

土壤重金属Cd作物效应的区域分异研究

徐海娟¹, 师荣光^{2,3*}, 赵玉杰², 张浩², 刘申², 刘凤枝², 周启星¹ (1. 广东省职业病防治院, 广东广州510300; 2. 农业部环境保护科研监测所, 天津300191; 3. 南开大学环境科学与工程学院, 天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室, 天津300071)

摘要 [目的] 探索土壤重金属Cd对水稻效应的区域分异。[方法] 以我国辽宁(棕壤)、江苏(黄泥土)、天津(潮土)、湖北(红壤)和广西(石灰土)5区典型土壤类型为研究对象, 以杂交水稻180为供试品种, 采用盆栽试验, 对土壤中重金属Cd对水稻生长和稻米重金属Cd含量影响的区域分异进行了研究。[结果] 水稻株高、产量受土壤Cd污染的影响具有明显的南北区域分异, 5区中北方的辽宁、天津地区在土壤Cd浓度较高时水稻长势依然较好, 而南方的广西、湖北等地区在较低土壤Cd浓度水平下, 对水稻生长产生明显的抑制。虽然土壤类型对水稻Cd含量吸收的影响较为显著, 但南北方区域分异并不明显。[结论] 土壤重金属Cd对作物效应因土壤类型不同表现出明显的区域分异特征。

关键词 土壤; 重金属; 作物效应; 区域分异

中图分类号 S154.4 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)19-08272-03

Study on Regional Differentiation in Effect of Heavy Metal Cd in Soil on Rice

XU Hai-juan et al (Guangdong Prevention and Treatment Hospital for Occupational Diseases, Guangzhou, Guangdong 510300)

Abstract [Objective] The study was to explore the regional differentiation in effect of heavy metal Cd in soil on rice. [Method] With five typical soil types of 5 regions as research object, including Liaoning (Brown earth), Jiangsu (permeable paddy earth), Tianjin (Fluvo-aquic earth), Hubei (Red earth), Guangxi (limestone earth), a pot experiment was conducted to study the regional differentiation in effect of heavy metal Cd in typical soil types on Cd accumulation and growth of rice. [Result] The effect of soil Cd contamination on the plant height and yield of rice showed obvious south-north regional differentiation. The rice growth of Tianjin and Liaoning in North China was still better under higher Cd level, while the rice growth of Guangxi and Hubei in South China was significantly inhibited under low cadmium level. The effect of soil type on the uptake of Cd by rice was significant, but there was no obvious regional differentiation between the south and north. [Conclusion] The effect of heavy metal Cd in soil on plant showed the obvious regional differentiation characteristic with different soil types.

Key words Soil; Heavy metal; Crop effect; Regional differentiation

重金属Cd是一种积累性的剧毒元素, 在环境系统中迁移较为活跃^[1], 是作物极易富集的重金属元素之一, 主要通过食物链进入人体, 给人体健康带来严重威胁^[2]。环境中的Cd大约有70%积累在土壤中^[3-4], 据相关资料统计, 我国土壤重金属Cd污染现状不容乐观, 全国土壤Cd污染面积约有1.3万hm², 重金属Cd已成为我国土壤污染的最重要和典型的重金属污染物^[5-6]。

土壤Cd浓度的增加会对作物的生长产生明显抑制和毒害作用, 引起作物植株形态、生理生化及结构上的改变并导致作物中重金属Cd的积累, 造成危害^[7-19]。另外, 作物吸收土壤Cd还主要受环境因子尤其是土壤基本性质的明显影响, 由于不同区域的土壤性质差异很大, 因此土壤重金属Cd的作物效应就必然表现出随土壤性质的地带性分异特征。

