

# Geochemical Features of Germanium-Rich Soils and Its Causes of Taishun County, Zhejiang Province

Bingbing Zhao<sup>1</sup>, Lidong Fu<sup>1,2\*</sup>, Yebing Hu<sup>1</sup>, Changwei Mao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mineral Exploration Institute Co. Ltd. of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>The First Geological Unit of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang

Email: zhaobing0110@sina.com, \*fu-lidong@163.com

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 7<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 14<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Based on the geological survey project of land quality in Taishun Country, 1:50,000 soil geochemical sampling was carried out in the whole district of Taishun Country, and modern analysis and testing methods were used to study the enrichment and distribution of high-precision soil germanium, which is significant for the development and utilization of characteristic land resources. Taishun County covers an area of 1768.03 km<sup>2</sup>, and 3497 surface soil samples were collected in this survey. In the area of study, the content of germanium in the surface soil was 0.9~3.78 mg/kg, with an average of 1.50 mg/kg, higher than the world average and slightly lower than the Chinese average, which was basically consistent with the background value of germanium in the soil of Wenzhou. In the surface soil, the germanium shows an obvious spatial distribution pattern. On the horizontal level, germanium is mainly distributed in flakes in the northeast of the study area. The content of germanium is relatively low in the southwest of the study area, and scattered in other areas. Different parent materials, soil types, human activities, topography and geomorphology in the study area affect the content of germanium in soil to different degrees.

## Keywords

Germanium-Rich Soils, Soil Type, Distribution Characteristics, Influential Factors, Taishun

# 浙江省泰顺县富锗土壤地球化学特征及成因分析

赵冰冰<sup>1</sup>, 付立冬<sup>1,2\*</sup>, 胡晔炳<sup>1</sup>, 毛昌伟<sup>1</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>浙江省地矿勘察院有限公司, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江省第一地质大队, 浙江 杭州

Email: zhaobing0110@sina.com, \*fu-lidong@163.com

收稿日期: 2020年6月24日; 录用日期: 2020年7月7日; 发布日期: 2020年7月14日

## 摘要

基于泰顺县土地质量地质调查项目,对泰顺县全区进行1:5万土壤地球化学采样,并采用现代分析测试手段进行高精度土壤锗的富集、分布研究,对特色土地资源开发利用具有重要意义。泰顺全县面积1768.03 km<sup>2</sup>,此次调查采集表层土壤样品3497件,研究区表层土壤中锗元素含量为0.9~3.78 mg/kg,平均值为1.50 mg/kg,高于世界土壤锗的平均含量,略低于中国平均土壤锗的含量,与温州市的土壤锗的背景值基本一致。表层土壤中锗元素表现出明显的空间分布规律,在水平上主要以片状分布在研究区东北部,研究区西南部锗元素含量相对较低,其他区域零星分布。研究区不同的成土母质、土壤类型、人类活动、地形地貌对土壤锗含量均有着不同程度的影响。

## 关键词

富锗土壤, 土壤类型, 分布特征, 影响因素, 泰顺

Copyright © 2020 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

微量元素锗(Ge)是人类饮食中必要的营养元素和必需的人体结构元素[1] [2],也是生命的必需元素,能提高人体细胞的供养能力,并清除多种致命的病变,具有杀菌、消炎、抑制肿瘤恶化、治疗老年痴呆、延缓衰老等作用,被科学家称为“21世纪的救命锗”、生命的奇效元素[3] [4]。锗属于典型的稀散元素,易形成络合物在水中迁移,并易被植物吸收。地壳中的平均含量为1.5 mg/kg,不同岩石中的含锗量为0.31~2 mg/kg,土壤中的含量为0.1~34 mg/kg,世界土壤锗元素平均值为1.0 mg/kg,中国土壤锗元素平均值为1.7 mg/kg,在自然界,硫银矿锗、锗石、煤炭、铅锌矿等含锗量稍高[5] [6]。锗在各类岩浆岩石中含量甚微,很少呈独立矿物出现,多以类质同象产于造岩矿物或金属矿物中。

自上世纪70年代起,泰顺县先后完成了区域地质、矿产、水工环、物化探等基础地质调查工作,查明了该区及周边区域地层、岩性、构造、第四纪沉积物特征、工程地质水文地质特征、区域重力、磁场、水系沉积物地球化学等物化探特征。但泰顺县未系统开展土壤方面的研究工作。在国内外资料中关于土壤锗元素的研究成果相对较少,并且暂未见到关于浙江地区的土壤锗元素的相关研究。浙江省第一地质大队受泰顺县自然资源与规划局委托,在泰顺县全境开展1:5万土地质量地质调查工作,本次工作共采集了3497件土壤表层样品,检测的各项指标中包含了锗元素。本次文章以泰顺县表层土壤为研究对象,以了解土壤锗含量、空间分布特征及影响因素,科学指导当地富锗土壤资源,为合理地人工补锗、农田施锗肥以及农业种植结构调整、地方性疾病防治等提供地球化学依据;为土地开发利用、农业结构调整、开发特色优质的富锗农产品发展提供科学依据。

