

贵州茶园主产区不同母质茶园土壤微量元素空间差异特征

龙天雨, 杨丽, 谢珊, 樊洪, 任红军, 刘元生*

贵州大学农学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年3月1日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘要

为了探究不同母质茶园土壤Fe、Mn、Cu、Zn的含量特征,本研究以贵州省多个茶叶主产区为研究对象,分别采集了老风化壳、砂页岩和石英砂岩三种母质发育来的茶园土壤,并分析土壤中Fe、Mn、Cu、Zn的全量以及有效态含量特征及其剖面分布状况。研究表明:茶园土壤中全量Fe、Cu和Zn含量均与土壤砂粒含量呈极显著负相关,而与粘粒含量呈极显著正相关,在三种母质发育来的土壤上,全量铁、铜和锌平均含量表现为老风化壳 > 砂页岩 > 石英砂岩。全量Mn含量与粉粒含量呈显著正相关,在三种母质发育来的土壤上平均表现为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩。不同母质发育来的土壤上,有效Fe平均含量差异不大;有效Mn平均含量为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩;有效Cu平均含量为砂页岩大于老风化壳和石英砂岩;有效Zn平均含量为砂页岩和石英砂岩大于老风化壳。土壤中有效态Fe、Mn、Cu、Zn均处于中等及以上水平,在土壤中含量较为丰富。

关键词

母质, 茶园土壤, 铁锰铜锌, 全量, 有效态

Spatial Differences of Trace Elements in Tea Garden Soils from Different Parent Materials in the Main Tea Producing Areas of Guizhou

Tianyu Long, Li Yang, Shan Xie, Hong Fan, Hongjun Ren, Yuanshen Liu*

Agricultural College of Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 1st, 2023; accepted: Mar. 24th, 2023; published: Mar. 31st, 2023

*通讯作者。

文章引用: 龙天雨, 杨丽, 谢珊, 樊洪, 任红军, 刘元生. 贵州茶园主产区不同母质茶园土壤微量元素空间差异特征[J]. 有机化学研究, 2023, 11(1): 36-48. DOI: 10.12677/jocr.2023.111005

Abstract

In order to explore the content characteristics of iron, manganese, copper, and zinc in the soil of tea gardens with different parent materials, this study took several major tea producing areas in Guizhou Province as the research object, and selected three parent materials of old weathering crust, sand shale and quartz sandstone. The characteristics of the total and available content of Fe, Mn, Cu, and Zn in the soil and their profile distribution were analyzed. The results show that the content of iron, copper and zinc in the soil has a very significant negative correlation with the soil sand content, and a very significant positive correlation with the clay content. Shale > quartz sandstone; manganese content is significantly positively correlated with silt content, on average, sand shale > old weathered crust > quartz sandstone on soils developed from different parent materials. In soils developed from different parent materials, there is little difference in the average content of available iron; the average content of available Mn is sand shale > old weathered crust > quartz sandstone; the average effective Cu content of sand shale is greater than that of old weathered crust and quartz sandstone; the average Zn content in sand shale and quartz sandstone is greater than that in old weathering crust. The available Fe, Mn, Cu and Zn in the soil were all at the medium level or above, and the content was relatively abundant in the soil.

Keywords

Parent Material, Tea Garden Soil, Iron, Manganese, Copper and Zinc, Total Quantity, Effective State

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“十三五”期间，贵州省大力发展茶产业，种植面积广，截止 2019 年底，贵州省茶园面积 696.63 万亩[1]。茶产业辐射，带动就业，成为贵州省脱贫攻坚的重要产业[2]。贵州已逐渐成为中国茶叶的重要原料生产基地，茶产业已逐渐成为贵州农业领域的支柱产业。因此，提高茶叶产量和品质尤为重要。土壤是茶树赖以生存的基础，它不仅能输送茶树生长所需的水分和养分，还频繁与茶树进行物质交换，参与茶树体内有机物质的合成[3] [4] [5]，土壤养分供应状况对于茶树的正常生长及其产量和品质具有重要影响[6] [7]。有研究认为，土壤中的微量元素可增强茶树体内的酶活性，促进叶片的光合作用以及碳水化合物形成，从而提高茶树的抗逆能力[8]。不仅如此，微量元素还会影响茶树对大量元素的吸收和利用[9]。土壤中活性 Fe、Zn 含量过低会导致部分茶园换种改植茶苗成活率低和生长发育不良[6]。Fe、Mn、Cu、Zn 等矿质元素在植物体内有其特殊的营养作用，不能被其他元素所代替[10] [11]。

土壤母质在土壤形成和发育上起着重要作用，方玲等对乌龙茶产地土壤母质特点研究表明，K、Al、Fe、Mn、Zn 五种元素与母质的相关性较大[12]。经过野外调查，贵州省茶园主要分布在酸性黄壤上，母质类型以老风化壳、砂页岩和石英砂岩为主。酸性环境对金属元素在土壤中的活性具有较大影响，一方面在酸性介质上金属元素往往活性较强，有效态含量过高可能给茶树带来毒害；另一方面易造成大量活性金属元素被淋失，对于某些茶树必须的营养元素来说，长期下来将会大大增加土壤微量元素缺乏的

风险。因此,本文在对贵州省茶园土壤母质进行调查的基础上,选择了老风化壳、砂页岩和石英砂岩三种母质的茶园为研究对象。通过对贵州茶叶主产区茶园土壤调查取样,分析不同母质茶园土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 的全量以及有效态含量特征及其剖面分布状况,探究不同母质上茶园土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征及其影响因素,为贵州省各茶叶产区微量元素肥料的合理施用提供一定的科学依据,旨在为贵州高品质茶叶的发展提供具有实际应用价值的意见。根据土壤中微量元素丰缺程度的调查结果,结合影响土壤微量元素含量的相关因素,采取有效措施从本质上解决微量元素不足或过量等问题,这些对于提高茶叶产量及品质有均重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 土壤样品采集与区域概况

