

低镉累积水稻品种的筛选方法研究——品种与类型

徐燕玲^{1,2,3}, 陈能场², 徐胜光², 周健民², 谢志宜², 李志安¹

(1.中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2.广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650; 3.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:选择6种水稻(*Oryza sativa* L.)(2种常规稻,2种两系杂交稻,2种三系杂交稻,其中均有1种为超级稻)以及上坝镉污染水稻土为材料,采用全生育期淹水和水稻抽穗后排水处理进行盆栽试验,研究了低Cd水稻品种按品种和类型筛选的可行性。结果表明,水稻品种间存在显著差异。水稻对Cd的吸收及籽粒积累依水分管理和品种而变化,水分管理影响远远高于基因型影响。在两种水分管理中,水稻品种间精米Cd含量的排名顺序基本一致,从而表明在低污染水平土壤上,水稻对Cd的累积品种间存在一定的稳定性。而水稻类型间Cd含量没有显著差异,因此按照水稻类型来筛选是不可行的,应针对品种来筛选并对筛选出来的稳定的品种进行重点研究。抽穗后排水处理的水稻对Cd的吸收与籽粒积累十分强烈,就地消费人群的籽粒Cd暴露风险水平达到数倍于临界摄入量水平。因此,在Cd污染土壤中栽培必须考虑水分管理对水稻吸收Cd的影响与籽粒Cd的暴露风险。

关键词:水稻;籽粒;镉;品种;类型;水分管理

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)07-1346-07

Breeding Rice Cultivars with Low Accumulation of Cadmium: Cultivars Versus Types

XU Yan-ling^{1,2,3}, CHEN Neng-chang², XU Sheng-guang², ZHOU Jian-min², XIE Zhi-yi², LI Zhi-an¹

(1.South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2.Guangdong Institute of Eco-Environmental and Soil Science, Guangzhou 510650, China; 3.Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A pot experiment was conducted with 6 rice genotypes in the spring of 2008 to study the feasibility of selecting or breeding rice cultivars with constantly low accumulation of Cd based on cultivars and types. All the rice genotypes were grown within two different water managements, under continuous submerging condition (2~3 cm) and pot drainage from heading to harvest stages. The results showed that cadmium (Cd) concentrations varied among cultivars, and the order of Cd concentrations almost identical for both submerged and drainage treatments, indicating that screening cultivars for low levels of Cd concentrations in rice grains are a practical method to control the food chain pollution. Both water management patterns and different cultivars had remarkably influenced the concentrations of Cd in rice grains, and characterized that the contribution of water management to the total variation was much larger than the genotype factor, indicating that the predominance of water management was related to the grain Cd concentration. The selection by rice types did not work out as there were no significantly differences between the types. It is suggested that in order to control the human Cd exposure by diet, an appropriate water management approach under the continuous submerging condition, especially at the later stages of rice growth where soils are polluted with Cd, and a combination of rice varieties of low Cd in rice grains with effective water management, would produce safe rice grains in low-level Cd polluted soils.

Keywords: rice (*Oryza sativa* L.); grain; cadmium (Cd); cultivar; type; water management

近年来,由于污水灌溉、污泥农用及含有重金属的农药、化肥的不合理使用,水稻(*Oryza sativa* L.)的

重金属污染^[1],特别是镉污染日趋严重,极大地影响着农业生产的可持续发展和人类的生存环境质量^[2]。

镉(Cadmium, Cd)是毒性最强的重金属元素之一^[3],在环境中活性较强^[4],在土壤-植物系统中具有很强的迁移能力。往往在不影响植物正常生长的情况下,植物可累积较高浓度的镉,然后通过食物链进入人体,引起健康问题^[5]。镉在人体中的富集不仅会引起

收稿日期:2008-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(30571117);广东省科学院野外工作
台站基金“农业污染土壤的环境修复综合技术”(syzt2006004)

作者简介:徐燕玲(1983—),女,广东省广州市人,硕士研究生,专业为
环境生态学。E-mail:ylxu@soil.gd.cn

通讯作者:陈能场 E-mail:ncchen@soil.gd.cn

贫血、高血压、肾损害以及对生殖细胞的选择性毒害,还会使骨骼生长代谢受阻^[6]。如世界闻名的骨痛病就是典型的例证,1955 年至 20 世纪 70 年代初,在日本富山市神通川流域曾因大米镉污染引起第二大公害病——“骨痛病”,期间先后有近 100 人因此而死亡。

