

两个水稻品种富硒特性比较研究^①

耿建梅¹, 王文斌², 吴露露¹, 王蓓蓓¹, 唐树梅^{1*}

(1 海南大学农学院, 海口 570228; 2 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737)

摘要: 以前期田间试验筛选出的富硒能力较强的水稻品种捷丰优 629 和谷丰优 8312 为材料, 采集硒含量不同的稻田土壤, 通过盆栽试验进一步研究了两个水稻品种对土壤硒的吸收、分配及其糙米和精米中无机硒与有机硒含量的组成特点。结果表明: 两个水稻品种植株的硒累积量、糙米和精米的硒含量与有机硒含量都是高硒土壤极显著高于低硒土壤, 表明高硒土壤有利于稻米硒的累积与有机硒的合成, 因此生产优质富硒大米最好选择硒含量较高的稻田土壤。无论在高硒土壤还是低硒土壤上, 捷丰优 629 植株中硒累积量和籽粒中硒累积量与谷丰优 8312 的差异都不显著, 但捷丰优 629 的糙米和精米中硒含量以及有机硒含量都极显著高于谷丰优 8312, 表明捷丰优 629 吸收的硒易分配到可食用部位(糙米和精米), 而且其无机硒向有机硒的转化能力较强, 因此综合比较来看捷丰优 629 富硒特性优于谷丰优 8312。

关键词: 水稻品种; 土壤硒; 吸收; 分配; 无机硒; 有机硒

中图分类号: S511

硒具有提高人体免疫力、抗衰老和预防癌变等生物学功能^[1], 因此开发富硒农产品已成为研究热点。2006 年海南省地质大调查发现富硒土壤约占其陆地面积的 27%^[2], 而且在中国南方大部分人以稻米为主食, 因此海南省富硒土壤资源开发的首选方向应是生产富硒大米。大量研究已证实水稻累积硒的基因型差异非常明显^[3–6], 筛选出富硒能力较强的杂交水稻品种, 对开发海南富硒土壤资源具有十分重要的意义。而且硒的生物功能不仅取决于硒的总浓度水平, 还与硒存在的化学形态以及不同化学形态下硒化物的浓度水平直接相关, 无机硒的毒性大, 而有机硒的毒性小^[7]。有机硒的生物利用率大于无机硒, 尤其是植物性硒产品中的有机硒, 是补硒产品的主要评价指标^[8]。已有研究发现喷硒能显著提高稻米中有机硒含量^[9–10], 但是天然高硒土壤中硒是否也能提高稻米中有机硒含量还有待研究。

本文选择前期通过田间试验从 63 个杂交水稻品种中筛选出的富硒能力较强的捷丰优 629 和谷丰优 8312, 在天然高硒、低硒稻田土壤上进行盆栽试验, 进一步比较两个水稻品种对土壤硒的吸收、分配及其糙米和精米中无机硒与有机硒含量的组成特点, 旨在

筛选出富硒优势较明显的水稻品种, 可为海南省种植富硒水稻提供品种资料, 从而为开发海南宝贵的硒土资源奠定基础, 同时还可了解土壤硒对稻米中无机硒和有机硒含量组成特点的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验在海南大学儋州校区农学院基地进行, 供试高硒土壤采自海南省定安县黄竹龙塘, 低硒土壤采自海南省儋州市木棠陈坊村, 供试土壤基本理化性质见表 1。

1.2 供试品种

前期通过田间试验从 63 个杂交水稻品种中筛选出的两个富硒能力较强的品种: 谷丰优 8312 和捷丰优 629, 由中国种子分公司三亚分公司提供。

1.3 试验设计

两个水稻品种和两种土壤交互配置, 共 4 个处理, 重复 6 次。

土壤经风干并过 3 mm 筛, 采用 30 cm × 35 cm 塑料桶装土, 每桶装土 7.5 kg, 施肥配比按 N : P₂O₅ : K₂O 为 1 : 1 : 1, 分别由尿素、过磷酸钙、氯化