贵州省基本以喀斯特地貌为主,采样前根据贵州茶园区域分布特征,分别调查了遵义湄潭、凤岗、余庆,铜仁石阡,黔南都匀、独山、瓮安、贵定,黔东南锦屏、黎平、雷山、丹寨,黔西南普安、安龙,安顺西秀区、普定,毕节金沙、黔西、大方,贵阳修文、花溪区 21 个茶叶生产县(市、区)。并依据文献资料[13][14][15]及调查地点地质地貌、剖面特征等进行土壤母质判定。本研究选择了老风化壳、砂页岩和石英砂岩三种母质发育来的茶园为研究对象,于 2020 年 12 月~2021 年 1 月,根据各茶园整体茶区情况及地形地貌特征选定具有代表性的样点挖掘土壤剖面。选取发育完整的土壤剖面为研究对象,按土壤发生分层自下而上分别采集淋溶层、淀积层和母质层土壤样品,对于实际采样过程中挖掘到的非完整土壤发生剖面予以舍弃。本研究在老风化壳、砂页岩和石英砂岩母质上分别开挖了 20、19 和 12 个茶园土壤剖面,共采集了 153 个土壤样品。

2.2. 分析测试

本土壤 pH 值的测定采用电位法 - 水土比 2.5:1; 有机质的测定采用高温外加热重铬酸钾氧化——容量法;土壤颗粒组成采用比重计测速法;全量 Fe, Mn, Cu, Zn-混酸消解原子吸收光度法;有效态 Fe, Mn, Cu, Zn-DTPD 浸提原子吸收光度法[16], 土壤有效态微量元素评价标准参考表 1。

Table 1. Evaluation criteria for soil available trace elements¹⁾

表 1. 土壤有效态微量元素评价标准¹⁾

元素	等级(mg/kg)					临界值
	很低	低	中等	高	极高	
有效 Fe	<5.00	5.0~7.0	7.1~10.0	10.1~15.0	>15.0	7.0
有效 Mn ²⁾	<5.00	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~30.0	>30.0	10.0
有效 Cu	<0.10	0.1~0.2	0.21~1.00	1.00~1.80	>1.80	0.2
有效 Zn	<0.50	0.5~1.0	1.1~2.0	2.1~5.0	>5.0	1.0

注: 1) 引自 1989 年南京微量元素肥料工作会议资料; 2) 引自 1985 西安召开的微量元素肥料工作会议资料。

2.3. 数据分析

实验数据通过 IBM SPSS Statistics 22 及 Excel 完成数据处理及统计分析,采用 Origin 2021 绘制所需图形。

3. 结果与分析

3.1. 不同母质茶园土壤基本理化性质

有研究认为, 土壤中金属元素形态的转换平衡主要受土壤 pH、Eh、湿度、有机质、质地和土壤通气状况等理化性质的影响[17][18][19][20]。不同母质发育而来的土壤理化性质存在差异, 因此, 本研究测定土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的同时还测定土壤 pH、有机质和颗粒组成, 结果如图 1 所示。

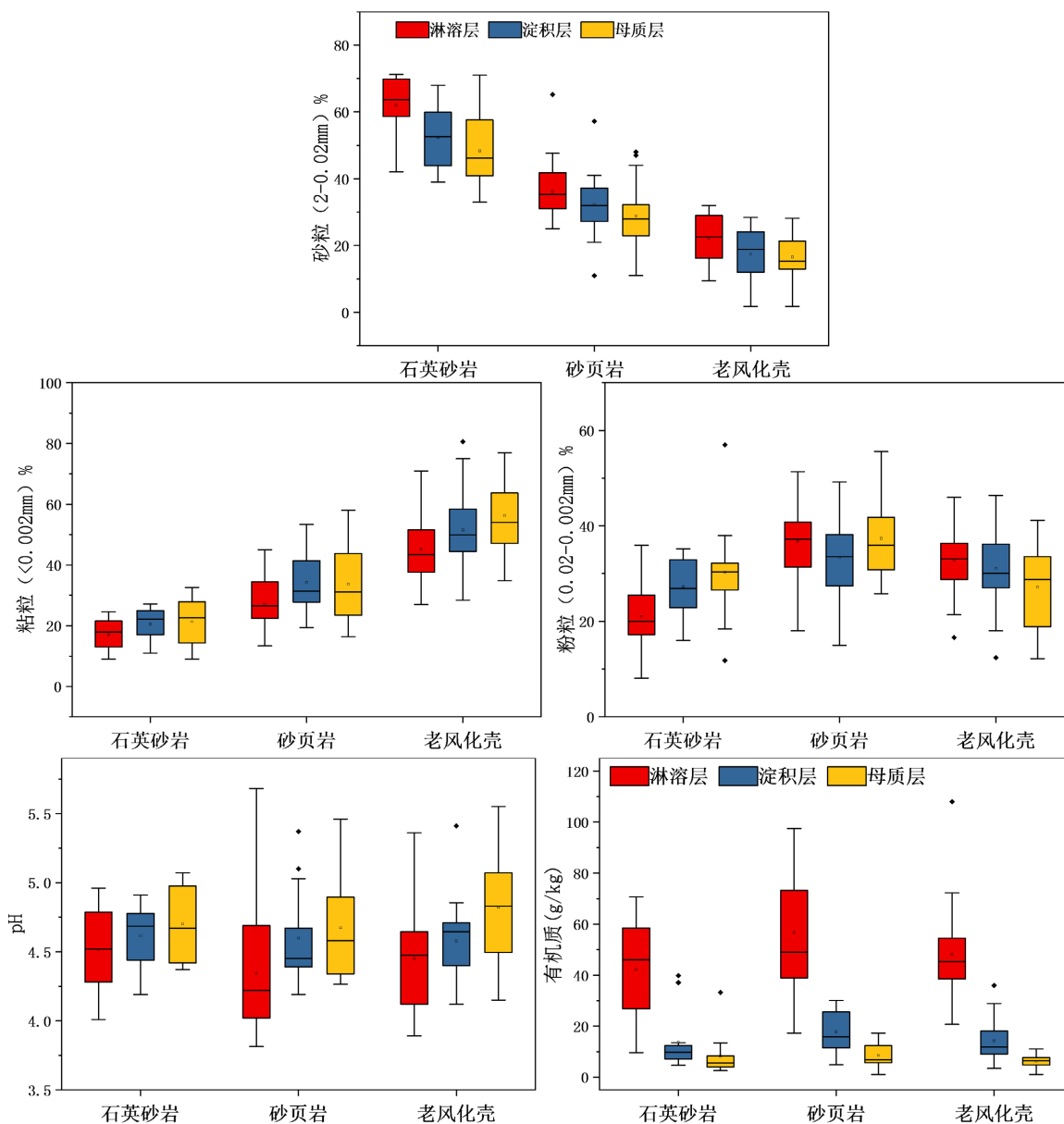


Figure 1. Basic physical and chemical properties of tea garden soils with different parent materials

