

白洋淀地区土壤——植物系统中污染物 含量与变化规律研究*

张秀梅 唐以剑 章 申

(中国科学院 地理研究所, 北京 100101)
国家计划委员会

摘 要 研究长期利用城市污水浇灌的农田土壤——植物系统中污染物的含量及其行为与归宿, 不仅对农田生态系统的环境质量控制有重要意义^[1], 同时, 还可以为合理发展污灌, 实现污水资源化, 促进农业生产的持续发展提供科学依据^[2]。本文调查了华北白洋淀地区典型污灌农田土壤中污染物含量及其在土壤——植物系统中分布和累积状况。结果表明, 污灌区土壤中某些重金属含量有一定的累积趋势。目前, 这些重金属对农田作物无明显危害, 大部分累积在根部。加强科学管理和污灌指导, 利用农田作为土地处理系统来消纳污水中耗氧有机物, 是本地区近期可行的污水资源化途径之一。

关键词 土壤——植物系统 污染物 含量变化规律 白洋淀地区

1 材料与方法

1.1 污灌区概况

白洋淀地区污灌历史已有二十多年, 污灌区总面积为 5 万余亩。污水来源主要是保定市工业废水和城市生活污水。近年来, 保定市每年排放的污水约 9 千多万吨。污水分别从府河、引污干渠和污水库三个水域进入农田污灌区。污水中的污染物主要是耗氧有机物和氮磷营养元素以及汞、镉、铬等重金属污染物(表 1)。灌区土壤主要是潮化褐土和潮土。土壤质地多为轻壤。主要农作物有小麦、水稻和玉米等。

要充分利用污水资源, 首先必须查明易对农田生态系统产生危害的重金属含量及其行为与归宿。因此, 本文重点探讨了重金属含量及其变化规律。

1.2 采样与分析

我们在保定清苑县望亭乡、孙村及满城县的一亩泉分别选择了引灌城市生活污水、工业废水以及地下水的五个典型农田样点, 采集了土壤以及水稻、高粱和玉米等植物样品。

土壤样品经自然风干后, 按常规法处理、过 100 目及 240 目筛备用。植物样品风干后按常规法处理、制成分析样品以备测定。

土壤植物样品经适当的方法消解后, 采用 JARRELL-ASH-900 型等离子体光谱仪测定 Cu、Zn、Pb、Cr、Fe、Co、Ni、V、Mn、P、K 和 Ca 等元素。Hg 采用 CG-1A 型

* 郁明先生、陈喜宝女士参加了采样工作, 张国梁博士提供了微机绘图, 在此一并致谢。

冷原子吸收测汞仪测定。Cd 经 MIBK 萃取后，采用日本岛津 AA- 640 型石墨炉原子吸收测定。As 采用 WFY- 2 型原子荧光仪测定。

表 1 保定市污水中污染物含量 (mg/ L)
Tab. 1 Contents of pollutants in discharged water from Baoding City (mg/ L)

水类型	COD _{cr}	DO	NH ₄ -N	T-P	S	R-OH ⁻	CH
污水水库	258. 3	2. 08	16. 43	0. 775	2. 43	0. 544	0. 005
府河水系	108. 1	0. 51	26. 98	1. 11	0. 92	0. 015	0. 007
背景水		6. 49	0. 175	0. 013	0. 02	0. 0002	0. 004
三级地面水标准	< 15	> 5	< 0. 02	< 0. 1 (0. 05)	< 0. 2	< 0. 005	< 0. 2
农灌水质标准 ^[3]	< 200	> 0 (2. 0)		2. 0	< 1. 0	< 1. 0	< 0. 5
水类型	油	Hg	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
污水水库	1. 669	2. 43 × 10 ^{- 4}	1. 89 × 10 ^{- 4}	2. 7 × 10 ^{- 4}	0. 0158	0. 0051	0. 5124
府河水系	2. 913	6. 70 × 10 ^{- 5}	3. 40 × 10 ^{- 5}	3. 93 × 10 ^{- 4}	0. 0071	0. 0025	0. 0957
背景水	—	9. 0 × 10 ^{- 6}	3. 90 × 10 ^{- 5}	1. 53 × 10 ^{- 4}	0. 0011	0. 0012	0. 0012
三级地面水标准	< 0. 05	< 0. 0001	< 0. 005	< 0. 05	< 0. 1 (0. 01)	< 0. 05	< 1. 0 (0. 1)
农灌水质标准 ^[3]	< 10	0. 001	0. 005	< 0. 1	< 1. 0	< 0. 5	< 2. 0

