

根表铁锰氧化物胶膜对不同品种水稻吸镉的影响

刘敏超, 李花粉, 夏立江, 杨林书

(中国农业大学生态与环境科学系, 北京 100094)

摘要:采用土培方法,研究了不同品种水稻吸镉的差异及其与根表铁锰氧化物胶膜的关系。结果表明:不同品种水稻其根膜、根部及地上部含镉量均存在显著性差异,且镉在不同水稻植株体内运输转移能力不同。不同水稻其根表淀积的铁锰氧化物数量也存在显著性差异,根膜及地上部的含镉量与根膜的含铁量均未达到显著性相关,但与根膜的含锰量相关性显著。

关键词:水稻品种;根表铁锰氧化物胶膜;镉

Effect of Fe, Mn coating formed on roots on Cd uptake by rice varieties

LIU Min-Chao, LI Hua-Fen, XIA Li-Jiang, YANG Lin-Shu (Dept. of Agroecology and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The difference of Cd uptake by rice varieties and its relationship with Fe, Mn oxides deposited on root surface were studied by the methods of soil culture.

The results showed that different rice varieties had significant difference on Cd concentrations in their root coating, root and shoot, and the transportation of Cd in plants was different between rice varieties. The amounts of Fe, Mn oxides deposited on root surface of rice varieties was also significantly different. The Cd concentration in root coating and shoot of rice varieties showed a significant correlation with Mn concentration in root coating, but not related with the Fe concentration in root coating.

Key words: rice variety; cadmium; iron; manganese oxides coating

文章编号:1000-0933(2001)04-0598-05 中图分类号:X53 文献标识码:A

近年来由于污水灌溉、污泥农用及施用含有重金属元素的肥料等,使水稻的重金属污染,特别是镉污染日趋严重。生活在渍水生境的水稻根系具有向根际释放氧气和氧化性物质的能力,使根际氧化还原电位高于土体^[1,2]。这一特性使渍水土壤中大量的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等还原性物质在水稻根表及根质外体被氧化而形成明显可见的铁锰氧化物胶膜^[3]。并且不同品种水稻根系的氧化能力有所不同,根表铁锰氧化物胶膜的数量也不同。研究发现,由于这层铁锰氧化物胶膜的特殊电化学性质,它对土壤中的重金属离子有极强的富集能力。加之其紧密包被在根表,可发生离子的吸附与解吸附反应,因而对重金属离子进入水稻体内起着重要的作用。通过本试验研究,不仅可以进一步了解水稻品种之间吸镉的差异,更重要的是揭示不同品种水稻吸镉的差异与水稻根表铁锰氧化物胶膜的关系,最终为植物抗性育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻

常优 87-88、喜峰、94D-64-1、科长 89-112、中作 321、秋光、越富、94D-22、科长 89-113、中新 5 号、

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号 39600022)

收稿日期:1999-06-30 修回日期:2000-07-22

作者简介:刘敏超(1966~),男,湖南人,硕士,讲师。主要从事污染控制与资源综合利用方面的研究。

97-360、中作 180、97-339、幸实,由中国科学院长沙农业现代化研究所、中国农业科学院作物研究所、品种资源研究所提供。

选择水稻的原则:a 抗潜育化能力不同的水稻品种,b 当前我国北方地区大面积推广的水稻,c 新品种(或品系)。

1.2 供试土壤

取自中国农业大学科学园区,土壤类型为潮土,其主要理化性状如下(表 1)。

表 1 供试土壤主要理化性状

Table 1 The chemical properties of soil used in the experiment									
pH	CEC	有机质	全 N	有效 P	速效 K	全 Cd	交换性 Fe	有效 Fe	交换性 Mn
	(cmol/kg)	O. M. (%)	Total-N (%)	Olsen-P (mg/kg)	NH ₄ OAc-K (mg/kg)	Total-Cd (mg/kg)	Exchangeable-Fe (mg/kg)	Available-Fe (mg/kg)	Exchangeable-Mn (mg/kg)
7.82	5.74	1.96	1.4	71.80	57.23	0.059	1.56	7.64	30.10

