

DOI: 10.11766/trxb201410080506

东北平原土壤硒分布特征及影响因素*

戴慧敏¹ 官传东² 董北¹ 刘驰¹ 孙淑梅³ 郑春颖¹

(1 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 沈阳 110034)

(2 辽阳市铨子镇政府, 辽宁辽阳 111300)

(3 吉林省地质调查院, 长春 130061)

摘要 我国粮食主产区的东北平原是严重缺硒或缺硒地方病经常发生的地区, 地质大调查以来采用现代分析测试手段进行高精度土壤硒的富集、分布研究, 对粮食的产量和质量具有重要意义。以每 4 km² 1 个点的表层 (0~20 cm)、每 16 km² 1 个点的深层 (150~180 cm) 土壤数据对东北平原土壤硒分布特征及影响因素进行统计分析。结果表明, 东北平原表层土壤以足硒为主, 足硒面积达 51.54%, 硒潜在不足面积占 25.05%, Se 反应不足面积仅为 22.63%, 富硒土壤面积不足 1%; 深层土壤则以缺硒为主, 硒反应不足面积占 80.68%。表层土壤 Se 含量相对于深层土壤表现出明显的富集特征, 仅在西部盐碱化、沙化区及东部土壤发育程度低的基岩区为基本自然状态—弱富集特征, 土壤硒继承成土母岩程度较弱, 而铁锰氧化物、有机质、土壤类型、质地等理化性质对硒具有明显的富集作用, 后期人类活动也是影响硒富集的主要因素, 但表生富集作用、人类活动影响不足以使表层土壤达到富硒程度。

关键词 东北平原; 土壤硒含量; 富集特征

中图分类号 S158.5; S159.2 **文献标识码** A

微量元素硒 (Se) 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], 它兼具营养、毒性、解毒三重生物学功能, 被称为“生命保护剂”^[3], 低硒易引起生物地球化学疾病, 如低硒是克山病多发病因素中的基本因素。硒元素又具有毒性, 摄入量过大或摄入时间过长, 会导致急性或慢性中毒, 美国发现的被称为“碱性病”或“瞎撞病”及我国新疆发现的脱甲病等就是摄入了含硒量较高的植物所致。硒还是一种天然的对重金属的解毒剂, 硒在体内能与重金属、蛋白质结合成复合物而排出体外, 对体内的汞、铅、砷、镉均有解毒作用。Se 是亲硫元素也是亲生物元素, 在表生地球化学循环过程中, 易发生次生富集与贫化。硒对人体作用机理是通过植物体进入食物链, 含量受一系列地质、地理因素控制, 植物体内的 Se 含量除与植

物本身的种属与生长环境有关外, 还与土壤中有有效硒含量及形态密切相关^[4]; 王松山等^[5] 研究认为有机质和无定形铁对硒在土壤中的分配起直接决定作用, 而 pH 和黏粒也是不可忽略的影响因素; 李杰等^[6] 认为影响南宁市土壤硒含量的主要因素是成土母质, 土壤 pH、有机碳及铁和铝的含量对土壤全硒含量的富集与分布也有一定影响。因此, 土壤、植物系统中硒环境效应、全量硒、有效硒含量及影响因素等已见诸多研究^[7-10]。全球大多数土壤中硒平均含量为 0.20 mg kg⁻¹, 中国土壤硒元素背景值为 0.29 mg kg⁻¹^[11-12]。

东北平原为肥沃的“黑土”区, 极其适宜农业生产。吉林省是世界三大黄金玉米带之一, 粮食单产全国第一, 黑龙江省多年来粮食总产位居全国第一, 因此这一地区被誉为“中国的粮仓”。20 世纪

* 中国地质调查局项目《全国土壤现状调查及污染防治》国家专项《松花江流域多目标区域地球化学系列图编制》项目 (GZTR20060205) 资助

作者简介: 戴慧敏 (1979—), 女, 内蒙古赤峰人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事地球化学研究工作。E-mail: daihuimin78@126.com

