

赵 晗,蔡 超.恩施地区玉米硒的生物可给性及其健康风险评估[J].江苏农业科学,2018,46(4):228-230,236.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.058

# 恩施地区玉米硒的生物可给性及其健康风险评估

赵 晗<sup>1,2</sup>,蔡 超<sup>1</sup>

(1.中国科学院城市环境研究所/中国科学院城市环境与健康重点实验室,福建厦门 361000; 2.中国科学院大学,北京 100049)

**摘要:**通过研究湖北恩施地区玉米的生物可给性并对当地人群硒中毒风险进行评估,从而为当地硒资源的开发管理决策提供科学依据,采集湖北恩施 4 个地区的 4 种玉米及相应的土壤样品,然后采用 ICP-MS 方法测定土壤硒含量和玉米硒含量,采用连续浸提的方法测定土壤中硒的赋存形态,通过体外模型的方法探究玉米中硒的生物可给性。结果表明,恩施鱼塘坝地区土壤和玉米硒含量最高,长平地区土壤和玉米硒含量最低;不同品种的玉米富集系数有差别;土壤硒的各赋存形态比例以残渣态最高、水溶态最低;玉米在胃阶段的生物可给性为 27%~39%,在小肠阶段的生物可给性为 45%~59%;鱼塘坝地区人均硒摄入量为 406  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,可见鱼塘坝当地人群有慢性硒中毒的风险。

**关键词:**硒;土壤;玉米;土壤硒的赋存形态;生物可给性;硒中毒;风险评估;富集系数;鱼塘坝;富硒玉米;科学种植

**中图分类号:** X173 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0228-03

硒为稀有分散元素,在地壳中含量很少,而且在土壤中的分布极不均匀。世界上土壤自然含硒量在 0.01~2.00  $\text{mg}/\text{kg}$  之间,一般土壤中硒含量约 0.4  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[1]</sup>,可见湖北恩施地区属于中国典型的高硒区。Qin 等采集恩施富硒地区农田土壤,硒含量高达 5.90~24.3  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[2]</sup>。恩施富硒作物中烟草和茶叶等研究比较多,但是,玉米作为恩施地区栽培面积最大的作物研究得相对较少。Xu 等采集了恩施地区烟草叶子,测得其硒含量为 0.3~29.3  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[3]</sup>;Dai 采集了恩施地区茶叶,测得其硒含量最高可达到 7.53  $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>[4]</sup>。另外,对富硒作物中硒总量研究得比较多,对硒的生物可给性研究得比较少,而硒对人体健康的影响与生物可给性息息相关,且很少有研究关注到作物品种对生物可给性的影响。生物可给性是指食物直接进入人体的消化系统后,人体胃肠道溶解部分所占的比例<sup>[5]</sup>。Lavu 等探究了比利时韭菜和洋麻硒的生物可给性,在胃阶段约为 45%,在小肠阶段约为 75%,小肠阶段显著比胃阶段要高<sup>[6]</sup>;Bhatia 等研究了印度蘑菇硒小肠阶段的生物可给性,约为 57%<sup>[5]</sup>。本研究首次探讨了玉米品种对硒的生物可给性的影响。

硒过多或过少对人体健康都不利,人体缺硒会导致克山病和大骨节病;硒过量会导致人体脱发、脱甲等硒中毒症状<sup>[7-8]</sup>。饮食是硒暴露的主要途径,评估其健康风险对于当地人群的健康状况具有十分重要的意义。但是,目前探究食物硒健康风险的研究并不多,而且国内外的研究一般采用食物总硒直接参与计算。然而食物中的硒并不会被人体完全吸收,这样无疑增大了硒中毒的健康风险,所以本研究采用硒的生物可给性参与健康风险评估的计算,旨在为开展富硒玉米的科学种植提供理论支持。

