

不同形态氮素对水稻体内镉形态的影响

张敬锁^① 李花粉 张福锁 姚广伟
(北京市农业环境监测站) (资源与环境学院)

摘 要 采用不同形态氮素营养液的培养方法,研究不同形态氮素对水稻体内镉存在形态的影响。结果表明,两种不同形态氮素即 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 营养液培养中, NH_4^+-N 促进水稻对镉的吸收,并增加了水稻根中和地上部的水提取态和氯化钠提取态镉的含量;而 NO_3^--N 处理却增加了醋酸提取态镉含量。盐酸提取态和残留态的镉两处理差异不明显。

关键词 镉形态; 氮素; 水稻

中图分类号 X171; S181

Influence of the Form of Nitrogen on the Chemical Forms of Cadmium in Rice

Zhang Jingsuo Li Huafen Zhang Fusuo Yao Guangwei
(Beijing Agro-Environmental Monitoring Station) (College of Resources and Environment)

Abstract In order to understand the effect of the different forms of nitrogen on Cd content and its chemical forms in rice, nutrient solution culture method was used and the rice was grown in complete nutrient solution with ammonium or nitrate as the nitrogen form. The result indicated that the roots and shoots of rice grown in NH_4^+-N had higher Cd content compared with NO_3^--N one. The concentration of H_2O -extractable Cd and NaCl-extractable Cd content of rice grown in NH_4^+-N solution were significantly higher than those in NO_3^--N solution, but the concentration of HAc-extractable Cd content was higher in NO_3^--N . HCl-extractable and residual Cd content were insignificantly different in both nutrition.

Key words chemical forms of Cd; forms of nitrogen; rice

由于人类的某些活动使一些对人体有害的重金属元素(如镉、铅等)在土壤、水体等环境中明显地累积,进而通过食物链而危害人体的健康^[1]。

植物对重金属元素的吸收,受诸多因素的影响。农业措施中施用不同形态的氮肥可造成土壤—植物根际的环境状况的变化^[2],而影响对镉在根际土体的化学行为,导致镉有效性的差异,因而会影响植物对镉的吸收。然而在植物体内存在的化学形态是否受不同形态氮素的影响,目前研究甚少。由于植物吸收不同形态氮素后在体内代谢作用上的差异,有可能影响

收稿日期: 1996-10-28

^①张敬锁,北京市农业环境监测站,100029

到镉在植物体内的化学形态,而在植物体内不同结合形态镉的迁移能力有明显的差异(如以水溶性的有机酸盐或以硝酸盐、氯化物盐等无机盐形态存在的重金属,其迁移能力比难溶性的磷酸盐或牢固吸附于细胞壁上的重金属要强的多^[3]),进而影响到植物体内镉的运输和转移。本试验采用营养液培养方法,研究不同形态氮素($\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$)对水稻吸收镉及水稻体内镉存在的化学形态的影响。

1 材料与方法

1.1 试验处理

水稻种子(*Oryza sativa* L. 科长 89-113, 桃长 88-145)经催芽,长出一片真叶后,分别移栽至 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 营养液中,其中微量元素的组成一致(表 1),营养液用酸或碱调节 pH 5.0。

表 1 营养液的组成

$\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 营养液		$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 营养液		微量元素	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2.0×10^{-3}	KNO_3	4.0×10^{-3}	H_3BO_3	1.0×10^{-6}
KH_2PO_4	0.25×10^{-3}	KH_2PO_4	0.25×10^{-3}	MnSO_4	1.0×10^{-6}
K_2SO_4	2.0×10^{-3}			CuSO_4	1.0×10^{-7}
MgSO_4	0.65×10^{-3}	MgSO_4	0.65×10^{-3}	ZnSO_4	1.0×10^{-6}
CaCl_2	1.0×10^{-3}	CaCl_2	1.0×10^{-3}	$(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_4$	5.0×10^{-9}

试验用 1.6 L 的塑料盆,每盆移栽 21 株水稻,水稻生长 4 周后,进行加镉(CdSO_4 , 1.0×10^{-6} $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)处理。每个处理设 3 个重复,处理 5 d 后取样分析。

1.2 水稻中镉化学形态的测定

称取水稻地上部和根(事先用去离子水洗净)各 1.500 g,选用不同浸提剂(去离子水、 NaCl 1.0 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 2% HAc , HCl 0.6 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)逐级浸提地上部和根中镉化学结合形态^[3,4],各浸提液用浓硝酸-高氯酸消煮后,定容待测。浸提后的残渣用于灰化法处理,用稀硝酸溶解,定容。以上待测液均用原子吸收分光光度计测定。

试验所用各浸提剂浸提出的镉在植物体内的迁移能力与其存在的化学形态相关^[3]。即去离子水:提取以硝酸盐,氯化物,氨基酸盐,水溶性有机酸盐,重金属的磷酸二氢盐等,其迁移能力最强。

NaCl 1 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$:提取果胶盐,与蛋白质结合形态或呈吸着态的重金属。

