农业环境科学学报201Q 29(增刊)：*267-272*

Jouma 1 of ABro-Enviromient Science

间套作体系在污染土壤修复中的应用研究进展

卫泽斌，郭晓方,丘锦荣，陈 娴,吴启堂

(华南农业大学资源环境学院，广东广州510642)

摘 要:我国土壤环境污染态势严峻,污染土壤的修复备受关注。植物修复技术是当今的研究热点之一，但是利用植 物修复技术清洁污染土壤需时较长，且需中断农业生产。间套作体系应用于污染土壤的修复，是一条有效的新途径。 为此综述了间套种在重金属和有机污染物污染土壤修复中的应用，介绍了间套作体系在减少植物对重金属的吸收、提 高植物对重金属的提取以及促进有机污染物的降解等方面的作用，同时提出在土壤修复中，应根据不同的目的选择更 多的适当的植物组成间套作体系，并加强间套作体系中植物间交互作用机理研究。

关键词：间套作;土壤污染;土壤修复

中图分类号：&3 文献标识码：A 文章编号：1672—2043(2010赠刊一0267—06

Innovative Technologies for SoilRon e(Jiation Intercropping or C°— cropp Jig

WEIZ^ bin GWX4 跑§ QU CHEN Xian WUQi- tang

(College of Natural Resource and Environment Sou Ch 讥 a Agricultural Universig GuanSzhou 51954^

Abstract S°il Pollution has beccme amajor environmental concern 讥many parts of 1he wor耳 and soil rsnediatjon techno]o\_ gies 讥 lhe devejopnent Phyto ran ej iation has been proposed as a ]c风— cost environmentally friendly ran ejia tion technology but it is generally tine— consum Jig and requires lhe cessation of agriculture PhYtoextiactjon witi a s讥hyperacumulatormay not be econcmical]y feasible for large areas of moderate])^ contam pa ted agriculftiral soils 初 Ch 讥字 A new approac^ 讥 ten cioppp^ co— ciopp^ig systm was 讥 tioduced to PhYtorm ej iatjon pollutants frcm conwm Jia ted soi]s while also graving an ag\_ riculmral crop The paper makes a review on current research and deve]opnent on 讥tercmpp 讥乡 co— ciopp Jig syston 讥 soil rsnediation and discusses lhe role of general crops hYPeraccumulator and Jew meta]— accimulatM crops 讥 i^e ranejiation of tie heavy me代 1 con tarn Jia ted soi]s and d iscusses lhe pte re topping or co— cropp 讥 g systm support 讥 g oiganic contrn pant degrades ]n addition tie paper proposes 瓦ey research areas and ftiture direction 讥 飪e fie]Js of soil ranejiation wi^ 讥ten ciopppg or co— cropp Jig (])Jitioducemore Plant to i^e jntercroppffi^/ co— cropping systan anjmake it better and (2 ) 巳 jueijate ihe teraction mechanisns between or anong lhe dif比rent Plan芋

K eyworjs 初terempp讥矽 co— cropp讥单 soil pol]utiou soil rmediation

随着工农业生产的发展，土壤一植物一水系统中 重金属污染问题日趋严重小。据不完全调查，目前中 国受污染的耕地约有0. 1亿 0；全国每年被重金属 污染的粮食达1 200万乂造成的直接经济损失超 过200亿元。此外，我国是一个土地资源短缺的国家，

收稿日期：2009—09 — 10

基金项目：国家863计划项目(2008AAL0勿05 2007^061001—3)；国 家自然科学基金(40801115 )；广东省科技计划项目

(2007^)32303001 )

作者简介：卫泽斌(1980- \男，汉族，山西人，讲师，在职博士生，从事 土壤污染与修复研究。E-majl wezebin© scan edu cn

通讯作者:吴启堂 E-mail wuqitang® scau edu cn 国土资源部公布的《2006年度全国土地利用变更调 查结果》显示，截至2006年10月31日，全国耕地面 积为1. 218亿 册，接近耕地红线1.2亿 加，土壤污 染更加剧了粮食短缺的程度。因此，污染土壤的修复 及其方式已经影响到我国农业的可持续发展。污染 土壤的植物修复技术是当今的研究热点，科学家们认 为植物修复技术是一项利用太阳能动力的处理系统， 能够大大减少土壤清洁所需的费用，是一种绿色的土 壤修复技术。但是植物修复技术清洁污染土壤花费 时间较长，还需中断农业生产，不符合我国的国情。 选择适当的土壤修复方式，是当前面临的一个难题。 间作套种是我国传统农业的精髓之一，选择适当的植 物形成间套作复合体系，实现对污染土壤的边修复边 生产，不失为一条土壤修复的新途径。

