

干旱胁迫对蓝羊草渗透调节物质和抗氧化酶活性的影响

邹原东, 韩振芹, 陈秀新, 石进朝

(北京农业职业学院, 北京 102442)

摘 要:以蓝羊草为试材,以持续浇水处理为对照,采用2因素完全随机设计,利用盆栽方法研究了干旱胁迫对蓝羊草相对含水量、渗透调节物质及抗氧化酶活性的影响。结果表明:叶片相对含水量随着干旱胁迫程度的加深而下降,2周后达到20%左右,叶片的保水性较好,植株的耐旱性较强;在自然失水的条件下丙二醛(MDA)含量的积累逐渐增多,而且后期升高较为明显,植株对干旱的反映较为敏感;脯氨酸(Pro)含量随着叶片失水也随之升高,含水量与Pro含量呈显著负相关(相关系数为-0.865, $P=0.026<0.05$),其含量的积累对于蓝羊草是伤害反应,与抗旱性无关;可溶性蛋白质含量在干旱胁迫下呈现出快速下降后缓慢升高的趋势,超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性与对照相比增加显著($P<0.05$),过氧化物酶(POD)活性与对照差异极显著,在抵御干旱方面共同发挥作用。

关键词:蓝羊草;干旱胁迫;完全随机;抗氧化酶

中图分类号:S 543.901 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0071-05

水资源短缺长期困扰着城市园林绿地建设,使植物景观达不到生态和观赏效果;鉴于此,抗旱节水观赏性园林绿地建植显得尤为重要。选择抗旱性好、抗逆性强的观赏草是建设生态园林的重要技术保证,既可以降低养护成本,又减轻了绿地对水资源的压力^[1]。观赏草作为一种旱景资源已被欧美国家广泛使用,而在我国受传统观念的影响应用较少。很多研究倾向于观赏草的生态特性和园林应用^[2-3],比如城市公园、郊野绿地和观光园区使用^[4],对其抗旱性研究较少,而且品种范围较窄^[5]。因此,深入研究观赏草的抗旱性既符合生态观赏性的需要又具有较强的现实意义。

蓝羊草^[6-7](*Leymus chinensis*)属禾本科赖草属多年生草本植物。分布于我国东北、内蒙古、河北、山西、陕西等地。自然株高40~90 cm,叶片长7~14 cm,宽3~5 mm,质地粗硬,叶色呈现蓝色,极耐践踏,几乎无病虫害。夏季生长强壮,观赏价值较高。目前,对蓝羊草的抗旱性研究尚鲜见报道,仅从白淑媛等^[8]和王嘉铭等^[7]

对节约型绿地地被植物的筛选与应用方面推测蓝羊草是一种既耐旱又耐寒的植物。该试验通过干旱条件下蓝羊草的水分和生理指标的变化,分析其对干旱胁迫的生理反应和机制,以期对蓝羊草在园林绿地建设中的推广提供理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以2 a生蓝羊草(*Leymus chinensis*)为试材,花盆选用泥盆,盆土采用园内棕壤,遮雨并在自然条件下进行栽培。于2013年3月初每2 d浇水1次,待其重新萌芽,进入5月下旬密切关注其长势并选取长势基本一致的盆栽苗备用。

1.2 试验方法

试验于2013年5月25日至6月11日在北京农业职业学院实训园进行。

试验设处理1(以正常浇水管理后1 d为干旱胁迫基点,使其自然失水),处理2(每2 d浇透水1次)2个干旱胁迫处理,以持续浇水处理为对照(CK),每个处理10盆,随机排列,每7 d取正常叶片进行含水量及生理指标测定,3次重复。

1.3 项目测定

叶片含水量(RWC)测定采用鲜重法^[9];丙二醛(MDA)的测定采用TBA比色法^[10];脯氨酸(Pro)含量测定采用酸性茚三酮显色法^[11];可溶性蛋白质含量测定采

第一作者简介:邹原东(1980-),男,辽宁人,硕士,讲师,研究方向为植物栽培与生理生态。E-mail:zyydd@163.com.

