

# 镉胁迫对莲根系形态的影响

周学忠, 王锐, 李寒, 谢静敏, 肖向, 易轩韬, 朱诗雨, 范丽, 席文丽, 黄白飞\* (湖南工学院, 湖南衡阳 421002)


**摘要** [目的] 研究镉胁迫对6个品种莲根系形态的影响。[方法] 采用水培试验, 设置3个处理CK(0 mg/kg Cd)、T<sub>1</sub>(1 mg/kg Cd)、T<sub>2</sub>(5 mg/kg Cd), 测定总根长、根表面积、根体积以及不同直径根长分布情况。[结果] 6个莲品种根系对镉的响应具有差异, 粉色花和黄色花对镉胁迫比较敏感, 总根长、根表面积和根体积都随镉胁迫产生较大的变化; 而白色花品种对镉具有较强的耐性, 其总根长、根表面积和根体积及不同直径根的分布情况受镉的影响均较小。[结论] 6个莲品种对镉的耐性存在较大差异。

**关键词** 镉; 莲; 根系形态

中图分类号 X173 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)19-0078-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.19.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

## Root Morphological Responses of Lotus to Cadmium Exposure

ZHOU Xue-zhong, WANG Rui, LI Han et al (Hunan Institute of Technology, Hengyang, Hunan 421002)

**Abstract** [Objective] To study the root morphological responses of six lotus cultivars to cadmium exposure. [Method] A hydroponic experiment was conducted and three treatments CK(0 mg/kg Cd), T<sub>1</sub>(1 mg/kg Cd), T<sub>2</sub>(5 mg/kg Cd) were used in this study. The total root length, root surface area, root volume and root architecture were measured. [Result] There had differences in root morphology among six cultivars after cadmium treatment. Cultivars those have pink flower and yellow flower were sensitive to cadmium exposure, their total root length, root surface area and root volume changed a lot after cadmium exposure. While cultivars that have white flower were tolerance to cadmium exposure, and its total root length, root surface area, root volume and root architecture had little change after cadmium exposure. [Conclusion] There were obvious difference of tolerance to cadmium among six lotus cultivars.

**Key words** Cadmium; Lotus; Root morphology

镉(Cd)是一种非必需、有毒的重金属,在哺乳动物体内具有较长的半衰期。广泛的镉污染已增加了镉在人体内的积累风险<sup>[1-2]</sup>。降低作物可食部位的镉可以降低人体对镉的吸收。作为植物与环境物质交换的主要界面,根系在金属的吸收和转移过程中起重要作用,并对变化的环境表现出高度适应性<sup>[3]</sup>。研究表明,与对照相比,镉处理后的拟南芥主根长度变短,而侧根直径是对照的2倍<sup>[4]</sup>。也有研究表明,具有更多细根的花生品种具有更强的积累镉的能力<sup>[5]</sup>。硬质小麦品种 Acrola 有更大的根表面积和更多的根尖,积累镉的能力也更强<sup>[6]</sup>。与非超富集生态型相比,东南景天镉超富集生态型在镉胁迫下能保持更细、分布广泛的根系<sup>[7]</sup>。因此,根形态可能在品种间不同镉吸收能力中起重要作用。

莲是一种水生生物,其地下茎和种子均可食用。笔者以6个莲品种作为研究对象进行水培试验,研究镉处理对不同莲品种根系形态的影响。

## 1 材料与与方法

**1.1 植物材料及其处理** 选择6个具有不同花色(白色、绿色、粉色、红色、深红色、黄色)的莲品种(购于明珠种业)。发芽15 d后,选取长势一致的幼苗进行水培试验。水培营养液为1/2 Hoagland 营养液,所用试剂均为分析纯。设置3个处理CK(0 mg/kg Cd)、T<sub>1</sub>(1 mg/kg Cd)、T<sub>2</sub>(5 mg/kg Cd),每瓶

2株苗,每个处理3个重复,每隔3 d换1次培养液,20 d后取样进行根系形态分析。

**1.2 样品测定方法** 总根长、根表面积、根体积以及不同直径根长分布是用根系扫描仪进行扫描并用软件 Win-RHIZO Pro(regent instruments, QC, Canada)进行分析。根直径(RD)分为5个等级,以0.2 mm为间距(根直径为0~0.2 mm时被记为RD≤0.2 mm),分析不同直径下根长分布情况。

