

王亮, 王德伟, 龚仓, 等. 四川成都唐昌镇表层土壤元素地球化学特征及质量评价[J]. 岩矿测试, 2022, 41(6): 1082-1094.

WANG Liang, Wang Dewei, GONG Cang, et al. Elemental Geochemical Characteristics of Topsoil in Tangchang Town, Chengdu, Sichuan Province and Quality Evaluation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2022, 41(6): 1082-1094.

【DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.202112270210】

## 四川成都唐昌镇表层土壤元素地球化学特征及质量评价

王亮<sup>1</sup>, 王德伟<sup>2</sup>, 龚仓<sup>1</sup>, 王顺祥<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036;

2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610036)

**摘要:** 土壤质量状况直接关系到农产品安全和人类健康, 是农业种植和土地规划重要的参考依据。四川成都唐昌镇作为成都市重要的菜篮子基地, 农业种植发达, 目前该地区土壤质量状况尚不清楚。为了准确掌握当前唐昌镇农业种植区表层土壤元素含量特征和质量等级, 通过开展 1:5 万土壤质量地球化学调查, 采集表层土壤 810 件, 采用 X 射线荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法、原子荧光光谱法等方法测定了 N、P、K、As、Cd、Hg、Pb、Cr、Ni、Cu、Zn、Se 等元素含量和 pH 值, 进行土壤养分等级、土壤环境质量等级、土壤地球化学综合等级评价。结果表明: ① 与全国表层土壤相比, 研究区表层土壤略富集 Zn、Pb, 较富集 Se, 强烈富集 N、P、Cd、Hg, 土壤总体呈弱酸性。② 土壤养分综合等级以二等较丰富为主, 面积占比 88.0%, 土壤肥力较丰富; 土壤 8 项重金属元素环境质量等级中的一等土壤面积占比均大于 96.0%, 综合环境质量等级以一等清洁型为主, 占比达 98.06%。土壤综合质量以一等优质级为主, 占比 85.85%。③ 区内富硒土壤面积 2.49km<sup>2</sup>, 占比 3.7%, 零星分布于研究区中部; 富铜土壤面积 63.13km<sup>2</sup>, 占 94.0%; 富锌土壤面积 63.31km<sup>2</sup>, 占比 94.17%。综上所述, 唐昌镇地区表层土壤养分较丰富, 土壤环境整体清洁, 土壤综合质量属优质级。

**关键词:** 土壤质量; X 射线荧光光谱法; 电感耦合等离子体质谱法; 原子荧光光谱法; 富硒土壤; 富铜土壤; 富锌土壤; 唐昌镇

**要点:**

(1) 研究区表层土壤略富集 Zn、Pb, 较富集 Se, 强烈富集 N、P、Cd、Hg, 土壤总体呈弱酸性。

(2) 土壤养分综合等级以二等较丰富以上为主(占比 88.0%), 土壤环境地球化学综合质量等级以一等清洁级为主(占比 98.06%), 土壤地球化学综合质量等级以优质级为主(占比 85.85%)。

(3) 区内富硒、富铜、富锌土壤面积分别为 2.49km<sup>2</sup>、63.13km<sup>2</sup>、63.31km<sup>2</sup>, 富铜富锌土壤资源丰富。

**中图分类号:** O657.31; O657.63

**文献标识码:** A

土地资源是最宝贵的自然资源, 是人类生存和社会发展的基础。特别是农用地, 作为粮食和蔬菜的主产地, 土地质量直接影响着粮食安全。近年来, 随着工业发展和城镇化进程加速、农药使用、汽车尾气排放和厂房建设等, 导致土壤养分流失和重金属元素污染加剧。为了摸清土地资源质量现状、开发利用特色土地资源(绿色农产品生产基

地)、支撑和服务“乡村振兴”工程, 已有学者开展了大量的调查与研究, 主要包括: 土壤重金属污染特征和健康风险评价<sup>[1-2]</sup>, 农用地土壤的地球化学质量等级评价<sup>[3-10]</sup>, 天然特色土地资源(如富硒、富铜、富锌土地)的开发利用研究<sup>[11-16]</sup>, 农作物和根系土中重金属作用机理研究<sup>[17-18]</sup>、绿色农业种植区和农业种植结构调整<sup>[19]</sup>, 同时对于全国尺度城市土壤

收稿日期: 2021-12-27; 修回日期: 2022-02-09; 接受日期: 2022-03-26

基金项目: 中国地质调查局军民融合地质调查中心地质调查项目“郫都区唐昌镇国土空间开发利用建议”; 中国地质调查局地质调查项目(自调指审[2022]0318)

作者简介: 王亮, 硕士, 工程师, 主要从事环境地球化学、区域矿产勘查、矿床地球化学等研究。E-mail: wll\_liang@126.com。

的元素背景值与基准值、重金属微量元素管控值开展了探索性研究<sup>[20-21]</sup>。以上研究在土地资源调查、保护和开发利用方面发挥了积极作用,更好地服务于地方农业发展和土地资源利用规划。

四川省成都平原经济区已开展了1:25万的土地质量地球化学评估<sup>[22]</sup>,表明随着城市化不断扩张及人类活动的影响,区内部分土地质量退化、污染加剧、肥力下降、生态环境破坏等一系列问题日益突出,同时由于以往调查精度不高,时间已久,已难满足研究区的现代绿色农业发展。

土地资源质量的状况对农业强镇发展至关重要。成都市郫都区唐昌镇作为成都市重要的菜篮子基地、供港供澳基地,是西南地区最大的韭黄生产基地,被评为全国生态经济强镇、中国生态魅力镇、中国十大农业示范镇<sup>[23]</sup>。本文以唐昌镇为研究区,通过开展1:5万土地质量地球化学评价,采用X射线荧光光谱法(XRF)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)、原子荧光光谱法(AFS)等方法、元素分析仪法和离子选择性电极法测定表层土壤样品中N、P、K、As、Cd、Hg、Pb、Cr、Ni、Cu、Zn、Se等元素含量和pH值。查明研究区表层土壤主要养分元素和重金属元素含量和分布状况,划分土壤质量地球化学等级,圈定优势土地资源,为当地政府履行土地资源管理、农业种植结构调整,以及土壤环境保护、振兴乡村等管理职能提供科学依据。

## 1 研究区概况

四川省成都市郫都区唐昌镇位于龙门山山前凹陷堆积平原内,处于成都平原腹心位置、成都市西部近郊,总面积约80km<sup>2</sup>。全区气候类型属亚热带季风性湿润气候,年气候温和,平均气温15.7℃,雨量充沛,四季分明,区域空气质量指数(AQI)和负氧离子数常年保持全区领先。农业种植以蔬菜为主,常年种植有蔬菜、花卉、水稻、油菜、玉米等。蔬菜以大棚蔬菜、榨菜、生姜、辣椒、白菜、棒菜、莴笋、韭黄等为主要特色,形成了柏木河蔬菜产业园、两河果蔬产业园和锦宁韭黄产业园,是成都市重要的菜篮子基地。区内土壤类型以水稻土为主,土地利用类型以农用地为主,主要为耕地和林地,林地主要分布在研究区的西部和中东部地带(图1)。

## 2 实验部分

### 2.1 样品采集与处理

以唐昌镇土地利用现状图为底图,套合公里网格,按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)共布设土壤样品810件,主要覆盖耕地和林地区,控制面积约70km<sup>2</sup>,平均采样点密度为9个/km<sup>2</sup>(图1)。野外采用手持GPS定点,在设计点位30m范围内采集4~6个子样组合成1件样品。自地表向下连续取20cm的土样,在同一用地类型

