

doi: 10.11720/wtyht.2019.0187

成晓梦,马荣荣,彭敏,等.中国大宗农作物及根系土中硒的含量特征与富硒土壤标准建议[J].物探与化探,2019,43(6):1367-1372.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0187>

Cheng X M, Ma R R, Peng M, et al. Characteristics of selenium in crops and roots in China and recommendations for selenium-enriched soil standards[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(6): 1367-1372. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.0187>

中国大宗农作物及根系土中硒的含量特征 与富硒土壤标准建议

成晓梦^{1,2,3,4}, 马荣荣^{1,2,3,5}, 彭敏^{1,2,3,5}, 杨柯^{1,2,3},
李括^{1,2,3,5}, 王惠艳^{1,2,3}, 吴超^{1,2,3,4}, 杨峥^{1,2,3}

(1.中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊 065000;2.中国地质调查局 土地质量地球化学调查研究中心,河北 廊坊 065000;3.中国地质科学院 地球表层碳—汞地球化学循环重点实验室,河北 廊坊 065000;4.联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心,河北 廊坊 065000;5.中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院,北京 100083)

摘 要:植物中的硒主要来自于土壤,植物不仅可用于减轻硒缺乏的问题,还可用于管理环境硒毒性。本文基于 6 917 件根系土—水稻籽实样品、1 489 件根系土—小麦籽实样品和 1 816 件根系土—玉米籽样品,提出水稻种植区富硒土壤硒含量 $0.22 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 3.0 \times 10^{-6}$,小麦种植区富硒土壤硒含量 $0.31 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 1.0 \times 10^{-6}$,玉米种植区富硒土壤硒含量 $0.94 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 4.91 \times 10^{-6}$ 的标准,对全国富硒土壤资源的科学利用和开发富硒农产品具有重要意义。

关键词:富硒土壤;国家标准;地方标准;大宗农作物

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)06-1367-06

0 引言

硒(Se)是人体和动物必须的微量营养元素,人体硒摄入量的不足($<40 \mu\text{g}/(\text{人} \cdot \text{天})$)和过量($>400 \mu\text{g}/(\text{人} \cdot \text{天})$)均会导致各种健康问题^[1-2]。地表环境介质中硒含量过低导致的人体硒摄入不足,可引起克山病和心肌病等地方病^[3];地表环境硒含量过高导致的人体硒摄入过量,也可引起头发和皮肤脱落、皮肤损伤、神经系统紊乱、瘫痪,甚至死亡^[4-6]。对自然界岩石、土壤、水体、作物中 Se 含量水平的调查和地方病的长期观察也已证实,硒在自然界分布极不均匀^[7-9],因此在缺硒地区通过膳食增加硒的摄入量对维持人体健康、预防疾病和提高生活质量均具有重要意义。中国是全球 40 个缺硒国家之一,全国有 366 个县(约 1.05 亿人)因硒摄入

量不足而面临不利的健康影响^[10]。寻找富硒土壤和富硒农作物对增加人体硒摄入量,改善膳食营养水平,预防地方病尤为迫切。

谭见安等基于地理区划理论和方法^[11-12],通过 236 个土壤剖面中的硒含量水平及硒与地方病的关系,给出了土壤总硒的环境阈值,即土壤总硒含量 $\leq 0.125 \times 10^{-6}$ 为缺硒土壤, $0.125 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.175 \times 10^{-6}$ 为少硒或缺硒边缘土壤, $0.175 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.400 \times 10^{-6}$ 为中等硒含量或足硒土壤,土壤全硒含量在 $0.400 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 3.000 \times 10^{-6}$ 为高硒或富硒土壤,高于 3.000×10^{-6} 为过剩硒土壤。

1999 年以来,原国土资源部中国地质调查局组织实施的全国 1:25 万多目标区域地球化学调查,采用统一的采样和分析方法,在我国主要农耕区进行了系统的土壤地球化学测量,目前已覆盖调查面积 253.87 万 km^2 ^[13],以土壤 $0.40 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq$

