

开封市化肥河污灌区小麦重金属含量及其健康风险评价

孙 卉¹, 韩晋仙², 马建华¹

(1.河南大学资源与环境研究所, 河南 开封 475001; 2.山西财经大学环境经济系, 山西 太原 030006)

摘 要:在野外调查和室内化学分析的基础上,应用美国环境保护局健康风险评价模型,对开封市化肥河污灌区小麦子粒重金属(Cd、As、Pb 和 Cu)所致健康风险进行了评价。结果表明,污灌区小麦子粒已经发生重金属富集。由膳食途径所致健康风险中,化学致癌物 Cd 和 As 的个人年风险均在 10^{-4} a^{-1} 水平,超过了国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平($5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$);非化学致癌物 Pb 和 Cu 的个人年风险均低于 ICRP 最大可接受风险水平;化学致癌重金属的个人年风险占总年风险的 99.8%。污灌区各样点小麦子粒重金属个人总年风险超过 ICRP 最大可接受风险水平 6~42 倍,对人群存在着明显的健康风险。对照区因农药和化肥的施用,也存在一定的致癌重金属健康风险危害,但远小于污灌区。

关键词:开封市化肥河污灌区;小麦子粒;重金属;健康风险评价

中图分类号:X825 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)06-2332-06

Health Risk Assessment of Wheat Seeds Heavy Metals in the Sewage Irrigation Area of Huafei River, Kaifeng City

SUN Hui¹, HAN Jin-xian², MA Jian-hua¹

(1.Institute of Natural Resources and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475001, China; 2.Department of Environmental Economics, Shanxi University of Financial Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Based on field work and experiments analysis,using United States Environmental Protection Agency (USEPA) health risk assessment model, this paper assessed the harm of heavy metals in wheat seeds on public health in Huafei river sewage irrigation area of Kaifeng. The results showed that heavy metals enriched in wheat seeds of sewage irrigation area. The health risk of Cd and As to the individual person per year were both at 10^{-4} a^{-1} , which were significantly higher than the maximum allowance levels recommended by the International Commission on Radiological Protection(ICRP)($5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). The health risk to the individual person per year through ingestion caused by non-carcinogens of Cu and Pb both were lower than the maximum allowance levels recommended by ICRP. The health risk of chemical carcinogens caused 99.8% personal annual risk. The total health risk of chemical carcinogens and non-carcinogens for one person was more 6~42 times than the maximum allowance levels recommended by ICRP ($5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). So consuming the wheat of sewage irrigation area may pose health risk. The health risk of chemical carcinogens also present in the control area because of pesticides and chemical fertilizers using, but much lower than that of in the sewage irrigation area.

Keywords: the sewage irrigation area of Huafei river in Kaifeng; wheat seeds; heavy metals; health risk assessment

目前,污水已经成为中国城镇近郊农业灌溉用水的重要水源,尤其是在干旱缺水季节,污水灌溉仍然

是解决燃眉之急的重要途径。在灌溉面积迅速扩大的同时,由于污水灌溉而导致的农业环境问题亦日趋严重,其中重金属污染问题更加突出。许多重金属作为潜在的有毒污染物可以通过食物链进入人体,造成健康危害。如长期 As 暴露会对神经系统、皮肤、动脉血管产生不良影响,同时还有致癌性^[1-2];Cd 在体内滞留时间长,人体骨骼中的滞留半衰期是 $38 \text{ a}^{[3]}$,也有致癌

收稿日期:2008-01-23

基金项目:河南省重点科技公关项目(72102150029)

作者简介:孙 卉(1982—),女,河南省鹤壁人,硕士研究生,主要从事环境规划与管理研究。E-mail:sunhui1982@yahoo.cn.

