

# 叶面喷硒对水稻籽粒硒富集及分布的影响\*

周鑫斌 施卫明<sup>†</sup> 杨林章

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘要** 在大田试验条件下,研究了江苏省苏南地区水稻(龙睛4号、86优8和丙9652)叶面喷施和未喷施亚硒酸钠对水稻籽粒硒含量、硒的形态及对蛋白质结合态硒的影响。结果表明:叶面喷施亚硒酸钠  $10 \text{ g hm}^{-2}$ ,可使该地区水稻籽粒硒含量达  $255.3 \sim 586.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ,是不喷硒的  $7.9 \sim 11.0$  倍。无论喷硒还是未喷硒,水稻籽粒硒主要以有机硒的形态存在,有机硒含量占总硒量的  $87.72\% \sim 90.98\%$ ,对产量没有显著差异。总体看来,叶面喷硒可以显著提高籽粒蛋白结合态硒含量,籽粒蛋白质结合的硒占有机硒的  $43.07\% \sim 51.65\%$ ,占总硒的  $38.04\% \sim 48.98\%$ 。叶面喷硒与对照相比,二个品种(龙睛4号与丙9652)籽粒的蛋白谱带基本一致,只是喷硒的水稻籽粒在  $14 \sim 20 \text{ kDa}$  之间增加了一些蛋白条带,这可能是由于喷硒增加了一些小分子蛋白质的合成。

**关键词** 叶面喷硒;水稻籽粒;硒形态;水稻土

**中图分类号** S143.7<sup>+</sup>1

**文献标识码** A

硒是人和动物必需的微量营养元素之一,植物是人和动物摄入硒营养的主要来源<sup>[1]</sup>。人和动物的许多疾病与硒营养元素缺乏有关<sup>[2]</sup>。实践证明,适当补硒对由缺硒引起的地方病可取得良好的医疗效果<sup>[3]</sup>。我国大约有25%的土壤处于缺硒状态,包括潜在性缺硒土壤,总共约占40%<sup>[4]</sup>,制约着中国食物的硒营养状况。合理提高农产品硒水平是补充人类硒营养需要的重要途径。这种调节不但要考虑食用作物的硒含量,而且还必须注意硒的生物可利用性,后者取决于植物中硒的有益形态<sup>[5,6]</sup>。膳食中硒的形态不同将导致人和动物体硒的摄入、分布及转化的差异<sup>[4]</sup>。植物性产品中硒的生物利用率大于无机硒盐<sup>[7]</sup>。不同的富硒方法对植物和动物体内硒转化与生物利用率有密切的关系<sup>[8~11]</sup>。可见,通过提高植物性产品硒含量提高食物链硒水平,是从源头调控硒营养和预防有关硒缺乏病的根本出路。

大米是我国大多数人口的主食,其含硒量与人体硒营养状况关系密切。喷硒提高植物硒含量已有许多报道,生产中也有应用<sup>[12~14]</sup>,已有的研究表明水稻对硒具有生物富集作用<sup>[15]</sup>。叶面喷施硒,利用水稻的生物富集和转化作用,把非生物活性和毒性高的无机硒转化为毒性低、安全有效的活性有机硒,

是改善和满足食物链中硒水平不足的廉价且可行的方法。以往相当多的工作证明了食物中的硒主要结合于蛋白中<sup>[16]</sup>的结论,同时也发现蛋白中的硒有不同的结合形式和形态,它会影响到不同的食物中硒的生物有效性<sup>[17]</sup>。梅光泉等研究发现<sup>[18]</sup>,植物体内的有机硒除含有硒代氨基酸外,还有硒肽(CSH)、硒核酸(Se-tRNA)、硒多糖、硒黄酮及含硒类胡萝卜素等,这些都是人体不可缺少的营养物质。但是,至今对于硒在水稻籽粒中的分布、形态和叶面喷硒对水稻籽粒蛋白质硒含量及其代谢的影响还未见报道。本研究对不同品种的水稻进行叶面喷硒大田试验,研究叶面喷硒对硒在水稻籽粒中的存在形态、分布、籽粒蛋白质中的含量及其代谢的影响,为进一步研究水稻籽粒硒的富集、提高其硒营养品质提供依据,对改善我国广大低硒地区居民硒营养状况有很好的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤为江苏省宜兴市的水稻土(黄泥土),土壤耕作层全硒含量为  $0.270 \mu\text{g kg}^{-1}$ ,水溶性硒  $0.019 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。土壤 pH (H<sub>2</sub>O) 6.12,有机质 18.1

