

包头市农田表层土壤重金属含量综合评价

张庆辉 王贵 (包头师范学院资源与环境学院, 内蒙古包头014030)

摘要 [目的] 评价包头市郊区农用地表层土壤重金属镉、铅、铬、锌的环境质量。[方法] 对包头市北郊区不同土地类型土壤按照“梅花型”取样, 测定包头市郊区菜地、马铃薯地、小麦地、玉米地不同土地类型土壤重金属镉、铅、铬、锌含量, 对研究区土壤环境质量进行评价。[结果] 评价结果显示, 研究区的单项污染指数最大值为0.37, 综合污染指数最大值为0.30, 说明包头市郊区农用地表层土壤重金属镉、铅、铬、锌环境质量属于清洁级, 种植农作物如小麦、玉米等粮食作物和蔬菜均没有安全风险。[结论] 该研究为包头市进一步开展无公害农产品基地建设以及土壤重金属污染潜在影响和农用地土地资源与环境适宜性评价奠定了基础。

关键词 包头市郊区; 农田; 表层土壤; 重金属; 评价

中图分类号 X53 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)31-13527-02

Integrated Evaluation of the Content of the Heavy Metal in the Surface Soil of Farmland in Baotou City

ZHANG Qinghui et al (School of Resource and Environment, Baotou Teachers College, Baotou, Inner Mongolia 014030)

Abstract [Objective] The content of the heavy metals: cadmium, lead, chromium and zinc in the surface of different types of farmlands Baotou City was tested. [Method] The soil was sampled with the method of "Plum Blossom" and the testing soil included vegetable, potato, corn and other lands. [Results] The result was that the maximum of single pollution index in the testing area was 0.37 and the maximum of comprehensive pollution index was 0.30, which showed the environmental quality of farmland on the heavy metal pollution from cadmium, lead, chromium and zinc belonged to the clean level and there was not security risks in crop planting such as wheat, corn and other grain food crops and vegetables. [Conclusion] The study was benefit to the construction of pollution-free agricultural products base in Baotou City and the evaluation of potential impact of heavy metal contamination, the agricultural land resources and environmental quality.

Key words Suburb of Baotou City; Farmland; Surface soil; Heavy metal; Evaluation

在土壤的无机污染物中, 突出表现为重金属的污染。重金属不能为土壤微生物所分解, 易于积累, 甚至通过食物链以有害浓度在人体内蓄积, 严重危害人体健康。所以, 加强农用地土壤环境质量的监测和评价对于保护土壤环境质量和粮食安全具有重要意义, 同时可对城市规划提供科学依据。因而笔者对包头市郊区的农业用地进行了土壤重金属Cd、Pb、Cr、Zn含量及其对农产品生产及地下水影响的调查与评价, 以期为该地区农业可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

该研究区范围是包头市九原区新城乡的南沙梁村(与北沙梁村相邻)、南排村、边墙壕村和甲尔坝村西缘部分(昆北路东侧)(图1)。属于温带干旱气候区, 年平均气温6.7℃, 极端最高气温38.4℃、最低-31.4℃, 10℃有效积温为2019.8℃, 年降水量为308.9 mm, 蒸发量3221.1 mm, 全年无霜期125~130 d。研究区域土壤属于砂壤土。土壤pH值在土壤深度0~20 cm为8.40; 20~40 cm为8.69; 表层混合样pH值为8.75^[1]。

研究区内种植农作物的灌溉用水都是在当地农田里打井抽取地下水灌溉。当地农民种植农作物时常常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种植小麦、玉米, 蔬菜类主要种植白菜、甘蓝、青椒、豆角、西红柿、茄子等。当地农民在田块中各年的农作物种植均实施轮作倒茬制度。

2 样品采集与研究方法

2.1 土壤样品的采集 采土壤样时遵循的原则: 选择有利于土壤类型特征发育的环境, 在田块地形平坦、种植农作物的地点采样; 采样时尽量避开受人为干扰明显的如粪堆(粪池)或土壤侵蚀严重而缺乏代表性的地点; 采样点一般

