

外源人参皂苷对人参种子萌发和 幼根抗氧化酶活性的影响

张爱华, 雷锋杰, 许永华, 周国兴, 张连学*

吉林农业大学中药材学院, 吉林长春 130118

摘要: 研究不同浓度外源人参皂苷(人参总皂苷, 人参二醇组皂苷, 人参三醇组皂苷, Rb 族, Rb₃, Re 共 4 种皂苷混合物和两种单体皂苷)对人参种子萌发, 幼苗根长、鲜重, 幼根中抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响。结果表明: 所测试人参皂苷对人参种子萌发、人参幼苗根生长和幼根鲜重增加均具有抑制化感效应, 且抑制程度均随处理浓度的升高而增强; 对人参幼根中抗氧化酶活性方面, 不同浓度人参总皂苷, 人参二醇组皂苷, 人参三醇组皂苷处理后, 人参根系中 SOD, POD 和 CAT 活性均有明显提高, 呈现出各酶活性随浓度升高而逐渐增强的效应; 人参皂苷 Rb 族处理后, SOD 活性在低中浓度处理时, 与对照差别不大, 中高浓度处理后低于对照, POD 活性在中高浓度处理后显著提高, 高浓度处理后活性降幅较大难以恢复到对照水平, CAT 活性均低于对照; 人参皂苷 Rb₃ 处理后, SOD 活性均低于对照水平, POD 活性在低浓度处理时与对照相当, 中高浓度处理后显著低于对照水平, CAT 活性逐渐降低, 在低中浓度处理时略高于对照, 高浓度处理后低于对照水平; 人参皂苷 Re 处理后, SOD 和 POD 活性均显著低于对照。人参幼根中 MDA 含量均随着处理浓度的增加而升高。

关键词: 人参种苗; 人参皂苷; 抗氧化酶

文章编号: 1000-0933(2009)09-4934-08 中图分类号: Q143, Q945, Q948, S314 文献标识码: A

Effects of ginsenosides on the germinating of ginseng seeds and on the activity of antioxidant enzymes of the radicles of ginseng seedlings *in vitro*

ZHANG Ai-Hua, LEI Feng-Jie, XU Yong-Hua, ZHOU Guo-Xing, ZHANG Lian-Xue*

College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4934 ~ 4941.

Abstract: This paper investigated the effect of ginsenosides (four ginsenoside mixtures including total ginsenosides, panaxadiol ginsenosides, panaxatriol ginsenosides, ginsenosides-Rb group, and two monomer ginsenosides- ginsenoside-Rb₃ and ginsenoside-Re) on the germinating of ginseng seeds, the root length of seedlings, the fresh weights, the activity of antioxidant enzyme in radicles and the content of MDA *in vitro*. Results have shown that: the above ginsenosides all had inhibitory effects on seed germinating, the growth of seedling roots and the fresh weight, with the inhibitory effect increasing with treatment concentration. The SOD, POD and CAT activity in ginseng roots all increased when treated by total ginsenosides, panaxadiol ginsenosides and panaxatriol ginsenosides at various concentrations, indicating that the activities of enzymes increase with concentration. When treated by ginsenoside-Rb group, SOD activity showed no significant difference over the control group at low to medium treatment concentrations, and was lower than the control group at medium to high treatment concentrations; POD activity significantly increased at medium to high treatment concentration, and dropped to a level lower than the control group when treated by high treatment concentrations; CAT activities were all lower than the control group; when treated by ginsenoside-Rb₃, SOD activities were all lower than the control group, POD activity equaled to the control group at lower treatment concentrations, and was significantly lower than the control group at medium to high

基金项目: 国家高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20050193005); 国家“十一五”科技支撑计划子课题资助项目(2006BAI09B04-02)

收稿日期: 2009-05-06; 修订日期: 2009-06-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zlx863@163.com

treatment concentration; CAT activity gradually decreased, and was slightly higher than the control group at low to medium treatment concentrations, and was lower than the control group at high concentrations; when treated by ginsenoside-Re, SOD and POD activities were all significantly lower than the control group. All ginsenosides treatments were accompanied by an increased MDA content.

