

黄艳超,胡莹,刘云霞,等. 苗期水稻吸收、转运 Sb(V) 的研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):68-70.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.021

苗期水稻吸收、转运 Sb(V) 的研究

黄艳超^{1,2}, 胡莹², 刘云霞², 黄益宗², 武雪芳¹

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:采用营养液培养的方法,在有根表铁膜存在条件下,对 2 个品种的苗期水稻吸收、转运 Sb(V) 进行了研究,水稻植株诱导出铁膜后分别暴露在含有 0.25、1.00、5.00、20.00、50.00、100.00 $\mu\text{mol/L}$ Sb(V) 的营养介质中。研究结果表明,水稻各部位(铁膜、根、茎叶)中 Sb 含量随营养介质中 Sb(V) 浓度增加而升高;但 Sb 从根向地上部茎叶内转运的转运系数以及 Sb 在各部位的分配比例仅与水稻品种有关,与外界 Sb(V) 浓度无关,扬稻 6 号水稻对 Sb 的转运系数以及在地上部茎叶中的分配比例显著低于农垦 57;在营养介质中 Sb 浓度相同时,2 个品种水稻根表铁膜内 Sb 含量无明显差异。

关键词:水稻;五价锑;吸收转运;根表铁膜

中图分类号: S511.01;X173 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0068-03

湖南省是中国水稻生产大省,也是很多金属矿产的主要产地,中国最大的锑矿基地就坐落在湖南。锑的开采和冶炼在带来经济效益的同时对矿区周边的水稻田也造成了污染^[1]。虽然我国尚未将锑列入大米安全必须检测的项目,但美国和欧盟均已将锑列为优先控制污染物^[2-3];因此,我们需要对水稻锑污染予以关注。

水稻是一种水生植物,为了适应渍水厌氧环境的影响,水稻根系形成了大量通气组织,从而能将空气中的氧气通过叶片传输到根系。根系将部分氧气和一些其他的氧化性物质释放到根际,使得土壤中 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 被氧化成铁锰氧化物,这些

氧化物沉积在水稻根表,形成了大量的铁氧化胶膜(简称铁膜)^[4]。根表铁膜表面带有两性电荷,因此能够影响很多阴阳离子向水稻体内的传输,如 As、Cu、Cd、Mn、Ni 等^[5-7]。目前,关于锑吸收和转运的研究还不是很很多^[8],本试验采用水培的方法,对在根表铁膜存在的条件下水稻吸收转运锑的问题开展研究,为防治水稻锑污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻

本试验选用 2 个品种的水稻(*Oryza sativa* L.),分别为扬稻 6 号、农垦 57,其中扬稻 6 号为籼稻,农垦 57 为粳稻,均由南京农业大学提供。挑选若干籽粒饱满、大小均匀的水稻种子,置于 30% H_2O_2 消毒 10~15 min,而后用去离子水冲洗干净,播种于湿润的珍珠岩中发芽。在珍珠岩中生长 3 周后,挑选生长一致的水稻苗移栽到 1/9 浓度的营养液中培养 1 周,而

收稿日期:2014-09-29

基金项目:环保部公益性项目(编号:201209052)。

作者简介:黄艳超(1982—),男,北京人,博士,助理研究员,主要从事植物-土壤体系交互作用和污染场地修复研究。Tel: (010) 84928962;E-mail: hyc_gucas@163.com。

的总体特征,尚须深入研究不同类型功能稻材料的表现,筛选优良亲本的优良性状特征以供育种利用。

参考文献:

- [1] 张名位,郭宝江. 色米的营养功能特点及相应的加工技术研究(综述)[J]. 上海农业学报,2002,18(增刊1):18-24.
- [2] 原乾中. 我国特种水稻资源开发前景好[J]. 脱贫与致富,2001(9):14.
- [3] 杨学荣. 水稻高蛋白育种与早籼华 03[J]. 湖北农业科学,1990(2):123.
- [4] 仲维功,陈志德,杨杰,等. 中国的特种稻米[J]. 南京农专学报,1999,15(3):30-35.
- [5] Zhang M W. Nutritional of some black cereal and oil food resources [J]. Journal of South China Nomal University (Natural Science), 1999,4:68-74.
- [6] 应存山,盛锦山,罗利军,等. 中国优异稻种资源[M]. 北京:中国农业出版社,1997:48-54.
- [7] 雷永烨. 黑稻的开发利用价值[J]. 上海农学院学报,1988,6(4):325-328,324.

