

不同硒肥对水稻产量及硒累积效应的影响

晏娟^{1,2}, 张忠平², 朱同贵^{1*}

(1. 安徽光明槐祥工贸集团有限公司, 安徽合肥 238000; 2. 巢湖学院化学与材料工程学院, 安徽合肥 238000)

摘要 以“南粳9108”为材料, 在巢湖流域研究不同种类硒肥的施用对水稻产量和硒的吸收、累积及分配的影响, 并进行肥料效应与成本分析。结果表明, 施用硒肥没有增加水稻产量, 甚至可能会使水稻略微减产。水稻精米硒含量分析表明, 叶面纳米硒肥和叶面酵素硒肥有一定效果, 但不很理想; 叶面亚硒酸盐硒肥效果甚至达到国家标准之上; 土施亚硒酸盐硒肥效果相对较为理想, 为 0.12 mg/kg, 处于国家规定标准之中, 相对较为安全。4 种硒肥效果差异很大, 因硒肥成本有所不同, 实际应用还应从农产品安全、环境效应、硒含量和经济效益等方面考虑。稻谷硒含量显著高于糙米, 糙米硒含量又显著高于精米。谷壳、谷糠及稻草含有大量的硒元素, 可考虑充分利用。

关键词 硒肥; 水稻; 累积; 效应; 成本

中图分类号 S511; S147.22 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)19-0142-02

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.19.037



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Effect of Different Selenium Fertilizers on Yield and Selenium Accumulation of Rice

YAN Juan^{1,2}, ZHANG Zhong-ping², ZHU Tong-gui¹ (1. Anhui Guangming Huaixiang Industry & Trade Group Co., Ltd., Hefei, Anhui 238000; 2. School of Chemistry & Material Engineering, Chaohu University, Hefei, Anhui 238000)

Abstract In this study, a field experiment was conducted with “Nanjing9108” as test material to investigate the yield and selenium uptake, accumulation and distribution in rice under different selenium fertilizers on rice in Chaohu Lake Basin, and the fertilizer effects and cost analysis were also made. The results showed that there was no significant yield increase in rice, but might even reduce the yield slightly when applied different selenium fertilizers. It was showed that foliar nano selenium fertilizer and selenium fertilizer of leaf enzyme had certain effect, but not very ideal by the analysis of selenium content in milled rice, and the effect of foliar selenite selenium fertilizer was unexpected, even above the national standard; the effect of selenite fertilizer applied in soil was 0.12 mg/kg, which was in the national standard, and relatively safe. The effect of four kinds of selenium fertilizer was very different, and the same to the cost of selenium fertilizer, the practical application should be considered from the aspects of agricultural product safety, environmental effect, selenium content and economic benefit. The results showed that the Se content of rice was significantly higher than that of brown rice, and the Se content of brown rice was significantly higher than that of milled rice. And it was showed that a considerable part of selenium in rice accumulated in hull, chaff and straw, could be fully utilized.

Key words Selenium fertilizer; Rice; Accumulation; Effect; Cost

硒是人体中重要的微量元素, 能提高人的免疫力, 还对一些癌症、心脑血管疾病等起到预防作用。据中国营养学会报道, 我国人均摄入量总量仅为 26~32 μg/d, 远低于建议每日摄入量 55 μg/d^[1]。水稻是我国主要粮食作物之一, 其硒含量与全国大多数人口硒营养状况密切相关。研究表明, 对水稻供应外源硒可显著提高水稻籽粒中硒的含量^[2-7]。Wang 等^[5] 研究发现对幼苗施 2 mg/L 的亚硒酸钠能够促进幼苗的生长, 抽穗期后对水稻喷施亚硒酸钠叶面肥 (40 mg/L, 10.5 g/hm²), 水稻籽粒硒含量从 0.03 μg/g 提高到 1.54 μg/g。Giacosa 等^[6] 研究发现叶面喷施 Na₂SeO₄ (10.5 g/hm²), 使糙米中硒含量从 0.36 mg/kg 提高到 1.64 mg/kg。富硒大米的研发对促进大众健康发挥重要的作用。但目前市场上的硒肥种类繁多, 有亚硒酸盐硒肥、酵素硒肥、纳米硒肥等, 按施用方式又可分为叶面喷施和土施 2 种, 硒肥种类不同, 效果差异很大。鉴于此, 笔者选取 4 种硒肥, 并按说明书指导用量施用, 研究水稻产量及籽粒对硒的累积效应, 为人们合理选择硒肥提供参考。

