

不同浓度硒肥对籼稻硒含量和产量的影响^①

郑甲成^{1, 2}, 刘 婷¹

(1 安康市农业科学研究所, 陕西安康 725021; 2 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 发展富硒水稻经济效益显著。为了进一步理解籼稻组合富硒能力和产量变化规律, 本研究以安康市农科所选育的优势较好的籼稻后代组合(MR、ME、MI、ML)为材料, 在苗期、孕穗期和齐穗期连续喷施不同浓度的硒肥。结果表明: 随着硒肥浓度增加, 4 个籼稻材料硒含量均出现快速增长, 但后期增速减缓, 富硒能力依次为: ML>MR>ME>MI; 产量随着硒肥浓度增加而增加, 但是浓度过高, 产量则下降, 在最适硒肥浓度下, 籼稻产量大小依次为: MR>ML>MI>ME。因此, 籼稻后代材料 MR 和 ML 富硒能力较好, 可以作为后续育种工作的重点材料。

关键词: 硒含量; 产量因素; 水稻; 经济效益; 回归分析

中图分类号: S143.7+1

19 世纪, 科学家以研究环境毒素为目的发现了硒(Se)元素。随着研究深入, 发现硒元素在人体解毒、防癌变、抗衰老、提高免疫力等多方面具有重要作用。1973 年世界卫生组织宣布硒是人体所必需的生命元素。我国除湖北恩施、陕西安康、贵州开阳、浙江龙游等地的其余大部分地区硒元素缺乏^[1-4]。因此, 经济市场出现了富硒茶、富硒菌、富硒蔬菜、富硒作物等产品, 前景可观。现阶段硒营养研究已逐渐走向“纯科研”与“理论实践相结合”的同步时代, 成为国内研究热点。

安康地处陕西南边, 土壤和农作物平均硒含量分别达到 1.975 mg/kg 和 0.593 0 mg/kg, 明显高出我国土壤(0.2 mg/kg)和农作物(0.010 3 mg/kg)平均硒含量, 是天然的富硒资源基地^[5-8]。水稻是安康地区的主要口粮, 也在我国国民经济中具有重要地位。通过人工施用外源硒肥, 利用富硒大米来补给国内人体硒元素是一条重要途径。研究表明增加土壤中有效硒的含量, 能显著提高水稻籽粒及秸秆中的含硒量, 使大米和用作动物饲料的稻草营养更全面, 产量更高, 品质更好^[9-10]。在不同的硒浓度下, 各个粳稻品种富硒能力和产量存在较大差异, 利用系谱选择、花药培养等方法, 可以创造出一系列富硒水稻新种质^[9, 11-12]。为此, 本文在总结前人研究的基础上, 以本单位选育的优势较好的籼稻后代组合为材料, 研究不同浓度硒肥对籼稻硒分布、硒含量和产量的影响, 掌握种植富

硒籼稻的运筹管理方法, 理解籼稻对硒肥吸收利用和转运的特点, 与产量间的相互关系, 筛选富硒能力强的水稻新材料, 为获得富硒水稻品种, 发展富硒水稻产业提供理论依据和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为安康市农科所自配组合的 4 个较好后代籼稻材料, 早熟材料: ME(5034×中 9A); 晚熟材料: ML(D297A×康恢 56); 抗病材料: MR(3041×中 9A); 感病材料 MI(明优 02)。基肥为尿素、磷酸二氢和氯化钾, 硒肥为亚硒酸钠(Na_2SeO_3), 所用药品均为国产分析纯。

1.2 试区概况

试验于 2011 年 4—9 月在陕西安康市农业科学研究所试验田内进行, 试验地前茬为上年水稻收后的空闲地, 土壤肥力中上等。试验田为黄棕壤土, pH 6.5~6.7, 有机质 15.0~18.4 g/kg, 全氮 1.10~1.24 g/kg, 全磷 1.49~1.93 g/kg, 全钾 17.5~25.7 g/kg, 速效磷 8.3~8.9 mg/kg, 速效钾 111~134 mg/kg^[13]。试验区海拔 280 m, 年平均气温 15℃, 日照时数 1 495.6~1 836.2 h, 年降水量 750~1 100 mm, 属于亚热带大陆季风气候区。籼稻生长期中从播种到拔节以前, 日平均温度 15.3℃; 拔节到孕穗期, 日平均温度 21.3℃, 始穗到齐穗期, 日平均温度 29.1℃; 扬花到收获期,