通讯作者:马建华 E-mail:mjh@henu.edu.cn

性^[4]。Cu 是人体必需的微量元素,但是过量的摄入也会对人体许多器官产生不良影响,如对肝、肾、消化系统和大脑有危害^[5-8]。目前,重金属健康风险评价主要集中于饮用水暴露途径研究。国外 Smith^[9]和 Kerger^[10]等学者研究过饮用水中 As 和 Cr 对人体造成的健康危害风险;在我国,高继军等对北京市及郊区 120 个饮用水样中 Cu、Hg、Cd 和 As 所致的健康风险进行了评价^[11],黄奕龙等研究了深圳市 7 个饮用水源(水库)中 Cr、Cd 和 As 所致的健康风险^[12],耿福明等对山东省某市地下水中 Cr⁶⁺、Cd、As 和 Pb 所致的健康风险进行过评价^[13]。结果均表明化学致癌所致个人年健康风险大于非化学致癌物。在重金属饮食健康风险研究方面,主要根据我国或世界卫生组织(World health organization,WHO)制定的食品卫生限量标准进行对比^[14-16],或进行流行病学调查^[17],缺少膳食暴露途径对人体健康危害风险的评价研究。

本文以开封市化肥河污灌区(以下简称污灌区)小麦膳食暴露途径为例,在野外调查和室内试验的基础上,应用美国环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)健康风险评价模型,对污灌区小麦子粒重金属(Cd、As、Pb 和 Cu)健康风险进行评价,为污灌区土壤环境保护与管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

污灌区位于开封市东南部,总面积约 408.2 hm²(图1)。地势平坦,成土母质是黄河冲积物,土壤类型是潮土,质地多为粉砂质壤土。地下水位变动于 3~6 m 之间。土地利用方式为种植小麦、玉米、水稻和蔬菜的农田,是开封市重要的粮食和蔬菜生产基地。污灌区内机井少,大部分农田自 1962 年开始利用化肥河的污水进行灌溉。

化肥河发源于开封市东北的黄河南岸,自北向南延伸,在开封县南部注入惠济河(淮河上游支流之一)。化肥河沿途接纳开封市化肥厂和炼锌厂等工业企业排放的废(污)水,废(污)水中含有多种重金属。据开封市环境监测站数据^[23],化肥河下游皮屯断面河水中 As 浓度 3.35 mg·L⁻¹,Cd 浓度 0.012 mg·L⁻¹,Pb 浓度 0.079 mg·L⁻¹。与我国灌溉水质标准(GB 5084—2005)^[18]相比,As 浓度远远超过国家灌溉水质标准(≤ 0.1 mg·L⁻¹),Cd 浓度达到了国家灌溉水质标准(≤ 0.01 mg·L⁻¹)的临界值,而 Pb 浓度远未达到国家灌溉水质标准(≤ 0.2 mg·L⁻¹)。由于长期污水灌溉,污灌区

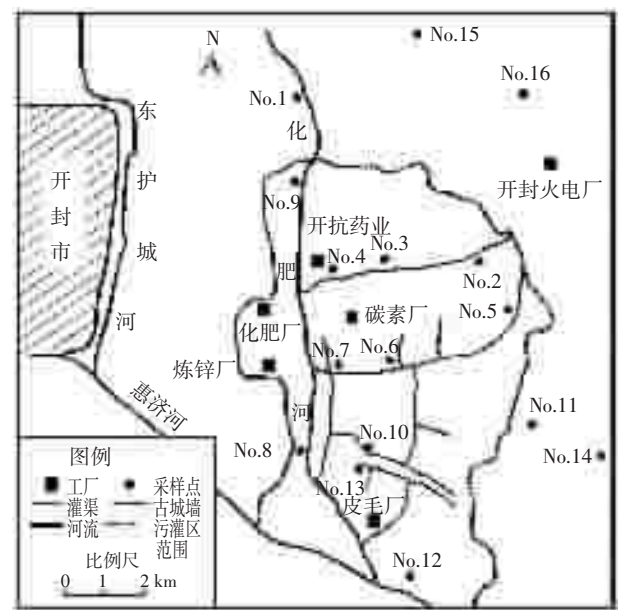


图 1 开封市化肥河污灌区位置及样点分布图

Figure 1 Location of the sewage irrigation area of Huafei River in Kaifeng and the distribution of sample sites

