

doi: 10.11720/wtyht.2018.1570  
刘才泽,王永华,曾琴琴,等.成渝典型地区土壤硒地球化学特征及其成因分析[J].物探与化探,2018,42(6):1289–1295.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1570  
Liu C Z, Wang Y H, Zeng Q Q, et al. The distribution and source of soil selenium in typical areas of Chengdu-Chongqing region[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1289–1295. http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1570

# 成渝典型地区土壤硒地球化学特征及其成因分析

刘才泽,王永华,曾琴琴,雷风华  
(中国地质调查局 成都地质调查中心,四川 成都 610081)

**摘 要:** 成渝地区位于我国西南部,地处我国东北至西南缺硒区带与东南侧高硒区之间的过渡带上。土壤地球化学调查显示,区内重庆秀山工作区表层土壤 Se 含量为  $(0.158\sim3.14)\times10^{-6}$ ,平均为  $0.457\times10^{-6}$ 。富硒土壤分布与下覆黑色岩系——下寒武统牛蹄塘组炭质页岩和中二叠统植物碎屑灰岩、有机质灰岩密切相关,也反映出与古生代不同时期的海侵事件有关。而川东北“红层”地区土壤相对缺硒,巴中和南充工作区表层土壤 Se 含量分别为  $(0.084\sim0.510)\times10^{-6}$  和  $(0.033\sim0.349)\times10^{-6}$ ,平均值为  $0.154\times10^{-6}$  和  $0.140\times10^{-6}$ ,反映了晚三叠世海退,沉积环境由前期的海相转为侏罗纪—白垩纪的陆相,湖泊相砂岩—粉砂岩中硒总体低贫。  
**关键词:** 土壤硒;黑色岩系;西南红层;成渝地区  
**中图分类号:** P632      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2018)06-1289-07

## 0 引言

硒是人体必需的重要微量生命元素<sup>[1-2]</sup>。大量研究表明,人体健康、长寿与富硒环境有关,比如广西巴马、江苏如皋、河南夏邑等长寿之乡<sup>[3-5]</sup>。硒缺乏不仅会引发克山病、大骨节病等,还会增加患癌的风险,比如江苏扬中、四川盐亭等癌症高发区<sup>[6-10]</sup>。而硒过高也会导致硒中毒<sup>[1-2]</sup>。

土壤硒通过“土壤—植物”系统进入食物链,从而影响人体健康<sup>[1, 11-12]</sup>。研究者对土壤高硒与低硒的原因有着浓厚的兴趣<sup>[1, 13-18]</sup>,一些研究发现土壤硒含量主要与成土母岩有关<sup>[1, 14, 19-20]</sup>,我国高硒土壤分布往往与不同地质时期的黑色岩系分布相吻合,比如湖北恩施、陕西紫阳等地<sup>[2, 19-20]</sup>。夏卫平等、李忠惠等研究表明,西南“红层”地区紫色土缺硒主要是成土母岩硒含量低所致<sup>[1, 9, 14]</sup>。针对我国东北到西南缺硒带开展的研究中,朴河春等认为该带与我国半干旱半湿润气候分带相一致,是干湿交替、冻融作用的结果<sup>[15]</sup>;Wang 等认为与成土母质、淋(流)失作用等诸多因素有关<sup>[16]</sup>;最新研究则把西

北和东南两侧土壤高硒归因于冬夏季风带来的充足硒补给,而中部季风带来的补给较少导致土壤普遍缺硒<sup>[17-18]</sup>。

成(都)渝(重庆)地区位于我国西南部,地处所谓的东北至西南低硒区带与东南侧高硒区之间的过渡带上,东部毗邻“世界硒都”湖北恩施地区。前人调查结果显示,区域内土壤硒分布很不均匀,四川成都、万源、重庆南川、江津等地总体以硒适量为主<sup>[21-25]</sup>,但四川盐亭等地土壤硒含量普遍偏低,区域性食管癌高发可能与之有关<sup>[8-9]</sup>。笔者以四川巴中、南充和重庆秀山为研究区,对比了各研究区土壤硒分布特征及其地质背景,探讨了影响区域内土壤硒分布的主要因素。

## 1 研究区概述

本文以中国地质调查局“成渝地区 1:25 万土地质量地球化学调查”项目 2016 年下达的调查范围为研究区域,面积达 9 100 km<sup>2</sup>,包括 2 个片区 3 个工作区。3 个工作区分别是巴中工作区(四川省巴中市巴州区和平昌县)、南充工作区(四川省南充市蓬