水稻是我国第一大粮食作物,水稻具有大量吸镉的特性,有时生长并未受到影响,但糙米的含镉量却已超过卫生标准数倍,甚至 10 多倍^[7],直接影响我国的粮食安全。土壤-水稻系统重金属污染问题已成为一个重要的研究领域^[8]。稻田镉污染的治理目标,不仅是抑制镉对水稻的毒害和提高其产量,更重要的是减少水稻对镉的吸收,抑制其进入食物链。

大量研究表明,不同水稻品种由于遗传上的差异,对稻田镉的吸收存在很大差异^[7,9-21]。因而研究者都认为在轻、中度污染地区,通过选育镉低积累水稻品种可以将水稻籽粒的镉浓度控制在允许范围。不少研究表明水稻籽粒中镉含量不仅在品种间达显著差异,而且在水稻的品种类型间也达显著性差异^[7,17-21],但是研究结果之间多有差异与矛盾之处。王凯荣等^[17]的水培试验结果表明,杂交水稻(遗传性状不稳定的基因型)比常规水稻(有稳定遗传特性的基因型)对镉有更强的吸收能力。吴启堂等^[7]和李正文^[18]也报道了相似的结果。李正文^[18]还认为特种稻(黑米、红米)镉含量较低。但李坤权等^[19]认为常粳品种籽粒对镉的积累能力并不比杂粳低。而仲维功等^[20]最近对 43 个不同类型水稻品种的研究发现,精米对镉的富集能力:常规粳稻>杂交粳稻>常规粳稻。曾翔等^[21]研究结果表明 7 种类型水稻糙米对镉的积累能力从大到小依次为:特种稻、常规早粳稻、三系杂交晚稻、两系杂交晚稻、常规晚粳稻、常规粳稻、爪哇稻。那么面对这些差异,根据类型筛选是否可行?

本文主要研究了水分管理这一环境因素对于水稻品种间镉累积差异及差异稳定性的影响,从而讨论了品种筛选方法的可行性,并分析了根据类型筛选的可行性问题。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于 2008 年在广东省生态环境与土壤研究所的盆栽场内进行。

供试土壤为受大宝山矿区污染的红壤性水稻土,于 2008 年 3 月 5 日采自广东省韶关市翁源县上坝村。土壤均采自耕层 0~20 cm,运回实验室后经风干,

磨碎,过 2.5 mm 孔径筛,充分混匀备用。另取部分磨碎,过 1 mm 和 0.149 mm 尼龙筛测定其基本理化性质(表 1)。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of studied soil

pH	有机质/%	全 Cd/mg·kg ⁻¹	有效 Si/mg·kg ⁻¹
4.64	2.28	0.60	68.03

1.2 盆栽试验

供试作物为分别取自华南农业大学农学院和广东省农科院水稻所的 6 种水稻(表 2)。

表 2 供试水稻品种

Table 2 The rice genotype

品种	代码	类型	日期(月/日)
培杂泰丰	1	两系杂交(超级稻)	播种:03/15 移栽:04/07 收获:07/13
玉香油占	2	常规稻(超级稻)	
天优 998	3	三系杂交(超级稻)	
杂培 163	4	两系杂交稻	
天优 2168	5	三系杂交稻	
胜巴丝苗	6	常规稻	

注:移栽时期:水稻秧苗为三叶一心时。

水稻盆栽试验在移栽前 1 周装盆,装入内径 17 cm、高 20 cm 的塑料盆,每盆装土 4.5 kg,再按每千克土施加 0.10 g N、0.10 g P₂O₅、0.10 g K₂O,分别以尿素、磷酸二氢钾和氯化钾形式施入,作为基肥,与土重新混匀后泡水。稻种催芽后,先在无污染的稻田育秧,22 d 后将带蘖秧苗移栽到塑料盆内,每盆插秧 3 株。移栽后盆钵土面上保持 2~3 cm 水层。

设置两个处理:全生育期淹水处理,水稻抽穗(2008 年 6 月 17 日)后进行排水处理。试验完全随机设计,设 3 个重复。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 样品的采集