收稿日期: 2019-04-02; 修回日期: 2019-10-28

基金项目: 中国地质调查局土地地球化学调查工程项目(121201108000150008),浙中盆地典型富硒区重金属生态风险研究(AS2017J14)

作者简介: 成晓梦(1991-),女,硕士研究生,地质工程专业,主要从事环境地球化学方向的工作。Email:chengxiaomeng@igge.cn

3.000×10⁻⁶为标准,协同《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391-2013)中的土壤环境质量要求^[14],圈定绿色富硒土壤 6 869 万亩^[15]。但在部分富硒土壤的开发利用中,发现农作物富硒比例存在较大的变化,在一些足硒、少硒甚至缺硒土壤中存在较高比例的富硒农作物。富硒土壤与富硒农作物之间的一致性对富硒土壤资源的圈定、开发利用和保护及发展富硒特色农业带来困惑。

笔者以全国土地质量地球化学调查工程中协同采集的水稻—土壤、小麦—土壤、玉米—土壤样品为基础,结合富硒成品粮的国家、地方标准及全国各地富硒土地资源的开发利用经验,初步探讨了适于发展富硒大宗农作物的富硒土壤标准,为我国圈定富硒土地资源,发展富硒特色农业提供依据。

1 数据来源

本文数据来自各省地质调查院、中国地质大学(北京)及中国地质科学院地球化学物理地球化学勘查研究所承担的多目标区域地球化学调查计划或土地地球化学调查工程中的相关项目。其中水稻主要分布在浙江、辽宁、江西、福建、广东、广西、湖南、四川、海南等 41 个主产区,协同采集根系土—水稻籽实样品各 6 917 件;新疆、青海、江苏、山西、河南、山东等 11 个小麦主产区协同采集根系土—小麦籽实样品各 1 489 件;辽宁、山西、山东、河南、福建、四川等 14 个玉米主产区协同采集根系土—玉米籽实各 1 816 件。样品分析测试方法和精度控制严格按照规范(DZ/T 0295-2016)执行^[16]。

2 根系土与作物籽实 Se 含量特征

全国玉米、小麦和水稻产区根系土壤中的硒含量中位值分别为 0.284×10⁻⁶、0.289×10⁻⁶和 0.370×10⁻⁶,对应的玉米、小麦和稻米籽实中的硒含量中位

值分别为 0.031×10⁻⁶、0.059×10⁻⁶和 0.050×10⁻⁶。硒的生物富集系数指示小麦富硒能力最大,水稻籽实次之,玉米富硒能力最小(表 1),说明不同农作物对硒的吸收能力存在较大差异,暗示在圈定富硒土壤资源、发展富硒特色农业时应采用差异化的圈定标准。

《富硒稻谷》(GB/T 22499-2008)的国家标准规定^[17],富硒稻谷加工的大米检测结果硒含量在 0.04×10⁻⁶~0.30×10⁻⁶的为富硒稻谷,如以富硒水稻的硒标准作为小麦、玉米籽实的富硒标准,对水稻、小麦、玉米根系土和作物籽实中 Se 的协同分析发现,在 $w(\text{Se}) \leq 0.175 \times 10^{-6}$ 的少硒土壤中,水稻、小麦和玉米籽实中富硒率高达 35%、24%和 16%;在足硒土壤($0.175 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.40 \times 10^{-6}$)中,水稻、小麦和玉米的富硒率分别为 65%、66%和 26%;在 $0.40 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 3.00 \times 10^{-6}$ 的富硒土壤中,水稻、小麦和玉米的富硒率分别为 81%、76%和 58%,不富硒的水稻、小麦和玉米籽实的比例分别为 18%、4%和 38%(表 2),指示用 0.40×10⁻⁶作为划定富硒土壤存在明显的误判和漏判(图 1),给发展富硒特色农产品带来不确定性。出现这种误判和漏判的主要原因是由于作物在吸收土壤硒的过程中,受土壤总硒和有效硒含量水平^[9]、田间管理方式^[18-19]、天气和气候变化^[20-22]、土壤 pH 和 Eh 的高低^[23-24]、土壤有机质含量和粘度^[25]、元素的协同和拮抗作用^[26]等多种因素影响。