1间套作体系减少普通作物对重金属的吸收

普通作物间作套种交互作用对植物吸收重金属 方面有少量研究。吴华杰等间作小麦冰稻发现，间 作交互作用降低了两作物地上部Cd|勺吸收积累，也 降低了小麦籽粒的C®农度，但水稻籽粒的C®农度有 所升高薛建辉等将杉木和茶树间作，发现间作杉 木可降低茶园土壤Pb HiMn乙阮素含量，间作茶 树叶片中Pb Mn Cu Z喑量均显著低于单作茶园， 说明间作杉木可以减少茶叶中重金属含量，改善茶叶 品质⑼。

重金属富集植物与非富集植物种植在一起，能为 与之间套作的植物提供一定保护作用。锌超富集植 物Thla^i caemlesccn^同属的非超富集植物ThWi awens<作在添加ZrC或乙啣勺土壤上，与之互作的 Thla^i awensq^锌量则明显降低，由于锌的吸收减 少，Thla^i 生物量显著增加，其原因是由于

ThWi ^emlesccn^很强的吸锌能力，能优先吸收土 壤中的锌，从而减少了锌对Thla^i 毒害

据Gove(2002 )[5]报道，Zn超富集植物遏蓝菜(T caeiulesccns)与大麦(Hoideun vu]gare 1^ )种植在一 起，减少了大麦对Z啲吸收。镉富集植物油菜与中 国白菜间作在一起，降低了中国白菜对Cd的提取 量⑷，但白菜镉浓度不低。在10 mg。和20 mg。k旷的Cd处理土壤上，与油菜中油杂1号套种 的小白菜有较高的地上部生物量和较低的Cd累积 量，油菜可以减轻Cd对小白菜的毒性，但小白菜的 C®农度也是比较高的⑺。叶菜类蔬菜，如菜心、白菜 等，与富集植物油菜间作是不可行的，因为种植在污 染土壤上的叶菜会带来健康风险。

间作能降低一种作物对重金属的吸收，在农产品 安全方面可以发挥积极的作用。也可以通过研究间 作系统减少植物吸收重金属的机理，进而寻找到新的 限制植物吸收重金属的微生物或改良物质。

2间套作提高植物对土壤重金属的提取

不同作物种植在一起也会提高植物对重金属的 吸收。豌豆和大麦混作，豌豆地上部的Cu Pb Zn Cd 和Fq农度是分别是单作的1. 5、1. & 1. 4> 1. 4和1. 3 倍，混作中大麦的根系分泌物能活化土壤中金属并有

2010年3月 利于豌豆吸收⑻。Zu(和Zhan鲫综述了双子叶植物 如花生或鹰嘴豆与玉米、小麦等禾本科作物间作能加 强双子叶植物对铁和锌的吸收和提高种子中的铁、锌 浓度，可能是铁缺乏的本科植物释放的植物络合素增 加了双子叶植物根际铁和锌的溶解性。王激清等⑷ 通过温室土培盆栽试验把印度芥菜与同属的农作物 油菜互作，互作时印度芥菜的吸镉量和对土壤的净化 率在高浓度理下高于单作，但油菜植株镉含量 也增加，产量下降。李凝玉等小—㈢将眉豆、扁豆、鹰 嘴豆、紫花苜蓿、油菜、籽粒觅和墨西哥玉米草等7种 作物分别与玉米间作在人工镉污染土壤上，结果发 现：4种豆科作物大幅提高玉米对CM积累量，其中 眉豆和鹰嘴豆效应最大，它们使玉米积累Cd特、量分 别达到玉米单作的1. 6倍和2 1倍，玉米草和籽粒觅 则降低了玉米对Cd的积累；7种间作植物对Cd有不 同的吸收水平，其中油菜与籽粒觅可大量积累Cd 锌超富集植物Thla^i caemlescm^同属的非超富集 植物Thla^i aivcnse^作在添加Z^O或ZnS的土壤 上,与单作相比，ThWi述mlescen酌吸锌量显著增 加Cdg集植物甘蓝型油菜Brassy napus^菜 心Brassy parachincnsi^玉米间作在一起，油菜地上 部C®农度和Cdg积量明显得到提高，表明间作技术 用于修复CM亏染土壤的能力口铁 镉富集植物油菜 与中国白菜间作在一起，提高了油菜的生物量和Cd 提取量⑺。因此，间套作方式可以提高植物对重金属 的提取效率，这种方式也可以替代螯合诱导植物修复 中的化学螯合剂。

