

马络葵对镉的吸收累积特征及对镉胁迫的生理响应

陈厚蓉¹, 王春玲¹, 冯静静¹, 胡启慧¹, 潘春香^{1*}, 庞琢²

(1. 韶关学院英东农业科学与工程学院, 广东韶关 512005; 2. 呼和浩特市土壤肥料工作站, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要 [目的]探讨马络葵对镉的吸收累积特征及对镉胁迫的生理响应, 为利用马络葵对镉污染土壤进行植物修复提供理论依据。[方法]以马络葵为材料, 采用砂培方法, 设计0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 mg/L 6个镉浓度处理, 研究马络葵对镉胁迫的生理响应及对镉的吸收累积和运转能力。[结果]镉处理后, 马络葵株高和地上部鲜重均显著高于CK; 地上鲜重和根系鲜重均以3.0 mg/L浓度时最大; 镉浓度低于1.0 mg/L时, 有利于叶绿素含量合成; 可溶性糖含量均显著高于CK, 可溶性蛋白质含量除0.5 mg/L镉处理外, 其他浓度镉处理均显著高于CK。[结论]马络葵地上部和根系对镉的吸收累积均随着镉浓度增大呈增加趋势, 且镉运转能力和对镉的耐受性较强, 可在镉污染土壤中种植利用, 并作为土壤重金属污染修复植物进一步研究。

关键词 马络葵; 镉; 生理响应; 富集

中图分类号 S601; X173 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)06-0005-03

Accumulation Features of *Malope trifida* to Cadmium and the Physiological Response to Cadmium Stress

CHEN Hou-rong, WANG Chun-ling, FENG Jing-jing, PAN Chun-xiang* et al (College of Yingdong Agricultural Science and Engineering, Shaoguan College, Shaoguan, Guangdong 512005)

Abstract [Objective] Accumulation features of *Malope trifida* to cadmium and the physiological response to cadmium stress were studied to provide theoretical basis for the phytoremediation of cadmium pollution in soil by *Malope trifida*. [Method] We applied *Malope trifida* as material, used the sand culture method and designed six different concentrations (0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 and 4.0 mg/L) of Cd to study the physiological effect of *Malope trifida* to the stress of heavy metal Cd and its accumulation and operation ability to Cd. [Result] The plant height and the above-ground fresh weight were all higher than CK, the above-ground fresh weight and the root fresh weight were the highest under the concentration of 3.0 mg/L; when the concentration was lower than 1.0 mg/L, the chlorophyll content was easy to synthesize; the contents of soluble sugar were all higher than CK, and the contents of soluble protein were all higher than CK except when the concentration was 0.5 mg/L. [Conclusion] The accumulation of above-ground part and root of *Malope trifida* to Cd showed the increasing trend with the improvement of Cd concentration, the operation ability of Cd and the tolerance ability to Cd were strong. So that the *Malope trifida* can be planted in the Cd contaminated soils and can be treated as the pollution remediation plants of heavy metal damage to do further research.

Key words *Malope trifida*; Cadmium; Physiological effect; Accumulation

镉是农业环境中较危险的重金属元素之一, 既能抑制植株生长, 具有累积效应, 还可能通过食物链对人类健康构成不利影响^[1-2]。花卉植物种类繁多, 种质资源十分丰富, 作为修复土壤重金属污染的植物, 不仅不会进入食物链, 还可以美化环境, 假如其对污染物耐受性良好或者可以在体内累积某种污染物, 就能够成为较理想的修复植物^[3-4]。因此, 筛选修复土壤重金属污染的花卉植物研究越来越引起科学界的重视, 近些年在国内已有报道^[5], 国内外在Cd、Pb、Zn等土壤重金属污染修复中也进行了成功应用^[6-7]。原海燕等^[8]通过马蔺、溪荪、黄菖蒲、花菖蒲4种鸢尾属植物对Pb、Zn、Cu、Cd的累积能力和土壤修复效率的研究发现, 马蔺对Pb、Cd吸收能力最强, 黄菖蒲对Zn的吸收能力最强, 花菖蒲对Cu的吸收能力最强, 受铅矿污染的土壤种植这4种花卉植物后, 土壤中Pb、Zn、Cu、Cd质量分数有所降低。吴桐等^[9]对矮牵牛、八宝景天、八仙花、百日草、彩叶草、茶花凤仙、大丽花、金边天竺葵、君子兰、孔雀草、美人蕉、射干、蜀葵、四季海棠、万寿菊、一串红、银边天竺葵、月季、紫茉莉19种花卉对Pb的富集特征进行研究, 结果表明, 供试花卉植物在试验的铅胁迫水平下都具有较强的耐性。

