# 干旱区污灌土壤作物系统Cu、Zn的行为特性

南忠仁，李吉均

(兰州大学地理科学系，甘肃 兰州 730000)

**摘要：** 通过对干旱区污灌农田主要作物体中重金属Cu、Zn生态行为的调查研究得出：①不同作物对所选研究元素吸收累积的顺序为：玉米>小麦；不同元素在作物体内迁移能力为：Zn>Cu。②作物不同部位研究元素的累积态势为：根>茎>籽。③同一元素在不同剂量区作物体内吸收累积量的大小差别显著。

**关键词：** 干旱区；农作物；Cu、Zn行为

**中图分类号：** X53 **文献标识码：** A **文章编号：** 1008-858X(2001)01-0025-05

作为植物生长必需元素Cu和Zn在土壤环境中的含量对植物正常生长发育尤为重要(陈怀满，1996)，但因土壤环境中Cu、Zn含量过多对作物正常生长带来的不良影响已为科学工作者所重视。关于单个元素及复合污染对植物生态效应的实验研究颇多(郑春容等，1990；吴燕玉等，1998；王新等，1998；陈同斌，1998)，这对理解某个元素的植物生理或在土壤环境中的生态行为是十分必要的。自然界中重金属的污染往往多为伴生性或综合性，它们在土壤植物系统中的行为更为复杂。大田条件下(under the real field conditions)重金属的生态行为研究已引起人们的高度注意(Miner，et al.，1997；Brun，et al.，1998；Andreu and Gimeno-Garcia，1999；胡正义等，2000)。本文根据对地处干旱区的白银市污灌土壤作物体系中有毒但作物生长必需元素Cu、Zn含量的调查，探讨大田条件下重金属物质Cu、Zn在土壤作物系统中的生态行为特征。

## 1 研究方法

位于西北干旱区的白银市是我国重要的有色金属冶炼与加工工业基地之一。该区总土地面积为$5.01\times10^4 hm^2$，总耕地面积$1.07\times10^4 hm^2$，有效灌溉面积$0.47\times10^4 hm^2$。长期以来因干旱缺水，市区农业生产中有程度不同地利用城市污水灌溉的历史。污水中主要污染物为Cd、Pb、Cu、Zn等重金属物质(表1)。为探讨重金属物质进入大田后在土壤作物系统中的行为特征，研究中按网格法(2km×2km)在全区的东大沟污灌区、西大沟清污混灌区和黄河水灌区均匀布点，作物成熟期同点同时随机采集土壤与作物(小麦、玉米)样品。

**表1** 白银市区农田灌溉用水主要污染物含量(mg/L)(1997)*

**Table 1** Content of main contaminants in irrigating water of Baiyin urban area

| 水源类型 | Cd | Pb | Zn | Cu | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| 季节性河流(污水) | | | | | |
| 东大沟 | 3.447 | 6.862 | 15.290 | 4.083 | 2.75 |
| 西大沟 | 0.192 | 0.993 | 1.289 | 0.684 | 7.49 |
| 黄河水(三断面) | | | | | |
| 青城桥 | 0.0048 | 0.071 | 0.181 | 0.028 | 8.11 |
| 靖远桥 | 0.0067 | 0.089 | 0.259 | 0.018 | 8.11 |
| 五佛寺 | 0.0073 | 0.091 | 0.224 | 0.019 | 8.03 |
| 水质标准 | | | | | |
| 农 灌 | 0.005 | 0.5 | 2.0 | 1.0 | |

白银市环境保护局环境监测站1997年年报。

*：为渔业水质标准(GB11607-89)。

**收稿日期：** 2000-07-12

**基金项目：** 国家自然科学基金资助项目(49731010)；甘肃省环保科技资助项目(98-8)

**作者简介：** 南忠仁(1962-)，男，兰州大学地理系副教授。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

土壤样品是垂直采取耕作层0～20cm的土体；作物样品是采取成熟期的整株作物体，分为根、茎、籽三部分。土壤样品过100目尼龙筛处理后，用HCl＋$HNO_3$＋$HClO_4$＋HF置微波炉消化，作物样品经洁净烘干(＜80℃温度)处理后，用$H_2SO_4$＋$HNO_3$＋$HClO_4$置微波炉消化，ICP等离子光谱仪测定作物必需元素Cu、Zn的含量。

