

不同阻控剂阻控重度 Cd 污染区水稻富集 Cd 的效果

龙思斯¹ 宋正国² 雷鸣^{1*} 喻理¹ 王艺康¹ 蒋宏芳³

(¹ 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; ² 农业部产地环境质量重点实验室/天津市农业环境与农产品安全重点实验室, 天津 300191; ³ 湖南安邦新农业科技股份有限公司/湖南省安邦农业研究院, 湖南 衡阳 421200; 第一作者: 358719093@qq.com;

* 通讯作者: leiming8297@163.com)

摘 要:在湖南省衡阳县某重度 Cd 污染的农田上种植早稻品种株两优 819, 开展石灰、基施硅肥、叶面锌肥、叶面硅肥和自配阻控剂等 5 种材料降低水稻镉含量的效果研究。结果表明, 5 种阻控剂对株高的影响不显著($p>0.05$), 但对产量的影响均达显著水平($p<0.05$); 与对照相比, 5 种阻控剂均能降低糙米中 Cd 的含量, 其中叶面锌肥的降 Cd 效果最明显, 降 Cd 效率为 46.43%, 其次为自配阻控剂和基施硅肥, 降 Cd 效率分别为 39.29% 和 39.28%, 均达到国家粮食安全标准值。

关键词:水稻; 镉; 阻控剂; 土壤; 重度污染区

中图分类号: S511.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)03-0030-05

重金属镉(Cd)属于有害元素之一, 自然环境中含量较少, 但由于其活性较强, 容易被作物尤其水稻吸收且积累, 不仅严重威胁粮食生产安全, 而且通过食物链危害人体健康, 日本的“痛痛病”就是典型案例。研究表明, 在重金属污染区种植水稻, 存在 Cd 污染风险^[1]。据报道, 2004-2013 年我国共发生 19 件“镉污染事件”。雷鸣等^[2]调查研究结果发现, 矿区稻米中 Cd 的含量显著比其他地区高。2013 年 5 月“镉大米事件”经过媒体报道后, 湖南省粮食的销售量急剧下降。因此, 有必要采用一些措施降低水稻中镉的含量, 尤其是在重金属污染区, 以确保湖南的粮食安全生产。本试验在阻控剂对轻度 Cd 污染区水稻阻控效果研究的基础上^[3], 在湖南衡阳某工业区重度 Cd 污染农田种植水稻, 比较研究了石灰、基施硅肥、叶面锌肥、自配阻控剂和叶面硅肥这 5 种类型的阻控剂对重度 Cd 污染区水稻 Cd 吸收的抑制效果, 以期有效解决农田土壤 Cd 污染和食品安全问题提供科学依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地土壤基本性质

试验地点位于湖省衡阳市衡南县的某农田, 周围曾有化工厂、水泥厂和陶瓷厂等, 农田已受到严重重金属污染。试验实施之前, 按照“梅花法”采集农田土壤样品, 经自然风干后, 磨细过 100 目尼龙筛, 存储于密封袋内备用。试验农田土壤的平均 pH 值为 5.92, 属偏酸性红壤, 总 Cd 含量 1.567 ± 0.03 mg/kg, 有效锌含量 1.567 ± 0.03 mg/kg, 有机质含量 1.602 ± 0.53 g/kg, 全 N 含

量 0.794 ± 0.01 g/kg, 有效磷含量 26.500 ± 1.21 mg/kg, 全 K 含量 36.10 ± 1.88 mg/kg。

1.2 参试水稻品种和阻控剂

供试水稻品种为株两优 819 (杂交稻, 全生育期 114 d), 秧苗由衡阳安邦农业科技有限公司试验基地提供。供试的石灰、硅肥、自配阻控剂、叶面锌肥和叶面硅肥的基本情况见表 1, 其中, 石灰、基施硅肥和叶面锌肥曾运用在轻度 Cd 污染区阻控不同品种水稻富集 Cd 的影响试验^[3]。

