

污灌区铜潜在生态风险评价及其分布特征

张庆辉, 朱 晋, 程 莉, 同丽嘎

(包头师范学院 资源与环境学院, 内蒙古 包头 014030)

摘要: 为了评价包头市南郊污水灌溉区农田表层土壤、水系沉积物 Cu 环境质量, 按照线型、剖面型和梅花型取样, 测定不同研究点、区水系沉积物和土壤重金属 Cu 含量, 分析重金属 Cu 对生态环境的影响, 并对研究区土壤环境质量进行评价。结果显示, 研究区水系沉积物 Cu 含量最大值为 38.48 mg/kg, 其中污灌区农田土壤 Cu 含量最大值为 26.96 mg/kg, 农田土壤 Cu 含量平均值为 19.03 mg/kg; 污灌区农田土壤 Cu 的单项污染指数最大值为 0.27, 污染指数 $P_i < 0.7$; 潜在生态风险综合指数 E_i 为 49.59, 即 $E_i < 90$ 。说明污灌农田土壤质量状况尚未达到污染级别且潜在生态风险程度属于轻度。但人类活动已经导致 Cu 在污灌区土壤、水系沉积物等生态环境中的明显积累, 应该引起重视。

关键词: 铜; 潜在生态风险; 分布特征; 污灌区

中图分类号: X820.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)04-0074-04

Evaluation of Potential Ecological Risk and Distribution of Copper in Wastewater Irrigation Area

ZHANG Qing-hui, ZHU Jin, CHENG Li, TONG Li-ga

(College of Resources and Environmental Science, Baotou Teachers College, Baotou 014030, China)

Abstract: The research aimed to evaluate the environmental quality of heavy metal Cu in the surface soil of the farmland and stream sediment in wastewater irrigation area in southern suburbs of Baotou(SSWB). Samples were collected using linear, profile-based and quincunx methods to determine the content of Cu in stream sediment and agricultural soil in different locations and regions. The effect of Cu on the ecological environment was analyzed, and the soil environmental quality in the research area was evaluated. The results showed that the highest content of Cu in stream sediment was 38.48 mg/kg. In agricultural soil, the highest content and the average content of Cu were 26.96 mg/kg and 19.03 mg/kg. The maximum monomial pollution index (P_i) was 0.27, lower than 0.7, and the composite index (E_i) of potential ecological risk was 49.59, lower than 90. These indicated that the environmental quality of Cu in the SSWB was lower than pollution levels and the potential ecological risk degree was mild. Cu was accumulated in the SSWB due to human activities, which should be paid attention to.

Key words: copper; potential ecological risk; distribution; wastewater irrigation area

铜既是植物生长发育必需的微量营养元素, 又是导致环境污染的重金属元素。就土壤中最适宜农作物生长的微量营养元素含量而言, 一般情况下土

壤全铜 $< 7 \sim 8$ mg/kg 时作物可能发生缺铜, 需要施入铜肥。铜又作为一种典型污染物, 在土壤中含量过多时, 一方面通过影响土壤养分的释放等过程^[1]

收稿日期: 2011-11-25

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJ09142)

作者简介: 张庆辉(1961-), 男, 甘肃定西人, 教授, 主要从事自然资源开发与环境影响评价工作。

E-mail: zqh200549@126.com

使农作物光合作用减弱,叶色退绿,从而抑制其生长,导致减产^[2];另一方面,还可以通过食物链在粮食、蔬菜、家禽、家畜等农副产品中富集,进而危害人体健康^[3-5]。Cu 同时也是美国 EPA 公认的 129 种重点污染物之一^[6]。因此,本研究以包头市郊区麻池乡城梁村多年污水灌溉区农田土壤为主要研究对象,检测污灌区农田表层土壤、水系沉积物 Cu 含量。对污灌区农田表层土壤重金属 Cu 进行潜在生态风险评价,并分析 Cu 含量及其空间分布特征,以期为污灌区土壤环境质量评价和预警、土壤重金属污染修复、农业发展规划与持续开发利用、保持生态平衡等提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

包头市(40°14'56"~42°43'49"N,109°15'12"~111°26'25"E)属于半干旱中温带大陆性季风气候,年平均气温 6.7℃,极端最高气温 38.4℃、最低气温 -31.4℃,≥10℃有效积温为 2 019.8℃,年降水量 240~400 mm,一般正常降水量为 308.9 mm。年蒸发量 2 100~2 700 mm,一般正常蒸发量 3 221.1 mm,全年无霜期 125~130 d。春季风速最大,常年盛行风向为西北风。包头市是以冶金、稀土、机械为主的综合性工业城市。

