

铝与镉的交互作用对水稻种子萌发及幼苗生长的影响

贺根和, 刘 强, 江 丹, 郑辉德

(井冈山大学 生命科学学院, 井冈山生态环境研究中心, 江西 吉安 343009)

摘要:以水稻(先农3号)为供试材料,研究铝与镉的交互作用对水稻种子萌发及幼苗生长的影响。结果表明,铝和镉对水稻发芽及生长均有显著影响,低浓度的铝能促进芽的生长,高浓度的镉完全抑制根的生长。此外,铝和镉还表现出显著的交互作用($P < 0.01$),铝能在一定程度上缓解镉对水稻萌发、根和芽生长的毒性,特别是低浓度条件下这种缓解作用更明显,而镉只能在一定程度上降低铝对水稻萌发和芽生长的影响。在高浓度下,两者还表现出对水稻发芽率、根生长的联合毒性。

关键词:铝;镉;水稻;交互作用;种子萌发;幼苗生长

中图分类号: S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2010)03-0431-05

The Interaction of Aluminum and Cadmium to Rice (*Oryza sativa* L.) Seed Germination and Seedling Growth

HE Gen-he, LU Qiang, JIANG Dan, ZHENG Hui-de

(School of Life Sciences, Jangangshan Eco-environmental Research Center, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

Abstract: With Xiannong No. 3 as the material to study the effect of Aluminum (Al) and cadmium (Cd) interaction to Rice (*Oryza sativa* L.) seed germination and seedling growth. The results showed that Al and Cd affected seed germination and seedling growth significantly, Al increased sprout length at low concentrations, and Cd inhibited root elongation completely at high concentrations. Moreover, there was a significantly interaction ($P < 0.01$) between Al and Cd. Al decreased Cd toxicity to germination, sprout length and root elongation, while Cd only decreased Al toxicity to germination and sprout length to some extent. The toxicity of the mixture of Al and Cd to germination and root elongation could be found as cooperative action at high concentrations.

Key words: aluminum; cadmium; rice (*Oryza sativa* L.); interaction; seed germination; seedling growth

铝毒被认为是酸性 ($\text{pH} < 5.0$) 土壤中作物生长最重要的限制因素之一^[1]。在自然条件下, Al 通常以难溶性的硅酸盐或氧化铝的形式存在, 对植物没有毒害。但是在酸性条件下 ($\text{pH} < 5$), 低浓度的 Al (主要为 Al^{3+}) 即对大多数植物产生毒害作用^[2]。

镉是农业环境中较危险的重金属元素之一。据不完全统计, 我国镉污染农田面积达到 $2.8 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 每年生产镉含量超标农产品 $1.46 \times 10^{10} \text{ kg}$ ^[3], 严重危害着农业生态环境和人民的生活质量。

收稿日期: 2010-03-03 修回日期: 2010-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(30760108)、江西省教育厅科学技术项目(GJ09340)和井冈山大学自然科学基金项目(JZ0817)

作者简介: 贺根和(1977-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事环境毒理学研究, E-mail: genhexh@gmail.com。

镉不是水稻生长必需的微量元素,也不参与水稻的结构和代谢活动,但是水稻体内过量积累镉,将对水稻产生严重毒害。

铝、镉是我国南方酸性土壤环境中最普遍和危害性较强的污染物,能够影响植物的生理代谢过程,这种影响在幼苗期表现尤其突出,并最终导致植物体产量和品质的下降^[4-7]。然而,过去大量的研究都是将铝、镉分开进行,将两者结合起来研究的报道较少^[8]。本文以我国南方常规的水稻品种(先农 3 号)为材料,通过设置不同的铝和镉的浓度梯度,分析铝和镉的交互作用对水稻的发芽率、根长和芽长的影响,旨在探明铝与镉的交互作用对水稻种子萌发和幼苗生长的影响,为进一步探讨铝毒和重金属的交互作用对作物生长的影响提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