马络葵(*Malope trifida*)是锦葵科马络葵属植物, 原产西班牙及北非, 1~2年生草本, 喜温暖, 不择土壤, 管理粗放, 是重要的花卉植物。笔者以马络葵为材料, 以砂培盆栽方式, 研究了镉对马络葵植株生长、叶绿素、类胡萝卜素、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响, 以及马络葵对镉的吸收累积情况, 以期利用马络葵对镉污染土壤进行植物修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 试验于2015年9月至2016年1月在韶关学院英东农业科学与工程学院试验大棚中进行。试验主要采用砂培盆栽进行, 以排除土壤中固有元素。供试材料为马络葵。

1.2 试验设计 为了排除土壤中固有元素对试验的影响, 采用砂培盆栽(16.0 cm × 11.5 cm × 14.0 cm)进行。设置镉(CdCl₂)浓度分别为0(CK)、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 mg/L 6个处理。将各处理与营养液一同加入到盆中, 分析植物(根、茎、叶)中重金属的含量, 进而分析其耐受性和富集性。

1.3 试验方法 2015年9月24日选取籽粒饱满的马络葵种子在花盆中播种。10月8日, 马络葵长出1片真叶, 开始浇灌营养液。营养液采用日本园试标准配方, 每天每盆浇灌100 mL。11月20日, 对盆内植株进行定苗, 每个花盆留取2株生长健壮, 生长情况相近的植株。12月4日开始对马络葵植株进行不同质量浓度的镉处理。把全部植株分成6组, 每组9盆。2016年1月9日开始取样分析。

基金项目 内蒙古自治区科技计划项目(201502052); 广东省大学生创新训练计划建设项目(201410576030)。

作者简介 陈厚蓉(1995—), 女, 广东茂名人, 本科生, 专业: 园艺。*通讯作者, 教授, 博士, 从事芳香植物栽培与生理研究。

收稿日期 2017-01-06

1.4 测定项目与方法

1.4.1 形态指标和生物量。每处理随机取样3株,分别测定株高、茎粗(直径)、叶片数、根长、叶横径、叶纵径;并进行地上部、地下部和全株的鲜重、干重以及干物率的测定。

1.4.2 生理指标。叶绿素含量和类胡萝卜素含量的测定采用比色法^[10];可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝G-250法^[11];可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[12]。各种生理指标测定样品均采用鲜样。

1.4.3 重金属含量。其样品采用干样,镉含量采用原子吸收分光光度计测定^[8]。

1.5 数据统计 试验数据采用SPSS 17.0软件进行方差分析;用Duncan's新复极差法进行数据的差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同浓度镉对马络葵生长的影响 由表1可知,不同浓度镉处理后,马络葵的株高均高于CK,其中0.5、1.0和3.0 mg/L镉处理株高与CK之间差异显著,其他各处理之间差异不显著;根长各处理之间差异不显著;各浓度镉处理地上部鲜重均高于CK,以2.0 mg/L处理最重,但各处理间差异不显著;根系鲜重以2.0 mg/L镉处理最重,4.0 mg/L处理最轻,二者之间差异显著。

