELGADO A. Soil fertility assessment by Vis-NIR spectroscopy: Predicting soil functioning rather than availability indices[J]. *Geoderma*, 2019, 337: 368-374.

[10] MORAL F J, REBOLLO F J, SERRANO J M. Estimating and mapping pasture soil fertility in a Portuguese montado based on an objective model and geostatistical techniques[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 157: 500-508.

[11] 王德彩,叶希琛,张雅梅,等.利用数字土壤制图技术评价桉树林土壤肥力[J].土壤通报,2021,52(1):139-147. WANG D C, YE X C, ZHANG Y M, et al. Evaluation of soil fertility under eucalyptus plantation using digital soil mapping[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(1): 139-147.

[12] 彭玉娇,崔学字,邵元元,等.不同树龄沙田柚果园土壤肥力、叶片养分和土壤细菌群落的特征[J].江苏农业学报,2021,37(2):348-354. PENG Y J, CUI X Y, SHAO Y Y, et al. Characteristic of soil fertility, leaf mineral nutrients and bacterial community in Shatian pomelo orchards of different tree ages[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 37(2): 348-354.

[13] 奚辉,李国雷,陶安安,等.滴灌施用有机液肥对红美人柑橘园土壤环境、柑橘产量、品质 and 经济效益的影响[J].浙江农业学报,2021,33(4):670-677. XI H, LI G L, TAO A A, et al. Effect of drip fertigation with organic liquid fertilizer on soil environment, fruit yield, quality, and economic benefits of citrus cv. beni madonna[J]. *Ac-*