\* 国家十五重大科技专项子课题“河网区面源污染控制成套技术”项目(2002AA601012)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: wms@issas.ac.cn

作者简介:周鑫斌(1978~),男,山西河曲县人,博士研究生,主要从事水稻硒营养代谢与调控的研究

收稿日期:2005-11-04;收到修改稿日期:2006-03-27

g kg<sup>-1</sup>,全氮 1.4 g kg<sup>-1</sup>,有效磷 9 mg kg<sup>-1</sup>,速效钾 49 mg kg<sup>-1</sup>。供试水稻品种分别为:籽粒富硒水稻龙晴4号、当地主栽品种86优8(宜兴市农技站提供)和籽粒低硒水稻品种丙9652。喷硒所用亚硒酸钠(Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>),由天津化学试剂公司生产。

## 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 试验于2004年6月至11月在江苏省宜兴市大浦镇进行。水稻于2004年6月15日插秧,密度同当地常规种植密度。试验共设叶面喷施亚硒酸钠和对照二个处理,叶面喷施亚硒酸钠处理在水稻齐穗期喷一次(距水稻收获50d左右),喷施亚硒酸钠的量为10 g hm<sup>-2</sup>,喷施时硒浓度为15 mg L<sup>-1</sup>;以喷清水为对照。各处理4次重复。试验小区面积为20 m<sup>2</sup>,共24个小区,完全随机排列。常规管理,成熟后收获籽粒,并计算产量。

**1.2.2 样品处理** 收获后的水稻籽粒经去离子水反复冲洗干净,60℃烘干,取去杂质的稻谷,脱壳,得糙米,再把糙米用碾米机(JNM3)进行碾磨30s,碾出的米为精米,60℃烘干,粉碎,过80目筛,供硒的分析测定。

**1.2.3 样品测定** 称取粉碎的样品0.5000g,置于消煮管中,加入混合酸(HNO<sub>3</sub>:HClO<sub>4</sub>=4:1)5ml,浸泡过夜,次日,将消煮管置于消化炉上,逐渐升温,50℃消化2h,100℃消化1h后,加混合酸2.5ml升温至170℃消化2h,至溶液颜色变为无色并冒白烟后,冷却,加入1NHCl 2.5ml,100℃继续加热至无色并冒白烟,冷却,定容至25ml待测<sup>[19]</sup>。

消化后待测液中的硒含量用AF-610A原子荧光光谱仪测定。测定条件为:PMT电压280V;HCl全阴极电流80mA;载气流量800ml min<sup>-1</sup>;进样体积1.0ml;原子化器高度7mm;原子化器温度室温;采样泵速100r min<sup>-1</sup>;采样时间18s;停泵时间5s。以国家标准物质茶叶(GWB07605)为内标,测定回收率为98.6%±5%。

有机硒与无机硒的测定采用持续透析法,将粉碎的1.00g样品装入透析袋(上海绿鸟科技发展有限公司生产,截留分子量8000~10000kDa),4℃超纯水透析96h,每隔12h换一次水,测定透析后袋里样品硒含量即为有机硒含量<sup>[10,20]</sup>。

水稻籽粒蛋白硒的测定,将粉碎的样品10g放入150mL三角瓶中,加100ml 0.25mol L<sup>-1</sup>NaOH溶液,50℃水浴提取4h,抽滤,收集滤液于三角瓶中,滤渣同上法重提一次,合并滤液,加入(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>至95%饱和度,4℃静置12h,4℃冷冻3000g离心20min得蛋白质沉淀,弃去上清液,沉淀物以50

mmol L<sup>-1</sup> Tris-HCl(pH 8.0)缓冲液30.0ml溶解,4℃下超纯水透析24h后,所得蛋白质溶液放入真空冷冻干燥器(Supermodul Y6-230)2d后,如本文1.2.3节所述方法消化,测定其中硒含量<sup>[21]</sup>。

