

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.04.020

克山病高发区土壤-农作物硒元素特征研究

赵君^{1,2,3}, 张哲寰^{3,4}, 穆华一^{2*}, 王鑫², 梁帅^{3,4}

- (1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;
3. 中国地质调查局黑土地演化与生态效应重点实验室, 辽宁 沈阳 110000;
4. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110000)

摘要:克山病是一种原因不明的心肌病, 传统认为克山病与土壤中微量元素缺乏硒或重金属超标有关。借助东北黑土地调查, 笔者在克山县全县开展了土地质量调查, 结果表明克山县地区土壤硒含量适量, 且克山病高发区存在富硒土壤和富硒农作物, 与传统认为克山病区土壤缺硒的认识相悖, 此研究为克山病机理研究提供新素材和方向。

关键词:克山病; 高发区; 土壤硒异常带; 农作物足硒; 新认识

中图分类号: P66

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2021)04-0250-09

Study on Selenium in Soil and Crops in the High Incidence Areas of Keshan Disease

ZHAO Jun^{1,2,3}, ZHANG Zhehuan^{3,4}, MU Huayi^{2*}, WANG Xin², LIANG Shuai^{3,4}

- (1. National Geological Experiment and Testing Center, Beijing 100037, China; 2. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory of Black Soil Evolution and Ecological Effects, China Geological Survey, Shenyang 110000, Liaoning, China; 4. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110000, Liaoning, China)

Abstract: Keshan disease is an unexplained cardiomyopathy. It is traditionally believed that Keshan disease is related to the selenium lack or the excess of heavy metals in the soil. A land quality survey of black soil in the whole Keshan County shows that the content of soil selenium in this area is moderate. In the high incidence areas of keshan disease, however, there are selenium-rich soils and selenium-rich crops, which is contrary to the traditional understanding of the disease. This study provides new material and directions for further research into the Keshan disease.

Keywords: Keshan disease; high incidence areas; soil selenium abnormal zone; crop selenium; new understanding

克山病是一种原因不明的心肌病(朱延河, 2009), 亦称地方性心肌病, 因其于1935年在中国黑龙江省克山县发现, 故命名克山病。截至2015年底, 克山病分布在中国16个省市自治区328个县

(卫生和计划生育委员会, 2016; 颜超, 2017), 在中国地理上形成一条由东北向西南延伸的宽带(杨建元, 2014)。中国科学院按克山病的分布特点, 在中国划分出3个带(环境与地方病组, 1981)(图1), 即横跨

收稿日期: 2021-03-15; **修回日期:** 2021-06-09

基金项目: 中国地质调查局“松嫩平原北部平原及丘陵区1:25万土地质量地球化学调查”(DD20160315-02)。

作者简介: 赵君(1981-), 男, 高级工程师, 主要从事地球化学调查研究工作。E-mail: 28611635@qq.com。

*** 通讯作者:** 穆华一(1974-), 女, 讲师, 研究方向: 地球系统科学研究。E-mail: 1517993978@qq.com。

中国通过齐齐哈尔、西安的东北向克山病发病带和其两侧的非病带。

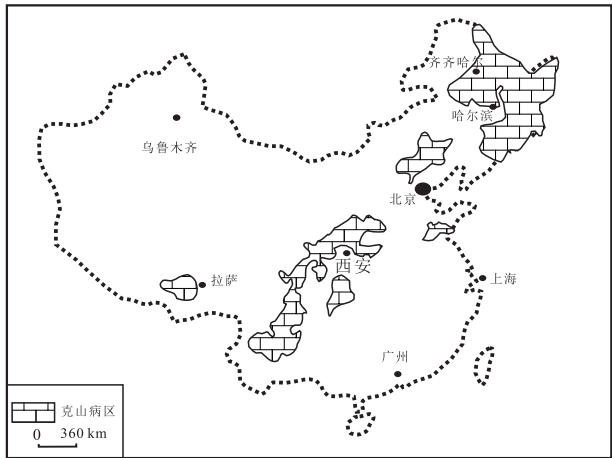


图 1 全国克山病发病区域(据环境与地方病组,1981)

Fig. 1 Keshan disease incidence areas in the country

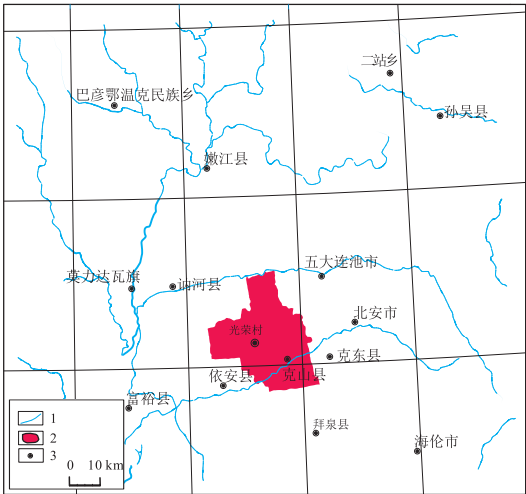
前人通过对中国主要克山病区的调查采样分析进行多元素筛选,证实病区粮食硒含量普遍偏低,病区土壤、头发中含硒量也偏低,中国科学院地理研究所环境与地方病组研究人员根据硒的化学地理特征,明确提出了低硒带的概念(中国科学院地理研究所环境与地方病组,1979;李海蓉等,2017)。后经过补充调查,证实中国存在一条自然环境低硒带,其分布与克山病、大骨节病分布相吻合(中国科学院地理研究所环境与地方病组,1982,1986)。因此认为克山病的发生主要分布于低硒地区(韩峰,2013;谭见安 1991;陈健,2019;颜超 2017)。同时低硒地区居民硒含量的补充,对急性或亚急性克山病的预防有显著的效果,由此认为内外环境低硒是该病发病的主要因素(宋丽娜,2017;约翰逊,2000)。