收稿日期: 2014-10-08; 收到修改稿日期: 2015-06-30

80年代,中国科学院地理研究所^[13]采集土壤剖面表层样品及刘金旭等^[14-16]采集饲料、牧草、泛滥沉积物样品分析显示,东北平原处于我国缺硒或严重缺硒的地区,其中黑龙江省缺硒最严重,部分地区是缺硒地方病经常发生的地区,如部分地区克山病和大骨节病的致病因素之一是土壤环境低硒或缺硒^[17]。20年前分析研究均基于少量土壤剖面和饲料、牧草等调查分析,目前我国基本农田保护已经进入数量与质量并重阶段,因此,对于我国粮食主产区的东北平原区,以现有分析测试手段进行土壤有益、有害元素的富集、分布特征的数据更新、分析与研究尤为重要,对粮食的产量和质量具有重要意义。中国地质调查局实施的《全国土壤现状调查及污染防治》项目截至2007年,在东北平原完成了23万多km²的土壤表层、深层地球化学测量,基本覆盖平原区。本文以该数据对东北平原土壤硒的含量进行统计分析,探讨东北平原区土壤硒分布特征及影响因素,为合理地人工补硒、农田施硒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。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东北平原又称松辽平原,介于北纬40°25′~48°40′,东经118°40′~128°00′之间,属中温带大陆性湿润—半干旱季风气候,四季分明。平原东西两侧为东北平原长白山地和大兴安岭山地,北部为小兴安岭山地,南端濒临辽东湾,盆地内多为第四纪沉积物覆盖,十分发育,且分布广泛,岩性为冲积、洪积、风积、冰水堆积、海陆交互碎屑堆积物,局部发育火山岩。基岩露头少,在盆地边缘可见断续出露的中生代地质体。土壤类型主要为暗棕壤、棕壤、白浆土、黑土、黑钙土、草甸土、栗钙土、盐碱土、潮土、水稻土、沼泽土、风沙土、褐土等^[18-19],土地利用类型依据2002年ETM遥感解译主要为耕地、林地、草地、城镇、林草混杂地、未利用地等^[18],其中耕地占67.22%,为旱田和水田,以旱田为主。土壤肥沃,盛产水稻、玉米、大豆、高粱、小麦、甜菜等作物,是国家商品粮基地和畜牧基地。

1.2 数据来源

研究区样品分别来源于辽宁省、吉林省、黑

龙江省《多目标区域地球化学调查》项目,采取采样单元中主要土壤类型的耕层土;表层土壤采样密度为每1 km² 1个点,采样深度为0~20 cm,4 km²组合一个分析样。深层土壤采样密度为每4 km² 1个点,采样深度为150~180 cm,16 km²组合一个分析样。分析Mn、Se、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、K₂O、Na₂O、CaO、MgO、总碳、有机碳、pH等54项指标。样品分析分别由辽宁省地质矿产研究院、吉林省地质科学研究所和黑龙江省地质矿产测试应用研究所承担。Se采用原子荧光法,有机碳采用容量法,CaO、MgO、Fe₂O₃、K₂O、Na₂O、SiO₂、Al₂O₃、Mn、采用X射线荧光光谱法;总碳和有机碳采用容量法,pH采用玻璃电极法测试。测试分析采用实验室外部质量监控和内部质量监控相结合、以外部质量监控为主的方法监控分析质量。

1.3 数据分析

表层和深层土壤数据均依据我国硒元素生态监管界限值^[20]将土壤Se含量分为硒反应不足、硒潜在不足、足硒、富硒、硒中毒5个等级(表1),以4 km²为单元,编制土壤硒含量分布图。深层土壤不受人活动的影响,其元素分布反映了土壤硒元素原始特征;表层土壤在第一环境即自然环境中叠加了人为因素,故采用同一空间同一片土壤中表层土壤与其在深层土壤的硒元素含量比值(富集系数)^[21]来反映自然及人为因素对表层土壤硒的作用结果。计算方法为深层数据按表层数据网格精度采用克里格内插网格化方法,得到与表层采样点对应的深层每4 km² 1个点的的结果,再将表层硒含量数据除以其对应点的深层土壤硒含量得到研究区土壤硒元素富集系数:

$$C_e = \frac{X_{i表}}{X_{i深}} \quad (1)$$

式中, C_e 为富集系数, $X_{i表}$ 为*i*点表层土壤Se含量, $X_{i深}$ 为*i*点深层土壤Se含量。最后将得到的富集系数分为6个区间,富集系数>1.5为强烈富集,<0.6为强烈贫化,以4 km²为单元编制富集特征分布图,富集系数分类及富集面积见表2。

2 结果

2.1 土壤硒含量的分布特征

东北平原土壤硒含量范围为0.01~5.3 mg kg⁻¹,

表1 耕地表层土壤硒丰缺划分界限值

Table 1 Threshold between abundance and deficiency of soil selenium

全量硒 Total Se (mg kg ⁻¹)	硒效应 Selenium effect	面积比例Area percentage (%)	
		表层土壤 Surface soil	深层土壤 Deep soil
< 0.125	硒反应不足Selenium-deficiency	22.63	80.68
0.125 ~ 0.175	硒潜在不足Potential selenium-deficiency	25.05	12.43
0.175 ~ 0.4	足硒Selenium-sufficiency	51.54	6.89
0.4 ~ 3	富硒Selenium-abundance	0.77	0.10
> 3	硒中毒Selenium poisoning	0	0.007

平均含量为0.184 mg kg⁻¹，土壤表层和深层Se含量统计结果显示（表1）：表层土壤足硒面积为51.54%，硒反应不足和潜在不足面积分别为22.63%和25.05%，富硒土壤面积不足1%；深层土壤则主要为硒反应不足状态（80.68%），硒潜在不足面积为12.43%，而足硒面积仅为6.89%。东北平原硒含量水平及空间分布差异明显，由西到东为硒反应不足—硒潜在不足—足硒的分布趋势，硒反应不足和潜在不足主要分布在中西部盐碱化、沙化平原区，具有沿江分布的特征，富硒及足硒分布在东部及西北部低山丘陵区（图1），富硒及足

