

铅与盐胁迫对黄菖蒲生长及生理抗性的影响

韩玉林 黄苏珍 (江西财经大学资源与环境管理学院, 江西南昌 330032)

摘要 [目的] 探讨Pb和NaCl对黄菖蒲生长、Pb富集及抗性的影响。[方法] 采用营养液培养黄菖蒲, 研究Pb、NaCl单因子及复合胁迫对黄菖蒲的生长、Pb在植物不同部位的富集以及生理变化的影响。[结果] 结果显示, 随着Pb和NaCl浓度的增加, 黄菖蒲地上部和地下部干重下降; NaCl对Pb的吸收有一定促进作用。在浓度100 mmol/L单因子NaCl及与Pb复合胁迫下, MDA含量和Pro含量显著增加, 在高浓度单因子Pb和NaCl及Pb和NaCl复合胁迫下SOD酶活性显著提高。[结论] 黄菖蒲具有一定的耐Pb及NaCl胁迫的能力和对Pb的富集能力, 是一种可用于修复Pb污染环境的Pb潜在超富集植物。

关键词 黄菖蒲; 铅; 盐; 胁迫

中图分类号 S682.39 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)34-14860-02

Effects of Pb and NaCl on the Growth and Physiological Response of *Iris pseudacorus* L.

HAN Yu-lin et al (Resource and Environment Management College, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang, Jiangxi 330032)

Abstracts [Objective] The research aimed to study the effects of Pb and NaCl on the growth, accumulation and resistance of Pb of *Iris pseudacorus* L. [Method] Pb-NaCl interaction on the plant vigor, Pb accumulation in different parts of plants and physiological mechanisms of *I. pseudacorus* L. in hydroponic system were investigated. [Result] The results showed that the dry weights (DW) of shoots and roots decreased as the concentrations of Pb and NaCl increased. The contents of malondialdehyde and proline were significantly increased at the treatments of 100 mmol/L NaCl and Pb + NaCl. The activities of superoxide dismutases significantly increased at the levels of 10 mmol/L Pb, 100 mmol/L NaCl and Pb + NaCl. [Conclusion] *I. pseudacorus* L. had certain tolerance to NaCl and Pb stresses, and could be used to repair Pb pollution environment.

Key words *Iris pseudacorus* L.; Lead; NaCl; Stress

黄菖蒲(*Iris pseudacorus* L.)为鸢尾科鸢尾属多年生宿根草本植物, 适应性广, 观赏价值高, 并具有生长快、生物量较大、反复收割利用以及对重金属铅具有一定积累和耐受能力等重金属修复植物具备的优势特性^[1]。而关于黄菖蒲对重金属与盐复合胁迫下植物耐性的研究未见报道。笔者以黄菖蒲为材料, 分别对Pb、NaCl复合胁迫下植物的生长以及MDA、SOD等部分生理代谢特征进行了评价, 旨在探讨黄菖蒲对Pb、NaCl复合胁迫的抗性, 为植物特异抗性种质和抗性基因等的进一步研究与利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料 供试植物是鸢尾属(*Iris* L.)植物黄菖蒲(*I. pseudacorus* L.)。活植物栽培于江苏省中国科学院植物研究所鸢尾种质圃, 供试种子为无性繁殖群体自然结实的当年种子。

1.2 试验方法 试验在江苏省中国科学院植物研究所培养温室进行。黄菖蒲播种及幼苗培育采用Han等^[2]的方法。选生长一致的6株幼苗(约10 cm高)栽植于500 ml的培养瓶中, 以1/2 Hoagland营养液培养。预培养1周, 幼苗恢复生长后, Pb以Pb(NO₃)₂形式加入, 浓度分别为5 mmol/L (Pb1)和10 mmol/L (Pb2), 盐以NaCl形式加入, 浓度分别为50 mmol/L (Na1)、100 mmol/L (Na2)。以不加Pb和NaCl为对照(CK), 设Pb1、Pb2、Na1、Na2、Pb1 + Na1、Pb1 + Na2、Pb2 + Na1、Pb2 + Na2共9个处理, 在各处理的培养液中分别加入浓度0.5 mmol/L EDTA-Na₂, 以防止高浓度Pb沉淀, 保证各处理除Pb、NaCl外其他培养条件的一致性。每处理3个重复, 每4 d换培养液1次, Pb、NaCl处理后于第8天收获, 用自来水冲洗干净, 然后将材料分成地上部、地下部, 用去离子水冲洗干净, 用吸水纸吸干表面的水分备用。

