

腐殖酸钠对镉胁迫下冬小麦种子萌发及根系生长的影响

孙泉琼, 陈永亮, 孙慎丽, 陈玉倩, 朱笛, 周晓燕*, 高梦杰, 韩庆典 (临沂大学生命科学学院, 山东临沂 276005)

摘要 [目的] 研究腐殖酸钠(HA-Na)对镉胁迫下冬小麦种子萌发及根系生长的影响。[方法] 以鲁麦22号为试验材料, 研究不同浓度Cd²⁺溶液处理对冬小麦种子萌发和根系生长的影响, 以及不同浓度HA-Na溶液对Cd²⁺胁迫下冬小麦种子萌发和根系生长的影响。[结果] Cd²⁺胁迫使冬小麦种子萌发和根系生长均受到抑制, 发芽率、发芽指数、活力指数、幼苗根长及芽长均降低。低浓度的HA-Na提高了Cd²⁺胁迫下冬小麦种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数以及幼苗根长、芽长, 部分缓解了Cd²⁺胁迫对冬小麦种子萌发和幼苗生长的抑制作用。其中以50 μmol/L HA-Na溶液处理的缓解效果最好, 但随着HA-Na浓度的增大, 其对Cd²⁺胁迫的缓解效应逐渐减弱, 当HA-Na浓度达200 μmol/L时, 会明显加剧Cd²⁺胁迫的毒害作用。[结论] 该研究为被重金属污染的农田土壤治理和改良提供了理论依据。

关键词 冬小麦; 腐殖酸钠; 镉胁迫; 萌发; 生长

中图分类号 S145.4; S512.1⁺1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)13-0034-02

Effect of Sodium Humate on Winter Wheat Seed Germination and Root Growth under Cadmium Stress

SUN Xiao-qiong, CHEN Yong-liang, SUN Shen-li, ZHOU Xiao-yan* et al (College of Life Science, Linyi University, Linyi, Shandong 276005)

Abstract [Objective] To study the effect of sodium humate (HA-Na) on winter wheat seed germination and root growth under cadmium stress. [Method] With Lumai 22 as material, we analyzed effects of different concentrations of Cd²⁺ solution on winter wheat seed germination and root growth, then explored effects of different concentrations of HA-Na solution on seed germination and root growth under cadmium stress. [Result] Winter wheat seed germination and root growth were inhibited by Cd²⁺ stress, germination index, vigor index, root length and bud length were decreased. Low concentrations of HA-Na improved winter wheat seed germination rate, germination index and vigor index, also improved root length, bud length under Cd²⁺ stress, and partial relieved seed germination and seedling growth under Cd²⁺ stress. The ameliorative effect of 50 μmol/L HA-Na was best among them. But with the increasing of concentration of HA-Na, the ameliorative effect of Cd²⁺ stress weakened gradually. It would significantly increase the toxic effects of cadmium stress while HA-Na concentration reached 200 μmol/L. [Conclusion] The study provides the theory basis for farmland soil management and improvement that has been polluted with heavy metals.

Key words Winter wheat; Sodium humate; Cadmium stress; Germination; Growth

矿产资源的大量开发和使用, 导致土壤重金属污染越来越严重。研究表明, 植物中的重金属累积到一定浓度, 就会抑制其生长发育^[1-3]。重金属镉(Cd)是重要的金属污染物之一, 其化学行为和生态效应相对复杂, 毒性很强, 且容易被植物吸收。我国农田的镉污染面积已达 $1.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[4], 且面积正迅速增加, 亟需一些经济有效、切实可行的方法来解决。

冬小麦是世界上主要的粮食作物, 也是山东半岛地区主要的种植作物。目前关于重金属对冬小麦生长发育的影响及危害机制已有部分报道^[5-8]。腐殖酸是一种广泛存在于褐煤、风化煤和泥炭中的天然有机弱酸, 国内外已对腐殖酸开展了一些研究^[9-11], 研究表明其能促进植物新陈代谢, 增强光合作用, 提高植物抗旱、抗冻、抗病等能力, 明显改善农产品品质和产量^[1,12], 但是关于腐殖酸对冬小麦种子萌发和生长的影响少有报道。该研究以冬小麦为供试作物, 探讨不同浓度的腐殖酸钠(HA-Na)对镉胁迫下冬小麦种子萌发及生长中各指标的影响, 以期对被重金属污染的农田土壤治理和改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试材料为鲁麦22号健康饱满的种子。