距离铁路300 m以上, 距田间小路(或水灌渠)50 m; 采样密度为每2000 m²内采集10个土壤样品, 表土采样深度为0~20 cm, 由10个点混合为1个土壤组合样品; 研究区的田块土地面积较小、平坦、土质均匀, 布点采样方法采用“梅花型”布局^[1]。土壤组合样品取样范围及布局如图1。

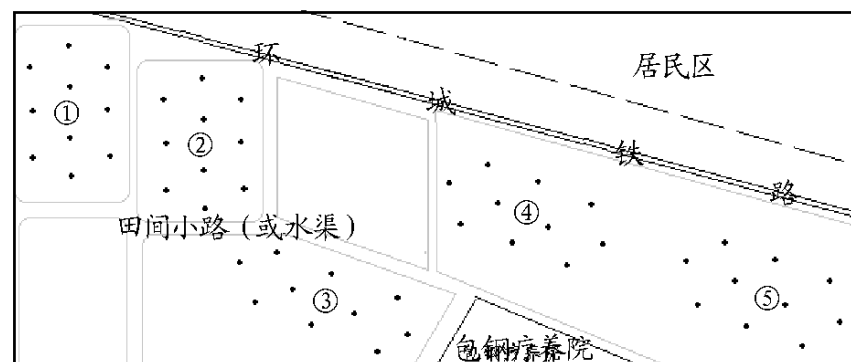


图1 土壤组合样品取样范围布局

Fig.1 Sampling range arrangement of soil combination sample

2.2 研究方法 将各点所采的土壤样在塑料薄膜上均匀混合, 用圆锥四分法逐次弃去多余部分, 最后将剩余1 kg左右的平均样品装入样袋, 带回实验室。土壤样品经自然风干、磨细过土壤筛(100目尼纶网), 用于分析测定所要研究的土壤重金属镉、铅、铬、锌元素。其中, 镉检测方法为石墨炉原子吸收分光光度法, 铅、铬、锌检测方法都为火焰原子吸收分光光度法。

3 结果与分析

土壤样品的测定分析成果见表1。

3.1 土壤重金属污染评价模式

3.1.1 单因子污染指数法^[2-3]。

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

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。

3.1.2 内梅罗综合污染指数法^[2-3]。

$$P_s = \{ [(C_i / S_i)_{\max}^2 + (C_i / S_i)_{\text{ave}}^2] / 2 \}^{1/2} \quad (2)$$

式中, P_s 为综合污染指数; $(C_i / S_i)_{\max}$ 为污染物中污染指数

基金项目 内蒙古自治区自然科学基金项目(200711020613)。

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

收稿日期 2008-07-21

最大值; $(C_i/S_i)_{ave}$ 为污染物中污染指数平均值。

污染指数(P_i)法分级标准: $P_i \leq 0.70$, 清洁级; $0.70 < P_i < 1.00$, 尚清洁级; $P_i > 1.00$, 污染级^[4]。

表1 土壤组合样品镉铅铬锌含量分析结果

Table 1 Content analysis result of Cd, Pb, Cr and Zn in soil combination sample

组合样品编号 Code of combination sample	土地类型 Land type	镉含量 Cd content	铅含量 Pb content	铬含量 Cr content	锌含量 Zn content
	菜地1 Vegetable plot	0.07	18.33	10	48
	马铃薯地 Potato land	0.09	15.85	12	74
	小麦地 Wheat land	0.07	11.74	14	78
	菜地2 Vegetable plot	0.08	17.91	12	73
	玉米地 Corn land	0.06	14.21	14	86

注:“组合样品编号”即图1所示样品号,土地类型指当时取样时已经种植的农作物类型,取样时间是2007年4月中旬。

Note: Code of combination sample is the sample number in Fig. 1. Land type stands for the planted crop type when sampling. The sampling time is middle April in 2007.