安县和营山县)和秀山工作区(重庆市秀山土家族苗族自治县),其中前2个工作区合称川东北片区,渝东南片区仅有秀山一个工作区(图1)。两个片区

相距约400 km,同属于亚热带湿润季风气候,年平均气温16~17℃,降水量1100~1300 mm,日照时长1200~1500 h。

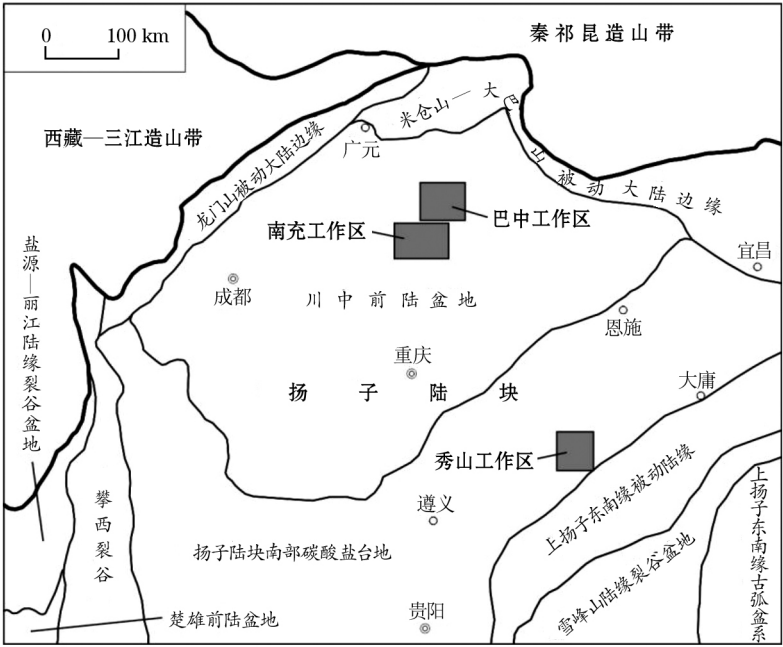


图1 成渝地区构造位置(底图来源于文献[26])

川东北的巴中和南充工作区位于四川“红层区”东北角,属扬子陆块川中前陆盆地之巴中—南充—内江侏罗纪—白垩纪压陷盆地<sup>[26]</sup>,整体反映为压陷盆地沉积环境,为一套湖泊砂岩、粉砂岩组合。沙溪庙组( $J_2s$ )为紫红、紫灰色长石石英砂岩与粉砂岩、泥岩不等厚互层;遂宁组( $J_3sn$ )以砖红色泥(页)岩为主,夹粉砂岩、岩屑长石砂岩;蓬莱镇组( $J_3p$ )为灰紫色长石石英砂岩、粉砂岩、泥岩不等厚互层;白龙组( $K_1b$ )为灰紫、黄灰色细粒长石石英砂岩夹黏土岩、粉砂岩;苍溪组( $K_1c$ )为砖红、灰紫色长石岩屑砂岩与黏土、粉砂岩不等厚互层。

秀山工作区则位于重庆市东南隅,属扬子陆块南部碳酸盐台地<sup>[26]</sup>,总体反映为由新元古代至中三叠世演化的碳酸盐台地。清白口系(Qb)为变质砂岩、板岩夹凝灰岩建造;南华系(Nh)为一套冰碛岩、含砾砂岩、细砂岩及泥岩建造;震旦—奥陶系(Z-O)为灰岩、白云岩夹粉砂岩、泥岩建造组合;下寒武统牛蹄塘组( $\epsilon_1n$ )以炭质页岩、粉砂岩、硅质岩为主;志留系(S)为粉砂岩、细砂岩、泥岩组合;泥盆系(D)为石英砂岩、粉砂岩夹灰岩建造;石炭系(C)缺失;二叠系(P)—中三叠统( $T_2$ )总体反映为陆表海浅海碳酸盐岩组合特征;中二叠统( $P_2$ )为生物碎屑灰岩、有机质灰岩建造。

2 材料与方法

2.1 样品采集

根据行业标准《DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》,网格化采集表层土壤和深层土壤样品。表层土壤样品基本采样密度为1个点/ $\text{km}^2$ ,采样深度为0~20 cm,3~5点混合,共采集8 820件,其中巴中工作区3 288件,南充工作区3 088件,秀山工作区2 444件。

深层样品基本采样密度为1个点/ $4\text{ km}^2$ ,采样深度为120~200 cm,共采集2 212件,其中巴中工作区880件,南充工作区768件,秀山工作区564件。

2.2 样品组合与分析

原始样品干燥后用尼龙筛截取-0.8 mm(20目)粒级的样品,表层土壤样按 $4\text{ km}^2$ 、深层土壤按 $16\text{ km}^2$ 等质量组合成一件分析样品。共组合表层土壤分析样2 279件,深层土壤分析样588件(表1)。