**1.3 数据统计** 用SPSS和Excel 2013对所得数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

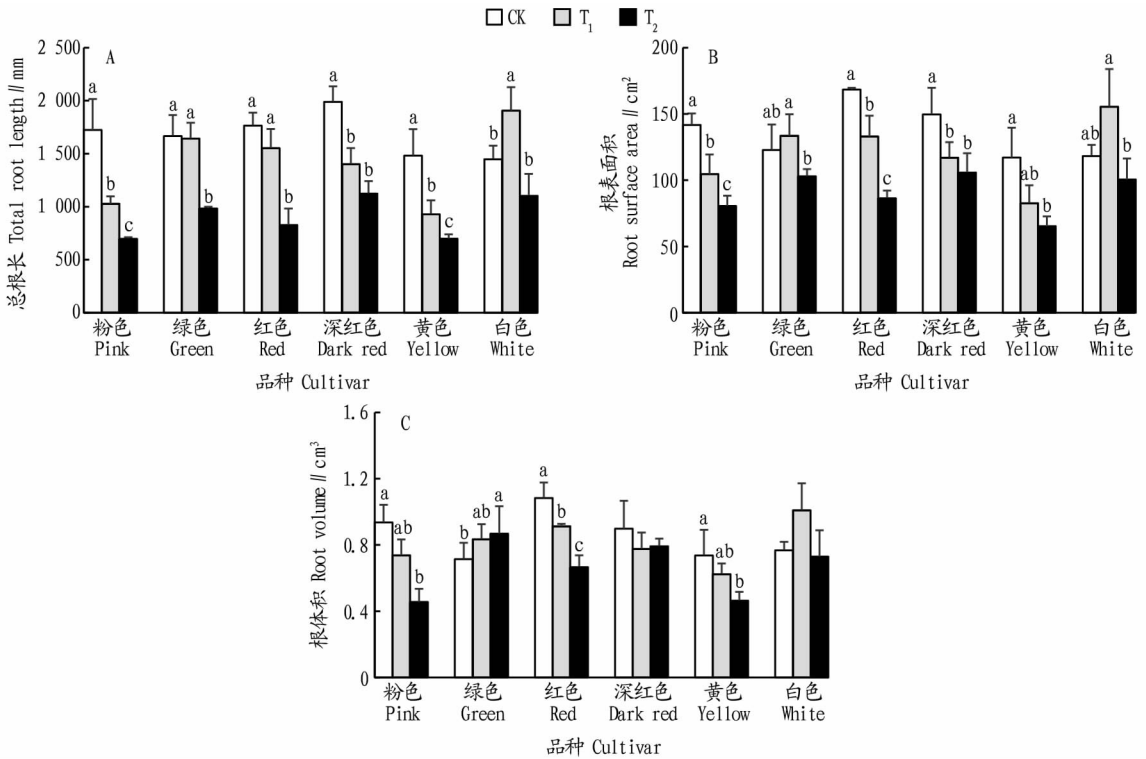
**2.1 镉处理对莲总根长、根表面积、根体积的影响** 对6个品种的根系形态进行比较,结果发现品种受镉处理后,总根长、根表面积均表现出下降趋势(图1)。粉色花、黄色花和深红色花品种对镉的耐性较差,根生长在T<sub>1</sub>处理时即显著受到抑制,在T<sub>2</sub>处理下根长仍显著低于对照;绿色花和红色花品种对T<sub>1</sub>浓度的镉具有较强的耐性,而在T<sub>2</sub>浓度下根生长明显受到抑制;白色花品种对镉表现出较强的耐性,在T<sub>1</sub>处理时根长增加,T<sub>2</sub>处理后,总根长与对照相比差异不显著(图1A)。粉色花、红色花、深红色花在T<sub>1</sub>处理下,根表面积显著小于对照(图1B)。不同镉浓度处理后,白色花品种根表面积与对照相比差异仍不显著。粉色花、红色花和黄色花品种根体积在镉处理时显著降低,而绿色花、深红色花和白色花受镉处理后根体积没有显著降低(图1C)。由此可见,不同品种根系对镉的响应是有差异的。