自 2016 年起,中国地质调查局沈阳地质调查中心在松嫩平原北部开展多目标地球化学调查,首次在克山县全境开展土地调查,系统了解全县土地质量和研究土壤硒元素的分布特征。笔者于 2017 年在克山病高发区光荣村通过加大土壤采集密度和采取农作样本,对克山病高发区土壤和农作物硒元素做进一步研究,为研究克山病病因研究提供佐证。

1 研究区概况

克山县位于黑龙江省西部、齐齐哈尔地区东北部,东接克东县,南邻拜泉县,西连依安县,北隔讷谟尔河

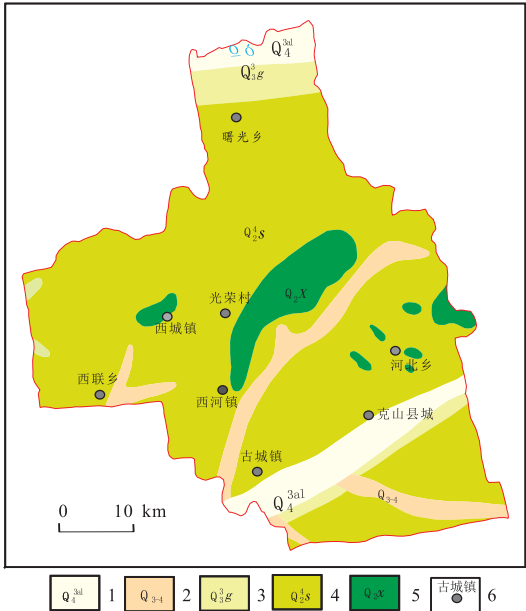
与讷河市相望,东北同五大连池市毗邻,隶属于中国黑龙江省齐齐哈尔市,总面积为 3 320 km²(图 2)。克山县位于小兴安岭西南缘,松嫩平原东北部的讷谟尔河、乌裕尔河谷地及其分水岭地带,山脉伸向平原的过渡痕迹明显。克山县第四系主要分布有上更新统顾向屯组、中更新统上荒山组和下荒山组(图 3)。



1. 河流; 2. 克山县范围; 3. 地名

图 2 克山县位置图

Fig. 2 Location map of Keshan county



1. 第四纪全新统冲积层; 2. 上更新统一全新统冲击层; 3. 上更新统顾乡屯组; 4. 中更新统上荒山组; 5. 中更新统下荒山组; 6. 地名

图 3 克山县第四系地质图

Fig. 3 Geological map of Quaternary in Keshan County

克山病高发区在光荣村,该村位于黑龙江齐齐哈尔市克山县中部。据调查 1935 年冬季光荣村共有人口 286 人,其中男性 205 名,女性 81 名,在短短的 2 个月,因患克山病死亡人数达 36 名,为克山县克山病的高发区(李丽荣,1995;郭少林,2000)。

2 土壤采集与测试

2016 年 8 月笔者在克山县进行土壤采样,采样控制面积约为 3 236 km²。采用网格布点,共采集表层土壤样品 3 236 个,采样深度为 0~20 cm,采样密度为 1 点/km²,原始样品重量大于 1 kg,4 个样品组合分析共 809 个样品。在光荣村采集土壤样品 96 件(非组合样),各类农作物样品 26 件(非组合样)。

样品测试由辽宁地质矿产研究所测试^①,元素及氧化物分别为 Al₂O₃、Cr、Ga、K₂O、Nb、P、Pb、V、Rb、SiO₂、Ti、Y、Cl、Zr、Br、Cu、Ba (CaO、Co、TFe₂O₃、MgO、Mn、Na₂O、Ni、Sr、Zn),采用 X 射线荧光光谱法(XRF)分析方法;元素 Ag、B、Sn(Mo)采用发射光谱法(AES);元素 Cd、Mo、U、Th、TL、Bi、Ge、W(Ga、Rb、Nb、Pb、Cr、Y、Cu、Ce)采用等离子体质谱法(ICP-MS);元素 As、Sb、Hg、Se 采用原子荧光光度法(AFS);元素 Be、CaO、Ce、Co、

TFe₂O₃、La、Li、MgO、Mn、Na₂O、Ni、Sc、Sr、Zn (Al₂O₃、Ti、Ba、K₂O、V)等采用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)法。