待水稻成熟后,先移出盆钵,使植株脱离土壤,采集根际土,然后先用自来水小心洗净根系泥土,再用去离子水清洗整个植株,分离为根、茎叶、穗粒等不同器官,105 ℃杀青 20 min,70 ℃烘干。穗粒脱壳,分为精米和谷壳。分别将根、茎叶、精米和谷壳粉碎,过 0.25 mm 尼龙筛,供化学分析用。根际土经研磨后,分别过 1 mm 和 0.149 mm 尼龙筛,供化学分析用。

1.3.2 样品分析

植株 Cd 含量分析:采用 HNO₃-HClO₄(3:2,V:V)混合酸消化,参照鲁如坤推荐的方法^[22]。称取粉碎的植

株样品 0.5 g 左右,置于 50 mL 三角瓶中,加入 10 mL 混合酸,冷消化过夜。次日,将烧杯置于电热板上,先低温(100 V 左右)消煮 1 h,后高温(200 V 左右)砂浴消化至溶液颜色变为无色并冒白烟后,再继续蒸发至体积 2 mL 左右,冷却,加 20%稀硝酸 2 mL,溶解沉淀,定容至 25 mL 容量瓶。土壤有效态 Cd、Fe、Mn 的测定:称取通过 1 mm 筛的风干土 10.00 g 放入 100 mL 塑料广口瓶中,加 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$ 50 mL,25 °C 振荡 1.5 h,参照鲍士旦推荐的方法^[23]。植物样消煮液以及根际土提取液采用石墨炉原子吸收光谱法(北京普析 TAS986)测定 Cd。Fe 和 Mn 采用原子吸收分光光度计测定(北京瑞利 WFX-130),消化和测定中所用试剂均为 GR 级。以国家标准物质 GBW(E)080684(大米镉标准物质, $0.009 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)为内标控制分析质量。pH 值测定:pH 计(上海英格 pHs-25)。

1.4 数据统计与分析

分析结果进行平均值和标准差统计,统计检验采用 SPSS for Windows 11.0 软件。

2 结果与讨论

2.1 根据品种进行筛选的可行性

2.1.1 品种间精米镉含量差异

对淹水处理和排水处理内的水稻品种间精米镉含量差异分别进行单因素方差分析,结果表明淹水处理内的品种间精米镉含量差异极显著($P < 0.01$),而排水处理下也有显著差异($P < 0.05$)。这表明有可能通过品种筛选方法获得低镉品种从而种植在中、低度镉污染的土壤上以达到粮食安全生产要求。

从根、稻秆、精米、谷壳的镉含量之间的皮而森相关关系结果中可以看出(表 3),无论排水还是淹水处理下,根的镉含量与其他 3 个器官的镉含量均具有显著或极显著正相关性。而稻秆与精米和谷壳均没有显著相关性。但精米与谷壳的镉含量具有极显著相关性。

由此看来,水稻植株地上部的镉含量主要取决于根系从土壤中吸收的镉量。在同一土壤上,高镉水稻品种的根系吸收更多的镉,并向地上部运输更大的比例。而根系间吸收镉的差异可能取决于根系的能力以及根系与土壤环境的交互作用^[11]。而精米间镉含量的差异则不仅取决于根系镉含量,还取决于镉在籽粒中的分配,这说明镉在水稻不同器官中的分配比例因水稻的品种不同而有显著差异^[15]。因此对于低镉水稻品种的选育不仅应注重水稻植株的吸收量而且应注重

表 3 在 2 个水分处理内水稻各器官间 Cd 的皮尔森相关关系

Table 3 Pearson correlation coefficients between grain and straw, hull, root

项目	精米 Cd		稻秆 Cd		谷壳 Cd	
	淹水	排水	淹水	排水	淹水	排水
根 Cd	0.840**	0.491*	0.593**	0.505*	0.677**	0.498*
精米 Cd			0.405	0.236	0.901**	0.631**
稻秆 Cd					0.169	-0.005