责任作者:石进朝(1964-),男,陕西大荔人,教授,现主要从事园林植物教学与科研工作。E-mail:shijincho88@163.com.

基金项目:2013年北京市属高等学校人才强教深化计划—创新人才(教学名师)建设资助项目(PXM2013_157203_000005)。

收稿日期:2013-09-13

用考马斯亮蓝 G-250 法^[10];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用 NBT 光还原法^[10];过氧化氢酶(CAT)活性测定采用高锰酸钾滴定法^[11];过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2003 制图,并用统计软件 SPSS 17.0 进行方差分析和 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对蓝羊草叶片相对含水量的影响

相对含水量(RWC)可以表示植物体内的水分状况。由图 1 可以看出,蓝羊草在停止浇水后叶片逐渐失水,下降的趋势极显著($P<0.01$);而对照处理,其含水量总体保持平稳。具体来看,干旱胁迫 1 d 后处理和对照相比已经有所差异,分别下降 5.99%和 2.22%,但不明显;干旱 7 d 后,处理和对照的差异有所上升,分别达到 34.03%和 22.17%;干旱处理 14 d 后,蓝羊草叶片相对含水量和对照相比分别下降 63.74%和 64.65%,但仍保持在一个相对较高水平。

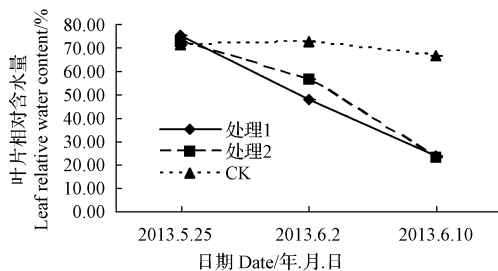


图 1 干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

Fig. 1 Effect of drought stress on leaf relative water content of *Leymus chinensis*

2.2 干旱胁迫下蓝羊草生理指标的变化

2.2.1 干旱胁迫对蓝羊草叶片丙二醛(MDA)含量的影响 MDA 是膜脂氧化的最终产物,在植物逆境伤害和衰老过程积累,反映逆境伤害和衰老的程度^[12]。从图 2 可以看出,随着干旱胁迫程度的加深,蓝羊草体内的 MDA 含量呈上升趋势,处理和对照相比在干旱 7 d 后差异显著($P<0.01$),尤其在自然失水 14 d 后差异尤为显著,MDA 含量大幅度上升。

2.2.2 干旱胁迫对蓝羊草叶片脯氨酸(Pro)的影响 Pro 是重要的渗透剂,能降低细胞的渗透势,提高植物组织的持水力。其含量在一定程度上反映了植物遭受逆境的伤害情况及其对逆境的抵抗能力^[13-14]。由图 3 可以看出,自然失水 1 d,3 个处理的 Pro 含量差异不大;至第 7 天,蓝羊草体内的 Pro 含量有所增加,和前一时期相比分别增加了 41.44%、50.62%,差异显著($P<0.05$);而干旱胁迫 14 d 后,其 Pro 含量上升迅速,较失水 7 d 时分别增加了 2.7 倍和 3.1 倍,差异极显著($P<0.01$)。

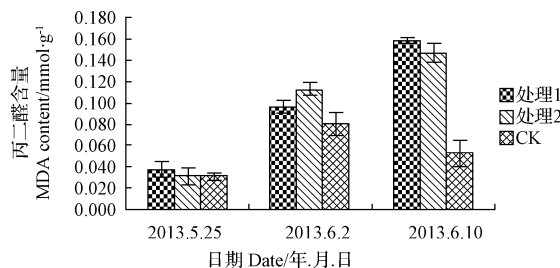


图 2 干旱胁迫对蓝羊草叶片丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effect of drought stress on leaf MDA content of *Leymus chinensis*

