

根际低氧对不同抗性牡丹植株 AsA-GSH 循环代谢的影响

郁 敏¹, 任 亚 萍², 米 银 法³, 崔 瑞 红⁴

(1. 中原工学院 信息商务学院, 河南 郑州 451191; 2. 河南城建学院 建筑与城市规划学院, 河南 平顶山 467036;
3. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003; 4. 河南科技大学 外国语学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要:以牡丹品种“洛阳红”“胡红”为试材,研究了2种牡丹根际低氧胁迫下 AsA-GSH 循环代谢应答机制。结果表明:2种牡丹叶、根内 H_2O_2 、GSSG 含量显著增加;总 AsA、AsA/DHA、AsA/DHA/GSH、总 GSH/GSSG、APX、GR 含量先增加后降低。峰值时“洛阳红”叶、根内 AsA/DHA 分别增加 42.7%、15.6%;“胡红”叶、根内 AsA/DHA 分别增加 24.3%、35.6%。第3天“洛阳红”叶、根内 GSH/GSSG 达最大值,分别比对照增加 29.1%、9.8%。第2天“胡红”叶、根内 GSH/GSSG 达最大值,分别比对照增加 42.3%、42.7%。表明低氧胁迫下“洛阳红”具有完善的 AsA-GSH 循环代谢调节机制和较好的 H_2O_2 清除能力,比“胡红”更耐根际低氧。

关键词:牡丹;幼苗;根际低氧胁迫;AsA-GSH 循环

中图分类号:S 685.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)16-0069-07

氧是线粒体电子传递链的末端受体,是植物正常生长代谢的必需条件。但环境 O_2 浓度过低、冬季冰封、土壤紧实、种子吸胀、灌溉不均、洪水^[1]、降水过多等常导致植物根际低氧,此时 ROS(活性氧自由基)可作为植物重要的信号启动自身保护酶和非酶体系抗氧化剂保护细胞避免遭受伤害^[2]。酶促清除系统包括:SOD(超氧化物歧化酶)、CAT(过氧化氢酶)和 POD(过氧化物酶)、APX(抗坏血酸过氧化物酶)、GR(谷胱甘肽还原酶)、DHA(脱氢抗坏血酸)^[3-4]等;非酶类清除系统包括 GSH(谷胱甘肽)、GSSG(氧化性谷胱甘肽)、AsA(抗坏血酸)、细胞色素 C、甘露醇、维生素 E 等。而 AsA 是植物普遍存在的重要光氧化和信号转导剂、抗氧化剂和酶辅因子,可消耗过剩的激发能。研究表明 AsA 可清除植物自由基,如单线态氧 1O_2 、 O_2^- 、 $HO\cdot$ 、 H_2O_2 等^[5],其含量与植物抗逆性存在显著的正相关关系。逆境胁迫下植物还可以通过改变 AsA 氧化还原势,调控细胞代谢^[6]。此外 AsA 还能维持另一重要抗氧化剂维生素 E 还原态,通过

AsA-GSH 循环间接清除 H_2O_2 ,抵制 ROS 对植物的伤害^[7]。但上述 AsA 功能性的发挥与 AsA-GSH 循环密切相关。这个循环中,AsA 作为 APX 的电子供体以清除 H_2O_2 ,氧化生成 MDHA。细胞内 AsA/DHA、GSH/GSSG 对植物的抗逆性十分重要。如,烟草抗淹水胁迫能力与叶片内 AsA/DHA、GSH/GSSG 密切相关^[8]。谷胱甘肽池是植物细胞中重要的氧化还原组分,如 GSSG 可以调节 GR 酶的表达;叶绿体中 GR 的表达可增加 GSH/GSSG 比值,高比值的 GSH/GSSG 能够提高植物的抗逆性^[9]。

牡丹(*Paeonia suffruticosa*)属芍药科芍药属植物,为我国重要的传统名花,人工栽培已有 2 000 多年。但栽培中牡丹生长耐旱怕涝,水涝时易造成根际缺氧致使烂根,阻碍生长,影响产量及观赏价值。为此,现以较耐淹水的牡丹“洛阳红”(P. *suffruticosa* cv. ‘Luoyanghong’)和不耐淹水的“胡红”(P. *suffruticosa* cv. ‘Huhong’)为试材,利用水培通 N_2 驱 O_2 处理的方法,研究了2种不同抗性的牡丹植株 AsA-GSH 代谢变化,以揭示其抗逆机制及生理差异,为牡丹的栽培管理和抗性育种提供理论依据和生产指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取较耐淹水的牡丹“洛阳红”(P. *suffruticosa* cv. ‘Luoyanghong’)和不耐淹水的“胡红”(P. *suffruticosa* cv. ‘Huhong’)3年生植株为试材^[10],均采自洛阳国际牡

第一作者简介:郁敏(1983-),女,硕士,讲师,现主要从事园林植物与观赏园艺等研究工作。E-mail:jimiapple@126.com.