土壤样品元素报出率除 Br 99.35% 和 Au 99.99%外,其余元素均为 100%。统计 392 件重复样及其原样相对误差合格率:其中,Cl、Hg、S、Se 等 4 种元素合格率为 92%~95%;Ag、As、Au、B、Be、Bi、Br、CaO、Cd、Ce、Co、Ge、Mo、Ni、Pb、Sn、Th、Tl、U、W 等 19 种元素合格率为 95%~98%;Al₂O₃、Ba、F、TFe₂O₃、K₂O、N、Rb、SiO₂、Sr、Ti、Y、Zr 等 12 种元素合格率为 100%;其余 18 种元素和 pH 值合格率在 98%~100%。

3 结果与分析

3.1 克山县地区土壤硒地球化学特征

由克山县地质图可见(图 3),克山县第四系主要分布中更新统上荒山组,其次为下荒山组。通过对该县 1:25 万土地质量调查,分析了 54 种元素,根据光磊等(2004)研究选择其中与克山病相关的元素,统计出 2 组地层相关元素特征表(表 1、表 2)^①。

克山县土壤类型主要为黑土和草甸土^①,其中大部分为黑土,土地利用主要为旱耕地,农作物主要为小麦玉米等。

表 1 上荒山组相关元素特征表
Tab. 1 Characteristics of relevant elements of Shanghuangshan Formation

项目	平均值	中位数	标准离差	变化系数	最大值	最小值	划分结果
Ba	597.95	599.00	26.35	0.04	783.00	502.00	—
Ge	1.22	1.22	0.13	0.11	1.74	0.75	较缺乏
Se	0.25	0.25	0.04	0.16	0.41	0.10	适量
Zn	64.96	65	7.279	0.112	86.8	44.6	适量
Mn	702.59	692.00	111.10	0.16	1 635.00	376.00	丰富
Cd	0.09	0.09	0.02	0.22	0.32	0.03	清洁
MgO	1.44	1.46	0.13	0.09	1.68	0.88	适量
Na ₂ O	1.39	1.39	0.09	0.06	1.74	1.02	较缺乏
K ₂ O	2.43	2.44	0.08	0.03	2.84	1.97	较丰富
PH	6.40	6.39	0.30	0.04	8.1	5.5	—

注:氧化物含量为 10⁻²,其余元素含量为 10⁻⁶(据生态环境部国家市场监督管理总局,2018;中国人民共和国国土资源部,2016)。

①赵君,张哲寰,杨佳佳,等. 松嫩平原北部 1:25 万土地质量地球化学调查报告. 沈阳:沈阳地质调查中心,2019。

表 2 下荒山组相关元素特征表

Tab. 2 Characteristics of related elements in the Xiahuangshan Formation

项目	平均值	中位数	标准离差	变化系数	最大值	最小值	划分结果
Ba	571.06	574.00	26.57	0.05	625.00	497.00	
Ge	1.17	1.16	0.12	0.10	1.42	0.89	缺乏
Se	0.20	0.21	0.04	0.18	0.28	0.12	适量
Zn	61.00	60.30	10.32	0.17	91.10	33.60	较缺乏
Mn	657.87	672.00	73.89	0.11	823.00	495.00	较丰富
Cd	0.10	0.09	0.02	0.24	0.16	0.05	清洁
MgO	1.26	1.27	0.13	0.10	1.51	0.96	中等
Na ₂ O	1.35	1.36	0.10	0.07	1.57	1.13	较缺乏
K ₂ O	2.35	2.36	0.1	0.04	2.57	2.09	较丰富
PH	6.08	6.08	0.27	0.04	6.74	5.04	

注:氧化物含量为 10^{-2} ,其余元素含量为 10^{-6} (据生态环境部国家市场监督管理总局,2018; 中华人民共和国国土资源部,2016)。

由表 1、表 2 可见,上荒山组和下荒山组主要微量元素含量差异不大。上荒山组硒等主要元素呈适量状态,土地清洁。克山病高发区光荣村位于克山县西部,即位于上荒山组内。

由克山县地区 Se 地球化学图可见(图 4),克山县土壤硒呈现西高东西形态,分布 3 条近北东向异常带:①北兴镇-曙光乡-西城镇-西联乡硒异常带。该带位于克山县西北部,长度大,强度高,高发区光荣村位于该异常带内。②河北乡-古城镇异常带。位于克山县中部地区,长度和强度都弱与上部异常

带。③河南乡-双河乡异常带。位于克山县东南部地区,长度和强度都为最小。

3.2 高发区土壤和农作物含量特征

为进一步研究高发区内土壤和农作物硒含量特征,在光荣村采集了土壤样品和农作物,取样范围为:东经 $125^{\circ}35'25''\sim 125^{\circ}36'23''$,北纬 $48^{\circ}09'00''\sim 48^{\circ}11'53''$,面积约为 23.0 km^2 。其中农作物采样点实际包含同点位根系土样品(图 5)。

