

汤超群, 饶火火. 龙岩市果园土壤有效态养分特征分析 [J]. 福建农业科技, 2024, 55 (2): 42-47.

龙岩市果园土壤有效态养分特征分析



汤超群, 饶火火

(龙岩市土壤肥料技术站, 福建 龙岩 364000)

摘要: 通过摸清龙岩市果园土壤有效养分状况, 并探索土壤 pH 及有机质对有效养分的影响, 为科学指导果农施肥, 提高果树产量和改善果实品质提供理论依据。对龙岩市具有代表性的果园土壤进行取样, 共采集 66 个土样, 测定碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效锌、有效硼含量, 对照土壤养分分级标准, 分析评价其丰缺情况, 并就有效养分与 pH 及有机质间做相关与回归分析。结果表明: 龙岩市果园土壤碱解氮处于极丰富水平, 平均为 $159 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 有效磷处于丰富水平, 平均为 $26.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 速效钾处于中等水平, 平均为 $148 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。碱解氮、有效磷、速效钾在中等至极丰富水平范围内的样品数分别达 93.94%、98.48%、57.58%。有效钙处于缺乏水平, 平均为 $536.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效钙在缺乏至极缺水平范围内的样品数达 77.27%。有效锌处于丰富水平, 平均为 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全部样品均在中等至极丰富水平范围内。有效镁、有效硼均处于极缺水平, 平均分别为 29.9 、 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全部样品的有效镁、有效硼均在缺乏至极缺水平范围内。有效钙、有效镁、有效锌与 pH 存在极显著正相关。碱解氮与有机质存在显著性正相关, 有效磷和速效钾与有机质存在极显著正相关。总体而言, 龙岩市果园土壤碱解氮、有效磷、有效锌相对富足, 而有效钙、有效镁、有效硼相对匮乏。碱解氮、有效磷、速效钾与有机质以及有效钙、有效镁、有效锌与 pH 均存在曲线关系, 曲线拟合度较好。

关键词: 龙岩市; 果园; 有效养分

中图分类号: S153.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2301 (2024) 02-0042-06

DOI: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2024.02.007

Analysis on the Characteristics of Soil Available Nutrients in Orchards of Longyan City

TANG Chao-qun, RAO Huo-huo

(Longyan Soil and Fertilizer Station, Longyan, Fujian 364000, China)

Abstract: By finding out the effective nutrient status of soil in the orchards of Longyan City, and exploring the effects of soil pH and organic matter on the effective nutrients, it would provide a theoretical basis for the scientific guidance of fruit farmers' fertilization, increasing the fruit yield and improving the fruit quality. A total of 66 soil samples were collected from the representative orchards in Longyan City. The contents of alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus, available potassium, available calcium, available magnesium, available zinc, and effective boron were measured. According to the grading standard of soil nutrients, the abundance and deficiency of soil nutrients were analyzed and evaluated, and the correlation and regression analysis among the available nutrients, pH and organic matter were carried out. The results showed that: The soil alkaline hydrolysis nitrogen in the orchards of Longyan City was at the very rich level, with an average of $159 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The available phosphorus was at the rich level, with an average of $26.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The available potassium was at the medium level, with an average of $148 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The percentage of samples with the alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus and available potassium in the range of medium to extremely rich levels reached 93.94%, 98.48% and 57.58%, respectively. The available calcium was at the deficient level, with an average of $536.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The percentage of samples with the available calcium in the range of deficient to extremely deficient levels reached 77.27%. The available zinc was at the rich level, with an average of $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, and all the samples were in the range of medium to extremely rich levels. The available

收稿日期: 2024-01-15

作者简介: 汤超群, 男, 1986年生, 硕士研究生, 农艺师, 主要从事土壤肥料技术推广工作。

magnesium and available boron were at the extremely deficient level, with an average of $29.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $0.16 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The available magnesium and available boron of all the samples were within the range of deficient to extremely deficient levels. There were significant positive correlations among the available calcium, available magnesium, available zinc and pH. There was a significant positive correlation between the alkaline hydrolysis nitrogen and organic matter, and there was a significant positive correlation between available phosphorus and rapidly available potassium and organic matter. In general, the soil alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus and available zinc in orchards of Longyan City were relatively abundant, while the available calcium, available magnesium and available boron were relatively scarce. There were curvilinear relationships among the alkaline hydrolysis nitrogen, available phosphorus, rapidly available potassium and organic matter, as well as the available calcium, available magnesium, available zinc and pH, of which the curve fitting were good.