责任作者:米银法(1977-),男,博士,副教授,现主要从事园艺植物育种及抗性生理等研究工作。E-mail:miyinf@sohu.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31101536);国家重点实验室开放课题资助项目(20120630);河南科技大学博士科研基金资助项目(09001473)。

收稿日期:2016-04-26

牡丹。试验所需试剂均购自于 Sigma 公司。

1.2 试验方法

试验于河南科技大学园林实验室进行。2015 年 3 月 5 日进行牡丹盆栽。6 月 20 日选生长一致的健壮植株,转入室内水培,定植于 1/2 倍 Hoagland 营养液(pH 5.5~6.5)的水槽中。水培室内保持 14 h 光照,光照强度 8 000~9 000 lx,昼温 20~25 °C,夜温 15~20 °C。每个处理 24 株,预培养 3 d。处理用溶氧调节仪(华东理工大学 FC680 型)控制营养液溶氧浓度(DO)维持在 0.9~1.1 mg·L⁻¹(低氧胁迫),对照用气泵正常通气(30 min·h⁻¹),维持营养液 DO 值为 8.0~8.5 mg·L⁻¹(通气对照)。试验共设 4 个处理:“洛阳红”对照(Lyh-CK)、“洛阳红”低氧(Lyh-H)、“胡红”对照(Hh-CK)、“胡红”低氧(Hh-H)。每 2 d 换 1 次营养液。2015 年 6 月 23—28 日进行低氧处理,参照孔祥生等^[10]的方法处理 6 d。处理第 1 天开始,每天 08:00 取顶部叶与幼根及时放入冰盒保存,带回实验室进行指标测定,各指标 3 次重复。

1.3 项目测定

1.3.1 H₂O₂ 含量测定 按照 UCHIDA 等^[11]方法。称取 1 g 叶、根,置 4 °C 预冷丙酮中研磨成匀浆,定容 5 mL,4 °C 3 000 r·min⁻¹ 离心 15 min,上清液即为酶液。然后

测定样品在 415 nm 处的吸光值。

1.3.2 GSH、GSSG 和 AsA 含量测定 GSH、GSSG 含量的测定参照文献^[12]的方法。AsA 含量测定参照 DENG 等^[8]的方法。

1.3.3 APX、GR 活性和 DHA 含量测定 APX、GR 活性的测定参照 CONSTAN-AGUILAR 等^[13]的方法。以 1 min 内 OD_{290nm} 变化 0.01 定义为 1 个酶活力单位,酶活性以 U·mg⁻¹ protein 表示。DHA 含量的测定参照文献^[12]的方法进行。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 及 DPS 9.5 软件进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 低氧胁迫下牡丹叶、根 H₂O₂ 含量变化

图 1 结果表明,2 种牡丹植株低氧处理时叶、根内 H₂O₂ 含量均比对照显著增加。这与低氧胁迫下的猕猴桃 O₂、H₂O₂ 含量升高的结果一致^[14]。相同胁迫条件下,“洛阳红”叶、根内 H₂O₂ 含量显著低于“胡红”。表明低氧胁迫下抗性强的“洛阳红”具有较好的 H₂O₂ 清除能力。

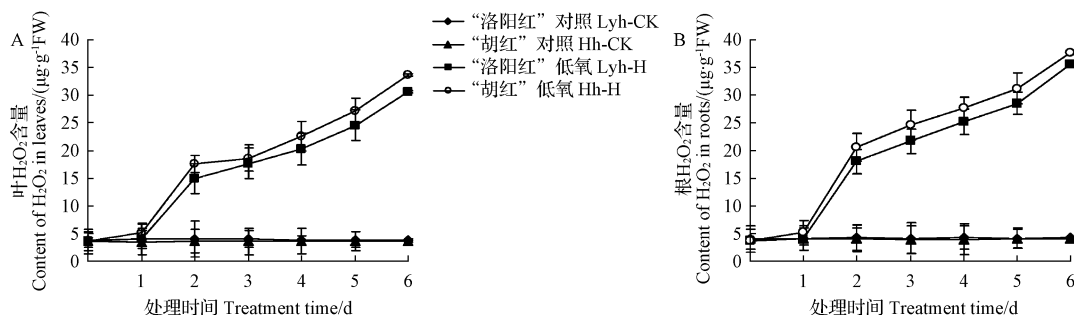


图 1 低氧胁迫下 2 种牡丹叶(A),根(B)内 H₂O₂ 含量变化

Fig. 1 Change of H₂O₂ content in leaves(A) and roots(B) of two peony varieties under hypoxia stress

2.2 低氧胁迫下牡丹叶、根 AsA 和 DHA 含量变化

由图 2 和图 3 可以看出,低氧胁迫条件下,2 种牡丹叶片、根系内的总 AsA 和 AsA 含量都呈先升高后降低的趋势。2 种牡丹叶片和根系内总 AsA 和 AsA 含量分

别在第 3、2 天时达最高值。峰值时,“洛阳红”叶片内总 AsA 和 AsA 含量分别比对照增加 53.9%、67.9%;根内总 AsA 和 AsA 含量分别比对照增加 112.0%、120.8%。“胡红”叶内总 AsA 和 AsA 含量分别比对照增加

