

doi: 10.11720/wtyht.2020.1029

姬丙艳, 沈骁, 姚振, 等. 青海柴达木盆地绿洲农业区硒地球化学特征——以诺木洪绿洲为例[J]. 物探与化探, 2020, 44(1): 199–206. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1029>

Ji B Y, Shen X, Yao Z, et al. Geochemical characteristics of selenium in the oasis agricultural area of Qaidam Basin, Qinghai Province: Exemplified by Nomhon oasis[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(1): 199–206. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1029>

青海柴达木盆地绿洲农业区硒地球化学特征 ——以诺木洪绿洲为例

姬丙艳, 沈骁, 姚振, 田滔, 马凤娟, 邱瑜
(青海省第五地质矿产勘查院, 青海 西宁 810099)

摘要: 通过对青海柴达木盆地诺木洪绿洲农业区土壤、作物等样品的系统采样分析, 研究该地区硒的地球化学特征, 探讨富硒土壤成因, 查明富硒枸杞产出及开发利用前景。结果表明: 研究区富硒土壤面积有 413.6 km², 硒含量在 0.23×10⁻⁶~2.8×10⁻⁶之间, 平均值为 0.47×10⁻⁶; 富硒土壤呈碱性, 肥力元素丰富, 土壤环境清洁; 研究区土壤硒来源为第四系湖相沉积物, 盐渍化作用、土壤粒度、有机质含量等对硒的迁移和富集有显著影响; 作物中诺木洪枸杞清洁无污染, 富硒比例高, 与土壤硒显著正相关, 具有较大的开发利用前景。

关键词: 诺木洪; 富硒土壤; 成因; 富硒枸杞; 生态效应

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)01-0199-08

0 引言

硒是人体生命活动中不可或缺的必需微量元素。部分缺硒引起的疾病已经被认识, 如克山病、地方性心肌病、大骨节病、变形性关节炎等^[1-2]。现代医学研究证实, 硒在抗氧化、调节免疫功能、预防心血管疾病、抗病毒、抗衰老、抗癌等诸多方面均具有一定的积极作用^[3-7]。全国 72% 的土壤存在不同程度的缺硒, 约有 1 亿多人口的膳食结构中硒含量不足, 造成人体低硒状态^[8-9]。天然富硒土壤是一种珍贵的、具有较高经济价值的资源, 是培育和种植天然富硒产品的资源基础。随着 1999 年全国多目标区域地球化学调查与生态地球化学评价工作的全面实施^[10], 全国范围内相继在湖北、陕西、浙江、江西、海南、青海、湖南等地区发现了富硒土壤分布^[11]。

2010 年青海省第五地质勘查院依托多目标及生态地球化学调查评价项目, 在海东市平安区发现了 600 多平方千米的富硒土壤。近年来, 在平安区政府的大力推动下, 平安区富硒产业取得了良好的

社会和经济效益, 现已成为西北乃至全国富硒土地开发利用的成功范例。2015 年以来, 青海省国土资源厅聚焦柴达木盆地绿洲农业区, 首次在都兰、格尔木、德令哈—乌兰地区探明了 544.1 km² 的绿色富硒土壤资源, 这是继青海省东部地区发现大面积富硒土壤资源后的又一重大成果突破^[12]。柴达木盆地位于青海省西北部, 是省内重要的经济区和绿洲农业区, 富硒土壤的发现对当地绿洲农业经济可持续发展具有重要的推动作用。本次研究选择以都兰县诺木洪典型富硒区为例, 初步探讨富硒土壤地球化学特征、生态效应及成因, 为柴达木盆地富硒土壤开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于柴达木盆地东南部, 行政上属青海海西州都兰县, 面积为 783 km²。研究区地处高原, 深居内陆, 终年干旱少雨、多风、光照充足, 紫外线强, 冬寒夏凉, 昼夜温差大, 属典型的荒漠大陆性气候。诺木洪河是研究区主要的河流, 发源于南部昆

收稿日期: 2019-01-13; 修回日期: 2019-08-26

基金项目: 青海省国土资源厅地质勘查基金“青海省都兰县绿洲农业生态地球化学评价” [2015-3.4]

作者简介: 姬丙艳 (1980-), 男, 研究生, 地球化学高级工程师, 主要从事地质、地球化学方面的研究工作。Email: 312182683@qq.com

仑山,依靠冰雪融水补给,是研究区重要的灌溉水源。研究区地貌以洪积扇扇缘绿洲平原为主,南部为扇中戈壁,北部为柴达木湖盆。地表出露地层主要为第四系冲洪积、冲湖积、湖积、风积物,物质组成主要为砂砾石、黏土、细砂土、粉砂土等。土壤类型包括漠土、棕钙土、风沙土、盐土等。土地利用情况主要为农用水浇地、盐碱地、沙地、牧草地、灌木林地、城镇用地等。农田区主要出产枸杞,研究区是海西州最大规模的连片枸杞种植基地,农田区以北为灌木林地及天然牧草地,有黑枸杞、白刺果、麻黄草等野生作物资源分布。

2 样品采集与分析

按照中国地质调查局《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)的要求,以农田区 4 件/km² 和非农田区 1 件/km² 的采样密度共采集表层土壤 1 242 件,采样深度 0~20 cm,采样质量 1 kg,土壤样品在自然条件下风干,过 10 目尼龙晒后,装

