

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2024.16.003

引文格式: 徐正华, 林长木, 朱海洋, 李政龙. 2025. 浙北施家桥地区耕地表层土壤元素组合特征及影响因素分析[J]. 华东地质, 46(2): 280-292. (XU Z H, LIN C M, ZHU H Y, LI Z L. 2025. The characteristics and influencing factors of element combination in cultivated surface soil of the Shijiaqiao area, northern Zhejiang Province[J]. East China Geology, 46(2): 280-292.)

浙北施家桥地区耕地表层土壤元素组合特征及影响因素分析

徐正华^{1,2}, 林长木^{1,2}, 朱海洋^{1,2}, 李政龙^{1,2}

(1. 浙江省核工业二六二大队, 浙江 湖州 313000; 2. 湖州市地质资源与地质工程重点实验室, 浙江 湖州 313000)

摘要: 基于浙北施家桥地区耕地质量调查项目的成果数据, 对该区的耕地表层土壤进行了加密采样分析, 获得了 19 项土壤元素指标数据。利用 SPSS 软件对分析结果进行了聚类分析和因子分析, 结合区域地质背景和各项指标组合的地球化学特征, 分析了该区耕地表层土壤元素的组合特征及其影响因素。结果表明: 研究区土壤元素与吴兴区土壤背景值较接近, 表层土壤总体呈酸性; 表层土壤的元素含量主要受成土母质控制, 其次受有机质腐殖质过程、岩石风化作用、水系分布以及人类生产活动影响; N、K 元素含量以中等-丰富为主, P 元素含量以较缺乏-中等为主, Mn 元素含量相对缺乏。建议根据耕种需求对土壤进行合理的施肥, 加强对局部重金属异常区的污染源控制。

关键词: 耕地表层土壤; 元素组合特征; 土地质量; 因子分析; 聚类分析; 浙北地区

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2025)02-280-13

土壤是人类赖以生存的重要资源, 对粮食生产、环境质量、生物多样性等具有重要影响(武雪萍等, 2015; 朱永官等, 2015)。目前, 我国人口不断增加, 城镇化进程不断推进, 过度开发土地资源已导致耕地面积不断减少、土壤污染加剧及土壤质量下降(Lu, 2015; 李小云等, 2018; 王佳, 2019; 岳国菊, 2018), 这直接威胁到了土地资源的安全(唐志敏等, 2023; 张景等, 2022)。因此, 开展土壤地球化学调查, 研究土壤中化学元素的空间分布、地球化学性质、化学元素丰度及其时空演化规律(邢润华等, 2022; 李明辉等, 2023), 对土壤质量的改善及可持续利用具有重要意义。

目前, 通过测定土壤质量指标、构建最小数据集并选取合适的评价方法, 是国内外学者开展土壤质量评价常用的手段(李鑫等, 2021)。但是,

根据研究目的和尺度的不同, 评价指标和评价方法的选取差异较大(黄勇和杨忠芳, 2009; 刘占锋等, 2006), 例如: 土壤 pH 值、全氮、铅、镉、铜、锌、铬、砷、汞等, 是选取频率较高的化学指标(李鑫等, 2021; 赵文志等, 2024)。最小数据集构建方法包括主成分分析法(李桂林等, 2008; 梁淑敏等, 2011)、聚类分析法(金慧芳等, 2018)和专家经验法(张广星等, 2011)等, 其中主成分分析法可以最大限度地减少指标冗余, 体现原始变量的大部分信息(李新蕊, 2007), 在土地质量地球化学评估中应用得最广泛。可见, 目前尚未形成统一的土壤质量评价标准和方法。

为了有效地保护土地资源, 2013 年以来浙北施家桥地区相继开展了农业地质环境调查和耕地质量调查工作(李政龙等, 2019, 2020), 基本查明

* 收稿日期: 2024-06-14 修订日期: 2024-09-24 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 湖州市科学技术局“湖州市吴兴区道场乡施家桥村一带耕地地球化学迁移规律及生物有效性溯源评价(编号: 2021GZ64)”项目资助。

第一作者简介: 徐正华, 1984 年生, 男, 高级工程师, 本科, 主要从事矿产地质勘查和农业地质调查工作。Email: 182482352@qq.com。

通信作者简介: 林长木, 1989 年生, 男, 工程师, 硕士, 主要从事基础地质和农业地质调查工作。Email: lincm16@163.com。

了区域土壤地球化学背景、土壤污染及养分肥力等情况。但是,以往研究区调查工作取样较稀疏,对土壤元素地球化学特征的研究相对也较少。为了进一步查明研究区土壤元素地球化学特征及分布情况,本文在该区耕地质量调查项目成果数据的基础上进行加密采样,并采用因子分析法和聚类分析法对分析数据进行降维和归纳,通过土地质量地球化学评估,分析地球化学元素的时空分布特征及其影响因素,为土壤质量的改善及可持续利用提供参考。

1 研究区概况

研究区位于浙北杭嘉湖平原北部,湖州市吴兴区南部道场乡施家桥一带(图1),东临上海,南靠杭州,西近南京,北隔太湖与苏州、无锡相望,地理坐标为:30°44'39"~30°47'00"N, 120°2'36"~120°5'11"E。该区属于亚热带季风性湿润气候,年

平均气温 15.5~16℃,年平均降水量 1 273.7 mm,年平均降雨日 142~155 d。

该区地处扬子地块,地势西高东低,自西向东依次呈低山丘陵和平原梯级分布。区内地层以白垩纪火山岩为主,其次为志留纪沉积岩,局部出露燕山晚期花岗斑岩;成土母质主要为泻湖相沉积物、砂岩类风化物、花岗岩类风化物和酸性火山岩类风化物(王深法等,1989)。土壤类型以水稻土为主,其次为红壤(李政龙等,2019);土地利用类型主要为水田、旱地、果园和采矿用地(图2)。

2 研究方法

2.1 样品采集

以研究区地质图、耕地质量调查项目成果图斑和土地利用现状图为底图,结合前期耕地质量调查工作成果资料,对上一阶段采获的土壤样点未重新采样。本次样品采集点主要布设在农田、