- [8] 赖来展,李宝健. 中华黑米资源的经济特性及其系列食品的营养研究[J]. 广东农业科学,1990(2):5-8.
- [9] 低谷蛋白米种植:饥饿催生的功能稻[EB/OL]. [2015-01-09]. <http://www.cyone.com.cn/cfsp/27509.html>.
- [10] 马育华. 试验统计[M]. 北京:农业出版社,1982:482-488.
- [11] 熊振民,闵绍楷,申宗坦,等. 新育成籼稻品种的产量性状分析和展望[J]. 中国农业科学,1986(6):17-23.
- [12] 彭俊华,李有春. 水稻籼、粳两亚种产量构成特点的剖析与比较[J]. 四川农业大学学报,1990,8(3):162-168.
- [13] 吕子同,唐绍清,熊振民,等. 常规稻与杂交稻的产量因素分析[J]. 浙江农业科学,1988(4):156-158.
- [14] 林荣光,叶新福,郑其晶,等. 优特新品种(系)农艺性状评价[J]. 福建稻麦科技,1993(4):23-29.
- [15] 何光华,郑家奎,李耘,等. 不同类型水稻产量组分研究[J]. 西南农业大学学报,1993,15(5):438-440.
- [16] 曹显祖,朱庆森. 水稻品种的库源特征及其类型划分的研究[J]. 作物学报,1987,13(4):265-272.
- [17] 李仕贵,马玉清,周开达,等. 杂交水稻收获指数与源库性状的遗传和相关分析[J]. 西南农业学报,1998,11(增刊1):148-153.

后再转移到 1/3 浓度的营养液中培养 2 周。用于放置营养液的水培器皿是 500 mL 的 PVC 管(直径 7.5 cm、高 14 cm 水培罐),每个水培罐中放 1 株水稻苗。全量营养液配方参考文献[9]。水稻的培养和后期处理均在可控光温的培养室中进行。培养室工作条件为:25 ℃、14 h 光照,20 ℃、10 h 黑暗,光照浓度为 260 ~ 350 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,相对湿度为 60% ~ 70%。

1.2 处理方法

2 个水稻各选取长势一致的植株 24 株,分成 6 组,每组 4 株。所有水稻置于去离子水中放置 12 h,而后转入 500 mL 浓度为 1×10^{-3} mol/L 的 Fe_2SO_4 溶液中 24 h,以便诱导水稻根表铁膜的形成。待根表铁膜形成后将所有水稻转入去离子水中放置 6 h,而后再置于 1/3 强度营养液中培养 48 h。之后将每个品种的 6 组水稻分别置于含有 0.25、1.00、5.00、20.00、50.00、100.00 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 的 Sb(V) [以 $(\text{KSb}(\text{OH})_6)$ 形式加入] 营养液中培养 48 h。

1.3 样品采集、制备与分析

水稻处理完成后,根表铁膜用 DCB(dithionite-citrate-bicarbonate)法提取:收获后的水稻新鲜根系用去离子水冲净,放到 100 mL 的烧杯中,加入 0.03 mol/L $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 0.125 mol/L NaHCO_3 的混合液 30 mL,1.0 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$,混合均匀后,在室温(20 ~ 25 ℃)下浸提 1 h,然后将浸提液转入 50 mL 容量瓶中,用去离子水冲洗根系 3 次后定容至 50 mL。过滤后的提取液用 ICP-OES(Optima 2000 DV, Perkin Elmer, USA)测定其中 Fe、Sb 浓度。