**2.2 镉处理后莲不同直径根长分布情况** 以根直径(RD)0.2 mm为间隔分析不同莲品种根长分布情况(表1)。RD≤0.2 mm的根长所占比例最大,均高于总根长的58%以上。一般而言,T<sub>2</sub>处理后,RD≤0.4 mm的根长均显著降低。粉

**基金项目** 湖南省应用特色学科材料科学与工程学科(湘教通[2018]469号);湖南省教育厅优秀青年项目(17B067);湖南工学院大学生研究性学习和创新实验计划项目(HGDC1819, HGDC1705);湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(HNDC1805);国家大学生创新训练项目(201811528004)。  
**作者简介** 周学忠(1966—),男,湖南衡阳人,高级实验师,从事材料化学研究与应用工作。\*通信作者,副教授,博士,从事土壤重金属污染防治研究。  
**收稿日期** 2019-04-04

色花、深红色花和黄色花品种在  $T_1$  处理下,  $RD \leq 0.4$  mm 的根长呈显著下降趋势, 而白色花品种在此处理下  $RD \leq 0.4$  mm 的根长反而呈上升趋势。大部分品种中,  $T_1$  处理下,  $RD > 0.4$  mm 根长并没有显著降低。  $T_2$  处理下, 粉色花、黄色

花品种  $RD > 0.4$  mm 根长显著降低, 而白色花、深红色花和绿色花品种  $RD > 0.4$  mm 根长与对照相比并没有显著降低。说明不同莲品种在镉处理下, 不同直径根长分布变化趋势也不相同。



注:A. 总根长;B. 根表面积;C. 根体积。同一品种间的小写字母表示处理间有显著差异 ( $P < 0.05$ )

Note: A. Total root length; B. Root surface area; C. Root volume. Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level among treatments in the same cultivar

图 1 镉处理下莲根系形态变化

Fig. 1 Root morphology change of lotus after cadmium exposure

表 1 镉处理后莲不同直径根长分布情况

Table 1 Root length of different root diameters of lotus after cadmium exposure

品种 Cultivar	处理 Treatment	$RD \leq 0.2$ mm	$0.2 \text{ mm} < RD \leq 0.4$ mm	$0.4 \text{ mm} < RD \leq 0.6$ mm	$0.6 \text{ mm} < RD \leq 0.8$ mm	$0.8 \text{ mm} < RD \leq 1.0$ mm
粉色 Pink	CK	1 237±289	172. 7±20. 5	155. 2±8. 2	86. 7±8. 9	38. 4±9. 2
	$T_1$	643±62	109. 5±14. 2	157. 6±8. 7	76. 1±8. 8	23. 8±3. 2
	$T_2$	463±13	64. 9±3. 2	97. 5±8. 7	47. 2±3. 1	16. 6±1. 2
绿色 Green	CK	1 247±165	181. 0±36. 1	128. 3±9. 2	67. 5±2. 9	23. 6±3. 8
	$T_1$	1 166±87	182. 0±22. 6	160. 0±24. 5	81. 8±9. 4	27. 4±2. 8
	$T_2$	599±22	95. 5±10. 4	151. 6±9. 3	84. 3±5. 4	30. 3±3. 6
红色 Red	CK	1 215±110	201. 9±7. 2	171. 7±7. 1	84. 2±13. 6	44. 4±5. 7
	$T_1$	1 094±152	156. 3±29. 3	158. 1±19. 2	85. 3±5. 7	31. 5±3. 5
	$T_2$	484±79	100. 5±7. 8	141. 9±19. 3	69. 3±6. 1	17. 3±3. 8
深红色 Dark red	CK	1 519±122	184. 4±19. 0	157. 6±9. 8	72. 4±9. 5	31. 0±4. 6
	$T_1$	1 018±114	143. 0±26. 4	143. 4±16. 3	54. 3±1. 3	23. 7±3. 2
	$T_2$	761±93	89. 5±13. 4	155. 5±11. 2	74. 8±5. 4	29. 4±3. 3
黄色 Yellow	CK	1 110±209	130. 7±22. 0	135. 8±12. 7	61. 3±7. 2	25. 0±5. 3
	$T_1$	606±88	111. 3±17. 0	127. 1±25. 0	58. 3±8. 6	17. 0±4. 4
	$T_2$	471±21	74. 9±2. 3	106. 2±8. 6	40. 1±4. 9	9. 7±2. 1
白色 White	CK	1 061±107	143. 7±17. 0	142. 4±19. 1	55. 5±9. 7	24. 5±2. 4
	$T_1$	1 428±184	170. 6±8. 5	162. 4±6. 2	75. 2±14. 1	38. 8±11. 6
	$T_2$	747±139	99. 3±40. 9	143. 4±25. 8	69. 4±5. 9	27. 5±1. 9