1 材料与与方法

1.1 试验材料 供试水稻品种为南粳 9108, 由安徽槐祥工

基金项目 安徽省高等学校省级自然科学基金项目 (KJ2017A448); 2018 年度安徽省博士后研究人员科研活动经费资助。

作者简介 晏娟 (1980—), 女, 安徽宁国人, 副教授, 博士, 从事植物营养学研究。* 通信作者, 高级农艺师, 从事作物种植研究。

收稿日期 2021-02-19

贸有限公司提供。田间小区试验在安徽省巢湖市坝镇兆河农场进行, 供试土壤为水稻土, 理化性质: pH 5.5, 有机质 18.4 g/kg, 全氮 1.02 g/kg, 碱解氮 107.30 mg/kg, 速效磷 7.64 mg/kg, 速效钾 69.10 mg/kg, 全硒 0.21 mg/kg。

1.2 试验设计 硒肥种类: F1, 叶面纳米硒肥; F2, 叶面亚硒酸盐硒肥; F3, 叶面酵素硒肥; F4, 土施亚硒酸盐硒肥; 对照 F0 为不施用硒肥。前 3 种叶面肥一次于齐穗期喷施。F4 处理中的硒肥为土施, 施用于水稻分蘖盛期。总共 5 个处理。每处理重复 3 次, 随机区组排列。共 15 个小区, 每小区面积为 42 m²。各种硒肥根据说明书指导用量与方法施用。

根据当地习惯, 水稻采取撒播方式种植。水稻成熟后在每个小区中间收获 3 m² 以测稻谷、稻草产量, 并取稻谷、稻草各 2 kg, 风干后测干重以测定含水量, 并留样测含硒量。

1.3 测定项目与方法 植物样品中硒含量依据 GB 5009.93—2010 测定, 即用 9 + 1 的 HNO₃ + HClO₄ (V+V) 混酸于 170 °C 下, 采用电热板进行消解。溶液中硒含量均采用氢化物发生-原子荧光光度法测定^[8]。

1.4 数据处理 试验数据采用 Excel 和 SPSS 16 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同硒肥对水稻产量的影响 由于 2017 年水稻在成熟灌浆期遭遇长时间的连阴雨天气, 致使整个小区水稻产量

均较低,产量在 5.5~6.3 t/hm²,多数在 6.0 t 左右。叶面纳米硒肥 F1 对水稻产量有一定的增产作用,土施亚硒酸盐硒肥 F4 对产量无显著影响,叶面亚硒酸盐硒肥 F2 和叶面酵素硒肥 F3 施用下水稻产量略微下降(图 1)。

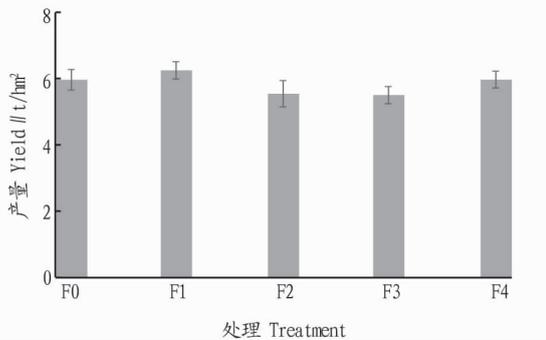


图 1 不同硒肥处理下水稻产量

Fig. 1 Rice yield under different selenium fertilizers

2.2 不同硒肥对水稻籽粒硒富集的影响 各种处理下水稻稻谷、糙米和精米的硒含量见图 2。由图 2 可知,施用硒肥对水稻籽粒含硒量有显著促进作用。叶面纳米硒肥 F1 和叶面亚硒酸盐硒肥 F2 处理下稻谷含硒量明显高于糙米,而糙米含硒量又显著高于精米。其他 3 个处理下,稻谷和糙米的含硒量无显著差异,但显著大于精米。可见稻壳和米糠中含有大量的硒。