**表2** 研究区土壤环境Cu、Zn含量的统计特征值(DW，mg/kg)

**Table 2** Statistical values of Cu Zn content in soil in the study region

| | 元素 | 算术均值 | 中位数 | 标准差 | 最小值 | 最大值 | 偏度 | 峰度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 全　区 | Cu | 99.30 | 60.00 | 84.60 | 21.00 | 368.15 | 1.18 | 0.72 |
| (N＝47) | Zn | 146.78 | 106.25 | 113.12 | 43.50 | 565.00 | 1.61 | 2.64 |
| 东大沟 | Cu | 199.26 | 190.26 | 66.54 | 110.51 | 368.15 | 1.26 | 2.02 |
| (N＝13) | Zn | 235.01 | 255.49 | 73.48 | 122.24 | 352.51 | 0.16 | 1.43 |
| 西大沟 | Cu | 87.40 | 60.00 | 62.24 | 38.70 | 230.11 | 1.52 | 0.66 |
| (N＝18) | Zn | 160.95 | 111.92 | 129.58 | 69.87 | 565.00 | 2.17 | 4.38 |

## 2 结果与讨论

研究区土壤环境重金属含量(Cu、Zn)调查结果统计特征值见表2。

土壤作物系统中多元素重金属迁移是一个极其复杂的过程，其迁移机理受作物种类、元素种类与组合、必需与非必需性、相对浓度、比例关系、以及环境因素的综合影响。为探讨大田条件下多元素在作物体中的复合迁移与累积机制，研究中将东大沟污灌区作为高剂量区，西大沟清污混灌区作为低剂量区。高、低剂量区作物体不同部位重金属含量分析结果见表3、4。

**表3** 高剂量区作物体中重金属浓度的算术均值(DW，mg/kg)

**Table 3** Vuerage arichmitic value of density of heavy metal in crops in areas with high dosage

| 作　物 | 组成 | Cu | Zn |
|---|---|---|---|
| 春小麦 | 籽粒 | 6.84 | 42.03 |
| | 茎杆 | 6.12 | 83.01 |
| | 根系 | 40.10 | 229.72 |
| 玉　米 | 籽粒 | 0.61 | 22.85 |
| | 茎杆 | 24.09 | 42.05 |
| | 根系 | 108.89 | 145.45 |

**表4** 低剂量区作物体中重金属浓度的算术均值(DW，mg/kg)

**Table 4** Average arithmitic value of density of heavy metal in crops in areas with low dosage

| 作　物 | 组成 | Cu | Zn |
|---|---|---|---|
| 春小麦 | 籽粒 | 3.47 | 31.08 |
| | 茎杆 | 5.62 | 33.31 |
| | 根系 | 15.63 | 33.93 |
| 玉　米 | 籽粒 | 4.13 | 15.71 |
| | 茎杆 | 10.14 | 21.27 |
| | 根系 | 25.37 | 61.40 |

为说明元素在作物体内的迁移趋势，利用吸收系数来说明重金属元素在作物体内的行为过程。所谓吸收系数是指作物体部位某一元素的浓度与土壤中该元素浓度之比。它可代表土壤作物系统中元素迁移的难易程度。