### 3 结论与讨论

根系是一个复杂的体系,镉可以通过影响植物根系的纵向延长和横向发展来影响根系形态。该研究表明,6个莲品种根系对镉的响应具有差异,粉色花和黄色花对镉胁迫比较敏感,总根长、根表面积和根体积都随镉胁迫产生较大的变化;而白色花品种对镉具有较强的耐性,其总根长、根表面积和根体积及不同直径根的分布情况受镉的影响均较小,总根长甚至在低镉处理时与对照相比显著增加。说明不同莲品种对镉的耐性存在较大差异。植物耐受镉的细胞机制可能与细胞质内的金属硫蛋白、谷胱甘肽、植物络合素、有机酸、氨基酸、非蛋白巯基等物质有关<sup>[8]</sup>。肖亚涛等<sup>[9]</sup>的研究也表明,不同基因型冬小麦在镉处理后根系形态变化存在差异,低镉浓度(10 μmol/L)对籽粒镉含量低的品种LY的粗根系根长、根表面积、根体积均有促进作用,而对籽粒镉含量较高的XM品种表现为抑制作用,中高浓度镉处理则对2个品种均表现为抑制作用。何俊瑜等<sup>[10]</sup>对镉胁迫后2个水稻品种根系总长度、根系表面积、根体积等的指标进行比较后,认为水稻品种间对镉胁迫存在着一定的差异。由此可见,同一物种的不同品种根系对镉胁迫的响应不同,这是由品种特性差异所决定的。

(上接第67页)

变异系数可以反映总样本中各采样点位的平均变异程度,变异系数越大,说明重金属元素的空间分布差异越大。可能是受人为活动干扰,特别是受施肥、喷药以及工业污水等因素的影响<sup>[22,24]</sup>,研究区土壤重金属的总量和内梅罗综合污染指数的变异系数大于10%,但均小于100%,属中等变异程度。

### 参考文献

- [1] 魏祥,韩霁昌,张扬,等.我国土壤污染现状与防治对策[J].农业技术与装备,2015(2):11-15.
- [2] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国土资源部.全国土壤污染状况调查公报[N].中国环境报,2014-04-18(1).
- [3] 陈怀满.环境土壤学[M].北京:科学出版社,2005.
- [4] 赵纪新,尹鹏程,岳荣,等.我国农田土壤重金属污染现状·来源及修复技术研究综述[J].安徽农业科学,2018,46(4):19-21,26.
- [5] 樊霆,叶文玲,陈海燕,等.农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J].生态环境学报,2013,22(10):1727-1736.
- [6] WU G, KANG H B, ZHANG X Y, et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities [J]. Journal of hazardous materials, 2010, 174(1/2/3): 1-8.
- [7] 张小敏,张秀英,钟大洋,等.中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J].环境科学,2014,35(2):692-703.
- [8] 国家环境保护总局.土壤环境质量标准:GB 15618—1995[S].北京:中国环境科学出版社,1995.
- [9] 张婉璐,吴云.基于内梅罗指数法与地质累积指数法对海口市土壤重金属污染状况评价的比较与分析[J].中国资源综合利用,2017,35(12):13-15.