基金项目: 陕西省科技研究发展计划项目(2004K02-G)资助。

作者简介: 郑甲成(1984—), 男, 甘肃庆阳人, 初级农艺师, 博士研究生, 主要研究方向为作物分子生物学和水稻常规育种。E-mail: zhengjiachengx2009@163.com

日平均温度 28.6℃。

1.3 栽培条件

适时放水泡田整地。4 月 1 日选取平整的田地育秧,4 月 29 日(叶龄五叶一心)选取大小一致、长势整齐的秧苗插秧。插秧前采用尿素、磷酸二氨、氯化钾作基肥,N、P、K 比例为 1:0.3:0.3,施用量 N:180 kg/hm²,P:54 kg/hm²,K:54 kg/hm²,磷肥和钾肥一次施入,基肥施氮 60%,返青肥施氮 40%。后期除草、喷药、浇水等管理措施同大田^[14]。

1.4 试验处理

采用品种×硒浓度两因素试验,小区面积 1.25 m²,每小区种 4 行,每行 8 穴,每穴两苗,宽窄行种植,宽行 30 cm,窄行 16.67 cm,株距 16.67 cm。试验设置 4 个硒水平,3 次重复,共 48 个小区,全部采用随机区组排列。每个小区处理水平:Se0=0 g/hm²、Se1=7.5 g/hm²、Se2=15 g/hm²和 Se3=30 g/hm²,在苗期、孕穗期和齐穗期叶面喷施亚硒酸钠,每个时期的喷硒量各占每个小区总喷硒量的 1/3,喷施选择在阴天、晴天早上或傍晚气温较低时,以增加作物的吸收^[15]。

1.5 硒元素的测定

样品处理:分别采取各个小区籽粒样品,每小区采 3 个样,均匀混合为一个样。样品烘干至恒重,先用出糙机分离出糙米和颖壳,再用碾米机分别粉碎,得到糙米和米糠的粉末,100 目过筛后装于塑料袋中冰箱储存备用。称取 0.5 g 样品于消解罐中,加入 10 ml HNO₃和 2 ml H₂O₂,放入微波消解仪,180℃,20 Pa,消解 3 min 后取出倒入三角瓶中,加几粒玻璃珠,在加热板上 170℃加热使液体蒸发,剩余大约 2 ml 时,加入 5 ml 盐酸,继续加热至清亮无色并伴有白烟出现,将六价硒还原成四价硒。冷却,转移至 50 ml 容量瓶中定容,混匀备用。同时做空白试验。

标线配置:分别取 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 ml 标准应用液于 10 ml 离心管中,用去离子水定容,再分别加盐酸 2 ml,铁氰化钾 1 ml,混匀,制成标准工作曲线。

样品测定:采用北京海光 AFS-2202 原子荧光分光光度计测定。首先设定好仪器最佳条件,逐步将炉温升至所需温度后,稳定 10~20 min 后开始测量。连续用标准系列的零管进样,待读数稳定之后,转入标准系列测量,绘制标准曲线。转入试样测量,分别测定试样空白和试样消化液,每测不同的试样前都应清洗进样器。

1.6 试验数据分析

试验所有数据都设有重复,数据采用 Excel

2007、DPS6.55 和 SPSS12.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 喷施不同浓度硒肥后籼稻糙米和米糠中硒含量分析

供试材料收获后,分别测定糙米和米糠中硒含量(表 1)。从表 1 可知,4 个材料对照组相比,MR 材料富硒能力较差,米糠和糙米中硒含量分别为 0.052 mg/kg 和 0.035 mg/kg;ML 材料富硒能力最高,米糠和糙米中硒含量分别达到 0.283 mg/kg 和 0.181 mg/kg。在施用硒肥处理后,4 个供试材料米糠和糙米中硒含量比对照组明显提高,MR、ME 和 MI 材料硒处理间差异均达到极显著水平,ML 材料硒处理间差异达到显著水平。MR 材料对硒肥敏感,随着硒肥浓度增加,米糠和糙米中硒含量迅速增加,而 ML 材料对硒肥反应迟钝,提高硒肥浓度后,米糠和糙米中硒含量增加较慢。这说明喷施硒肥后在一定范围内可以提高水稻的硒含量,而且米糠中硒含量高于糙米。