图 1. 不同母质茶园土壤基本理化性质

从不同母质来看, 茶园土壤砂粒含量整体表现为石英砂岩(54.2%) > 砂页岩(32.5%) > 老风化壳(18.7%); 比较砂粒在垂直方向上的含量特征发现, 在三种母质发育来的土壤上均为淋溶层 > 淀积层 >

母质层。粉粒含量在三种母质发育来的土壤上整体为砂页岩(35.9%) > 老风化壳(30.3%) > 石英砂岩(26.2%); 垂直方向上, 石英砂岩母质发育来的土壤上粉粒含量由表层向下逐层增加, 而老风化壳母质发育来的土壤上则相反, 在砂页岩母质发育来的土壤上为淋溶层和母质层大于淀积层。在老风化壳、砂页岩和石英砂岩母质发育来的土壤上粘粒平均含量分别为 51.0%、31.7%和 23.24%, 不同母质上为老风化壳 > 砂页岩 > 石英砂岩; 粘粒含量在垂直方向上整体为随土层加深含量增加。

老风化壳、砂页岩和石英砂岩母质发育来的土壤 pH 值分别为 3.89~5.55, 3.82~5.68 和 4.01~5.07, 均为酸性或强酸性。不同母质发育来的土壤上平均 pH 值差异不大; 土壤酸碱度是土壤形成过程中受生物、气候、母质、水文等因素综合作用所产生的结果[21], 可能是土壤在多重因素下酸化作用强烈, 从而掩盖了母质之间的差异。比较垂直方向上土壤 pH 值发现, 在三种母质发育来的土壤上, 土壤 pH 的平均值均为母质层最大、淋溶层最小, 表层土壤酸化较底层更加明显。有机质含量在垂直方向上均为淋溶层 > 淀积层 > 母质层, 随土壤深度增加而逐渐降低; 这是因为在表层残枝落叶聚集较多, 腐殖质作用相对明显, 因而有机质含量较高, 这与前人研究结果一致[22] [23]。而比较不同母质土壤上有机质含量则为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩。可能是老风化壳母质土壤质地太粘, 有机质难以浸染到土体中, 主要存在土壤表面快速分解; 而石英砂岩母质透气性较好, 分解快速。

3.2. 不同母质土壤全量 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征

由表 2 可得, 全量 Fe、Mn、Cu、Zn 在茶园土壤中均为中等变异, 不同元素整体表现为全 Fe (46.36 g/kg) > 全 Mn (520.7 mg/kg) > 全 Zn (114.1 mg/kg) > 全 Cu (57.48 mg/kg)。在不同母质发育来的土壤上, 全 Fe、全 Cu 和全 Zn 平均含量均为老风化壳 > 砂页岩 > 石英砂岩; 其中老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤全铁平均含量分别是石英砂岩母质的 2.46 和 1.96 倍, 全铜平均含量分别是石英砂岩母质的 3.00

Table 2. Characteristics of Fe, Mn, Cu, Zn content in tea garden soil with different parent materials (mg/kg)

表 2. 不同母质茶园土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征(mg/kg)

母质	元素	贵州省土壤背景值	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
老风化壳 (n = 20)	Fe*	41.7	25.49	128.37	59.03	23.18	39.27
	Mn	794	145.89	1757.79	583.06	378.04	64.84
	Cu	32	25.49	194.75	74.21	35.22	47.47
	Zn	99.5	69.91	306.42	165.55	52.85	31.92
砂页岩 (n = 19)	Fe*	41.7	21.51	88.99	47.14	16.68	35.38
	Mn	794	96.94	2652.11	666.76	517.29	77.58
	Cu	32	13.87	180.42	60.57	46.55	76.86
	Zn	99.5	40.93	204.53	97.98	39.66	40.48
石英砂岩 (n = 12)	Fe*	41.7	9.54	53.59	24.00	10.75	44.79
	Mn	794	41.52	534.99	185.56	145.87	78.61
	Cu	32	10.81	53.00	24.71	10.73	43.42
	Zn	99.5	11.98	133.55	53.68	31.17	58.07

注: 贵州省土壤背景值取自国家环保总局, 1990; *单位为 g/kg。

和 2.45 倍,全锌平均含量分别是石英砂岩母质的 1.69 和 3.08 倍。全 Mn 平均含量在不同母质上为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩,老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤全锰平均含量分别比石英砂岩母质高 3.14 和 3.59 倍。与贵州省土壤背景值相比,全 Fe 和全 Cu 平均含量在老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤上均高于贵州省土壤背景值,在石英砂岩母质上低于背景值;全 Mn 平均含量在三种母质发育来的土壤上均低于土壤背景值;全 Zn 平均含量在老风化壳母质上高于背景值,在砂页岩和石英砂岩母质上低于背景值。总而言之,全量 Fe、Mn、Cu、Zn 平均含量均为石英砂岩母质发育来的土壤上最低,且均低于贵州省土壤背景值,主要是因为石英砂岩母质以抗风化能力较强的石英为主,矿质元素含量低。

Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤中一方面在受到农业耕作和降雨淋溶等作用而向下淋失迁移,同时也会在适当的条件下停留积累,另一方面会在地下水或受植物的选择性吸收等作用向下向表层富集,从而造成元素在土壤剖面上的含量差异。比较 Fe、Mn、Cu、Zn 的剖面分布特征可得(图 2),全 Fe 的平均含量在老风化壳母质发育来的土壤上各土层差异不大,在砂页岩母质上为母质层和淀积层大于淋溶层,在石英砂岩母质上为母质层大于淀积层和淋溶层;Mn 的平均含量在老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤上各土层之间差异不大,在石英砂岩母质上为淋溶层和母质层高于淀积层;Cu 和 Zn 在三种母质上均为母质层 > 淋溶层 > 淀积层,随着土壤深度的加深含量逐渐增加,长期下来土壤中 Cu 和 Zn 可能有淋失的风险。