2 结果和讨论

2. 1 不同类型污灌区土壤耕作层中元素含量

从表层土壤分析结果来看，三种不同类型污灌区中的某些金属污染元素含量不同程度地高于清灌区 (表 2)。其中，府河灌区的 Cd、Zn、As、Cu 和 Cr 含量相对较高。工业污水灌区的 Hg 含量较高，Cd、As 和 Zn 次之。污水混灌区的 Cd、As 和 Cu 也依次高于清灌区。

表 2 白洋淀地区不同类型灌区土壤耕作层中元素含量 (mg/ kg)
Tab. 2 Contents of elements in surface soil with various types of irrigation
in Baiyangdian region (mg/ kg)

元 素	府河污水灌区	污水混灌区	工业污水灌区	清灌区
Cu	40. 05	32. 45	23. 33	21. 46
Pb	21. 06	20. 57	21. 19	20. 29
Zn	100. 98	52. 71	79. 68	53. 47
Cd	0. 442	0. 225	0. 338	0. 040
Hg	0. 045	0. 068	0. 156	0. 045
Cr	102. 5	89. 94	70. 07	79. 78
As	18. 75	13. 00	12. 25	7. 00
Co	18. 45	16. 01	13. 03	14. 27
Ni	48. 96	41. 06	29. 40	31. 24
V	116. 9	102. 9	74. 54	88. 56
Fe	47535	40757	30162	33697
Mn	1014. 7	719. 7	562. 4	683. 1

这说明长期用污水浇灌的土壤中某些重金属含量已有一定的累积。与其它地区相比,本灌区土壤多数元素含量略高于乌鲁木齐污灌区, Hg、As 和 Cd 含量高 1—2 倍。Cu、Pb、Zn 和 Hg 都低于北京东南郊污灌区 (表 3), 只 As 和 Cr 含量较高。因此, 长期污灌对局部农田土壤会有一定程度的影响, 应引起有关部门注意。

表 3 白洋淀污灌区农田土壤元素含量与国内外有关数据的比较 (mg/kg)

Tab. 3 Comparison of content of elements in surface soil of waste water irrigation areas in Baiyangdian region with that in other regions both at home and abroad (mg/kg)

元 素	白洋淀地区农田土壤		新疆乌鲁木齐市土壤 ^[4]		北京地区土壤 ^[6]		世界土 ^[5]
	污灌区	清灌区	污灌区	背景区	东南郊污灌区	潮土背景值	平均含量
Cu	37. 53	27. 80	23. 18	22. 34	49. 20	9. 33	15 ~ 40
Pb	20. 57	16. 81	18. 25	17. 95	40. 40	12. 80	15 ~ 25
Zn	83. 59	56. 56	101. 39	85. 58	112. 0	41. 90	20 ~ 100
Cd	0. 3615	0. 033	0. 115	0. 064	0. 20		0. 05 ~ 0. 5
Hg	0. 0784	0. 045	0. 036	0. 031	0. 652	0. 060	0. 03 ~ 0. 10
Cr	91. 27	86. 89	48. 86		66. 2	50. 05	100 ~ 200
As	13. 63	7. 00	9. 30		8. 33	8. 17	5
Co	16. 49	15. 65	10. 41	10. 65	8. 00		8
Ni	42. 10	39. 27	27. 72	28. 79		20. 03	40
V	102. 78	99. 11	80. 5	81. 80			100
Fe	41 497	39 764	31 720	31 790			38 000
M n	863. 9	935. 4	780. 3				850

2. 2 污灌区土壤剖面中元素的垂直分布

为进一步了解污灌对农田土壤的影响, 同时调查了长期采用府河污水浇灌的农田土壤剖面中元素含量的变化。结果表明, 重金属元素含量在表层有较明显的富集趋势(图 1), 其中 Cu、Hg、Cd 和 Mn 表层累积较明显, Pb、Cr、Co、Ni 和 V 淀积层含量比较高。这与污水中有机污染物的浓度较高有关。当高浓度有机污染废水进入土壤后, 重金属元素很容易与有机物结合, 导致表层重金属含量增高。望亭测点的表土中 Cd、Fe、Mn、Co、Ni 和 V 的含量比较高, 除土壤母质因素外, 与表土有机物的截留、吸附作用有关。