3 富硒土壤的标准建立

作物硒主要来自于土壤,富硒土壤是生产富硒作物的基础^[27]。我国国土面积巨大,气候类型多样,不同地区土壤中的化学成分差异巨大,作物从土壤中吸收硒的影响因素较为复杂,这对制定统一的富硒标准带来较大困难。为了便于全国科学开发利用富硒土壤资源,分别用 41 个水稻产区、11 个小麦

表 1 全国大宗农作物籽实和对应根系土 Se 含量特征

Table 1 Selenium concentrations in bulk crops and soils of China

参数	玉米			小麦			水稻		
	根系土	籽实	生物富集系数	根系土	籽实	生物富集系数	根系土	籽实	生物富集系数
样品数/件	1816	1816	1816	1489	1489	1489	6917	6917	6917
最小值	0.049	0.000	0.002	0.071	0.006	0.006	0.008	0.001	0.002
最大值	15.175	7.421	6.255	3.395	1.025	6.120	6.395	3.296	7.750
平均值	0.425	0.072	0.156	0.340	0.099	0.284	0.425	0.061	0.179
中位值	0.284	0.031	0.108	0.289	0.059	0.207	0.370	0.050	0.139
标准离差	0.663	0.353	0.270	0.208	0.112	0.286	0.302	0.068	0.221

注:根系土、籽实 Se 含量单位为 10⁻⁶;生物富集系数=作物籽实中硒含量/根系土中硒含量,无量纲

表 2 不同土壤硒分区大宗农作物的富硒比例

Table 1 Selenium enrichment ratio of crops in different soil selenium divisions

土壤 Se 含量分区		硒超标籽实 $w(\text{Se}) \geq 0.30 \times 10^{-6}$	富硒籽实 $0.04 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 0.30 \times 10^{-6}$	不富硒籽实 $w(\text{Se}) < 0.04 \times 10^{-6}$
		水 稻		
$w(\text{Se}) \leq 0.175 \times 10^{-6}$	样本数/件	4	288	521
	比例/%	0.49	35.42	64.08
$0.175 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.40 \times 10^{-6}$	样本数/件	7	2027	1079
	比例/%	0.22	65.11	34.66
$0.40 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	25	2419	533
	比例/%	0.84	81.26	17.90
$w(\text{Se}) > 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	8	4	2
	比例/%	57.14	28.57	14.29
		小 麦		
$w(\text{Se}) \leq 0.175 \times 10^{-6}$	样本数/件	2	39	120
	比例/%	1.24	24.22	74.53
$0.175 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.40 \times 10^{-6}$	样本数/件	18	631	313
	比例/%	1.87	65.59	32.54
$0.40 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	71	277	16
	比例/%	19.51	76.10	4.40
$w(\text{Se}) > 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	1	0	1
	比例/%	50.00	0.00	50.00
		玉 米		
$w(\text{Se}) \leq 0.175 \times 10^{-6}$	样本数/件	0	52	279
	比例/%	0.00	15.71	84.29
$0.175 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 0.40 \times 10^{-6}$	样本数/件	1	237	682
	比例/%	0.11	25.76	74.13
$0.40 \times 10^{-6} < w(\text{Se}) \leq 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	24	318	210
	比例/%	4.35	57.61	38.04
$w(\text{Se}) > 3.00 \times 10^{-6}$	样本数/件	8	5	0
	比例/%	61.54	38.46	0.00