## 2. 研究区概况

泰顺县位于浙江省东南部，行政隶属温州市。东部与泰顺县、平阳县相邻，北部与文城县、景宁畲族自治县相依，西部及南部与福建省接壤。泰顺县地处洞宫山脉东南翼，山峦起伏，涧谷深切，素有“九山半水半分田”之称。境内最高峰为与景宁县交界处的白云尖，海拔高度 1611.1 m。地势总体北西部高，南东部低。山脉大体上呈北东-南西走向，组成中、低山及丘陵山地地貌，北西部以竹里畲族乡的来龙岗尖、司前畲族镇的峰门尖-罗阳镇的安基坑顶；中南部罗阳镇的响喊岩、三魁镇的白海顶；东部雅阳镇的狮子岩、笔架山等形成低山。近中部筱村镇的白云尖、东部的彭溪镇莲花尖等形成低山、丘陵地貌。而低丘、岗地及平原、谷地地貌零星分布于区内。

区内出露的前第四纪地层主要为上侏罗统西山头组的流纹质玻屑凝灰岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩夹凝灰质粉砂岩、凝灰质粉砂质泥岩，九里坪组的流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩；下白垩统馆头组的黄色、紫红色砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩夹砾岩等，朝川组的英安流纹质晶屑熔结凝灰岩、紫红色砾岩等(图 1)。第四纪地层主要为中更新统的洪冲积砂砾石、含砾粉土、碎砾石混粘土；上更新统的坡洪积、含碎石粉质粘土、粘土；全新统的洪冲积砂砾石、粉细砂土、含砾粉土，冲积砂、卵、碎石[7]。

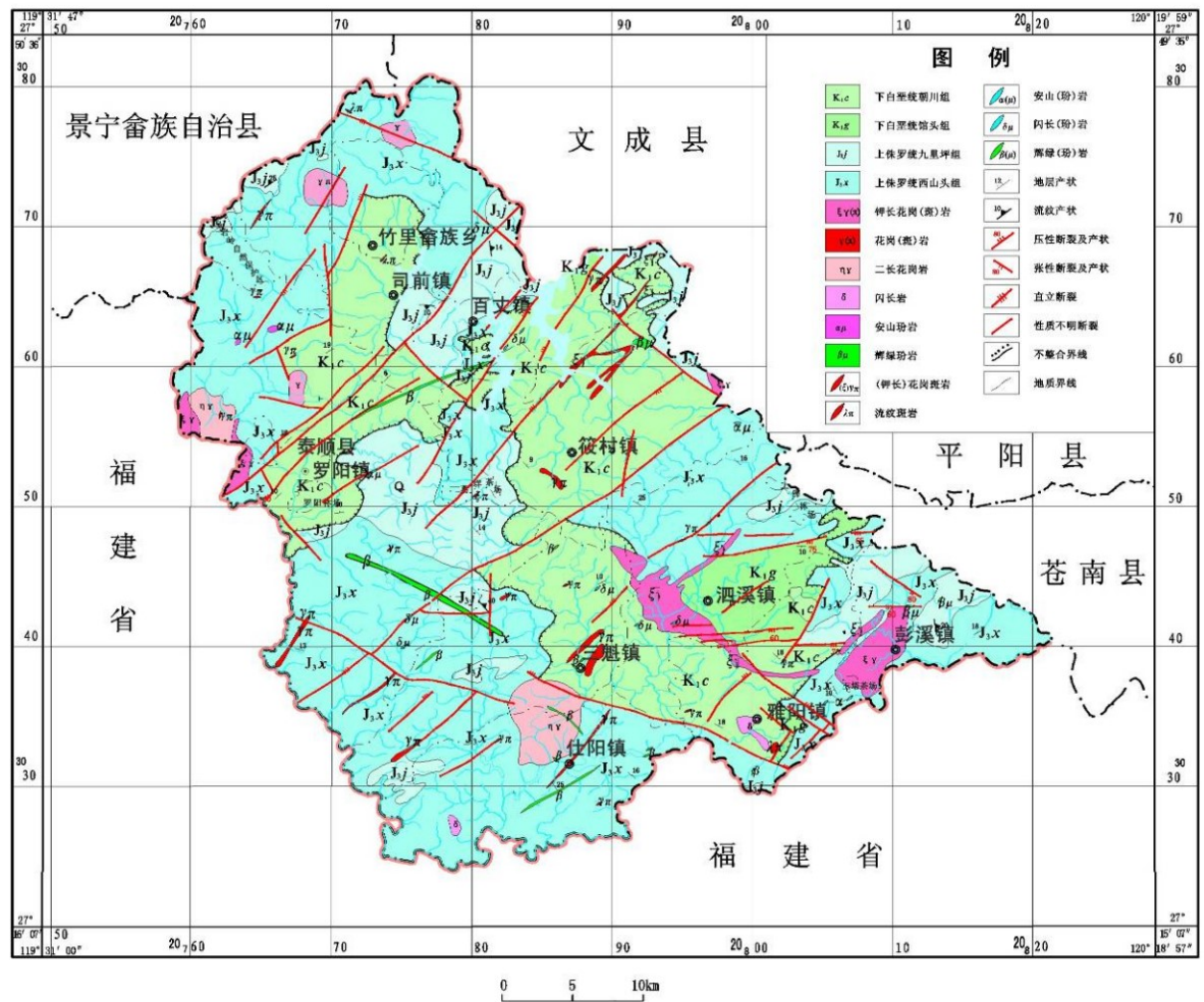


Figure 1. Geological background map of Taishun country (According to the geological record of Zhejiang Province)

图 1. 泰顺县地质背景图(据浙江省地质志修改)