元素$i$的吸收系数(Absorption Coefficient，$ACi$)表示式如下：

$$ACi=Ci/Si$$

式中：$Ci$－作物体部位$i$元素的含量。

$Si$－土壤耕作层$i$元素的含量。

由研究元素在干旱区大田条件下主要作物体不同部位的吸收累积系数(图1、2)分析可知：

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

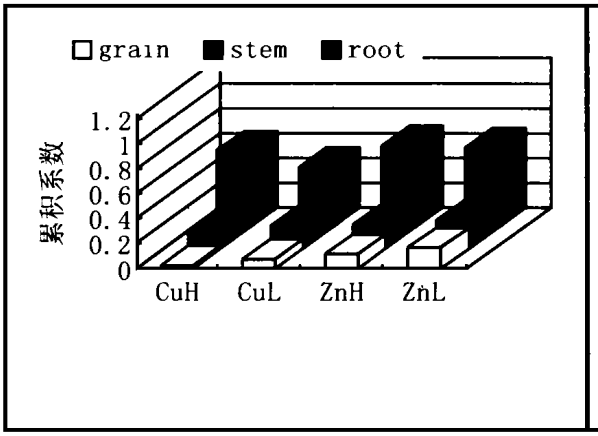


**图 1**　不同剂量区玉米体中元素累积趋势比较分析
(H～高剂量区；　L～低剂量区)

**Fig 1**　Comparative analysis of element accumulation trend in corn at areas with different dosage

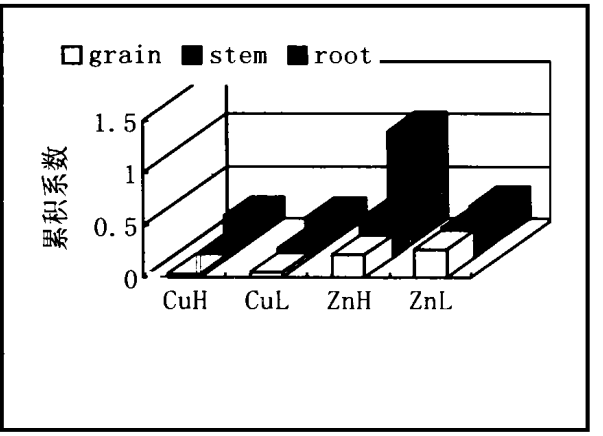


**图 2**　不同剂量区小麦体中元素累积趋势比较分析
(H～高剂量区；　L～低剂量区)

**Fig 2**　Comparative analysis of element accumulation trend in wheat at areas with different dosage

Cu、Zn 元素在主要农作物不同部位的吸收累积趋势基本一致，累积量由大到小依次为：根＞茎＞籽，且以根部积累量最大。这一结论与王新等(1997)所研究的重金属在水稻体中积累态势，及张秀梅等(1997)调查发现污灌区农作物玉米和高粱体中 Cu 的分布为根＞茎＞籽相一致。陈同斌(2000)调查发现，Cu 在受污染的水稻体中的分布规律为：稻草＞糙米。李述刚等(1998)在阜康荒漠生态站人工控制下单元素盆栽试验中，发现 Cu、Zn 在冬小麦根茎籽的吸收比例为：根＞茎(叶)＞籽。但田间小区多元素复合污染试验中发现，重金属 Cu、Zn 元素在冬小麦体中的吸收累积顺序为：根＞籽＞茎(叶)。田间小区人工试验得出冬小麦体中 Cu、Zn 元素根茎籽的吸收比例值与研究区所得作物体内元素的迁移顺序也基本相符，但也存在一定的差别。这可能是由作物元素的必需性所决定。因为根部元素累积重要受控于土壤环境中重金属含量的影响，至于茎杆、籽实中元素的含量，既受根系中元素含量的影响，也受农作施肥喷药、大气降水降尘等对叶面物质吸收的影响。

**表 5**　不同剂量区作物体重金属吸收累积系数分析

**Table 5**　Accumulated coefficient analysis of metal absorbed by crops at areas with different dosage

| | | 高剂量区 | | 低剂量区 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 作物 | 组成 | Cu | Zn | Cu | Zn |
| 春小麦 | 籽粒 | 0.037 | 0.217 | 0.053 | 0.269 |
| | 茎杆 | 0.034 | 0.371 | 0.090 | 0.286 |
| | 根系 | 0.208 | 1.021 | 0.195 | 0.307 |
| | 籽：茎：根 | 1：1：5.6 | 1：1.7：4.7 | 1：1.7：3.7 | 1：1：1.1 |
| 玉米 | 籽粒 | 0.021 | 0.114 | 0.078 | 0.167 |
| | 茎杆 | 0.138 | 0.081 | 0.184 | 0.222 |
| | 根系 | 0.619 | 0.657 | 0.487 | 0.639 |
| | 籽：茎：根 | 1：6.6：29 | 1：0.7：5.8 | 1：2.4：6.2 | 1：1：3.8 |

同一元素在不同剂量区作物体内的吸收累积比例略有差别。高剂量区吸收比例系数较小，低剂量区的吸收比例系数较大(表 5)。但从绝对吸收累积量看，仍是高剂量区累积多，而低剂量区累积少(表 3、4)。这说明作物对重金属元素的吸收，因受生理功能的影响而有一定的限量，也可能是因为有毒元素在土壤溶液中浓度过高时，当其进入作物根系后，会对根毛表皮细胞产生毒害作用，导致根系元素吸收功能下降。研究表明，因 Cu、Zn 过多而引起植物中毒所表现的失绿症影响作物的生长、发育(陈怀满，

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1996)。

由重金属元素在小麦、玉米根茎籽三部分的吸收系数比值,分析其在作物体内迁移能力,由大到小排序依次为:Zn>Cu。可知,在大田条件下,农作物对锌的吸收累积较强,Zn 元素是极易向春小麦、玉米茎杆、籽粒迁移并极易在籽粒中累积的物质。这一结论与水稻幼苗同位素试验所得"进入根部约 50%以上的 Zn 向上部移动,90%以上的 Cd 停留在根部"的结论,及与"水稻筛管液无机离子运移实验证明,Zn 属于易向生长着籽粒中移动的元素,Cu 的移动程度低于 Zn"的结论相一致(许嘉琳等,1995)。