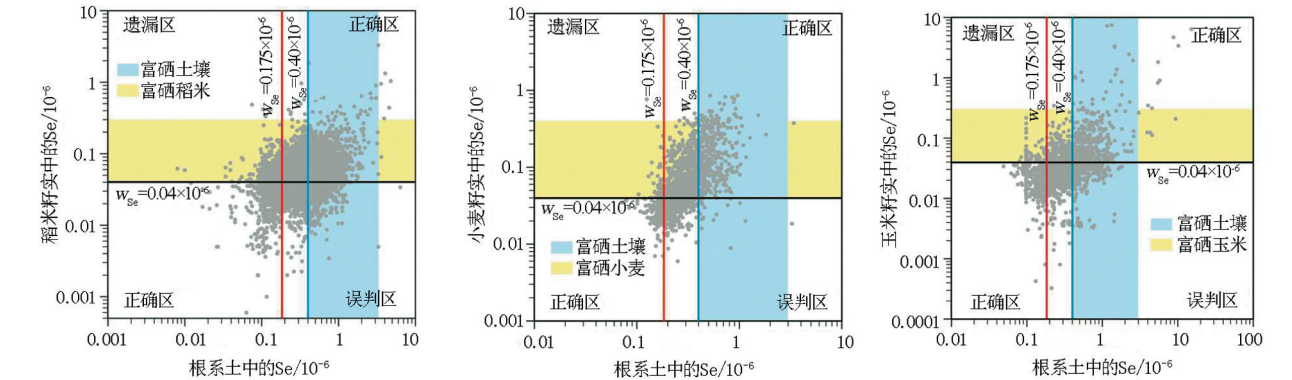


图 1 我国土壤和大宗农作物籽实硒含量协同分析

Fig.1 Co-analysis of Selenium in soils and crops in China

主产区和 14 个玉米主产区的土壤和作物籽实样品中 Se 含量中位值构建了大宗农作物和根系土中 Se 的关系模型,发现水稻、小麦和玉米籽实硒含量与土壤硒含量之间存在显著的线性相关(图 2)。虽然我国在《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB2762-2012)中已经取消了食品中 Se 的限量规定,且在《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB2762-2017)中继续取消了食品中 Se 的限量规

定^[28-29],但由于硒对人体健康的两面性,为安全起见,在探索富硒土壤的圈定标准时,仍考虑了硒的限量值。我国一些地方标准多数以作物籽实中 Se 含量小于 0.30×10^{-6} 作为富硒成品粮的上限,富硒成品粮的 Se 下限变化于 $0.02 \times 10^{-6} \sim 0.15 \times 10^{-6}$ 之间(表 3),下限变化的中位数为 0.07×10^{-6} 。根据富硒成品粮 Se 的上、下限值及作物籽实与根系土中 Se 的线性相关模型,推算出我国水稻产区富硒土壤的上、下

限为 2.78×10^{-6} 和 0.22×10^{-6} , 小麦产区富硒土壤的上、下限分别为 0.84×10^{-6} 和 0.31×10^{-6} , 玉米产区富硒土壤的上、下限分别为 0.94×10^{-6} 和 4.91×10^{-6} (表 4)。

近年来一些地方政府根据当地富硒农作物的分

布特征,也颁布了一些富硒土壤的地方标准^[30-32], 本项研究制定的富硒土壤的硒含量下限变化于 $0.22 \times 10^{-6} \sim 0.94 \times 10^{-6}$, 完全覆盖了上述地方富硒土壤的标准,也表明本文提出的富硒土壤的值能适用于全国。