- ta Agriculturae Zhejiangensis*, 2021, 33(4):670-677.
- [14] 曹胜, 周卫军, 刘沛, 等. 冰糖橙果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 土壤, 2021, 53(1):97-104. CAO S, ZHOU W J, LIU P, et al. Multivariate analysis and optimization of relationship between soil nutrients and fruit quality in *C. sinensis* (L.) osbeck orchard[J]. *Soils*, 2021, 53(1):97-104.
- [15] 张世祺, 程琛, 林伟杰, 等. ‘琯溪蜜柚’园土壤和树体的硼素营养与果实粒化关系分析[J]. 果树学报, 2019, 36(4):468-475. ZHANG S Q, CHENG C, LIN W J, et al. Analysis of boron nutrition status in soils and trees and its relationship with fruit granulation in ‘Guanximiyu’ pomelo[J]. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(4):468-475.
- [16] 沈彦辉, 刘文龙, 王怀利, 等. 平和县典型蜜柚果园土壤养分状况综合评价[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(6):156-160. SHEN Y H, LIU W L, WANG H L, et al. Comprehensive evaluation on honey pomelo garden soil fertility status of honey pomelo planting areas in Pinghe[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(6):156-160.
- [17] 林伟杰, 李歆博, 于建霞, 等. ‘琯溪蜜柚’园土壤和树体的硫素营养研究[J]. 果树学报, 2020, 37(6):848-856. LIN W J, LI X B, YU J X, et al. Sulfur nutrition status in trees and soils of ‘Guanximiyu’ pomelo orchards[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(6):848-856.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2005. BAO S D. Agrochemical analysis of soil[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2005.
- [19] 胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003. HU A T. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.
- [20] 庄伊美. 柑桔营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. ZHUANG Y M. Citrus nutrition and fertilization[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1997.
- [21] 鲁剑巍. 湖北省柑橘园土壤-植物养分状况与柑橘平衡施肥技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003. LU J W. Study on soil and plant nutrient status and balanced fertilization technology of citrus in Hubei Province[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003.
- [22] 李晓钟, 王欢. 互联网对我国经济发展影响的区域差异比较研究[J]. 中国软科学, 2020(12):22-32. LI X Z, WANG H. A comparative study on the regional differences of the effect of internet on China's economic development[J]. *China Soft Science*, 2020(12):22-32.
- [23] 沈仁芳, 赵学强. 酸性土壤可持续利用[J]. 农学学报, 2019, 9(3):16-20. SHEN R F, ZHAO X Q. The sustainable use of acid soils[J]. *Journal of Agriculture*, 2019, 9(3):16-20.
- [24] 黄至颖, 刘鸿雁, 冉晓追, 等. 贵州省土壤pH时空变化趋势分析[J]. 山地农业生物学报, 2020, 39(4):21-29. HUANG Z Y, LIU H Y, RAN X Z, et al. Spatial and temporal distribution of soil pH in Guizhou Province[J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2020, 39(4):21-29.
- [25] 张驭航, 李玲, 王秀丽, 等. 河南省土壤pH值时空变化特征分析[J]. 土壤通报, 2019, 50(5):1091-1100. ZHANG Y H, LI L, WANG X L, et al. Temporal and spatial variation of soil pH in Henan[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, 50(5):1091-1100.
- [26] 贾立辉, 朱平, 彭畅, 等. 长期施肥下黑土碳氮和土壤pH的空间变化[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39(1):67-73. JIA L H, ZHU P, PENG C, et al. Spatial distribution of soil carbon, nitrogen and pH of black soil under long-term fertilization[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2017, 39(1):67-73.
- [27] 余璇, 文婷, 马青龄, 等. 金沙柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(1):70-81. YU X, WEN T, MA Q L, et al. Correlation between fruit quality and mineral nutrients in soil, leaf and fruit of ‘Jinsha’ pomelo[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2021, 43(1):70-81.
- [28] 刘秀红. 南丰和衢州柑橘园土壤与树体营养状况的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014. LIU X H. Analysis on soil and leaf nutrient element contents in citrus orchards in the Nanfeng and Quzhou [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [29] 孙永明, 黄欠如, 叶川, 等. 江西寻乌脐橙果园土壤养分变化特征研究[J]. 中国南方果树, 2014, 43(4):60-64. SUN Y M, HUANG Q R, YE C, et al. Study on the variation characteristics of soil nutrient in Xunwu navel orange orchard in Jiangxi[J]. *South China Fruits*, 2014, 43(4):60-64.
- [30] ELIASSI M D, ZHAO W, TAN W F. Effect of carbonate and phosphate ratios on the transformation of calcium orthophosphates[J]. *Materials Research Bulletin*, 2014, 55:114-120.
- [31] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 湖南省柑橘园土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1):31-38. CAO S, OUYANG M Y, ZHOU W J, et al. Soil pH and main nutrient characteristics of citrus orchards and their correlation in Hunan Province[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(1):31-38.
- [32] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 石灰用量对酸性土壤pH值及有效养分含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4):72-77. HU M, XIANG Y S, LU J W. Effects of lime application rates on soil pH and available nutrient content in acidic soils[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2017(4):72-77.
- [33] 王义祥, 辛思洁, 叶菁, 等. 生物炭对强酸性茶园土壤酸度的改良效果研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(12):108-111. WANG Y X, XIN S J, YE J, et al. Improvement effect of biochar on soil acidity in strong acidity tea garden[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(12):108-111.
- [34] 李歆博, 林伟杰, 李湘君, 等. 琯溪蜜柚园土壤酸化特征研究[J]. 经济林研究, 2020, 38(1):169-176. LI X B, LIN W J, LI X J, et al. Research on soil acidification characteristics of Guanxi pomelo orchards[J]. *Nonwood Forest Research*, 2020, 38(1):169-176.
- [35] 脱云飞, 沈方圆, 杨翠萍, 等. 滇中高原降雨对不同地类土壤磷素、有机质和pH变化的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(5):942-950. TUO Y F, SHEN F Y, YANG C P, et al. Effects of rainfall on phosphorus, organic matter and pH in different land use types in middle Yunnan Plateau[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(5):942-950.