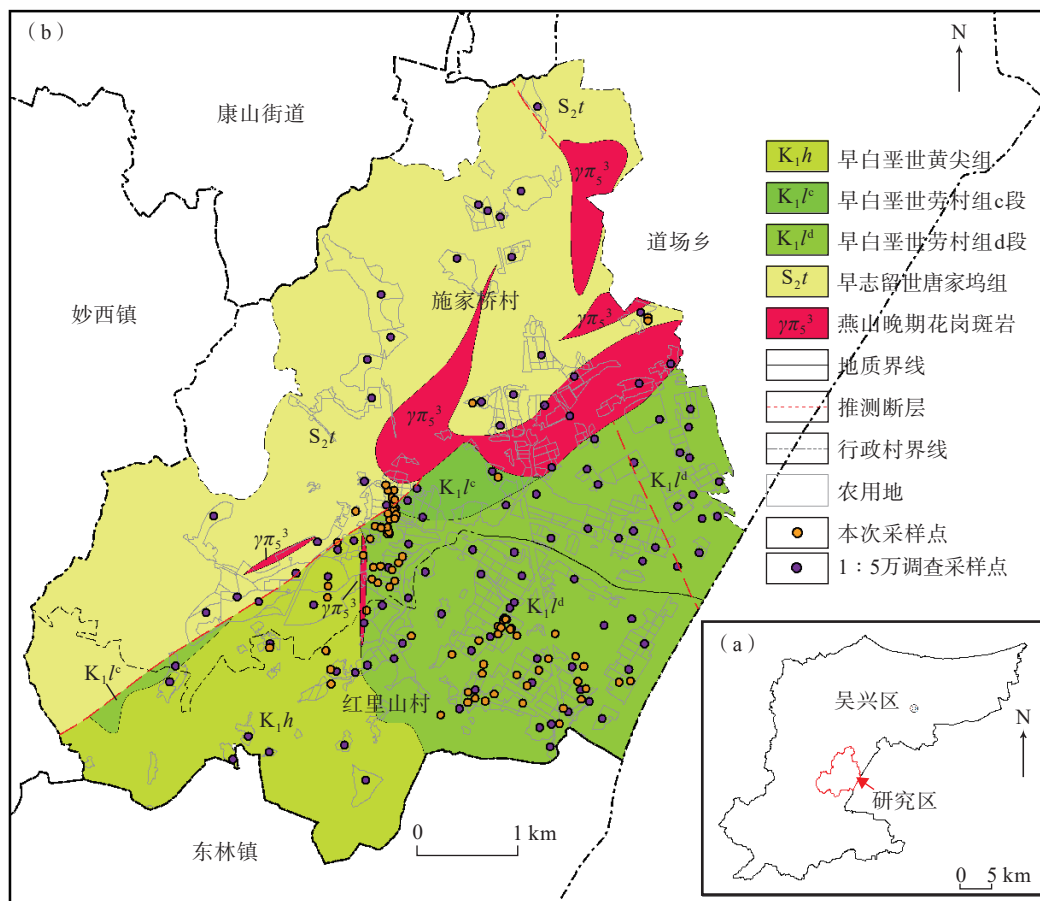


图1 研究区地理位置(a)及采样位置(b)示意图

Fig. 1 Geographic location(a) and sampling points(b) of the study area

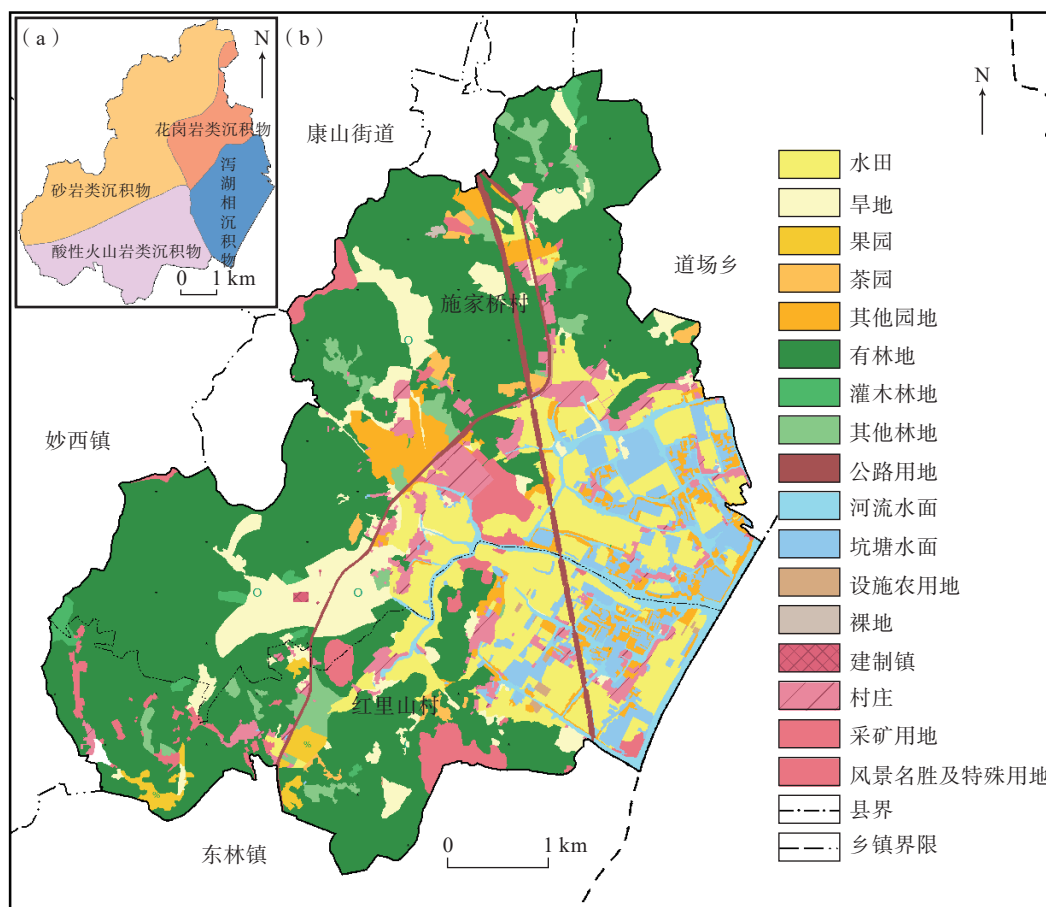


图2 研究区成土母质类型(a)及土地利用现状(b)图

Fig. 2 Soil parent material type (a) and land use status (b) in the study area

菜地、林(果)地及山地丘陵土层较厚的地带,根据不同情况采用棋盘法、梅花点法、对角线法和蛇形法在采样点地块内进行多点取样,避开施肥期、明显点状污染区、垃圾堆、新近堆积土和田埂等无代表性地段,距离主干公路、铁路 50 m 以外。

采样点控制范围内有开挖为鱼塘、藕塘的坑塘水面,农田所占面积 20% 以上,主要在农田里采集样品;坑塘所占面积 80% 以上,主要在坑塘内侧边缘采集样品。在平原耕地区,以土地利用现状图斑为底图,综合考虑土壤类型和成土母质类型,在土地利用方式最具有代表性的地块中采集样品。在低山丘陵耕地区,选取地质背景具有代表性的农用地范围内采集样品;在枝状沟系发育地区,选取主干沟系下方的沟口处采集样品;在山坡梯田地区,选取梯田范围内采集样品,土壤采样深度为 20 cm。采样工作遵循“突出重点”的原则,样品布设向基本农田、重要产业基地、存在环

境问题的土地和富硒土壤倾斜。本次研究共测试 110 件样品,其中本次采集样品 52 件,耕地质量调查项目采集样品 58 件,分两批进行分析测试。为了控制分析测试系统的误差,两次分析测试工作均在浙江省地质矿产研究所完成,各项的检测设备固定且测定条件一致。

2.2 分析测试

Cd、Co、Ge、Mo、Ni 等元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测试,Cr、Cu、Mn、P、Pb、V、Zn 等元素采用 X 射线荧光光谱法(XRF)测试,B 元素采用发射光谱法(ES)测试,As、Se 等元素采用氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS)测试,Hg 元素采用冷蒸气-原子荧光光谱法(CV-AFS)测试,N 元素采用容量法(VOL)测试。分析测试方法执行《DB33/T 2224—2019 土地质量地质调查规范》(浙江省市场监督管理局, 2019)、《DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范》(中华人民共和国国土资源部, 2016)中样品处理与分析的

相关规定,分析测试数据质量可靠。

3 土壤地球化学特征

3.1 数据处理

土壤元素数据的最大值、最小值、平均值、标准差和变异系数等利用 Excel 软件进行统计分析,数据聚类分析和因子分析使用 SPSS.25 软件完成,

土壤样品分布图和土地利用现状图使用 Arcgis10.72 软件完成,地球化学元素分布等值线图使用 GeoChem Studio 软件完成。

3.2 各元素含量参数

施家桥一带表层土壤总体呈酸性,pH 值最大值为 8.63,最小值为 3.90,平均值为 5.79,与浙江省、湖州市及吴兴区的土壤背景值接近(张军等,2023)(表 1)。

表1 施家桥一带表层土壤元素含量特征参数统计结果
Table 1 Parameter characteristics of element content in surface soil in the Shijiaqiao area