电泳样品的制备,分别称取粉碎的1.5g水稻籽粒样放入50mL离心管中,加入6ml的蒸馏水润湿,再加2ml缓冲液(60mmol L<sup>-1</sup> pH 8.6 Tris-HCl; 25%甘油; 2%十二烷基磺酸钠(SDS); 14.4mmol L<sup>-1</sup> -巯基乙醇; 0.1%溴酚蓝)悬浮,沸水中保温3min,6500g离心10min;上清液转入另一50mL离心管中,沉淀物再依上法重提一次,合并上清液,12000g离心10min,上清液即为电泳样品。

十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳,胶板大小为20cm×20cm,胶厚为3mm。分离胶:4.3ml H<sub>2</sub>O, 31.25ml 30% Acr(丙烯酰胺), 15ml 1% Bis(双丙烯酰胺), 29ml pH8.8分离胶缓冲液(1.5mol L<sup>-1</sup> Tris-HCl), 1ml 10%十二烷基磺酸钠(SDS), 0.2ml 10%过硫酸铵(APS), 0.1ml 四甲基乙二胺(TEMED)。

浓缩胶:10ml H<sub>2</sub>O, 2.6ml 30% Acr(丙烯酰胺), 2.6ml 1% Bis(酰胺), 5ml pH6.8浓缩胶缓冲液(0.5mol L<sup>-1</sup> Tris-HCl), 0.2ml 10%十二烷基磺酸钠(SDS), 0.12ml 10%过硫酸铵(APS), 30μl 四甲基乙二胺(TEMED)。

每孔点样200μl(蛋白质20μg), Marker 40μl(20μg),在恒流60mA下进行电泳。电泳结束后在1.25%考马斯亮蓝R250溶液中染色过夜,然后用脱色液(甲醇:乙酸:水=5:1:5)在摇床脱色至背景清晰。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶面喷硒对水稻籽粒产量和硒含量的影响

从图1、图2可以看出,叶面喷施亚硒酸钠10g hm<sup>-2</sup>,对不同基因型水稻产量没有明显影响,但是喷硒可显著提高低硒土壤中水稻籽粒硒含量,较对照提高7.9~11.0倍,使其达到255.3~586.5μg kg<sup>-1</sup>。喷施同一浓度的硒,不同品种累积硒的量显著不同,龙晴4号累计的最多,其次为86优8,丙9652累计的最少,其原因可能是不同水稻品种叶面吸收转运硒的能力不同,从而使得籽粒硒含量不同。利用叶面喷施亚硒酸钠可以作为提高食物链硒水平的有效措施之一,其缺点是水稻籽粒硒含量不易控制,品种间硒的累积量差别很大,长期施用还可能造成环境污染。

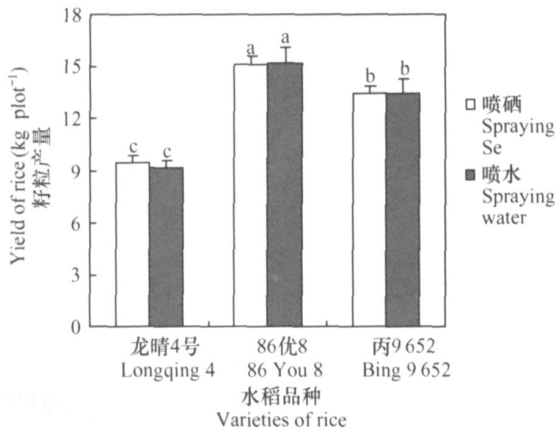


图1 喷硒对不同水稻品种籽粒产量的影响(柱图上的误差线代表SD, n=3;图中的不同字母表示在 p=0.05 水平差异显著)

Fig. 1 Effects of foliar application of selenium on yield of different varieties of rice (Vertical bars represent SD, n=3; Different letters mean significant differences at p=0.05)

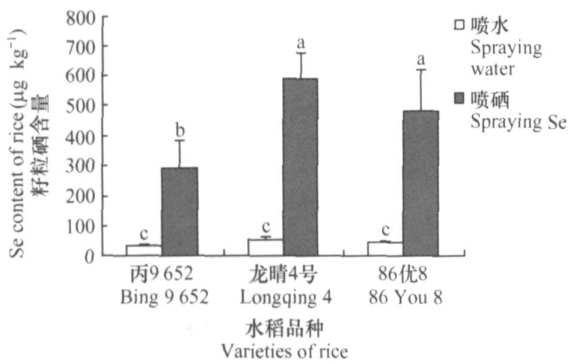


图2 喷硒对不同水稻品种籽粒硒含量的影响(柱图上的误差线代表SD, n=3;图中的不同字母表示检验在 p=0.05 水平差异显著)