2. 3 污灌区粮食作物的元素含量与分布

从白洋淀污灌区农田粮食作物的调查结果来看, 果实籽粒中重金属含量均未超出国家规定的粮食食品卫生标准, 如受 Hg 污染最严重的稻米中最高含 Hg 量也只有 0.009 6 mg/kg, 比国家规定的食品卫生标准 (0.02 mg/kg) 低得多, 有些重金属由于没有相应的标准, 很难进行比较, 但与乌鲁木齐污灌区相比, 重金属含量相对较高 (表 4)。不同种类作物籽粒中重金属残留量存在一定差异, 水稻籽粒中多数重金属含量高于玉米和高粱, 这可能与作物种类、元素本身性质有一定关系。孙村水稻田是利用工业污水浇灌的, 相应的 Hg 和 Pb 含量较高, Hg 含量是玉米和高粱的 1 倍左右, Pb 含量为后者的 19 倍(表 5)。与其它地区相比, 多数重金属在上述不同种类作物中的残留量都高于太湖流域、黄河中、下游地区。这说明局部污灌区农作物由于受污水灌溉的影响, 某些重金属在籽实中已相对累积。

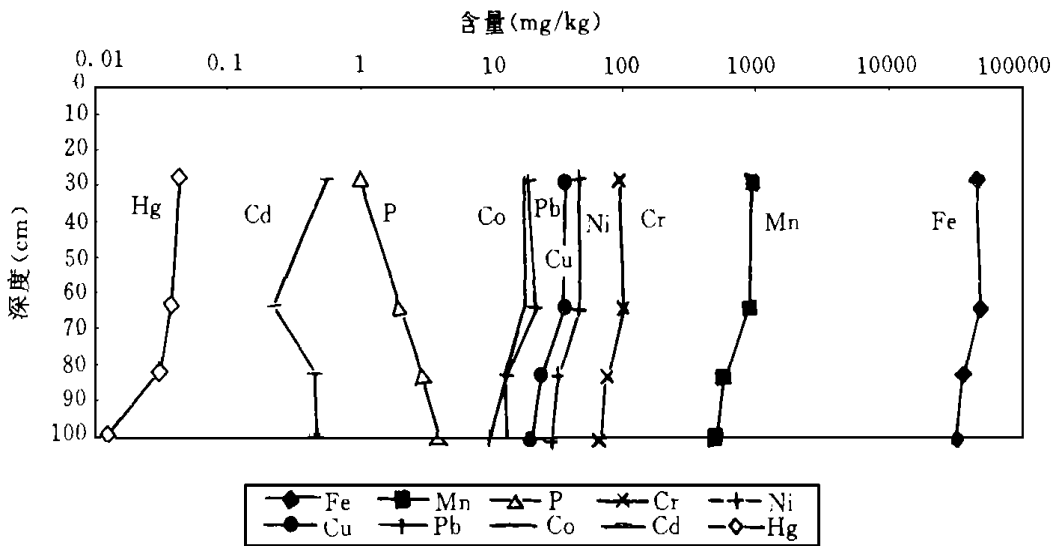


图 1 白洋淀污灌农田土壤剖面中元素垂直分布

Fig. 1 Distribution of elements in soil profiles in waste water irrigation fields in Baiyangdian

表 4 白洋淀灌区农作物中元素含量（干重，mg/kg）

Tab. 4 Content of elements in the crops of Baiyangdian irrigation areas (dry weight, mg/kg)

元 素	白洋淀地区 (n= 5)		乌鲁木齐地区 (n= 4) ^[4]
	范 围	平均值	平均值
Cu	3. 664 ~ 7. 459	6. 259	3. 434
Pb	0. 063 ~ 1. 237	0. 587	0. 044
Zn	23. 35 ~ 132	48. 18	26. 17
Hg	0. 0024 ~ 0. 0096	0. 0053	0. 0027
Cr	0. 885 ~ 2. 976	1. 881	
Co	0. 030 ~ 0. 296	0. 113	0. 043
Ni	0. 071 ~ 1. 493	0. 680	0. 162
V	0. 145 ~ 0. 443	0. 285	0. 122
Ti	1. 525 ~ 2. 734	2. 121	0. 648
Fe	35. 94 ~ 67. 55	46. 50	32. 56
Mn	5. 143 ~ 32. 52	16. 36	22. 60
Ca	89. 13 ~ 413. 5	196. 8	313. 97
Mg	886. 7 ~ 1799	1132. 5	1382. 5
K	1977 ~ 5406	3387. 8	3689. 2
Sr	0. 196 ~ 1. 559	0. 820	4. 641
Ba	0. 444 ~ 5. 975	2. 310	1. 685
P	2374 ~ 4426	2937	2948. 5