Key words: Longyan City; Orchards; Available nutrients

龙岩市位于北纬 $24^{\circ}23' \sim 26^{\circ}02'$ ，东经 $115^{\circ}51' \sim 117^{\circ}45'$ 。属亚热带海洋性季风气候，平均气温 $18.7 \sim 21.0^{\circ}\text{C}$ ，平均降水量 $1031 \sim 1369 \text{ mm}$ ，全年气候温和，无霜期长，雨量充沛，是热带水果生产基地。2020年全市果树种植面积 3.64 万 hm^2 ，产量 46.14 万 t 。随着水果产业的日益壮大，当地果农为追求产量而盲目施肥的现象愈加严重。盲目施肥导致肥料流失、土壤酸化板结和营养失衡以及果树产量品质下降等问题^[1-3]。摸清土壤有效养分状况以及土壤 pH 和有机质对有效养分的影响，对合理施肥、培肥土壤、提高果树品质和节本增效等具有重要意义。姚智等^[4]对海南省芒果主产区土壤养分调查发现，土壤有机质、全氮、碱解氮含量较低。黄兰等^[5]研究指出湖南省柑橘园土壤有效硼普遍缺乏。苏雪霞等^[6]对华南 5 省荔枝园土壤性状调查分析，发现有效钙、有效镁是除云南外最缺乏的元素，硼是 5 省最普遍缺乏的元素。土壤是果树生长的物质基础，其养分状况决定着果树产量、果实品质及果农经济效益。由于受气候条件、地形地貌、养分管理等因素差异的影响，各地果园土壤养分状况大不相同，限制果树高产量、高品质的肥力因子也大不相同。土壤有效态养分是果树生长直接吸收利用的养分来源，是衡量土壤肥力的重要指标，土壤养分有效性与土壤酸碱度及有机质密切相关^[7-9]。为科学指导果农施肥，提高果树产量和改善果实品质，本研究通过分析龙岩市果园土壤有效养分状况，并探索土壤 pH 及有机质对有效养分的影响，旨在为果园养分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 土样的采集

在龙岩市选择具有代表性的果园作为采样点，

每个采样点均按“S”形随机多点的方法采集 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层土样，经充分混匀后，采用四分法留取 $1.0 \sim 1.5 \text{ kg}$ 样品，共采集土样 66 个，分布在龙岩市 7 个县（区）34 个乡镇（镇），采集到的土样自然风干后送检分析各项指标。

1.2 测定项目与方法

土壤有机质采用重铬酸钾容量法；土壤 pH 采用水浸提电位法；碱解氮采用碱解扩散法；有效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法；速效钾用乙酸铵浸提—火焰光度计法；土壤有效钙和有效镁采用乙酸铵浸提—原子吸收分光光度法；有效锌用 DTPA 浸提—原子吸收分光光度法，有效硼用姜黄素比色法^[10]。

1.3 果园土壤养分分级标准

果园土壤有效养分分级参考《全国第二次土壤养分含量分级标准》及庄伊美等^[11]、鲁剑巍等^[12]、Chapman^[13]的分级标准综合而定（表 1）。

1.4 数据处理与分析

对土壤有效养分含量的平均值、变异系数及分布频率进行统计，依据土壤养分分级标准，探讨土壤不同养分指标的丰缺状况，并就土壤 pH、有机质与各有效养分指标间进行相关性研究分析。所有数据均采用 Excel 和 SPSS 进行处理。

2 结果与分析

2.1 果园土壤（大量元素）碱解氮、有效磷和速效钾养分状况

碱解氮是土壤中能直接被作物直接吸收利用的氮素，可反映土壤氮素的动态变化和供氮水平^[14]。由表 2 可知，果园土壤碱解氮平均为 $159 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，平均含量处于极丰富水平，碱解氮变化幅度为 $62 \sim 416 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，变异系数为 33.1%，表明果园土