为了保证农产品的安全生产, 《中华人民共和国农产品质量安全法》中明确规定“根据农产品品种特性和生产区域

大气、土壤、水体中有毒有害物质状况等因素, 认为不适宜特定农产品生产的, 提出禁止生产的区域划分”。探索重金属对作物效应的区域分异研究是农产品产地禁产区划分的基础工作, 也是保障农产品安全的重要研究内容。但已有研究还不能完全解决这方面的问题。笔者通过对5个典型地区5种典型土壤类型中重金属Cd对水稻生长和稻米中重金属含量的区域分异进行研究, 对于制定各地土壤适宜性评价基准, 科学、合理的进行产地禁止生产区的划分, 保障农产品安全有着极为重要的意义和作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试土壤来自辽宁张土(棕壤)、江苏苏州(黄泥土)、天津东丽(潮土)、湖北大冶(红壤土)、广西刁江(石灰土)5个地区。分别采集各区耕层土壤(0~20 cm), 风干过5 mm筛后用于盆栽试验。各地区土壤理化性质见表1。供试水稻品种为杂交水稻180, 由天津市农业科学研究院提供。

表1 各盆栽土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of each pot soil

检测项目 Detection items	全氮(N) Total N %	全磷(P ₂ O ₅) Total P %	全钾(K ₂ O) Total K %	速效N Available N mg/kg	速效P Available P mg/kg	速效K Available K mg/kg	有机质 Organic matter %	全盐 Total salt %	CEC cmol/kg	pH值 pH value
天津 Tianjin	0.103 7	0.155 0	3.356	52.66	11.09	200.0	1.465	0.099	20.86	7.78
江苏 Jiangsu	0.058 3	0.072 3	1.494	36.14	30.42	77.5	1.297	0.073	14.42	6.10
广西 Guangxi	0.133 8	0.059 7	1.110	66.08	2.80	50.0	2.290	0.051	9.79	5.86
湖北 Hubei	0.148 2	0.111 4	1.412	59.88	10.01	47.5	2.472	0.044	9.79	5.76
辽宁 Liaoning	0.100 1	0.136 8	2.769	109.50	43.23	50.0	2.063	0.025	14.43	7.03

基金项目 十一五科技支撑计划课题(2006BAJ10B01); 中央及公益性科研院所基本科研业务专项资金(农业部环境保护科研监测所)资助项目。

作者简介 徐海娟(1979-), 女, 河南南阳人, 博士, 工程师, 从事环境毒理学方面的研究。* 通讯作者。

收稿日期 2008-04-29

1.2 盆栽试验设计 水稻盆栽试验采用容量为15 kg的塑料瓷盆内衬聚乙烯塑料袋进行, 每盆装土12 kg, 每盆添加肥料为4.8 g尿素, 12 g KH₂PO₄。盆栽水稻土壤装盆后, 先灌水至淹水状态, 淹水28 d后插秧; 整个生长期以自来水浇灌,

且保持渍水状态,收获前自然落干。盆栽试验中,添加的Cd 化合物类型均为 $CdCl_2 \cdot (2.5) H_2O$ 。在了解试验产地土壤污染程度和受试土壤类型污染临界值范围的基础上,设计了水稻盆栽的8 个Cd 浓度处理梯度,如表2 所示。为避免盆栽试验的偶然性与不稳定性,保持管理方式一致,每个浓度梯度设计了3 个平行。

表2 水稻盆栽 Cd 浓度设计

Table 2 Design of Cd concentration gradients in paddy potted soil

地区 Region	Cd 处理浓度 Cd concentration gradients							
	1	2	3	4	5	6	7	8
天津 Tianjin	0.0	0.5	1.0	1.5	3.0	4.5	6.0	12.0
江苏 Jiangsu	0.0	0.5	1.0	1.5	3.0	4.5	6.0	12.0
广西 Guangxi	0.0	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.4	12.8
湖北 Hubei	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.2	2.4	4.8
辽宁 Liaoning	0.0	0.5	1.0	1.5	3.0	4.5	6.0	12.0