经 DCB 浸提后的水稻根系和水稻茎叶置于 70 ℃ 烘箱中烘干至恒质量,然后磨碎,称取 0.1 g 左右样品。放入 50 mL 离心管中,加入 2 mL 优级纯硝酸,浸泡过夜。浸泡完毕后将样品放入微波消解仪(Mars, Matthews Inc., USA)中消解。消解程序如下:功率 600 W,55 ℃ 持续 10 min,75 ℃ 持续 10 min,95 ℃ 持续 30 min,升温时间为 5 min。样品消解完毕后用超纯水定容至 50 mL。过滤后用 ICP-MS(Agilent 7500, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)测定 Sb 浓度。消解时所用标准物质为灌木枝叶(GBW07603,《生物成分分析——灌木枝叶成分分析标准物质》)。

1.4 数据分析

根向地上部转移 Sb 的能力用转运系数(translocation factor,简称 TF)表示:

$$TF = C_{\text{Sb-Shoot}} / C_{\text{Sb-Root}}$$

式中: $C_{\text{Sb-Shoot}}$ 、 $C_{\text{Sb-Root}}$ 分别表示地上部茎叶、根中 Sb 含量,单位 mg/kg。

使用 SPSS16.0 对试验数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 生物量与根表铁膜形成量

由于品种不同,2 个水稻根表铁膜形成量和生物量均有所差别。扬稻 6 号根表铁膜形成量明显低于农垦 57,仅为农垦 57 的 54%,但农垦 57 根系、地上部茎叶的生物量则比扬稻 6 号要低,分别仅为扬稻 6 号的 47%、54%(表 1)。

2.2 根表铁膜、根、茎叶中的 Sb 含量

2 个水稻品种在经不同浓度 Sb 处理后根表铁膜、根、地上部茎叶中的 Sb 含量分别见图 1、图 2、图 3。从图 1 可以看出,2

表 1 2 种水稻根表铁膜形成量和生物量差异

品种	根表铁膜 Fe 含量 (mg/kg)	根系干质量 (g)	茎叶干质量 (g)
扬稻 6 号	15 365 ± 548	0.45 ± 0.03	1.50 ± 0.11
农垦 57	28 473 ± 657	0.21 ± 0.02	0.81 ± 0.09

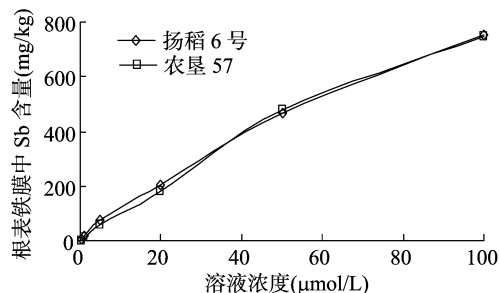


图 1 不同浓度溶液处理水稻根表铁膜中 Sb 含量比较

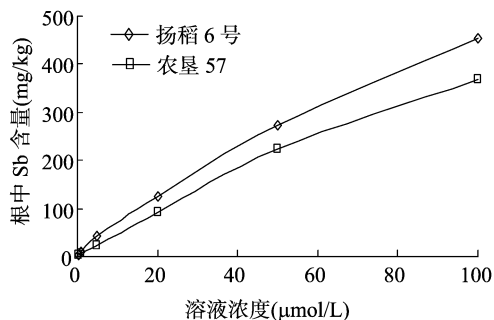


图 2 不同浓度溶液处理水稻根中 Sb 含量比较

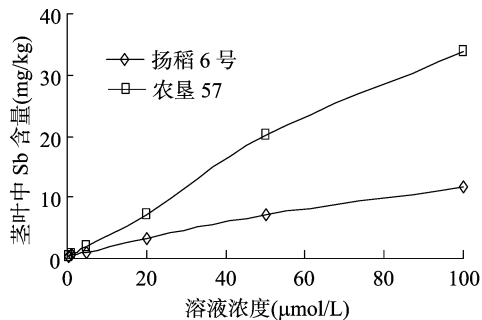


图 3 不同浓度溶液处理水稻茎叶中 Sb 含量比较

个品种水稻根表铁膜中 Sb 含量随着处理液中 Sb 浓度增加而升高,但在相同浓度 Sb 处理下 2 个品种水稻之间根表铁膜内 Sb 含量没有显著差别。从图 2 可以看出,随着处理液中 Sb 浓度增加,扬稻 6 号和农垦 57 根中 Sb 含量也逐渐升高,在相同浓度 Sb 处理下扬稻 6 号根中 Sb 含量要高于农垦 57。从图 3 可以看出,扬稻 6 号和农垦 57 茎叶中 Sb 含量同样随着处理液中 Sb 浓度增加而升高,但与根中相反的是,扬稻 6 号茎叶中 Sb 含量要明显低于农垦 57。