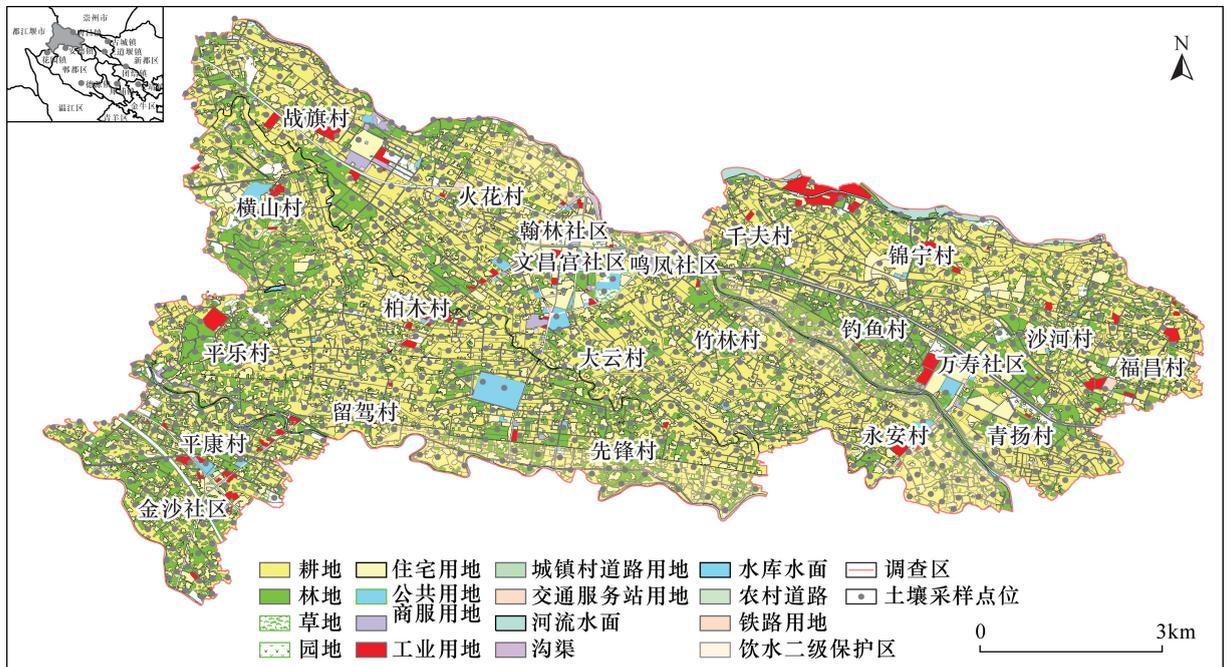


图1 研究区表层土壤采样点分布图

Fig. 1 Sampling sites of the topsoil in the study area

的地块内采集代表性样品,主要分布在地块中央位置,样品原始质量大于 1kg,自然风干、破碎后全部过 2mm 尼龙孔径筛(10目)。过筛后的样品混合均匀后送实验室进行分析测试。

### 2.2 样品分析测试和数据质量

土壤样品的分析测试均由中国地质科学院矿产综合利用研究所分析测试中心完成,测试指标包括: N、P、K、As、Cd、Hg、Pb、Cr、Ni、Cu、Zn、Se 和酸碱度(pH)。其中,Cu、Zn、Pb、Ni、Cr、P、K 等元素,通过粉末压片后,采用 XRF 法测定。Cd 经盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸分解溶样后,采用 ICP-MS 法测定。As、Hg 和 Se 采用 AFS 法测定。试样通过王水溶样,稀释,放置澄清,分取清液,加铁盐溶液和硫脲-抗坏血酸溶液摇匀,测定 As 含量;样品溶液放置数小时后直接分取清液,直接测定 Hg 含量;试样经硝酸-高氯酸分解,盐酸溶液还原,与硼氢化钾反应后,测定 Se 含量。N 经高温下燃烧,还原、分离后,采用元素分析仪法(COB)测定;pH 用去除二氧化碳的蒸馏水浸提处理后,用离子选择性电极法(ISE)测定。各分析方法和检出限见表 1。样品分析严格按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)实施。

分析方法的准确度和精密度使用国家一级标准物质进行试验,对土壤元素分析方法,选用国家一级土壤标准物质 GSS-5、GSS-7、GSS-8、GSS-9、GSS-20、GSS-23、GSS-24、GSS-28、GBW07424、GBW07425、GBW07426、GBW07427、GBW07428。每种方法共进行 12 次测定,计算对数偏差( $\Delta \lg C$ )和相对标准偏差(RSD)。土壤的 pH 值测定,采用国家一级标准物质 GBW07412a、GBW07414a、GBW07416a 测定 12 次,计算相对标准偏差(RSD)和相对误差(RE)。所有一级标准物质合格率为 100%,各元素的准确度合格率为 100%(规范要求为

98%),精密度合格率为 100%(规范要求为 98%),同时各元素的报出率均为 100%,均满足规范要求,数据可靠。

### 2.3 评价方法

本次工作以查明研究区当前土壤肥力和土壤环境质量为目的,实现研究区土壤质量地球化学综合评估。选取 N、P、K 作为土壤养分评价指标,As、Cd、Hg、Pb、Cr、Ni、Cu、Zn 作为土壤环境评价指标,Se 作为土壤健康有益元素评价指标,Cu 和 Zn 在不超过风险值的情况下,作为土壤微量营养元素评价指标,pH 作为土壤环境质量评价中重金属风险值划分的重要参数,参照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)开展评价工作。

#### 2.3.1 土壤养分地球化学综合等级

首先按照表 2 中的划分标准,进行土壤养分单指标等级划分。

表 2 土壤中 N、P、K 养分指标等级划分标准

Table 2 Classification standard of N, P, K nutrient index in soil

指标	土壤养分指标等级				
	一等 (丰富)	二等 (较丰富)	三等 (中等)	四等 (较缺乏)	五等 (缺乏)
N(mg/g)	>2.0	1.5~2.0	1.0~1.5	0.75~1.0	≤0.75
P(mg/g)	>1.0	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	≤0.4
K(mg/g)	>25	20~25	15~20	10~15	≤10

然后在 N、P、K 的单指标土壤养分地球化学等级基础上,利用层次分析加权指数,结合隶属度函数公式,计算土壤养分地球化学综合得分  $f_{\text{养综}}$ :

$$f_{\text{养综}} = \sum_{i=1}^n k_i f_i$$

式中: $f_{\text{养综}}$  表示土壤 N、P、K 评价总得分,  $1 \leq f_{\text{养综}} \leq 5$ ;  $k_i$  为 N、P、K 权重系数,分别为 0.4、0.4 和 0.2。

表 1 土壤元素分析方法及检出限

Table 1 Analytical methods of soil samples and their detection limits

元素	分析方法	检出限		单位	元素 (指标)	分析方法	检出限		单位
		本文测试	规范要求				本文测试	规范要求	
Cu	XRF	1	1	$10^{-6}$	Cr	XRF	5	5	$10^{-6}$
Pb	XRF	2	2	$10^{-6}$	As	AFS	0.5	1	$10^{-6}$
Zn	XRF	4	4	$10^{-6}$	Hg	AFS	0.0003	0.0005	$10^{-6}$
Ni	XRF	2	2	$10^{-6}$	Se	AFS	0.01	0.01	$10^{-6}$
Cd	ICP-MS	0.01	0.03	$10^{-6}$	N	COB	20	20	$10^{-6}$
K	XRF	0.01	0.05	%	pH	ISE	0.1	0.1	1
P	XRF	10	10	$10^{-6}$					

$f_i$  为 N、P、K 的单元素等级得分,其中单指标评价结果为五等、四等、三等、二等、一等时所对应的  $f_i$  得分分别为 1 分、2 分、3 分、4 分、5 分。当  $f_{\text{养综}} \geq 4.5$ , 代表综合养分丰富(一等);当  $3.5 \leq f_{\text{养综}} < 4.5$ , 代表综合养分较丰富(二等);当  $2.5 \leq f_{\text{养综}} < 3.5$ , 代表综合养分中等(三等);当  $1.5 \leq f_{\text{养综}} < 2.5$ , 代表综合养分较缺乏(四等);当  $f_{\text{养综}} < 1.5$ , 代表综合养分缺乏(五等)。

### 2.3.2 土壤环境地球化学综合评价

土壤中 As、Cd、Cr、Pb、Hg、Ni、Zn 的环境质量等级划分标准参考《农用地土壤污染风险管控标准》(GB15618—2018)中的值,通过以下公式计算土壤中污染物指标  $i$  的单项污染指数( $P_i$ )。

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

式中: $C_i$  代表土壤中污染物  $i$  的实测质量分数,单位为 mg/kg; $S_i$  为土壤中污染指标  $i$  在 GB15618 中给出的二级标准值,单位为 mg/kg。