土壤受到了多种重金属污染。其中 Cd 污染达到中度或重度水平,As 污染达到轻度水平,Pb 和 Cu 未达到污染水平^[19-20]。污灌区每年都有因用污水灌溉造成农作物死亡现象的发生。1997 年 6 月污灌区的前台和吴娘庄村利用化肥河污水灌溉,致使 90 hm²花生和葡萄受害,直接经济损失 80 多万元;2001 年,部分村庄又出现死苗或绝收现象。

1.2 样品采集与处理

沿垂直于化肥河流向的灌渠两侧分别布置采样点 10 处,在污灌区以外布设对照样点 5 处(图 1 中 No.1、No.11、No.14、No.15 和 No.16)。在每一个样点上,选择一块面积较大(约 2 hm²)、小麦长势基本相同的田块作为采样单元。在采样单元内,按照“蛇形”布点法随机采集麦穗样品 30 个,装入聚乙烯袋中。为了进行对比,在污灌区附近的非污灌区麦田上采集对照样品。将小麦子粒样品风干,去壳,用玛瑙研钵研磨,全部过 1 mm 尼龙筛,贮存于聚乙烯广口瓶中备用。

1.3 样品测定方法

采用 HNO₃-HClO₄-H₂SO₄ 法消解样品,用于 As 的测定;采用 HNO₃-HClO₄ 法消解样品,用于 Cd 和 Pb 的测定;采用干灰化的方法消解样品,用于 Cu 的测定。小麦子粒 As 含量测定采用银盐法(GB/T5009.11—1996),Cd 和 Pb 含量测定采用石墨炉原子吸收光谱法(GB/T5009.12—1996 和 GB/T5009.15—1996);Cu 含量测定采用火焰原子吸收分

光光度法(GB/T5009.13—1996)。试验所用试剂均为优级纯。在测定过程中,所有样品均由空白样、二次平行样和加标回收率进行质量控制。二次平行样的相对偏差均小于5%,样品加标回收率在95.4%~104.1%之间。

1.4 风险评价方法

健康风险评价(Health Risk Assessment,HRA)是20世纪80年代以后兴起的,它以风险度作为评价指标,把环境污染与人体健康联系起来,定量描述污染物对人体产生健康危害的风险^[21]。健康风险评价主要是针对环境中对人体有害的基因毒物质和躯体毒物质进行定量评价。其中基因毒物质指放射性物质和化学致癌物,如Cd和As等;躯体毒物质指非致癌物,如Pb和Cu。主要的土壤重金属污染物有Cd、As、Cr、Cu和Pb等。这些污染物进入土壤后,会通过呼吸、饮水、直接摄入和皮肤吸收以及摄入食物等暴露途径引起风险。本研究主要考虑通过膳食途径对人体所造成的健康危害影响,评价模型如下。

化学致癌物健康风险评价模型:

$$R^C=\sum_{i=1}^k R_{ig}^C \tag{1}$$

$$R_{ig}^C=[1-\exp(-D_{ig}\times q_{ig})] \tag{2}$$

$$D_{ig}=[0.5\times C_i]/70 \tag{3}$$

式中: R_{ig}^C 化学致癌物*i*(共*k*种化学致癌物)经食入途径产生的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; D_{ig} 为化学致癌物*i*经食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg\cdot kg^{-1}\cdot d^{-1}$; q_{ig} 为化学致癌物*i*经食入途径致癌强度系数, $mg\cdot kg^{-1}\cdot d^{-1}$;70为人类平均寿命,a。0.5为成人面食日均食用量,kg; C_i 为化学致癌物或躯体毒物质的浓度, $mg\cdot kg^{-1}$;70为人均体重,kg。

非致癌物健康风险评价模型:

$$R^n=\sum_{i=1}^k R_{ig}^n \tag{4}$$

$$R_{ig}^n=\frac{D_{ig}\cdot 10^{-6}}{PAD_{ig}\cdot 70} \tag{5}$$

$$PAD_{ig}=\frac{RfD_{ig}}{\text{安全因子}} \tag{6}$$

式中: R_{ig}^n 为非致癌物经食入途径的平均个人致癌年风险, a^{-1} ; RfD_{ig} 为非致癌物*i*经食入途径的参考剂量, $mg\cdot kg^{-1}\cdot d^{-1}$ 。本研究中安全因子取值为10。