1.3 植物组织分析

采用干灰化法,植物地上部收获后用去离子水冲洗干净,杀青后在 60℃烘箱内烘干,磨碎备用。定量称取样品,马福炉中 550℃干灰化 10h,用 1:30 硝酸(V/V,优级纯)溶解,日立 Z-8000 型原子吸收分光光度计测定 Cd 等金属元素含量。

1.4 根表铁锰胶膜及其上吸附镉的测定

采用 DCB 法^[4],根系用去离子水冲洗干净后放入 150ml 三角瓶中,加入 40ml 0.3mol/LNa₃C₆H₅O₇·2H₂O,5.0ml 1.0mol/L NaHCO₃ 及 3.0gNa₂S₂O₄,在振荡机上振荡 3h 浸提根表铁锰氧化物及其上所吸附的镉,之后过滤入 100ml 容量瓶中定容,测定滤液中的 Fe、Mn 和 Cd 的含量。根用去离子水冲洗干净后取出,烘干,磨碎备用。根部含镉量测定方法同地上部。

1.5 试验步骤

土壤过筛(筛孔径为 0.3cm×0.3cm)后装盆,每盆装土 7kg,每一处理(即一个水稻品种)设 3 个重复。将 3CdSO₄·8H₂O(分析纯)配成含镉 1mg/ml(以 Cd 计)的溶液,每盆加 35mlCd 液,先与小部分土混匀,再将此小部分土拌入其余土中,充分混匀,装盆。所有盆中加水浸 1 周,以使加入的离子与土壤平衡。

水稻种子用 30%H₂O₂ 消毒,洗净后浸种发芽,然后直播于土壤中。在水稻生长期,各水稻的生长条件保持一致,每盆中的水保持一致。水稻生长 5 周后取样。

2 结果与分析

2.1 不同品种水稻吸镉的差异

在土壤含镉 5mg/kg 的培养条件下,14 个水稻其根膜、根部、地上部含镉量均表现出极显著性差异,且地上部含镉量<根部含镉量<根膜含镉量(表 2)。水稻地上部含镉量范围为 0.86~3.33mg/kg,品种间相差 3.9 倍。其中含镉量较低(<1.68mg/kg)的水稻为常优 87-88、喜峰、94D-64-1、科长 89-112、秋光、中作 321、越富;含镉量较高(>3.00mg/kg)的为 97-339、中作 180、97-360、中新 5 号。水稻根部含镉量范围为 7.74~41.22mg/kg,水稻根膜含镉量范围为 21.67~115.71mg/kg。

对不同品种水稻地上部、根部、根膜含镉量分别进行单因子方差分析,其结果地上部为 F=7.61,根部为 F=16.27,根膜为 F=15.26。F 值均大于 F_{0.01}=2.85,说明不同水稻之间地上部、根部、根膜的含镉量均表现出极显著性差异。

2.2 不同品种水稻根表铁锰氧化物胶膜厚度的差异

不同水稻由于其根系的氧化能力不同,使其对根系环境中的还原性物质如 Fe、Mn 的氧化状况不同,导致形成于根表的铁锰氧化物胶膜厚度不同,根膜厚度一般用根膜中的铁锰离子浓度(DCB 法)表示。

在土培条件下,各水稻品种根膜含铁量、含锰量均存在显著性差异。供试的 14 个水稻中含铁量范围为 2686.7~7115.5mg/kg,品种间根膜含铁量相差 2.6 倍。含锰量范围为 200.0~870.4mg/kg 根干重,品种间根膜含锰量相差 4.4 倍。其中含锰量较小(<290mg/kg)的水稻为常优 87-88、94D-22、科长 89-

112、幸实;含锰量较大(>666.5mg/kg)的水稻为 97-360、97-339、中新 5 号。

对不同品种水稻的根膜含铁量、含锰量分别进行单因子方差分析,结果如下:水稻根膜含铁量: $F=6.52$,水稻根膜含锰量: $F=16.99$,两者均大于 $F_{0.01}=2.85$,说明水稻各品种的根膜含铁量、含锰量差异极显著。