元素	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	背景值		
						浙江省	湖州市	吴兴区
As	2.03	16.40	6.03	2.28	38	6.39	6.10	6.84
B	9.33	93.20	57.29	14.06	25	48.05	61.00	62.90
Cd	0.05	0.87	0.22	0.09	42	0.17	0.19	0.19
Co	5.75	20.90	12.10	3.11	26	10.66	13.30	12.23
Cr	11.50	103.00	60.69	18.72	31	54.30	78.20	62.40
Cu	10.20	82.70	25.24	8.24	33	23.21	27.30	24.70
Ge	1.15	1.73	1.45	0.12	8	1.46	1.49	1.49
Hg	0.01	0.69	0.21	0.12	55	0.10	0.11	0.16
K ₂ O	0.98	3.84	2.06	0.56	27	2.59	2.21	2.07
Mn	166.00	1 362.00	533.86	232.02	43	521.00	434.00	478.00
Mo	0.40	3.14	0.86	0.34	40	0.75	0.58	0.69
N	0.32	3.59	1.96	0.77	39	1.33	1.02	1.37
Ni	4.36	47.50	24.33	9.33	38	19.59	30.00	26.35
P	0.28	3.48	0.77	0.43	56	0.65	0.61	0.64
Pb	22.10	415.00	38.36	36.53	95	33.24	30.00	32.64
Se	0.10	0.76	0.36	0.11	29	0.29	0.32	0.36
V	50.80	126.00	84.80	17.68	21	76.03	102.00	83.60
Zn	45.00	165.00	90.16	20.87	23	83.50	103.00	81.00
pH值	3.90	8.63	5.79	0.95	16	5.77	5.34	6.06

注:氧化物的含量单位为%,N、P的含量单位为g/kg,pH值无量纲,其他元素的含量单位为mg/kg。

(1)与浙江省土壤背景值(董岩翔等,2007)对比,研究区土壤中 K₂O 含量不足全省背景值的 80%;B、Cd、Ni、P、Pb、Se 元素含量略高于全省背景值;Hg、N 元素含量显著高于全省背景值,N 元素含量是全省背景值的 1.5 倍,Hg 元素明显富集,含量是全省背景值的 2.2 倍,其他元素或指标与全省背景值接近。

(2)与湖州市土壤背景值对比,研究区土壤中 Cr、Ni、V、Zn 元素含量略低于全市背景值;Cd、Mn、P、Pb 元素含量略高于全市背景值;Hg、Mo

和 N 元素含量显著高于全市背景值,分别是全市背景值的 2 倍、1.5 倍和 1.9 倍,其他元素或指标与全市背景值接近。

(3)与吴兴区土壤背景值对比,研究区土壤中 Cd、Hg、Mo、N、P、Pb 元素含量略高于吴兴区背景值,其他元素或指标与全区背景值接近。

在研究区土壤各元素或指标中,大多数元素的变异系数<40%,分布相对均匀;Cd、Hg、Mn、P、Pb 的变异系数>40%,其中 Pb 的变异系数为 95%,表明其空间变异性大,分布不均匀。

3.3 土壤元素地球化学组合特征

对研究区 110 件样品的 19 项指标(表 1)进行了聚类分析和因子分析,确定了土壤元素地球化学组合特征。聚类分析方法为各组之间的链接,测量区间为皮尔逊相关性,转换值标准化范围为 0~1;因子分析采用主成分分析法和凯撒正态化最大方差法。

3.3.1 聚类分析结果

聚类分析结果(图 3)表明,按照距离系数 15 计算,可将 19 项指标分为 4 个元素组合簇群和 6 个单一元素簇群。第一簇群为 Cr、Ni、Co、V、Ge、Cu、Zn 组合;第二簇群为 pH 值、Mn 组合;第三簇群为 Cd、P 组合;第四簇群为 N、Se 组合;B、As、K₂O、Mo、Hg、Pb 则以单一元素形式分别成簇。

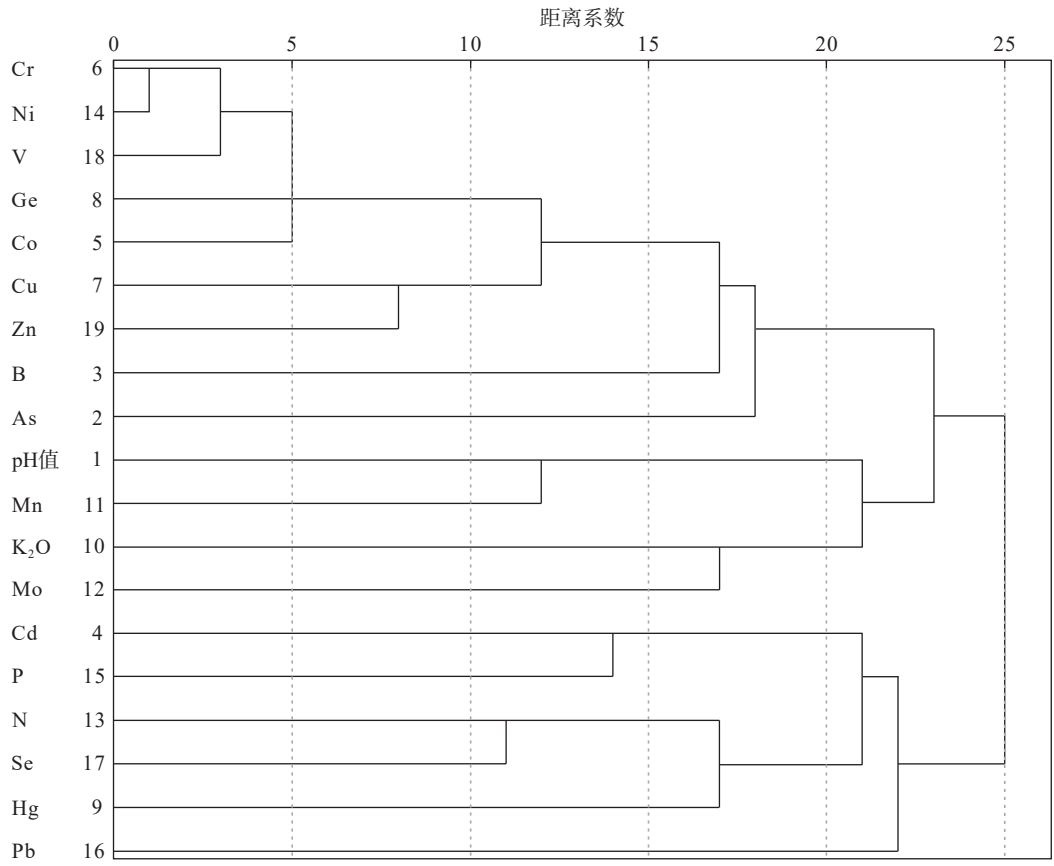


图3 研究区表层土壤元素聚类谱系图

Fig. 3 Cluster spectrum of surface soil elements in the study area

3.3.2 因子分析结果

对研究区 110 件样品的 19 项指标进行 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)和 Bartlett 球形度检验(表 2)。由表 2 可知, KMO 值为 0.72(>0.5), Bartlett 球形度检验统计值为 1 714.47。在自由度为 171 的条件下,显著性水平(sig.)为 0.000<0.05,说明变量之间存在相关性,适合用于因子分析。基于主成分分析模型,提取特征根>1 的 5 个主因子作为研究对象,其特征根累计百分比贡献率达 74.579%,基本可以反映表层土壤中地球化学元素的组合信息(表 3)。

提取常数值>0.5 的载荷因子(表 4),可获得研究区表层土壤元素组合特征:第一主因子 F1 方差贡献率为 27.996%,是研究区占主要地位的因子,元素组合为 Ni、Cr、V、Ge、Cu、Co、Zn;第二主因子 F2 方差贡献率为 13.395%,元素组合为 Se、N、

