

湛江水稻生产环境及其稻米中 Cd 的安全性评价

张法英, 周鸿凯*, 吕建慧, 陈雄斌, 伍金洪, 伍志谦

(广东海洋大学农学院, 广东 湛江 524088)

摘要:为研究湛江稻米生产环境及其稻米中 Cd 的安全性, 抽样测定了湛江 4 个水稻主产区的大田土壤、灌溉水、植株器官和稻米中重金属镉(Cd)的含量。结果表明:早稻与晚稻均表现为, Cd 在根中的积累量显著地高于茎、叶和稻米。同时, Cd 在稻米中的积累量显著地低于茎、叶, Cd 在茎、叶中的含量水平相当, 水稻植株器官对 Cd 的富集水平基本为根>叶>茎>稻米, 根系是吸收和积累 Cd 的主要植株器官;湛江市 4 个水稻主产区生产的稻米中 Cd 的含量范围为 0.034~0.047 mg·kg⁻¹, 符合国家粮食卫生控制标准值(GB 2715—2005), 尚不存在 Cd 暴露的风险。水稻种植区的土壤中 Cd 含量为 0.155~0.180 mg·kg⁻¹, 达到国家土壤环境质量一级标准(GB 15618—1995), 仍属于自然背景值范围;灌溉水的重金属 Cd 含量的范围为 0.001 9~0.004 9 mg·L⁻¹, 均达到国家农田灌溉水标准(GB 5084—2005)的要求。因此, 湛江市水稻生产的土壤和灌溉水环境是安全的, 生产的稻米 Cd 的安全性高, 不会危害消费人群的身体健康。

关键词:镉;水稻;安全性;评价

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)03-0510-06

Safety Evaluation of Cadmium in Rice Production Area: A Case Study in Zhanjiang City of Guangdong Province, China

ZHANG Fa-ying, ZHOU Hong-kai*, LÜ Jian-hui, CHEN Xiong-bin, WU Jin-hong, WU Zhi-qian

(College of Agronomy, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: As the main rice producing base in Guangdong Province, Zhanjiang has the rice planting area about 220,000 hm² and total yields of 1.1 million tons. To investigate Cd level in the rice growing environments and grains of Zhanjiang City, paddy soil and irrigation water samples together with rice plants and grains were analyzed. Results indicated that the accumulation of Cd in roots of spring rice or autumn rice was significantly higher than that in stems, leaves or grains, and the grains had the lowest content of Cd. Meanwhile, the content of Cd in stems and leaves was almost equal. The level of Cd in the rice organs was found to decrease as the following order: root>leaf>stem>grain, which clearly indicated that Cd was mainly accumulated in roots. In addition, Cd contents in rice grains from the four main production areas of Zhanjiang varied from 0.034 mg·kg⁻¹ to 0.047 mg·kg⁻¹, which met the national hygienic standard for grains of China(GB 2715—2005). According to the Environmental Quality Standard for Soils in China(GB 15618—1995), the paddy soil quality was excellent because the concentrations of Cd did not exceed its background value and ranged from 0.155 mg·kg⁻¹ to 0.180 mg·kg⁻¹. The concentration of Cd in the irrigation water quality varied from 0.001 9 mg·L⁻¹ to 0.004 9 mg·L⁻¹, which met the Standards for Irrigation Water Quality(GB 5084—2005). In brief, the qualities of rice growing environments and grains in Zhanjiang city were safe, which would not pose a threat to peoples' health.

Keywords: cadmium(Cd); rice; safety; evaluation

由于工业化的发展和城市的聚集, 重金属土壤污染在一些区域呈现出加重的趋势, 而导致农田环境日益恶化, 并由此产生了一系列的农作物质量与安全问

题。农产品重金属元素含量与人类健康的关系属于环境与公共卫生问题, 关系到社会的稳定与人类的可持续发展。随着土壤环境重金属污染的加剧, 农产品中重金属含量水平及其食物暴露风险的评价成为近 10 多年来土壤与农业环境学研究的热点^[1]。重金属是一类对环境 and 人类极易产生危害的污染物^[2]。随着各种重金属新特性的发现, 在工农业中使用强度也极大增加, 其中一定比例的重金属以废物的形式排放到环境