250 g 送实验室检测。为研究富硒土壤成因及其生态效应,布设垂向剖面 5 个,采集样品 100 件。1:1 万路线地质调查 19 km,采集土壤样 22 件。水平剖面 1 条,采集土壤样 150 件。采集区内主要经济农产品枸杞 200 件,样品采集、切割、洗涤和保存等各环节严格按照《区域生态地球化学评价技术要求》(DZT0289-2015)执行。样品采样点位置见图 1。

样品测试由安徽省地质实验测试研究所完成。土壤样经艾斯卡试剂熔样处理后,采用原子荧光光谱法(AFS)测定 Se,检出限为 0.008×10^{-6} 。农作物样品采取微波消解法溶样处理后,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Se,检出限为 0.005×10^{-6} 。样品分析时插入国家一级标准物质(GBW 系列)监控分析准确度和精密度,以重复样和重复分析检验评价分析误差。经检测,所有样品检出率为 100%,准确度和精密度合格率均为 100%,重复性检验合格率 100%,样品分析质量符合《生态地球化学样品分析技术要求(试行)》(DD2005-03)要求,分析质量可靠,分析数据准确。

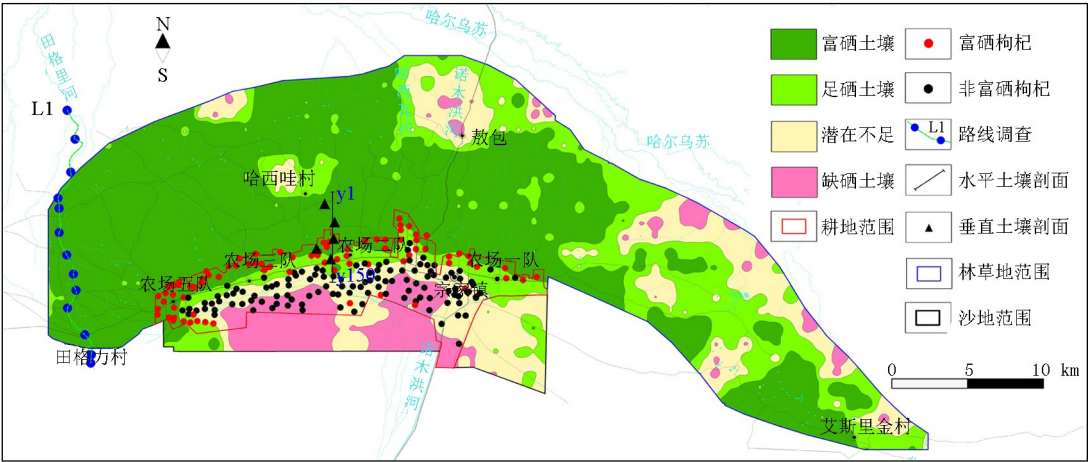


图 1 诺木洪富硒土壤、枸杞分布及样品采集点位

Fig.1 Distribution of selenium-rich soil,wolfberry and sample collection point in Nomhon

3 土壤硒的地球化学分布特征

3.1 富硒土壤标准

富硒土壤是生产天然富硒农产品的重要基础。目前我国对富硒土壤尚无国家标准。随着对硒研究的不断深入,富硒产业在全国各地快速发展,各地也制定了符合当地实际的富硒地方标准。西北地区较早制定的富硒地方标准有陕西省 DB61/T556-2012^[13]以及青海省 DB36/T566-2009^[14]等。笔者以青海省东部农业区富硒标准为基础,结合柴达木盆地土壤硒地

球化学特征、有效硒含量、土壤酸碱度、枸杞等作物响应情况,提出了柴达木盆地富硒枸杞干果($w(\text{Se}) \geq 0.05 \times 10^{-6}$)及富硒土壤($w(\text{Se}) \geq 0.23 \times 10^{-6}$)建议标准^[15],作为本次研究的参考标准。

3.2 富硒土壤空间分布及含量特征

诺木洪地区富硒土壤分布于诺木洪农场北部(图 1),其中富硒耕地 21.3 km²,呈条带状分布于五大队—二大队北;富硒林草地 392.3 km²,呈面状分布于农耕区北部田格里村—艾斯里金村。富硒区内,硒含量在 $0.23 \times 10^{-6} \sim 2.8 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 0.47×10^{-6} 。

按照富硒区土地利用状况,分耕地和林草地对诺木洪富硒区表层土壤地球化学特征进行讨论。由表1可以看出,诺木洪富硒耕地中多数元素均值与全国表层土壤背景值^[16]比值在0.8~1.5之间,其中显著高于全国土壤背景的元素有Cl、S、MgO、CaO(比值>2),显著低于全国土壤背景的元素有Hg、Mo、Ge、I等(比值<0.8)。

由表2可以看出,诺木洪富硒林草地中元素含

量明显高于全国土壤背景的有CaO、MgO、Na₂O、B、Cl、S、Sr等,与富硒耕地相比,这些元素具有更高的含量。含量明显低于全国土壤背景的元素有SiO₂、Ge、P、Mn、Zn、Hg、Pb、I等(比值<0.8)。

总体上,诺木洪富硒土壤中Cl、S、Na₂O、MgO、CaO等的显著高含量反映了研究区表层土壤强烈的盐渍化,富硒耕地由于农业耕作,其盐渍化较富硒林草地有了很大程度的改善。