水稻种子为先农 3 号,为不育系金 23A × 恢 1 号(测 64 - 7 系选)杂交选配的杂交早稻组合,由江西省种子公司提供。

1.2 试验设计

挑选大小均匀、健康饱满的水稻种子,用 10 g/L NaClO 溶液消毒后于蒸馏水中浸泡 12 h。试验共设 5 个铝和 5 个镉浓度的处理液,铝(购自上海生工)以 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 的形式加入,浓度分别为 0, 20, 50, 100, 200 $\mu\text{mol/L}$,镉(购自上海生工)以 $CdCl_2$ 的形式加入,浓度分别为 0, 0.1, 0.25, 0.50, 1.0 mmol/L ,两两相交,共产生 25 个处理(表 1)。将浸种后的种子用蒸馏水清洗 3 次后放入 90 mm × 15 mm 培养皿中,每个培养皿垫 2 张滤纸,各放入 50 粒种子,加入处理好的铝和镉溶液 4 mL,每个处理 4 次重复,种子上方铺 2 层湿润的纱布,在生化培养箱(25℃)进行萌发试验,每天补充 2 mL 相应处理液,使种子保持湿润状态。从培养皿中培养开始,以胚根突破种皮 1 mm 为发芽标准。第 3 d 记载发芽粒数和计算发芽率,第 7 d 测量根长和芽长。

发芽率(%) = 第 3 d 内正常发芽的种子数 / 供试种子数 × 100%。

芽长 = 萌发种子的芽长 / 萌发的种子数。

根长 = 萌发种子的根长 / 萌发的种子数。

1.3 数据分析

实验数据为 4 次重复平均值,采用 SPSS17.0 中单变量多因素方差分析铝和镉的交互作用。

表 1 试验设计

Tab 1 Test designed

镉浓度 $c(\text{Cd}) /$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	铝浓度 $c(\text{Al}) / (\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$				
	0	20	50	100	200
0	S ₁	S ₆	S ₁₁	S ₁₆	S ₂₁
0.1	S ₂	S ₇	S ₁₂	S ₁₇	S ₂₂
0.25	S ₃	S ₈	S ₁₃	S ₁₈	S ₂₃
0.50	S ₄	S ₉	S ₁₄	S ₁₉	S ₂₄
1.0	S ₅	S ₁₀	S ₁₅	S ₂₀	S ₂₅

2 结果与分析

2.1 铝与镉的交互作用对水稻发芽率的影响

镉严重抑制水稻的发芽率(表 2,图 1),当单独处理浓度为 1.0 mmol/L 时,水稻发芽率下降 42.8%,是铝处理最大降幅的 5.6 倍。相对于镉而言,铝对水稻发芽率的影响较小,最大降幅仅为 7.7% (表 2,图 1)。

铝与镉共存时,表现出显著的交互作用($P < 0.01$) (表 2)。铝对不同浓度镉的生物毒性都有明显的缓解作用,而镉对铝毒性的缓解作用仅在镉浓度低的时候才有所表现。两者的联合毒性只发生在高

表 2 铝和镉的交互作用对水稻萌发及幼苗生长影响的单变量多因素方差分析结果

Tab 2 Result of univariate analysis for the interaction effects of Al and Cd on seeds germination and seedling growth

方差项 Univariate	自由度 df	发芽率		根长		芽长	
		Percentage seed germination		Root length		Sprout length	
		F	P	F	P	F	P
铝 (Al)	4	13.917	<0.01	5.802	<0.01	24.163	<0.01
镉 (Cd)	4	712.558	<0.01	538.466	<0.01	509.337	<0.01
铝 × 镉 (Al × Cd)	16	14.002	<0.01	9.802	<0.01	15.486	<0.01

浓度处理的几个交互组中 (S_{19} 、 S_{20} 、 S_{24} 、 S_{25})。以铝的浓度为 $200 \mu\text{mol/L}$ 为例,当铝单独处理水稻时,水稻的发芽率为对照的 82.2% ;当加入 0.1 mmol/L 镉后,水稻的发芽率升高为对照的 99.3% ,升高 17.1 个百分点。当镉处理浓度增加为 0.1 mmol/L ,水稻的发芽率有所降低,但比铝单独处理时高出 2 个百分点,说明低浓度的镉能够缓解铝的生物毒性。但随着镉处理浓度的进一步增加,水稻的发芽率明显降低并表现出两者的联合毒性 (图 2)。