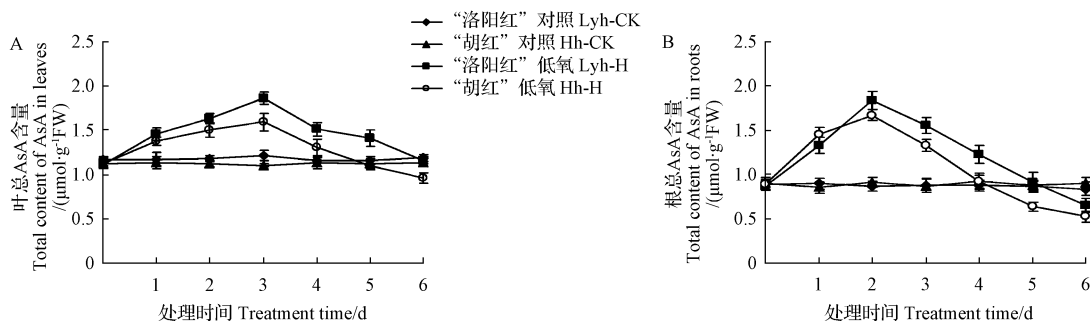


图 2 低氧胁迫下 2 种牡丹叶(A),根(B)总 AsA 含量变化

Fig. 2 Change of total AsA content in leaves(A) and roots(B) of two peony varieties under hypoxia stress

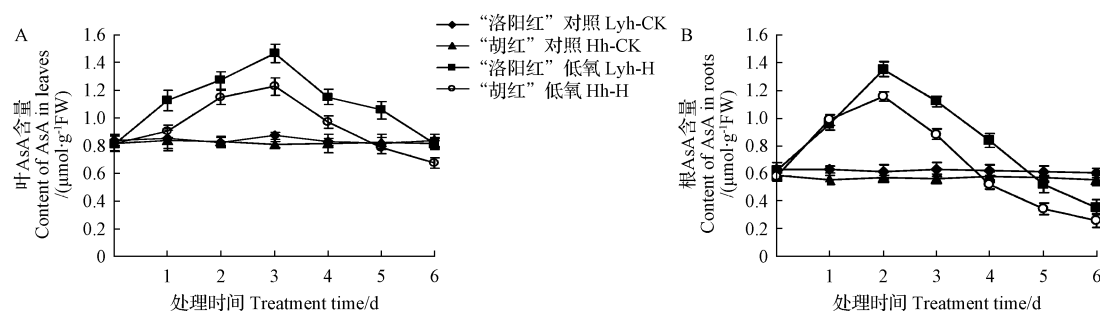


图3 低氧胁迫下2种牡丹叶(A),根(B)内 AsA 含量变化

Fig. 3 Change of AsA content in leaves(A) and roots(B) of two peony varieties under hypoxia stress

30.6%、52.1%；根内总 AsA 和 AsA 含量分别比对照增加 83.2%、103.3%。可见遭受低氧胁迫危害 2 d 后，抗性较强的“洛阳红”总 AsA 和 AsA 含量显著高于较敏感的“胡红”，且 2 种牡丹根比叶增加的幅度大，可见根对低氧胁迫的敏感性高于叶。图 2 和图 3 还表明，2 种抗低氧能力不同的牡丹叶、根内总 AsA 和 AsA 含量低于对照的时间也有差异。其中“洛阳红”根和“胡红”叶内总 AsA 及 AsA 含量在第 5 天后低于对照；而“胡红”根内总 AsA 和 AsA 含量在第 4 天后低于对照。

根际低氧胁迫过程中，与对照相比，“洛阳红”和“胡红”叶、根内 DHA 含量增加，分别在第 3、2 天达到峰值（图 4）。峰值时，“洛阳红”叶、根内 DHA 含量分别增加

17.7%、90.9%；“胡红”叶、根内 DHA 含量增加 22.4%、50.0%。叶、根内反映抗坏血酸氧化还原状态的 AsA/DHA 也是先上升后下降，2 种牡丹 AsA/DHA 第 3 天开始迅速低于对照（图 5）。与对照相比，最高值时“洛阳红”叶、根内 AsA/DHA 分别增加 42.7%、15.6%；“胡红”叶、根内 AsA/DHA 分别增加 24.3%、35.6%。牡丹叶、根内抗坏血酸含量和 AsA/DHA 的增加，在一定程度上缓解了低氧逆境造成的伤害，但胁迫后期缓解能力逐渐减弱。同时低氧胁迫时“洛阳红”比“胡红”叶、根系中总 AsA、AsA 含量及 AsA/DHA 前期增加多，且后期降低少，这也是“洛阳红”受害较“胡红”轻的主要原因之一。