2% HAc :提取难溶于水的重金属磷酸盐等。

HCl 0.6 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$:提取草酸盐等。

2 结果与分析

2.1 不同形态的氮素对营养液 pH 值的影响

从图 1 看出,水稻生长在 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 处理的营养液中,可使营养液中的 pH 值有明显的下

降趋势;而 NO₃⁻-N 处理的则相反。这就表明当水稻吸收不同形态的氮素后,可明显地影响水稻根际 pH 的变化。

这主要是由于水稻在吸收 NH₄⁺-N 后,为了维持植物体细胞正常生长的 pH 值和电荷平衡,根系分泌一定 H⁺ 使根际的 pH 值下降;相反,水稻吸收 NO₃⁻-N 后,根系分泌 HCO₃⁻ 和 OH⁻ 来维持,导致根际 pH 值的升高。造成根际营养液 pH 值的变化趋势,主要是由于根系在吸收不同形态氮素后,使根系分泌能力上差异引起的^[5,6]。

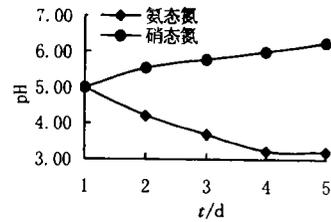


图1 不同形态氮素对营养液中 pH 值的影响

2.2 不同形态氮素对水稻生物量的影响

从表 2 可看出,不同形态氮素的水稻的生物量产生一定的影响,即对水稻的根的生物量构成显著的差异,而对水稻地上部的生物量的影响不大。

与 NH₄⁺-N 处理相比,NO₃⁻-N 处理明显增加了水稻根的生物量。从两种不同形态氮素处理的根冠比可进一步看出,NH₄⁺-N 相对明显地促进水稻地上部的生长;而 NO₃⁻-N 促进水稻根的生长。可能是由于水稻是喜铵作物,当供应一定的铵时即能满足水稻地上部的生长,而供应 NO₃⁻-N 时,由于缺乏 NH₄⁺-N,水稻就通过增加根的生长来吸收更多的氮素去满足地上部生长的需要,造成根生物量的增加。

表 2 不同形态氮素对水稻生物量的影响* g·(12株)⁻¹

处理	根鲜重	地上部鲜重	根冠比	根干重	地上部干重	根冠比
NH ₄ ⁺ -N	1.83B	4.40A	0.42B	0.14B	0.58A	0.24B
NO ₃ ⁻ -N	4.54A	4.32A	1.05A	0.24A	0.55A	0.44A

* 邓肯法,1%的显著水平,以下各表数字处理均相同

2.3 不同形态氮素对水稻吸收镉的影响

从图 2 可看出,NH₄⁺-N 处理的水稻根中和地上部镉含量分别为 273.5 和 17.0 mg·kg⁻¹(DW),均是 NO₃⁻-N 处理的 2.4 倍。

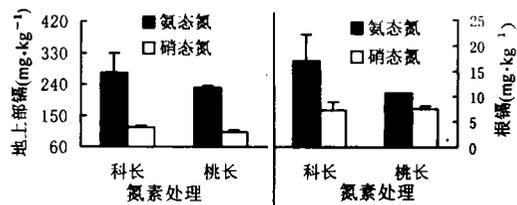


图 2 不同形态氮素对水稻地上部及根的镉含量影响

在水培条件下,溶液中的 pH 值将明显地影响植株对镉的吸收;在植株正常生长情况下,随着 pH 值降低,植物吸收镉的量减少^[7]。而本试验的结果,虽 NH₄⁺-N 处理降低了溶液中的 pH 值,水稻体内的镉含量却高于 NO₃⁻-N 处理,这说明不同形态氮素的水稻吸收镉起着重要的作用,NH₄⁺-N 在一定程度上促进水稻对镉的吸收。这与 Florijn 试验结论一致^[8]。

从表 3 可看出,NH₄⁺-N 处理的水稻体内(地上部和根中)吸收镉的总量均高于 NO₃⁻-N 处理。以水稻科长 89-113 为例,虽然 NO₃⁻-N 处理的水稻根的生物量是 NH₄⁺-N 处理的 1.7

倍,但 NO_3^- -N 处理的根镉量却是 NH_4^+ -N 的 70%。地上部的差异表现的更加明显, NH_4^+ -N 处理其镉量为 $9.41 \mu\text{g}$; NO_3^- -N 处理仅为 $4.05 \mu\text{g}$,是 NH_4^+ -N 处理的 43%。

表 3 不同形态氮素对水稻吸收镉总量的影响 $\mu\text{g} \cdot (12 \text{株})^{-1}$

品 种	根镉总量		地上部镉总量		地上部镉/根镉	
	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	NO_3^- -N
科长 89-113	39.09A	27.36B	9.41A	4.05B	0.24A	0.14B
桃长 88-145	24.08A	11.56B	5.36A	2.03B	0.22A	0.18B

镉在水稻体内分布也受到不同形态氮素的影响。 NH_4^+ -N 处理的受到地上部与根中镉总量的比值高于 NO_3^- -N 处理(表 3)。表明 NH_4^+ -N 促进了根中镉向地上部的运输,而增加了地上部镉的比率。