Key Words: ginseng seedling; ginsenosides; Antioxidant enzymes

人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.) 是五加科人参属重要药用植物。人参忌连作,栽过一茬参的地要 30a 后才能再栽参。人参的连作障碍已经成为制约人参生产的一大障碍。关于人参连作障碍产生的机理,已有大量研究报道。以往研究认为栽参土壤理化性质变劣和病原微生物的积累是人参连作障碍的主要原因,但通过改良土壤和彻底灭菌并不能解决人参连作障碍问题。目前,大多研究者从植物生态学角度研究人参忌连作问题,提出人参化感作用是人参忌连作原因的新观点。已有研究表明,人参连作与其自身的化感作用有关,化感作用被认为是导致连作障碍的因素之一^[1-7]。近来,有关植物对环境胁迫中的抗氧化系统研究倍受青睐^[8-17]。但有关人参对化感物质作出反应时其抗氧化酶活性的作用等方面报道甚少,人参根系分泌物中除一般植物根系分泌的可溶性糖和氨基酸以外,还分泌一种人参所特有的物质,即人参皂苷^[18]。人参皂苷是人参的重要次级代谢产物,按其结构不同,人参皂苷主要分为人参二醇型皂苷、人参三醇型皂苷和齐墩果酸型皂苷三类,具有多种重要的生理活性。本文主要将人参皂苷作为外加处理物质,设置不同浓度水平,通过研究人参皂苷对人参种子萌发方面及根系中 SOD, POD 和 CAT 等多种抗氧化防御酶系活性的影响,探讨了人参种子及幼根对外源皂苷的生理适应性反应,为进一步揭示人参连作障碍的内在本质原因提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

人参总皂苷,人参二醇组皂苷,人参三醇组皂苷,人参皂苷 Rb 族,人参皂苷 Rb₃ 和人参皂苷 Re, 由吉林农业大学张春红提供,精确分别称量以上皂苷各 1 g, 其中人参皂苷 Re 先用少量甲醇溶解后,蒸馏水定容至 100 ml, 其余均用蒸馏水溶解并定容至 100 ml。

1.2 人参种子发芽试验

在直径 12 cm 的培养皿内铺双层滤纸,放入 30 粒已经裂口且通过生理后熟的人参种子,分别取上述皂苷稀释液(分别稀释至 12.5, 25, 50 mg/L 和 100 mg/L) 5 ml 加入培养皿中,以加入 5 ml 蒸馏水为对照(CK)。然后置于 18℃ 的培养箱中 12 h/d 光照条件下培养发芽,每 24 h 换 1 次滤纸和稀释液。每 24 h 统计 1 次发芽率,待对照全部发芽后,分别用游标卡尺测根长,用分析天平测根鲜重,各处理重复 3 次。

1.3 人参幼根抗氧化酶活性测定

取已经裂口通过生理后熟的人参种子,剥掉种壳,用自来水冲洗干净后,超净工作台中,用 2% 次氯酸钠溶液进行表面消毒 8~10 min, 无菌水冲洗 3~4 次,用无菌滤纸吸取多余的无菌水,挑胚,将人参种胚种植于 1/2 MS 培养基中,培养基 pH=6.0, 用 100 ml 三角瓶,每瓶装培养基 40 ml, 高压湿热灭菌(121℃, 20 min)。光照培养箱中 22℃ 培养。待人参幼苗培养 6 周后,长出 3 小叶组成的复叶时,用细菌滤器将不同类型皂苷水溶液过滤除菌后分别添加到培养基中,使其在培养基中的浓度各达到 12.5, 25, 50 mg/L 和 100 mg/L, 对照添加适量无菌水。在各皂苷处理 12h 后测定幼根中的抗氧化酶活性。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 可溶性蛋白含量测定

考马斯亮蓝 G-250 染色法^[19]。

1.4.2 粗酶液的制备

(1) 称取人参幼根 0.5 g, 在预冷的研钵中加 1 ml 预冷的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.0) 在冰浴上研磨

成匀浆,加入缓冲液使终体积为 5 ml,在 4 ℃ 条件下 15000 g 离心 20 min,上清液即为粗酶提取液。

(2)超氧化物歧化酶(SOD)活性测定

核黄素-NBT 法^[19]。以每毫克蛋白质每分钟抑制氯化硝基氮蓝四唑(NBT)光化还原 50% 为 1 个酶活性单位(U),酶活性以 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ protein}$ 表示。