表1 诺木洪富硒耕地主要元素含量与全国土壤背景值对比

Table 1 comparison between the content of main elements in selenium-enriched plough field in Nomhon and the national background value of soil

指标	背景值	标准 离差	变异 系数	全国 背景 ^[16]	比值	指标	背景值	标准 离差	变异 系数	全国 背景 ^[16]	比值
Al ₂ O ₃	10.60	0.58	0.05	6.62	1.60	Cd	168.1	48.1	0.29	97	1.73
CaO	9.30	0.97	0.10	1.54	6.04	F	631.9	104.9	0.17	478	1.32
Fe ₂ O ₃	4.04	0.58	0.14	2.94	1.37	Ge	1.14	0.07	0.06	1.7	0.67
K ₂ O	2.41	0.22	0.09	1.86	1.30	Hg	21.7	6.12	0.28	65	0.33
MgO	3.08	0.52	0.17	0.78	3.95	I	2.57	0.93	0.36	3.76	0.68
Na ₂ O	1.68	0.14	0.08	1.02	1.65	Mn	549	95	0.17	583	0.94
SiO ₂	55.0	3.01	0.05	59.9	0.92	Mo	1.17	0.24	0.20	2	0.59
有机质	1.48	0.61	0.41			N	800	328	0.41	625.6	1.28
pH	8.3	0.27	0.03	6.7	1.24	P	1027	477	0.46	836.1	1.23
As	12.82	2.79	0.22	11.2	1.14	S	652	321	0.49	287.93	2.26
B	55.93	12.85	0.23	47.8	1.17	Se	0.33	0.1	0.3	0.29	1.14
C	2.61	0.86	0.33			Sr	273.7	17	0.06	167	1.64
Cl	625.3	514	0.82	68	9.20	Pb	22.3	1.73	0.08	26	0.86
Cu	23.5	4.81	0.2	22.6	1.04	Zn	66.2	12.6	0.19	74.2	0.89

注:pH值无量纲,氧化物、有机质含量单位10⁻²,Cd、Hg为10⁻⁹,其他元素为10⁻⁶

表2 诺木洪富硒林草地主要元素含量与全国土壤背景值对比

Table 2 comparison between the content of main elements in selenium-enriched Forest and grassland in Nomhon and the national background value of soil

指标	背景值	标准 离差	变异 系数	全国 背景 ^[16]	比值	指标	背景值	标准 离差	变异 系数	全国 背景 ^[16]	比值
Al ₂ O ₃	9.02	1.56	0.17	6.62	1.36	Cd	120.7	31.3	0.26	97	1.24
CaO	9.86	2.93	0.30	1.54	6.40	F	632.3	194.5	0.31	478	1.32
Fe ₂ O ₃	3.25	0.62	0.19	2.94	1.11	Ge	0.86	0.16	0.19	1.7	0.51
K ₂ O	1.75	0.39	0.23	1.86	0.94	Hg	19.23	5.73	0.30	65	0.30
MgO	5.36	1.50	0.28	0.78	6.87	I	1.15	0.58	0.51	3.76	0.31
Na ₂ O	5.54	3.22	0.58	1.02	5.43	Mn	403.9	86.8	0.21	583	0.69
SiO ₂	40.84	6.68	0.16	59.9	0.68	Mo	2.29	1.08	0.47	2	1.15
有机质	1.73	0.73	0.42			N	649.9	286	0.44	625.6	1.04
pH	8.53	0.27	0.03	6.7	1.27	P	602.8	101.5	0.17	836.1	0.72
As	10.91	2.15	0.20	11.2	0.97	S	23955	17418	0.73	287.93	83.2
B	119.7	47.2	0.39	47.8	2.50	Se	0.40	0.16	0.41	0.29	1.38
C	2.25	1.07	0.47			Sr	928.2	608.6	0.66	167	5.56
Cl	35863	26513	0.74	68	527.4	Pb	17.90	2.48	0.14	26	0.69
Cu	19.54	3.81	0.19	22.6	0.86	Zn	54.50	9.96	0.18	74.2	0.73

注:pH值无量纲,氧化物及有机质含量单位10⁻²,Cd、Hg为10⁻⁹,其他元素为10⁻⁶

按照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295-2016)^[17],对富硒耕地内土壤养分的丰缺程度进行评价,CaO($>5.54\times10^{-2}$)、MgO($>2.15\times10^{-2}$)、Mo($>0.85\times10^{-6}$)、S($>343\times10^{-6}$)含量等级为丰富,Fe₂O₃($>4.6\times10^{-2}\sim5.3\times10^{-2}$)含量等级为较丰富,B($>55\times10^{-6}\sim65\times10^{-6}$)、Mn($>500\times10^{-6}\sim600\times10^{-6}$)、Cu($>21\times10^{-6}\sim24\times10^{-6}$)、Zn($>62\times10^{-6}\sim71\times10^{-6}$)含量等级为中等,Ge($\leq1.2\times10^{-6}$)含量为缺乏;依据《土壤环境质量标准》,富硒区土壤中Cd、Hg、Pb、As、Cu、Zn等重金属元素含量均未超标^[18],富硒土壤环境十分清洁。

3.3 水平剖面硒含量特征

水平土壤剖面由北至南穿越农场二大队硒异常区(图1),根据成土母质、土壤物理特征、土地利用类型详细划分层位,基本采样间距40 m。土壤粒度、土地利用状况具明显垂向分带明显特征:Y1~Y64为盐碱化林草地,土壤质地主要为棕黄色黏土,黑果枸杞及白刺果等野生植物生长;Y65~Y150为