不论是稻谷还是糙米和精米,施用不同硒肥,水稻含硒量差异很大。叶面亚硒酸盐硒肥 F2 效果尤为显著,稻谷、糙米和精米的含硒量分别是未施硒肥的 13.7、10.0 和 36.9 倍。叶面纳米硒肥 F1 效果也较好,分别是未施硒肥的 5.0、3.3 和 7.2 倍。相比之下,土施亚硒酸盐硒肥 F4 精米硒含量较叶面纳米硒肥 F1 好,但糙米和稻谷硒含量略低。

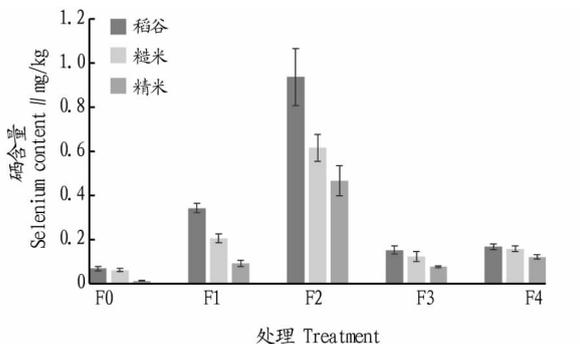


图 2 不同硒肥处理下水稻稻谷、糙米和精米的含硒量

Fig. 2 Selenium content of rice, brown rice and milled rice under different selenium fertilizers

4 种肥料中,叶面酵素硒肥 F3 的作用较弱,精米硒含量为 0.077 mg/kg,叶面亚硒酸盐硒肥 F2 效果最好,均值可达 0.46 mg/kg,但高于国家规定标准^[9]的上限。F4 土施亚硒酸盐硒肥效果相对较为理想,为 0.12 mg/kg,处于国家规定标准之中间值,较为安全,F1 叶面纳米硒肥为 0.092 mg/kg,处于富硒米标准含量的下限。

2.3 不同硒肥对水稻植株硒累积量及分配的影响 对照及 4 种施肥处理下,水稻的收获指数为 0.41~0.45,其中 F4 土

施亚硒酸盐硒肥收获指数最高,可见水稻的茎叶占据较大部分重量,土施硒肥有利于水稻籽粒的质量分配。

不同处理下,水稻硒累积量差异很大,为 1.11~10.8 g/hm²。除对照外,F1 叶面纳米硒肥硒地上部累积量最高,是最低叶面酵素硒肥 F3 的 4.8 倍。除叶面亚硒酸盐硒肥 F2 外,其他处理中稻草的硒累积量显著高于稻谷硒累积量。各处理中,硒累积量在水稻稻谷和稻草之间的分配比例,即硒的收获指数在 0.20~0.54。可见,水稻吸收的硒大部分集中在稻草之中,叶面亚硒酸盐硒肥 F2 最有利于水稻硒由营养体向籽粒转移,F1 叶面纳米硒肥硒吸收累积能力较强,但硒由营养体向籽粒转移效果最差(图 3)。

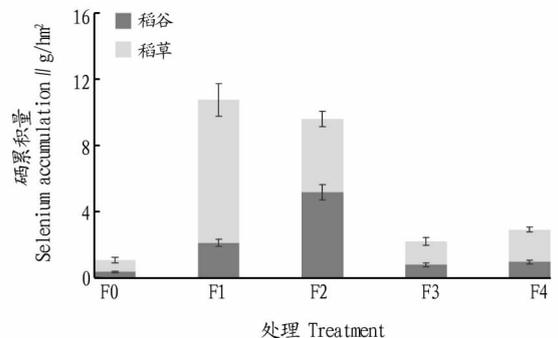


图 3 不同硒肥处理下水稻稻谷和稻草的硒累积量

Fig. 3 Selenium accumulation in rice and rice straw under different selenium fertilizers