注:* 和 **,分别表示达 5%和 1%水平的显著标准。

镉在籽粒与茎之间的分配问题。

2.1.2 水分管理对品种间镉含量差异及差异稳定性的影响

从表 4、图 1 以及方差分析结果我们可以得出,排水处理下精米镉含量极显著高于淹水处理的镉含量。淹水处理下,6 个品种的精米镉含量均低于 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 这一国家粮食限量标准。排水处理下的精米镉含量均高于 $0.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其平均值是淹水处理的 5 倍多。可见,在镉污染土壤中水稻抽穗后排水处理具有极大的粮食安全隐患,应加强对水稻水分管理的研究,从而找出有利于水稻精米低镉吸收的水分管理方法。研究结果同时还表明,水稻抽穗后这一时期对于精米的镉含量具有很大影响。根据单因素方差分析,不同水分处理间精米、谷壳、根的镉含量均有极显著差异($P < 0.01$)(排水处理显著高于淹水处理),而稻秆镉含量、地上部镉含量以及根际土有效镉含量(表 5)、pH 值均没有显著差异($P > 0.05$)。可见,不同水分管理下,精米的镉含量差异并不是由于 pH 或者有效态镉含量的变化。但淹水处理的水稻根际土有效态 Fe、Mn(表 5)显著高于排水处理($P < 0.05$)。这与纪雄辉等^[24]研究结果不尽相同,其研究表明,酸性稻田土壤实行长期淹水管理主要是通过降低土壤氧化还原电位来增加土壤中的还原态铁、锰等阳离子和 S^{2-} 等阴离子,以及在淹水后逐渐升高的 pH 作用下,加剧了土壤中这些还原态阳离子与 Cd 的竞争吸附,和还原态阴离子与 Cd 的共沉淀作用,从而达到降低水稻糙米中 Cd 含量的目的。

而随着排水处理下精米镉含量的增加,品种间的差异有被削弱之势,不仅 P 值增加,而且 CV%、Max/min 的值也是明显低于淹水处理的。

尽管 Yu 等^[16]和 Grant 等^[25]均认为水稻对镉的吸收量是基因型控制的,而且这一遗传性状比较稳定。但是根据前人研究结果间的差异与矛盾,可以推断水稻籽粒对镉的吸收与累积是植株与环境因素相互作用

表 4 2 个不同水处理间的精米镉含量比较

Table 4 Difference between two water treatments in grain Cd concentration

水分管理	Mean/mg·kg ⁻¹	Min/mg·kg ⁻¹	Max/mg·kg ⁻¹	CV/%	Max/Min
淹水处理	0.089	0.036	0.151	47.14	4.24
排水处理	0.449	0.364	0.577	18.16	1.59

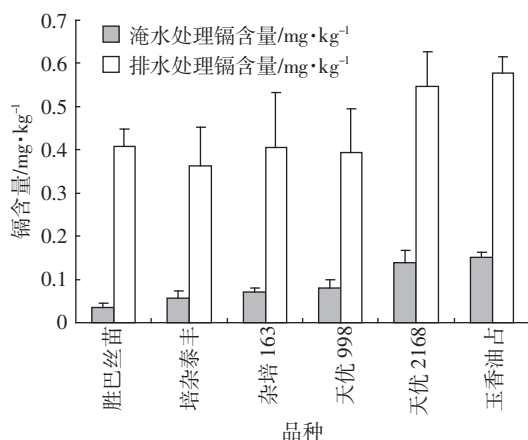


图 1 2 个不同水处理间的精米镉含量比较

Figure 1 Cd concentrations of rice grains in two water treatments

用的结果。而大量的研究也表明水稻品种间籽粒对镉吸收量的稳定性受到环境的挑战^[13-14, 26-28]。影响水稻籽粒镉含量稳定性的环境因素包括季节、地点(土壤镉含量、土壤类型、土壤 pH 值等),而管理措施则通过影响环境因素而间接影响水稻籽粒中的镉含量。

两个水分处理下的 6 个品种的分差分析结果表明(表 6),品种、水分处理对于精米的镉含量都有极显著差异($P<0.01$)。这与柯庆明^[13]、邵国胜^[26]以及程旺大等^[27]的研究结果相似,他们认为水稻籽粒的镉含量受水稻品种的基因型、环境、基因型和环境互作 3 个方面的影响。但本试验中,水分管理与基因型的互作对精米镉的效应未达显著水平。计算每一个变量的方

差占总方差的比例,水分处理的方差比例最大,为 82.78%,而品种所占的比例远远小于水分处理占总方差的比例,仅为 9.46%。可见相对于品种,水分处理对于精米镉含量的控制力更大。从而表明在本试验中,精米镉含量的差异主要取决于水分管理。

无论是高镉还是低镉品种,水稻籽粒中的镉含量均会受到管理措施的影响^[29]。在酸性镉污染土壤中选择或种植低镉品种水稻的同时,应注重采取淹水处理^[14, 29]来降低水稻对镉的吸收。选用低镉品种并结合降低镉累积量的管理措施将更为有效地减少镉进入食物链中。