农业种植区,土壤质地为粉砂质黏土、黏土、含粉砂黏土交替出现,是红果枸杞的主要产区。

从图2、表3看出,Se、Mo、B、I、Cl、S、MgO、Na₂O等元素分布规律相似,在北部林草地的含量显著高于南部水浇地,且存在较为明显的波动;南部农耕区各元素含量曲线较为平稳,其中Cd、Fe₂O₃、SiO₂等含量明显高于北部。Se含量由北至南逐渐降低,在①段硒均值为 0.592×10^{-6} ,②段硒均值为 0.312×10^{-6} ,③~⑨段硒含量降为 $0.145\times10^{-6}\sim0.206\times10^{-6}$,黏土层中硒含量高于砂质黏土。

总体上,硒在表层土壤中的水平分布特征反映了其地球化学行为:

1) 表层土壤硒呈“北高南低”的水平分布规律,这与土壤母质成因类型相对应,研究区南部土壤洪积成因,北部逐渐过渡至滨湖相沉积,高硒土壤主要分布于滨湖相沉积区域,这表明硒的来源与湖相沉积物有关。

2) 硒更易富集于黏土中。土壤壤化程度高,粒

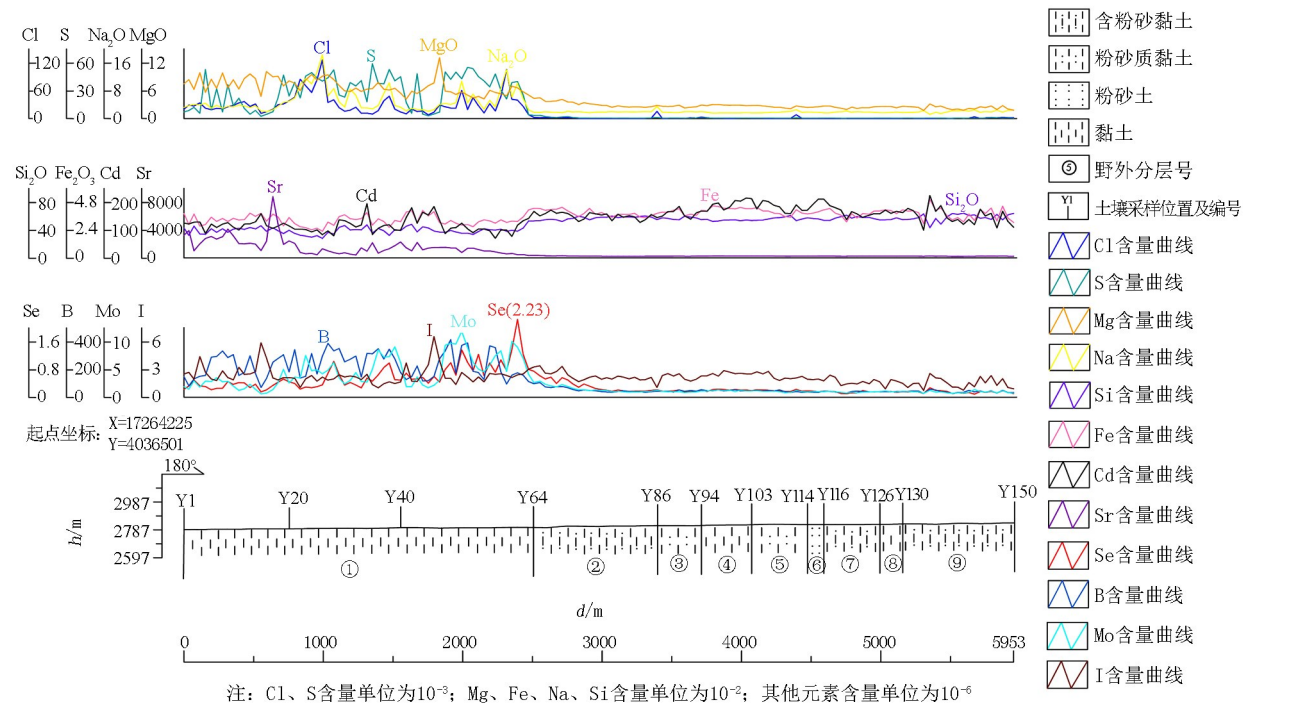


图2 诺木洪水平土壤剖面元素含量曲线
Fig.2 Content curve of horizontal soil profile in Nomuhon

表3 诺木洪水平土壤剖面硒含量统计

样点编号	1~64	65~86	87~94	95~103	104~114	115~116	116~126	127~130	131~150
分段编号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
土地利用	灌木林地	水浇地	水浇地	水浇地	水浇地	水浇地	水浇地	水浇地	水浇地
土壤质地	黏土	含砂黏土	砂质黏土	黏土	含粉砂黏土	粉砂土	砂质黏土	黏土	砂质黏土
Se 均值/ 10^{-6}	0.592	0.312	0.176	0.206	0.188	0.165	0.145	0.158	0.149

度越细,有机质含量也相对丰富,研究区土壤有机质与硒含量呈显著正相关关系(图3),有机质是形成富硒土壤的有利因素,土壤中的硒能够以与腐殖质结合的形式存在,因此有机质对硒有一定的吸附与固定作用,使其在土壤中快速固定下来从而间接影响土壤中全硒的含量^[19]。