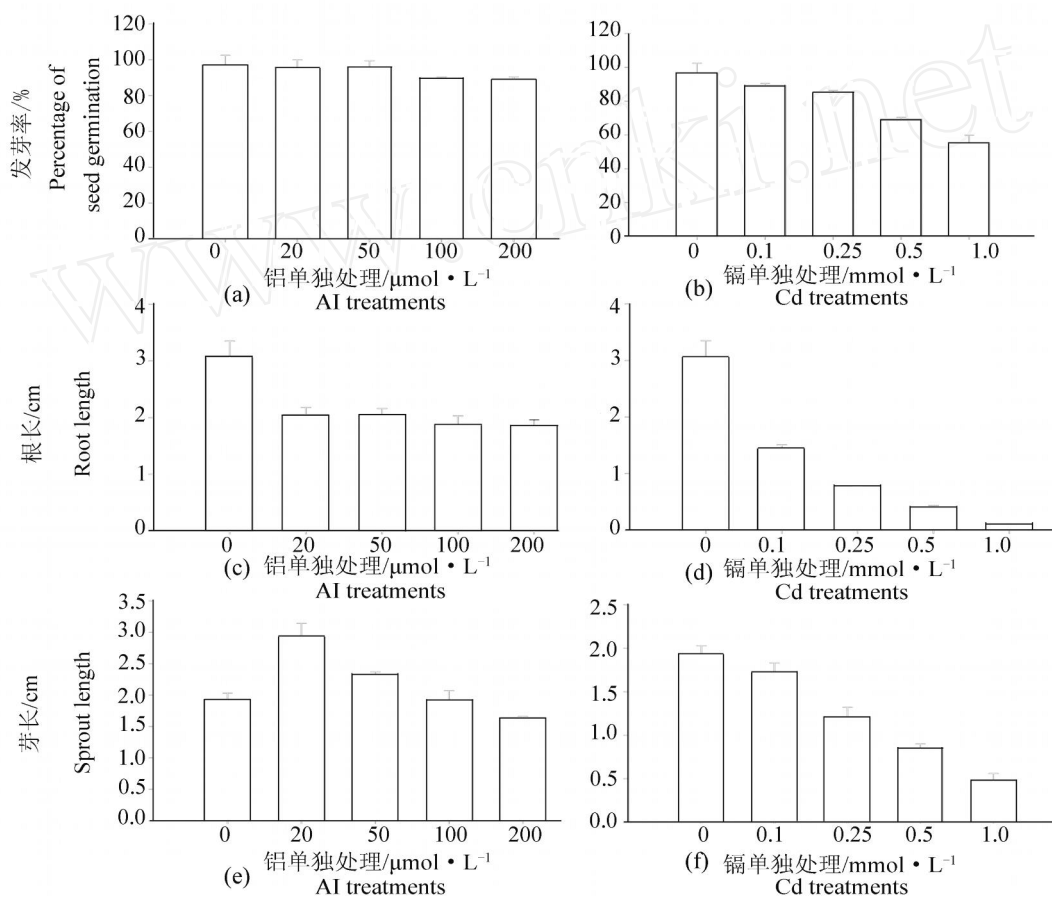


图 1 铝、镉单独处理对水稻发芽率、根长及芽长的影响

Fig 1 The effects of different Al or Cd treatments on percentage rice seed germination, sprout length and root elongation

2.2 铝与镉的交互作用对水稻根生长的影响

在铝最低浓度 ($20 \mu\text{mol/L}$) 处理时,水稻根长下降了 33.0% ,在镉最低浓度 (0.1 mmol/L) 处理时,水稻根长下降了 52.6% ,水稻根长表现出对铝和镉低浓度胁迫的敏感性。当铝和镉单独处理浓度继续提高时,铝对水稻根长的抑制变得缓慢,至最高处理浓度 ($200 \mu\text{mol/L}$) 时,根长下降了 39.2% ,仅比最低浓度时多下降 6.2 个百分点。镉在高浓度下的毒性要比铝强得多,至最高浓度 (1.0 mmol/L) 时根的生长基本被完全抑制 (表 2,图 1)。

当铝与镉共同作用于水稻时,铝能缓减低浓度镉对水稻根生长的毒性,而镉对铝毒性的缓解作用不

明显。在镉处理浓度为 0.5 mmol/L 时,加入 20 μmol/L 的铝,水稻根长增加 37.5%,表现出很强的缓解作用。当铝浓度提高至 50 μmol/L 时,水稻根长降低 50%,表现出两者的联合毒性,并且随着铝处理浓度的增加,联合毒性更强(表 2,图 2)。