表3 农田土壤环境污染分级

Table 3 Classification of environment pollution of farmland soil

土地类型 Land type	单因子污染指数 Pollution index of single factor				综合污染指数 Comprehensive pollution index	污染等级 Pollution grade	污染程度 Pollution degree
	Cd	Pb	Cr	Zn			
菜地1 Vegetable plot 1	0.18	0.37	0.04	0.16	0.29	安全 Safety	清洁 Clean
马铃薯地 Potato land	0.23	0.32	0.05	0.25	0.27	安全 Safety	清洁 Clean
小麦地 Wheat land	0.12	0.15	0.06	0.26	0.21	安全 Safety	清洁 Clean
菜地2 Vegetable plot 2	0.20	0.36	0.05	0.24	0.30	安全 Safety	清洁 Clean
玉米地 Corn land	0.10	0.18	0.06	0.29	0.23	安全 Safety	清洁 Clean

3.3 重金属 Cd、Pb、Cr、Zn 对农作物的影响分析

3.3.1 对粮食的影响。镉、锌之间的复合污染在不同的条件下表现为不同的作用,在玉米籽实中,镉-锌之间表现为抑制作用,而在大豆籽实中则表现为协同作用^[5]。镉拮抗小麦对铅的吸收,降低铅的植物有效性^[6]。小麦对铬的富集主要集中在小麦的根部。玉米根部同样也是对铬有较强吸收能力和积累的主要部位(生长在Cr污染区的玉米根部铬含量可高达127.56 ng/kg^[7]),但其茎、叶及玉米颗粒中的铬含量都符合安全标准。

3.3.2 对蔬菜的影响。不同蔬菜对重金属的累积顺序为:叶菜类>豆类>瓜类>茄果类>块茎类。由于研究区的农田菜地都是在小麦收割后接着种植蔬菜,一年内2次种植使小麦和蔬菜的根系共同对重金属具有相对的富集作用,因而研究区所取的样品分析成果显示,菜地类的重金属含量高于粮食地。不同的蔬菜对于不同的重金属吸收能力都不一样。Cd、Pb对油菜吸收Cd具有协同作用,对油菜吸收Pb却具有拮抗作用^[8];甘蓝的铬富集系数最高,其次为小白菜、云架豆和冬瓜,辣椒、茄子、大葱、大白菜、萝卜、叶甜菜、黄瓜、番茄和芥菜等的铬富集系数最低^[9];马铃薯块茎对锌表现出嗜吸收,番茄果实对锌表现出抗吸收。同时,一些蔬菜对某些重

3.2 评价标准与评价结果 土壤质量评价依据文献[4]。土壤环境质量评价指标二级主要适用于一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤,达到该等级的土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和污染。

从表2、3可见,土壤重金属Cd、Pb、Cr、Zn含各自的最大值分别为0.09、18.33、14.00、86.00 ng/kg,研究区的土壤中Cd、Zn含量相对偏高,而Pb、Cr含量相对偏低。但研究区内的因子污染指数排序 $Pb(0.37) > Zn(0.29) > Cd(0.23) > Cr(0.06)$ 。单因子污染指数均小于0.70,综合污染指数最大值为0.30,均小于0.70。表明土壤污染等级是安全的,土壤环境污染等级为清洁级,土壤质量状况良好,未受到污染。

表2 土壤环境质量评价指标限值

Table 2 Limit value of soil environment quality evaluation index

pH值 pH value	镉含量 Cd content	铅含量 Pb content	铬含量 Cr content	锌含量 Zn content
<6.5	0.3	50	150	200
6.5~7.5	0.3	50	200	250
>7.5	0.4	50	250	300

注:表中指标限值为旱作蔬菜等土地的二级质量评价指标。

Note: Limit value of indices in the table is the second-grade quality evaluation indices of dry farming vegetable and other lands.

金属污染物吸收的绝对量差异明显,如胡萝卜吸收锌量为番茄的3.9倍^[1]。

因此,在实际生产中可以根据不同蔬菜对重金属逆境条件的敏感性不同,通过合理安排不同富集系数的蔬菜,以减少重金属被蔬菜吸收而污染食物链。这对于研究区建立无公害蔬菜生产基地,生产绿色蔬菜,建立和实行从生产到消费的全过程质量监控,对保证蔬菜质量意义重大。而该研究区土壤铅含量本身就很低,种植蔬菜更不存在安全风险,它为包头市“菜篮子”工程的实施奠定了基础。