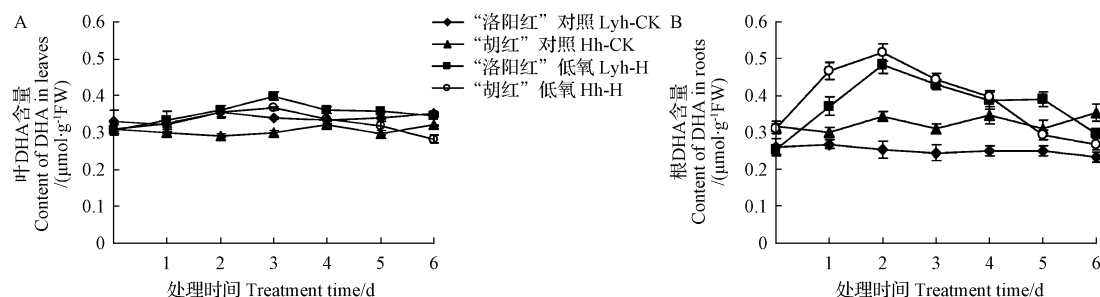


图4 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)DHA 含量变化

Fig. 4 Change of DHA content in leaves(A) and roots(B) of two peony varieties under hypoxia stress

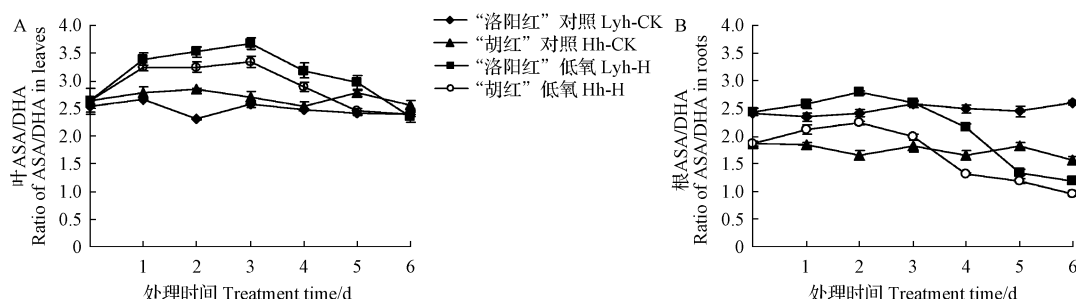


图5 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)AsA/DHA 变化

Fig. 5 Change of AsA/DHA in leaves(A) and roots(B) of two peony varieties under hypoxia stress

2.3 低氧胁迫下牡丹幼苗叶、根内总 GSH、GSH 和 GSSG 含量变化

随根际低氧胁迫时间的增加，2 种牡丹叶片、根系内

GSH 的含量均呈先升后降的变化趋势（图 6）。耐低氧能力较强的“洛阳红”叶片、根系内 GSH 含量均在第 3 天达到最大值，分别比对照增加 84.9%、72.6%。对低

氧较为敏感的“胡红”叶、根内 GSH 含量分别在第 3 天、第 2 天时达到最大值,分别比对照增加 87.2%、109.1%。但第 6 天时,“洛阳红”叶、根内 GSH 含量分别比对照降

低 35.8%、74.0%。“胡红”分别降低 79.8%、93.7%。可见,耐低氧胁迫能力较强的“洛阳红”叶、根内 GSH 含量降低的幅度低于对低氧敏感的“胡红”。

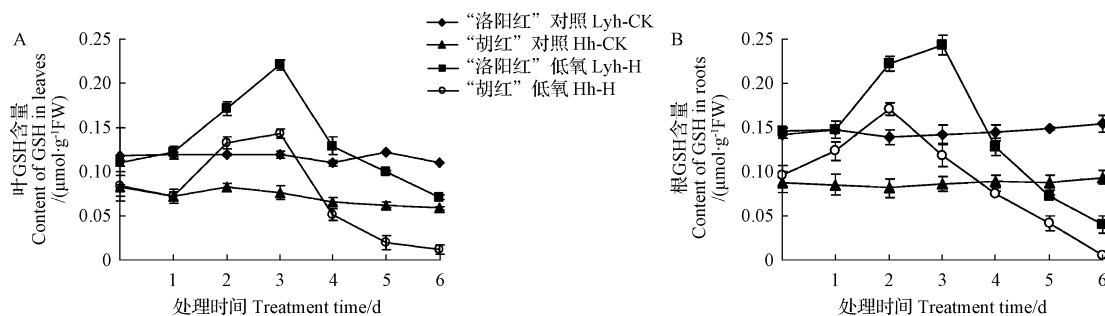


图 6 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)GSH 含量变化

Fig. 6 Change of GSH content in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

在胁迫过程中,2 种牡丹植株叶、根内总 GSH 含量变化趋势和 GSH 一致(图 7)。峰值时“洛阳红”和“胡红”叶中总 GSH 含量分别比对照增加 68.4%、68.2%;根中分别比对照增加 75.8%、54.9%。由图 8 可以看

出,随着胁迫时间延长,2 种牡丹叶、根内 GSSG 含量呈逐渐上升趋势。第 6 天时,“洛阳红”叶、根内 GSSG 含量分别比对照增加 68.8%、104.0%;“胡红”分别比对照增加 72.5%、211.1%。