表2 KMO 和 Bartlett 球形度检验结果
Table 2 KMO and Bartlett test sheets

Bartlett球形度检验	KMO 值	0.72
	近似卡方	1 714.47
	自由度	171
	显著性	0.000

表3 研究区表层土壤特征根及因子提取结果

Table 3 Surface soil characteristic root and factor extraction results

因子	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	特征根	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积贡献率/%
F1	5.486	28.871	28.871	5.486	28.871	28.871	5.319	27.996	27.996
F2	3.237	17.036	45.907	3.237	17.036	45.907	2.545	13.395	41.391
F3	2.098	11.043	56.950	2.098	11.043	56.950	2.187	11.510	52.901
F4	1.958	10.306	67.257	1.958	10.306	67.257	2.140	11.265	64.166
F5	1.391	7.322	74.579	1.391	7.322	74.579	1.978	10.413	74.579

表4 研究区因子分析正交旋转因子载荷矩阵

Table 4 Orthogonal rotation factor load matrix of factor analysis in study area

变量	F1	F2	F3	F4	F5
Ni	0.961	0.025	0.066	-0.093	-0.065
V	0.943	0.001	0.001	0.129	0.057
Cr	0.909	0.063	0.069	-0.260	0.078
Ge	0.879	-0.005	-0.131	0.049	0.024
Co	0.825	-0.238	-0.027	0.069	0.327
Cu	0.582	0.341	0.395	-0.116	0.088
Se	0.034	0.887	0.148	-0.178	0.103
Mn	0.052	-0.637	0.210	0.059	0.600
N	0.167	0.618	0.296	-0.081	-0.555
pH值	0.181	-0.601	0.362	0.135	0.844
Pb	0.079	0.416	0.091	0.272	0.069
Cd	0.032	0.094	0.803	0.016	-0.257
P	-0.328	0.758	-0.065	-0.233	0.317
Zn	0.585	-0.002	0.661	0.180	0.066
K ₂ O	0.350	-0.342	-0.015	0.777	-0.127
Mo	-0.153	0.190	-0.066	0.728	0.239
B	0.377	0.101	-0.097	-0.716	0.265
Hg	-0.108	0.249	0.198	-0.399	-0.354
As	0.259	0.142	0.031	-0.038	0.118

P; 第三主因子 F3 方差贡献率为 11.51%, 元素组合为 Cd、Zn; 第四主因子 F4 方差贡献率为 11.26%, 元素组合为 Mo、K₂O; 第五主因子 F5 包括 Mn、pH 值, 方差贡献率为 10.413%。

4 讨论

整体来看, 研究区表层土壤元素聚类分析及因子分析的结果既有差异性, 又有相似性。聚类分析依据的指标主要是各元素地球化学特征之间的相关系数, 以某些指标来分析多样本土壤地球

化学特征的相似程度; 因子分析主要以具有代表性的几个综合因子来分析土壤元素在地质上的共生组合和成因联系(庞绪贵等, 2011)。两种分析结果均表明, 元素组合特征与地质背景、成土母质和人类生产活动等因素有关。

(1)F1 因子元素组合 Ni、Cr、V、Ge、Cu、Co、Zn, 与第一簇群元素组合一致, 均是亲铁元素(Ni、Cr、V、Ge、Co)和亲硫元素(Cu、Zn)组合。依据研究区成土母质图(图 2(a))和因子得分等值线图(图 4(a))可知, F1 因子高值区分布范围与泻湖相沉积物成土母质高度耦合, 该组合元素含量与吴

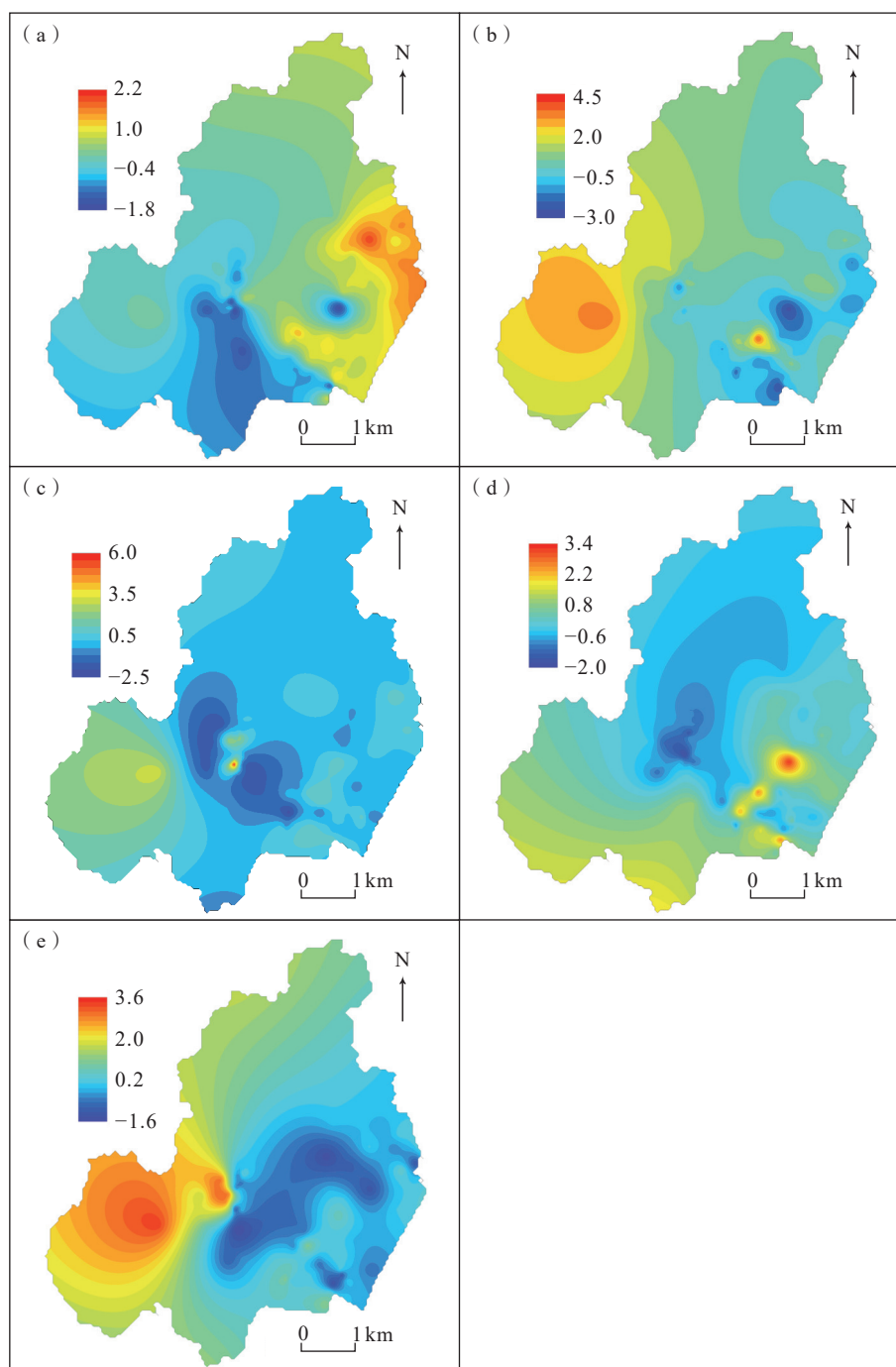


图4 研究区因子 F1(a)、F2(b)、F3(c)、F4(d)、F5(e) 得分等值线图

Fig. 4 The score contour of factors F1(a), F2(b), F3(c), F4(d) and F5(e) in the study area