基金项目 2015年山东省农业重大应用技术创新项目(S2ZX1301); 国家级大学生创新创业训练项目(201510452019); 临沂大学博士启动资金项目(LYDX2016BS076)。

作者简介 孙泉琼(1996—), 女, 山东滨州人, 本科生, 专业: 生物科学。
* 通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 从事作物生理生态研究。

收稿日期 2017-03-20

1.2 方法 首先将精选的种子用质量分数10%的次氯酸钠溶液消毒15 min, 再用去离子水冲洗干净, 28℃电热恒温培养箱(DPH-9082型)催芽48 h后, 均匀播于铺有双层滤纸的培养皿中, 每个培养皿放入催芽后的冬小麦种子50粒。用不同浓度的Cd²⁺溶液(0.5、10、25、50、100、200、500 μmol/L)处理冬小麦种子, 记为CK、C₁~C₇, 每个培养皿加入处理液10 mL, 每天定时定量加入去离子水补充水分, 每处理3个重复。根据发芽率、根长、芽长, 筛选出对冬小麦种子萌发和根系生长影响较为明显且不严重损害冬小麦生长的Cd²⁺浓度。

将筛选出的Cd²⁺浓度作为Cd²⁺胁迫浓度。用质量分数10%的次氯酸钠溶液对冬小麦种子进行消毒, 恒温催芽处理后, 均匀播于铺有双层滤纸的培养皿中。用含有Cd²⁺胁迫溶液和不同浓度HA-Na溶液(0、10、30、50、100、200、500 μmol/L)处理冬小麦种子, 各处理记为Cd+S₀(CK)、Cd+S₁、Cd+S₂、Cd+S₃、Cd+S₄、Cd+S₅和Cd+S₆。将小麦种子置于(26±2)℃的电热恒温培养箱中发芽, 保持相对湿度85%~92%, 培养7 d。每天定时定量加入去离子水补充水分, 每处理3个重复。测定冬小麦幼苗的根长和芽长, 并统计发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等指标。

1.3 指标测定和计算 根长: 测量从冬小麦根基部至根系最顶端的长度。芽长: 测量从小麦茎基部至苗最顶端的长度。统计冬小麦种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。

发芽率指在特定时间和生物环境内生长成正常幼苗的

冬小麦种子数占供试种子总数的百分比,计算公式为:

$$\text{发芽率} = \frac{\text{发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

发芽势指规定日期内的发芽率。发芽势能体现发芽速度的快慢,是表示种子优劣的指标,计算公式为:

$$\text{发芽势} = \frac{\text{规定日期内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽指数}(G_i) = \sum \frac{G_i}{D_i}$$

式中, G_i 为第 n 天发芽的种子数目; D_i 为发芽试验的时间段,即第 n 天。

$$\text{活力指数}(VI) = S \sum \frac{G_i}{D_i} = S \times G_i$$

式中, S 为种苗生长量(根长); G_i 为发芽指数。

1.4 数据处理 所有数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS

18.0 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 Cd^{2+} 对冬小麦种子萌发和根系生长的影响 从表 1 可以看出,低浓度的 Cd^{2+} 胁迫(5、10 $\mu\text{mol/L}$)对冬小麦种子发芽率和根长影响不明显。当 Cd^{2+} 浓度为 25、50、100、200 和 500 $\mu\text{mol/L}$ 时,发芽率较 CK 分别下降了 6.06%、7.03%、25.54%、58.23% 和 86.69%;其根长较 CK 分别下降了 20.00%、28.00%、64.00%、88.00% 和 96.00%,抑制效应比较显著。芽长在 Cd^{2+} 胁迫时也受到比较明显的影响,主要表现为芽长变短,当 Cd^{2+} 浓度为 5、10、25、50、100、200 和 500 $\mu\text{mol/L}$ 时,其芽长较 CK 分别下降了 0、21.15%、48.08%、53.85%、75.96%、87.50% 和 94.23%。试验表明, Cd^{2+} 对冬小麦发芽率、根长和芽长均表现一定的抑制作用,并且随着 Cd^{2+} 浓度的增加抑制效应显著($P < 0.05$)。

