

根表铁氧化物和缺铁根分泌物 对水稻吸收镉的影响*

刘文菊 张西科

张福锁

(河北农业大学资环系, 河北保定 071001)

(中国农业大学植物营养系, 北京 100094)

摘 要 在人工光照植物培养室中采用营养液培养方法,研究了不同镉浓度条件下,水稻根表沉积的铁氧化物及缺铁根分泌物对水稻吸收镉的影响。结果表明:(1)水稻根表沉积的铁氧化物对其生长介质中的镉有富集作用,并在一定程度上能促进水稻对镉的吸收。水稻生长的铁营养状况不同,则地上部镉含量不同,地上部镉含量达到最大峰值时根表铁氧化物的数量也不同。(2)当根表铁氧化物数量一定时,随着营养液中镉浓度的增大(镉的处理浓度为 0、0.005、0.05、0.5mg/L),水稻根表镉富集量和植株地上部镉含量均呈增长趋势;(3)缺铁预培养的水稻地上部镉含量高于加铁预培养的植株,说明缺铁水稻根分泌物可促进镉的吸收,但生长介质中镉的处理浓度不同,根分泌物的作用程度不同。

关键词 水稻, 根表铁氧化物, 根分泌物, 镉

中图分类号 Q945.12

水稻作为我国的主要粮食作物,在我国农业生产中占有重要地位。近年来,由于废水排放、不合理污灌、施用含有重金属元素的肥料,使水稻 Cd 污染日益严重。据统计,全国每年生产镉米数亿公斤^[1]。人体如果摄入过多的镉会引起骨痛病,直接危害身体健康。因此,研究水稻吸收重金属元素的机理,弄清镉米形成的机制是很必要的。

水稻是一种生长在渍水条件下的禾本科植物,其根表可形成铁锰氧化物胶膜^[2,3]。根表形成的铁氧化物胶膜是一种胶体物质,能吸附大量金属阳离子^[4],从而促进植物对这些元素的吸收。现已发现,水稻根表形成的铁氧化物胶膜可富集根际环境中的锌、磷和镉^{[5](1)},从而影响水稻对这些元素的吸收。

禾本科单子叶植物在缺铁胁迫下,根系分泌一种非蛋白质氨基酸—麦根酸。这种物质可活化土壤中的难溶性铁和其它金属元素,对这些离子进入植株体内起载体作用^[6-8]。小麦根系分泌的麦根酸可与根表铁氧化物胶膜上吸附的镉螯合,促进小麦对镉的吸收。

本试验在加铁和缺铁环境下培养水稻,并对水稻根系进行不同浓度的 Fe(OH)₃ 处理和不同浓度的镉处理,使水稻根表沉积有不同数量的铁氧化物,探索不同铁营养状况下水稻根系活化根表铁氧化物上所吸附镉的机制以及水稻吸收不同浓度镉的控制机制。

* 国家自然科学基金资助项目(批准号49501009)

(1) 李花粉博士论文. 根表铁氧化物及植物铁载体对水稻、小麦吸收镉的影响. 1995

收稿日期: 1998-03-15; 收到修改稿日期: 1998-12-15

1 材料与方法

1.1 培养方法及植物生长

水稻种子 (*Oryza sativa* L. 品种桃长 89—145 为试验处理 (1) 所用, 远诱一号为试验处理 (2) 所用) 用 30% 的 H_2O_2 浸泡 10 分钟, 消毒后, 用水冲净, 播于石英砂中发芽。两周后移栽到强度为 1/5 的营养液中培养。再过一周后换用 1/2 强度的营养液培养。营养液组成: NH_4NO_3 $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ $6.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$; K_2SO_4 $2.3 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $CaCl_2$ $2.1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ $1.6 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$; $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$; $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$ $5.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$; H_3BO_3 $2.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ $1.0 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ $5.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$; $Fe-EDTA$ $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, pH 值调至 5.0。试验所用钵为 2.2L 的塑料盆, 其上是带有孔的塑料盖, 每盆栽入 20 株水稻苗, 一孔两株, 用海绵条固定。全营养液培养两周后, 开始分组进行加铁、缺铁预培养。一组继续供给水稻 $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L Fe-EDTA}$; 另一组以后换营养液就不再供应铁。

水稻生长条件: 25°C / 16 小时光照和 20°C / 8 小时黑暗、相对湿度为 60%~70%、光照强度为 $240 \mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$ 。