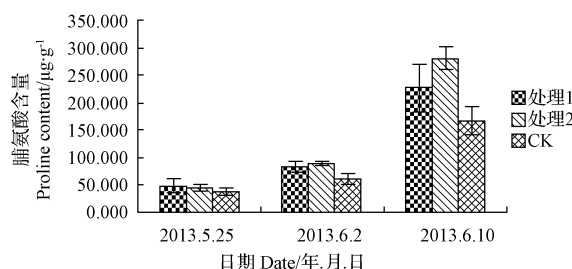


图 3 干旱胁迫对蓝羊草叶片脯氨酸含量的影响

Fig. 3 Effect of drought stress on leaf proline content of *Leymus chinensis*

2.2.3 干旱胁迫对蓝羊草叶片可溶性蛋白质含量的影响 可溶性蛋白质是以小分子状态溶于水或其它溶剂的蛋白质,是反映植物逆境的重要指标之一。由图 4 可知,蓝羊草体内的可溶性蛋白质含量在自然失水状态下呈现出先快速下降后缓慢升高趋势;干旱胁迫 7 d 是个转折点,植株与自然失水 1 d 相比分别下降了 2.6 倍和 1.9 倍,差异极显著($P<0.01$);待到自然失水 14 d 后,转而分别升高了 3.27%和 2.89%。另外,从图 4 还可以看出,同正常浇水的对照相比,可溶性蛋白质含量的差异变化幅度由大及小,趋于平缓。

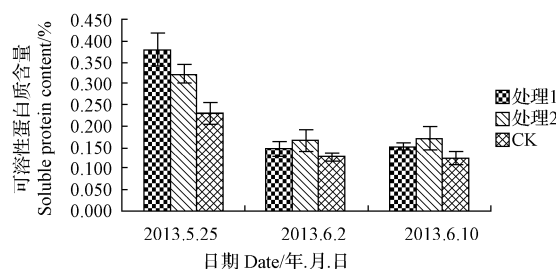


图 4 干旱胁迫对蓝羊草叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 4 Effect of drought stress on leaf soluble protein content of *Leymus chinensis*

2.2.4 干旱胁迫对蓝羊草叶片超氧化物歧化酶活性(SOD)的影响 SOD 是一种保护酶,在逆境条件下能清除过氧化氢、活性氧等物质^[15]。蓝羊草在干旱胁迫过程中,SOD 活性呈上升趋势。自然失水状态下的 2 个处理

相比较,差异也较为显著($P<0.01$),尤其是在失水后第 14 天 2 个处理之间差异达到 48.7%;处理 2 相对处理 1 在干旱胁迫期间上升趋势较为平缓,最大差异仅为 15.84%,与对照相比,2 个处理的 SOD 活性增加明显。

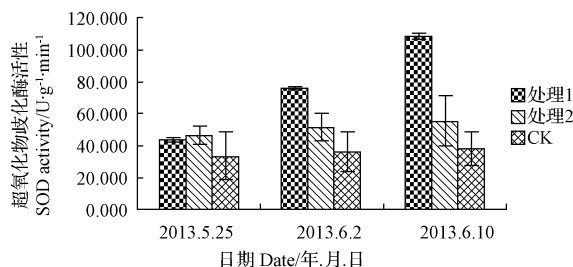


图5 干旱胁迫对蓝羊草叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Fig. 5 Effect of drought stress on leaf SOD activity of *Leymus chinensis*

2.2.5 干旱胁迫对蓝羊草叶片过氧化氢酶活性(CAT)的影响 CAT 也是一类抗氧化酶,与 SOD 作用一致,也具有抗氧化、抗衰老的机理。从图 6 可以看出,干旱胁迫会使蓝羊草体内 CAT 活性升高,而且与对照相比差异极显著($P<0.01$);而 2 个失水处理间的差异不显著;从失水第 7 天后直到第 14 天,干旱处理的 CAT 活性变化平稳,稍有上升态势。