按照土壤单项污染指数,将环境地球化学等级分界限值划分为 5 个等级:一等清洁( $P_i \leq 1$ );二等轻微污染( $1 < P_i \leq 2$ );三等轻度污染( $2 < P_i \leq 3$ );四等中度污染( $3 < P_i \leq 5$ );五等重度污染( $P_i > 5$ )。

在单指标土壤环境地球化学等级划分的基础上,每个评价单元的土壤环境地球化学综合等级采用“一票否决”的方法评价,即综合等级等同于单指标划分出的环境等级最差的等级,例如 As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Ni、Zn 的环境地球化学单指标分别为四等、三等、二等、三等、二等、二等和二等时,该评价单元的土壤环境地球化学综合等级为四等。

表3 土壤元素地球化学参数

Table 3 Geochemical parameters of elements in soil

指标	N	P	K	Se	pH	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd	As	Hg
$N$	783	776	733	780	788	758	761	771	775	783	777	774	752
$X$	1.33	1.12	24.11	0.34	6.17	34.3	105.5	31.9	91.7	37.1	0.22	9.63	0.14
Std	0.25	0.34	1.45	0.06	1.02	4.05	11.84	3.81	7.19	3.58	0.06	1.87	0.06
CV	0.19	0.31	0.06	0.19	0.16	0.12	0.11	0.12	0.08	0.10	0.28	0.19	0.42
Min	0.70	0.22	19.76	0.14	4.16	22.2	70.7	20.8	71.6	26.6	0.08	4.17	0.022
Max	2.00	2.14	27.98	0.53	9.04	46.2	140.0	43.3	112.0	47.6	0.40	15.20	0.32
$Q$	0.64	0.52	25	0.20	-	24	68	23	65	26	0.09	10	0.04
$C$	1.70	0.84	24	-	-	32.7	89.4	40.4	86.2	35.5	0.34	10.3	0.11
$K_1$	2.07	2.15	0.965	1.69	-	1.43	1.552	1.39	1.411	1.43	2.42	0.96	3.51
$K_2$	0.8	1.3	1.0	-	-	1.0	1.2	0.8	1.1	1.0	0.6	0.9	1.3

注: N、K 含量单位为 mg/g,其他元素为 mg/kg,pH 值为无量纲。 $Q$  代表全国表层土壤平均值<sup>[24]</sup>, $C$  代表成都经济区表层土壤背景值<sup>[23]</sup>。

### 2.3.3 土壤质量地球化学综合评价

土壤质量地球化学综合等级由评价单元的土壤养分地球化学综合等级与土壤环境地球化学综合等级叠加产生,划分 5 个等级:一等为优质土壤,表示土壤环境清洁,土壤养分丰富;二等为良好土壤,表示土壤环境清洁,土壤养分中等;三等为中等土壤,表明土壤环境清洁,土壤养分较缺乏或土壤环境轻度污染,土壤养分丰富至较丰富;四等为差等,表示土壤环境清洁或轻微污染,土壤养分缺乏或土壤环境轻度污染,土壤养分丰富至缺乏;五等为劣等,表示土壤环境中度和重度污染,土壤养分丰富至缺乏。

### 2.4 数据处理

使用 Excel 和 SPSS20 进行数据的整理分析,图件制作采用中国地质调查局发展研究中心开发的土地质量地球化学调查与评价数据管理与维护(应用)子系统和 Arcgis10.2 完成。

## 3 结果与讨论

### 3.1 土壤元素地球化学特征

对研究区表层土壤样品测试分析的原始数据利用“平均值 $\pm 3$ 倍标准偏差”剔除特高值和特低值,各指标均符合或近似符合正态分布后,计算各评价指标的特征地球化学参数(表3): $N$ (剔除后的样品数)、 $X$ (剔除后的平均值)、Std(剔除后的标准差)、CV(剔除后的变异系数)、Min(剔除后的最小值)、Max(剔除后的最大值)、 $K_1$ (浓集比率= $X/Q$ )和  $K_2$ (浓集比率= $X/C$ )。与全国土壤平均值相比,研究区表层土壤中元素 K、Cu、Cr、Ni、As 的  $K_1$  值接近于 1,表明它们的含量与全国表层土壤平均值接近,Zn、Pb 的  $K_1$  值变化于 1.4~1.6 之间,略高于全国

平均值。Se 的  $K_1$  值为 1.69, 表明 Se 在区内较富集。N、P、Cd、Hg 的  $K_1$  值均大于 2, 其中 Hg 的  $K_1$  值达到 3.51, 表明 Hg 在研究区表层土壤中的含量相比全国表层土壤含量强烈富集。与成都经济区表层土壤相应指标进行对比, 研究区表层土壤中 Zn、Hg、P 的浓集比率  $K_2$  值均大于 1, 表现出略富集, 而 N、Pb、Cd 的  $K_2$  值小于 1, 表现为相对匮乏, 其他指标的  $K_2$  值接近 1。研究区表层土壤 pH 值为 4.16~9.04, 平均值为 6.17, 表明区内土壤整体呈弱酸性。

### 3.2 土壤养分评价

土壤养分等级评价结果(表4)显示, 研究区表层土壤全 N 含量为 0.7~2mg/g, 平均为 0.7mg/g, 以中等(三等)为主, 面积 58.71km<sup>2</sup>, 占比 87.19%; P 含量 0.22~20.8mg/g, 平均为 1.16mg/g, 以丰富(一等)为主, 占比 78.0%; K 含量 10.29~27.98mg/g, 平均为 23.59mg/g, 以较丰富(二等)为主, 占比 78.17%。表明研究区土壤主量养分元素中 N 含量一般, P 富集, K 较富集, 所以在农业种植过程中, 需要合理地制定耕作制度, 注重含 N 有机肥料施用, 改善土壤养分元素供应, 提高土壤的肥力。

表层土壤养分综合等级以较丰富(二等)为主(图2), 面积 59.25km<sup>2</sup>, 占比 88.0%, 主要分布在研究区中东部耕地地块, 与农业耕作提高和保持土壤

养分肥力有关。中等(三等)养分次之, 面积为 6.66km<sup>2</sup>, 占比 9.9%, 分布于横山村和平乐村地区林地地块, 该区域农业耕作活动较弱, 对土壤的养分含量影响较小。四等面积 0.51km<sup>2</sup>, 占研究区面积 0.76%。局部地块养分为丰富(一等), 面积为 0.91km<sup>2</sup>, 占比 1.35%, 零星分布于研究区的部分地块中(图2), 表明研究区土壤养分综合含量较丰富, 土壤肥力较好。

表4 研究区土壤养分等级评价

Table 4 Evaluation of soil nutrient grade in the study area

元素	土壤养分等级	一等 (丰富)	二等 (较丰富)	三等 (中等)	四等 (缺乏)	五等 (较缺乏)
N	面积(km <sup>2</sup> )	0.10	5.76	58.71	2.71	0.06
	比例(%)	0.15	8.55	87.19	4.02	0.09
P	面积(km <sup>2</sup> )	52.35	8.84	3.84	2.15	0.16
	比例(%)	78.0	13.0	5.70	3.20	0.20
K	面积(km <sup>2</sup> )	9.79	52.64	4.72	0.19	0
	比例(%)	14.54	78.17	7.01	0.28	0
养分综合	面积(km <sup>2</sup> )	0.91	59.25	6.66	0.51	0
	比例(%)	1.35	88.00	9.90	0.76	0