假设各有毒有害物质对人体健康的毒性作用呈相加关系,而不是协同或者拮抗关系,则污染土壤重金属总的健康风险危害为:

$$R_S=R^C+R^n \tag{7}$$

根据国际癌症研究机构(IARC)和WHO标准^[24],化学致癌物Cd和As的致癌强度系数(q_{ig})分别为 $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $6.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$;非致癌物Pb和Cu的参考剂量(RfD_{ig})分别为 $1.4\times 10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和 $5\times 10^{-3}\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 小麦子粒中Cd、As、Pb和Cu含量

各样点小麦子粒中的Cd、As、Pb和Cu含量见表1。由表1可以看出,污灌区大部分样点小麦子粒中的Cd、As和Cu的含量高于对照区,而Pb含量差别不大。运用SPSS 10.0进行*t*检验表明,在0.05的显著水平上,污灌区和对照区的小麦子粒Cd和Cu的含量差异显著;As和Pb的差异不显著,但As的差异性仍强于Pb。关于污灌区小麦子粒中Cd、As和Cu含量高于对照区的原因,无疑与污水灌溉有关,使土壤-小麦系统发生了这些重金属的富积^[19]。如前所述,化肥河河水中的Pb浓度远低于国家灌溉水质标准,土壤-小麦系统富积Pb不明显,与对照区相比差别不大。污灌区大部分样点小麦子粒中Pb含量低于对照区的原因可能与土壤pH有关。污灌区污水灌溉后,土壤pH有所上升,平均为8.29;而对照区平均为7.77。在碱性条件下,土壤中的Pb生物有效性下降^[22],致使污灌区小麦子粒中的Pb含量低于对照区。

从对照区小麦子粒重金属含量的变化来看,除Cu的变异系数较小以外,其他重金属的变异系数都比较大。由于样点No.1和No.11离污灌区比较近,所以小麦子粒中的Cd、As和Pb的含量高于远离污灌区的对照点(No.14~No.16),这是污灌区土壤-小麦系统中的重金属通过不同途径向对照区扩散、迁移所致(如土壤扩散、大气尘埃和生物迁移等)。

2.2 小麦子粒重金属个人年风险分析

根据上述健康风险评价模型、评价参数和表1中小麦子粒重金属含量,计算得到各样点居民通过食入途径所引起的重金属个人年风险(表2)。

2.2.1 化学致癌重金属健康危害个人年风险

从表2可以看出,污灌区化学致癌物As的个人年风险大于Cd。二者致癌风险水平都主要集中在 10^{-4} a^{-1} ,均高于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平 $5.0\times 10^{-5}\text{ a}^{-1}$ 。其中As在No.13所引起的健康风险最大,为 $1.62\times 10^{-3}\text{ a}^{-1}$,是ICRP最大可接受风险水平的32倍;在No.9和No.12两处的健康

表 1 研究区小麦子粒中 Cd、As、Pb、Cu 含量 (mg·kg⁻¹)

Table 1 Concentrations of Cd, As, Pb and Cu of wheat seeds in the study area(mg·kg⁻¹)

区域	样品号	采样地点	Cd	As	Pb	Cu
污灌区	No.2	夏寨西北 300 m	0.21	0.15	0.01	9.52
	No.3	边村东北 1 500 m	0.71	0.36	0.20	10.06
	No.4	边村以北 800 m	0.51	0.17	0.02	9.73
	No.5	张庄西南 1 200 m	0.77	0.35	1.94	9.81
	No.6	边村东南 1 200 m	0.43	0.20	1.01	9.93
	No.7	边村西南 1 000 m	0.92	0.27	0.19	12.00
	No.8	皮屯西南 1 200 m	0.99	0.74	0.19	9.31
	No.9	鲁屯东北 600 m	0.49	0.05	1.08	9.83
	No.10	王楼东南 500 m	0.60	0.31	0.23	9.10
	No.12	阎李寨东南 800 m	0.51	0.05	0.22	10.44
	No.13	皮屯东南 600 m	0.82	1.12	1.17	10.61
		均值	0.63	0.34	0.57	10.12
		标准差	0.23	0.32	0.63	0.79
		变异系数/%	36.77	93.52	110.72	7.86
对照区	No.1	石寨东南 500 m	0.37	0.26	0.92	9.98
	No.11	独乐岗以北 400 m	0.37	0.10	0.30	10.23
	No.14	周彭寨东北 200 m	0.07	0.04	0.23	8.08
	No.15	道士房东 400 m	0.05	0.05	0.40	7.46
	No.16	土柏岗西南 400 m	0.08	0.06	0.34	8.04
		均值	0.19	0.10	0.44	8.76
		标准差	0.17	0.09	0.28	1.26
		变异系数/%	88.56	89.43	63.11	14.35