表 1 果园土壤有效养分指标分级标准

Table 1 Index grading standard of soil available nutrients in orchard

项目	极缺	缺乏	中等	丰富	极丰富
碱解氮 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<50	50~90	90~120	120~150	>150
有效磷 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<5	5~10	10~20	20~40	>40
速效钾 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<50	50~100	100~150	150~200	>200
有效钙 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<400	400~800	800~1200	1200~2000	>2000
有效镁 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<50	50~100	100~200	200~300	>300
有效锌 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	>3.0
有效硼 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	<0.25	0.25~0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	>2.0

表 2 果园土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量及分布频率

Table 2 Contents and distribution frequency of available N, available P and available K in orchard soil

项目	范围	均值	变异系数 (%)	分布频率 (%)				
				极缺	缺乏	中等	丰富	极丰富
碱解氮 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	62~416	159	33.1	0.00	6.06	16.67	19.70	57.58
有效磷 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.9~59.6	26.3	43.9	0.00	1.52	34.85	53.03	10.61
速效钾 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	39~314	148	58.0	7.58	34.85	13.64	12.12	31.82

壤碱解氮分布差异不大。从碱解氮等级分布来看,只有 6.06% 的果园土壤处于缺乏水平外,其余都处于中等及以上水平,其中处于中等水平的占 16.67%,处于丰富水平的占 19.70%,处于极丰富水平的占 57.58%。土壤碱解氮含量较高,这与果农重视化肥(特别是氮肥)投入有关。

土壤有效磷是衡量土壤供磷能力的重要指标^[15]。果园土壤有效磷平均为 $26.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量处于丰富水平,有效磷变化幅度为 $5.9\sim 59.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 变异系数为 43.9%, 果园土壤有效磷分布差异不大。从有效磷等级分布来看,处于中等及以上水平的占 98.48%, 其中中等水平的占 34.85%, 丰富水平的占 53.03%, 极丰富水平的占 10.61%。只有 1.52% 的果园土壤有效磷含量处于缺乏水平。龙岩市地属温暖亚热带气候,磷的淋溶较为强烈,土壤有效磷易先天不足。本次调查发现果园土壤有效磷含量较高,这与果农为追求果树的产量和果实的品质,后期大量施用过磷酸钙、钙镁磷肥等化学磷肥有关。

速效钾是反映土壤对当季作物供钾水平的主要

指标,是衡量土壤钾素供应能力的重要指标之一^[16]。果园土壤速效钾平均为 $148 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量处于中等水平,速效钾含量变化幅度为 $39\sim 314 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 变异系数为 58.0%, 说明果园土壤速效钾分布差异较为明显。从速效钾等级分布频率来看,处于极缺、缺乏水平的分别占 7.58%、34.85%, 处于丰富、极丰富水平的分别占 12.12%、31.82%, 处于中等水平的占 13.64%。

2.2 果园土壤(中量元素)有效钙和有效镁养分状况

钙和镁是果树生长发育所必需的中量元素,其含量直接影响着果树的产量与品质^[17-19]。果树吸收的钙和镁主要来自土壤有效钙和有效镁,土壤有效钙和有效镁含量是评价钙和镁素供应水平的主要指标^[20-21]。由表 3 可知,果园土壤有效钙变化幅度为 $51.3\sim 1854.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值为 $536.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量处于缺乏水平;有效镁变化幅度为 $5.1\sim 92.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均值为 $29.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量处于极缺水平。土壤有效钙和有效镁含量变异较大,变异系数分别高达 92.1%、61.7%,表

明果园土壤有效钙和有效镁分布极不平衡。从有效钙和有效镁等级分布频率来看，果园土壤有效钙处于极缺和缺乏水平的分别占 23.1%、76.9%；处于中等及丰富水平的分别占 9.09%、13.64%。土壤有效镁全部处于极缺和缺乏水平，分别占 87.88%、

12.12%。出现土壤有效钙、有效镁缺乏甚至极缺现象，这与土壤钙和镁流失严重有关，龙岩地处亚热带，果园多为低山丘陵，土壤风化和淋溶非常强烈，导致钙、镁元素易随原生矿物的分解而流失^[22]。