### 3.3 土壤环境评价

研究区 8 项重金属中, 各重金属环境质量等级为一等型(清洁)的面积占比均大于 96%(表5),

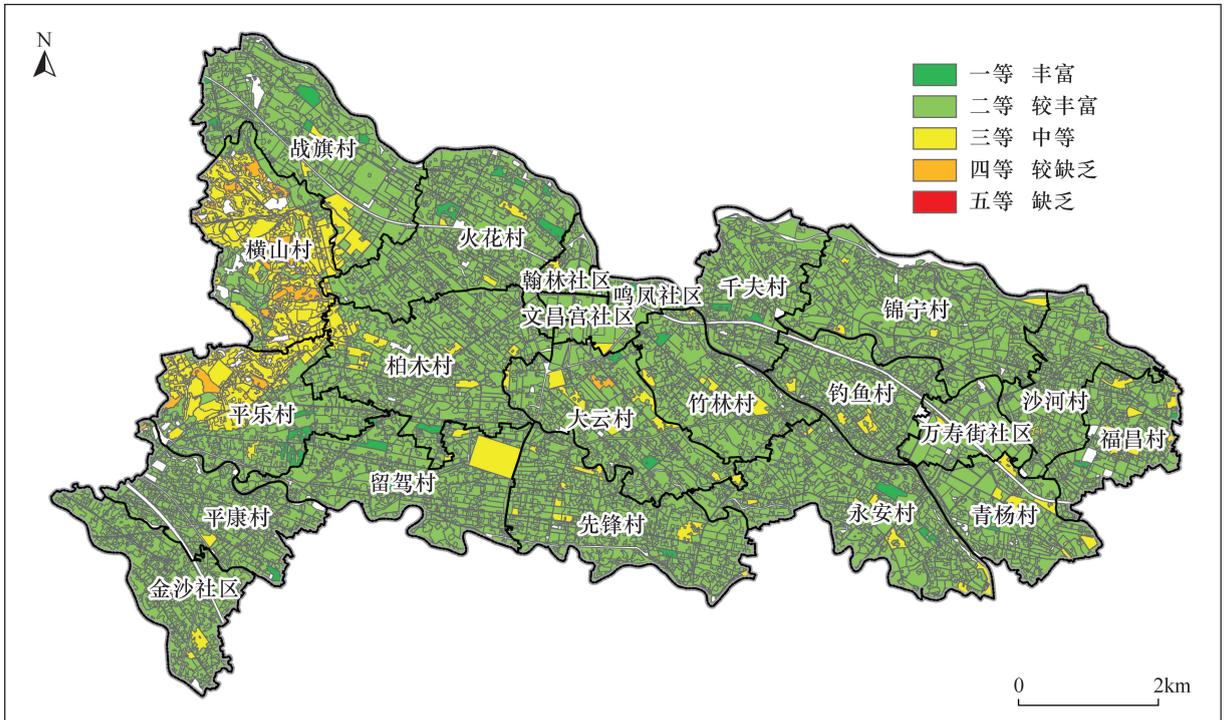


图2 研究区土壤养分地球化学综合等级

Fig.2 Comprehensive grade of soil nutrient geochemistry in the study area

表 5 研究区土壤环境等级评价

Table 5 Evaluation of soil environment grade in the study area

元素	土壤环境等级	一等 (清洁)	二等 (轻微 污染)	三等 (轻度 污染)	四等 (中度 污染)	五等 (重度 污染)
As	面积(km <sup>2</sup> )	67.05	0.29	0	0	0
	比例(%)	99.60	0.40	0	0	0
Cd	面积(km <sup>2</sup> )	66.70	0.72	0	0	0
	比例(%)	98.89	0.11	0	0	0
Cr	面积(km <sup>2</sup> )	67.31	0.03	0	0	0
	比例(%)	99.95	0.05	0	0	0
Cu	面积(km <sup>2</sup> )	67.01	2.11	0.03	0	0.01
	比例(%)	96.90	3.05	0.04	0	0.01
Hg	面积(km <sup>2</sup> )	67.32	0.02	0	0	0
	比例(%)	99.97	0.03	0	0	0
Ni	面积(km <sup>2</sup> )	67.34	0	0	0	0
	比例(%)	100.0	0	0	0	0
Pb	面积(km <sup>2</sup> )	67.33	0.01	0	0	0
	比例(%)	99.985	0.015	0	0	0
Zn	面积(km <sup>2</sup> )	67.07	0.228	0.001	0	0.039
	比例(%)	99.600	0.339	0.002	0	0.058
环境 综合	面积(km <sup>2</sup> )	66.03	1.23	0.03	-	0.05
	比例(%)	98.06	1.83	0.04	-	0.07

局部农用地块存在 Cu 和 Zn 的轻度污染和重度污染,分布面积极其微小,对农业种植生产影响可以忽略不计。研究区土壤环境地球化学综合等级以一等(清洁)为主,面积为 66.03km<sup>2</sup>,占比 98.06%;二等

(轻度污染)土壤面积为 1.23km<sup>2</sup>,占比 1.83%,主要分布在唐昌镇镇区、横山村西南、金沙村东附近(图 3);轻度污染和重度污染面积占比不到 0.1%(轻度 0.04%,重度 0.07%);重度污染面积 0.05km<sup>2</sup>,位于福昌村和横山村两耕地地块,分布面积积极小,可能与耕作过程中农药的过度使用有关。由此可见,研究区土壤环境地球化学综合质量极好,为该区农业绿色农业发展提供了清洁优良的土地资源。

### 3.4 土壤质量地球化学综合评价

研究区土壤质量地球化学综合评价结果表明,研究区一等和二等土壤的面积分别为 57.8km<sup>2</sup>和 6.57km<sup>2</sup>,占比分别为 85.85%和 9.76%。其中,一等优质土壤在区内大面积分布;二等良好土壤主要分布在平乐村—横山村一带;三等中等土壤面积为 2.88km<sup>2</sup>,占评价区面积 4.28%,主要在该区零星分布;四等和五等土壤面积分别为 0.03km<sup>2</sup>和 0.05km<sup>2</sup>,分别占评价区面积的 0.04%和 0.07%,分布面积积极小,主要分布在横山村西南和金沙村东两块地内(图 4)。由此可以得出,研究区表层土壤质量综合等级为优质级。土壤环境清洁,基本未遭受重金属污染,土壤养分较丰富,为区内种植绿色无公害蔬菜和水果创造了有利条件。