(3)过氧化物酶(POD) 活性测定

愈创木酚比色法^[19]。以每毫克蛋白质每分钟 A_{470} 变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活性单位(U),酶活性以 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ protein}$ 表示。

(4)过氧化氢酶(CAT)活性的测定

紫外吸收法^[19]。以每毫克蛋白每分钟 A_{240} 减少 0.1 的酶量为 1 个酶活单位(U),酶活性以 $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}\text{ protein}$ 表示。

1.4.3 MDA 含量测定

硫代巴比妥酸(TBA)比色法^[19]。

1.5 数据分析

试验分随机区组排列,每个处理 3 次重复。所有数据均采用 SAS 统计软件进行方差分析,平均值在 $P = 0.05$ 或 0.01 水平上进行显著性测定。

2 结果与分析

2.1 人参皂苷对人参种子萌发的影响

所测试皂苷对人参种子萌发均产生化感效应,对人参种子萌发均具有抑制作用,抑制程度随处理浓度的升高而增强,与对照相比,差异显著。其中在各处理浓度下,人参二醇组皂苷对人参种子萌发的抑制作用最强,在皂苷浓度为 50 mg/L 和 100 mg/L 时,种子萌发率分别降低了 76% 和 85%,结果见表 1。

表 1 人参皂苷对人参种子萌发的影响

Table 1 Effects of ginsenosides made from *Panax ginseng* on seed germination(%)

皂苷浓度 Ginsenosides conc. (mg/ L)	总皂苷 Total ginsenosides	人参皂苷二醇组 Panaxadiol ginsenosides	人参皂苷三醇组 Panaxatriol ginsenosides	人参皂苷 Rb ₃ Ginsenosides-Rb ₃	人参皂苷 Re Ginsenosides-Re	人参皂苷 Rb 族 Ginsenosides- Rb group
12.5	53.4±3.5 **	28.6±0.6 **	88.6±2.1 *	84.0±2.0 *	83.4±2.1 *	85.4±0.6 *
25	52.6±0.6 **	26.0±2.6 **	80.0±0.0 *	81.4±1.5 *	76.3±2.4 **	67.4±3.1 **
50	46.0±4.0 **	20.6±4.7 **	79.4±0.6 *	76.6±2.9 **	72.5±1.5 **	64.0±3.5 **
100	44.6±4.2 **	14.6±4.5 **	67.4±5.7 **	72.0±4.4 **	69.3±2.7 **	56.0±3.5 **
对照	96.7±1.6	96.7±1.6	96.7±1.6	96.7±1.6	96.7±1.6	96.7±1.6

ns,差异不显著,* 和 ** 分别代表 $P<0.05$ 或 $P<0.01$ 水平差异显著 Ns: not significant; * and ** represent significant difference over control at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively

2.2 人参皂苷对人参幼苗根长和鲜重的影响

根部是植物从环境中最早接触化感物质的器官,各人参皂苷均对人参幼苗根长生长具有抑制作用,该抑制作用随处理浓度的升高而呈现上升的趋势。人参总皂苷,人参二醇组皂苷各处理浓度与对照比较,呈显著差异,人参皂苷 Rb₃和人参皂苷 Rb 族,在中高浓度处理时抑制效应较强,人参皂苷 Re 各浓度处理与对照差异不显著。在最高处理浓度 100 mg/L 时,人参总皂苷,二醇组皂苷,三醇组皂苷, Rb₃, Re 和 Rb 族,对人参幼苗根长生长的抑制率分别是 51.38%,78.00%,23.72%,45.98%,12.17% 和 32.81% (图 1)。

植物幼苗的鲜重是表征其生物量的一个常用指标,且对外界环境胁迫较为敏感,因而被用作生物测定的指标。各人参皂苷处理后人参幼苗鲜重均不同程度减少,在最高处理浓度 100 mg/L 时,人参总皂苷,二醇组皂苷,三醇组皂苷, Rb₃, Re 和 Rb 族,对人参幼苗鲜重分别比对照减少了 62.50%,48.29%,28.14%,34.23%,26.81% 和 32.39% (图 2)。