由此可见,一定浓度范围内重金属镉处理对马络葵植物生物量的积累有促进作用,也就是说,马络葵可以忍耐一定浓度镉的胁迫。

表1 不同浓度镉对马络葵生长的影响

Table 1 Effects of different concentrations of Cd on growth of *Malope trifida*

镉浓度 Cd concentration mg/L	株高 Plant height//cm	根长 Root length cm	地上部鲜重 Aboveground fresh weight//g/株	根系鲜重 Root fresh weight//g/株
0	20.67 ± 1.15 b	17.00 ± 1.73 a	17.40 ± 5.33 a	15.62 ± 5.88 ab
0.5	31.00 ± 1.00 a	18.33 ± 4.16 a	22.13 ± 7.13 a	21.61 ± 10.09 ab
1.0	30.00 ± 0 a	17.67 ± 4.16 a	19.87 ± 8.16 a	14.01 ± 4.38 ab
2.0	24.33 ± 8.50 ab	17.67 ± 3.51 a	23.79 ± 7.33 a	27.50 ± 11.16 a
3.0	29.67 ± 2.08 a	14.00 ± 1.00 a	22.08 ± 1.19 a	16.00 ± 5.47 ab
4.0	24.67 ± 2.31 ab	15.00 ± 2.56 a	17.87 ± 4.73 a	11.04 ± 2.23 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases at the same column indicated that there was significant difference at 0.05 level

2.2 不同浓度镉对马络葵生理指标的影响 由表2可见,不同浓度镉处理后,马络葵的叶绿素a含量以3.0 mg/L镉处理下最大,以1.0 mg/L镉处理下最小,两者与对照差异显著,各浓度镉处理叶绿素a含量由高到低排序为3.0、2.0、4.0、0.5、0、1.0 mg/L,除3.0和2.0 mg/L之间差异达显著水平外,其他各处理间差异均达显著水平。叶绿素b含量以1.0 mg/L镉处理下最大,以4.0 mg/L镉处理下最小,两者与对照间差异显著,其由高到低排序为1.0、0.5、0、3.0、2.0、4.0

mg/L。叶绿素a+b含量以0.5 mg/L镉处理下最大,以4.0 mg/L镉处理下最小,两者与对照间差异极显著,其由高到低排序为0.5、1.0、0、3.0、2.0、4.0 mg/L。

各浓度镉处理可溶性糖含量均显著高于CK,以1.0 mg/L镉处理下最大,与其他处理间差异极显著,其由高到低排序为1.0、6.0、3.0、2.0、0.5、0 mg/L。可溶性蛋白质含量以1.0 mg/L镉处理下最大,各处理间差异达极显著水平,其由高到低排序为1.0、2.0、3.0、4.0、0、0.5 mg/L。

表2 不同浓度镉对马络葵叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of different concentrations of Cd on chlorophyll content of *Malope trifida*

镉浓度 Cd concentration//mg/L	叶绿素a含量 Content of chlorophyll a mg/g	叶绿素b含量 Content of chlorophyll b mg/g	叶绿素a+b含量 Content of chlorophyll a+b mg/g	可溶性糖含量 Soluble sugar content//%	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content//%
0	0.41 ± 0 e	0.39 ± 0 c	0.80 ± 0 b	19.12 ± 0.10 e	33.16 ± 0.04 e
0.5	0.46 ± 0 d	0.40 ± 0 b	0.86 ± 0 a	30.73 ± 0.09 d	21.49 ± 0.02 f
1.0	0.39 ± 0 f	0.46 ± 0 a	0.85 ± 0 a	38.52 ± 0.25 a	53.83 ± 0.03 a
2.0	0.50 ± 0.01 b	0.25 ± 0.01 d	0.75 ± 0.02 d	32.20 ± 0.18 c	49.30 ± 0.05 b
3.0	0.51 ± 0 a	0.26 ± 0 d	0.77 ± 0 c	32.32 ± 0.12 c	44.11 ± 0.06 c
4.0	0.48 ± 0 c	0.20 ± 0 e	0.68 ± 0 e	35.03 ± 0.10 b	37.71 ± 0.04 d