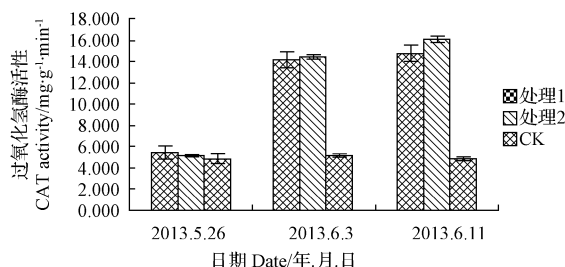


图6 干旱胁迫对蓝羊草叶片过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 6 Effect of drought stress on leaf CAT activity of *Leymus chinensis*

2.2.6 干旱胁迫对蓝羊草叶片过氧化物酶活性(POD)的影响 从图 7 可以看出,POD 活性在干旱胁迫下的下

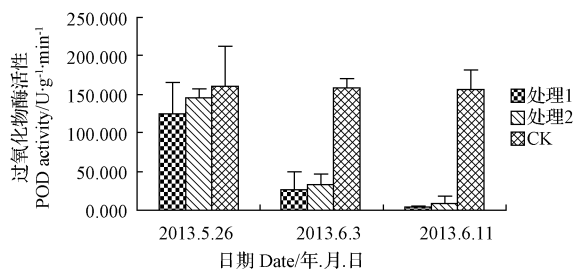


图7 干旱胁迫对蓝羊草叶片过氧化物酶(POD)活性的影响

Fig. 7 Effect of drought stress on leaf POD activity of *Leymus chinensis*

降趋势较为明显,干旱处理之间的差异不显著;从失水处理第 1 天后开始至第 7 天,POD 活性下降迅速,达 4.5 倍之多;在失水 14 d 时,含量减少到失水 1 d 时的 5.7% 和 3%;与对照相比差异极显著($P<0.01$)。

3 讨论与结论

叶片相对含水量的变化,可以基本上反映植物的抗旱能力。植物叶片相对含水量下降是对干旱胁迫的一种适应性反映^[15]。该试验中蓝羊草失水后叶片相对含水量呈下降趋势,而 14 d 后仍保持在 20% 水平,其叶片的保水能力较强。该植物能经得住长时间的水分胁迫,有一定的干旱适应性。

干旱胁迫会产生超氧阴离子、过氧化氢等物质^[16],使细胞膜渗透加剧、膜结构改变乃至受到严重损伤,大量离子外流,并加剧生物体在生长发育方面的伤害,而膜脂过氧化的程度则是通过 MDA 含量的高低来表现^[17]。张智等^[18]研究发现高羊茅受到夏季干热条件的影响越强烈,MDA 含量的积累越多;同时还发现 3 种观赏草在干旱胁迫后期 MDA 含量显著增加^[19]。而潘伟彬等^[20]认为 MDA 在高强度的干旱胁迫下的下降幅度大于中度胁迫;李州等^[21]研究发现小叶型白三叶在干旱条件下 MDA 含量较大叶型白三叶低,因而较好地保持了细胞膜的稳定性。该研究结果表明蓝羊草在自然失水的条件下 MDA 含量的积累逐渐增多,而且后期升高较为明显,分析该植物一方面对干旱的反映较为强烈,另一方面干旱胁迫后期,可能导致膜脂过氧化加剧,渗透物质外流,加剧了植物体的伤害。

脯氨酸是一种理想的渗透调节物质,能够维持细胞水势,消除物质毒害和储存氮素^[22],逆境下可用作反映植物抗逆性的参考性生理指标^[23]。但不同植物也表现出一定的差异性。李州等^[21]研究发现白三叶叶片内游离脯氨酸含量随着干旱胁迫时间的延长而增加,因而能够保持相对较高的渗透调节作用,保证水分更合理的利用和散失;羊草随着水分胁迫程度的加剧,叶片含水量和脯氨酸含量呈正相关^[24];玉带草在重度干旱胁迫下脯氨酸含量上升幅度很大^[14]。而张智等^[18]研究发现游离脯氨酸耐旱性弱的观赏草中积累较多而且与植物受伤程度呈显著正相关;不同的观点还出现在孔兰静等^[15]、卢少云等^[25]的研究上,他们认为干旱下脯氨酸的积累是植物的伤害反应,适宜作为干旱胁迫敏感指标,与抗旱无关。由此,可以看出,脯氨酸可以提高某些植物的抗逆性;但对某些植物却是伤害反应,也许是渗透调节降低,细胞膜受到伤害的表现。该试验中蓝羊草随着干旱胁迫程度的加剧,脯氨酸含量也随之升高,而综合之前的含水量指标可以看出,含水量与脯氨酸含量呈显著负相关(相关系数为 -0.865 , $P=0.026<0.05$)。由此可以看出干旱胁迫脯氨酸的积累对于蓝羊草是伤害