表 1 不同硒浓度处理下籼稻的硒含量
Table 1 Selenium content of indica rice under different selenium concentration

材料	处理	硒含量(mg/kg)	
		米糠	糙米
MR	Se0	0.052 D	0.035 C
	Se1	0.078 C	0.044 C
	Se2	0.166 B	0.157 B
	Se3	0.215 A	0.203 A
ME	Se0	0.135 C	0.101 D
	Se1	0.174 B	0.121 C
	Se2	0.303 A	0.227 B
	Se3	0.321 A	0.246 A
MI	Se0	0.159 D	0.119 D
	Se1	0.212 C	0.151 C
	Se2	0.292 B	0.217 A
	Se3	0.316 A	0.247 B
ML	Se0	0.283 d	0.181 d
	Se1	0.306 c	0.206 c
	Se2	0.365 b	0.295 a
	Se3	0.387 a	0.325 b

注:同列同一材料不同小写字母和大写字母分别表示各硒处理在 P<0.05 和 P<0.01 水平上差异显著,下同。

2.2 喷施硒肥后对籼稻产量因素的影响

收获后,各个处理单株考种统计结果见表 2。MR 和 ML 材料植株较高,平均达到 123 cm。施用硒肥后,4 个材料株高都增加,其中 MR、ME 和 MI 株高与对照间差异达到极显著水平。ME 和 MI 对硒

肥较为敏感,在 Se3 处理下,株高平均增加 8.5% 和 13.1%;ML 对硒肥反应迟钝,株高增加不明显。MI 材料有效分蘖多,平均在 20 个以上,其他材料相比较低,且有效分蘖随硒肥浓度升高先增加后降低。MI 和 ML 材料千粒重较大,分别达到 28.31 g 和 32.20 g;ML 材料空瘪率较小,都在 6% 以下。施用硒肥后各个处理间千粒重差异不明显,但对 4 个材料空瘪率影响较大,在施用硒肥后 4 个材料空瘪率均降低,与对

照间差异均达到极显著水平。折合亩产发现,MR 产量最高,为 675.9 kg/667m²。施用硒肥后,明显提高了 4 个材料产量,在 Se2 处理水平下,MR、ME、MI 和 ML 分别增加 5.4%、7.2%、7.0% 和 10.2%,然而,在 Se3 处理水平下,4 个材料产量有降低趋势,统计结果显示 4 个材料硒处理与对照组差异均达到极显著水平,其中 MR、ME 和 ML 硒处理间差异达极显著水平,而 MI 硒处理间差异不显著。

表 2 不同浓度硒处理对籼稻产量因素的影响
Table 2 Influence on the yield of indica rice under different selenium concentration

材料	处理	株高	产量因素			
			有效分蘖(个)	空瘪率(%)	千粒重(g)	产量(kg/667m ²)
MR	Se0	123.5 B	18	8.21 A	25.93	675.9 D
	Se1	125.1 AB	19	7.95 B	26.18	707.5 B
	Se2	125.9 AB	20	7.89 B	26.13	712.3 A
	Se3	129.1 A	18	7.70 C	26.08	691.5 C
ME	Se0	114.4 C	18	9.94 A	26.55	590.5 D
	Se1	118.7 B	20	8.94 B	26.60	621.4 C
	Se2	123.3 A	18	9.59 B	26.65	632.8 A
	Se3	124.1 A	18	9.57 C	26.66	627.1 B
MI	Se0	117.2 D	20	8.45 A	28.31	602.3 B
	Se1	120.5 C	23	8.39 A	28.20	643.5 A
	Se2	125.3 B	27	7.86 B	28.25	644.2 A
	Se3	132.6 A	25	7.91 B	28.25	642.7 A
ML	Se0	122.8 a	16	5.50 A	32.20	621.2 D
	Se1	123.1 a	18	4.82 B	32.29	641.9 C
	Se2	123.4 a	20	4.21 C	32.28	673.8 A
	Se3	123.7 a	19	3.40 D	32.30	660.8 B