硒区分布与表层土壤有机碳、三氧化二铝、pH、三氧化二铁等地球化学高含量分布^[18]密切相关。统计对比显示，硒含量在不同土壤类型中表现出一定的差异性（表2），黑土、水稻土、白浆土土壤硒含量最高，风沙土硒含量最低；硒含量在不同土地利用方式下也表现出明显的差异性（表3），耕地（水田、旱田）具有较高的均值，城镇用地均值最高，林地、旱田和水田硒含量平均值相同。相对于城镇用地和耕地，林地、草地、林草混杂地、未利用地以及水域等受人类活动影响微弱，土壤硒含量水平相当，明显低于耕地、城镇用地。

表2 不同土壤类型硒含量特征

Table 2 Selenium content in soil relative to soil type

土壤类型 Soil type	硒含量 (mg kg ⁻¹) Selenium content	土壤类型 Soil type	硒含量 (mg kg ⁻¹) Selenium content
草甸土 Meadow soils	0.19	白浆土Albic soils	0.23
潮土Alluvial soils	0.14	黑钙土Chernozem	0.17
风沙土Aeolian sandy soils	0.10	栗钙土Chestnut soils	0.21
褐土Cinnamon soils	0.14	水稻土Paddy soils	0.24
黑土Black soils	0.23	盐碱土Saline alkali soils	0.13
暗棕壤Dark brown earths	0.22	沼泽土Marshy soils	0.19
棕壤Brown earths	0.21		

2.2 土壤硒富集特征

由土壤全量硒表生富集系数分布（图2，表4）可以看到，土壤表层硒相对于深层富集明显，贫化及弱贫化区呈星点状分布于研究区，富集面积达到了89.01%，其中强烈富集面积达到了66.27%，极强富集面积为4.84%，极强富集以小面积分布于研究区西北部、哈尔滨北部及星点状分布于南部大中

城市周边。基本自然状态、弱富集区呈分散状态分布，并具有明显的沿松花江河漫滩分布的特征。对比第四纪地质^[18]可以看出，硒贫化分布与研究区第四纪地质密切相关。基本自然状态、贫化区主要分布在全新统冲积、冲湖积物和东部前第四纪地层或岩体分布区及西部盐碱化、沙化区。

表3 不同土地利用方式硒含量水平

土地利用方式 Type of land use	表层土壤Surface soil (0~20 cm)	深层土壤Deep soil (150~180 cm)	富集系数 C_e Enrichment coefficient
草地Grassland	0.13	0.05	2.60
旱田Dry farmland	0.20	0.09	2.22
林草混杂地Forest and grassland mixed	0.12	0.08	1.50
林地Forest land	0.20	0.15	1.33
未利用地 Unused land	0.17	0.08	2.13
水田Irrigated farmland	0.20	0.11	1.82
水域Water area	0.14	0.14	1.00
城镇用地Urban land	0.31	0.15	2.07

