

水分对玄参地上部生长及叶片保护酶活性的影响

冯晓丽¹,梁宗锁^{1,2},李国峰³

(1 西北农林科技大学 生命科学学院,陕西 杨凌 712100;2 中国科学院 水土保持与生态环境研究中心,陕西 杨凌 712100;3. 镇坪县农业科学技术研究所,陕西 镇坪 725600)

[摘要] 【目的】揭示水分对玄参生长前期地上部分生长的影响,探讨玄参抗逆反应中各保护酶的作用,为玄参规范化栽培中的水分供应提供理论依据。【方法】在严重干旱(土壤含水量为 400~450 g/kg,SD)、中度干旱(土壤含水量为 500~550 g/kg,MD)、适宜水分(土壤含水量为 700~750 g/kg,CK)和过湿水分(土壤含水量为 800~850 g/kg,HW)处理条件下,对玄参株高、叶面积、叶片叶绿素含量、可溶性蛋白含量及 4 种保护酶(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX))的活性进行测定,研究水分对玄参株高、叶面积、叶片叶绿素含量、可溶性蛋白含量以及 4 种保护酶活性的影响。【结果】与适宜水分相比,严重干旱、中度干旱和过湿水分处理均明显抑制了玄参株高和叶面积的增长($P<0.05$);处理第 13~33 天玄参叶片叶绿素含量偏低。各处理对叶片可溶性蛋白含量的影响表现为 13 d 时促进可溶性蛋白的合成,其后则对可溶性蛋白的合成表现出抑制作用。SOD 和 APX 活性在处理过程中变化比较复杂,而 POD 和 CAT 活性在处理前期较高,后期逐渐下降。【结论】不适宜的水分供应可抑制玄参株高和叶面积的增加;造成玄参叶片叶绿素含量在处理的第 13~33 d 间偏低;导致玄参叶片可溶性蛋白合成在 13 d 时增加,13 天后则受到抑制。水分处理对 SOD 和 APX 活性影响较大,对 POD 和 CAT 活性的影响仅在发生在处理前期;严重干旱和适度干旱处理对玄参各保护酶活性具有较大影响。

[关键词] 玄参;生长发育;土壤水分;保护酶活性

[中图分类号] S567.5⁺3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)08-0229-06

Effects of soil water content on the growth of the overground parts and antioxidant capability in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

FENG Xiao-li¹, LIANG Zong-suo^{1,2}, LI Guo-feng³

(1 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 The Centre of Soil and Water of Conservation and Ecoenvironmental Research of the Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Agricultural Scientific Institute of Zhenping County, Zhenping, Shaanxi 725600, China)

Abstract: 【Objective】The study was done in order to learn the relationship of prophase growth and the dynamic variations of SOD, POD, CAT and APX activity of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl. and water condition. 【Method】The shoot height, leaf area, chlorophyll content, soluble protein content and dynamic variations of SOD, POD, CAT and APX activity in leaves were studied under the condition that *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl. were treated with four levels of soil water content which were respectively serious drought ($\theta f = 400-450$ g/kg, SD), moderate drought ($\theta f = 500-550$ g/kg, MD), check sample ($\theta f = 700-750$ g/kg, CK) and high water ($\theta f = 800-850$ g/kg, HW) in order to learn the effect of different

* [收稿日期] 2007-09-14

[基金项目] 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-04-0954);西北农林科技大学拔尖人才支持计划项目(05-22)