1.3 分析测定项目

1.3.1 生物量测定。用自来水冲洗干净处理后的样品植株, 并将幼苗分为地上、地下(根系)2部分, 在80℃烘干至恒重, 再用1/1000电子天平测定地上和地下部分的重量。

1.3.2 生理指标测定。Pb和NaCl处理8 d后, 称取一定量的鲜叶测定各项生理指标。丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法, 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用NBT光化还原法^[3]; 游离脯氨酸含量的测定采用茚三酮法^[4]。

1.4 数据统计与分析 所得数据采用Excel和SAS软件处理分析。

2 结果与分析

2.1 Pb与NaCl胁迫对黄菖蒲植物鲜重的影响 由表1可见, 在单一Pb、NaCl、低浓度Pb和NaCl复合胁迫下, 黄菖蒲地上和地下部分的生长与对照相比均未受到明显抑制, 表明黄菖蒲对短时间内的单一Pb、NaCl因子胁迫或低浓度Pb和NaCl复合胁迫有较好的耐性; 而高浓度(10 mmol/L)Pb和高浓度NaCl(100 mmol/L)的各复合胁迫使黄菖蒲的地上部和地下部的生长均受到明显抑制。相对低浓度Pb(5 mmol/L)和NaCl(50 mmol/L)的复合胁迫对黄菖蒲根的生长抑制作用不明显, 其耐性机理有待于进一步研究。

2.2 Pb与NaCl胁迫对黄菖蒲丙二醛含量的影响 丙二醛是生物膜脂过氧化的终产物, 是反映膜系统受伤害程度的重要指标之一。由表2可见, 无论是Pb、NaCl单独胁迫还是Pb、NaCl复合胁迫, 黄菖蒲地上部叶片内MDA含量均高于对照, 说明Pb、NaCl胁迫对黄菖蒲均有不同程度的伤害。在浓度5、10 mmol/L Pb单因子胁迫下, 黄菖蒲MDA含量与对照相比在0.05水平无差异。浓度50、100 mmol/L NaCl单因子胁迫下, 黄菖蒲表现为低浓度NaCl胁迫下膜脂过氧化不明显, 高浓度NaCl胁迫使MDA含量显著升高的变化趋势, 表明植物在高NaCl胁迫下的抗氧化能力显著降低。而Pb、NaCl复合胁迫除了浓度5 mmol/L Pb和50 mmol/L NaCl处理组合

基金项目 国家自然科学基金资助(30771520)。

作者简介 韩玉林(1957-), 黑龙江青冈人, 博士, 副教授, 从事观赏植物资源抗性评价与利用研究。

收稿日期 2008-10-06

(Pb1 + Na1) 外, 植物因受胁迫引起的膜脂过氧化作用均高于对照, 说明在高浓度铅盐复合胁迫下, 黄菖蒲的膜系统已经受到严重伤害。

表1 Pb 与 NaCl 胁迫下黄菖蒲地上和地下部鲜重

Table 1 The fresh weights of the overground portion and underground portion of *Iris pseudacorus* under Pb and NaCl stress g

处理 Treatment	地上部鲜重 Fresh weight of overground portion	地下部鲜重 Fresh weight of underground portion
CK	4.800 a	4.480 a
Pb1	4.480 ab	4.420 a
Pb2	4.330 ab	4.340 a
Na1	4.720 a	4.290 a
Na2	4.270 ab	4.110 ab
Pb1 + Na1	4.120 abc	4.260 a
Pb1 + Na2	3.230 cd	3.300 b
Pb2 + Na1	3.540 bcd	3.260 b
Pb2 + Na2	3.090 d	2.990 b

注: 不同小写字母表示在0.05 水平有差异。下同。

Note: Different small letters mean difference at 0.05 level. The same as below.