收稿日期: 2011-08-08

基金项目: 广东省农业科技攻关项目(2009B020302005); 国家自然科学基金资助项目(30870413)

作者简介: 张法英(1987—), 女, 学士, 从事环境保护工作。

E-mail: 806482104@qq.com

* 通讯作者: 周鸿凯 E-mail: zhouhangkai@sina.com

中,使土壤成为重金属的汇^[3]。镉是毒性很强的重金属元素之一,我国的镉污染耕地面积已达到2万 hm^2 左右,每年生产的镉含量超标农产品 $1.46\times 10^9\text{ kg}$,而且有日益加重的趋势^[4]。被镉污染的土壤不仅影响作物的产量和品质,还通过食物链危害人类的健康^[5-6]。如2007珠江三角的“镉蔬菜”事件,2011年2月14日《新世纪》刊出封面报道“镉米杀机”,财新网发布的《镉米冲击波仅冰山一角,全面重金属危机需警惕》(<http://caing.com>,2011-02-21,07:21),食物重金属污染事件频频发生^[7]。因此,对农产品生产过程中镉的安全性监测和评价、采取有效措施修复镉污染土壤,已成为当今国内外研究的重要课题。

湛江市是广东省的重要粮食基地,其中雷州东西洋、廉江九州江两岸、吴川鉴江平原为种植水稻的主产区,2010年粮食作物种植面积29.20万 hm^2 (其中水稻面积为21.84万 hm^2),总产量142.43万t(其中稻谷总产为110.39万t)。水稻生产过程镉的安全性关系到广大人民群众的食物安全和身体健康。为此,笔者通过对湛江市4个主要水稻种植区的水稻生产大田抽样调查与监测分析,研究了湛江水稻大田生产过程中,水稻植株Cd积累和分布的特点,并对其土壤、灌溉水、稻米中Cd含量进行安全性评价,以期为保障农产品生产的安全性监测与评价和无公害农产品的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 采集点设置

湛江市位于我国大陆最南端——雷州半岛。研究区位于雷州半岛西北部的廉江市九州江两岸(六格村、谭福村和新村一带,简称廉江种植区)、遂溪边岭洋(边岭村、新沙村一带,简称遂溪种植区)、雷州半岛中部雷州市的东洋(北洋洋、洋洋、南洋洋村一带,简称雷东种植区)和西洋(东井村、西山村一带,简称雷西种植区)的水稻大田,如图1所示。雷州半岛地处北热带和南亚热带海洋性季风气候区,终年受海洋气候调节,冬无严寒,夏无酷暑;年均气温约 $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量1417~1802 mm,年平均日照时数1817~2106 h,降水多集中在夏秋季节。雷州半岛的地形属于丘陵台地,雷州东西洋的稻田土壤为浅海沉积物发育而成的粘壤土;九州江两岸和遂溪的水稻田是由河流沉积物发育形成的沙壤土。九州江两岸水稻田的灌溉水为九州江,遂溪边岭洋的水稻田灌溉水为来源于鹤地水库的雷州青年运河水,雷州东洋和西洋的水稻田灌溉水为雷州南渡河水。这4个种植区的水稻田间耕作与管理基本上是化肥+农药。