[作者简介] 冯晓丽(1984—),女,陕西延安人,在读硕士,主要从事中药材规范化生产理论与技术研究。

E-mail: fengxiaoli_2325@126.com

[通讯作者] 梁宗锁(1965—),男,陕西扶风人,教授,博士,博士生导师,主要从事中草药规范化栽培的理论与技术研究。

E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

water treatments on the shoot height, leaf area, chlorophyll content, soluble protein content and dynamic variations of SOD, POD, CAT and APX activity in leaves. 【Result】 The research showed that the shoot height and single leaf area of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl. were significantly restrained under SD, MD and HW treatment ($P<0.05$), and the chlorophyll contents in leaves were also lower than that of the CK treatment. The effect of SD, MD and HW treatment on the soluble protein content was more significant than the CK treatment on the 13th day of the treatment, and were restrained after the 13th day. SOD and APX activity changed in a complicated way during the treatment; POD and CAT activity decreased with the prolonging of the treatment time. 【Conclusion】 Under SD, MD and HW treatment, the growing of shoot height and single leaf area were restrained; The chlorophyll contents of SD, MD and HW treatment were a little lower than that of CK treatment between the 13th and the 33th day after treatment; Soluble protein increased in the 13th day, and was restrained after the 13th day under SD, MD and HW treatment. The effect of water treatment was more significant for SOD and APX activity, and the effect for POD and CAT activity happened in the early stage of the treatment. The enzymes were more sensitive in the SD treatment and the MD treatment.

Key words: *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl. ; growth; water condition; activity of the protective enzyme

玄参(*Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.)又名元参、黑参、玄台等,为玄参科多年生草本植物,以其圆柱形块根入药,具有凉血滋阴、泻火解毒等功效^[1]。现代医学研究证明,玄参及其提取物还具有保肝、抗凝血、抗肿瘤等作用^[2-4]。截至目前,国内外关于玄参的研究多集中在其与临床相关的药理、药用成分等方面^[5-7],而关于玄参水分生理方面的研究还未见报道。

自由基伤害学说认为,植物体内始终存在活性氧的产生和清除两个过程。正常情况下,二者处于平衡状态,而在逆境或衰老过程中,自由基代谢平衡被破坏,大量产生的自由基会对细胞和组织产生毒害^[8]。本试验系统地研究了水分对玄参地上部生长、生理及超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)4种保护酶活性的影响,以期揭示水分对玄参前期生长及生理因素的影响,为其规范化栽培中的水分供应提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

玄参芽头为陕西省安康市镇坪县玄参 GAP 基地培育的脱毒种芽,选取直径 1.5~2 cm 健康种芽进行盆栽。

1.2 供试土样

试验在西北农林科技大学水土保持研究所盆栽场的防雨棚内进行。盆栽土按 V(塬土):V(河沙)

:V(蚯蚓粪)=5:1:2 配制,每盆 9.2 kg。栽植容器为上口径 35.0 cm、下口径 22.0 cm、高 27.0 cm 的塑胶盆。土壤田间含水量(θf)为 281 g/kg,容重 2.0 kg/L,有机质 34 g/kg,全氮 0.15 g/kg,碱解氮 10 mg/kg,速效磷 31 mg/kg,速效钾 92 mg/kg,pH 为 7.6。

1.3 试验设计

2007-03-16 栽种,每盆 5 个子芽,栽种深度约为 3 cm,待苗长至 5 cm 左右时进行土壤水分处理。人工设置 4 个水分处理,其土壤含水量(θf)分别为 400~450 g/kg (严重干旱,SD)、500~550 g/kg (中度干旱,MD)、700~750 g/kg (适宜水分,CK)和 800~850 g/kg (过湿水分,HW)。每处理重复 9 盆,每盆保留 2 株苗,于每天 17:00~18:00 用精度千分之一的称称取盆重,补充当天失去的水分,使各处理保持在设定的土壤含水量范围内。每天上午 07:00 左右随机采取健康植株的上部成熟叶片(采样量大于试验用量的 2 倍),擦净后用锋利的剪刀剪成 1~2 mm 的细丝,充分混匀后立即用精度千分之一的天平称重,每处理做 3 组重复。

1.4 测定指标与方法

株高采用直尺测量;叶面积采用 CI-202 手持式 CCD 叶面积扫描仪测定;叶绿素采用丙酮浸提法^[9]测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[9];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定,以将 NBT 的光化还原反应抑制到适宜水分 1/2 时所需的酶量为 1 个酶活力单

位(U),以 $U/(g \cdot h)$ 表示^[9];过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法^[9]测定;抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性参照高俊凤^[9]的方法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定,以每 min 内 A_{240} 下降 0.1 所需的酶量为 1 个酶活单位(U),以 $U/(g \cdot min)$ 表示^[9];

试验中所有吸光度均用 Unico 仪器有限公司生产的 UV2802H 型紫外可见分光光度计测定。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对玄参株高和单株叶面积的影响