1.3 分析测试 水稻收获时,将根、茎和稻谷分别处理,根、茎和稻谷在70℃左右烘干,粉碎后用 $HF-HNO_3-HClO_4$ 消化后用原子吸收法测定。水稻收获后,土壤样品过100 目筛后,用王水($HNO_3-HCl=1:3$)消煮至灰白色,加滴5 ml $HClO_4$ 至消化完全,火焰原子吸收分光光度法测定,土壤有效态Cd 以DTPA 提取后,用原子吸收分光光度法测定,分析过程中所使用的试剂均为优级纯,所用水均为去离子水。采用SPSS 10.0 for Windows 和 Microsoft Excel 软件进行数据的统计检验、分析和制图。

1.4 水稻生长抑制率计算 不同重金属Cd 污染水平下水稻生长抑制率的计算采用公式:水稻生长抑制率=(1- 重金属污染土壤上水稻生长状况/对照土壤水稻生长状况)×100%;其中,水稻生长状况的测定指标为株高、千粒重。

2 结果与分析

2.1 土壤 Cd 对水稻株高影响的区域分异 从图1 可以看出,在5 区中辽宁棕壤土水稻生长较好,株高最高,湖北红壤和广西石灰土水稻生长较差,株高较低。在不同Cd 浓度污染水平下,5 种土壤类型水稻株高的变化趋势基本相似,曲线呈S 型,随着土壤Cd 浓度的增加,水稻株高先增加(或略为减小),然后大幅度减小,再增加并呈小幅度波浪形变化直至趋于平稳。通过对水稻株高抑制率的计算可以得出,土壤Cd 浓度在1.371 ng/kg 时,对天津水稻株高抑制最明显,抑制率为4.14%;在4.845 ng/kg 时,对辽宁水稻株高抑制最为明显,抑制率为2.11%;在1.517 ng/kg 时,对江苏水稻株高抑制最为明显,抑制率为14.02%;在0.669 ng/kg 时,对湖北水稻株高抑制最为明显,抑制率为12.61%;在0.397 ng/kg 时,对广西水稻株高最为明显,抑制率为14.43%。可以看出,不同地区不同土壤类型对水稻株高抑制最明显的土壤Cd 浓度差异较大,南北区域分异明显。

2.2 土壤 Cd 对水稻产量影响的区域分异 5 区5 种土壤不同Cd 浓度下的以千粒重表示的盆栽水稻产量,如图2 所示。其图形可分为2 组,1 组是天津潮土和辽宁棕壤;1 组是江苏黄泥土、湖北红壤和广西石灰土。前者曲线位于后者的上方,曲线变化趋势平缓,说明北方天津和辽宁地区盆栽水稻产量较南方地区较高,土壤Cd 浓度增长对水稻产量的影响

幅度小;而后者曲线则相对陡峭,说明南方地区的江苏、湖北和广西的黄泥土、红壤和石灰土在土壤较低的Cd 浓度下即显著减产,尤其是湖北红壤盆栽水稻尤为明显。后者曲线包含的南方3 个地区水稻产量随土壤Cd 浓度增高而递减的曲线图型较为相似,其与前者北方2 个地区的曲线差异较大,也说明土壤Cd 对水稻产量的影响有着显著的南北区域分异。另外从图2 也可以看出,土壤Cd 浓度的增高虽然会对水稻产量产生一定的影响,但这种影响程度并非特别严重,盆栽水稻减产最严重的湖北,其减产率也仅为11.7%,而在北方天津和辽宁地区,土壤Cd 浓度的增加对水稻产量的影响就更不明显,这种现象在一定程度上也增加了土壤Cd 污染的隐蔽性和潜在危害性,即从水稻产量来看难以判断土壤Cd 的污染状况。