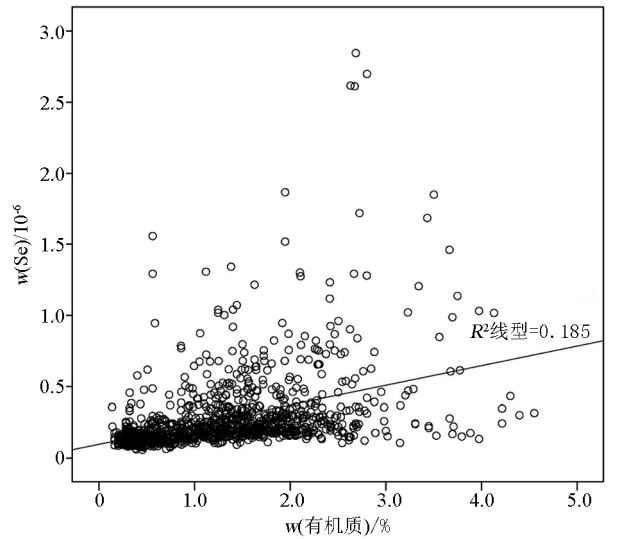


图3 诺木洪土壤硒与有机质关系
Fig.3 relation of organic matter with selenium in the soil of Nomhon

3.4 垂向剖面硒含量特征

在诺木洪富硒区测制垂直土壤剖面5条(图1),垂直土壤剖面深度2 m,观测并记录土壤发生学层位,采样基本间距为10 cm,不跨层采样。从各元

素含量曲线图(图4)可以看出,每条土壤垂向剖面中Se含量曲线由下部至上部均逐渐升高,说明Se易于在表层土壤中富集;B、Mo、Sr、Cl、S、Na₂O等含量曲线与Se表现出极为相似的分布特征。根据前人研究,Se、B、Mo、Sr、Cl、S、Na₂O等在柴达木盐湖卤水及沉积物中具有较高的含量^[20-24],这表明诺木洪地区富硒土壤的成因与湖积母质和盐渍化作用有关。

SiO₂、Fe、Mn等则表现出相反的分布规律,由土层深部至表层逐渐递减。SiO₂含量曲线反映了由深至浅土壤的砂质成分逐渐减少,部分剖面表层出现盐类结晶层,所以Fe、Mn等土壤主要矿质元素表现出相对的亏损。

4 土壤硒成因分析

4.1 成土母质

相关研究表明,成土母质(母岩)是导致土壤硒含量高低的主要原因,成土母质(母岩)中硒含量与其形成时代有关,从变质岩到岩浆岩、沉积岩,硒丰度下降;在岩浆岩系列中由酸性岩至基性岩硒含量递增;富含泥质、炭质和有机质的沉积岩中硒含量较高,如中生代的黑页岩和煤层等,而砂岩中硒含量较低^[25-28]。诺木洪富硒土壤主要分布于洪积扇边缘与柴达木湖盆边缘之间,向湖盆内部未封闭,对应的成土母质为洪积黏土及湖积黏土,水平土壤剖面显示南部洪积黏土中土壤硒含量明显低于北部湖积黏土,且未达到富硒土壤标准,故洪积黏土不是本区土