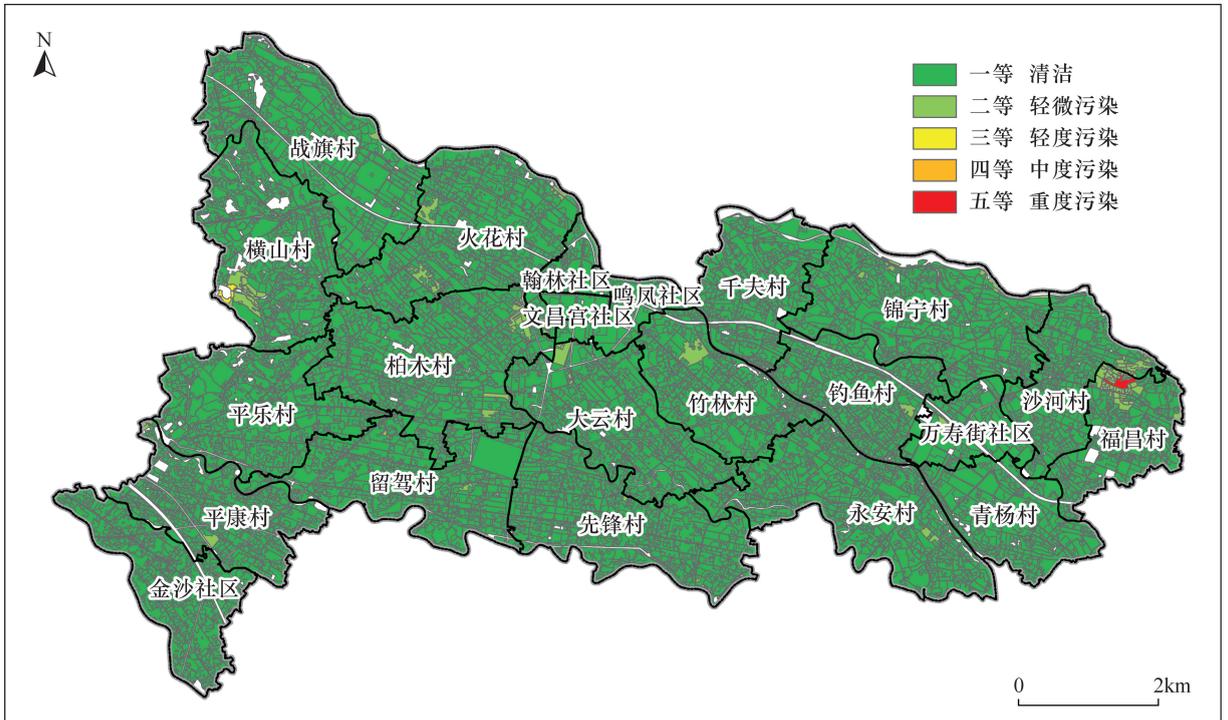


图 3 研究区土壤环境地球化学综合等级

Fig. 3 Comprehensive grade of soil environmental geochemistry in the study area

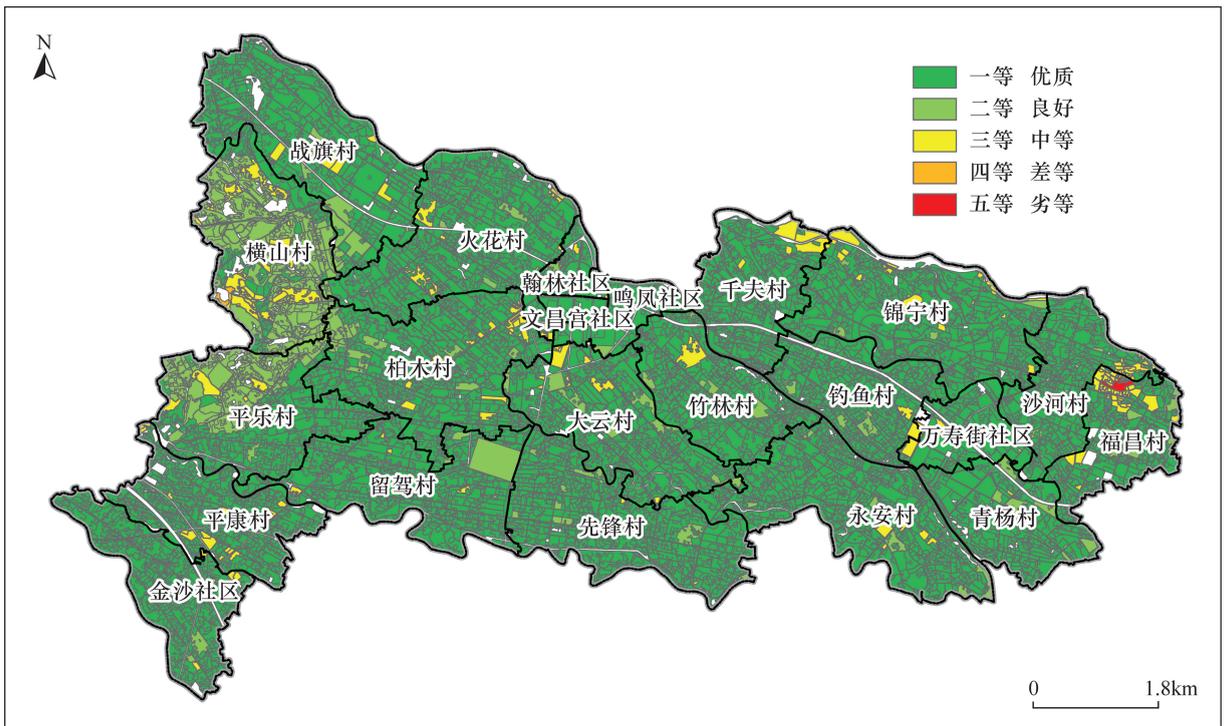


图4 研究区土壤质量地球化学综合等级

Fig. 4 Comprehensive geochemical grade of soil quality in the study area

### 3.5 富硒富铜富锌特色土壤资源

#### 3.5.1 富硒土壤

依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)和《天然富硒土地划定与标识(试行)》(DD2019-10)的规定,按照表层土壤中Se含量为 $0.4\sim 3.0\text{mg/kg}$ 的区域划分为富硒土壤,得出研究区富硒土壤面积为 $2.49\text{km}^2$ ,占农用地和建设用地的总面积的3.7%。富硒土壤的空间分布不连续。

在评价富硒土壤分布特征的基础上,采用富硒土壤叠加土壤质量综合等级的方法,将富硒土壤(Se含量在 $0.4\sim 3.0\text{mg/kg}$ )再叠加研究区土壤质量地球化学综合等级,进一步将富硒土壤划分为优质富硒土壤、良好富硒土壤、中等富硒土壤、差等富硒土壤、劣等富硒土壤5个等级。例如,优质富硒土壤,代表土壤富硒并且土壤综合质量等级为一等;良好富硒土壤,为富硒土壤中土壤综合质量为二等的土壤。通过叠加评价,在区内共全圈出优质富硒图斑133个,面积 $1.99\text{km}^2$ ,占比2.96%;良好富硒图斑18个,面积 $0.26\text{km}^2$ ,占比0.39%;中等富硒图斑19个,面积 $0.24\text{km}^2$ ,占比0.35%(图5)。在空间分布上,富硒土地主要呈北西向零星、不连续分布。在战旗村、横山村、柏木村、大云村、留驾村、竹林村、锦宁村、福昌村零星分布,因此可以在这些富硒地块中

种植富硒水稻、富硒蔬菜等绿色农产品,但其整体开发潜力有限。

#### 3.5.2 富铜土壤

Cu是植物和人体健康所必需的微量营养元素之一,是铜蛋白和多种酶的组成元素,参与调节生物的多种生命活动过程<sup>[25-27]</sup>。对植物而言,植物缺乏Cu会导致生长速度减慢,幼芽畸变或变白,叶缘卷曲,顶端分生组织受损,最终导致植物产量减少<sup>[28]</sup>。对人体而言,Cu缺乏会导致骨骼发育异常,生长迟缓,糖和胆固醇代谢异常和导致患阿尔茨海默症<sup>[29-30]</sup>。人体Cu的摄入主要从日常饮食中摄取,因此土壤中Cu的丰缺对农作物的种植和生长具有重要的影响。

唐昌镇调查区表层土壤中Cu含量在 $18.5\sim 607\text{mg/kg}$ 之间,平均值 $35.2\text{mg/kg}$ ,剔除异常高低值后的平均值为 $34.3\text{mg/kg}$ 。从土壤养分指标角度,依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中Cu养分等级划分标准: $29\sim 50\text{mg/kg}$ 为一等丰富级; $24\sim 29\text{mg/kg}$ 为二等较丰富级; $22\sim 24\text{mg/kg}$ 为三等中等级; $16\sim 22\text{mg/kg}$ 为四等较缺乏级; $\leq 16\text{mg/kg}$ 为五等缺乏级。唐昌镇表层土壤中Cu元素进行丰缺性评价结果显示,Cu含量以一等丰富型为主,面积为 $63.13\text{km}^2$ ,所占比例94.0%;

