

# 温州市土壤化学元素含量特点

曾水泉

(中山大学环境科学系, 广州 510275)

**摘要** 温州市土壤中被测试的6个元素的含量都属地球化学正常含量范围. 山地黄壤的元素迁移比其它土类强烈, 这与山地的下渗水流和酸性环境有关. 水稻土中的 Hg, Cd有极强烈的累积作用, 它与强烈的人为活动引起土壤污染有关.

**关键词** 温州市, 元素迁移, 元素累积, 土壤污染

温州市位于浙江省东南部, 地貌类型多样, 山峦起伏, 丘陵广布, 还有岛屿, 平原和海滩. 境内有瓯江、飞云江和敖江三大水系, 各自流入东海, 它们的三角洲地区河网纵横. 地质属浙东南褶皱带构造, 主要成土母岩为中生代上侏罗纪的酸性或弱酸性熔岩和火山碎屑岩夹层(凝灰岩). 砂页岩出露面积不大, 第四纪松散堆积物分布面积最大. 主要成土母质为残积、坡积物、洪积物、河海相沉积物和浅海沉积物等.

温州市属中亚热带海洋性季风气候区, 年均气温  $17.9^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 276 d, 年均降水量 1611mm, 年均空气湿度 77%, 年均日照时数 1850h. 植被主要为亚热带常绿阔叶林, 还有阔叶落叶及针阔叶混交林, 毛竹林和灌丛, 杉木林和马尾松等也有一定的分布面积, 农作物以水稻为主. 在中亚热带生物气候条件下, 红壤为温州市典型的地带性土类, 黄壤分布在海拔 700m 以上的山地, 与红壤形成垂直分布的关系. 河流阶地及沿海平原主要为非地带性的水稻土, 潮土和滨海盐土.

## 1 温州市土壤的理化性态特点

温州市分布有5个土类, 各土类的成土条件和成土过程不同, 化学元素的迁移与累积及其强度也不同, 各土类的理化性态特点各异, 如山地黄壤和红壤主要分布在山地丘陵区, 容易产生水土流失和化学元素迁移, 呈酸性反应. 潮土和滨海盐土分布在沿海平原, 受潮水的影响使搬运物质产生沉积作用, 其质地粘重, 土体深厚并呈碱性反应. 水稻土除了自然因素外, 还受到人为活动的影响, 它的理化性态特点与上述土壤也不同, 各土类的性态特征见表1.

表 1 温州市土壤理化性态特点

Tab. 1 Physical and chemical properties of soils in Wenzhou City

土 类*	山地黄壤 (5)	红壤 (30)	潮土 (11)	滨海盐土 (5)	水稻土 (30)
pH值	4.5	4.6	8.1	8.6	5.6
有机质 (%)	9.64	2.10	1.53	1.24	4.06
粘粒 < 0.001mm (%)	7.3	19.7	20.3	26.7	14.5
A层厚度 (cm)	19.6	19.8	25.2	17.0	15.0
孔隙度 (%)	67.6	52.1	47.8	52.4	60.8
容重 (g/cm <sup>3</sup> )	0.86	1.27	1.40	1.26	1.20
A层土重 (t/hm <sup>2</sup> )	1575	2490	3495	2145	1468.5

\* 土类后 ( ) 内数字为测定的样品数

从表 看出, 各土类的各项理化性态都不相同, 其中 pH值的变化较显著, 从山地土壤到滨海盐土, pH值从酸性到碱性现出明显的变化规律. 土壤的理化性态是影响土壤化学元素含量及其变化的重要内因之一<sup>[2]</sup>. 表 1所列的理化性态测定值, 没有出现异常现象, 都在世界同类土壤理化性态特征的范围之内.

## 2 温州市土壤化学元素含量

对温州市进行野外调查定点采样时, 确定了不受污染的 81个样点, 按 A, B, C发生层共采集 243个土壤样品, 除了测定上述土壤理化性态项目外, 每个样品测定 8个常量元素和 16个微量元素, 此外, 还先择了有代表性的 20个 A层样品加测了稀有、稀土和放射性等 38个元素. 由于有个别土类测试的样点只有一个, 因此, 加测的 38个元素文中没有按土类列出, 只列出全市土壤的统计值, 现将 24个元素测定统计的 A层中位值, 分别土类和温州市土壤列于表 2<sup>[1]</sup>. 分析测试的样品总量为 81个, 各土类的样品数与表 1相同.