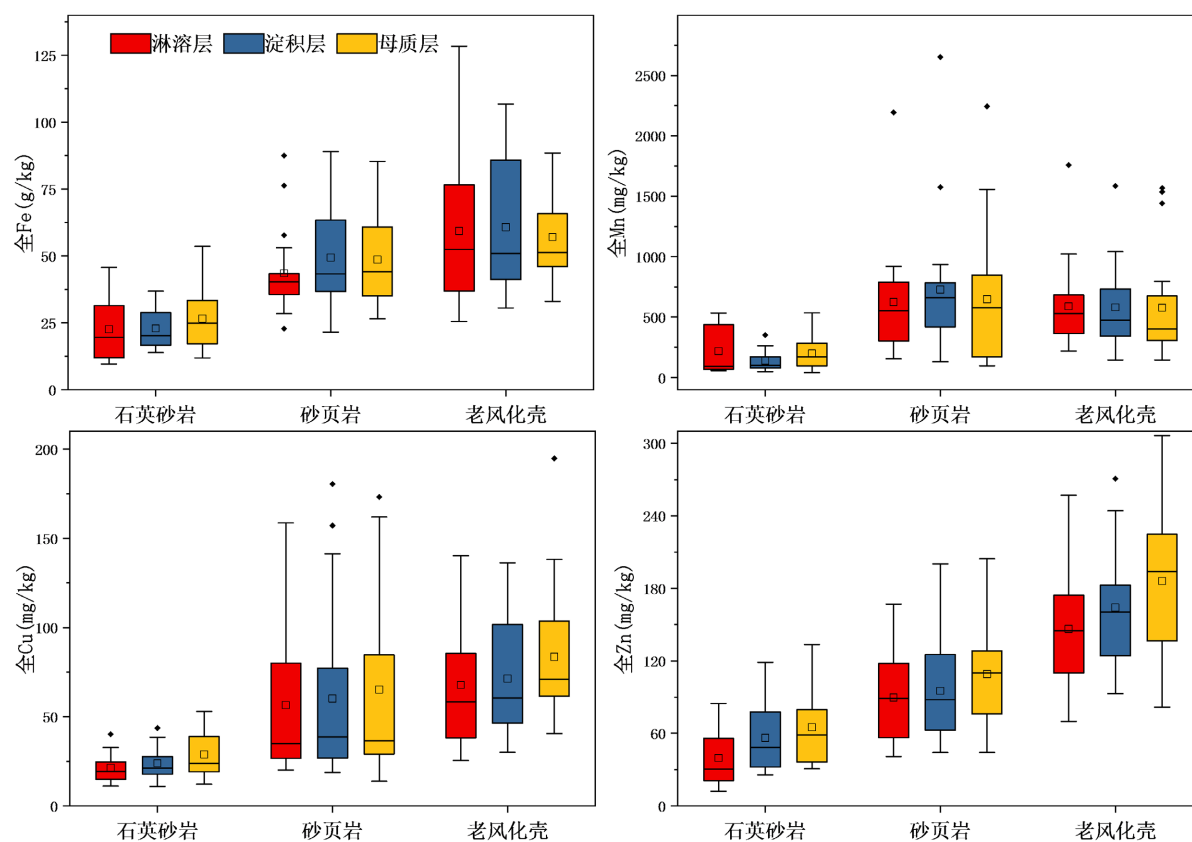


Figure 2. Comparison of soil Fe, Mn, Cu and Zn contents in different parent material tea garden profiles

图 2. 不同母质茶园剖面土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 含量对比图

3.3. 土壤中 Fe、Mn、Cu、Zn 含量与颗粒组成的关系

上文分析可知,土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 均在砂粒含量高的石英砂岩母质上含量较低,在粘粒

含量高的老风化壳母质发育来的土壤上含量较高。因此,对所采土壤样品颗粒组成与全量 Fe、Mn、Cu、Zn 含量做简单回归分析,探究土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤颗粒组成的关系。结果如图 3 所示,相关系数 r 的绝对值越接近 1,表明它们的相关程度越强。土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤砂粒含量的相关系数分别为 -0.5981 、 -0.2372 、 -0.5780 、 -0.7200 ,具有明显的负相关关系;与土壤粘粒含量的相关系数分别为 0.6031 、 0.0643 、 0.6167 、 0.7290 ,其中 Fe、Cu 和 Zn 与粘粒含量具有较好的正相关关系;与土壤粉粒含量的相关系数分别为 -0.0026 、 0.3129 、 -0.2020 、 -0.0152 ,仅全 Mn 含量与土壤粉粒具有较好的正相关关系,即随粉粒含量的增加土壤中全 Mn 含量逐渐增加。