这说明了 NH_4^+ -N 不仅促进了水稻对镉的吸收,而且增强了镉向地上部的运移。这可能是由于在吸收 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 时,影响到元素的吸收,而且它们在体内的同化作用,代谢过程中影响到镉在体内的化学形态的差异造成的,这方面都有待于进一步研究。

2.4 不同形态氮素对水稻体内镉形态的影响

试验结果表明, NH_4^+ -N 处理增加了水稻体内水提取态和氯化钠提取态镉的含量;而 NO_3^- -N 却增加了醋酸提取态镉的含量(表 4)。但不论是何种氮素处理水稻根中镉形态都是以氯化钠提取态占的比率最高;其次为水溶态和醋酸提取态镉,但相对 NO_3^- -N 处理的醋酸提取态镉所占的比率相应地增加不少,达到占总量的 28.78%。而地上部却表现不同, NH_4^+ -N 处理的镉所占的比率是水溶态 > 醋酸提取态 > 氯化钠提取态; NO_3^- -N 处理以醋酸提取态 > 水溶态 > 盐提取态。

表 4 水稻体内镉的形态分布 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}, \%$

部位	处理	镉的化学形态									
		F_w		F_{NaCl}		F_{HAC}		F_{HCl}		F_R	
		含量	占总量	含量	占总量	含量	占总量	含量	占总量	含量	占总量
根镉	NH_4^+ -N	105.39b	38.37	138.00a	50.43	21.80c	9.99	3.08cd	1.03	0.49de	0.17
	NO_3^- -N	31.02bc	26.98	47.03a	40.83	33.15b	28.78	2.02d	1.75	0.31e	0.27
地上部镉	NH_4^+ -N	8.68a	52.38	1.38c	7.81	6.60b	39.81	—	—	—	—
	NO_3^- -N	2.67b	37.28	0.38c	5.27	4.05a	57.44	—	—	—	—

注:—表示未检出; F_w : 去离子水提取态 F_{NaCl} : 氯化钠提取态 F_{HAC} : 醋酸提取态 F_{HCl} : 盐酸提取态 F_R : 残留态

不同形态氮素处理,影响到水稻体内的镉存在的形态,明显地影响到镉在水稻体内的运移。 NH_4^+ -N 处理增加了根中移动性最强的水溶态镉的含量,相应增加了水稻地上部的镉含量。据分析水稻根中的水溶态镉与地上部镉含量的关系发现,两者间有很高的相关性($R=0.97$)。这与前人推论的不同形态镉的迁移能力的不同是相一致的^[3,9]。

3 结论

①不同形态氮素影响根际的 pH 值。 NH_4^+ -N 导致根际 pH 值下降; NO_3^- -N 致使根际 pH 的升高。

② NH_4^+ -N 促进水稻对镉的吸收、累积和向地上部运移。其根中和地上部镉浓度均为 NO_3^- -N 处理的 2.4 倍,镉总量则是 NO_3^- -N 的 2 倍。

③ NH_4^+ -N 明显促进水稻根中和地上部水溶态、氯化钠提取态镉的含量;而 NO_3^- -N 却增加醋酸提取态镉的含量。但水稻根中镉都是以氯化钠提取态镉的形态占优势而存在。地上部镉形态的顺序是: NH_4^+ -N 处理以水溶态镉>醋酸提取态镉>氯化钠提取态镉; NO_3^- -N 处理以醋酸提取态镉>水溶态镉>氯化钠提取态镉。 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 影响水稻体内镉形态机理还有待探讨。

参 考 文 献

- 1 Jackson A P, Alloway B J. The transfer of Cadmium from agricultural soil to the human food chain. In: Adriano D C ed. Biochemistry of Trace Metal, Lewis Publishers, 109~152
- 2 熊礼明. 施肥与作物的重金属吸收. 农业环境保护, 1993, 12(5): 127~130
- 3 许嘉林, 鲍士平, 杨居荣. 农作物体内铅、镉、铜的化学形态研究. 应用生态学报, 1991, 2(3): 244~248
- 4 孔庆新. 镉污染米胚乳和胚中重金属分配规律探讨. 生态学杂志, 1988, 7(4): 27~35
- 5 张福锁. 植物引起的根际改变的原因及效应. 土壤通报, 1993, 22(1): 43~45
- 6 Beusichem M L, Bass R. Influence of nitrate and ammonium nutrition Cadmium on the uptake, assimilation and distribution of nutrition in *Ricinus communis*. Plant Physiol, 1988, 86: 914~921
- 7 Hatch D J, Jones L H, Baurau R G. The effect of on the uptake of Cadmium by four plant species grown in flowing solution culture. Plant and Soil, 1988, 105: 121~126
- 8 Florijn P J. The influence of the form of nitrogen nutrition on uptake and distribution of Cadmium in lettuce Varieties. J Plant Nutrition, 1992, 15: 2405~2416
- 9 张福锁等. 土壤与植物营养研究锌动态(第二卷). 北京: 中国农业出版社, 1995