兴区土壤背景值接近, 变异系数较小, 区域分布上具有一定的稳定性, 且分布较均匀, 说明该因子受人为因素影响较小, 主要受成土母质的控制。

(2)F2 因子元素组合 Se、N、P, 与第三簇群和第四簇群元素组合相关, 均是亲生物元素, 是受成土母质与人类活动共同影响的结果。F2 因子高值区主要分布在研究区西部丘陵地带, 其次分布

在中部农用地区域(图 4(b))。其中, Se 元素含量与湖州市和吴兴区背景值接近且变异系数较小, 分布均匀。区域上, 土壤硒元素含量整体受成土母质控制(Malisa, 2001; 王运等, 2019), 植物富集(龚淑英等, 2010)、大气降尘(邝逸根等, 2005)、土地耕作方式(朱建明等, 2008)等外源输入对局部土壤硒元素含量的影响也较大。研究认为, 浙

北平原土壤硒含量 90% 来自成土母质的贡献, 10% 来自人类活动和大气降尘等外源输入(徐明星等, 2013), 表明研究区表层土壤中的硒很大程度上来源于成土母质。研究区红里山村于 2021 年完成天然富硒土地划定 1 807.02 亩(朱海洋等, 2021), 其中水田 1 000.38 亩, 旱地 806.64 亩, 富硒区块环境质量全部为清洁型, 土壤类型以水稻土为主。根据目前种植现状和相关规划, 建议优先种植水稻, 其次种植果蔬。此外, 区内 N、P 元素含量均高于浙江省、湖州市和吴兴区土壤背景值, P 元素变异系数 56%, 空间分布相对不均匀。N、P 元素累计效应一方面受动植物腐殖质过程的影响(孙奥等, 2022), 另一方面与频繁的农业生产活动有关(成杭新等, 2019), 特别是氮磷肥的施用是元素富集和差异性分布的主要原因。区内 N 元素以中等-丰富为主, 水稻土中 N 元素含量明显偏高, 可能与水稻种植过程中氮肥的施用和秸秆还田具有一定关系, 建议适当控制氮肥的施用量。P 元素以较缺乏-中等为主, 建议根据种植需求, 适当施用磷肥。

(3)F3 因子元素组合 Cd、Zn, 其中 Zn 元素含量略低于湖州市背景值, 略高于浙江省和吴兴区背景值; Cd 元素含量略高于浙江省、湖州市和吴兴区背景值, Cd 变异系数 > 40%, 分布较不均匀。Cd、Zn 属于重金属元素, 区域上常与成矿作用有关(刘阳等, 2022), 研究区暂未发现锌矿产或矿化点, 其异常分布可排除地质背景因素。另外, Cd、Zn 元素含量与地形和土壤 pH 值也存在一定的相关性(常森等, 2024; 成杭新等, 2019; 付巧玲和邱顺才, 2023): 随着高程的降低, Cd、Zn 元素含量的增幅逐渐增大; Zn 元素含量受 pH 值影响较大, 研究区主要为酸性土壤, 在酸性环境中 Zn 元素溶解度较高, 是 Zn 流失的主要原因。F3 因子高值区主要为居民生活集中区和工业生产区(图 4(c)), 推断其异常分布主要由人为污染引发。建议加强该区的污染源控制, 及时清理周围工业垃圾, 合理有效地控制并切断污染源。同时, 合理调整农业种植结构及布局, 在严格管控地块上推广种植观赏花卉苗木。

(4)F4 因子元素组合 Mo、K₂O, 均为单一元素簇群, 其富集区主要分布在研究区东部三世河及其支流附近(图 4(d))。其中, Mo 元素含量略

高于浙江省、湖州市和吴兴区的背景值, 变异系数为 40%, 分布不均匀。该区无钼矿富集, 推测其差异性分布可能与 Mo 元素易在还原环境中残余富集有关(胡兆鑫等, 2024)。此外, 燃煤粉尘沉降也可能导致 Mo 元素的局部富集(黄文辉和杨起, 1999; 徐国志等, 2014)。K 元素含量与吴兴区背景值相当, 与浙江省背景值相比则偏低, 离散程度较低, 推测其主要受地质背景影响。K 元素易溶于水的化学性质决定了其在风化成壤过程中易流失并进入地表水系, 在水动力作用下由高处向低处迁移, 在三世河附近水稻土中以矿物的形式赋存。三世河及其支流附近区域是研究区主要的农业耕地分布区, K 元素整体以中等-较丰富为主, 农业耕作时可根据农作物生长等具体情况适当控制钾肥的施用量。

(5)F5 因子包括 Mn、pH 值, 与第二簇群组合一致。其中, Mn 属于亲铁元素, 是植物生长必需的微量元素。研究区 Mn 元素含量略高于浙江省、湖州市和吴兴区的背景值, 变异系数 > 40%, 分布不均匀。研究表明, 土壤中的 Mn 主要以二价态和四价态形式存在(曾昭华, 2000), 大部分与土壤固结后形成植物难以吸收利用的形态(Shuman, 1985), 其含量受土壤 pH 值、氧化还原环境和有机质含量等影响较大, 其中受 pH 值的影响最明显(陈国光等, 2020; 邓邦良等, 2016; 丁维新, 1994; 卢映琼, 2015; 买合甫拉提·乃比和玉苏甫·买买提, 2017; 穆桂珍等, 2019; 吴湘琳等, 2017; 息朝庄等, 2024; 周富忠等, 2019)。由图 4(e)可知, F5 因子高值区主要分布在研究区西部丘陵地区, F5 因子低值区主要分布在东部平原区, 这是因为研究区东部是农业耕作区域, 常年施用的石灰对土壤进行了改良, 导致东部地区土壤 Mn 元素相对缺乏。建议在农业耕作中调控石灰施用量, 并对 Mn 元素缺乏的区域适当进行追肥。

5 结论

(1)浙北施家桥地区土壤元素含量与吴兴区背景值较接近, 表层土壤总体呈酸性。Cd、Hg、N、P、Pb 元素含量与浙江省和湖州市背景值差异较大, 且离散程度较高, 空间分布不均匀, 主要与人类活动产生的污染有关。

(2)研究区表层土壤 19 项指标的聚类分析结果与因子分析结果基本一致,可分辨出 5 个主因子作为研究对象。F1 因子元素组合 Ni、Cr、V、Ge、Cu、Co、Zn 主要是地质背景的反映;F2 因子元素组合 Se、N、P 是成土母质、人类生产活动和有机质腐殖质过程共同作用的结果;F3 因子元素组合 Cd、Zn 和 F5 因子 Mn、pH 值主要受人类生产活动影响;F4 因子元素组合 Mo、K₂O 受地质背景和水系分布的影响。5 个主因子代表了 74.579% 的原始变量信息。

(3)根据种植现状和相关规划,建议研究区富硒区块土地优先种植水稻。耕地表层土壤中 N 元素、K 元素以中等-丰富为主,P 元素以较缺乏-中等为主,Mn 元素相对缺乏,建议农业耕作中适当控制氮肥、钾肥的施用,根据种植需求适当施用磷肥,Mn 元素缺乏区适量施用石灰并适当追肥。受居民生活及工业生产污水排放的影响,研究区中部的局部地区出现 Cd、Zn 重金属元素异常,建议加强对该区域污染源的控制,及时清理周围的工业垃圾,合理有效地控制污染源,进一步调整农业种植结构及布局。