表 2 温州市土壤化学元素含量 (mg/kg)

Tab. 2 The contents of elements of soil in Wenzhou City

元 素	全市土壤	山地黄壤	红壤	潮土	滨海盐土	水稻土	元 素	全市土壤	山地黄壤	红壤	潮土	滨海盐土	水稻土
Cu	21	8	8	30	37	24	F	538	398	363	634	782	631
Pb	35.4	33.6	31.1	35.5	30.6	39.9	Be	2.8	1.3	1.6	3.0	3.2	3.0
Zn	102	62	105	98	105	102	Sr	70	27	28	80	69	81
Cd	0.116	0.088	0.042	0.169	0.162	0.147	Ba	471	236	296	465	439	500
Ni	21.0	11.0	9.0	36.0	45	29	Si <sup>*</sup>	28.31	27.9	29.34	29.93	24.92	28.07
Cr	50	43	30	61	84	69	K <sup>*</sup>	2.68	1.38	1.66	2.33	2.49	2.12
Hg <sup>*</sup>	75.2	88.7	64.8	65.5	61.6	163.6	Na <sup>*</sup>	0.74	0.082	0.163	0.815	1.333	0.825
As	6.4	6.9	5.9	9.9	12.9	5.5	Ca <sup>*</sup>	0.42	0.057	0.071	0.923	1.846	0.444
Se	0.328	1.201	0.759	0.201	0.216	0.268	Mg <sup>**</sup>	0.60	0.30	0.24	1.14	1.56	0.84
Co	9.4	3.4	5.8	12.8	14.3	11.4	Fe <sup>*</sup>	3.32	2.38	2.76	4.06	4.90	3.4
V	86	42	46	92	102	92	Al <sup>*</sup>	8.49	7.90	9.25	8.11	8.91	8.41
Mn	491	241	376	1203	1246	473	Ti <sup>*</sup>	0.406	0.292	0.323	0.432	0.481	0.438

\* 单位为  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , \*\* 单位为%

选测 38种元素及其在全市土壤的中位值 (mg/kg) 如下: Li34, Ga27, Y23.4, Lu0.37, Tm0.41, Yb2.55, Er2.56, Ho0.84, Dy4.30, Gd4.74, Eu1.05, Sm5.64, Nd29.2, Pr7.41, Ce77.5, La41.7, Zr294, U3.12, Th17.3, Ta1.56, Sc9.16, Sb0.747, Rb136, Hf6.37,

Cs7.25, Br6.54, Tl0.83, In0.085, Te0.032, Bi0.42, I9.46, B34.2, Ge1.8, Ag0.086, Sn2.9, W3.2, Mo1.3.

温州市及各土类的土壤化学元素含量高于世界土壤值的有 F, Zn, Pb, Co, As, Hg, Al, K, Mg, Ba, Be, Ce, La, B, Li, U, Th, I, Sc, Pr, Cs, Hf, Sm, Er, W, Ge, Mo, Eu, Ho, Bi, Ag, Ti 等 32 个元素, 其余 30 个元素含量低于世界土壤值<sup>[2,4]</sup>.

上述 62 个元素测定统计值虽然有一半以上元素的含量出现高于世界土壤值, 但 62 个元素的含量水平都在元素地球化学正常含量水平的范围内, 没有元素含量异常现象. 温州市土壤中 Hg 元素的含量虽属正常, 但是它在水稻土中的含量, 接近于异常的水平, 必须引起重视.

### 3 温州市成土母质的化学元素含量

土壤中的化学元素主要来自成土的母岩母质, 在同一生物气候带内, 土壤中化学元素含量的高低及其差异, 主要是取决于成土母质 (C层). 为了便于了解温州市土壤中化学元素含量的成因, 我们将表 2 土壤的母质同样进行 24 个元素含量的测定, 各土类母质测定的样品数与表 2 相同. 测定统计结果的中位值列于表 3<sup>[1]</sup>.