3.2.1 高发区元素特征

该区分布于西河镇上荒山组内,位于黑土中。在土壤中分析了农业有益元素、重金属元素、氧化物及特色有益元素等,包括 S、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 TFe_2O_3 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、Cr、Pb、Cu、B、Co、Ni、Zn、Mo、Cd、Mn、V、As、Hg、Se、TC、Corg、pH 等。样品由辽宁地质矿产研究所测试测试,各元素与氧化物测试方法与 1:25 万土壤样品相同。该区分布于山前台地、二级阶地中,为冲洪积物。土壤分析结果见高发区周边土壤元素特征表(表 3)。

由表 3 可见,高发区土壤中主要微量及氧化物元素丰富较丰富的有 Mn、V、N、Cu、 TFe_2O_3 、 K_2O ,适量的元素有 Zn、Mo、Se、 CaO 、 MgO 。值得注意的是,该区土壤主要重金属均在适当范围内,不具备微量元素引发克山病的异常条件。

3.2.2 高发区土壤 Se 分布特征

根据区内土壤 Se 含量分布,圈定硒地球化学图(图 6)。由图 6 可见,整体 Se 呈现南北高、中部低形态。高发区光荣村位于 Se 低值区内,该村南部和

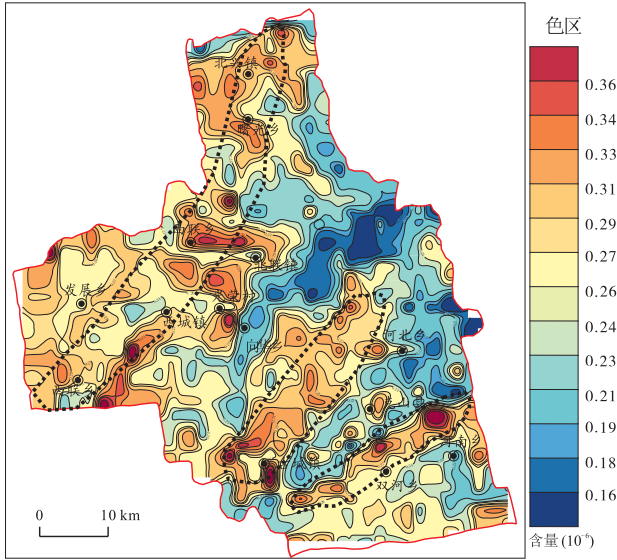
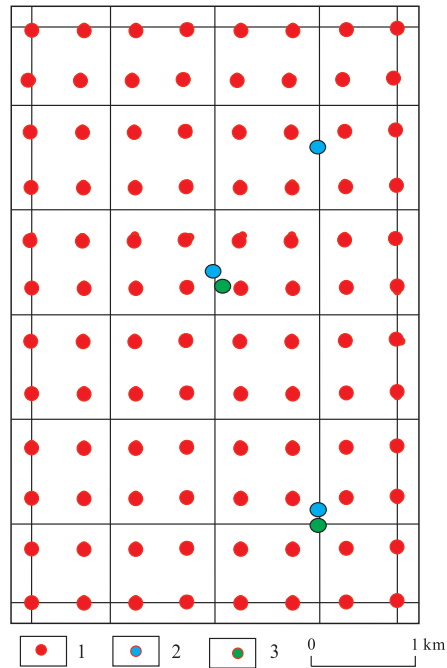