Fig. 2 Effect of foliar application of selenium on grain Se content of different varieties of rice

(Vertical bars represent SD, n=3; Different letters mean significant differences at p=0.05)

2.2 叶面喷硒对籽粒硒存在部位与形态的影响

从表1可知,精米硒含量占糙米硒含量的62.47%~69.60%,喷硒处理显著提高了糙米和精米的硒含量,但是,糙米和精米之间的硒含量比值与不喷硒处理是相近的,只是喷硒处理的比值少许低于对照。也就是说,喷施的硒都很容易进入精米部位。结果表明(表2),不论在喷硒籽粒还是未喷硒籽粒中,硒主要以有机硒的形式存在,有机硒占总硒的87.72%~90.98%,总体看来,喷硒籽粒中有机硒的含量显著高于未喷硒处理的。

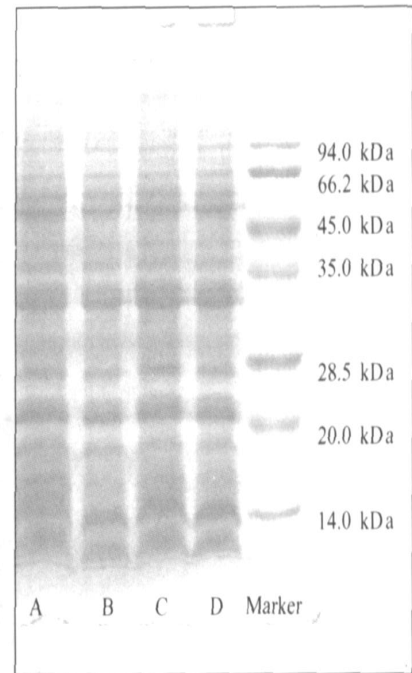


图3 喷硒与未喷硒水稻籽粒蛋白的十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳图谱

Fig. 3 SDS-PAGE analysis of protein in rice grains with or without foliar application of selenium

表1 叶面喷硒与未喷硒水稻籽粒精米和糙米硒含量

Table 1 Effect of foliar application of selenium on Se content of polished rice and brown rice

水稻品种 Rice varieties	精米 Polished rice (µg kg <sup>-1</sup> )		糙米 Brown rice (µg kg <sup>-1</sup> )		精米占糙米的百分比 Polished/ brown in Se content (%)	
	喷硒 Forliar application Selenite	未喷硒 No application Selenite	喷硒 Forliar application Selenite	未喷硒 No application Selenite	喷硒 Forliar application Selenite	未喷硒 No application Selenite
	丙9652 Bing 9 652	178.74 ±7.95c	22.40 ±1.98b	255.33 ±89.03b	32.49 ±5.00c	62.47 ±0.05a
龙晴4号 Longqing 4	383.92 ±47.35a	35.44 ±3.68a	586.45 ±92.26a	55.95 ±7.24a	65.56 ±0.02a	68.37 ±0.06a
86优8 86 You 8	269.48 ±12.70b	31.04 ±2.43a	482.81 ±135.30ab	43.97 ±4.10b	66.87 ±0.02a	69.60 ±0.04a

注:表中的值为平均值 ±SD, n=3;同一列不同字母代表差异达0.05显著水平 Note: The data were reported as mean ±SD, n=3; Different letters means significant difference at 0.05 level

### 2.3 水稻富集硒在蛋白质中的分布

将水稻籽粒中的蛋白质提取纯化后测定其中的硒含量,结果见表 3,可以看出,水稻籽粒中蛋白质结合的硒占有机硒的 43.07% ~ 51.65%,占总硒的 38.04% ~ 48.98%。

喷施硒的水稻籽粒中蛋白硒含量显著高于未喷硒的蛋白硒含量,无论喷施还是直接从土壤中吸收硒,相当一部分硒与蛋白质结合,这与前人在其他植物中试验有相似之处。如大豆中有 42.6% ~ 62.6% 的硒结合在水溶性蛋白上<sup>[21,22]</sup>。