图 1 显示,玄参的株高增长呈现 2 个时期,1~

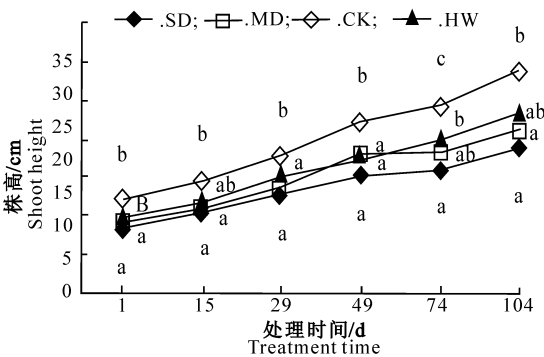


图 1 不同水分处理对玄参株高的影响

图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Fig. 1 Effect of different soil water treatments on shoot height of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

Data with different letters are significantly different ($P < 0.05$) in the same treatment time.

2.2 不同水分处理对玄参叶片叶绿素和可溶性蛋白含量的影响

由图 3 可见,SD、MD、HW 处理的叶片叶绿素

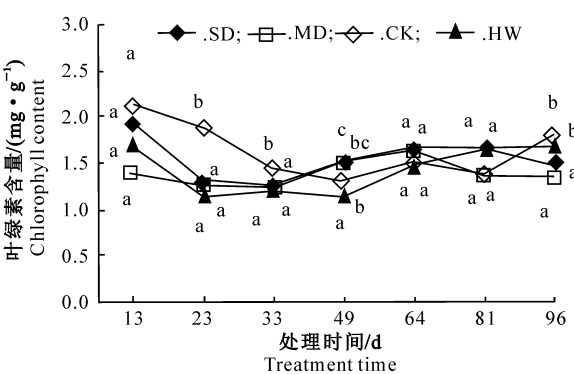


图 3 不同水分处理对玄参叶片叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of different soil water treatments on chlorophyll content in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

49 d 玄参生长速度比较缓慢,49~104 d 生长速度较快;4 个水分处理玄参株高增长趋势相似;在整个水分处理期间,SD、MD 和 HW 处理的株高均低于 CK,且在大部分时间都与 CK 差异达显著水平($P < 0.05$)。

叶片是植物进行光合、蒸腾以及物质生产的重要器官,水分胁迫使叶片扩展受到抑制,从而影响总叶面积^[10]。图 2 显示,随着水分处理时间的延长,4 个处理的单株叶面积均增大,SD 和 MD 处理的叶面积增长比较缓慢,HW 和 CK 处理的叶面积增长较快。不同处理间单株叶面积的差异均达到显著水平,各处理叶面积由小到大依次表现为 $SD < MD < HW < CK$ 。

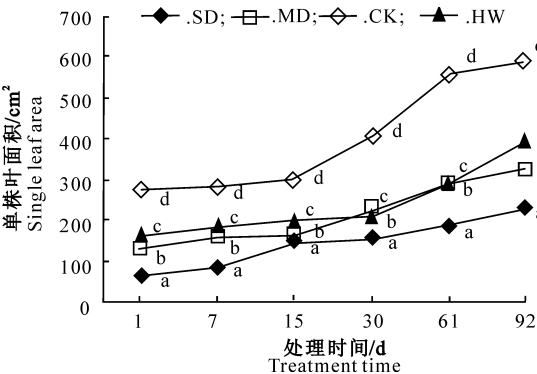


图 2 不同水分处理对玄参单株叶面积的影响

Fig. 2 Effect of different soil water treatments on single leaf area of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

含量在处理的第 13~33 天均低于 CK,且在第 23 天和第 33 天时有明显差异;33 d 后各处理叶片的叶绿素含量与 CK 相差不多。

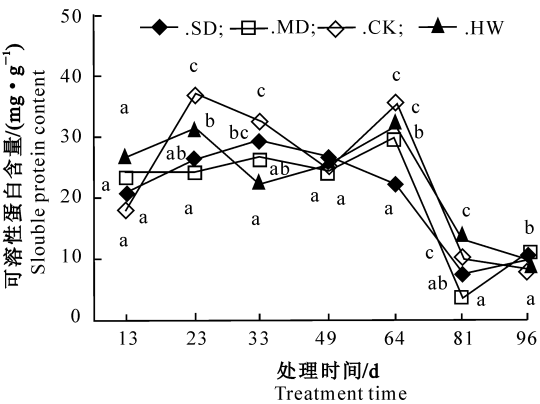


图 4 不同水分处理对玄参可溶性蛋白含量的影响

Fig. 4 Effect of different soil water treatments on soluble protein content in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