1.2 样品采集及处理

本次研究采样通过卫星影像和实地考察相结合,以成片分布稻田为研究对象,每一种植区大体上按梅

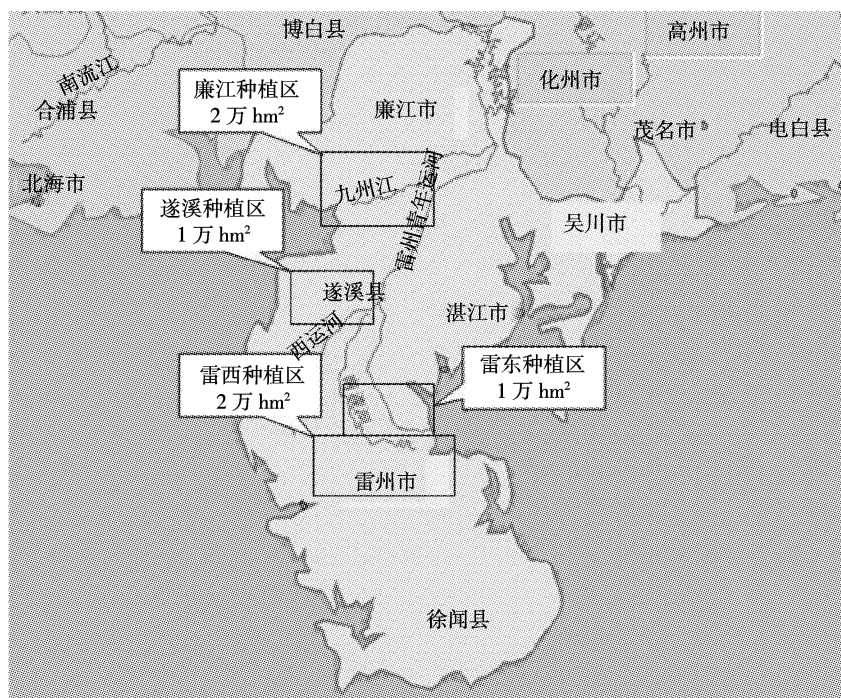


图1 研究区域位置及取样点分布图
Figure 1 Map of research area and sampling sites

花型选择具有代表性的 5 块(样地间的直线距离大于 0.5 km)(共 20 块)稻田为采样区,分别于 2010 年 7 月和 10 月进行田间调查与土壤、水稻植株样品采样。每个样区采用梅花布点法采集土壤表土层样品(0~30 cm),土壤样品经室内自然风干,磨细过 100 目筛备用;在采样区内亦按梅花型随机布置 5 块取样田,分别于早稻(品种为特优 524)和晚稻(品种为博Ⅱ优 15)成熟期,每个样田随机抽取 5 株水稻植株(每个时期的总样品数为 300 株),经清水清洗后,再用去离子水冲洗 3 次,先在 105 ℃烘箱中杀青 10 min,后用 80 ℃烘烤至恒重,冷却后粉碎,粉碎样品存储在牛皮纸袋中保存待测。灌溉水的取样与土壤和水稻植株样品的取样同步进行,在每个采样区的农田灌溉渠道网中随机布置 5 点,取灌溉水样 1 L 于聚乙烯瓶中保存(共 20 瓶)。土壤基本性质见表 1。

表 1 4 个水稻主要种植区的土壤基本性质				
Table 1 Physical and chemical properties of the soil samples collected from four main rice-yield areas				
种植区	有机质/%	碱解氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
遂溪	3.12	145.2	75.6	202.3
廉江	2.18	115.3	65.1	176.4
雷州东洋	2.37	126.5	67.9	181.8
雷州西洋	2.65	130.6	70.5	191.6

1.3 样品分析方法

植株样品中 Cd 元素采用 HNO₃-HClO₄ 湿消化法^[8],制备待测液;土壤样品采用美国国家环保局推荐的 USEPA-3050B 方法^[9]消煮并制备待测液;灌溉水样品经摇匀过滤,滤液用优级纯硝酸配制 3% 酸化液,即为待测液,同时用去离子水配制 3% 硝酸对照液。所有