样品经成都综合岩矿测试中心分析测试。土壤Se采用原子荧光法分析,分析测试质量控制遵循行业标准(DZ/T0258—2014)的有关要求,检出限 $0.01\times10^{-6}$ ,报出率99.98%,合格率100%。同时分析的还有Corg、Cd、Hg等53项指标。

表 1 成渝地区土壤硒分布特征

工作区名称	土壤类别	样品数	含量值范围/ $10^{-6}$	平均值/ $10^{-6}$	中位值/ $10^{-6}$	标准离差	变异系数
巴中工作区	表层土壤	919	0.084~0.510	0.154	0.152	0.027	0.177
	深层土壤	239	0.049~0.204	0.100	0.097	0.024	0.236
南充工作区	表层土壤	749	0.033~0.349	0.140	0.135	0.034	0.241
	深层土壤	188	0.032~0.298	0.083	0.073	0.038	0.456
秀山工作区	表层土壤	611	0.158~3.140	0.457	0.390	0.287	0.629
	深层土壤	161	0.084~3.120	0.298	0.251	0.261	0.877

3 结果与分析

3.1 表层土壤 Se 地球化学特征

从表 1 可知,巴中、南充两个工作区表层土壤 Se 含量均偏低,含量值范围分别为 $(0.084\sim0.510)\times10^{-6}$ 、 $(0.033\sim0.349)\times10^{-6}$ ,平均值分别为 $0.154\times10^{-6}$ 、 $0.140\times10^{-6}$ ,既低于全国表层土壤平均值( $0.29\times10^{-6}$ )和全球土壤平均值( $0.4\times10^{-6}$ ),也低于成都地区平均值( $0.21\times10^{-6}$ )和重庆地区平均值( $0.242\times10^{-6}$ )(表

2)。两个工作区 Se 变异系数不大( $<0.5$ ),分别为 0.177 和 0.241,表明表层土壤 Se 分布相对均匀。

重庆秀山工作区表层土壤 Se 含量明显偏高,含量值范围为 $(0.158\sim3.140)\times10^{-6}$ ,平均值为  $0.457\times10^{-6}$ ,中位值为  $0.390\times10^{-6}$ ,高于成都地区平均值和重庆地区平均值,也高于全国平均值,与全球平均值( $0.4\times10^{-6}$ )和贵州省平均值( $0.39\times10^{-6}$ )相当(表 2)。工作区中 Se 变异系数偏大( $>0.5$ ),为 0.629,表明秀山地区表层土壤 Se 分布存在局部富集。

表 2 成渝地区表层土壤硒含量与其他地区比较

地区	巴中	南充	秀山	成都 <sup>[27]</sup>	重庆 <sup>[24]</sup>	湖北恩施渔塘坝 <sup>[28]</sup>	贵州 <sup>[29]</sup>	全国 <sup>[30]</sup>	全球 <sup>[31]</sup>
硒含量/ $10^{-6}$	0.154	0.140	0.457	0.210	0.242	4.06	0.39	0.29	0.4

3.2 表层土壤 Se 丰缺评价

根据谭见安及《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)的划分标准,土壤  $w(\text{Se}) > 3\times10^{-6}$  为硒过剩, $(0.40\sim3)\times10^{-6}$  为高硒, $(0.175\sim0.40)\times10^{-6}$  为适量, $(0.125\sim0.175)\times10^{-6}$  为边缘, $w(\text{Se})\leq0.125\times10^{-6}$  为缺乏<sup>[1]</sup>。巴中工作区和南充工作区表层土壤均未达到高硒水平,主要为边缘级,其次为适量和缺乏。

秀山工作区则以高硒和适量为主,高硒土地面积达 1 168 km<sup>2</sup>,占工作区面积的 47.8%,主要分布于川河盖、溶溪、孝溪等地;硒适量土地面积为 1 244 km<sup>2</sup>,占工作区面积的 50.9%。高硒和适量土地面积合计达 2 312 km<sup>2</sup>,占工作区面积的 98.7%;硒边缘土地面积为 32 km<sup>2</sup>,仅为工作区面积的 1.3%。

4 讨论

4.1 表层土壤 Se 富集特征

与深层土壤相比,表层土壤 Se 含量具有两个明显特征。一是表层土壤含量明显高于深层土壤,表层富集系数(表层土壤含量/深层土壤含量)都大于 1,如南充工作区表层土壤 Se 含量平均为  $0.140\times10^{-6}$ ,而深层土壤仅为  $0.083\times10^{-6}$ ,表层富集系数为 1.69。与前人研究结果一致,Se 趋向于在浅部富