2.4 肥料效应及成本分析 叶面纳米硒肥 F1 成本约 900 元/hm²;叶面亚硒酸盐硒肥 F2 按采购价 1 425 元/hm²,叶面酵素硒肥 F3 1 500 元/hm²,土施亚硒酸盐硒肥 F4 3 000 元/hm²。从成本上看,纳米硒肥成本最低,产量稍增加,但精米硒含量不是很高。叶面亚硒酸盐硒肥 F2 和叶面酵素硒肥 F3 产量及成本差异不大,但叶面亚硒酸盐硒肥 F2 精米硒含量较高,可减量施用节约成本;F4 中亚硒酸盐硒肥土施精米硒含量适中,但相对成本较高。各种硒肥成本有所不同,实际应用还应从农产品安全、环境效应、硒含量和经济效益等多方面来考虑。

3 讨论

2017 年研究结果表明,对于水稻品种 9108,施用硒肥没有增加水稻产量,甚至可能会使水稻略微减产。究其原因,很可能是叶面硒肥含硒量较高,硒肥施用量过高很可能会影响水稻生长,导致水稻产量下降^[2,10-13]。

水稻精米硒含量分析表明,叶面纳米硒肥和叶面酵素硒肥有一定效果,但不很理想;叶面亚硒酸盐含量,甚至达到国家标准之上;土施亚硒酸盐硒肥效果相对较为理想,为 0.12 mg/kg,处于国家规定标准之中,相对较为安全。4 种硒肥效果差异很大,可能与肥料中硒的形态有关^[10-15]。另外,同是亚硒酸盐,叶面喷施较土施效果好,究其原因,可能是土施亚硒酸盐肥料由于土壤矿物质对硒的吸收固定使水稻难以吸收,或土施亚硒酸盐形态的硒肥会随着灌溉或雨水流失,导致其生物有效性较低^[16-17]。各种硒肥成本有所不同,

(下转第 156 页)

质还有抗癌和抗血栓的功效^[23,25-27],而柳兰水提物、70%乙醇提取物、100%乙醇提取物和乙酸乙酯提取物中均含有多酚类化合物,且乙酸乙酯提取物中含有7种黄酮类化合物,占总量的3.59%,由此可见,柳兰在降血脂和抗癌等领域有较大的开发利用前景。

参考文献

- [1] 廖成松,何广礼. 柳兰研究现状与展望[J]. 安徽农业大学学报,2016,43(4):658-661.
- [2] 芦永昌,钱帅,毛继祖,等. 柳兰中总黄酮含量的测定[J]. 种业导刊,2016(11):13-16.
- [3] 杜品. 青藏高原甘南藏药植物志[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,2006:195-196.
- [4] 田静,卢永昌,曾肇毅,等. 柳兰化学成分与生物活性研究进展[J]. 中成药,2017,39(2):369-372.
- [5] 姜守刚,吴磊,邢原首,等. 柳兰不同部位的化学成分及矿物质元素含量分析[J]. 黑龙江医药,2018,31(1):1-4.
- [6] JUAN H,SAMETZ W,HIERMANN A. Anti-inflammatory effects of a substance extracted from *Epilobium angustifolium*[J]. Agents actions,1988,23(1/2):106-107.
- [7] DENG L Q,ZONG W,TAO X Y,et al. Evaluation of the therapeutic effect against benign prostatic hyperplasia and the active constituents from *Epilobium angustifolium* L. [J]. Journal of ethnopharmacology,2019,232:1-10.
- [8] DENG L Q,ZHOU S Y,MAO J X,et al. HPLC-ESI-MS/MS analysis of phenolics and *in vitro* antioxidant activity of *Epilobium angustifolium* L. [J]. Natural product research,2018,23(12):1432-1435.
- [9] SILLÓ S,VARGA E,BELÁK Á,et al. Phytochemical and antimicrobial investigation of *Epilobium angustifolium* L. [J]. Acta pharmaceutica hungarica,2014,84(3):105-110.
- [10] 马四补,李开斌,陈维,等. GC-MS 联用技术对比分析黔产广东紫珠叶与果实挥发性化学成分及含量[J]. 中药材,2019,42(5):1066-1070.
- [11] KUKINA T P,FROLOVA T S,SAL'NIKOVA O I. Neutral constituents of *Chamaenerion angustifolium* leaves[J]. Chemistry of natural compounds,2014,50(2):233-236.
- [12] 唐飞,刘美辰,敖慧. 木香与川木香挥发油化学成分及抗菌活性的对比研究[J]. 中华中医药学刊,2020,38(6):165-168,273.