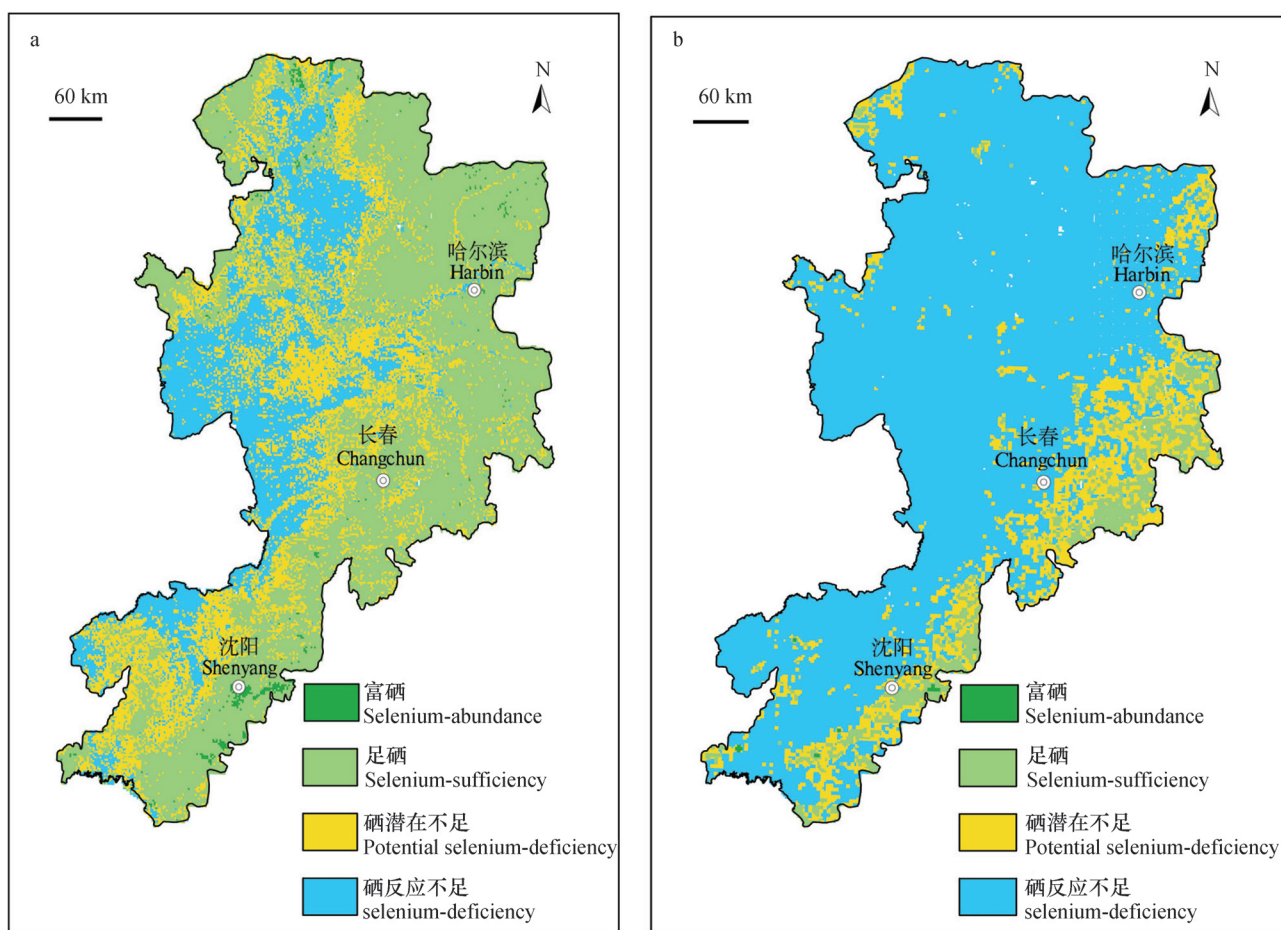


图1 东北平原表层 (a) 及深层 (b) 土壤硒含量分布特征

Fig. 1 Distribution of selenium contents in surface soil (a) and deep soil (b) in the Northeast China Plain

2.3 土壤硒含量的影响因素

影响土壤硒富集的因素主要有气候、成土母质、土壤质地、有机质及人为因素等^[22]。土壤硒主要来自于成土母质，而土壤表层硒主要是母质风

化和植物富集的结果^[23]。

2.3.1 土壤理化性质的影响 对于土壤硒含量的影响因素已有诸多研究，硒含量在很大程度上取决于成土母质的组成和性质，发育程度低的土壤

表4 土壤硒表生富集系数分类及富集面积

富集系数分级	分布特征	面积比例
Classification of enrichment coefficient	Distribution characteristic	Area percentage (%)
<0.6	强烈贫化 Strongly depleted	0.4
0.6 ~ 0.85	弱贫化 Weakly depleted	1.9
0.85 ~ 1.15	背景 (基本自然状态) Background (the basic state of nature)	8.7
1.15 ~ 1.5	弱富集 Weakly enriched	17.9
1.5 ~ 4.0	强烈富集 Strongly enriched	66.27
> 4.0	极强富集 Extremely strongly enriched	4.84

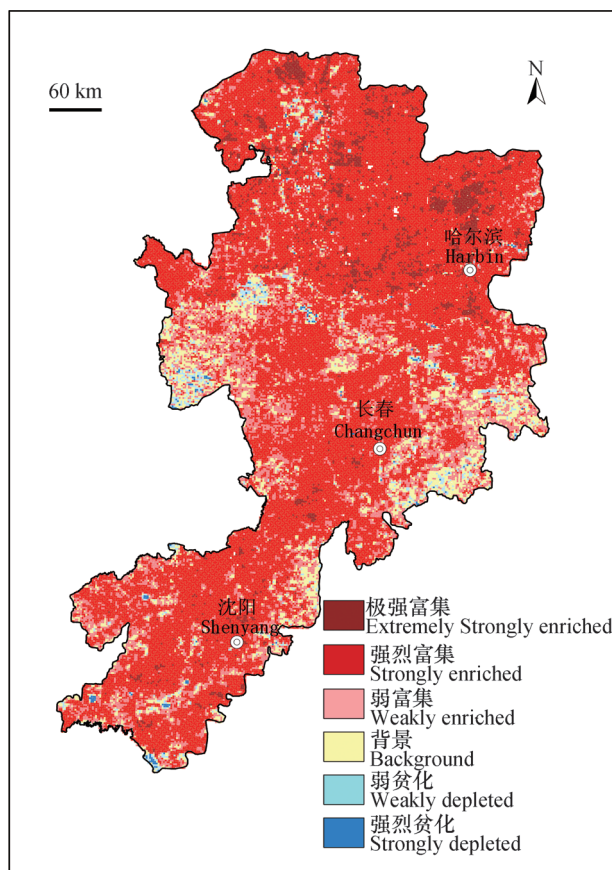


图2 东北平原土壤硒富集系数分布

Fig. 2 Distribution of supergene concentration coefficients of soil selenium in the Northeast China Plain