本项目研究的四道沙河流域从水文地质方面来说,流域区土质多为砂壤土和砂土,渗透力强。土壤样品采集区在四道沙河流域即包头市郊区麻池乡城梁村,它属于四道沙河小支流污水渠西侧的农田污灌区,重点取样研究区位置如图 1 所示。



图 1 项目研究取样点区位图

重点取样研究区采取土壤样品的表层土(0~25 cm),pH 值为 7.02^[7]。研究区内种植的农作物灌溉用水都是污水渠的污水。当地农民种植农作物时施用的农家肥以猪粪为主,以牛、马、羊粪为辅。研究区内粮食类作物主要为玉米、小麦等。当地农民

在田块中各年均实施轮作倒茬种植制度。

1.2 样品的采集

在平行于主污水渠东小污水渠道中点状布样取水系沉积物 T1,并挖一剖面从上往下取 3 个样 PM1、PM2、PM3;自四道沙河中游河槽中沿宽度方向线状布样取 T2;主污水渠滨岸泛滥区农田中按“梅花型”布样取 T3,取样位置如图 1 中①、②、③。

选定有代表性的污灌区农田采用“梅花型”取样^[8],取样范围如图 1 所示。共采集土壤样品 8 个组合样(每 10 个小样组合 1 个大样)。样品带回实验室自然阴干,过孔径 0.147 mm 尼龙筛,获取符合化验分析要求的样品,用于分析测定土壤重金属 Cu 含量。

1.3 分析方法

土壤样品中 Cu 总量的分析方法根据中华人民共和国国家标准。即 Cu 的含量测定采用火焰原子吸收分光光度法(GB/T17138-1997)^[9]。

1.4 土壤金属 Cu 污染评价模式

1.4.1 单因子污染指数法 $P_i = C_i / S_i$,式中: P_i 为污染物 i 的单项污染指数; C_i 为污染物 i 的实测浓度; S_i 为污染物 i 的评价标准^[10]。 $P_i \leq 0.7$,表示土壤为清洁级; $0.7 < P_i \leq 1$,表示土壤尚为清洁级; $P_i > 1$,表示土壤为污染级,应进行综合污染指数评价^[11]。

1.4.2 Hacamson 潜在生态风险指数法 (1)单项污染指数: $C_f^i = C_{\text{表层}}^i / C_n^i$;(2)潜在生态风险单项指数: $E_r^i = T_r^i \times C_f^i$;(3)潜在生态风险综合指数: $E_i = \sum E_r^i$ 。式中: $C_{\text{表层}}^i$ 为土壤重金属的实测浓度; C_n^i 为计算所需的参比值,即研究区域的背景值; T_r^i 为单个污染物的毒性响应参数; E_r^i 为单项潜在生态风险指数^[12]。土壤重金属的潜在生态风险分级标准^[13]如表 1。

表 1 土壤重金属的潜在生态风险分级标准

单项潜在生态风险指数(E_r^i)	单污染物生态风险程度	综合潜在生态风险指数(E_i)	综合潜在生态风险程度
<40	轻度	<90	轻度
40~80	中等	90~180	中等
80~160	强	180~360	强
160~320	很强	360~720	很强
320	极强	>720	极强

2 结果与分析

2.1 污灌区土壤重金属铜含量

在污灌区所取土壤样品中重金属 Cu 含量的化验结果见表 2。由表 2 可知,水系沉积物重金属 Cu 含量为 15.67~26.96 mg/kg。农田土壤中 Cu 的平

均含量(N_{ave})为 19.03 mg/kg,其中最高含量是河套地区背景值(19.17 mg/kg)^[13]的 1.41 倍。下面

根据测定结果,对污灌区农田表层土壤 Cu 污染状况进行详细评价,并分析 Cu 的分布特征。

表 2 污灌区各研究点样品 Cu 含量

土壤样号	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
Cu 含量	26.96	22.69	16.54	17.28	15.67	19.63	16.92	16.53	19.03
各点样号	T1	T2	T3	PM1	PM2	PM3	平均	最少	最大
Cu 含量	38.48	21.71	32.87	20.62	25.22	24.42	23.42	15.67	26.96

2.2 评价标准与评价结果

因取样研究区 pH 值为 7.02,种植土壤质量评价依据文献[11],指标限值在旱作、果树、蔬菜土地的二级质量评价指标 Cu 是 100 mg/kg。河套地区土壤 Cu 背景值为 19.17 mg/kg^[14]。单个污染物 Cu 毒性响应参数为 5^[15]。