图 4 显示,第 13 天时,SD、MD 和 HW 处理的蛋白含量均高于 CK;在处理第 23,33,64 天,SD 和 MD 处理的可溶性蛋白含量均低于 CK 和 HW 处理,表明 SD、MD 和 HW 处理在第 13 天时可促进蛋白的合成,13 d 后各处理蛋白合成均受到不同程度的抑制。在整个试验期间,HW 处理不如 SD、MD 处理与 CK 差异明显。

2.3 不同水分处理对玄参叶片 SOD 活性的影响

SOD 是植物体内清除活性氧的第一道防线,可以催化氧自由基生成 H_2O_2 ,其活性受底物氧自由基浓度的影响^[11-12]。图 5 显示,各处理的 SOD 活性随处理时间的不同而变化,除 23 和 33 d 外,MD 处理与 CK 在其他时间的差异均不显著;在第 33 天各

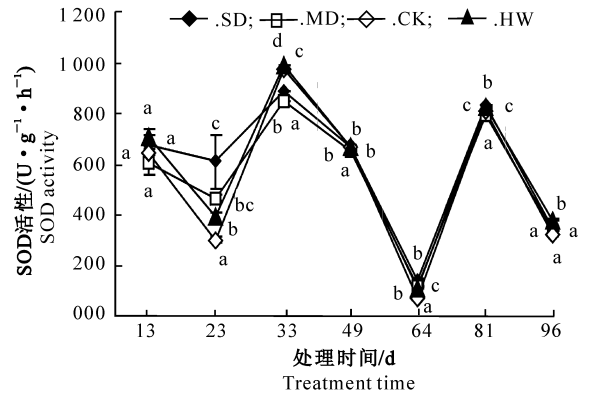


图 5 不同水分处理对玄参叶片 SOD 活性的影响
Fig. 5 Effect of different soil water treatments on SOD activity in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

2.5 不同水分处理对玄参叶片 POD 活性的影响

POD 是植物体内清除 H_2O_2 的关键酶之一。由图 7 可知,在处理的 13~96 d,4 个水分处理的 POD 活性总体上呈现先增后降的变化趋势;第 23 天时,各处理的 POD 酶活性均达到最高,其大小顺

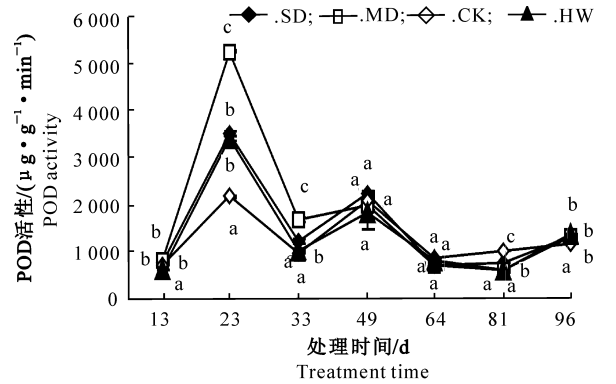


图 7 不同水分处理对玄参叶片 POD 活性的影响
Fig. 7 Effect of different soil water treatments on POD activity in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

处理间差异均达显著水平;第 64 天,各处理的 SOD 活性均降到最低,且 SD、MD 和 HW 处理均与 CK 有显著差异。

2.4 不同水分处理对玄参叶片 APX 活性的影响

APX 主要负责叶绿体内 H_2O_2 的清除^[13]。由图 6 可见,APX 活性在整个水分处理期内变化复杂;CK 处理呈降—升—降—升—降的变化趋势;SD 处理的 APX 活性一直处于较高水平;MD 处理的 APX 活性在一个范围内上下波动;HW 处理的 APX 活性呈降—升—降的变化趋势。表明 SD 处理对 APX 活性影响最大,MD 处理次之,HW 处理最小。