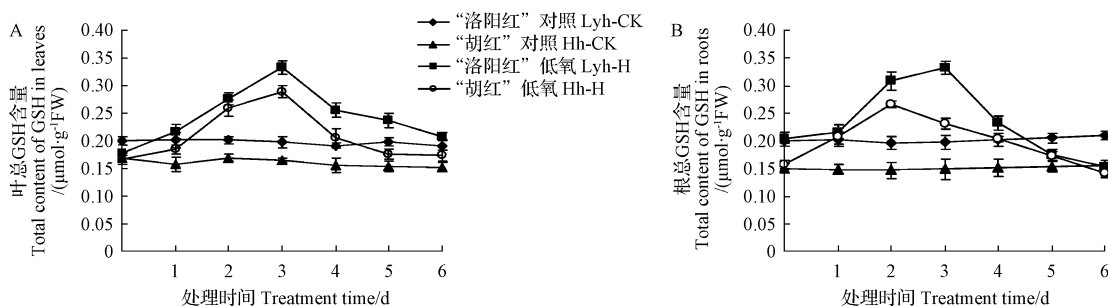


图 7 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)总 GSH 含量变化

Fig. 7 Change of total GSH content in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

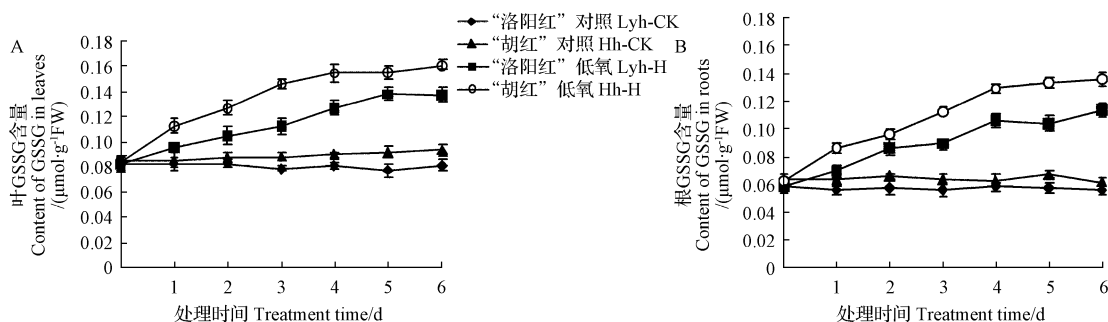


图 8 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)GSSG 含量变化

Fig. 8 Change of GSSG content in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

在胁迫过程中,2 种牡丹叶、根中表示谷胱甘肽氧化还原势的 GSH/GSSG(图 9)均表现先升后降的趋势。第 3 天时“洛阳红”叶、根内 GSH/GSSG 较对照分别增加 29.1%、9.8%。第 2 天时“胡红”达到峰值,叶、根内 GSH/GSSG 比对照分别增加 42.3%、42.7%。第 6 天时,“洛阳红”叶、根中 GSH/GSSG 分别降低了 62.0%、87.3%;“胡红”分别降低了 88.3%、97.2%。可见低氧胁迫中,“洛阳红”叶、根 GSH/GSSG 均高于“胡红”相应比值。

2.4 低氧胁迫下牡丹叶、根 APX、GR 活性变化

APX 能以 AsA 为底物清除 H_2O_2 ,降低逆境活性氧对植物的伤害。由图 10 可知,低氧胁迫条件下 2 种牡丹叶、根内 APX 活性均是先升后降,“洛阳红”叶、根分别在第 5 天,第 3 天达到最大值;“胡红”叶、根均在第 3 天达到最大值。最大值时,“洛阳红”和“胡红”叶、根内 APX 活性分别比对照增加 33.2%、44.5%;27.3%、39.2%。

由图 11 可知,低氧胁迫条件下,2 种牡丹叶、根内 GR 活性均先升后降。“洛阳红”叶和根内 GR 活性第 3 天达到

最大值,分别比对照增加 54.2%、77.1%。“胡红”叶和根内 GR 活性第 3 天最大值时比对照增加 55.4%、66.3%。

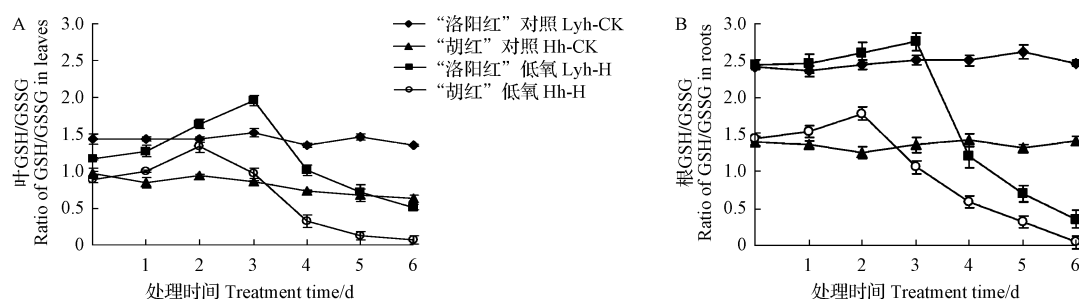


图 9 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)GSH/GSSG 比值变化

Fig. 9 Change of GSH/GSSG in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