2.3 硒肥处理浓度与籼稻硒含量和产量的回归分析
利用 SPSS12.0 进行曲线参数估计,发现硒肥处理浓度与籼稻硒含量和产量之间关系都逼近二次方程模型(图 1 和图 2)。硒含量回归分析发现:随着硒肥浓度增加 4 个籼稻材料糙米硒含量都出现先快速增长,后期增速减缓的趋势。通过二次模型预测可知,利用喷施硒肥的方式,MR、ME、MI 和 ML 材料硒肥浓度分别为 54、33、37、37 g/hm² 时,糙米硒含量可以达到最大,浓度分别为 0.265、0.255、0.249、0.336 mg/kg。我国规定,食品中的最高含硒量不超过 0.3 mg/kg^[16],因此,从图 1 看出,在安康地区,通过增加外源硒肥浓度,还可以进一步提高籼稻材料的硒含量,满足我国消费人群的补硒量。

产量回归分析发现,产量与硒浓度也呈现二次抛物线的回归趋势,即产量随着硒肥浓度增加呈现先增加后降低的趋势。从图 2 模型预测可知,利用田间喷施硒肥的方式,MR、ME、MI 和 ML 材料施硒浓度

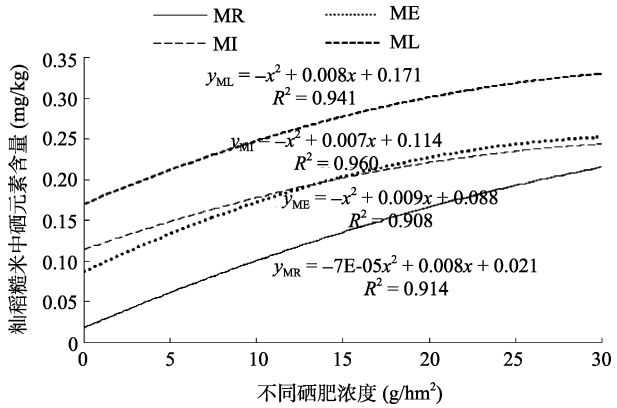


图 1 不同硒肥浓度下籼稻硒含量回归曲线
Fig. 1 Selenium content regression curve of indica rice under different selenium

分别为 16.5、20.5、19.5、21.0 g/hm² 时,产量分别达到 716、638、654、674 kg/667m²。说明在田间喷施硒肥的浓度需要控制在一定的范围内,硒肥浓度过高则会抑制产量的形成。

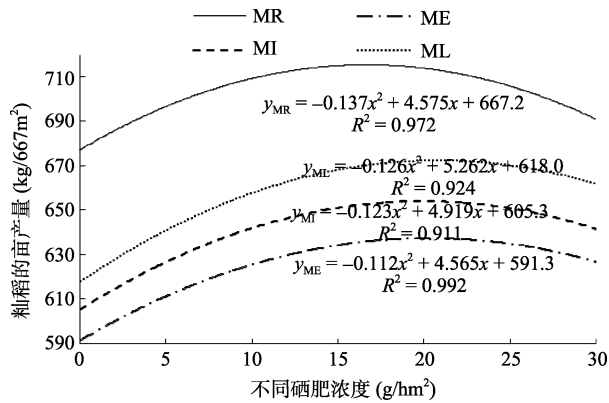


图 2 不同硒肥浓度下籼稻亩产量回归曲线
Fig. 2 Yield regression curve of indica rice under different selenium

2.4 经济效益分析

施用硒肥后可以显著提高籼稻的产量和硒含量，增加农民收入(表 3)。如果能让农民推广种植富硒水稻品种，农民与企业签订生产合同，然后高价回收。水稻 1 kg 籽粒平均能加工出 0.7 kg 大米，安康本地每千克大米 3.0 元，如果按每千克富硒大米比国内普通稻米高出 0.3 元收购，则富硒稻米本身每 667m² 平均增值 131 元。如果施用硒肥后按照预测理论产量计算，每 667m² 土地平均增产增值 110 元。去除使用硒肥自身成本和喷施硒肥的劳动力成本，每 667m² 用地可增加 241 元。安康本地水稻种植面积 40 万亩，则安康水稻种植总增值 9640 万元，安康农村人口 190 万，人均增收 51 元。

表 3 喷施硒肥后籼稻经济效益分析(元/667m²)
Table 3 Economic benefit analysis of indica rice after sprayed with selenium

材料	劳动力成本	硒肥成本	富硒水稻增值	产量增值	总增收
MR	10	11	142	92	234
ME	10	11	124	109	233
MI	10	11	127	118	245
ML	10	11	131	120	251
平均值			131	110	241