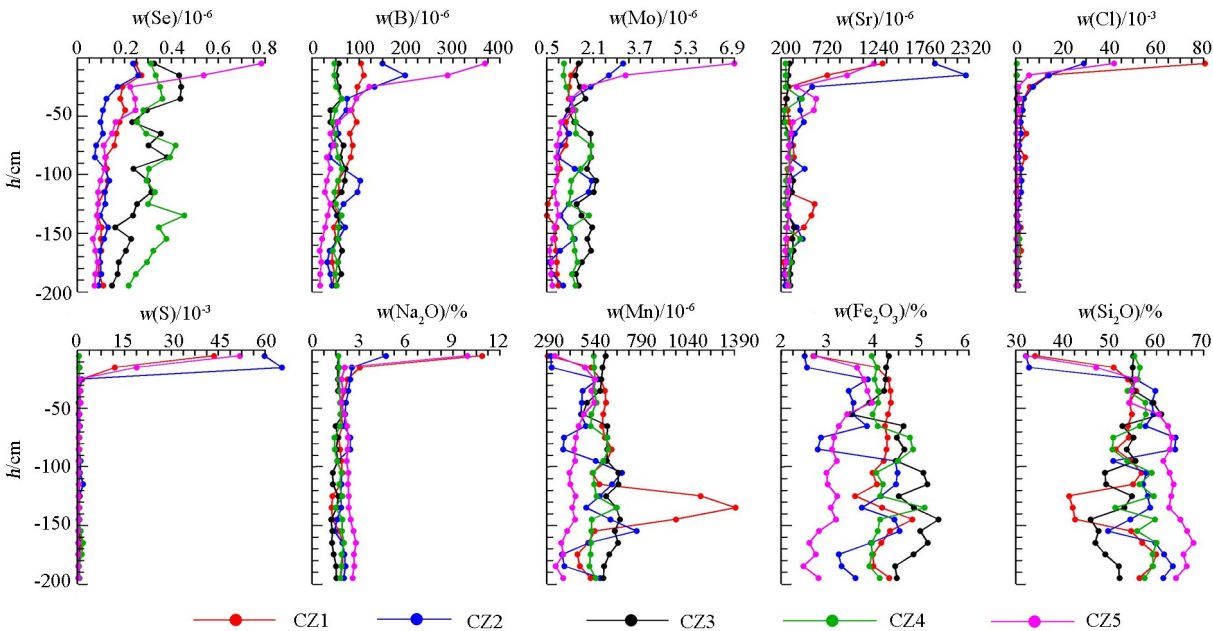


图4 诺木洪土壤垂直剖面元素含量曲线
Fig.4 Content curve of vertical profile in the soil of Nomhon

壤硒的主要来源。因此根据诺木洪田格里地区路线地质调查 L1(图 1)来探讨本区土壤硒的成因和来源。

地质路线上出露的湖积层位在垂向上可划分为三层,上部为土黄色黏土;中上部为水平层理清晰的青灰色黏土,在局部地段可见灰褐色黏土层,含大量黑色腐殖质及生物碎屑;下部为棕黄色黏土层,局部有粉砂透镜体。在整条路线共采集湖积母质 22 件,上部土黄色黏土层 8 件样品的 Se 含量均值为 1.147×10^{-6} ,最大值为 3.57×10^{-6} ;中部青灰色黏土层 8 件样品 Se 含量均值为 0.735×10^{-6} ,最高值为 1.983×10^{-6} ;青灰色—灰褐色黏土透镜体中 2 件样品 Se 含量分别为 0.744×10^{-6} 和 2.37×10^{-6} ;下部棕黄色黏土 3 件样品中 Se 含量均值为 0.366×10^{-6} ,最大值为 0.563×10^{-6} 。湖积物中硒含量高,富硒土壤的硒来自于第四系湖积物。

4.2 表生地球化学环境

研究区土壤硒主要来自第四系湖积母质,但是表生地球化学环境也是影响土壤硒富集的关键因素。诺木洪富硒区处于洪积扇扇缘沉积相及湖相沉积的过渡带上,硒主要来源于湖相沉积层,洪积扇扇缘细土绿洲带硒的高含量与其垂向迁移有关,从本区硒的水平和垂向分布特征可以看出,Se 与 Cl、S、 Na_2O 等均有在表层集聚的特征,在测区极度干旱的气候条件下,硒等元素随着强烈的蒸发,通过毛细作用迁移至地表,形成富集;此外,硒更倾向于富集在黏土中,这是由于黏土中有机质含量较高,为硒的赋存提供了保存条件。

5 硒的生态效应

在诺木洪按照 3~4 点/ km^2 密度采集了 200 件枸杞,枸杞采集选择健康植株 5~10 株分上、中、下层均匀组合采集,并同点采集根系土样品。诺木洪枸杞硒含量范围为 $0.026 \times 10^{-6} \sim 0.162 \times 10^{-6}$,平均值为 0.051×10^{-6} 。依据柴达木枸杞干果富硒建议标准(表 1),共有 83 件枸杞样品达到富硒产品标准,富硒率 41.5%,富硒样本 90% 分布于研究区北部富硒土壤区域(图 1),枸杞 Se 与根系土壤 Se 呈显著正相关关系,相关系数为 0.47(图 5),表明本区天然富硒土壤是产出富硒枸杞的有利条件。按照绿色食品卫生标准、食品中污染物限量标准^[29-30],200 件枸杞样本中 4 种重金属 Pb、Hg、Cd、As 含量均不超标,说明研究区产出的富硒枸杞安全性高,绿色无污染。

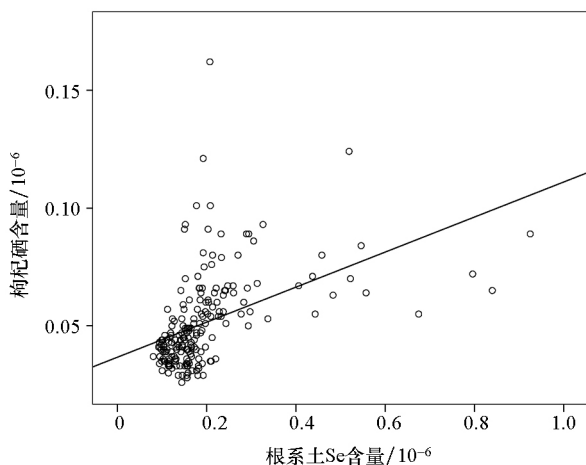


图 5 诺木洪枸杞硒与根系土硒的关系

Fig.5 Relation of selenium content between wolfberry and root soil in Numhon

6 结论

1) 在诺木洪地区探明富硒土壤 413.6 km^2 ,其中富硒耕地 21.3 km^2 ,富硒林草地 392.3 km^2 。富硒土壤主要分布于研究区北部,硒含量在 $0.23 \times 10^{-6} \sim 2.8 \times 10^{-6}$ 之间,平均值为 0.47×10^{-6} 。

2) 诺木洪富硒土壤中 Ca、Mg、Mo、S、Fe 等养分元素含量相对丰富,Cd、Hg、Pb、As、Cu、Zn 等重金属元素含量极低,土壤环境十分清洁,为绿色富硒土壤。

3) 诺木洪富硒区处于典型湖相的表生地球化学环境,土壤硒来源于第四系湖积母质,成盐作用、土壤粒度、有机质含量等对硒的迁移和富集有显著影响。

4) 研究区枸杞清洁无污染,富硒比例高,与土壤硒显著正相关,具有较大的开发利用前景。

致谢:在研究过程中得到了中国地质调查局、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质大学(北京)、青海省地质调查局、青海省地质矿产勘查开发局、青海省第五地质勘查院等单位相关领导和专家的悉心指导,以及“都兰县绿洲农业生态地球化学评价”项目组的大力支持,样品测试工作由自然资源部合肥矿产资源监督检测中心完成,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] 朱文郁,谭见安,陆毅伦,等.云南省楚雄地区克山病与环境中硒等生命元素关系的动态研究[J].地理学报,1992,47(5):410-418.

ship between developments of keshan disease and selenium and life elements in the eco-environment in Chu xiong area of Yun nan province[J].Acta geographical science,1992,47(5):410-418.