表 2 不同品种水稻各部分含镉量(mg/kg DW)
Table 2 Cd concentration in fractions of 14 rice varieties

编号	水稻品种		地上部	根部	根膜
No.	Rice variety		Shoot	Root	Root coating
1	常优 87-88	Changyou87-88	0.86 e*	9.67 ef	32.50 gh
2	秋光	Qiuguang	1.28 de	21.67 bc	66.84 c-e
3	喜峰	Xifeng	1.32 de	20.61 bc	40.98 f-h
4	94D-64-1	94D-64-1	1.38 de	16.00 c-e	52.50 e-g
5	科长 89-112	Kechang89-112	1.40 de	14.33 c-f	40.00 f-h
6	中作 321	Zhongzuo321	1.52 c-e	14.00 c-f	60.00 d-f
7	越富	Yuefu	1.68 b-e	17.67 b-d	85.00 bc
8	94D-22	94D-22	2.03 b-d	10.00 d-f	21.67 h
9	幸实	Xingshi	2.44 a-c	24.00 b	50.00 e-g
10	科长 89-113	Kechang89-113	2.54 ab	15.32 c-f	73.68 b-d
11	中新 5 号	Zhongxin No. 5	3.08 a	7.74 f	33.73 gh
12	97-360	97-360	3.17 a	11.33 d-f	68.15 c-e
13	中作 180	Zhongzuo180	3.22 a	35.96 a	93.33 b
14	97-339	97-339	3.33 a	41.22 a	115.71 a

* 根据邓肯氏新复极差法进行多重比较,凡标以相同字母的平均数之间在 5%水平上不显著。Values followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Duncan's New Multiple Range Test.

2.3 不同品种水稻根膜、根部、地上部含 Cd 量与根膜中 Fe、Mn 含量的相关性分析

对水稻根膜含镉量与含铁量、含锰量分别进行相关分析,并进行显著性检验,结果如下:根膜含 Cd 量-根膜含 Fe 量: $y = -0.0087x + 90.33$ $F=1.93$ $R^2=0.139$ $r=0.373$

根膜含 Cd 量-根膜含 Mn 量: $y = 0.071x + 28.31$ $F=5.03$ $R^2=0.296$ $r=0.544$ 检验结果表明:根膜含镉量与根膜含铁量的相关方程的 F 值小于 $F_{0.05}=4.75$,两者的相关性不显著,相关系数 r 也小于 $r_{0.05}=0.532$,相关不显著。根膜含镉量与根膜含锰量的直线相关方程的 F 值大于 $F_{0.05}=4.75$,相关性显著,相关系数 r 也大于 $r_{0.05}=0.532$,相关显著。即水稻根表铁锰氧化物胶膜含镉量 y 与其含锰量 x 之间有显著的直线相关。

对水稻根部含镉量与根膜铁、锰含量分别进行相关分析,并进行显著性检验。其结果根部含 Cd 量-根膜含 Fe 量为 $y = -0.0032x + 29.64$ $F=1.81 < F_{0.05}=4.75$;根部含 Cd 量-根膜含 Mn 量为 $y = 0.012x + 13.34$ $F=0.75 < F_{0.05}=4.75$ 。水稻根部含镉量与根膜铁、锰含量的相关性都不显著。

对水稻地上部含镉量与根膜铁、锰含量分别进行相关分析(图 1),并进行检验如下:地上部含镉量与根膜含铁量: $y = 0.0001x + 1.6$ $F=0.39 < F_{0.05}=4.75$ $R^2=0.03$ $r=0.173$ 地上部含镉量与根膜含锰量: $y = 0.0036x + 0.49$ $F=31.1 > F_{0.05}=4.75$ $R^2=0.72$ $r=0.849$ 检验结果表明:水稻地上部含镉量与根膜含铁量相关不显著;而水稻地上部含镉量与根膜含锰量有显