## 1 样品采集与分析方法

### 1.1 玉米采集及预处理

样点于 2015 年 8 月 20 日采自湖北省恩施市鱼塘坝、长平、屯堡和红土地区。土壤样品取 0~20 cm 的耕作层土壤,玉米样品采集于对应的土壤上的玉米籽粒。其中,本研究玉米约 4 月开始种植,8 月成熟,采样时期为玉米的成熟期,采样部位为玉米的果实。土壤样品在室内阴凉处风干、压碎,拣去样品中的碎石、植物残体等杂物,过 100 目筛,装入聚乙烯塑料袋中备用。玉米样品在实验室内先用自来水冲洗 3 次,然后用蒸馏水冲洗 3 次,室温下晾干,用冷冻干燥机烘干,再用植物碎样机粉碎并过 100 目筛,密封储存于聚乙烯塑料袋中备用。

### 1.2 样品测试与分析

土壤样品的消解试验开始于 2015 年 8 月 23 日,参考 Williams 等采用的电热板消解法<sup>[9]</sup>并稍作改进:称取经风干粉碎过 100 目筛的样品 0.2 g 于消解管中,提前称取空的消解管质量,加浓硝酸 10 mL、高氯酸 2.5 mL,摇匀,放置过夜,次日于低温电热板上加热至冒白烟,蒸至 1 mL 左右,取下冷却,以 Milli-Q 超纯水定容至 40 mL 左右,称质量,样品液经 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后待测,同时制作分析空白,每个样品 3 个平行。

玉米样品的消解参考王欣等采用的微波消解法<sup>[10]</sup>:称取玉米粉样品 0.2 g(过 100 目)置于微波消解管(提前清洗,烘干)中,加入 2 mL 浓  $\text{HNO}_3$ 、2 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,过夜,微波消解;消解结束后,冷却至室温,打开消解罐,样品液转移至 40 mL 离心管中,并用超纯水洗涤消解罐及盖 3 次,合并洗涤液,定容并摇匀,称质量,样品液经 0.22  $\mu\text{m}$  滤膜过滤后待测。每个样品做 3 个平行,同时做空白试验。

土壤和玉米样品都采用 ICP-MS(电感耦合等离子体质谱法)进行分析测量,ICP-MS 采用 He 碰撞池模式。其中,土壤的处理过程中加入土壤成分分析标准物质 GSS-1 和 GSS-3,植物的处理过程中加入玉米标准物 GBW10012,根据标准物质与重复样品的测定,数据结果可靠。

收稿日期:2016-08-20

基金项目:国家“863”计划(编号:2012AA06A204)。

作者简介:赵 晗(1990—),男,土家族,湖北恩施人,硕士研究生,从事土壤化学与环境工程研究。E-mail:hanzhao@iue.ac.cn。

土壤有效态的测量试验于 2015 年 8 月 30 日开始,参考 Wang 等的土壤硒的连续化学浸提五步法<sup>[11]</sup>,并且针对恩施地区的样品稍作改进。各个形态提取方法如下:(1)水溶态。称取 1.000 g 土壤样品于 10 mL 离心管中,加入蒸馏水 10 mL,加盖,平放于振荡器上,室温下振荡 1 h,然后以 4 000 r/min 转速离心 30 min,取出上清液,定容至 10 mL,检测。(2)可交换态。在上述含有残渣的离心管中,加入 0.1 mol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 10 mL,室温下同法振荡 2 h,以 4 000 r/min 转速离心 30 min,取出上清液,定容至 10 mL,待测。(3)铁锰氧化物和碳酸盐结合态。在(2)含有残渣的离心管中,加入 3 mol/L HCl 10 mL,于 90 ℃ 的恒温水浴中加热 50 min 并间歇振荡,然后以 400 r/min 转速离心 30 min,取出上清液,定容至 500 mL,待测。(4)有机物结合态。在(3)含有残渣的离心管中,加入 0.1 mol/L  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  10 mL,于 90 ℃ 恒温水浴中加热 2 h 并间歇振荡,然后以 4 000 r/min 转速离心 30 min,取出上清液,定容至 500 mL,待测。取出残渣,烘干,重新研磨。以下操作方法同上面土壤总硒含量的测定。