### 3. 实验部分

#### 3.1. 样品采集

土壤样采样点大多位于水田、旱地,少量位于园地及林地中。采样时间为2018年1月~3月,水田和旱地表土样采样密度约10件/km<sup>2</sup>,由多坑点采集0~20 cm表层土壤组合而成。本次共采集表层土壤样3497件。采集的样品在单元内具有代表性,特别是土地利用情况;避开垃圾和可能存在污染的土壤,避开人为搬运的堆积土;采样时以GPS定位点为中心,向四周辐射20 m~50 m确定分样点,等量组合成一个混合样;采样时按实际情况采用“S”形、“X”形或棋盘形布设分样点。土壤样品晾干过筛后充分混匀、缩分、称重,分为正、副两个样品。正样外送分析,用袋盛装;副样(重量不低于500 g)装入干净塑料瓶,送入样品库,在密封干燥的条件下保存。

#### 3.2. 测定方法

表层土壤样品在国土资源部长沙矿产资源监督检测中心(湖南省地质测试研究院)分析测试。土壤中锆含量的测定采用氢化物发生-原子荧光法,试料经室温干燥后,装入磨口小玻璃瓶中备用。依照锆的含量,称取0.1~0.5 g试料,精确至0.0002 g。将试料置于聚四氟乙烯坩埚中,加入几滴水润湿后,依次加入5 ml硝酸、5 ml氢氟酸、2 ml高氯酸、2 ml磷酸,盖上坩埚盖,于150℃控温电热板上加热1 h后,揭去坩埚盖,升温至240℃,直至高氯酸白烟冒尽,取下,待坩埚冷却后加2 ml水于电热板上温热浸取,移入10 ml比色管中,用水稀释至刻度,摇匀,澄清。按仪器工作条件将原子荧光光谱仪开机调式好后,分别将试液和硼氢化钾(或硼氢化钠)溶液各1 ml混合泵入氢化物发生器管道中反应,测量试料溶液中锆的荧光强度,同时进行工作曲线的测量。从工作曲线上查得相应的锆量。

### 4. 结果与讨论

#### 4.1. 测定结果及分布特征

富锆土壤是一个相对性的概念,目前并无权威性的规范或者标准给出富锆土壤明确的定义。孔祥瑞(1994)曾指出地壳中锆的含量为1.2~1.5 mg/kg,一般土壤中锆的含量为0.6~1.3 mg/kg [8];肖广全(2009)曾指出世界土壤锆元素的平均值为1.0 mg/kg [9];《青海发现大面积富锆土壤资源区》(2015)将青海省锆含量>1.3 mg/kg的土壤划分为富锆资源区;曾妍妍等(2017)在《新疆若羌县绿洲区富锆土壤地球化学特征及成因分析》一文中也将>1.3 mg/kg的土壤作为新疆地区富锆土壤的标准[10]。

本次研究对泰顺县采集表层土壤样3497件,除Ge外,还分析测试了N、P、K、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Co、V、pH值、有机质等。对分析数据统计表明,土壤锆质量分数在0.31~2 mg/kg之间,平均值1.5 mg/kg,标准离差0.24,变异系数0.16(表1)。标准离差与变异系数均较大,说明在空间分布上,锆含量波动较大。富锆区土壤锆含量总体较高,远高于全国背景值1.0 mg/kg,比青海、新疆地区的富锆土壤(>1.3 mg/kg)锆含量要更高,与温州市Ge含量1.49 mg/kg相近。分析结果表显示,泰顺县总体Ge含量分布规律为北东高南西低(图2),锆含量≥1.3 mg/kg的样品有2880件,占总样品的82.36%;锆含量≥1.7 mg/kg的样品有562件,占总样品的16.07%。由图3土壤养分锆丰缺评价图中可知泰顺县锆元素主要为丰富和较丰富程度,面积为159.28 km<sup>2</sup>,占比达63.59%,缺乏区仅为19.11 km<sup>2</sup>,占7.39%(图3),因此泰顺地区土壤是普遍富锆的。

#### 4.2. 土壤锆的富集特征

泰顺县表层土壤中锆元素表现出明显的空间分布规律,在水平上主要以片状分布在研究区东北部,研究区西南部锆元素含量相对较低,其他区域零星分布(图2)。从泰顺县土壤类型分布图(图4)中显示,