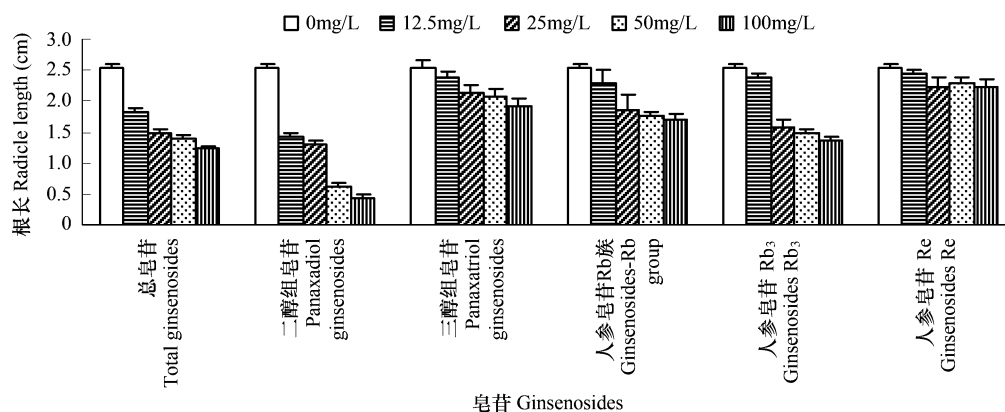


图1 人参皂苷对人参幼苗根长的影响

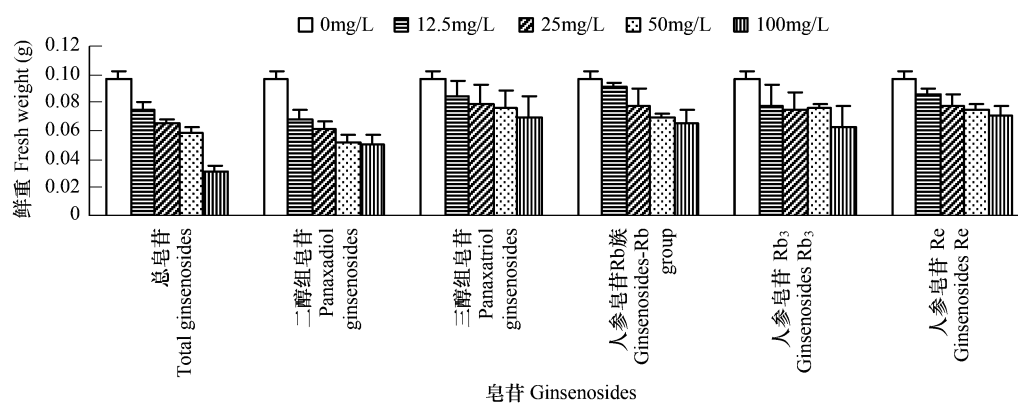
Fig. 1 Effects of ginsenosides made from *Panax ginseng* on seedling radicle length (cm)

图2 人参皂苷对人参幼苗鲜重的影响

Fig. 2 Effects of ginsenosides made from *Panax ginseng* on seedling fresh weight (mg)

2.3 人参皂苷对人参幼根抗氧化酶活性的影响

测定后发现,不同浓度的人参总皂苷,二醇组皂苷,三醇组皂苷均能提高人参根系中 SOD, POD 和 CAT 的活性,且呈现各酶活性随各处理浓度的升高而逐渐增强的效应。其中二醇组皂苷对人参根系中 SOD 和 CAT 活性提高最显著,而人参总皂苷对 POD 活性提高最显著(图3~图5)。

人参皂苷 Rb 族处理后,在 12.5 ~ 25 mg/L 浓度范围内, SOD 活性略有升高,但与对照相比差异并不显著,在 50 ~ 100 mg/L 浓度范围内,对 SOD 的活性效应相反,呈现降低趋势,与对照相比差异显著,在 100 mg/L 浓度处理后, SOD 活性比对照降低了 30.4%; 在 12.5 ~ 50 mg/L 浓度范围内, POD 活性随处理浓度升高而逐渐升高,在 50 mg/L 浓度处理时 POD 活性达到峰值,比对照提高了 50.47%。当浓度升高至 100 mg/L 时, POD 活性却显著下降,比对照降低了 68.71%; Rb 族各处理浓度对 CAT 的活性均低于对照(图3~图5)。