风险最小,均为 0.76×10⁻⁴ a⁻¹,是 ICRP 最大可接受风险水平的 1 倍。Cd 最大个人年风险在 No.8,为 6.03×10⁻⁴ a⁻¹,是 ICRP 最大可接受风险水平 12 倍;在No.2 所引起的健康风险最小,为 1.30×10⁻⁴ a⁻¹,是 ICRP 最大可接受风险水平的 3 倍。As 和 Cd 的个人年风险分别占化学致癌重金属个人总年风险的 56.6%和 43.4%。As 是主要的风险污染物。

对照区小麦子粒中 As 和 Cd 的个人年风险均小于污灌区,其平均个人年风险分别为污灌区平均值的 25.00%和 33.51%,但是某些样点 As 和 Cd 个人年风险仍高于 ICRP 最大可接受风险水平,这是污灌区土壤-小麦系统中的重金属向对照区扩散、迁移,或对照区大量施用农药、化肥所致。

2.2.2 非化学致癌重金属健康危害个人年风险

污灌区大部分样点非化学致癌重金属 Cu 和 Pb 的个人年风险均大于对照区,不管是污灌区还是对照区,Cu 的个人年风险都大于 Pb。污灌区各样点 Cu 的个人年风险都在 10⁻⁶ a⁻¹ 水平,均低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的最大可接受风险水平。Pb 的个

人年风险介于 7.29×10⁻⁹~1.41×10⁻⁶ a⁻¹ 之间,也远低于 ICRP 推荐的最大可接受风险水平。对照区 Pb 的平均个人年风险为 1.92×10⁻⁷ a⁻¹,Cu 的平均个人年风险为 8.36×10⁻⁷ a⁻¹,均低于 ICRP 最大可接受风险水平。

2.2.3 有毒重金属健康危害个人总风险

污灌区各样点小麦子粒重金属健康危害总风险在 3.60×10⁻⁴~2.12×10⁻³ a⁻¹ 之间,均高于 ICRP 最大可接受风险水平,为最大可接受风险水平 7~43 倍。化学致癌重金属所致健康风险占总年风险的 99.8%,非致癌重金属所致健康风险仅占 0.2%。这表明污灌区小麦子粒重金属对人群存在一定的潜在健康风险,且主要来自化学致癌重金属。

对照区小麦子粒所致的重金属健康危害的总风险平均为 2.59×10⁻⁴ a⁻¹,也超过了 ICRP 最大可接受风险水平,存在一定健康风险,但仅相当于污灌区总风险的 28.48%。化学致癌重金属所致健康风险占总风险的 99.6%,非致癌重金属所致健康风险仅占 0.4%。说明对照区小麦子粒重金属所致健康风险也主要来自化学致癌重金属。

表 2 研究区小麦子粒食入途径重金属健康危害个人年风险(a⁻¹)
Table 2 Health risk of heavy metals by ingestion approach for one person(a⁻¹)