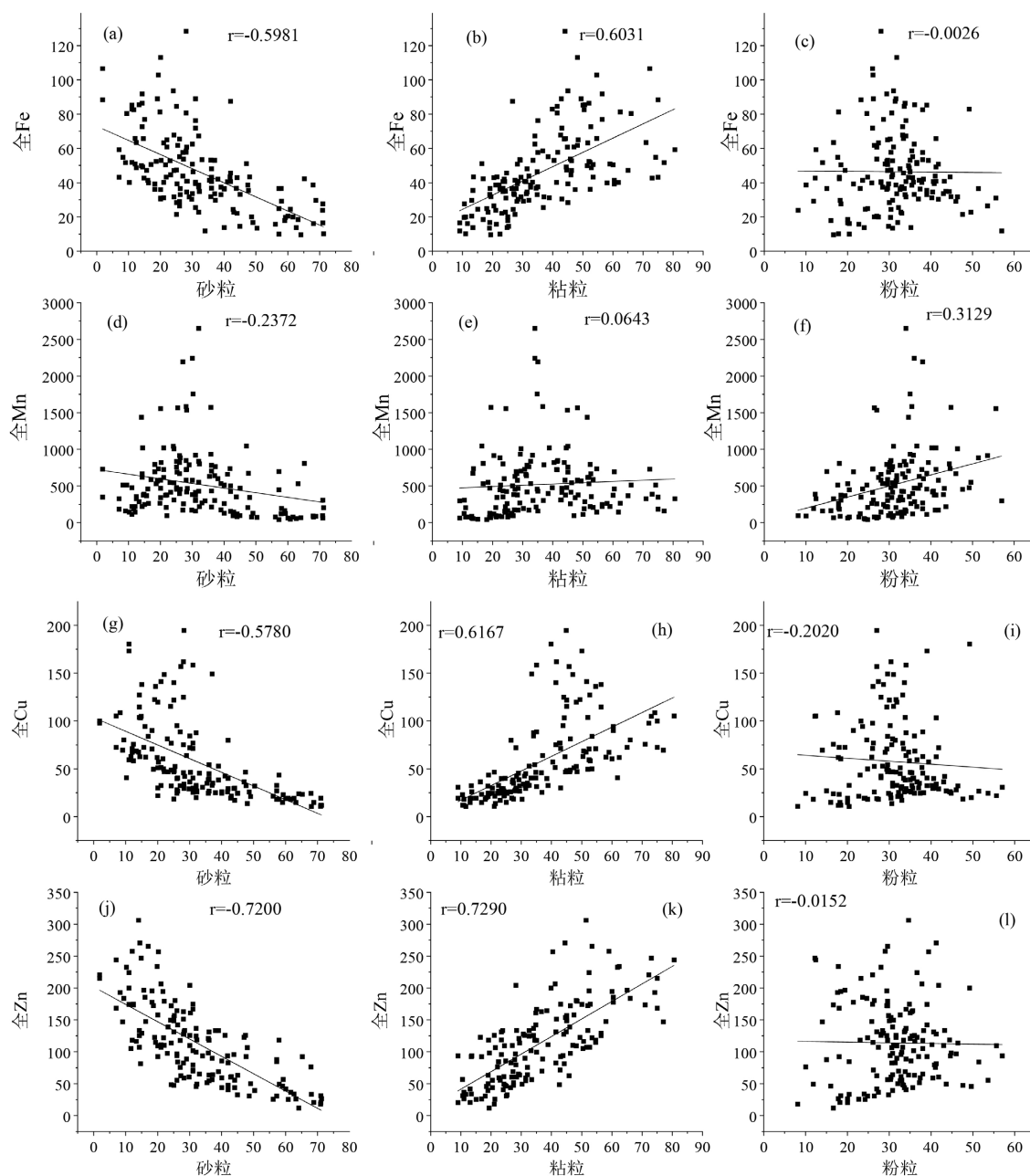


Figure 3. Relationship between particle composition in soil and soil Fe, Mn, Cu, and Zn content ($n = 153$)

图 3. 土壤中颗粒组成与土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的关系($n = 153$)

3.4. 不同母质土壤有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征

土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 表征其储量，但是有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 才是植物可以直接吸收利用的部分，其在土壤中的含量一定程度上影响甚至决定着茶树中 Fe、Mn、Cu、Zn 的含量。因成土母质及土壤理化性质的差异，有效 Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤中的变幅较大。

由表 3 可知，从整个茶园所采土壤样品来看，淋溶层有效铁平均含量分别是淀积层和母质层的 6.13 和 11.22 倍，有效锰平均含量分别是淀积层和母质层的 11.17 和 22.86 倍，有效铜平均含量分别是淀积层和母质层的 5.78 和 10.17 倍，有效锌的平均含量分别是淀积层和母质层的 7.39 和 10.49 倍。在三种母质发育来的土壤上，有效 Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤剖面上的分布均为淋溶层 > 淀积层 > 母质层，这与前人的研究结果一致，因为淋溶层土壤受人为、生物等活动影响最为强烈。进一步分析不同母质淋溶层土壤中有有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征可得(图 4)，在老风化壳、砂页岩和石英砂岩母质发育来的土壤上，淋溶层土壤有效 Fe 平均含量分别为 90.56 mg/kg、101.43 mg/kg 和 95.11 mg/kg，在三种母质上差异不大；有效 Mn 的平均含量分别为 42.15 mg/kg、58.19 mg/kg 和 12.39 mg/kg，不同母质表现为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩；有效 Cu 的平均含量分别为 1.07 mg/kg、1.18 mg/kg 和 1.00 mg/kg，砂页岩大于老风化壳和石英砂岩；有效 Zn 的平均含量分别为 1.56 mg/kg、2.17 mg/kg 和 2.12 mg/kg，不同母质表现为砂页岩和石英砂岩大于老风化壳。

Table 3. Contents of available iron, manganese, copper, and zinc in tea garden soil (mg/kg)

表 3. 茶园土壤有效态铁锰铜锌含量(mg/kg)

元素	土层	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数%
有效铁	淋溶层	12.43	354.11	96.06	70.17	73.05
	淀积层	0.25	92.59	15.67	16.23	103.55
	母质层	0.25	41.53	8.56	9.97	116.53
有效锰	淋溶层	1.06	146.97	40.75	30.79	75.55
	淀积层	0.08	24.82	3.65	5.04	138.01
	母质层	0.01	9.63	1.78	2.29	128.21
有效铜	淋溶层	0.24	3.24	1.06	0.46	43.22
	淀积层	0.01	0.91	0.18	0.19	102.40
	母质层	0.01	0.37	0.10	0.08	74.74
有效锌	淋溶层	0.52	5.74	1.90	1.06	56.05
	淀积层	0.00	1.06	0.26	0.23	88.05
	母质层	0.00	1.29	0.18	0.26	146.19

根据土壤有效态微量元素评价标准(表 1)，三种母质发育来的土壤上淋溶层有效 Fe 含量均处于极高水平；有效 Mn 含量在老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤上呈处于极高水平，在石英砂岩母质发育来的土壤上处于中等水平；有效 Cu 含量在三种母质上均处于高的水平；有效 Zn 含量在老风化壳母质发育来的土壤上处于中等水平，在砂页岩和石英砂岩母质发育来的土壤上处于高水平。综上，三种母质发育来的茶园土壤上，有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量均处于中等及以上水平，就连养分贫瘠的石英砂岩母质上也不存在 Fe、Mn、Cu、Zn 缺乏的现象。