1.2 试验处理

(1) 水稻苗缺铁预培养一周后, 向营养液中加入 $Fe(OH)_3$ 胶体, 使其在营养液中的浓度为 38.21 mg/L 。24 小时后换用含有不同浓度镉的营养液, 镉以 $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ 的形式加入。营养液中镉的处理浓度为 0、0.005、0.05、0.5 mg/L 。加镉处理后 24 小时、72 小时收获。每个处理设三个重复。

(2) 水稻苗缺铁、加铁预培养一周后, 向营养液中加入不同浓度的 $Fe(OH)_3$ 胶体, 使其在营养液中的浓度为 0、38.21、76.43、114.64、171.96 mg/L 。24 小时后, 换入含有 1.0 mg/L 镉的营养液中, 镉以 $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ 的形式加入。72 小时后取样, 每个处理设三个重复。

1.3 样品的制备及分析

收获后的样品用去离子水冲洗干净, 杀青后在 60°C 下于烘箱中烘干, 称完干重后用玛瑙研钵磨碎备用。样品的分析采用干灰化法, 称取一定量的样品, 在马福炉中干灰化 10 小时, 过夜冷却后用 1:30 硝酸 (优级纯) 溶解, 定容 25ml 后过滤, 用 Z-8000 型原子吸收分光光度计测定滤液中镉等金属元素的含量。

1.4 根表富集元素的测定

水稻根用去离子水冲净后, 放到 150ml 具塞三角瓶中, 向瓶中加入 DCB 浸提液 ($0.3 \text{ mol/L Na}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2H_2O$ 40ml, $1.0 \text{ mol/L NaHCO}_3$ 5.0ml, 3.0g $Na_2S_2O_4$)^[9], 在振荡机上振荡 3 小时, 过滤到 100ml 容量瓶中定容, 取出的根在 60°C 烘箱中烘干, 称干重。用 Z-8000 型原子吸收分光光度计测定浸提液中镉等金属元素的含量。

2 结果与分析

2.1 水稻根表沉积的铁氧化物对介质中镉的富集作用

由图 1 可以看出, 在镉的每个处理浓度上 (介质中镉的浓度为 0、0.005、0.05、0.5 mg/L), $Fe(OH)_3$ 胶体处理的水稻根表镉富集量明显高于根表无铁氧化物沉积的植株, 说明沉积在水稻根表的铁氧化物对根际环境中的镉有极强的吸附作用。这与其他研究者的结果一

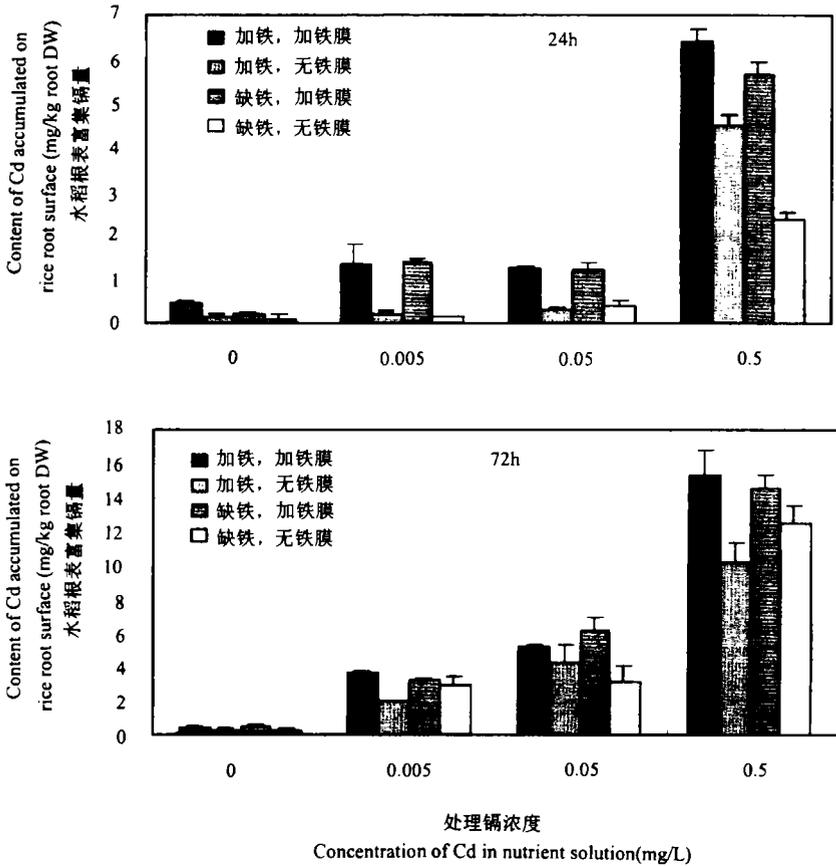


图1 铁氧化物在不同时期对水稻根表富集营养液中镉的影响

Fig.1 Effect of Fe oxides on content of Cd accumulated on rice root surface in different periods