反应,与抗旱性无关。可溶性蛋白质作为另一种渗透调节物质,在植物逆境中发挥着不同的作用。该试验研究表明,可溶性蛋白质含量随着干旱情境的发生呈现快速下降后缓慢升高趋势,但总体来看是在下降,表明可溶性蛋白质在干旱胁迫前期合成略受影响,但在后期含量保持稳定水平。这与潘伟彬等^[20]、陈明林等^[26]研究结果相似。

植物在干旱胁迫下保持较高抗氧化酶(SOD、POD、CAT)的活性以保证消除氧自由基的能力,而几种酶综合作用的结果决定着保护酶系统的防御能力^[13]。SOD活性的变化在不同作物上的反应不同,张智等^[18]研究认为狼尾草和斑叶芒具有较强的耐旱性与它们在干旱条件下能维持较高的SOD活性有关。CAT是一种专一清除过氧化氢的保护酶。孔兰静等^[15]认为CAT活性的升高反映干旱胁迫的程度,是对干旱胁迫的适应。潘伟彬等^[20]则发现草本植物中重度干旱胁迫下的SOD活性和CAT活性下降幅度要大于中度胁迫。还有一部分观点认为植物在遭受干旱胁迫后,保护酶的上升是有一定限度的,超过限度之后,保护酶系统的保护能力下降。此时,保护酶清除自由基速率小于其积累速率,从而引起膜脂过氧化作用加剧^[21,27]。有观点认为POD在抗旱表现上具有双重性,初期可以清除活性氧等物质,作为一种保护酶而存在;逆境后期,则参与活性氧形成,引发膜脂过氧化,表现为伤害效应,是植物衰老到一定阶段的产物^[28]。该试验结果表明蓝羊草在干旱胁迫下SOD活性、CAT活性升高,2种酶协同作用清除氧自由基、过氧化氢,减少羟自由基的形成,抵御干旱所带来的不良反应。POD活性降低较为明显,后期值较小,可能蓝羊草干旱保护酶中SOD、CAT起主导作用,但此观点有待进一步验证。至于MDA含量后期升高较为明显,是否和POD后期引发膜脂过氧化有关尚待进一步验证。

参考文献

- [1] 武菊英,王国进. 可持续旱景园林与观赏草[J]. 科技潮,2003(10):42-43.
- [2] 宋晓青. 观赏草园林应用模式研究[J]. 北方园艺,2011(23):85-88.
- [3] 杨丽娟,王海洋. 耐旱园林植物在节水型园林中的应用[J]. 南方农业(园林花卉版),2007(6):52-53.
- [4] 沈文森. 观赏草在北京奥林匹克公园中心区的应用[J]. 北京园林,2008(4):36-39.
- [5] 尹新彦,储博彦,田银萍,等. 我国观赏草研究与应用现状[J]. 河北林

业科技,2012(2):40-43,51.

