

污水灌溉重金属污染研究进展^{*}

陈牧霞, 地里拜尔·苏力坦^{*}, 王吉德

(新疆大学化学化工学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 从国内外污水灌溉土壤中重金属污染, 作物对重金属的吸收和富集规律, 重金属污染对作物生长发育的影响, 控制污水灌溉重金属污染的途径与对策, 今后污水灌溉重金属污染的研究方向与展望 5 个方面概述了污水灌溉重金属污染的研究进展, 为下一步开展污水灌溉重金属污染研究提供参考依据和经验借鉴。

关键词: 污水灌溉; 重金属污染; 研究进展

中图分类号: X 53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006) 02-0200-05

随着工业的发展及城市化程度的不断提高, 水资源日趋紧张, 全国有近 80% 的城市缺水, 北方尤为严重, 全国每年缺水总量达 1 200 亿 m^3 , 每年因此影响工业产值 2 000 亿元以上^[1]。水资源的匮乏, 使污水成为灌溉用水的重要组成部分。目前, 我国污水处理率低, 灌溉水质严重超标^[2]。污水中含有的大量重金属元素会在土壤中富集和分散, 并且有难降解、毒性强、具有积累效应的特点。这使土壤重金属污染的问题日益突出。研究证明, 重金属元素量超过一定的界限, 就会抑制小麦、水稻、玉米等作物的生长, 造成减产。并且多数作物对重金属的吸收累积与土壤中重金属的浓度呈显著性相关^[3]。重金属会通过各种食物链形式危害人体健康。日本著名的“骨痛病”事件就是由于长期使用冶炼厂的废水灌溉农田, 致使土壤和稻米中含镉量增加, 而人食用了这种大米造成的。土壤是食物链中的一个重要环节, 是环境的要素之一, 因此研究污水灌溉带来的重金属污染问题对保护生态环境, 促进社会经济持续发展有重要意义。

1 污水灌溉土壤重金属污染

1.1 污水灌溉现状

污水中一般含有植物营养元素 N、P、K, 还有多种植物生长所必需的微量元素。合理利用污水灌溉, 可提高作物产量, 节省能源消耗, 减轻水体污染。据全国第二次污灌区环境质量状况普查统计(基准年为 1995 年), 目前我国利用污水灌溉的农田面积 $361.84 \times 10^4 \text{hm}^2$, 占我国总灌溉面积的 7.33%, 占

地表水灌溉面积约 10%^[4]。农产品中污染物含量超过卫生标准或引起减产 1 成以上为明显污染。资料表明, 我国 37 个主要污灌区中有明显污染点 22 个, 其中多半是积累性重金属超标^[5]。根据农牧渔业部调查, 目前受重金属污染的农田面积达 $90.6 \times 10^4 \text{hm}^2$, 其中以重金属 Cd 和 Hg 的污染最突出^[6]。国外污水灌溉也比较普遍^[7,8], 在以色列几乎所有排出的污水都进行了二级处理, 约有 60% 以上的污水用于农业灌溉, 全国 28500hm^2 棉花几乎全部采用处理的污水进行灌溉^[9]。目前发达国家污水灌溉主要用于园林、牧草、饲料作物, 也有用于果树、棉花、甜菜等作物, 而对蔬菜、粮食作物应用较少^[2,10]。

1.2 污灌区土壤重金属的分布特征、赋存形式、迁移及影响因素

1.2.1 污灌区土壤重金属分布特征及影响因素
土壤中重金属的积累主要在 0~20 cm 的表层。周启星等在沈阳张士污灌区的 2 个实验点发现, 每平方米耕作层(20 cm)内 Cd 的库存量为 1.264 和 0.387 kg, 各占全剖面(1 m 深)Cd 总库存的 56.33% 和 42.57%^[11]。潘根兴^[12]、宋玉芳^[13]等也进行了相关的研究得出相同的结论。王贵玲等研究表明, 重金属含量与土壤包气带岩性结构相对应, 一般在粉砂中含量最低, 亚砂土中次之, 亚粘土中最高, 论证了污灌区表层的亚粘土是重金属的主要富集区^[4]。据有关资料表明^[14], 多年污灌区土壤重金属与土壤背景值相比有积累升高的趋势。T·Manios 等指出, 土壤中重金属的富集随污水中重金属离子浓度的增加而增加^[15], M·P·Ortega farrocea 等将墨西哥 Mezquital