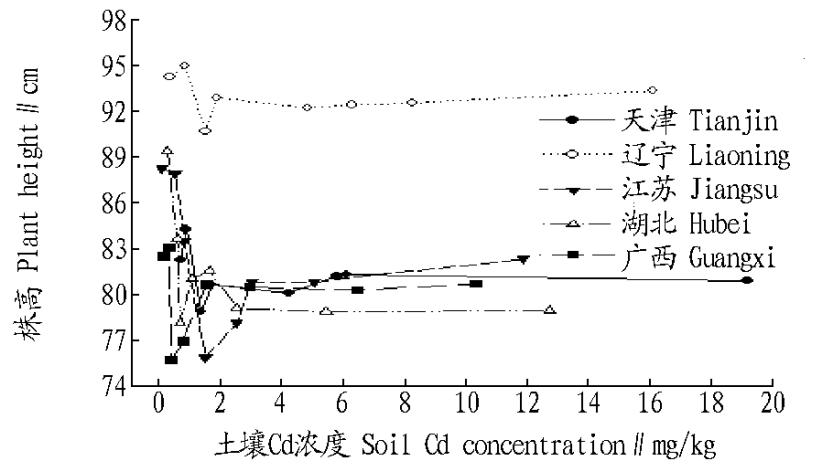


图1 土壤Cd 浓度对水稻株高的影响

Fig.1 Effects of soil Cd concentration on the height of rice plants

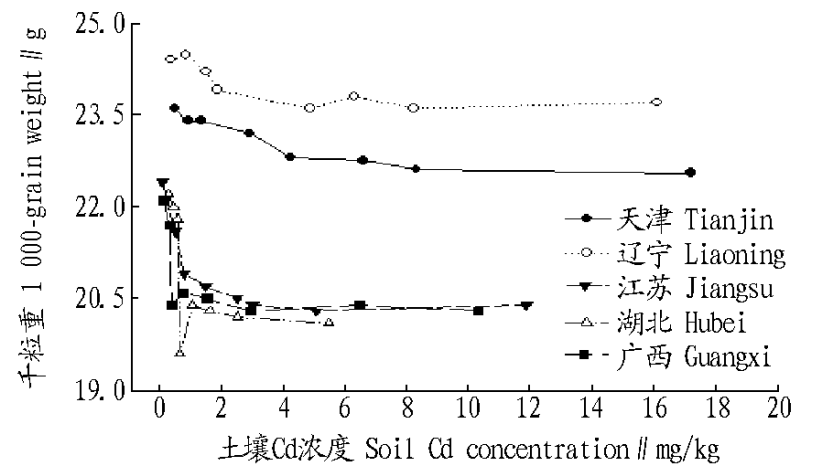


图2 不同 Cd 浓度土壤中水稻产量

Fig.2 Rice yield in the soil with various Cd concentrations

2.3 土壤 Cd 对水稻 Cd 含量吸收影响的区域分异 自然状态下,重金属在土壤中的存在形态不同,主要可分为交换态(包括水溶态)、有机结合态、铁锰氧化物结合态、碳酸盐结合态和残余态,而影响作物对重金属吸收的主要是土壤重金属的有效态含量。为了更好地揭示土壤Cd 污染对水稻Cd 含量影响的区域分异,分析利用DTPA 提取的土壤Cd 有效态含量与稻米Cd 含量吸收的影响,如图3 所示。从图3 可以看出,5 区盆栽水稻稻米Cd 含量都随着土壤Cd 浓度的增加而增加。其中湖北红壤土对Cd 污染最为敏感,辽宁棕壤土对Cd 污染的敏感性次之,江苏黄泥土再次之,广西石灰土和天津潮土对Cd 污染的敏感程度稍差。即湖北土在较低Cd 浓度水平时即可造成稻米中Cd 浓度的迅速升高而超过国家规定稻米食品卫生标准,土壤Cd 临界含量较低,而天津潮土在较高Cd 污染浓度时才会造成稻米Cd 浓度的超标,土壤Cd 临界含量相对较高。另外,不同类型土壤Cd 污染对水稻Cd