二等较丰富面积 3.39km<sup>2</sup>(图 6)。表明区内表层土壤 Cu 元素含量丰富,为唐昌镇农业种植提供了富 Cu 土壤资源。

### 3.5.3 富锌土壤

Zn 同样也是植物必需的微量元素,能增强作物的光合作用,是作物体内碳酸酐酶等一些酶的重要

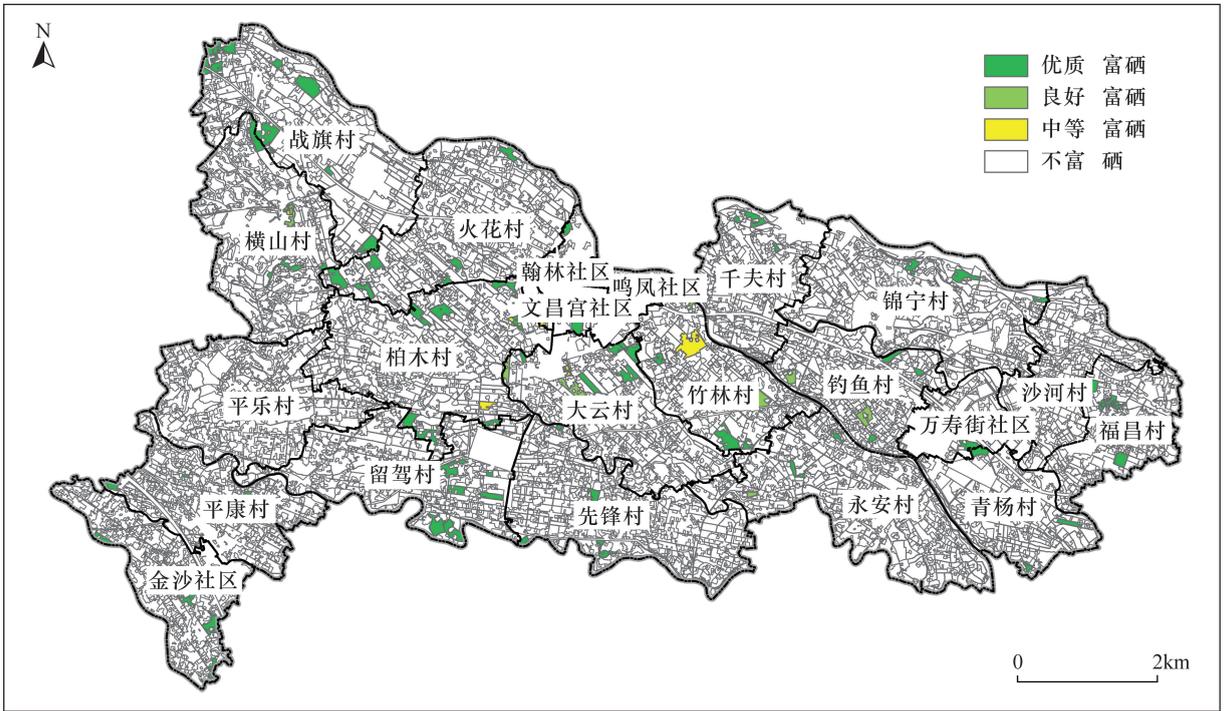


图 5 研究区富硒土地资源综合等级

Fig. 5 Comprehensive grade of selenium-enriched land resources in the study area

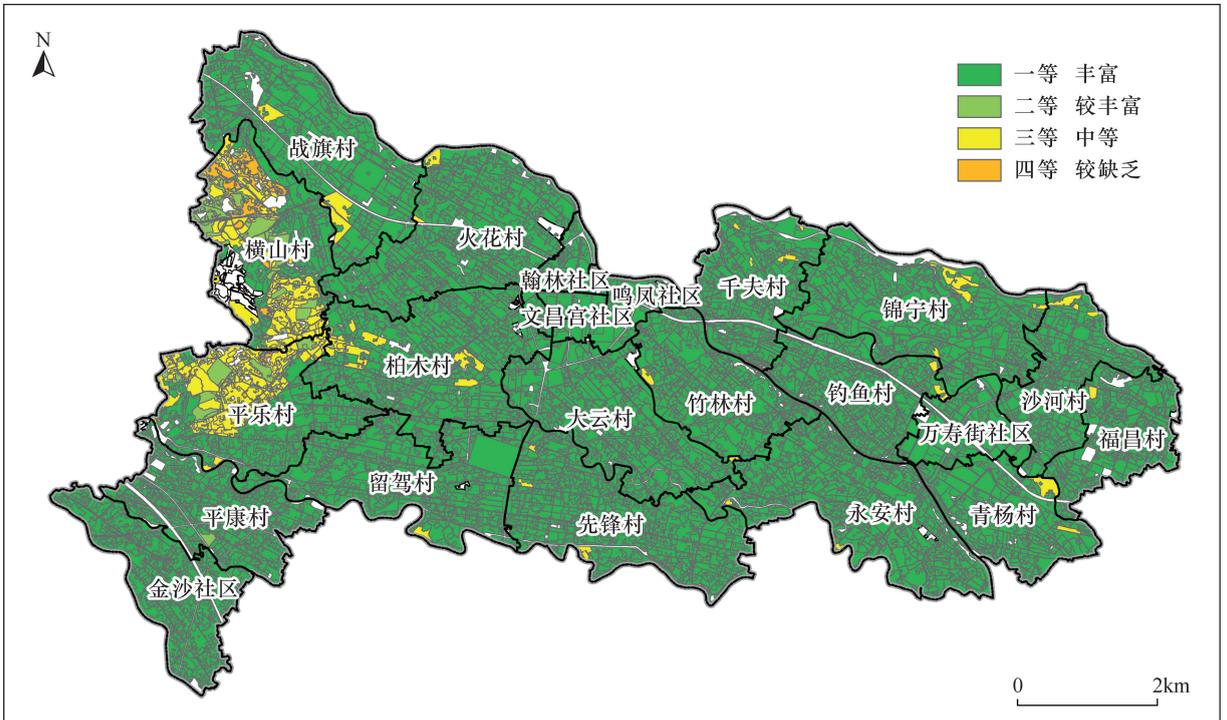


图 6 研究区土壤微量元素铜地球化学等级

Fig. 6 Geochemical grade of soil trace element Cu in the study area

组成成分。植物缺 Zn 容易造成体内氮素代谢紊乱。Zn 是人体必需元素之一,具有“生命之花”之称,参加了人体内多种酶的组成,它直接参与酶的合成,促进机体生长发育和组织再生,保护皮肤健康,维护免疫功能。目前人体缺 Zn 在国际上是一个重要的公共卫生问题<sup>[13,31-32]</sup>。

唐昌镇调查区表层土壤中 Zn 含量在 55~1820mg/kg 之间,平均值为 108.9mg/kg,剔除异常高低值后的平均值为 105.5mg/kg。从土壤养分指标角度,依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中 Zn 养分等级划分标准(84~200mg/kg 为一等丰富级,71~84mg/kg 为二等较丰富,62~71mg/kg 为三等中等,50~62mg/kg 为四等较缺乏级,≤50mg/kg 为五等缺乏级),对唐昌镇表层土壤中 Zn 元素进行丰缺性评价,结果显示唐昌镇表层土壤 Zn 以丰富型为主,面积为 63.31km<sup>2</sup>,所占比例 94.17%,较丰富面积为 3.31km<sup>2</sup>(图 7)。大面积的富锌土壤有利于果蔬等农作物的种植和生长,以及研究区发展富锌特色农产品产业。

## 4 结论

研究表明,成都唐昌镇农业种植区表层土壤 K、Cu、Cr、Ni、As 含量与全国表层土壤平均值相接近,

Zn、Pb 略高于全国平均值。Se 在区内较富集。N、P、Cd、Hg 强烈富集,与成都经济区表层土壤相应指标进行对比发现,研究区表层土壤的 Zn、Hg、P 含量略高,N、Pb、Cd 含量略低,其他指标含量相当,表层土壤 pH 平均值为 6.17,呈弱酸性。

研究区表层土壤主要养分综合含量较丰富,其中全 N 以三等中等为主,P 以一等丰富为主,K 以二等较丰富为主。土壤环境质量整体为清洁型,未受到重金属污染,局部受 Cu、Zn 元素的影响,但分布面积积极小。土壤质量综合等级优质级,表明该区土壤环境清洁,土壤养分较丰富。

研究区富 Se 土壤面积为 2.49km<sup>2</sup>,零星分布于该区中部;富 Cu 土壤面积 63.13km<sup>2</sup>,占评价区 94.0%;富 Zn 土壤面积 63.31km<sup>2</sup>,占评价区 94.17%,评价结果对区内发展富 Se、Cu、Zn 特色农业产业具有一定理论基础。但还需进一步对土壤中有效态 Cu、Zn 含量和土壤-农作物中 Cu、Zn 元素的迁移富集性进行深入研究,更好地服务于农业种植和产业发展。