由表 7 多重比较可以看出,淹水处理与排水处理的精米镉含量的排名顺序虽然没有完全一致,但是考虑到差异是否显著这一因素,淹水处理与排水处理下的精米镉含量的排名是没有区别的。而且含量最高的两个品种,玉香油占、杂培 163 是完全一致的,在两个水分处理中均分别处于第一、第二的位置。由此可见,虽然水分管理的方差值占总方差的比例要远远大于品种,但是品种间的差异及排名没有受到水分管理的影响,保持了一定的稳定性,因此根据基因型差异对

表 6 水稻基因型、水分处理及其交互作用对精米镉含量效应的方差分析

Table 6 ANOVA results of G, WT and G × WT effects for Cd concentration of rice grains

Source	SS	MS	F
G	0.133	0.027	7.07**
WT	1.164	1.164	309.40**
G × WT	0.019	0.004	0.10
Error	0.090	0.004	
Total	1.406		

注:**表示达 1%水平的显著标准。G:基因型; WT:水分管理; G × WT:基因型与水分管理的交互作用

表 5 水稻根际土有效 Cd、Fe、Mn 含量

Table 5 Cd, Fe and Mn concentrations in rhizosphere soil

品种	Cd/mg·kg ⁻¹		Fe/mg·kg ⁻¹		Mn/mg·kg ⁻¹	
	淹水处理	排水处理	淹水处理	排水处理	淹水处理	排水处理
胜巴丝苗	0.336±0.019	0.346±0.010	146.160±12.985	107.451±7.450	15.616±1.155	11.529±0.562
培杂泰丰	0.347±0.010	0.359±0.024	155.188±9.019	115.185 1±2.705	16.656±2.002	8.455±1.789
杂培 163	0.352±0.020	0.391±0.026	135.396±18.095	126.789±28.790	12.250±0.960	10.070±0.405
天优 998	0.376±0.009	0.386±0.010	103.206±40.177	95.388 3±5.488	16.063±3.011	10.407±1.177
天优 2168	0.388±0.021	0.379±0.014	134.730±10.280	88.004±17.973	12.879±2.858	7.543±2.173
玉香油占	0.411±0.023	0.408±0.029	197.021±31.907	112.283±6.884	18.900±2.934	9.751±0.630
平均值	0.368	0.378	145.284	107.517	15.394	9.626

表 7 精米镉含量品种间多重比较(SSR 法,即Duncan 法)

Table 7 Multiple comparison of grain Cd among genotypes

水分处理	品种	平均值/mg·kg ⁻¹	差异显著性	
			$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
淹水处理	6	0.035 7	a	A
	1	0.057 6	ab	AB
	4	0.071 8	b	AB
	3	0.080 5	b	B
	5	0.140 0	c	C
	2	0.151 2	c	C
排水处理	1	0.363 9	a	A
	3	0.394 2	ab	A
	4	0.404 4	ab	A
	6	0.408 2	ab	A
	5	0.547 0	bc	A
	2	0.577 1	c	A

于品种进行筛选是可行的。

2.2 根据水稻类型进行筛选的可行性

按照 3 种类型分类对试验的 6 个品种进行分类:(1)按品种分类:常规稻和杂交稻;(2)按产量分类:超级稻和非超级稻;(3)把杂交稻再进行分类:两系杂交稻和三系杂交稻。分别对每一个类型与精米 Cd 含量进行单因素方差分析。结果表明,无论是淹水处理还是排水处理下,任一类型内类别间精米 Cd 含量均没有显著差异($P>0.05$)。

不少研究注重籼稻和粳稻间的精米镉含量差异。籼稻和粳稻属亲缘关系较远、在植物分类学上已成为相对独立的两个亚种,因此两类别间的精米镉含量的基因型差异比较大。但籼稻和粳稻主要是由于地理分布的不同,若把其放在同一地方进行研究,研究结果对于两种水稻类别的公平性有待考虑。