选择适当的植物种类，尽可能提高超富集植物对 重金属的吸收，降低与之间作的农作物重金属含量， 是植物修复途径的新思路。吴启堂等已首先提出将 重金属超富集植物与低累积作物玉米套种，超富集植 物提取重金属的效率比单种超富集植物明显提高，同 时玉米能够生产出符合卫生标准的食品或动物饲料 或生物能源，是一条不需要间断农业生产、较经济合 理的治理方法。利用东南景天和玉米套种模式处理 城市污泥，可以同步实现城市污泥的稳定化和重金属 的去除小—⑹，东南景天和高富集K的芋头品种套种 在一起处理城市污泥，可以将有害元素和营养元素K 实现绿色分离，收获的芋头可以作为有机钾肥 组合套种和混合添加剂化学诱导两项技术进行田间 示范试验，进一步验证了套种系统和该组合技术的可 行性"化

选择植物的种类时要注意植物间的搭配。如深

农业环境科学学报

第29卷增刊

根的Cd/Zng集植物柳树(S31询和矮小的超富集植 物拟南芥(Arabidopsis halleri)^植在一起，但并没有 增加植物对C砾口 Z啲提取效率创，可能是因为水、 营养和污染物的竞争吸收以及杂草的原因。同金属 的超富集植物间套作也不能提高植物修复效率，超富 集Zn/CdB勺蕨类植物蹄盖蕨(AHiyriim yokoscense)与 另外一个Zn/C堰富集植物Ambis fl^gello糾可作并 不能提高植物提取效率4=可能两种富集植物存在 对Zn/Cct勺竞争吸收。我国污染土壤为多种重金属 污染，可以将不同金属的富集植物种植在一起，从而 提高植物修复效率。

3间套作体系中选种重金属低累积作物

不同作物对重金属的吸收累积不同［22\_28］o纪玉 琨等创通过对河北省北运河污灌区小麦、玉米作物 样品分析表明，玉米各部位对P啲吸收能力都 高于小麦相同部位对这两种重金属的吸收能力，而小 麦各部位对z啲吸收能力都高于玉米相同部位的吸 收能力，小麦与玉米各部位对c曲勺吸收能力基本接 近。赖燕平等创对广西平乐、荔浦两猛矿恢复区种 植的食用农作物进行了调查和重金属含量分析，结果 表明，重金属含量最高的是大豆和花生，其次是番薯 类，最低的农作物是茄子、萬苣叶、桃和沙梨;从变异 系数来看，两矿区各元素的数值都较大，反映了不同 农作物对重金属元素的吸收和累积存在较大差异。 肖细元等㈤研究表明，叶菜类蔬菜的碑富集系数最 高，芹菜、蘿菜、荷蒿、芥菜等蔬菜的抗碑污染能力较 弱，粮食作物玉米的抗碑污染能力较强。另外，同一 种作物的不同品种对重金属的吸收累积也不 同回24 32］。已有研究表明，玉米、水稻八］、小 麦［39~40］、大豆［41］、花生［32］、马铃薯［42］、向日葵［43］、生 菜⑷7、菜心⑷-你等作物的不同品种吸收重金属存 在显著差异。

在中、轻度重金属污染的土壤上，不种叶菜、块茎 类蔬菜而改种食用部位污染物累积少的作物，如瓜果 类蔬菜或果树等，能有效降低农产品的重金属浓 度［46 48"49\因此，选育和种植吸收重金属少或运输 到食用部位少的低累积品种，是提高重金属污染土壤 生产力的具有潜力的方法，在实际应用中，可以将重 金属低累积作物与超富集植物、富集植物种植在一 起，达到修复土壤的同时收获符合一定卫生标准的农 产品的目的。