2.3 Sb 转运系数与分配比例

2 个品种水稻在不同浓度 Sb 处理时,Sb 从根中向地上部茎叶中转运的转运系数见表 2。从表 2 可以看出,同一品种水稻的转运系数并不随溶液中 Sb 浓度的增加而发生明显变化,但 2 个品种水稻之间的转运系数差异明显,扬稻 6 号的转运系数明显低于农垦 57,仅为农垦 57 的 24% ~ 47%。

2 个品种水稻在不同浓度 Sb 处理后茎叶、根和根表铁膜中 Sb 的分配比例见表 3,可见 2 个品种水稻中 Sb 的分配比

例均为茎叶 < 根部 < 根表铁膜。相同品种相同部位的 Sb 分配比例并不随外界处理液中 Sb 浓度的变化而有较大变化。比较 2 个品种相同部位的 Sb 分配比例可知,根表铁膜中 Sb 的分配比例在扬稻 6 号和农垦 57 间并无明显差异,但农垦 57 茎叶中 Sb 的分配比例明显高于扬稻 6 号,根中结果则与茎叶相反。

3 结论与讨论

目前,关于锑对水稻影响的相关研究还不多,现有研究结

表 3 Sb 在水稻不同部位中的分配比例

溶液浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	分配比例(%)					
	茎叶		根部		铁膜	
	扬稻 6 号	农垦 7 号	扬稻 6 号	农垦 7 号	扬稻 6 号	农垦 7 号
0.25	5.1 ± 0.5	11.2 ± 1.1	37.8 ± 3.6	33.7 ± 3.2	57.1 ± 3.1	55.1 ± 4.2
1.00	4.4 ± 0.4	9.8 ± 0.3	36.8 ± 2.4	31.6 ± 3.0	58.8 ± 2.1	58.7 ± 2.8
5.00	3.1 ± 0.5	7.9 ± 0.4	35.3 ± 2.0	27.3 ± 2.0	61.6 ± 1.6	64.8 ± 2.2
20.00	3.9 ± 0.4	9.0 ± 1.0	36.0 ± 2.3	30.5 ± 1.6	60.1 ± 2.8	60.4 ± 0.6
50.00	4.0 ± 0.4	10.7 ± 1.0	35.3 ± 3.3	28.6 ± 0.8	60.7 ± 0.9	60.7 ± 1.6
100.00	3.9 ± 0.5	10.6 ± 0.6	36.3 ± 1.9	29.6 ± 1.1	59.8 ± 1.9	59.8 ± 1.0

果表明,锑对水稻生长发育产生影响。在水培条件下,当溶液中 Sb(V) 浓度为 5 $\mu\text{mol/L}$ 时水稻根系的生长就会受到抑制^[10]。本试验中 2 个品种水稻根部、地上部茎叶的生物量均未随溶液中 Sb 浓度的增加而发生变化,原因可能是由于处理时间较短,Sb 对水稻植株的毒害作用还未开始显现。

根表铁膜、根、地上部茎叶中 Sb 含量均随外界 Sb 浓度的增加而增加,与 Ren 等的试验结果^[11]一致。但相同品种水稻根向地上部转运的转运系数和不同部位 Sb 含量的比例则未随溶液中 Sb 浓度的增加而有所差异,表明在有根表铁膜存在的条件下,当 Sb 浓度不高于 100 $\mu\text{mol/L}$ 时,Sb(V) 在水稻体内的转运和分配并不受外界 Sb 浓度的影响。

在不同浓度 Sb 处理下,扬稻 6 号和农垦 57 根和地上部茎叶中 Sb 浓度以及转运系数均有所差别。表明水稻品种是影响水稻吸收转运 Sb 的主要因素,扬稻 6 号根系比农垦 57 更容易从外界吸收 Sb(V),但不容易从根部向体上部茎叶中转运,与杨婧等用同样品种的水稻在土培条件下对砷的研究结果^[12]一致。