表 3 果园土壤有效钙、镁含量及分布频率

Table 3 Contents and distribution frequency of available Ca and available Mg in orchard soil

项目	范围	均值	变异系数 (%)	分布频率 (%)				
				极缺	缺乏	中等	丰富	极丰富
有效钙 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	51.3~1854.1	536.3	92.1	53.03	24.24	9.09	13.64	0.00
有效镁 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.1~92.4	29.9	61.7	87.88	12.12	0.00	0.00	0.00

2.3 土壤（微量元素）有效锌和有效硼养分状况

微量元素对于果树生长发育和抗病能力至关重要，果树缺少微量元素，会导致果树营养生长受阻或生殖生长发生障碍^[23]。由表 4 可知，果园土壤有效锌含量变化幅度为 0.5~6.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，平均值为 2.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，略低于我国红壤平均值（2.57 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）^[24]，平均含量处于丰富水平。从有效锌等级分布频率来看，有效锌含量都处于中等至极丰富水平，表明龙岩市果园土壤有效锌含量较为充足，这与庄伊美等^[25]对福建南部丰产柑橘园的研究结论非常一致。

龙岩市果园土壤有效硼含量变化幅度为 0.01~0.49 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，全部低于临界值（0.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ），平均值为 0.16 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，略低于我国红壤平均值（0.19 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ）^[24]，平均含量处于极缺水平。从有效硼等级分布频率来看，有效硼含量都处于极缺至缺乏水平，分别占 83.33%、16.67%。可见，果园土壤有效硼含量非常低。除了因成土母质酸性岩本身含硼量很低外，还与土壤淋溶致使有效硼流失有关^[26]。因此，加强果园土壤养分综合管理并补充硼肥，是今后果园均衡施肥中不可忽略的问题。

表 4 果园土壤有效锌、有效硼含量及分布频率

Table 4 Contents and distribution frequency of available Zn and available B in orchard soil

项目	范围	均值	变异系数 (%)	分布频率 (%)				
				极缺	缺乏	中等	丰富	极丰富
有效锌 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.5~6.6	2.5	53.4	0.00	0.00	12.12	50.00	37.88
有效硼 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.01~0.49	0.16	58.1	83.33	16.67	0.00	0.00	0.00

2.4 果园土壤有效养分与 pH、有机质间的关系

果园土壤有效养分与土壤 pH、有机质间的相关系数见表 5。由表 5 可知，土壤有效钙（ $r=0.883^{**}$ ）、有效镁（ $r=0.399^{**}$ ）、有效锌（ $r=0.378^{**}$ ）与土壤 pH 存在极显著正相关。碱解氮（ $r=0.287^*$ ）与土壤有机质存在显著正相关，有效磷（ $r=0.466^{**}$ ）和速效钾（ $r=0.742^{**}$ ）与土壤有机质存在极显著正相关。

在简单相关分析的基础上，选取与有机质和

pH 具有显著相关性的有效养分指标做逐步回归分析，即以有机质、pH 为自变量，碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效锌为因变量，分别绘制两个属性之间的拟合曲线图（图 1、2），并建立了 6 个拟合曲线函数方程（表 6）。由图 1 和图 2 可知，碱解氮、速效钾随有机质的增加而升高，有效磷随有机质的增加先降低而后升高；有效钙、有效镁、有效锌随土壤 pH 提高先升高而后降低。

表 5 果园土壤有效养分与 pH、有机质间的相关系数

Table 5 Correlation coefficient among the soil available nutrients, pH and organic matter in orchards

项目	碱解氮	有效磷	速效钾	有效钙	有效镁	有效锌	有效硼
pH值	0.085	0.132	0.189	0.883**	0.399**	0.378**	0.196
有机质	0.287*	0.466**	0.742**	0.002	0.189	0.184	-0.055