1.3 试验设计和样品采集处理

试验时间为 2015 年 4-7 月。试验设 6 个处理, 具体试验处理方案见表 2。每个处理重复 3 次, 随机分布, 共 18 个小区。每个小区面积 20.0 m², 小区之间用田埂隔开。每 667 m² 土壤重量按照 1.5×10^5 kg 计算。石灰、基施硅肥和自配阻控剂在水稻秧苗种植前 3 d 撒施于土表, 并与表层土壤混匀; 叶面锌肥和叶面硅肥分别于水稻分蘖期、孕穗期和抽穗期进行同一种浓度的喷施, 喷液量以作物叶片正背面沾满雾滴为宜。农田基肥为掺混肥料 (N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 25%、12% 和 14%), 共施 50 kg/667 m²; 同当地的稻田管理措施进行管理。植株样品于水稻分蘖期、孕穗期和成熟期进行采集, 每个小区随机取 3 株, 采集后, 用自来水洗净泥土,

收稿日期: 2017-01-21

基金项目: 农业部、财政部农办财函[2015]38 号; 湖南省农委、财政厅湘农联[2015]112 号; 湖南省安邦农业研究院资助项目

表 1 5 种阻控剂的基本情况

名称	处理代码	生产厂家	总 Cd (mg/kg)	有效 Cd (mg/kg)	主要成分
石灰	SH	邵东县界岭乡海乐石灰厂生产	— ^(a)	—	有效 CaO≥85%,有效 MgO≤5%。
基施硅肥	GF	北京亚科丰肥业有限公司生产	0.571±0.02	0.024±0.001	有效元素硅≥30%,有效 CaO≥20%,有效 K ₂ O≥5%,有效 MgO≥10%。
自配阻控剂	ZP	市场购买自行配比	—	0.021±0.00	有效元素钙≥40%,有效元素硅≥25%,有效氧化镁≥8%,有效磷≥10%,有效氮≥4.67%,铁、锰、锌、硫等多种微量元素≥25%。
叶面锌肥	YX	原厂家用于基础配比的分析纯 ZnSO ₄	—	—	有效锌≥35%。
叶面硅肥	YG	美国优马生物技术有限公司	—	—	有效元素硅≥60 g/L,有机质≥30 g/L。

^(a)表示未检测出。下同。

表 2 试验设计

代码	具体操作流程
CK	不施任何阻控剂
GF	水稻移栽前 3 d 基施亚科丰肥业有限公司生产的硅钙镁钾肥,用量为 100 kg/667 m ²
SH	水稻移栽前 3 d 基施邵东县界岭乡海乐石灰厂生产的石灰,用量为 100 kg/667 m ²
ZP	水稻移栽前 3 d 基施自配阻控剂,用量为 100 kg/667 m ² 。
YX	于水稻分蘖期、孕穗期和抽穗期分别喷施 1 次叶面锌肥,剂量为 33.35 g/667 m ²
YG	于水稻分蘖期、孕穗期和抽穗期分别喷施 1 次叶面硅肥,剂量为 100 mL/667 m ²

分为根、茎、叶和谷粒。将谷粒样品置于室外阳光下晒干,记录质量,并用砻谷机将其分为谷壳和糙米。其他部位样品皆装入信封袋编号后置于 102℃烘箱内 2 h,调至 65℃烘至恒质量。所有水稻样品(根、茎、叶、籽实)均用植物粉碎机粉碎后装入密封袋保存,待用。

1.4 分析测定

采用电位法(水土比为 2.5:1)测定土壤 pH 值,采用王水(HNO₃:HCl=1:3)+高氯酸(HClO₄)消化法消煮土壤,并同时用土壤国家标准参比物质(GSS-5)和空白样进行分析质量控制测定。土壤有机质、有效磷、全氮和全钾含量按照《土壤农业化学分析》方法进行分析^[4]。

水稻样品(根、茎、叶、谷壳和糙米)采用混合酸硝酸-高氯酸(体积比为 4:1)消化法消煮,同时用植物国家标准参比物质[灌木枝叶 GBW07603(GSV-2)]、大米植物国家标准参比物质[GBW10010(GSB-1)]和空白样进行分析质量控制。