区域	样品号	化学致癌重金属个人年风险			非化学致癌重金属个人年风险			总个人年风险
		As	Cd	合计	Pb	Cu	合计	
污灌区	No.2	2.28×10 ⁻⁴	1.30×10 ⁻⁴	3.58×10 ⁻⁴	7.29×10 ⁻⁹	1.94×10 ⁻⁶	1.94×10 ⁻⁶	3.60×10 ⁻⁴
	No.3	5.41×10 ⁻⁴	4.35×10 ⁻⁴	9.76×10 ⁻⁴	1.46×10 ⁻⁷	2.05×10 ⁻⁶	2.20×10 ⁻⁶	9.76×10 ⁻⁴
	No.4	2.58×10 ⁻⁴	3.14×10 ⁻⁴	5.72×10 ⁻⁴	1.46×10 ⁻⁸	1.99×10 ⁻⁶	2.00×10 ⁻⁶	5.74×10 ⁻⁴
	No.5	5.26×10 ⁻⁴	4.71×10 ⁻⁴	9.97×10 ⁻⁴	1.41×10 ⁻⁶	2.00×10 ⁻⁶	3.41×10 ⁻⁶	1.00×10 ⁻³
	No.6	3.03×10 ⁻⁴	2.65×10 ⁻⁴	5.68×10 ⁻⁴	7.36×10 ⁻⁷	2.03×10 ⁻⁶	2.77×10 ⁻⁶	5.70×10 ⁻⁴
	No.7	4.07×10 ⁻⁴	5.61×10 ⁻⁴	9.68×10 ⁻⁴	1.38×10 ⁻⁷	2.45×10 ⁻⁶	2.59×10 ⁻⁶	9.70×10 ⁻⁴
	No.8	1.09×10 ⁻³	6.03×10 ⁻⁴	1.70×10 ⁻³	1.38×10 ⁻⁷	1.90×10 ⁻⁶	2.04×10 ⁻⁶	1.70×10 ⁻³
	No.9	0.76×10 ⁻⁴	3.02×10 ⁻⁴	3.78×10 ⁻⁴	7.87×10 ⁻⁷	2.01×10 ⁻⁶	2.80×10 ⁻⁶	3.80×10 ⁻⁴
	No.10	4.67×10 ⁻⁴	3.69×10 ⁻⁴	8.36×10 ⁻⁴	1.68×10 ⁻⁷	1.86×10 ⁻⁶	2.03×10 ⁻⁶	8.38×10 ⁻⁴
	No.12	0.76×10 ⁻⁴	3.14×10 ⁻⁴	3.90×10 ⁻⁴	1.60×10 ⁻⁷	2.13×10 ⁻⁶	2.29×10 ⁻⁶	3.93×10 ⁻⁴
	No.13	1.62×10 ⁻³	5.01×10 ⁻⁴	2.12×10 ⁻³	8.53×10 ⁻⁷	2.17×10 ⁻⁶	3.02×10 ⁻⁶	2.12×10 ⁻³
	平均	5.08×10 ⁻⁴	3.88×10 ⁻⁴	8.97×10 ⁻⁴	4.14×10 ⁻⁷	2.05×10 ⁻⁶	2.46×10 ⁻⁶	8.98×10 ⁻⁴
	标准差	4.63×10 ⁻⁴	1.41×10 ⁻⁴	5.65×10 ⁻⁴	4.58×10 ⁻⁷	0.16×10 ⁻⁶	0.49×10 ⁻⁶	5.65×10 ⁻⁴
对照区	变异系数/%	91.10	36.33	63.05	110.64	7.87	19.83	62.85
	No.1	3.92×10 ⁻⁴	2.28×10 ⁻⁴	6.20×10 ⁻⁴	6.71×10 ⁻⁷	2.04×10 ⁻⁶	2.71×10 ⁻⁶	6.23×10 ⁻⁴
	No.11	1.52×10 ⁻⁴	2.28×10 ⁻⁴	3.80×10 ⁻⁴	2.19×10 ⁻⁷	2.09×10 ⁻⁶	2.31×10 ⁻⁶	3.82×10 ⁻⁴
	No.14	2.49×10 ⁻⁵	1.07×10 ⁻⁴	1.32×10 ⁻⁴	1.68×10 ⁻⁸	1.65×10 ⁻⁸	3.33×10 ⁻⁸	1.32×10 ⁻⁴
	No.15	3.11×10 ⁻⁵	7.63×10 ⁻⁵	1.07×10 ⁻⁴	2.92×10 ⁻⁸	1.52×10 ⁻⁸	4.44×10 ⁻⁸	1.07×10 ⁻⁴
	No.16	3.73×10 ⁻⁵	1.21×10 ⁻⁵	4.94×10 ⁻⁵	2.48×10 ⁻⁸	1.64×10 ⁻⁸	4.12×10 ⁻⁸	4.94×10 ⁻⁵
	平均	1.27×10 ⁻⁴	1.30×10 ⁻⁴	2.58×10 ⁻⁴	1.92×10 ⁻⁷	8.36×10 ⁻⁷	1.03×10 ⁻⁶	2.59×10 ⁻⁴
	标准差	15.69×10 ⁻⁴	0.96×10 ⁻⁴	2.39×10 ⁻⁴	28.08×10 ⁻⁷	1.12×10 ⁻⁶	1.36×10 ⁻⁶	2.40×10 ⁻⁴
	变异系数/%	123.13	73.44	92.74	146.11	134.32	132.38	92.92