尤为如此^[24]，成土过程中的黏粒和铁铝氧化物，对硒积累和淋溶具有重要影响，全硒含量与黏粒含量呈正相关，即土壤质地越黏重，硒含量就越高^[25]，低硒土壤形成的主要外因是淋溶作用，土壤中的硒多以淋失的阴离子盐存在，在湿润地区硒与铁铝化合物、黏土矿物一起淋失，故世界低

硒带多分布于温带和寒温带湿润气候带。土壤有机质及铁、锰氧化物对土壤硒的含量也有显著影响^[26]，如以活性铁吸附态硒、有机态硒等形式存在^[27]，中碱性土壤Se含量基本不受pH制约，而土壤酸性条件下，随着pH下降，土壤Se含量可迅速增加^[28]。东北平原表层土壤硒相对于深层土壤明显富集，深层土壤不受人类活动的影响，硒元素分布反映了成土的原始母岩特征，对表层土壤全量硒与深层土壤全量硒进行线性回归分析，得到 $Se_{表} = 0.5196X_{深} + 0.1332$ ($r=0.32$, $n=57895$, $p < 0.05$) 的线性方程，说明表层土壤硒含量受控于深层土壤硒含量较弱，即继承成土母岩（或深层土壤）的程度较弱，对比土壤硒富集系数分布与第四纪地质看出，土壤硒基本自然状态和弱富集区主要分布在东部低山丘陵和西部盐碱化、沙化区土壤分布区，统计不同土壤类型表层土壤Se含量（表2）及富集系数（表5）可以看出，表层土壤中白浆土Se平均含量较高，但Se的富集系数最低，沼泽土Se含量相对偏低，Se富集系数相对较高，表明土壤类型对硒的表生富集具有较强影响，对盐碱土、风沙土表层和深层土壤全量硒进行线性回归分析，分别得到 $Se_{表} = 0.1322X_{深} + 0.1165$ ($r=0.07$, $n=1645$, $p < 0.05$) 和 $Se_{表} = 0.4107X_{深} + 0.082$ ($r=0.25$, $n=3361$, $p < 0.05$) 的线性方程，对前第四纪地层区表层与深层土壤Se进行线性回归分析得到 $Se_{表} = 0.3673X_{深} + 0.151$ ($r=0.25$, $n=9030$, $p < 0.05$) 的线性方程，说明风沙土、盐碱土及基岩发育区硒继承成土母岩（或深层土壤）的程度较弱。硒含量空间分布与表层土壤有机碳、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等高含量空间分布密切对应，表明成土过程中的黏粒和铁铝氧化物对硒具有明显富

集作用。采用pH、有机质、氧化物等指标与硒进行相关性分析(表6)。土壤硒与有机质、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等具有较强的相关性,表明土壤中铁、锰氧化物、有机质及黏土矿物对硒具有吸附作用;与

pH表现出弱的负相关,与 K_2O 、 Na_2O 表现出明显的负相关关系,缺硒区域与西部盐碱化、沙化区高的 K_2O 、 Na_2O 含量及高pH土壤空间分布吻合,即沙化、盐碱化对硒具有贫化作用。

表5 不同土壤类型硒富集系数

Table 5 Supergene concentration coefficients of soil selenium relative to soil type

土壤类型 Soil type	富集系数Ce Supergene concentration coefficients	土壤类型 Soil type	富集系数Ce Supergene concentration coefficients
暗棕壤Dark brown earths	2.30	黑土Black soils	2.48
白浆土Albic soils	1.52	栗钙土Chestnut soils	2.20
草甸土Meadow soils	2.20	水稻土Paddy soils	1.93
潮土Alluvial soils	1.69	盐碱土Saline alkali soils	1.74
风沙土Aeolian sandy soils	1.92	沼泽土Marshy soils	2.36
褐土Cinnamon soils	1.71	棕壤Brown earths	1.92
黑钙土Chernozem	2.26		

表6 土壤硒含量与各理化指标间的相关系数

Table 6 Correlation coefficient between soil selenium content and soil physicochemical properties in the Northeast China Plain

	CaO	有机质 Organic matter	Fe_2O_3	K_2O	MgO	Mn	Na_2O	pH	Al_2O_3	SiO_2
土壤硒Soil selenium	-0.03	0.54**	0.63**	-0.52*	0.23	0.48	-0.34	-0.06	0.51*	-0.29

注: **为极显著相关; *为显著相关 Note: Remark ** represent extremely strongly correlative, * represent significantly correlative