4间套作体系促进有机污染物的降解

植物对土壤中的有机污染物有修复效果［50"51\ 但间套作体系在土壤有机污染物方面的研究较少。

蔡和茹的去除率在两种草 B^achiaria senata和 Elaine oomwn号昆作体系土壤中的去除率〉各自单 作〉不种植物;培养10星期后，混作体系土壤中检测 不到蔡，单作体系的土壤中蔡的去除率为96%、不种 植物的去除率为63%。不同处理土壤的荧蔥的去除 效果与蔡相似国。玉米(Z^nidysL )、三叶草(TM Qliim repcns)、黑麦草(31呦perenne^痒作栽培均 能有效去除土壤菲和花污染，其中玉米效果最好，60 垢92. 10%菲和88. 36%花被去除;玉米、三叶草、黑 麦草混作栽培显著地提高了菲和陀的降解，其中玉米 与黑麦草混作效果最好，60 d后9& 22%菲和 95. 81%花被去除冋。西葫芦南瓜属(Cucinbita Pepo) 的两个亚种PeP斫口 ov谁吟前者吸收pp」DDE(2， 2—双(对氧苯基)一1，1一二氯乙烯)的能力远远大 于后者，两者套种增大了彼此的生物富集系数 (BCF汶增加了组织(根和茎)中? P - DDE的含 量由于种植株数不同未列出生物量和植物提取 量。黎华寿等间在广东顺德等地研究发现，不同作 物套种对各作物生长和有机氯净化有交互作用，盆栽 试验表明，西葫芦和大豆间作明显加强对土壤中二氯 联苯的修复效果。东南景天和香芋套种处理城市污 泥可以显著降低污泥中苯并(殳)荧蔥、苯并(①花、前 并(1，2 3— cd)陀等有机污染物血。Deny誓旳在 炼焦厂污染土壤上种植不同类型的植物，多环芳疑浓 度减少了 26%，羊茅、线草和白三叶三种草本植物混 合种植适用于植物修复。多种植物间混作比单一的 植物大大提高了污染土壤中PAH誓有机污染物的 消除效果，但植物之间的交互作用对有机污染物的去 除机理还不清楚。

但混作对石油坯类碳氢化合物的消除效果不如 单作，单作草处理在4. 5个月内消除风化耀斑坑土中 的总石油绘类碳氢化合物达到50%，而混作处理只 消除不到15%，产生这种现象的机制尚不清楚［58\_59\ 可能先前不溶性的碳氢化合物的解吸作用增强。稗 草(E缶讥O缶103 CIU鸣3山)、向日葵 (Helian^us anrL uus)、茴麻(Abutilon avicennae)与合萌(Aeschyncmoie indiw)4种植物混作对污染土壤中1NT的去除效果 也不如单作回。

270

5展望

间套作体系能充分挖掘光能、水源、热量等自然 资源的潜力，充分利用空间和时间，因此多种植物组 合修复污染土壤是一条行之有效的新途径。我国植 物资源丰富，根据减少植物吸收重金属，提高植物提 取重金属，促进对有机污染的降解等不同目的选择更 多的适当的植物组成间套作体系是今后研究的一个 方向。间套作体系修复污染土壤时，植物间的交互作 用机理(包括地上和地下)还不清楚，这方面的研究 需要加强。在实际应用中，对相关的农业措施(如施 肥、种植密度等 虺需要研究。

参考文献：

1. 陈怀满.土壤一植物系统中的重金属污染[呦.北京：科学出版 社，1996 71-125.

ChenHM Heavy Meta Is pollution jn soil- Plant sys 叫旳.Beijing Science press 19% 71-125.

1. 吴华杰，李 隆，张福锁.水稻外麦间作中种间相互作用对镉吸 收的影响[J.中国农业科技导报，2003(5)： 43-47.

WuH J Li V Zhang FX The hfluence of pterspecific interactions on Cd uptake bY rice and wheat ptercropp J . Review of Ch 讥 a A§- riculmral Science and Technology 2003 (5 )： 43 —47.

1. 薛建辉，费颖新.间作杉木对茶园土壤及茶树叶片重金属含量与 分布的影响[生态与农村环境学报，2006 22 (4)： 71 - 73 87.

Xu Jtj FeiYX Ef^cts of jntercroppiig cunninghamia lanceolate jn tea gai^en on contents and distribution of heavy metals 讥 soil and tea leave甲 J. Journal of Ecology and Rural Envirorm ent 2006 22 (4 )： 71—73 83.