### 参考文献

- [1] 林肖,任艳芳,张艳超,等.土壤镉污染对水稻孕穗期植株生长及镉积累的影响[J].河北农业科学,2017,21(3):96-99,105.
- [2] 蔡佳佩,朱坚,彭华,等.不同镉污染消减措施对水稻-土壤镉累积的影响[J].生态环境学报,2018,27(12):2337-2342.
- [3] 黄白飞,辛俊亮.植物积累重金属的机理研究进展[J].草业学报,2013,22(1):300-307.
- [4] VITTI A, NUZZACI M, SCOPA A, et al. Auxin and cytokinin metabolism and root morphological modifications in *Arabidopsis thaliana* seedlings infected with Cucumber mosaic virus (CMV) or exposed to cadmium [J]. International journal of molecular sciences, 2013, 14(4): 6889-6902.
- [5] ZHANG Z, LIU C F, WANG X M, et al. Cadmium-induced alterations in morpho-physiology of two peanut cultivars differing in cadmium accumulation [J]. Acta physiologiae plantarum, 2013, 35(7): 2105-2112.
- [6] BERKELAAR E, HALE B. The relationship between root morphology and cadmium accumulation in seedlings of two durum wheat cultivars [J]. Canadian journal of botany, 2000, 78(3): 381-387.
- [7] LI T Q, YANG X E, LU L L, et al. Effects of zinc and cadmium interactions on root morphology and metal translocation in a hyperaccumulating species under hydroponic conditions [J]. Journal of hazardous materials, 2009, 169(1/2/3): 734-741.
- [8] 陈晓艳,李强.植物耐受镉的细胞机制研究进展[J].安徽农业科学,2018,46(22):8-11,17.
- [9] 肖亚涛,吴海卿,李中阳,等.不同基因型冬小麦镉累积差异及其与根系形态的关系[J].水土保持学报,2015,29(6):276-280,286.
- [10] 何俊瑜,王阳阳,任艳芳,等.镉胁迫对不同水稻品种幼苗根系形态和生理特性的影响[J].生态环境学报,2009,18(5):1863-1868.
- [10] 杨玉敏,师学义,张琛.基于内梅罗指数法的复垦村庄土壤重金属污染评价及空间分布[J].水土保持研究,2016,23(4):338-343.
- [11] 孙华,谢丽,张金婷,等.基于改进内梅罗指数法的棕(褐)地周边土壤重金属污染评价[J].环境保护科学,2018,44(2):98-102.
- [12] 张玉莲,闫天增.内梅罗指数法在土壤重金属污染评价中的应用[J].河南教育学院学报(自然科学版),2012,21(2):35-39.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 中华人民共和国国土资源部.区域地球化学样品分析方法[S].北京:中国地质大学出版社,2016.
- [15] 环境保护部办公厅、国土资源部办公厅和农业部办公厅.全国土壤污染状况详查土壤样品分析测试方法技术规范:环办土壤函[2017]1625号[A].2017.
- [16] 杨玉敏,师学义,张琛.基于内梅罗指数法的复垦村庄土壤重金属污染评价及空间分布[J].水土保持研究,2016,23(4):338-343.
- [17] 王生朴,连兵.甘肃省土壤环境背景值特征及其分布规律[J].甘肃环境研究与监测,1993,6(3):1-7.
- [18] 张金婷,孙华.内梅罗指数法和模糊综合评价法在土壤重金属污染评价应用中的差异分析[J].环境监测管理与技术,2016,28(4):27-31.
- [19] 国家环境保护总局.土壤环境监测技术规范:HJ/T 166—2004[S].北京:中国环境科学出版社,2005.
- [20] 古丽娜尔·哈里别克,海米提·依米提,努尔模达·达拉拜,等.于田绿洲典型区域土壤盐分空间分异规律研究[J].水土保持通报,2012,32(3):28-32.
- [21] 赵小学,姚东平,成霞霞,等.铅冶炼区土壤重金属总量和有效态含量的函数分析[J].中国环境监测,2017,33(1):68-74.
- [22] 曾希柏,徐建明,黄巧云,等.中国农田重金属问题的若干思考[J].土壤学报,2013,50(1):186-194.
- [23] 罗永清,陈银萍,陶玲,等.兰州市农田土壤重金属污染评价与研究[J].甘肃农业大学学报,2011,46(1):98-104.
- [24] 蒲瑞丰,康尔迪,王珂,等.石羊河流域典型工业区土壤重金属污染状况研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):129-133.