表 5 白洋淀污灌区不同粮食作物籽实中元素含量与其它地区比较 (mg/ kg)

Tab. 5 Comparison of content of elements in the crops of various types by waste water irrigating in Baiyangdian region with that in other regions (mg/ kg)

元 素	白洋淀污灌区			太湖流域 ^[6]	黄河中下游平原	六省区* ^[7]		
	玉米	水稻	高粱	水稻	玉米	玉米	水稻	高粱
Cu	7. 384	7. 459	5. 556	3. 491	1. 93	3. 10	3. 70	6. 80
Pb	0. 063	1. 237	0. 063	0. 363	0. 03			
Zn	23. 35	33. 06		20. 79	13. 30	21. 50	15. 2	15. 50
Hg	0. 0058	0. 0096	0. 0051	0. 015	0. 0015			
Cr	0. 885	2. 967	1. 781	0. 071	0. 077			
Ni	0. 071	1. 493	0. 465	0. 387	0. 123			
Fe	36. 90	49. 36	67. 55	10. 33		27. 0	17. 40	81. 30
Mn	6. 041	19. 63	18. 47	21. 96	1. 94	6. 40	8. 50	12. 90
Ca	162. 1	153. 6	413. 5	81. 67		102	110	234. 6
Mg	1075	919. 3	1799	869		1170	321	1279
K	4120	1977	5406	2394				
P	2773	2374	4426	2813				

* 六省区包括: 云南、四川、陕西、山东、吉林和黑龙江省 39 个县市。

污灌区农田作物中不同部位的元素含量存在显著差异, 本区多数元素含量都呈现出土壤中含量高, 根、茎叶、籽实 (除 P 外) 依次递减的规律。如 Fe、Mn、Co、Ni 和 Cu 等 (图 2)。那些对作物生长非必需的金属污染元素如 Pb、Hg 和 Cr 则大部分累积在根部, 只有很少一部分转移至茎叶及籽粒果实中。当然某些营养元素由于某些特殊功能的需要, 如植物种籽中的 P, 在玉米、高粱籽粒中的含量就比其它部位高得多, 甚至比原土壤还高出 2 倍~3 倍。又如 K 在水稻茎秆中的含量相对占优势也是植物茎秆生长的一种特殊需要。这种植物生长发育所必需的元素, 是植物本身有选择地主动从土壤中吸收的。这说明植物对元素的吸收累积不仅与元素在土壤中的含量、元素赋存形态和土壤本身的物理化学性质有关, 而且与植物生长、发育的生理需要也有密切关系。但从本区污染区和清灌区玉米的不同部位元素含量对比来看, 许多元素在污灌区的土壤与植物茎、叶中的含量都大于清灌区 (图 3)。特别是重金属 Hg 和 Cu 在作物籽实中的含量也是污灌区高于清灌区, 这很可能就是人为污染的一种反映。

3 结语

通过对白洋淀污灌区的调查及当地长期监测的结果表明, 本区土壤耕作层重金属含量一般没有明显累积, 但局部长期污水浇灌的土壤表层某些重金属含量有不同程度的累积。土壤剖面中重金属含量分布有表层富集的趋势。目前这些重金属对农田作物无明显危害, 大部分累积在植物根部, 但也出现有少量残留在茎、叶及果实部分还是值得注意的。由于土壤对耗氧有机物有很强的降解能力, 氮磷等营养物质又可增加土壤肥力, 提供植物营养元