土壤和水稻(植株和稻米)中 Cd 的含量用原子吸收分光光度计-石墨炉法(GTA120,美国 Varian)测定。

所用化学试剂为优质纯。

1.5 数据处理方法

本研究利用 Microsoft Excel 2003 进行均值、标准差计算和作图,利用 SPSS 18.0 的 ANOVA 模块(LSD 法,α=0.05)进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 土壤和阻控剂中 Cd 的含量

土壤中 Cd 的含量为 1.567±0.03 mg/kg,根据我国土壤环境质量标准(GB15618-1995,2 类,0.3 mg/kg)和单因子指数评价(5.22),可见,试验区稻田土壤属于重度 Cd 污染区。此外,由表 1 可知,供试硅肥中总 Cd 含量为 0.571±0.02 mg/kg,GB/T 23349-2009 中重金属 Cd 的指标为≤0.0010%,本供试硅肥中总 Cd 含量符合国家农用标准,但它的长期施用是否会对农田土壤和水稻富集 Cd 存在风险有待商榷。

2.2 阻控剂对水稻株高和产量的影响

如表 3 所示,与 CK 相比,施用阻控剂后水稻株高都有不同程度的提高,其增幅为 0.83%~3.75%,但这 5 种阻控剂处理对株高的影响不存在显著性差异(p>0.05)。本研究所用水稻品种株两优 819 属两系杂交早稻,其鉴定产量一般为 400.0 kg/667 m² 以上,但是没有施用阻控剂的(CK)条件下,水稻产量仅为 257.1 kg/667 m²,与鉴定产量相比,其产量下降了 35.75%。可见,种植在重金属重度污染区的水稻减产幅度较大。施用不同类型的阻控剂后,水稻产量都有不同程度的增产,其增幅为 2.21%~24.25%,对水稻产量贡献大小依次为 ZP>GF>SH、YX、YG,但仍低于水稻品种产量鉴定值(400.0 kg/667 m²),其原因一方面是本研究中仅施加了农田基肥,没有追肥,造成肥力不足,水稻产量下降;另一方面就是土壤重金属污染导致水稻产量下降。与 CK 相比,5 种阻控剂处理下水稻产量均存在显著性差异(p<0.05),其中产量最高的是 ZP 处理,增产 24.25%,其次为 GF 处理,增产 20.88%。由于所用的硅肥、石灰和

表 3 5 种阻控剂对水稻株高和产量的影响

处理	株高 (cm)	产量 (kg/667 m ²)
CK	80.66±0.65 a	257.09±1.07 a
GF	82.73±1.39 abc	311.73±2.96 c
SH	80.57±0.49 a	267.24±3.22 b
ZP	82.68±1.35 abc	320.68±2.34 d
YX	81.27±0.44 ab	267.87±2.02 b
YG	82.38±1.19 abc	265.45±5.57 b