2.3 Pb 与 NaCl 胁迫对黄菖蒲 SOD 活性的影响 SOD 酶是植物适应和抵抗逆境最主要的一种抗性酶, 是膜脂过氧化防御系统的重要抗氧化保护酶, 它可以及时清除自由基和活性氧, 提高组织的抗氧化能力^[5]。Pb、NaCl 胁迫下黄菖蒲叶片内 SOD 活性变化见表2, 除浓度5 mmol/L Pb 单因子胁迫下黄菖蒲 SOD 活性与对照相比没有显著增加外, 其余处理 SOD 的活性均显著高于对照, 说明高浓度单因子 Pb、NaCl 及其复合胁迫对诱导提高黄菖蒲抗氧化能力均有明显作用。

2.4 Pb 与 NaCl 胁迫对黄菖蒲脯氨酸含量的影响 脯氨酸是最重要和最有效的有机渗透调节物质之一, 植物在正常生长条件下, 脯氨酸的含量一般维持在相对较低的水平, 但在

逆境下, 脯氨酸会在细胞质内大量积累, 达几十倍甚至几百倍, 以进行渗透调节, 抵抗胁迫^[6]。由表2 可知, 不同浓度 Pb 胁迫下黄菖蒲叶片脯氨酸含量均上升, 其上升幅度在 8.9% ~22.8%。在高浓度 NaCl、高浓度 Pb 与 NaCl 复合胁迫下, 黄菖蒲叶片内脯氨酸含量显著增加; 在高浓度 NaCl 处理下, 脯氨酸含量的提高比 Pb 处理更为明显, 说明 NaCl 可以有效诱导脯氨酸的合成, 提高黄菖蒲幼苗的抗性。

表2 Pb 与 NaCl 胁迫对黄菖蒲叶片内 MDA 和脯氨酸含量及 SOD 活性的影响

Table 2 Effects of Pb and NaCl stress on MDA and Pro contents and SOD activity in the leaves of *I. pseudacorus*

处理 Treatment	MDA 含量 nmol FW L MDA content	SOD 活性 U g FW SOD activity	脯氨酸含量 $\mu\text{g/g FW}$ Pro content
CK	1.565 d	49.425 e	2.698 e
Pb1	1.934 cd	49.955 e	2.939 e
Pb2	2.031 bcd	70.161 bc	3.313 e
Na1	1.788 cd	61.381 d	2.978 e
Na2	2.228 abc	81.133 a	11.064 bc
Pb1 + Na1	2.002 bcd	75.377 b	4.571 de
Pb2 + Na1	2.452 ab	68.696 c	8.464 cd
Pb1 + Na2	2.444 ab	83.900 a	13.814 ab
Pb2 + Na2	2.620 a	86.978 a	15.434 a

逆境下, 脯氨酸会在细胞质内大量积累, 达几十倍甚至几百倍, 以进行渗透调节, 抵抗胁迫^[6]。由表2 可知, 不同浓度 Pb 胁迫下黄菖蒲叶片脯氨酸含量均上升, 其上升幅度在 8.9% ~22.8%。在高浓度 NaCl、高浓度 Pb 与 NaCl 复合胁迫下, 黄菖蒲叶片内脯氨酸含量显著增加; 在高浓度 NaCl 处理下, 脯氨酸含量的提高比 Pb 处理更为明显, 说明 NaCl 可以有效诱导脯氨酸的合成, 提高黄菖蒲幼苗的抗性。

2.5 黄菖蒲 MDA 含量与 SOD 活性、脯氨酸含量的相关性分析 由图1 可见, 黄菖蒲叶片 SOD 活性和脯氨酸含量均与 MDA 含量呈极显著的正相关关系 ($P < 0.01$), 其中, 黄菖蒲 SOD 活性和脯氨酸含量与 MDA 含量的相关系数分别为 $r = 0.814$, $r = 0.888$, 说明黄菖蒲在受到 Pb、NaCl 双重胁迫时膜系统的渗透调节功能和抗氧化酶系统的抗氧化功能均起到了较好的保护作用。