[2] 谭见安,朱文郁,李日邦,等.克山病与环境硒等生命元素的关系[J].中国地方病学杂志,1991,7(5):15-20,62.

Tan J N,Zhu W Y,Li R B,et al. The relationship between developments of keshan disease and selenium and life elements in the eco-environment [J]. Chinese Journal of Endemiology, 1991, 7 (5):15-20,62.

[3] 张勇胜,李仁兰,刘妍,等.硒对人体健康作用的研究进展[J].内科,2018,13(4):623-625,662.

Zhang Y S,Li R H, Liu Y,et al. Research progress on the effect of selenium on human health[J].Internal Medicince of China,2018, 13(4):623-625,662.

[4] 许月明,张爽,许凌凌,等.硒与人体健康[J].科技视界,2018,1(14):135-136.

Xu Y M,Zhang S,Xu L L,et al. Selenium and human health[J]. Science & Technology vision,2018,1(14):135-136.

[5] 刘莉,刘毅.微量元素硒与人体健康[J].黑龙江科学,2014,5(6):16-17.

Liu L,Liu Y.Trace element selenium and human health[J].Hei-longjiang Science,2014, 5(6): 16-17.

[6] 曾静,罗海吉.微量元素硒的研究进展[J].微量元素与健康研究,2003,20(2):52-56.

Zeng J,Luo H J.Research progress of trace element selenium[J]. Studies of Trace Elements and Health,2003,20(2):52-56.

[7] 尹红星,张殊佳,邓学仿,等.硒的抗肿瘤作用研究综述[J].大连大学学报,2008,29(6):18-25.

Yin H X,Zhang S J,Deng X F,et al. A review of the antitumor effect of selenium[J].Journal of Dalian University,2008,29(6): 18-25.

[8] 布和敖斯尔,张东威,刘力.土壤硒区域环境分异及安全阈值的研究[J].土壤学报,1995,32(2):186-193.

Buber A,Zhang D W,Liu L. Region alenvir on mental differentiation and regional safety threshold of soil selenium [J].Acta Ped-ologica Sinica,1995,32(2):186-193.

[9] 杨忠芳,余涛,侯青叶,等.海南岛农田土壤 Se 的地球化学特征[J].现代地质,2012,26(5):837-849.

Yang Z F,Yu T,Hou Q Y,et al. Geochemical characteristics of se-lenium in farmland of Hainan Island [J].Geoscience, 2012, 26 (5):837-849.

[10] 奚小环.多目标的地质大调查——21 世纪勘查地球化学的战略选择[J].物探与化探,2007,31(4):283-288.

Xi X H. Multipurpose comprehensive geological survey;the strate-gic choice exploration geochemistry in 21St century [J].Geophys-ical & Geochemical Exploration,2007,31(4):283-288.

[11] 魏振山,涂其军,唐蜀虹,等.天山北坡乌鲁木齐至沙湾地区富硒土壤地球化学特征及成因探讨[J].物探与化探,2016,40(5):893-898.

Wei Z S,Tu Q J,Tang S H,et al. A discussion on the geochemical features and origin of selenium-rich soil on the northern slope of the Tianshan Mountain from Urumqi to Shawan County [J]. Geophys-ical & Geochemical Exploration, 2016,40(5):893-898.

[12] 王丽华,马德贵.青海柴达木盆地发现 544.1 平方公里富硒土壤资源[J].青海国土经略,2018,1(3):37.

Wang L H,Ma D G. Discovery of 544.1 square kilometers of sele-nium-rich soil resources in Qaidamu Basin, Qinghai Province[J]. Management & Strategy of Qinghai Land & Resources, 2018,1 (3):37.

[13] DB36 /T 566-2009 富硒食品硒含量分类标准[S].

DB36 /T 566-2009 Classification standard of selenium content in selenium rich food[S].

[14] DB63 /T 1147-2012 东部农业区农畜产品硒含量分级标准[S].

DB63 /T 1147-2012 Classification standard of selenium content in agricultural and livestock products in eastern agricultural region [S].

[15] 沈晓,姬丙艳,杨映春,等.青海省都兰县绿洲农业生态地球化学评价[R].西宁:青海省第五地质勘查院,2018.

Shen X,ji B Y,Yang Y C,et al. Evaluation of ecological geochem-istry of Dulan county, Qinghai Province[R]. Xining:The Fifth Ge-ological Exploration Institute of Qinghai Province,2018.

[16] 魏复盛,杨国治,蒋德珍,等.中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J].中国环境监测,1991,7(1):1-6.

Wei F S,Yang G Z,Jiang D Z, et al. Basic statistics and charac-teristics of background values of soil elements in China[J]. Envi-ronmental Monitoring in China,1991,7(1): 1-6.