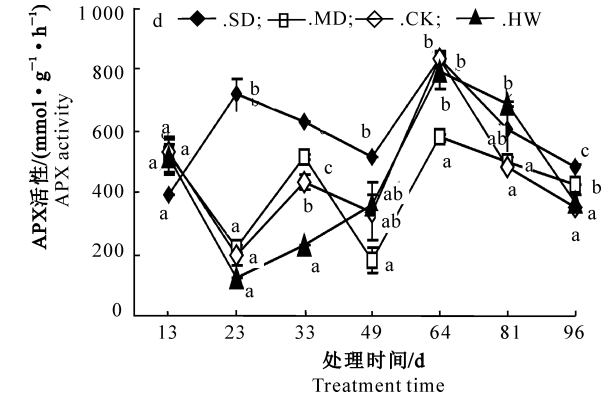


图 6 不同水分处理对玄参叶片 APX 活性的影响
Fig. 6 Effect of different soil water treatments on APX activity in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

序依次为 MD>SD>HW>CK;33 d 后,POD 酶活性在低水平范围内波动。说明 MD 处理对 POD 活性的激发最为有效,水分处理对 POD 活性的影响仅发生在处理前期。

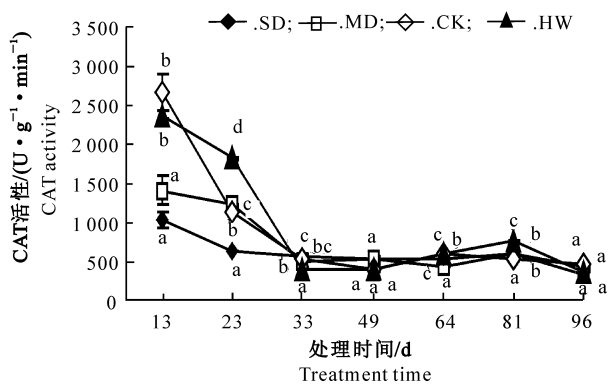


图 8 不同水分处理对玄参叶片 CAT 活性的影响
Fig. 8 Effect of different soil water treatments on CAT activity in leaves of *Scrophularia ningpocnsis* Hemsl.

2.6 不同水分处理对玄参叶片 CAT 活性的影响

CAT 是植物体清除 H_2O_2 的主要酶。由图 8 可以看出,在整个水分处理期内,CAT 活性持续下降,于处理的 33 d 后基本趋于稳定;在处理 13 d 时,CAT 酶活性由高到低依次表现为 $CK > HW > MD > SD$;23 d 时,SD 处理的酶活最低,HW 处理酶活最高;33 d 以后,各处理间差异不明显。说明干旱处理抑制了 CAT 活性的提高,HW 处理有利于 CAT 活性的保持,水分处理对 CAT 活性的影响仅发生在处理前期。

3 讨 论

土壤干旱或过湿均会对植物造成伤害,对植物株高、叶面积的生长及叶绿素的合成等生理过程起到直接或间接的抑制作用^[14-18]。本试验中,严重干旱、中度干旱、过湿水分处理的玄参株高和叶面积均低于适宜水分处理,表明不适宜的水分供应均能抑制玄参的生长发育;严重干旱、中度干旱、过湿水分处理叶片叶绿素含量在处理 13~33 d 间较低,表明不良的水分环境对玄参叶绿素合成有抑制作用;严重干旱、中度干旱、过湿水分处理前期能够激发可溶性蛋白合成,而后期则表现为抑制作用。