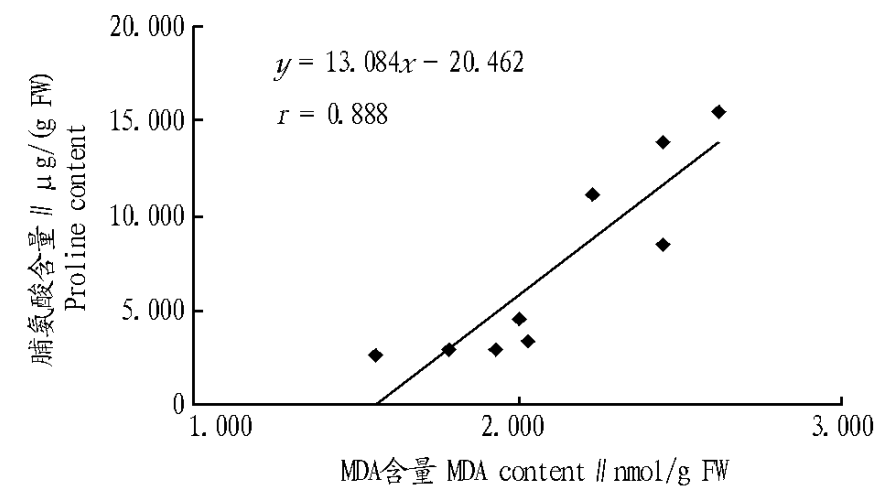
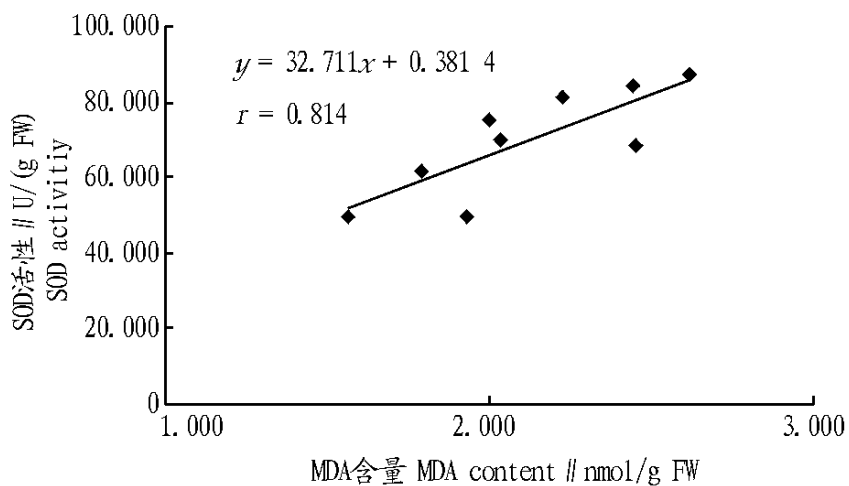


图1 黄菖蒲叶片 MDA 含量与 SOD 活性和脯氨酸含量相关分析

Fig.1 The correlation analysis between MDA content, SOD activity and Pro content in the leaves of *I. pseudacorus*

3 结论与讨论

植物在逆境条件下, 体内的活性氧代谢平衡被打乱, 超氧自由基增多, 造成膜蛋白和膜脂损失, 从而破坏膜结构, 最终影响植物正常的生长代谢^[7]。研究中, Pb、NaCl 单一胁迫对黄菖蒲的伤害明显小于高浓度 Pb 和 NaCl 或高 NaCl 和 Pb 复合胁迫。在浓度 10 mmol/L Pb 和 100 mmol/L NaCl 复合胁迫下, 黄菖蒲地上部和地下部鲜重降幅分别达 35.6%、33.2%, 表明黄菖蒲对同等浓度 Pb、NaCl 单一胁迫的耐受性大于复合胁迫。

蛋白质、酶等结合, 引起蛋白质分子内和分子间的交联, 从而使之失活, 破坏生物膜的结构和功能。抗逆性强的植物之所以能在较为恶劣的环境中生存, 主要是其膜系统的稳定性较高, 另外, 植物的避性、耐性等一系列适应性代谢调节机制启动使其得以生存^[8]。试验中低浓度 Pb 和 NaCl 胁迫并未使黄菖蒲 MDA 含量发生明显变化, 说明黄菖蒲对此浓度 Pb、NaCl 复合胁迫相对不敏感, 具有一定的耐 Pb、NaCl 能力。但随着 Pb、NaCl 浓度增大, MDA 含量也急剧增加, 说明植物自身的调节作用是有限的。脯氨酸作为植物体内一种重要的渗透调节物质, 在植物细胞适应胁迫过程中起着极为重要的作

丙二醛是膜脂氧化的主要产物之一, 可与细胞膜上的

(下转第14875页)