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases at the same column indicated that there was significant difference at 0.05 level

2.3 不同浓度镉处理下马络葵各部位镉含量的变化 由表3可知,不同浓度镉处理后,随着镉浓度增大,马络葵地上部和根系对镉的吸收量均呈增加趋势,均以4.0 mg/L处理值最大,而且地下部对镉的吸收累积明显高于地上部。其中,地上部和全株镉含量表现为4.0 mg/L镉处理与CK、0.5和

1.0 mg/L差异显著;根积累的镉含量最大值4.0 mg/L与CK和0.5 mg/L镉处理之间差异显著。重金属镉运转系数(S/R值),(地上部镉含量与地下部镉含量之比)在0.5 mg/L镉处理达4.28,随后迅速下降,之后又呈上升趋势,在3.0 mg/L镉处理下达高值(0.79)。

表 3 不同浓度镉处理马络葵各器官镉含量的变化

Table 3 The change of Cd concentration in organs of *Malope trifida* treated by different concentrations of Cd

mg/kg

镉浓度 Cd concentration//mg/L	地上部 Aboveground	根系 Root	全株 Total plant	S/R
0	0 cd	0 b	0 c	0
0.5	1.07 ± 0.58 cd	0.25 ± 2.09 b	1.33 ± 1.16 c	4.28
1.0	2.36 ± 0.88 cd	7.81 ± 11.59 ab	10.18 ± 4.95 bc	0.30
2.0	4.68 ± 0.82 ab	11.09 ± 5.76 ab	17.77 ± 1.72 abc	0.42
3.0	5.30 ± 1.31 ab	20.00 ± 10.14 a	25.30 ± 4.92 ab	0.79
4.0	7.87 ± 1.19 a	20.45 ± 10.05 a	28.31 ± 1.66 a	0.38

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases at the same column indicated that there was significant difference at 0.05 level

3 结论

该研究表明:①马络葵经镉处理后,其株高、地上鲜重均高于 CK。地上部和根系鲜重均以 3.0 mg/L 镉浓度时最大。马络葵对重金属镉有一定的耐性。②镉浓度低于 1.0 mg/L 时,有利于叶绿素累积。镉处理可溶性糖含量均显著高于 CK。可溶性蛋白质含量除 0.5 mg/L 镉处理外,其他镉处理均显著高于 CK。③随着镉浓度增大,马络葵地上部和根系对镉的吸收累积均呈增加趋势,且以 4.0 mg/L 镉浓度处理最大。镉运转系数(S/R)在镉浓度为 0.5 mg/L 时高达 4.28,镉浓度为 3.0 mg/L 时也高达 0.79。

4 讨论

关于重金属对马络葵生长的影响等研究少见报道,但镉在茴香上的研究表明,低浓度镉对茴香的生长及生物量有促进作用,高浓度的镉则会显著影响其生长和生物量的累积^[13]。

低浓度的镉有利于叶绿素的积累。肖艳辉等^[14]在薄荷上的研究表明叶绿素 a 含量基本上随镉浓度的升高呈先升高再降低的趋势。何梨香等^[15]在圆叶决明上的研究也得出类似结果。镉胁迫抑制圆叶决明叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素的合成,镉浓度升高,叶绿素含量逐渐降低,处理之间达显著差异水平。这可能是高浓度镉破坏叶片中叶绿体结构和叶绿素合成,使得叶绿素含量降低,光合强度降低,从而削弱植株光合作用能力^[4]。

有研究表明,植物中可溶性糖含量的改变依赖于镉浓度和植物品种,低浓度镉处理会增加植物中的可溶性糖含量^[2,16-17]。这可能是由于可溶性糖作为渗透调节的物质,植物在逆境条件下,通过渗透调节物质的增加来提升植物对逆境的抵抗能力。地上部和地下部可溶性糖含量代表碳水化合物的运行转化情况,能够作为生理指标之一来反映重金属污染对植物的迫害作用^[18-19]。