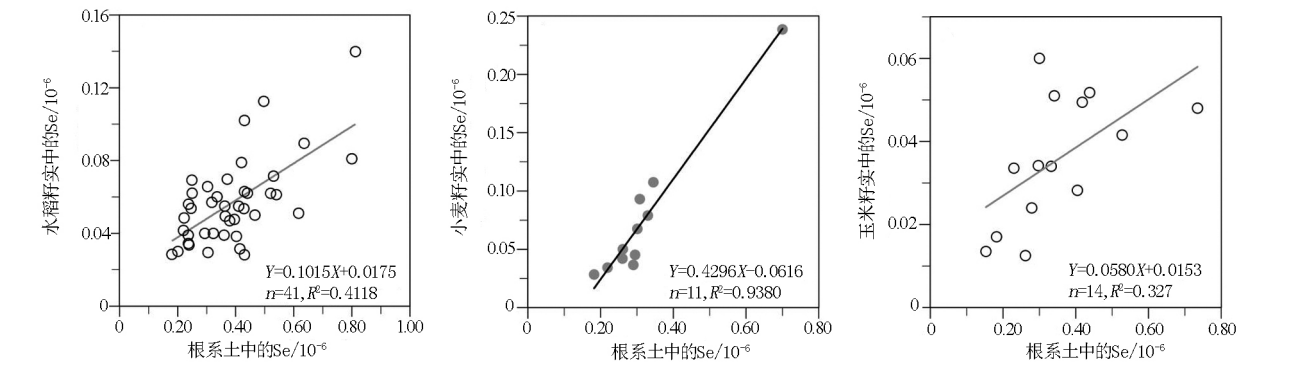


图 2 我国大宗农作物籽实与根系土中 Se 的线性模型
Fig.1 Linear model of Se in crop seeds and root soil in China

表 3 全国各地富硒粮食中硒含量标准

Table 2 Standard for selenium content in selenium-rich foods in China			
地区	粮食品种	Se 含量/10 ⁻⁶	引用标准
中华人民共和国国家标准	稻米	0.04~0.30	富硒稻谷 GB/T 22499-2008
中华人民共和国卫生部	固体食品	0.15	预包装食品营养标签通则 GB 28050-2011
中华人民共和国供销合作行业标准	谷物类	0.10~0.50	富硒农产品 GH/T 1135-2017
湖北省地方标准	大米、玉米、小麦	0.20~0.50	富有机硒食品硒含量要求 DBS 42/ 002-2014
江西省地方标准	稻米及制品	0.07~0.30	富硒食品硒含量分类标准 DB 36/T566-2009
陕西省地方标准	粮食加工品	0.15~0.30	富硒食品与其相关产品硒含量标准 DB 61/T556-2012
陕西省安康市地方标准	成品粮	0.02~0.30	富硒食品硒含量分类标准 DB 6124.01-2010
	粮食加工制品	0.005~0.30	
重庆市地方标准	稻谷及制品	0.05~0.30	富硒农产品 DB 50/T524-2013
	玉米及制品	0.02~0.30	
广西省地方标准	粮食	0.15~0.50	富硒农产品硒含量分类要求 DB 45/T1061-2014
湖南省地方标准	固体食品	0.15	富硒农产品生产技術规程 DB 43/T816-832-2013
宁夏回族自治区地方标准	水稻、玉米、小麦	0.04~0.30	宁夏富硒农产品标准(水稻、玉米、小麦与枸杞干果) DB 64/ T1221-2016

表 4 基于作物籽实和根系土线性模型的富硒土壤标准值

Table 2 Standard value of selenium-enriched soil based on linear model of crop seed and root soil					
作物与根系土硒含量关系模型		富硒成品量标准/10 ⁻⁶		富硒土壤标准/10 ⁻⁶	
水稻	$Y=0.1015X+0.01753$	下限	0.04	下限	0.22
		上限	0.30	上限	2.78
小麦	$Y=0.4296X-0.0616$	下限	0.07	下限	0.31
		上限	0.30	上限	0.84
玉米	$Y=0.0580X+0.0153$	下限	0.07	下限	0.94
		上限	0.30	上限	4.91

4 结论

鉴于上述结果,在重金属含量小于《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB

15618)中农用地土壤污染风险筛选值规定的前提下,建议富硒土壤标准如下:水稻种植区富硒土壤硒含量 $0.22 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 3.0 \times 10^{-6}$,小麦种植区富硒土壤硒含量 $0.31 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 1.0 \times 10^{-6}$,玉米种植区硒土壤硒含量 $0.94 \times 10^{-6} \leq w(\text{Se}) < 4.91 \times$

10⁻⁶。各地可根据土壤中的硒含量,优化种植结构,开发富硒农产品。

致谢:本文得到各省地质调查院的大力支持,在此致以诚挚的谢意。另外,感谢审稿人和编辑老师提出的宝贵意见。

参考文献 (References) :

[1] Rayman M P. Selenium and human health[J]. Lancet (London, England). 2012, 379(9822):1256-1268.

[2] Fordyce F M. Selenium deficiency and toxicity in the environment [G]//Seinus O, Alloway B, Centeno J A, et al. Essentials of Medical Geology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013: 375-416.