①基金项目: “211 工程”热带作物遗传育种与生态保育创新人才培养基金青年教师项目(QNJS-2011-14)和海南省自然科学基金项目(808105)资助。

* 通讯作者(tsm317@163.com)

作者简介: 耿建梅(1977—), 女, 四川峨眉山人, 博士, 副教授, 主要研究方向为土壤、肥料与环境。E-mail: jmgeng@163.com

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Basic physical and chemical properties of studies soils

土壤类型	有机质 (g/kg)	pH	速效磷	速效钾	碱解氮	全硒	有效硒 (μg/kg)
			(mg/kg)				
高硒土壤	67.32	5.36	1.30	96.32	88.15	2.04	44.73
低硒土壤	17.3	6.23	0.72	71.75	33.32	0.18	6.32

钾提供，其中尿素 1.4 g。采取催芽移苗的方式，每盆移栽 4 穴，单本插植，整个期间始终保持 1~2 cm 浅水层，分别在分蘖、抽穗、成熟期采集整株样品。

1.4 样品处理

植株根系先用自来水冲洗，再用超纯水淌洗，干布擦干，立即用剪刀将各器官分开，即根、茎、叶和籽粒，杀青，烘干，粉碎过 100 目筛，供分析测定。成熟期一部分籽粒样品人工脱粒，用糙米机(JMNJ-3)脱壳，获得糙米，再用精米机(JNMJ3)将部分糙米碾磨为精米，将糙米、精米和壳分别粉碎过 100 目筛，供硒的分析测定。

1.5 测定项目与方法

1.5.1 土壤理化性质测定 土壤有机质、pH、速效磷、速效钾和碱解氮测定采用常规分析方法^[11]。土壤全硒测定：参考周鑫斌等^[4]的方法，并做了一些改进。称取土壤样品 0.25 g 于 100 ml 的三角瓶，加入 10 ml 混合酸(HNO₃∶HClO₄=4∶1)，盖上弯颈漏斗，静置过夜后在电热板低温砂浴硝化 1 h，然后再逐步升温，微沸条件下硝化至无色并冒白烟，取下，稍冷后加入 5 ml HCl(1∶1)，继续加热至无色并冒白烟，取下，再加 5 ml HCl(1∶1)，冷却，全部转入 25 ml 容量瓶中。硝化后待测液中的硒含量用北京吉天 AFS-830a 原子荧光光谱仪测定，测定条件为：PMT 电压 280V；HCl 全阴极电流 80 mA；载气流量 300 ml/min；屏蔽气流量 300 ml/min，原子化器高度 8 mm 注入量 0.5 ml；读数时间 10 s；延迟时间 1 s。以土壤标准物质(GSS-4、GSS-6、GSS-7，国家物化探研究所提供)作内标，测定回收率为 87%~115%(在推荐的

85.0%~115.0% 范围内)。土壤有效硒测定参考耿建梅等^[12]的方法。

1.5.2 植株硒含量测定 称取植株样品 0.25 g 于 100 ml 的三角瓶，后续步骤同土壤全硒测定。以标准物质圆白菜(GSB-5)和玉米(GSB-3)(国家物化探研究所提供)作内标，测定回收率为 89%~112%(在推荐的 85.0%~115.0% 范围内)。

1.5.3 糙米和精米的无机硒、有机硒含量测定 糙米和精米的无机硒含量测定参考陈金等^[13]的方法制备待测液，然后用原子荧光光谱仪测定，步骤同上。有机硒含量采用总硒含量减去无机硒含量得到。

1.6 数据分析

测定结果用 DPS v7.05 版统计软件进行统计分析，LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 水稻各生育期硒累积量比较