土壤锗元素相对富集区的土地类型以黄红壤为主。从泰顺县地质背景图(图 1)中显示, 土壤锗元素富集区所在的地区, 一般发育上侏罗统九里坪组和下白垩统朝川组的地层。

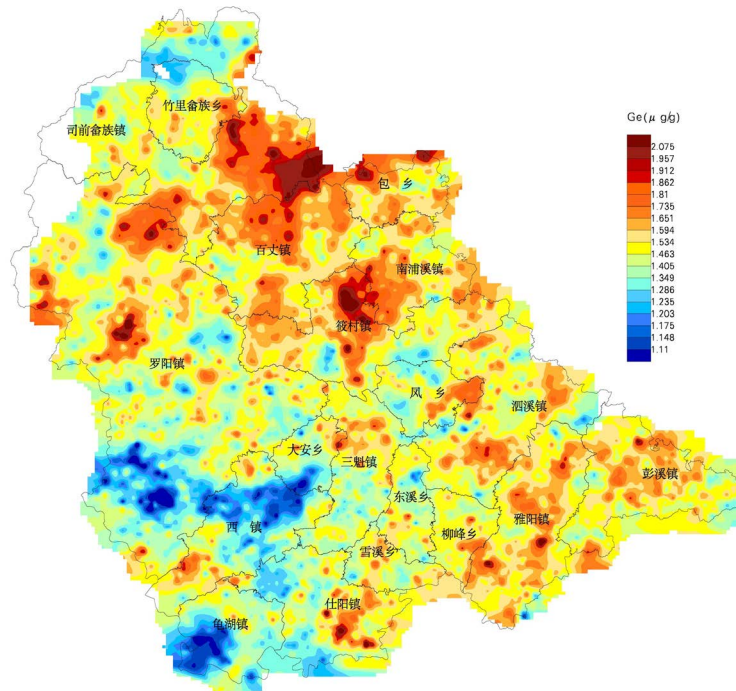


Figure 2. Ge geochemical map of Taishun topsoil  
图 2. 泰顺县表层土壤 Ge 元素地球化学图

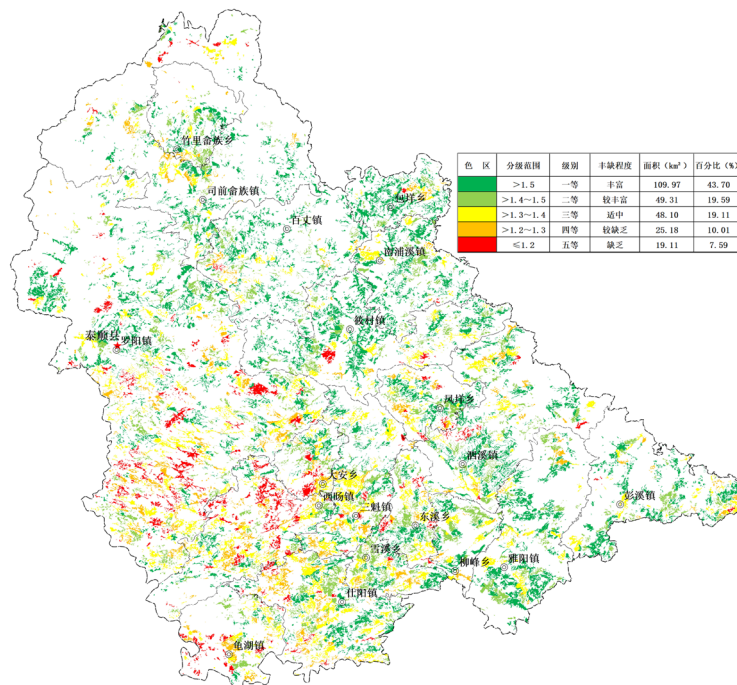
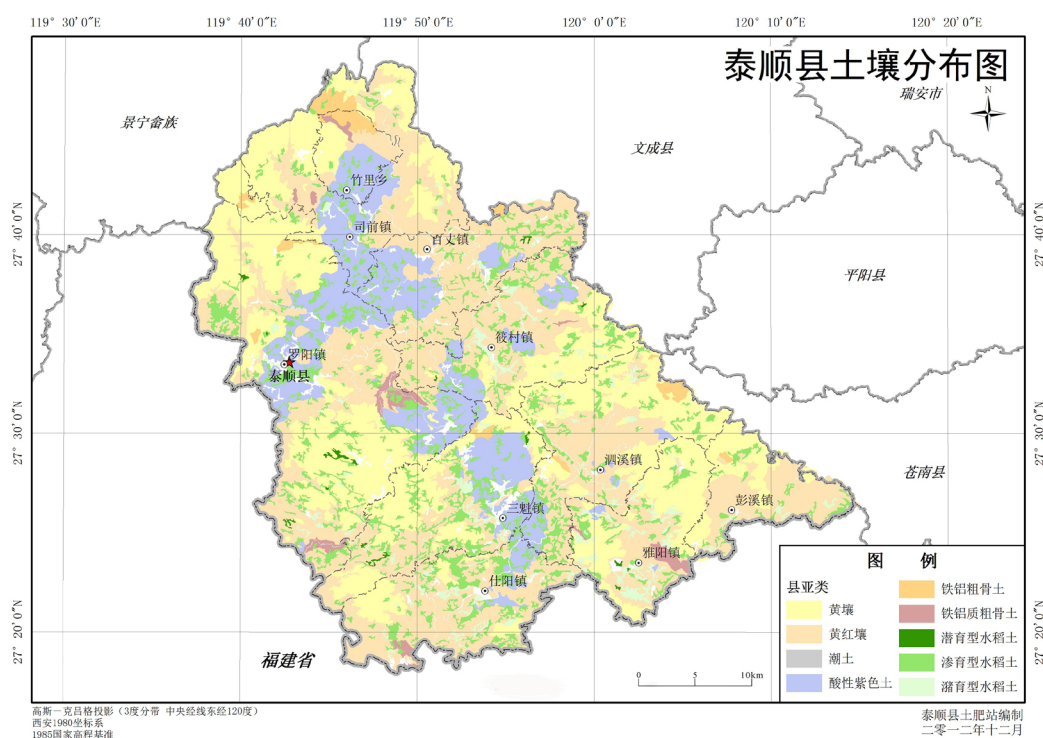