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

[4] Yang G Q, Wang S Z, Zhou R H, et al. Endemic selenium intoxication of human in China[J]. The American Journal of Clinical Nutrition. 1983,37(5):872-81.

[5] Qin H B, Zhu J M, Liang L, et al. The bioavailability of selenium and risk assessment for human selenium poisoning in high-se Areas, China[J]. Environment International.2013,52: 66-74.

[6] Yuan L X, Yin X B, Zhu Y Y, et al. Selenium in plants and soils, and selenosis in Enshi, China; implications for selenium biofortification[G]//Yin X B, Yuan L X. Phytoremediation and Biofortification. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012:7-31.

[7] Tan J, Huang Y. Selenium in geo-ecosystem and its relation to endemic diseases in China[J]. Water, Air, and Soil Pollution. 1991,57(1):59-68.

[8] Tan J A, Zhu W Y, Wang W Y, et al. Selenium in soil and endemic diseases in China[J]. Science of the Total Environment. 2002,284(1-3):227-235.

[9] Ding Q T, Cui Z, Huang J, et al. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review[J]. Environment International. 2018,112:294-309.

[10] Wang J, Li H R, Yang L S, et al. Distribution and translocation of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin-Beck disease area[J]. Environmental Geochemistry and Health. 2017,39(1):221-229.

[11] 中华人民共和国地方病与环境图集编纂委员会. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京:科学出版社, 1989. The Committee of Endemic Diseases and Their Environments in the People's Republic of China. The atlas of endemic diseases and their environments in the People's Republic of China[M]. Beijing: Science Press, 1989.

[12] 谭见安. 环境硒与健康[M]. 北京:人民卫生出版社, 1989. TAN J A. Environment selenium and health[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1989

[13] Li M, Xi X, Xiao G, et al. National multi-purpose regional geochemical survey in China[J]. Journal of Geochemical Exploration. 2014, 139: 21-30.

[14] 中华人民共和国农业部. NY/T391-2013 绿色食品产地环境质

量[EB/OL]. [2013-12-13]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2014/dyq/201712/t20171219_6104255.html.

Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T391-2013 Green food-environmental quality for production area [EB/OL]. [2013-12-13]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2014/dyq/201712/t20171219_6104255.html.

[15] 成杭新. 土地地球化学调查工程 2018 年进展报告[R]. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,2018. Cheng H X. The progress report of land geochemical survey project, 2018[R].Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences. 2018.

[16] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0296-2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京:地质出版社, 2016:1-52. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0296-2016 Specification of land quality geochemical assessment [S]. Beijing:Geological Publishing House, 2016:1-52.

[17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 22499-2008 富硒稻谷[S]. 2009. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 22499-2008 Rich selenium paddy [S]. 2009.

[18] Stroud J L, Broadley M R, Foot I, et al. Soil factors affecting selenium concentration in wheat grain and the fate and speciation of Se fertilisers applied to soil [J]. Plant and Soil. 2010,332(1):19-30.

[19] Longchamp M, Angeli N, Castrec-Rouelle M. Selenium uptake in Zea mays supplied with selenate or selenite under hydroponic conditions[J]. Plant and Soil. 2013, 362(1):107-117.

[20] 杨光圻,王鸿贞,周瑞华,等. 湖北恩施地区原因不明脱发脱甲症病因的研究[J]. 中国医学科学院学报,1981,3(2):1-6. Yang G Q, Wang H Z, Zhou R H, et al. Investigation on loss hair and nail of unknow etiology-endmic selenosis, Enshi, Hubei Province[J]. Acta Academiae Medicinae Sinicae,1989,3(2):1-6.

[21] 毛大均,梁德高. 湖北省利川县谋道区克山病流行病学调查报告[J]. 中国地方病学杂志,1983, 3:143-145. Mao D J, Liang D G.The investigation report of Keshan disease in Hubei Provinces[J]. Chinese Journal of Endemiology. 1983, 3: 143-145.

[22] 李家熙,张光第,葛晓立,等. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京:地质出版社, 2000. Li J X, Zhang G D, Ge X L, et al.Prediction and geochemical environmental character of human selenium imbalances[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.