- [6] 武菊英,滕文军,王庆海,等. 多年生观赏草在北京地区的生长状况与观赏价值评价[J]. 园艺学报,2006,33(5):1145-1148.
- [7] 王嘉铭,马希斌. 节约型绿地地被植物的筛选与应用[J]. 新农业,2012(2):45-46.
- [8] 白淑媛,梁芳,蔺艳等. 适生地被植物的选择与应用[J]. 北京园林,2007,23(4):31-35.
- [9] 张宪政. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科技出版社,1989.
- [10] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [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,2001.
- [12] 刘锦川,云锦凤. 披碱草属3种牧草幼苗对水分胁迫的响应[J]. 种子,2010,29(9):17-20.
- [13] 吴银明,王平,刘洪升,等. 分根PEG胁迫对羊草幼苗植物量、活性氧代谢及脯氨酸含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(2):114-119.
- [14] 刘晓东,李洋洋,何森,等. PEG模拟干旱胁迫对玉带草生理特性的影响[J]. 草业学报,2012,29(5):687-693.
- [15] 孔兰静,李红双,张志国,等. 三种观赏草对土壤干旱胁迫的生理响应[J]. 中国草地学报,2008,30(4):40-45.
- [16] 蒋明义,杨文英,徐江,等. 渗透胁迫诱导水稻幼苗的氧化伤害[J]. 作物学报,1994,20(6):734-738.
- [17] 李广敏,唐连顺,商振清,等. 渗透胁迫对玉米幼苗保护酶系统的影响及其与抗旱性的关系[J]. 河北农业大学学报,1994,17(2):1-4.
- [18] 张智,夏宜平,常乐,等. 3种观赏草在自然失水胁迫下的生理变化与耐旱性关系[J]. 东北林业大学学报,2007,35(12):17-20.
- [19] 胡淑静,易小林,李名扬. 费斯塔和高羊茅在重庆地区夏季干热条件下的适应性研究[J]. 草业科学,2009,26(4):106-109.
- [20] 潘伟彬,邓恢. 4种草本水土保持植物的耐旱生理特性[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2009,30(3):305-308.
- [21] 李州,彭燕,苏星源. 不同叶型白三叶抗氧化保护及渗透调节生理对干旱胁迫的响应[J]. 草业学报,2013,22(2):257-263.
- [22] 孔兰静,彭卫东,柳玉芳,等. 干旱胁迫对三种观赏草叶片渗透调节的影响[J]. 中国草地学报,2010,32(3):82-87.
- [23] 李秀玲,刘开强,杨志民,等. 干旱胁迫对4种观赏草枯叶率及生理指标的影响[J]. 草地学报,2012,20(1):76-82.
- [24] 任文伟,钱吉,马骏,等. 不同地理种群羊草在聚乙二醇胁迫下含水量和游离脯氨酸含量的比较[J]. 生态学报,2000,20(2):349-352.
- [25] 卢少云,陈斯平,陈斯曼,等. 三种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸含量和抗氧化酶活性的变化[J]. 园艺学报,2003,30(3):303-306.
- [26] 陈明林,王友保. 水分胁迫下外来种铜锤草和本地种酢浆草的生理指标比较研究[J]. 草业学报,2008,17(6):52-59.
- [27] 刘惠芬,高玉葆,张强,等. 不同种群羊草幼苗保护酶系统对干旱的反应及其生理生态适应[J]. 农业环境科学学报,2003,22(6):641-646.
- [28] 闫成仕. 水分胁迫下植物叶片抗氧化系统的响应研究进展[J]. 烟台师范学院学报(自然科学版),2002,18(3):220-225.

Effect of Drought Stress on Osmotic Adjustment Substance and Antioxidative Activity of *Leymus chinensis*

ZOU Yuan-dong, HAN Zhen-qin, CHEN Xiu-xin, SHI Jin-chao
(Beijing Vocational College of Agricultural, Beijing 102442)

铅对紫茉莉幼苗生长及元素吸收的影响

于凤鸣¹, 刘玉艳², 张维维¹

(1. 河北科技师范学院 生命科技学院, 河北 秦皇岛 066004; 2. 河北科技师范学院 园艺科技学院, 河北 昌黎 066600)