而且根据前面的总结,在不同的试验条件下(主要是环境以及选取的品种不同),前人对于水稻品种类别间差异的研究结果多有差异与矛盾之处,因此通过研究类别间的差异来筛选很难得到一致的结果。因为水稻各种类型的分类与镉低积累、高积累这一分类方法是不吻合的,很难找到交集。譬如,常规稻、杂交稻的分类是根据基因是否纯合来进行的,而镉低积累和高积累品种是根据水稻对镉的吸收特性来划分的,如果为了筛选方便,硬要把低镉、高镉吸收品种与常规稻、杂交稻归并在一起,是很牵强。但针对品种的筛选,根据不同的文献报道的结果,可以总结得出了一些稳定的相对低积累水稻品种,例如武育梗 3 号^[10,18,30-31]、武育梗 7 号^[11-12,32]。在 Arao 和 Ishikawa^[15]的研究中,

NIPPONBARE 品种在两种土壤中两年均属于籽粒最低镉含量系列,LAC23 以及 HU-LO-TAO 品种在两种土壤中也都处于籽粒最低镉含量系列。尽管生活在不同的环境(不同的试验条件),而汕优 63^[7,10-12,18,30,32]、两优培九^[10,17-18]一致被认为属于高积累水稻品种,对镉较敏感。因此对于筛选出来的稳定的品种,应加强对其研究,找出根本原理。

3 结语

人口增长以及耕地减少导致大面积的污染土地仍被利用作农事生产。因此能否在中低污染程度的土壤上种植低镉累积的安全水稻越来越受到关注。而大量的研究发现,水稻对镉的吸收和累积存在基因型差异,从而表明有可能培育或筛选出适用于污染土壤上的低镉含量的水稻品种。但大多数的研究是水培试验或者外加 Cd 盆栽试验,而且很少同时考虑环境与基因型效应。本试验结果表明水分管理这一环境因素对于水稻吸收和累积 Cd 含量的效应要远远大于基因型效应。但在两个水分处理中,水稻品种间镉含量的排名顺序基本保持一致。大量研究还报道了水稻类别间存在的籽粒对镉累积的差异,然而对于类型的筛选研究结果因试验条件不一(其实就是环境因素不同)多有差异甚至矛盾,而本试验中类别间镉含量没有显著差异。因此进行类型的筛选意义不大,而对于筛选出来的稳定的品种进行重点研究,就显得尤为重要。

排水处理的精米镉含量是淹水处理的 5 倍多。由此看来,种植低镉水稻品种的同时结合限制镉累积的管理措施的应用将更能有效地降低 Cd 进入食物链。以后需要加强水分管理等环境因素对水稻镉含量的影响机理研究。

水稻植株地上部的镉含量主要取决于根系从土壤中吸收的镉量,而精米间镉含量的差异还取决于镉在籽粒中的分配。水稻对镉的吸收、转运、累积的机理以及水稻镉吸收基因型差异原理和基因性稳定问题有待进一步探索。

参考文献:

- [1] Alloway B J, Steinnes E. Anthropogenic additions of cadmium to soils[M]. //Mclaughlin M J, Singh B R, (Eds.). Cadmium in Soils and Plants, 1999:97-123.
- [2] Jarup L, Berglund M, Elinder C G, et al. Health effects of cadmium exposure—a review of the literature and a risk estimate[J]. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 1998, 24(1):1-51.
- [3] Antonoviics I, Bradshaw A D, Turner R C. Heavy metal tolerance in plants[J]. *Advances in Ecological Research*, 1971(7):1-85.