表 1 不同浓度 Cd^{2+} 对冬小麦种子萌发和根系生长的影响

Table 1 Effects of different concentrations of Cd^{2+} on winter wheat seed germination and root growth

处理 Treatment	Cd^{2+} 浓度 Cd^{2+} concentration// $\mu\text{mol/L}$	发芽率 Germination rate//%	根长 Root length//cm	芽长 Bud length//cm
CK	0	92.4	2.50 ± 0.18 a	10.40 ± 0.70 a
C ₁	5	94.6	2.70 ± 0.16 a	10.40 ± 0.68 a
C ₂	10	89.6	2.50 ± 0.17 a	8.20 ± 0.60 b
C ₃	25	86.8	2.00 ± 0.15 b	5.40 ± 0.55 c
C ₄	50	85.9	1.80 ± 0.12 b	4.80 ± 0.23 c
C ₅	100	68.8	0.90 ± 0.20 c	2.50 ± 0.10 d
C ₆	200	38.6	0.30 ± 0.02 d	1.30 ± 0.04 e
C ₇	500	12.3	0.10 ± 0.01 d	0.60 ± 0.03 e

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant difference ($P < 0.05$)

对供试植株的观察发现,当 Cd^{2+} 浓度为 200、500 $\mu\text{mol/L}$ 时冬小麦受到的破坏严重,出现较多的死苗。 Cd^{2+} 浓度在 100 $\mu\text{mol/L}$ 时,冬小麦种子萌发和根系生长虽然受到明显抑制,但生长基本正常,故筛选出 100 $\mu\text{mol/L}$ 作为 Cd^{2+} 胁迫浓度,探讨不同浓度的 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦根长和芽长的影响。

2.2 不同浓度 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦根长和芽长的影响 由表 2 可知,不同浓度的 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子根和芽生长的抑制具有较明显的缓解作用,以 HA - Na 浓度为 50 $\mu\text{mol/L}$ 的时缓解作用最大,与 CK 相比差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同浓度 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子发芽指数和活力指数的影响 由表 3 可知,当 HA - Na 浓度低于 200 $\mu\text{mol/L}$ 时,不同浓度的 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子发芽指数和活力指数的抑制作用均起到一定的缓解作用。当 HA - Na 浓度为 50 $\mu\text{mol/L}$ 时,对 Cd^{2+} 抑制的缓解作用较强。当 HA - Na 浓度为 500 $\mu\text{mol/L}$ 时,反而会降低冬小麦种子发芽指数和活力指数,尤其是活力指数下降较大。试验表明,较低浓度 HA - Na 促进冬小麦种子发芽,较高浓度 HA - Na 抑制冬小麦种子发芽。

2.4 不同浓度 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子发芽势和发芽率的影响 从表 4 可以看出,HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子发芽势和发芽率的抑制作用起到相对明显的缓

表 2 不同浓度 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦根长和芽长的影响

Table 2 Effects of different concentrations of HA-Na on winter wheat root and bud length under Cd^{2+} stress

处理 Treatment	HA - Na 浓度 HA-Na concentration $\mu\text{mol/L}$	根长 Root length cm	芽长 Bud length cm
Cd + S ₀ (CK)	0	1.00 ± 0.08 a	2.50 ± 0.20 a
Cd + S ₁	10	1.60 ± 0.13 b	2.80 ± 0.22 a
Cd + S ₂	30	2.20 ± 0.15 c	3.40 ± 0.23 b
Cd + S ₃	50	2.40 ± 0.12 c	4.20 ± 0.30 c
Cd + S ₄	100	2.10 ± 0.16 c	3.60 ± 0.22 b
Cd + S ₅	200	1.80 ± 0.08 d	2.70 ± 0.20 a
Cd + S ₆	500	0.80 ± 0.06 d	2.40 ± 0.19 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant difference ($P < 0.05$)