表 3 温州市土壤成土母质的化学元素含量 (mg/kg)

Tab. 3 The element contents of parent rocks in Wenzhou City

元 素	温州市 土壤	山地 黄壤	红壤	潮土	滨海 盐土	水稻 土	元 素	温州市 土壤	山地 黄壤	红壤	潮土	滨海 盐土	水稻 土
Cu	20	12	9	28	34	22	F	634	464	376	663	766	742
Pb	33.4	40.1	35.2	34.5	33.6	33.4	Be	3.1	0.8	2.1	3.3	3.1	3.4
Zn	99	72	96	93	104	99	Sr	76	30	28	83	68	85
Cd	76.0	38.0	28.0	156	151	78.0	Ba	476	289	334	448	437	504
Ni	30	19	12	35	44	38	Si <sup>*</sup>	27.7	28.7	28.9	28.5	25.3	26.9
Cr	58	52	30	59	85	68	K <sup>*</sup>	2.33	1.42	1.70	2.33	2.41	2.49
Hg <sup>*</sup>	55.4	132.0	65.1	57.7	57.1	38.9	Na <sup>*</sup>	0.74	0.082	0.163	0.816	1.406	0.852
As	6.6	10.9	7.0	9.3	13.5	5.0	Ca <sup>*</sup>	0.57	0.064	0.071	1.42	1.92	0.451
Se	0.236	1.495	0.691	0.162	0.209	0.156	Mg <sup>**</sup>	0.84	0.42	0.25	1.32	1.50	1.17
Co	10.6	6.6	6.2	11.3	13.6	15.2	Al <sup>*</sup>	9.33	9.86	10.6	8.22	8.75	9.02
V	98	60	51	93	109	112	Fe <sup>**</sup>	4.0	3.15	3.0	4.13	4.48	4.52
Mn	709	312	436	1076	1159	958	Ti <sup>*</sup>	0.451	0.364	0.317	0.429	0.49	0.481

\* 单位为  $\mu\text{g}/\text{mg}$ , \*\* 单位为%

从表 3 与表 2 的对比看出, 大部分元素含量高低不一, 只有少数元素含量相同. 其原因主要是在成土过程中, 元素的表生地球化作用的方向及其强度不同, 不同土类所处的环境条件不同的影响所致; 另一方面, 不同的成土母质中元素含量也有很大的差异, 对土壤的元素含量水平也有很大的影响.

### 4 温州市土壤元素表生地球化学作用

为了了解土壤中各元素, 在不同土壤中具体的含量变化特点, 将土壤及其成土母质的元素含量进行比较; 用元素的标定值表示其迁移或累积的强度<sup>[6]</sup>, 即用母质中  $x$  元素含量去标定其土壤中该元素的含量即土壤  $x$  元素含量. 得到的标定值大于 1 时, 表示该元素

在成土过程中产生累积,若标定值小于1时,表示该元素产生迁移,标定值离1越远,表示该元素的迁移或累积作用就越强烈,等于1时,表示该元素在成土过程中保持稳定状态,其含量处在相对平衡状态.

利用表3与表2的数据进行标定.各元素在不同土类中的标定值见表4.