集<sup>[21-23]</sup>。另一明显特征是表层土壤 Se 含量变异系数小于深层土壤,如秀山工作区表层土壤 Se 含量变化系数仅为 0.629,而深层土壤变化系数达 0.877,表明经过表生作用土壤 Se 分布趋于均匀。

生物地球化学循环是导致表层土壤硒相对于深层土壤富集的原因之一。本次所测试的 54 项指标中,Corg、CaO、Cd、Hg、N、P、S 等和 Se 一样,都具有浅部富集的特点,表层富集系数都大于 1(图 2)。除 Cd 和 Hg 两种重金属外,其余都属于动植物生长所必需的大、中量营养元素。植物生长会吸收水溶性无机态的  $\text{Se}^{4+}$ (亚硒酸盐)和  $\text{Se}^{6+}$ (硒酸盐),并将其转化为难溶的有机硒<sup>[11-13, 32]</sup>,使其在土壤浅部富集。剖面上,硒含量和有机质含量自下而上同步增加<sup>[22]</sup>。

4.2 富 Se 土壤与古生代黑色岩系的关系

正如夏卫平等所言,土壤硒主要与成土母质有关<sup>[14]</sup>。从图 3 可知,重庆秀山地区土壤 Se 异常与黑色岩系分布高度一致,深层土壤 Se 异常更多集中在黑色岩系出露面积较大的区域(图 3b),而部分表层土壤 Se 异常沿着水系分布更加分散,如溶溪河一带(图 3a),这与表层作用下土壤 Se 分布趋于均匀的特征是一致的。而受表生作用影响较弱的深层土壤 Se 分布受风化母岩的控制更强。

区域内黑色岩系主要有两类,一类是中二叠统

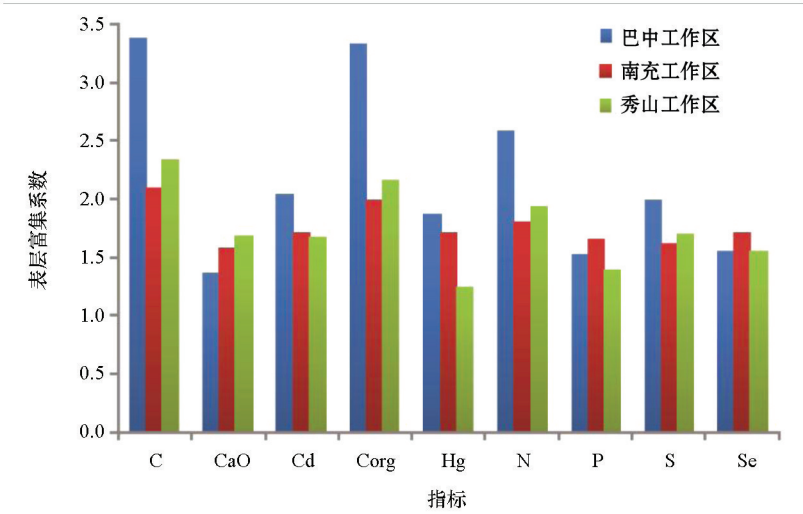
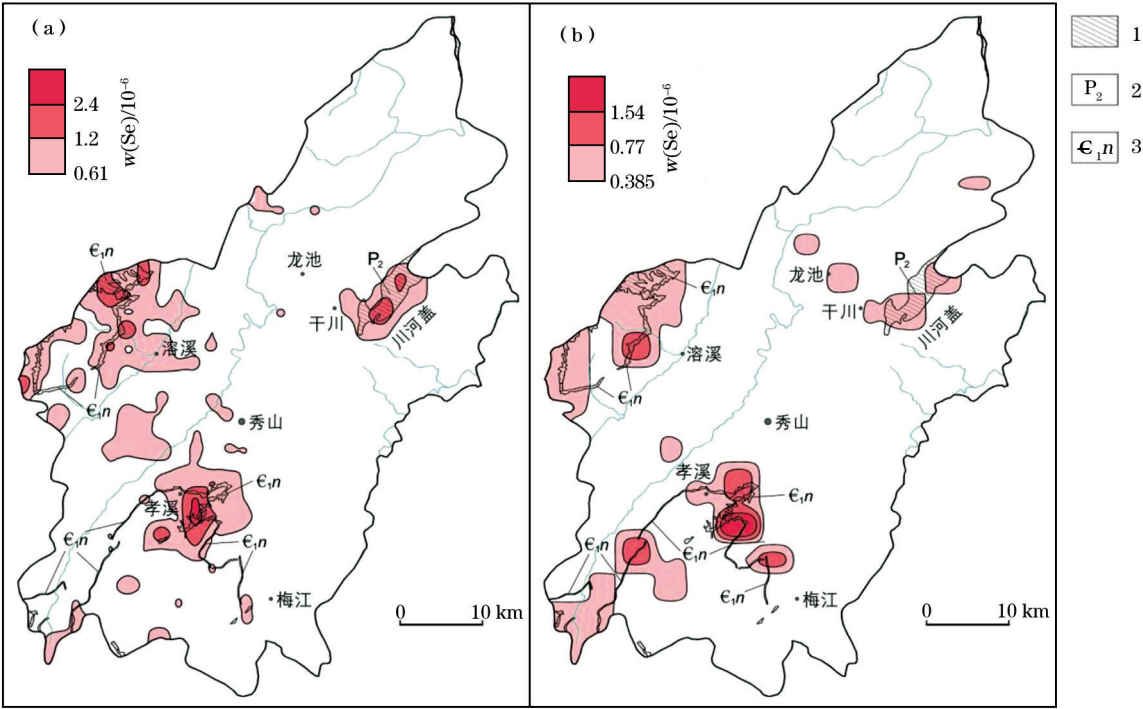