^{*} 收稿日期: 2005-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20267003)

作者简介: 陈牧霞(1975—), 女, 湖南隆回人, 硕士, 主要从事土壤环境化学的研究工作。

通讯作者: 地里拜尔·苏力坦, 副教授, 主要从事环境化学的教学科研工作, E-mail: dili.7272@sohu.com

河谷几处分别具有 $5a$ 和 $90a$ 污灌史的土壤进行对比,发现土壤中的重金属富集程度与污水灌溉时间密切相关,几种重金属富集程度与污灌历史的相关度为 $Cu > Ni > Cr > Zn > Pb$ ^[16],因此,重金属的富集现象对农田系统的影响是不可忽视的。

1.2.2 污灌区土壤重金属的赋存形式及影响因素

土壤环境中重金属的赋存形态可分为:水溶态、交换态、碳酸盐结合态、氧化物结合态、有机结合态和残留态。因为水溶态含量低,不易与交换态区分,常合并到交换态中,其中水溶态和交换态的活性和毒性最大,残留态的活性、毒性最小,而其它结合态的活性、毒性居中^[5]。在未受污染的自然土壤中,重金属形态分布的一般特征是交换态所占比例低,残留态所占比例较高,当有外源重金属输入而使土壤遭受污染时,元素的形态分布会发生明显变化,非残留态的比例呈上升趋势^[14]。J. Pichtel 等用连续浸提法对两处铅污染土壤进行分析,发现这两处非残留态铅的比率高达 71.4% 和 92.2%^[17]。外源重金属其形态分布受土壤性质、常量元素含量的影响。韩凤祥等报道,中、酸性土壤有效锌、活性镉的主要给源为松结有机态与交换态,而石灰性土壤中有效锌的主要给源为松结有机态,活性镉的主要给源为交换态^[18]。类金属砷的结合态可分为:吸附砷、铝型砷(Al-As)、铁型砷(Fe-As)、钙型砷(Ca-As)和被包蔽态砷即包蔽在矿物晶格和氧化物胶膜中的砷酸盐^[14]。罗金发将外源砷分别加于石灰性、中性、酸性紫色土中,发现在不同亚类紫色土中,非包蔽形态含量顺序有所不同。酸性及中性紫色土是 $Fe-As > Al-As > Ca-As > 交换态砷$,而石灰性紫色土中外源砷更容易转化为代换性砷和 $Ca-As$,较难转化为 $Fe-As$,以致石灰性紫色土中砷的毒性效应比酸性、中性紫色土中更严重^[19]。

1.2.3 污灌区土壤重金属的迁移及影响因素 重金属元素在土壤中的迁移十分复杂,影响迁移的因素很多。不同粒径的土壤颗粒,对重金属的束缚能力存在差异。李恋卿等研究表明,重金属在土壤中主要赋存于 $> 0.25mm$ 的团聚体颗粒中,这种趋势以 Cd 最为明显^[20]。罗金发报道土壤对重金属的吸附与其比表面有关,质地为重壤的中性紫色土和中壤的石灰性紫色土的土壤颗粒较酸性土壤的小,有较大的比表面,它们对砷的吸附能力也比酸性土高^[19]。同一土壤对不同种元素吸附量也存在差异,吴燕玉等研究发现草甸棕壤对元素吸附量大小顺序为 $Cd > Zn > Au > As > Pb$ 。重金属元素交互作用也会影响吸附, Pb, Cu, Zn, As 浓度增大有利于土壤 Cd 的解

吸,低浓度的 Cd、Cu 和 As 能促进 Pb 的迁移和累积, Zn/Pb 比较大,对土壤 Pb 吸附具有抑制作用^[21]。廖敏等指出, pH 对土壤吸附镉的速率及吸附量有明显影响,且吸附速率和吸附量随着 pH 值的升高而增加,当 $pH > 7.5$ 时 94% 以上的水溶态镉进入土壤中,且主要以粘土矿物和氧化物结合态及残留态存在,导致镉毒性降低^[22]。

2 作物对重金属的吸收和富集规律

随着污灌区土壤中重金属的积累,污灌区内农产品的重金属含量虽未超标,但也受到不同程度的污染,韩冰研究指出甘肃省白银市污灌区小麦籽粒的镉、铅、汞、砷的含量分别比黄河水灌区高出 0.540、0.480、0.034、0.123 mg/kg^[23]。贾玉章等报道大同市污灌区内青椒中铅含量是清灌区的 4.55 倍;茄子中的镉含量已达清灌区的 3.4 倍;豆角中的铬和硒的含量分别达到清灌区的 2.72 和 2.75 倍^[24]。