玉米可给性试验于 2015 年 9 月 12 日开始进行,采用 Jaiswal 等的体外模拟消化方法<sup>[12]</sup>。胃部阶段:称 1.25 g 玉米粉到 50 mL 血清瓶中,加入 12.5 mL 胃液(6% 胃蛋白酶, pH 值为 1.75),混合物振荡 1~2 min。然后密封血清瓶,以 150 r/min 转速在 37 ℃ 条件下振荡 3 h。每个样品设置重复。冷却后,在 4 ℃ 下以 5 000 r/min 离心 20 min。样品液经 0.45  $\mu\text{m}$  水性滤膜过滤,密封储存在 0~4 ℃ 条件下待测,测量前先定容至 50 mL,然后取出 10 mL,稀释到 100 mL 上机测量。小肠阶段:将胃阶段得到的溶液 pH 值通过  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  调整到 7,然后加入 10 mL 胰消化液(2% 胰酶,0.2% 胆汁),混合物振荡 1 min;接下来操作同胃阶段。样品分析采用 ICP-MS,同时做空白试验和 3 个平行,数据结果可靠。

## 2 结果与分析

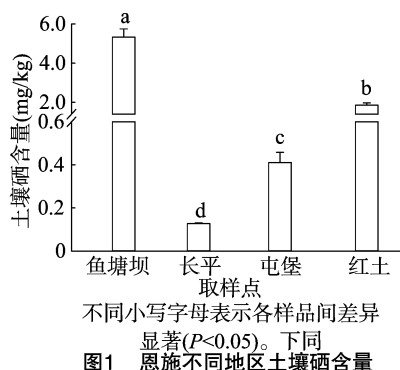


图1 恩施不同地区土壤硒含量

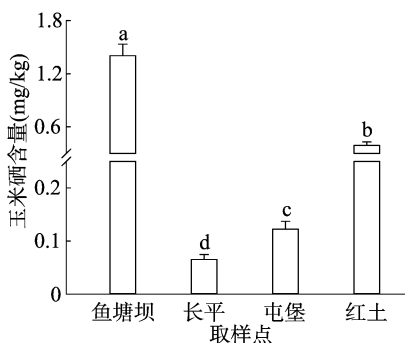


图2 恩施地区不同玉米品种硒含量

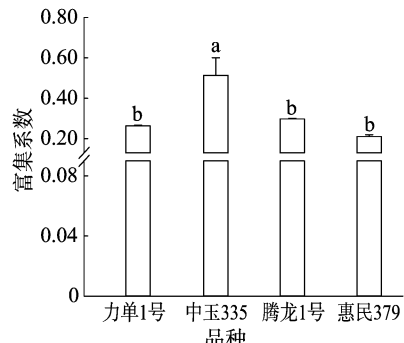


图3 恩施地区不同玉米品种硒的富集系数

### 2.4 土壤硒的赋存形态

由图 4 可知,本研究区土壤硒的赋存形态空间分布有差异,连续浸提致使土壤硒分为水溶态、可交换态、碳酸盐和铁锰氧化物结合态、有机物结合态、残渣态 5 个部分,其中水溶态所占比例最低,残渣态所占比例最高。土壤硒的有效态是指真正可以被植物吸收利用的土壤硒形态,主要包括可交换态和水溶态。由图 4 可以看出,鱼塘坝地区土壤硒的有效态比例最低,长平地区最高。另外,鱼塘坝地区残渣态比例最

### 2.1 土壤硒含量

由图 1 可知,本研究区土壤硒含量空间分布不均匀,差异较大。总体来看,鱼塘坝地区土壤硒含量最高,达到  $(5.320 \pm 0.422)$  mg/kg;长平地区土壤硒含量最低,为  $(0.127 \pm 0.034)$  mg/kg。可见,土壤硒含量的最大值是最小值的 41.9 倍,基于算术平均数的变异系数为 123%。鱼塘坝地区之所以高硒,大多数研究者认为是富硒炭质岩石的暴露和风化,然而朱建明等认为鱼塘坝高硒的重要原因是人为播撒富硒炭质岩碎粒和火土肥<sup>[13]</sup>。