**致谢:** 中国地质调查局军民融合地质调查中心郫都区唐昌镇国土空间开发利用建议项目组成员在野外样品采集中付出了辛勤劳动,审稿人在论文修改方面提出了宝贵建议,一致表示感谢。

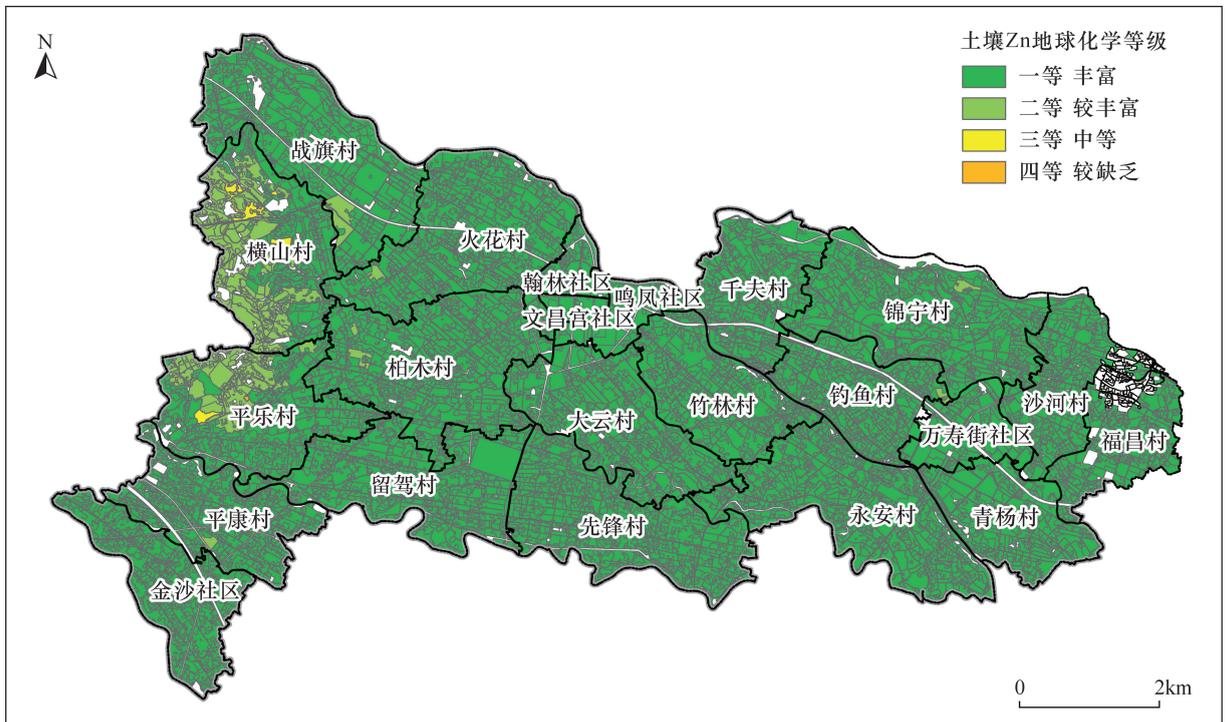


图 7 研究区土壤微量元素锌地球化学等级

Fig. 7 Geochemical grade of soil trace element Zn in the study area

## 5 参考文献

- [1] 郭志娟,周亚龙,王乔林,等. 雄安新区土壤重金属污染特征及健康风险[J]. 中国环境科学, 2021, 41(1): 431-441.  
Guo Z J, Zhou Y L, Wang Q L, et al. Characteristics of soil heavy metal pollution and health risk in Xiong'an New District [J]. China Environment Science, 2021, 41(1): 431-441.
- [2] 贺灵,吴超,曾道明,等. 中国西南典型地质背景区土壤重金属分布及生态风险特征[J]. 岩矿测试, 2021, 40(3): 395-407.  
He L, Wu C, Zeng D M, et al. Distribution of heavy metals and ecological risk of soils in the typical geological background region of southwest China [J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(3): 395-407.
- [3] 韩伟,王乔林,宋云涛,等. 四川省沐川县北部土壤硒地球化学特征与成因探讨[J]. 物探与化探, 2021, 45(1): 215-222.  
Han W, Wang Q L, Song Y T, et al. Geochemical characteristics and genesis of selenium in soil in northern Muchuan County, Sichuan Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 215-222.
- [4] 陶春军,周天健,张笑春,等. 安徽岳西翠兰产地土壤环境质量及种植适宜性评价研究[J]. 西北地质, 2020, 53(1): 261-268.  
Tao C J, Zhou T J, Zhang X C, et al. Research on soil environment quality and planting suitability evaluation of Cuilan producing area in Yuexi, Anhui Province [J]. Northwestern Geology, 2020, 53(1): 261-268.
- [5] 陶春军,史春鸿,张笑蓉,等. 淮北平原覆盖区土壤采样密度及其环境质量研究——以1:5万高炉集幅为例[J]. 物探与化探, 2021, 45(1): 200-206.  
Tao C J, Shi C H, Zhang X R, et al. Research on soil sampling density and environmental quality of Huaibei Plain covered area; A case study of 1:50000 Gaoluji Sheet [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(1): 200-206.
- [6] 杨帆,张舜尧,宋云涛,等. 云南省盐津县1:5万土地质量地球化学评价方法研究[J]. 现代地质, 2020, 34(6): 1318-1332.  
Yang F, Zhang S Y, Song Y T, et al. Research of 1:50,000 Land Quality Geochemical Assessment at Yanjin County in Yunnan Province [J]. Geoscience, 2020, 34(6): 1318-1332.
- [7] 范薇,曾妍妍,周金龙,等. 新疆若羌县土壤质量地球化学评价[J]. 环境化学, 2019, 38(5): 1190-1196.  
Fan W, Zeng Y Y, Zhou J L, et al. Geochemical evaluation of soil quality in Ruoqiang County, Xinjiang [J]. Environmental Chemistry, 2019, 38(5): 1190-1196.
- [8] 周国华,孙彬彬,贺灵,等. 安溪土壤-茶叶铅含量关系与土壤铅临界值研究[J]. 物探与化探, 2016, 40(1): 148-153.  
Zhou G H, Sun B B, He L, et al. The relationship of lead concentration between soils and tea leaves and the critical value of lead for soil in Anxi, Fujian Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(1): 148-153.
- [9] 王立胜,汪媛媛,余涛,等. 土地质量地球化学评估与绿色产能评价研究:以吉林大安市为例[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 879-885.  
Wang L S, Wang Y Y, Yu T, et al. Study on geochemical assessment of land quality and green productivity evaluation in Da'an City, Jilin Province [J]. Geoscience, 2012, 26(5): 879-885.
- [10] 刘亮,张杰,张杰琼,等. 四川旺苍县华龙乡土地质量及生态农业建设[J]. 矿产勘查, 2020, 12(12): 2601-2609.  
Liu L, Zhang J, Zhang J Q, et al. Land quality and ecological agriculture construction in Hualong Township of Wangcang County, Sichuan Province [J]. Mineral Exploration, 2020, 12(12): 2601-2609.
- [11] 杨泽,刘国栋,戴慧敏,等. 黑龙江兴凯湖平原土壤硒地球化学特征及富硒土地开发潜力[J]. 地质通报, 2021, 40(10): 1773-1782.  
Yang Z, Liu G D, Dai H M, et al. Selenium geochemistry of soil and development potential of Se-rich soil in Xingkai Lake Plain, Heilongjiang Province [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(10): 1773-1782.
- [12] 黄园英,魏吉鑫,刘久臣,等. 江西赣州瑞金—石城地区土壤与白莲果实中Se及其他有益元素地球化学特征[J]. 地质通报, 2020, 39(12): 1944-1951.  
Huang Y Y, Wei J X, Liu J C, et al. The geochemical characteristics of selenium and other beneficial element in soil and white lotus in Ruijin—Shicheng, Ganzhou City, Jiangxi Province [J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(12): 1944-1951.
- [13] 刘久臣,魏吉鑫,张明,等. 江西赣州市石城县天然富锌土地资源特征与开发利用[J]. 地质通报, 2021, 40(2-3): 442-450.  
Liu J C, Wei J X, Zhang M, et al. Characteristics and effective utilization of natural zinc-enriched land