表 3 不同浓度 HA - Na 对 Cd^{2+} 胁迫下冬小麦种子发芽指数和活力指数的影响

Table 3 Effects of different concentrations of HA-Na on winter wheat seed germination index and vigor index under Cd^{2+} stress

处理 Treatment	HA - Na 浓度 HA-Na concentration $\mu\text{mol/L}$	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
Cd + S ₀	0	42.4	42.4
Cd + S ₁	10	50.2	80.4
Cd + S ₂	30	53.4	117.5
Cd + S ₃	50	52.7	126.4
Cd + S ₄	100	52.2	104.4
Cd + S ₅	200	48.5	92.1
Cd + S ₆	500	37.7	30.1

(下转第 71 页)

表 4 曲阳公园中心湖水水质修复后水质检测结果

取样日期 Sampling date	沉水植物 Submerged plant	COD	NH ₃ - N	TP
2015 - 08 - 06	有	<10.0	0.174	0.03
	无	<10.0	0.074	0.04
2015 - 08 - 10	有	<10.0	0.087	0.06
	无	<10.0	0.087	0.07
2015 - 08 - 14	有	<10.0	0.246	0.02
	无	<10.0	0.328	0.03
2015 - 08 - 21	有	18.5	0.152	0.08
	无	18.2	0.346	0.05
2015 - 08 - 31	有	<10.0	0.083	0.03
	无	13.4	0.148	0.03
2015 - 09 - 17	有	12.0	0.188	0.05
	无	13.4	0.110	0.04
2015 - 10 - 20	有	18.8	0.083	0.03
	无	17.6	0.119	0.04
2015 - 11 - 13	有	<10.0	0.196	0.03
	无	<10.0	0.199	0.04
2015 - 12 - 16	有	<10.0	0.162	0.04
	无	<10.0	0.143	0.04
地表水环境质量标准	Ⅱ类	15.0	0.500	0.10
限值 Limit value of environmental quality standard for surface water	Ⅲ类	20.0	1.000	0.20

(上接第 35 页)

解作用。随着 HA - Na 浓度的增加,冬小麦种子发芽势和发芽率呈现先缓慢上升又缓慢下降的趋势。当 HA - Na 浓度为 50 $\mu\text{mol/L}$ 时,冬小麦种子发芽势和发芽率相对较高;当 HA - Na 浓度达 500 $\mu\text{mol/L}$ 时,HA - Na 对冬小麦种子发芽势和发芽率表现为相对抑制现象,其原因可能是肥料浓度过高出现肥害。

表 4 不同浓度 HA - Na 对 Cd²⁺ 胁迫下冬小麦种子发芽势和发芽率的影响Table 4 Effects of different concentrations of HA-Na on winter wheat germination energy and rate under Cd²⁺ stress

处理 Treatment	HA - Na 浓度 HA-Na concentration $\mu\text{mol/L}$	发芽势 Germination energy // %	发芽率 Germination rate // %
Cd + S ₀	0	68.8	40.4
Cd + S ₁	10	77.0	49.0
Cd + S ₂	30	80.8	60.6
Cd + S ₃	50	95.2	58.8
Cd + S ₄	100	91.2	50.6
Cd + S ₅	200	64.2	39.2
Cd + S ₆	500	54.0	29.2

3 结论

通过研究不同浓度 Cd²⁺ 对冬小麦种子萌发及根系生长的影响可知,重金属 Cd 对冬小麦种子萌发和根系生长总体表现为抑制作用。当 Cd²⁺ 浓度为 100、200 和 500 $\mu\text{mol/L}$ 时,对冬小麦种子萌发和根系生长都有明显抑制作用,但当 Cd²⁺ 浓度为 100 $\mu\text{mol/L}$ 时冬小麦生长基本正常且没有出现