[17] DZ/T0295-2016 土地质量地球化学评价规范[S].

DZ/T0295-2016 Specification of land quality geochemical assess-ment [S].

[18] GB15618-2018 土壤环境质量标准[S].

GB15618-2018 Soil environment quality standard [S].

[19] 高宇,刘志坚.宁夏长山头富硒区土壤硒地球化学特征研究[J].地球与环境,2017,45(6):628-633.

Gao Y,Liu Z J.Geochemical characteristics of soil selenium in se-lenium-rich area in Changshantou, Ningxia Province [J]. Earth and Environmen,2017,45(6):628-633.

[20] 张湘如,樊启顺,魏海成,等.青海察尔汗盐湖碳酸盐的硼同位素地球化学特征[J].地质学报,2017,91(10):2299-2308.

Zhang X R,Fan Q S,Wei H C,et al. Geochemical characteristics of boron isotopes of carbonate in Chaerhan Salt Lake, Qinghai Province[J].Acta Geological Sinica, 2017, 91(10):2299-2308.

[21] 蒋宏忱.盐湖地球化学、第四纪及地质微生物学专刊编后语[J].盐湖研究,2016,24(2):102.

Jiang H Z.The special issue postscript of salt lake geochemistry、quaternary and geological microbiology [J].Journal of Salt Lake Research,2016,24(2):102.

[22] 吕苑苑,郑绵平.盐湖硼、锂、锶、氯同位素地球化学研究进展[J].矿床地质,2014,33(5):930-944.

Lyv Y Y,Zhen J P.Progress in study of isotopic geochemistry of bo-ron,lithium,strontium and chlorine in salt lakes[J].Mineral De-posits,2014,33(5):930-944.

[23] 胡东生.青海察尔汗盐湖微量元素地球化学[J].西北地质,1989,1(4):37-43.

Hu D S.Geochemical characteristics of trace elements of Chaerhan salt lake, Qinghai Province [J]. Northwestern Geology, 1989, 1

(4);37-43.

[24] 段振豪.青海柴达木盆地察尔汉盐湖钾镁盐的形成及地球化学的初步研究[C]//中国地质学会,1984.

Duan Z H.A primary study on the formation and Geochemical characteristics of potassium and magnesium salt in the Chaerhan salt lake, Qaidam Basin, Qinghai Province [C]//Geological Society of China,1984.

[25] 王美珠,章明奎.我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,1996,22(1):89-93.

Wang M Z,Zhang M K. A preliminary study on the Genesis of some soils with high selenium and low selenium in China [J].Journal of Zhejiang Agricultural University: Agriculture and Life Science,1996,22(1):89-93.

[26] 宋明义,刘建新,黄春雷,等.浙北富硒土壤地球化学特征与生物学效应[J].广东微量元素科学,2012,19(3):32-38.

Song M Y,Liu J X,Huang C L,et al. Geochemical characteristics and biological effects of selenium-rich soil in northern Zhejiang Province.[J].Guangdong Weiliang Yuansu Kexu,2012,19(3):32-38.

[27] 郦逸根,董岩翔,郑洁,等.浙江富硒土壤资源调查与评价[J].第四纪研究,2005,25(3):323-330.

Li Y G,Dong Y X,Zhen J,et al. Selenium:Abundant soil survey and assessment in Zhejiang[J].Quaternary Science,2005,25(3):323-330.

[28] 宋明义,周宗晓,董学发,等.宁波市富硒土壤资源调查与开发利用研究[J].广东微量元素科学,2013,20(2):19-25.

Song M Y,Zhou Z X,Dong X F,et al.Investigation of Se-rich resource in Ningbo and its development use research[J].Guangdong Weiliang Yuansu Kexu,2013,20(2):19-25.

[29] GB2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].

GB2762-2017 National food safety standard Maximum levels of contaminants in foods[S].

[30] NYT1051—2014 绿色食品-枸杞及枸杞制品[S].

NYT1051—2014 Greed food-Wolfberry and its products[S].

Geochemical characteristics of selenium in the oasis agricultural area of Qaidam Basin, Qinghai Province: Exemplified by Nomhon oasis

JI Bing-Yan, SHEN Xiao, YAO Zhen, TIAN Tao, MA Feng-Juan, QIU Yu
(The Fifth Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Xining 810099, China)

Abstract: Through systematic sampling and analysis of soil and crop samples in Nomhon oasis agricultural area of Qaidam basin, Qinghai Province, the geochemical characteristics of selenium, source of selenium, ecological effects of selenium-enriched Lycium barbarum and its development and utilization prospects were identified. The results show that the selenium-rich soil area is 413.6 square kilometers, and the selenium content ranges from 0.23×10^{-6} to 2.8×10^{-6} , with an average of 0.47×10^{-6} . Selenium-rich soil is alkaline with rich fertility elements and clean soil environment. The source of soil selenium in the study area is Quaternary lacustrine sediments, and the salinization, soil particle size and organic matter content have significant effects on the migration and enrichment of selenium. Wolfberry in Nomhon is clean and pollution-free and has a high proportion of rich selenium, which has a significant positive correlation with soil selenium, and has a great prospect of exploitation and utilization.

Key words: Nomhon; selenium-rich soil; origin; selenium-rich wolfberry; ecological effect

(本文编辑:蒋实)