

研究快报

酸化土壤铝和镉对水稻幼苗根系生长的复合影响

Combined Effects of Aluminum and Cadmium in Acidified Soil on
Root Growth in Rice Seedlings

王丽红, 孙飞, 陈春梅, 王园园, 刘一帅, 周青*

(江南大学环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

关键词: 土壤酸化; 铝; 镉; 水稻根系; 生长

酸雨和大量施用化肥致使我国土壤酸化日益加重。酸性土壤中, 铝(Al)毒被认为是限制作物生长与产量的主要因素。镉(Cd)因被广泛应用于电镀、冶金、染料和电池等领域而大量进入土壤, 已成为严重影响农业生产的重金属元素之一。在中国多数农业区, 土壤酸化、Al 和 Cd 污染重叠发生。目前, 国内外关于单一土壤酸化、Al、Cd 胁迫或两两复合胁迫对作物毒害效应及其机理研究, 已有报道。然而有关酸化土壤 Al 和 Cd 复合胁迫对作物影响研究甚少。水稻是重要粮食作物, 全球约 13% 水稻生长于酸化土壤。鉴于此, 本文以水稻幼苗为试材, 采用蛭石培养, 利用根系原位测定系统(WinRHIZO 根系图像分析系统, Pro 2009a), 研究土壤酸化(pH 值 4.5)、Al (0.5、2 mg·L⁻¹) 和 Cd (1.5、3.0 mg·L⁻¹) 污染对水稻(*Oryza sativa*) 幼苗根系生长的复合影响, 为科学评价酸化土壤 Al 和 Cd 污染区作物生产的潜在生态风险提供借鉴。

表 1 数据显示, 较之 CK (pH 值 5.5), 单一酸化(pH 值 4.5)、Al 或 Cd 处理均使水稻幼苗根长、表面积、平均直径、根尖数、分叉数和干(鲜)重降低, 平均直径增加, 且随 Al 或 Cd 剂量越大, 除平均直径升高外, 其他生长指标均下降。推测酸化、Al 或 Cd 处理诱导水稻幼苗根系乙烯、生长素或细胞分裂素等激素含量变化, 促进根横向生长, 抑制根系纵向伸长, 减少须根数量, 降低根表面积和体积, 影响矿质营养吸收。同时, Cd 对水稻幼苗根系生长的影响较土壤酸化和 Al 显著, 此与以往研究报道相一致。

Al 和 Cd 复合胁迫时, 除 0.5 mg·L⁻¹ 和 1.5 mg·L⁻¹ Cd 复合组根长(根表面积、分叉数和干重)变幅低于单一 Cd 处理 23.86%(8.11%、26.85%和 40.91%)外, 其他各指标变幅均大于单一 Al (~53.49%)和 Cd (~39.9%)处理; pH 值 4.5 和 Al/Cd 复合胁迫对水稻幼苗根系各生长指标的影响(~68.80%)较 pH 值 5.5 (~64.94%)时显著; 两者复合效应随 Al 和 Cd 剂量增加而加重。表明两者复合胁迫显著增加单一胁迫对水稻幼苗生长的伤害, 且影响幅度大于单一胁迫之和, 表现为协同效应。

当土壤酸化(pH 值 4.5)、Al 和 Cd 三者复合胁迫时, 与 CK 相比, 各指标变化规律同单一和两者复合胁迫, 但变幅(~78.65%)明显大于单一(~64.94%)和两者复合(~68.81%)胁迫, 且变幅大于三者单一胁迫之和, 表现为协同效应。推测土壤酸化增大水稻幼苗根系细胞膜透性, 促进 Al 和 Cd 向细胞的吸附及跨膜运输, 增大胞内 Al 和 Cd 含量, 进而加剧对根系的伤害。此外, Al 和 Cd 胁迫亦能增加水稻幼苗根系细胞膜透性, 抑制 H⁺-ATP 酶活性, 增大细胞外 H⁺输入, 降低胞内 H⁺外排, 导致胞质更加酸化, 加剧对根系的伤害。

上述结果提示我们: 酸化土壤 Al 和 Cd 复合胁迫明显抑制水稻幼苗根系生长, 且抑制作用强于单一或两者复合胁迫, 呈现协同抑制效应。因此, 在评价土壤酸化对作物伤害时, 除 Al 毒外, 还应关注 Cd 污染及其他环境因素; 在评价 Cd 污染对作物伤害时, 也应考虑其他重金属(如 Al)、土壤酸化及其他环境因素。

收稿日期: 2013-11-20

基金项目: 国家自然科学基金(31170477), 江南大学自主科研项目(JUSRP11110)和院长基金项目(yzj1104)