根据我国几个污水灌区的调查结果,可发现蔬菜可食部分的吸收比率大于粮食作物,而且作物种类之间也有一定差异,重金属在作物体内分布的一般规律是根 $>$ 秆 $>$ 叶^[14]。唐书源等调查重庆蔬菜的污染问题,发现镉污染排序为根茎类 $>$ 瓜果类 $>$ 豆类 $>$ 叶菜类^[25]。冯绍元等研究发现,重金属铅、砷、镉在小麦植物体中总的分布趋势是根 $>$ 茎叶 $>$ 穗^[26]。吴燕玉报道,水稻、小麦籽实中元素含量受土壤 pH 影响,土壤酸性越大, Cd、Pb、Cu、Zn 含量越高, pH 越高,吸收量越少; As 含量则与之相反^[21]。王春等研究发现,会理污灌区土壤酸化严重($pH = 3.35$ 对照区土壤 $pH = 6.20$),土壤酸化增强了重金属元素的活性,加大了作物对重金属的吸收和积累。污灌区土壤、水稻、玉米中镉含量分别是对照区的 30.7 倍、35.7 倍、12.3 倍,土壤中锌含量为对照区的 24.6 倍,但作物中锌含量不高^[27]。研究表明,虽然植物吸收重金属与土壤中重金属浓度有关,但金属元素的存在形态是决定植物吸收的重要因素。宋菲认为对菠菜含镉量、含锌量和含铅量贡献最大的分别是可交换态镉、铁锰氧化物态锌和残留态铅^[28]。植物重金属吸收还受到共存元素的影响,周启星等研究表明, Cd、Zn 相互作用导致植株体各器官积累更多的 Cd, Cd、Zn 复合污染对水稻植株体内重金属 Cd 和 Zn 累积和分配的影响,也是取决于该土壤中 Cd 和 Zn 的浓度及组合关系,并不是单纯的加和(或拮抗)效应^[29]。另外,作物中重金属含量与距污染源距离呈负相关, R. K. Yadav^[30]、王春^[27] 都有相关报

道。

3 重金属污染对农作物生长发育的影响

倪才英等研究发现 $75\text{ }\mu\text{mol/L}$ Cu 和 $50\text{ }\mu\text{mol/L}$ Cd 均对泡泡草根细胞造成明显损伤。Cu、Cd 交互污染使根细胞受害程度加深,并兼有两者的受害症状特征;Cu、Cd 在试验浓度下,对泡泡草各器官的损伤程度为根>茎>叶^[31]。不同种类重金属对植物的毒性明显不同。余国营等研究重金属Cu、As、Zn、Pb、Cd 对大豆株高和产量的影响发现,As 影响最大,Cu 次之,而Pb 影响微弱^[32]。

重金属元素的复合污染对作物的生长发育也有一定影响,吴燕玉研究结果表明,在草甸棕壤上单元素试验时,土壤Cd 100 mg/kg 、Pb $2\text{ }000\text{ mg/kg}$,相对产量为 96.7%、96.6%;复合污染Cd 1.5 mg/kg 、Pb 300 mg/kg ,相对产量为 93.2%~95.4%。说明在复合污染下重金属的临界值下降,污染危害加剧^[33]。宋玉芳等研究表明,同一浓度下,重金属对小麦根伸长的抑制率明显大于对种子发芽抑制率,不同土壤中Cu、Pb、Zn、Cd 对根伸长的抑制作用依次为:红壤>草甸棕壤>栗钙土>暗棕壤。土壤有机质和土壤N 含量与Cu、Zn、Pb 和Cd 污染对小麦根伸长抑制率显著相关($R_{\text{OR}}^2=0.91$, $R_{\text{KN}}^2=0.93$)^[34]。另外,重金属离子的毒性与离子价态有关。如毒性 $\text{As}^{5+}<\text{As}^{3+}$,对此吴燕玉等做了相关报道^[35]。

4 控制污水灌溉重金属污染的途径和对策

农业生态系统重金属污染防治,应坚持预防为主,防治结合的原则。应强化管理,改善污灌水质,提高污灌质量。资料表明,使用达标的污水灌溉对土壤的重金属污染是很小的^[36]。