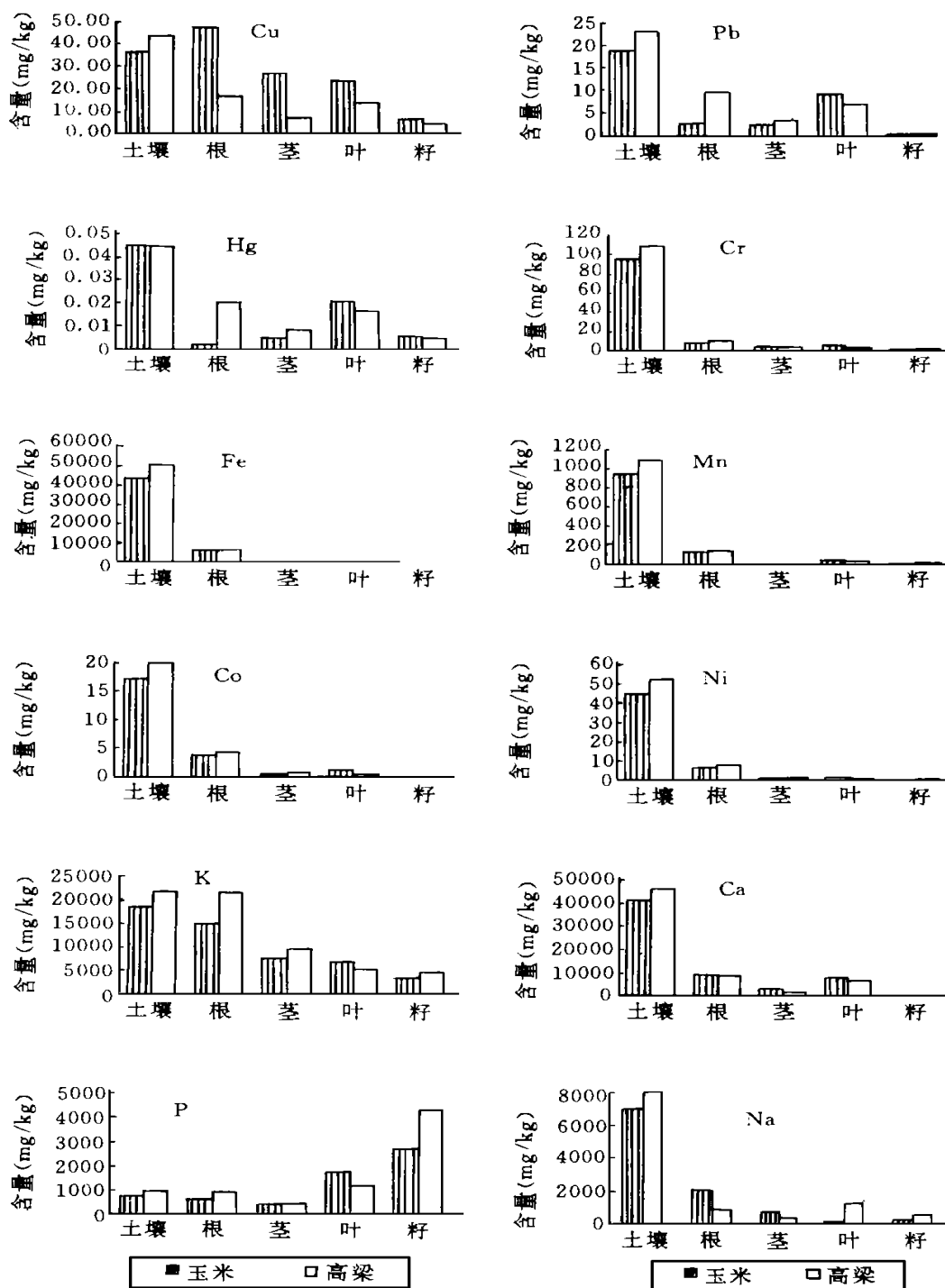


图2 白洋淀污灌区土壤-植物系统中元素含量分布规律

Fig.2 Distribution of elements in soil-plant system of waste water irrigation in Baiyangdian region