3.3.3 对地下水的影响。农田土壤由于人为耕作的熟化,培育改变了土壤性状,进而影响重金属 Cd^{2+} 在土壤中的迁移^[10],这使土壤 Cd^{2+} 随雨水和灌溉水到处扩散而污染河道和地下水的可行性大大增加,因而镉对地下水的影响应该引起重视。铅、铬、锌在碱性土壤环境下迁移性较差,进入土壤中的铅、铬、锌绝大部分将残留于土壤中。因此,土壤铅、铬、锌对当地地下水的影响甚微,没有污染风险。

4 结论与讨论

该研究区土壤镉、铅、锌、铬的含量低,农田中农作物种植重在预防。研究区内本身属于土壤pH值偏高的土地,只

(下转第13546页)

$C_{16:0}$ 约占总脂含量的 1.5%；藻细胞中 $C_{14:0}$ 、 $C_{16:4}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1}$ 和 $C_{18:4}$ 脂肪酸居多，含量在 12%~20%，其中 $C_{18:4}$ 含量最高。 $C_{18:2}$ 和 $C_{22:6}$ (DHA) 含量接近总脂含量的 6%， $C_{20:4}$ (AA) 和 $C_{20:5}$ (EPA) 含量占总脂含量的 1.5%~1.9%。

纤细角毛藻胞外滤液中， $C_{16:0}$ 脂肪酸接近总脂含量的 44%， $C_{12:0}$ 含量也较高，接近总脂含量的 26%， $C_{14:0}$ 占总脂含量的 5% 左右，未检测出不饱和脂肪酸的存在；藻细胞中 $C_{16:1}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1}$ 和 $C_{20:5}$ (EPA) 等系列脂肪酸含量较高，在 12%~27%，以 $C_{18:1}$ 为最多， $C_{20:4}$ (AA) 含量也较高，占总脂含量的 3%；未检测出 $C_{22:6}$ (DHA) 的存在。

3 结论与讨论

(1) 关于脂肪酸或脂肪酸混合物抑制藻类的生长已有报道。例如，McCracken 等人通过分析莱茵衣藻 (*Chlamydomonas reinhardtii*) 产生的具有抑制雨生红球藻活性的物质，发现它由饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸组成^[12]。Yanada 等也证明了藻青菌-纤细席藻 (*Phormidium tenue*) 的抑制物是由饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸组成^[13]。最近，Chiang 等报道了产烃葡萄藻 (*Bityococcus braunii*) 释放的化感物质是一种由亚麻酸和棕榈酸组成的脂肪酸混合物^[14]。Ikawa 也指出绿藻中的化感物质大部分是脂肪酸的次级代谢产物^[15]。笔者也认为，球等鞭金藻和纤细角毛藻胞外滤液中的脂肪酸能够对纤细角毛藻或球等鞭金藻产生化感作用。同时由试验结果推测，球等鞭金藻对纤细角毛藻的化感作用很可能由饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的混合物共同作用引起；而纤细角毛藻对球等鞭金藻的化感作用很可能由饱和脂肪酸引起。

(2) 对比细胞和相应胞外产物的脂肪酸种类和组成，发现 2 种微藻胞外产物中所有种类的脂肪酸在相应细胞中均有出现，表明此 2 种微藻滤液中的脂肪酸或不饱和脂肪酸来

源于其细胞。Pratt、Fong 和 Imada 等也认为培养液中的脂肪酸来自藻细胞^[13]。由于微藻胞外滤液中物质的不确定性，对球等鞭金藻和纤细角毛藻间化感作用的研究还有待进一步深入。目前，有关 2 种微藻胞外化感物质的分离纯化工作正在进行中。