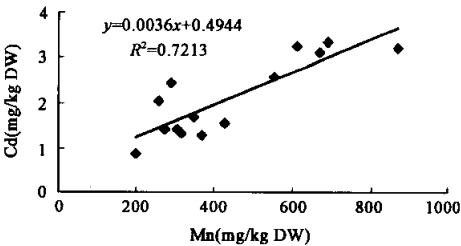


图 1 水稻基因型间的根膜含 Mn 量与地上部含 Cd 量的关系
Fig.1 Relationship between Mn concentration in plaque and Cd concentration in shoot of 14 rice genotypes

著的直线相关,相关系数 r 也大于 $r_{0.01}=0.661$,达到极显著水平。

表3 不同品种水稻根膜中铁、锰含量(mg/kg 根干重)

Table 3 Content of Fe, Mn deposited on root surface of 14 rice varieties (mg/kg Root DW)			
编号 No.	水稻品种 Rice variety	Fe	Mn
1	常优 87-88 Changyou87-88	3421.7 b	200.0 f*
2	秋光 Qiuguang	3533.9 b	366.3 de
3	喜峰 Xifeng	3909.3 b	317.8 d-f
4	94D-64-1 94D-64-1	2935.0 b	306.7 d-f
5	科长 89-112 Kechang89-112	3703.3 b	272.5 ef
6	中作 321 Zhongzuo321	2955.0 b	425.0 d
7	越富 Yuefu	2891.7 b	346.7 de
8	94D-22 94D-22	3266.7 b	260.0 ef
9	幸实 Xingshi	2686.7 b	290.0 ef
10	科长 89-113 Kechang89-113	3978.4 b	552.6 c
11	中新 5 号 Zhongxin No. 5	7118.4 a	666.5 bc
12	97-360 97-360	2745.2 b	870.4 a
13	中作 180 Zhongzuo180	3263.5 b	610.0 bc
14	97-339 97-339	2842.7 b	687.0 b

* 根据邓肯氏新复极差法进行多重比较,凡标以相同字母的平均数之间在 5%水平上不显著 * Values followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Duncan's New Multiple Range Test.

吸收^[8]。到目前为止,已发现多种植物的根表在渍水条件下可形成铁锰氧化物胶膜。但是不同的植物根表所形成铁锰胶膜的数量有明显的差异,而且同一植物在不同的土壤条件下形成的铁锰胶膜数量也不同^[9]。从本试验的结果来看,不同品种水稻根表形成的铁锰氧化物的数量存在显著性差异,这与水稻根系的氧化能力不同有关。不同耐渍水作物品种间根系的氧化能力直接影响铁锰胶膜的形成与数量。

研究表明,水稻根表形成的铁锰氧化物胶膜的性质与土壤中的铁锰氧化物及其胶膜具有极其相似的性质,能富集吸附大量的阳离子^[10,11]。因此,根表铁胶膜中含有各种金属元素,包括 Co、Cu、Cr、Hg、Ni、Pb、Zn 等。Otte 等提出,盐生植物(如紫苑)根表铁膜能富集土壤中的锌,促进紫苑对锌的吸收^[10],并发现铁膜也可以富集土壤中的砷使植物对砷的吸收量增加^[12]。本试验结果表明,各水稻的根膜含镉量与根膜含锰量呈显著相关,14 个供试水稻根膜含锰量的差异直接影响到水稻根表铁锰氧化物胶膜对镉的富集。其根表铁锰氧化物胶膜含锰量越多,其富集的镉就越多,并且地上部的含镉量也增多。

本试验中,虽然根膜、根及地上部的含镉量与根膜中的铁含量相关性不显著,但是铁氧化物胶膜在富集镉方面还是有一定的作用。由于根表铁锰氧化物胶膜能富集土壤溶液中的金属元素,而且富集量受铁锰胶膜数量的制约,因此,根表形成铁锰胶膜数量较多的水稻品种,由于能从介质中富集到较多的镉,从而使地上部含镉量也较高。虽然根表淀积的铁锰氧化物对不同水稻吸收金属元素有一定的影响,但是不同品种植物金属元素含量的差异可能受许多因子的控制。但是,就沼生植物而言,铁锰氧化物胶膜对介质中金属元素的富集作用对植物仍具有重要的生态学意义。