人参皂苷 Rb₃ 处理后, SOD 活性均低于对照,且随处理浓度升高 SOD 活性逐渐降低,在 100 mg/L 浓度处理后, SOD 活性比对照降低了 34.8%; 对 POD 活性影响方面,只有在 12.5 mg/L 浓度处理时, POD 活性略高于对照但无显著差异,而随着处理浓度的升高,在 25 ~ 100 mg/L 浓度范围内, POD 活显著降低,试验中高浓度(100 mg/L)皂苷处理后 POD 活性比对照降低了 61.67%; 对 CAT 活性影响方面,在 12.5 ~ 50 mg/L 浓度范围内,高于对照但效果并不明显,当浓度升高至 100 mg/L 时,却低于对照,差异不显著(图3~图5)。

人参皂苷 Re 处理后, SOD 和 POD 活性均低于对照,差异显著,试验中高浓度(100 mg/L)人参皂苷 Re 处理后, SOD 和 POD 活性分别降低了 40.69%, 71.26%, CAT 活性在 12.5 ~ 50 mg/L 浓度范围内,高于对照,当

浓度升高至 100 mg/L 时,却效果相反,低于对照,差异不显著(图 3 ~ 图 5)。

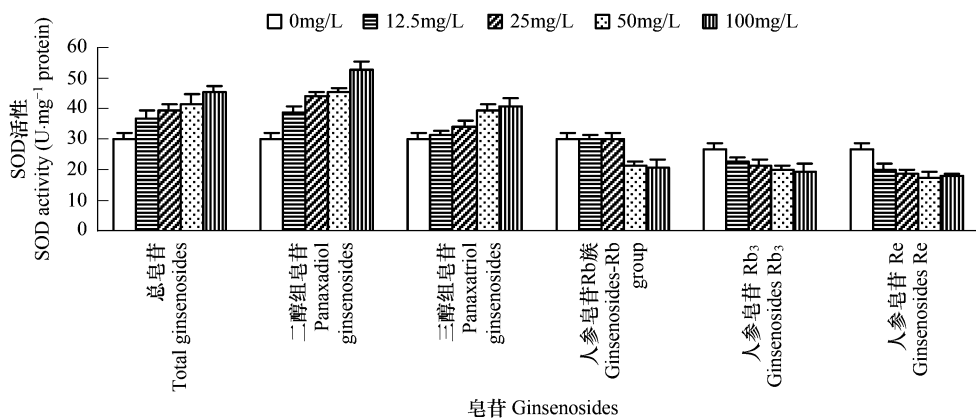


图 3 人参皂苷对人参种苗幼根中 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of ginsenosides on SOD activity in ginseng seedlings root



图 4 人参皂苷对人参种苗幼根中 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of ginsenosides on POD activity in ginseng seedlings root

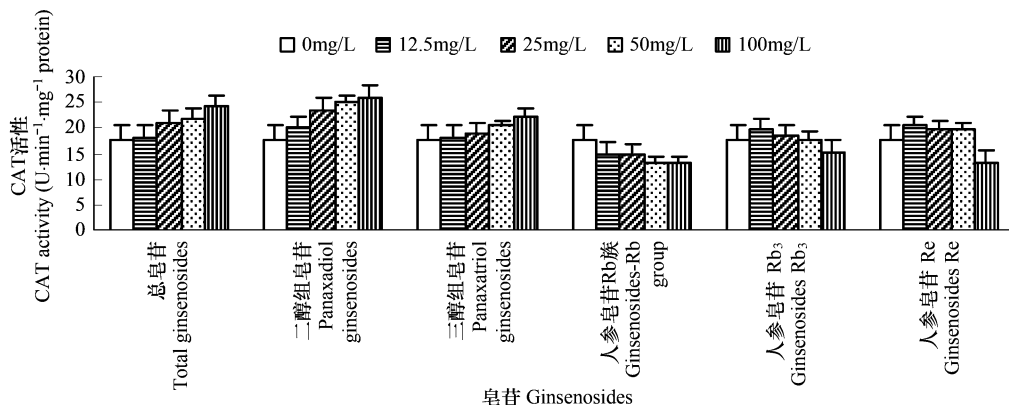


图 5 人参皂苷对人参种苗幼根中 CAT 活性的影响

Fig. 5 Effects of ginsenosides on CAT activity in ginseng seedlings root

2.4 人参皂苷对人参根系丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化作用的主要产物之一,MDA在植物体内的积累是活性氧毒害的表现,