2.3.2 人类活动的影响 Se是所有微量元素中受人类活动影响最大的元素之一,可以作为反映人类活动对土壤环境影响程度的敏感的地球化学因子^[29-30]。人类主要通过土地利用影响土壤环境,土地利用方式是改变土壤性质和土地生产力,进而影响土壤质量和土壤环境变迁^[31-32]的主要因素。东北平原土地利用方式主要为旱田、水田、草地、林地、林草混杂地、未利用地、水域、城镇用地。林地、草地、林草混杂地、未利用地以及水域等受人类活动影响微弱,这些利用方式的土壤硒含量水平相当,因此,本文将归并为一类来探讨人类活动对土壤硒含量影响的程度。自然因素为的其他利用方式的土壤硒含量平均值为 0.154 mg kg^{-1} ,城镇用地硒含量平均值是其2倍,耕地硒平均含量是其他利用方式的近1.3倍,前者具有更高的比值,说明了人类活动的强弱或利用方式的不同对硒含量的影响程度不同。影响土壤硒含量人为因素在城镇地区比较复杂,其主控因素有待进一步研究。耕种

首先使土壤质地发生变化、黏粒增加或减少、有机质变化等均会影响硒含量的增加或减少,耕种及耕种方式改变如水田改变为旱地后,可以使地表土壤酸碱度下降,向酸化方向演变,使土壤硒含量增加;在耕种过程中长期施肥,也能导致Se元素的聚集。因此,人类活动是东北平原表层土壤硒富集的另一主要因素。

3 结 论

东北平原土壤表层Se平均含量略低于世界上大多数地区土壤硒平均值,低于中国土壤硒含量平均值。表层土壤以足硒为主要特征,由西到东为缺硒—足硒的分布趋势,不存在硒中毒现象,深层土壤则以硒反应不足状态为主要特征。表层土壤硒含量相对于深层土壤明显富集,以强烈富集为主要分布特征,硒含量继承成土母质程度较弱,不同土壤类型、质地、矿物成分不同,对硒的富集程度不

同。铁锰氧化物、有机质等理化性指标对土壤硒具有较强的影响作用, 是硒表生富集的主要因素之一, 而pH、CaO、Na₂O等对硒具有贫化作用。不同土地利用方式中表层土壤硒含量差异明显, 后期人类活动对土壤的改造程度也是硒富集的主要影响因素。高密度土壤硒的分布、富集特征及影响因素是东北平原土地管理、基本农田保护的基础信息, 综合植物种属本身与硒含量关系研究, 可为因地制宜、合理地施硒肥及调整农业种植结构, 改善缺硒及缺硒地方病现象提供依据。

参考文献

- [1] Milner J A, Diet and cancer: Facts and controversies. *Nutrition and Cancer*, 56 (2) : 216—224
- [2] Daniel L M. 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, Inc*, 2008, 103: 61—68
- [3] 吴永尧, 彭振坤, 陈建英, 等. 水稻对环境硒的富集和耐受力研究. 微量元素与健康研究, 1999, 16 (4) : 42—44. Wu Y Y, Peng Z K, Chen J Y, et al. Research on the capacity of rice accumulation and resistance Se in environment (In Chinese). *Studies of Trace Elements and Health*, 1999, 16 (4) : 42—44
- [4] 尹昭汉, 鞠山见, 马晓阳, 等. 硒 (Se) 的生物地球化学及其生态效应. 生物学杂志, 1989, 8 (4) : 45—50. Yin Z H, Ju S J, Ma X L, et al. Biogeochemistry and ecological effect of selenium (In Chinese). *Journal of Ecology*, 1989, 8 (4) : 45—50
- [5] 王松山, 梁东丽, 魏威, 等. 基于路径分析的土壤性质与硒形态的关系. 土壤学报, 2011, 48 (4) : 823—830. Wang S S, Liang D L, Wei W, et al. Relationship between soil physico-chemical properties and selenium species based on path analysis (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 (4) : 823—830
- [6] 李杰, 杨志强, 刘枝刚, 等. 南宁市土壤硒分布特征及其影响因素探讨. 土壤学报, 2012, 49 (5) : 1012—1020. Li J, Yang Z Q, Liu Z G, et al. Distribution of selenium in soils of nanning city and its influencing factors (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49 (5) : 1012—1020
- [7] 徐文, 唐文浩, 邝春兰, 等. 海南省土壤中硒含量及影响因素分析. 安徽农业科学, 2010, 38 (6) : 3026—3027. Xu W, Tang W H, Kuang C L, et al. Analysis on content of Se in soil of Hainan Province and its influencing factors (In Chinese). *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, 38 (6) : 3026—3027
- [8] 张艳玲, 潘根兴, 李正文, 等. 土壤—植物系统中硒的迁移转化及低硒地区食物链中硒的调节. 土壤与环境, 2002, 11 (4) : 388—391. Zhang Y L, Pan G X, Li Z W, et al. Translation of selenium in the system of soil-plant and it's regulation in food-chain (In Chinese). *Soil and Environmental Sciences*, 2002, 11 (4) : 388—391
- [9] 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. 中国地质, 2010, 37 (6) : 1760—1768. Sun Z, Hou Q Y, Yang Z F, et al. Factors controlling the transport and transformation of selenium in typical soil environments: A case study of the Chengdu economic zone in Sichuan Province (In Chinese). *Geology in China*, 2010, 37 (6) : 1760—1768
- [10] 迟凤琴. 土壤环境中的硒和植物对硒的吸收转化. 黑龙江农业科学, 2001 (6) : 33—34. Chi F Q. Selenium in soil and the absorption, transformation of plant to it (In Chinese). *Heilongjiang Agricultural Science*, 2001 (6) : 33—34
- [11] 何振立. 污染及有益元素的土壤化学平衡. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 345. He Z L. *Soil-chemical balances of pollution and beneficial elements (In Chinese)*. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 345
- [12] Swains D J. The trace element content of soils. *Journal of Common Wealth Agricultural Bureaux*, 1995, 48: 37—46
- [13] 中国科学院地理研究所化学地理研究室环境与地方病组. 我国土壤表层硒含量的地理分布及其与人畜硒反应病的关系. 地理研究, 1984, 13 (4) : 39—47. *Environment and Environment (Iemie Diseases Section)*, Institute of Geography, Academia Sinica. Geographical distribution of selenium content in the top soils in China and it's association with selenium-reponsive diseases in man and animal (In Chinese). *Geographical Research*, 1984, 13 (4) : 39—47
- [14] 刘金旭, 陆肇海, 苏琪. 家畜家禽的硒营养缺乏的调查研究——我国饲料牧草硒含量的分布. 中国农业科学, 1985, 17 (4) : 76—79. Liu J X, Lu Z H, Su Q. Regional selenium deficiency of feedstuffs in China (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 1985, 17 (4) : 76—79
- [15] 张忠, 周丽沂, 张勤. 硒的相态分析在环境地球化学监控网络研究中的应用. 物探与化探, 1998, 22 (3) : 170—174. Zhang Z, Zhou L Y, Zhang Q. The application of phase state analysis of selenium to