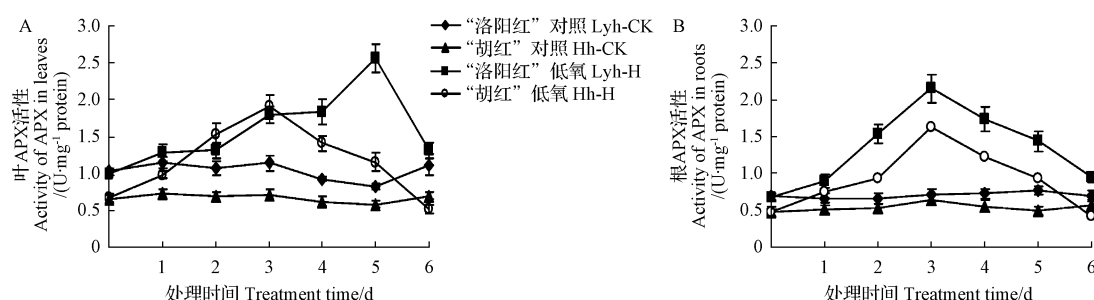


图 10 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)APX 活性变化

Fig. 10 Change of APX activity in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

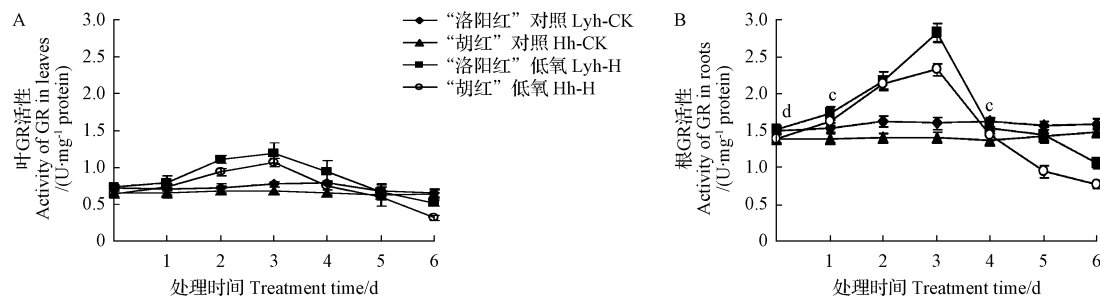


图 11 低氧胁迫下牡丹叶(A),根(B)GR 活性变化

Fig. 11 Change of GR activity in leaves(A)and roots(B)of peony varieties under hypoxia stress

3 讨论

逆境胁迫时,ROS 可作为信号分子激发植物体内抗氧化防御系统,植物依赖于抗坏血酸的 H_2O_2 清除酶活性增加^[15]。该试验结果表明,在胁迫过程中,抗低氧能力不同的 2 个牡丹品种中叶、根内 H_2O_2 含量比对照显著增加(图 1),但抗低氧能力较强的“洛阳红”叶、根内 H_2O_2 含量上升幅度小于“胡红”,说明其受到的伤害较小。根际低氧胁迫时,2 个牡丹品种叶和根内清除 H_2O_2 的 APX 活性增加,但随着胁迫加剧,超出了其清除能力,APX 活性开始下降,但第 5 天时,“洛阳红”叶片和根系内 APX 活性仍比“胡红”高(图 10),这与低氧胁迫下的苹果砧木平邑甜茶(耐低氧能力较强)APX 活性显著高于变叶海棠(对低氧胁迫敏感)的结果一致^[16]。

总 AsA 含量在植物体内所处的相对氧化还原状态

以及维持该状态所涉及代谢物质或酶的水平或活性的改变,对植物抵抗一系列环境胁迫非常重要。抗氧化物质的氧化型/还原型比值,如 AsA/DHA、GSH/GSSG,可以用作 ROS 清除机制调控的信号^[17-18]。该试验结果表明,在低氧胁迫过程中,2 个牡丹品种叶和根中 AsA、总 AsA 含量均是先上升后下降(图 2、3),这可能是由于 H_2O_2 的大量生成,诱发了 AsA 生成,但随着胁迫的加剧,后期清除 H_2O_2 需要消耗较多的 AsA,因而引起 AsA 含量的下降。在低氧胁迫后期,由于 AsA 含量的降低及它和 DHA 含量变化的共同作用(图 4),导致反映氧化还原状态的 AsA/DHA 后期显著下降(图 5)。且胁迫过程中“洛阳红”叶、根内 AsA/DHA 大于“胡红”(图 5),这同样也表明抗性强的“洛阳红”受到的伤害要小于“胡红”。

AsA 作为 APX 清除 H_2O_2 的电子供体,可以使植物避免 ROS 对光系统、呼吸系统的破坏作用^[19]。在清除 ROS 同时,AsA 自身氧化生成 MDHA,进而生成 DHA,DHA 可被 DHAR 还原(GSH 作为还原剂),生成 AsA^[20],从而实现 ASA 的再生。与“胡红”相比“洛阳红”叶、根较高的 DHA 活性非常有利于 AsA 的再生,从而能提高它的抗低氧能力。