摘要:以紫茉莉为试材, 采用水培试验方法, 研究了铅(Pb)胁迫对紫茉莉幼苗生长及元素吸收的影响。结果表明: Pb 抑制紫茉莉根的生长, 低浓度 Pb(≤ 150 mg/L)促进紫茉莉地上部分的生长, 高浓度 Pb(≥ 200 mg/L)则抑制地上部分的生长; 当 Pb 浓度为 150 mg/L 时, 促进紫茉莉对 Ni、Cu、Mg、Fe、Pb 和 Cr 元素的吸收, 抑制了 Ca、Cd 和 Mn 元素的吸收, 促进了 Ca、Cu 和 Mg 元素向地上的转移, 抑制了 Ni、Cd、Cr、Fe、Pb 和 Mn 元素向地上转移。

关键词:铅(Pb); 紫茉莉; 生长; 元素吸收

中图分类号:S 685.16 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0075-03

重金属是指比重大于 4 或 5 的金属, 约有 45 种, 如铜、铅、锌、铁、钴、镍等。常说的重金属污染指的就是因人类活动导致环境中的重金属含量增加, 超出正常范围, 并导致环境质量恶化。随着城市化、工业化、矿产资源的开发利用以及大量化学产品的广泛使用, 土壤重金属污染日趋严重, 威胁着人类的生存和发展。土壤中的重金属污染物不仅具有隐蔽性、不可逆性等特点, 而且可经水、植物等介质进入人体, 最终影响人类健康。因此, 如何控制和减轻土壤重金属污染及其危害已成为一个日益突出的问题。也正由于土壤重金属污染治理和恢复的难度大, 迄今仍未找到理想的方法^[1]。重金属在土壤中的自然净化过程十分漫长, 一般需要上千年时间。采用物理与化学治理技术(如客土法、淋溶法、施用

化学改良剂等)不仅费用昂贵、需要特殊的仪器设备和培训专门的技术人员, 而且大多只能暂时缓解重金属的危害, 还可能导致二次污染, 不能从根本上解决问题。通过种植超富集植物或一些对重金属抗性强、具有一定吸收富集能力且生物量大的特殊植物逐步提取土壤中的重金属元素, 进而修复污染土壤的方法—植物修复技术越来越受到重视。近年来, 重金属超富集植物的筛选备受国内外科学家们的广泛关注^[2-9], 已成为人们研究的热点, 且被认为具有巨大的商品化前景^[10-11]。

紫茉莉(*Mirabilis jalapa*)是在我国矿区发现的一种耐性植物, 具有生长迅速、生物量大、观赏价值高的特点。无论花坛、庭园、盆栽皆适合, 是春季常见的园林绿化植物。紫茉莉管理粗放, 容易生长, 注意适当施肥、浇水即可, 在略有蔽荫处生长更佳。

该试验以紫茉莉为试材, 研究铅(Pb)胁迫对紫茉莉幼苗生长及元素、吸收影响, 旨在进一步分析其对土壤重金属元素吸收富集的特征, 探讨其作为城市园林绿化

第一作者简介:于凤鸣(1966-), 男, 博士, 教授, 现主要从事植物抗性生理等研究工作。E-mail: yfm8371@163.com.

基金项目:河北省教育厅自然科学研究资助项目(2008445)。

收稿日期:2013-09-13

Abstract: With *Leymus chinensis* as experimental material, control was sustainable watering, this test adopted the two factors completely random design. The effect of drought stress on relative water content, osmotic adjustment substance and antioxidant enzymes activity were studied by pot experiment. The results showed that relative water content was decreased with aggravation of drought stress, reached about 20% after 2 weeks. Water retention of leaves was better, and with good drought tolerance. In the condition of natural dehydration the accumulation of MDA was increased gradually, particularly at later stages of drought, and plant was sensitive to drought. Pro content increased with the water stress time. A significant correlation existed between relative water content and Pro content ($R = -0.865$, $P = 0.026 < 0.05$). Accumulation of Pro content was a wound response for plant, and it was independent of drought resistance. Under drought stress soluble protein content increased at first but later decreased. SOD and CAT activity in control were lower than other treatments ($P < 0.05$), and both of them played a common role in preventing drought. POD activity in control was extremely lower than other treatments ($P < 0.01$).

Key words: *Leymus chinensis*; drought stress; completely random; antioxidant enzymes