其含量是判断膜脂过氧化程度的一个重要指标。测试后发现,所测试皂苷对人参根系 MDA 含量影响呈现一致,均随着浓度的升高而增加,增加次序为:人参总皂苷 > 二醇组皂苷 > 三醇组皂苷 > Rb 族 > Rb₃ > Re,其中总皂苷和二醇组皂苷与对照相比较呈显著差异。进一步表明在外源人参皂苷处理下人参幼根受到胁迫后产生了膜脂过氧化反应,细胞受到一定的伤害。结果见图 6。

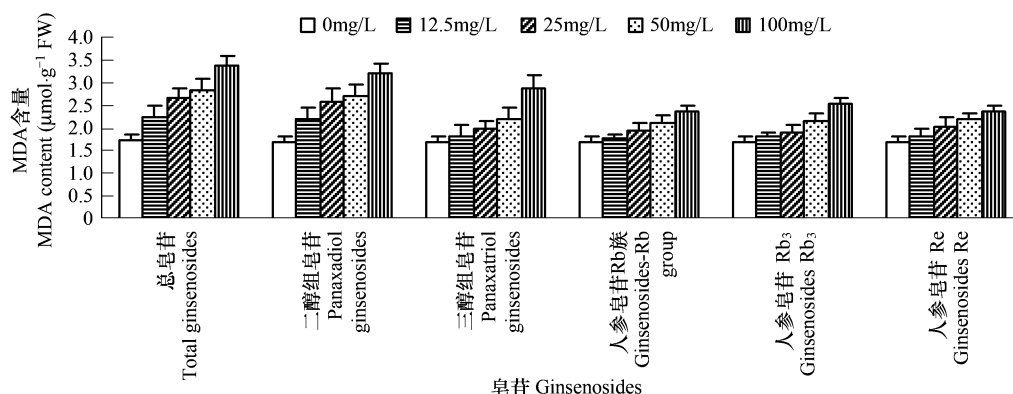


图 6 人参皂苷对人参种苗幼根中 MDA 含量的影响

Fig. 6 Effects of ginsenosides on MDA content in ginseng seedlings root

3 结论与讨论

人参皂苷是人参体内重要的次生代谢产物,含量达到 3% 左右,大多数学者都研究人参皂苷在人参预防治疗人类疾病方面的相关研究,取得了不少成果。而国内外都有学者发现人参、西洋参在其生长过程中,能通过根系分泌少量皂苷^[18, 20],这些微量皂苷是否在人参、西洋参忌连作方面起着作用?

本文以外源人参皂苷为研究对象,研究了外源人参皂苷对人参种子萌发和种苗幼根抗氧化酶活性的影响。通过研究发现所测试人参皂苷对人参种子萌发、人参幼苗根长生长和幼根鲜重增加均具有抑制化感效应,且抑制程度均随处理浓度的升高而增强。