图 2 成渝地区各指标表层富集系数对比



a—表层土壤 Se 异常与黑色岩系分布;b—深层土壤 Se 异常与黑色岩系分布  
1—黑色岩系;2—中二叠统植物碎屑灰岩、有机质灰岩;3—下寒武统牛蹄塘组炭质页岩

图 3 重庆秀山土壤 Se 异常与黑色岩系分布

( $P_2$ ) 深灰—黑色生物碎屑灰岩、有机质灰岩,灰岩具眼球状构造,主要分布于川河盖一带。硒高值区与黑色岩系分布范围对应,岩石硒含量平均为  $0.849 \times 10^{-6}$  (范围在  $0.083 \times 10^{-6} \sim 2.02 \times 10^{-6}$ )。该层位可以与湖北恩施中二叠统茅口组 ( $P_{2m}$ ) 对比,但湖北恩施地区岩性主要为薄层状硅质岩和含炭硅质岩,有时夹有硅质炭质页岩,硒含量高达  $224 \times 10^{-6}$ ,位

居 5 个含硒层位之首<sup>[19]</sup>。  
另一类黑色岩系是下寒武统牛蹄塘组 ( $\epsilon_1n$ ),以灰黑色、黑色炭质页岩为主,夹较多的黄色薄—中厚层状粉砂岩,下部夹 0.3~1 m 厚的含磷层及 20~30 cm 厚的黑色硅质岩,集中分布于容溪和孝溪。硒异常沿着地层露头(线)分布,地层出露面积最大的地方,就是异常中心,岩石硒含量平均为  $2.25 \times$



$10^{-6}$  (范围在  $0.28 \times 10^{-6} \sim 4.22 \times 10^{-6}$ )。同时代黑色岩系广泛分布于我国西南地区<sup>[2, 20]</sup>。毗邻的贵州遵义松林地区,牛蹄塘组炭质页岩硒含量最高可达  $2000 \times 10^{-6}$ <sup>[33]</sup>,是继湖北恩施渔塘坝富硒质岩石之外的又一高硒报道。

重庆秀山整体属于扬子陆块南部新元古代至中三叠世碳酸盐台地的组成部分,区域内下寒武统和中二叠统的黑色岩系都可能与区域性海侵事件有关<sup>[34-37]</sup>。微量元素、稳定同位素、稀土元素等资料均显示,下寒武统( $\epsilon_1$ )炭质页岩形成于海洋(热水)沉积环境<sup>[20, 38-40]</sup>。黄思静等认为寒武系锶同位素演化曲线与全球曲线可以对比,与泛非—巴西利亚造山同步<sup>[41]</sup>。陈兰等绘制的有机碳同位素变化曲线则反映海平面也与全球海平面同步上升,沉积环境为全球海侵引起的缺氧环境<sup>[35]</sup>。

中二叠统( $P_2$ )黑色岩系的沉积环境也类似,无论是湖北恩施的硅质岩,还是重庆秀山及周边的眼球状灰岩,均被认为是海洋(热水)沉积的产物<sup>[42-44]</sup>。古地理再造结果显示,继晚石炭世的短暂抬升后,中二叠世栖霞早期开始接受海侵,范围逐渐扩大,栖霞中期几乎全部变为碳酸盐沉积,至茅口中晚期达到最高峰<sup>[37]</sup>。

简言之,海侵的过程就是海平面和氧化—还原界面同步上升的过程。氧化—还原界面以下不断增大的还原环境空间,有利于有机硒等的保存。而在浅部海域,海洋生物的不断增长,也有利于吸收海水中更多的游离  $Se^{4+}$  和  $Se^{6+}$ ,并将其转化为有机硒而进一步聚集<sup>[11-13]</sup>。而当灾变发生后,古生物的大量死亡使有机硒等以固态的形式长期保存,使富含有机质的黑色岩系高度富硒。沉积岩中硒含量与有机