注：*在0.05级别相关性显著，**在0.01级别相关性显著。

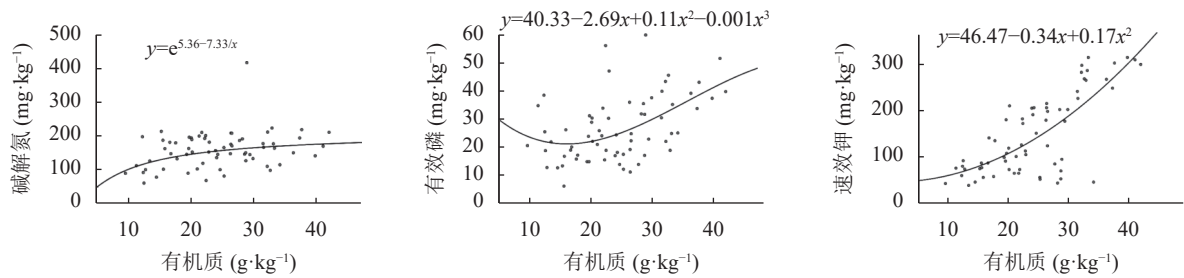


图 1 果园土壤碱解氮、有效磷、速效钾与有机质的拟合曲线

Fig. 1 Fitting curves of the available N, P, K and organic matter in orchard soil

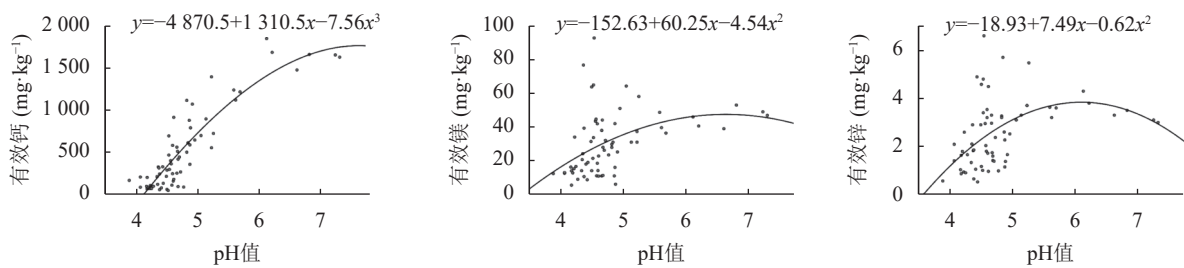


图 2 果园土壤有效钙、有效镁、有效锌与 pH 的拟合曲线

Fig. 2 Fitting curves of the available Ca, Mg, Zn and pH in orchard soil

表 6 果园土壤有效养分与 pH、有机质的拟合曲线方程

Table 6 Fitted curve equation between available nutrient, pH and organic matter in soil

自变量	因变量	方程表达式	曲线模型	R^2	F	P
有机质	碱解氮	$y = e^{5.36 - 7.33/x}$	S型曲线	0.146	10.922	0.002
	有效磷	$y = 40.33 - 2.69x + 0.11x^2 - 0.001x^3$	三次函数	0.253	6.985	0.000
	速效钾	$y = 46.47 - 0.34x + 0.17x^2$	二次函数	0.570	41.703	0.000
pH值	有效钙	$y = -4870.5 + 1310.5x - 7.56x^3$	三次函数	0.809	133.457	0.000
	有效镁	$y = -152.63 + 60.25x - 4.54x^2$	二次函数	0.187	7.260	0.001
	有效锌	$y = -18.93 + 7.49x - 0.62x^2$	二次函数	0.238	9.821	0.000

由表 6 可知，6 个拟合曲线函数方程均有统计学意义 ($P < 0.01$)，决定系数 (R^2) 为 0.146~0.809，拟合度较好，各拟合曲线能很好地反映有效养分与土壤 pH 及有机质间的数学关系。

3 结论

龙岩市果园土壤碱解氮处于极丰富水平，平均为 $159 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；有效磷处于丰富水平，平均为

26.3 mg·kg⁻¹；速效钾处于中等水平，平均为 148 mg·kg⁻¹。碱解氮、有效磷、速效钾在中等至极丰富水平范围内的样品数分别达 93.94%、98.48%、57.58%。有效钙处于缺乏水平，平均为 536.3 mg·kg⁻¹，有效钙在缺乏至极缺水平范围内的样品数达 77.27%。有效锌处于丰富水平，平均为 2.5 mg·kg⁻¹，全部样品均在中等至极丰富水平范围内。有效镁、有效硼均处于极缺水平，平均分别为 29.9、0.16 mg·kg⁻¹，全部样品的有效镁、有效硼均在缺乏至极缺水平范围内。总体而言，龙岩市果园土壤碱解氮、有效磷、有效锌相对富足，而有效钙、有效镁、有效硼相对匮乏。