2.3 铝与镉的交互作用对水稻芽长的影响

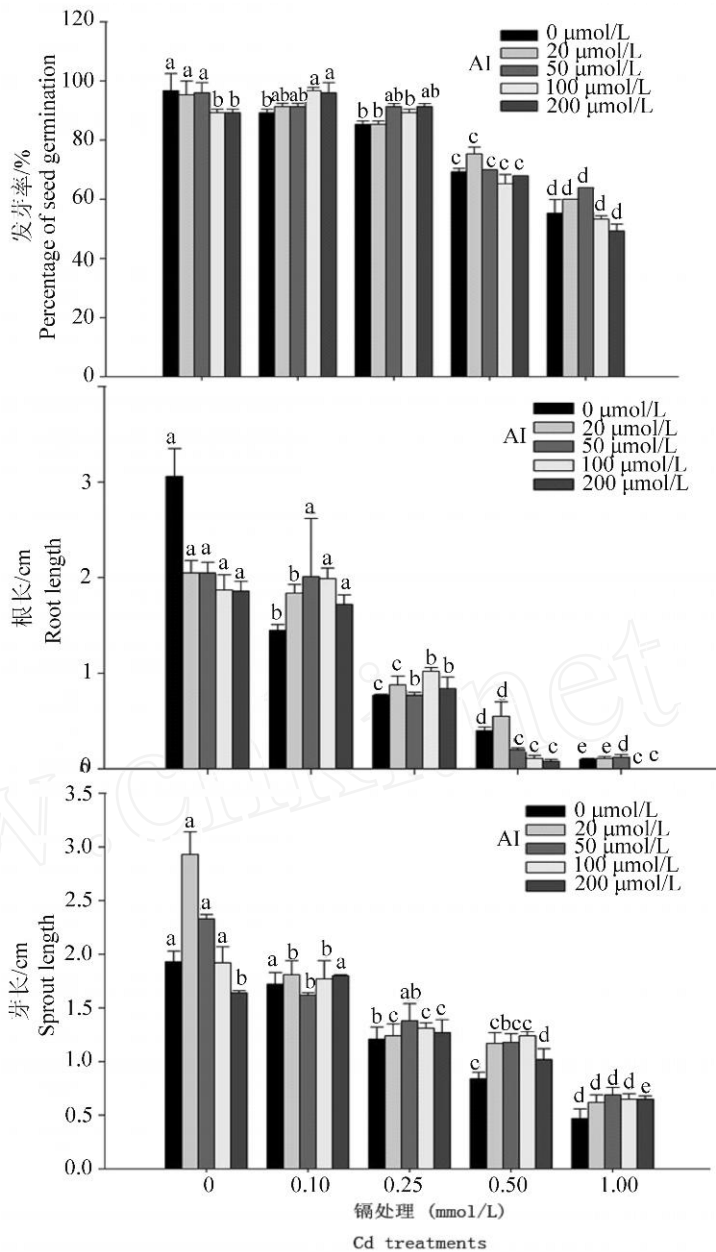
水稻芽的生长对铝和镉低浓度胁迫表现出完全不同的反应。在铝单独浓度为 20 μmol/L 和 50 μmol/L 时,水稻芽长分别增加 34.1%和 20.7%;而镉单独处理浓度为 0.1 mmol/L 时,水稻芽长下降 10.9%,并随着镉浓度的升高继续降低,最大降幅为 75.6%,是铝单独处理最大降幅的 5.04 倍(表 2,图 1)。

当铝与镉共同作用于水稻时,铝的存在明显降低镉的生物毒性,而镉对铝毒性的缓解作用不明显,前者表现与发芽率试验中相同的特点,后者则与根长实验中表现的特点相同。在所有处理组中,并没有发现两者的联合毒性(表 2,图 2)。

3 讨论

稻田土壤酸铝胁迫和重金属污染是水稻生产中的一个重大问题。大量的研究指出,铝、镉胁迫下植物能够分泌一些有机酸(如柠檬酸、草酸)等来降低铝的毒害^[9]。刘尼歌等(2007)^[10]研究表明,铝处理能使水稻根系柠檬酸分泌量显著增加,柠檬酸的分泌可能是低浓度的铝促进水稻芽生长的重要原因之一^[11]。Lopez - Millan等(2009)^[12]利用水培法研究镉对西红柿生长的毒性时指出,低浓度的镉胁迫能促进西红柿根部分泌柠檬酸来缓解镉的毒害,而在高浓度下镉能与其他营养物质发生交互作用,从而影响植物生长。本试验结果表明,铝和镉对水稻的发芽率、根长和芽长均有一定程度的抑制作用,铝的抑制作用要比镉小,并且低浓度的铝还能促进水稻芽的生长。这与何俊瑜(2008)^[13]、陈志德(2009)等^[14]报道的镉胁迫对水稻种子萌发和幼苗生长的影响和石贵玉(2004)^[15]报道的铝对水稻幼苗生长影响的结果一致。

然而,以往的研究大部分将铝、镉分开进行,将两者联合起来研究的报道较少。陈平等^[16]研究认为,硒可以减轻镉胁迫对水稻幼苗生长的抑制作用,施用硅肥(硅酸盐)可显著缓解或消除在营养液培