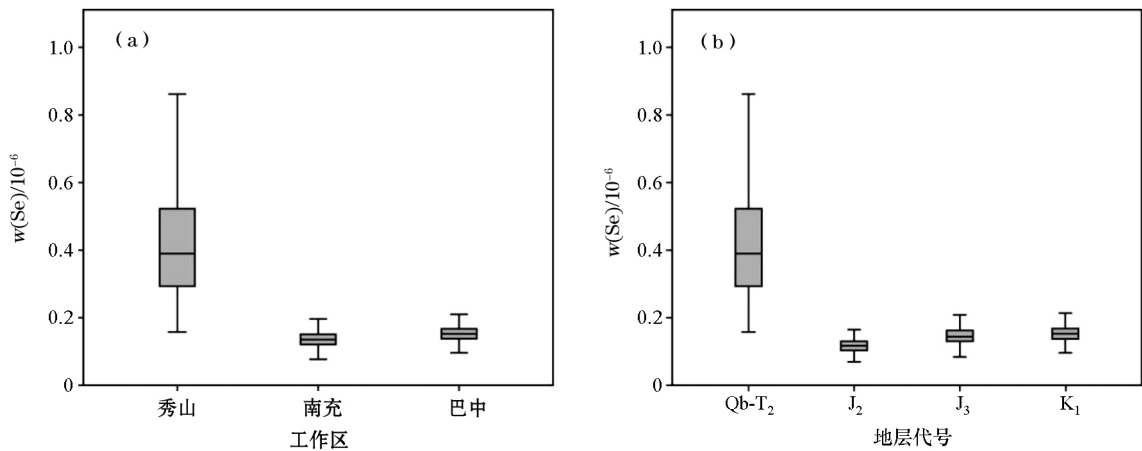
质含量显著相关是一个不争的事实<sup>[13]</sup>。

4.3 Se 缺乏与中生代“红层”的关系

川东北“红层”区,相距重庆秀山富硒区仅数百公里,且同属于一个气候分带,年降水量和日照时长相差也不大。调查结果却显示,两者之间的土壤硒含量具有非常大的差异(见表 1 和图 4a)。即使在同一工作区内,土壤硒含量变化也很大。比如重庆秀山地区,最小值与最大值之间相差近 20 倍。四川成都、万源等地也得出类似的结果<sup>[21, 24]</sup>。气候条件对本区土壤即使有贡献,也不应该造成如此大的差距。相似的气候条件下,无论是季风带来的硒补给(输入),还是日照引起的硒挥发(输出),它们对土壤的贡献应该大致相当。显然,气候因素不能给出合理的解释,比如 Blazina 等、Sun 等的研究<sup>[15, 17-18]</sup>。

两个片区虽相距不远,却分属于两个不同的地质构造分区(见图 1)。川东北的南充和巴中地区属于侏罗纪—白垩纪的川中前陆盆地<sup>[26]</sup>,中生代“红层”广泛分布,土壤类型以紫色土为主。无论是表层土壤还是深层土壤,其 Se 含量都明显低于重庆秀山地区(见表 1,图 4b)。与前人的研究结果一致,“红层”土壤相对缺硒<sup>[1, 8-9, 14, 23]</sup>。成土母岩 Se 平均含量仅为  $(0.085 \sim 0.088) \times 10^{-6}$ <sup>[9, 23]</sup>,深层土壤硒含量与之相接近。

晚三叠世末期,由于古特提斯洋的关闭,扬子西缘由海相碳酸盐沉积转化为前陆盆地陆相沉积<sup>[37]</sup>,海平面的迅速下降使得原有的还原环境转化为氧化环境。氧化环境下,有机质的氧化分解会将原有的有机硒转化为可溶性的易迁移的游离态<sup>[11-13]</sup>,从而导致硒的流失,造成内陆型的河湖湘“红层”中普遍的硒缺乏。我国东北至西南一线的缺硒带,侏罗纪



a—按工作区对比;b—按下覆地层对比;Qb-T<sub>2</sub>—青白口系-中三叠统;J<sub>2</sub>—中侏罗统;J<sub>3</sub>—上侏罗统;K<sub>1</sub>—下白垩统

图 4 成渝地区表层土壤硒含量对比

—白垩纪内陆型河湖相沉积建造广泛分布<sup>[45-46]</sup>。而在活动板块边界,火山(热液)可能提供了一定的硒源。如云南滇西地区,中生代盆地未发现缺硒<sup>[14]</sup>。

## 5 结论

同属于一个气候分带的两个片区,土壤硒含量却存在显著的差异,(现代)气候显然不是造成这种差异的主要原因。两个片区虽相距不远,却分属于两个不同的地质构造分区。重庆秀山地区属于扬子陆块南部新元古代至中三叠世碳酸盐台地的一部分,早寒武世、中二叠世等海侵事件使区域内广泛分布富含有机质的黑色岩系,为土壤提供了丰富的硒源。川东北的巴中和南充地区,则属于侏罗纪至白垩纪的川中前陆盆地,内陆型的湖泊砂岩—粉砂岩组合普遍缺硒,是“红层”土壤缺硒的主要原因。

## 参考文献:

[1] 谭见安. 环境生命元素与克山病:生态化学地理研究[M]. 北京:中国医药科技出版社, 1996.