3 结论与讨论

(1) 作为一个重要的生活史形状, 种子大小影响一个物种建群的许多方面, 包括种子扩散、种子萌发、幼苗存活率等^[14]。种子扩散保证植物在空间上的延续。种子萌发则保证植物在时间上的延续, 种子在大小、扩散、萌发能力等方面的变异, 促使种子能从时空上更有效地逃避不利的环境因素^[15], 从而提高物种对多变环境的适应能力。种子大小对萌发率、萌发速率和萌发时间的影响, 导致群落组成中幼苗的数量、竞争强度和竞争能力的差异。一般小种子产出成本低、周期短、数量多^[16-17], 具有扩散和长久的土壤种子库方面的优势, 可以分散风险, 所以被许多物种所选择。甘肃马先蒿属植物种子质量较轻、体积较小、数量较多, 这可能是其为适应无充足水源、长期干旱的自然环境而产生的一种生态适应性。

(2) 在自然生态环境中, 甘肃马先蒿是高寒草甸中典型的一年生植物, 其成熟种子在春天到夏初萌发^[18]。其原因可能是春季融雪为其提供了丰富的水源, 满足了种子萌发前的吸涨, 随着地温的不断升高, 至20℃左右时, 种子开始大量萌发。而在夏季, 尽管理论上种子依然具有很高的萌发潜力, 但由于高温引起的强烈的蒸腾作用使得盐分聚集在土壤表层, 给种子带来较强的盐分胁迫, 在一定程度上抑制了种子正常萌发。另外, 昼夜温差比较大的情况下马先蒿种子的萌发率和萌发速率都比较高。这种萌发机制确保了甘肃马先蒿种子在特殊的高寒生境下以及合适的季节里萌发, 因而增大了其幼苗存活的机率。

(3) 适宜的土壤含水量是种子萌发的重要保证^[19-20]。该试验结果表明, 沙子湿度从3.75%到7.00%时, 甘肃马先蒿种子的萌发率差异不显著($P > 0.05$), 但萌发速率逐渐升高。当沙土湿度超过7.00%时, 种子萌发延迟。这进一步体现了甘肃马先蒿种子对高山、高寒草甸特殊环境的广泛适应性。

(4) 甘肃马先蒿种子在萌发过程中只有一个萌发峰值, 萌发过程比较连续, 属于典型的机会主义物种, 能够在适宜条件下一次快速萌发, 优先占领生存空间, 并快速生长完成

生命周期, 具有时间和空间上的优势, 因此, 在一些小群落中容易成为优势种。种子连续萌发过程降低了个体死亡的风险, 这种萌发对策是对高寒草甸气候适应的必然结果。当萌发条件不适合时, 甘肃马先蒿种子的萌发时滞和萌发历期会延长, 在一定程度上增加其存活的几率, 这也是其长期适应干旱少雨自然环境的特性之一。