### 2.2 玉米硒含量

由图 2 可知,本研究区玉米硒含量空间分布不均匀,差异较大。总体来看,鱼塘坝地区玉米硒含量最高,达  $(1.400 \pm 0.131)$  mg/kg;长平地区玉米硒含量最低,为  $(0.065 \pm 0.009)$  mg/kg。鱼塘坝地区玉米硒含量接近高硒中毒村的 1.38 mg/kg,显著高于恩施其他地区<sup>[14]</sup>。玉米硒含量最大值是最小值的 21.5 倍,基于算术平均数的变异系数为 126%。不同地区的玉米硒含量差异较大,郭宇等报道,在鱼塘坝采集的玉米样品硒含量最大值为 1.16 mg/kg<sup>[15]</sup>,这跟本试验的结果比较接近;Moon 等采集了韩国地区的玉米样品,其硒含量比较低,为 0.001 9 mg/kg<sup>[16]</sup>;Chilimba 等研究了非洲马拉维地区生物强化的玉米,其硒含量最高可达 21 mg/kg<sup>[17]</sup>。

### 2.3 玉米的富集系数

由图 3 可知,本研究区不同玉米品种的富集系数不同。总体来看,富硒能力最强的玉米品种是中玉 335。其中富集系数范围 0.210~0.514,算数平均数为 0.321,基于算术平均的变异系数是 41.5%,富集系数最大值是最小值的 2.45 倍。玉米中硒含量不仅与其所生长土壤的本底值有关,还与玉米的生理结构密切相关。玉米富集系数是表征玉米吸收富集硒能力的重要指标,不同玉米品种的富集系数有差异,而且某些品种间差异十分显著,说明在考察玉米富硒问题时,玉米品种也是一个不容忽视的重要因素。建议当地居民栽培玉米时应该根据当地的实际情况选择合适的玉米品种。

高。对土壤中硒的全量分析是确定土壤硒营养状况的重要手段,但是却不能很好地提供硒的生物可利用性方面的信息,不同形态的硒有显著的地球化学差异,影响着硒在土壤环境中的迁移、转化和生物可利用性,因为了解土壤中硒的赋存形态十分必要。国内外的研究者针对不同地区样品提出了不同的土壤硒的连续化学浸提方法,如 Wang 等的五步法<sup>[11]</sup>、Shannasarka 等的六步法<sup>[18]</sup>和朱建明等的七步法<sup>[19]</sup>。鉴于本次试验土壤样品的特质和总硒水平,决定参考 Wang 等的五

步法<sup>[12]</sup>并略加改进,进行试验。恩施地区土壤普遍有效态比例低,残渣态比例高,说明该地区土壤硒的生物可利用性不高。鱼塘坝地区有效硒比例很低,但是土壤硒总量很高,所以真正可以被玉米利用的硒含量也相对比较高,导致了该地区玉米硒含量很高。虽然长平地区的土壤硒有效态比例最高,但是由于硒总量很低,真正被玉米利用的硒含量不高,导致该地区玉米硒含量很低。朱健明等采集了恩施地区的土壤样品,试验证明恩施地区土壤硒的可利用性普遍不高,比例最高的是植物不可利用的残渣态硒<sup>[19]</sup>;吴少尉等采集了恩施地区富硒土壤,连续浸提的结果将恩施高硒地区土壤硒分为水溶态、可交换态、碳酸盐及铁锰氧化物结合态、有机物结合态、残渣态 5 个部分,分别占总硒的 3.1%、11.7%、16.7%、25.7%、42.0%<sup>[20]</sup>,这与本试验的结果相近。

