

## • 微量物质在环境中的迁移及影响 •

## 废弃冶炼厂附近土壤-蔬菜系统中的重金属迁移特征

袁永强<sup>1,2</sup>, 项萌<sup>1,3</sup>, 刘丛强<sup>1</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 中冶华天南京工程技术有限公司, 南京, 243000

金属冶炼活动会造成严重的环境问题, 大量重金属进入土壤导致土壤污染。随着重金属在土壤-植物系统的迁移, 会在植物可食部分富集, 甚至会随着食物链的传递而发生生物浓缩, 而重金属从土壤向植物的迁移是公认的人类暴露于土壤污染的主要途径, 因而, 土壤-植物系统的重金属迁移、富集日益引起人们重视。

广西河池是有色金属之乡, 在金城江区近郊曾发生过冶炼废水外溢造成的污染事件, 然而, 在冶炼厂周围仍然种植蔬菜、玉米等作物, 当地居民仍在食用, 食用这些食物存在一定的健康风险。通过分析重金属在土壤-蔬菜中的转移因子, 进一步了解重金属在不同蔬菜中的转移特性, 为污染程度做出评价。并依此探寻解决办法, 为合理利用(污染)土地提供科学依据, 降低当地人的健康危害。

通过选取冶炼厂附近农田的叶类蔬菜(生菜、白菜)、茎类蔬菜(大蒜、空心菜)、根类蔬菜(红薯、球茎甘蓝)等植物样品和菜地表层耕作土壤作为研究对象, 湿法消解(土壤样品(<100目)用混酸(HNO<sub>3</sub>-HF)消解、蔬菜样品按根、茎、叶分别用HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消解), 稀硝酸定容, 加入Rh内标, 用等离子体电感耦合质谱仪(ICP-MS)测定土壤与植物各器官中的重金属含量。其中国家土壤标准样品(GBW-07404)和国家植物标准样品(GBW-07602)对土壤、植物样品作为分析质量控制。

通过计算植物可食部分重金属含量与相应土壤中重金属含量的比值作为土壤-植物转移因子(通常也称为吸收因子、浓缩因子)(Transfer factor, 简称TF), 来判定各元素在土壤-植物系统中的迁移特征。

$$TF = \frac{C_{\text{plant}}}{C_{\text{soil}}} \quad (\text{Eq.1})$$

其中C<sub>plant</sub>和C<sub>soil</sub>分别代表植物可食部分和土壤的重金属含量(干重)。

通过上述研究, 得出以下结论:

(1) 土壤样品(n=11)中Sb、As、Pb、Cd、Zn和Cu的含量分别达到526 ± 139 mg · kg<sup>-1</sup>、299 ± 135 mg · kg<sup>-1</sup>、1445 ± 156 mg · kg<sup>-1</sup>、24 ± 8 mg · kg<sup>-1</sup>、1470 ± 345 mg · kg<sup>-1</sup>、184 ± 124 mg · kg<sup>-1</sup>, 远大于国家土壤质量三级标准(GB 15618-1995)、达到重度污染, 不宜种植作物。

(2) 各金属在蔬菜各器官中存在不同程度的富集, 其中As、Zn、Cu最易于富集的几种元素。总体上, 重金属含量由根部向叶部递减, 根部是主要的富集重金属的器官, 但白菜叶部的As、Pb、Zn、Cu含量超过其他器官。蔬菜可食部分重金属含量都超过《食品中污染物限量》。

(3) 重金属在土壤-蔬菜中可食部分的转移因子按均值大小顺序为: Cd > Zn > Cu > As > Sb > Pb(表1), 说明元素Cd易被这几种蔬菜吸收。然而, 各元素迁移能力因蔬菜种类、器官不同而异, 整体上, 根类蔬菜的TF均值最高; 个体而言, 生菜中的TF最高, 其中Cd转移因子高达1.343。

总之, 本地土壤、蔬菜遭受多种重金属的复合污染, 呈现不同程度的富集, 危害当地居民的健康。各重金属因其性质差异而表现出不同的迁移能力, 其中Cd的平均TF值最大, Zn、Cu次之, 说明这些元素易于被蔬菜吸收。本研究的三类蔬菜对重金属富集能力因品种而异, 总体上根类蔬菜易于富集上述各种重金属, 而生菜更易富集Cd。

表1 重金属在土壤-蔬菜可食部分的转移因子

蔬菜(样品数)	Sb <sup>1)</sup>	As	Pb	Zn	Cu	Cd
生菜(7)	0.007 ± 0.004	0.131 ± 0.006	0.022 ± 0.010	0.400 ± 0.064	0.155 ± 0.046	1.343 ± 0.162
白菜(6)	0.017 ± 0.003	0.249 ± 0.033	0.034 ± 0.027	0.462 ± 0.077	0.206 ± 0.100	0.104 ± 0.117
空心菜(8)	0.029 ± 0.014	0.131 ± 0.018	0.021 ± 0.019	0.294 ± 0.004	0.133 ± 0.038	0.208 ± 0.059
大蒜(9)	0.015 ± 0.004	0.127 ± 0.012	0.015 ± 0.007	0.743 ± 0.276	0.244 ± 0.034	0.083 ± 0.059
红薯(6)	0.028 ± 0.030	0.183 ± 0.072	0.030 ± 0.025	0.432 ± 0.019	0.208 ± 0.121	0.750 ± 0.206
球茎甘蓝(5)	0.106 ± 0.023	0.182 ± 0.035	0.052 ± 0.040	0.503 ± 0.154	0.152 ± 0.111	0.708 ± 0.442

注: 1表示: 平均值 ± 标准差(M ± SD)