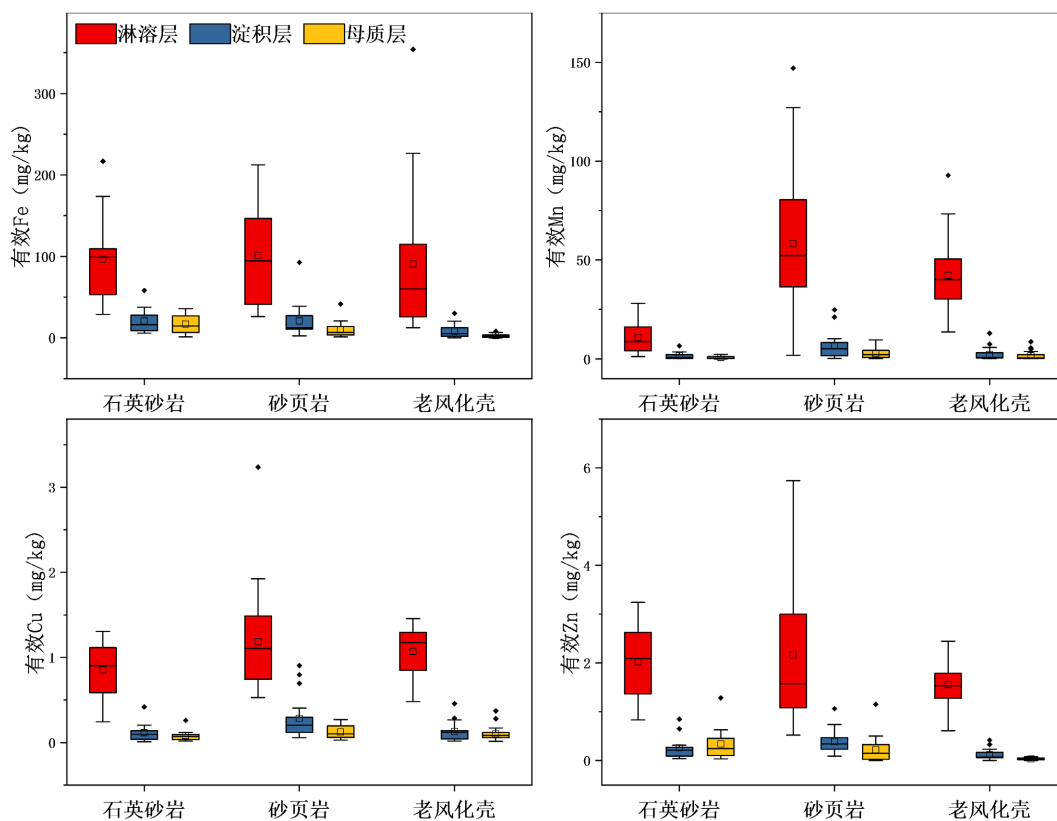


Figure 4. Characteristics of available Fe, Mn, Cu and Zn contents in soil profiles of tea gardens with different parent materials

图 4. 不同母质茶园土壤剖面有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征

3.5. 淋溶层土壤理化性质之间的关系

淋溶层土壤相比淀积层和母质层受外界影响更为强烈，同时，淋溶层土壤养分含量更能反映土壤对植物的供应状况。因此，选择各剖面淋溶层土壤进一步分析土壤理化性质之间的相关关系，结果如图 5 所示。

土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤 pH 和有机质相关规律不明显，说明其受 pH 和有机质影响较小。但是土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤的颗粒组成具有较明显的相关规律，特别是与土壤砂粒均呈极显著负相关；而与土壤粘粒和粉粒均呈正相关，其中全 Fe、Cu 和 Zn 与土壤粘粒呈极显著正相关，土壤全 Mn 与粉粒呈极显著正相关，说明土壤中的全量 Fe、Mn、Cu、Zn 受土壤颗粒组成影响较大。此外，土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 之间均呈正相关的关系，其中全 Zn 与全 Fe、全 Mn 和全 Cu 均达显著正相关水平，全 Fe 含量还与全 Cu 含量呈极显著正相关关系；由此表明，土壤中全量元素间的增效作用比较明显。

分析土壤中有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 含量与其余土壤理化指标之间的关系发现，有效 Fe 含量与土壤 pH 呈极显著负相关，有效 Mn 含量与土壤 pH 呈显著负相关，说明土壤中有效 Fe 和有效 Mn 含量随着土壤 pH 值下降而逐渐增加；而有效 Cu 和有效 Zn 则相反，其含量与土壤 pH 均呈正相关，但相关性不显著。土壤中仅有效 Fe 含量与土壤有机质呈显著正相关，其余没有显著的相关关系。土壤中有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤颗粒组成也有一定的相关关系，其中有效 Mn 含量与砂粒含量呈极显著负相关，与粉粒含量呈极显著正相关；而有效 Fe 和有效 Zn 含量与粘粒含量均呈显著负相关。分析有效态与全量的

关系发现, 土壤中有有效 Mn 与全 Mn、有效 Cu 与全 Cu 含量均呈极显著正相关; 但有效 Fe 与全 Fe、有效 Zn 与全 Zn 含量呈负相关, 其中有效 Fe 与全 Fe 达显著水平。这与多数的研究结果不一致, 具体原因有待进一步探索。

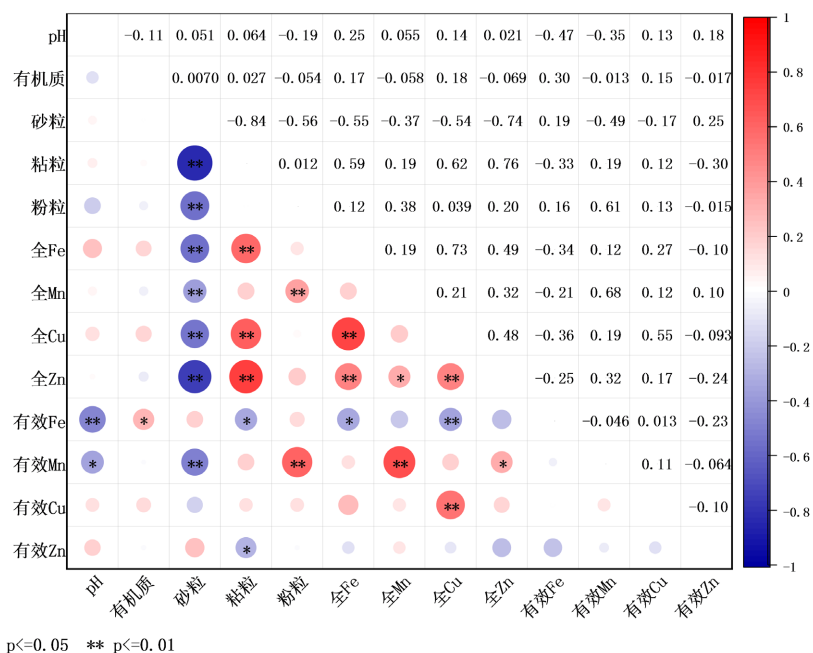


Figure 5. Correlation between physicochemical properties of soil in leaching layer
图 5. 淋溶层土壤理化性质之间的相关关系