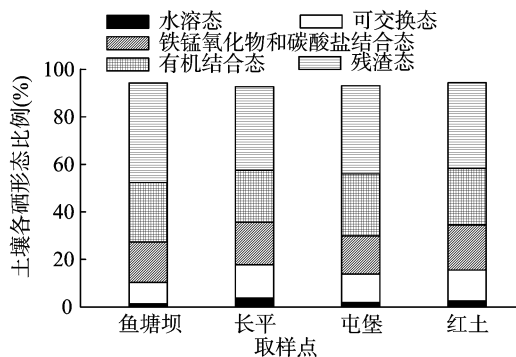


图4 恩施地区土壤硒的赋存形态

## 2.5 玉米硒的生物可给性

由图 5 可知,本研究区采集的 5 种玉米品种硒的生物可给性存在差异。由此可以看出,5 种玉米品种硒的生物可给性都是小肠阶段显著高于胃阶段,在小肠和胃阶段都是中玉 335 硒的可给性最高,惠民 379 最低。胃阶段硒的生物可给性为 23.6%~39.1%,小肠阶段为 44.9%~59.1%。说明玉米品种对硒的生物可给性有不可忽视的影响。不同的玉米品种硒的生物可给性不同,可能是因为不同玉米品种各成分的含量和比例有差别,不同研究者测出的玉米硒生物可给性结果不同,这可能是由于采样地区和体外模型方法不同导致的。Jaiswal 等采集了印度的玉米样品,测出在胃阶段的可给性为 32%,小肠阶段的可给性为 51%,小肠阶段显著高于胃阶段<sup>[12]</sup>,这跟本试验结果相近,之所以小肠阶段更高,可能是因为小肠是食物消化的主要场所,拥有更多的消化液和消化酶;而 Khanam 等同样研究了印度的玉米样品,测出玉米硒的生物可给性却为 10% 左右<sup>[21]</sup>。恩施鱼塘坝地区玉米力单 1 号虽然可给性不是最高的,但是由于玉米总硒含量很高,所以被人体摄入的硒含量也相对较高。可见,长期食用当地玉还是很有可能有硒中毒的风险,应当慎重对待。

## 2.6 PDI 指数

PDI (probable daily intake of Se for a human) 指数通常被用来评价人群膳食硒中毒风险。Hawkesford 等采集了北美地区的样品,PDI 为 60~220  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[22]</sup>;Yoneyama 等采集了日本地区的样品,PDI 为 140~178  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[23]</sup>;Hira 等采集了印度高硒地区的植物样品,PDI 为 475~632  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[24]</sup>。

本试验采集玉米样品硒含量最高为 1.40  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,玉米品种硒的生物可给性最高为 59.1%。另外根据湖北省统计年鉴

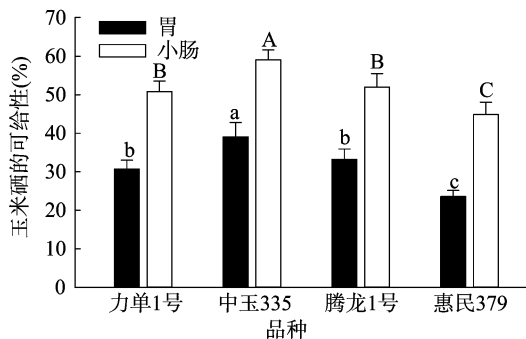


图5 恩施地区不同玉米品种硒的生物可给性

可知,恩施地区人均玉米摄入量为 38  $\text{g}/\text{d}$ ,根据 Qin 等的调查结果可知,玉米供硒占有所有食物组分的 6.7% 左右,从而可以算出 PDI 为 469  $\mu\text{g}/\text{d}$ <sup>[25]</sup>。最新硒允许最高剂量为 400  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,所以恩施鱼塘坝高硒地区当地居民有慢性硒中毒风险<sup>[26]</sup>。

## 3 结论

整体来看,本研究区域内鱼塘坝地区土壤硒含量最高,长平地区土壤硒含量最低;鱼塘坝地区玉米硒含量最高,长平地区玉米硒含量最低;不同品种的玉米富集系数有差异,品种也是玉米富硒的一个不可忽视的重要因素;恩施地区土壤硒各赋存形态比例以残渣态最高、水溶态最低;不同玉米品种在胃阶段的生物可给性为 23.6%~39.1%,在小肠阶段的生物可给性为 44.9%~59.1%,小肠阶段显著高于胃阶段。本试验探究了玉米品种对硒的生物可给性的影响,结果表明玉米品种也是玉米硒生物可给性的一个不可忽视的因素;鱼塘坝地区 PDI 指数为 469  $\mu\text{g}/\text{d}$ ,当地人群有慢性硒中毒的风险。