[2] 秦俊法. 中国硒研究历史回顾(上)[J]. 广东微量元素科学, 2014, 21(11): 44-57.

[3] 张楠, 陆华湘, 张志勇, 等. 广西巴马县境内长寿老人区域分布及人群头发中化学元素含量的研究[J]. 中国老年学, 2010, 30(9): 1271-1274.

[4] 杨荣清, 黄标, 孙维侠, 等. 江苏省如皋市长寿人口分布区土壤及其微量元素特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 753-760.

[5] 邹晓燕, 李永华, 杨林生, 等. 河南夏邑县长寿现象与土壤环境的关系[J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1415-1421.

[6] 蔡德华. 扬中县土壤背景值及其与恶性肿瘤死亡率关系[J]. 生态与农村环境学报, 1993, 9(2): 42-46.

[7] 曾昭华, 曾雪萍, 廖苏平. 中国癌症与土壤环境中化学元素的相关性研究[J]. 环境科技, 2002, 15(2): 13-15.

[8] 杨艳, 杨忠芳, 侯青叶, 等. 四川省盐亭县食管癌高发与地球化学关系[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 1015-1021.

[9] 李忠惠, 金立新, 徐洲, 等. 四川省盐亭县癌症高发区与地球化学环境关系研究[J]. 地球科学进展, 2012(s1): 381-391.

[10] 宋明义, 周涛发, 蔡子华, 等. 浙江典型癌症高发区地质环境[J]. 物探与化探, 2010, 34(3): 382-385.

[11] 刘小明, 李泽琴, 沈松. 土壤中硒的生物可利用性研究进展[J]. 江西农业学报, 2012, 24(9): 120-123.

[12] 李金峰, 聂兆君, 赵鹏, 等. 土壤—植物系统中硒营养的研究进展[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 649-656.

[13] Herring J R. Selenium geochemistry a conspectus[G]//Severson R C, Fisher S E, Gough L P. Proceedings of the 1990 billings land reclamation symposium on selenium in arid and semiarid environments, western United States. USGS Circular 1064. 1991: 5-24.

[14] 夏卫平, 谭见安. 中国一些岩类中硒的比较研究[J]. 环境科学学报, 1990, 10(2): 125-131.

[15] 朴河春, 刘广深, 洪业汤. 我国特定的季风气候导致缺硒带形成的初步论据[J]. 地球与环境, 1995(6): 40-43.

[16] Wang Z, Gao Y. Biogeochemical cycling of selenium in Chinese environments[J]. Applied geochemistry, 2001, 16(11): 1345-1351.

[17] Blazina T, Sun Y, Voegelin A, et al. Terrestrial selenium distribution in China is potentially linked to monsoonal climate[J]. Nature Communications, 2014, 5: 4717.

[18] Sun G X, Meharg A A, Li G, et al. Distribution of soil selenium in China is potentially controlled by deposition and volatilization? [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 20953.

[19] 张光弟, 葛晓立, 张绮玲, 等. 湖北恩施地区硒地质地球化学环境背景[J]. 地球学报, 1998, 19(1): 59-67.

[20] 温汉捷, 裘愉卓, 凌宏文, 等. 中国早古生代若干高硒黑色岩系中层状硅质岩的地球化学特征及其成因意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 620-626.

[21] 孙朝, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 典型土壤环境中硒的迁移转化影响因素研究——以四川省成都经济区为例[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1760-1768.

[22] 郎春燕, 黄秀丽, 李小娇. 成都东郊稻田土壤中硒形态的分布特征[J]. 西南农业学报, 2013, 26(2): 642-646.

[23] 倪师军, 张成江, 徐争启, 等. 四川万源地区硒的地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2007, 27(4): 41-46.

[24] 严明书, 龚媛媛, 杨乐超, 等. 重庆土壤硒的地球化学特征及经济意义[J]. 物探与化探, 2014, 38(2): 325-330.

[25] 童建川. 重庆市江津区耕地土壤硒资源地理特征[J]. 南方农业, 2014, 8(9): 40-42.