3 讨论

据研究，杂交籼稻具有较强富硒能力，但各品种(组合)由于基因型不同，富硒水平存在显著差异^[17-19]，含有不同基因型的水稻品种的精米和米糠中硒含量也有显著差异^[20]。为了研究硒肥对水稻生育期和抗病性的影响，本试验分别选择早熟、晚熟、抗病和感病材料，相互之间基因型差异较大，结果发现：硒肥对籼稻生育期影响不明显，但对抗病性有影响，需要进一步试验探索(数据没有列出)。施用硒肥后籼稻材料硒含量显著增加，并且增幅先快后缓，说明水稻具

有较大富硒潜力，但是植株中浓度较大时硒含量不再增加，保持一定硒水平，这与前人研究结果基本一致^[21]。施用硒肥后水稻植株各器官硒含量顺序依次为根>籽粒>叶>茎，而土壤不施硒时植株中硒含量依次为根>叶~茎>籽粒，说明硒元素具有向籽粒富集的特点^[22]。本研究显示，水稻米糠中硒含量明显高于糙米中硒含量，进一步证明水稻植株根系和叶面吸收硒元素后通过茎运输至籽粒，提高籽粒硒含量。

另据研究，在不同生育时期分别喷施硒肥对水稻产量构成因素影响较大，但也有研究发现同一水稻品种在不同生育时期硒肥处理下产量差异不显著^[15,23]。本文为了研究硒肥对籼稻材料分蘖、成穗和灌浆特性的影响，同时在苗期、孕穗期和齐穗期叶面喷施亚硒酸钠。结果表明，4 个籼稻材料在施用硒肥后，产量增加显著，硒肥浓度过大时，产量下降。通过对产量构成因素分析可知，硒肥对于水稻千粒重和有效分蘖影响较小，产量提高主要原因是降低空瘪率，且趋势是先降低后略升，这与一些研究者的研究结果一致^[23-24]，主要原因是由于硒能影响植物中叶绿素的合成，调节光合作用和呼吸作用中电子传递^[25-26]，从而可能增加了植物叶片中叶绿素含量，加快光合作用，提高水稻的结实率，使水稻植株增产。另外硒肥可以促进水稻后期植株发育，株高增加显著，可能是由于硒肥协同其他矿质元素吸收，促使作物生物量增加。这些说明硒肥可以提高水稻产量，但是硒肥浓度过大，则会促进作物徒长，经济产量下降；但是，对于饲草类作物，则可适当调节硒肥浓度，增加生物量，提高利用价值。

据报道，辽宁省盘山县 2001 年推广富硒水稻近 1.3 万 hm²，生产的富硒米深受消费者欢迎，江苏南京六合区生产的六合富硒大米远销上海、深圳、福州、香港等地。富硒水稻具有广阔的开发前景，通过深加工富硒糙米，形成标准化富硒大米，远销国内外，补给人缺硒，稻草加工为富硒饲料，喂养牲畜，使硒元素流入上一级食物链，最终补给人。

4 结论

水稻吸收硒肥后具有向籽粒富集的潜力。外源施用硒肥对水稻生育期影响不明显，但可以显著提高水稻植株器官和籽粒的硒含量，增加水稻亩产量。然而，硒肥浓度必须控制在一定范围之内，浓度过大，水稻空瘪率增加，产量反而下降，尤其对于收获籽粒的作物影响较大。在苗期、孕穗期和齐穗期，分别对 4 个籼稻材料喷施不同浓度硒肥，回归结果发现，富硒

能力依次为: $ML > MR > ME > MI$, 产量大小依次为: $MR > ML > MI > ME$, 说明在陕西安康独特的生态环境下, 籼稻后代材料 MR 和 ML 富硒能力相对较好, 可以作为后续育种工作的重点材料, MI 和 ME 富硒能力较差, 育种中可适当调整。发展富硒水稻经济效益显著, 前景可观。

参考文献:

- [1] Lams CA, Bentley OC, Beattie JM. Trace Element[M]. New York and London: Academic Press, 1957: 175-193
- [2] Underwood EJ. Trace Elements in Human and Animal Nutrition[M]. New York: Academic Press, 1986: 334-367
- [3] Yu LL, Wang YZ, Zhang DO. Effects of selenium supplementation on polyunsaturated fatty acid concentrations and antioxidant status in plasma and liver of lambs fed linseed oil or sunflower oil diets[J]. Animal Feed Science and Technology, 2008, 140(2): 39-511
- [4] 刘婷, 郑甲成, 柯斧, 张百忍, 刘继瑞. 安康市农作物硒含量分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 1947-1948
- [5] 张百忍, 解松峰. 陕西秦巴山区不同农田农作物硒含量变化规律分析[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(10): 128-134
- [6] 刘兴艳, 朱静平, 陈研. 成都市龙泉驿区土壤含硒量的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(12): 74-78
- [7] 李家熙, 张光第, 葛晓云. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 54-58
- [8] 吴忠坤. 富硒稻米的特点及栽培技术[J]. 现代农业科技, 2007, 14(1): 121-122
- [9] 吴永尧, 罗泽民, 彭振坤. 水稻对硒的生物富集分布[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 1998, 21(4): 77-80
- [10] 彭克勤, 洪亚辉, 夏玮. 硒对水稻光合作用和产量性状的影响[J]. 湖南农业大学学报, 1997, 23(5): 432-434
- [11] 张士陆, 王学会, 熊忠炯, 吴立蒙, 袁国青, 钱立礼, 张智, 方世寸. 红米皖稻 129 富硒化研究[J]. 中国稻米, 2007, 13(1): 47-48
- [12] 韩龙植, 南钟浩, 全东兴, 曹桂兰. 特种稻种质创新与营养特性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(3): 207-213
- [13] 王崇乐. 安康土壤[M]. 陕西西安: 地图出版社, 1989: 34-63
- [14] 洪安喜, 杨平, 熊鹰. 杂交稻新组合宜香 2079 在陕西种植表现及高产栽培技术[J]. 杂交水稻, 2011, 26(2): 48-49
- [15] 张莹. 叶面喷施亚硒酸钠对红米糙米中有益微量元素和花色苷成分含量的影响[D]. 四川: 四川农业大学 2009: 20-21
- [16] 潘晓红, 郑甲成, 史文卫, 郝静. 不同浓度的硒肥对黑花生的产量和硒含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(5): 56-58
- [17] 张玲霞. 不同水稻品种富硒能力研究[J]. 园艺与种苗, 2011(3): 111-113
- [18] 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(5): 152-156
- [19] 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): 24-25
- [20] 江川, 王金英, 李清华, 郑金. 早晚季水稻精米和米皮硒含量的基因型差异研究[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(4): 448-452
- [21] 纪国成, 李秀琪, 黄洪明. 富硒增产剂在水稻上应用效果研究初报[J]. 中国稻米, 2003(6): 31-32
- [22] 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
- [23] 池忠志, 郑家国, 姜心禄, 任光俊. 硒肥喷施时期对水稻产量的影响及其经济效益分析[J]. 中国稻米, 2010, 16(1): 11-12
- [24] 魏丹, 杨谦, 迟凤琴, 申惠波. 叶面喷施硒肥对水稻含硒量及产量的影响[J]. 土壤肥料, 2005, (1): 39-41
- [25] 王丽霞. 硒元素的植物生理作用及生理机制研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 31-32
- [26] Shamberger RJ. Biochemistry of selenium[J]. New York: Plenum Press, 1983: 67-68

Selenium Content and Yield of Indica Rice Under Different Selenium Concentration

ZHENG Jia-cheng^{1,2}, LIU Ting¹

(1 *Ankang Institute of Agricultural Sciences, Ankang, Shaanxi 725021, China;*

2 *Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: Development of selenium-enriched indica rice has significant economic benefit. To study the selenium ability and yield variation of different indica rices, at seedling, booting and full heading stage, better offspring (MR, ME, MI, ML) cultivated by Ankang Institute of Agricultural Sciences were sprayed with selenium fertilizer mixed in different concentration. The results showed that the selenium of four indica rices had rapid growth with the increase of selenium concentration, but then there was a mitigation trend. Under selenium treatment, the selenium ability was as follows: ML>MR>ME>MI. Yield increased continuously with the augment in selenium concentration. However, the yield declined along with too high selenium concentration. Under the optimal selenium concentration, the yield of indica rices was as follow: MR>ML>MI>ME. Therefore, the selenium ability of MR and ML, which could be the focus for the subsequent breeding, were better materials than MI and ME.

Key words: Selenium content, Yield factors, Indica rice, Economic benefit, Regression analysis