在整个生育期，两个水稻品种植株的硒累积量都是种植在高硒土壤的极显著高于低硒土壤(表 2)，说明土壤硒对水稻植株中硒累积量影响很大。在高硒土壤上，分蘖期和抽穗期，捷丰优 629 的硒累积量都是极显著或显著高于谷丰优 8312，但到成熟期差异不显著；低硒土壤上，两个品种在整个生育期中硒累积量差异都不显著。无论在高硒土壤还是低硒土壤，成熟期两个品种植株的硒累积量差异都不显著，籽粒中硒累积量差异也不显著(数据未列出)，表明这两个品种吸收土壤硒的能力及其向籽粒的分配能力都较为相似。

表 2 两个水稻品种各生育期植株硒累积量 (μg/株)
Table 2 Se amounts in plants of two rice cultivars during growing period

土壤类型	水稻品种	分蘖期	抽穗期	成熟期
高硒土壤	谷丰优 8312	4.87 b B	113.76 b A	113.83 a A
	捷丰优 629	6.68 a A	128.60 a A	129.29 a A
低硒土壤	谷丰优 8312	1.90 c C	19.17 c B	22.70 b B
	捷丰优 629	1.94 c C	22.43 c B	42.41 b B

注：同一列数据小写字母不同表示差异达到 $P<0.05$ 显著水平，大写字母不同表示差异达到 $P<0.01$ 显著水平，下同。

2.2 水稻成熟期各器官硒含量比较

由图 1 可知：在高硒土壤上，捷丰优 629 的根、茎、糙米和精米中硒含量都极显著高于谷丰优 8312，但壳

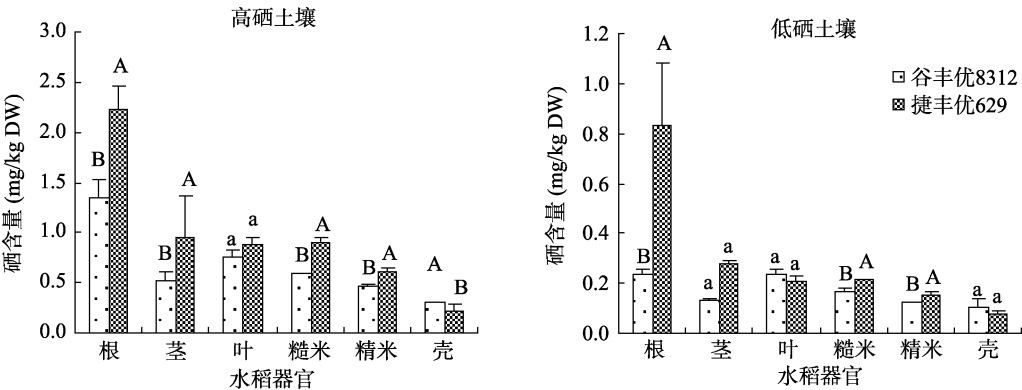
中硒含量却极显著低于谷丰优 8312。低硒土壤上，捷丰优 629 的根、糙米和精米中硒含量也都极显著高于谷丰优 8312，但叶和壳中硒含量略低于谷丰优 8312。总

之无论是在高硒土壤还是低硒土壤上,捷丰优 629 的糙米和精米中硒含量都极显著高于谷丰优 8312。

2.3 精米和糙米中无机硒与有机硒组成比较

两个水稻品种的糙米和精米中硒含量及其有机

硒含量都是种植在高硒土壤上的极显著高于低硒土壤,无机硒含量则在糙米和精米中表现不一致,其中糙米中无机硒含量也是高硒土壤上的显著高于低硒土壤,但精米中无机硒含量差异不显著(表 3)。



(同一器官中小写字母不同表示两个水稻品种间差异达到 $P<0.05$ 显著水平, 大写字母不同表示差异达到 $P<0.01$ 显著水平)

图 1 两个水稻品种成熟期各器官的硒含量

Fig. 1 Se contents in different organs of two rice cultivars during maturing stage

表 3 两个水稻品种精米和糙米中无机硒与有机硒含量(mg/kg)及百分比(%)