图 4 克山县表层土壤硒地球化学图

Fig. 4 Geochemical map of surface soil selenium in Keshan county



1. 土壤采样点; 2. 农作物采样位置; 3. 土壤垂向剖面

图 5 克山病高发区采样点位分布图

Fig. 5 Distribution of sampling points in the high-risk area of Keshan disease

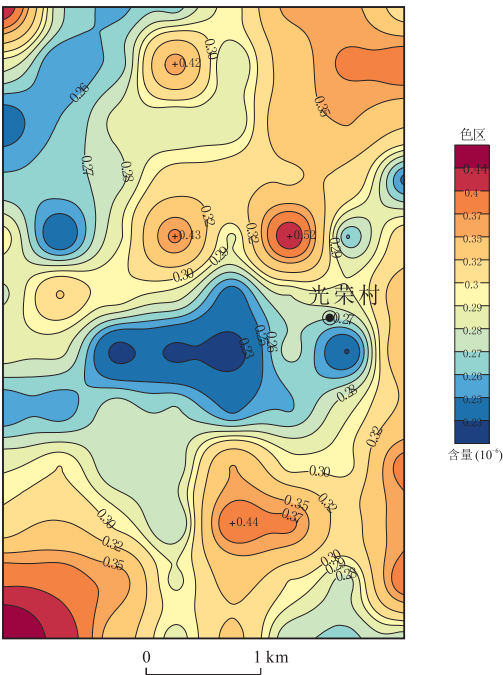


图 6 高发区土壤 Se 地球化学图

Fig. 6 Geochemical map of soil Se in high-prone areas

表 3 高发区周边土壤元素特征表
Tab. 3 Element characteristics of high-prone areas

项目	平均值	中位数	标准离差	变化系数	最大值	最小值	划分结果
B	34.27	34.96	7.74	0.23	51.02	18.46	较缺乏
Co	15.01	14.70	2.44	0.16	21.80	10.40	—
Ni	32.13	32.05	2.24	0.07	37.10	25.70	—
Zn	63.48	63.35	5.27	0.08	78.30	48.20	适量
Mo	0.63	0.62	0.11	0.17	1.18	0.34	适量
Cd	0.07	0.08	0.01	0.18	0.14	0.04	清洁
Mn	785.42	772.00	129.70	0.17	1 136.00	485.00	丰富
V	96.66	96.40	5.45	0.06	113.00	82.30	丰富
As	12.15	12.10	1.13	0.09	20.80	9.17	—
Hg	0.03	0.03	0.00	0.09	0.06	0.00	清洁
N	2 348.14	2 348.50	315.13	0.13	3 078.00	1 425.00	丰富
Cr	66.18	66.10	3.10	0.05	90.20	53.50	清洁
Cu	24.21	24.20	1.17	0.05	29.40	19.90	较丰富
CaO	1.31	1.31	0.12	0.09	1.91	0.87	适量
MgO	1.25	1.25	0.07	0.06	1.39	0.87	适量
TFe ₂ O ₃	5.27	5.28	0.24	0.05	6.80	4.33	较丰富
Na ₂ O	1.54	1.56	0.12	0.08	1.77	0.96	较缺乏
K ₂ O	2.418	2.42	0.071	0.029	2.56	1.85	较丰富
Ph	5.80	5.78	0.19	0.03	6.96	5.26	弱酸性

注:氧化物含量为 10⁻²,Ph 无量纲,其他元素含量为 10⁻⁶(据生态环境部国家市场监督管理总局,2018;中国人民共和国国土资源部,2016)。

西部均为 Se 低值区,以 Se 小于 0.25×10^{-6} 圈定低值区,低值区面积为 0.1 km^2 ,最小值为 0.19×10^{-6} ;西部低值区面积为 0.90 km^2 ,最小值为 0.19×10^{-6} 。以 Se 大于 0.36×10^{-6} 圈定高值区,光荣村北部均为 Se 高值区,最大值为 0.52×10^{-6} 。

高发区土壤硒存在高值区和低值区,值得注意的是存在 Se 大于 0.4×10^{-6} 的富硒土壤,这与以往认为克山病区土壤均有贫硒的认识相悖。

3.2.3 高发区土壤硒深度变化趋势

为研究硒元素随深度的变化趋势,在光荣村附近取了 2 个剖面(图 5),2 个剖面变化曲线图见图 7。

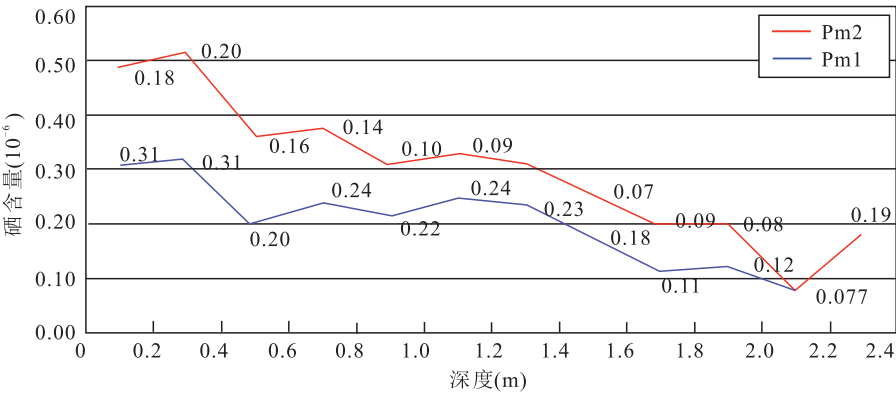


图 7 剖面 1、2 土壤中 Se 随深度变化曲线图

Fig. 7 The variation curve of Se in soil with depth in section 1、2

由图 7 可见,该区 Se 随深度的增加 Se 含量逐渐降低,在 2 m 深度左右出现最低值,2 m 后含量增加可能与深度地质体有关。表层 Se 相对较高,应与地表次生富集或土壤施肥有关。

3.2.4 高发区土壤硒的形态特征

食物链中硒主要来源于土壤,而土壤中硒的赋存形态决定着农作物吸收硒的能力(魏然,2012)。已有研究显示,土壤硒形态大致可分为水溶态、离子交换态、碳酸盐态、腐殖酸态、铁锰氧化物结合态、有机物结合态、残渣态等(秦海波,2008;瞿建国,1997;沈燕春,2011;樊海峰,2006)。

基于生物可利用性考虑,水溶态和离子态被化为可利用态,碳酸盐结合态和铁锰氧化物结合态 Se 是可利用态 Se 的直接来源,可划为潜在可利用态;而腐殖酸结合态、有机结合态和残渣态 Se 可划为不可利用 Se。