样品待测液中 Cd 含量均用原子吸收分光光度法(日立 Z2300 型原子吸收分光光度计)测定。以国家标准物质 GBW07604(GSV-3)为内标控制分析质量。

1.4 数据统计分析

本研究的数据所进行的多重比较和作图均按文献[10]的方法和步骤,应用统计分析软件 SAS9.2 在 PC 机上进行。

2 结果与分析

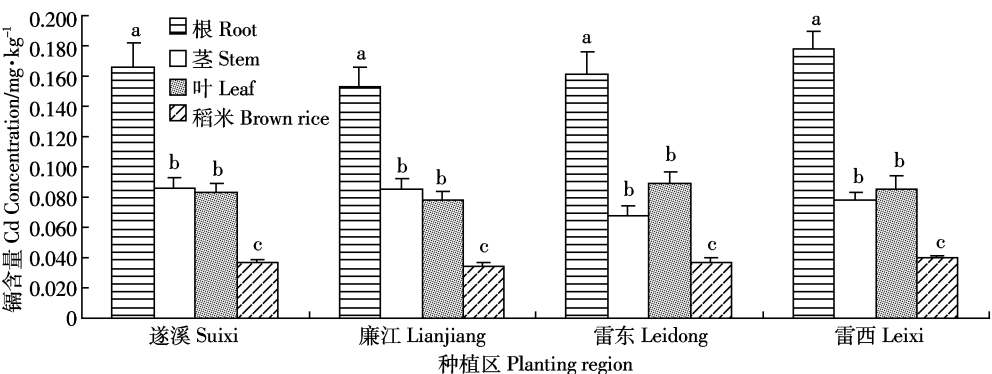
2.1 早稻成熟期植株器官中 Cd 含量

从图 2 可知,湛江水稻的 4 个主要种植区(遂溪、廉江、雷东、雷西)的早稻成熟期水稻根、茎、叶、稻米等器官中 Cd 的平均含量分别为 0.165、0.079、0.089、0.037 mg·kg⁻¹。Cd 在根中的积累量显著地高于茎、叶和稻米,Cd 在稻米中的积累量显著地低于茎、叶,Cd 在茎、叶中的含量水平相当。这一结果表明,早稻成熟期根系是吸收和积累 Cd 的主要植株器官,植株器官对 Cd 的积累水平大致为根>叶>茎>稻米,Cd 在水稻根系中的积累量是稻米中的 4.5 倍。

图 2 同时显示,在 4 个水稻种植区 Cd 在早稻的根、茎、叶和稻米中的积累与含量水平相似,同一植株器官 Cd 含量水平在 4 个种植区间没有明显的差异,表明湛江水稻主产区重金属 Cd 在早稻植株器官中的积累水平基本相同。

2.2 晚稻成熟期植株器官中 Cd 含量

从图 3 可以看出,湛江水稻主产区的遂溪、廉江、雷东、雷西的晚稻成熟期的 Cd 元素在水稻植株器官根、茎、叶中平均积累水平分别为 0.146、0.079、0.086、0.043 mg·kg⁻¹。与早稻一样,Cd 在根中的积累量显著地高于茎、叶和稻米,Cd 在稻米中的积累量显著地低



图中不同字母代表用 Duncan 法测试同一种植区不同水稻器官 5% 水平上的差异显著性(P<0.05)。下同

图 2 早稻成熟期 4 个种植区水稻植株器官 Cd 含量
Figure 2 Cd concentrations in the spring rice organs of four main rice-yield areas at mature stage

于茎、叶,Cd 在茎、叶中的含量水平相当。表明在晚稻成熟期的根系是吸收和积累 Cd 的主要植株器官,其植株器官对 Cd 的富集水平大致为根>叶>茎>稻米,Cd 在水稻根系中的积累量是稻米中的 3.4 倍。

图 3 同时显示,在 4 个水稻种植区 Cd 在晚稻的根、茎、叶和稻米中的积累与含量水平相似,同一植株器官 Cd 含量水平在 4 个种植区间没有明显的差异,表明湛江水稻主产区重金属 Cd 在晚稻植株器官中的积累水平基本相同。

2.3 湛江稻米及其生产环境的安全性评价

由表 2 可知,湛江 4 个水稻主产区的早稻稻米中 Cd 含量为 $0.034\sim 0.040\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,晚稻稻米中 Cd 含量为 $0.036\sim 0.047\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,4 个种植区之间没有显著性差异。该结果与国家粮食卫生标准(GB 2715—2005, Cd 含量为 $<0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[1]对比,仅是国家粮食卫生控制标准值 18.0%~23.5%。这一结果表明,湛江的 4 个主产稻米种植区无论是早稻还是晚稻所生产的稻米,其稻米中的 Cd 含量均远低于国家粮食卫生控制标