Table 3 Inorganic and organic Se contents and percentages in brown and milled rice of two rice cultivars

土壤类型	水稻品种	糙米				精米			
		总硒	无机硒	有机硒	有机硒/总硒(%)	总硒	无机硒	有机硒	有机硒/总硒(%)
高硒土壤	谷丰优 8312	0.587 B	0.046 a	0.541 B	92	0.464 B	0.043 a	0.421 B	91
	捷丰优 629	0.901 A	0.046 a	0.855 A	95	0.618 A	0.042 a	0.576 A	93
低硒土壤	谷丰优 8312	0.164 D	0.038 b	0.126 D	77	0.124 D	0.042 a	0.082 D	66
	捷丰优 629	0.216 C	0.037 b	0.179 C	83	0.151 C	0.034 a	0.117 C	77

无论是在高硒土壤还是低硒土壤上,糙米和精米中无机硒含量在两个品种之间没有显著差异,但是有机硒含量都是捷丰优 629 的极显著高于谷丰优 8312。

在高硒土壤上,糙米和精米中有机硒占总硒的比例在两个水稻品种之间也无明显差异,而且都大于 90%;在低硒土壤上,两个品种的糙米和精米中有机硒占总硒的比例都下降,谷丰优 8312 的糙米和精米中有机硒所占比例分别下降 15%、27%,捷丰优 629 分别下降 12% 和 17%。

3 讨论

有机硒的生物利用率大于无机硒,尤其是植物性硒产品中的有机硒,是补硒产品的主要评价指标^[8]。周鑫斌等^[9]研究表明水稻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%,本试验结果也表明糙米和精米中有机硒所占比例较高,占总硒的 66%~95%。

陈金等^[13]研究表明:在高硒土壤上,高硒和低硒大豆品种的粒中有机硒含量都高达 95%,但是在低硒土壤上,高硒和低硒大豆品种都将分别下降为

73% 和 30%;还有研究发现喷硒能提高水稻有机硒含量^[9-10]。本研究得到相似的结果:两个水稻品种的糙米和精米中有机硒含量都是种植在高硒土壤上的极显著高于低硒土壤,而且在高硒土壤上,两个品种的糙米和精米中有机硒占总硒的比例都大于 90%,低硒土壤上糙米和精米中有机硒所占比例都下降,其中捷丰优 629 分别下降为 83% 和 77%,谷丰优 8312 分别下降为 77% 和 66%,表明高硒土壤有利于稻米中有机硒的合成。

周鑫斌等^[4]研究指出造成水稻籽粒硒含量差异的主要原因:一是富硒水稻品种比非富硒水稻品种有较强的吸收硒的能力;二是富硒品种吸收的硒比非富硒品种更易向籽粒分配。需特别指出的是本研究比较的两个水稻品种是从田间试验筛选出的富硒能力都较强的,结果表明无论是高硒土壤还是低硒土壤上两个水稻品种植株吸收累积硒的总量无显著差异,籽粒中硒累积量也无显著差异(数据未列出),表明这两个品种吸收土壤硒的能力及其向籽粒的分配能力都较为相似。但是捷丰优 629 的糙米和精米中硒含量极显著高于谷丰优 8312,而壳中硒含量则相反;而且捷

丰优 629 的糙米和精米中有机硒含量都极显著高于谷丰优 8312, 其中高硒土壤上捷丰优 629 的糙米、精米中有机硒含量比谷丰优 8312 分别高出 58% 和 37%, 低硒土壤则分别高出 42% 和 43%, 表明捷丰优 629 吸收的硒更易分配到可食用部位(糙米和精米), 而且其无机硒向有机硒的转化能力也较强。

4 结论

两个水稻品种植株的硒累积量、糙米和精米的硒含量及其有机硒含量都是高硒土壤上的极显著高于低硒土壤上的, 表明高硒土壤有利于稻米硒的累积与有机硒的合成, 因此生产优质富硒大米最好选择硒含量较高的稻田土壤。