致^[4,5]。且随介质中镉浓度的增大,根表铁氧化物对镉的富集量呈增加趋势。

2.2 水稻根表沉积的铁氧化物对植株吸收镉的影响

水稻根表沉积的铁氧化物对营养液中的镉有吸附作用,从而影响了植株对镉的吸收。Otte 等^[10]研究紫苑对锌的吸收发现,紫苑对锌的吸收能力与根表沉积的铁氧化物胶膜数量和介质中锌的供给浓度有关。水稻对镉的吸收是否也受这两种因素的影响? 试验结果图 2 表明,在镉的每个处理浓度上,Fe(OH)₃胶体处理的水稻地上部镉含量高于无此处理的植株镉含量,这说明根表此数量的铁氧化物可促进水稻根系对镉的吸收;此外,随着营养液中处理镉浓度的增大,水稻地上部镉含量呈增加趋势。

此外,试验结果图 3 表明,随着向营养液中加入 Fe(OH)₃胶体浓度的增大,水稻地上部镉含量逐渐增加,当铁氧化物达到一定数量时,继续增加铁氧化物,水稻地上部镉含量呈下降趋势。当根表铁氧化物的数量为 Fe 8300mg/ kg 干根重(营养液中 Fe(OH)₃的浓度为 76.43mg/ L)时,缺铁培养的水稻地上部镉含量达到最大值,而后镉含量随铁氧化物数量的增加而减少;当铁氧化物的数量为 Fe 16412mg/ kg 干根重(营养液中 Fe(OH)₃的浓度为 114.6mg/ L),加铁培养的水稻地上部镉含量达到最大值,之后镉含量随铁氧化物数量

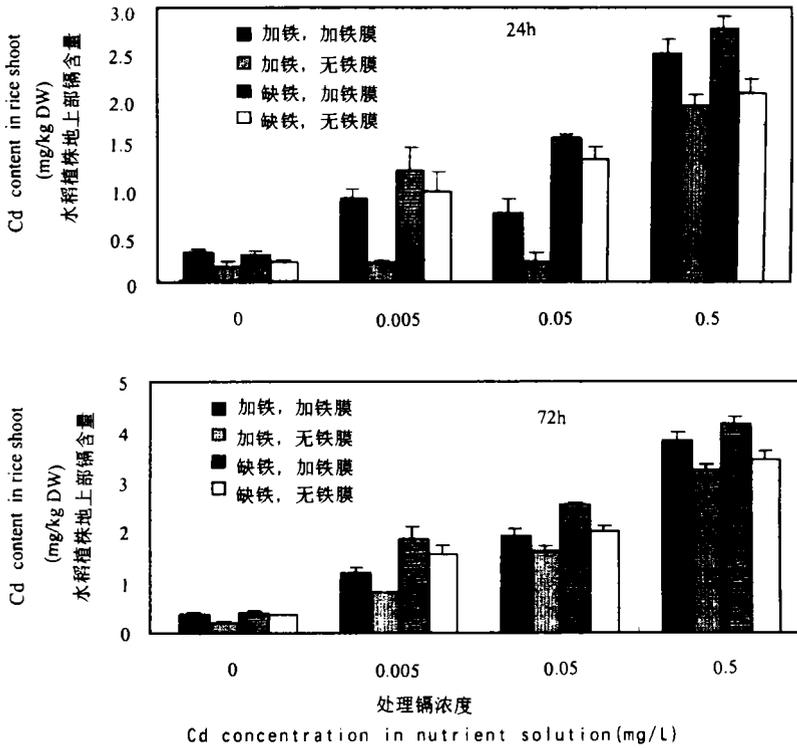


图2 根表铁氧化物对水稻吸收不同浓度镉的影响

Fig.2 Effect of Fe(OH)₃ on Cd content in rice shoot

的增加而减少。以上结果表明,水稻根表的铁氧化物在一定数量范围内可以促进镉的吸收,达到一定厚度则抑制其吸收。且水稻本身的铁营养状况不同,则水稻地上部镉含量不同,地上部镉含量达到最大峰值时根表铁氧化物的数量也不同。