Figure 3. Evaluation map of Ge nutrient abundance and deficiency in Taishun topsoil  
图 3. 泰顺县表层土壤养分 Ge 元素丰缺评价图



**Figure 4.** Distribution of soil types in Taishun Country (Quoted in Taishun Country cultivated land quality and its management)

**图 4.** 泰顺县土壤类型分布图(引自泰顺县耕地质量及其管理)

**Table 1.** Table of contents of various elements in germanium rich area of Taishun County and background values of soil in Wenzhou and China (mg/kg)

**表 1.** 泰顺县富锗区内各元素含量与温州和中国土壤背景值对比表(mg/kg)

元素	最小值	最大值	平均值	标准离差	变异系数	温州市背景值	中国背景值
N	87	6021	<b>1293.52</b>	547.88	42%	1246	625.6
P	58.43	3147	470.25	315.47	67%	644	836.1
K	0.23	5.07	1.69	0.6	36%	2.9	1.54
B	2.12	238.95	24.75	16.33	66%	41.6	47.8
Mn	61.07	4311.78	388.47	280.17	72%	695	583
Zn	25.5	627.4	81.04	34.99	43%	104	74.2
Cu	1.93	233.09	10.9	7.61	70%	22.8	22.6
Se	0.07	2.15	0.31	0.17	55%	0.32	0.29
Mo	0.17	21.67	1.06	1.28	121%	0.91	2
<b>Ge</b>	<b>0.9</b>	<b>3.78</b>	<b>1.5</b>	<b>0.24</b>	<b>16%</b>	<b>1.49</b>	<b>1.7</b>
As	0.64	181.05	5.16	7.76	150%	5.86	11.2
Cd	0.01	1.66	0.13	0.075	58%	0.178	0.1
Cr	1.6	487.9	22.02	18.71	85%	56.1	61
Hg	0.05	3.94	0.54	0.42	78%	0.127	0.065
Pb	13.28	501.1	42.78	26.9	63%	41.6	26

Continued

Ni	1.11	291.1	9.39	8.59	91%	22.9	26.9
Co	0.43	65.93	5.71	5.14	90%	11.1	12.7
V	7.34	332.7	47.55	33.89	71%	81.5	82.4
pH	4.49	8.04					6.7
有机质	0.16	14.49			/		3.1

注: 1) 有机质及 K、Ca、Mg 氧化物单位为%, pH 为无量纲, 其余元素单位为 mg/kg。2) 温州市背景值引自《浙江省土壤地球化学背景值》, 中国背景值引自《新疆若羌县绿洲区富锆土壤地球化学特征及成因分析》。

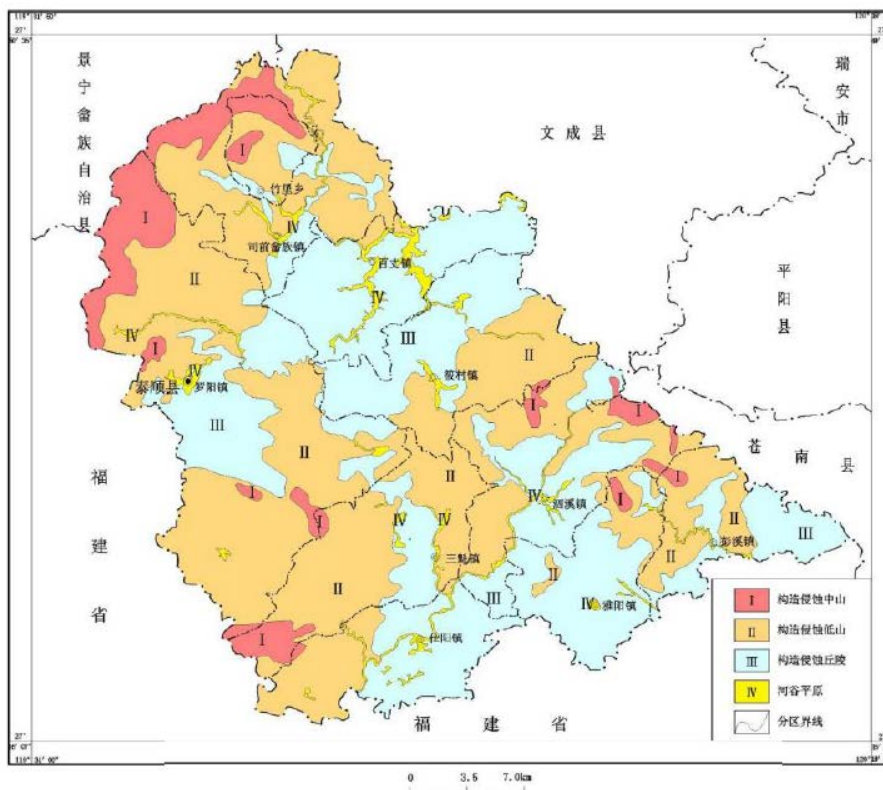


Figure 5. Distribution map of Taishun County topography (Quoted in Taishun Country land quality geological survey design)

图 5. 泰顺县地形地貌分布图(引自泰顺县土地质量地质调查设计书)