目前,治理土壤重金属污染的途径主要有两种:(1)改变重金属在土壤中的存在形态,使其固定,降低其在环境中的迁移性和生物可利用性;(2)从土壤中去掉重金属。围绕这两种治理途径,重金属污染土壤的治理方法主要有:物理措施、化学措施、生物措施、农业工程措施^[5,37]。

4.1 物理措施

物理措施主要有电动力学法和热解吸法,电动力学法是在土壤中插入一些电极,把低强度直流电导入土壤,用电流打破金属-土壤键以清除污染物,此法不适于渗透性较高、传导性较差的砂性土壤。据报道,采用该方法对于土壤中初始浓度分别为 $1\text{ }875$

mg/kg , 634 mg/kg 和 178 mg/kg 的 Zn、Mn、Pb,前二者的去除率都为 72%,对Pb 的去除率为 46%。热解吸法适用于挥发性的重金属,如汞。该方法已投入商业运作,治理后土壤中汞的浓度达到了背景值($<1\text{ mg/L}$)。

4.2 化学措施

化学措施主要是施用土壤改良剂和增施有机物质。在土壤受重金属(如Cd、Cu、Zn 等)污染的情况下,施用石灰性物质提高土壤pH 值可使重金属形成难溶物,进而减少植物对重金属的吸收。如廖敏等研究发现水溶态镉随石灰用量的增加而急剧减少,pH >7.5 时Cd 主要以粘土矿物和氧化物结合态及残留态形式存在,导致Cd 毒性降低^[22]。有机物质可以提供营养元素,并且有机物质可促使土壤溶液中重金属离子形成络合、螯合物,增大土壤对重金属离子的吸附能力,从而减轻对作物的危害。王晶等研究发现腐殖酸对草甸棕壤中Cd 形态的影响,随其投入比的加大影响程度增大。随着腐殖酸的投入比加大,可溶态Cd 下降,有机态Cd 上升,铁铝(锰)氧化态Cd 与有机态Cd 雷同,降低了土壤中Cd 的活性^[38]。王新等对小麦、大豆、玉米、水稻四种作物采用了石灰+Ca、Mg、P 处理后,发现改性剂抑制了Cd、Pb、As 向作物籽实的迁移(水稻As 除外)。Cu 元素抑制作用不明显,Zn 元素向根、茎叶迁移减少,向籽实迁移的抑制作用不明显^[39]。说明采用改性措施应考虑重金属元素的特性及生物个体的差异性。

4.3 生物修复技术

生物修复技术是利用某些特定的生物较快地吸走和降解土壤中的污染物质,达到净化农业生态系统中重金属污染的目的,它可分为植物修复技术和微生物修复技术。据资料表明,苋科植物^[11]、柳树^[13]、*typha latifolia*^[13]、大叶井口边草^[40]、*cardaminopsis halleri*^[41]等植物都具有富集重金属的能力。微生物与重金属具有很强的亲合性,能富集许多重金属,并且能够改变金属存在的氧化还原形态。据报道,菌种 *Pseudomonas mesophilica* 和 *P. maltophilia* 能将硒酸盐、亚硒酸盐、二价铅转化为不具毒性,结构稳定的胶态硒、胶态铅,生物修复技术具有费用低,对环境影响小,效率高等特点,具有很大的应用前景。

4.4 农业工程技术

农业工程技术主要有排土法、客土法。排土法是挖去表面污染土层、利用下层未污染土种植的方法;客土法是向污染的农地移入客土,使农地功能复原的方法。采用排土、客土法治理重金属污染土壤效果

良好,但费用高,不适合大面积推广。

4.5 其它措施

可以根据不同作物的耐污特点和降解污水中污染物的能力进行作物资源的优化配置,选择对污染物不太敏感的经济作物、草地、林地实行污灌,减少菜区污灌,避免有害物质直接对人类产生危害^[7, 42]。另外,长期的污灌会对土壤理化性质产生影响^[43],建议采用污水休灌、清污混灌等多种灌溉方式^[44, 45]。