同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

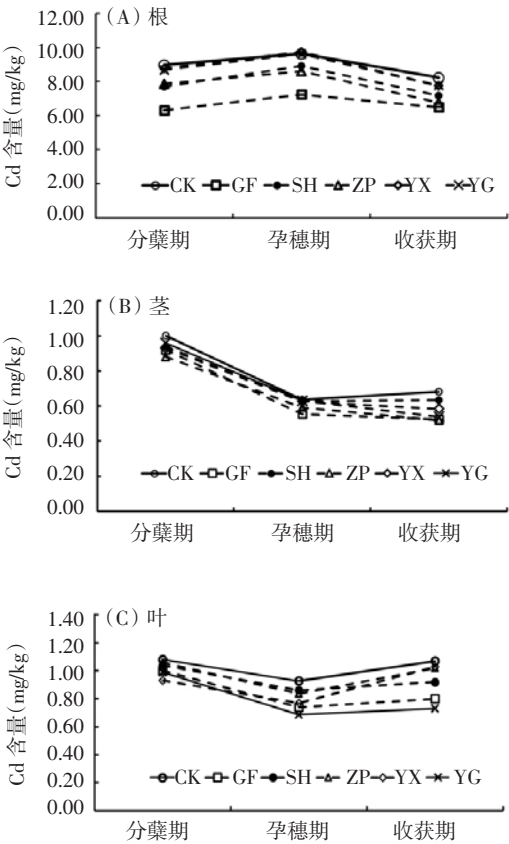


图 1 水稻不同生育期各器官中 Cd 含量的变化

自配阻控剂本身偏碱性,能有效调节土壤酸碱性,使 pH 值从 5.92 上升到 7.54~8.01。研究表明,施硅肥可以有效提高水稻的产量,且有效硅的含量随土壤 pH 值的升高而增加,土壤中的有效硅含量直接影响水稻对硅元素的吸收利用^[9]。硅肥的主要作用是提高了水稻的产量,而对水稻茎叶中硅元素没有显著影响^[6],施加叶面硅肥,可以使硅元素直接被水稻叶片吸收,从而提高产量。自配阻控剂中含有一定比例的有效磷,也促进了水稻产量提高^[7];叶面锌肥的施用,改善了单施入土壤的锌的低利用率,提高了水稻对锌元素的吸收以及锌

元素的增产作用。

2.3 水稻不同生育期各器官中 Cd 含量的变化

在水稻整个生育期内,分别取分蘖期、孕穗期和收获期的植株样品进行 Cd 含量的测定。如图 1 所示,随着生育期的延长,根系、茎秆和叶片中 Cd 含量均表现不同的变化规律,但根系是富集 Cd 最多的部位,即根>叶>茎。Cd 在杂交稻茎叶中的分配比例相差很大^[8],有研究表明,叶片繁茂的植物叶部对营养物质的积累更强^[9]。在重度 Cd 污染水平下,株两优 819 在进入分蘖期之初受到 Cd 胁迫可诱发植株大量进行无效分蘖,促使叶片非正常生长,由于叶片通过蒸腾作用使 Cd 往上迁移积累,也是导致整株水稻叶片富集 Cd 的原因之一^[10]。

图 1(A)所示,根系 Cd 含量在 3 个生育期中呈先升高后降低的趋势,Cd 含量的最大值出现在孕穗期,说明在分蘖期-孕穗期是根系生长的旺盛阶段,根系主动吸收营养物质的同时伴随着对 Cd 的吸收。随着地上部分营养器官和生殖器官的生长,进入根部的 Cd 会不断向地上迁移,且在长期受到 Cd 胁迫下根系活力会明显降低^[11],从而在乳熟期-成熟期对 Cd 的吸收积累呈下降趋势。与 CK 相比,除了 YX 和 YG 之外,其他阻控剂能显著降低根系的 Cd 含量($p<0.05$),以 GF 处理的效果最佳,其次为 ZP 和 SH 处理。

由图 1(B)可知,茎秆作为连结水稻根部和叶片的通道,其 Cd 的来源主要是根部的向上迁移。不同时期水稻茎秆中 Cd 含量的总体变化表现为先下降后回落或稳定或下降,在没有添加阻控剂的条件下其规律与唐非等^[12]研究结果相似,说明在分蘖期水稻叶片进行营养生长时,利用蒸腾作用促使根系与茎秆中的 Cd 往上迁移,以后进入孕穗期的生殖生长时则主要向穗部输入,使得茎秆孕穗期之后 Cd 含量无较大变化。添加阻控剂的小区,茎秆中 Cd 含量在收获期较生育前期表现下降的趋势,说明阻控剂有效抑制了茎秆的 Cd 积累。与 CK 相比,GF 处理在孕穗期和收获期显著降低了茎秆中 Cd 的含量($p<0.05$),而 ZP 处理在收获期显著降低了茎秆中 Cd 的含量($p<0.05$)。