镉能诱导可溶性蛋白质含量增加,可能是由于植物抵抗镉毒害的一种解毒机制^[20]。有研究表明,在浓度低于 50.0 mg/kg 的镉胁迫下,植物根和叶中的蛋白质含量表现出先升高后降低的趋势,但都高于对照,阐明植物细胞中蛋白质的合成代谢增强,镉促进合成更多的蛋白质,参与到渗透调节中,增强了植物的抗逆性^[17]。

马络葵适应性广,来源广泛,适合南北方种植,若对重金属具有耐性和富集能力,将便于推广种植。该研究中,马络

葵在 3.0 mg/L 的高镉浓度下,其生物量的积累达到了最大值,镉运转系数也相对较高。可见,马络葵对镉有较强的耐性和运转能力,可以在镉污染土壤上种植利用。马络葵对镉的累积相对于前人采用水培法在皇竹草、茴香、薄荷等植物上累积的量要少^[2,13-14],至于是马络葵本身富集镉能力还是砂培和水培方法不同所致,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 宇克莉,孟庆敏,邹金华. 镉对玉米幼苗生长、叶绿素含量及细胞超微结构的影响[J]. 华北农学报,2010,25(3):118-123.
- [2] 李钱鱼,肖艳辉,何金明,等. 镉对皇竹草生长及其镉吸收累积的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(11):354-356.
- [3] 崔爽,周启星,李萍,等. 几种观赏花卉对土壤铅的吸收特性和抗性能力研究[J]. 江西科学,2009,27(1):157-160.
- [4] 崔爽,孙秀菊,刘艺芸,等. 几种花卉对铅积累能力的比较研究[J]. 山东农业科学,2014,46(3):74-76.
- [5] 李翠兰,邵泽强,王玉军,等. 几种花卉植物对铅富集特征的研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4):127-130.
- [6] BROWN S L, CHANEY R L, ANGLE J S, et al. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator thlaspi caerulescens and metal tolerant silene vulgaris grown on sludge-amended soils[J]. Environmental science and technology,1995,29(6):1581-1585.
- [7] SALT D E, BLAYLOCK M, KUMAR N P B A, et al. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants[J]. Biotechnology,1995,13(5):468-474.
- [8] 原海燕,黄苏珍,郭智. 4 种鸢尾属植物对铅锌矿区土壤中重金属的富集特征和修复潜力[J]. 生态环境学报,2010,19(8):1918-1922.
- [9] 吴桐,李翠兰,邵泽强,等. 几种花卉植物对土壤中铅富集特征的研究[J]. 吉林农业大学学报,2012,34(3):305-310,315.
- [10] 郝再彬,苍晶,徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:46-49.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:172-174.
- [12] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:133-134.
- [13] 肖艳辉,何金明,潘春香,等. 镉处理对茴香镉吸收累积与生理指标的影响[J]. 江苏农业科学,2011(1):430-432.
- [14] 肖艳辉,何金明,潘春香,等. 镉处理对薄荷植株生长及镉吸收累积的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):159-160,359.
- [15] 何梨香,黄运湘,黄楚瑜,等. 圆叶决明对镉胁迫的生理响应[J]. 草业学报,2016,25(2):198-204.
- [16] 陈朝明,龚惠群,王凯荣. Cd 对桑叶品质、生理生化特性的影响及其机理研究[J]. 应用生态学报,1996,7(4):417-423.
- [17] 吴桂容,严重玲. 镉对桐花树幼苗生长及渗透调节的影响[J]. 生态环境,2006,15(5):1003-1008.
- [18] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993.
- [19] 肖艳辉,何金明,潘春香,等. 铅对罗勒植株生长及铅吸收累积的影响[J]. 湖北农业科学,2013,52(23):5708-5710.
- [20] 洪仁远,杨广笑,刘东华,等. 镉对小麦幼苗的生长和生理生化反应的影响[J]. 华北农学报,1991,6(3):70-75.