因此今后要加强重金属在“水体-土壤-作物-人体”系统中的迁移转化研究、健康风险毒理学实证研究以及水土重金属污染修复研究,为居民健康提供保障。

3 结论

(1)开封市化肥河污灌区因长期污水灌溉,小麦子粒已发生明显的重金属富积,对该区居民造成了一定的健康风险危害。其中,小麦子粒中化学致癌重金属(Cd 和 As)所致的个人年风险均在 10⁻⁴ a⁻¹ 水平,超过了 ICRP 推荐的最大可接受风险水平,存在明显的健康危害,应引起高度重视。非致癌重金属 (Cu 和 Pb)的个人年风险在 10⁻⁹ a⁻¹~10⁻⁶ a⁻¹ 之间,低于 ICRP 推荐的最大可接受风险水平,目前尚不存在健康风险。污灌区周围的土壤-小麦系统因农药和化肥的施用,也存在一定的致癌重金属健康风险危害,但远小于污灌区。

(2)污灌区小麦子粒化学致癌重金属所致健康风险占总年风险的 99.8%,As 是最主要的致癌重金属。

参考文献:

[1] International Agency for Research on Cancer(IARC). Arsenic and arsenic compounds[J]. *IARC Monograph of Evaluation of Carcinogen Risk for Human*, 1980(23): 39-141.

[2] 罗凤基,罗振东,马 亮,等.呼和浩特西部地区黑河村居民富神饮水与恶性肿瘤发病关系的研究[J].*中华流行病学杂志*,1995, 16(5): 289.

LUO Feng-ji, LUO Zhen-dong, MA Liang, et al. A study on the relationship between drinking water with high arsenic content and incidence of malignant tumour in Heihe village, western part of Huhehot, inner mongolia[J]. *Chinese Journal of Epidemiology*,1995, 16(5):289

[3] Berman E. Toxic metal and their analysis[M]. Philadelphia: Heyden and Son Ltd., 1980.

[4] Lauwerys R R. Health effects of cadmium[C]//Trace metals exposure and health effects (Ferrante E, ed). Oxford: Pergamon Press, 1979. 43-64.

[5] Aaseth J, Norseth T C. Handbook on the toxicology of metals[M]. Amsterdam: Elsevier, 1986. 233-254.

[6] Nicholas P O. Food-poisoning due to copper in the morining tea[J]. *Lancet*, 1968(2): 40-42.

[7] Semple A B. Acute copper poisoning[J]. *Lancet*, 1960(2): 700-701.

[8] Wylie J. Copper poisoning at a cocktail party[J]. *American Journal of Public Health*, 1957(47): 617.