本研究表明，土壤有效钙、有效镁、有效锌与土壤 pH 存在极显著正相关。碱解氮与有机质存在显著正相关，有效磷和速效钾与有机质存在极显著正相关。经回归分析，碱解氮、有效磷、速效钾与有机质以及有效钙、有效镁、有效锌与土壤 pH 均存在曲线关系，决定系数 (R^2) 0.146~0.809，且 $P < 0.01$ ，曲线拟合度较好。

参考文献：

- [1] 张森. 四川梓潼县蜜柚肥料施用现状及其提质增效配方施肥方案研发 [D]. 成都: 四川农业大学, 2019.
- [2] 朱友添. 平和县蜜柚产业施肥现状、存在问题及建议 [J]. *东南园艺*, 2014 (5): 51-53.
- [3] 周奕廷. 永兴县冰糖橙果园土壤肥力特征和专家系统建立 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
- [4] 姚智, 白亭玉, 金成伟, 等. 海南省芒果主产区土壤养分现状与果实矿质养分相关性评价与分析 [J]. *土壤学报*, 2016, 47 (6): 1409-1417.
- [5] 黄兰, 周卫军, 崔浩杰, 等. 湖南柑橘土壤中微量养分特征及施肥对策 [J]. *土壤*, 2020, 52 (2): 287-293.
- [6] 苏雪霞, 刘庆辉, 白翠华, 等. 华南荔枝园土壤性质调查与分析 [J]. *热带作物学报*, 2021, 42 (11): 3165-3172.
- [7] 穆桂珍, 罗杰, 蔡立梅, 等. 广东揭西县土壤微量元素与有机质和 pH 的关系分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40 (10): 208-215.
- [8] 邱全敏, 王伟, 吴雪华, 等. 华南荔枝园土壤 pH 状况及荔枝生长适宜的土壤 pH [J]. *中国土壤与肥料*, 2020 (6): 89-97.
- [9] 刘松忠, 张强, 赵昌杰, 等. 果园土壤有机质对土壤特性与果实品质的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (36): 21104-21106.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 30-165.
- [11] 庄伊美, 俞立达, 周学伍, 等. 柑桔营养与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 270-280.
- [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] CHAPMAN H D. The mineral nutrition of citrus [M]. Reuther W: The Citrus Industry CA, USA of Calif., 1968: 127-289.
- [14] 陆欣. 土壤肥料学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [15] 胡露堂. 植物营养学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995: 48-53.
- [16] 黄绍文, 金继运. 土壤钾形态及其植物有效性研究进展 [J]. *土壤肥料*, 1995 (5): 23-29.
- [17] CASERO T, BENAVIDES A, PUY J, et al. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in golden smoothie apples using multivariate regression techniques [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2004, 27 (2): 313-324.
- [18] TAYLOR M D, LOCASCIO S J. Blossom-end rot: a calcium deficiency [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2004, 27 (1): 123-139.
- [19] 杨苞梅, 李进权, 姚丽贤, 等. 钾钙镁营养对香蕉产量、品质及贮藏性的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18 (2): 290-294.
- [20] 李伏生. 红壤地区镁肥对作物的效应 [J]. *土壤与环境*, 2000, 9 (1): 53-55.
- [21] 熊德中. 土壤有效钙水平对烤烟若干生理代谢的影响 [J]. *安徽农业大学学报*, 2010, 37 (2): 369-373.
- [22] 张玲玉, 赵学强, 沈仁芳. 土壤酸化及其生态效应 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38 (6): 1900-1908.
- [23] 王晋, 王玉姣, 王永博, 等. 梨树微量元素营养研究进展 [J]. *果树学报*, 2021, 38 (6): 995-1003.
- [24] 李庆远. 中国红壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [25] 庄伊美, 王仁玗, 谢志南, 等. 福建南部丰产柑桔园土壤的微量元素含量 [J]. *福建农学院学报*, 1993, 22 (1): 34-40.
- [26] 林景亮. 福建土壤 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991: 238-242.

(责任编辑: 柯文辉)