作者简介: 王丽红(1977—), 女, 河北唐山人, 讲师。E-mail: wanglihong@jiangnan.edu.cn

通信作者: 周青 E-mail: zhouqeco@126.com

表 1 酸化土壤 Al 和 Cd 对水稻幼苗根系生长的影响

Table 1 Effects of Al and Cd in acidified soil on the root growth of rice seedlings

酸化土壤	金属浓度/mg·L ⁻¹	根长/cm	表面积/cm ²	体积/cm ³	平均直径/mm	根尖数/个	分叉数/个	根鲜重/g	根干重/g
pH 5.5	0(CK)	320.00±19.53a	68.10±5.92a	1.15±0.15a	0.67±0.03ha	2418±68a	3545±229a	1.51±0.31a	0.22±0.05a
	Al 0.5	325.05±12.57a	64.49±6.22b	0.95±0.13c	0.71±0.02g	2306±62a	3526±185a	1.30±0.19b	0.17±0.03cd
	Al 2.0	229.84±20.43c	53.06±4.83c	0.87±0.09de	0.73±0.01fg	1842±173d	2890±164d	0.98±0.32de	0.14±0.04e
	Cd 1.5	182.24±17.96f	47.39±1.93d	0.85±0.07e	0.72±0.03fg	2066±85c	1566±159h	1.37±0.05g	0.11±0.01f
	Cd 3.0	156.42±34.74h	41.76±1.70f	1.09±0.11b	0.78±0.13d	1574±109e	1243±56j	0.75±0.12b	0.16±0.02d
	Al 0.5+ Cd 1.5	258.59±24.22b	52.91±9.18c	0.87±0.22de	0.64±0.05i	1945±76cd	2518±164e	1.18±0.33c	0.20±0.07a
	Al 0.5+ Cd 3.0	203.88±17.22e	42.91±1.4ef3	0.73±0.09g	0.68±0.07h	1230±91.61g	1814±124g	0.84±0.09fg	0.14±0.01e
	Al 2.0+ Cd 1.5	167.04±3.19g	44.93±1.95e	0.95±0.08c	0.84±0.03c	1123±52fg	1264±103j	1.12±0.15cd	0.20±0.01a
	Al 2.0 + Cd 3.0	150.72±17.26h	37.25±4.33g	0.73±0.1g	0.78±0.05d	841±24i	1183±206k	0.93±0.18e	0.14±0.02e
pH 4.5	0	318.30±19.79a	64.31±6.60b	0.98±0.15b	0.60±0.03j	2340±70a	3453±161b	1.32±0.18b	0.21±0.03a
	Al 0.5	321.81±86.44a	62.86±16.45b	0.89±0.24d	0.60±0.00j	2197±67b	3274±242c	1.19±0.41c	0.18±0.08c
	Al 2.0	210.93±52.02d	48.07±8.37d	0.82±0.09f	0.75±0.03ef	1598±36e	2282±155f	0.95±0.16de	0.17±0.02c
	Cd 1.5	168.66±13.39g	42.09±3.33ef	0.84±0.09ef	0.79±0.04d	846±50i	1590±170h	0.89±0.13f	0.11±0.01f
	Cd 3.0	131.89±15.73i	33.52±2.45h	0.68±0.05h	0.81±0.05cd	800±87i	1106±133k	0.79±0.12g	0.08±0.02g
	Al 0.5+ Cd 1.5	185.47±38.13f	48.18±7.68d	1.00±0.11b	1.00±0.03a	1308±210f	1601±170h	1.53±0.29a	0.21±0.00a
	Al 0.5+ Cd 3.0	113.04±6.21j	35.66±0.72gh	0.89±0.02d	0.84±0.06c	978±460h	1062±82k	0.66±0.01h	0.10±0.04f
	Al 2.0+ Cd 1.5	162.90±10.28g	46.87±2.10d	0.69±0.04h	0.91±0.02b	1017±135h	1477±74i	1.12±0.08cd	0.18±0.00c
	Al 2.0+ Cd 3.0	107.66±16.42k	28.01±2.92i	0.58±0.03i	0.84±0.05c	593±80j	757±165l	0.57±0.09i	0.07±0.00g

注:表中数据为平均值±标准差;不同字母表示同列中各处理间差异显著($P<0.05$);Al 0.5 表示 0.5 mg·kg⁻¹ Al 处理;Cd 1.5 表示 1.5 mg·kg⁻¹ Cd 处理;Al 0.5+ Cd1.5 表示 0.5 mg·kg⁻¹ Al 和 1.5 mg·kg⁻¹ Cd 复合处理,其他同。