- the study of environmental geochemical monitoring network (In Chinese). *Geophysical & Geochemical Exploration*, 1998, 22 (3): 170—174
- [16] Xu Z C, Shao H F, Su L, et al. Relationships between the selenium content in flue-cured tobacco leaves and the selenium content in soil in Enshi China tobacco-growing area. *Pakistan Journal of Botany*, 2012, 44 (5): 1563—1568
- [17] 邵国璋, 关光伟. 黑龙江省土壤硒 (Se) 元素背景值与地方性疾病的关系. *中国环境监测*, 1993, 9 (2): 61—62. Shao G Z, Guan G W. Relationship between the soil selenium (Se) background value and endemic in Heilongjiang Province (In Chinese). *Environmental Monitoring in China*, 1993, 9 (2): 61—62
- [18] 刘驰, 戴慧敏, 冯静, 等. 中华人民共和国多目标区域地球化学图集——松辽平原中南部地区. 北京: 地质出版社, 2013. Liu C, Dai H M, Feng J, et al. Multi-Purpose regional geochemical atlas: South central area of Songliao Plain, People's Republic of China (In Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2013
- [19] 戴慧敏, 刘驰, 宫传东, 等. 东北平原土壤碳库构成及其与土壤性质的关系, 第四纪研究, 2013, 33 (5): 986—994. Dai H M, Liu C, Gong C D, et al. Soil carbon pool in northeast plain of China and its relations between the soil properties (In Chinese). *Quaternary Sciences*, 2013, 33 (5): 986—994
- [20] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集. 北京: 科学出版社, 1989: 39. Tan J A. The atlas of endemic disease and environment of the People's Republic of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1989: 39
- [21] 廖启林, 金洋, 吴新民, 等. 南京地区土壤元素的人为活动环境富集系数研究. *中国地质*, 2005, 32 (1): 141—147. Liao Q L, Jin Y, Wu X M, et al. Artificial environmental concentration coefficients of elements in soils in the Nanjing area (In Chinese). *Geology in China*, 2005, 32 (1): 141—147
- [22] Umesh C G, Subhas C G. Selenium deficiency in soils and crops and its impact on animal and human health. *Current Nutrition & Food Science*, 2010, 6 (4): 268—280
- [23] 张东威. 中国土壤中硒及其土壤环境质量标准研究. *水土保持研究*, 1994, 1 (5): 112. Zhang D W. Study on selenium and environmental quality standards of Chinese soil (In Chinese). *Research of Soil and Water Conservation*, 1994, 1 (5): 112
- [24] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探. *浙江农业大学学报*, 1996, 22 (1): 89—93. Wang M Z, Zhang M K. A discussion on the cause of high-Se and low-Se soil formation (In Chinese). *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22 (1): 89—93
- [25] Gunnar G N. Influence of pH and texture of the soil on I plant uptake of added selenium. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1971, 19 (6): 1165—1167
- [26] 侯少范, 王丽珍, 李德珠, 等. 控制土壤硒化学行为因素的探讨. *地理研究*, 1991, 10 (4): 12—17. Hou S F, Wang L Z, Li D Z, et al. The study of the controlling factors of selenium chemical behavior in soil (In Chinese). *Geographical Research*, 1991, 10 (4): 12—17
- [27] 武少兴, 龚子同, 黄标. 我国土壤中的溶态硒含量及其与土壤理化性质的关系. *中国环境科学*, 1997, 17 (6): 522—525. Wu S X, Gong Z T, Huang B. Water-soluble selenium in main soil types of China and in relation to some soil properties (In Chinese). *China Environmental Science*, 1997, 17 (6): 522—525
- [28] 杨忠芳, 余涛, 侯青叶, 等. 海南岛农田土壤硒的地球化学特征. *现代地质*, 2012, 26 (5): 837—849. Yang Z F, Yu T, Hou Q Y, et al. Geochemical characteristics of soil selenium in farmland of Hainan Island (In Chinese). *Geoscience*, 2012, 26 (5): 837—849
- [29] 廖启林, 华明, 张为, 等. 人为活动对江苏土壤元素含量分布的影响. *地质学刊*, 2012, 36 (2): 147—156. Liao Q L, Hua M, Zhang W, et al. Influence of human activities on soil element distributions in Jiangsu (In Chinese). *Journal of Geology*, 2012, 36 (2): 147—156
- [30] 王祖伟, 徐利森, 张文具. 土壤微量元素与人类活动强度的对应关系. *土壤通报*, 2002, 33 (4): 303—305. Wang Z W, Xu L M, Zhang W J. Corresponding relationship between trace elements in soil and human activity intensity (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33 (4): 303—305
- [31] Braimoh A K, Vlek P L G. The impact of land-cover change on soil property in Northern Ghana. *Land Degradation and Development*, 2004, 15 (1): 65—74
- [32] 吴文斌, 杨鹏, 唐华俊, 等. 土地利用对土壤性质影响的区域差异研究. *中国农业科学*, 2007, 40 (8): 1697—1702. Wu W B, Yang P, Tang H J, et al. Regional variability of effects of land use system on soil properties (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (8): 1697—1702