(上接第143页)

实际应用还应从农产品安全、环境效应、硒含量和经济效益等方面来考虑。

该研究结果表明稻谷硒含量显著高于糙米,糙米硒含量又显著高于精米。显然,稻壳中含有大量的硒,这与李玉梅等^[2]的研究结果一致。其次,米糠中存有的硒也较精米高,与姜超强等^[18]研究结果一致。水稻中的硒相当大的一部分集中在稻草中。可见,谷壳、谷糠及稻草含有大量的硒元素,可考虑充分利用,如用来养殖富硒猪和富硒牛,发展富硒肉制品。

参考文献

- [1] 金国强,王治学,吴殿星. 富硒水稻研究进展[J]. 中国稻米,2015,21(5):24-28.
- [2] 李玉梅,王根林,李艳,等. 水稻对有机态硒的吸收与积累[J]. 中国农学通报,2017,33(10):7-11.
- [3] 张均华,朱练峰,禹盛苗,等. 稻田硒循环转化与水稻硒营养研究进展[J]. 应用生态学报,2012,23(10):2900-2906.
- [4] 周鑫斌,施卫明,杨林章. 水稻籽粒硒累积机制研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):503-507.
- [5] WANG Y D,WANG X,WONG Y S. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield,selenium content and bioavailability through fertilisation with selenite[J]. Food Chem,2013,141(3):2385-2393.
- [6] GIACOSA A,FALIVA M A,PERNA S,et al. Selenium fortification of an Italian rice cultivar via foliar fertilization with sodium selenate and its