4. 讨论

母质作为土壤形成的物质基础, 对土壤营养元素含量高低具有重要影响[24] [25]。本研究主要采集了老风化壳、砂页岩和石英砂岩三种母质发育来的土壤, 分析其 Fe、Mn、Cu、Zn 含量发现。不同母质发育来的土壤上全量 Fe、Mn、Cu、Zn 均为石英砂岩母质上最低, 因为石英砂岩母质以难风化的石英颗粒为主, 砂粒含量高, 且矿质养分含量低。相关性分析也表明, 土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤砂粒含量均呈极显著负相关, 即砂粒含量越高, Fe、Mn、Cu、Zn 含量越低。其中全 Fe、全 Cu 和全 Zn 含量与土壤粘粒含量呈极显著正相关, 因为粘粒含量高的土壤风化作用强烈, 土壤中矿物组成复杂, 养分含量相对丰富; 这与赖舒雅等的研究结果一致[26]。因此, 在不同母质发育来的土壤上全 Fe、全 Cu 和全 Zn 含量大小为老风化壳 > 砂页岩 > 石英砂岩。而 Mn 与 Fe、Cu 和 Zn 有所不同, 相关性分析表明, 土壤全 Mn 含量与粉粒含量呈显著正相关, 在三种母质发育来的土壤上, 砂页岩母质上粉粒含量最高, 使得土壤全 Mn 含量在不同母质上表现为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩; 此外, 大量研究结果表明, 茶树是强富 Mn 植物, 土壤中 Mn 含量除受母质影响外, 生物作用强烈, 不同母质茶树对 Mn 的迁移富集能力可能也有差异, 使得 Mn 含量与 Fe、Cu 和 Zn 的含量规律略有差异。由此表明, Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤中的含量受多方面因素共同作用, 应综合多方面考虑其影响因素。

贵州省地处亚热带湿润气候, 淋溶作用较为强烈, 土壤中的元素在重力作用下淋失较为明显, 比较剖面上 Fe、Mn、Cu、Zn 含量特征可知。Cu 和 Zn 含量在三种母质发育来的土壤上均为母质层 > 淀积层 > 淋溶层, 随着土壤深度增加而增加, 说明其在土壤中淋失较为严重, 因此, 在茶园管理中因注意 Cu 和 Zn 的补充, 避免长期淋失造成土壤供应不足。Fe 在土壤中易形成氧化物, 不易淋失, 在强烈的风

化淋溶作用下往往相对其它元素富集；老风化壳母质发育来的土壤形成时间较长，整个土壤剖面脱硅富铁铝作用强烈，因此 Fe 含量在老风化壳母质发育来的土壤剖面上差异不大；而在砂页岩和石英砂岩母质发育来的土壤上，土壤所受淋溶作用不如老风化壳母质强烈，吸附在土壤颗粒表面的 Fe 在重力作用下向下迁移，使得粘粒含量高的土层全 Fe 含量也相应较高。大量研究表明，茶树是典型的“聚 Mn”植物，土壤中 Mn 元素在茶树的作用下不断向表层富集，使得表层土壤中 Mn 元素得到源源不断地补充。因此其在土壤剖面的含量分布受多重因素共同影响，从本次研究结果来看，在老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤上垂直方向上差异不大，而在石英砂岩母质发育来的土壤上淋溶层和母质层要高于淀积层；可能跟土壤剖面上有机质含量差异有关，茶园土壤有机质主要来源于茶树的凋落物，而茶树对 Mn 具有强烈的富集作用，淋溶层土壤有机质含量远远高于淀积层和母质层，加之石英砂岩母质发育来的土壤本生 Mn 含量极低，因此淋溶层土壤中 Mn 尽管被淋失，石英砂岩母质发育来的土壤剖面淀积作用不明显，因此，淀积层 Mn 含量并不高，所以在石英砂岩母质发育来的土壤剖面上 Mn 的含量为淋溶层和母质层大于淀积层。

土壤中有效态为植物可直接吸收利用的形态。本研究结果发现，土壤中 Fe、Mn、Cu、Zn 有效态与全量在不同母质发育来的土壤上含量大小规律并不完全一样。例如在全量 Fe、Mn、Cu、Zn 均低的石英砂岩母质上，有效 Fe 和有效 Zn 并不是最低的。因为土壤中有效态含量的高低受较多因素影响，包括人为施肥等管理措施以及土壤微量元素全量、有机质、pH、土壤质地、黏粒含量、通透性等[27] [28]。韩松天等研究了农田土壤有效态微量元素与土壤质地的关系，认为一般有效性含量为粘质土 > 壤质土 > 砂质土[29]，而本研究所得结果与韩松天等的结果并不完全一致。Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤中的活性受多重因素共同作用，而茶园土壤整体为酸性至强酸性，大大增加了其有效态含量，使得某些元素有效态与土壤质地之间没有那么明显的规律。虽然较低的 pH 有利于金属元素的活化，但是在整体偏酸的茶园土壤上 pH 与有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的关系各学者研究结果不同[6] [30]-[35]。本研究结果表明，土壤有效 Fe 和有效 Mn 含量与土壤 pH 值呈显著负相关，即土壤酸度增加 Fe 和 Mn 的活性增强；而有效 Cu 与有效 Zn 含量与土壤 pH 并没有显著的相关关系。

5. 结论

在不同母质发育来的土壤上，全 Fe、全 Cu 和全 Zn 平均含量均为老风化壳 > 砂页岩 > 石英砂岩，全 Mn 平均含量为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩。全量 Fe、Mn、Cu、Zn 平均含量均为石英砂岩母质发育来的土壤上最低，且均低于贵州省土壤背景值。全 Fe 的平均含量在老风化壳母质发育来的土壤剖面上各土层差异不大，在砂页岩母质上为母质层和淀积层大于淋溶层，在石英砂岩母质上为母质层大于淀积层和淋溶层；Mn 的平均含量在老风化壳和砂页岩母质发育来的土壤上各土层之间差异不大，在石英砂岩母质上为淋溶层和母质层高于淀积层；Cu 和 Zn 在三种母质上均为母质层 > 淋溶层 > 淀积层，长期下来土壤中 Cu 和 Zn 可能有淋失的风险。

在三种母质发育来的土壤上，有效 Fe、Mn、Cu、Zn 在土壤剖面上的分布均为淋溶层 > 淀积层 > 母质层。淋溶层土壤中有效 Fe 含量在不同母质发育来的土壤上差异不大；有效 Mn 为砂页岩 > 老风化壳 > 石英砂岩；有效 Cu 为砂页岩大于老风化壳和石英砂岩；有效 Zn 为砂页岩和石英砂岩大于老风化壳。三种母质发育来的茶园土壤上，有效 Fe、Mn、Cu、Zn 含量均处于中等及以上水平。