1. Whiting S 讦 De SouzaM R Teny N Rhizosphere bacteria mobilize Zn Qr hyPeraccmiulation by Thia申i caerulescen甲 j . Envirormentai Science^ Technology 2001, 35 (15》3144 -3150.
2. Gove 耳 Hutchinson J J young SI) etaj UPlake ofmetals bY Plants scaring a 4iizosPhere wilh lhe hyPeraccumulator Th la申 i caemlescens [Jj. Jitemational Journal of Phytorancdiation 2002 4 (4 )： 267 -281.
3. Su D C Lu X X W ong JW C could cocropppg or successive ciopppg witi Cd accumulator oilseed rape reduce Cd uptake of sensitive Chinese Cabbag^ j. Practice periodical of Hazaidoqs ToxQ and Radioactive WasteManaganent200S 12(3)： 224—22&
4. Liu Yu— guo Ye Fei Zeng Quang-ming et aj Ef^cts of added Cd on Cd uptake bY oilseed rape and Paj— tsai co— cioppin年 J. T^ansac. tions of Non^nousMetals Socie^ of China 2007 17： 846 — 852
5. LuoChux 1 珂 ShenZhen— gup Li Xiang- dong Root exudates 肛 crease metal accimulation jnm^ed culm rep JnPlications nauiral^ enhanced Phytoextractio” j . Water Air and Soil Pollution 200^ 193： 147-154.

[9j Zuo Y Zhang F Iron and zffic bio^rtification strategies jn dicot Plants

2010年3月 by ptercioppjngwgramjneous species^ A revj門 j. A^ioncmy Qr SustapableDeveloftaent 2009 *29：* 63—71.

1. 王激清，茹淑华，苏德纯.印度芥菜和油菜互作对各自吸收土壤 中难溶态镉的影响[J.环境科学学报，2004 24(5)： 890-894. WangJQ RuSH Su D C Ef^cts of Mianmusmd and oilseed

rape co— cropping on absorbing jnso]uble cajmium of contemjnated soq J. Environmental Scimc^ 2004 24(5)： 890-894.

1. 李凝玉，李志安,丁永祯，等.不同作物与玉米间作对玉米吸收积 累镉的影响[J.应用生态学报，2008 19(6)： 1369-1373.

LiN丫 LiZ4 Dingy etaj Ef^cts of intercropping dif^rcnt crops wibmaize on the Cd up址e bYmaiz^ J . Chinese Journal of^PlieJ Ecology 2008 19(6)： 1369 — 1373.

1. LiN Y LiZ A Zhuangf etaj Cadmiun uptake fian soilbYmaize

witi 讥 terciopf J. Water Air Soil pollution 200S , 阿。.1007/

^1270-008-9858- ?

1. Selvam *片* W ong JVQ iun uptake potential ofBiassica napus co.

cropped wib Brassica Parachhensis and Zea may 甲 J . Journal ofHaz. aidousMateriaJs 2009 d°：il0. 1016/j Jha2na.t200& 12 103.

1. WuQT Sama殳eM Mo C 耳 et aj Simultaneous sludge stabiliza­tion and metal ran oval bY metal hYPer — accumulator Plants^ q . Transactions 0^7 EWorld Congress of Soil Scien昏 2002 Bang^o^ ^55-1-9.
2. Liu XM Wu Q 丁 BanksM K Ef^ct of sjnultaneous establishment

of Sedan alfre^ii and Zea mays on heavy metal accimulation 讥 Plants [J. Jitemational Journal of Phytorwaediation 2005 7(1)： 41

— 53.

1. 黑 亮，吴启堂,龙新宪，等.东南景天和玉米套种对Zn污染污 泥的处理效应[J.环境科学，2007 28(4)： 852-85&

Hei. WuQT LongX\* etaj E 使 ctof c—Planting of S 田 um a] frcdii anj mays on Zn— contemplated sewage sludgy j|. Envj. romientalScieice 2007 28(4)： 852~85&

1. WuQT Hei» Wong JW Q etaj *Qo-* croppjig for Phyto- sepa\_ ration of zjnc anj potassium frcm sewage sludgy J|. Ch^odhe宇 2007 F 68 (10)： 1954-1960.
2. Wu Q 丁 WeiZ 耳 O^yang y PhYtoextraction of meta]— contamii^ ted soil bY hyperaccimulator sejim alfrediiH Ef^cts of chelator and cc^ Planting j . Wa卑 Air and Soil Pollution 2007 b 18Q 131 -139.
3. 卫泽斌，吴启堂，龙新宪.利用套种和混合添加剂修复重金属污 染土壤[J.农业环境科学学报，2005 24(6)： 1262-1263.