4 结论

不同水稻品种土壤培养的试验结果表明,不同的水稻品种其根表淀积的铁锰氧化物的数量不同,并且根表富集镉的数量以及根部和地上部含镉量均存在显著性差异。根膜及地上部的含镉量与根膜的含铁量均未达到显著性相关,但与根膜的含锰量相关性显著。

3 讨论

农作物的不同品种具有各自的遗传特征,许多试验表明,不同品种间耐镉性存在差异。杨居荣等^[5,6]对 28 个小麦,14 个大豆品种(或品系)的幼苗培养试验表明,作物对镉的耐性具有明显的种内差异;耐性品种与其吸收 Cd 相对较少或向地上部运转比例较低有关。日本学者曾以籽粒 Cd 含量为参数,对 14 个常规水稻品种(或品系)进行了比较,认为品种间存在很大的耐镉差异性。吴启堂等^[7]研究表明:不同品种水稻其糙米含镉量具有明显的差异。本试验通过土壤培养研究表明:水稻品种之间不管是其根膜、根部含镉量,还是其地上部含镉量均存在显著性差异。

耐渍水植物的重要特征之一是根系具有氧化能力,能够把大气中的氧高效率地输送到根的尖端部位,从而使根际处于氧化状态。土壤处于渍水状态,由于物理、化学及生物的还原作用,各种高价氧化物被还原,其溶解度不断提高,使得土壤中 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的浓度急剧增加。这些低价的离子在根际由于氧化作用又被氧化而在根表淀积起来,形成明显可见的氧化物、氢氧化物胶膜,可以减少 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的过量

参考文献

- [1] Armstrong W, Armstrong J, Peter M, *et al.* Convective gas-flows in wetland plant aeration. In: Jackson M B, Davies D D and Lambers H eds. *Plant Life under Oxygen Deprivation*. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands. 1991, 283~302.
- [2] Armstrong W and Beckett P M. Internal aeration and the development of stellar anoxia in submerged root: A multishelled mathematical model combining axial diffusion of oxygen in the cortex radial gasses to the stele, the wall layer and the rhizosphere. *New Phytol.*, 1987, **105**:221~245.
- [3] Conlin T S S and Crowder A A. Location of radial oxygen loss and zones of potential iron uptake in a grass and two non-grass emergent species. *Can. J. Bot.*, 1989, **67**:717~722.
- [4] Taylor G J, Crowder A A. Use of DCB technique for extraction of hydrous iron oxides from roots of wetland plants. *Am. J. Bot.*, 1983, **70**:1254~1257.
- [5] 杨居荣, 贺建群, 黄 翌, 等. 农作物 Cd 耐性的种内和种间差异, II. 种内差. 应用生态学报, 1995, **6**(增刊):132~136.
- [6] 杨居荣, 贺建群, 张国祥, 等. 农作物对 Cd 毒害的耐性机理探讨. 应用生态学报, 1995, **6**(1):87~91.
- [7] 王凯荣, 龚惠群. 两种基因型水稻对环境镉吸收与再分配差异性比较研究. 农业环境保护, 1996, **15**(4):145~149, 176.
- [8] Chen C C, Dickson J B and Turner F T. Iron coatings on rice roots: morphology and models of development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980, **44**:1113~1119.
- [9] Macfie S and Crowder A A. Soil factors influencing ferric hydroxide plaque formation on roots of *Typha Latifolia*. *Plant Soil*, 1987, **92**:177~184.
- [10] Otte M L, Rozema J, Koster L, *et al.* Iron Plaque on roots of *Aster tripolium* L. interaction with Zinc uptake. *New Phytol.*, 1989, **111**:309~317.
- [11] Kuo S. Concurrent sorption of phosphate and zinc, cadmium, or calcium by a hydrous ferric oxide. *Soil Sci. Am. Pro.*, 1986, **35**:722~725.
- [12] Otte M L, Dekker M, Rozema J, *et al.* Uptake of arsenic by *Aster tripolium* L. in relation to rhizosphere oxidation. *Can. J. Bot.*, 1991, **69**:2670~2677.