污灌区农田单因子污染指数、潜在生态风险综合指数计算结果如表 3 所示。从表 3 看出,污灌区农田土壤 Cu 单因子污染指数为 0.16~0.27,而单因子综合污染指数(单因子污染指数的算术平均值)为 0.19,虽然单因子污染指数小于 0.7,表明土壤质量状况为清洁级,但作为污灌区农田土壤达到 0.19 应该引起重视。Cu 的潜在单项生态风险指数 E_i^p 范围为 5.72~7.05,由表 1 可知, E_i^p 值都小于 40,单因子生态风险污染程度属轻度;Cu 潜在生态风险综合指数 E_i^c (表 3 中 E_i^p 之和)为 49.59,表 1 还可以看出, E_i^c 值都小于 90,Cu 元素总的潜在生态风险程度亦属于轻度。但研究区农田为污灌区,应该密切关注土壤外源重金属 Cu 元素累积性变化。

表 3 土壤 Cu 单因子污染指数及潜在生态风险综合指数

指数	样号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0.27	0.23	0.17	0.17	0.16	0.20	0.17	0.17
C_f	1.41	1.34	1.20	1.14	1.14	1.31	1.22	1.19
E_i^c	7.05	6.72	6.00	5.72	5.69	6.54	6.08	5.79

结合表 2 可知,在研究区,各研究点、面的土壤样品 Cu 含量大小排序 T1(38.48) > T3(32.87) > T2(21.71) > N_{ave} (19.03)。T1 Cu 含量最高,表明工厂污水对渠道底部水系沉积物中铜含量起到主要贡献作用,T3 Cu 含量基本接近 T1,说明 T3 样品中外源铜来源及铜的富集条件与 T1 相似。T2 Cu 含量低于 T1、T3,应该是河底水系沉积物中的铜随表层水向地下迁移或主污水渠污水中的外源铜含量本身就低,准确影响因素还有待于深化研究。而 T1 点剖面样品 Cu 元素平均含量(23.42)低于 T1

(38.48),说明污染元素 Cu 随表层水下渗沿垂直方向迁移扩散到地下,由于空间增大而造成 Cu 元素含量分散“稀释”,因为剖面样 Cu 总含量为 70.26 mg/kg。重点研究区农田土壤元素平均含量最低(19.03),主要因素应该是农作物在成长过程中吸收而将土壤中的 Cu 输出,因为收获的农作物对土壤 Cu 的输出量占总输出量的 85.9%~95.1%^[16];另一方面,污水携带的 Cu 元素随污水灌溉农田时均匀分散而在表层土壤中得到“稀释”,其中还有部分 Cu 随表层水分别沿水平、垂直方向迁移扩散而造成面源污染。

根据上述综合评价可知,虽然 Cu 污染相对较轻,但与当地土壤背景值相比较,人类活动已导致 Cu 在农田土壤中的积累,水系沉积物样品测定结果说明污水继续对当地生态环境中 Cu 提供源源不断的补充,而且铜的毒性响应系数为 5,因此,污灌区铜污染已存在一定程度的潜在生态风险,提前进行治理和预防非常必要,对 Cu 污染应该引起重视。

3 结论与讨论

包头市污灌区外源 Cu 随表层水漫流和下渗在水平、垂直方向扩散并扩大了空间上的污染范围,因而外源重金属元素 Cu 对农作物生长、地下水资源和黄河生态环境都有影响。

铜是植物生长的营养元素,玉米生长过程中的活化作用导致可交换铜增加,同时玉米根系对土壤 Cu“超量积累”的吸收作用,造成土壤中可交换态铜含量显著降低^[17]。由于铜在土壤中的移动性很差,外源铜易在土壤表层富集,而对深层土壤铜的含量和分布影响不大。铜污染农田适合种植根系稍长的玉米^[18]、小麦等,并不适合种植如蔬菜等浅根农作物^[19]。郑袁明等证实,云架豆对土壤铜的富集能力最高,因而其抗污染能力较差,茄子、辣椒、小白菜和大葱中铜含量次之,冬瓜、黄瓜、大白菜、西红柿、甘蓝、萝卜、叶甜菜等对土壤铜的富集能力最低^[20]。因此,在研究区种植农作物时应该种植玉米、小麦等