在成长过程中,植物体内始终存在氧化与抗氧化两大平衡的系统,植物体内的抗氧化机制主要有酶促和非酶促两种类型^[19]。植物抗逆性的高低,关键在于活性氧清除系统的各种酶(SOD、POD、APX、CAT 等)是否协调,各种酶活性的变化又因植物种类、水分胁迫方式及胁迫强度的不同而有差异^[9,12]。SOD 是植物体抗氧化的第一道防线,其活性与植物种类、胁迫程度、土壤肥力等多种因素有关,同时 SOD 的表达可能还受植物发育阶段的调控。本试验中,SOD 活性变化很不稳定,这可能与其对环境的敏感性有关。APX 也是植物体内清除 H_2O_2 的关键酶。本研究结果显示,严重干旱处理的 APX 活性在处理第 23 天以后一直高于适宜水分处理,表明干旱能够促进 APX 活性的提高,在干旱胁迫下玄参可以通过提高 APX 活性来清除叶绿体内的活性氧,从而保护叶绿体免受氧化损伤,保证光合等生理过程的正常进行。有研究认为,POD 活性与作物的抗旱性无明显相关性^[20],但其作为植物的重要抗氧化酶之一,在植物抗逆过程中的作用是不容忽视的。本研究表明,在处理的第 23,33 天时,严重干旱和中度干旱处理的 POD 活性均高于适宜水分处理,且差异显著;第 23 天时各处理的 POD 活性

均达到最高。说明干旱前期玄参可以通过增加 POD 的活性来清除体内的 H_2O_2 。CAT 定位于线粒体、过氧化物体与乙醛酸循环体中,可专一清除 H_2O_2 ^[10]。在本研究中,CAT 活性随水分处理时间的延长不断下降,这与前人的研究结果^[21]相一致。该现象可从 3 个方面来解释^[11]:一是胁迫初期 H_2O_2 含量较少,较高 CAT 活性有利于快速清除 H_2O_2 ,而后期大量产生的 H_2O_2 与 CAT 形成复合物,导致 CAT 活性降低;二是因为 CAT 是一种光失活酶,其酶活的维持依赖于光下连续合成 CAT 蛋白,而处于遮雨棚内的玄参因为不能得到足够的光照而导致 CAT 活性降低;三是处理 23 d 后各处理叶片的 CAT 活性均较低,处理间无显著差异,也可能是此时各处理玄参已经充分适应了试验条件。

4 结 论

由本试验结果可知,严重干旱、中度干旱、过湿水分处理可以明显抑制玄参株高和叶面积的增长。严重干旱、中度干旱、过湿水分处理条件下,玄参叶绿素合成在处理的第 13~33 天均受到不同程度的抑制,而可溶性蛋白在处理第 13 天时含量最高,13 d 后其合成受到抑制。严重干旱和中度干旱处理对玄参合成 SOD 和 APX 活性的影响较大,对 POD 和 CAT 活性的影响仅发生在处理前期。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:化学出版社,2005:76.
Chinese Pharmacopoeia commission. The Chinese Pharmacopoeia, Part 1 [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 76. (in Chinese)
- [2] Xu C, Luo L, Tan R X. Antidepressant effect of three traditional Chinese medicines in the learned helplessness model [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2004, 91(2-3): 345-349.
- [3] Tohda C, Kakiyama Y, Komatsu K, et al. Inhibitory effects of methanol extracts of herbal medicines on substance P-induced itch-scratch response [J]. Biological & pharmaceutical bulletin, 2000, 23(5): 599-601.
- [4] Nalawade S M, Tsay H S. *In vitro* propagation of some important Chinese medicine plants and their sustainable usage [J]. In Vitro Cell Dev Biol Plant, 2004, 40(2): 143-154.
- [5] Nguyen A T, Fontaine J, Malonne H. A sugar ester and an iridoid glycoside from scrophularia ningpoensis [J]. Phytochemistry, 2005, 66(10): 1186-1191.
- [6] Miyazawa M, Okuno Y. Volatile components from the roots of scrophularia ningpoensis hemsl [J]. Flavour and Fragrance Journal, 2003, 18(5): 398-400.