准值。

遂溪、廉江、雷州东洋、雷州西洋等湛江主产稻米种植区稻田土壤中 Cd 的平均含量,早稻成熟期分别为: 0.159 、 0.155 、 0.158 、 $0.166\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,晚稻成熟期为: 0.169 、 0.162 、 0.172 、 $0.180\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均达到国家土壤环境质量一级标准(GB 15618—1995)^[12],仍属于自然背景值范围。这 4 个种植区的稻田土壤中 Cd 的含量,无论是在早稻还是在晚稻的成熟期于种植区之间均没有显著性的差异。

表 2 的数据显示,湛江水稻 4 个主产种植区的灌溉水中重金属 Cd 含量范围为 $0.0019\sim 0.0049\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均达到国家农田灌溉水(GB 5084—2005)标准(水田 $\leq 0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的要求。

这 4 个种植区的稻田灌溉水中 Cd 的含量,无论是早稻还是晚稻都是雷东、雷西种植区显著地高于遂溪和廉江种植区。这可能是由于灌溉水来源不同而造成的差异,遂溪种植区的灌溉水来自鹤地水库的运河水,廉江种植区的灌溉水来源于廉江市九州江;雷

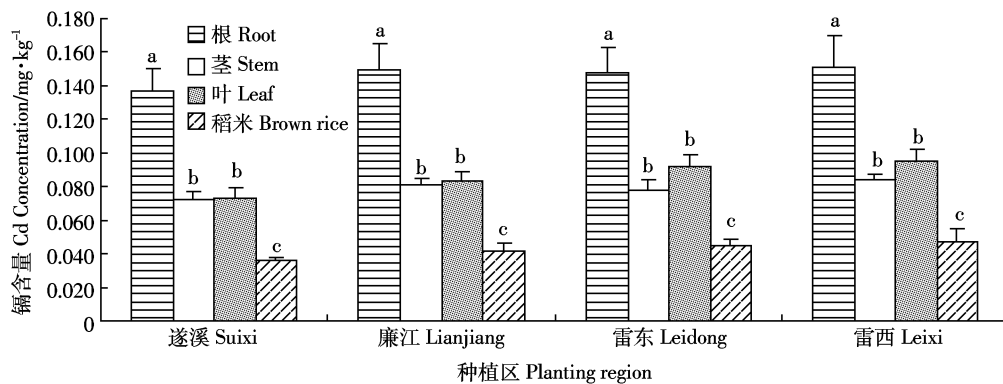


图 3 晚稻成熟期 4 个种植区水稻植株器官 Cd 含量

Figure 3 Cd concentrations in the autumn rice organs of four main rice-yield areas at mature stage

表 2 湛江稻米及其稻田土壤和灌溉水中 Cd 含量和稻田土壤 pH 值

Table 2 Cd concentrations of brown rice, paddy soils and irrigation water in rice producing areas of Zhanjiang as well as the paddy soil pH

	项目 Item	遂溪 Suixi	廉江 Lianjiang	雷东 Leidong	雷西 Leixi
早稻 Spring rice	稻米 Cd/mg·kg ⁻¹	0.037±0.002a	0.034±0.006a	0.037±0.005a	0.040±0.003a
	土壤 Cd/mg·kg ⁻¹	0.159±0.015a	0.155±0.018a	0.158±0.021a	0.166±0.012a
	土壤 pH 值	6.73±0.19a	6.67±0.25a	6.75±0.32a	6.79±0.23a
	灌溉水 Cd/mg·L ⁻¹	0.002 8±0.000 3b	0.001 9±0.000 2b	0.004 1±0.000 4a	0.004 9±0.000 5a
晚稻 Autumn rice	稻米 Cd/mg·kg ⁻¹	0.036±0.002a	0.042±0.004a	0.045±0.004a	0.047±0.007a
	土壤 Cd/mg·kg ⁻¹	0.169±0.015a	0.162±0.018a	0.172±0.021a	0.180±0.016a
	土壤 pH 值	6.71±0.24a	6.74±0.17a	6.71±0.26a	6.81±0.26a
	灌溉水 Cd/mg·L ⁻¹	0.003 0±0.000 4b	0.002 2±0.000 3b	0.004 3±0.000 5a	0.004 7±0.000 5a