参考文献

- [1] 李峰民, 胡洪英. 大型水生植物浸出液对藻类的化感抑制作用[J]. 中国给水排水, 2004, 20(11): 18-21.
- [2] 张培玉, 蔡恒江, 肖慧, 等. 孔石莼与 2 种海洋微藻的胞外滤液交叉培养研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(5): 1-4.
- [3] PEREZ E, MARTINDE, PADILLA M. Rate of production of APONINs by *Nannochloris oculata*[J]. *Biomedical Letters*, 1999, 59: 88-91.
- [4] ARZUL G, SEGUEL M, GUZMAN L, et al. Comparison of allelopathic properties in three toxic *Alexandrium* species[J]. *J Exper Mar Biol Ecol*, 1999, 232: 285-295.
- [5] 孙艳妮, 殷明炎, 刘建国. 雨生红球藻的信号物质[J]. 海洋湖沼通报, 2001(3): 22-28.
- [6] IMADA N, KOBAYASHI K, TAHARA K, et al. Production of an Autoinhibitor by *Skeletonema costatum* and its effect on the growth of other phytoplankton species[J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, 57(12): 2285-2290.
- [7] 王长海, 孙颖颖. 球等鞭金藻细胞生长抑制因子的初步研究[J]. 海洋通报, 2006, 25(3): 29-33.
- [8] GUILLARD R R L, RYHER J H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella namata* Husted and *Dityonula confervacea* (Cleve) Gran[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1962, 17: 309-314.
- [9] CALLAWAY M. Experimental designs for the study of allelopathy[J]. *Hort and Soil*, 2003, 256: 1-11.
- [10] 刘世枚, 黎尚豪. 两种蓝藻种群间的相互作用[J]. 植物学报, 1991, 33(2): 110-117.
- [11] 张婷, 宋立荣. 铜绿微囊藻与三种丝状蓝藻之间的相互作用[J]. 湖泊科学, 2006, 18(2): 150-156.
- [12] MCCRACKEN M D, MIDDAUGH R D, MIDDAUGH R S. A chemical characterization of an algal inhibitor obtained from *Chlamydomonas*[J]. *Hydrobiologia*, 1980, 70: 271-276.
- [13] YAMADA Y, MURKAMI N N, MORIMOTO T, et al. Auto-growth inhibitory substance from the freshwater cyanobacterium *Phormidium tenue*[J]. *Chem Pharm Bull*, 1993, 41: 1863-1865.
- [14] CHANGI Z, HUANG W Y, WU J T. Alkochemicals of *Bityococcus braunii* (Chlorophyceae)[J]. *J Phycol*, 2004, 40: 474-480.
- [15] IKAWA M. Algal polyunsaturated fatty acids and effects on plankton ecology and other organisms[J]. *UNH Center Freshwater Biol Res*, 2004, 6(2): 17-44.

(上接第 13528 页)

要注意科学施肥，不要使当地土壤的 pH 值下降，那么在这些土地上有选择性地种植不易富集重金属铬、铅、锌、镉的粮食作物如小麦、玉米等，或其他蔬菜如冬瓜、黄瓜、叶甜菜、大葱、云架豆、甘蓝、胡萝卜等，就不会出现重金属铬、铅、锌、镉迁移而随生物链危害人体健康的风险。

研究结果将为进一步开展无公害农产品基地建设、开展土壤重金属污染潜在影响和农用土地资源与环境适宜性评价奠定了基础，对科学合理地利利用土壤资源具有重要的现实意义。对于土壤中其他有害元素的含量和形态，粮食、蔬菜等重金属含量的高低等都有待于更进一步的深化研究。

参考文献

- [1] 张庆辉, 王贵. 包头市郊区农用地表层土壤重金属锌含量的调查与评

价[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4674-4675.

- [2] 张征. 环境评价学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 115, 184.
- [3] 徐燕, 李淑芹, 郭书海, 等. 土壤重金属污染评价方法的比较[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11): 4615-4617.
- [4] 国家环境保护总局. 食用农产品产地环境质量评价标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 王宏信, 徐卫红, 刘吉振. 土壤中锌镉复合污染及其植物效应研究进展[J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22(6): 51-52.
- [6] 陈苏, 孙丽娜, 孙铁珩, 等. 钾肥对铅的植物有效性的影响[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(2): 285-288.
- [7] 孟庆恒, 刘文静, 赵东风. 土著微生物-玉米对 Cd 污染的联合修复初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(5): 1870-1873.
- [8] 吕建波, 徐应明, 贾堤, 等. 土壤镉、铅污染对油菜生长行为及重金属累积效应的影响[J]. 天津城市建设学院学报, 2005, 11(2): 107-110.
- [9] 宋波, 高定, 陈同斌. 北京市菜地土壤和蔬菜铬含量及其健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2006(10): 1707-1715.
- [10] 单奇华, 张彩峰, 俞元春, 等. 土壤 Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 的吸附解吸特征及差异分析[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(19): 5808-5810.