该区土壤中硒的价态主要有水溶态、离子态、碳酸盐态、腐殖酸态、铁锰氧化物结合态、强有机质态和残渣态组成,各态含量差异较大,以残渣态和强有机质态最多(图 8)。

由图 8 可见,区内硒形态为残渣态>腐殖酸态>强有机态>离子态>碳酸盐态>水溶态>铁锰结合态。

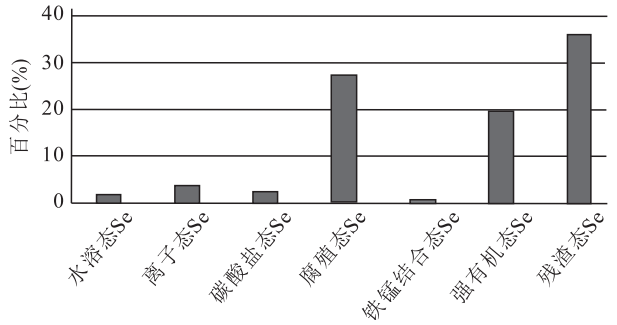


图 8 高发区土壤硒形态含量图

Fig. 8 Soil selenium form content map in high-prone areas

统计该区可利用态 Se、潜在可利用态 Se、不可利用 Se 含量得出该区 Se 以不可利用态为主,占据全量 Se 的 90.37%,可利用 Se 仅为 6.03%,可利用和潜在利用 Se 占据全量 Se 的 9.63%。目前黑龙江黑土区该比例的研究和报道较少,但与浙江、青海和吉林土壤耕作层中土壤硒相比,其中不可利用态 Se、可利用态 Se 比例持平(酆逸根,2007;宋晓珂 2017;付强,2014)。

3.2.5 高发区农作物元素含量

在高发区克山县西城镇光荣村附近采集了该区的主要农作物和根系土样品,采集了大豆、水稻和玉米样品(表 4)。

表 4 克山县光荣村农作物元素表
Tab. 4 Table of crop elements in Guangrong Village, Keshan County

农作物	样品编号	Zn	Ge	Se	Cd	Cr	Pb
玉米	NZYM01	13.0	1.13	0.019	5.22	0.54	0.03
	NZYM02	12.9	1.34	0.013	2.45	0.33	0.04
	NZYM03	12.8	1.25	0.014	1.94	0.34	0.03
	KSNZ01-1	17.6	1.98	0.014	2.33	0.12	0.07
	KSNZ03-01	14.7	1.57	0.016	3.26	0.12	0.10
	KSNZ04-1	10.6	1.01	0.028	3.28	0.11	0.09
	KSNZ05-1	20.5	0.4	0.021	2.4	0.12	0.11
	KSNZ06-1	18	0.79	0.026	2.8	0.11	0.17
	KSNZ08-1	17.6	0.5	0.025	2.68	0.1	0.08
	KSNZ010-1	13	0.99	0.048	3.06	0.11	0.05
	平均值	15.07	1.10	0.02	2.94	0.20	0.08
	含量	适中	适中	适中	适中	适中	适中
水稻	KSNZ05-3	14.9	0.73	0.035	4.52	0.1	0.04
	KSNZ07	16	3.63	0.052	3.31	0.1	0.06
	KSNZ09	18.5	2.0	0.028	3.27	0.1	0.06
	平均值	16.47	2.12	0.038	3.70	0.10	0.05
	品质	适中	适中	足硒	适中	适中	适中
大豆	NZDD01	34.4	1.58	0.043	42.7	0.41	0.04
	NZDD02	34.0	1.45	0.018	28.7	0.42	0.03
	NZDD03	33.8	1.26	0.031	21.9	0.41	0.03
	KSNZ01-2	39.2	1.93	0.039	20.1	0.13	0.07
	KSNZ02	35.6	1.48	0.043	28.5	0.13	0.09
	KSNZ03-02	34.4	0.46	0.038	23.9	0.12	0.10
	KSNZ04-2	47.7	0.35	0.057	26.1	0.12	0.05
	KSNZ05-2	43.1	0.46	0.043	28.1	0.15	0.14
	KSNZ06-2	42.4	1.47	0.06	35.5	0.19	0.20
	KSNZ08-2	38.9	1.73	0.038	24	0.13	0.05
	KSNZ010-2	37.3	0.55	0.053	29.8	0.13	0.05
	平均值	38.25	1.16	0.04	28.12	0.21	0.08
	品质	适中	适中	富硒	适中	适中	适中

注: Cd 含量为 10^{-9} , 其余含量为 10^{-6} (据中华人民共和国农业部, 2005)。

由表 4 可见,克山地区玉米、水稻和大豆农作物 Zn、Ge、Se 微量元素含量适中, Cd、Cr、Pb 等均不超标,属于绿色食品。3 种作物对上述元素的吸收能力不用,其中大豆对每种元素的吸收能力都为最强,其次是水稻,最差为玉米。

值得注意的是,3 种作物有益元素含量整体均较高,大豆中富硒大豆出现;水稻样品整体硒含量为 0.038×10^{-6} ,为足硒;玉米的 Se 元素相对较低,为绿色食品,其他元素等均在正常农作物范围。