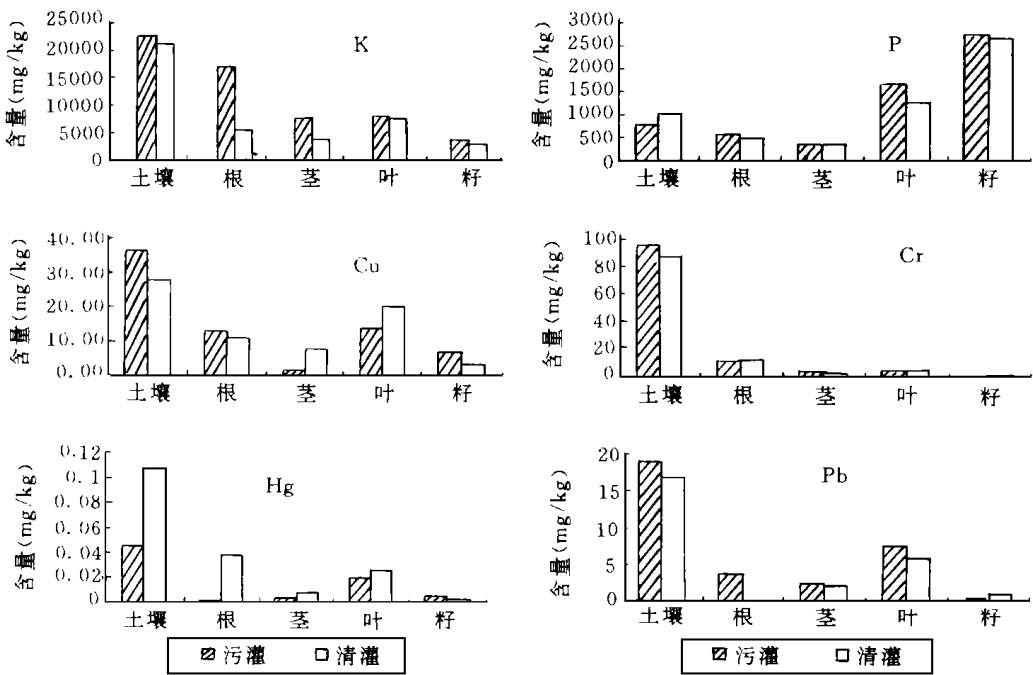


图 3 白洋淀污灌区与清灌区玉米不同部位元素含量对比

Fig.3 Comparison of content of elements in maize organs between waste and natural water irrigation areas in Baiyangdian region

素，既能充分利用污水资源、发展生产，又能处理污水、化害为利。因此只要加强科学管理及污灌技术指导，配合相应的工程技术手段，严格控制污水中难降解的重金属元素及有机毒物的含量，利用农田作为土地处理系统来消纳污水中的耗氧有机污染物，使污水资源化，仍然是完全可能的^[8,9]。

参 考 文 献

1 章申, 唐以剑等. 白洋淀区域水污染控制研究. 科学出版社, 1995.

2 高拯民. 土壤植物系统污染生态研究. 中国科学技术出版社, 1986.

3 国家环保局. 农田灌溉水质标准. GB5084- 85, 1985.

4 唐以剑, 王立军等. 乌鲁木齐区域水污染与水资源保护. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用. 科学出版社, 1992.

5 H. J. 勒斯勒, H. 朗格著, 卢焕章等译. 地球化学表. 科学出版社, 1985.

6 李健, 郑春江等. 环境背景值数据手册. 中国环境科学出版社, 1989.

7 环境科学编辑部. 环境中若干元素的自然背景值及其研究方法. 科学出版社, 1982.

8 Reed, S. C and Crites, R. W., Handbook of Land Treatment Systems for Industrial and Municipal Water, Noyes publication, U.S. A. 1984.

9 高拯民. 土地处理系统的过去、现在和将来. 环境保护, 1982(5), 8~10.

STUDY ON THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF CONTAMINATION IN SOIL-PLANT SYSTEM IN BAIYANGDIAN REGION

Zhang Xiumei Tang Yijian Zhang Shen

(*Institute of Geography, CAS, Beijing 100101*)

Abstract

In this paper, the content and distribution of pollutants in soil-plant system typically polluted by irrigating farmland soil are discussed. The results show that some heavy metals accumulate in the soil. So far, it hasn't brought about obvious endanger to plants in farmland and majority of heavy metals accumulate in the roots. It is one of feasible sewage revitalizing ways to enhance sewage irrigating management, by using farmland as the treatment system to eliminate pollution in foul water.

Key words Soil-plant system, Pollutant, Variations of content, Baiyangdian region

作者简介

张秀梅, 女, 1950 年生, 高级工程师, 河北大学化学系本科毕业, 现工作于中国科学院地理研究所, 主要从事环境生物地球化学和环境分析化学研究工作。发表论文 20 篇。参加编著三本。