### 2.4 喷硒处理对水稻籽粒蛋白组分的影响

水稻籽粒中的蛋白组分见图 3。由图 3 可知,喷硒后大部分蛋白质分布没有改变,龙睛 4 号和丙 9 652 籽粒喷硒与对照的蛋白谱带基本一致,但是其在 14 ~ 20 kDa 之间喷硒水稻增加了一些条带,这可能是由于喷硒增加了部分小分子蛋白质的合成,在植物体内,硒多以硒代氨基酸的形式被结合于植物蛋白中,硒进入植物体内,取代了植物中的含硫氨基酸中的硫,而形成含硒氨基酸,从而有可能形成新的蛋白质<sup>[23]</sup>,但其机理还有待于进一步的研究。

表 2 不同处理下水稻硒含量及有机硒含量的百分比

Table 2 Se concentration in rice grains under different Se treatments

样品 Sample	透析前 Before dialysis ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	透析后 After dialysis ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	有机硒的相对含量 The relative percentage of organic selenium (%)
丙 9 652(未喷硒) Bing 9 652(No application Se)	32.50 $\pm$ 5.00e	30.10 $\pm$ 3.96f	89.50 $\pm$ 2.13a
丙 9 652(喷硒) Bing 9 652(Application Se)	295.35 $\pm$ 47.7c	268.64 $\pm$ 37.11c	87.72 $\pm$ 1.56a
86 优 8(未喷硒) 86 You 8(No application Se)	43.97 $\pm$ 4.10d	41.01 $\pm$ 2.84e	90.98 $\pm$ 1.44a
86 优 8(喷硒) 86 You 8(Application Se)	482.82 $\pm$ 135.31b	443.37 $\pm$ 120.24b	89.97 $\pm$ 3.72a
龙睛 4 号(未喷硒) Longqing 4(No application Se)	55.95 $\pm$ 7.24d	50.35 $\pm$ 3.26d	90.23 $\pm$ 1.32a
龙睛 4 号(喷硒) Longqing 4(Application Se)	586.45 $\pm$ 92.26a	516.08 $\pm$ 2.36a	88.26 $\pm$ 1.53a

注:表中的值为平均值  $\pm$ SD,  $n=3$ ;同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Note: The data were reported as mean  $\pm$ SD,  $n=3$ ; Different letters means significant difference at 0.05 level

表 3 不同处理下水稻蛋白硒及占籽粒有机硒、总硒的百分比

Table 3 Protein Se concentration in rice grains under different Se treatments ( $n=3$ )

样品 Sample	蛋白硒 Protein selenium ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	蛋白硒占有机硒的百分数 The percentage of protein Se accounted for organic selenium (%)	蛋白硒占总硒的百分数 The percentage of protein Se accounted for total selenium (%)
丙 9 652(未喷硒) Bing 9 652 (No application Se)	14.71 $\pm$ 0.59d	50.09 $\pm$ 9.87a	48.98 $\pm$ 0.56a
丙 9 652(喷硒) Bing 9 652 (Application Se)	134.55 $\pm$ 2.9b	51.65 $\pm$ 6.42a	46.22 $\pm$ 6.15a
龙睛 4 号(未喷硒) Longqing 4 (No application Se)	22.61 $\pm$ 0.46c	47.03 $\pm$ 5.29a	42.81 $\pm$ 4.78a
龙睛 4 号(喷硒) Longqing 4 (Application Se)	240.46 $\pm$ 5.3a	43.07 $\pm$ 1.54a	38.04 $\pm$ 1.19a

注:表中的值为平均值  $\pm$ SD,  $n=3$ ;同一列不同字母代表差异达 0.05 显著水平 Note: The data were reported as mean  $\pm$ SD,  $n=3$ ; Different letters means significant difference at 0.05 level

### 3 结 论

1) 在水稻齐穗期,叶面喷施亚硒酸钠对水稻籽粒产量没有影响,喷施亚硒酸钠能显著提高籽粒硒含量,对不同水稻品种提高的幅度不同,这可能与不同水稻品种叶片对硒的吸收与运转有很大关系。

2) 无论在喷硒籽粒还是未喷硒籽粒中,硒主要以有机硒的形式存在,有机硒含量为总硒量的 87.72%~90.98%,总体看来,喷施硒的水稻籽粒中蛋白硒含量显著高于未喷硒的蛋白硒含量,但是无论是喷施硒还是从土壤中吸收硒,硒在水稻籽粒中主要以有机硒的形式存在。