WeiZ 耳 WuQT Long XX PhYtoimiediation of heavy metal con\_ tan Jia ted soilwi^mpcej chelators jn co— crop systonj J. Journal of Ag4 Envirorment Seim字 2005 24(6)； 1262-1263.

1. W ieshammerQ Unterbrunner 耳 Eanares Garq a T etaj Phytoex traction of Cd and Zn ficm agricultural soils bY Salix s$> and iiter cropping of Sa^x caprea and A^bidopsis halier^ Jj. Plant Sojl 2007 29& 255-264.
2. Chen Zongl巴i Setagawa Masayu^i Rang yumei et aj Zffic and cajmitm uptake frcm a metalliferous soil bY am pcej culture ofAbyr] un yokoscense and A^bis flageljo汽 J . Soil Science and P lantNutr] ti°¥2009 55： 315-324.
3. CieglifiskiQ VanReesR C J Huang Z EM et aj Cadmium uR take and b ioaccumulation jn selected cultivars of durum wheat and flax

第29卷增刊

农业环境科学学报

271

as af^cted by soil 蚀甲 J. Plant and Sojl 1995 182： 115 — 124.

1. Giant A Q Claire J *片* Duguid $ et aj Selection and breeding of Plant cultivars tom讥inize cajm jum accumulatio叮 j. Science of Total Environment200S 39Q 301-310.

〔24] Giant C A Buck ley W J Bailey LI) etaj Cadmium accunu lation p ciop甲 L Canadian Journal of Plant Science 199^ 78(1)： 1 —

17.

1. Clan ens patngrenM Q KgmerlJ A long way ahead Under standing and engjneerpg Plant metal accimulation|-』. T^^cls jn PlantScimre 2002 7(7)： 309-315.
2. AiunK CarpsQ HemJiiaLoza— Tavern etaj ChKHiiun toxid i収 jn Plant^ J. Environment Jitemational 2005 31： 739—753.
3. 董雯红，卞正富,王贺封，等.徐州矿区充填复垦场地作物重金属 含量研究[J.水土保持学报，2007 21(5)： 180-182

Dong J 耳 BPS Z f Wang HF etaj S^dy on contents of heavy

metals 讥 filing reclamation soil Xuzh°u ni in Jig regjor^ J of Soil and Water Conservation 2007 21 (5)： 180-182

1. 赵庆良，张金娜，刘志刚，等.再生水灌溉对作物品质及土壤质量 的影响[J.环境科学，2007 28(2)： 411-416.

Jouma 1

ZhaoQb Zhang J" Liu ZQ etaj Ef^ct of reclajned water used *pr* irrgation on quality of crops and soij j . Enviroimental Sc]

2007 28(2)： 411-416.

1. 纪玉琨，李广贺.作物对重金属吸收能力的研究[农业环境科 学学报,2006 25(增刊)：104-10&

JiY 0 Li G H AdsoiPtjon of wheat and maize on heavy metals jn

soi呼 J. jouma 1 ofAgd EnvironmentSciai毕 2006 25 ( S^P ).

104-108.

1. 赖燕平，李明顺,杨胜香，等.广西猛矿恢复区食用农作物重金属 污染评[J.应用生态学报，2007 18(8)： 1801-1806.

Lai Y £ LiM S Yang S' et aj Heavy metal concentrations and pollution assessnent of edible crops grcwn on resgrejman一 ganese

mine lands 讥 Guan單i South Ch讥年 j . Chines Journal of^Plied Ecology 2007 18(8)： 1801-1806.

1. 肖细元，陈同斌,廖晓勇，等.我国主要蔬菜和粮油作物的碑含量 与不申富集能力比较[J.环境科学学报，2009 29 (2)： 291-296.

X iao X 丫 Chen T 耳 Liao X 丫 et aj Comparison of concentrations anj bioconcentration 但ctors of arsenic jn vegetable》 gra^i and oil crops 讥Chin甲 J. EnvirormentalScienre 200^ 29 (2)： 291—296.

1. McLaughlhM J BellM J W rightG Q et aj UP锻ke and PartitiQ njng of cadmiim bY cultivars of peanut ( Aiachi^yPogaea L ) [ j . Plant and Sojl 2000 222 51-58.
2. NascjnentoCW 4 FontesR L F Neves JC L Mineral ccmposition of tvo Brazilian com cultivars as a ftinctjon of cajm ium jn nutrient

solution J. Journal of Plant Nutrition 199^ 21(11)： 2369

-2379.