正常情况下,植物体内活性氧与自由基的清除处于动态平衡之中,一旦这种平衡受到破坏,自由基和活性氧便积累,膜内脂质双分子层中含有的不饱和脂肪酸就易于被氧化分解而造成膜的破坏^[21]。丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化作用的主要产物之一。用人参皂苷处理人参幼苗后发现,各皂苷处理后均伴随着 MDA 含量的升高,表明人参幼根在外源人参皂苷处理下,叶片中原有的活性氧产生和清除平衡被破坏,对膜脂产生不可逆的过氧化伤害。在逆境条件下生物体内代谢过程产生的自由基对植物膜系统有伤害作用,但生物体自身有一种酶保护系统来清除产生的自由基以减轻伤害。POD, SOD, CAT 是 3 种重要的细胞保护酶。不同浓度人参总皂苷,人参二醇组皂苷,人参三醇组皂苷处理后,人参根系中 SOD, POD 和 CAT 活性均有明显提高,呈现出各酶活性随浓度升高而逐渐增强的效应,表明氧化胁迫导致了人参根系细胞中抗氧化酶活性的提高,然而这种增加并不与 AOS(活性氧自由基)的产生相呼应,因而导致了人参根系细胞的膜质过氧化;人参皂苷 Rb 族处理后, SOD 活性在低中浓度处理时,与对照差别不大,中高浓度处理后低于对照, POD 活性在中高浓度处理后显著提高,高浓度处理后活性降幅较大难以恢复到对照水平, CAT 活性均低于对照。当植物受到高度逆境胁迫时,保护性酶活力的上升不足以抵抗逆境胁迫,植物细胞的一些结构被破坏,代谢及生理功能紊乱,保护性酶(SOD)活性随之会下降,最终 SOD 和 CAT 清除能力下降,可能导致大量活性氧的剩余,加重膜质过氧化水平;人参皂苷 Rb₃ 处理后, SOD 活性均低于对照水平, POD 活性在低浓度处理时与对照相当,中高浓度处理后显著低于对照水平, CAT 活性在低中浓度处理时略高于对照而高浓度处理后低于对照水平, SOD 清除能力的下降,人参根系细胞内仍无法建立活性氧的产生与清除的平衡系统,细胞自身的自我保护机制不能发挥作用,使得根系细胞无法进行正常生理代谢,而抑制了其生长;人参皂苷 Re 处理后, SOD 和 POD 活性均显著低于对照,表明人参细胞内 SOD、POD 的清除能力下降,使人参细胞内氧化胁迫水平超过了清除速率因

而导致了 AOS 的积累及人参根系细胞的膜质过氧化。植物在逆境下受到的伤害或植物对逆境的不同抵抗能力往往与体内 SOD 活性水平有关。逆境下植物正常氧代谢受干扰,一方面提高了活性氧产率,另一方面又破坏了以 SOD 为主导的细胞保护系统。植物在这双重因素作用下,加速膜脂过氧化链式反应、增加过氧化有害产物积累、导致了细胞膜系统破坏及大分子生命物质的损害,最后出现植物死亡。

通过本文的研究,证实了人参皂苷是人参忌连作的化感因子之一,丰富了人参忌连作研究的理论内涵,进一步揭示了人参连作障碍的内在本质原因。

References:

- [1] Chen C B, Xu S Q, Liu J Y, Li C Y, Wang Y P, Zhang L X. Study on the Influence of Ginseng Allelopathy on Growth of Ginseng Callus. Journal of Tongji Univerdity (Medical Science), 2006, 27(5): 37—38,45.
- [2] Chen C B, Xu S Q, Liu J Y, Wang Y Y, Yan S, Xu S Q, Zhang L X. Allelopathy of Ginseng Rhizosphere and Its Effect on Germination of Seed. Journal of Jilin Agricultural University, 2006, 28(5):534—537,541.
- [3] Chen C B, Wang Y Y, Liu J Y, Yan S, Xu S Q, Zhang L X. The Identify for the Allelochemical of the Soil of Ginseng Rhizosphere. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2006,28(2):12—14.
- [4] Li Y, Huang X F, Ding W L, Zhang R. Allelopathic effects of soil extracts on the growth of ginseng seeds and its chemical composition. Ecology and Environment, 2008, 17 (3):1173—1178.
- [5] Li Y, Huang X F, Ding W L. Effects of nutrient deficiency on principal components of ginseng root exudates. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19 (8):1688—1693.
- [6] Li Y, Zhu D L, Huang X F, Ding W L. Inhibition of different soil extracts on growth of ginseng seeds. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2008, 39 (7):1070—1074.
- [7] L i Y, Liu S L, Huang X F, Ding W L. Allelopathy of ginseng root exudates on pathogens of ginseng. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1):161—168.
- [8] Halliwell B. Oxidative damage, lipid peroxidation, and antioxidant protection in chloroplasts. Chem Phys Lipids, 1987, 44: 327—340.
- [9] Bowler C, van Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol, 1992, 43: 83—116.
- [10] Walker M A, Mckensie B D. Role of the ascorbate-glutathione antioxidant system in chilling resistance in tomato. J. Plant Physiol, 1993, 141: 234—239.
- [11] Jagtap V, Bhargava S. Variation in the antioxidant metabolism of drought tolerant and drought susceptible varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. exposed to high light, low water and high temperature stress. J Plant Physiol, 1995, 145: 195—197.
- [12] Shalata A, Tal M. The effects of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*. Physiol Plant, 1998, 104: 169—174.
- [13] Prasad K V S K, Saradhi P P, Sharmila P. Concerted action of antioxidant enzymes and curtailed growth under zinc toxicity in *Brassica juncea*. Envir and Exp Bot, 1999, 42: 1—10.
- [14] Yu J Q, Ye S F, Zhang M F, Hu W H. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*), and allelochemicals on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber. Biochem Syst Ecol, 2003, 31:129—139.
- [15] Mohammad Babar Ali, Yaser Hassan Dewir, Eun-Joo Hahn, Kee-Yoeup Paek, Effect of carbon dioxide on antioxidant enzymes and ginsenoside production in root suspension cultures of *Panax ginseng* Environmental and Experimental Botany, 2008, 63:297—304.
- [16] Agrawal S B, Shweta Mishra. Effects of supplemental ultraviolet-B and cadmium on growth, antioxidants and yield of *Pisum sativum* L. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009, 72: 610—618.
- [17] Mohammad Babar Ali, Nguyen Trung Thanh, Kee-Won Yu, Eun-Joo Hahn, Kee-Yoeup Paek, Hyung Lae Lee. Induction in the antioxidative systems and lipid peroxidation suspension culture roots of *Panax ginseng* induced by oxygen in bioreactors. Plant Science, 2005, 169: 833—841.
- [18] Yang J C, Li Z P, *et al.* Root secretions of ginseng and their effects on the microbes in rhizosphere of ginseng. Journal of Northeast Normal University, 1982(1):71—77.
- [19] Zhang Z A, Zhang M S, Wei R H. The Experimental Guide for Plant Physiology. Beijing: China Agricultural Sciencetecn Press, 2004. 75—76,132—137.
- [20] Nicol R W, Traquair J A, Bernards M A. Ginsenosides as host resistance factors in American ginseng (*Panax quinquefolius*). Can J Bot, 2002, (80): 557—562.
- [21] Yu SW, Tang Z C. Plant Physiology and Molecular Biology. Beijing: Science Press, 1998. 366—389.

参考文献:

- [1] 陈长宝,许世泉,刘继永,李昌禹,王英平,张连学. 人参化感物质对人参愈伤组织生长的影响. 同济大学学报(医学版), 2006, 27(5): 37 ~38,45.
- [2] 陈长宝,刘继永,王艳艳,焉石,许世泉,张连学. 人参根际化感作用及其对种子萌发的影响. 吉林农业大学学报,2006,28(5):534 ~537,541.
- [3] 陈长宝,刘继永,焉石,许世泉,张连学. 人参根际土壤中化感物质鉴定. 特产研究,2006,28(2):12~14.
- [4] 李勇,黄小芳,丁万隆,张锐. 不同土壤提取物对人参种子生长的化感效应及其化学组成. 生态环境, 2008,17(3):1173~1178.
- [5] 李勇,黄小芳,丁万隆. 营养元素亏缺对人参根分泌物主成分的影响. 应用生态学报,2008,19(8):1688~1693.
- [6] 李勇,朱殿龙,黄小芳,丁万隆. 不同土壤浸提物对人参种子生长抑制作用的研究. 中草药,2008,39(7):1070~1074.
- [7] 李勇,刘时轮,黄小芳,丁万隆. 人参(*Panax ginseng*)根系分泌物成分对人参致病菌的化感效应. 生态学报,2009,29(1):161~168.
- [18] 杨靖春,丰治平,酒井斐子. 人参根系分泌物及其对人参根际微生物作用的研究. 东北师范大学学报:自然科学版,1982(1):71~77.
- [19] 张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导. 见:张治安主编. 北京:中国农业科学技术出版社,2004. 75~76,132~137.
- [21] 余叔文,汤章诚. 植物生理与分子生物学. 见:余叔文主编. 北京:科学出版社,1998. 366~389.