含量吸收的影响是极为显著的。对5区土壤基本性质的分析表明,原土pH值差异较大,由于土壤中Cd的移动性受pH值的影响较为显著,酸性土壤中,Cd离子态浓度增大,移动性增强,容易被作物吸收,而在碱性土壤中Cd则容易被土壤吸附而使得土壤Cd浓度增大。5区中,天津土壤pH值最高为7.78,为碱性土壤,Cd迁移性差,稻米随土壤Cd浓度的增加幅度较缓;湖北土壤pH值最小为5.76,为酸性土壤,Cd迁移性好,稻米随土壤Cd浓度的增加较快。另一方面,除土壤pH值外,稻米中Cd的积累可能还受到土壤阳离子交换量、土壤有机质含量、土壤中其他重金属元素对Cd的协同作用等多种因素联合作用的共同影响,使稻米Cd的积累同土壤pH值的顺序并不完全趋于一致,而是略有差别。综合来看,土壤类型是Cd污染对水稻稻米Cd含量影响的关键影响因素,在研究中南北区域性差异并不显著。

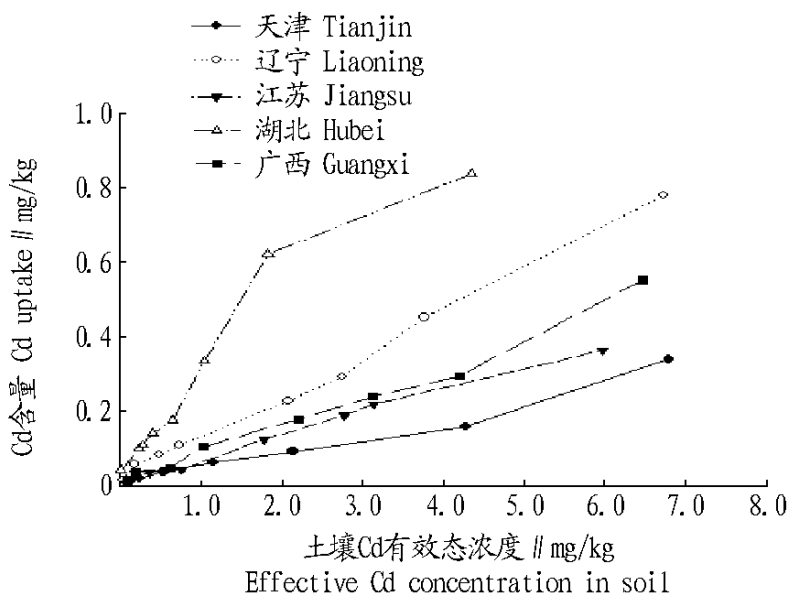


图3 土壤Cd浓度对稻米中Cd含量吸收的影响

Fig.3 Effects of soil Cd concentrations on Cd uptake by rice grain

3 讨论

(1) 土壤Cd污染对水稻株高、千粒重影响的区域分异明显,5区中辽宁水稻长势最好,湖北和广西水稻长势最差。酸性土在较低Cd浓度下就对水稻的生长呈现明显抑制,而碱性土在较高Cd浓度时也没有呈现出对水稻生长的明显抑制,难以从水稻生长状况判断土壤Cd污染的水平。