黄红壤及红壤成土母质一般为酸性火山岩类风化物, 岩性主要为晚侏罗世九里坪组( $J_{3j}$ )、西山头组( $J_{3x}$ )流纹岩、流纹质晶屑玻屑凝灰岩、流纹质含角砾熔结凝灰岩等。土壤呈酸性, 质地粘重[11]。而铁活化度、络合态铁占游离态铁的百分比及氧化铁的水合系数都是黄壤高于红壤[12], 活化后的氧化铁或氧化锰具有巨大的比表面积和很强的表面化学活性, 能吸附锆[13], 其成土母质中锆含量较高, 本地区的山区土壤, 尤其是黄壤相比其他类型土壤富集了更高的锆。因此土壤类型、成土母质及铁的氧化物与土壤锆的富集密切相关。

### 4.3. 土壤锆含量其他影响因素

#### 4.3.1. 人类活动的影响

泰顺县罗阳镇为县城所在, 大安乡、三魁镇等为人口密集大镇, 龟湖镇为矿业发达城镇, 这些区域

土壤耕作频繁，人类活动强烈，但锆元素含量相对较少，可能由人类建设、耕种等活动导致土壤锆淋溶作用增强，使土壤中的锆易于迁移贫化。因此人类活动可能对土壤锆的含量有一定的影响。

#### 4.3.2. 地形地貌的影响

从泰顺县表层土壤 Ge 元素地球化学图(图 2)和泰顺县地形地貌分布图(图 5)相互对比可知，富锆区主要集中在构造侵蚀丘陵、河谷平原区和部分构造侵蚀低山区，海拔越高土壤表层锆元素含量较低，推断由于高海拔处残积物在重力和片流的作用下经过搬运，在地势较缓和海拔较低处沉积，导致同一区域海拔高度的不同形成土壤的成土母质发生变化，低海拔处更易使锆元素富集。归根结底也是受到成土母质的影响。

#### 4.3.3. 土壤中含有的其他元素对 Ge 元素的影响

同一样品分析的元素还有 N、P、K、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Co、V、pH 值、有机质等，数据见表 2，通过对各元素分析结果与 Ge 元素分析结果的相关性分析，大部分元素与锆元素之间无明显的相关关系(图 6、图 7)，有机质随着锆元素的增加含量有增加的趋势，因此土壤中大部分元素不认为对土壤锆的富集有影响作用，有机质含量的大小对锆元素的富集可能有一定的影响。