[26] 尹福光, 孙洁, 任飞, 等. 中国西南区域地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2016, 21-39.

[27] 中国地质调查局. 全国多目标区域地球化学调查进展与成果[R]. 2010.

[28] 朱建明, 郑宝山, 毛大均, 等. 渔塘坝微地域硒分布的景观地球化学研究[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 43-49.

[29] 王甘露, 朱笑青. 贵州省土壤硒的背景值研究[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 23-26.

[30] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990, 28-87.

[31] Fiona F M. Selenium Deficiency and Toxicity in the Environment [G]//Selinus O. Essentials of medical geology: Revised edition. Springer, Dordrecht, 2013: 375-416.

[32] Mayland H F, Gough L P, Stewart K C. Selenium mobility in soils and its absorption, translocation, and metabolism in plants[G]//Severson R C, Fisher S E, Gough L P. Proceedings of the 1990 billings land reclamation symposium on selenium in arid and semiarid environments, western United States. USGS Circular 1064, 1991: 55-64.

[33] 罗泰义, 宁兴贤, 罗远良, 等. 贵州遵义早寒武世黑色岩系底部Se的超常富集[J]. 矿物学报, 2005, 25(3): 275-282.

[34] 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[35] 陈兰, 钟宏, 胡瑞忠, 等. 湘黔地区早寒武世黑色页岩有机碳同位素组成变化及其意义[J]. 矿物岩石, 2006, 26(1): 81-85.

[36] 牛志军, 徐安武, 段其发, 等. 湖北建始北部二叠纪地层硒的来源与富集[J]. 地质通报, 2000, 19(4): 396–401.

[37] 廖震文, 蒋小芳, 王生伟, 等. 上扬子陆块区成矿地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2017.

[38] 李任伟, 卢家烂, 张淑坤, 等. 震旦纪和早寒武世黑色页岩有机碳同位素组成[J]. 中国科学: D 辑, 1999, 29(4): 351–357.

[39] 魏怀瑞, 杨瑞东, 鲍森, 等. 贵州早寒武世黑色页岩地球化学特征及其意义[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2006, 23(4): 356–360.

[40] 李娟, 于炳松, 郭峰. 黔北地区下寒武统底部黑色页岩沉积环境条件与源区构造背景分析[J]. 沉积学报, 2013, 31(1): 20–31.

[41] 黄思静, 石和. 重庆秀山寒武系锶同位素演化曲线及全球对比[J]. 地质论评, 2002, 48(5): 509–516.

[42] 冯彩霞, 刘家军, 刘木焱, 等. 渔塘坝硒矿硅质岩的地球化学特征及成因[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 727–732.

[43] 樊海峰, 温汉捷, 胡瑞忠. 渔塘坝硒矿床多元素富集与沉积环境[J]. 沉积学报, 2008, 26(2): 271–282.

[44] 罗进雄, 何幼斌. 中—上扬子地区二叠系眼球状石灰岩特征及成因研究[J]. 地质论评, 2010, 56(5): 629–637.

[45] 田在艺, 万化昆. 中国侏罗系岩相古地理与含油气远景[J]. 新疆石油地质, 1993(2): 101–116.

[46] 骆满生, 卢隆桥, 贾建, 等. 中国中生代沉积盆地演化[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2014, 39(8): 954–976.

The distribution and source of soil selenium in typical areas of Chengdu-Chongqing region

LIU Cai-Ze, WANG Yong-Hua, ZENG Qin-Qin, LEI Feng-Hua  
(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Chengdu-Chongqing region is located in Southwest China, a transition zone between the Se-poor belt in the middle and the Se-high belt in the southeast. The soil geochemical map shows that the Se content of topsoil in Xiushan area of Chongqing is  $(0.158 \sim 3.14) \times 10^{-6}$ , with an average of  $0.457 \times 10^{-6}$ . The soil selenium may come from the underlying black rock series: Niutetang carbonaceous shale of early Cambrian and phytoclastic and organic limestone of middle Permian, both of them might have been deposited among two Paleozoic transgressions. Nevertheless, selenium is deficient in soil of "red layer" in Bazhong and Nanchong, Sichuan. The Se values of topsoil are  $(0.084 \sim 0.510) \times 10^{-6}$  and  $(0.033 \sim 0.349) \times 10^{-6}$  respectively, with the average of  $0.154 \times 10^{-6}$  and  $0.140 \times 10^{-6}$ . That might have been related to the transformation from late Triassic marine environment into Jurassic–Cretaceous continental sedimentary environment, causing selenium deficiency in continental lacustrine sandstone and siltstone.

**Key words:** soil selenium; black rock series; southwest red layer; Chengdu-Chongqing region

( 本文编辑:蒋实)