## 参考文献:

- [1] Zhu Y G, Pilon-Smits E A H, Zhao F J, et al. Selenium in higher plants: understanding mechanism for biofortification and phytoremediation [J]. *Trend in Plant Science*, 2009, 14(8): 436-442.
- [2] Qin H B, Zhu J M, Su H. Selenium fractions in organic matter from Se-rich soils and weathered stone coal in selenosis areas of China [J]. *Chemosphere*, 2012, 86(6): 626-633.
- [3] Xu Z C, Shao H F, Li S, et al. Relationships between the selenium content in flue-cured tobacco leaves and the selenium content in soil in enshi, China tobacco-growing area [J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2012, 44(5): 1563-1568.
- [4] Dai G. Geographical indication characteristics and agricultural intellectual property protection of the tea in enshi prefecture [J]. *Asian Agricultural Research*, 2014, 6(5): 95.
- [5] Bhatia P, Aureli F, D'amato M, et al. Selenium bioaccessibility and speciation in biofortified *Pleurotus mushrooms* grown on selenium-rich agricultural residues [J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(1/2): 225-230.
- [6] Lavu R V, van de Wiele T, Pratti V L, et al. Selenium bioaccessibility in stomach, small intestine and colon: comparison between pure Se compounds, Se-enriched food crops and food supplements [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197(A): 382-387.
- [7] 李日邦, 谭见安, 王五一, 等. 提高食物链硒通量防治大骨节病和克山病示范研究 [J]. *地理学报*, 1999, 54(2): 158-164.

(下转第 236 页)

表 1 6 个研究区及全国 0~10 cm 土壤湿度 Noah-MP 模拟值与实测的相关系数、偏差和均方根误差

研究区域	相关系数	偏差 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )	均方根误差 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )
I 区(东北地区)	0.670	0.008	0.024
II 区(华北地区)	0.950	0.004	0.012
III 区(江淮地区)	0.947	-0.027	0.030
IV 区(东南地区)	0.961	0.009	0.020
V 区(西北东部地区)	0.928	0.002	0.010
VI 区(西南地区)	0.942	0.023	0.024
全国	0.939	-0.003	0.008

- [25] Xia Y L, Ek M, Wei H L, et al. Comparative analysis of relationships between NLDAS-2 forcings and model outputs[J]. Hydrological Processes, 2012, 26(3): 467-474.
- [26] 师春香, 谢正辉, 钱 辉, 等. 基于卫星遥感资料的中国区域土壤湿度 EnKF 数据同化[J]. 中国科学(地球科学), 2011(3): 375-385.
- [27] 师春香. 基于 EnKF 算法的卫星遥感土壤湿度同化研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2008.
- [28] 何 杰. 中国区域高时空分辨率地面气象要素数据集的建立[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2010.
- [29] 刘 波, 马柱国, 冯锦明. 1960—2004 年新疆地区地表水热过程的数值模拟研究 I. 以观测资料为基础的陆面过程模型大气驱动场的发展[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 491-502.

(上接第 230 页)