[23] Lee S, Doolittle J J, Woodara H J. Selenite adsorption and desorption in selected South Dakota soils as a function of pH and other oxyanions[J]. Soil Science, 2011,176(2):73-79.

[24] Fordyce F M, Zhang G D, Green K, et al. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi District, China[J]. Applied Geochemistry. 2000,15(1): 117-132.

[25] Li Z, Man N, Wang S S, et al. Selenite adsorption and desorption

in main Chinese soils with their characteristics and physicochemical properties[J]. Journal of Soils and Sediments. 2015, 15(5): 1150–1158.

[26] Violabte A. Elucidating mechanisms of competitive sorption at the mineral/water interface[G]//Sparks D L. Advances in agronomy. Cambridge MA: Academic Press, 2013:111–176.

[27] 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.

Zhu J M, Zheng B S, Mao D J, et al. Landscape geochemisty of distribution of selenium in Yutangba mini-landscape[J]. Geochimica. 2000, 29(1): 43–49.

[28] 中华人民共和国卫生部. GB2762–2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量 [S]. 2012.

Ministry of Health of the People’s Republic of China. GB2762–2012 National food safety standards, contaminant limit in food [S]. 2012.

[29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员, 国家食品药品监督管理总局. GB2762–2017 食品安全国家标准食品中污染物限量 [S]. 2017 .

National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. GB2762 – 2017 National food safety standards, contaminant limit in food[S]. 2017.

[30] 宁夏回族自治区质量技术监督局. DB64/T1220–2016 宁夏富硒土壤标准[S]. 2016.

The Quality and Technology Supervision Bureau of Ningxia Province. DB64/T1220 – 2016 Selenium-enriched soil standards of Ningxia[S]. 2016.

[31] 广西壮族自治区质量技术监督局. DB45/T 1442–2016 土壤中全硒含量的分级要求[S]. 2016.

The Quality and Technology Supervision Bureau of Guangxi Province. DB45/T 1442–2016 Grading requirements for total selenium content in soil [S]. 2016.

[32] 黑龙江省质量技术监督局. DB23/T 2071–2018 富硒土壤评价要求[S]. 2018.

The Quality and Technology Supervision Bureau of Heilongjiang Province. DB23/T 2071–2018 Assessment requirements for selenium-enriched soil [S]. 2018.

Characteristics of selenium in crops and roots in China and recommendations for selenium-enriched soil standards

CHENG Xiao-Meng^{1,2,3,4}, MA Rong-Rong^{1,2,3,5}, PENG Min^{1,2,3,5}, YANG Ke^{1,2,3},
LI Kuo^{1,2,3,5}, WANG Hui-Yan^{1,2,3}, WU Chao^{1,2,3,4}, YANG Zheng^{1,2,3}

(1. Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. Research Center of Geochemical Survey and Assessment on Land Quality, China Geological Survey, Langfang 065000, China; 3. Key Laboratory of Geochemical Cycling of Carbon and Mercury in the Earth’s Critical Zone, CAGS, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 4. UNESCO International Center on Global-scale Geochemistry, Langfang 065000, China; 5. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Selenium (Se) in plants is mainly derived from soil, and plants can be used not only to alleviate the problem of selenium deficiency, but also to manage environmental selenium toxicity. On the basic of 6 917 co-samples of soil and rice, 1 489 co-samples of soil and wheat, and 1 816 co-samples of soil and corn seed, the Selenium concentration in selenium-enriched soil was $0.22\times10^{-6}\leq w(\text{Se})<3.0\times10^{-6}$ for rice producing areas, $0.31\times10^{-6}\leq w(\text{Se})<1.0\times10^{-6}$ for wheat planting area, and $0.94\times10^{-6}\leq w(\text{Se})<4.91\times10^{-6}$ for corn planting area. It is of great significance to the scientific utilization of selenium-enriched soil resources and the development of selenium-enriched agricultural products.

Key words: Selenium-enriched soil; national standard; local standard; crops

(本文编辑: 蒋实)