控制 COD、NH₃ - N、TP 含量,若维护得当,曲阳公园中心湖重要指标可长期稳定在地表水Ⅲ类水平(表 4)。

参考文献

- [1] 李宏祥. 豫园荷花池换水前后水质对比及其恶化原因探讨[J]. 上海水务, 2006, 22(3): 15 - 18.
- [2] 郭迎庆. 城市景观水体的污染控制和修复技术[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(S1): 148 - 150.
- [3] 陈超, 梁卓, 李小燕, 等. 生态修复在景观水体治理中的应用[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(1): 136 - 138.
- [4] 王和意. 上海城市降雨径流污染过程及管理措施研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005.
- [5] 李敦海, 杨劲, 方涛, 等. 水位调控法恢复富营养化水体沉水植物技术研究: 以无锡五里湖为例[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(12): 59 - 62.
- [6] 曾爱平, 刘洪见, 施于文. 不同沉水植物水质改善效应研究[J]. 浙江农业科学, 2009, 1(5): 1000 - 1003.
- [7] 陆露璐, 黎明, 刘德启, 等. 影响富营养化水体沉水植物修复的生态因子探讨[J]. 四川环境, 2007, 26(3): 30 - 33.
- [8] 唐丽红, 马明睿, 韩华, 等. 上海市景观水体水生植物现状及配置评价[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 563 - 570.
- [9] 李伟. 长沙市城市水体园林植物配置研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [10] 田志平, 罗建让. 水生植物在园林中的应用[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 180 - 182.
- [11] 刘建伟, 周晓, 吕臣, 等. 三种挺水植物对富营养化景观水体的净化效果[J]. 湿地科学, 2015, 13(1): 7 - 12.
- [12] 田琦, 王沛芳, 欧阳萍, 等. 5 种沉水植物对富营养化水体的净化能力研究[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 14 - 17.

大量死苗,故筛选出 100 $\mu\text{mol/L}$ 作为 Cd²⁺ 胁迫浓度。不同浓度 HA - Na 对 Cd²⁺ 胁迫下冬小麦种子萌发及根系生长呈现出一定的缓解作用,并且在低浓度时促进生长,高浓度时抑制生长,50 $\mu\text{mol/L}$ 为最适的 HA - Na 浓度。

参考文献

- [1] 肖瑶, 蒋宇洲, 李迪, 等. 腐殖酸肥对重茬烤烟光合特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(34): 4 - 6, 22.
- [2] 檀建新, 尹君, 王文忠, 等. 镉对小麦、玉米幼苗生长和生理生化反应的影响[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(S1): 83 - 87.
- [3] 张金彪, 黄维南. 镉对植物的生理生态效应的研究进展[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 514 - 523.
- [4] 陈怀满. 我国土壤污染现状、发展趋势及其对策建议[J]. 土壤学进展, 1990, 18(1): 53 - 56.
- [5] 杨颖丽, 王文瑞, 尤佳, 等. Cd²⁺ 胁迫对小麦种子萌发、幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(3): 88 - 94.
- [6] 江海东, 周琴, 李娜, 等. Cd 对油菜幼苗生长发育及生理特性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 39 - 43.
- [7] 周希琴, 吉前华. 镉胁迫下不同品种玉米种子和幼苗的反应及其与镉积累的关系[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1048 - 1052.
- [8] 高大翔, 刘惠芬, 刘开生, 等. 汞胁迫对小麦种子萌发、幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(S1): 13 - 16.
- [9] ŠMÍDOVÁ M. Effect of sodium humate on swelling and germination of winter wheat[J]. Biologia plantarum, 1962, 4(2): 112 - 118.
- [10] GAUR A C, BHARDWAJ K K R. Influence of sodium humate on the crop plants inoculated with bacteria of agricultural importance[J]. Plant and soil, 1971, 35(1): 613 - 621.
- [11] VAN DE VENTER H A, FURTER M, DEKKER J, et al. Stimulation of seedling root growth by coal-derived sodium humate[J]. Plant and soil, 1991, 138(1): 17 - 21.
- [12] 陈玉玲. 腐植酸对植物生理活动的影响[J]. 植物学通报, 2000, 17(1): 11 - 16.