无论是在高硒土壤还是低硒土壤上, 捷丰优 629 植株和籽粒中硒累积量与谷丰优 8312 的差异都不显著, 但捷丰优 629 的糙米和精米中硒含量及其有机硒含量都极显著高于谷丰优 8312, 表明捷丰优 629 吸收的硒更易分配到可食用部位(糙米和精米), 而且其无机硒向有机硒的转化能力较强, 因此综合比较来看捷丰优 629 富硒特性优于谷丰优 8312。

参考文献：

[1] 蒋彬. 水稻富硒基因型品种遴选[J]. 陕西师范大学学报

(自然科学版), 2002, 30: 468–469

- [2] 侯小健. 海南首次发现大面积富硒土壤[N]. 中国矿业报, 2006–4–27(B02 版)
- [3] 李正文, 张艳玲, 潘根兴, 李久海, 黄筱敏, 王吉方. 不同水稻品种籽粒 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
- [4] 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 富硒与非富硒水稻品种对硒的吸收分配的差异及机理[J]. 土壤, 2007, 39(5): 731–736
- [5] 杜前进, 张永发, 曾宾, 李国强, 唐树梅. 海南富硒地区水稻富硒品种的筛选[J]. 中国土壤肥料, 2009(1): 46–49
- [6] 耿建梅, 吴露露, 余爱, 唐树梅. 海南省富硒杂交水稻品种筛选[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 376–380
- [7] 雷绍荣, 杨定清, 周娅. 硒的总量及形态分析综述[J]. 中国测试, 2009, 35(5): 1–6
- [8] 陈金. 硒在土壤—大豆系统中的动态生物有效性(硕士学位论文)[D]. 南京: 南京农业大学, 2003
- [9] 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 叶面喷施对水稻籽粒硒富集及分布的影响[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 73–78
- [10] 陈历程, 杨方美, 张艳玲, 胡求辉, 潘根兴. 我国部分大米含硒量分析及生物硒肥对籽粒硒水平的影响[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(4): 342–345
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 22–114
- [12] 耿建梅, 王文斌, 罗丹, 吴露露, 唐树梅. 不同浸提剂对海南稻田土壤有效硒浸提效果比较[J]. 土壤, 2010, 42(4): 624–629
- [13] 陈金, 潘根兴, 王雅玲. 土壤硒水平对两种春大豆硒吸收与转化的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 428–432

Comparative Study on Characteristics of Selenium Uptake and Distribution Between Two Rice Cultivars

GENG Jian-mei¹, WANG Wen-bin², WU Lu-lu¹, WANG Bei-bei¹, TANG Shu-mei^{1*}

(1 College of Agronomy, Hainan University, Haikou 570228, China; 2 Rubber Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: Pot experiment was conducted in paddy soils with high and low selenium(Se) contents to study Se uptake and distribution and composition of inorganic and organic Se contents of brown and milled rice of two rice cultivars (Jiefengyou629 and Gufengyou8312) that had been selected from field experiment previously. The results showed that the accumulation amounts in rice plant and Se contents and organic ones in brown and milled rice of two rice cultivars were more in high Se content soils than in low ones, which indicated that high Se content paddy soils was contributed to Se accumulation and composition of organic Se. Therefore Se-enriched rice cultivars had better plant in high Se content paddy soils to obtain high quality Se-enriched rice. Whether in high or low Se content soil, the difference of Se accumulation amounts in plant or grain between two rice cultivars was not significant. But Se content and organic Se content in brown and milled rice of Jiefengyou629 were higher than those of Gufengyou8312, which suggested that Se absorbed by Jiefengyou629 was easily distributed to edible parts (brown and milled rice) and inorganic Se of brown and milled rice was also easily changed into organic one. Therefore, the characteristics of Se uptake and distribution of Jiefengyou629 was better than those of Gufengyou8312.

Key words: Rice cultivar, Se content in soil, Uptake, Distribution, Inorganic Se, Organic Se