4 讨论

克山病自发现距今已有近 80 年历史,前人研究认为克山病区硒元素含量普遍较低。20 世纪 70~90 年代,相关工作人员在克山病病区进行了大范围的投硒以预防克山病,包括食用硒盐、口服亚硒酸钠片及病区农作物喷硒,其对预防急型亚急型克山病的发病取得了明显效果(相有章,2008)。但由于大量服用含硒的药物、喷砂含硒的肥料,是否会逐渐增

高克山病区的土壤硒含量,还需进一步研究。

5 结论

(1)克山县土壤硒整体为硒适量,土壤硒随深度的增加含量逐渐降低,深部土壤硒的含量较低。

(2)克山病高发区土壤硒呈适量,且存在富硒土壤,与传统认为克山病区土壤普遍缺硒的认识相悖。高发区土壤中农作物可利用和潜在利用 Se 占全量 Se 的 9.63%,对农作物 Se 的吸收不利。

(3)克山病高发区农作物玉米、水稻和大豆主要重金属元素含量适中,普遍硒含量较高,存在富硒大豆。

综上所述,通过研究克山县全县土壤 Se 和高发区的土壤及农作物硒的含量,得出克山县地区土壤和农作物普遍不缺硒,甚至有富硒农作物。这与传统认为克山病地区为硒缺乏区相悖,初步可认为克山地区地质环境中硒与克山病的诱发没有直接联系,本次研究为进一步了解克山病因提供新的素材和新的研究方向。

参考文献(References):

朱延河. 克山病的病因研究进展[J]. 国外医学地理分册, 2009,30(4):496-498.

ZHU Yanhe. Research progress on the etiology of Keshan disease[J]. Foreign Medical Geography, 2009,30(4):496-498.

卫生和计划生育委员会. 中国卫生和计划生育统计年鉴[M]. 北京:中国协和医科大学出版社,2016,272-272.

Health and Family Planning Commission, China Health and Family Planning Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Peking Union Medical University Press,2016,272-272.

颜超. 克山病病情现状和病因学进展[J]. 心血管病学进展,2017,38(2):226-229.

YAN Chao. Current status of Keshan disease and progress in etiology [J]. Advances in Cardiovascular Diseases, 2017,38(2):226-229.

环境与地方病组. 我国克山病分布和以粮食低硒为表征的地理环境的关系[J]. 地理学报,1981,36(4):369-376.

Environment and Endemic Disease Group. The relationship between the distribution of Keshan disease in my country and the geographical environment characterized by low-selenium food[J]. Acta Geographica Sinica,1981,36(4):369-376.

中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国克山病的地理流行病学规律[J]. 地理学报,1979,34(2):85-103.

Environment and Endemic Disease Group. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Geographical Epidemiology of Keshan Disease in my country[J]. Acta Geographica Sinica, 1979,34(2):85-103.

李海蓉,杨林生,谭见安,等. 我国地理环境硒缺乏与健康研究进展[J]. 生物技术进展,2017,7(5):381-386.

LI Hairong, YANG Linsheng, TAN Jian'an, et al. Research progress on selenium deficiency and health in my country's geographical environment[J]. Biotechnology progress,2017,7(5):381-386.

中国科学院地理研究所环境与地方病组. 克山病与自然环境和硒营养背景[J]. 营养学报,1982,4(3):175-182.

Environmental and Endemic Disease Group. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Keshan disease and natural environment and selenium nutrition background[J]. Journal of Nutrition,1982,4(3):175-182.

中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国低硒带与克山病、大骨节病病因关系的研究[J]. 环境科学,1986,7(4):89-93.

Environmental and Endemic Disease Group. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Study on the relationship between the low-selenium belt in my country and the etiology of Keshan disease and Kashin - Beck disease[J]. Environmental Science,1986,7(4):89-93.

韩峰. 克山病控制中关键性问题分析[J]. 世界最新医学信息文摘,2013,13(34):183-184.

HAN Feng. Analysis of key issues in the control of Keshan disease[J]. Digest of the world's latest medical information,1986,7(4):89-93.

谭见安,朱文郁. 克山病与环境硒等生命元素的关系[J]. 中国地方病学杂志,1991,10(5):269-274.

TAN Jian'an, ZHU Wenyu. The relationship between Keshan disease and environmental selenium and other life elements[J]. Chinese Journal of Endemiology, 1991,10(5):269-274.

陈健. 克山病病情现状和病因学进展[J]. 临床医药文献杂志,2019,6(28):191-194.

CHEN Jian. Current status of Keshan disease and progress in etiology[J]. Journal of Clinical Medicine Literature, 2019,6(28):191-194.

颜超,方位,李小平,等. 克山病病情现状和病因学进展[J]. 心血管病学进展,2017,38(2):225-229.

YAN Chao, FANG Wei, LI Xiaoping, et al. Current status of Keshan disease and progress in etiology[J]. Advances in Cardiovascular Diseases,2017,38(2):225-229.

宋丽娜. 克山病病情监测结果及发病相关因素调查分析[J]. 中国初级卫生保健,2017,31(9):46-48.