综上所述,Sb(V) 更容易在根表铁膜中积累,其向植物体内的吸收转运主要受水稻品种的影响。但水稻对 Sb(V) 的吸收、转运机制目前还不是很清楚。黄益宗等在水培条件下研究发现,水稻对 Sb(V) 的吸收并不受磷(PO_4^{3-})的影响,证明水稻并不像吸收 As(V) 那样通过磷酸盐途径吸收 Sb(V),此结论也与 Tschan 等对玉米和向日葵的研究结果^[10,13]一致。有学者推测出现这种情况可能与 As、Sb 2 种元素五价氧化物的空间结构有关,五价砷(AsO_4^{3-})的空间结构为四面体,而 $\text{Sb}(\text{OH})_6^-$ 是八面体结构。建议在以后研究中可以考虑利用生物生理学、细胞生物学以及分子生物学等手段来深入研究锑的吸收、转运等作用机制,以便为防治水稻锑污染提供理论支持。

参考文献:

[1] He M C, Wang X Q, Wu F C, et al. Antimony pollution in China[J]. Science of the Total Environment, 2012, 421/422: 41 – 50.
[2] United States Environmental Protection Agency. Integrated risk information system[R]. Rome: EPA, 1999.

表 2 不同浓度溶液处理水稻 Sb 从根部转运到茎叶的转运系数

溶液浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	转运系数	
	扬稻 6 号	农垦 57
0.25	0.091 ± 0.031	0.195 ± 0.082
1.00	0.032 ± 0.004	0.087 ± 0.010
5.00	0.022 ± 0.002	0.081 ± 0.006
20.00	0.026 ± 0.001	0.079 ± 0.011
50.00	0.022 ± 0.002	0.091 ± 0.011
100.00	0.026 ± 0.002	0.092 ± 0.006

[3] Council of the European Communities. Council directive 76/464/EEC of 4 May 1976 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the community [J]. Official Journal of the European Communities, 1976, 129: 23 – 29.
[4] Armstrong W, Boatman D J. Some field observations relating the growth of bog plants to conditions of soil aeration [J]. Journal of Ecology, 1967, 55: 101 – 110.
[5] Chen Z, Zhu Y G, Liu W J, et al. Direct evidence showing the effect of root surface iron plaque on arsenite and arsenate uptake into rice (*Oryza sativa*) roots [J]. New Phytologist, 2005, 165(1): 91 – 97.
[6] Batty L, Baker A, Wheeler B, et al. The effect of pH and plaque on the uptake of Cu and Mn in *Phragmites australis* (Cav.) Trin ex [J]. Steudel. Annals of Botany, 2000, 86(3): 647 – 653.
[7] Wang T, Peverly J. Iron oxidation states on root surfaces of a wetland plant (*Phragmites australis*) [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(1): 247 – 252.
[8] Huang Y C, Chen Z, Liu W J. Influence of iron plaque and cultivars on antimony uptake by and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings exposed to Sb(Ⅲ) or Sb(V) [J]. Plant and Soil, 2012, 352(1/2): 41 – 49.
[9] Liu W J, Zhu Y G, Smith F A, et al. Do iron plaque and genotypes affect arsenate uptake and translocation by rice seedlings (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(43): 1707 – 1713.
[10] 黄益宗, 胡莹, 刘云霞. 锑对水稻根生长的影响及锑的吸收动力学特性[J]. 环境化学, 2010, 29(4): 640 – 643.
[11] Ren J H, Ma L Q, Sun H J, et al. Antimony uptake, translocation and speciation in rice plants exposed to antimonite and antimonate [J]. Science of the Total Environment, 2014, 475: 83 – 89.
[12] 杨婧, 胡莹, 王新军, 等. 两种通气组织不同的水稻品种根表铁膜的形成及砷吸收积累的差异[J]. 生态毒理学报, 2009, 4(5): 711 – 717.
[13] Tschan M, Robinson B, Schulin R. Antimony uptake by *Zea mays* (L.) and *Helianthus annuus* (L.) from nutrient solution [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2008, 30(2): 187 – 191.