表4 温州市土壤化学元素迁移特点

Tab. 4 The characteristics of element moving in Wenzhou city

元 素	全市 土壤	山地 黄壤	红壤	潮土	滨海 盐土	水稻 土	元 素	全市 土壤	山地 黄壤	红壤	潮土	滨海 盐土	水稻 土
Cu	1.05	0.67	0.89	1.07	1.09	1.09	F	0.85	0.86	0.97	0.96	1.02	0.85
Pb	1.06	0.84	0.88	1.03	1.10	1.19	Be	0.90	1.63	0.76	0.91	1.03	0.88
Zn	1.03	0.86	1.09	0.95	1.01	1.03	Sr	0.92	0.90	1.00	0.72	1.01	0.95
Cd	1.53	2.32	1.50	1.08	1.07	1.88	Ba	0.99	0.82	0.89	1.04	0.98	0.99
Ni	0.70	0.58	0.75	1.03	1.02	0.76	S	1.02	0.97	1.02	1.05	0.98	0.99
Cr	0.96	0.93	1.00	1.03	0.99	1.01	K	1.15	0.97	1.02	1.05	0.98	1.04
Hg	1.36	0.67	0.99	1.14	1.08	4.21	Na	0.99	1.00	1.00	0.99	0.95	0.97
As	1.36	0.67	0.99	1.14	1.08	4.21	Ca	0.75	0.89	1.00	0.65	0.96	0.98
Se	0.97	0.63	0.84	1.06	0.96	1.10	Mg	0.71	0.71	0.96	0.86	1.04	0.72
Co	0.89	0.52	0.94	1.13	1.05	0.75	Al	0.90	0.80	0.87	0.98	1.02	0.93
V	0.88	0.70	0.90	0.99	0.94	0.82	Fe	0.83	0.75	0.92	0.98	1.09	0.75
Mn	0.69	0.77	0.86	1.12	1.07	0.50	Ti	0.90	0.80	1.02	1.01	0.98	0.91

从表4看出,温州市土壤以及各土类中,在成土过程时元素的表生地球化学的主要特点如下:

(1) 成土母质中的24个元素含量在成土过程中,有的含量降低,有的含量升高,可归纳为前者属迁移元素组,后者属累积元素组.在全市土壤中16个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: Mn > Ni > Mg > Ca > Fe > F > Cr > V > Co > Be > Al, Ti > Sr > As > Na, Ba; 而8个元素属累积元素组,按累积强度的序列为: Cd > Se > Hg > K > Pb > Cu > Zn > Si<sup>[5]</sup>.

(2) 在不同的土类中,元素的表生地球化学行为方向及其强度也不同.①山地黄壤中2个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: Co > Ni > As > Cu, Hg > V > Mg > Fe > Mn > Al, Ti, Se > Ba > Cr > Pb > Zn, F > Ca > Sr > K, Si; 而有2个元素属累积元素组,累积强度的序列为 Cd > Be, Na的含量不变.②红壤中15个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: Ni > Be > As > Mn > Al > Pb > Cu, Ba > V > Fe > Co > Mg > F > Hg; 5个元素属累积元素组,按累积强度的序列为: Cd > Se > Zn > Si, Ti; 还有 Cr, Sr, Na, Ca 4个元素的含量不变.③潮土中有10个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: Ca > Sr > Mg > Be > Zn > F > Al, Fe > Na, V; 14个元素属累积元素组; 按累积强度的序列为: Se > Hg > Co > Mn > Cd > Cu > As > Si > Ba > Pb, Ni, Cr > K, Ti.④滨海盐土中8个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: V > Na > Ca, As > Ba, Si, Ti > Cr; 16个元素属累积元素组,按累积强度的序列为: Pb > Fe, Cu > Hg > Cd, Mn > Co > Mg > K, Be, Se > Al, Fe, Ni > Sr, Zn.⑤水稻土中15个元素属迁移元素组,按迁移强度的序列为: Mn

> Mg> Co, Fe> Ni> V> K, F> Be> Ti> Al> Sr> Na> Ca> Ba; 9个元素属累积元素组, 按累积强度的序列为: Hg> Cd> Se> Pb> As> Cu> Si> Zn> Cr.

(3) 按元素迁移与累积强度进行分级. 为了便于掌握各元素在不同土类中的迁移或累积强度, 防止元素对环境的污染或污染环境的治理, 将表的 24个元素的标定值进行分级, 共分 6级, 各元素迁移与累积强度的级别见表 5.