DISTRIBUTION OF SOIL SELENIUM IN THE NORTHEAST CHINA PLAIN AND ITS INFLUENCING FACTORS

Dai Huimin¹ Gong Chuandong² Dong Bei¹ Liu Chi¹ Sun Shumei³ Zheng Chunying¹

(1 *Shenyang Center of Geological Survey, China Geological Survey, Shenyang 110034, China*)

(2 *Huazi Town Government of Liaoyang, Liaoyang, Liaoning 111300, China*)

(3 *Geological Survey of Jilin Province, Changchun 130061, China*)

Abstract Selenium (Se) is a kind of trace element in the soil and has three biological functions, that is, as nutrient, toxin and detoxin, it enters the food chain through plants, which absorb Se from the soil. So the content of Se in food depends on the content of Se in the soil, Se content in the soil is governed by a series of geological and geographical factors, while Se concentration in the plant is closely related to species of the plant per se and the environment it grows in. It is, therefore, essential to study soil selenium content. Content and distribution of Soil selenium is an important factor affecting yield and quality of the grain crops in the Northeast China Plain. Surveys and investigations in the past show that the Northeast China Plain is seriously in deficiency of soil and hence a region where endemic diseases prevail because of selenium deficiency. During the period from 2003 to 2006, a Multi-Purpose Regional Geochemical Survey (MPRGS) was performed in the Northeast China Plain, collecting soil samples from the surface (0 ~ 20 cm) and deep (150 ~ 180 cm) soil layers, 1 sample every 4km² and 1 every 16 km², respectively, for statistic analysis of distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its affecting factors. Results of the analysis show that the content of soil selenium in surface soil of the plain is lower than the average of the country, and its distribution is characterized by a rising trend from the salinized and desertified plain in the west to the low mound-hill region in the east, and strips of selenium-deficient soil and potential selenium-deficient soil alongside the river. About 51.54% of the plain in area is sufficient, 22.63%, potentially deficient, 25.05%, deficient and only less than 1% abundant in soil Se. In deep soils, soil Se content is very low and soils deficient in Se accounts for 80.68% in area. Soil Se content in the surface soil varies significantly with type of soil and pattern of land use, and does not inherit much from soil parent rock (or deep soil). So the Se content in the surface soil demonstrates an apparent feature of enrichment relative to the content in the deep soil. The soils with apparent Se enrichment amount to 89.01% in area, and the soils depleted in Se are distributed mainly alongside the Songhua River. Correlation analysis shows that clay minerals, ferromanganese oxide and organic matter tend to adsorb Se thus enriching soil Se. Soil selenium enrichment is also quite obvious in farmlands, urban land and lands under some other land use. All the findings show that soil physicochemical properties and recent human activities are the main factors leading to Se enrichment in the soil, but the effects are far from adequate to make the surface soil abundant in selenium. It is, therefore, necessary to rationalize utilization of the land resources in the light of the above characteristics of soil Se distribution, control soil salinization and desertification, and reasonably adjust agricultural planting structure, so as to mitigate the stress of selenium deficiency and the incidence of Se-deficiency caused endemic diseases.

Key words The Northeast Plain; Soil selenium content; Enrichment characteristics

(责任编辑：檀满枝)