Zn 的吸收一般认为是主动过程,是受控于新陈代谢机理的。但可能也有非代谢的被动吸收存在,尤其对于生长在高锌土壤中的作物。根系吸收的锌大多数由木质部运输到作物的其他部位。锌被结合到可溶性的低分子量蛋白质上,作物中一半以上的锌是与带负电荷的复合体结合而存在,使得锌具有较强的移动性。特别是当锌的供应处于奢侈状态时,则有大量的锌从老组织向新组织转移。高锌土壤环境中生长的作物根系往往含有较地上部分更多的锌,这也许是作物抗过量锌而避免中毒的机制之一。研究区中,小麦根茎籽吸收系数的比例为:2.7∶1.4∶1。Cu 是作物生长的必需营养元素之一,但在自然条件下,很少有游离铜离子可被作物从土壤溶液中吸收(陈怀满等,1996)。尽管作物根对铜的吸收机制还远未弄清,但用根进行的研究都充分地证明了作物可以被动地吸收铜。这一吸收机制可能是作物吸收 Cu 的能力相对较弱的原因。研究区中,小麦根茎籽吸收系数的比例为:4.5∶1.4∶1。

由元素共存时重金属物质在春小麦、玉米体中的吸收累积看,作物对重金属元素的吸收能力由大到小为:玉米>春小麦。

## 3 结　论

通过以上计算分析,得出以下初步结论:

① 不同作物对所选研究元素吸收累积的顺序为:玉米>小麦。大田条件下研究元素在农作物体内迁移能力排序为:Zn>Cu。这一结论与田间小区试验所得迁移顺序与程度基本相同。

② 研究元素在干旱区主要农作物不同部位吸收累积态势为:根>茎>籽。因此,妥善处理好作物的根系,可作到调节土壤环境 Cu、Zn 的含量,维护农业土壤,保护生态环境之目的。

③ 同一元素在不同剂量区作物体内的吸收累积程度差别显著。在高剂量区,农作物元素吸收累积系数小,但绝对吸收累积量大;低剂量区,则相反。因此,在一定程度上,随着土壤环境重金属含量愈大,作物根系重金属吸收累积量也将增大。

**参考文献:**


[1] 陈怀满,等.土壤植物系统中重金属污染[M].北京:科学出版社,1996.182-192,288-292

[2] 郑春容,陈怀满.土壤-水稻体系中污染重金属的迁移及其对水稻的影响[J].环境科学学报,1999,10(2):145-152

[3] 吴燕玉,王新,梁仁禄,等.Cd、Pb、Cn、Zn、As 复合污染在农田生态系统的迁移动态研究[J].环境科学学报,1998,18(4):407-414

[4] 王新,吴燕玉.不同作物对重金属复合污染物吸收特性的研究[J].农业环境保护,1998,17(5):193-196

[5] 陈同斌.土壤化学性质对 Cu 的植物吸收效应和土壤有效 Cu 测定的影响[J].应用生态学报,1998,9(1):84-88

[6] Miner, G.S. Gutierrez, R., and King, L.D., Soil Factors Affecting plant Concentrations of Cadmium, Copper, and Zinc on Sludge-Amended Soils[J]. J. Environ. Qual., 1997,26:989-994

[7] Brun, L.A., Maillet, J., Richarte, J., Herrmann, P., Remy, J.C. Relationships between extractable copper, soil propertise and copper uptake by wild plants in vineyard soils[J]. Environmental Pollution, 1998,102:151-161

[8] Andreu, V., and Gimeno-Garcia, E. Evolution of heavy metals in marsh areas under rice faring[J]. Environmental Pollution, 1999,104:271-282

[9] 胡正义,沈宏,曹志洪.Cu 污染土壤水稻系统中 Cu 的分布特征[J].环境科学,2000,21(2):62-65

[10] 王新,吴燕玉.重金属在土壤水稻系统中的行为特性[J].生态学杂志,1997,16(4):10-14

[11] 张秀梅,唐以剑,章申.白洋淀地区土壤-植物系统中污染物含量与变化规律研究[J].地理科学进展,1997,16(2):62-69

[12] 李述刚,程心俊,王周琼.荒漠绿洲农业生态系统[M].北京:气象出版社,1998,93-107

[13] 许嘉琳,杨居荣.陆地生态系统中的重金属[M].北京:中国环境科学出版社,1995,157-206


(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net