根系长的作物,尽量不要种植蔬菜。同时要按照农业技术人员的指导科学施肥,以保证土壤 pH 值的稳定,防止因施肥不当导致土壤 pH 值变化并引起土壤重金属 Cu 有效性升高^[21],从而通过食物链危害人体健康。污灌区积累的外源 Cu 随表层水下渗向地下扩散而污染地下水,同时沿水平方向迁移扩大污染范围而造成面源污染,余量污水注入黄河对黄河的潜在生态风险较大,其影响程度及风险大小还有待于进一步研究。

虽然污灌区农田土壤质量状况尚未达到污染级别且潜在生态风险程度尚属于轻度,水系沉积物中铜含量也没有达到极为严重的程度,但人类活动已经导致研究区重金属元素 Cu 的明显积累。因此,包头市污灌区农田、水系沉积物重金属 Cu 污染已存在一定程度的潜在生态风险,应该密切关注 Cu 的累积性变化,加强对农田土壤、地下水和黄河的 Cu 污染治理和预防。

致谢:首先感谢内蒙古自治区教育厅对本项目的资助。感谢 2009 级地理科学班高将、张伟、郭力文、刘智杰、张东升、张利荣、杜丽君和资源环境与城乡规划管理班胡洪樑等同学在采样、加工样品过程中的帮助!感谢中科院广州地球化学研究所涂湘林研究员在样品成果化验中热忱的帮助!

参考文献:

- [1] 倪吾钟,马海燕,余慎.土壤-植物系统的铜污染及其生态健康效应[J].广东微量元素科学,2003,10(1):1-5.
- [2] 邵云,李春喜,李向力,等.土壤-小麦系统中 5 种重金属含量的相关分析[J].河南农业科学,2007(5):25-28.
- [3] 姚志刚,吴涛,张韩杰,等.滨州市不同农业土地利用方式下土壤中铜的累积特征[J].滨州学院学报,2009,25(6):23-27.
- [4] 刘希华,林仙菊,邢建宏,等.重金属富集林木的应用研究进展[J].河南农业科学,2011,40(11):13-16.
- [5] 董来启,韩春建,吴克,等.郑州市土壤重金属空间分布特征及其影响因素定量研究[J].河南农业科学,2010(8):64-68.
- [6] 美国环境保护局.水环境中 129 种优先污染物的名单、归宿与分类[M].百度网. <http://www.qs100.com/news/NewFile/2005106141614.htm>, 2005-10.
- [7] 郭鹏然,贾晓宇,段太成,等.稀土工业污染土壤对外源钐的吸附行为研究[J].环境科学,2009,30(10):3060-3066.
- [8] 张庆辉,王贵.包头市农田表层土壤重金属含量综合评价[J].安徽农业科学,2008,36(31):13527-13528.
- [9] 国家环境保护总局.土壤质量铜锌的测定火焰原子吸收分光光度法(GB. T17138-1997)[S].北京:中国环境出版社,1998.
- [10] 张征.环境评价学[M].北京:高等教育出版社,2005:115,184.
- [11] 国家环境保护总局.食用农产品产地环境质量评价标准[S]. <http://www.zhb.gov.cn>. 2006-11.
- [12] Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment logical approach[J]. Water Research, 1980, 14(8):975-1001.
- [13] 陈翠翠,梁锦陶,韩玉兰,等.太原市敦化污灌区重金属污染的潜在生态风险评价及垂直分布特征[J].中国农学通报,2010,26(10):314-318.
- [14] 王喜宽,黄增芳,苏美霞,等.河套地区土壤基准值及背景值特征[J].岩矿测试,2007,26(4):287-292.
- [15] 姜菲菲,孙丹峰,李红,等.北京市农业土壤重金属污染环境风险等级评价[J].农业工程学报,2011,27(8):331-337.
- [16] 林匡飞,徐小清,项雅玲,等.湖北江汉平原农田生态系统铜的循环与平衡[J].应用生态学报,2003,14(1):71-74.
- [17] 陈家武,卢以群,陈志辉.铜和镉及铅在玉米根际土壤中的形态变化[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2007,33(5):626-629.
- [18] 袁志华,苏宗伟,李祥付,等.玉米根系的拉伸特性研究[J].河南农业科学,2009(10):51-52.
- [19] 刘洪涛,郑国砥,陈同斌.农田土壤中铜的主要输入途径及其污染风险控制[J].生态学报,2008,28(4):1779-1780.
- [20] 郑袁明,宋波,陈同斌,等.北京市菜地土壤和蔬菜中铜含量及其健康风险[J].农业环境科学学报,2006,25(5):1093-1101.
- [21] 邢维芹,冉永亮,梁爽,等.施肥对土壤重金属的影响研究进展[J].河南农业科学,2010(5):129-134.