参考文献

- [1] 钟补求. 中国植物志(68卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [2] Il MPRICHUT W. Studien über die gattung pedicularis [J]. *Reptatium Novarum Specierum Regni Vegetabilis*, 1924, 20: 161 - 265.
- [3] 冯虎元, 安黎哲, 冯国宁. 甘肃马先蒿属植物的种类与分布 [J]. *西北植物学报*, 2000, 20(1): 106 - 611.
- [4] 钟补求, 张金谈. 马先蒿属的花粉形态和其与分类系统的关系 [J]. *植物分类学报*, 1965, 10(3): 257 - 281.
- [5] 钟补求, 张金谈. 马先蒿属的花粉形态和其与分类系统的关系 [J]. *植物分类学报*, 1965, 10(4): 357 - 374.
- [6] 王红, 李文丽, 蔡杰. 马先蒿属花冠形态的多样性与传粉式样的关系 [J]. *云南植物研究*, 2008, 25(1): 63 - 70.
- [7] 康金国, 贾忠建. 藜生马先蒿化学成分研究 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1997, 33(1): 69 - 74.
- [8] 王长增, 贾忠建. 长花马先蒿核苷类成分研究 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1996, 32(4): 87 - 91.
- [9] 王长增, 贾忠建. 中国马先蒿环烯醚萜、木脂素和苯丙素甙成分研究 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1996, 32(2): 64 - 68.
- [10] 吴臻, 李发荣, 杨健雄. 马先蒿属药用植物研究进展 [J]. *时珍国医国药*, 2002, 13(5): 305 - 307.
- [11] 西北高原生物研究所. 藏药志 [M]. 西宁: 青海人民出版社, 1991.
- [12] 马毓泉. 内蒙古植物志 第五卷 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1980.
- [13] 江苏新医学院. 中药大辞典(上册) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.
- [14] LEISHMAN MR, WRIGHT J, MOLES A T, et al. The evolutionary ecology of seed size [C] // FENNER M. *Seeds: the ecology of regeneration in Plant communities*, 2nd edn. Wallingford: CAB Publishing, 2000: 31 - 57.
- [15] LORD J, WESTOBY M, LEISHMAN MR. Seed size and phylogeny in six temperate floras: constraints, niche conservatism and adaptation [J]. *Am Nat*, 1995, 146: 349 - 364.
- [16] WILLSON MF. *Plant reproductive ecology* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [17] GRIME J P, MASON G, CURRIS A V, et al. A comparative study of germination characteristics in local floras [J]. *Ecol*, 1981, 69: 1017 - 1059.
- [18] 徐秀丽, 齐威, 卜海燕, 等. 青藏高原高寒草甸40种一年生植物种子的萌发特性研究 [J]. *草业学报*, 2007, 16(3): 74 - 80.
- [19] 曾彦军, 王彦荣, 保平, 等. 几种生态因子对红砂和霸王种子萌发与幼苗生长的影响 [J]. *草业学报*, 2005, 14(5): 24 - 31.
- [20] 林涛, 白玉娥, 魏青芸, 等. 光照、温度和水分条件对沙地云杉种子萌发影响的研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(2): 188 - 191.
- [5] QURESH MI, ABDIN MZ, QADIR S, et al. Lead-induced oxidative stress and metabolic alterations in *Cassia angustifolia* Vahl [J]. *Bd Hartarum*, 2007, 51(1): 121 - 128.
- [6] 吕芝香, 乙引. NaCl 对小麦苗叶片脯氨酸氧化酶活性和游离脯氨酸累积的影响 [J]. *植物生理学报*, 1992, 18(4): 376 - 382.
- [7] GALE J. *Plants in saline Environments* [M]. New York: Springer, 1975.
- [8] 於丙军, 章文华. NaCl 对大麦幼苗根系蛋白质和游离氨基酸含量的影响 [J]. *西北植物学报*, 1997, 17(4): 431 - 445.
- [9] 张开明, 黄苏珍, 原海燕, 等. 水生花卉黄菖蒲 Cu^{2+} 胁迫抗(耐)性研究 [J]. *江苏农业科学*, 2006(6): 217 - 219.
- [10] WANG L, WANG L S, WANG L, et al. Effects of Hg^{2+} on isozymes of peroxidase, catalase and superoxide dismutase in wheat seedlings [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2008, 9(5): 19 - 23.
- [11] 仇硕, 黄苏珍, 王鸿燕. Cd 胁迫对黄菖蒲幼苗4种抗氧化酶活性的影响 [J]. *植物资源与环境学报*, 2008, 17(1): 28 - 32.
- [12] GAO Y, ZHAO S Z, CHEN M, et al. Effects of sodium chloride stress on growth of sweet potato plantlets in vitro and in field [J]. *Agricultural Science & Technology*, 2008, 9(5): 27 - 30.

(上接第14861页)

用^[6]。随着Pb和NaCl浓度的升高, 黄菖蒲叶片中的SOD活性显著升高, 通过该组数据的相关性分析, 可知黄菖蒲的脯氨酸含量和抗氧化酶SOD活性均与MDA含量呈极显著正相关。综合分析认为脯氨酸的积累和SOD酶活性的升高有助于增强黄菖蒲的抗逆性, 其对逆境的适应机制以及耐性机理有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 韩玉林. 鸢尾属 (*Iris* L.) 植物铅积累、耐性及污染土壤修复潜力研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [2] HANYL, YUANHY, HUANGS Z, et al. Cadmium tolerance and accumulation by two species of *Iris* [J]. *Ecotoxicology*, 2007, 16: 57 - 63.
- [3] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [4] 张宪政. 作物生理研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1992.