3) 喷施的硒参与了蛋白质的合成,水稻籽粒中蛋白质结合的硒占有有机硒的 43.07%~51.65%,占总硒的 38.04%~48.98%。

4) 喷硒后大部分蛋白质分布没有改变,龙睛 4 号和丙 9 652 籽粒喷硒与对照的蛋白谱带基本一致,但是在 14~20 kDa 之间喷硒水稻增加了一些条带,这可能是由于喷硒增加了部分小分子蛋白质的合成,其机理还有待于进一步的研究。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 吴永尧,罗泽民,彭振坤.不同供硒水平对水稻生长的影响及水稻对硒的富集作用.湖南农业大学学报,1998,24(3):176~179. Wu Y Y, Luo Z M, Peng Z K. Research on the influence of selenium provided at different levels upon the growth of rice and its accumulation of selenium (In Chinese). Journal of Hunan Agricultural University, 1998, 24(3): 176~179
- [ 2 ] 陈铭,刘更另.高等植物的硒营养及在食物链中的作用.土壤通报,1996,27(2):88~89. Chen M, Liu G L. The role of selenium in higher plant nutrition and in food cycle (In Chinese). Journal of Soil Science, 1996, 27(2): 88~89
- [ 3 ] 李日邦,谭见安,王五一.提高食物链硒通量防治大骨节病和克山病示范研究.地理学报,1999,54(2):158~168. Li R B, Tan J A, Wang W Y. Study on increasing selenium flux in food chain to control kaschin beck disease and keshan disease (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 1999, 54(2): 158~168
- [ 4 ] 董广辉,陈利军,武志杰,等.外源硒对大豆产量、植株氮磷含量及土壤酶活性的影响.应用生态学报,2003,14(5):776~780. Dong G H, Chen L J, Wu Z J, et al. Effect of exogenous selenium on soybean yield and its total N and P contents an on soil enzyme activities (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 776~780
- [ 5 ] Ip C, Marc B, Eric B. Chemical speciation influences comparative activity of selenium-enriched garlic and yeast in mammary cancer prevention. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2000, 48(6): 2 062~2 070
- [ 6 ] Laws J E, Latshaw J D, Bigger M. Selenium bioavailability in foods and feeds. Nutrition Reports International, 1986, 33:13~15
- [ 7 ] 杨庆,姚小曼,牛铁琴.硒麦芽与亚硒酸钠毒性、抗突变作用比较研究.中国食品卫生杂志,1998,10(3):5~10. Yang Q, Yao X M, Niu T Q. Study on toxicity and antimutagenicity between Se malt and sodium selenite (In Chinese). Chinese Food and Sanitation, 1998, 10(3): 5~10
- [ 8 ] 胡秋辉,潘根兴,丁瑞兴,等.富硒茶硒的浸出率及其化学性质的研究.中国农业科学,1999,32(5):67~72. Hu Q H, Pan G X, Ding R X, et al. Study on extracting rate of selenium and property of selenium of Se-enriched tea (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 1999, 32(5): 67~72
- [ 9 ] Hu Q H, Pan G X, An X X, et al. Physiological function of Se-enriched tea fertilized with sodium selenite and naturally high-Se tea in rats. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 81: 202~204
- [ 10 ] 杜振宇,史衍玺,王清华.土壤施硒对萝卜吸收转化硒及品质的影响.土壤,2004,36(1):56~60. Du Z Y, Shi Y X, Wang Q H. Effect of selenium application in soil on absorption and transformation of selenium and quality of radish (In Chinese). Soils, 2004, 36(1): 56~60
- [ 11 ] 席冬梅,邓卫东,毛华明.云南省主要地区背景区钴、铁和硒在岩石-土壤-饲料中的分布与转移规律研究.土壤学报,2005,42(4):660~665. Xi D M, Deng W D, Mao H M. Distribution and transportation of cobalt, iron, and selenium from rock to soil to forage in main geological background zones in Yunnan Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 660~665
- [ 12 ] Wang Z J, Xie S, Peng A. Distribution of Se in soybean samples with different Se concentration. J. Agric. Food Chem., 1996, 44: 2 754~2 759
- [ 13 ] Gupta U C, Macleod J A. Effect of various sources of selenium fertilization on the selenium concentration of feed crops. Can. J. Soil Sci., 1994, 4(3):285~290
- [ 14 ] 张艳玲,潘根兴,胡秋辉.叶面喷施硒肥对低硒土壤中大豆不同蛋白组成及其硒分布的影响.南京农业大学学报,2003,26(1):37~40. Zhang Y L, Pan G X, Hu Q H. Effect of foliar application of selenium on composition and selenium content of seed proteins of soybean grown in a low-Se soil (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2003, 26(1): 37~40
- [ 15 ] 李日邦,谭见安,王五一,等.提高食物链硒通量防治大骨节病和克山病示范研究.地理学报,1999,54(2):158~168. Li R B, Tan J A, Wang W Y. Study of increasing selenium flux in food chain to control kaschin beck disease and keshan disease (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 1999, 54(2): 158~168
- [ 16 ] Anke K W. A new toxicant occurring naturally in certain samples in plant foodstuffs. The occurrence of the toxicant in the protein fraction. J. Nutr., 1934, 8: 609~610
- [ 17 ] Elstein M A, Whanger P D. Chemical forms of selenium in rat tissue after administration of selenite or selenomethionine. J. Nutr., 1986, 116: 1 711~1 713
- [ 18 ] 梅光泉,应惠芳.微量元素硒与植物有机硒化合物微量元素