- [4] 顾继光, 林秋奇, 胡 韧, 等. 土壤-植物系统中重金属污染的治理途径及其研究展望[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 128-133.
GU Ji-guang, LIN Qiu-qi, HU Ren, et al. Heavy metals pollution in soil-plant system and its research prospect[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(1): 128-133.
- [5] Jackson A P, Alloway B J. The transfer of cadmium from agricultural soils to the human food chain[M]//Adriano D C (Ed.). *Biogeochemistry of Trace Metals*. 1992: 109-158.
- [6] 张桃英, 赵连佳. 北京市海淀区市场销售猪肾中镉含量情况调查[J]. 现代预防医学, 2007, 34(1): 16-19.
ZHANG Tao-ying, ZHAO Lian-jia. Investigation on cadmium in pig kidney on sale in Haidian District of Beijing[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2007, 34(1): 16-19.
- [7] 吴启堂, 陈 卢, 王广寿. 水稻不同品种对 Cd 吸收累积的差异和机理研究[J]. 生态学报, 1999, 1(1): 104-107.
WU Qi-tang, CHEN Lu, WANG Guang-shou. Differences on Cd uptake and accumulation among rice cultivars and its mechanism[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 1(1): 104-107.
- [8] Wei S Q, Jarvis N. Modelling of cadmium transport in soil-crop system[J]. *Pedosphere*, 2000, 10(1): 1-9.
- [9] 蒋 彬, 张慧萍. 水稻精米中铅镉含量基因型差异的研究[J]. 云南师范大学学报, 2002, 22(3): 37-40.
JIANG Bin, ZHANG Hui-ping. Genotypic differences in concentrations of plumbum, cadmium and arsenicum in polished rice grains[J]. *Journal of Yunnan Normal University*, 2002, 22(3): 37-40.
- [10] Arao T, Ae N. Genotypic variation in cadmium levels of rice grain[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2003, 49(4): 473-479.
- [11] Liu J G, Liang J S, Li K Q, et al. Correlations between cadmium and mineral nutrients in absorption and accumulation in various genotypes of rice under cadmium stress[J]. *Chemosphere*, 2003, 52(9): 1467-1473.
- [12] Ishikawa S, Ae N, Sugiyama M, et al. Genotypic variation in shoot cadmium concentration in rice and soybean in soils with different levels of cadmium contamination[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2005, 51(1): 101-108.
- [13] 柯庆明, 梁康迳, 朱 燕, 等. 基因型与环境互作对食用稻米重金属积累特性遗传相关性的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 24-27.
KE Qing-ming, LIANG Kang-jing, ZHU Yan, et al. Interactive effect of genotype and environment on the genetic covariance of characterization of heavy metal accumulation in edible rice grain (*Oryza sativa* L.)[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 14(1): 24-27.
- [14] Murakami M, Ae N, Ishikawa S. Phytoextraction of cadmium by rice (*Oryza Sativa* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), and maize (*Zea Mays* L.)[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 145(1): 96-103.
- [15] Arao T, Ishikawa S. Genotypic differences in cadmium concentration and distribution of soybeans and rice[J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2006, 40(1): 21-30.
- [16] Yu H, Wang J, Fang W, et al. Cadmium accumulation in different rice cultivars and screening for pollution-safe cultivars of rice[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 370(2-3): 302-309.
- [17] 王凯荣, 龚惠群. 两种基因型水稻对环境镉吸收与在分配差异性比较研究[J]. 农业环境保护, 1996, 15(4): 145-149, 176.
WANG Kai-rong, GONG Hui-qun. Study on the effect of heavy metal contamination to rice quality[J]. *Agro-Environmental Protection*, 1996, 15(4): 145-149, 176.
- [18] 李正文, 张艳玲, 潘根兴, 等. 不同水稻籽粒 Cd、Cu 和 Se 的含量差异及其人类膳食摄取风险[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 112-115.
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]. *Environment Science*, 2003, 24(3): 112-115.
- [19] 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, 2003, 22(5): 529-532.
LI Kun-quan, LIU Jian-guo, LU Xiao-long, et al. Uptake and distribution of cadmium in different rice cultivars[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(5): 529-532.
- [20] 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 Journal of Agricultural Science*, 2006, 22(4): 331-338.
- [21] 曾 翔, 张玉烛, 王凯荣, 等. 不同品种水稻糙米含镉量差异[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 67-69, 83.
ZENG Xiang, ZHANG Yu-zhu, WANG Kai-rong, et al. Genotype difference of brown rices in Cd content[J]. *Journal of Ecology Rural Environmental*, 2006, 22(1): 67-69, 83.
- [22] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 325-336.
LU Ru-kun. Chemical analysis method of soil agriculture[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 325-336.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 116-151.
BAO Shi-dan. Chemical analysis method of soil agriculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 116-151.
- [24] 纪雄辉, 梁永超, 鲁艳红, 等. 污染稻田水分管理对水稻吸收积累镉的影响及其作用机理[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3930-3939.
JI Xiong-hui, LIANG Yong-chao, LU Yan-hong, et al. The effect of water management on the mechanism and rate of uptake and accumulation of cadmium by rice growing in polluted paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3930-3939.
- [25] Grant C A, Clarke J M, Duguid S, et al. Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation[J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 390(2-3): 301-310.
- [26] 邵国胜. 水稻镉耐性和积累的基因型差异与机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
SHAO Guo-sheng. Genotypic differences in cadmium tolerance and accumulation in rice and its mechanisms[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [27] 程旺大, 张国平, 姚海根, 等. 晚粳稻籽粒中 As、Cd、Cr、Ni、Pb 等重金属含量的基因型与环境效应及其稳定性[J]. 作物学报, 2006, 32(4): 573-579.
CHENG Wang-da, ZHANG Guo-ping, YAO Hai-gen, et al. Genotypic