由图 1(C)可知,在分蘖期-孕穗期-成熟期,水稻叶片中 Cd 含量呈先下降后上升趋势。刘昭兵等^[7]研究表明,水稻在分蘖期和成熟期是吸收 Cd 的主要阶段。叶片 Cd 含量在孕穗期最低,说明叶片通过分蘖期的旺盛生长后,生物量增加,从根部迁移上来的 Cd 在叶片间均衡分布,减少了叶片整体上 Cd 质量分数。在孕穗

表 4 收获期水稻不同部位 Cd 的含量

处理	根		茎		叶		糙米	
	含量(mg/kg)	降幅(%)	含量(mg/kg)	降幅(%)	含量(mg/kg)	降幅(%)	含量(mg/kg)	降幅(%)
CK	8.23±0.75 a	—	0.68±0.07 a	—	1.07±0.07 a	—	0.28±0.07 a	—
GF	6.49±0.61 c	21.18	0.52±0.06 c	23.53	0.80±0.05 c	25.23	0.17±0.02 c	39.28
SH	7.29±0.78 b	11.42	0.60±0.04 b	10.76	0.92±0.09 b	14.02	0.21±0.08 b	23.57
ZP	6.78±0.55 bc	17.62	0.51±0.11 c	25.01	1.02±0.22 a	4.67	0.17±0.01 cd	39.29
YX	7.74±0.41 ab	5.95	0.58±0.06 bc	14.71	1.03±0.12 a	3.74	0.15±0.04 d	46.43
YG	7.76±1.00 ab	5.71	0.53±0.05 c	22.06	0.73±0.22 c	31.78	0.21±0.02 b	24.93

期到收获期,水稻由于长期受 Cd 胁迫,中下部叶片表现枯黄,干物质下降,枯黄的叶片中 Cd 物质与营养物质共同转运到生命力旺盛的新叶中。随着穗粒的形成,自根传输的 Cd 在水稻地上部分进行重新分配,叶片中 Cd 一部分积累,一部分向穗部输入,到成熟期后,根系迁移上来的 Cd 在叶中逐渐富集到最大。与 CK 相比, YX 处理对水稻分蘖期叶片 Cd 含量有显著影响 ($p<0.05$),在孕穗期抑制效果最佳;在孕穗期至收获期,ZP 和 YX 处理对叶片吸收 Cd 有促进作用,这可能是由于该时期水稻对营养物质需求旺盛而有害物质 Cd 被协同吸收。胡坤等^[13]研究表明,一定量的中量元素肥料 (Ca、Mg、S) 的施用能显著促进水稻秸秆对 Cd 的吸收积累,阻止 Cd 向籽实中迁移。因此,在叶片中的 Zn/Cd 的拮抗作用以及自配阻控剂中多种元素与 Cd 作用阻控了 Cd 向上迁移而积累在叶片中。GF 和 SH 处理在孕穗期至收获期对叶片吸收 Cd 有一定的抑制效果。

综上所述,不同阻控剂在不同时期对水稻器官的作用效果不尽相同,基施硅肥在水稻分蘖期和孕穗期可以明显抑制根系和茎秆对 Cd 的吸收积累;石灰和自配阻控剂在收获期对水稻根系有显著抑制效果;叶面锌肥和叶面硅肥在孕穗期对水稻叶片 Cd 积累有明显的抑制效果。因此,在水稻生育前期施加土壤阻控剂能发挥最佳效果,而叶面喷施阻控剂在孕穗期使用能起到最佳抑制效果。

2.4 阻控剂对水稻收获期各器官中 Cd 含量的影响

由表 4 可知,在收获期,水稻各部位中 Cd 的含量是根>叶>茎>糙米。与 CK 相比,各阻控剂对水稻根部的降 Cd 幅度为 5.71%~21.18%,对水稻茎部的降 Cd 幅度为 10.76%~25.01%,对水稻叶片的降 Cd 幅度为 3.74%~31.78%,对水稻糙米的降 Cd 幅度为 23.57%~46.43%,除了石灰和叶面硅肥处理,其他处理糙米中 Cd 含量均低于国家大米的标准限值 (0.20 mg/kg),其中,叶面锌肥处理的降 Cd 效果最明显,降 Cd 效率为 46.43%,其次是自配阻控剂和基施硅肥处理,降 Cd 效率分别为 39.29%和 39.28%。研究表明,施硅肥和叶面