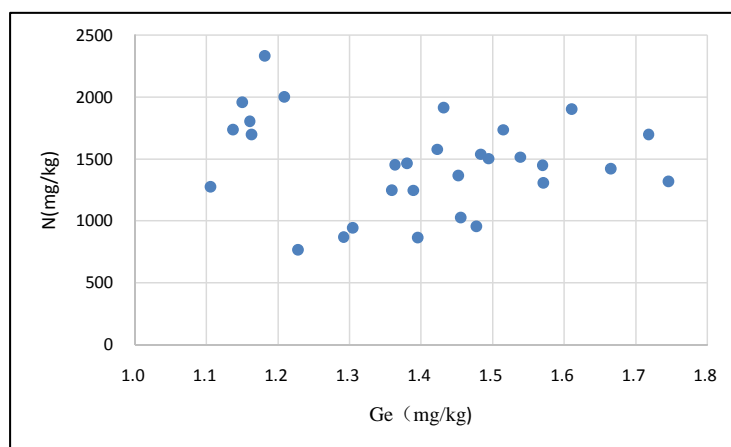


Figure 6. Correlation diagram between Ge and N  
图 6. Ge 与 N 元素相关性图解

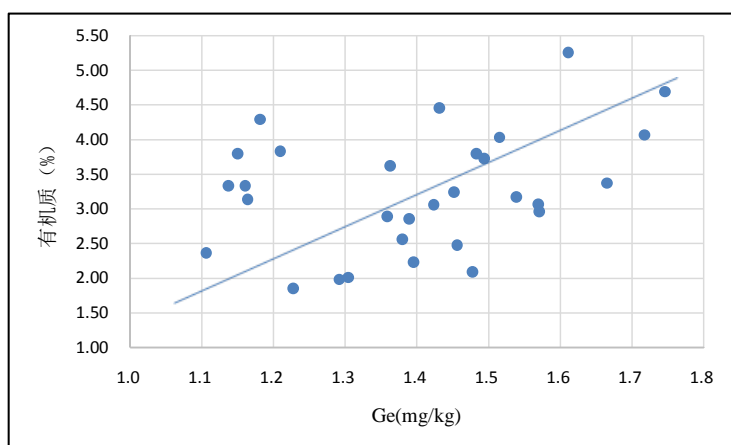


Figure 7. Correlation diagram between Ge and OrgC  
图 7. Ge 与有机质相关性图解



**Table 2.** Some topsoil test data in Taishun County  
**表 2.** 泰顺县部分表层土壤测试数据

序号	样品编号	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Ge	Hg	K	Mg	Mn
		mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	mg/kg
1	TS0001	2.70	17.8	0.247	0.121	6.58	19.77	7.84	<b>1.539</b>	0.072	1.97	0.338	298
2	TS0002	3.24	19.8	0.271	0.226	5.94	43.72	11.18	<b>1.611</b>	0.091	2.07	0.240	377
3	TS0003	1.76	24.4	0.431	0.189	6.98	18.36	5.72	<b>1.484</b>	0.059	2.07	0.394	399
4	TS0004	7.63	31.5	0.086	0.104	2.59	27.28	9.17	<b>1.359</b>	0.094	1.80	0.210	198
5	TS0005	4.72	15.8	0.346	0.200	15.18	25.85	10.30	<b>1.718</b>	0.122	0.94	0.318	298
6	TS0006	2.49	20.6	0.329	0.199	4.02	17.05	12.13	<b>1.456</b>	0.059	2.70	0.217	314
7	TS0007	3.80	12.4	0.437	0.214	13.79	22.00	11.74	<b>1.570</b>	0.121	1.69	0.470	708
8	TS0008	3.30	15.2	0.230	0.329	8.90	11.92	4.62	<b>1.666</b>	0.097	1.14	0.181	260
9	TS0009	4.31	18.2	0.072	0.120	3.71	16.67	7.79	<b>1.746</b>	0.082	1.65	0.146	402
10	TS0010	1.68	18.0	0.063	0.119	2.81	15.70	12.67	<b>1.432</b>	0.167	2.48	0.142	166
11	TS0011	2.74	18.7	0.103	0.123	3.71	14.90	7.58	<b>1.571</b>	0.080	2.39	0.213	272
12	TS0012	2.08	27.2	0.093	0.138	3.88	19.35	7.58	<b>1.495</b>	0.078	2.35	0.241	271
13	TS0013	3.52	13.7	0.169	0.185	4.49	14.09	6.35	<b>1.452</b>	0.069	3.36	0.282	432
14	TS0014	4.28	18.0	0.118	0.168	8.01	15.51	9.04	<b>1.478</b>	0.121	2.55	0.265	765
15	TS0015	3.43	19.3	0.154	0.165	4.68	20.23	10.41	<b>1.515</b>	0.098	3.17	0.283	319
16	TS0016	3.14	16.8	0.492	0.423	7.50	18.21	9.36	<b>1.423</b>	0.072	1.72	0.438	384
17	TS0017	2.48	15.8	0.520	0.364	7.11	18.23	8.60	<b>1.164</b>	0.076	1.67	0.435	287
18	TS0018	2.95	18.9	0.126	0.127	2.44	16.56	8.99	<b>1.160</b>	0.096	2.22	0.147	254
19	TS0019	0.90	8.1	0.083	0.049	1.61	6.81	4.41	<b>1.228</b>	0.073	5.07	0.152	214
20	TS0020	2.97	22.2	0.098	0.115	2.66	14.06	5.89	<b>1.106</b>	0.058	2.50	0.110	526
21	TS0021	1.69	12.6	0.084	0.065	2.47	10.14	4.63	<b>1.396</b>	0.056	3.97	0.238	209
22	TS0022	2.47	14.2	0.077	0.111	3.48	11.53	5.05	<b>1.390</b>	0.056	3.06	0.247	364
23	TS0023	2.90	17.5	0.152	0.150	4.27	20.03	8.66	<b>1.380</b>	0.080	2.76	0.236	319
24	TS0024	3.10	19.2	0.143	0.175	3.39	19.37	9.63	<b>1.138</b>	0.067	2.76	0.195	216
25	TS0025	5.26	28.2	0.129	0.148	3.20	32.74	12.28	<b>1.209</b>	0.132	1.70	0.270	345
26	TS0026	2.86	16.3	0.219	0.194	3.63	22.30	13.15	<b>1.182</b>	0.142	2.11	0.283	261
27	TS0027	4.59	15.2	0.264	0.184	5.16	17.83	9.19	<b>1.151</b>	0.093	2.17	0.336	258
28	TS0028	1.58	10.4	0.127	0.099	2.39	10.71	4.19	<b>1.363</b>	0.054	4.17	0.170	206
29	TS0029	2.11	12.8	0.074	0.079	3.34	11.29	6.11	<b>1.292</b>	0.047	4.30	0.182	196
30	TS0030	2.06	5.8	0.157	0.141	2.58	7.90	4.51	<b>1.305</b>	0.040	4.29	0.163	537