References

- CHANG S, LIU S J, WU H M, WANG H, CHEN C, WEI X, WEN X F. 2024. Geochemical Baseline Determination, Pollution Source Identification and Risk Assessment of Heavy Metals in Orchard Soils of the Origin of "Bee-Sugar Plums" [J]. *Geology and Exploration*, 60(4):747-761 (in Chinese with English abstract).
- CHEN G G, ZHANG X D, ZHANG J, ZHAN L. 2020. Discussion on natural resources classification system [J]. *East China Geology*, 41(3): 209-214 (in Chinese with English Abstract).
- CHENG H X, PENG M, ZHAO C D, HAN W, WANG H Y, WANG Q L, YANG F, ZHANG F G, WANG C W, LIU F, ZHOU Y L, TANG S Q, LI K, YANG K, YANG Z, CHENG X M, CHEN Z W, ZHANG H, MO C H. 2019. Epigenetic geochemical dynamics and driving mechanisms of distribution patterns of chemical elements in soil, Southwest China [J]. *Earth Science Frontiers*, 26(6): 159-191 (in Chinese with English abstract).
- DENG B L, YUAN Z Y, LI Z Z, GUO X M, ZHANG W Y. 2016. Relationship between available soil microelement with organic matter and pH in Wugong Mountain meadow [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 29(3): 647-650 (in Chinese with English abstract).
- DING W X. 1994. Effect of pH on morphology of manganese in soils [J]. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 3(4): 233-237 (in Chinese with English abstract).
- DONG Y X, ZHENG W, ZHOU J H. 2007. Soil geochemical background values in Zhejiang Province [M]. Beijing: Geology Press (in Chinese).
- FU Q L, QIU S C. 2023. On the driving mechanism of soil Se-taking the Xiaoshan Area of Henan Province as an example [J]. *Geology and Exploration*, 59(3):580-590 (in Chinese with English abstract).
- GONG S Y, WU X R, XU P, SHI J R, SONG M Y, YANG X Q, WANG Y F. 2010. An investigation on selenium-enriched agricultural products in Changxing County of Zhejiang Province [J]. *Journal of Tea*, 36(4): 221-226, 231 (in Chinese with English abstract).
- HU Z X, LUO W Q, XIE Y Q, TANG Q J. 2024. Soil geochemical zoning based on factor analysis in Pingguo City, Guangxi [J/OL]. *Geological Bulletin of China*, 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20240425.1424.004> (in Chinese with English abstract).
- HUANG W H, YANG Q. 1999. Novel development of study on the transformation mechanisms of hazard elements during coal combustion [J]. *Geological Science and Technology Information*, 18(1): 71-74 (in Chinese with English abstract).
- HUANG Y, YANG Z F. 2009. Recent research progress of overseas soil quality evaluation [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(1): 130-136 (in Chinese with English abstract).
- JIN H F, SHI D M, CHEN Z F, LIU Y J, LOU Y B, YANG X. 2018. Evaluation indicators of cultivated layer soil quality for red soil slope farmland based on cluster and PCA analysis [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(7): 155-164 (in Chinese with English abstract).
- LI X R. 2007. Compare and application of principal component analysis, factor analysis and clustering analysis [J]. *Journal of Qilu Normal University*, 22(6): 23-26 (in Chinese with English abstract).
- LI G L, CHEN J, TAN M Z, SUN Z Y. 2008. Establishment of a minimum dataset for soil quality assessment based on land use change [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 45(1): 16-25 (in Chinese with English abstract).
- LI M H, ZHANG X R, DU G Q, TAO C J, WU Z. 2023. Geochemical characteristics and biological effect of soil seleni-

- um in the Xianyu area, Shitai County of Anhui Province[J]. East China Geology, 44(2): 186-196(in Chinese with English abstract).
- LI Y G, DONG Y X, ZHENG J, LI Y, WU X Y, ZHU C H. 2005. Selenium: abundant soil survey and assessment in Zhejiang[J]. Quaternary Sciences, 25(3): 323-330 (in Chinese with English abstract).
- LI Z L, SHEN Q Q, XU Z H, ZHANG Z Q, LI J. 2020. Practice and prospect of transformation of agricultural geological survey results in construction of ecological civilization--Take Wuxing district of Huzhou City as an example[C]// Geological Society of Zhejiang: Zhejiang association for science and technology (in Chinese).
- LI Z L, XU Z H, ZHU H Y. 2019. Report of cultivated land quality survey project in Wuxing District, Huzhou City[R]. Huzhou: Zhejiang Province Nuclear Industry 262 Brigade, 99-101 (in Chinese).
- LI X Y, YANG Y, LIU Y. 2018. The evolution process and its mechanism of man-land relationship in China[J]. Geographical Research, 37(8): 1495-1514 (in Chinese with English abstract).
- LI X, ZHANG W J, WU L, REN Y, ZHANG J D, XU M G. 2021. Advance in indicator screening and methodologies of soil quality evaluation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 54(14): 3043-3056 (in Chinese with English abstract).
- LIANG S M, XIE R Z, LI C S, YANG J Z, TANG Y L, WU C, WANG L B, LI S K. 2011. Effects of tillage systems on fields in Chengdu plain——Ⅱ. the evaluation of soil quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 44(4): 738-744 (in Chinese with English abstract).
- LIU Z F, FU B J, LIU G H, ZHU Y G. 2006. Soil quality: concept, indicators and its assessment[J]. Acta Ecologica Sinica, 26(3): 901-913 (in Chinese with English abstract).
- LIU Y, ZHANG H R, JIANG B, SUN Z B, WANG S T. 2022. Geochemical characteristics and significance of surface soil elements in Gaomi city, Shandong Province[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 44(4): 516-524 (in Chinese with English abstract).
- LU Y Q. 2015. Study on distribution of available microelements in soils from Gannan navel orange orchards[D]. Ganzhou: Gannan Normal University (in Chinese with English abstract).
- MALISA E P. 2001. The behaviour of selenium in geological processes[J]. Environmental Geochemistry and Health, 23(2): 137-158.
- MINISTRY OF LAND AND RESOURCES OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. 2016. DZ/T 0295-2016 Determination of land quality geochemical evaluation[S]. Beijing: Geology Press, 1-52 (in Chinese).
- MU G Z, LUO J, CAI L M, JIANG H H, HE M H, WANG Q S, WANG S, WANG H Z. 2019. Relationship between soil trace elements with organic matter and pH in Jiexi County, Guangdong Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 40(10): 208-215 (in Chinese with English abstract).
- NABI M, MAMAT Y. 2017. Correlation analysis of pH value and trace elements of cotton planting soil in Ugan-Kuqa River Delta Oasis[J]. Journal of Agriculture, 7(6): 21-26 (in Chinese with English abstract).
- PANG X G, GAO Z J, LIU Z Y, WANG M. 2011. Background research of soil geological geochemistry in Zhanhua winter jujube[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 39(2): 1081-1084 (in Chinese with English abstract).
- SHUMAN L M. 1985. Fractionation method for soil microelements[J]. Soil Science, 140(1): 11-22.
- SUN A, DUAN B H, WANG F, XIANG J Q, XIA W, WANG T Y. 2022. Geochemical distributions and influencing factors of soil elements in Xianfeng County, Western Hubei Province, China[J]. Soils, 54(3): 637-645 (in Chinese with English abstract).
- TANG Z M, ZHANG X D, ZHANG M, ZHOU M, TIAN F J, WANG S X, MA Q S, WANG C, ZHANG J, NIU X N, ZONG L L, HUANG D L. 2023. Geochemical characteristics of soil elements in Xin'an River Basin: constraints from rock formation types[J]. East China Geology, 44(2): 172-185 (in Chinese with English abstract).
- WANG J. 2019. Present situation of rural land use in China and related improvement[J]. Jiangxi Agriculture, (14): 115 (in Chinese).
- WANG S F, WANG R C, WU Y W. 1989. The concept of soil parent material and its classification[J]. Acta Agriculturae Universitatis Zhejiangensis, 15(4): 389-395 (in Chinese with English abstract).
- WANG Y, ZHOU Y J, WANG H, WANG C B. 2019. Geochemical characteristics of Se and heavy metal elements in the soil of Youshan, Xinfeng County, Jiangxi Province[J]. East China Geology, 40(2): 152-160 (in Chinese with English abstract).
- XU G Z, DONG Y C, DENG J H, TIAN H C. 2014. Geochemical evaluation of the ecologic environment of the Hanxing iron mining area, Hebei Province[J]. Geological Bulletin of China, 33(11): 1827-1835 (in Chinese with English abstract).
- XU M X, PAN W F, CEN J, MA X W. 2013. Quantitative par-