表 5 温州市土壤中 24 个元素标定值分级表

Tab. 5 The grading table of intensity level os element moving in soil of Wenzhou City

级别	极强迁移 标定值 < 0. 6	强烈迁移 标定值 0. 6~ 0. 85	弱迁移 标定值 0. 86~ 0. 99	弱累积 标定值 1. 0~ 1. 15	强烈累积 标定值 1. 16~ 1. 4	极强累积 标定值 > 1. 4	合 计
山地 黄壤	Ni, Co	Cu, Pb, Cr, V, Hg, As, Se, Ba, Mn, Mg, Al, Fe, Ti	Zn, Sr, Si, K, Ca	Na		Cd, Be	24
占百分 比 (%)	8. 3	54. 3	25	4. 1		8. 3	100
红 壤		Ni, As, Be	Cu, Pb, Hg, Co, V, Mn, Ba, F, K,	Zn, Sr, Se, Cr, Si, Na, Ca, Ti		Cd	24
占百分 比 (%)		12. 5	Mg, Al, Fe 50	23. 4		4. 1	100
潮 土		Sr, Ca	V, F, Be, Na, Mg, Al, Zn, Fe	Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, Hg, As, Co, Mn, Ba, Si, K,	Se		24
占百分 比 (%)		8. 3	33. 4	Ti 54. 2	4. 1		100
滨 海 盐 土			Cr, As, Ba, Si, V, Na, Ca, Ti	Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Hg, Se, So, Mn, F, Be, Sr, K, Mg, Al, Fe			24
占百分 比 (%)			33. 4	66. 6			100
水稻土	Mn	K, Mg, F, Fe, Ni, Co, V	Be, Sr, Ba, Na, Ca, Al, Ti	Cu, Zn, Cr, As, Si	Pb	Cd, Hg, Se	24
占百分 比 (%)	4. 1	29. 2	29. 2	20. 9	4. 1	12. 5	100
温州市 土壤		Ni, Mn, F, Ca, Mg, Fe	Cr, As, Co, V, Be, Sr, Ba, Na, Al, Ti	Cu, Pb, Zn, Si, K	Hg, Se	Cd	24
占百分 比 (%)		29. 2	41. 6	20. 8	8. 3	4. 1	100

极强烈迁移的元素只有山地黄壤 Ni, Co和 水稻土的 Mn 3个元素, 占 24个元素的 12. 5%; 极强烈累积的元素有山地黄壤的 Cd, Be, 水稻土的 Cd, Hg, Se, 红壤和温州市土壤的 Cd, 从元素看只有 4个元素, 占 24个元素的 16. 3%, 从出现的元素次数来看达 7次; 占 29. 2%, 对 Cd和 Hg元素, 尤其在水稻土极强烈累积必须引起重视. 各土类的元素的迁移与累积都各有特点, 详见迁移分级特点, 在此不作详述.

总之,温州市土壤中有许多元素含量水平较高,仍属地球化学正常含量范围内.在其山地丘陵区的土壤中多数化学元素含量低于平原沿海地区的土壤,同时,山地丘陵区土壤元素的迁移也强烈得多.水稻土中 Hg, Cd 元素较高的含量水平和极强烈的累积特点,必须引起注意.

参加本项工作主要人员还有:陈庚棠、董孔标、钱瑞甫、季文锦、楼曼青等,以及温州市环境监测站,在此一并致谢.

### 参 考 文 献

- 1 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- 2 曾水泉, 易绍桢. 化学地理学. 北京: 中国环境科学出版社, 1994
- 3 曾水泉. 海南岛土壤植被系统的地球化学. 广州: 广东科技出版社, 1990
- 4 H J M 鲍恩. 元素的环境化学. 北京: 科学出版社, 1986
- 5 曾水泉. 华南地区自然土壤中若干重金属元素的化学地理特征. 环境中重金属研究文集. 北京: 科学出版社, 1988
- 6 董汉飞, 曾水根. 海南岛生态环境质量分析与综合评价. 广州: 中山大学出版社, 1985

## The Characteristics of Element Contents of Soils in Wenzhou City

Zeng Shuiquan\*

**Abstract** The contents of 62 elements of soils in Wenzhou city which are to be tested are in normal geochemical ranges. Because of the acid environment and the mountain oozing water, the elements moving in Mountain Yellow Soil is stronger than other soil types. The stronger accumulation of Hg, Cd in Rice Soil is related to the soil pollution caused by the activities of human being.

**Keywords** Wenzhou City, element moving, accumulation of elements, soil pollution

\* Department of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275