## Continued

序号	样品编号	Mo	N	Ni	P	Pb	Se	Sn	Tl	V	Zn	有机质	pH
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	
1	TS0001	1.02	1517	8.32	456	35.5	0.280	3.8	0.99	63.4	99.0	3.17	4.85
2	TS0002	2.48	1900	15.10	296	79.2	0.368	5.1	0.92	46.8	197.0	5.25	4.70
3	TS0003	0.69	1541	7.17	437	29.3	0.214	4.1	0.95	61.8	102.1	3.79	5.27
4	TS0004	3.90	1247	7.91	456	33.6	0.225	3.5	0.81	48.3	58.7	2.89	4.78
5	TS0005	1.87	1698	12.91	841	74.5	0.404	4.2	0.77	91.7	138.1	4.07	5.10
6	TS0006	1.22	1025	7.70	336	53.8	0.187	3.2	0.95	30.6	134.5	2.47	5.15
7	TS0007	1.04	1447	9.84	748	87.6	0.349	4.9	1.02	88.7	227.6	3.06	4.88
8	TS0008	1.92	1419	5.19	238	67.9	0.224	4.1	1.04	35.1	235.2	3.38	5.10
9	TS0009	2.46	1319	6.82	178	234.4	0.534	7.8	0.90	25.8	209.5	4.70	4.86
10	TS0010	1.08	1913	6.03	754	48.1	0.258	5.0	0.79	18.2	101.8	4.45	4.79
11	TS0011	1.10	1307	6.03	523	35.8	0.266	4.1	0.86	29.5	113.6	2.96	5.08
12	TS0012	0.87	1505	7.05	498	32.7	0.251	3.6	0.72	34.0	103.5	3.72	5.04
13	TS0013	1.23	1365	6.78	459	48.6	0.302	3.6	0.94	32.8	131.0	3.24	4.90
14	TS0014	1.25	956	10.44	503	30.4	0.331	3.7	0.83	46.7	121.9	2.09	5.07
15	TS0015	1.31	1738	8.31	547	54.6	0.341	3.3	0.97	38.1	129.3	4.04	5.02
16	TS0016	0.93	1580	9.38	481	80.3	0.262	3.0	0.97	66.0	169.3	3.06	4.96
17	TS0017	0.70	1697	8.07	527	86.7	0.313	2.4	1.02	65.0	271.6	3.13	4.68
18	TS0018	1.64	1803	6.74	624	41.5	0.289	3.8	0.81	25.2	89.4	3.33	4.37
19	TS0019	0.93	765	2.53	181	41.9	0.156	4.5	1.60	17.4	49.3	1.84	4.73
20	TS0020	1.19	1276	5.00	311	32.2	0.175	2.8	0.65	25.3	84.8	2.36	5.00
21	TS0021	1.92	863	3.73	257	40.2	0.205	5.5	1.37	30.2	50.9	2.23	5.01
22	TS0022	0.99	1249	4.74	458	29.7	0.203	3.5	0.83	25.4	104.2	2.85	5.28
23	TS0023	1.17	1464	7.69	616	36.3	0.257	2.9	0.90	36.2	104.5	2.55	5.27
24	TS0024	2.00	1736	8.76	426	46.0	0.218	3.3	1.03	28.0	98.0	3.33	4.71
25	TS0025	1.54	1999	13.27	489	38.6	0.432	4.4	0.87	46.1	76.1	3.83	4.99
26	TS0026	1.26	2330	10.32	813	74.0	0.322	3.6	0.91	39.0	126.7	4.30	4.91
27	TS0027	1.10	1956	7.85	435	51.0	0.263	3.0	0.96	53.6	101.2	3.79	4.99
28	TS0028	1.22	1452	4.37	228	35.2	0.165	3.5	1.46	25.6	50.8	3.62	5.19
29	TS0029	1.08	868	4.56	274	48.5	0.237	3.8	1.59	29.7	76.2	1.98	5.00
30	TS0030	1.37	942	3.81	261	33.3	0.182	3.8	1.34	24.1	64.3	2.01	5.60

## 5. 结论

综上所述,泰顺县表层土壤锆平均含量高于世界锆含量;16.07%的土壤样品锆含量高于中国锆含量的平均值。泰顺县表层土壤锆含量具有北东高南西低、丘陵平原高于山地的特点。并且不同土壤类型、成土母质、人类活动均对表层土壤锆的富集产生一定的影响,表层土壤中大部分元素与锆元素无明显相关性,有机质含量可能对锆元素的富集产生一定的影响。

高密度土壤锆的分布、富集特征及影响因素是泰顺县土地管理、基本农田保护的基础信息,综合植物种属本身与锆含量关系研究,可为因地制宜、合理调整农业种植结构提供依据。在富锆土壤开发利用及生态文明建设中起积极作用。

## 基金项目

泰顺县土地质量地质调查项目(TSCG-2017-02070207)。

## 参考文献

- [1] Milner, J.A. (2009) Diet and Cancer: Facts and Controversies. *Nutrition and Cancer*, **56**, 216-224. [https://doi.org/10.1207/s15327914nc5602\\_13](https://doi.org/10.1207/s15327914nc5602_13)
- [2] Daniel, L.M. (2008) Distribution, Mineralogy and Geochemistry of Selenium in Felsic Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits of the Finlayson Lake District, Yukon Territory, Canada. *Society of Economic Geologists*, **103**, 61-68. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.1.61>
- [3] 徐德海. 化学元素知识简明手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [4] 叶铁林, 徐宝财. 化学元素的奇妙世界[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [5] 木志坚. 重庆地区紫色土锆的背景含量及分布特征[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南农业大学, 2001.
- [6] 崔玉军, 刘国栋, 胡春建, 等. 利用松嫩平原黑土带富硒富锆区土地资源为当地经济服务[J]. 黑龙江国土资源, 2007(7): 71-71.
- [7] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [8] 孔祥瑞. 锆的医学地理分布一论“浅井数据”的不可靠性[J]. 国外医学: 医学地理分册, 1994(2): 49-52.
- [9] 肖广全, 木志坚, 魏世强, 等. 重庆地区紫色土锆的背景含量及分布特征[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 171-174.
- [10] 曾妍妍, 周金龙, 郑勇, 等. 新疆若羌县绿洲区富锆土壤地球化学特征及成因分析[J]. 土壤通报, 2017, 10(5): 1082-1086
- [11] 厉仁安, 曹秀芳, 俞震豫. 浙江红壤和黄壤分类研究初报[J]. 浙江农业大学学报, 1985, 11(2): 167-175.
- [12] 章明奎. 土壤氧化铁的形态在浙江红壤和黄壤分类中的意义[J]. 浙江大学学报, 1990, 16(1): 42-50.
- [13] 蔡妙珍, 邢承华. 土壤氧化铁的活化与环境意义[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(3): 279-282.