1. Samakejyj WuQT MoC# et aj Plants giavn on sevage s^dge p sou^ ch ha and its relevance to sjujge stabilization anj metal re\_

mova] J. journal ofEnvirormentalScimces 200^ 15： 622 — 627.

1. 王凯荣，郭離，何电源，等.重金属污染对稻米品质影响的研究

[农业环境保护，1993 12(6)： 254-257.

WangK 耳 Guo# HeD 讦 etaj Sadies on influences of heavy metal pollution on lhe qualities of bicwn ricq j . Journal of AS10— Enviromient Scien^ 1993 12 (6 )： 254—257.

1. 吴启堂，陈 卢,王广寿.水稻不同品种对镉吸收累积的差异和机 理研究[J.生态学报，1999 19(1)： 104-107.

WuQT Chen 匚 W ang G S D if^rences on Cd uptake and accmiu\_ lation among rice cultivars and itsmechanism|- J . Acta Ec°lagica Q 1999 19(1)： 104-107.

1. 曾 翔，张玉烛,王凯荣，等.不同品种水稻糙米含镉量差异[L 生态与农村环境学报，2006 22(1)： 67-68.

Zeng' Zhang Y ? WangK 耳 et aj Genome dif^rence of bicwn rices 讥 Cd con ten j. Journal of Ecology anj Rural Environment 2006 22(l)：67—69 83.

1. YuWang J]^ Wei f et aj Cadmiim accumulation p dif^rent rice cultivars anj screen pg for pollution— sa 徑 cultivars of rjcq j . Science of be Total Enviromia|t 2006 37Q 302 — 309.
2. O liverD Gartrell JW TillerK Q et aj Dif^rcntial responses of Australian wheat cultivars to cajmium concentration p wheat grajn 〔J. Australian Journal of Agricultural Research 1995 46(5):873 -876.
3. Zhang G FukamiM Sekinoto^ Ji fluence of cadn imi onm ineral

concentrations and Yield ccmponents p wheat genomes dif^rpg^i Cd tolerance at seedling s Field Crops Research 2002 77： 93

—9&

1. 黄益宗，朱永官，胡莹，等.不同品种大豆对A吸收积累和分配 的影响[J.农业环境科学学报，2006 25(6)： 1397-1401.

Huang Y ? Zhu Y Q Huy etaj UP lake and accumulation of arse\_ nic by different soybean varjetie芹 j . Journal of 歴ro\_ Envirormait Scienre 2006 25(6)： 1397-1401.

1. DunbarK McLaughlpM J Reid R J The uptake and Partitioning

of cajm jum jn tvo cultivars of potato ( Sol3111111 mberosun「).

[].journal of E^erjnen^lBotany 2003 54(381)： 349—354.

1. LiYM Chaney R . Schneiter A 4 et aj Qenoiypic variation in kernel cajmiim concentration jn sunf]cwer gemPlasn unjer vary pg soil cond辻ion甲 J. C^P Seim爭 1995 35. 137 — 141.
2. ThgasGM HarrisonH Q Genetic line ef^cts on parameters pf]u\_ enejng cadnitm conentration 讥 lettuccj- j . p lantNutrition [991, 14 953-962
3. Qi rate A R^os’I Manzanares]^ et aj Cadmiim uptake and dis­tribution p 旺ree cultivars of lettuce^ j . gullet讥 of Enviiormen^l Con tarn 讥 a tion and Toxicology 1993 5Q 709 — 716.
4. 吴启堂，陈卢，王广寿，等.化肥种类对不同品种菜心吸收累积镉 的影响[J.应用生态学报，1996 7(1)： 103-106.

WuQT Chen 厂 Wang G S et aj Ef^ct of chonical ^rtilizer sources on uptake and accimulation of Cd byB^ssica 缶讥ensis cult] var| J. Chinese Journal of 倔 lied Ecology 1995 7(1 ). 103 — 106

1. 徐照丽，吴启堂,依艳丽.不同品种菜心对镉抗性的研究[L生 态学报,2002 22 (4)： 571-576.

XuZ「WuQT YiY L Sadies on resistance to cadmion in different cultivars of Erassjca para缶迥ensi普 j. Acta E°°lagica

哼 2002 22 (4)： 571-576.