5 污水灌溉重金属污染研究展望

以往,污灌区重金属污染问题主要侧重于通过野外实地调查和小规模的室内模拟研究,发现或查明重金属对生态环境的影响^[9],这样使问题的研究只是停留在静态观察阶段或定性剖析水平。重金属污染是一个由重金属参与的在生物系统作用力与环境系统作用力相互作用下随时间和空间变化而变化的复杂过程。必须对被重金属污染的环境系统与生物系统之间的相互作用这一动态过程进行系统研究,才能提升它在环境治理与保护工作中的应用价值与指导意义。近年来,特别重视复合污染的研究,对于土壤类型、土壤理化性质(有机质、pH、CEC 和土壤粘粒组成等),作物种类、共存元素与重金属污染交互作用机制已受到研究者的关注。目前,重金属污染修复的工作热点在于重金属超积累植物的筛选和培育。

参考文献:

[1] 马志毅.城市污水回用概述[J].给水排水, 1997, 23(12): 61—63

[2] 刘润堂,许建中.我国污水灌溉现状、问题及对策[J].中国水利, 2002(19): 123—125

[3] 夏增禄.中国土壤环境容量[M].北京:地震出版社, 1992: 13—80

[4] 王贵玲,蔺文静.污水灌溉对土壤的污染及整治[J].农业环境科学学报, 2003, 22(3): 163—166

[5] 夏立江,王宏康.土壤污染及其防治[M].上海:华东理工大学出版社, 2001: 40—44, 87—111, 168—178

[6] 孙铁珩,周启星,李培军.污染生态学[M].北京:科学出版社, 2001: 70—72, 392—396

[7] Abdellah A. Rababah , Nicholas J. Ashbolt. Innovative production treatment hgdroponic farm for primary municipal sewage utilisation[J] Wat Res. 2000, 34(3): 825—834

[8] 李宝贵,杜 霞.污水资源化及其农业利用(污灌) [J].中国农村水利水电, 2001(11): 9—12

[9] 陈竹君,周建斌.污水灌溉在以色列农业中的应用[J].农业环境保护, 2001, 20(6): 462—464

[10] 邵志鹏,苗香雯,崔绍荣.利用污水灌溉树木的研究进展[J].

世界林业研究, 2002, 15(5): 26—31

[11] 周启星,高拯民.沈阳张士污灌区循环的分室模型及污染防治对策研究[J].环境科学学报, 1995, 15(3): 273—280

[12] 潘根兴,高建芹,刘世梁,等.活化率指示苏南土壤环境中重金属污染冲击初探[J].南京农业大学学报, 1999(3): 46—49

[13] 宋玉芳,孙铁珩,张丽珊.土壤—植物系统中多环芳烃和重金属的行为研究[J].应用生态学报, 1995, 6(4): 417—422

[14] 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: 67—84, 108—121, 179—206

[15] T Manios, EI Stentiford, P Millner. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewerage sludge compost[J]. Chemosphere, 2003, 53: 487—494

[16] M P Ortega Larrocea, C Siebe, G Becard et al. Impact of a century of wasterwater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mlezquital Vally of Mexio [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 16: 149—157.

[17] J Pitchtel, K Kuroiwa , H T Sawyerr. Distribution of Pb, Cd and Ba in soils and plants of two contaminated sites [J]. Environmental Pollution, 2000, 110: 171—178

[18] 韩凤祥,胡霁堂,秦怀英,等.土壤外源锌、镉的形态和活性的比较研究[A].刘卓澄.环境中污染物质及其生物效应研究文集[C].北京:科学出版社, 1992: 132—135

[19] 罗金发.砷在紫色土中的化学行为及其对作物生长的影响 [A].刘卓澄.环境中污染物质及其生物效应研究文集[C].北京:科学出版社, 1992: 157—164

[20] 李恋卿,潘根兴,张平究.太湖地区水稻土颗粒中重金属元素的分布及其对环境变化的响应[J].环境科学学报, 2001, 21(5): 608—612

[21] 吴燕玉,陈怀满,谢玉英,等.重金属复合污染对土壤—植物系统的生态效应Ⅱ.对作物、苜蓿、树木吸收元素的影响[J].应用生态学报, 1997, 8(5): 545—552

[22] 廖 敏,黄昌勇,谢正苗.pH 对镉在土水系统中的迁移和形态的影响[J].环境科学学报, 1999, 19(1): 81—86

[23] 韩 冰.白银市污水灌溉对农田环境及小麦产量质量的影响研究[J].甘肃农业科技, 2000(6): 46—47.