- tioning of soil selenium in the selenium-rich area of Northern Zhejiang Plain[J]. Environmental science, 34(7): 2775-2781 (in Chinese with English abstract).
- XI C Z, WU L F, FAN Y F, DENG H J. 2023. Geochemical Characteristics and Influencing Factors of Soil Se Elements in Dushan County of Guizhou Province[J]. Geology and Exploration, 59(4):803-816(in Chinese with English abstract).
- XING R H, WU Z, DU G Q. 2022. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution in Xuanzhou District, Anhui Province[J]. East China Geology, 43(3): 336-344(in Chinese with English abstract).
- WU X P, XU M G, PAN G X. 2015. Soil Management and sustainable use of soils —celebration for 2015 international year of soil and the 55th anniversary of *Scientia Agricultura Sinica*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 48(23): 4603-4606 (in Chinese with English abstract).
- WU X L, YAN J, DOU X J, LAI N, FU Y B, CHEN S H, WANG X Y, WANG Z G. 2017. Contents and availability of trace elements in orchard soil in Wensu County of Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 54(3): 520-527 (in Chinese with English abstract).
- YUE G J. 2018. Current situation and prospect analysis of rural land resources utilization in China[J]. Agriculture of Jilin, (13): 52 (in Chinese).
- ZENG Z H. 2000. Manganese element in agricultural ecological environment[J]. Jiangsu Environmental Science and Technology, 13(2): 33-35 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG J, CHEN H Y, XU X Q, ZHENG X W, XU Z H, ZHU H Y. 2023. Soil environmental background values in Huzhou City, Zhejiang Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 107-124 (in Chinese).
- ZHANG J, CHEN G G, ZHANG X D, ZHANG D Y, WANG C, NIU X N, WU J Y. 2022. Suitability evaluation of agricultural production in Ninghua County based on geological survey achievements[J]. East China Geology, 43(3): 345-354 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG G X, YU D S, ZHANG Q Z, WANG X X, SHI X Z. 2011. Cultivated land quality evaluation methods based on Bio-norm and EO[J]. Scientia Geographica Sinica, 31(8): 1012-1018 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO W Z, XIE X, ZHANG B B, ZHANG J T, HE T. 2024. Application of deep eutectic solvent extraction in eco-geological sample analysis[J]. East China Geology, 45(1): 78-87 (in Chinese with English abstract).
- ZHEJIANG PROVINCIAL MARKET SUPERVISION ADMINISTRATION. 2019. DB33/T 2224—2019 Specifications for land quality geological survey[S] (in Chinese).
- ZHOU F Z, WANG M Q, RAN L. 2019. The available content and spatial distribution of copper, zinc, iron and manganese in Lichuan plowland[J]. Hubei Agricultural Sciences, 58(13): 64-71,101 (in Chinese with English abstract).
- ZHU Y G, LI G, ZHANG G L, FU B J. 2015. Soil security: from earth's critical zone to ecosystem services[J]. Acta Geographica Sinica, 70(12): 1859-1869 (in Chinese with English abstract).
- ZHU H Y, SHEN Q Q, XU Z H, ZHENG X W. 2021. Report on the result of demarcation of naturally selenium-rich land in Shijiaqiao Village-Honglishan Village, Daochang Township, Wuxing District, Huzhou City, Zhejiang Province[R]. Huzhou: Zhejiang Province Nuclear Industry 262 Brigade, 1-45 (in Chinese).
- ZHU J M, ZUO W, QIN H B, FENG Z G, ZHENG B S, SU H C. 2008. An investigation on the source of soil Se in Yutangba, Enshi: evidence from native selenium[J]. Acta Mineralogica Sinica, 28(4): 397-400 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 成杭新, 彭敏, 赵传冬, 韩伟, 王惠艳, 王乔林, 杨帆, 张富贵, 王成文, 刘飞, 周亚龙, 唐世琪, 李括, 杨柯, 杨峥, 成晓梦, 陈子万, 张华, 莫春虎. 2019. 表生地球化学动力学与中国西南土壤中化学元素分布模式的驱动机制[J]. 地学前缘, 26(6): 159-191.
- 陈国光, 张晓东, 张洁, 湛龙. 2020. 自然资源分类体系探讨[J]. 华东地质, 41(3): 209-214.
- 常森, 刘思佳, 吴红梅, 王衡, 陈程, 魏晓, 文雪峰. 2024. “蜂糖李”原产地果园土壤重金属地球化学基线厘定、污染源识别和风险评价[J]. 地质与勘探, 60(4): 747-761.
- 邓邦良, 袁知洋, 李真真, 郭晓敏, 张文元. 2016. 武功山草甸土壤有效态微量元素与有机质和 pH 的关系[J]. 西南农业学报, 29(3): 647-650.
- 丁维新. 1994. 土壤 pH 对锰赋存形态的影响[J]. 热带亚热带土壤科学, 3(4): 233-237.
- 董岩翔, 郑文, 周建华. 2007. 浙江省土壤地球化学背景值[M]. 北京: 地质出版社.
- 付巧玲, 邱顺才. 2023. 论土壤硒驱动机制—以河南省崤山地区为例[J]. 地质与勘探, 59(3): 580-590.
- 龚淑英, 邬新荣, 徐平, 施济人, 宋明义, 杨贤强, 王岳飞. 2010. 浙江省长兴县富硒资源区及富硒农产品的调研[J]. 茶叶, 36(4): 221-226,231.