喷施硅肥对水稻均有不同程度的降 Cd 作用,基施硅肥的主要作用是在水稻根系吸收 Cd 之前降低土壤中有效 Cd 的含量,促进其转化为铁锰氧化物等生物利用性低的结合物^[14];对水稻体内已存有的 Cd 具有阻控其质外体运输途径固化在周围的细胞中的作用。叶面硅肥的作用除了与基施硅肥有相同的阻控效果之外,还能通过提高叶片对 Cd 胁迫的抵抗能力来抑制 Cd 的富集^[15]。但胡坤等^[13]认为,土壤添加硅肥对水稻吸收 Cd 有抑制作用,而叶面喷施硅肥对水稻吸收 Cd 无显著影响。石灰对水稻富集 Cd 的阻控效果已有大量研究,但是在重度 Cd 污染区阻控水稻富集 Cd 的效果不是很理想,还需要结合其他措施^[16]。叶面锌肥对供试水稻叶片的拮抗作用表现为促进叶片对 Cd 的富集,抑制 Cd 向籽实迁移。自配阻控剂除了含有相关钙元素与石灰的作用相似外,其富含多种其他元素也是其具有较好阻控 Cd 效果的部分原因^[15,17]。

3 结论

在整个生育期内(分蘖期、孕穗期和收获期),株两优 819 根部 Cd 积累量呈先上升后下降的趋势,茎部 Cd 积累量呈下降至平稳状态,叶部 Cd 积累量先下降后上升趋势。与对照相比,5 种阻控剂均能显著提高水稻产量,增幅为 2.21%~24.25%,且对水稻各部位的 Cd 积累均有一定抑制作用,其中基施硅肥在分蘖期-孕穗期抑制效果明显,石灰和自配阻控剂在收获期抑制效果明显,叶面锌肥和叶面硅肥在孕穗期抑制效果明显。在重度 Cd 污染区,5 种阻控剂均能显著阻控水稻富集 Cd,其中,基施硅肥、自配阻控剂和叶面锌肥能够显著降低糙米中 Cd 的含量,降幅为 39.28%~46.43%,处理后其糙米 Cd 的含量低于国家食品卫生标准限值。

参考文献

[1] 詹杰,魏树和,牛荣成. 我国稻田土壤镉污染现状及安全生产新措施[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1 257-1 263.
[2] 雷鸣,曾敏,王利红,等. 湖南市场和污染区稻米中 As、Pb、Cd 污

- 染及其健康风险评价[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2 314 – 2 320.
- [3] 龙思斯, 宋正国, 杨勇, 等. 三种阻控剂对不同品种水稻富集镉的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(5): 459–465.
- [3] 陈陆, 铁柏清, 雷鸣, 等. 施硅方式对稻米镉阻隔潜力研究[J]. 环境科学, 2014, 35(7): 2 762–2 770.
- [4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 许佳莹, 朱练峰, 禹盛苗, 等. 硅肥对水稻产量及生理特性影响的研究进展[J]. 中国稻米, 2012, 18(6): 18–22.
- [6] 李军, 张玉龙, 刘鸣达, 等. 辽宁省水稻土供硅能力及硅肥肥效的研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 142–144.
- [7] 刘昭兵, 纪雄辉, 王国祥, 等. 赤泥对镉污染稻田水稻生长及吸收累积镉的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4): 692–697.
- [8] 廖晓勇, 崇忠义, 阎秀兰, 等. 城市工业污染场地: 中国环境修复领域的新课题[J]. 环境科学, 2011, 32(3): 784–794.
- [9] 沈体忠, 朱明祥, 肖杰. 天门市土壤—水稻系统重金属迁移积累特征及其健康风险评估[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 221–226.
- [10] 张标金, 罗林广, 魏益华, 等. 不同基因型水稻镉积累动态差异分析[J]. 中国农学通报 2015, 31(9): 25–30.
- [11] 丁园, 宗良纲, 徐晓炎, 等. 镉污染对水稻不同生育期生长和品质的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 183–186.
- [12] 唐非, 雷鸣, 唐贞, 等. 不同水稻品种对镉的积累及其动态分布[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(6): 1 092–1 098.
- [13] 胡坤, 喻华, 冯文强, 等. 中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2 341–2 348.
- [14] Nwugo C C, Huerta A J. Silicon-induced cadmium resistance in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2008, 171(6): 841–848.
- [15] 刘昭兵, 纪雄辉, 彭华, 等. 淹水条件下含硫锌肥与蒜皮对镉生物有效性及水稻产量的影响 [J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1 481 – 1 485.
- [16] 王蜜安, 尹丽辉, 彭建祥, 等. 综合降镉(VIP)技术对降低糙米镉含量的影响研究[J]. 中国稻米, 2016, 22(1): 43–47.
- [17] Uraguchi S, Fujiwara T. Cadmium transporter and tolerance in rice: perspectives for reducing grain cadmium accumulation [J]. *Rice*, 2012, 5(17): 1–8.