SONG Lina. Investigation and analysis of the results of Kes-

- han disease monitoring and related factors[J]. Primary health care in China, 2017, 31(9): 46-48.
- 约翰逊. 河北张家口克山病带某些村庄局部环境中的硒分布[J]. 应用地球化学, 2000, 15(3): 385-401.
- C. C Johnson. Selenium distribution in the local environment of selected villages of the Keshan Disease belt, Zhangjiakou District, Hebei Province, People's Republic of China[J]. Applied Geochemistry, 2000, 15(3): 385-401.
- 李丽荣. 克山县克山病防治效果调查[J]. 中国地方病学杂志, 1995, 14(6): 380-382.
- LI Lirong. Investigation on the control effect of Keshan disease in Keshan County[J]. Chinese Journal of Endemiology, 1995, 14(6): 380-382.
- 光磊, 邢秋菊. 引发克山病和大骨节病的地理环境因素分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2004, 18(2): 81-86.
- GUANG Lei, XING Qiuju. Analysis of geographical environment factors causing Keshan disease and Kashin - Beck disease[J]. Journal of Shanxi Teachers' University (Natural Science Edition), 2004, 18(2): 81-86.
- 生态环境部国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)[S]. 2018.
- Ministry of Ecology and Environment. State Administration of Market Supervision and Administration, Soil Environmental Quality Agricultural Land Soil Pollution Risk Control Standards (Trial)[S]. 2018.
- 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地矿行业标准土地质量地球化学评价规范[S]. 2016.
- Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Standards for Geochemical Evaluation of Land Quality in the Geological and Mineral Industry of the People's Republic of China[S]. 2016.
- 郭少林, 高晓春. 1998年克山县西城镇光荣村克山病监测结果分析[J]. 中国地方病学杂志, 2000, 19(6): 410-410.
- GUO Shaolin, GAO Xiaochun. Analysis of Surveillance Results of Keshan Disease in Guangrong Village, Xicheng Town, Keshan County in 1998[J]. Chinese Journal of Endemiology, 2000, 19(6): 410-410.
- 魏然, 候青叶, 杨忠芳, 等. 江西省鄱阳湖流域根系土硒形态分析及其迁移富集规律[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 109-113.
- WEI Ran, HOU Qingye, YANG Zhongfang, et al. Analysis of Selenium Forms in Root Soil of Poyang Lake Basin in Jiangxi Province and Its Migration and Enrichment Law[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(1): 109-113.
- 秦海波, 朱建明, 李社红, 等. 环境中硒形态分析方法及研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(2): 180-187.
- QIN Haibo, ZHU Jianming, LI Shehong, et al. Methods and research progress of selenium speciation analysis in environment[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(2): 180-187.
- 瞿建国, 徐伯兴, 龚书椿. 连续浸提技术测定土壤和沉积物中硒的形态[J]. 环境化学, 1997, 16(3): 277-283.
- QU Jianguo, XU Boxing, GONG Shuchun. Continuous extraction technology to determine the form of selenium in soil and sediment[J]. Environmental Chemistry, 1997, 16(3): 277-283.
- 沈燕春, 周俊. 土壤硒的赋存状态与迁移转化[J]. 安徽地质, 2011, 21(3): 186-191.
- SHEN Yanchun, ZHOU Jun. Occurrence and migration and transformation of soil selenium[J]. Anhui Geology, 2011, 21(3): 186-191.
- 樊海峰, 温汉捷, 凌宏文, 等. 表示环境中硒形态研究现状[J]. 地球与环境, 2006, 34(2): 19-26.
- FAN Haifeng, WEN Hanjie, LING Hongwen, et al. Indicates the status of research on selenium species in the environment[J]. Earth and Environment, 2006, 34(2): 19-26.
- 酆逸根. 浙江富硒土壤中硒赋存形态特征[J]. 物探与化探, 2007, 31(2): 95-99.
- LI Yigen. Characteristics of selenium occurrence in selenium-rich soils in Zhejiang[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 31(2): 95-99.
- 宋晓珂, 王金贵, 李宗仁, 等. 青海省富硒土壤中硒的形态和价态分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(16): 272-285.
- SONG Xiaoke, WANG Jingui, LI Zongren, et al. Analysis of the form and valence of selenium in selenium-rich soil in Qinghai Province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(16): 272-285.
- 付强, 王冬艳. 吉林中部黑土区土壤硒元素土壤地球化学研究[J]. 世界地质, 2014, 33(1): 102-109.
- FU Qiang, WANG Dongyan. Study on soil selenium and soil geochemistry in black soil area of Central Jilin Province[J]. World Geology, 2014, 33(1): 102-109.
- 中华人民共和国农业部. 粮食(含谷类、豆类、薯类)及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量(中华人民共和国农业行业标准)[S]. 2005.
- 相有章. 我国克山病防治现状与对策[J]. 中国地方病防治杂志, 2008, 23(5): 339-342.
- XIANG Youzhang. The current situation and countermeasures of Keshan disease control in my country[J]. Chinese Journal of Endemic Disease Control, 2008, 23(5): 339-342.