1. Alexander p p AllcwayB J Dourado A M Qeno^Pic variations jn

be accumulation of CQ Cy Pb and Zn exhibited bY sjx ccmmon^ gicwn vegetables^』. Enviioimental pollution 2006 144 736

-745.

1. 谢 华，刘晓海，陈同斌，等.大型古老锡矿影响区土壤和蔬菜重 金属含量及其健康风险[环境科学，2008 29 ( 12 )： 3503 -3507.

Xie 耳 Liu X 耳 Chen T $ et aj Concentration and hea血 risk of heavy meta Is p vegetables and soils 讥 region af^ctej bY an ancient 如。卑 J . Enviromimtal Science 200S 29 (12 )： 3503-3507.

1. 范淑秀，李培军，何 娜，等.多环芳桂污染土壤的植物修复研究 进展[J.农业环境科学学报，2007 26(6)： 2007-2013.

Fan LiP J He讦 et aj Research of Phytoranediation on cont am 讥aid soil wib po^cyclie aranatic hYdiocaibons( PAHs) [ Jj. joumal of AgdEnvirornimt Science 2007 26(6)： 2007-2013.

1. 彭胜巍，周启星.持久性有机污染物土壤的植物修复及其机理研 究进展[J.生态学杂志，2008 27 (3 )： 469-475.

Peng SW ZhouQX Research advances p Phytoremediation and its m echan isns of POPs— contaminated soil 讣 j. Journal of E\_

2008 27 (3 )： 469-475.

1. MailaM f Randjna f CJoete T E Multispecies and monoculuire 血 izoran ej iation of po『eye lie arcm atic hydrocarbons ( PAH S) frem be soij J. Jitemational Journal of PhYtoraned iation 2005 7 (2)： 87 —9&
2. Xu SY Chen Y X WuW X et aj Enhanced dissipation of Phe

nen^rene and PYrene sp妆e(£ soils bY cembPed Plants cultivation

[J. Science of ^eTo^lEnviromimt 2006 363： 206—215.

1. White Jason Q Parrish ZakiaQ GentMartGP 讦 etaj Isleyen me linet Jicoivia mattjia maryjane soil amendment Plant age anj iitercioppiig inpact p P — DDE bioavailabililyto Cucuibita

[J. jouma 1 Enviromienta 1 Quali^ 2006 35： 992-1000.

1. 肖明波.典型农业环境含氯有机污染调查与植物修复多氯联苯效 应研究[口 .广州：华南农业大学，2008： 10- 64.

Xiao M 耳 Jivestjgatjon of agio— environmental contamination wilh chlorinated oiganics and Preltn 讥aiy smjy on Phytoranejjation of PolYchlorJiated biPhenyls witi intercrops j D]. Guang^oy South Ch讥a Agricu血iralUnivers谭 200& 10— 64.

1. 丘锦荣.城市污泥的植物处理利用研究[口.广州：华南农业大 学，200& 23-52

Qiu JR Phyto— treatnent and reuse ofmunicjpal sevage sjujg^ q . Guangzhoy Soub Ch 讥a Agricu 血ralUnivers谭 200& 23 — 52

1. Denys $ RoHJi Q Guillot f et aj In— situ Phytoranediation of PAHs contsm JiateJ soils ^)l]cwing a bio^tnediation treatnent [ j. Water Air and Soil Polluti% Focus 2006 *6：* 299 — 315.
2. PhilliPsaLoriA Qreeib Charles^ Gem jja James J Culture based anj culture— jidepenjent assessnent of jnpact of mixed and sjx g]e Plant treatnents on izosPherem icrobia 1 ccmmun辻ies jn hydrocar bon contam jiated flan Pit so 甘 j . Soil Bio logy & B iochen istiy 2006 3& 2823-2833
3. PhilliPsaLoriA G^eib Charles^ Farrell R et aj Field— scale assessment of wea^erej hydmearbon degradation bYm ixej and sjjig胆 Plant treatnent^ j. APPli珀 Soil Ecology 2009 42： 9 — 17.
4. Lee J Bae殳 g KE 耳 et aj Phytoranediation of soil co— contam讥乩 ted wib heavyme坦Is and TNT usjig Qur Plant specie迅 j. Journal of Enviioimental Science and H^llb A Toxic /Hazardous S^bsiances

& EnviromimtalEngineer^ 2007 42(13)： 2039—2045