(2) 不同土壤类型Cd污染对稻米Cd含量的影响较为显著,但研究中稻米Cd含量吸收的南北方区域分异并不明显。

参考文献

- [1] CHANEY R L, REEVES P G, RYAN J A, et al. An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks [J]. *Bonitas*, 2004, 17: 549 - 553.
- [2] 孟紫强. 环境毒理学基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [3] 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.
- [4] 周启星, 黄国宏. 环境生物地球化学及全球环境变化 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 茹淑华, 苏德纯, 王激清. 土壤镉污染特征及污染土壤的植物修复技术机理 [J]. *中国生态农业学报*, 2006, 14(4): 29 - 33.
- [6] 徐明岗, 李菊梅, 张青. 从土壤环境改善和新型肥料研发看食品安全 [J]. *腐殖酸*, 2005(4): 11 - 17.
- [7] SHANK, DUBEY R S. Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds [J]. *Acta Physiol Hart*, 1998, 20: 189 - 196.
- [8] 秦普丰, 铁柏青, 周细红, 等. 铅与镉对棉花和水稻萌发及生长的影响 [J]. *湖南农业大学学报*, 2000, 26(3): 205 - 207.
- [9] 杨明杰, 林咸水, 杨肖娥. Cd对不同种类植物生常和养分积累的影响 [J]. *应用生态学报*, 1998, 9(1): 89 - 94.
- [10] 郑春荣, 孙兆海, 周冬美, 等. 土壤Pb、Cd污染的植物效应——Cd污染对水稻生长和Cd含量的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(3): 417 - 421.
- [11] 孙光闻, 朱祝军, 方学智. 不同Cd水平对小白菜生长及其营养元素含量的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(4): 658 - 661.
- [12] 杨居荣, 贺建群, 蒋婉茹. Cd污染对植物生理生化的影响 [J]. *农业环境保护*, 1995, 14(5): 193 - 197.
- [13] 杨居荣, 贺建群, 黄羿, 等. 农作物Cd耐性的种内河种间差异. 种间差 [J]. *应用生态学报*, 1994, 5(2): 192 - 196.
- [14] 杨居荣, 贺建群, 黄羿, 等. 农作物Cd耐性的种内河种间差异. 种间差 [J]. *应用生态学报*, 1995, 3(6): 132 - 136.
- [15] 朱祝军, 方学智. 不同Cd水平对小白菜生长及其营养元素含量的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(4): 658 - 661.
- [16] 李荣春. Cd、Pb及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 238 - 242.
- [17] 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.
- [18] 王美娥, 周启星. 重金属Cd、Cu对小麦幼苗生理生化过程的影响及毒性机理研究 [J]. *环境科学学报*, 2006, 26(12): 2033 - 2038.
- [19] 刘家女, 周启星, 孙钰. Cd-Pb复合污染条件下3种花卉植物的生长反应及超积累特性研究 [J]. *环境科学学报*, 2006, 26(12): 2039 - 2044.

(上接第8225页)

从植被覆盖度变化的区域上来看,石期河上游地区植东山和白宝两乡镇、水口山锰矿采矿区一带,植被退化比较严重;石期河流域下游东湘桥沿河谷地一带也存在着严重的植被退化区域,但在地势较高的山地也有植被覆盖度增加的区域。

4 结语

运用Landsat卫星TM、ETM数据对石期河流域1991~2002年11年间的植被覆盖度进行定量研究。结果表明,从1991年到2002年,石期河流域植被覆盖呈退化趋势,退化的总面积19.933 km²,占该流域面积的2.19%。石期河流域各植被类型区有明显的变化,主要体现在中等植被覆盖度地区(50%~80%)不断被破坏,低植被覆盖度(<30%)地区面积的扩大。石期河流域植被退化的主要原因是长期以来人类活动干扰,在人类干扰较少的山区,植被覆盖度有所恢

复。因此,为了更好地提高石期河流域植被覆盖度,当地应加强对石期河流域植被的管理。

参考文献

- [1] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
- [2] 田静, 阎雨, 陈圣波. 植被覆盖率的遥感研究进展 [J]. *国土资源遥感*, 2004, (1): 1 - 5.
- [3] 黄微, 张良培, 李平湘. 一种改进的卫星影像地形校正算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, 10(9): 1125 - 1128.
- [4] 赵英时. 遥感应应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 374 - 393.
- [5] CARLSON T N, RIPLEY D A. On the relation between NDM, fractional vegetation cover and leaf area index [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(3): 241 - 252.
- [6] GUTMANG, IGNATOV A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. *Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1533 - 1543.
- [7] KLAUS IITEN, PETER MEYER. Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous forested areas [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1993, 31(4): 764 - 770.