- [8] 杨光圻, 周瑞华, 孙淑庄, 等. 人的地方性硒中毒和环境及人体硒水平[J]. 营养学报, 1982, 4(2): 81-89.
- [9] Williams P N, Villada A, Deacon C, et al. Greatly enhanced arsenic shoot assimilation in rice leads to elevated grain levels compared to wheat and barley[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(19): 6854-6859.
- [10] 王 欣, 幸苑娜, 陈泽勇, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法检测富硒食品中 6 种硒形态[J]. 分析化学, 2013, 41(11): 1669-1674.
- [11] Wang S, Liang D, Wang D, et al. Selenium fractionation and speciation in agriculture soils and accumulation in corn (*Zea mays* L.) under field conditions in Shaanxi Province, China[J]. The Science of the Total Environment, 2012, 427/428: 159-164.
- [12] Jaiswal S K, Prakash R, Acharya R, et al. Bioaccessibility of selenium from Se-rich food grains of the seleniferous region of Punjab, India as analyzed by instrumental neutron activation analysis[J]. CyTA(Journal of Food), 2012, 10(2): 160-164.
- [13] 朱建明, 左 维, 秦海波, 等. 恩施硒中毒区土壤高硒的成因: 自然硒的证据[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 397-400.
- [14] Fordyce F M, Guangdi Z, 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.
- [15] 郭 宇, 鲍征宇, 马真真, 等. 湖北恩施地区土壤植物系统 Se 元素的地球化学特征[J]. 地质通报, 2012, 31(1): 151-155.
- [16] Moon J H, Kim S H, Kim K S, et al. INAA for the evaluation of selenium contents in grain foods consumed by Korean[J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2016, 309(1): 337-341.
- [17] Chilimba A D, Young S D, Black C R, et al. Agronomic

- [30] 左志燕, 张人禾. 中国东部春季土壤湿度的时空变化特征[J]. 中国科学(地球科学), 2008(11): 1428-1437.
- [31] 张志富. 自动站土壤水分资料质量控制方案的研制[J]. 干旱区地理, 2013, 36(1): 101-108.
- [32] 黄飞龙, 李昕娣, 黄宏智, 等. 基于 FDR 的土壤水分探测系统与应用[J]. 气象, 2012(6): 764-768.
- [33] 韩 帅. 基于 CLDAS 驱动数据的 CLM3.5 和 SSIB2 陆面模式模拟评估及干旱监测应用[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2015.
- [34] Yang Z L, Niu G Y, Mitchell K E, et al. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 2. Evaluation over global river basins[J]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2011, 116(D12): 1248-1256.
- [35] Cai X T, Yang Z L, Xia Y L, et al. Assessment of simulated water balance from Noah, Noah-MP, CLM, and VIC over CONUS using the NLDAS test bed[J]. Journal of Geophysical Research, 2014, 119(24): 13751-13770.
- [36] 孙丞虎, 李维京, 张祖强, 等. 淮河流域土壤湿度异常的时空分布特征及其与气候异常关系的初步研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(2): 129-138.
- [37] 张文君, 周天军, 宇如聪. 中国土壤湿度的分布与变化 I. 多种资料间的比较[J]. 大气科学, 2008, 32(3): 581-597.
- [38] 陈东东, 王明田, 张玉芳, 等. 四川省土壤湿度自动站和人工观测数据对比分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(29): 18066-18068, 18147.
- [18] Sharmasarkar S, Vance G F. Fractional partitioning for assessing solid-phase speciation and geochemical transformations of soil selenium[J]. Soil Science, 1995, 160(1): 43-55.
- [19] 朱建明, 秦海波, 李 璐, 等. 高硒环境样品中硒的形态分析方法[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2007, 26(3): 209-213.
- [20] 吴少尉, 池 泉, 陈文武, 等. 土壤中硒的形态连续浸提方法的研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 92-95, 103.
- [21] Khanam A, Platel K. Bioaccessibility of selenium, selenomethionine and selenocysteine from foods and influence of heat processing on the same[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1293-1299.
- [22] Hawkesford M J, Zhao F J. Strategies for increasing the selenium content of wheat[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46(3): 282-292.
- [23] Yoneyama S, Miura K, Itai K, et al. Dietary intake and urinary excretion of selenium in the Japanese adult population: the internmap study Japan[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2008, 62(10): 1187-1193.
- [24] Hira C K, Partal K, Dhillon K S. Dietary selenium intake by men and women in high and low selenium areas of Punjab[J]. Public Health Nutrition, 2004, 7(1): 39-43.
- [25] 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.
- [26] World Health Organization (WHO), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Vitamin and mineral requirements in human nutrition [EB/OL]. [2016-07-22]. <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241546123.pdf2004.Website>.