- [13] 刘娟,郝春艳,李凤伟. 柳兰鞣质含量动态分析及体外抗氧化作用研究[J]. 黑龙江医药科学,2014,37(3):19-21.
- [14] 向雪岑. 柳兰外用制剂在微创术后中的应用[C]//2016中国中西医结合学会医学美容学术年会暨第二届泛亚国际医学美容大会论文汇编. 北京:中国中西医结合学会,2016:147.
- [15] 向雪岑. 柳兰外用制剂在皮肤急性炎症中的应用[C]//2017中国中西医结合学会医学美容专业委员会年会会议摘要. 北京:中国中西医结合学会,2017:79.
- [16] 高丽,彭玲芳,赵春梅,等. 5种云南民族药材的用药经验及毒性和药效[J]. 中国药理学与毒理学杂志,2017,31(6):503-507.
- [17] 高丽娜. 藏药提取物体外抗 HIV-1 活性研究[D]. 北京:北京工业大学,2017.
- [18] 栾真杰,李佩佩,皮立,等. 超声波提取马蔺籽油的脂肪酸组成及其抗氧化能力评价[J]. 中国粮油学报,2020,35(4):77-82.
- [19] 黄洁,欧阳彩群,杨森林,等. 不同 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸构成比对高脂饲料喂养大鼠脂素和糖脂代谢及抗氧化能力的影响[J]. 卫生研究,2020,49(1):86-91.
- [20] 赵海军,魏芳,傅茂润,等. 加工工艺对牡丹籽油脂肪酸成分、理化性质及抗氧化能力的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(24):8377-8381.
- [21] 谢颖,金志红,朱靖,等. 植物甾醇对奶牛生产性能、血液胆固醇和抗氧化能力的影响[J]. 中国奶牛,2020(2):12-18.
- [22] 张宇,孙波,赵晓,等. 南瓜籽甾醇对 SD 大鼠体内抗氧化作用的影响[J]. 中国油脂,2019,44(7):94-97.
- [23] CHEN X N,YAO F,SONG J,et al. Protective effects of phenolic acid extract from ginseng on vascular endothelial cell injury induced by palmitate via activation of PI3K/Akt/eNOS pathway[J]. Journal of food science,2020,85(3):576-581.
- [24] 彭玉帅,刘莉嘉,赵灿,等. 金莲花中首次分离的一个酚酸类化合物及其抗炎和抑菌活性[J]. 中华中医药学刊,2015,33(6):1349-1351.
- [25] 刘海梅. 白花丹参中丹参酮类和酚酸类化合物抗血栓活性评价及机制研究[D]. 济南:山东大学,2018.
- [26] 唐琴. 黄酮类化合物与羟基喜树碱的联合抗癌作用及机理研究[D]. 大连:大连理工大学,2017.
- [27] 王博,林圣云. 含黄酮类中药的抗癌抗肿瘤作用研究概况[J]. 浙江中医药大学学报,2012,36(7):838-840.
- [28] 陈虎. 药桑椹总黄酮的抗炎镇痛活性研究[D]. 重庆:西南大学,2018.
- [29] 杨兴海,孔劲松. 生物黄酮类化合物对心血管、消化系统及镇痛作用的研究进展[J]. 时珍国医国药,2007,18(5):1242-1243.

- effects on human serum selenium levels and on erythrocyte glutathione peroxidase activity[J]. Nutrients,2014,6(3):1251-1261.
- [7] 吴得峰. 喷施硒肥对水稻产量及硒含量的影响[J]. 安徽农业科学,2018,46(24):108-110.
- [8] 中华人民共和国卫生部. 中华人民共和国国家标准 食品安全国家标准 食品中硒的测定:GB 5009.93—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准 富硒稻谷:GB/T 22499—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [10] 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[J]. 湖南农业大学学报,1998,24(3):176-179.
- [11] 段门俊,田玉聪,吴芸紫,等. 叶面喷施亚硒酸钠对再生稻产量及品质的影响[J]. 中国水稻科学,2018,32(1):96-102.
- [12] 穆婷婷,杜慧玲,景小兰,等. 外源硒对谷子产量因子及硒含量的影响[J]. 作物杂志,2017(1):73-78.
- [13] 韦叶娜,杨国涛,范永义,等. 外源硒处理对优质地方水稻品种产量及稻米硒磷钾含量的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(36):14-19.
- [14] 郑甲成,刘婷. 不同浓度硒肥对水稻硒含量和产量的影响[J]. 土壤,2014,46(1):88-93.
- [15] 周鑫斌,赖凡,张城铭,等. 不同形态硒向水稻籽粒转运途径及品种差异[J]. 土壤学报,2017,54(5):1251-1258.
- [16] KESKINEN R,RÄTY M,YLI-HALLA M. Selenium fractions in selenate-fertilized field soils of Finland[J]. Nutr Cycl Agroecosyst,2011,91(1):17-29.
- [17] LI Z,MAN N,WANG S S,et al. Selenite adsorption and desorption in main Chinese soils with their characteristics and physicochemical properties[J]. J Soils Sediments,2015,15(5):1150-1158.
- [18] 姜超强,沈嘉,祖朝龙. 水稻对天然富硒土壤硒的吸收及转运[J]. 应用生态学报,2015,26(3):809-816.