GSH 和 GR 在植物细胞清除 ROS 的过程中也起重要作用。在 AsA-GSH 循环中,APX 还原 H_2O_2 时,也将 DHA 还原为 AsA,GSH 同时被氧化成 GSSG。GSSG 在 GR 催化下,利用 NADPH 的电子再将 GSSG 还原为 GSH。该试验中根际低氧胁迫初期,2 个牡丹品种叶、根中 GSH 含量先上升但随后显著下降(图 6),可能是由于胁迫初期其合成能力增强,但随着胁迫加剧,AsA-GSH 循环需要更多量的 GSH 参与,才能清除逆境 ROS 积累,致使胁迫后期 GSH 水平降低,但 GR 可以维持胞内总 GSH 含量,催化 GSSG 还原为 GSH^[21]。因此低氧胁迫期间,抗性较强的“洛阳红”叶、根中 GSH 含量高于抗性较弱的“胡红”,可能与其高活性的 GR 直接相关(图 11)。该试验中 2 个牡丹品种叶、根中 GSSG 含量升高(图 8)且 GSH/GSSG 降低(图 9),说明根际低氧胁迫过程中,2 个品种都受到了伤害,但抗性较强的“洛阳红”叶、根 GSH/GSSG 大于抗性弱的“胡红”,这也是“洛阳红”较抗低氧的一个重要原因。

参考文献

- [1] KIRK G J D, GREENWAY H, ATWELL B J, et al. Adaptation of rice to flooded soils[J]. *Progress in Botany*, 2014, 75: 215-253.
- [2] MOHD I, SHAMSUL H, QAISER H, et al. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging[J]. *Protoplasma*, 2010, 241: 3-17.
- [3] MIRZA H, MOHAMMAD A H, JAIME A, et al. Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress; antioxidant defense is a key factor[J/OL]. *Crop Stress and Its Management: Perspectives and Strategies*, 2011, 10 (18): 261-315. <http://DOI 10.1007/978-94-007-2220-0>.
- [4] TEOTIA S, SINGH D. Oxidative stress in plants and its management [J/OL]. *Approaches to Plant Stress and their Management*, 2014 (1): 227-253. http://DOI 10.1007/978-81-322-1620-9_13.
- [5] KADIOGLU A, SARUHAN N, SAGLAM A, et al. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system[J]. *Plant Growth Regul*, 2011, 64: 27-37.
- [6] SHAN C J, LIANG Z S. Jasmonic acid regulates ascorbate and glutathione metabolism in *Agropyron cristatum* leaves under water stress[J]. *Plant Sci*, 2010, 178: 130-139.
- [7] TALUKDAR D, TALUKDAR T. Coordinated response of sulfate transport, cysteine biosynthesis, and glutathione-mediated antioxidant defense in lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes exposed to arsenic[J]. *Protoplasma*, 2013 (9): 26.
- [8] DENG B L, JIN X H. Riboflavin spraying impairs the antioxidant defense system but induces waterlogging tolerance in tobacco[J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35: 2769-2776.
- [9] HOSSAIN M A, MOSTOFA M G, FUJITA M. Cross protection by cold-shock to salinity and drought stress-induced oxidative stress in mustard (*Brassica campestris* L.) seedlings[J]. *Mol Plant Breed*, 2013 (4): 50-70.
- [10] 孔祥生, 张妙霞, 王学永, 等. 水分胁迫下 2 个牡丹品种生理生化差异比较[J]. *林业科学*, 2011, 47 (9): 162-167.
- [11] UCHIDA A, JAGENDORF A T, HIBINO T, et al. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice[J]. *Plant Science*, 2002, 163: 515-523.
- [12] KARUPPANAPANDIAN T, KIM W. Cobalt-induced oxidative stress causes growth inhibition associated with enhanced lipid peroxidation and activates antioxidant responses in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) leaves[J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35: 2429-2443.
- [13] CONSTAN-AGUILAR C, LEYVAR, BLASCO B, et al. Biofortification with potassium; antioxidant responses during postharvest of cherry tomato fruits in cold storage[J/OL]. *Acta Physiol Plant*, 2010, 10, 22. <http://DOI 10.1007/s11738-013-1409-4>.
- [14] 米银法, 马锋旺, 马小卫. 根际低氧对不同抗性猕猴桃幼苗抗氧化系统的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41 (12): 4328-4335.
- [15] PADH H. Cellular functions of ascorbic acid[J]. *Biochemistry and Cell Biology*, 1990, 68: 1166-1173.
- [16] 白团辉, 马锋旺, 李翠英, 等. 水杨酸对根际低氧胁迫下八棱海棠幼苗活性氧代谢的影响[J]. *园艺学报*, 2008, 35 (2): 163-168.
- [17] MOSTOFA M G, YOSHIDA N, FUJITA M. Spermidine pretreatment enhances heat tolerance in rice seedlings through modulating antioxidative and glyoxalase systems[J/OL]. *Plant Growth Regul*, 2014, 73 (1): 31-44 [2016-02-23]. <http://DOI 10.1007/s10725-013-9865-9>.
- [18] LUBICA H, KATARINA V, JANA H, et al. Effect of abiotic stresses on glutathione peroxidase and glutathione S-transferase activity in barley root tips[J/OL]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, 47: 1069-1074 [2016-01-10]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.08.003>.
- [19] DAVEY M W, van MONTAGU M, INZÉ D, et al. Plant L-ascorbic acid; chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80: 825-860.
- [20] ASADA K. Mechanisms for scavenging reactive molecules generated in chloroplasts under light stress[M]//BARBER N R, BOWYER J R. *Photoinhibition of photosynthesis*. Oxford: Biological Scientific Publishers, 1994: 129-142.
- [21] ASADA K. The water-water cycle in chloroplasts; scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1999, 50: 601-639.