注:各项目的数据为平均值±标准差(n=5),同一行不同字母代表用 Duncan 法测试时 5%水平上的差异显著性(P<0.05)。

东、雷西种植区的灌溉水来自于雷州半岛中部的南渡河。南渡河沿岸村庄较为密集,并且近年来有非法的小型电镀厂存在,致使南渡河水中 Cd 的污染风险较大。

3 讨论

在大田生产的条件下,湛江 4 个水稻主产种植区遂溪、廉江、雷州东洋和雷州西洋,其植株器官中 Cd 的含量无论是早稻还是晚稻成熟期均表现为:根中的积累量显著高于茎、叶和稻米,Cd 在水稻根系中的积累量是稻米中的 3.4~4.5 倍;稻米中 Cd 的积累量显著地低于茎、叶,Cd 在茎、叶中的含量水平相当,植株器官对 Cd 的积累水平大致为根>叶>茎>稻米。这一结果再次证明,根系是吸收和积累 Cd 的主要植株器官^[13-15]。

湛江 4 个水稻主产区生产的稻米中 Cd 含量在 0.034~0.047 mg·kg⁻¹,该结果仅是国家粮食卫生标准值(GB 2715—2005,Cd 含量为<0.2 mg·kg⁻¹)的 18.0%~23.5%。根据 UASPA 推荐的 *RfD*(参照摄入量)为 1 μg·kg⁻¹·d⁻¹(Cd),据此计算我国稻米中 Cd 含量的允许值仅为 0.053 mg·kg⁻¹^[16],按这一标准衡量,湛江 4 个主产稻米区所生产稻米中 Cd 的含量仍低于该允许值,表明湛江的 4 个主产稻米种植区所生产的稻米,其 Cd 的含量远低于国家粮食卫生标准(GB 2715—2005)控制值。因此,一般日常食用湛江生产的稻米,其中的重金属 Cd 不会对消费人群的身体产生危害。

遂溪、廉江、雷州东洋、雷州西洋等湛江主产稻米种植区稻田土壤中 Cd 的平均含量为 0.155~0.180 mg·kg⁻¹,均达到国家土壤环境质量一级标准(GB 15618—1995)的要求,仍属于自然背景值范围。这 4 个种植区的稻田土壤中 Cd 的含量,无论是在早稻还是在晚稻的成熟期于种植区之间均没有显著性差异。

湛江 4 个水稻主产区的灌溉水中重金属 Cd 含量的范围为 0.001 9~0.004 9 mg·L⁻¹,均达到国家农田灌溉水(GB 5084—2005)标准(水田≤0.05 mg·L⁻¹)的要求。这 4 个种植区的稻田灌溉水,来自于鹤地水库的运河水和九州江水均优于来自雷州半岛中部的南渡河水,而来自南渡河的灌溉水其 Cd 含量水平虽然还在国家农田灌溉水(GB 5084—2005)标准范围内,但是其最大的 Cd 含量水平已经显著高于鹤地水库的运河水和九州江水。可以认为这一结果表达了南渡河水正被污染的警示,希望政府有关部门重视南渡河

流域的环境保护,采取确实有力的措施保障南渡河水的安全,促进当地农业和经济的可持续性发展。

4 结论

湛江市的 4 个主产稻米种植区(遂溪、廉江、雷州东洋、雷州西洋)水稻生产环境中的土壤 Cd 含量和灌溉水 Cd 含量均达到国家标准的要求。这些水稻种植区所生产的稻米中 Cd 含量远低于国家粮食卫生标准(GB2715—2005)标准值,不存在 Cd 暴露风险。

虽然湛江的 4 个主要水稻种植区的农田土壤和灌溉水中 Cd 的含量均达到国家标准的要求,但是来自雷州南渡河灌溉水显示出已受到 Cd 污染威胁的警示,其 Cd 含量的安全性相对较低,存在潜在 Cd 污染的风险。政府有关的管理机构和科研机构应加强南渡河流域环境安全的管理监测和研究,保证农业生产环境的安全,保障农产品生产安全。

参考文献:

- [1] 甄燕红,成颜君,潘根兴,等. 中国部分市售大米中 Cd、Zn、Se 的含量及其食品安全评价[J]. 安全与环境学报, 2008(1): 119-122.
ZHEN Yan-hong, CHENG Yan-jun, PAN Gen-xing, et al. Cd, Zn and Se content of the polished rice samples from some Chinese open markets and their relevance to food safety[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2008(1): 119-122.
- [2] Bradl H. Heavy metals in the environment: Origin, interaction and remediation[M]. Elsevier: Amsterdam Press, 2005: 5-12.
- [3] Wei B G, Yang L L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China[J]. *Microchemical Journal*, 2010, 94(2): 99-107.
- [4] 赵步洪,张洪熙,奚岭林,等. 杂交水稻不同器官镉浓度与累积量[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(3): 306-312.
ZHAO Bu-hong, ZHANG Hong-xi, XI Ling-lin, et al. Concentration and accumulation of Cd in different organs of hybrid rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20(3): 306-312.
- [5] 张会民,吕家珑,徐明岗,等. 土壤镉吸附的研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2006(6): 8-11.
ZHANG Hui-min, LV Jia-long, XU Ming-gang, et al. Review of studies on cadmium adsorption by soils[J]. *China Soil and Fertilizer*, 2006(6): 8-11.
- [6] Li Q S, Cai S S, Mo C H, et al. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010, 73(1): 84-88.
- [7] Alice Yan. Fears rise over heavy metals in mainland rice [M/OL]. <http://topics.scmp.com/news/china-news-watch/article/Fears-rise-over-heavy-metals-in-mainland-rice>.
- [8] 李坤权,刘建国,陆小龙,等. 水稻不同品种对镉吸收及分配的差异[J]. 农业环境科学学报, 2008, 22(5): 529-532.
LI Kun-quan, LIU Jian-guo, LU Xiao-long, et al. Uptake and distribu-

- tion of cadmium in different rice cultivars[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5):529-532.
- [9] USEPA. USEPA-3050B, Acid digestion of sediments sludge and soils [S]. Washington DC, Usepa, 1996.
- [10] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002:367-386.
- TANG Qi-yi, FENG Ming-guang. DPS data processing system for practical statistics[M]. Beijing: Science Press, 2002:367-386.
- [11] 刘昭兵, 纪雄辉, 王国祥, 等. 赤泥对 Cd 污染稻田水稻生长及吸收累积 Cd 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4):692-697.
- LIU Zhao-bing, JI Xiong-hui, WANG Guo-xiang, et al. Effects of red-mud on rice growth and cadmium uptake in cadmium polluted soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(4):692-697.
- [12] 张 丛, 崔理华. 环境评价教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008:100-143.
- ZHANG Cong, CUI Li-hua. Environmental assessment tutorials[M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2008:100-143.
- [13] 周鸿凯, 何觉民, 陈小丽, 等. 大田生产条件下不同品种水稻植株中镉的分布特点[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(2):229-234.
- ZHOU Hong-kai, HE Jue-min, CHEN Xiao-li, et al. The Cd uptake and distribution features in plant organs of four rice cultivars[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(2):229-234.
- [14] 仲维功, 杨 杰, 陈志德, 等. 水稻品种及其器官对土壤重金属元素 Pb、Cd、Hg、As 积累的差异[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(4):331-338.
- ZHONG Wei-gong, YANG Jie, CHEN Zhi-de, et al. Differences in accumulation and distribution of Pb, Cd, Hg and As in rice cultivars and their organs (*Oryza sativa* L.) [J]. *Jiangsu J Agr Sci*, 2006, 22(4):331-338.
- [15] 曾 翔, 张玉烛, 王凯荣, 等. 水稻植株镉积累分配的差异 [J]. 作物研究, 2006(4):342-344.
- ZENG Xiang, ZHANG Yu-zhu, WANG Kai-rong, et al. Genotype difference in accumulation and distribution of cadmium in rice plant[J]. *Crop Research*, 2006(4):342-344.
- [16] LI Zheng-wen, ZHANG Yan-ling, PAN Gen-xing, et al. Grain contents of Cd, Cu and Se by 57 rice cultivars and the risk significance for human dietary uptake[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(3):112-115.