- 胡兆鑫, 罗为群, 谢运球, 汤庆佳. [2024.04.25]. 基于因子分析的广西平果市土壤地球化学分区[J/OL]. 地质通报, 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4648.P.20240425.1424.004>.
- 黄文辉, 杨起. 1999. 燃煤过程中有害元素转化机理研究进展[J]. 地质科技情报, 18(1): 71-74.
- 黄勇, 杨忠芳. 2009. 土壤质量评价国外研究进展[J]. 地质通报, 28(1): 130-136.
- 金慧芳, 史东梅, 陈正发, 刘益军, 姜义宝, 杨旭. 2018. 基于聚类及 PCA 分析的红壤坡耕地耕层土壤质量评价指标[J]. 农业工程学报, 34(7): 155-164.
- 李新蕊. 2007. 主成分分析、因子分析、聚类分析的比较与应用[J]. 山东教育学院学报, 22(6): 23-26.
- 李桂林, 陈杰, 檀满枝, 孙志英. 2008. 基于土地利用变化建立土壤质量评价最小数据集[J]. 土壤学报, 45(1): 16-25.
- 李明辉, 张笑蓉, 杜国强, 陶春军, 吴正. 2023. 安徽石台仙寓地区土壤硒地球化学特征及生物效应[J]. 华东地质, 44(2): 186-196.
- 鄯逸根, 董岩翔, 郑洁, 李琰, 吴小勇, 朱朝晖. 2005. 浙江富硒土壤资源调查与评价[J]. 第四纪研究, 25(3): 323-330.
- 李政龙, 沈亲亲, 徐正华, 张志强, 李佳. 2020. 农业地质调查成果转化在生态文明建设中的实践与展望——以湖州市吴兴区为例[C]//资源利用与生态环境——第十六届华东六省一市地学科技论坛论文集. 杭州: 浙江国土资源杂志社.
- 李政龙, 徐正华, 朱海洋. 2019. 湖州市吴兴区耕地质量调查项目成果报告[R]. 湖州: 浙江省核工业二六二大队, 99-101.
- 李小云, 杨宇, 刘毅. 2018. 中国人地关系的历史演变过程及影响机制[J]. 地理研究, 37(8): 1495-1514.
- 李鑫, 张文菊, 郭磊, 任意, 张骏达, 徐明岗. 2021. 土壤质量评价指标体系的构建及评价方法[J]. 中国农业科学, 54(14): 3043-3056.
- 梁淑敏, 谢瑞芝, 李朝苏, 杨锦忠, 汤永禄, 吴春, 王灵便, 李少昆. 2011. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究——II. 土壤综合质量评价[J]. 中国农业科学, 44(4): 738-744.
- 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 朱永官. 2006. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. 生态学报, 26(3): 901-913.
- 刘阳, 张海瑞, 姜冰, 孙增兵, 王松涛. 2022. 山东省高密市表层土壤元素地球化学组合特征及意义[J]. 物探化探计算技术, 44(4): 516-524.
- 卢映琼. 2015. 赣南脐橙果园土壤微量元素含量分布特征[D]. 赣州: 赣南师范学院.
- 买合甫拉提·乃比和玉苏甫·买买提. 2017. 渭-库河绿洲种棉土壤 pH 与微量元素的相关性分析[J]. 农学学报, 7(6): 21-26.
- 穆桂珍, 罗杰, 蔡立梅, 蒋慧豪, 何明皇, 王秋爽, 王硕, 王涵植. 2019. 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, 40(10): 208-215.
- 庞绪贵, 高宗军, 刘中业, 王敏. 2011. 沾化冬枣产地的土壤地质地球化学背景研究[J]. 安徽农业科学, 39(2): 1081-1084.
- 孙奥, 段碧辉, 王芳, 项剑桥, 夏伟, 王天一. 2022. 鄂西咸丰地区土壤元素地球化学分布及其影响因素[J]. 土壤, 54(3): 637-645.
- 唐志敏, 张晓东, 张明, 周墨, 田福金, 王尚晓, 马青山, 王冲, 张洁, 牛晓楠, 宗乐丽, 黄丁伶. 2023. 新安江流域土壤元素地球化学特征: 来自岩石建造类型的约束[J]. 华东地质, 44(2): 172-185.
- 王佳. 2019. 我国农村土地利用现状与相关整治[J]. 江西农业, (14): 115.
- 王深法, 王人潮, 吴玉卫. 1989. 成土母质的概念及其分类——浙江省成土母质类型划分[J]. 浙江农业大学学报, 15(4): 389-395.
- 王运, 邹勇军, 王鹤, 汪成钰. 2019. 江西信丰油山地区土壤硒及重金属元素地球化学特征[J]. 华东地质, 40(2): 152-160.
- 武雪萍, 徐明岗, 潘根兴. 2015. 土壤管理与可持续利用——献给 2015 国际土壤年及《中国农业科学》创刊 55 周年[J]. 中国农业科学, 48(23): 4603-4606.
- 吴湘琳, 严晶, 窦晓静, 赖宁, 付彦博, 陈署晃, 王新勇, 王治国. 2017. 新疆温宿县果园土壤微量元素含量及有效性评价[J]. 新疆农业科学, 54(3): 520-527.
- 徐国志, 董迎春, 邓金火, 田恒川. 2014. 河北邯邢铁矿区矿山环境生态地球化学评价[J]. 地质通报, 33(11): 1827-1835.
- 徐明星, 潘卫丰, 岑静, 马学文. 2013. 浙北平原富硒土壤资源区硒来源的定量分离[J]. 环境科学, 34(7): 2775-2781.
- 息朝庄, 吴林锋, 范云飞, 邓会娟. 2023. 贵州独山县土壤 Se 元素地球化学特征及其影响因素研究[J]. 地质与勘探, 59(4): 803-816.
- 邢润华, 吴正, 杜国强. 2022. 安徽省宣州区土壤重金属污染风险评估及来源分析[J]. 华东地质, 43(3): 336-344.
- 岳国菊. 2018. 我国农村土地资源利用现状及展望分析[J]. 吉林农业, (13): 52.
- 曾昭华. 2000. 农业生态环境中的锰元素[J]. 江苏环境科技, 13(2): 33-35.
- 张军, 陈焕元, 徐新泉, 郑晓伟, 徐正华, 朱海洋. 2023. 湖州市土壤元素背景值[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 107-124.
- 张景, 陈国光, 张晓东, 张定源, 王冲, 牛晓楠, 吴佳瑜. 2022. 基于地质调查成果支撑的宁化县农业生产适宜性评价[J]. 华东地质, 43(3): 345-354.

- 张广星, 于东升, 张忠启, 王兴祥, 史学正. 2011. BIO-NORM 与 EO 耕地质量评价方法对比研究[J]. 地理科学, 31(8): 1012-1018.
- 赵文志, 谢旭, 张兵兵, 张锦涛, 何添. 2024. 深共晶溶剂在生态地质样品分析中的应用研究[J]. 华东地质, 45(1): 78-87.
- 浙江省市场监督管理局. 2019. DB33/T 2224—2019 土地质量地质调查规范[S].
- 中华人民共和国国土资源部. 2016. DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京: 地质出版社, 1-52.
- 周富忠, 王明琼, 冉露. 2019. 利川市耕地铜、锌、铁、锰有效态含量及其空间分布[J]. 湖北农业科学, 58(13): 64-71, 101.
- 朱永官, 李刚, 张甘霖, 傅伯杰. 2015. 土壤安全: 从地球关键带到生态系统服务[J]. 地理学报, 70(12): 1859-1869.
- 朱海洋, 沈亲亲, 徐正华, 郑晓伟. 2021. 浙江省湖州市吴兴区道场乡施家桥村—红里山村天然富硒土地划定成果报告[R]. 湖州: 浙江省核工业二六二大队, 1-45.
- 朱建明, 左维, 秦海波, 冯志刚, 郑宝山, 苏宏灿. 2008. 恩施硒中毒区土壤高硒的成因: 自然硒的证据[J]. 矿物学报, 28(4): 397-400.

The characteristics and influencing factors of element combination in cultivated surface soil of the Shijiaqiao area, northern Zhejiang Province

XU Zhenghua^{1,2}, LIN Changmu^{1,2}, ZHU Haiyang^{1,2}, LI Zhenglong^{1,2}

(1. 262 Brigade of Zhejiang Province Nuclear Industry, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 2. Huzhou Key Laboratory of Geological Resources and Geological Engineering, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract: Based on the data gathered from quality survey of the cultivated land in the Shijiaqiao area, northern Zhejiang Province, we sampled and analyzed the cultivated surface soil of the research area at a higher density, and obtained 19 indexes of soil elements. The study adopted SPSS to process the test results with cluster analysis and factor analysis, in combination with the regional geological background and the chemistry of indexes combinations, and concluded the combination characteristics and influencing factors of elements in cultivated topsoil. The results show that the surface soil was generally acidic and the content of elements was close to the background value of that in Wuxing District. The elements content in the surface soil were mainly influenced by parent material, followed by the process of organic humus, rock weathering, water distribution, and human production activities. The content of N and K was medium to rich in general, while the content of P was mainly deficient to medium, and Mn was relatively deficient. It is suggested to fertilize reasonably according to farming needs, and pay more attention to control pollution sources in local heavy metal anomaly areas.

Key words: cultivated surface soil; characteristics of element combinations; land quality; factor analysis; cluster analysis; northern Zhejiang Province