- and environmental variation and their stability of As, Cr, Cd, Ni and Pb concentrations in the grains of japonica rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4):573-579.
- [28] Cheng F M, Zhao N C, Xu H M, et al. Cadmium and lead contamination in japonica rice grains and its variation among the different locations in southeast China[J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 359(1-3):156-166.
- [29] Grant C A, Bailey L D, McLaughlin M J, et al. Management factors which influence cadmium concentration in crops[M]//McLaughlin M J, Singh B R(Eds.). *Cadmium in Soils and Plants*, 1999:151-198.
- [30] 宋阿琳, 姜运生, 梁永超. 不同水稻品种对铜镉的吸收与耐性研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9):408-411.
- SONG A-lin, LOU Yun-sheng, LIANG Yong-chao. Research on copper and cadmium uptake and tolerance in different rice varieties[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(9):408-411.
- [31] 陈志德, 仲维功, 杨杰, 等. 不同水稻品种在 Cd、As 和 Hg 胁迫下的吸收积累特性[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2):389-393.
- CHEN Zhi-de, ZHONG Wei-gong, YANG Jie, et al. Response characteristics of different rice cultivars under Cd, As and Hg stress[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(2):389-393.
- [32] 王英, 李正文, 贺紫荆. 不同水稻品种积累镉的差异及其动态变化[J]. 广西农业生物科学, 2007, 26(增刊):82-85.
- WANG Ying, LI Zheng-wen, HE Zi-jing. Difference and dynamics of Cd uptake in four rice cultivars[J]. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science*, 2007, 26(sup.):82-85.

“第三届全国农业环境科学学术研讨会” 征文通知

第三届全国农业环境科学学术研讨会拟于 2009 年 10 月中旬在天津召开。大会将对我国近年来农业环境科学各个领域的最新研究成果进行交流,现将有关征文等事项通知如下:

一、论文征集范围

- (1)农业面源污染与控制:农用化学品、畜禽养殖、水体环境等方面;
- (2)土壤污染与修复:重金属、有机及无机、放射性污染等土壤的修复理论与技术;污染物在区域土壤中的空间变异规律研究;农业环境污染监测与农田环境污染风险评价;农业环境污染监控与预警的新技术等;
- (3)污染生态过程及控制:环境污染物在植物、畜禽、水产、微生物等方面的迁移转化过程的研究及其控制。
- (4)农药残留:农药科学使用及安全性评价、残留快速测定技术的研究及应用等;
- (5)固废处理及资源化:农业有机固体废物、秸秆、畜禽粪便等处理及资源化利用;
- (6)全球气候变化与农作物适应性调整;
- (7)其他有关农业环境科学领域(如农业环境影响评价、水土保持等等)的新理论、新技术及新方法研究。

二、论文要求

- (1)论文应是未公开发表或未在全国性学术会议上交流的学术论文;
- (2)论文请用 Word 格式录入,并通过网上投稿,投稿前须严格审查,文责自负;
- (3)论文格式请按《农业环境科学学报》征稿简则的要求撰写;
- (4)截稿日期:2009 年 9 月 10 日;
- (5)投稿信箱:E-mail:caep@vip.163.com(来稿请务必注明“学术会议论文”)。

审阅合格的论文编入《第三届全国农业环境科学学术研讨会论文集》,入选 CNKI《中国重要会议论文全文数据库》。此次收录的论文均可公开发表(本着作者自愿,版面费自理),研讨会上评选的优秀会议论文将集中刊登在《农业环境科学学报》正刊上,其他论文可刊登在《农业环境科学学报》增刊上。

三、会议详细事宜可在中国农业生态环境保护协会网站上、《农业环境科学学报》等相关网站上查询。拟参加会议交流者可将会议回执表在 2009 年 8 月 30 日前寄至《农业环境科学学报》编辑部,以便寄发第二轮通知。

四、联系方式

通讯地址:300191 天津市南开区复康路 31 号《农业环境科学学报》编辑部

联系人:李无双 潘淑君

电话:022-23674336 022-23006209 13920028209(潘淑君)

传真:022-23006209 E-mail:caep@vip.163.com <http://www.aes.org.cn>