- 与健康研究,2003,20(6):59~61. Mei G Q, Ying H F. Micro-elements selenium and organic selenium compounds (In Chinese). Studies of Trace Elements and Health,2003,20(6):59~61
- [19] Zhang L H, Shi W M, Wang X C. Difference in selenium accumulation rate in shoots of rice seedlings of cultivars with high and low selenium content. Pedosphere (in press)
- [20] 郝素娥,滕冰. 硒酵母中有机硒及硒代氨基酸含量的测定方法. 分析测试学报,1999,18(3):72~75. Hao S E, Teng B. Determination of content of organic selenium and selenium amino acids in selenium yeasts (In Chinese). Journal of Instrumental Analysis, 1999,18(3):72~75
- [21] 杜琪珍,方兴汉,沈星荣. 茶树累积硒的动态分布和主要形态. 中国茶叶,1991,3:8~9. Du Q Z, Fang X H, Shen X R. The main form and dynamic accumulation of selenium in tea (In Chinese). China Tea,1991,3:8~9
- [22] 胡秋辉,潘根兴,丁瑞兴. 低硒土壤茶园茶叶富硒方法及其富硒效应. 南京农业大学学报,1999,22(3):91~94. Hu Q H, Pan G X, Ding R X. Techniques and effect for production of Se enriched tea in tea garden soil low in selenium (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1999,22(3):91~94
- [23] 谢申猛,王子健,宋维平. 不同硒水平地区大豆组分中硒的分布. 营养学报,1995,17(3):274~277. Xie S M, Wang Z J, Song W P. Selenium distribution in soybean from different regions in China (In Chinese). Acta Nutrimenta Sinica, 1995,17(3):274~277

## EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF SELENITE ON SELENIUM ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN RICE

Zhou Xinbin Shi Weiming<sup>†</sup> Yang Linzhang

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Under field experiment condition, effects of foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  on concentration and form of Se, and protein-bound Se in grains of Longqing 4, 86 You 8 and Bing 9 652 varieties of rice were studied in South Jiangsu. Results show that foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  at a rate of  $\text{Se } 10 \text{ g hm}^{-2}$  could raise significantly Se content in rice up to  $255.3 \sim 586.5 \mu\text{g kg}^{-1}$ , which was  $7.9 \sim 11.0$  times higher than that in CK. Moreover, foliar application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  did not show any negative effect on rice yield. Most Se in rice grains was organic Se, occupying over  $87.72\% \sim 90.98\%$  of total selenium, and protein-bound Se accounted for  $43.07\% \sim 51.65\%$  of the organic selenium and  $38.04\% \sim 48.98\%$  of total selenium. Application of  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  did not affect much distribution of protein. The spectral bands of the grains (Longqing 4 and Bing 9 652) with or without Se application were more or less the same, except for some new protein bands between  $14 \sim 20 \text{ kDa}$ , suggesting that Se application might increase formation of some small molecular proteins.

**Key words** Foliar application of selenium; Rice grains; Forms of Se; Paddy soil