标注不同字母表示相同铝处理水平下不同镉处理浓度间差异显著 (LSD, $P < 0.05$)。

Bars superscripted by different letters are significantly different between Cd treatments ($P < 0.05$) as determined by LSD at the same concentration of Al

图 2 铝与镉的交互作用对水稻发芽率、根长及芽长的影响

Fig 2 The interaction effects of Al and Cd on percentage rice seed germination, sprout length and root elongation

养条件下铝对麦类作物^[17]、水稻等^[18]的毒害。Shamsi等(2007)^[18]对大豆的研究发现,当铝、镉联合存在时,大豆根部铝、镉积累量增多,而叶片中相应离子的含量比单独处理时减少,这些研究都表明离子之间可能存在某些互作效应。当铝与镉共存时,对水稻发芽率及幼苗生长的抑制表现出明显的交互作用($P < 0.01$),铝能在一定程度上缓解镉对水稻发芽率、根长和芽长的抑制作用,并在低浓度下表现得更加明显,而镉只能在一定程度上降低铝对水稻发芽和芽生长的毒性。在较高浓度下,铝和镉均表现出对水稻发芽率、根生长的联合毒性,说明铝、镉之间确实存在比较明显的交互作用。然而,这种交互作用的机理及有机酸(如柠檬酸)的分泌是否是导致这种交互作用存在的主要原因,目前还缺少足够的实验依据。

参考文献:

- [1] 刘强, 郑绍建, 林咸永. 植物适应铝毒胁迫生理及分子生物学机理 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1641 - 1649.
- [2] 朱佳, 张晓燕, 李朝苏, 等. 铝胁迫对白银豆幼苗生理特性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 39 - 42.
- [3] Wang K R. Tolerance of cultivated plants to cadmium and their utilization in polluted farmland soils [J]. Acta Biotechnologica, 2002, 22(1/2): 189 - 198.
- [4] Shama P, Dubey R. Involvement of oxidative stress and role of antioxidative defense system in growing rice seedlings exposed to toxic concentrations of aluminum [J]. Plant Cell Report, 2007, 26(11): 2027 - 2038.
- [5] Ikegawa H, Yamamoto Y, Matsumoto H. Responses to aluminum of suspension-cultured tobacco cells in a simple calcium solution [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2000, 46(2): 503 - 514.
- [6] Vema S, Duber R S. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice [J]. Biologia Plantarum, 2001, 44(1): 117 - 123.
- [7] Peralta J R, Dela R G, Gonzalez J H, et al. Effects of the growth stage on the heavy metal tolerance of alfalfa plants [J]. Advances in Environmental Research, 2004, 8(3/4): 679 - 685.
- [8] Shamsi I H, Wei K, Jilani G, et al. Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean [J]. J Zhejiang Univ Sci B, 2007, 8(3): 181 - 188.
- [9] Ma J F, Ryan P R, Delhaize E. Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids [J]. Trends in Plant Science, 2001, 6(6): 273 - 278.
- [10] 刘尼歌, 莫丙波, 严小龙, 等. 大豆和水稻对铝胁迫响应的生理机制 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 853 - 858.
- [11] Pellet D M, Grunes D L, Kochian L V. Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zeamays* L.) [J]. Planta, 1995, 196(4): 788 - 795.
- [12] Lopez-Millan A F, Sagardoy R, Solanas M, et al. Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in hydroponics [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 65(2/3): 376 - 385.
- [13] 何俊瑜, 任艳芳, 朱诚, 等. 镉胁迫对不同水稻品种种子萌发、幼苗生长和淀粉酶活性的影响 [J]. 中国水稻科学, 2008, 22(4): 399 - 404.
- [14] 陈志德, 仲维功, 王军, 等. 镉胁迫对水稻种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 19 - 23.
- [15] 石贵玉. 铝对水稻幼苗生长和生理的影响 [J]. 广西植物, 2004, 24(1): 77 - 80.
- [16] 陈平, 余土元, 陈惠阳, 等. 硒对镉胁迫下水稻幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 广西植物, 2002, 22(3): 277 - 282.
- [17] Morikawa C K, Saigusa M. Si amelioration of Al toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.) growing in two Andosols [J]. Plant and Soil, 2002, 240(1): 161 - 168.
- [18] Hara T, Gu M H, Koyama H. Ameliorative effect of silicon on aluminum injury in the rice plant [J]. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1999, 45(4): 929 - 936.