土壤中全量 Fe、Mn、Cu、Zn 与土壤颗粒组成具有明显的相关关系，全 Fe、全 Cu 和全 Zn 含量与土壤粘粒含量均呈极显著正相关，与砂粒含量均呈极显著负相关；全 Mn 与粉粒含量呈极显著负相关。淋溶层土壤中有效 Fe 和有效 Mn 含量均与土壤 pH 呈显著负相关。有效 Mn 含量与砂粒含量呈极显著负相关，与粉粒含量呈极显著正相关；有效 Fe 和有效 Zn 含量与粘粒含量均呈显著负相关。

基金项目

基金项目：刺梨渣肥料应用关键技术与中试(701/700353232205)。

参考文献

- [1] 贵州省统计局. 贵州统计年鉴-2020[EB/OL]. 2020-11-06.
<http://hgk.guizhou.gov.cn/publish/tj/2020/zk/indexch.htm>, 2021-04-07.
- [2] 贵州: 2020 年全省春茶产量将大幅提高[J]. 中国食品, 2020(8): 51-52.
- [3] 杨普香, 阮建云, 尹晓云, 等. 江西省茶叶主产区茶园土壤养分现状分析[J]. 江西农业学报, 2013, 25(9): 66-70.
- [4] 马立锋, 陈红金, 单英杰, 等. 浙江省绿茶主产区茶园施肥现状及建议[J]. 茶叶科学, 2013, 33(1): 74-84.
- [5] 高菲菲, 李家华, 周平, 等. 云南省普洱市茶园土壤养分调查分析[J]. 土壤通报, 2013, 44(2): 398-402.
- [6] 任艳芳, 何俊瑜, 张艳超, 等. 贵州省开阳茶园土壤有效微量元素状况分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 432-435.
- [7] 吴雯, 郑子成, 李廷轩, 等. 退耕植茶地土壤团聚体及其无机磷组分分布特征[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3264-3272. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201610.030>
- [8] 吴洵. 名优茶生产与 Zn 肥施用[J]. 茶叶通讯, 1994(4): 9-11.
- [9] 陈玲, 田景涛, 侯彦双, 等. 贵州铜仁茶园土壤硼、铁、铜含量调查分析[J]. 江西农业, 2017(15): 106-108.
- [10] 章林英, 倪中应, 季淑枫, 等. 桐庐县茶园土壤微量元素现状调查与施用建议[J]. 中国农技推广, 2015, 31(4): 41-43.
- [11] Schmidt, S.B. and Husted, S. (2019) The Biochemical Properties of Manganese in Plants. *Plants (Basel)*, **8**, 381.
<https://doi.org/10.3390/plants8100381>
- [12] 方玲, 伊仁青, 张庆孝, 等. 不同母质的土壤对乌龙茶生化品质的影响[J]. 福建农业大学学报, 1999(4): 461-465.
- [13] 赵其国, 谢为民, 贺湘逸, 等. 江西红壤[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1988.
- [14] 周明枫. 浅谈土壤调查中成土母质类型的划分问题[J]. 土壤, 1983(3): 110-114.
- [15] 江叶枫, 叶英聪, 郭熙, 等. 江西省耕地土壤氮磷生态化学计量空间变异特征及其影响因素[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1527-1539.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12.
- [17] 董德明, 杨彬, 刘淼. 化学连续提取法对土壤中 Zn 和锰的化学形态的研究[J]. 吉林大学自然科学学报, 1998(1): 62-66.
- [18] 熊毅. 土壤胶体[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 158-246.
- [19] Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. (1999) *Geochemistry in Mineral Exploration*. 2nd Edition, Academic Press, London, 130-186.
- [20] 谢忠雷, 郭平, 刘鹏, 等. 茶园土壤锰的形态分布及其影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2007(2): 645-650.
- [21] Neilsen, D., Neilsen, G.H. and Sinclair, A.H. (1992) Soil Phosphorus Status, pH and the Manganese Nutrition of Wheat. *Plant and Soil*, **145**, 45-50. <https://doi.org/10.1007/BF00009540>
- [22] 王峰, 陈玉真, 尤志明, 等. 不同类型茶园土壤腐殖质剖面分布特征研究[J]. 茶叶科学, 2015, 35(3): 263-270.
- [23] 尚斌, 邹焱, 徐宜民, 等. 贵州中部山区植烟土壤有机质含量与海拔和成土母质之间的关系[J]. 土壤, 2014, 46(3): 446-451.
- [24] 周墨, 陈国光, 张明, 等. 赣南地区土壤硒元素地球化学特征及其影响因素研究: 以青塘-梅窖地区为例[J]. 现代地质, 2018, 32(6): 1292-1301.
- [25] 魏振山, 涂其军, 唐蜀虹, 等. 天山北坡乌鲁木齐至沙湾地区富硒土壤地球化学特征及成因探讨[J]. 物探与化探, 2016, 40(5): 893-898.
- [26] 赖书雅. 南阳盆地东部山区土壤铁、锰、铜和 Zn 分布特征及其影响因素[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2022.
- [27] 莫润苍, 邹邦基. 土壤 Zn 铁铜锰形态分布及其有效性[J]. 热带亚热带土壤科学, 1997(3): 171-175.
- [28] 俞元春, 曾曙才, 罗汝英. 江南丘陵林区森林土壤微量元素的含量与分布[J]. 安徽农业大学学报, 1998(2): 69-75.

- [29] 韩松天, 崔禹益, 尹基淳. 延边地区土壤微量元素及影响因素浅析[J]. 吉林农业科学, 1996(3): 58-61.
- [30] 曾路生, 高岩, 李俊良, 等. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分变化关系研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 157-161.
- [31] 温明霞, 石孝均, 聂振朋, 等. 重庆市柑桔园土壤酸碱度及金属元素含量的变化特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 191-194+199.
- [32] 谢忠雷, 董德明, 李忠华, 等. 茶园土壤 pH 值对茶叶从土壤中吸收 Mn 的影响[J]. 地理科学, 2001(3): 278-281.
- [33] 傅海平, 张亚莲, 段继华, 等. 湖南茶园土壤微量元素有效量调查分析[J]. 茶叶通讯, 2014, 41(3): 24-27.
- [34] 邹庆鹏, 金开美, 曹成, 等. 信阳茶区土壤有效态微量元素含量状况[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 975-980.
- [35] 金媛, 陈良超, 冉隆贵, 等. 陕南茶园土壤微量元素有效性评价研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 153-161.