Effects of Different Inhibitor on Reducing Cadmium Content of Rice

LONG Sisi¹, SONG Zhengguo², LEI Ming^{1*}, YU Li¹, WANG Yikang¹, JIANG Hongfang³

(¹ College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; ² Key Laboratory of Production Environment and Agro-product Safety of Ministry of Agriculture/Tianjin Key Laboratory of Agro-environment and Food Safety, Tianjin 300191, China; ³ Hunan Anbang New Agricultural Science and Technology Corp/Hunan Anbang Academy of Agricultural, Hengyang, Hunan 421200, China; 1st author: 358719093@qq.com; *Corresponding author: leiming8297@163.com)

Abstract: The effects of lime, silicon fertilizer, silicon foliar fertilizer, zinc foliar fertilizer and mixed fertilizer (our own product) on reducing Cd contents in brown rice were studied, using Zhuliangyou 819 as material which was planted in serious Cd-contaminated field. The results showed that compared with the control, there was no significant effects on the heights of rice with the five inhibitors treatment, but the yield significantly increased, especially with the mixed fertilizer treatment, which increased rice yield by 24.25%. Compared with the control, the five inhibitors all had the effects of reducing the Cd contents in brown rice, the effects of the zinc foliar fertilizer treatment was the best, the Cd contents in brown rice was decreased by 46.43%, followed by the mixed fertilizer and silicon foliar fertilizer treatment. The Cd contents in brown rice was lower than the value of the national standard after dealing with zinc foliar fertilizer, mixed fertilizer and silicon foliar fertilizer.

Key words: rice; cadmium; inhibitor; soil; heavy pollution area

(上接第 29 页)

Effects of Parents on Fall Grain Rate of Hybrid Combinations in *Indica* Rice

XU Fuxian, ZHOU Xingbing, XIONG Hong*, ZHANG Lin*, JIANG Peng, ZHU Yongchuan, LIU Mao, GUO XiaoYi

(Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Southwest Rice Biology and Genetic Breeding, Ministry of Agriculture/Luzhou Branch of National Rice Improvement Center, Luzhou, Sichuan 646000, China; 1st author: Xu6501@163.com; *Corresponding author)

Abstract: The relationship between fall grain rate of hybrid combinations and its parents were studied, using 16 cross combinations from four sterile lines and four restorer lines as materials, by a kind identification device of fall grain rate. The results indicated that there were significant effects of sterile lines and the interactions of sterile lines and restorer lines on fall grain rate of hybrid combinations, but no significant differences between restorer lines. The fall grain rate of hybrid combinations from sterile lines R18A is high, and the fall grain rate of hybrid combinations from D1716A is low. In this test, the fall grain rate of R18A/R7329 and 2394A/R7329 are higher, and the fall grain rate of D1716A/R727, D1716A/R7329, 2394 A /R642 are lower.

Key words: rice; parents; hybrid combination; fall grain rate