[24] 贾玉章,赵久清,封佃富,等.浅析大同市区污水灌溉对农业生态环境的影响[J].山西水利科技, 1998(1): 92—96

[25] 唐书源,张鹏程,赵治书,等.重庆蔬菜的安全质量研究[J].云南地理环境研究, 2003, 15(4): 66—71

[26] 冯绍元,邵洪波,黄冠华,等.重金属在小麦作物体中残留特征的田间试验研究[J].农业工程学报, 2002, 18(4): 113—115

[27] 王 春,杨德芬,袁绍明.会理污灌区重金属污染的调查、评价和防治对策[J].四川环境, 1998, 17(3): 41—46

[28] 宋 菲,郭玉文,刘孝义,等.土壤中重金属镉锌铅复合污染的研究[J].环境科学学报, 1996, 16(4): 431—436

[29] 周启星,吴燕玉,熊先哲.重金属 Cd Zn 对水稻的复合污染和生态效应[J].应用生态学报, 1994, 5(4): 438—441

[30] R K Yadav, B Goyal, R K Sharma, et al. Post irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water A case study [J] . Environment Interntional, 2002, 28: 481—486

[31] 倪才英,李 华,骆永明,等.铜镉及其交互作用对泡泡草细胞超微结构的影响[J].环境科学学报, 2004, 24 3 : 343- 348

[32] 余国营,吴燕玉,王 新.重金属复合污染对大豆生长的影响及其综合评价研究[J].应用生态学报, 1995, 6 4 : 433- 439

[33] 吴燕玉,余国营,王 新,等.Cd Pb Cu Zn As 复合污染对水稻的影响[J].农业环境保护, 1998, 17 3 : 49- 54

[34] 宋玉芳,周启星,许华夏,等.重金属对土壤中小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒性[J].应用生态学报, 2002, 13 4 : 459 - 462

[35] 吴燕玉,王 新,马越强,等.土壤砷复合污染及其防治研究[J].农业环境保护, 1994, 13 3 : 109- 114, 141

[36] V V S R Gupta , S Rogers , R Naidu. Effects of secondary treated sewage effluent application on the populations of microfauna in a hard wood planation soil: Bolivar HIAT trial [J].Geoderma, 1998, 84, 249- 263

[37] 夏星辉,陈静生.土壤重金属污染治理方法研究进展[J].环境科学, 1997, 18 3 : 72- 76, 94- 95

[38] 王 晶,张旭东,李 彬,等.腐殖酸对土壤中Cd 形态的影响及利用研究[J].土壤通报, 2002, 33 3 : 185- 187.

[39] 王 新,吴燕玉.改性措施对复合污染土壤重金属行为影响的研究[J].应用生态学报, 1995, 6 4 : 440- 444

[40] 韦朝阳,陈同斌,黄泽春,等.大叶井口边草——一种新发现的富集砷的植物[J].生态学报, 2002, 22 5 : 777- 778

[41] D. Neumann , U zur Nieden. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants[J].Phytochemisrty, 2001, 56, 685 - 692

[42] 仲维科,樊耀波,王敏健.我国农作物的重金属污染及其防治对策[J].农业环境保护, 2001, 20 4 : 270- 272

[43] Hu Xian deng, Han Lie bao. Sustainability of effluent irrigation schemes: A field investigation[J]. Journal of Bei Jing Forestry University, 2000, 22 3 : 28- 33

[44] 杨继富.污水灌溉农业问题与对策[J].水资源保护, 2000, (3): 4- 8, 45

[45] 齐志明,冯绍元,黄冠华,等.清污水灌溉对夏玉米生长影响的田间试验研究[J].灌溉排水学报, 2003, 22 3 : 36- 38

Research progress on heavy metal pollution in sewage irrigation

CHEN Mu xia, Dilibar SULTAN, WANG Ji de

(College of Chemistry and Chemical Engineering , Xinjiang University, Urumqi ,Xinjiang 830046,China)

Abstract: This paper reviews the current situation of heavy metal pollution in sewage irrigation both at home and abroad ,the regularity of heavy metal absorbing and accumulating of crops, the influence of heavy metal pollution on growth of crops and the countermeasures of controlling heavy wetal pollution, and analyzes the perspectives for future research on heavy metal pollution in sewage irrigation. It may provide reference for future study on this problem.

Key words: sewage irrigation; heavy metal pollution; research progress