Effect of Root Zone Hypoxia Stress on AsA-GSH Between Two Peony Varieties

YU Min¹, REN Yaping², MI Yinfu³, CUI Ruihong⁴

(1. College of Technology Information Business, Zhongyuan University, Zhengzhou, Henan 451191; 2. College of Architecture and Urban Planning, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan, Henan 467036; 3. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003; 4. School of Foreign Language, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003)

熵 AHP 层次分析法对引种玉簪品种的综合评价

许玉凤¹, 于瀚翔², 伊宏峰³, 杨绮文¹, 邵美妮¹, 曲波¹

(1. 沈阳农业大学 生物科学技术学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110866;

3. 辽宁省林业种苗管理总站, 辽宁 沈阳 110036)

摘要:以沈阳市植物园引进的 40 种玉簪品种为试材, 采用熵技术与 AHP 法相结合的方法, 得到了玉簪花卉的观赏价值综合评价模型, 利用该模型对所选试材进行综合计算和评价, 以期得到引种玉簪花卉的综合评价值。结果表明: 根据评价模型将引种玉簪品种划分为 4 个等级, 其中 I 级品种有 3 个, II 级品种有 12 个, III 级品种有 16 个, IV 级品种有 9 个。该研究旨在为玉簪花卉在园林景观中的应用提供一定的理论指导。

关键词:AHP; 熵技术; 玉簪; 综合评价

中图分类号:S 682.1⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)16-0075-06

玉簪(*Hosta*)属百合科多年生草本植物。株型丰富多样, 叶型、叶色独具特色, 加之喜阴、抗逆性强的特性, 是花叶俱佳的观赏花卉。我国虽为原产地之一, 但种类较少, 仅有白玉簪(*Hosta plantaginea*)、紫萼玉簪(*H. ventricosa*)、东北玉簪(*H. ensata*)和白粉玉簪(*H.*

albofarinosa)4 种, 许多绿化应用的玉簪品种都是从国外引进。而对于引进玉簪品种, 为确定其在当地市场应用推广价值, 需要重新对其生物学特性、观赏特性等方面进行筛选和评价^[1]。

层次分析法是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂于 20 世纪 70 年代初提出。该方法将相关问题分为若干层次, 通过建立两两比较的判断矩阵, 并计算矩阵最大特征根和特征向量, 从而求得指标层对于目标层重要性的权重数值, 并通过一致性检验使其具有说服力^[2]。王万平等^[3]对武汉市公园绿地景观进行综合评价分析, 说明武汉市公园绿地景观整体处于较高水平, 为武汉地区公园绿化建设提出宝贵意见。张贝等^[4]利用层次分析法对青岛引进的 54 个品种的宿根花卉进行综合评价,

第一作者简介:许玉凤(1970-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事园林植物引种栽培及生理生态学研究。E-mail: xyfwwy1970@163.com.

责任作者:曲波(1972-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事生物多样性保护与资源开发利用工作。E-mail: Syau_qb@163.com.

基金项目:辽宁省科学事业公益研究基金资助项目(2015003013)。

收稿日期:2016-04-26

Abstract: The objectives of this research were to study the effect of hypoxia stress on AsA-GSH system and the mechanism of how free radicals to be scavenged between two different resistance of *Paeonia suffruticosa* under hypoxia stress. Two 3-year-old strong, uniform peony varieties seedling (*P. suffruticosa* cv. 'Luoyanghong' and *P. suffruticosa* cv. 'Huhong', the former was quite resistant, while the latter was much sensitive to hypoxia according to the preparatory experiments.) were selected and planted in hydroponics. Nutrient solutions were aerated with nitrogen to induce hypoxia stress conditions. Activities of reactive oxygen species (ROS)-scavenging enzymes including ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), contents of antioxidants such as ascorbic acid (AsA), glutathione (GSH), ratio of total AsA to oxidative ascorbic acid (AsA/DHA), ratio of GSH to oxidative glutathione (GSH/GSSG) were investigated as well as the contents of H₂O₂ of leaves and roots. The results showed that, under hypoxia stress, activities of AsA, AsA, DHA, AsA/DHA, GSH, total GSH, GSH/GSSG, APX, GR were all stimulated and increased greatly in leaves and roots. The growth rate and activity peaks of AsA-GSH anti-active oxygen enzymes in leaves and roots of 'Luoyanghong' were higher than those of 'Huhong'. The contents of H₂O₂ in leaves and roots under hypoxia stress increased significantly. However, the increase ratio and peak contents of H₂O₂ in leaves and roots of 'Luoyanghong' were much lower than those of 'Huhong'. In conclusion, 'Luoyanghong' held higher tolerance to root-zone hypoxia stress than 'Huhong'.

Keywords: *Paeonia suffruticosa*; seedling; hypoxia stress; AsA-GSH cycle system