- resources in Shicheng County of Ganzhou City, Jiangxi Province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40 (2-3):442-450.
- [14] 王懿铮,杨忠芳,刘旭,等. 广西贵港市覃塘区土壤 Cu 地球化学特征与生态健康研究[J/OL]. *中国地质*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200529.1230.002.html>.
- Wang Y Z, Yang Z F, Liu X, et al. Geochemical characteristics of copper in soil and ecological health research in Qintang District of Guigang City in Guangxi [J/OL]. *Geology in China*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200529.1230.002.html>.
- [15] 成晓梦,孙彬彬,贺灵,等. 四川省沐川县西部地区土壤硒含量特征及影响因素[J]. *岩矿测试*, 2021, 40 (6):808-819.
- Cheng X M, Sun B B, He L, et al. Content characteristics and influencing factors of soil selenium in western Muchuan County, Sichuan Province [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2021, 40(6):808-819.
- [16] 蔡大为,李龙波,任明强,等. 贵州省土壤硒含量背景值研究[J]. *地球与环境*, 2021, 49(5):504-509.
- Cai D W, Li L B, Ren M Q, et al. Study on the background value of soil Se content in Guizhou Province [J]. *Earth and Environment*, 2021, 49(5):504-509.
- [17] 曹宁,孙彬彬,曾道明,等. 珠江三角洲西部典型乡镇稻米与根系土重金属元素含量关系研究[J]. *岩矿测试*, 2020, 39(5):739-752.
- Cao N, Sun B B, Zeng D M, et al. Study on the relationship between the contents of heavy metals in rice and root soils in typical townships in the western Pearl River Delta [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2020, 39 (5):739-752.
- [18] 刘冬,贺灵,文雪琴,等. 金衢盆地典型地区土壤-稻米重金属含量及土壤酸碱度的影响研究[J]. *岩矿测试*, 2021, 40(6):883-893.
- Liu D, He L, Wen X Q, et al. Concentration of heavy metals in soils and rice and its influence by soil pH in Jinqiu Basin [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2021, 40 (6):883-893.
- [19] 吴峰,王永,向武,等. 基于土壤地球化学特征的茶叶适生模式及种植区划研究——以浙江余杭为例[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(5):909-918.
- Wu F, Wang Y, Xiang W, et al. Establishment of a suitable model and planting division of tea: A case study based on soil geochemical characteristics in Yuhang, Zhejiang Province [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(5):909-918.
- [20] 成杭新,李括,李敏,等. 中国城市土壤化学元素的背景值与基准值[J]. *地学前缘*, 2014, 21(3):265-306.
- Cheng H X, Li K, Li M, et al. Geochemical background and baseline value of chemical in urban soil in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(3):265-306.
- [21] 成杭新,李括,李敏,等. 中国城市土壤微量金属元素的管理目标值和整治行动值[J]. *地学前缘*, 2015, 22(5):215-225.
- Cheng H X, Li K, Li M, et al. Management target value (MTV) and rectification action value (RAV) of trace metals in urban soil in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(5):215-225.
- [22] 刘应平,阚泽忠,张海. 成都经济区土地质量地球化学评估报告[R]. 成都:四川省地质调查院, 2008:1-36.
- Liu Y P, Kan Z Z, Zhang H. Geochemical assessment report of land quality in Chengdu Economic Zone [R]: Chengdu: Sichuan Geological Survey Institute, 2008:1-36.
- [23] 四川省成都市郫都区唐昌镇, 农业产业强镇建设实施方案[R]. 2021:1-40.
- Tangchang Town, Pidu District, Chengdu, Sichuan Province, Implementation Plan of Agricultural Industrial Town Construction [R]. 2021:1-40.
- [24] 迟清华,鄢明才. 应用地球化学元素丰度数据手册[M]. 北京:地质出版社, 2007:82-83.
- Chi Q H, Yan M C. Data manual of applied geochemical element abundance [M]: Beijing: Geological Publishing House, 2007:82-83.
- [25] 卢阳,宋科官,黄志鹏. 铜结合蛋白在癌症中作用的研究进展[J]. *肿瘤药学*, 2019, 3(9):358-364.
- Lu Y, Song K G, Huang Z P. Research progress on the roles of copper-binding proteins in cancer [J]. *Anti-Tumor Pharmacy*, 2019, 9(3):358-364.
- [26] Gall J E, Boyd R S, Rajakaruna N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs; A review [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(4):201-222.
- [27] 中国营养学会. 中国居民膳食指南[M]. 北京:人民卫生出版社, 2016:3-4.
- Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese people [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016:3-4.
- [28] Dalcorso G, Manara A, Furini A. An overview of heavy metal challenge in plants: From roots to shoots [J].

- Metallomics, 2013, 5(9): 11–17.
- [29] Silvia B, Federica P, Carla M C, et al. Effects of a copper-deficient diet on the biochemistry, neural morphology and behavior of aged mice [J]. PLOS ONE, 2012, 7(10): 1–9.
- [30] 肖飞, 王朝旭, 杨丽. 铜缺乏对大鼠铁代谢的影响 [J]. 卫生研究, 2013, 42(4): 652–655.  
Xiao F, Wang C X, Yang L. Effects of copper deficiency on iron metabolism in rats [J]. Journal of Hygiene Research, 2013, 42(4): 652–655.
- [31] 牛丽凤, 刘剑辉. 微量元素锌与儿童健康关系的研究现状 [J]. 中国中西医结合儿科学, 2011, 3(3): 235–236.
- [32] 宁运旺, 张永春, 汪吉东, 等. 土壤-植物-人类系统中锌与富锌农产品的开发 [J]. 江苏农业科学, 2009, 37(3): 1–4.  
Ning Y W, Zhang Y C, Wang J D, et al. Development of zinc and zinc-rich agricultural products in soil-plant-human system [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2009, 37(3): 1–4.

## Elemental Geochemical Characteristics of Topsoil in Tangchang Town, Chengdu, Sichuan Province and Quality Evaluation

WANG Liang<sup>1</sup>, WANG Dewei<sup>2</sup>, GONG Cang<sup>1</sup>, WANG Shunxiang<sup>1</sup>

- (1. Military-Civilian Integrated Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu 610036, China;  
2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610036, China)

### HIGHLIGHTS

- (1) Compared with the surface soil in China, the surface soil in the study area is rich in Cu, Zn, Pb, and Se, and strongly enriched with N, P, Cd, and Hg. The soil is generally weakly acidic.
- (2) The comprehensive quality of soil nutrients is mainly second grade, with a proportion of 88.0%. The comprehensive quality of soil environmental geochemistry is mainly first grade clean grade, with a proportion of 98.06%. The comprehensive quality of soil geochemistry is mainly high quality grade, accounting for 85.85%.
- (3) The area of selenium-rich soil is 2.49km<sup>2</sup>, the area of copper-rich soil is 63.13km<sup>2</sup>, and the area of zinc-rich soil is 63.31km<sup>2</sup>. Copper-rich and zinc-rich soil resources are abundant.

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** The quality of soil is directly related to human health and the safety of agricultural products, which has important references for agricultural planting and land planning. As an important vegetable basket base in Chengdu, Tangchang Town has developed agricultural planting, but the recent soil quality in the region is still unclear.

**OBJECTIVES:** In order to accurately understand the current content of nutrient and heavy metal elemental characteristics and soil quality grade of topsoil in the Tangchang agricultural planting area.

**METHODS:** According to 1 : 50000 soil quality geochemical survey, 810 topsoil samples were collected. The contents of N, P, K, As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Se and pH in these soil samples were determined by X-ray fluorescence spectrometry, inductively coupled plasma-mass spectrometry, atomic fluorescence spectrometry, element analyzer and ion selective electrode method. The element geochemical characteristics and soil nutrient grade, soil environmental quality grade and comprehensive soil geochemical grade were then evaluated.

**RESULTS:** (1) Compared with the general topsoil in China, Zn and Pb in the topsoil of the study area are slightly enriched, Se is relatively enriched, N, P, Cd and Hg are strongly enriched. The topsoil is generally weakly acidic. (2) The comprehensive grade of soil nutrients is rich in second grade, accounting for 88.0% of the area, and the soil fertility is rich. The proportion of the first grade soil area in the environmental quality grade of the eight heavy metal elements in the soil is more than 96.0%, and the comprehensive environmental quality grade is dominated by first grade clean type, accounting for 98.06%. The comprehensive quality of soil is mainly grade one, accounting for 85.85%. (3) The area of selenium-rich soil in the region is 2.49km<sup>2</sup>, accounting for 3.7%, sporadically distributed in the central study area. Copper-rich soil area is 63.13km<sup>2</sup>, accounting for 94.0%, and zinc-rich soil area is 63.31km<sup>2</sup>, accounting for 94.17%.

**CONCLUSIONS:** In summary, the nutrients of topsoil in Tangchang Town are rich, the soil environment is clean and the comprehensive quality of the soil is high.

**KEY WORDS:** soil quality; X-ray fluorescence spectrometry; inductively coupled plasma-mass spectrometry; atomic fluorescence spectrometry; selenium-enriched soil; copper-enriched soil; zinc-enriched soil; Tangchang Town