2.3 不同铁营养状况对水稻吸收镉的影响

图3 试验结果表明,水稻本身的铁营养状况影响其地上部吸镉量的变化,因此,我们

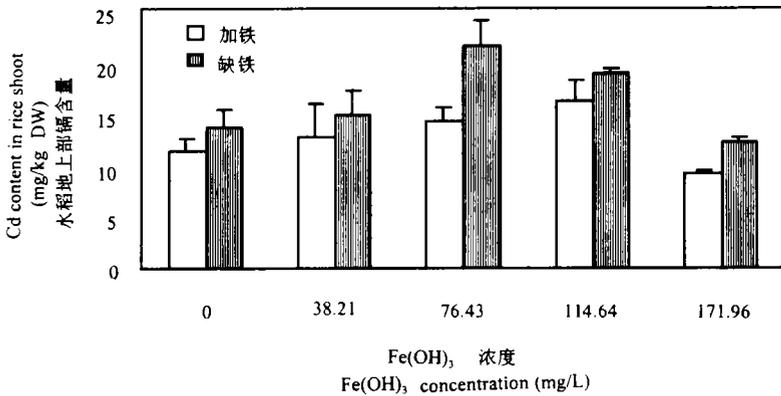


图3 不同浓度的铁氧化物对水稻地上部镉含量的影响

Fig.3 Effect of different concentration Fe(OH)₃ on Cd content in rice shoot

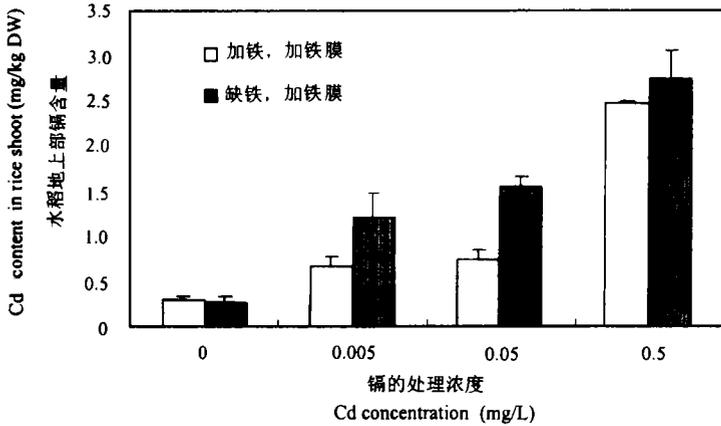


图4 铁营养状况对水稻吸收不同浓度镉的影响

Fig.4 Effect of Fe nutrient status on Cd uptake by rice

又重点研究了水稻缺铁根分泌物—麦根酸对水稻根表铁氧化物上吸附态镉的活化作用。结果表明(图4),在镉的各个处理水平上,总的变化趋势是缺铁培养的水稻地上部镉含量高于加铁培养的水稻植株。说明水稻缺铁根分泌物中的麦根酸可活化根际环境中的镉,从而促进植株对这部分镉的吸收。图4的结果还表明,镉的处理浓度不同,水稻缺铁根分泌物对镉的活化程度也不同。低浓度(0.005、0.05mg/L)镉处理时,缺铁培养的水稻吸镉量明显高于加铁培养的植株。高浓度(0.5mg/L)镉处理时,缺铁培养、加铁培养的水稻地上部镉含量之间没有明显差异。说明介质中镉浓度较低时,麦根酸对富集在铁氧化物上的镉有很强地活化作用,而当镉的浓度较高时,这种活化作用相对较弱。

3 讨论

已有的研究表明,水稻根表形成的铁氧化物胶膜能吸附根际环境中的重金属元素^[5,10]。本试验结果表明,水稻根表铁氧化物沉积对介质中的镉有吸附作用,从而影响了水稻根系对镉的吸收。水稻对镉的吸收作用与根表铁氧化物的数量和其生长环境的铁营养状况有关。一般认为,铁氧化物为两性胶体,可以吸附大量镉离子,并促进镉的吸收。当介质中铁氧化物的数量达到一定值后,水稻根系完全被铁膜包被,再增加铁膜的数量,根系与铁膜界面的接触面积不再增大,因此界面上镉的数量相应减少,降低了水稻根系对镉的吸收量,从而使镉的吸收受到抑制。此外,缺铁条件下水稻根系分泌的麦根酸具有扩散性和络合特性,可以作为水稻吸收镉和其它重金属元素的载体,促进这些元素的吸收。麦根酸的这种促进作用受铁氧化物数量的影响。当铁氧化物的数量达到一定值后,一方面,麦根酸与根表铁络合,相对降低了活化镉的麦根酸浓度,抑制了其由根表向外的扩散;另一方面,根分泌物的活动范围有限,只能活化与细胞质膜最近的铁氧化物吸附的镉,使镉的吸收量相对减少。因此,铁营养状况不同,水稻地上部镉含量不同,地上部镉含量达到最大峰值时根表铁氧化物的数量也不同。