- [7] Lie L, Hudgins W R, Shacks S, et al. Cinnamic acid; a natural product with potential use in cancer intervention [J]. *International Journal of Cancer*, 1995, 62(3): 345-350.
- [8] 蒋明义, 郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用 [J]. *植物生理学通讯*, 1996, 32(2): 144-150.
- Jiang M Y, Guo S C. Oxidative stress and antioxidation induced by water deficiency in plants [J]. *Plant Physiology Communications*, 1996, 32(2): 144-150. (in Chinese)
- [9] 高俊凤. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- Gao J F. Instructions on plant physiology experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005. (in Chinese)
- [10] 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 105-110.
- Yin Y Q, Hu J B, Deng M J. Latest development of antioxidant system and responses to stress in plant leaves [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1): 105-110. (in Chinese)
- [11] 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.
- Yan C S. Antioxidant responses to water stress in plant leaves [J]. *Yantai Normal University Journal: Natural Science Edition*, 2002, 18(3): 220-225. (in Chinese)
- [12] 吴志华, 曾富华, 马生健, 等. 水分胁迫下植物活性氧代谢研究进展(综述 II) [J]. *亚热带植物科学*, 2004, 33(3): 77-80.
- Wu Z H, Zeng F H, Ma S J, et al. Active oxygen metabolism to water stress in plants: II [J]. *Subtropical Plant Science*, 2004, 33(3): 77-80. (in Chinese)
- [13] 孙卫红, 王伟青, 孟庆伟. 植物抗坏血酸过氧化物酶的作用机制、酶学及分子特性 [J]. *植物生理学通讯*, 2005, 41(2): 143-147.
- Sun W H, Wang W Q, Meng Q W. Functional mechanism and enzymatic and molecular characteristic of ascorbate peroxidase in plants [J]. *Plant Physiology Communications*, 2005, 41(2): 143-147. (in Chinese)
- [14] 李连朝, 王学臣. 水分亏缺对植物细胞壁的影响及其与细胞延伸生长的关系 [J]. *植物生理学通讯*, 1996, 32(5): 321-327.
- Li L C, Wang X C. Effects of water deficit on plant cell wall and its relation to cell elongation [J]. *Plant Physiology Communications*, 1996, 32(5): 321-327. (in Chinese)
- [15] 陈晓远, 高志红, 刘晓英, 等. 水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及产量的影响 [J]. *作物学报*, 2004, 30(7): 723-728.
- Chen X Y, Gao Z H, Liu X Y, et al. Effects of water stress on root/shoot relation and grain yield in winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(7): 723-728. (in Chinese)
- [16] 蒋明义, 荆家海. 水分胁迫下植物细胞延伸生长受抑的原初机制 [J]. *植物生理学通讯*, 1992, 28(4): 301-304.
- Jiang M Y, Jing J H. Primary mechanisms of the inhibition of plant cell elongating growth under water deficits [J]. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28(4): 301-304. (in Chinese)
- [17] 吕 军. 渍水对冬小麦生长的危害及其生理效应 [J]. *植物生理学报*, 1994, 20(3): 221-226.
- Lu J. The injury to winter wheat growth by soil waterlogging and its mechanism [J]. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1994, 20(3): 221-226. (in Chinese)
- [18] 晏 斌, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 玉米叶片涝渍伤害过程中超氧自由基的积累 [J]. *植物学报*, 1995, 37(9): 738-744.
- Yan B, Dai Q J, Liu X Z, et al. Accumulation of superoxide radical in corn leaves during waterlogging [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(9): 738-744. (in Chinese)
- [19] 杜秀敏, 殷文璇, 赵彦修, 等. 植物中活性氧的产生及清除机制 [J]. *生物工程学报*, 2001, 17(2): 121-125.
- Du X M, Yin W X, Zhao Y X, et al. The production and scavenging of reactive oxygen species in plants [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2001, 17(2): 121-125. (in Chinese)
- [20] 王茅雁, 邵世勤, 张建华, 等. 水分胁迫对玉米保护酶活力及膜系统结构的影响 [J]. *华北农学报*, 1995, 10(2): 43-49.
- Wang M Y, Shao S Q, Zhang J H, et al. Effect of water stress upon the activities of protective enzyme system and the structures of membrane system in maize [J]. *Acta Agriculturae borealis-sinica*, 1995, 10(2): 43-49. (in Chinese)
- [21] 钱 春, 刘素君, 尹克林. 水分胁迫对草莓膜保护系统的影响 [J]. *西南农业大学学报*, 2005, 27(4): 541-543.
- Qian C, Liu S J, Yin K L. Effects of water stress on the membrane protection system of strawberry [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2005, 27(4): 541-543. (in Chinese)