- [9] Smith A H, Hopenhayn-Rich C, Bates M N, et al. Cancer risks from arsenic in drinking water[J]. *Environmental Health Perspectives*, 1992 (97): 259-267.
- [10] Kerger B D, Paustenbach D J, Corbett G E, et al. Absorption and elimination of trivalent and hexavalent chromium in Humans following ingestion of a bolus dose in Drinking Water [J].*Toxicology and Applied Pharmacology*, 1996(141): 145-158.
- [11] 高继军,张立平,黄圣彪,等. 北京市饮用水源重金属污染物健康风险的初步评价[J]. 环境科学,2004,25(2): 47-50.
GAO Ji-jun, ZHANG Li-ping, HUANG Sheng-biao, et al. Preliminary health risk assessment of heavy metals in drinking waters in Beijing[J]. *Environmental Science*,2004,25(2):47-50.
- [12] 黄奕龙,王仰麟,谭启宇,等. 城市饮用水源地水环境健康风险评估及风险管理[J].地学前缘,2006,13(3): 162-167.
HUANG Yi-long, WANG Yang-lin, TAN Qi-yu, et al. Environmental health risk assessment and management for urban water supply sources[J].*Earth Science Frontiers*, 2006,13(3):162-167.
- [13] 耿福明,薛联青,陆桂华,等. 饮用水水质健康危害的风险评估[J]. 水利学报,2006,37(10): 1241-1245.
GENG Fu-ming, XUE Lian-qing, LU Gui-hua, et al. Water quality health-hazard risk assessment on drinking water supply sources [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006,37(10):1241-1245.
- [14] 陈同斌,宋 波,郑袁明,等. 北京市蔬菜和菜地土壤砷含量及其健康风险分析[J]. 地理学报,2006,60(3):297-310.
CHEN Tong-bin, SONG Bo, ZHENG Yuan-ming, et al. A survey of arsenic concentrations in vegetables and soils in Beijing and the potential risks to human health[J]. *Acta Geographical Sinica*, 2006,60(3):297-310.
- [15] 杨 军,陈同斌,郑袁明,等. 北京市凉风灌区小麦重金属含量的动态变化及健康风险分析—兼论土壤重金属有效性测定指标的可靠性[J]. 环境科学学报,2005,25(12):1661-1668.
YANG Jun, CHEN Tong-bin, ZHENG Yuan-ming, et al. Dynamic of heavy metals in wheat grains collected from the Liangfeng irrigated Area, Beijing and a discussion of availability and human health risks[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005,25(12):1661-1668.
- [16] 王姗姗,王颜红,张 红. 污染花生籽实中镉的分布特征及其对膳食健康的风险分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(S1):12-16
WANG Shan-shan, WANG Yan-hong, ZHANG Hong. Cd-Contaminating peanut seeds: Distribution characteristics of Cadmium and risk assessment on dietary health[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007,26(S1):12-16.
- [17] Patrick S. Assessments of ecological impacts on a regional scale[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1995. 307-336.
- [18] 王德荣,张 泽,徐应明,等. 农田灌溉水质标准GB 5084-2005[S]. 北京:中国标准出版社,2006. 3.
WANG De-rong, ZHANG Ze, XU Ying-ming, et al. Field irrigation water standard GB5084-2005[S]. Beijing: China Standard Press, 2006.3.
- [19] 韩晋仙,马建华.开封市化肥河灌区土壤-小麦系统重金属污染、迁移和积累[J].生态环境,2004,13(4): 578-580.
HAN Jin-xian, MA Jian-hua. Polluting transferring and accumulating of heavy metals in soil-wheat system in sewage irrigation: A case study in Huafei river in kaifeng [J]. *Ecology and Environment*, 2004,13(4): 578-580.
- [20] 韩晋仙,马建华.污灌对潮土重金属含量及分布的影响—以开封市化肥河灌区为例[J].土壤,2006,38(3): 292-297.
HAN Jin-xian, MA Jian-hua. Effect of sewage irrigation on content and distribution of heavy metals in alluvial meadow soil: A case study of the Huafei river sewage irrigation region in Kaifeng City[J]. *Soils*, 2006,38(3):292-297.
- [21] 曾光明,卓 利,钟政林,等.水环境健康风险评估模型[J].水科学进展,1998,9(3): 212-217.
ZENG Guang-ming, ZHUO Li, ZHONG Zheng-lin, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis[J]. *Advances in Water Science*, 1998,9(3):212-217.
- [22] 陈怀满.土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京:科学出版社,1996.9.
CHEN Huai-man. Heavy metals pollution in the system of soil-plant[M]. Beijing: Scientific Press, 1996.9.
- [23] 开封市环保局. 开封市 2004 年环境质量报告书[R]. 2005.
- [24] Environmental Protection Agency(EPA). A comparative assessment of environmental problems appendix report of cancer risk work croup[R]. EPA/230/2/87/025b, 1987.