能在根表形成铁氧化物胶膜的植物对重金属元素的吸收,不仅与胶膜的厚度有关,同

时还与外界这些元素的供给浓度有关^[10]。对于前者,人们进行了大量的研究;对于后者的报道尚不多见。本试验针对这一问题进行研究,结果表明,当铁氧化物的数量(Fe 8300mg/kg干根重)一定时,镉的各个处理浓度0、0.005、0.05、0.5mg/L,均促进水稻对镉的吸收。因为此数量的铁氧化物可促进水稻对镉的吸收,当根-铁氧化物界面上的镉量因为吸收作用而减少时,外部介质中的镉能够通过吸附与解吸附作用到达界面,使吸收过程顺利进行。

此外,本试验还表明,水稻在缺铁胁迫下,其分泌物中的麦根酸对植株吸收不同浓度的镉有不同程度的促进作用。介质中镉浓度较低,麦根酸对富集在铁氧化物上镉的活化作用极为明显,镉的浓度较高时,这种活化作用就相对降低了。这可能是因为水稻在缺铁胁迫下,根系分泌麦根酸的量较少^[11],从而与根际环境中镉螯合形成麦根酸-Cd的量也较少。在低浓度镉处理时,绝大多数镉离子都被铁氧化物吸附固定,一旦根系有少量麦根酸分泌,则可显著提高这部分吸附态镉的活性,从而增加水稻植株的吸镉量。而当介质中镉的供应浓度较高时,有相当一部分的镉未被铁氧化物吸附固定,在水稻吸镉量中,高浓度游离镉的被动吸收所占很大比例。与之相比,根分泌物活化的一小部分对水稻植株吸收镉的贡献就微乎其微了。因此,水稻根系分泌的麦根酸对镉的活化作用受根际镉浓度的影响。

参 考 文 献

1. 李增耀等编著. 农业环境概论. 上海科学技术出版社, 1991
2. Armstrong W. Oxygen diffusion from the roots of some British bog plants. *Nature*, 1964, 204: 801~802
3. Chen C C, Dickson J B, Turner F T. Iron coating on rice roots: mineralogy and quantity influencing factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980(b), 44: 635~639
4. Kuo S. Concurrent sorption of phosphate and zinc, cadmium, or calcium by a hydrous ferric oxide. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1986, 35: 722~725
5. 张西科等. 根表铁氧化物胶膜对水稻吸收 Zn 的影响. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 262~266
6. Romheld V, Marschner H. Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophone in roots of grasses. *Plant Physio.*, 1986, 80: 175~180
7. Takagi S. Naturally occurring iron-chelating compounds in oat-and rice-root washings. I. Activity measurement and preliminary characterization. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1976, 22: 423~433
8. Treeby M, Marschner H. Mobilization of iron and micronutrient cations from a calcareous soil by plant borne, microbial and synthetic metal chelators. *Plant and Soil*, 1989, 114: 217~226
9. Taylor G T, Crowder A A. Use of the DCB technique for extraction of hydrous iron oxides from roots of wetland plant. *Amer. J. Bot.*, 1983, 70: 1254~1257
10. Otte M L, Rozema J. Iron plaque on roots of *Aster tripolium* L. interaction with Zinc uptake. *New Phytol.*, 1989, 111: 15~180
11. Mori S, Nishizawa N. Why young rice plants highly susceptible to iron deficiency? *Iron Nutrition and Interactions in Plants*, 1991, 175~188

EFFECTS OF IRON OXIDES AND ROOT EXUDATES ON CADMIUM UPTAKE BY RICE

Liu Wen-ju Zhang Xi-ke

(*Department of Land Resource and Environmental Science Hebei Agricultural University, Baoding 071001*)

Zhang Fu-suo

(*Department of Plant Nutrition China Agricultural University, Beijing 100094*)

Summary

Solution culture is conducted to investigate the effects of iron oxides and root exudates on cadmium uptake by rice. The results showed that iron oxides may absorb cadmium from nutrient solution. The amount of Cd accumulated on rice root surface increased with the increase in amount of deposited iron oxides. Therefore, iron plaque can influence the Cd uptake. When Fe nutritional status of rice are different, the effect of iron oxides on Cd uptake by the rice roots is also different. Generally, with the increase of Cd concentration in medium, the amount of Cd deposited on root surface and Cd content in rice shoot increased.

Rice root exudates (PS) may mobilize Cd accumulated by iron oxides on the surface of rice root and significantly enhance Cd uptake in the rhizosphere. When Cd concentration in nutrient solution was different, the effect of PS on Cd uptake was also different.

Key words Iron oxide, Root exudate, Rice, Cadmium